

UGCHE-09

Block-1

जैव रसायन



उत्तर प्रदेश  
राजर्षि टण्डन मुक्त विश्वविद्यालय

UGCHE-09  
जैव रसायन

खंड

1

जैव अणु—I

इकाई 1

कोशिका-संरचना तथा प्रकार्य

7

इकाई 2

कार्बोहाइड्रेट

28

इकाई 3

लिपिड

57

इकाई 4

न्यूक्लीइक अम्ल

78

## जैव रसायन

जैव रसायन पाठ्यक्रम, विज्ञान में स्नातक कार्यक्रम के ऐच्छिक पाठ्यक्रमों में से एक है। यह एक चार क्रेडिट का पाठ्यक्रम है तथा उन विद्यार्थियों के लिए बनाया गया है, जिन्हें रसायन विज्ञान तथा जीव विज्ञान विषयों का अच्छा पूर्व ज्ञान है। इस पाठ्यक्रम में विभिन्न अभिकल्पनाओं को सरल रूप में प्रस्तुत किया गया है, जिससे उनके समझने में कठिनाई न हो। इस पाठ्यक्रम का उद्देश्य विद्यार्थियों को जैव रसायन के विभिन्न अनिवार्य पहलुओं से परिचित कराना है।

जैव रसायन, जैसा कि इसके नाम से पियेवत है, जीवित निकायों के रसायन से संबंधित है। यह विभिन्न जीवों के बीच रासायनिक समानताओं व विभिन्नताओं को समझने तथा उनके अनुप्रयोग से संबंधित है। यह रासायनिक संरचनाओं तथा जैव रासायनिक प्रक्रियों के बीच संबंध स्थापित करने का कार्य करता है। जैव रासायनिक अध्ययनों से ऐसा पाया गया है कि कोशिका सभी जैव निकायों की मूलभूत इकाई होती है। सभी सामान्य रासायनों के विभिन्न अवयवों का होना, उनके एक समान अपचयनी पथों का अनुसरण करना, तथा कोशिकीय नियमन की समान क्रियाविधियों का होना सभी कोशिकाओं के सामान्य लक्षण होते हैं। हम इस कथन की पुष्टि इस बात से कर सकते हैं कि अधिकतर जीवों में वीस  $\alpha$ -एमीनों अम्ल होते हैं, जो उनमें उपस्थित विभिन्न प्रोटीनों को बनाते हैं। इसी प्रकार विभिन्न कोशिकाओं की झिल्लियों में फास्फोलिपिड संयोजन व संगठन भी एक समान है। यहाँ पर हम एक अन्य उदाहरण दे सकते हैं, जैसेकि विभिन्न एन्जाइमों के रासायनिक संरचना व प्रक्रियों में समानता का होना। इसी प्रकार जैव संश्लेषण तथा कार्बोहाइड्रेटों, लिपिडों, प्रोटीनों व न्यूक्लीक अम्लों जैसे जैव अणुओं के निम्नीकरण से संबंधित विभिन्न उपापचयी पथ भी एक समान होते हैं।

विभिन्न जैव निकायों में उपस्थित कार्बनिक अणुओं में अत्यधिक विविधता पाई जाती है। यद्यपि, सभी बड़े कार्बनिक अणु अर्थात् बृहदाणु (macromolecules) छोट-छोटे सरल अणुओं से बने होते हैं, जिन्हें उनके निर्माण खंड कहते हैं। उदाहरण के लिए, प्रोटीन,  $\alpha$ -एमीनों अम्लों की व न्यूक्लीक अम्ल न्यूक्लियोटाइडों की बहुलकी श्रृंखलाओं के बने होते हैं। सभी जीवों में निर्माण खंडों की रासायनिक प्रकृति एक समान होती है। इनसे प्रत्येक निर्माण खंड जीवों में कई कार्य करता है। इस पाठ्यक्रम में हमारा उद्देश्य आपको इन निर्माण खंडों से अवगत कराना तथा इनके जैव संश्लेषण व उपापचय के बारे में जानकारी देना है। इसके अलावा हम जैव रसायन से संबंधित आधुनिक क्षेत्रों जैसे कि जैव प्रौद्योगिकी तथा प्रतिरक्षाविज्ञान से भी आपका परिचय कराएंगे।

इस पाठ्यक्रम में चार खंड हैं। खंड 1 की शुरुआत हम कोशिका से करेंगे। इसमें हमने यह दर्शाया है कि जीवों की इस मूल इकाई में कई संरचनात्मक अवयव होते हैं, जो एक समान कार्य करते हैं इसीलिए हम कोशिका की संरचना तथा प्रक्रियों का सामान्यीकरण कर सकते हैं। आप सोच रहे होंगे कि इस पाठ्यक्रम में कोशिका की संरचना व प्रक्रियों की चर्चा क्यों की गई है। ऐसा इसलिए है, क्योंकि जीवन को बनाए रखने वाली सभी रासायनिक अभिक्रियाएँ तथा परिवर्तन इसी कोशिका के रासायनिक व तावरण तथा भौतिक सीमा के बीच ही होते हैं। यह स्तर में ही अत्यंत महत्वपूर्ण है। इस खंड में कार्बोहाइड्रेटों, लिपिडों व न्यूक्लीक अम्लों जैसे जैव अणुओं के रसायन तथा जैविक महत्व की चर्चा भी की गई है। इनमें से प्रत्येक जैव अणु की अलग रासायनिक प्रकृति होती है, जो उसके द्वारा किए जाने वाले कार्य के अनुरूप होती है।

खंड दो भी जैव अणुओं से संबंधित है। इसमें हमने कोशिका में उपस्थित सर्वाधिक जटिल अणुओं, प्रोटीनों, के रासायनिक व संरचनात्मक संगठन का वर्णन किया है। इनके द्वारा आपको उनके एन्जाइम के रूप में कार्य करने को समझने में सहायता मिलेगी। एन्जाइम जैव उत्प्रेरक का कार्य करते हैं। इस खंड में हमने विटामिनों, सहएन्जाइमों तथा खनिजों की भी चर्चा की है।

खंड तीन में हमने सामान्य उपापचयी पथों के महत्व व क्रियाविधि तथा कोशिका से संबंधित ऊर्जा विज्ञान की चर्चा की है। खंड चार में अति महत्वपूर्ण जैव अणुओं, DNA, RNA और प्रोटीनों के जैव संश्लेषण की चर्चा की गई है। इसके साथ-साथ प्रतिरक्षा विज्ञान व प्रौद्योगिकी के मूल नियमों व महत्वों का वर्णन किया गया है।

## उद्देश्य

इस पाठ्यक्रम के अध्ययन के बाद आप:

- जीवों की मूल इकाई के साधारण रासायनिक तथा संरचनात्मक लक्षणों को पहचान सकेंगे
- विभिन्न अणुओं के जैविक महत्व का वर्णन कर सकेंगे,
- कुछ जैविक उपापचयी पथों के महत्व व क्रियाविधि तथा कोशिका से संबंधित ऊर्जा विज्ञान को व्याख्या कर सकेंगे, तथा
- कुछ जैविक अणुओं के जैव संश्लेषण के साथ-साथ प्रतिरक्षा विज्ञान तथा जैव प्रौद्योगिकी के मूल सिद्धांतों का वर्णन कर सकेंगे।

## अध्ययन दशका

जैव रसायन के इस पाठ्यक्रम में जीव विज्ञान तथा कार्बनिक रसायन के कुछ मूल तथ्य हैं। इसलिए हम यह सुझाव देंगे कि इस पाठ्यक्रम को लेने वाले द्वितीय स्तर पर कार्बनिक रसायन पाठ्यक्रम (CHE-05) को ले लें। यदि आप भौतिक रसायन के पाठ्यक्रम (CHE-04) को भी ले लें तो यह और भी अच्छा होगा। फिर भी, इस पाठ्यक्रम को सरल बनाया गया है तथा इसमें कार्बनिक व भौतिक रसायन की जटिलताओं का उपयोग नहीं किया गया है। यदि आप इस पाठ्यक्रम के जीव विज्ञान वाले हिस्से की अधिक जानकारी चाहते हैं, तो आप कोशिका जीव विज्ञान (LSE-01) पाठ्यक्रम का अध्ययन कर सकते हैं।

हमने अध्ययन सामग्री को सरल बनाया है तथा जटिल अभिकल्पनाओं को और अधिक समझाने के लिए अथवा रोचक जानकारी देने के लिए हमने हाशिए में टिप्पणियां दी हैं। हमने कुछ पदों अथवा कथनों के महत्व को दर्शाने के लिए उन्हें गहरे अक्षरों में छपा है। चित्रों व रासायनिक संरचनाओं को समझने के लिए उन्हें उपयुक्त रूप से चिह्नित किया गया है।

आप प्रत्येक इकाई में बोध प्रश्न तथा "अंत में कुछ प्रश्न" पाएंगे। बोध प्रश्नों को सामान्यतः महत्वपूर्ण अभिकल्पनाओं के वर्णन के बाद रखा गया है तथा ये आपको अपनी समझ को परखने में सहायता करेंगे। इन प्रश्नों के उत्तर इकाई के अंत में दिए गए हैं। आप प्रश्नों को हल करने से पहले ही इनके उत्तरों को देखने की चेष्टा न करें।

हमने इस पाठ्यक्रम में SI मात्रकों का उपयोग किया है। इस प्रकार ऊर्जा के मात्रकों को कैलोरी की अपेक्षा जूल में व्यक्त किया गया है। आप ध्यान रखें कि कैलोरी का SI समतुल्य  $4.18 \text{ J}$  होता है। इसी प्रकार हमने आवंघ की लंबाई, अंतर परमाणु तथा अंतर नाभिकीय दूरी को ऐंगस्ट्रॉम की अपेक्षा पीकोमीटर (pm) अथवा नैनोमीटर (nm) में व्यक्त किया है एक  $\text{\AA}$  100 पीकोमीटर (pm) तथा  $10 \text{\AA}$  एक नैनोमीटर (nm) के बराबर होता है। आप यह भी ध्यान दें कि  $1 \mu\text{m}$  (माइक्रोमीटर)  $10^{-6}$  मीटर के बराबर होता है।

अंततः हमने प्रत्येक खंड के अंत में कुछ पुस्तकों की सूची दी है। यदि आपको किसी इकाई के बारे में और जानकारी चाहिए तो आप इनकी सहायता ले सकते हैं।

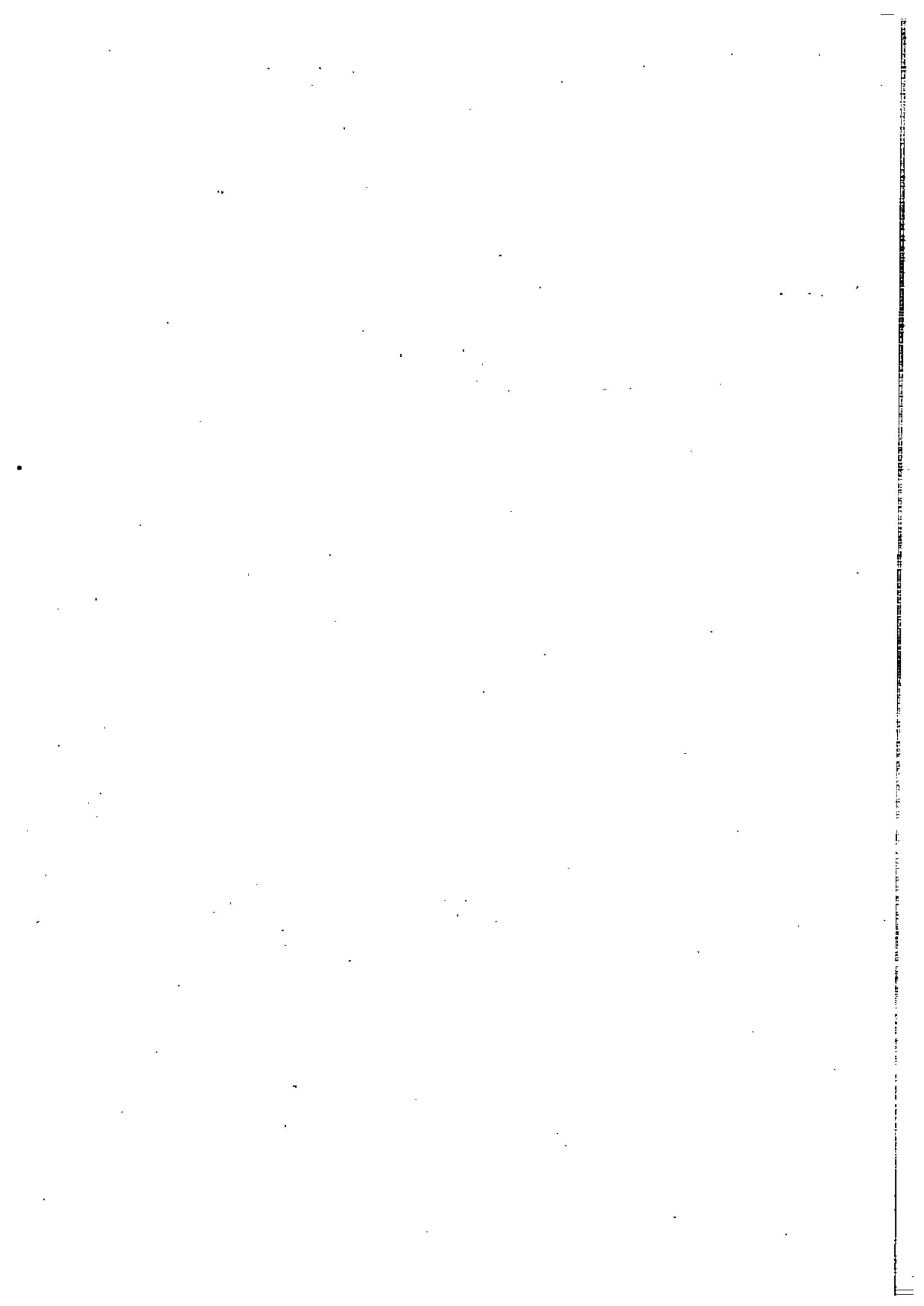
## खंड 1: जैव-अणु-I

इस खंड में हम पहले कोशिका के संगठन से फिर जीवित कोशिका के लिए अनिवार्य कुछ जैव अणुओं से आपका परिचय कराएंगे। इस खंड में चार इकाइयां हैं। इकाई 1 में हम कोशिका की संरचना का अध्ययन करेंगे व इसके विभिन्न कोशिकांगों का वर्णन करेंगे। इकाई 2 में हम आपका परिचय कार्बोहाइड्रेटों से कराएंगे। ये जैव अणु कोशिका के संरचनात्मक अवयव बनाते हैं तथा कोशिका के कार्य करने के लिए ऊर्जा भी उपलब्ध कराते हैं। इकाई 3 लिपिडों व जैव झिल्लियों की संरचना से संबंधित है। इस खंड की अंतिम इकाई अर्थात् इकाई 4 में हम अति महत्वपूर्ण जैव अणुओं, न्यूक्लीक अम्लों का वर्णन करेंगे।

उद्देश्य

इस खंड के अध्ययन के बाद आप;

- कोशिका की संरचना का वर्णन कर सकेंगे तथा इसके विभिन्न अवयवों द्वारा किए जाने वाले कार्यों को बता सकेंगे,
- कार्बोहाइड्रेटों का वर्णन कर सकेंगे तथा उनके जैविक प्रकार्यों की व्याख्या कर सकेंगे।
- लिपिडों का वर्गीकरण कर सकेंगे तथा उनके मुख्य कार्यों का वर्णन कर सकेंगे। इसके साथ-साथ जैव झिल्लियों का भी वर्णन कर सकेंगे,
- न्यूक्लीक अम्लों की संरचना व उनके प्रकार्यों की व्याख्या कर सकेंगे।



# इकाई 1 कोशिका-संरचना तथा प्रकार्य

## इकाई की रूपरेखा

- 1.1 प्रस्तावना  
उद्देश्य
- 1.2 कोशिका—एक पूर्वालोकन  
जैव रासायनिक संयोजन
- 1.3 कोशिका का आकार
- 1.4 प्रोकैरियोटिक कोशिका
- 1.5 यूकैरियोटिक कोशिका  
कोशिका झिल्ली  
केन्द्रक  
अंतर्द्रव्यी जालिका  
गॉल्जी काय  
लाइसोसोम  
परऑक्सीसोम व ग्लाइऑक्सीसोम  
साइटोप्लाज्म  
माइटोकॉन्ड्रिया  
क्लोरोप्लास्ट  
धानी
- 1.6 अपकोशिकीय कोशिकाओं के प्रभाजन की विधि
- 1.7 सारांश
- 1.8 अंत में कुछ प्रश्न
- 1.9 उत्तर

## 1.1 प्रस्तावना

सभी जीव, सरल अथवा जटिल, वनस्पति अथवा जंतु, कोशिकाओं के बने होते हैं। उदाहरण के लिए, अमीबा या बैक्टीरिया केवल एक कोशिका के बने होते हैं, जबकि मानव जैसा जटिल जीव कई सौ खरब कोशिकाओं ( $10^{14}$  कोशिकाओं से अधिक) का बना होता है। किसी जीव में कोशिकाओं के गुण उसके रूप, प्रकृति व क्रियाकलापों द्वारा प्रदर्शित होते हैं। इसलिए जीवों के किसी भी रूप को समझने के लिए कोशिकाओं का अध्ययन करना आवश्यक है। इस इकाई में आप कोशिका की संरचना का अध्ययन करेंगे। हम कोशिका में उपस्थित विभिन्न अवयवों के कार्यों का भी वर्णन करेंगे। यद्यपि, इस पाठ्यक्रम में कोशिका की संरचना व संगठन के वर्णन में हमारा उद्देश्य आपको कार्बोहाइड्रेटों, लिपिडों, न्यूक्लीक अम्लों, प्रोटीनों, एन्जाइमों तथा विटामिनों, जैसे विभिन्न जैव अणुओं से आपका परिचय कराना है। इनका वर्णन हम आने वाली कुछ इकाइयों में करेंगे। इनमें से कुछ जैव अणु, जिन्हें "जीवन के पदार्थ" भी कहा जाता है, कोशिका की संरचना का ही एक हिस्सा होते हैं, जबकि कुछ अन्य कोशिका के लिए ऊर्जा के स्रोत का कार्य करते हैं। कुछ अणु कोशिका के लिए ऊर्जा का भंडारण करते हैं तथा कोशिकीय अभिक्रियाओं में हिस्सा लेते हैं। कोशिका, इन अणुओं से कुछ अन्य अणुओं, जिनकी जीवित निकाय के लिए आवश्यकता पड़ती है, को संश्लेषित करने में सक्षम होती है। इस प्रकार कोशिका संगठन के अध्ययन द्वारा हमें इन अणुओं के जैविक महत्व को समझने में सहायता मिलेगी।

## उद्देश्य

स इकाई के अध्ययन के बाद आप:

1. जीवों के जैव रासायनिक संयोजन का वर्णन कर सकेंगे,

- कोशिकाओं के मुख्य प्रकारों में अंतर कर सकेंगे,
- कोशिकाओं के संरचनात्मक संगठन की व्याख्या कर सकेंगे, तथा
- अंतःकोशिकीय कोशिकाओं को चिन्हित कर सकेंगे।

## 1.2 कोशिका—एक पूर्वालोकन

कोशिकाओं के अध्ययन में आजकल कई वैज्ञानिक शाखाओं का समावेश होता है, जैसे—जैव रसायन, जैव भौतिकी, आनुवांशिकी, सूक्ष्मदर्शिकी तथा शरीर क्रियाविज्ञान इत्यादि। पिछले 35 वर्षों में कोशिकाओं के बारे में बहुत कुछ जाना गया है, जैसे—वे किस प्रकार बनती हैं व कार्य करती हैं तथा जटिल जीवों में वे किस प्रकार एक-दूसरे के साथ मिलकर कार्य करती हैं। परंतु अभी भी बहुत कुछ जानना बाकी है। एक मौलिक सूक्ष्मदर्शी द्वारा कार्क के ऊतक में डब्लेनुमा संरचना को देखकर रॉबर्ट हुक ने पहले पहल सन् 1664 में "कोशिका" शब्द का इस्तेमाल किया था। हुक के समकालीन एन्टोनी वानु ल्यूवेनहोक ने भी केवल एक लैस वाले सूक्ष्मदर्शी से वीर्य तथा रक्त की कोशिकाओं व कई सूक्ष्म जीवों की खोज की। इन प्रारंभिक प्रेक्षणों के बाद लगभग दो शताब्दियों तक कोशिकाओं का अध्ययन होता रहा तथा इसके बाद धीरे-धीरे अधिक क्षमता वाले सूक्ष्मदर्शियों के उपयोग द्वारा कोशिका केन्द्रक की भी खोज हुई। इस प्रकार सभी वनस्पतियों व जीवों की कोशिकीय प्रकृति का ज्ञान हुआ। सन् 1830 तक यह प्रतिपादित हो चुका था कि सभी जीव कोशिकाओं द्वारा बने होते हैं। इस कथन को अब कोशिका सिद्धांत के रूप में जाना जाता है। इसका अध्ययन आप भाग 1.3 में करेंगे।

इस सिद्धांत के उपरांत जीव वैज्ञानिकों ने यह स्थापित किया कि कोशिका विभाजन द्वारा नई कोशिकाएँ उत्पन्न होती हैं तथा उन्नीसवीं सदी के अंत तक कोशिका के आनुवांशिक पदार्थ—क्रोमोसोम को भी पहचाना जा चुका था। कोशिकाओं के जैव रासायनिक, शरीरक्रियात्मक तथा आनुवांशिक अध्ययन द्वारा यह स्थापित हुआ कि एककोशिकीय व बहुकोशिकीय जीवों में कोशिका ही मूल संरचनात्मक इकाई है, जो आनुवांशिक पदार्थ का संभरण करती है तथा इसका जैव रासायनिक संगठन ही जीवन के लिए उत्तरदायी है। इस प्रकार कोशिका का अध्ययन करना अति आवश्यक है, जिससे हम स्वास्थ्य, दवाएँ, रोग, उपचार जनन, पर्यावरण, विकास तथा जीवन इत्यादि जैसे विभिन्न प्रकार के विषयों को समझ सकते हैं।

पहले हम कोशिका के जैव रासायनिक संयोजन की चर्चा करेंगे तथा अगले भाग में हम कोशिकाओं के विभिन्न प्रकारों का वर्णन करेंगे।

### 1.2.1 जैव रासायनिक संयोजन

इस प्रकार पर जब जीवन का विकास हुआ तब प्रकृति ने केवल कुछ ही तत्वों को चुना और अंततः जीवन मुख्यतः कार्बन यौगिकों पर आधारित हो गया। अधिकतर जीवों में उपस्थित लगभग 50 तत्वों में से केवल छह, नामतः, ऑक्सीजन, कार्बन, हाईड्रोजन, नाइट्रोजन, कैल्शियम तथा फॉस्फोरस ही जीव के भार का लगभग 99 प्रतिशत बनाते हैं। प्रकृति द्वारा कार्बन के चुनाव के पीछे एक कारण कार्बन द्वारा जटिल कार्बनिक यौगिकों की एक बड़ी संख्या बनाना है। पोटेशियम, सोडियम, क्लोरीन तथा मैग्नीशियम लगभग 0.8 प्रतिशत तथा अन्य तत्व कुल मिलाकर केवल लगभग 0.2 प्रतिशत ही बनाते हैं। इन तत्वों को लेश-तत्व (trace elements) कहते हैं। जीवों में तत्वों का वितरण सारणी 1.1 में दिखाया गया है। विभिन्न जीवों में उपस्थित रासायनिक पदार्थों की प्रकृति में बहुत अधिक समानता है। जल, जीवों के भार का लगभग 60-80 प्रतिशत, बनता है तथा 'जीवन के विलायक' के रूप में जाना जाता है, क्योंकि यह सभी कोशिकीय अभिक्रियाओं का मुख्य माध्यम है। कोशिकाओं का बाकी शुष्क भार, प्रोटीनों, लिपिडों, न्यूक्लीक अम्लों तथा कार्बोहाइड्रेटों का बना होता है। आप खंड की अन्य इकाइयों में इन महत्वपूर्ण जीव अणुओं का विस्तृत अध्ययन करेंगे। सारणी 1.2 में एक कोशिका का सामान्य रासायनिक संयोजन दिया गया है।



तत्व	भार का प्रतिशत
ऑक्सीजन	65
कार्बन	18
हाइड्रोजन	10
नाइट्रोजन	3
कैल्शियम	1.5
फॉस्फोरस	1.0
सल्फर	0.25
पोटेशियम	0.20
सोडियम	0.15
क्लोरीन	0.15
मैग्नीशियम	0.05
Fe, Ca, Mn इत्यादि	लेश मात्रा में

सारणी 1.2: कोशिका का रासायनिक संयोजन

	शुष्क भार का प्रतिशत
प्रोटीन	71
लिपिड	12
न्यूक्लीक अम्ल	7
कार्बोहाइड्रेट	5
अकार्बनिक खनिज तथा अन्य पदार्थ	5

कोशिकाओं के बारे में और जानने से पहले निम्नलिखित बोध प्रश्न को हल कीजिए।

### बोध प्रश्न 1

वताइए कि निम्नलिखित कथन सत्य हैं अथवा असत्य। उपयुक्त शब्द को (✓) द्वारा चिन्हित कीजिए।

- (क) पोटेशियम व सोडियम, कोशिका में उपस्थित लेश-तत्व हैं। (सत्य/असत्य)
- (ख) प्रोटीन कोशिकाओं का मुख्य हिस्सा होता है। (सत्य/असत्य)
- (ग) सभी जीव कोशिकाओं के बने होते हैं। (सत्य/असत्य)
- (घ) कोशिका में कोशिकीय अभिक्रियाएँ जलीय माध्यम में नहीं हो सकती हैं। (सत्य/असत्य)

## 1.3 कोशिका का स्थापत्य

सभी जीव कोशिकाओं के बने होते हैं व यह जीवन की संरचनात्मक तथा क्रियात्मक मूल इकाई है, जैसे—परमाणु सभी रासायनिक संरचनाओं की मूल इकाई है। श्लेडन व श्वान द्वारा सन् 1938-39 में प्रतिपादित यह अवधारणा "कोशिका सिद्धांत" का आधार है। उन्होंने यह निष्कर्ष निकाला कि सभी वनस्पति व जीव कोशिकाओं के बने होते हैं। यह अवधारणा सूक्ष्म जीवों पर भी लागू होती है। बैक्टीरिया तथा प्रोटोज़ोआ जैसे कुछ जीव एककोशिकीय होते हैं, जबकि फंजाइ, वनस्पति व जंतु बहुकोशिकीय होते हैं। फंजाइ, एक ही प्रकार की कई कोशिकाओं के बने होते हैं जबकि वनस्पति तथा जंतु विभिन्न प्रकार की कोशिकाओं के बने होते हैं। सभी जीवों, एककोशिकीय व बहुकोशिकीय की कोशिकाओं में कई समानताएँ पाई जाती हैं तथा उनमें होने वाली कई क्रियाएँ भी एक ही तरह से होती हैं। आइए, अब हम मुख्य गुणों के आधार पर कोशिकाओं का वर्गीकरण करें। इसके बाद हम विभिन्न कोशिकाओं के सामान्य संरचनात्मक लक्षणों का वर्णन करेंगे।

कोशिका संगठन की जटिलता के आधार पर कोशिकाओं को दो वर्गों, प्रोकैरियोट (prokaryotes) या असीम केन्द्रकी व यूकैरियोट (eukaryotes) या ससीम केन्द्रकी में वर्गीकृत किया गया है। प्रोकैरियोटिक कोशिका का संगठन अत्यंत सरल होता है व इसमें वास्तविक केन्द्रक (true nucleus) नहीं होता है। इसका आनुवंशिक पदार्थ, DNA, नग्न होता है अर्थात्, यह किसी आवरण द्वारा घिरा हुआ नहीं होता है। प्रोकैरियोटिक कोशिकाओं में झिल्ली (membrane) से बंधे कोशिकांग नहीं होते हैं। बैक्टीरिया व नील-हारेत शैवाल (algae) प्रोकैरियोटिक कोशिकाओं के प्ररूपी उदाहरण हैं।

प्रो. (Pro) शब्द का अर्थ पहले व कॅरयॉन (karyon) शब्द का अर्थ केन्द्रक होता है। इसलिए शब्द प्रोकॅरयोट का तात्पर्य ऐसी कोशिका से है, जिसमें स्पष्ट केन्द्रक नहीं होता है। दूसरी ओर "यू" (Eu) शब्द का अर्थ होता है "वास्तविक" इसलिए यूकॅरयोट शब्द का तात्पर्य ऐसी कोशिका से है, जिसमें एक स्पष्ट केन्द्रक होता है। केन्द्रक का गुणसूत्री (chromosomal) पदार्थ कोशिका अन्य अवयवों से अलग केन्द्रीय झिल्ली द्वारा घिरा होता है।

दूसरी ओर यूकॅरयोटिक कोशिकाओं में केन्द्रक होता है, जिसमें आनुवांशिक पदार्थ DNA होता है। DNA केन्द्रकी झिल्ली द्वारा घिरा होता है। कोशिका की संरचना जटिल होती है व इसमें झिल्ली से घिरे स्पष्ट कोशिकांग होते हैं। प्रोटोजोआ, शैवाल वनस्पति व प्राणी सभी यूकॅरयोट होते हैं। प्रोकॅरयोटिक व यूकॅरयोटिक कोशिकाओं के संगठन की तुलना सारणी 1.3 में की गई है।

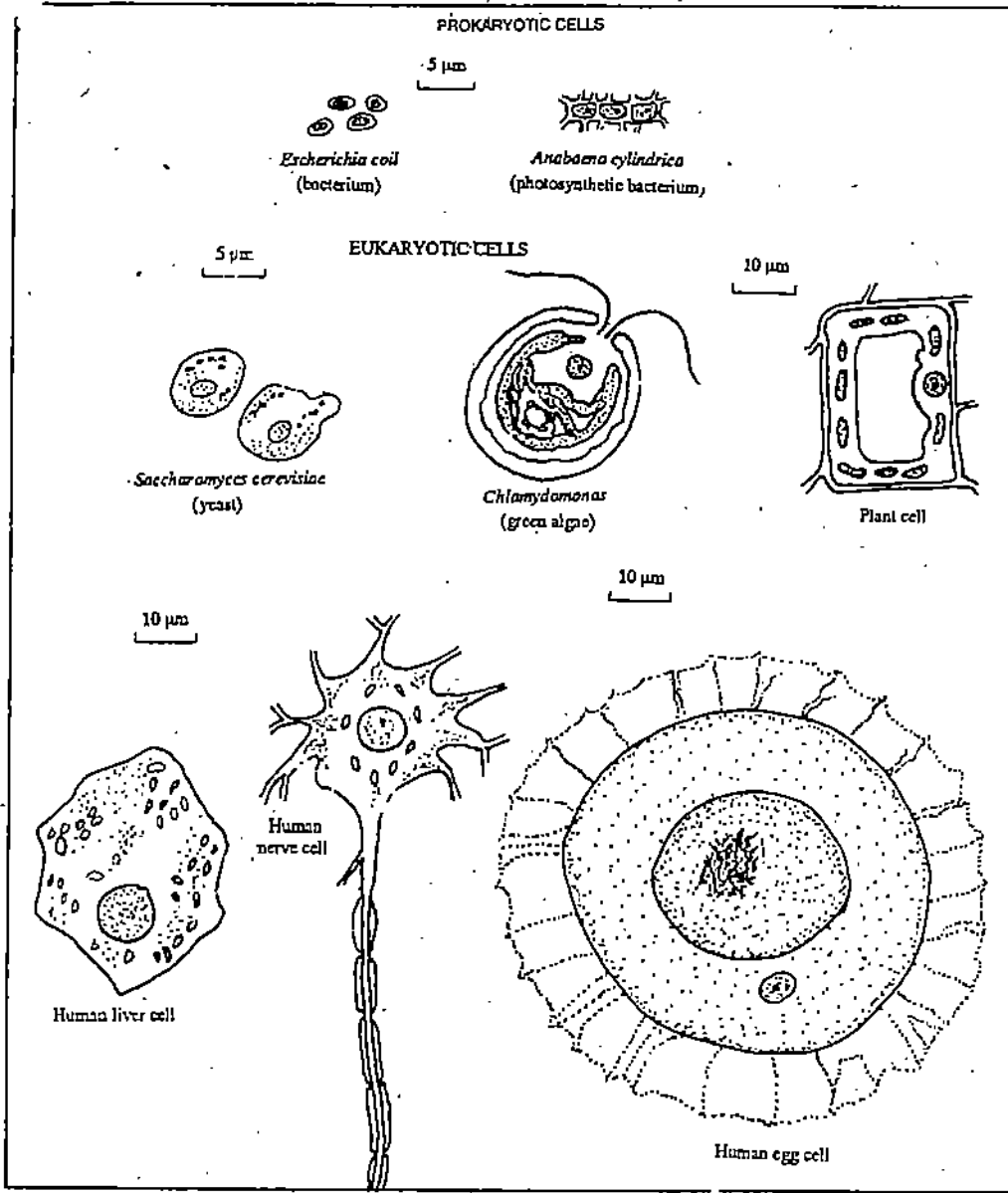
ऐसा स्वाभाविक है कि उनके बीच काफी अंतर है। जीवाणु कोशिकाओं के समान प्रोकॅरयोट सामान्यतः काफी छोटे आकार के होते हैं। (1 μm के व्यास से कम) और इसलिए नग्न आँख से देखे नहीं जा सकते हैं। यद्यपि वनस्पति तथा जंतु कोशिकाओं के समान यूकॅरयोट काफी बड़े आकार के होते हैं तथा जीवाणु कोशिका की तुलना में कम से कम 10 गुणा बड़े होते हैं और उनके आकार व रूपों में काफी विभिन्नता होती है। कुछ प्रोकॅरयोटिक व यूकॅरयोटिक प्रकारों की कोशिकाओं के लगभग आकार व रूप सारणी 1.4 तथा चित्र 1.1 में दर्शाए गए हैं।

सारणी 1.3: प्रोकॅरयोट व यूकॅरयोट जीवों में कोशिका संगठन की तुलना

	प्रोकॅरयोट	यूकॅरयोट
जीव	बैक्टीरिया, नील-हरित शैवाल	प्रोटोजोआ, शैवाल, वनस्पति व प्राणी
कोशिका आकार	1-10 μm का व्यास	10-100 μm का व्यास
कोशिकांग (organelles)	कुछ अथवा कोई नहीं	केन्द्रक, माइटोकॉन्ड्रिया, क्लोरोप्लास्ट, लाइसोसोम, इत्यादि
केन्द्रक	अनुपस्थित, आनुवांशिक पदार्थ वृत्तीय DNA के रूप में होता है व केन्द्रकी झिल्ली के बिना होता है	उपस्थित
केन्द्रीय कोशिका विभाजन	अनुपस्थित	उपस्थित
माइटोकॉन्ड्रिया	अनुपस्थित, जीवद्रव्य कला में श्वसन व प्रकाश संश्लेषी एन्जाइम उपस्थित रहते हैं।	माइटोसिस या मिटोसिस
क्लोरोप्लास्ट	अनुपस्थित	उपस्थित
साइटोप्लाज्म	अनुपस्थित	केवल वनस्पति कोशिकाओं में उपस्थित
	साइटोप्लाज्म का साइटोपंजरा नहीं होता है।	

सारणी 1.4: जीवाणुओं तथा कोशिका अवयवों का लगभग विस्तार (dimensions)

	विस्तार nm (1 nm = 10 <sup>-9</sup> m)
ऐलामिन	0.5
मनुकोस	0.7
फॉस्फोलिपिड	3.5
हीमो-ग्लोबिन	6.8
ग्लोबुलिन	160.0
जीवाणुभोजी OX 174	25.0
तम्बाकू मोजेक वाइरस	300.0
E. coli कोशिका	2000.0
E. coli राइबोसोम	18.0
माइटोकॉन्ड्रिया (सकृत कोशिका)	1500.0
क्लोरोप्लास्ट (सकृत कोशिका)	8000.0
यकृत कोशिका	20,000.0



चित्र 1.1.: कुछ प्रोकैरियोटिक व यूकैरियोटिक कोशिकाओं के आकार व आकृतियाँ

मानव शरीर में 200 प्रकार से भी अधिक कोशिकाएँ होती हैं, जो एकत्रित होकर विभिन्न प्रकार के ऊतक (tissues) बनाती हैं, जैसे कि एपिथेलियमी, संयोजी (connective) ऊतक, पेशी (muscle), तंत्रिकीय (nervous) ऊतक, रक्त, जर्म (germ) कोशिकाएँ, संवेदी (sensory) कोशिकाएँ तथा अन्य कई। चूँकि प्रोकैरियोटिक कोशिकाओं की संरचना अपेक्षाकृत अत्यधिक सरल होती है, ये जैव रासायनिक अध्ययनों के लिए महत्वपूर्ण हैं। इन्हें प्रयोगशाला में काफी कम समय में अच्छी संख्या में उत्पन्न किया जा सकता है। ऐसा इसलिए है क्योंकि ये जनन (reproduction) की सरल विधियों द्वारा संख्या में बढ़ते हैं। उदाहरण के लिए, *E. coli* बैक्टीरिया हर 20-30 मिनट में विभाजित हो जाते हैं। इसलिए प्रोकैरियोटिक कोशिका के रूप में इसका अध्ययन सबसे अधिक किया गया है।

वास्तव में सभी कोशिकाओं के कुछ मूल गुण होते हैं, जिनमें से कुछ निम्नलिखित हैं:

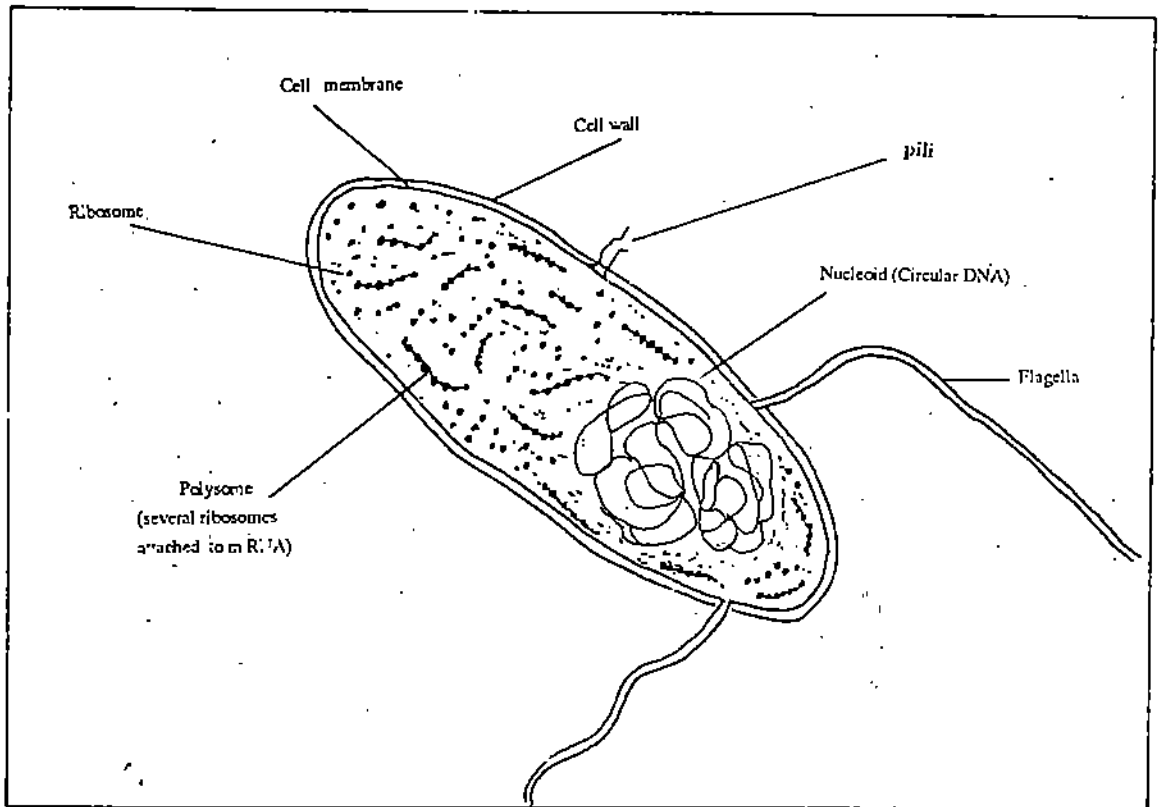
- सभी कोशिकाएँ जीन में सूचना संग्रहित करती हैं।
- सभी कोशिकाओं में राइबोसोम, प्रोटीनों का संश्लेषण करते हैं।
- सभी कोशिकाओं में प्रोटीन, संरचना व कार्य का नियंत्रण करती हैं।
- सभी कोशिकाएँ ऊर्जा स्थानांतरण के लिए ATP का उपयोग करती हैं।
- जीवद्रव्य कला (plasma membrane) सभी कोशिकाओं का सामान्य लक्षण है।

इन समानताओं के कारण इस प्रकार, कोशिकाओं की संरचना की विस्तृत व्याख्या को सामान्यीकृत किया जा सकता है। अगले भागों में अब हम प्रोकैरियोटिक तथा यूकैरियोटिक कोशिकाओं के संरचनात्मक लक्षणों की व्याख्या करेंगे।

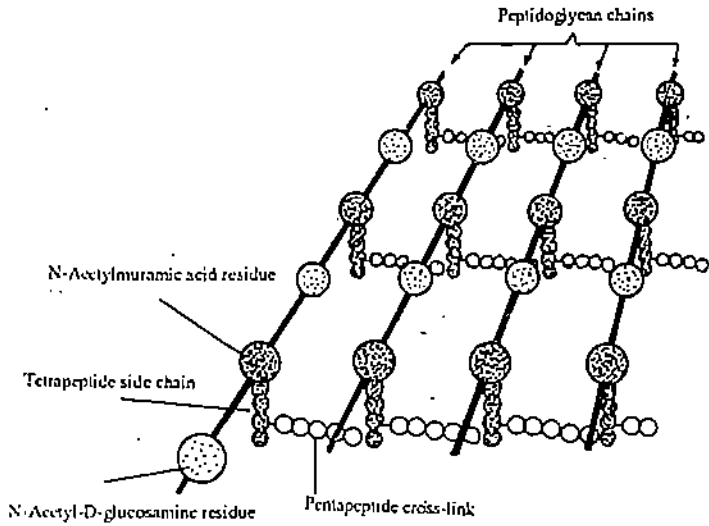
## 1.4 प्रोकैरियोटिक कोशिका

प्रोकैरियोटिक की संरचना की विस्तृत व्याख्या करने से पहले एक प्ररूपी प्रोकैरियोटिक (असीम केन्द्रकी) कोशिका के संरचनात्मक लक्षणों को समझना भी उपयोगी होगा। *Escherichia coli* एक ऐसा जीव है, जो सभी मानवों की आंत्र गाल (intestinal track) में पाया जाता है तथा एक ऐसे प्ररूपी प्रोकैरियोट जीव को निरूपित करता है, जिसकी काफी गहराई से जांच की गई है। *E. coli* की कोशिका लगभग  $2 \mu\text{m}$  लंबी होती है व इसका व्यास लगभग  $1 \mu\text{m}$  होता है (चित्र 1.2)। इसकी कोशिका भित्ति (cell wall) दृढ़ ढांचे की बनी होती है, जिसे पेप्टिडोग्लाइकन (peptidoglycan) कहते हैं, जिसमें पेप्टाइड इकाइयों द्वारा क्रॉसबद्ध (cross linked) पॉलीसैकेराइड भूखला होती है। पेप्टिडोग्लाइकन की आंशिक संरचना चित्र 1.3 में दी गई है। भित्ति की अंदर की सतह पर उपस्थित कोशिका झिल्ली, फॉस्फोलिपिडों (45 प्रतिशत) तथा प्रोटीनों (55 प्रतिशत) की बनी होती है। कुछ *E. coli* कोशिकाओं में कोशिका झिल्ली के छोटे व पतले तंतु विस्तार (filamentous extensions) होते हैं, जिन्हें (pili) कहते हैं। कोशिका भित्ति जीव को न केवल बाहरी वातावरण से बचाती है, अपितु छोटे अणुओं तथा कुछ पोषक तत्वों को अपने में से गुजरने भी देती है। कोशिका का साइटोप्लाज्म अथवा कोशिका द्रव्य, कोशिका झिल्ली से घिरा होता है। साइटोप्लाज्म के अंदर ही एक अंतहीन लूप के रूप में द्विसूत्री (double stranded) DNA का एक अणु होता है, जो वृत्तीय (circular) DNA कहलाता है। वृत्तीय DNA का अणु दृढ़ता से कुंडलित (coiled) होकर केन्द्रीय हिस्सा (जीवाणु-क्रोमोसोम या गुणसूत्र) बनता है। इसके अतिरिक्त अधिकतर बैक्टीरियाओं में DNA के छोटे-छोटे वृत्तीय टुकड़े भी होते हैं, जिन्हें प्लैज्मिड (plasmid) कहते हैं। जीवाणु क्रोमोसोम के अलावा यह भी आनुवांशिक सूचना (genetic information) ले जाते हैं।

किसी कोशिका में केंद्रक के बाहर उपस्थित बैक्टीरिया प्रोटोप्लाज्म कहलाता है।



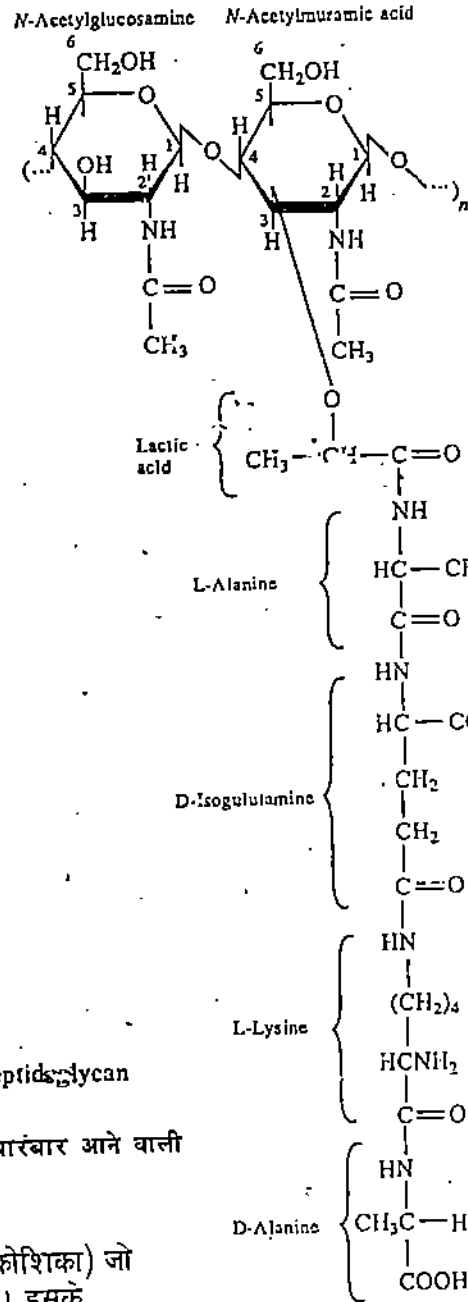
चित्र 1.2: *E. coli* कोशिका में रोम (pili) व कशाभ (flagella) कशाभ प्रोटोप्लाज्म के लंबे, पतले रीप (whip) होते हैं, जिनसे *E. coli* शीघ्रता से नोबन (propel) करते हैं; तथा पॉलीसोम वह संरचना है, जो दो या अधिक राइबोसोम के जुड़ने से बनता है तथा एकल mRNA अणु के स्थानांतरण का कार्य करता है



(क)

चित्र 1.2. (क) बैक्टीरिया की कोशिका भित्ति की पेप्टिडोग्लाइकन शृंखलाओं (peptidoglycan chain) की संरचना

(ख) बैक्टीरिया की कोशिका भित्ति की पेप्टिडोग्लाइकन इकाई में चारंबार आने वाली डाइसेकराइड इकाई की संरचना



(ख)

साइटोप्लाज्म में कई घने दानेदार तत्व भी होते हैं (लगभग 25,000 प्रति कोशिका) जो राइबोसोम कहलाते हैं। यह कोशिका में प्रोटीन संश्लेषण का स्थान होते हैं। इसके अतिरिक्त कई बैक्टीरियाओं के साइटोप्लाज्म में संचयन (storage) दाने होते हैं जिनमें वसा, स्टार्च तथा अन्य पोषक तत्व होते हैं तथा इसके साथ-साथ इनमें उपापचय (metabolism) के लिए आवश्यक सब एन्जाइम होते हैं। *E. coli* कोशिका की उपरोक्त व्याख्या से यह स्पष्ट हो जाना चाहिए कि इस जीव की संरचनात्मक व्यवस्था काफी सरल है। यद्यपि, यह अधिक जटिल कोशिका, जैसे यकृत की कोशिका में होने वाले अधिकतर कार्यों को करने में भी सक्षम होते हैं।

यूकैरियोटिक कोशिका के अध्ययन से पहले निम्न बोध प्रश्न को हल करने का प्रयास कीजिए।

**बोध प्रश्न 2**

रिक्त स्थानों की पूर्ति कीजिए :

- (क) ..... जीवों की मूल संरचनात्मक तथा कार्य संबंधी इकाई है।
- (ख) प्रोकैरियोटिक कोशिका में क्रोमोसोम के अतिरिक्त अणुओं को ..... कहते हैं।

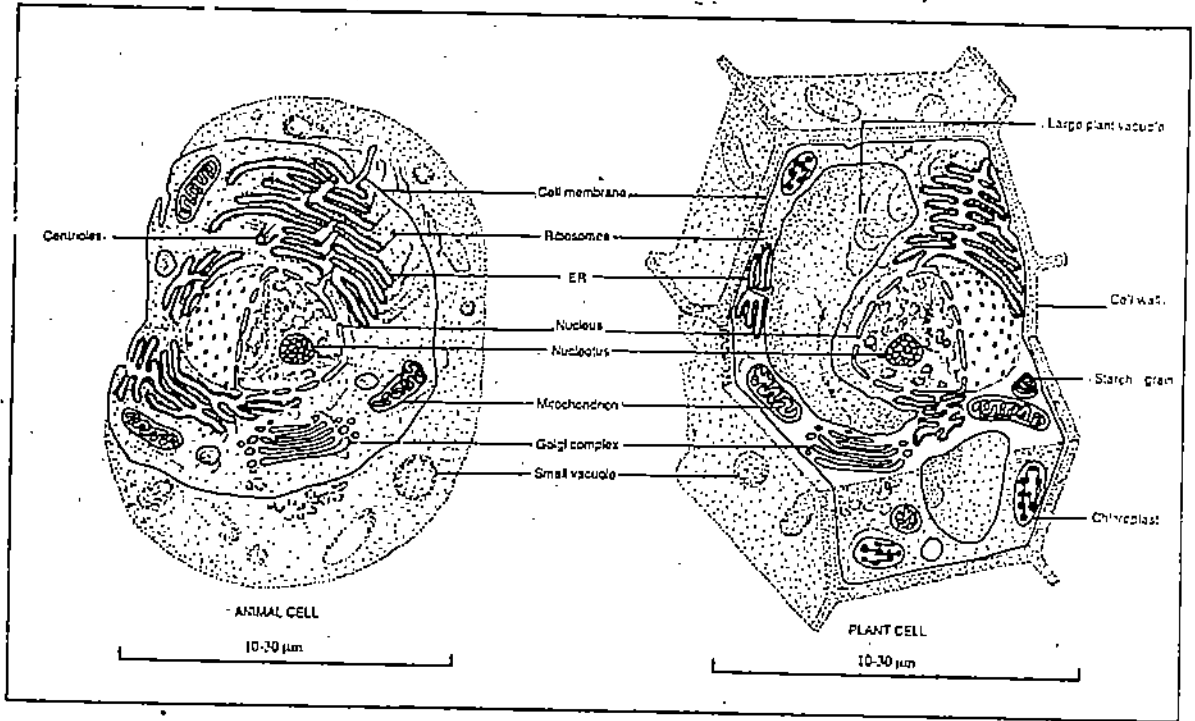
(ग) ..... कोशिका में वास्तविक केन्द्रक नहीं होता है।

(घ) बैक्टीरिया की कोशिका भित्ति का संरचनात्मक पॉलीसैकराइड ..... कहलाता है।

ऐसा माना जाता है कि प्रोकैरियोटिक कोशिकाओं की उत्पत्ति यूकैरियोटिक केन्द्रकी कोशिकाओं से पूर्व हुई और पहला यूकैरियोट किसी प्रकार के प्रोकैरियोट से ही उत्पन्न हुआ होगा। ऐसा लगभग एक अब वर्ष अथवा उससे अधिक पहले हुआ।

## 1.5 यूकैरियोटिक कोशिका

यूकैरियोटिक (ससीम केन्द्रकी) कोशिका एक जटिल इकाई है तथा इसमें कई संरचनात्मक लक्षण हैं, जो प्रोकैरियोट की सरल कोशिका में नहीं पाए जाते हैं। चित्र 1.4 में प्ररूपी जंतु व वनस्पति कोशिका के विभिन्न संरचनात्मक लक्षणों की विस्तृत जानकारी दी गई है। आइए, अब हम इस प्रकार के प्ररूपी यूकैरियोटिक कोशिका की संरचना का वर्णन करें।



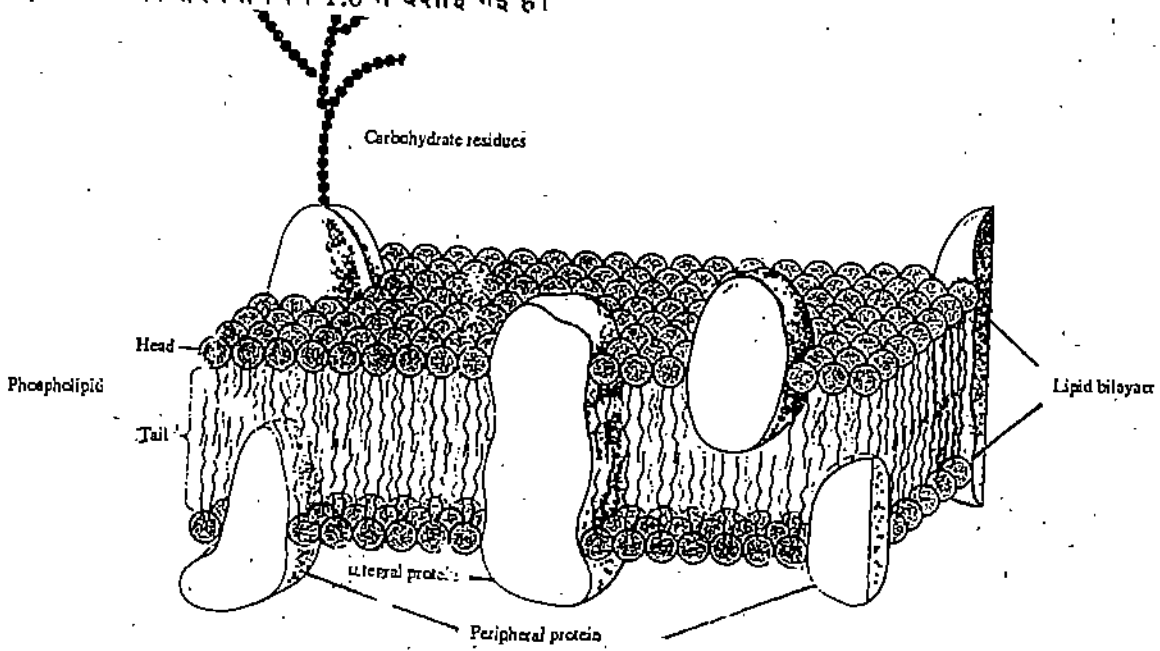
चित्र 1.4: प्ररूपी यूकैरियोटिक वनस्पति तथा जंतु कोशिका की संरचना

अधिकतर वनस्पति कोशिकाएं एक मोटी दृढ़ कोशिका भित्ति से घिरी होती हैं। यह कोशिका को आकार प्रदान करती है तथा यांत्रिक झटकों व परासरण दाब से रक्षा करती है। यह पॉलीसैकराइडों व प्रोटीनों से बने आधारी (matrix) में रचे हुए सेलुलोज तंतुओं से बनी होती है। कोशिका भित्ति बनाने वाले पदार्थ कोशिका में ही संश्लेषित होते हैं। इसके उपरांत वह जीवद्रव्य कला के निकट पैक होकर कोशिका से विसर्जित होते हैं और अंततः कोशिका भित्ति में निक्षेपित हो जाते हैं।

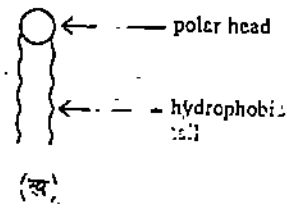
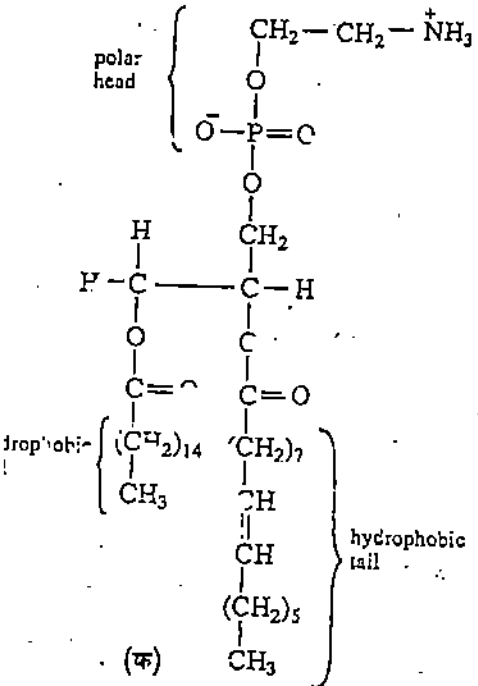
### 1.5.1 कोशिका झिल्ली

सभी कोशिकाएं, प्रोकैरियोटिक व यूकैरियोटिक, एक झिल्ली द्वारा घिरी होती हैं। इस झिल्ली को कोशिका झिल्ली (cell membrane) अथवा जीवद्रव्य कला (plasma membrane) कहते हैं। कोशिका झिल्ली कोशिका को आकार व दृढ़ता प्रदान करती है तथा पर्यावरण से बचाकर रखती है। कोशिका झिल्ली लिपिडों व प्रोटीनों की बनी होती है। कुछ झिल्लियों में 2-5 प्रतिशत कार्बोहाइड्रेट भी होते हैं। यह कार्बोहाइड्रेट लिपिड अथवा प्रोटीन से जुड़े होते हैं। वनस्पतियों में कोशिका झिल्ली के आसपास एक दृढ़ कोशिका भित्ति होती है, जिसका मुख्य अवयव सेलुलोज होता है। फंजाई में कोशिका भित्ति काइटिन की बनी होती है। कोशिका झिल्ली के लिए प्रतिपादित कई मॉडलों में एस.जे. सिंगर तथा जी.एल. निकल्सन (1972) द्वारा प्रतिपादित तरल मोजेक (fluid mosaic model) को सामान्यतः विश्वसनीय माना जाता है। यह मॉडल कोशिका झिल्ली के कई प्रेक्षित गुणों की संतोषजनक व्याख्या करता है। इस मॉडल के अनुसार झिल्ली के फॉस्फोलिपिड एक द्विपरत के रूप में व्यवस्थित होते हैं। उनके ध्रुवीय सिर बाहर की ओर व अध्रुवीय पूंछ अंदर की ओर होती है। झिल्ली की विभिन्न प्रोटीनें इस फॉस्फोलिपिड द्विपरत के बीच परिक्षिप्त (dispersed) होती हैं व झिल्ली के तल में गति करने के लिए स्वतंत्र होती हैं। कुछ प्रोटीनें

उच्चतम से सतही तौर पर ऊर्जा ढई भी हो सकती है। कोशिका झिल्ली की प्रोटीनें कोशिका झिल्ली के कई कार्यों के लिए उत्तरदायी होती हैं। ये कार्य हैं--वर्णात्मक अभिगमन (selective transport), कोशिक अभिज्ञान, कोशिका-कोशिका संचार, कोशिका अनुक्रिया व गतिशीलता। तरल मोजेक मॉडल का व्यवस्था चित्र व एक प्ररूपी फॉस्फोलिपिड की संरचना चित्र 1.6 में दर्शाई गई है।



चित्र 1.5: जैव-झिल्ली की तरल मोजेक मॉडल (सिंगर व निकलसन)



निष्क्रिय विसरण में अणु झिल्ली के आर-पार हो जाते हैं तथा उनके इस प्रकार की दर झिल्ली के आर-पार उपस्थित सांद्रता-प्रवणता (concentration gradient) के समानुपाती होती है।

सुगमिकृत विसरण में, अणुओं अथवा आयनों का झिल्ली के आर-पार अवगमन झिल्ली में उपस्थित वाहक प्रोटीनों (carrier proteins) के द्वारा होता है तथा यह झिल्ली के दोनों ओर पदार्थ की सांद्रता के अंतर द्वारा नियंत्रित होता है।

सक्रिय प्रक्रिया अथवा अभिगमन सुगमिकृत विसरण के समान ही होता है। इनमें केवल यही अंतर होता है कि सक्रिय प्रक्रिया में अणु अथवा आयन एक सांद्रता-प्रवणता के विपरीत गमन करते हैं व इसे लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है।

स्फेटाइडिल एथेनीलएमीन (फॉस्फोलिपिड)

प्र 1.6: (क) फॉस्फोलिपिड की संरचना

(ख) फॉस्फोलिपिड अणु के ध्रुवीय व अध्रुवीय सिरे दर्शाता अवस्था चित्र

कोशिका झिल्ली का एक मुख्य कार्य कोशिका की अभिलक्षणीय अवस्था को बनाए रखना यह ऐसा कोशिका व उसके परिवेश के बीच एक वर्णात्मक अवरोध बनाकर करती है। कोशिका के अंदर आने व बाहर जाने वाले अणुओं के आवागमन नियंत्रित करती है। कार्य के लिए कोशिका झिल्ली के पास कई अभिगमन प्रक्रियाएं उपलब्ध होती हैं। गन्धतः अध्रुवीय अणु ध्रुवीय अथवा आवेशित अणुओं की उपेक्षा अधिक सरलता से झिल्ली के आर-पार गमन कर सकते हैं। जबकि, कुछ पदार्थ जैसे कि, जल, निष्क्रिय विसरण द्वारा झिल्ली के अवरोध को पार करते हैं। ग्लूकोस जैसे कुछ अन्य पदार्थों का

अवगमन सुगमीकृत विसरण द्वारा होता है। इस प्रक्रिया में झिल्ली में उपस्थित विशिष्ट प्रोटीनों हिस्सा लेती हैं। यद्यपि, अधिकतर जैव अणु कोशिका में व उससे बाहर एक सक्रिय प्रक्रम द्वारा गमन करते हैं जिसमें ऊर्जा का संभरण होता है।

केन्द्रक यूकैरियोटिक कोशिका का एक महत्वपूर्ण हिस्सा होता है। अब हम इस कोशिकांग का वर्णन करेंगे।

### 1.5.2 केन्द्रक

कोशिका के अंदर कुछ त्रियाएं विशिष्ट संरचनाओं, जिन्हें कोशिकांग कहते हैं, में होती हैं। उदाहरण के लिए, प्रकाश-संश्लेषण क्लोरोप्लास्ट में होती है, जबकि श्वसन माइटोकॉन्ड्रिया में होता है। इस प्रकार कोशिकांग, कोशिका के बीच झिल्ली से अलग विशिष्ट क्षेत्र होते हैं।

DNA एक आनुवांशिक पदार्थ है जो एक पीढ़ी से दूसरी पीढ़ी में स्थानान्तरित होती है। आप DNA का अध्ययन इकाई 4 में करेंगे।

प्रोटीनों से जुड़े DNA के अणु को क्रोमोसोम कहते हैं।

सभी यूकैरियोटिक कोशिकाओं में केन्द्रक सबसे प्रमुख व सुस्पष्ट अंग होता है। चूंकि यह जीवित कोशिका में संरचना विहीन प्रतीत होता है, इसलिए इसे विशिष्ट अभिरंजन विधियों द्वारा देखा जाता है। ऐसे में यह एक बड़े व घने काय के रूप में दिखाई देता है। केन्द्रक एक द्विपरतीय झिल्ली द्वारा घिरा होता है, जिसमें छिद्र होते हैं। यह छिद्र केन्द्रक के आर-पार पदार्थों के वर्णात्मक गमन का कार्य करते हैं। कोशिका का "नियंत्रण केन्द्र" होने के कारण इसमें क्रोमेटिन होता है। क्रोमेटिन DNA का बना होता है व इसमें पांच क्षारकीय प्रोटीनें होती हैं, जिन्हें हिस्टोन (histones) कहते हैं। हिस्टोन छोटी प्रोटीनें होती हैं, जिनका द्रव्यमान 11,000 से 21,000 के बीच होता है तथा इनमें क्षारकीय ऐमीनों अम्लों की उच्च मात्रा होती है। लाइसिन तथा अर्जिनिन इन ऐमीनों अम्लों के उदाहरण हैं। यूकैरियोटिक कोशिकाओं में DNA की मात्रा प्रोकैरियोटिक कोशिकाओं की अपेक्षा कहीं अधिक होती है। इस प्रकार जबकि *E.coli* की कोशिका में कुल DNA की मात्रा लगभग  $\times 10^6$  क्षारक युग्म होती है, वहीं खमीर (yeast) में इसकी मात्रा लगभग  $1.35 \times 10^7$  क्षारक युग्म होती है तथा मानव कोशिका में लगभग  $2.9 \times 10^9$  क्षारक युग्म होते हैं। यूकैरियोटिक कोशिका के DNA का एक बड़ा भाग प्रोटीनों के लिए सांकेतिक नहीं होता है तथा "कबाड़" DNA (junk DNA) कहलाता है, जिसका कार्य अभी तक स्पष्ट नहीं है। केन्द्रकीय DNA दो अथवा दो से अधिक क्रोमोसोमों में बंटा होता है। इसकी संख्या अलग-अलग यूकैरियोटिक कोशिकाओं में अलग-अलग होती है तथा यह प्रत्येक जीव के लिए विशिष्ट होती है। उदाहरण के लिए, खमीर की कोशिका में 12-18 क्रोमोसोम होते हैं, जबकि मनुष्यों में क्रोमोसोम के 23 युग्म होते हैं। केन्द्रक द्रव्य (nucleoplasm) से भरा होता है, जिसमें त्यक्तीक अम्लों के संश्लेषण से संबंधित कई एंजाइम होते हैं। केन्द्रक में एक लगभग गोलाकार काय भी होता है, जिसे केन्द्रक (nucleolus) कहते हैं। इसमें राइबोसोमों का RNA वाला भाग संश्लेषित होता है। कोशिका विभाजन के समय केन्द्रक व उससे संबंधित क्रोमोसोमों में बहुत परिवर्तन होते हैं, जिनमें आनुवांशिक पदार्थ की एक प्रतिलिपि तैयार होती है तथा विभाजन में वनने वाली दोनों कोशिकाओं में आनुवांशिक पदार्थ का एक समान बंटवारा हो जाता है।

अब हम एक ऐसे कोशिकांग का वर्णन करेंगे, जिसमें दो महत्वपूर्ण जैव अणुओं, प्रोटीनों तथा लिपिडों का संश्लेषण होता है।

### 1.5.3 अंतर्द्रव्यी जालिका

राइबोसोम, साइटोप्लास्मी कण होते हैं, जो RNA तथा प्रोटीन के अणुओं के बने होते हैं। यह प्रोटीन संश्लेषण के लिए उत्तरदायी निकस्य का आधार बनाते हैं। राइबोसोमों का केन्द्रक में समुच्चय (assembly) होता है तथा इसके बाद वह केन्द्रकीय झिल्ली से छिद्रों से होते हुए साइटोप्लाज्म में आ जाते हैं। यहाँ पर इनकी संख्या सैकड़ों-हजारों में होती है तथा सभी कोशिका के लिए प्रोटीन संश्लेषण का कार्य करते हैं प्रोटीन जैव संश्लेषण का वर्णन हम इकाई 14 में करेंगे।

अधिकतर यूकैरियोटिक कोशिकाओं में आंतरिक झिल्लियों का एक जटिल जाल होता है, जिसे अंतर्द्रव्यी जालिका (endoplasmic reticulum) कहते हैं। यह कोशिका के बीच वाहिकाएँ तथा पुटिकाएँ (vesicles) बनाती हैं। विभिन्न प्रोटीनों व लिपिडों को संश्लेषित करने वाली अंतर्द्रव्यी जालिका दो प्रकार की होती है। चिकनी अंतर्द्रव्यी जालिका (smooth ER) तथा रुक्ष अंतर्द्रव्यी जालिका (rough ER)। चिकनी अंतर्द्रव्यी जालिका केवल झिल्ला के पदार्थ की बनी होती है, जबकि रुक्ष अंतर्द्रव्यी जालिका में कई राइबोसोम जुड़े होते हैं। रुक्ष अंतर्द्रव्यी जालिका से संबंधित राइबोसोम उन प्रोटीनों को संश्लेषित करते हैं, जो कोशिका से बाहर जाती हैं अथवा वह जो झिल्ली का हिस्सा बन जाती है। चिकनी अंतर्द्रव्यी जालिका में राइबोसोम नहीं होते तथा यह मुख्यतः लिपिडों के संश्लेषण का कार्य करती है।

बांध प्रश्न 3

नीचे "क" में दिए गए कथनों का "ख" में दिए गए कथनों से मिलान कीजिए

- |                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| क                    | ख                   |
| क) सिंगर तथा निकल्सन | 1) कोशिका झिल्ली    |
| ख) वरणात्मक अवरोध    | 2) क्षारकीय प्रोटीन |



- ii) पाइरुवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल तथा TCA चक्र के एन्जाइमों में कौन-से परिवर्तनों ने भी ऊर्जा आवेश के सामान्य होने में योगदान दिया होगा ?
- iii) ऊर्जा आवेश का ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण पर क्या प्रभाव होता है ?
- 2) सामान्य परिस्थितियों में कीटोन यौगिकों का स्तर बहुत कम होता है, परंतु भुखमरी की अवस्था में यह तीव्रता से बढ़ जाता है। इसकी व्याख्या कीजिए।
- 3) उपापचयी प्रक्रियाओं के अपने ज्ञान के आधार पर व्याख्या कीजिए कि क्या मनुष्य --
- i) ग्लूकोस को वसा अम्लों में परिवर्तित कर सकते हैं ? तथा
- ii) वसा अम्लों को ग्लूकोस में परिवर्तित कर सकते हैं ?
- 4) विभिन्न उपापचयी पथों के नियमन में समन्वय के दारे में संक्षेप में लिखिए।

## 11.11 उत्तर

### बोध प्रश्न

- 1) ऊर्जा आवेश = 0.83
- 2) हैक्जोकाइनेस द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रिया का उत्पाद, नामतः ग्लूकोस-6-फॉस्फेट, को ग्लाइकोजन संश्लेषण तथा पेन्टोस फॉस्फेट पथ की ओर निर्देशित किया जा सकता है। अन्य शर्कराएं, हैक्जोकाइनेस तथा फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेस द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रियाओं के बीच ग्लाइकोलाइसिस पथ में प्रवेश करती हैं। फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेस एक ऐसी अभिक्रिया को उत्प्रेरित करता है, जो सभी शर्कराओं के ग्लाइकोलाइसिस के लिए विशिष्ट पहला पद होता है।
- 3) i) ATP, ऐलानिन
- ii) पाइरुवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल
- iii) उत्पाद संदमन
- 4) TCA चक्र उपापचय में केन्द्रीय भूमिका निभाता है तथा प्रभावी रूप से आवश्यक ऊर्जा उत्पन्न करने व जैवसंश्लेषी पथों के लिए पूर्वगमियों को उपलब्ध कराने के लिए इसका नियमन होता है।
- 5) i) सत्य, चूंकि विद्युत्प्रवाह की उपस्थिति में इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला ही संभव होती है, ATP का संश्लेषण नहीं तथा इसमें प्राप्त होने वाली ऊर्जा का ऊष्मा के रूप में क्षय होता है।
- ii) सत्य, क्योंकि विद्युत्प्रवाह ATP के संश्लेषण को कम करता है।
- iii) असत्य, क्योंकि ATP को संश्लेषित कर पाने की समर्थता में कमी होने पर ATP का उत्पादन अनिवार्यतः क्रियाधार स्तर फॉस्फोरिलीकरण द्वारा बढ़ जाएगा।
- iv) असत्य, जब इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला का ATP संश्लेषण से विद्युत्प्रवाह होता है, तब इसकी दर बढ़ जाती है जिससे ऑक्सीजन की आवश्यकता भी बढ़ जाती है।
- 6) i) नहीं, वसा अम्लों को ग्लूकोस में परिवर्तित करने के लिए आवश्यक एन्जाइम, आइसोसिट्रेट लाइसेस मानव शरीर में नहीं होता है।
- ii) हाँ, ग्लूकोसजनक ऐमीनो अम्लों के विघटन से, रक्त में ग्लूकोस के स्तर को बनाए रखने में सहायता मिल सकती है।

### अंत में कुछ प्रश्न

- i) कम ऊर्जा आवेश के माने हैं-- ऐडेनिलेट पूल में ADP तथा AMP की मात्रा में बढ़ोतरी। फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेस ने इससे सक्रिय होकर ग्लाइकोलाइसिस को प्रेरित किया होगा जिससे ADP का ATP में परिवर्तन तथा ऊर्जा आवेश का सामान्य मान पुनः प्राप्त हुआ होगा।
- ii) कम ऊर्जा आवेश पर पाइरुवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल उद्वीग्न होता है। सिट्रेट सिंथेस तथा आइसोसिट्रेट डिहाइड्रोजेनेस दोनों ATP द्वारा संदमित होते हैं। कम ऊर्जा आवेश पर यह संदमन आंशिक रूप से हट गया होगा। इसके परिणामस्वरूप ग्लाइकोलाइसिस के दौरान बने पाइरुवेट के उपचयन की दर बढ़ गई होगी।
- iii) ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण ADP द्वारा उद्वीग्न होता है। इसके परिणामस्वरूप कम ऊर्जा आवेश पर यह प्रक्रिया उच्च दर पर होगी।

33 B

- 2) सामान्य परिस्थितियों में ऐसीटिल-CoA की ऐसीटिल अर्थात् TCA चक्र तथा ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण द्वारा उपचित होती है। ऐसीटिल-CoA का आधिक्य वसा अम्लों में परिवर्तित हो जाता है। लंबी भुखमरी की अवस्था में पोषक कार्बोहाइड्रेटों की आपूर्ति पर रोक लग जाती है तथा संचयी कार्बोहाइड्रेट, ग्लाइकोजन का क्षय हो जाता है। अपनी ऊर्जा आवश्यकताओं को पूरा करने के लिए शरीर संचयी वसाओं का उपयोग करता है जो तीव्रता से ऐसीटिल-CoA में विघटित हो जाते हैं। चूंकि TCA चक्र, ऐनाप्लिरोसिस तथा अपने मध्यवर्तियों के स्तर को बनाए रखने के लिए कार्बोहाइड्रेटों पर निर्भर करता है, इसलिए भुखमरी की अवस्था में इसकी गति धीमी हो जाती है तथा यह वसा अम्ल विघटन से प्राप्त सारे ऐसीटिल-CoA का उपभोग नहीं कर सकता। इसके परिणामस्वरूप ऐसीटिल-CoA को कीटोन यौगिकों को बनाने के लिए निर्देशित कर दिया जाता है।
- 3) i) हाँ, मनुष्यों में, ग्लूकोस को पाइरूवेट तथा ऐसीटिल-CoA में तथा ऐसीटिल-CoA से वसा अम्लों के जैव संश्लेषण के लिए आवश्यक, सभी एन्जाइम उपलब्ध होते हैं।  
ii) नहीं, वसा अम्लों से प्राप्त ऐसीटिल-CoA का ग्लूकोस में परिवर्तन केवल ग्लाइकोक्सीलेट चक्र के एन्जाइमों द्वारा ही संभव है। मनुष्यों में इस चक्र का प्रमुख एन्जाइम, आइसोसिट्रेट लाइसेस नहीं होता है, इसलिए वे वसा अम्लों को ग्लूकोस में परिवर्तित नहीं कर सकते।
- 4) उत्तर के लिए भाग 11.8 देखिए।

## इकाई 12 प्रकाश संश्लेषण

### इकाई की रूपरेखा

- 12.1 प्रस्तावना  
उद्देश्य
- 12.2 प्रकाश संश्लेषण का ऐतिहासिक परिवेश
- 12.3 वनस्पतियों में प्रकाश संश्लेषण का स्थान : क्लोरोप्लास्ट
- 12.4 प्रकाश संश्लेषण में प्रकाश का अवशोषण  
अणुओं द्वारा अवशोषित प्रकाश ऊर्जा की नियति  
प्रकाश संश्लेषण में प्रकाश अवशोषी पदार्थ
- 12.5 प्रकाश संश्लेषण की प्रकाशकीय अभिक्रियाएँ  
प्रकाश निकाय I की भूमिका : NADPH का बनना  
प्रकाश निकाय II की भूमिका :  $H_2O$  का विघटन  
प्रकाश निकाय I व II की अन्वेषिक्रिया
- 12.6 प्रकाश संश्लेषण की अप्रकाशकीय अभिक्रियाएँ
- 12.7 सारांश
- 12.8 अंत में कुछ प्रश्न
- 12.9 उत्तर

### 12.1 प्रस्तावना

पिछली इकाइयों में आपने कुछ उपापचयी पथों का अध्ययन किया था जिनमें कार्बनिक ईंधन के अणुओं के उपचयन द्वारा ऊर्जा उत्पन्न होती है तथा ATP का संश्लेषण होता है। ग्लूकोस का उपचयन इसका एक उदाहरण है। ग्लूकोस जैसे अणु द्वितीयक ऊर्जा स्रोत के रूप में कार्य करते हैं क्योंकि मनुष्य व जंतु कार्बनिक पोषक तत्वों के लिए पेड़-पौधों पर निर्भर करते हैं, जबकि दूसरी ओर वनस्पतियाँ वायुमंडल से कार्बन डाइऑक्साइड तथा ऊर्जा के प्राथमिक स्रोत अर्थात्, सूर्य के प्रकाश का उपयोग करके कार्बोहाइड्रेटों व अन्य कार्बनिक द्रव्यों का संश्लेषण कर सकती हैं। सूर्य के प्रकाश के प्रभाव से कार्बन डाइऑक्साइड तथा जल से कार्बोहाइड्रेटों के संश्लेषण को प्रकाश संश्लेषण (photosynthesis) अर्थात्, एक ऐसा संश्लेषण जो प्रकाश ऊर्जा पर निर्भर करता है, कहते हैं। प्रकाश संश्लेषण जंतुओं में होने वाली श्वसन प्रक्रिया का विपरीत होता है। हम कह सकते हैं कि ये दो प्रक्रियाएँ एक-दूसरे की पूरक हैं, क्योंकि अपने आरंभिक अभिकारकों के लिए ये एक-दूसरे पर निर्भर करती हैं। इसलिए प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया को समझना भी महत्वपूर्ण है। इस इकाई में आप यह अध्ययन करेंगे कि वनस्पतियाँ ऊर्जा के प्राथमिक स्रोत को उपयोगी रासायनिक रूप में परिवर्तित करके उसका उपयोग कार्बोहाइड्रेटों के संश्लेषण में किस प्रकार करती हैं। इसमें आप प्रकाश संश्लेषण की प्रकाशकीय तथा अप्रकाशकीय अभिक्रियाओं का अध्ययन करेंगे।

#### उद्देश्य

इस इकाई के अध्ययन के बाद आप :

- वनस्पतियों के प्रकाश संश्लेषी तंत्र का वर्णन कर सकेंगे,
- प्रकाश ऊर्जा के रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तन की क्रियाविधि को समझ सकेंगे, तथा
- इस रासायनिक ऊर्जा के उपयोग द्वारा कार्बन डाइऑक्साइड से कार्बोहाइड्रेटों के संश्लेषण के परिचालन, अर्थात्,  $CO_2$ -स्थायीकरण का वर्णन कर सकेंगे।

### 12.2 प्रकाश संश्लेषण का ऐतिहासिक परिवेश

इस भाग में हम उन प्रयोगों की संक्षिप्त व्याख्या करेंगे जिनसे यह पता चला कि हरी वनस्पतियों द्वारा कार्बोहाइड्रेटों के संश्लेषण में प्रकाश ऊर्जा का उपयोग होता है तथा इस प्रक्रिया में प्रकाशकीय व अप्रकाशकीय अभिक्रियाएँ होती हैं। जोसेफ प्रिस्टली, ऑक्सीजन के लेभकतकों में से एक, ने पहले पहल सन् 1780 में

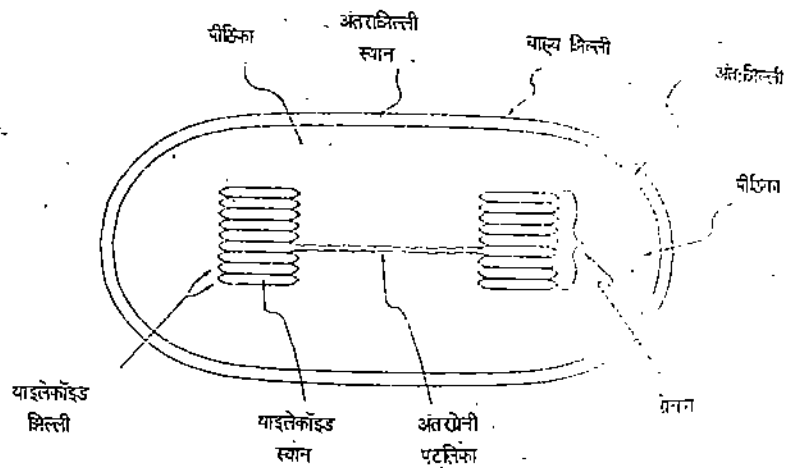
ध्वसन (अथवा दहन) तथा प्रकाश संश्लेषण की एक-दूसरे पर निर्भरता को दर्शाया। उन्होंने दर्शाया कि किर्ना जार (jar) में मोमवत्ती को जलाने पर उसमें उपस्थित वायु का अवक्षय (depletion) हो जाता है। यह अवक्षयित वायु दहन अथवा जंतु (चूहे) के जीवन को बनाए रखने में असक्षम होती है। इस अवक्षयित वायु में पुदीने की टहनी डाल देने पर यह पुनः सक्षम हो जाती है। इस पुनः स्थापित वायु में दहन संभव होता है तथा इतमें रखा गया चूहा भी जीवित रहता है। इसके कुछ समय के बाद एक उच्च विद्विक्तक, यान इग्नेन्हाऊज़ ने दर्शाया कि हरी वनस्पतियों द्वारा इस प्रकार वायु को पुनः स्थापित करना, प्रकाश पर निर्भर करता है। सन् 1842 में ऊर्जा संरक्षण के सिद्धांत के खोजकर्ता, जर्मनवासी राबर्ट मेयर ने दर्शाया कि सूर्य का प्रकाश, प्रकाश संश्लेषण के लिए आवश्यक ऊर्जा को उपलब्ध कराता है। उन्होंने लिखा कि "वनस्पतियाँ एक प्रकार की ऊर्जा, प्रकाश, को लेकर एक अन्य प्रकार की ऊर्जा, रासायनिक परिवर्तन उत्पन्न करती हैं"।

सन् 1937 में केम्ब्रिज, इंग्लैण्ड के आर हिल ने दर्शाया कि जलीय माध्यम में निलंबित पत्तियों के निष्कर्ष (leaf extract) प्रकाश में रखने पर कुछ अजैविक इलेक्ट्रॉन अथवा हाइड्रोजनग्राहियों को अपचित करके ऑक्सीजन उत्पन्न कर सकते हैं तथा इसमें कार्बन डाइऑक्साइड का स्थायीकरण (fixation) नहीं होता है। इस प्रयोग से पता चलता है कि प्रकाश संश्लेषण के दौरान उत्पन्न होने वाली ऑक्सीजन जल से उत्पन्न होती है। बाद में  $^{16}\text{O}$  से अंकित जल के उपयोग द्वारा इसका सत्यापन भी किया गया। इसमें प्राप्त होने वाली ऑक्सीजन में  $^{16}\text{O}$  पाया गया। दूसरे इससे यह पता चलता है कि ऑक्सीजन का बनना तथा कार्बन डाइऑक्साइड का स्थायीकरण दो अलग-अलग प्रक्रियाएँ होती हैं। इसके बाद डी. आई. आरनन् ने दर्शाया कि  $\text{CO}_2$  की अनुपस्थिति में किरणित क्लोरोप्लास्ट अप्रकाशकीय परिस्थितियों में भी कार्बन डाइऑक्साइड को स्थायीकृत कर सकते हैं। इन अध्ययनों से पता चलता है कि प्रकाश संश्लेषण में एक प्रकाशकीय अभिक्रिया (light reaction) जिसमें ऑक्सीजन बनती है, तथा एक अप्रकाशकीय अभिक्रिया होती है जिसमें कार्बन डाइऑक्साइड का स्थायीकरण होता है। यह अभिक्रिया प्रकाशकीय अभिक्रिया पर निर्भर करती है।

प्रकाश संश्लेषण केवल वनस्पतियों तक ही सीमित नहीं है, अपितु नील-हरित शैवालों (algae) तथा कुछ बैक्टीरियाओं जैसे अन्य जीवों में भी होता है। ये सूक्ष्म जीव पृथ्वी पर होने वाले कुल प्रकाश संश्लेषण के आधे से भी अधिक भाग के लिए उत्तरदायी हैं। इस इकाई में हमारी चर्चा केवल वनस्पति निकायों तक ही सीमित होगी। प्रकाश संश्लेषण में लागू होने वाले प्रकाश-रासायनिक नियम सभी जीवों में एक समान ही होते हैं। यद्यपि प्रकाशसंश्लेषी संयंत्र का अंतराकोशिकीय स्थान तथा संगठन अलग-अलग स्वीशीज में अलग-अलग हो सकते हैं। आप इसका अध्ययन अगले भाग में करेंगे।

### 12.3 वनस्पतियों में प्रकाश संश्लेषण का स्थान: क्लोरोप्लास्ट

वनस्पतियों में प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया क्लोरोप्लास्टों में होती है। इनका आकार अलग-अलग पादपों में अलग-अलग हो सकता है। सामान्यतः ये माइटोकॉन्ड्रिया से बड़े होते हैं। तथा इन्हीं के समान इनमें अपने



चित्र 12.1: क्लोरोप्लास्ट का व्यवस्थात्मक आरेख

जीन भी होते हैं। आपने इकाई 1 में क्लोरोप्लास्ट की संरचना का विस्तृत अध्ययन किया था। चित्र 12.1 में दिए गए व्यवस्थात्मक चित्र द्वारा इसके मुख्य संरचनात्मक तत्वों का पुनः अवलोकन किया गया है। क्लोरोप्लास्ट एक अंतः व एक वाह्य झिल्ली द्वारा घिरे होते हैं। अंतः झिल्ली के अंदर की ओर कई धैलियों अथवा पुटिकाएँ होती हैं, जिन्हें थाइलेकोइड (thylakoids) कहते हैं। ये स्तम्भ के रूप में एक-दूसरे के ऊपर टिके रहते हैं। इन स्तम्भनुमा संरचनाओं को ग्रेना (grana, एकवचन में ग्रेनम) कहते हैं। विभिन्न ग्रेना थाइलेकोइड की झिल्ली के प्रसार, जिन्हें पटलिकाएँ (lamella) कहते हैं, द्वारा जुड़े होते हैं। थाइलेकोइडों के आसपास का माध्यम जो अंतः झिल्ली द्वारा घिरा होता है, पीठिका (stroma) कहलाता है।

प्रकाश संश्लेषी बैक्टीरिया तथा नील-हरित शैवालों में क्लोरोप्लास्ट नहीं होता है। इनके प्रकाश अवशोषी अणु इनकी रीजम झिल्ली अथवा पुटिकामय (vesicular) निकायों, जिन्हें कोनेटोफोर कहते हैं, में स्थित होते हैं।

थाइलेकोइडों तथा पटलिकाओं की झिल्लियों में प्रकाश अवशोषी अणु तथा प्रकाश ऊर्जा के रासायनिक ऊर्जा में तत्वांतरण के लिए आवश्यक अन्य पदार्थ होते हैं। इस प्रकार प्रकाश संश्लेषण की प्रकाशकीय अभिक्रियाएँ झिल्ली के अजलीय लिपिड वातावरण में होती हैं। CO<sub>2</sub> के वास्तविक स्थायीकरण तथा कार्बोहाइड्रेटों के संश्लेषण के लिए उत्तरदायी एन्जाइम घुलनशील प्रोटीन होते हैं तथा स्ट्रोमा में पाए जाते हैं। प्रकाश संश्लेषण की अभिक्रियाओं को समझने के लिए प्रकाश अवशोषण की प्रक्रिया तथा इसके लिए उत्तरदायी कारकों के बारे में जानना अनिवार्य होता है। इनका अध्ययन आप आगे भाग में करेंगे। इससे पहले भाग 12.2 व 12.3 पर आधारित निम्नलिखित बोध प्रश्न को हल करने का प्रयास कीजिए।

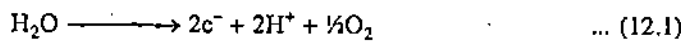
बोध प्रश्न 1

(क) हिल के प्रयोग व प्रेक्षणों के आधार पर प्रकाश संश्लेषण की प्रकाशकीय व अप्रकाशकीय अभिक्रियाओं को लिखिए।

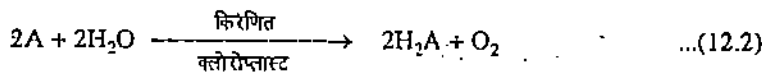
(ख) आपके विचार में प्रकाश संश्लेषण की प्रकाशकीय व अप्रकाशकीय अभिक्रियाएँ क्लोरोप्लास्ट के किस भाग में होती हैं?

## 12.4 प्रकाश संश्लेषण में प्रकाश का अंचशोषण

यह भाग मुख्यतः प्रकाश के अवशोषण व उसके रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तन के लिए उत्तरदायी कारकों से संबंधित है। प्रकाश संश्लेषण की प्रकाशकीय अभिक्रियाएँ ऊर्जा प्रग्रहण (energy trapping) अभिक्रियाएँ होती हैं, जिनमें, जैसा पहले बताया गया है, जल के अणुओं के विघटन से ऑक्सीजन प्राप्त होती है, अर्थात्,

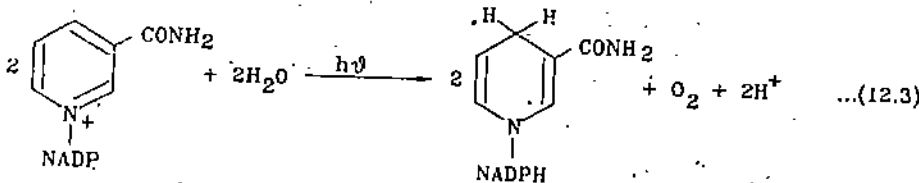


जैसा इस अभिक्रिया से स्पष्ट है कि जल इलेक्ट्रॉन दाता का कार्य करता है, इसलिए प्रकाशकीय अभिक्रिया में इलेक्ट्रॉन का स्थानांतरण जल से किसी ऐसे ग्राही (acceptor) पर होना चाहिए जो एक अपचायक के रूप में कार्य कर सके। चूंकि यह प्रेक्षण हिल व उसके सहयोगियों द्वारा किया गया था, इसलिए इसे हिल अभिक्रिया कहते हैं। सामान्यीकृत रूप में इसे निम्न प्रकार से लिख सकते हैं :



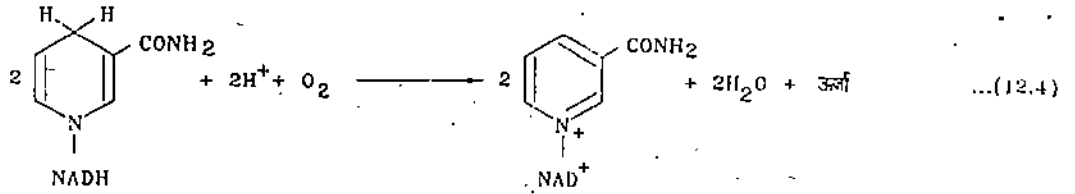
इस अभिक्रिया में इलेक्ट्रॉनों अथवा हाइड्रोजन के ग्राही (A) को हिल अभिकर्मक (Hill reagent) कहते हैं।

इसके बाद, हिल अभिकर्मक के सनातन कार्य करने वाले प्राकृतिक यौगिकों की खोज की गई। सन् 1951 में इसे निकोटिनामाइड ऐडेनिन डाइन्यूक्लिओटाइड फॉस्फेट (NADP<sup>+</sup>; संरचना के लिए इकाई 7 देखें) के रूप में पहचाना गया। इसके अपचयन से NADPH प्राप्त होता है। समीकरण 12.3 में यह अभिक्रिया दर्शाई गई है। इसमें NADP<sup>+</sup> की संरचना का केवल निकोटिनामाइड भाग ही दिखाया गया है।



जैसा आप बाद में देखेंगे कि प्रकाशकीय अभिक्रिया में ऊपर दी गई अभिक्रिया के साथ-साथ होने वाली एक अन्य अभिक्रिया में ADP व फॉस्फेट आयन से ATP बनता है।

समीकरण 12.3 में दी गई अभिक्रिया की तुलना माइटोकॉन्ड्रिया में होने वाले इलेक्ट्रॉन अभिगमन के कुल परिवर्तन (समीकरण 12.4) से कीजिए। इसका वर्णन हमने इकाई 8 में किया था।



आप देख सकते हैं कि समीकरण 12.3 व 12.4 द्वारा दर्शाई गई अभिक्रियाएँ एक-दूसरे के विपरीत होती हैं। केवल सहएन्जाइमों (NAD<sup>+</sup> तथा NADP<sup>+</sup>) की संरचना में थोड़ा-सा अंतर होता है। माइटोकॉन्ड्रिया इलेक्ट्रॉन अभिगमन में इलेक्ट्रॉनों का प्रवाह प्रबल अपचायक (NAD<sup>+</sup>/NADH युग्म; pH = 7 पर मानक अपचयन विभव, E<sup>0</sup> = -0.320V) से प्रबल उपचायक (O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O युग्म; E<sup>0</sup> = 0.82V) की ओर होता है तथा इस प्रक्रिया में प्राप्त होने वाली ऊर्जा से ATP का संश्लेषण होता है। इसके विपरीत प्रकाश संश्लेषण में इलेक्ट्रॉनों का प्रवाह उपचायक से अपचायक की ओर होता है। ऐसा प्रकाश ऊर्जा के निवेश द्वारा संभव हो पाता है। इस प्रकार समीकरण 12.3, प्रकाश ऊर्जा के रासायनिक ऊर्जा में तत्वांतरण (transduction) की एक अभिक्रिया को दर्शाती है। ऐसा करने के लिए पहले आपतित (incident) प्रकाश का अवशोषण होना आवश्यक होता है। प्रकाश अवशोषी पदार्थों अर्थात्, वर्णकों (pigments) की प्रकृति तथा अवशोषित प्रकाश ऊर्जा के रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तन से संबंधित अभिक्रियाओं के क्रम का वर्णन बाद के भागों में किया जाएगा। इन प्रक्रियाओं के ठीक प्रकार से समझने के लिए प्रकाश ऊर्जा की प्रकृति तथा अणुओं द्वारा अवशोषण के उपरांत इसकी नियति से संबंधित पहलुओं की चर्चा करना अनिवार्य है।

### 12.4.1 अणुओं द्वारा अवशोषित प्रकाश ऊर्जा की नियति

आपको याद होगा कि प्रकाश एक ऐसा विद्युत् चुम्बकीय क्षेत्र होता है, जो समष्टि (space) तथा समय में ज्यावकीय दोलन (sinusoidal oscillation) करता है। यह क्वांटा, जिन्हें फोटॉन (photons) भी कहते हैं, के रूप में द्रव्य से अन्योन्यक्रिया करता है। प्रत्येक फोटॉन में ऊर्जा की निर्धारित मात्रा होती है। प्रकाश की ऊर्जा उसकी आवृत्ति (frequency,  $\nu$ ), से संबंधित होती है तथा इसे  $h\nu$  के रूप में लिख सकते हैं, जहाँ पर  $h$  प्लांक नियतांक ( $1.583 \times 10^{-34}$  cal) होता है। चूंकि, प्रकाश की आवृत्ति तथा तरंग दैर्घ्य (wavelength) एक-दूसरे से विलोमतः संबंधित होते हैं, इसलिए प्रकाश की ऊर्जा उसके तरंग दैर्घ्य के विलोमानुपाती होती है। प्रकाश के एक मोल अथवा एक आइन्सटाइन अर्थात्  $6.023 \times 10^{23}$  फोटॉनों के तुल्य ऊर्जा, E का kcal में मान निम्नलिखित समीकरण द्वारा दिया जाता है :

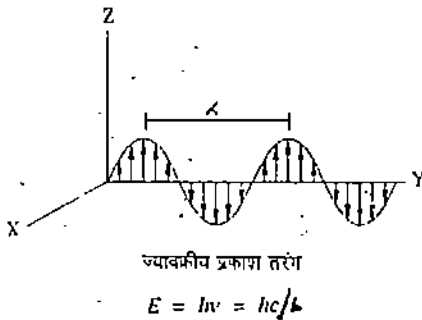
$$E = \frac{28,600}{\text{तरंग दैर्घ्य (nm)}} \text{ kcal}$$

दृश्य क्षेत्र (visible range) की विभिन्न तरंग दैर्घ्यों के ऊर्जा तुल्यों को सारणी 12.1 में दिया गया है।

सारणी 12.1: दृश्य क्षेत्र में प्रकाश के ऊर्जा-तुल्य

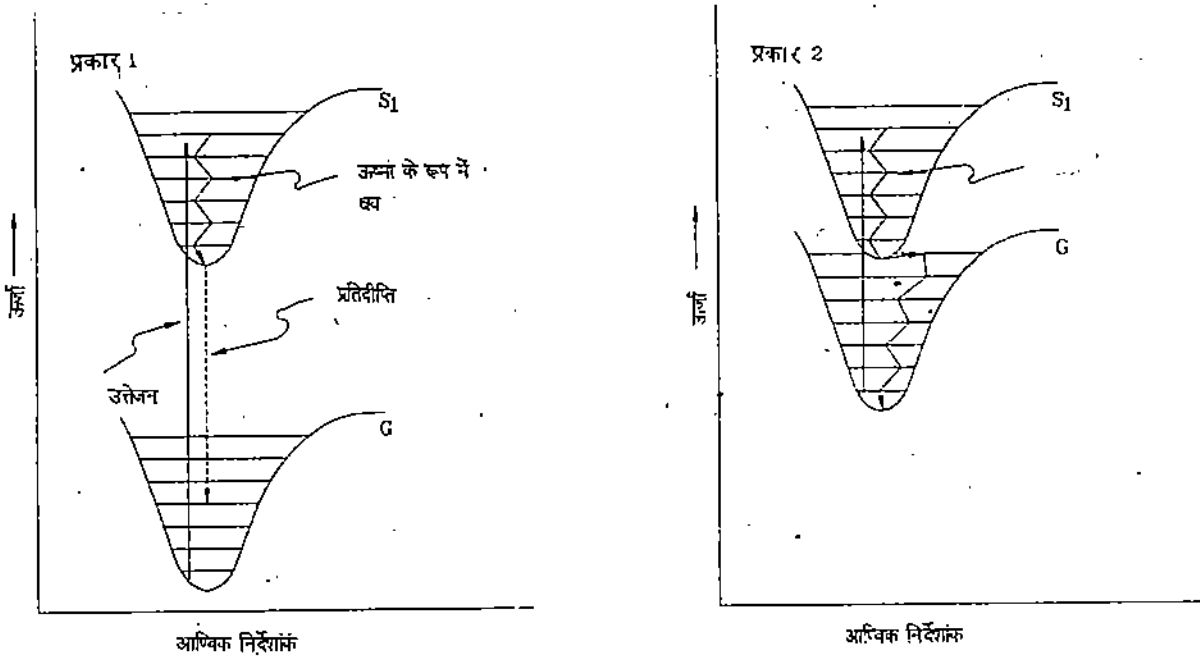
तरंग दैर्घ्य (nm)	किरण का वर्ण	ऊर्जा प्रति आइन्सटाइन (kcal)	ऊर्जा प्रति आइन्सटाइन (kJ)
400	वैंगनी	71.5	299
500	हरा	57.2	239
600	संतरी	47.7	199
700	लाल	40.9	171

यदि प्रकाश के क्वांटम अर्थात्, फोटॉन की ऊर्जा किसी अणु की निम्नतम इलेक्ट्रॉनिक अवस्था अर्थात्, सबसे कम ऊर्जा वाली अवस्था से पहली अथवा अन्य उच्च उत्तेजित अवस्था (excited state) के किसी कंपन स्तर (vibrational levels) में इलेक्ट्रॉनों को ले जाने के लिए आवश्यक ऊर्जा के बराबर होती है (चित्र 12.2) तब उस अणु द्वारा प्रकाश के अवशोषण की संभावना अधिक होती है। इस उत्तेजित अणु की ऊर्जा का क्या

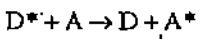


होता है? उत्तेजित अणु अवशोषित ऊर्जा के हास द्वारा पुनः निम्नतम अवस्था में आ जाता है। यह अवशोषित ऊर्जा मुख्यतः चार प्रकार से निकलती है। इन्हें चित्र 12.2 में दर्शाया गया है। यह अवशोषित ऊर्जा ऊष्मा अथवा प्रकाश, जैसा प्रतिदीप्ति (fluorescence) में होता है, के रूप में निकल सकती है। प्रतिदीप्ति की प्रक्रिया के लिए अणु की प्रथम इलेक्ट्रॉनिक उत्तेजित अवस्था के निम्नतम कंपन अवस्था के अपेक्षाकृत दीर्घायु (लगभग  $10^{-8}$  sec), होने की आवश्यकता होती है। ऊष्मा के रूप में क्षय अवशोषित ऊर्जा की हानि का सबसे सामान्य व तीव्र तरीका होना है। एक अन्य प्रकार में उत्तेजित अणु अपनी अवशोषित ऊर्जा को संघट्टन (collision) द्वारा किसी अन्य ग्राही अणु पर स्थानांतरित कर सकता है। यह एक अविकिरणी (nonradiative) प्रकार का स्थानांतरण होता है। इस तीसरे प्रकार को अनुनाद ऊर्जा स्थानांतरण (resonance energy transfer) भी कहते हैं। चौथे प्रकार में उत्तेजित अणु किसी अन्य अणु के साथ रासायनिक क्रिया, अर्थात्, इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण भी कर सकता है। अनुनाद ऊर्जा स्थानांतरण अथवा इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण का अणु के प्रतिदीप्त होने से पहले ही हो जाना आवश्यक होता है।

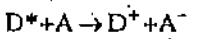
प्रतिदीप्ति एक ऐसी परिघटना है जिसमें कुछ पदार्थ किसी पदार्थ किसी तरंग दैर्घ्य के प्रकाश का अवशोषण करते हैं व किसी अन्य तरंग दैर्घ्य के प्रकाश को उत्सर्जित कर देते हैं। इसमें कोई रासायनिक अभिक्रिया नहीं होती है।



प्रकार-3 : अविकिरणी ऊर्जा स्थानांतरण



प्रकार-4 : इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण



चित्र 12.2 : किसी अणु द्वारा अवशोषित ऊर्जा की निर्यात को दर्शाने विभिन्न प्रकार

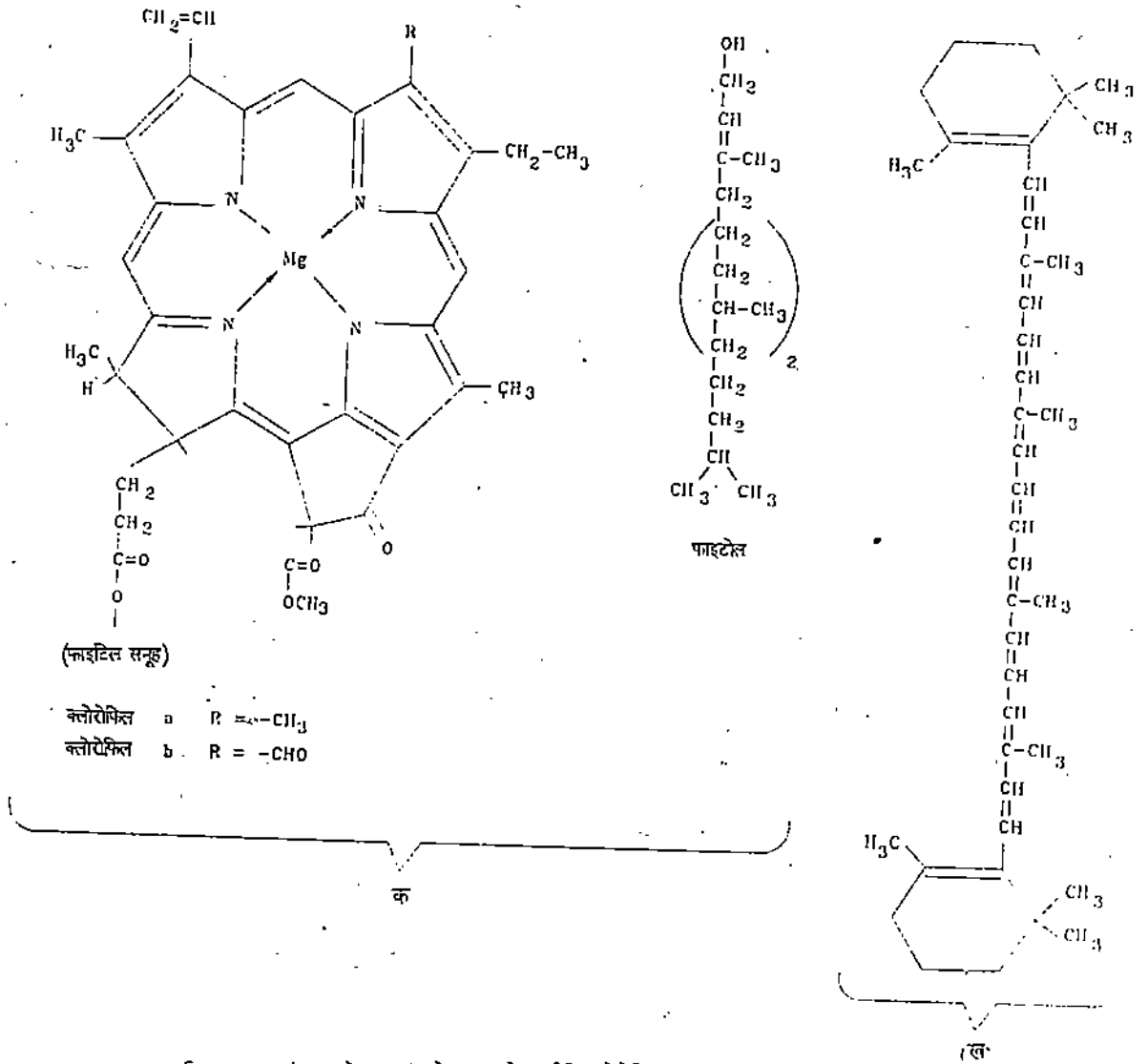
उत्तेजित अणु जिन्हें चित्र में  $D^*$  अथवा  $A^*$  द्वारा दर्शाया गया है, निम्नतर अवस्था में अपने संगत अणुओं ( $D$  अथवा  $A$ ) से भिन्न रासायनिक गुण दर्शाते हैं। प्रकाश संश्लेषण के लिए हमारी रुचि उपचयन-अपचयन गुणों अर्थात्, इनके अपचयन विभव में है। ऐसा दर्शाया जा सकता है कि कुछ पदार्थों को किरणित करने पर उनके अपचयन विभव परिवर्तित हो जाते हैं। ऐसा आप आने वाले भागों में देखेंगे कि अविकिरणी ऊर्जा स्थानांतरण तथा उत्तेजन पर क्लोरोफिल के अपचयन विभव में परिवर्तन प्रकाश संश्लेषण की दृष्टि से अत्यंत महत्वपूर्ण होते हैं। हमने अवशोषित प्रकाश ऊर्जा की निर्यात के बारे में जाना है, परंतु इसके अवशोषण के लिए कौन-से पदार्थ उत्तरदायी हैं, आइए अगले उपभाग में हम इसका अध्ययन करें।

बोध्य प्रश्न 2

समीकरण,  $E = h\nu$  की सहायता से 1000 nm के एक मोल (अथवा एक आईसटाइन) फोटॉनों की ऊर्जा का परिकलन कीजिए।

12.4.2 प्रकाश संश्लेषण में प्रकाश अवशोषी पदार्थ

जैसा पहले भी बताया गया है कि वर्णक (pigments), ऐसे यौगिकों का वर्ग होते हैं जो दृश्य प्रकाश का अवशोषण करते हैं। क्लोरोफिल, थाइलेकोइड झिल्ली के प्रमुख प्रकाश अवशोषी वर्णक होते हैं। ये पांच-वलय वाले पाफिरिन व्युत्पन्नों (फियोपाफिरिनों) के  $Mg^{2+}$  आयन संकुल होते हैं तथा थाइलेकोइड झिल्ली के हरे वर्ण के लिए उत्तरदायी होते हैं। क्लोरोफिल *a* व *b* की संरचना चित्र 12.3 में दी गई है।



चित्र 12.3 : क) फाइटोल समूह को अलग से दर्शाती क्लोरोफिल *a* व *b* तथा

ख)  $\beta$ -कैरोटीन की संरचना

प्रत्येक क्लोरोफिल में प्रतिस्थापित पिरोल के चार वलय होते हैं जिनमें से एक अपचित होता है। इसका पाचवाँ वलय पिरोल नहीं होता है। एक बड़ा आइसोप्रीनोइड ऐल्कोहॉल, फाइटोल, एस्टर आबंधन द्वारा क्लोरोफिल के एक कार्बोक्सिल अम्ल अवशिष्ट से जुड़ा होता है। आप देख सकते हैं कि क्लोरोफिल का अणु एक समतलीय अणु होता है तथा इसमें एकांतर क्रम से एकल व द्विआबंध होते हैं। ये क्लोरोफिल के प्रकाश अवशोषी, अर्थात्, क्रोमोफोरी गुण के लिए उत्तरदायी होते हैं। क्लोरोफिल के अणु विशिष्ट प्रोटीनों के अणुओं से जुड़े होते हैं, जिससे उसके स्पेक्ट्रमी गुणों में लघु परन्तु महत्वपूर्ण परिवर्तन हो जाते हैं उदाहरण के लिए, प्रकाश अवशोषण के अधिकतम तरंग दैर्घ्य,  $\lambda_{max}$  में परिवर्तन।

थाइलेकोइडों में क्लोरोफिल के अलावा कुछ अन्य प्रकाश अवशोषी पदार्थ भी होते हैं, जिन्हें सामूहिक रूप से सहायक वर्णक (accessory pigments) कहते हैं। कैरोटिनोइड तथा फाइकोबिलिन (phycobilins) इनमें प्रमुख होते हैं। इनमें से एक कैरोटिनोइड नामतः  $\beta$ -कैरोटीन की संरचना चित्र 12.3 में दर्शाई गई है। जैसा आप देख सकते हैं कि यहाँ पर भी संयुग्मित द्विआबंध होते हैं, जो इसके क्रोमोफोरीक गुण के लिए उत्तरदायी होते हैं। इसका वर्ण लाल होता है।

चतुर्ओं द्वारा प्राप्त करने पर  $\beta$ -कैरोटीन का प्रत्येक अणु विटामिन A के दो अणु बनाता है।

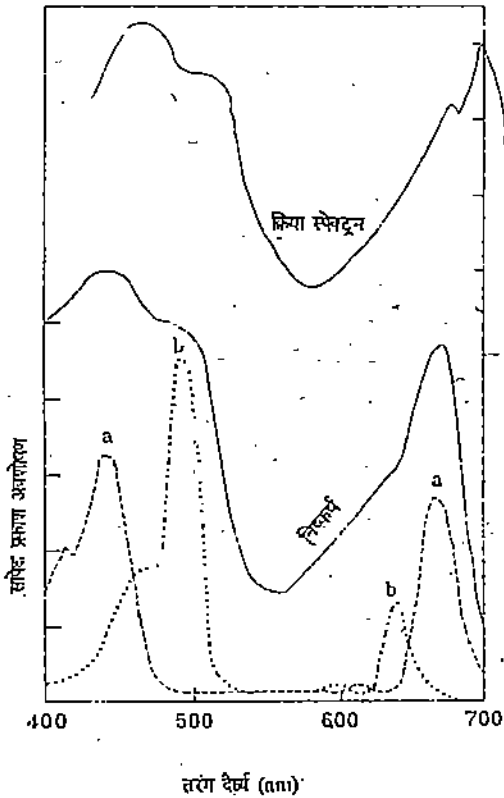


विभिन्न सहायक वर्णांक अलग-अलग तरंग दैर्घ्यों के प्रकाश का अवशोषण करते हैं तथा इसीलिए कई प्रकार के वर्ण दर्शाते हैं। जैसे-जैथोफिल (एक अन्य कैरोटिनॉइड) का वर्ण पीला होता है। तथा फाइकोइरिथ्रोबिलिन (phycoerythrobilin) का वर्ण लाल होता है। यह सहायक वर्णांक संपूरक प्रकाशाग्रहियों का कार्य करते हैं जो क्लोरोफिल द्वारा अवशोषित तरंग दैर्घ्य से भिन्न तरंग दैर्घ्य के प्रकाश का अवशोषण करते हैं। जैसा हम आगे देखेंगे, ये अपनी अवशोषित ऊर्जा को, एक अविकिरणी ऊर्जा स्थानान्तरण द्वारा क्लोरोफिल के विशिष्ट अणुओं पर स्थानान्तरित करते हैं, जहाँ पर प्रकाश ऊर्जा का रासायनिक ऊर्जा में तत्वांतरण होता है। इससे सूर्य के प्रकाश संश्लेषण कर पाने की क्षमता बढ़ जाती है, क्योंकि सूर्य का प्रकाश विभिन्न तरंग दैर्घ्यों के प्रकाश का मिश्रण होता है।

क्लोरोफिल तथा सहायक वर्णांकों की मात्रा का अनुपात तथा वर्णांकों की रासायनिक प्रकृति विभिन्न प्रकाशसंश्लेषी कोशिकाओं को विशिष्ट वर्ण प्रदान करते हैं। उदाहरण के लिए, चीड़ की पत्तियों का नीला हरित वर्ण, अधिकतर पादपों में हरे वर्ण के विभिन्न शेड, तथा सजावटी पौधों के लाल, भूरे तथा जायुनी वर्ण इत्यादि।

क्लोरोफिल *a*, क्लोरोफिल *b* तथा एक पत्ती के निष्कर्ष का प्रकाश अवशोष स्पेक्ट्रम (light absorption spectrum) अर्थात्, विभिन्न तरंग दैर्घ्यों के प्रकाश का अवशोषण चित्र 12.4 में दर्शाया गया है। दोनों क्लोरोफिल मुख्यतः 400-500 nm तथा 600-700 nm के क्षेत्रों में प्रकाश का अवशोषण करते हैं। पत्ती के निष्कर्ष में स्थित सहायक वर्णांक 500-600 nm के क्षेत्र में ऊर्जा के अवशोषण के लिए उत्तरदायी होते हैं। ये भी प्रकाश संश्लेषण में सहयोग देते हैं जैसा कि पत्ती के निष्कर्ष के अवशोषी स्पेक्ट्रम तथा प्रकाश संश्लेषी क्रिया स्पेक्ट्रम (action spectrum) की तुलना से स्पष्ट होता है।

क्रिया स्पेक्ट्रम विभिन्न तरंग दैर्घ्यों पर प्रकाश संश्लेषण की दक्षता का माप प्रदान करता है। यह विभिन्न तरंग दैर्घ्यों के प्रकाश के द्वारा क्वांटमी लब्धि (quantum yield, प्रत्येक अवशोषित क्वांटम से प्राप्त O<sub>2</sub> के अणु) के आगमन से प्राप्त आरेख होता है।



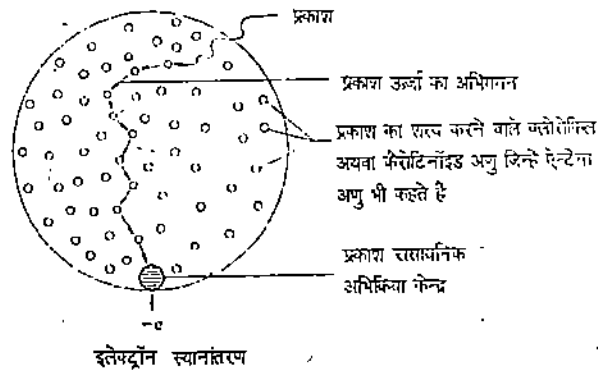
चित्र 12.4: क्लोरोफिल *a* (---), क्लोरोफिल *b* (.....) तथा हरित पत्ती निष्कर्ष (—) के अवशोष स्पेक्ट्रम। पत्ती के निष्कर्ष के क्रिया स्पेक्ट्रम को भूरे वर्ण से दर्शाया गया है।

आप देख सकते हैं कि क्रिया स्पेक्ट्रम तथा अवशोष स्पेक्ट्रम एक-दूसरे के समानान्तर चलते हैं। केवल 680 nm से अधिक तरंग दैर्घ्य के क्षेत्र में क्रिया स्पेक्ट्रम में अवशोष स्पेक्ट्रम की तुलना में अकस्मात् तथा तीव्र कमी आ जाती है। इसे लाल पतन (red drop) कहते हैं। जैसा आप थोड़ा आगे पढ़कर देखेंगे कि यह लाल पतन दो प्रकाश निकायों के होने का प्रमाण देता है।

### प्रकाश निकाय तथा प्रकाश रासायनिक अभिक्रिया केन्द्र

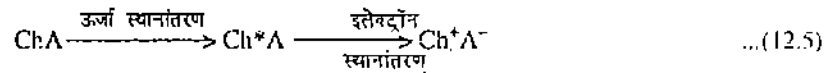
थाइलेकोइड झिल्ली में वर्णांकों के अणु एक समान वितरित नहीं होते हैं, अपितु गुच्छों के रूप में पाए जाते हैं। इन्हें प्रकाश निकाय कहते हैं। उदाहरण के लिए, पालक की पत्ती के प्ररूपी प्रकाश निकाय में क्लोरोफिल के लगभग 200 तथा कैरोटिनॉइडों के लगभग पचास अणु होते हैं। ये सब मिलकर पत्ती के निष्कर्ष के अवशोष

स्पेक्ट्रम के लिए उत्तरदायी होते हैं। यद्यपि प्रकाश निकाय में उपस्थित अधिकतर क्लोरोफिल प्रकाश रासायनिक रूप से सक्रिय नहीं होता है। अपितु यह एक ऐन्टेना का कार्य करता है। जब इस ऐन्टेना में उपस्थित कोई अणु प्रकाश अवशोषण द्वारा उत्तेजित होता है; तब यह अनुनाद ऊर्जा स्थानांतरण द्वारा अपनी ऊर्जा को पड़ोस के अणुओं पर स्थानांतरित कर देता है। वर्णकों के अणुओं की निकटता तथा बृह् विन्यास इस प्रकार के ऊर्जा स्थानांतरण को संभव बनाता है। यद्यपि यह स्थानांतरण लगातार नहीं होता है तथा अंततः एक प्रकाश रासायनिक अभिक्रिया केन्द्र में इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण अभिक्रिया द्वारा यह ऊर्जा संग्रहित हो जाती है। यह अभिक्रिया केन्द्र प्रोटीन से आवधित क्लोरोफिल का एक संकुल होता है। अभिक्रिया केन्द्र पर उपस्थित क्लोरोफिल का उत्तेजित ऊर्जा स्तर अन्य सभी वर्णकों की उत्तेजित अवस्था की ऊर्जा की अपेक्षा न्यूनतम होना आवश्यक होता है क्योंकि यहाँ पर ऊर्जा का प्रग्रहण उत्तेजित क्लोरोफिल अणु के रूप में होता है तथा इसकी वापसी संभव नहीं होती। इस प्रकार क्लोरोफिल के सभी अणुओं द्वारा अवशोषित ऊर्जा अभिक्रिया केन्द्र की ओर फनलित (funnelled) हो जाती है। इसे फनलन प्रभाव (funnelling effect) कहते हैं। यह प्रकाश ऊर्जा के शत्य (harvesting) की एक सरल व प्रभावी विधि उपलब्ध कराता है। फनलन प्रभाव का व्यवस्थात्मक निरूपण चित्र 12.5 में किया गया है। यह अनुनाद ऊर्जा स्थानांतरण तथा अभिक्रिया केन्द्र में इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण अभिक्रिया को भी दर्शाता है।



चित्र 12.5: फनलन प्रभाव को दर्शाता प्रकाश निकाय तथा प्रकाश रासायनिक अभिक्रिया केन्द्र का व्यवस्थात्मक निरूपण

अगले पद में अभिक्रिया केन्द्र का अणु उत्तेजित इलेक्ट्रॉन को एक अवर्णाक ग्राही पर स्थानांतरित कर देता है। यह प्राथमिक प्रकाश रासायनिक अभिक्रिया होती है।



जहाँ पर Ch अभिक्रिया केन्द्र पर उपस्थित क्लोरोफिल का अणु, A ग्राही अणु तथा Ch\* क्लोरोफिल की उत्तेजित अवस्था को दर्शाता है। अपचित A(A<sup>-</sup>) अपने इलेक्ट्रॉनों को अन्य अणुओं पर स्थानांतरित कर सकता है तथा उपचित क्लोरोफिल (Ch\*) किसी उपयुक्त दाता से इलेक्ट्रॉन ले सकता है। इस अभिक्रिया की विस्तृत चर्चा अगले भाग में की जाएगी।

एक बार फिर से प्रकाश निकायों की चर्चा पर आते हैं। वनस्पतियों के क्लोरोप्लास्ट में दो प्रकार के प्रकाश निकाय पाए जाते हैं, इन्हें प्रकाश निकाय I व II कहते हैं। प्रकाश निकाय I 700 nm के प्रकाश को अधिकतम अवशोषित करता है तथा इसमें क्लोरोफिल a, क्लोरोफिल b का अनुपात प्रकाश निकाय II की अपेक्षा अधिक होता है। प्रकाश निकाय II अधिकतम अवशोषण 680 nm पर दर्शाता है। प्रकाश निकाय I व II क्रमशः P700 व P680 द्वारा भी जाने जाते हैं। जहाँ पर P वर्णांक को तथा संख्या अधिकतम अवशोषण के तरंग दैर्घ्य को दर्शाती है। P680 द्वारा प्रकाश का अवशोषण P680 से अधिक तरंग दैर्घ्य पर तीव्रता से कम हो जाता है। तदनुसार इसकी दक्षता भी कम हो जाती है। इसके परिणामस्वरूप लाल पतन, अर्थात् 680 nm से अधिक तरंग दैर्घ्य के प्रकाश का उपयोग करने पर स्पेक्ट्रम में कमी हो जाती है। इससे यह पता चलता है कि प्रकाश-संश्लेषण के लिए दोनों प्रकाश निकायों की आवश्यकता होती है।

प्रकाश निकाय I (P700) तथा प्रकाश निकाय II (P680) के उत्तेजन से अभिक्रियाओं के एक क्रम द्वारा इलेक्ट्रॉनों का जल से NADP<sup>+</sup> पर स्थानांतरण होता है (समीकरण 12.3)। इनका अध्ययन आप अगले भाग में करेंगे।

जहाँ हम इसकी चर्चा करेंगे कि प्रकाश संश्लेषण की प्रकाशकीय अभिक्रिया में वास्तव में क्या होता है। इससे पहले निम्नलिखित बोध प्रश्न को हल करने का प्रयास कीजिए।

**बोध प्रश्न 3**

(क) प्रकाशसंश्लेषी नणोंक प्रीठिका में क्लियन के रूप में न होकर क्लोरोप्लास्ट झिल्ली पर क्यों व्यवस्थित होते हैं?

.....

.....

.....

(ख) निम्नलिखित में सही युग्मों को मिलाए।

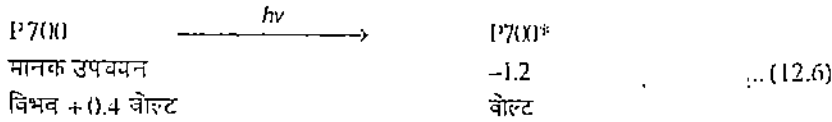
- |                        |   |
|------------------------|---|
| i) अवशोष स्पेक्ट्रम    | ii) प्रति अवशोषित क्वांटम O <sub>2</sub> के अणुओं के निकलने की दर |
| ii) क्रिया स्पेक्ट्रम  | iii) संकुल में प्रोटीन से आवद्धित क्लोरोफिल                       |
| iii) अभिक्रिया केन्द्र | iv) विभिन्न तरंग दैर्घ्यों पर प्रकाश संश्लेषण की दक्षता           |
| iv) क्वांटम लब्धि      | v) विभिन्न तरंग दैर्घ्यों पर प्रकाश का सापेक्ष अवशोषण             |

**12.5 प्रकाश संश्लेषण की प्रकाशकीय अभिक्रियाएं**

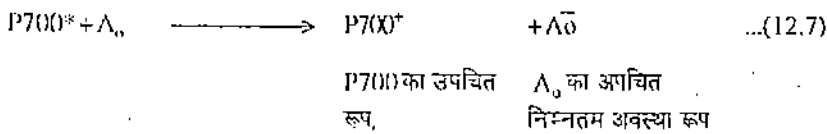
आपने निरक्षर भाग में पढ़ा है कि प्रकाश संश्लेषण की प्राथमिक प्रकाश रासायनिक अभिक्रिया में उत्तेजन द्वारा क्लोरोफिल के अणु से एक इलेक्ट्रॉन मुक्त होता है। क्लोरोफिल के अणु सम्मिलित तौर पर एक संकुल बनाते हैं, जो अभिक्रिया केन्द्र के रूप में कार्य करता है। इनके अलावा ये दो प्रकाश निकायों, P700 व P680 के अवयव भी होते हैं। यह जानने के लिए कि प्रकाश संश्लेषण की प्रकाश रासायनिक अभिक्रियाओं में वास्तव में क्या होता है, आइए पहले हम दो प्रकाश निकायों की भूमिका को समझ लें।

**12.5.1 प्रकाश निकाय I की भूमिका : NADPH का बनना**

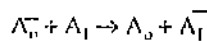
एन्टेना अथवा प्रकाश का ग्रहण करने वाले वर्णकों तथा प्रकाश रासायनिक अभिक्रिया केन्द्र में उपस्थित क्लोरोफिल के अणु के अतिरिक्त प्रकाश निकाय I में ग्राही क्लोरोफिल अणु A<sub>0</sub> तथा A<sub>1</sub>, एक आयरन-सल्फर प्रोटीन, फेरेडॉक्सिन (Fd) तथा फेरेडॉक्सिन-NADP रिडक्टस भी होते हैं। प्रकाश के फोटॉन को ग्रहण करने पर P700 उत्तेजित अवस्था अर्थात् P700\* में परिवर्तित हो जाता है (समीकरण 12.6)।



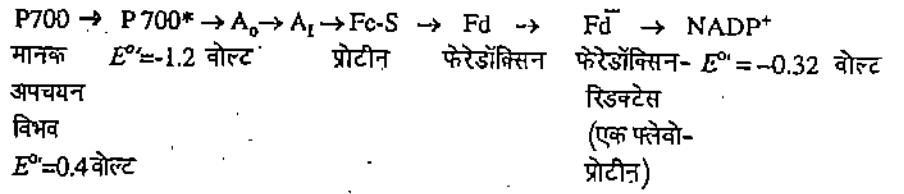
आप देख सकते हैं कि उत्तेजित अणु, P700\* निम्नतम अवस्था वाले अणु, P700 की अपेक्षा कहीं अधिक प्रबल आचयक होता है। P700\* का उत्तेजित अणु एक इलेक्ट्रॉन को ग्राही क्लोरोफिल अणु A<sub>0</sub> पर स्थानांतरित करके P700 तथा A<sub>0</sub> बनाता है समीकरण 12.7



यह अभिक्रिया आवेश विगलन (charge separation) के लिए उत्तरदायी होती है। A<sub>0</sub> का अपचित रूप, A<sub>0</sub><sup>-</sup> भी बहुत प्रबल अपचयक होता है अर्थात् इसका भी उच्च ऋणात्मक आचयन विभव होता है। यह अपने इलेक्ट्रॉन को ग्राही क्लोरोफिल, A<sub>1</sub>, के अणु पर स्थानांतरित कर देता है।

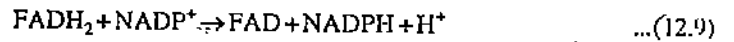
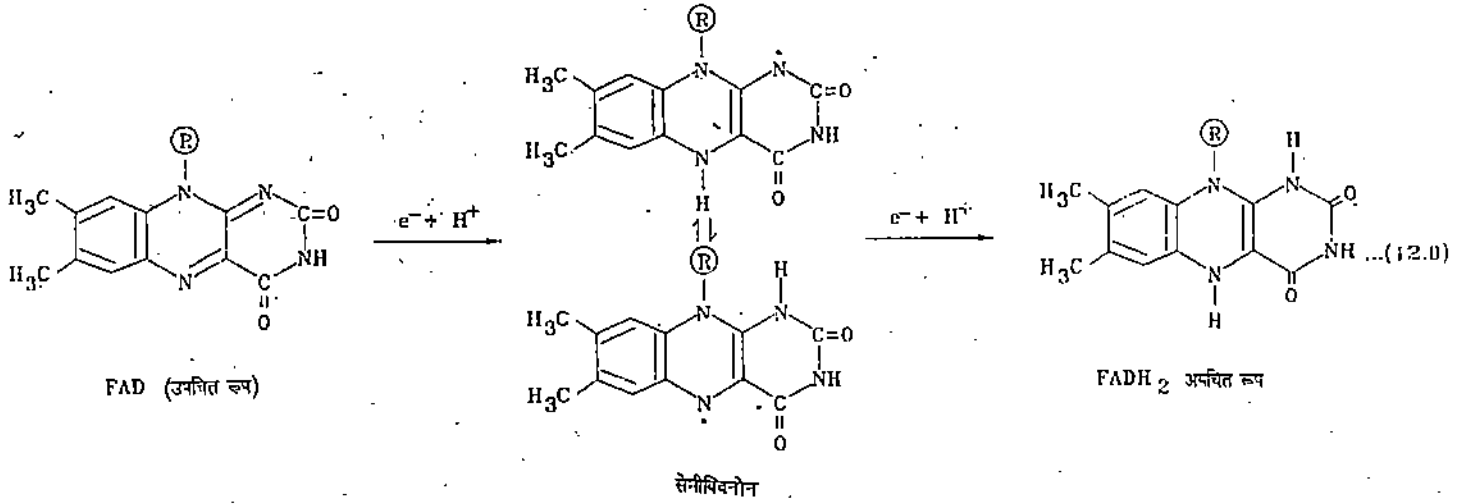


इलेक्ट्रॉन का यह प्रवाह आयरन-सल्फर प्रोटीन, फेरेडॉक्सिन तथा फेरेडॉक्सिन-रिडक्टस के द्वारा NADP\* तक जाता है, रूपरेखा-1। इस रूपरेखा में इलेक्ट्रॉन का प्रवाह उच्च ऋणात्मक अपचयन विभव से निम्न ऋणात्मक अपचयन विभव की दिशा में होता है।

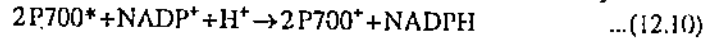


रूपरेखा I

फेरेडॉक्सिन-रिडक्टेस एक फ्लेवोप्रोटीन होती है, जिसमें FAD एक प्रॉस्थैटिक समूह होता है। FAD एक के बाद एक दो पदों में एक इलेक्ट्रॉनी अपचयन द्वारा सेमीक्विनोन मध्यवर्ती बनाता है, समीकरण 12.8। यह NADP<sup>+</sup> के एक अणु को NADPH में अपचित करने के लिए आवश्यक दो इलेक्ट्रॉनों को इकट्ठा करने में सहायता देता है, समीकरण 12.9.



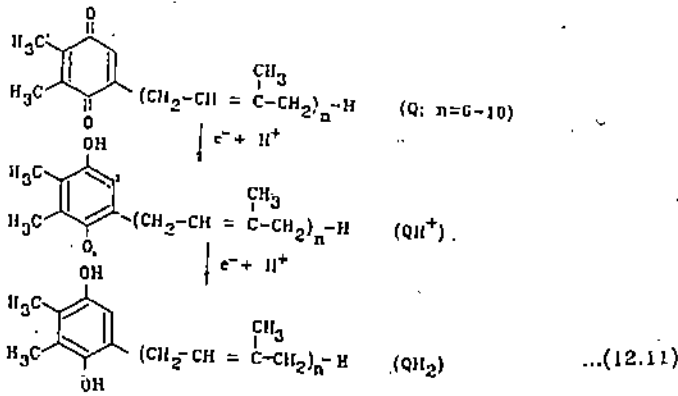
रूपरेखा-I की अभिक्रियाओं के योग को 2 से गुणा करने पर हम सम्पूर्ण अभिक्रिया को निम्न प्रकार से लिख सकते हैं : 2 से गुणा करना दो इलेक्ट्रॉनों के स्थानांतरण के संगत होता है।



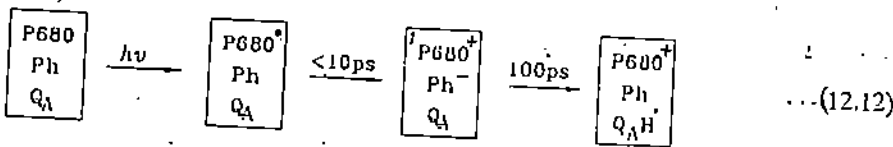
यह अभिक्रिया थाइलेकोइड शिल्ली के पीठिका वाले भाग में होती है। चूंकि इस अभिक्रिया में एक प्रोटॉन का उपभोग होता है, इसलिए यह अभिक्रिया प्रोटॉन प्रवणता उत्पन्न करती है, जिसमें थाइलेकोइड का अंतः भाग अधिक अम्लीय हो जाता है। इसके अलावा यह P700\* के रूप में एक इलेक्ट्रॉन छिद्र (hole) को छोड़ जाता है जिसका P700 में पुनः परिवर्तन होता है ताकि अभिक्रिया केन्द्र एक बार फिर से प्रोटॉन को ग्रहण करने के लिए उत्पन्न हो जाए। केवल तभी NADPH का बनना जारी रह सकता है। P700\* का P700 में परिवर्तन प्रकाश निकाय II से प्रकाश निकाय I पर एक इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण द्वारा होता है। इसका वर्णन अगले उपभाग में किया गया है।

12.5.2 प्रकाश निकाय II की भूमिका : H<sub>2</sub>O का विघटन

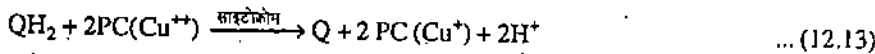
प्रकाश निकाय II में सामान्य ऐन्टेना अथवा प्रकाश का श्लय करने वाले वर्णकों तथा अभिक्रिया केन्द्र (P680) पर क्लोरोफिल का एक अणु होता है। इसके अलावा इसमें फीओफाइटिन, प्लैस्टोक्विनोन तथा साइटोक्रोम bf संकुल तथा प्लास्टोसायैनिन होते हैं। फीओफाइटिन, क्लोरोफिल के समान ही एक पॉर्फिरिन होती है, परंतु इसमें Mg<sup>2+</sup> आयन नहीं होता है व यह शिल्ली से जुड़ी होती है। प्लैस्टोक्विनोन की संरचना माइटोकॉन्ड्रियी इलेक्ट्रॉन अभिगमन श्रृंखला में भाग लेने वाले यूबिक्विनोन के समान ही होती है। सभी क्विनोनों की तरह इसका भी एक-एक इलेक्ट्रॉन वाले दो पदों में उपचयन होता है व इसमें प्लैस्टोक्विनॉल (QH<sub>2</sub>) प्राप्त होता है, समीकरण 12.11। सक्रिय रूप से कार्य करते प्रकाश निकाय II में प्लैस्टोक्विनोन के अणु प्रोटीन के भिन्न-भिन्न स्थानों से जुड़े होते हैं। इन्हें Q<sub>A</sub> तथा Q<sub>B</sub> कहते हैं। साइटोक्रोम bf संकुल में दो साइटोक्रोम, जिन्हें b<sub>559</sub> तथा f (पत्ती का साइटोक्रोम) कहते हैं, तथा एक आयरन-सल्फर प्रोटीन होती है। यह संकुल अपचित प्लैस्टोक्विनोन (QH<sub>2</sub>) से प्लैस्टोसायैनिन पर इलेक्ट्रॉनों के स्थानांतरण में सहायता करता है। प्लैस्टोसायैनिन के सक्रिय स्थान पर कॉपर का एक आयन होता है जो Cu<sup>2+</sup> तथा Cu<sup>+</sup> उपचयन अवस्था में उपस्थित रहता है।



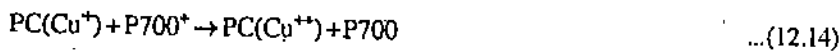
प्रकाश निकाय II में किरणन के फलस्वरूप इसके अभिक्रिया केन्द्र पर उपस्थित क्लोरोफिल  $a$  के अणु का एक इलेक्ट्रॉन उच्च ऊर्जा अवस्था में चला जाता है तथा इससे एक उत्तेजित अवस्था P680\* प्राप्त होती है। यह अपने अंगत निम्नतम अवस्था की स्पीशीज़ P680 ( $E^\circ = +1.0\text{V}$ ) की अपेक्षा कहीं अधिक प्रबल अपचायक होती है ( $E^\circ \approx -0.8\text{V}$ )। कुछ ही पीको सेकण्डों में यह उच्च ऊर्जा वाला इलेक्ट्रॉन P680\* से फियोफाइटिन (Ph) पर स्थानांतरित हो जाता है जिससे वह  $\text{Ph}^-$  में अपचित हो जाता है। लगभग एक सौ पीको सेकण्डों में यह इलेक्ट्रॉन प्रोटीन के A स्थान पर स्थित प्लैस्टोक्विनोन के अणु पर स्थानांतरित हो जाता है, समीकरण 12.12। इन दो अभिक्रियाओं के फलस्वरूप आवेश विगलन निश्चित हो जाता है।



$\text{Q}_A$  पर उपस्थित प्लैस्टोक्विनोन, इलेक्ट्रॉन को स्थान  $\text{Q}_B$  पर उपस्थित प्लैस्टोक्विनोन पर स्थानांतरित कर देता है, जिससे बाद में  $\text{QH}_B$  तथा  $\text{QH}_{2B}$  प्राप्त होते हैं। प्रोटीन के  $\text{Q}_B$  स्थान से, केवल पूर्ण रूप से अपचित प्लैस्टोक्विनोन ( $\text{QH}_2$ ) ही मुक्त होकर थाइलेकोइड शिल्ली के जलविरागी (hydrophobic) भाग में जा सकता है। साइटोक्रोम  $b_f$  संकुल,  $\text{QH}_2$  की अपचायक क्षमता को प्लैस्टोसायेनिन (PC) पर स्थानांतरित करने में सहायता प्रदान करता है। इससे प्लैस्टोसायेनिन क्यूप्रस अवस्था में अपचित हो जाता है।



अपचित प्लैस्टोसायेनिन अपने इलेक्ट्रॉनों को प्रकाश निकाय I के  $\text{P700}^+$  पर स्थानांतरित कर देता है तथा पुनः उपचित होकर क्यूप्रिक अवस्था में आ जाता है, समीकरण 12.14.

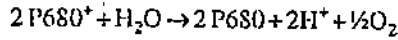
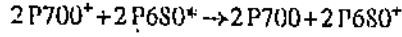
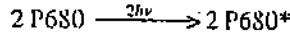
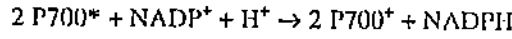
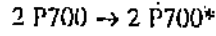


इस प्रकार प्रकाश निकाय I का छिद्र भर जाता है। प्रकाश निकाय I एक अन्य प्रोटॉन को ग्रहण करने के लिए पुनः तैयार हो जाता है। यद्यपि ऐसा होने में प्रकाश निकाय II में  $\text{P680}^+$  के रूप में एक छिद्र उत्पन्न हो जाता है।  $\text{P680}^+$  एक बहुत प्रबल अपचायक होता है तथा जल के अणु से इलेक्ट्रॉन ग्रहण करके पुनः  $\text{P680}$  में परिवर्तित हो जाता है। इस प्रक्रिया में जल आण्विक ऑक्सीजन में उपचित हो जाता है।

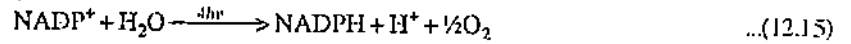
जल के विघटन के लिए उत्तरदायी एन्जाइम, जो प्रकाश निकाय II का एक अवयव होता है, के सक्रिय स्थान पर मैग्नीज आयनों का एक झुंड होता है। यह विभिन्न आकारों को ग्रहण करके ऑक्सीजन के चार अथवा छः परमाणुओं से आबंधन कर सकता है। जल से इलेक्ट्रॉनों के स्थानांतरण के समय मुक्त होने वाले ऑक्सीजन के परमाणु एन्जाइम के सक्रिय स्थान द्वारा ग्रहण कर लिए जाते हैं, जिसके परिणामस्वरूप इसके सक्रिय स्थान में ऑक्सीजन परमाणुओं की संख्या चार से बढ़कर छः हो जाती है। सक्रिय स्थान की ज्यामिती में परिवर्तन से

ऑक्सीजन के दो परमाणु ऑक्सीजन के अणु के रूप में मुक्त हो जाते हैं तथा सक्रिय स्थान जल से ऑक्सीजन के परमाणुओं को ग्रहण करने के लिए पुनः तैयार हो जाता है। जल से मुक्त होने वाले इलेक्ट्रॉन एक मध्यवर्ती जिसे Z कहते हैं, के द्वारा P680\* पर स्थानांतरित हो जाते हैं। जल वियोजन एन्जाइम में उपस्थित मैंगनीज आयनों का झुंड, जल तथा ऑक्सीजन के बीच हानिकारक मध्यवर्तियों के बनने से बचाव में सहायता करता है।

P700 तथा P680 के क्लोरिन के प्रभावों को इकट्ठा करते हुए ऊपर दी गई अभिक्रियाओं को संक्षेप में निम्नलिखित अभिक्रियाओं के रूप में लिखा जा सकता है :



इनका योग करने से निम्न समीकरण प्राप्त होती है :



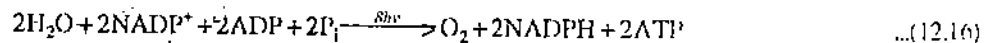
इस समीकरण को दो से गुणा करने पर हमें समीकरण 12.3 प्राप्त होती है। ऐसे प्रमाण उपलब्ध हैं, जो यह दर्शाते हैं कि ये दो प्रकाश निकाय क्रमवार जुड़े होते हैं। ऐसा अगले उपभाग में स्पष्ट हो जाएगा, जब हम इन दो प्रकाश निकायों के बीच की अन्योन्यक्रियाओं का अध्ययन करेंगे।

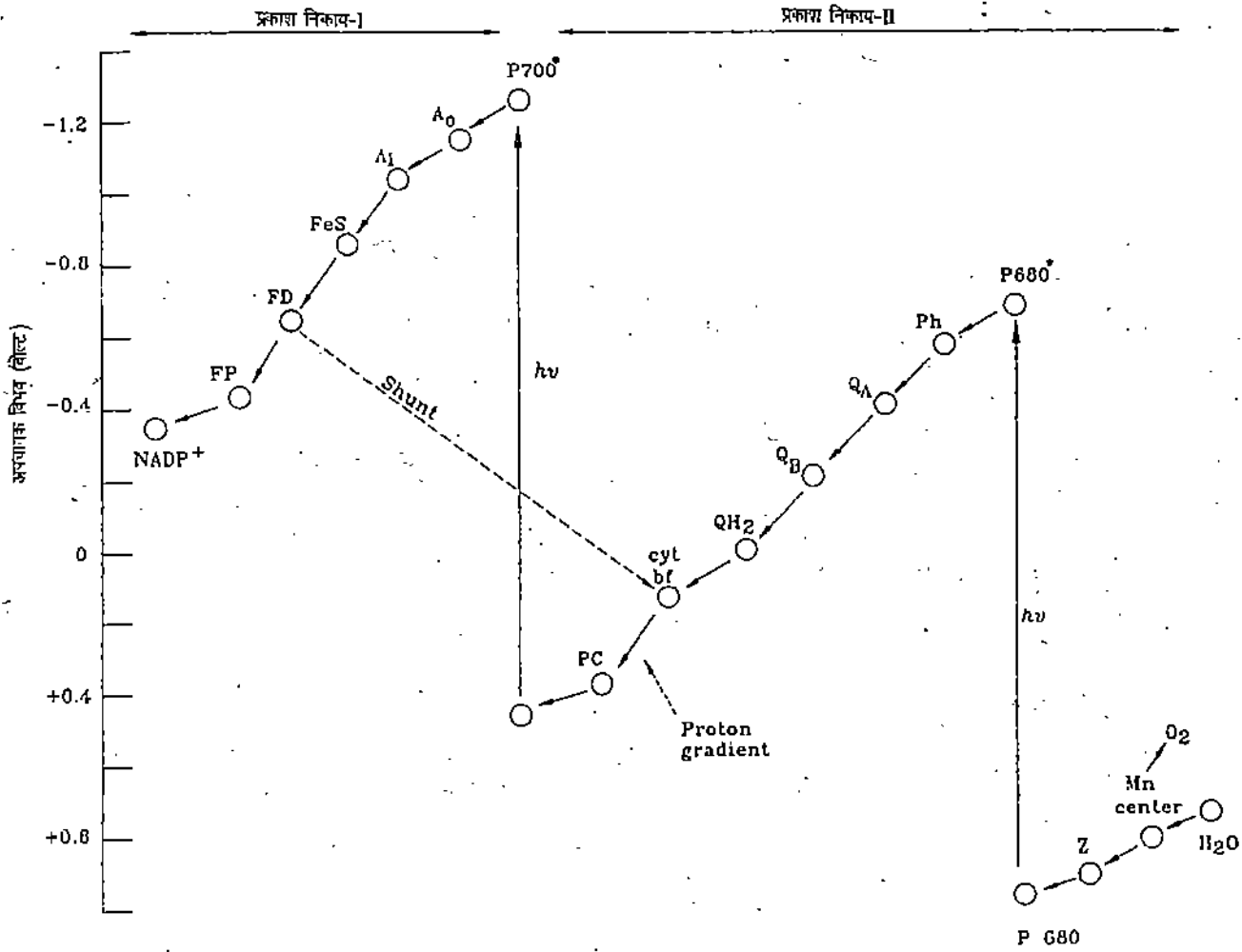
### 12.5.3 प्रकाश निकाय I व II की अन्योन्यक्रिया

प्रकाश निकाय I तथा II में होने वाली विभिन्न अभिक्रियाएं, जिनका वर्णन ऊपर किया गया है, संक्षेप में चित्र 12.6 में दी गई है। इस चित्र में उदग्र अक्ष (vertical axis) अभिकारकों के मानक अपचयन विभव ( $E^{\circ}$ ) के लगभग मान को दर्शाता है। इस चित्र में किसी स्पीशीज़ का ऊंचा स्थान दर्शाता है कि यह एक अधिक प्रबल अपचायक है तथा ऊष्मागतिकतः स्वतः होने वाला इलेक्ट्रॉनों का प्रवाह नीचे की दिशा में होता है। इलेक्ट्रॉनों को ऊपर की दिशा में पंप करने के लिए ऊर्जा के निवेश की आवश्यकता होती है; जैसा P700 तथा P680 के उत्तेजन में होता है। P700 के उत्तेजन से एक प्रबल अपचायक उत्पन्न होता है जो कई द्वितीयक इलेक्ट्रॉन वाहकों के द्वारा इलेक्ट्रॉनों को NADP पर स्थानांतरित करता है। P680 के उत्तेजन व उसके बाद इलेक्ट्रॉन के P700\* पर स्थानांतरण से एक प्रबल अपचायक, P680\* प्राप्त होता है, जो जल को उपचित करके ऑक्सीजन बनाता है। P680 में बनने वाला अपचायक दो प्रकाश निकायों को जोड़ने वाली वाहकों की शृंगला में इलेक्ट्रॉनों को छोड़ता है। इस रूपरेखा को Z रूपरेखा कहते हैं। यह रूपरेखा पहले-पहल आर. हिल तथा एफ. बेन्डर द्वारा प्रतिपादित की गई थी।

#### प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण

चित्र 12.6 में दर्शाई गई संपूर्ण प्रक्रिया इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण के साथ-साथ इस प्रक्रिया में बनने वाले NADPH के प्रत्येक अणु के लिए ATP का एक अणु भी बनाती है जैसा भाग 8.4 में भी बताया गया था। प्रकाशसंश्लेषी निकायों द्वारा ATP के संश्लेषण को प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण (photophosphorylation) कहते हैं। हमारे पौधों में ATP का संश्लेषण जल तथा NADP के बीच इलेक्ट्रॉन अभिगमन के दौरान ही नहीं अपितु केवल प्रकाश निकाय I द्वारा की जाने वाली इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण अभिक्रियाओं के एक अलग क्रम द्वारा भी होता है। इन दो प्रक्रियाओं को क्रमशः अचक्रिय तथा चक्रिय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण कहते हैं। यह अचक्रिय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण साइटोकोरिडिया इलेक्ट्रॉन अभिगमन के समान एक प्रोटॉन प्रवणता को स्थापित करके प्रायः जाता है। इसमें थाइलेकोइड का अंतः भाग पीठिका वाले भाग की अपेक्षा अधिक अम्लीय होता है। जैसा हमने देखा बताया गया है ठीक उसी प्रकार प्रोटॉन वापिस प्रवाहित होते हुए ATP के संश्लेषण का परिचालन करते हैं। प्रोटॉन प्रवणता के स्थापित होने का एक स्थान है साइटोकोम b<sub>6</sub> संकुल से प्लैस्टोसायनेन पर इलेक्ट्रॉन के स्थानांतरण के दौरान (चित्र 12.6)। इसका द्वारा स्थान स्पष्ट नहीं है। पूर्ण अभिक्रिया के लिए समीकरण रससमीकरणमिती नीचे दी गई है।





चित्र 12.6 : प्रकाश निकायों I व II में इलेक्ट्रॉन प्रवाह का पथ: Z रूपरेखा

FP (फ्लेवोप्रोटीन); FD (फेरेडोक्सिन);  
 Ph (फिओफाइटिन);  $Q_A$  व  $Q_B$  (क्वैन्टोक्विनोन);  
 Cyt bf (साइटोक्रोम bf); PC (प्लैस्टोसायनिन) तथा  
 Z (Z प्रोटीन)

NADPH अर्थात्, अपचायक क्षमता तथा ATP अर्थात् सरल रूप से उपलब्ध मुक्त ऊर्जा की सापेक्ष मांग सदैव ऊपर वर्णित प्रकाश निकाय I व II से उत्पन्न होने वाले NADPH व ATP के अनुपात के संगत नहीं होती है। अक्सर ATP की आवश्यकता अधिक मात्रा में होती है। ऐसे में ATP ऊपर बताए गए चक्रीय फॉस्फोरिलीकरण द्वारा बनता है। इसके लिए एक पार्श्व पथ (shunt pathway) कार्य करता है, जिसमें अपचित फेरेडोक्सिन से साइटोक्रोम bf संकुल पर इलेक्ट्रॉनों का स्थानांतरण होता है, जहाँ से यह वापिस जाकर P700<sup>+</sup> के इलेक्ट्रॉन छिद्र को भरते हैं (चित्र 17.6)। जैसा चित्र में दर्शाया गया है, इससे एक प्रोटॉन प्रवणता उत्पन्न होती है, जो ATP के संश्लेषण का परिचालन करती है। आप देख सकते हैं कि यह एक चक्रीय प्रक्रम है, जिसमें फोटॉन की ऊर्जा के एक भाग का उपयोग ATP के ऊर्जाशोषी संश्लेषण के लिए किया जाता है।

ऊपर दी गई प्रकाशकीय अभिक्रियाओं से प्राप्त होने वाले NADPH तथा ATP का उपयोग कार्बन डाइऑक्साइड को कार्बोहाइड्रेटों में परिवर्तित करने के लिए किया जाता है। यह परिवर्तन, जिसे अप्रकाशकीय अभिक्रिया भी कहते हैं, अभिक्रियाओं के एक क्रम द्वारा होता है। इस क्रम की अभिक्रियाओं के लिए एक अपचायक, NADPH तथा मुक्त ऊर्जा के स्रोत ATP की आवश्यकता होती है। आपको ध्यान होगा कि ग्लूकोस के CO<sub>2</sub> तथा जल में उपचयन में उच्च मात्रा में ऊर्जा मुक्त होती है। इसी के अनुरूप कार्बन डाइऑक्साइड तथा जल को ग्लूकोस व

ऑक्सीजन में परिवर्तित करने के लिए ऊर्जा के निवेश की आवश्यकता होती है। इस ऊर्जा का कुछ भाग NADPH तथा शेष ATP द्वारा उपलब्ध कराया जाता है। चूंकि ये प्रकाश निकाया तथा II द्वारा सूर्य के प्रकाश के उपयोग द्वारा पुनः उत्पन्न हो जाते हैं, इसलिए प्रकाश संश्लेषण के लिए आवश्यक ऊर्जा निवेश का स्रोत अंततः सूर्य का प्रकाश ही होता है। आप निम्न बोध प्रश्न को हल करने के बाद अगले भाग में अप्रकाशकीय अभिक्रिया का अध्ययन करेंगे।

**बोध प्रश्न 4**

क) 680 nm से अधिक तरंग दैर्घ्यों को अवशोषित करने वाला प्रकाशसंश्लेषी वर्णांक है :

- i) क्लोरोफिल *a*
- ii) क्लोरोफिल *b*
- iii) ये दोनों
- iv) इनमें से कोई नहीं

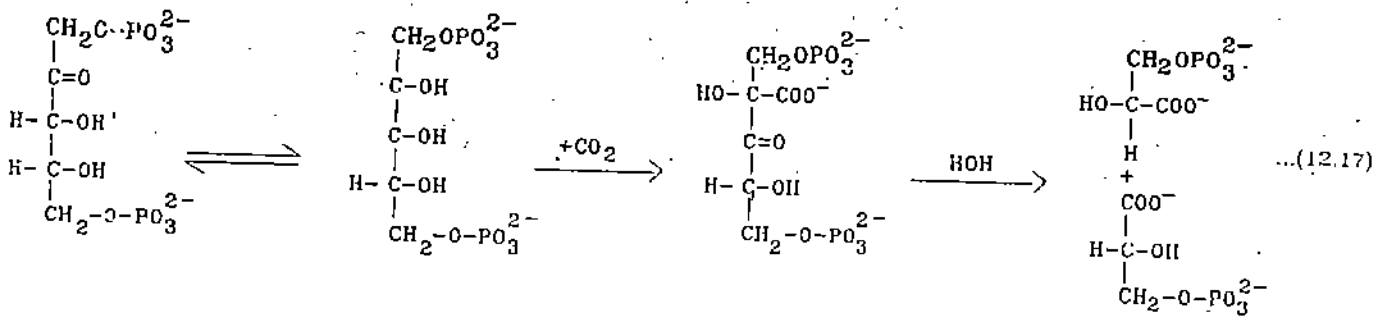
ख) चित्र 12.6 से क्या आप अनुमान लग सकते हैं कि इस रूपरेखा को Z रूपरेखा क्यों कहा गया है?

**12.6 प्रकाश संश्लेषण की अप्रकाशकीय अभिक्रियाएं**

अप्रकाशकीय अभिक्रियाएँ प्रकाश संश्लेषण की दूसरी प्रावस्था से संबंधित हैं तथा इनके परिणामस्वरूप ग्लूकोस बनता है। इन अभिक्रियाओं में CO<sub>2</sub> का कार्बनिक यौगिकों में समावेशन अथवा स्थायीकरण होता है।

1940 के दशक के अंतिम वर्षों में मेल्विन कैल्विन तथा सह कार्यकर्ताओं ने दर्शाया कि हरित शैवाल के निलंबन (suspension) को <sup>14</sup>C द्वारा अंकित CO<sub>2</sub> (<sup>14</sup>CO<sub>2</sub>) की उपस्थिति में कुछ सैकण्डों के लिए किरणित करने पर पहले पहल बनने वाला संसूचन योग्य उत्पाद 3-फॉस्फोग्लिसरेट पाया गया जिसमें <sup>14</sup>C-अंकन कार्बोक्सिल समूह में केन्द्रित था। यह भी दर्शाया गया कि पादप निष्कर्ष द्वारा 3-फॉस्फोग्लिसरेट को कार्बोहाइड्रेट में परिवर्तित किया जा सकता था। इस प्रयोग से ज्ञात हुआ कि कार्बोहाइड्रेटों में CO<sub>2</sub> का समावेशन होता है। कार्बन डाइऑक्साइड के 3-फॉस्फोग्लिसरेट में परिवर्तन तथा इसके बाद होने वाली अभिक्रियाओं की रसायन ज्ञात हो चुकी है। इसमें अभिक्रियाओं का एक जटिल चक्र भाग लेता है जिन्हें सामूहिक तौर पर कैल्विन चक्र (Calvin cycle) अथवा अपचयी पेन्टोस चक्र (reductive pentose cycle) कहते हैं। इसे C<sub>3</sub> चक्र भी कहते हैं क्योंकि इस चक्र के पहले स्थायी उत्पाद के अणु में कार्बन के तीन परमाणु होते हैं।

पहली अभिक्रिया में कार्बन डाइऑक्साइड राइब्यूलोस-1,5-बिसफॉस्फेट से क्रिया करके 3-फॉस्फोग्लिसरेट के दो अणु देता है (समीकरण 12.17)।



राइब्यूलोस-1,5-  
बिसफॉस्फेट

2-कार्बोक्सी-  
3-कीटो-  
D-अरेबिनिटॉल-  
1,5-बिसफॉस्फेट

3-फॉस्फोग्लिसरेट



क्योंकि इसमें उच्च पोषक अंश और प्राकृतिक अम्लता (acidity) होती है जो एक-दूसरे सूक्ष्मजीवों की वृद्धि का संदमन (inhibit) करते हैं। इसके अतिरिक्त इनका चयन उच्च शर्करा अंश और बहुत ही विशेष सुवास तथा सौरभ (एरोमा) के कारण भी किया जाता है। रस को निष्कर्षित करके 280-287K पर एल. सेरेविसी (*S. cerevisiae*) के प्रभेदों (strains) के साथ ऊष्मायित (incubated) किया जाता है। पहले किण्वन फल की त्वचा पर मौजूद सूक्ष्मजीवों द्वारा किया जाता था, लेकिन आजकल बाहर से सूक्ष्मजीव डालना सामान्य बात है क्योंकि इससे कठोर नियंत्रण होता है और एक समान परिणाम निकलता है। दूसरे सूक्ष्मजीव भाग न ले सकें, इसके लिए अनेक तकनीकों का काम में लाई जाती हैं। सल्फर डाइऑक्साइड मिलना एक ऐसा ही प्रक्रम है जो मदिरा के अतिरिक्त (non-wine) खमीर की वृद्धि का संदमन करता है। अंगूर की किस्म मदिरा में विशिष्ट सुवास के लिए उत्तरदायी है। किण्वन में केवल कुछ दिन ही लगते हैं। लेकिन कालप्रभावन महीनों या सालों तक भी चलता रह सकता है। कालप्रभावन के दौरान मदिरा में सुवास, सौरभ और सुगंध (bouquet) विकसित होती है। यह एक आम धारणा है कि कालप्रभावन का समय बढ़ने के साथ-साथ मदिरा के गुणों में भी सुधार होता है। लाल मदिरा फल की त्वचा से बनती है। रंगहीन मदिरा में अंगूर का रस काम में लाया जाता है। विभिन्न मदिराओं में ऐल्कोहॉल का प्रतिशत 12 से 16 तक होता है। कुछ प्रबलीकृत (fortified) मदिराओं में यह 22 प्रतिशत तक हो सकता है।

तेज पेयों या स्पिरिटों में बीयर या मदिरा की अपेक्षा बहुत ज्यादा ऐल्कोहॉल होता है। ये आसवन (distillation) द्वारा बनाई जाती हैं।

ऐल्कोहॉलीय पेयों के उत्पादन के अलावा, किण्वन को शुद्ध एथेनॉल के निर्माण के काम में भी लाया जाता है। एथेनॉल को विलायक के रूप में या बहुत से दूसरे कार्बनिक यौगिकों के संश्लेषण के लिए कच्चे माल की तरह काम में लाया जाता है। "परिशोधित स्पिरिट" (rectified spirit) बनाने के लिए 12-16 प्रतिशत एथेनॉल वाले किण्वित लिकर का प्रभाजी (fractional) आसवन किया जाता है। परिशोधित स्पिरिट भार से 95.6 प्रतिशत एथेनॉल और 4.4 जल वाला स्थिरत्वाधी (azeotropic) यानी स्थिर उवाल मिश्रण है। यह 351.2 पर उबलता है। यह क्वथनांक (boiling point) शुद्ध निर्जल एथेनॉल के क्वथनांक (351.3K) बराबर का कम है। इसलिए शुद्ध एथेनॉल को और प्रभाजी आसवनों द्वारा प्राप्त नहीं किया जा सकता। शेष जल को दूर करने के दूसरे तरीके काम में लाए जाते हैं, जिनके बारे में आपने "कार्बनिक रसायन" पाठ्यक्रम की इकाई 12 में ऐल्कोहॉल और उनके निर्माण के भाग में अवश्य पढ़ा होगा।

### 15.5.2 सिरका का उत्पादन

सिरका एक किण्वन उत्पाद है, जिसमें 4 प्रतिशत से ज्यादा ऐसीटिक अम्ल (w/v) होता है, सिरका उत्पादन में दो चरण अनिवार्य होते हैं :

i) एल. सेरेविसी (*S. cerevisiae*) काम में लाकर शर्करा वाले पदार्थ का ऐल्कोहॉल में परिवर्तन। यह चरण मदिरा उत्पादन के चरणों जैसा है।

व्यावहारिक रूप से कोई भी क्रियाधार, जो ऐल्कोहॉल में बदला जा सके, काम में लाया जा सकता है।

ii) पहले चरण में प्राप्त ऐल्कोहॉल को ऐसीटिलिडहाइड के माध्यम से ऐसीटिक अम्ल में बदलना दूसरा चरण है। इस प्रक्रम में ऐसीटोबैक्टर शनेत्जेबैन्चाई (*Acetobacter schutzenbunchi*), ए. कर्वीम, (*A. curvum*), ए. ओरिलिएन्से (*A. orleanense*) या अन्य सूक्ष्मजीवों के संग्रह की जरूरत पड़ती है और इसमें अत्यधिक ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है।

पहले सिरका निर्माण में ऊपर दी गई क्रियाविधि काम में लाई जाती थी। आजकल "संश्लेषी सिरका" ("synthetic vinegar") नामक एक सस्ती किस्म भी बाजार में विकने लगी है, जो शुद्ध एथेनॉलिक अम्ल (ऐसीटिक अम्ल) के समुचित तनुकरण (dilution) द्वारा बनाई जाती है।

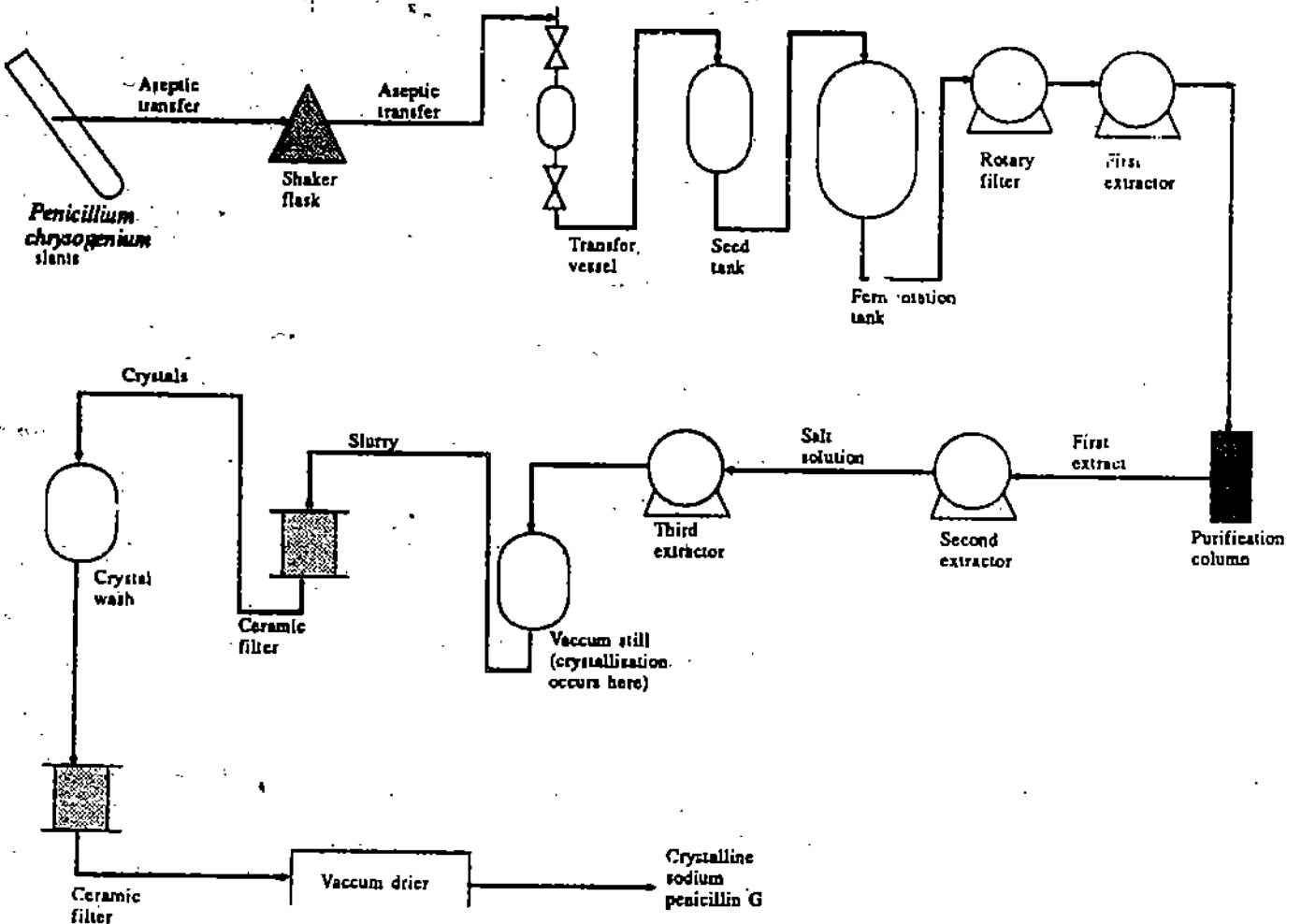
### 15.5.3 प्रतिजैविक का उत्पादन

एलेक्जेंडर फ्लेमिंग द्वारा पेनिसिलिन की खोज के बाद, प्रतिजैविक (antibiotics) सर्वाधिक प्रभावकारी नैदानिक (clinical) कारक बन गए हैं। प्रतिजैविक जीव वैज्ञानिक रूप से सक्रिय यौगिक हैं जिनका संश्लेषण किन्हीं सूक्ष्मजीवों द्वारा किया जाता है जो दूसरे सूक्ष्मजीवों की वृद्धि को रोकते हैं। ऐसे प्रतिजैविक जो या तो आविषालु (toxic) नहीं हैं या मानव के प्रति केवल निम्न आविषालु प्रदर्शित करते हैं, वे स्पष्टतया विभिन्न रोगों के लिए महत्वपूर्ण औषधियों के रूप में उपयोगी हैं। इनमें से कुछ सारणी 15.3 में दिए गए हैं।

प्रतिजैविक घटक	उत्पादक सूक्ष्मजीव	सक्रियता स्पेक्ट्रम
ऐक्टिनोमाइसिन	स्ट्रेप्टोमाइसीज जाति	अर्बुदरोधी (antitumour)
एस्टरजिनेस	हर्बिनिया जाति	श्वेतरक्तारोधी (antileu-kaemia)
बैसिलरेसिन	बैसिलस जाति	प्रतिजीवाण्वीय (antibacterial)
क्लिफोमाइसिन	स्ट्रेप्टोमाइसीज जाति	प्रतिजीवाण्वीय
सेफेसोसोरिन	एन्किमोनियम जाति	कैन्सररोधी
क्लोरीफेनिकॉल	सिफेरोस्पेरियम जाति	प्रतिजीवाण्वीय
डाउनोमिसिन	स्ट्रेप्टोमाइसीज जाति	प्रेटोजोआरोधी
फ्यूजोसिन	ऐस्पेरिलस जाति	अमीबाहारी (amoebicidal)
ग्रिसिओफोसेसिन	पेनिसिलियम जाति	कवकरोधी (antifungal)
माइटोमाइसिन C	स्ट्रेप्टोमाइसीज जाति	अर्बुदरोधी
नैटामाइसिन	स्ट्रेप्टोमाइसीज जाति	खाद्य परिरंकी (Food preservative)
नीसिन	स्ट्रेप्टोकोक्स जाति	खाद्य परिरंकी
पेनिसिलिन	पेनिसिलियम जाति	प्रतिजीवाण्वीय
रिसेमाइसिन	नोकार्डिया जाति	यक्ष्मारोधी (antituberculosis)
स्ट्रेप्टोमाइसिन	स्ट्रेप्टोमाइसीज जाति	प्रतिजीवाण्वीय

41.2

प्रतिजैविकों के उत्पादन के लिए प्रतिनिधि उदाहरण के रूप में हा पेनिसिलिन (3) उत्पादन प्रक्रम की संक्षेप में वर्णन करेंगे। पेनिसिलिन का उत्पादन किण्वन विधि से होता है। चित्र 15.8 में दिए गए चरणों को निम्नलिखित अवस्थाओं में अलग किया जा सकता है :



किण्वन : ऐसी अनेक किण्वन विधियों का पता है जो बड़े पैमाने पर पेनिसिलिन के उत्पादन में काम आती हैं। उनमें से आमतौर पर निमग्न (submerged) किण्वन विधि व्यापारिक उत्पादन के लिए काम में लाई जाती है। इस प्रक्रम में किण्वन के लिए पेनिसिलियम काइसीजीनियम को बीज के रूप में काम लाते हैं। इसे ऊष्मायन द्वारा पोषक ऐगार क्रियाधार पर हिमशुष्कित जीवाणुओं (lyophilized spores) से ली गई फफूंदी (mould) के मास्टर स्टॉक संवर्ध (culture) को उगा कर तैयार किया जाता है। संवर्ध माध्यम के कई गैलन, जो सामान्यतया चार्ज का 5 से 10 प्रतिशत होता है, श्रेणीबद्ध बीज टैंकों में बनाए जाते हैं।

किण्वन माध्यम मक्का भिजित द्राव (steep liquor) से बनाया जाता है, जिससे कैल्शियम कार्बोनेट, पोटैशियम फॉस्फेट, मैग्नेशियम सल्फेट और सूक्ष्म मात्रा में लोहा, तांबा तथा जस्ता लवणों के अलावा 2 से 4 प्रतिशत लेक्टोस डाला जाता है। pH को 4.5 से 5.0 तक व्यवस्थित करने के बाद किण्वन माध्यम का किण्वनित्र (fermenter) में भर दिया जाता है। किण्वनित्र में एक अर्ध विलोड़क (vertical agitator) लगा होता है, जो कि वायु के प्रवेश की एक युक्ति है। किण्वक के निर्जर्मिकरण (sterilization) के बाद "बीज" (फफूंदी) को वायु दाब से निर्जर्म (sterile) पाइपलाइनों द्वारा प्रवेश कराया जाता है। किण्वन के दौरान ताप 296 से 300 K के बीच रखा जाता है। निर्जर्म वायु ऑक्सीजीनी फफूंदी की वृद्धि होने देती है और विलोडन (agitation) से यह गण (batch) में समानरूप से वितरित हो जाती है। किण्वन 50 से लेकर 90 घंटे में पूरा हो जाता है।

पेनिसिलिन का पृथक्करण :

किण्वन के बाद, सामान्य ताप (room temperature) पर पेनिसिलिन अस्थायी होती है; इसलिए इसे 278K पर ठंडा किया जाता है। माइसिलीन को (कोशिकाएं और अविलेय उपापचयी उत्पाद) एक घूर्णी (rotatory) ड्रम निस्संदक पर निस्संदन द्वारा हटा दिया जाता है। निस्संद (filtrates) में प्रतिजैविक होता है जिसे प्रारंभ में विलायक-निष्कर्षण (solvent extraction) प्रक्रम द्वारा पृथक् कर लिया जाता है। इस प्रक्रम में निस्संदित द्राव (filtered liquor) (वीयर) को फ्लैट्टेरीक अम्ल के साथ pH 2.5 पर व्यवस्थित किया जाता है जिसके फलस्वरूप पेनिसिलिन हमें प्राप्त होती है। ऐनित्र ऐसीटेट और बाद में क्लोरोफॉर्म के साथ सतत विपरीत धारा (Counter current) निष्कर्षण किया जाता है। विशेष रूप से डिजाइन किए गए निष्कर्षकों (extractors) कमिक सांद्रण के साथ अंतिम द्राव को, सोडियम बनाने के लिए उच्चप्रतिरोधक (buffered) फॉस्फेट और सोडियम वाइकार्बोनेट से उपचारित (treated) किया जाता है। इस पदार्थ को निस्संदन द्वारा निर्जर्म बना लिया जाता है और क्रिस्टलीकरण (crystalisation) द्वारा जल को दूसरे विलायकों से मुक्त कर लिया जाता है। इस तरह क्रिस्टलीय पेनिसिलिन बन जाती है जिसे सुखाने के बाद पोलिथीन के पैतों या जंगरोधी इस्पात (stainless steel) के पात्रों में पैक कर दिया जाता है।

बोध प्रश्न 3

- एन्जाइम ..... शुद्ध शरीरक्रियात्मकता: सक्रिय यैतिकों के उत्पादन में काम में लाए जाते हैं।
- एन्जाइम/निश्चलीकरण ..... और ..... विधि द्वारा किया जा सकता है।
- मंडीय ( ) पदार्थ से ऐल्कोहॉल के उत्पादन में मंड का माल्टोस या ग्लूकोस में ..... एक अनिवार्य चरण है।
- थोड़े समय के लिए अंकुरित किए गए जी ..... जो कहलते हैं।

## 15.6 सारांश

जैव प्रौद्योगिकी शब्द "जीवविज्ञानीय" और "प्रौद्योगिकी" शब्दों से मिलकर बना है। इसकी परिभाषा इस प्रकार है- उपयोगी पदार्थों को रूपांतरित (transform) या भंगन (breakdown) या संश्लेषित (synthesise) करने के लिए सूक्ष्मजीवीय (microbial) प्राणी या पादप (plant) कोशिकाओं या एन्जाइमों का अनुप्रयोग जैव प्रौद्योगिकी कहलाता है। जैवतकनीकी प्रक्रमों का मानव को सदियों से पता है जैसे कि निसवन ब्रेड बनाना आदि। जैव प्रौद्योगिकी एक अंतः विषयक विज्ञान है और इसमें जैविकी, जैवरसायन, सूक्ष्मजैविकी और रसायन इंजीनियरी का सम्मन्ध है। इस इकाई में केवल पुनर्योगज (recombinant) (या जीव क्लोनिंग), एन्जाइम प्रौद्योगिकी और किण्वन प्रौद्योगिकी की चर्चा की गई है।

पुनर्योगज DNA तकनीक या जीन क्लोनिंग में खमीर या जीवाणु जैसी जीवित कोशिकाओं के भीतर "विजातीय" का निवेशन (insertion) किया जाता है। इसमें दाता जाति (species) से प्राप्त वांछित खंड यानी कि जीन की पहचानने, क्लोनिंग करने और पृथक्करण की आवश्यकता होती है। इसे वाहक DNA से संयोजित (combined) किया जाता है। जिन वाहकों की वरीयता यानी तरजीह दी जाती है वे हैं - जीवाणवीय प्लास्मिड। इससे "पुनर्योगज" DNA बनाता है जो परपोषी कोशिका (host cell) के भीतर निविष्ट किया जाता है। जब आदाता

(recipient) या परपोषी कोशिका वृद्धि करती है और गुणित होती है तो नया प्रविष्ट "विजातीय" DNA भी प्रतिकृत (replicated) होता है। इसके साथ-साथ यह जीव भी "अभिव्यक्त" होता है अर्थात् इसके द्वारा जो प्रोटीन कोडित होती है, वह संश्लेषित होती है। इस तकनीक को बहुत से यौगिकों के औद्योगिक उत्पादन के लिए काम में लाया जाता है। जो नैदानिक और औद्योगिकतः महत्वपूर्ण है जैसे कि इंसुलिन, इंटरफेरोन, हॉर्मोन आदि।

बड़े पैमाने पर एन्जाइमों का पृथक्करण और उत्पादन तथा उनका औद्योगिक अनुप्रयोग एन्जाइम प्रौद्योगिकी कहलाता है। एन्जाइमों को प्रो-कीरल (pro-chiral) पदार्थ या रेसिमिक मिश्रणों से त्रिविम-समावयवी (stereo-isomer) के निर्माण या पृथक्करण के काम में लाया जा सकता है। एन्जाइमों को अपमार्जकों में योज्यों के रूप में भी काम में लाया जाता है, जहाँ वे कपड़े धोने के गुणों में सुधार ला देते हैं। एन्जाइमों को अविलेय आधात्रियों (matrices) के साथ संलग्न करके औद्योगिक उत्प्रेरकों के रूप में उनका अनुप्रयोग सुगम हो जाता है। यह प्रक्रम एन्जाइम निश्चलीकरण (immobilisation) कहलाता है। एन्जाइम या तो आधात्री पर अवशोषित (adsorbed) हो सकते हैं अथवा सहसंयोजकतः इससे संलग्न हो सकते हैं। साधारण नित्यंदन और धावन द्वारा अभिक्रिया मिश्रण से निश्चलीकृत एन्जाइमों को आसानी से अलग किया जा सकता है और फिर से काम में लाया जा सकता है।

खमीर या जीवाणुओं जैसे सूक्ष्मजीवों की क्रिया द्वारा जटिल कार्बनिक यौगिकों का सरल अणुओं में अपघटन किण्वन कहलाता है। आर्जकत "किण्वन प्रौद्योगिकी" शब्द में सूक्ष्म-जीवों का संश्लेषी अनुप्रयोग भी शामिल है। इस प्रौद्योगिकी के सबसे सामान्य उदाहरण ऐल्कोहॉली पेय, शुद्ध एथेनॉल और प्रतिजैविकों (antibiotics) का उत्पादन है। प्रतिजैविक उपयोगी नैदानिक कारक (chemical agents) हैं

## 15.7 अंत में कुछ प्रश्न

1. जैव प्रौद्योगिकी का क्या अर्थ है? संक्षेप में बताइए।
2. आनुवंशिक इंजीनियरी में जीन में परिवर्तन अनिवार्य रूप से होता है। ये परिवर्तन किस तरह किए जाते हैं? चित्रित कीजिए।
3. "एन्जाइम निश्चलीकरण" का क्या अर्थ है?
4. किण्वन सबसे पुराना प्रक्रम है, जो मानव को पता है, उदाहरण सहित बताइए कि किण्वन किस प्रकार आज का औद्योगिक प्रक्रम बन गया है?
5. पेनिसिलिन G का उत्पादन समझाइए।

## 15.8 उत्तर

बोध प्रश्न

- |                      |                   |        |        |
|----------------------|-------------------|--------|--------|
| 1) क) प्लास्मिड      | ख) DNA            |        |        |
| ग) मधुमेह            | घ) ग्लाइकोप्रोटीन |        |        |
| 2) क) गलत            | ख) सही            | ग) गलत | घ) गलत |
| 3) क) एनैन्टिओमरिकतः |                   |        |        |
| ख) भौतिक, रासायनिक   |                   |        |        |
| ग) शर्करीकरण         |                   |        |        |
| घ) माल्ट मिश्रित     |                   |        |        |

अंत में प्रश्न

- 1) क) भाग 15.2 देखिए।
- 2) भाग 15.3 देखिए।
- 3) एन्जाइम निश्चलीकरण एक साधन है जिसके द्वारा एन्जाइम अपनी विशिष्टता और सक्रियता खोए बिना अविलेय बहुलकों, द्रिल्लियों और दूसरे कणों अर्थात् विषमार्गी उत्प्रेरक जैसे ठोस आधारों से संलग्न या निश्चलीकृत किए जाते हैं। यह एक लाभकारी प्रक्रम है, क्योंकि उत्प्रेरकी एन्जाइमों को केवल भौतिक विधि द्वारा हटाकर फिर से काम में लाया जा सकता है।
- 4) भाग 15.5 देखिए।
- 5) भाग 15.5.3 देखिए।

## इकाई 16 प्रतिरक्षा विज्ञान

### इकाई की रूपरेखा

- 16.1 प्रस्तावना
  - उद्देश्य
- 16.2 प्रतिरक्षा विज्ञान की परिभाषा
- 16.3 प्रतिरक्षण तथा अतिअनुग्रहिता
- 16.4 प्रतिरक्षण अनुक्रियाओं को रूपांतरित करने वाले कारक
  - आनुवंशिक कारक
  - आयु कारक
  - पर्यावरण तथा पोषण संबंधी कारक
  - शारीरिक कारक
  - शरीरक्रियात्मक कारक
- 16.5 विशिष्ट प्रतिरक्षण अनुक्रियाएं
- 16.6 प्रतिरक्षण तंत्र की उत्पत्ति
- 16.7 प्रतिरक्षण तंत्र किस प्रकार कार्य करता है?
  - कोशिकीय प्रतिरक्षण
  - देहद्रवी प्रतिरक्षण
- 16.8 प्रतिपिण्ड
  - प्रतिपिण्डों की संरचना
  - प्रतिपिण्डों के प्रकार
  - प्रतिजन-प्रतिपिण्ड अन्वेषणक्रिया
- 16.9 सारांश
- 16.10 अंत में कुछ प्रश्न
- 16.11 उत्तर

### 16.1 प्रस्तावना

यह इकाई प्रतिरक्षा विज्ञान (immunology) के क्रमबद्ध अध्ययन तथा कार्यक्षेत्र से संबंधित है। इसमें प्रतिरक्षण के लिए उत्तरदायी विभिन्न कारकों के महत्व की व्याख्या की गई है। विशिष्ट तथा अविशिष्ट अनुक्रियाओं का भी विस्तृत वर्णन किया गया है। लसीका कोशिकाओं (lymphocytes) की विशिष्ट भूमिका के साथ-साथ विभिन्न प्रकार के प्रतिपिण्डों (antibodies) की संरचना व प्रकारों की व्याख्या भी की गई है।

#### उद्देश्य

इस इकाई के अध्ययन के बाद आप-

- प्रतिरक्षण को परिभाषित कर सकेंगे,
- अतिअनुग्रहिता की व्याख्या कर सकेंगे,
- विशिष्ट तथा अविशिष्ट प्रतिरक्षण अनुक्रियाओं की व्याख्या कर सकेंगे,
- कोशिकीय तथा देहद्रवी प्रतिरक्षण तथा T व B लसीका कोशिकाओं की भूमिका की चर्चा कर सकेंगे,
- प्रतिपिण्डों के विभिन्न वर्गों की संरचनाओं की चर्चा कर सकेंगे, तथा
- विभिन्न प्रतिपिण्डों के प्रकारों की व्याख्या कर सकेंगे।

## 16.2 प्रतिरक्षा विज्ञान की परिभाषा

प्रतिरक्षा विज्ञान के बारे में विस्तार से जानने से पूर्व "प्रतिरक्षा" शब्द को जानना व समझना आवश्यक है। प्रतिरक्षा विज्ञान में हम उन प्रक्रियाओं का अध्ययन करते हैं, जिनका उपयोग परपोषी (host), आगतुक पदार्थ (foreign substance) का सामना होने पर अपने आंतरिक वातावरण की स्थिरता को बनाए रखने के लिए करते हैं। नियम, क्रियाविधि तथा अनुप्रयोगों के रूप में प्रतिरक्षा विज्ञान का क्रमबद्ध अध्ययन ही इस क्षेत्र का स्पष्ट व संपूर्ण चित्रण प्रस्तुत करेगा।

प्रतिरक्षा विज्ञान की परिकल्पना संक्रमण से प्रतिरोध (resistance to infection) के अध्ययन से व्युत्पन्न हुई थी। कई सदियों तक यह देखा गया कि किसी रोग से रूढ़ि होने पर उसी रोग से पुनः संक्रमित होने के प्रति प्रतिरोध कर पाने की क्षमता भी आ जाती थी। पिछले कुछ वर्षों में विज्ञान के मूल विषयों, जैसे-जैव रसायन, शारीरिक विज्ञान (anatomy), आनुवंशिकी विज्ञान (genetics) परिवर्धन जीव विज्ञान (developmental biology) भेषजगुण विज्ञान (pharmacology) विकृति विज्ञान (pathology) इत्यादि तथा रोग लक्षण अनुसंधान (clinical research) ने इस क्षेत्र में बहुमूल्य योगदान दिया है।

## 16.3 प्रतिरक्षण तथा अतिअनुग्राहिता

किसी आगतुक पदार्थ अथवा किसी सूक्ष्मजीव से संक्रमण के संबंध में दो शब्दों, प्रतिरक्षण तथा अतिअनुग्राहिता (hyper sensitivity) के बीच के अंतर को समझना उपयोगी होगा। प्रतिरक्षण, किसी सूक्ष्मजीव द्वारा पुनः संक्रमित होने के प्रति किसी परपोषी की प्रतिरोधन क्षमता से संबंधित होता है। दूसरे शब्दों में परपोषी में उस सूक्ष्मजीव का नाश करने की क्षमता विकसित होती है। आगतुक सूक्ष्मजीव का नाश करने की एक अन्य विधि है-परपोषी की सक्रियता में परिवर्तन। इस सक्रियता से उत्पन्न प्रभाव को अतिअनुग्राहिता अथवा प्रत्यूर्जता (allergy) कहते हैं। परपोषी की पहली अनुक्रिया (response) उपयोगी है जबकि दूसरी हानिकारक। इन दो तथ्यों को हम इस प्रकार कह सकते हैं कि प्रतिरक्षण के माने हैं संक्रामक कर्मक से बचाव जबकि प्रत्यूर्जता, परपोषी की किसी आगतुक पदार्थ के प्रति सामान्य अभिक्रिया है।

ऊपर वर्णित पदों तथा अन्य अनुभवों के आधार पर हम प्रतिरक्षण को इस प्रकार परिभाषित कर सकते हैं। प्रतिरक्षण का संबंध उन सभी शारीरिकीयत्मक क्रियाओं/तंत्रों से है जिनके द्वारा जन्तु आगतुक पदार्थों को पहचानते हैं तथा स्वयं के उत्तकों को हानि पहुंचाए बिना उन्हें उदासीन अथवा उपापचित कर देते हैं अथवा उनका नाश कर देते हैं। प्रतिरक्षण की इस अनुक्रिया को हम दो वर्गों में बांट सकते हैं -i) अविशिष्ट प्रतिरक्षण अनुक्रियाएं (non specific immune responses तथा ii) विशिष्ट अनुक्रियाएं (specific immune responses)

इन अनुक्रियाओं का विस्तृत अध्ययन हम आने वाले भागों में करेंगे। सभी व्यक्तियों में प्रतिरक्षण क्षमता एक समान नहीं होती है। कई सूक्ष्मजीव किसी व्यक्ति को संक्रमित कर सकते हैं, जबकि अन्य व्यक्ति इस के प्रति प्रतिरोध दर्शाते हैं। इसके माने यह है कि इस परिघटना को कुछ कारकों द्वारा नियंत्रित किया जाता है। आगे के भाग में हम प्रतिरक्षण अनुक्रियाओं को रूपांतरित करने वाले कारकों की चर्चा करेंगे।

बोध प्रश्न !

रिक्त स्थान भरिए :

प्रतिरक्षण के माने हैं परपोषी का पुनः संक्रमण के प्रति (...क...) तथा प्रत्येक व्यक्ति में विभिन्न सूक्ष्मजीवों के प्रति (...ख...) प्रतिरक्षण क्षमता पाई जाती है।

## 16.4 प्रतिरक्षण अनुक्रियाओं को रूपांतरित करने वाले कारक

निम्नलिखित कारक प्रतिरक्षण तंत्र को रूपांतरित करते हैं-

### 16.4.1 आनुवंशिक कारक

प्रतिरक्षण अनुक्रिया आनुवंशिक कारकों द्वारा नियंत्रित होती है व अलग-अलग व्यक्तियों में अलग-अलग होती है। कई बार विभिन्न प्रजातियों के बीच भी अंतर पाया जाता है। उदाहरण के लिए तपेदिक के प्रति सुराहिता में।

## 16.4.2 आयु कारक

व्यक्ति की आयु भी उसकी प्रतिरक्षण क्षमता को प्रभावित करती है। बहुत कम व बहुत अधिक आयु के व्यक्तियों में प्रतिरक्षण तंत्र अल्प सक्रियता की अवस्था में होता है। इन दो आयु वर्गों में कई प्रकार के संक्रमणों के प्रति सुग्राहिता बनी रहती है। एक वर्ग में प्रतिरक्षा तंत्र पूर्ण रूप से विकसित नहीं होता तथा दूसरे वर्ग में विभिन्न प्रतिरक्षण प्रकार्यों की कार्य क्षमता में कमी आ जाती है।

## 16.4.3 पर्यावरण तथा पोषण संबंधी कारक

रहन-सहन की अभावग्रस्त परिस्थितियों में रोगों के प्रति सुग्राहिता सामान्यतः बढ़ जाती है। ऐसा प्रतिजनों की अधिकता तथा कुपोषण पर प्रतिरोधन क्षमता में कमी के कारण होता है। विकासशील देशों में बच्चों पर किए गए अध्ययन से ज्ञात होता है कि कम उम्र में पर्याप्त मात्रा में पोषण न मिल पाने के कारण प्रतिरक्षण अनुक्रिया का विकास सुचारू रूप से नहीं हो पाता है। कुछ समय पहले समलैंगिक पुरुषों तथा घर-बार संक्रमण तथा दुर्दमता (malignancy) से त्रस्त व्यक्तियों के समूह में एक नए प्रकार के संलक्षण (syndrome) का वर्णन किया गया है इसे उपर्जित प्रतिरक्षणहीनता संलक्षण (Acquired immune deficiency syndrome, AIDS) कहते हैं। यह संलक्षण रहन-सहन के स्तर, पर्यावरण, अन्तःशिरा औषधि सेवन (intravenous drugs) तथा अस्थान (transfusion) जैसे कारकों के कारण होता है।

## 16.4.4 शारीरिक कारक

त्वचा तथा श्लेष्म शिस्ती पहले पहल सूक्ष्मजीवों के आक्रमण के प्रति सुरक्षा प्रदान करती है। ये उत्तक अपने सामान्य प्रकार में आक्रमण के प्रति एक भौतिक अवरोध बनाती हैं। त्वचा, श्लेष्मशिस्ती की अपेक्षा अधिक प्रभावी अवरोध उत्पन्न करती है। ऐसा पाया गया है कि त्वचा के जल जाने पर उसमें संक्रमण के प्रति सुग्राहिता में बढ़ोतरी हो जाती है।

## 16.4.5 शरीर क्रियात्मक कारक

आमाशय की ग्रंथियों द्वारा स्रावित आमाशयी रस (gastric juice) के मुख्य पाचक अवयव हैं—हाइड्रोक्लोरिक अम्ल, म्यूसिन, गैनिन तथा पेप्सिनोजन। अम्ल पेप्सिनोजन से क्रिया करके पेप्सिन उत्पन्न करता है जो अम्लीय माध्यम में अत्यधिक सुगमता से कार्य करता है। आमाशय अत्यंत अवांछित बैक्टीरियाओं तथा उन अन्य सूक्ष्मजीवों को नष्ट कर देती है, जो भोजन के साथ हमारे शरीर में पहुंचते हैं। कुछ बैक्टीरिया, जैसे—टाइफाइड बैसीली (*Typhoid bacilli*) इस अम्ल द्वारा प्रभावित नहीं होते तथा रोग उत्पन्न कर सकते हैं। श्वसन तंत्र की पक्ष्माभिकी (ciliary) क्रिया, प्रतिरोध की एक अन्य महत्वपूर्ण शरीरक्रियात्मक क्रिया है। मूत्र के सामान्य निकाल में मूत्रीय पथ (urinary track) से बैक्टीरिया निकल जाते हैं तथा संक्रमण से रोकथाम होती है। अवरोध मूत्रीय पथ अथवा श्वसन पथ संक्रमण के प्रति अधिक सुग्राही होते हैं। लाइसोजाइम एक ऐसा एंजाइम है, जिसमें बैक्टीरिया को मारने की क्षमता पाई जाती है। यह एंजाइम कई प्रकार की कोशिकाओं तथा देह द्रवों (body fluids) जैसे श्नु इत्यादि में पाया जाता है तथा म्यूकोलिटिक गुणों (mucolytic properties) द्वारा नर्ष करता है जिससे यह बैक्टीरिया की कोशिकाभित्ति की ऐमीनो एसिड शर्कराओं को विदलित कर सकता है।

श्लेष्मी प्रोटीनें (mucoproteins) सुरक्षा का एक अन्य तरीका प्रदान करती हैं। ये कई विषाणुओं को परपोषी की कोशिका से जुड़ने से रोकती हैं। प्रोटीनों का एक अन्य वर्ग, जिसे इंटरफेरान (interferons) कहते हैं, कई प्रकार के कोशिकीय प्रभाव उत्पन्न करता है। पहले यह माना जाता था कि ये विषाणुओं की प्रतिकृति को संदमित करती हैं।

ऊपर दिए गए, संक्रमण के प्रति, अविशिष्ट अवरोधों के साथ-साथ अवरोधों के कई विशिष्ट प्रकार भी होते हैं। यह किसी विशिष्ट परजीवी (parasite) के प्रति अनुक्रिया के दौरान उत्पन्न होते हैं तथा पूर्णतः परजीवी पर ही क्रिया करते हैं। अगले भाग में, हम विशिष्ट अवरोधों की चर्चा करेंगे और देखेंगे कि स्वास्थ्य, इन अवरोधों के सुचारू रूप से कार्य करने पर किस प्रकार निर्भर करता है?

## वोध प्रश्न 2

क) बहुत कम व बहुत अधिक आयु के व्यक्तियों में विभिन्न संक्रमणों के प्रति उच्च सुग्राहिता का क्या कारण है?

ख) अमाशयी रस में कौन-कौन से पाचक अवयव पाए जाते हैं ?

## 16.5 विशिष्ट प्रतिरक्षण अनुक्रियाएं

विशिष्ट प्रतिरक्षण अनुक्रियाएं आगंतुक पदार्थ को पहचानने तथा अंततः अत्यधिक सटीक तरह से उसे नष्ट करने का कार्य करती हैं। परपोषी तथा आगंतुक पदार्थ के बीच द्वंद का अंतिम परिणाम पदार्थ तथा परपोषी के गुणों पर निर्भर करता है। यहाँ पर "प्रतिजन" नामक पद से आपका परिचय कराना व उसको परिभाषित करना अनिवार्य है।

प्रतिजन (antigen) वे आगंतुक (अर्थात् जो जंतु में सामान्यतः नहीं पाए जाते) रासायनिक पदार्थ होते हैं, जो शरीर के प्रतिरक्षा तंत्र में अनुक्रिया उत्पन्न करते हैं। प्रतिजन, प्रोटीने है जैसे दुग्ध प्रोटीने, हीमोग्लोबिन के अणु, बैक्टीरिया आविष, विष तथा सुक्ष्मजीवी कशाभ, पाहली और संपुटिका के रासायनिक तत्व। सक्रियता का एक क्षेत्र, जिसे प्रतिजनी डिटेर्मिनेंट (antigenic determinant) कहते हैं, प्रतिजनों का एक प्रमुख लक्षण होता है। यह प्रतिजन के अणु की सतह पर पाया जाता है तथा छः से आठ ऐमीनो अम्ल अवशिष्टों का बना होता है अथवा यह एक अल्प सैकैराइडी मॉड्यु भी हो सकती है। कुछ पॉलीसैकैराइड भी प्रतिजन के रूप में कार्य कर सकते हैं। सामान्यतः प्रतिजनों का आणविक द्रव्यमान 10,000 डाल्टन से अधिक होता है। प्रतिजन का यह विशाल आकार दर्शाता है कि इसमें कई डिटेर्मिनेन्ट हो सकते हैं। लघु अणुओं को कुछ उत्तक प्रोटीनों अथवा पॉलीसैकैराइडों से जोड़कर प्रतिजनी बनाया जा सकता है। इन लघु अणुओं को हैप्टन कहते हैं।

ध्यान दें कि कोई व्यक्ति सामान्यतः अपनी प्रोटीनों अथवा पॉलीसैकैराइडों के प्रति प्रतिरक्षण अनुक्रिया नहीं दर्शाता। दूसरी ओर यही यौगिक दूसरे व्यक्ति में प्रतिजन का कार्य कर सकते हैं। ऐसा माना जाता है कि जन्म से पहले शरीर की कोशिकाओं की प्रोटीने तथा पॉलीसैकैराइडों अपने प्रति अनुक्रिया दर्शा सकने वाली प्रतिरक्षण तंत्र की कोशिकाओं से संबंध स्थापित करके उन्हें निष्क्रिय कर देती हैं। भ्रूणावस्था में प्रतिरक्षण कोशिकाओं को आसानी से निष्क्रियित किया जा सकता है। इस प्रकार व्यक्ति अपने स्वयं के अवयवों अथवा अपने आप के प्रति सहिष्णुता (tolerance) प्राप्त कर लेता है तथा केवल बाह्य प्रतिजनों के प्रति ही अनुक्रिया दर्शाता है। इस सिद्धांत को "विशिष्ट प्रतिरक्षण सहिष्णुता" (specific immunologic tolerance) कहते हैं।

प्रतिजन विभिन्न मार्गों में शरीर से प्रविष्ट होते हैं। जैसे—श्वसन पथ की फ्लेष्म झिल्ली से अथवा इंजेक्शन तथा पावों द्वारा त्वचा के मार्ग इत्यादि से। एक बार शरीर में प्रविष्ट हो जाने के उपरान्त किसी पदार्थ की प्रतिजीवी प्रकृति उसकी मात्रा, आकार, प्रतिरक्षण तंत्र के सुचारू रूप से कार्य करने तथा भक्षक कोशिकाओं द्वारा प्रतिजन का विघटन कर पाने की क्षमता इत्यादि कारकों द्वारा निर्धारित होती है।

### बोध प्रश्न 3

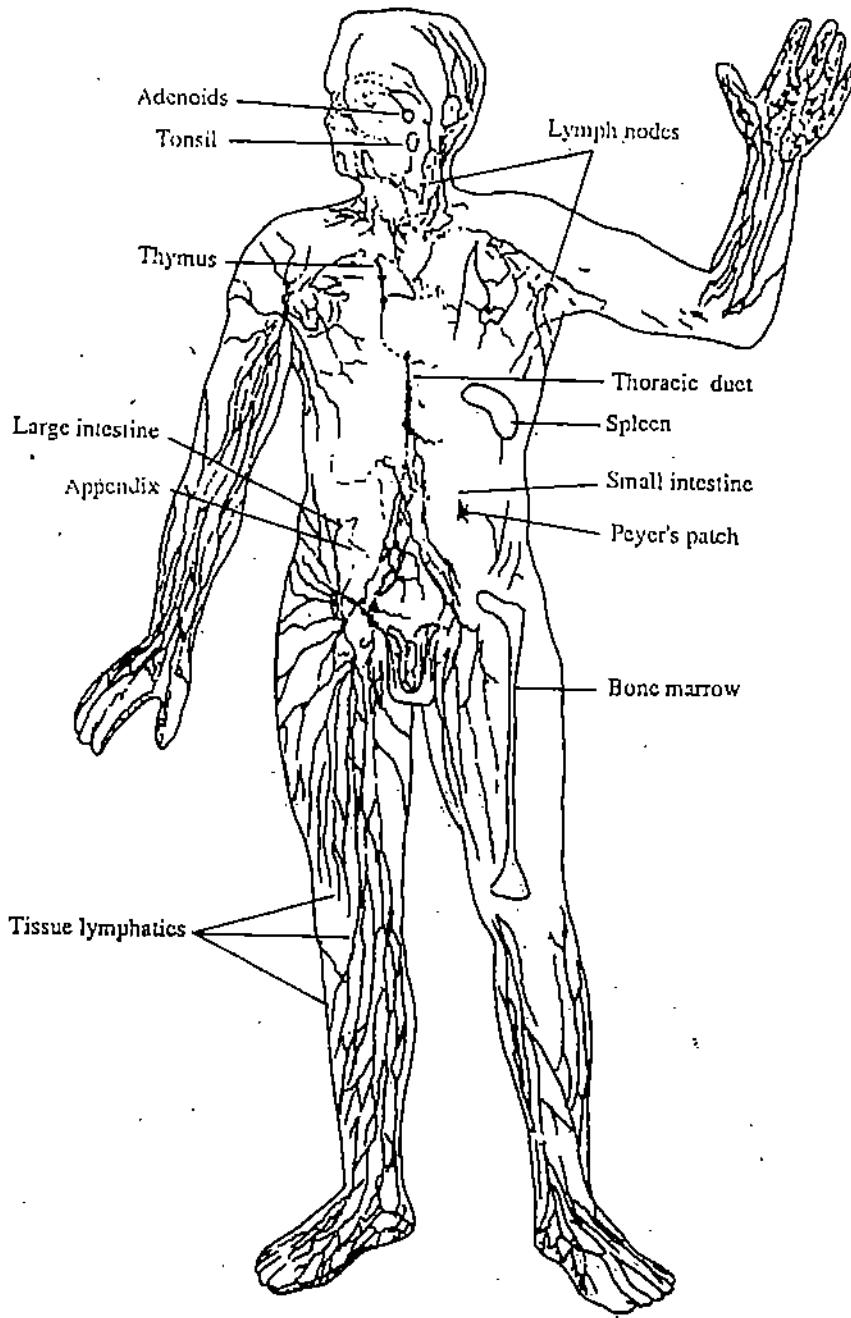
हैप्टन क्या होता है ?

## 16.6 प्रतिरक्षण तंत्र की उत्पत्ति

"प्रतिरक्षण तंत्र" (immune system) एक सामान्य पद है। इसका उपयोग प्रतिजनों के प्रति विशिष्ट अनुक्रिया दर्शाने के लिए आवश्यक कई कोशिकाओं, कारकों तथा प्रक्रियाओं के लिए सम्मिलित रूप से किया जाता है। इस तंत्र का विकास गर्भ ठहरने के लगभग दो माह उपरांत आरंभ होता है। उस समय मेरु रज्जु (bone marrow) में एक स्तंभ कोशिका (stem cell) उत्पन्न होती है, तो ऐरिथ्रोपाइटिक कोशिका तथा/अथवा लिम्फोपाइटिक कोशिका में विभाजित हो जाती है। ये कोशिकाएं बाद में क्रमशः प्रतिरक्षण तंत्र के रक्ताणुओं (erythrocytes) तथा लसीकाणुओं (lymphocytes) में परिवर्तित हो जाती हैं।



लिम्फोपाइटिक कोशिकाओं के पास दो पथ उपलब्ध होते हैं, जिनमें से वे किसी एक का चयन कर सकती हैं। पहले पथ में कुछ कोशिकाएं बस के हिस्से में स्थित एक विशिष्ट अंग, जिसे थाइमस (thymus) कहते हैं, में से गुजरते हैं। थाइमस के अंदर लिम्फोपाइटिक कोशिकाएं थाइमस पर निर्भर लसीकाणुओं अथवा T-लसीकाणुओं अथवा T-कोशिकाओं में परिवर्तित हो जाती हैं। थाइमस में से निकलने के उपरांत T-कोशिकाएं रक्त संचार के मार्ग से गमन करती हैं तथा तितली (spleen), टॉसिल (tonsil) तथा अन्य लसीकाभ उत्तकों (lymphoid tissues) में स्थित लसीका नोडों (lymph nodes) में बस जाती हैं (चित्र 16.1)।



चित्र 16-1 : मानव लसीका तंत्र

बाकी लिम्फोपाइटिक कोशिकाएं श्रूम के यकृत अथवा मेरु रज्जु में से गुजरती हैं जहां पर ये B-लसीकाणुओं अथवा B-कोशिकाओं में परिवर्तित हो जाती हैं। B-कोशिकाओं की सतह पर एक रासायनिक पदार्थ होता है जो उन्हें T-कोशिकाओं से भिन्न बनाता है। T-लसीकाणुओं की तरह B-लसीकाणुविक कोशिकाएं भी रक्त संचार द्वारा गमन करके विभिन्न लसीका नोडों अथवा लसीकाभ उत्तकों में बस जाती हैं। दोनों प्रकार के लसीकाणु

प्रतिरक्षण तंत्र में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। लसीका नोडों पर ये लसीकाणु एकत्र होते हैं तथा यहीं पर प्रतिजनों से इनका सामना होता है। T-लसीकाणुओं की संख्या B-लसीकाणुओं की अपेक्षा कम होती है।

#### चौध प्रश्न 4

T तथा B लसीकाणु किस प्रकार बनते हैं ?

.....

.....

.....

.....

.....

### 16.7 प्रतिरक्षण तंत्र किस प्रकार कार्य करता है ?

ज्यों ही प्रतिजन लसीका तंत्र में प्रवेश करता है, त्यों ही प्रतिरक्षा की प्रक्रिया आरंभ हो जाती है। महाविभोजी (macrophages) मोनोसाइटों तथा पॉलीमार्फोन्यूक्लियर कोशिकाओं द्वारा प्रतिजन पर भक्षकाणुक्रिया (phagocytosis) आरंभ हो जाती है तथा प्रतिजनी पदार्थ का एक बड़ा भाग पच जाता है। भक्षकाणु (phagocyte) प्रतिजनी डिटर्मिनेन्टों को लसीकाभ उत्तकों में स्थित प्रतिरक्षण तंत्र पर स्थानांतरित कर देते हैं। इन उत्तकों में महाविभोजी कोशिकाएं प्रतिजनी डिटर्मिनेन्टों को T व B लसीकाणुओं के समक्ष उपस्थित करती हैं। ये लसीकाणु महाविभोजी कोशिका के अस्पष्ट एकत्रित हो जाते हैं तथा लसीकाणुओं पर स्थित विशिष्ट ग्राही स्थानों तथा प्रतिजनी डिटर्मिनेन्टों के बीच अणुन्यक्रिया होती है। इसके उपरान्त प्रतिरक्षण प्रक्रिया इस पर निर्भर करती है कि T व B लसीकाणुओं में से कौन से लसीकाणु प्रेरित (stimulate) होते हैं। इनके आधार पर प्रतिरक्षण प्रक्रिया के दो अलग-अलग रूप होते हैं। इन्हें क्रमशः कोशिकीय प्रतिरक्षण (cellular immunity) तथा देहद्वी प्रतिरक्षण (humoral immunity) कहते हैं।

#### 16.7.1 कोशिकीय प्रतिरक्षण

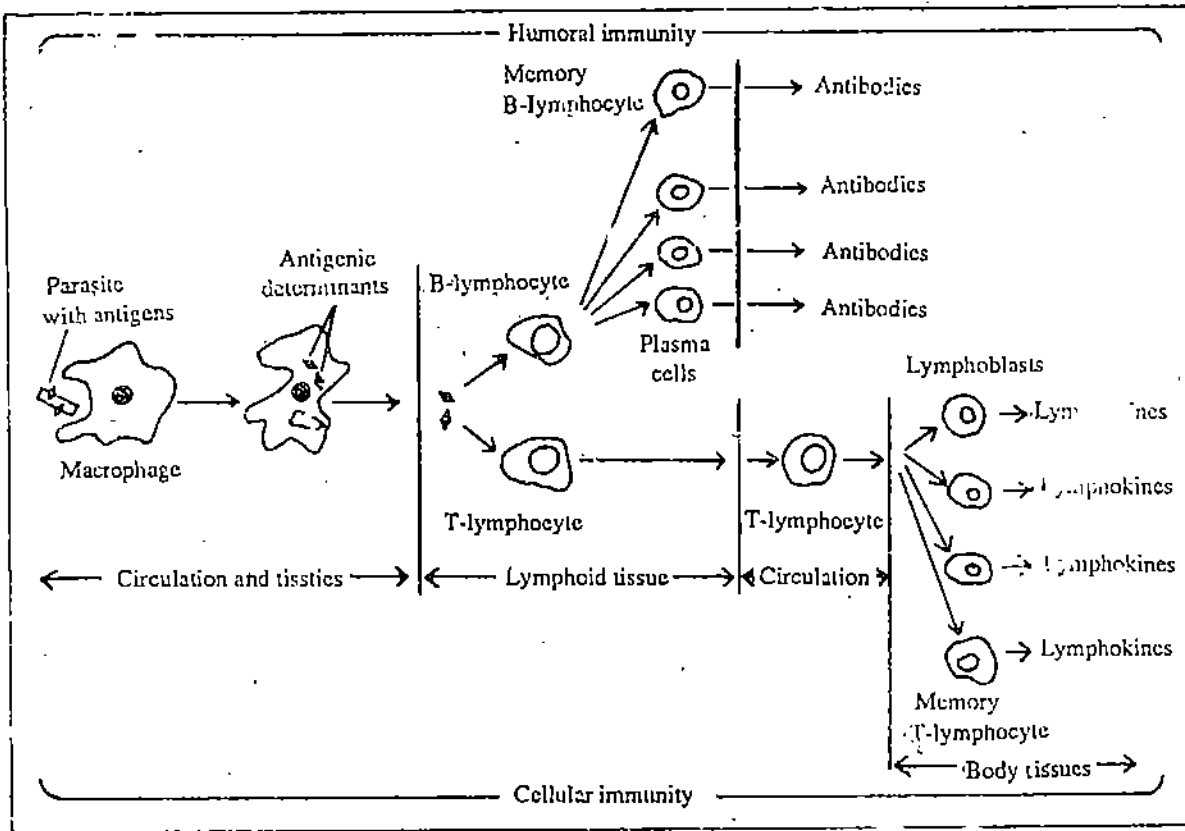
जब T-लसीकाणु प्रतिरक्षा के लिए उत्तरदायी होते हैं तब इसे कोशिकीय प्रतिरक्षण (cellular immunity) कहते हैं। इसे कोशिका मध्यस्थ प्रतिरक्षण (cell mediated immunity) अथवा उत्तक प्रतिरक्षण (tissue immunity) भी कहते हैं (चित्र 16.2)। इस प्रकार के प्रतिरक्षण के विकास की निम्नलिखित क्रियाविधि होती है।

कई फफूंदियों, प्रोटोजोओं तथा कुछ चुने हुए विषाणुओं व बैक्टीरियाओं के प्रतिजन T-लसीकाणुओं को प्रेरित करके उन्हें संवेदनशील बना देते हैं। ये संवेदित T-लसीकाणु रक्त संचार के मार्ग से उस स्थान पर पहुंच जाते हैं, जहाँ पर प्रतिजन को संसूचित किया गया था। उस स्थान पर लसीकाणुओं की मात्रा बढ़ जाती है। प्रतिजन के स्थान पर लसीकाणु अविकसित कोशिका में परिवर्तित हो जाती हैं। इन्हें लसीकोरक (lymphoblast) कहते हैं। ये कम आणविक द्रव्यमान वाली कई प्रोटीने उत्पन्न करते हैं जिन्हें लिम्फोकाइन (lymphokines) कहते हैं। ये लिम्फोकाइन अत्यंत सक्रिय होते हैं तथा उनके द्वारा किए जाने वाले प्रकाशों के आधार पर उन्हें विभिन्न वर्गों में बांटा जा सकता है।

- एक प्रकार के लिम्फोकाइन भक्षकाणुओं को प्रतिजन के स्थान पर ले जाते हैं, इन्हें रसोअनुचलनी घटक (chemotactic factor) CF कहते हैं।
- प्रवास निरोधी कारक (migration inhibition factor) (MIF) महाविभोजी को आगे जाने से रोकता है।
- महाविभोजी समुच्चयन कारक (macrophage aggregation factor) (MAF) के कारण भक्षकाणु एक स्थान पर जुड़ जाते हैं।
- महाविभोजी सक्रियक घटक (macrophage activating factor, MAF) जीवाणुभोजी कोशिकाओं की गतिशीलता तथा इनमें लाइबोसोमी एन्जाइमों की मात्रा को बढ़ाता है।

इन सभी घटकों के सम्मिलित प्रभाव से प्रतिजन पर भक्षकाणुक्रिया की दक्षता बढ़ जाती है तथा रोग के प्रति एक विशिष्ट अनुक्रिया उत्पन्न होती है।

प्रतिजनों के समाप्त हो जाने पर लिम्फोकाइन तीव्रता से लुप्त हो जाते हैं। यद्यपि व्यक्ति उस प्रतिजन के भविष्य में होने वाले प्रभावों के प्रति प्रतिरक्षित रहता है, क्योंकि T-लसीकाणुओं की एक बड़ी संख्या उत्तक में उपस्थित रहती है। इन कोशिकाओं को स्मृति T-लसीकाणु (memory T-lymphocytes) कहते हैं। जब कभी यह



चित्र 16.2 : प्रतिरक्षा तंत्र की प्रणाली का समन्वित निरूपण

प्रतिजन उत्पन्न होने में पुनः उत्पन्न होता है, तब ये स्मृति T-लसीकाणु पुनः लसीकोरकों में परिवर्तित होकर लिम्फोकाइस उत्पन्न करते हैं, जो प्रतिजन का नाश कर देते हैं। यह रोग के प्रति दीर्घकालीन प्रतिरक्षण का कारण है। कोढ़ तथा तपेदिक जैसे बैक्टीरिया रोगों तथा कुछ फफूंद जनित रोगों के प्रतिरोधन में कोशिकीय प्रतिरक्षण एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। कुछ प्रतिजन एक इस प्रकार के लसीकाणुओं को प्रेरित करते हैं, जिसे भक्षी T-लसीकाणु कहते हैं। यह संक्रमित कोशिका के संपर्क में आने पर उसका विघटन करने में सहायक होता है।

दो अन्य प्रकार के लसीकाणु होते हैं, जिन्हें सहायक T-लसीकाणु (helper T-lymphocyte) तथा निषेधक T-लसीकाणु (suppressor T-lymphocyte) कहते हैं। कुछ प्रतिरक्षण अनुक्रियाओं में इन्हें भी प्रेरित किया जाता है। सहायक T-लसीकाणु प्रतिजन से जुड़कर इसके प्रति B-लसीकाणुओं की अनुक्रिया में सहायता करता है। जबकि निषेधक T-लसीकाणु B-लसीकाणुओं की प्रक्रिया में बाधा उत्पन्न करके प्रतिरक्षण अनुक्रिया को आधिक्य को रोकता है।

### 16.7.2 देहद्रवी प्रतिरक्षण

देहद्रवी प्रतिरक्षण सहायक T-लसीकाणुओं द्वारा प्रेरित B-लसीकाणुओं द्वारा नियंत्रित होती है। B-लसीकाणु रक्त संचार में प्रवेश नहीं करते अपितु वे लसीकाणु उत्पन्न में ही रहते हैं तथा संवर्धन द्वारा कोशिकाओं का एक क्लोन (clone) बनाते हैं। जिन्हें प्लेज्मा कोशिकाएं (plasma cells) कहते हैं। प्लेज्मा कोशिकाओं का आकार B-लसीकाणुओं का लगभग दो से तीन गुणा होता है। प्रोटीनों को अणु इन कोशिकाओं के मुख्य उत्पाद होते हैं। इन प्रोटीनों को प्रतिपिण्ड (antibodies) कहते हैं। इन प्रतिपिण्डों के हजारों अणु प्रति संक्रमण रक्त में वंचक में प्रविष्ट होते हैं। चूंकि प्रतिपिण्डों तथा प्रतिजनों के बीच की अणु-अणु क्रिया रक्त प्रवाह में होती है, इसलिए इस प्रकार के प्रतिरक्षण को देहद्रवी प्रतिरक्षण कहते हैं। प्लेज्मा कोशिकाएं दो से तीन दिन अथवा प्रतिजन की उपस्थिति के समाप्त होने तक, प्रतिपिण्डों को संश्लेषित करते रहती हैं। इसके बाद प्लेज्मा कोशिकाएं नष्ट हो जाती हैं व इनके स्थान पर B-लसीकाणुओं का एक दूसरा क्लोन, जिन्हें स्मृति B-लसीकाणु कहते हैं, उत्पन्न हो जाता है। ये स्मृति कोशिकाएं कई वर्षों तक उत्पन्न में रहती हैं, तथा इसी प्रतिजन के पुनः उत्पन्न होने की स्थिति में सक्रिय हो जाती हैं।

प्रतिरक्षा-लेब्युमिन्स को रासायनिक रूप में Ig तथा वगैरह है।

प्रतिरक्षण के दूसरे प्रकार अर्थात् देहद्वी प्रतिरक्षण के अध्ययन के बाद आइए, हम एंजाइम कोशिकाओं द्वारा उत्पन्न प्रतिपिण्डों के विभिन्न प्रकारों व संरचनाओं पर अध्ययन करें। हम यहाँ भी देखेंगे कि प्रतिपिण्ड किस प्रकार प्रतिजनों से अन्वेष्यग्नित्वा करते हैं तथा विशिष्ट प्रतिरोध उत्पन्न करते हैं।

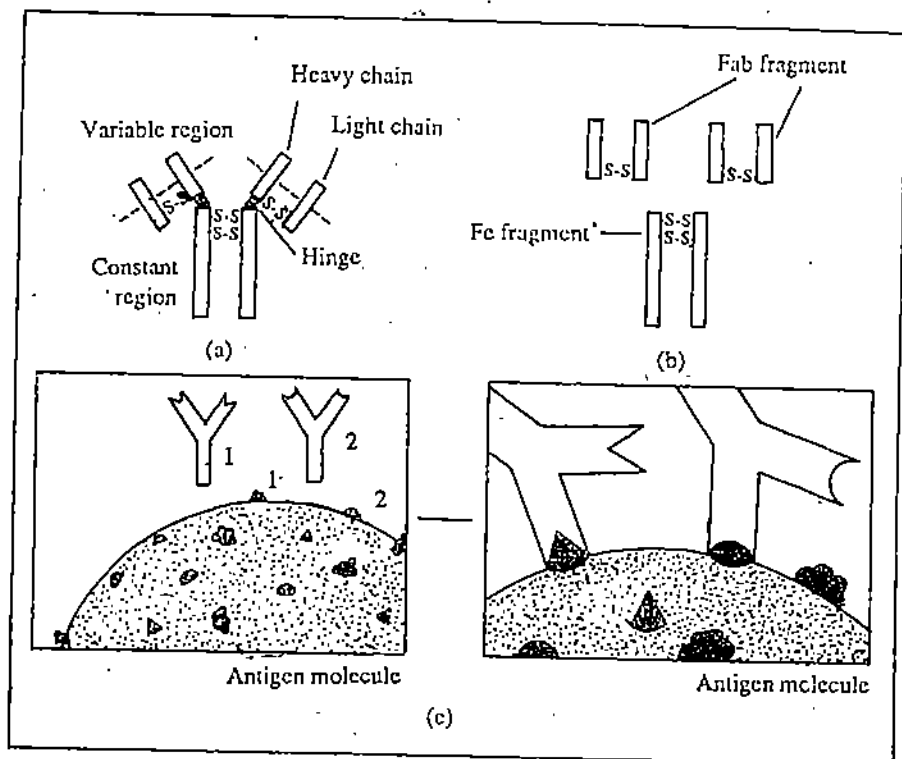
**बोध प्रश्न 5**

- क) लसीकोरक द्वारा उत्पन्न पदार्थ को क्या कहते हैं तथा इसकी प्रकृति क्या होती है ?
- ख) निषेधक T-लसीकाणुओं की संख्या तथा एक T-लसीकाणुओं की अर्थात् आकार को क्या कहते हैं ?

**16.8 प्रतिपिण्ड**

**16.8.1 प्रतिपिण्डों की संरचना**

प्रतिपिण्ड की मूल संरचना में पॉलीपेप्टाइड की चार शृंखलाएँ होती हैं—दो समान “भारी” (heavy) अथवा H शृंखलाएँ तथा दो “हल्की” (light) अथवा L शृंखलाएँ (चित्र 16.3)।



चित्र 16.3 : प्रतिपिण्ड की संरचना तथा क्रियाविधि, क) प्रतिपिण्ड के चर व अचर भाग; ख) पपैन नामक एंजाइम की क्रिया से प्राप्त प्रतिपिण्ड के Fab व Fc खंड; ग) प्रतिपिण्ड व प्रतिजनी डिटर्मिनन्टों के बीच क्रिया

ये शृंखलाएँ डाइसल्फाइड आबंधों द्वारा परस्पर जुड़ी होती हैं तथा एक Y आकार की संरचना बनाती हैं। प्रत्येक H शृंखला में लगभग 400 ऐमीनो अम्ल होते हैं, जबकि प्रत्येक शृंखला लगभग 200 ऐमीनो अम्लों की बनी होती है। प्रत्येक पॉलीपेप्टाइड शृंखला में अचर (constant) तथा चर (variable) क्षेत्र होते हैं। विभिन्न प्रतिपिण्डों की H व L शृंखलाओं के क्षेत्र में लगभग एक समान ऐमीनों अम्ल होते हैं। कई सैकड़ों, हजारों प्रतिपिण्डों के चर क्षेत्र के ऐमीनो अम्लों में विविधता पाई जाती है। H व L शृंखलाओं के चर क्षेत्र मिलकर एक अतिविशिष्ट त्रिआयामी संरचना बनाते हैं, जो प्रतिपिण्ड को किसी विशेष प्रतिजन के प्रति विशिष्टता प्रदान करता है। दूसरे शब्दों में, प्रतिपिण्ड केवल एक विशिष्ट प्रकार के प्रतिजन को “पहचानने” में ही सक्षम होता है। प्रतिपिण्ड की दो भुजाएँ एक समान होती हैं, जिससे प्रतिपिण्ड का एक अणु दो प्रतिजनों से जुड़ सकता है। प्रतिपिण्ड की पपैन (Papain) नामक प्रोटीन अपघटक एंजाइम (proteolytic enzyme) से क्रिया करने पर दो प्रकार के कुल तीन खंड प्राप्त होते हैं। इनमें से दो Fab खंड “प्रतिजन आबंधी खंड” (fragment-antigen-binding, Fab)

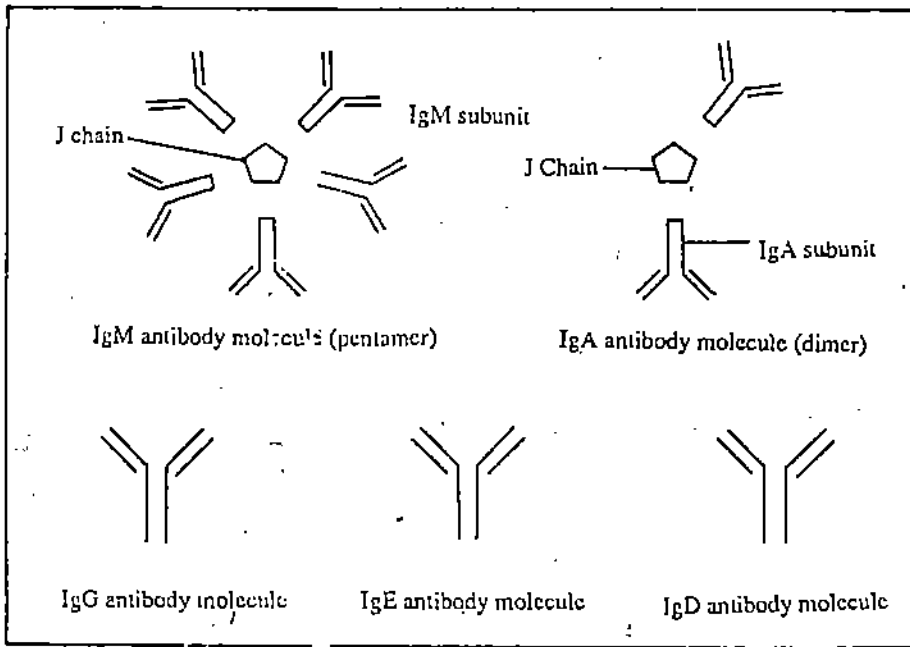
कहलाते हैं। ये प्रतिजनी डिटरमिनेन्ट से जुड़ने में सक्षम होते हैं तथा दूसरे प्रकार के खंड  $F_2$  खंड अथवा किस्टलीकृत हो सकने योग्य खंड होते हैं। प्रतिपिण्डों का यह भाग भक्षक कोशिकाओं से जुड़ता है तथा जीवाणुग्राही स्थानों को उदासीन करता है।

### 16.8.2 प्रतिपिण्डों के प्रकार

II शृंखलाओं में विविधता के अनुसार विभिन्न प्रकार के प्रतिपिण्डों को पहचाना गया है। प्रतिरक्षालोब्युलिनों के पांच वर्ग इस प्रकार हैं (चित्र 16.4)।

प्रतिरक्षालोब्युलिनों को सांकेतिक रूप में Ig द्वारा दर्शाते हैं।

- प्रतिरक्षालोब्यूलिन M यह B लसीकाणुओं के प्रेरण के बाद रक्त संचार में प्रविष्ट करने वाला पहला प्रतिपिण्ड होता है। प्रतिपिण्डों में इसका आकार सबसे बड़ा होता है। अपने आकार के कारण IgM रक्त संचार में रहता है। सीरम में उपस्थित कुल प्रतिपिण्डों में IgM लगभग 5-10% तक होता है।
- प्रतिरक्षालोब्यूलिन G: मनुष्यों के सामान्य सीरम में यह प्रमुख प्रतिरक्षालोब्यूलिन होता है तथा 70-75% तक की मात्रा में पाया जाता है। IgG प्रतिजन प्रेरण के लगभग 24-48 घंटों बाद रक्त संचार में पाया जाता है। यह एक द्वितीयक प्रतिपिण्ड अनुक्रिया का प्रतिपिण्ड होता है। स्मृति B लसीकाणुओं के उत्पाद के रूप में यह रोग के प्रति दीर्घकालीन प्रतिरोध दर्शाता है।



चित्र 16.4 : विभिन्न प्रकार के प्रतिपिण्डों की संरचनाएँ

- प्रतिरक्षालोब्यूलिन A: यह मनुष्य के सीरम में उपस्थित प्रतिरक्षालोब्यूलिनों का लगभग 15-20% भाग बनाती है। इस प्रतिपिण्ड के दो रूप होते हैं। इनमें से एक सीरम में पाया जाता है तथा सीरम IgA कहलाता है व दूसरा शरीर के विभिन्न स्रावों में इकट्ठा होता है तथा स्रावी IgA कहलाता है। ये प्रतिपिण्ड खसानी तथा जठरांत्र (gastro intestinal) पथों के उत्तकों से परपोषियों के जुड़ने की रोकथाम द्वारा प्रतिरक्षण करते हैं।
- प्रतिरक्षालोब्यूलिन E: ये प्रतिपिण्ड कुछ प्रतिजनों के प्रति कोशिकाओं को संवेदन द्वारा प्रत्युर्जता प्रतिक्रियाओं में मुख्य भूमिका निभाते हैं। प्रतिपिण्डों का यह वर्ग कृमीय परजीवों के प्रति प्रतिरक्षण में भूमिका निभा सकता है परंतु पश्चिमी देशों में ये सामान्यतः दमा तथा परागज्वर (asthemia & hay fever) जैसे अतिसुग्राहिता रोगों से संबंधित होते हैं।
- प्रतिरक्षालोब्यूलिन D: यह प्लेज्मा के कुल प्रतिरक्षालोब्यूलिनों का 1% से भी कम भाग बनाते हैं परंतु कई B-लसीकाणुओं की शिल्पियों पर ये बड़ी मात्रा में पाए जाते हैं।

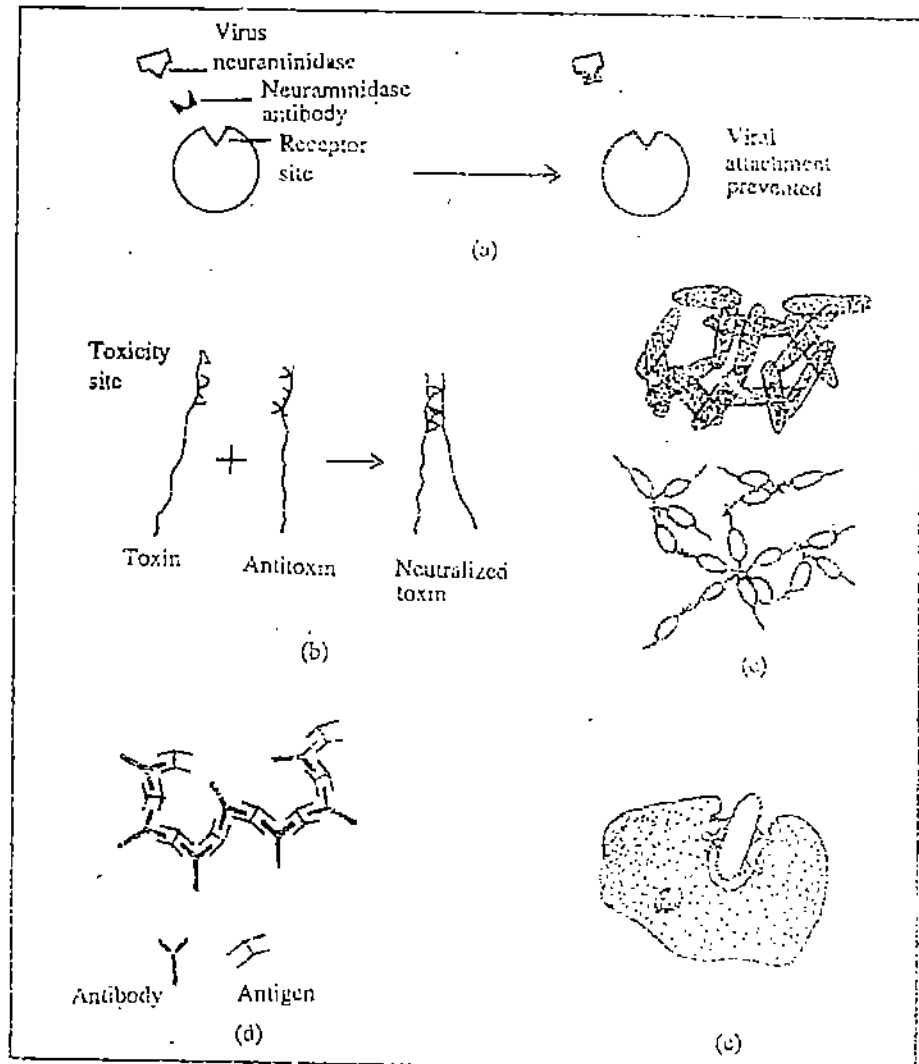
### बोध प्रश्न 4

क) प्रतिपिण्डों में दो शृंखलाएँ किस प्रकार के आबंधों द्वारा एक-दूसरे से जुड़ी होती हैं।

ख) सीरम में किस प्रकार के प्रतिपिण्डों की मात्रा सबसे अधिक है ?

### 16.8.3 प्रतिजन-प्रतिपिण्ड अन्योन्यक्रियाएं

द्विपिण्ड प्रकार की प्रतिरोधन क्षमता के विकास के लिए प्रतिपिण्ड प्रतिजनों से इस प्रकार अन्योन्यक्रिया करते हैं, जिससे प्रतिजन परिवर्तित हो जाता है। इस परिवर्तन के परिणामस्वरूप उस प्रतिजन वाला सूक्ष्मजीव नष्ट हो सकता है। प्रतिजन-प्रतिपिण्ड अन्योन्यक्रियाएं कई प्रकार से होती हैं। कुछ प्रतिपिण्ड, जिन्हें उदासीनीकारक प्रतिपिण्ड कहते हैं, विषाणुओं के प्रोटीनीय आवरण से किया करके उन्हें परपोषी कोशिकाओं में प्रविष्ट होने से रोकते हैं। प्रतिपिण्डों के एक अन्य प्रकार को ऐन्टिटॉक्सिन (antitoxins) कहते हैं। ये आविष (toxin) के अणुओं को उदासीन करके नष्ट कर देते हैं। एग्लुटिनिन वे प्रतिपिण्ड होते हैं जो बैक्टीरिया जैसे सूक्ष्मजीवों की सतह पर प्रतिजनों से क्रिया करते हैं। इसके परिणामस्वरूप सूक्ष्मजीव के समूहन (agglutination) द्वारा भक्षकाणुक्रिया की प्रक्रिया तीव्र हो जाती है। प्रेसिपिटिन एक अन्य प्रकार के प्रतिपिण्ड होते हैं। ये विलयन में उपस्थित प्रतिजनों से क्रिया करके उन्हें ठोस अवक्षेप (precipitate) में परिवर्तित कर देते हैं। अवक्षेप के रूप में प्रतिजन सामान्यतः निष्क्रिय होते हैं तथा इनका भक्षकाणुक्रिया सरल हो जाती है (चित्र 16.5)।



बोध प्रश्न 7

प्रतिपिण्ड, शरीर को संक्रमित करने वाले प्रतिजनों को किस प्रकार परिवर्तित करते हैं ?

16.9 सारांश

प्रतिरक्षा विज्ञान का संबंध किसी व्यक्ति में किसी विशेष संक्रमण के प्रति विशिष्ट प्रतिरक्षण अथवा प्रतिरोध के विकास को क्रमबद्ध अध्ययन से है। व्यक्ति की आयु, पर्यावरण तथा उसका पोषण स्तर उसकी प्रतिरक्षण अनुक्रिया को प्रभावित करता है। कभी-कभी प्रजातीय व व्यक्तिगत अंतर भी होते हैं। जंतुओं, मनुष्यों सहित, में संक्रमण के प्रति कुछ अविशिष्ट प्रतिरोधन क्षमताएं होती हैं। इनमें रोगजनक सूक्ष्मजीवों के प्रवेश के प्रति भौतिक अवरोध जैसे त्वचा तथा झिल्ली झिल्लियां इत्यादि तथा शरीरक्रियात्मक अवस्थाएं जैसे-आमाशय में अम्लीय pH इत्यादि होती हैं। ये अम्लीय pH कई प्रकार के बैक्टीरियाओं को नष्ट कर देती हैं। जब कभी कोई रोगजनक सूक्ष्मजीव इन अवरोधों को पार करने में सफल हो जाता है, तब उनका सामना महाविभोजी कोशिकाओं से होता है जो उन्हें वास्तव में निगल कर नष्ट कर सकती हैं। प्रोटीनों तथा पॉलीसैकेटाइडों जैसे कुछ जैव अणु, जो सूक्ष्मजीवों की सतह पर भी पाए जाते हैं, परपेशी अर्थात् जंतु के प्रतिरक्षण तंत्र को प्रेरित करते हैं। इन्हें प्रतिजन कहते हैं। इनकी आपेक्षिक संरचना का वह भाग जो इस गुण के लिए उत्तरदायी होता है, उसे प्रतिजनी डिटेर्मिनेन्ट कहते हैं। महाविभोजी कोशिकाएं इन डिटेर्मिनेन्टों को प्रतिरक्षण तंत्र की विशेष कोशिकाओं पर ले जाते हैं जिससे वे सक्रिय हो जाती हैं। ये प्रतिरक्षण तंत्र भ्रूणावस्था में विकसित होता है तथा "आगंतुक" अथवा गैर पदार्थों के प्रति ही कार्य करता है। प्रतिरक्षा तंत्र के विकास से पूर्व शरीर में उपस्थित प्रोटीनों तथा अन्य सहायी प्रतिजनों को तंत्र पहचान लेता है तथा इनके प्रति अनुक्रिया नहीं दर्शाता। प्रतिरक्षा तंत्र में दो प्रकार के लसीकाणु होते हैं जिन्हें क्रमशः T-लसीकाणु तथा B-लसीकाणु (लसीका कोशिकाएं) कहते हैं। सक्रियित T-कोशिकाएं उस स्थान पर एकत्रित हो जाती हैं, जहां प्रतिजन पहले महल संसूचित होता है। यहाँ पर वे लसीकोरकों में परिवर्तित हो जाती हैं जो लघु आपेक्षिक द्रव्यमान वाली प्रोटीने उत्पन्न करते हैं। ये प्रोटीने लिम्फोकाइन कहलाती हैं व महाविभोजी कोशिकाओं की सहायता करती हैं। प्रतिजन को नष्ट करने के उपरांत इन T-लसीकाणुओं के क्लोन बन जाते हैं इन्हें स्मृति T-लसीकाणु कहते हैं व ये दीर्घ काल तक इसी सूक्ष्मजीव के पुनः आक्रमण के प्रति प्रतिरक्षण प्रदान करते हैं। इस प्रकार के प्रतिरक्षण को कोशिकीय प्रतिरक्षण अथवा कोशिका मध्यस्थ प्रतिरक्षण कहते हैं। दो अन्य प्रकार की T-कोशिकाएं भी सक्रियित होती हैं। ये हैं-सहायक T-लसीकाणु तथा निषेधक T-लसीकाणु। सहायक T-लसीकाणु B-लसीकाणुओं को सक्रिय करने में सहायता करते हैं जो प्रतिजन के प्रति विशिष्ट प्रोटीने, जिन्हें प्रतिपिण्ड कहते हैं, उत्पन्न करके रक्त संचार में प्रवाहित कर देते हैं। रक्त सीरम के ग्लोब्यूलिन वाले भाग में पांच अलग-अलग प्रकार के प्रतिपिण्ड सदैव पाए जाते हैं। इन्हें प्रतिरक्षा ग्लोब्यूलिन कहते हैं। प्रतिपिण्ड उन प्रतिजनों के प्रति उच्च विशिष्टता दर्शाते हैं जो मुक्त अवस्था में अथवा रोगाणु की सतह पर पाए जाते हैं। ये रोगाणु प्रतिपिण्ड के आस-पास इकट्ठे होकर नष्ट हो जाते हैं। इसे देहद्रवी प्रतिरक्षण कहते हैं। संक्रमण के समाप्त होने पर इन सक्रियित लसीकाणुओं के क्लोन भी शरीर में रहते हैं। इन्हें स्मृति B-कोशिकाएं कहते हैं। ये पुनः संक्रमण होने की स्थिति में प्रतिपिण्ड उत्पन्न करके दीर्घकालीन प्रतिरक्षण प्रदान करते हैं। सहायक व निषेधक T-कोशिकाओं का अनुपात B-कोशिकाओं की अनुक्रिया की तीव्रता को नियंत्रित करता है। सहायक कोशिकाओं के आधिक्य से तीव्र अनुक्रिया होती है तथा प्रत्युर्जक लक्षण उत्पन्न होते हैं।

16.10 अंत में कुछ प्रश्न

1. (क) सही उत्तर को [✓] द्वारा चिह्नित कीजिए

1. अमाशयी रस की pH... होती है

- i) क्षारकीय
- ii) अम्लीय
- ii) उदासीन
- iv) ठीक 10.2

स्तंभ कोशिका ..... में उत्पन्न होती हैं

- i) ऐरिथ्रोसाइटों
- ii) लसीकाणुओं
- iii) मेरु रज्जु
- iv) लाल हडिर कणिकाओं

ख) निम्नलिखित कथन सही हैं अथवा गलत।

i) लाइसोजाइमों में वैक्टोरियाभक्षी गुण होते हैं।

ii) B-लसीकाणु T-लसीकाणु के समान होता है।

2. लिम्फोकाइन क्या होते हैं ? तथा इन्हें किस आधार पर वर्गीकृत किया जाता है ?

3. रिक्त स्थान भरिए

i) प्रतिपिण्ड ..... द्वारा उत्पन्न किए जाते हैं।

ii) प्रतिपिण्डों में दो समान ..... तथा दो समान ..... होती हैं।

iii) रक्त संचार में कुल प्रतिपिण्डों की तुलना में  $I_H M$  की मात्रा का प्रतिशत ..... तथा  $I_H G$  का ..... प्रतिशत होता है।

## 16.11 उत्तर

बोध प्रश्न

1. (क) सापेक्ष प्रतिरोध

(ख) भिन्न

(ख) सीरम के प्रतिरक्षाग्लोब्यूलिन पुल में  $I_H G$  वर्ग के प्रतिरक्षाग्लोब्यूलिनों की मात्रा सर्वाधिक होती है।

7. प्रतिपिण्डों में प्रतिजनों से अन्योन्यक्रिया करने के लिए विशिष्ट स्थान होते हैं। ये प्रतिजन को नष्ट करने के लिए प्रतिपिण्ड प्रतिजन संकुल बनाते हैं।

अंत में कुछ प्रश्न

1. (क) 1) ii 2) iii

(ख) i) सही ii) गलत

2. रूपांतरित T-कोशिकाएं लिम्फोकाइनों को उत्पन्न करती हैं, जो कम आण्विक द्रव्यमान वाली प्रोटीने होती हैं तथा कोशिकीय प्रतिरक्षण में सक्रिय भूमिका निभाती हैं। लिम्फोकाइनों को उनके द्वारा किए जाने वाले कार्य के आधार पर वर्गीकृत किया जाता है। भक्षकाणुओं को प्रतिजन की उपस्थिति वाले स्थान पर ले जाने वाले लिम्फोकाइनों को रसो अनुचलनी कारक व महाविभोजियों को दूर जाने से रोकने वाली लिम्फोकाइनों को स्थानांतरण संदमनी कारक (MIF) कहते हैं। इसी प्रकार भक्षकाणुओं की गतिशीलता तथा तथा लाइसोसोमी एन्जाइम की मात्रा को बढ़ाने वाले लिम्फोकाइनों को महाविभोजी सक्रियक कारक (MAF) कहते हैं।

2. (क) बहुत कम व बहुत अधिक आयु के व्यक्तियों में प्रतिरक्षण अनुक्रिया अल्पक्रियात्मक अवस्था में होती है, इसलिए इस आयु वर्ग में संक्रमण के प्रति सुराहिता अधिक होती है।

(ख) हाइड्रोक्लोरिक अम्ल, म्यूसिन, रेनिन तथा पेप्सिनोजेन रस के मुख्य पाचक अवयव होते हैं।

3. हैप्टेन वे लघु अणु होते हैं, जो उत्तक प्रोटीनों अथवा सैकेराइडों के साथ मिलकर प्रतिजन के रूप में कार्य कर सकते हैं।

4. लिम्फोपाइटिक कोशिकाएं थाइमस में से गुजरते हुए T-लसीकाणुओं में तथा गर्भ के यकृत व मेरु रज्जु में से गुजरने पर B-लसीकाणुओं में परिवर्तित हो जाती हैं।

5. (क) लिम्फोकाइन। ये प्रोटीनीय होते हैं।

(ख) शरीर विभिन्न संक्रमणों के प्रति सुराही हो जाएगा। सामान्यतः निषेधक T-लसीकाणु B-लसीकाणुओं की क्रिया में हस्तक्षेप करते हैं तथा आधिक्य प्रतिरक्षण अनुक्रिया की रोकथाम करते हैं। यद्यपि सहायक T-लसीकाणुओं की कम संख्या से B-लसीकाणुओं की कार्यक्षमता का हास होगा।

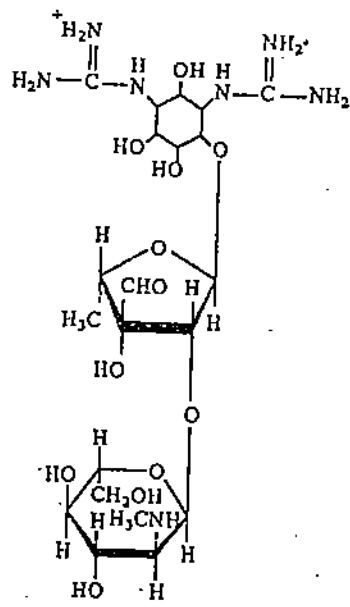
6. (क) इसे डाइसल्फाइड आबंध कहते हैं।

3. i) प्लैज्मा कोशिकाओं

ii) H शृंखलाएं, L शृंखलाएं

iii) 5-10% तथा 70-75%





स्ट्रेप्टोमाइसिन

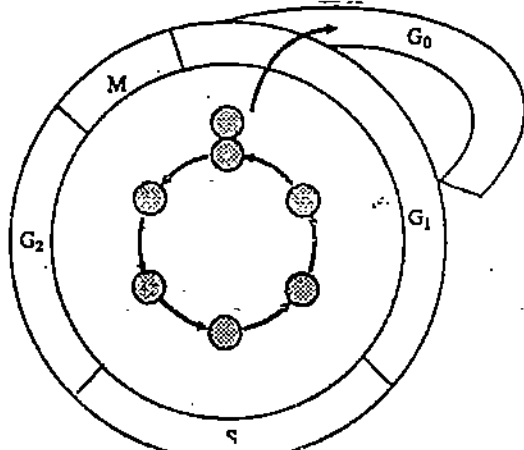
बोध प्रश्न 3

स्ट्रेप्टोमाइसिन निम्नलिखित द्वारा क्रिया करती है

- क) mRNA संश्लेषण को भंग करके
- ख) tRNA को निष्क्रिय बनाकर
- ग) प्रारंभन का संदमन और mRNA का गलत पाठन करके
- घ) एन्जाइमों को सक्रियण करके

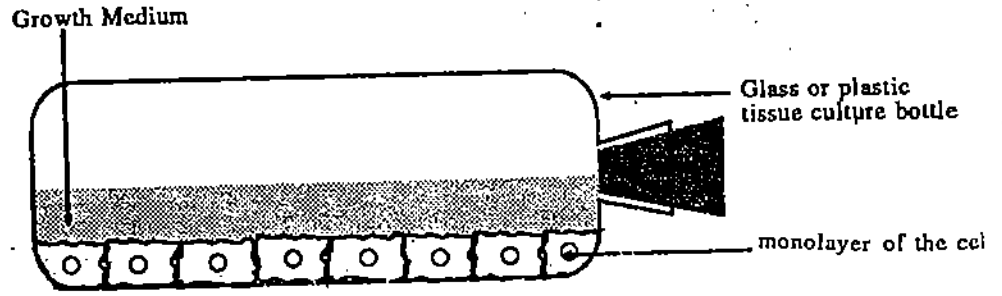
14.8 कैंसर जैव रसायन विज्ञान

सामान्यतया, शरीर की कोशिकाओं का परिवर्धन (development) और उनकी वृद्धि (growth) बड़े जोर-शोर से नियंत्रित रहती है। कोशिका के "जन्म" लेते ही (यानी जब इसकी जनक (parent) कोशिकाएं दो समरूप (identical) कोशिकाओं में विभाजित होती है) कोशिका गुणन (cell multiplication) का चक्र शुरू हो जाता है और जब कोशिका दो संतति कोशिकाओं (daughter cells) में विभाजित हो जाती है, तब पूरा होता है। इसमें रत्येक कोशिकीय घटक एक से दो हो जाते हैं जिसमें इसके केन्द्रक (nucleus) के भीतर और बाहर इसका DNA भी शामिल है (जैसे कि सूत्रकणिका (mitochondria) और हरितलवक (chloroplast) में) कोशिका की जीवन-अवधि में कोशिकीय घटकों का द्विगुणन (duplication) समान रूप से नहीं होता बल्कि विभिन्न अवस्थाओं में होता है जेन्हें कोशिका वृद्धि की प्रावस्थाएं (phases) भी कहते हैं। कोशिका के जीवन में पहली अवस्था G<sub>1</sub> (अंतराल 1) कहलाती है जिसके दौरान एन्जाइमों सहित अनेक जैव-अणु (biomolecule) बनते हैं। इसके बाद S-प्रावस्था (S प्रश्लेषण) आती है जब DNA का द्विक (duplicate) बनता है। दूसरा खंड G<sub>2</sub> (अंतराल 2) S-प्रावस्था को समाप्त (mitosis) या M-प्रावस्था से अलग करता है। DNA प्रतियों क पृथक्करण और कोशिका विभाजन M-प्रावस्था में होता है, जिसके बाद कोशिका वृद्धि का दूसरा चक्र शुरू हो जाता है। यह चित्र 14.8 में दर्शाया गया है। जब और वृद्धि या गुणन की जरूरत नहीं होती तब प्रसामान्य (normal) कोशिकाएं G<sub>1</sub> से G<sub>0</sub> विश्राम अवस्था में आ जाती हैं। वृद्धि की जरूरत पड़ने पर वे पुनः G<sub>1</sub> में लौट सकती हैं।



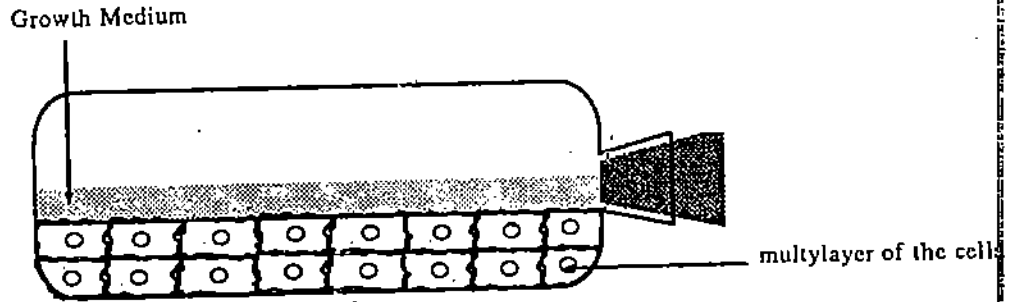
चित्र 14.8 : एक प्रसामान्य कोशिका की वृद्धि और गुणन की विभिन्न प्रावस्थाएं

शरीर की अधिकांश वयस्क कोशिकाएं  $G_0$  प्रावस्था में रहती हैं। यह ठीक पता नहीं है कि क्या है, जो कोशिका को  $G_0$  प्रावस्था में भेज देता है या उसे फिर से  $G_1$  प्रावस्था में लौटा लाता है। उदाहरण के लिए, अगर प्रसामान्य कशेरुकी (vertebrate) कोशिकाओं की वृद्धि ऊतक संवर्ध (tissue culture) में किसी पात्र में की जाती है, तो वे पात्र की तरह से चिपक जाती हैं और इसे कोशिकाओं के एकल स्तर (single layer) से ढक देती हैं। पात्र की सतह पूरी तरह से ढक जाने पर उनकी वृद्धि रुक जाती है (चित्र 14.9)। प्रसामान्य कोशिकाएं एक-दूसरे के सिर पर ढेर नहीं लगातीं।



चित्र 14.9 : ऊतक संवर्ध में प्रसामान्य कशेरुकी कोशिका की वृद्धि

कभी-कभी कुछ कोशिकाएं अपना परिवर्धन-नियंत्रण खो बैठती हैं और उनकी अनियमित ढंग से वृद्धि होती रहती है। ऊतक संवर्ध में ऐसी कोशिकाओं का वर्धन पात्र की सतह पूरी तरह से ढक जाने के बाद भी होता रहता है। उनका एक-दूसरे पर अम्बार लग जाता है। (चित्र 14.10)।

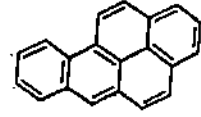


चित्र 14.10 : ऊतक संवर्ध में परिवर्तित कोशिकाओं की वृद्धि जिनका परिवर्धनीय नियंत्रण समाप्त हो गया है

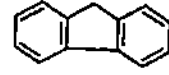
परिवर्धनीय नियंत्रण न रहने कारण परिवर्तित कोशिकाओं का अत्यधिक गुणन हो जाता है और अर्बुद (tumour) बन जाता है यानी कोशिकाओं की अपसामान्य (abnormal) वृद्धि होती है। अर्बुद दो तरह के होते हैं

1. सुदम अर्बुद (benign tumour) ("दयालु") धीरे-धीरे बढ़ते हैं और इसकी कोशिकाएं साथ-साथ रहती हैं। सुदम अर्बुद प्रायः संयोजी ऊतक (connective tissue) की एक परत में संपुटित (encapsulated) होते हैं मत्से (warts) और तिल (moles) इसके सामान्य उदाहरण हैं। इनसे भूले-बिसरे ही खतरा होता है। ऐसा तभी होता है, जब वे सीमित स्थान में वर्धन करें जैसे कि मस्तिष्क या जब उनसे कुछ हार्मोन अत्यधिक मात्रा में रिसते हों।
2. दुर्दम अर्बुद (malignant tumour) ("दुष्ट") वे हैं जो कैंसर करते हैं और आक्रामक ढंग से बढ़ते हैं तथा संपुटित नहीं होते। फलस्वरूप इनमें से कुछ कोशिकाएं अर्बुद से निकल भागती हैं और शरीर में दूसरे स्थलों पर डेरा जमाकर द्वितीयक अर्बुदों (secondary tumour) (विक्षेप -metastasis) को जन्म देती हैं। अगर दुर्दम अर्बुदों का इलाज न किया जाए तो ये निरपवाद रूप से प्राणघातक होते हैं।

भिन्न-भिन्न प्रकार के लगभग एक सौ मानव कैंसरों का वर्णन किया जा चुका है। इन सभी का सामान्य लक्षण है - अनियंत्रित वृद्धि। कोशिकाएं किन्हीं ऐसी विधियों से परिवर्तित या रूपांतरित हो जाती हैं, जिन्हें पूरी तरह समझा नहीं गया है। कैंसर कोशिकाओं को ताजा वृद्धि माध्यम वाले पात्रों में स्थानांतरित करके ऊतक संवर्ध प्लेटों में अनन्तता तक वर्धित किया जा सकता है। इस रूप में वे अमर हैं। यह प्रसामान्य कोशिकाओं से विपरीत है। प्रसामान्य कोशिकाएं एक प्लेटस्क में से दूसरे में कुछ स्थानांतरों के बाद मर जाती है। इस प्रकार अमरता और अनियंत्रित वृद्धि कैंसर कोशिकाओं के विशिष्ट लक्षण हैं। यह बात ध्यान में रखें कि कैंसर कोशिकीय रोग है न कि किसी ऊतक या अंग (organ) का रोग जहाँ कि यह प्रकट हो सकता है। इसके अलावा कैंसर केवल बहुकोशिकीय जातियों (multicellular species) का रोग है।



बेन्जोपाइरीन



ऐसिटिलऐमीनो फ्लुओरीन

कैंसर अनेक किस्म के कर्मकों से होता है जो कैंसरजन (carcinogen) कहलाते हैं। ये अयनकारी विकिरणों (ionising radiations) हो सकती हैं, जैसे कि पराबैंगनी (ultraviolet) या एक्स-किरणें (भौतिक-कैंसरजन)। रासायनिक पदार्थ हो सकते हैं, जैसे कि बेन्जोपाइरीन और ऐसिटिलऐमीनो फ्लुओरीन नामक बहुचक्रीय ऐरोमैटिक यौगिक (रासायनिक कैंसरजन)। अथवा विषाणु (viruses) हो सकते हैं।

लगभग प्रत्येक दुर्दम अर्बुद का जन्म एकल (single) रूपांतरित कोशिका से होता है। स्थानांतरण किसी भी एक कैंसरजन से या विभिन्न कैंसरजनों के संयोजन से हो सकता है। यह मानते हुए कि मानव शरीर में लगभग  $10^{14}$  कोशिकाएं होती हैं, स्थानांतरण वस्तुतः एक विरल घटना ही होनी चाहिए। ऐसा लगता है कि रूपांतरित कोशिका के उत्पादन के लिए यह आवश्यक है कि इस कोशिका में या इसकी पूर्वज कोशिकाओं में निश्चित रूप से अनेक कैंसरजनीय परिवर्तन हुए होंगे। ये परिवर्तन कोशिका में जमा हो सकते हैं और इस तरह बढ़ती उम्र के साथ कैंसर होने की प्रायिकता बढ़ जाती है। ऐसा वास्तव में देखा गया है। उदाहरण के लिए संयुक्त राज्य अमेरिका में, जहाँ अधिक विश्वसनीय सांख्यिकीय आंकड़े उपलब्ध हैं, वहाँ 22 वर्ष की आयु में प्रति दस लाख में कैंसर से मरने वालों की संख्या एक से भी कम है जो 62 वर्ष की आयु में बढ़कर प्रति दस लाख के पीछे लगभग एक सौ हो जाती है। इसके अलावा, रूपांतरित कोशिकाएं अपने गुणसूत्रों (chromosomes) में कुछ सुस्पष्ट परिवर्तन प्रदर्शित करती हैं। इस तरह प्रसामान्य से दुर्दम कोशिकाओं में होने वाले स्थानांतरण को कोशिका DNA में होने वाले परिवर्तन में खोजा जा सकता है।

अयनकारी विकिरण कोशिकीय DNA के धारकों (bases) में रासायनिक परिवर्तन या परिवर्तनों द्वारा उस DNA को क्षति पहुंचा सकते हैं। रासायनिक कैंसरजन DNA से संयोजन कर सकते हैं या इसके धारकों के बीच अंतर्विष्ट (intercalate) हो सकते हैं। इससे DNA प्रतिकृतिकरण (replication) में त्रुटिया पैदा होती और दूत RNA के फ्रेम को पढ़ने में भी त्रुटिया होगी और इस तरह परिवर्तित प्रोटीनें बनेंगी।

सासायनिक कैंसरजनों की क्रिया को कुछ दूसरे गैर-कैंसरजन रासायनों (non-carcinogenic chemical) द्वारा बढ़ावा मिलता है। गैर-कैंसरजन रासायन कैंसर पैदा नहीं करते। यह तथ्य प्रयोगशाला प्राणियों पर किए गए विभिन्न प्रयोगों से दर्शाया गया है। उदाहरण के लिए, जब चूहों को तीन सप्ताह तक ऐसिटिलऐमीनो फ्लुओरीन की थोड़ी मात्रा (अपरिहार्य रूप से गैर-कैंसरजनीय) खिलाई गई तो केवल कुछ प्रतिशत प्राणियों में ही अर्बुद पनपे। इसी प्रकार चूहों को फीनोबार्बिटल नामक शामक (sedative) दिए जाने पर उनमें अर्बुद पैदा नहीं हुए। अगर चूहों को पहले ऐसिटिलऐमीनो फ्लुओरीन की थोड़ी मात्रा तीन सप्ताह तक खिलाई गई और बाद में केवल फीनोबार्बिटल दी गई तो उनमें अनेक अर्बुद उत्पन्न हो गए। हमारे पर्यावरण में अनेक रसायनों में, जैसे कि सिगरेट का धुआं, कैंसर को बढ़ावा देने वाले ऐसे कारक (factors) हो सकते हैं। इसके अलावा कुछ तथाकथित रासायनिक कैंसरजन स्वयं हानिरहित हो सकते हैं। लेकिन कोशिकीय उपापचय के फलस्वरूप सक्रिय कैंसरजनों में बदल जाते हैं।

विषाणु उत्पन्न करने वाले कैंसरों पर किए गए अध्ययनों से कुछ रोचक जानकारी मिली है। रॉन्स सार्कोमा (Rons sarcoma) विषाणु एक ऐसा उदाहरण है जिससे कुक्कुट में सार्कोमा (यानी संयोजी ऊतकों में दुर्दम अर्बुद) बनता है। यह "रेट्रोविषाणु" (retrovirus) या "RNA विषाणु" है जो अपनी आनुवंशिक जानकारी RNA पर बहन करता है। परपोषी (host) में दूत RNA संश्लेषित होने से पहले नए-नए संश्लेषित DNA पृश्च अनुलेखन (reverse transcription) इसीलिए पृश्च विषाणु नाम पड़ा पर इसकी नकल कर ली जाती है। इसका संकेत (genome) छोटा होता है, जिसमें केवल चार जीन होते हैं। इनमें से तीन जीन विषाणु-प्रोटीनों के लिए कोड करते हैं। इन प्रोटीनों की आवश्यकता और अधिक विषाणु प्रोटीनें उत्पन्न करने के लिए पड़ती हैं। इसे V-src (वाइरस सार्कोमा जीन) कहते हैं। संकरण (hybridisation) प्रयोगों से पता चला है कि V-src ही परपोषी के प्रसामान्य कोशिकीय जीन से पर्याप्त समजातता (homology) (कारक अनुक्रम की एकरूपता) है। परपोषी के कोशिकीय प्रसामान्य जीन को C-src (Cellular के लिए है) कहते हैं। V-src जीन को 'अर्बुदजीन' (oncogene) कहते हैं यानी वह जीन जो परपोषी कोशिका रूपांतरण का मध्यस्थ है और C-src को 'आद्य-अर्बुदजीन' (proto-oncogene) के रूप में माना जाता है यानी कि अर्बुदजीन का प्रसामान्य कोशिकीय रूप (analogue)।

वेपण्वीय अर्बुदजीन उत्पाद, यानी आनुवंशिक जानकारी के अनुसार संश्लेषित प्रोटीनें, परपोषी के प्रसामान्य लिपेप्टाइड वृद्धि कारक हॉर्मोनों के प्रभाव का अनुकरण (mimic) या कल्पित नकल करते हैं। हो सकता है कि ह कैंसर कोशिका की अनियंत्रित वृद्धि से संबंधित हो। लेकिन रूपांतरण की ठीक-ठीक क्रियाविधि अभी भी अज्ञात है।

प्रश्न 4

स्थान भरिए :

1. कोशिका के ..... विभाजन और वृद्धि के कारण कैंसर होता है।

ख) कैंसर पैदा करने वाले यौगिक कहलाते हैं।

ग) रासायनिक कैंसरजन से संयोजन कर सकते हैं या इसके क्षारकों के बीच हो सकते हैं।

## 14.9 सारांश

आनुवंशिक कोड mRNA पर क्षारकों के त्रिक (triplet) के रूप में अंतलिखित (inscribed) रहता है। प्रत्येक कोड अद्वितीय होता है और केवल एक ही ऐमीनो अम्ल के लिए कोडित करता है। आनुवंशिक कोड अपह्रासित (degenerate), और अनतिव्यापी (non-overlapping) होता है। एक कोडॉन AUG होता है जो पॉलिपेप्टाइड संश्लेषण प्रक्रम का शुभारंभ करता है। प्रारंभ कोडॉन के अलावा तीन दूसरे कोडॉन भी होते हैं। ये हैं--UAA, UAG और UGA, इन्हें प्रायः समापन (termination) या विराम (stop) कोडॉन के नाम से जाने जाते हैं।

ऐमीनो अम्लों की RNA के प्रति कोई बंधुता नहीं होती और इन्हें सक्रिय करना पड़ता है। सक्रियण विशिष्ट tRNA के साथ ऐमीनो अम्ल के संकुलन द्वारा होता है। यह प्रक्रम एन्जाइमों के एक समुच्चय द्वारा उत्प्रेरित होता है जो बहुत विशिष्ट और अत्यधिक दक्ष होता है तथा ऐमीनोएसिल सिन्थेटेस कहलाता है। सक्रियण प्रक्रम के लिए ऊर्जा का स्रोत ATP होता है।

प्रोटीन संश्लेषण में राइबोसोम स्थल की महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। वे mRNA के बंधन के लिए भी स्थल प्रदान करते हैं। पत्तियों जैसी संरचना वाले tRNA प्रतिकोडॉन का वहन करते हैं जो कि mRNA पर स्थित कोडॉन के पूरक (complementary) हैं। यह ऐमीनो अम्ल को पॉलिपेप्टाइड संश्लेषण के स्थल तक लाता है। समापन कोडॉन के कारण श्रृंखला समापन होता है और पूरी बन चुकी पॉलिपेप्टाइड निर्मुक्त होती है। यह स्थापित हो चुका है कि अपेक्षाकृत छोटे पॉलिपेप्टाइड स्थानांतरण में संश्लेषित होते हैं और तब ये आपस में मिल जाते हैं जिसके फलस्वरूप प्रोटीन बनती है।

प्रोटीन संश्लेषण का प्रक्रम अनेक कारकों से नियमित होता है जिससे प्रोटीन अपेक्षित मात्रा में संश्लेषित होती हैं। प्रोकैरियोटों में यह नियंत्रण अधिकतर अनुलेखन-स्तर पर होता है। दूसरी और यूकैरियोटों में प्रोटीन जैव संश्लेषण स्थानांतरण-स्तर पर नियमित होता है। कुछ ऐसे प्रतिजैविक हैं, जो प्रोकैरियोटी (जीवाणु-प्रोटीन संश्लेषण का संदमन करते हैं)।

कोशिकाओं की अपसामान्य वृद्धि को अर्बुद कहते हैं। ये दो तरह के होते हैं--(i) सुदम अर्बुद प्रायः बड़े संयोजी ऊतकों में सम्पुटित होते हैं। वे विरले ही जीवन के लिए खतरा बनते हैं। दुर्दम अर्बुद (कैंसर) अक्रामक ढंग से वृद्धि करते हैं और सम्पुटित नहीं होते। अगर इनका इलाज नहीं किया जाए तो ये निरपवाद रूप से जीवन के लिए घातक होते हैं। कैंसर अनेक किस्म के कर्मकों द्वारा होता है जो कैंसरजन कहलाते हैं। ये विकिरणों हो सकती हैं जैसे कि UV (परादैगनी) या एक्स किरणें (भौतिक कैंसरजन), रासायनिक पदार्थ हो सकते हैं जैसे कि बहुचक्रीय एरोमेटिक (रासायनिक कैंसरजन) या विषाणु हो सकते हैं।

## 14.10 अंत में कुछ प्रश्न

- 1) आनुवंशिक कोड का क्या महत्व है ?
- 2) कोडॉन और प्रतिकोडॉन शब्दों से आप क्या समझते हैं, संक्षेप में स्पष्ट कीजिए।
- 3) प्रारंभ और समापन कोडॉन के महत्व को उदाहरण सहित समझाइए।
- 4) प्रोटीन जैव संश्लेषण में शामिल चरणों का संक्षिप्त विवरण दीजिए।
- 5) निम्नलिखित शब्दों को स्पष्ट कीजिए--
 

क) ओपेरॉन	ख) प्रचालक
ग) विप्रेरक	
- 6) "प्रोकैरियोटों में प्रतिजैविक (antibiotics) प्रोटीन जैवसंश्लेषण में बाधा डालते हैं" उदाहरण सहित समझाइए।
- 7) निम्नलिखित शब्दों से आप क्या समझते हैं?
 

क) कैंसर	ख) कैंसरजन
----------	------------

## 14.11 उत्तर

### बोध प्रश्न

- 1) घ) एक ऐमीनो अम्ल क्षारकों के एक से अधिक त्रिक द्वारा कूटलिखित हो सकता है।
- 2) ल)
- 3) ग)
- 4) क) अनियंत्रित      ख) कैंसरजन  
ग) DNA, अंतर्विष्ट

### अंत में कुछ प्रश्न

- 1) भाग 14.2 देखिए।
- 2) कोडॉन: आनुवंशिक कोड एक शब्द-कोष है, वह क्षारकों के अनुक्रम (न्यूक्लिओटाइड क्षारक) और ऐमीनो अम्लों के अनुक्रम के बीच संगतता देती है। कोड में प्रत्येक व्यष्टि शब्द (individual words) तीन न्यूक्लिओटाइड क्षारकों से निर्मित होता है। ये आनुवंशिक शब्द कोडॉन कहलाते हैं।

प्रतिकोडॉन: कोशिकीय ऐमीनो अम्लों के पुंज से विशेष ऐमीनो अम्ल का चरण (selection) tRNA तीन क्षारकों के समुच्चय द्वारा किया जाता है और ये mRNA के कोडॉन का पूरक होते हैं।

- 3) उपभाग 14.2.1 और 14.2.2 देखिए।
- 4) 1. आवेशित (charged) यानी ऐमीनोएसिल-tRNA राइबोसोम में विसरित होता है।  
2. mRNA राइबोसोम से संलग्न हो जाता है।  
3. आवेशित tRNA पहला ऐमीनो अम्ल (Met) लाता है और राइबोसोम की सतह पर P स्थल पर mRNA के प्रथम आरंभ कोड से बंध जाता है।  
4. दूसरा आवेशित tRNA द्वितीय ऐमीनो अम्ल (aa<sub>2</sub>) को लाता है और राइबोसोम के A स्थल पर mRNA के द्वितीय कोडॉन से बंध जाता है।  
5. प्रथम ऐमीनो अम्ल द्वितीय tRNA पर द्वितीय ऐमीनो अम्ल से जुड़ जाता है।  
6. खाली प्रथम tRNA कूच कर जाता है और mRNA तथा द्वितीय tRNA राइबोसोम पर चले जाते हैं जिससे तृतीय कोडॉन राइबोसोम पर A स्थल पर आ जाता है।  
7. तृतीय कोडॉन द्वारा विनिर्दिष्ट (specified) ऐमीनो अम्ल वाला आवेशित tRNA तृतीय कोडॉन से बंध जाता है।  
8. 5 से 7 तक के चरण बारी-बारी से प्रत्येक ऐमीनो अम्ल के साथ दोहराए जाते हैं, जब तक कि mRNA पर "विराम" (stop) प्रकृत नहीं आ जाता।
5. क) ओपेरोन : प्रकार्यात्मक रूप से (functionally) संबंधित संरचनात्मक जीनों के समुच्चय के साथ-साथ वर्धक (promotor) और निकटवर्ती प्रचालक जो उनकी सक्रियता को नियंत्रित करता है। जीन एकल mRNA यूनिट के रूप में अनुलिखित (transcribed) होते हैं।  
ख) प्रचालक : ओपेरोन में वह स्थल जिस पर नियामक प्रोटीन बंधती है।  
ग) विप्रेरक : यह देखा गया है कि वृद्धि माध्यम में किन्हीं पदार्थों को डालने से एन्जाइम की मात्रा बढ़ जाती है। ऐसे यौगिक या क्रियाधार (substrate) विप्रेरक (inducers) कहलाते हैं।
6. भाग 14.5 देखिए।
7. क) कैंसर : यह कुछ कोशिकाओं की अनियंत्रित वृद्धि और विभाजन है। कैंसर कोशिकाएं अपनी वृद्धि और विभाजन पर नियंत्रण रख सकने की क्षमता खो बैठती हैं। कोशिकाएं ऐसे समय और ऐसे स्थलों पर विभाजित होती हैं, जहां नहीं होना चाहिए।  
ख) कैंसरजन : कोई भी चीज जिससे कैंसर हो सकता है, कैंसरजन कहलाती है। उदाहरण के लिए विकिरण जैसे कि UV या X-किरण (भौतिक कैंसरजन) रासायनिक पदार्थ जैसे कि बहुचकीय ऐरोमैटिक व यौगिक (रासायनिक कैंसरजन) और विषाणु।

## इकाई 15 जैव प्रौद्योगिकी

### इकाई की रूपरेखा

15.1 प्रस्तावना  
उद्देश्य

15.2 जैव प्रौद्योगिकी क्या है?

15.3 आनुवंशिक इंजीनियरी

आनुवंशिक इंजीनियरी के कुछ अनुप्रयोग  
इंटरफेरोन का उत्पादन  
इंजुलिन का उत्पादन  
कुछ अन्य हॉर्मोनों का उत्पादन

15.4 एन्जाइम प्रौद्योगिकी

एन्जाइमों का उत्पादन  
निश्चयीकृत एन्जाइम

15.5 किण्वन जैव प्रौद्योगिकी

ऐल्कोहॉली किण्वन  
सिरका का उत्पादन  
प्रतिभैविक का उत्पादन

15.6 सारांश

15.7 अंत में कुछ प्रश्न

15.8 उद्देश्य

### 15.1. प्रस्तावना

इस पाठ्यक्रम में हम अब तक जीवधारियों में पाए जाने वाले विभिन्न प्रकार के जैव अणु (biomolecules), उनका रसायन विज्ञान, उपापचय (metabolism) में उनकी भूमिका, ऊर्जा के उत्पादन और आणविक जैविकी (molecular biology) के सिद्धांतों का वर्णन किया है। इस इकाई में हम आपको यह बताएंगे कि जैव रसायन (biochemistry) के इस मूलभूत ज्ञान का किन-किन तरीकों से जानबूझकर दोहन किया जा रहा है। यह दोहन तेजी से बढ़ रहा है और उद्योग में वर्तमान क्रान्ति का आधार है, जिसे जैव प्रौद्योगिकी (biotechnology) नाम दिया गया है। आशा की जाती है कि इससे हम स्वास्थ्य, रसायन और ऊर्जा समेत जिन अनेक अत्यंत महत्वपूर्ण जिनों का उत्पादन जिन तरीकों से करते हैं, उनका रूप एकदम से बदल जाएगा। जैव प्रौद्योगिकी की सफलता का अधिकांश श्रेय आनुवंशिकी (genetics) के बढ़ते हुए ज्ञान को जाता है, जिसके कारण हम जीव (organism) के जीनों में अपने हित साधन के लिए हेरा-फेरी करते हैं और जिसे आनुवंशिकी इंजीनियरी कहते हैं।

इस इकाई में हम पहले जैव प्रौद्योगिकी का व्यापक परिदृश्य इसकी उत्पत्ति, वर्तमान स्थिति और अंतः शक्ति की चर्चा करेंगे और उसके बाद जैव प्रौद्योगिकी के कुछ प्रमुख क्षेत्रों की अधिक विस्तार से जांच करेंगे।

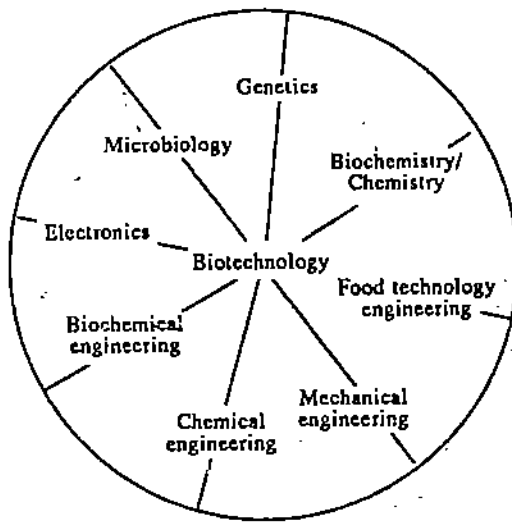
### उद्देश्य

इस इकाई के अध्ययन के बाद आप-

- जैव प्रौद्योगिकी और इसके महत्व की व्याख्या कर सकेंगे और इसके अर्थ का वर्णन कर सकेंगे,
- निम्नलिखित की व्याख्या कर सकेंगे :
  - i) आनुवंशिक इंजीनियरी
  - ii) एन्जाइम इंजीनियरी और
  - iii) किण्वन (fermentation) प्रौद्योगिकी।

पृथ्वी पर अपने अस्तित्व के साथ ही मनुष्य प्रकृति की परिघटनाओं और प्राकृतिक तथ्यों को समझने, उनको पुनरुत्पादित करने और रूपांतरित (modify) करने के प्रयास में जुड़ा हुआ है। प्रेक्षण (observation), प्रयोग कार्य (experimentation), क्रमबद्ध (systematic) और क्रांतिक परीक्षण से संजोए गए ज्ञान को विज्ञान कहते हैं। दूसरी ओर उद्योग या किसी दूसरे क्षेत्र में विज्ञान के उपयोगी अनुप्रयोग (application) को प्रौद्योगिकी कहते हैं और यह हमारे दैनिक जीवन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। जब प्रौद्योगिकी जीवित कोशिकाओं और उसके संघटकों (constituents) पर आश्रित होती है, तो इसे जैव प्रौद्योगिकी कहते हैं।

जैव प्रौद्योगिकी प्रक्रमों (process) की शुरुआत बहुत पहले हो चुकी थी। इनमें अनेक परम्परागत प्रक्रम जैसे कि निसवन (brewing), सेंकना (baking) मदिरा बनाना, पनीर बनाना और खाद्य पदार्थों का उत्पादन तथा परिरक्षण (preservation) शामिल हैं। लेकिन जैविकी (biology) के नए ज्ञान की बदौलत, विशेष रूप से जीनों में हेरा-फेरी कर सकने की क्षमता यानी आनुवंशिक इंजीनियरी ने जैव प्रौद्योगिकी की अंतःशक्ति को अत्यधिक व्यापक बना दिया।



चित्र 15.1 : जैव प्रौद्योगिकी की अंतः विषयक प्रकृति

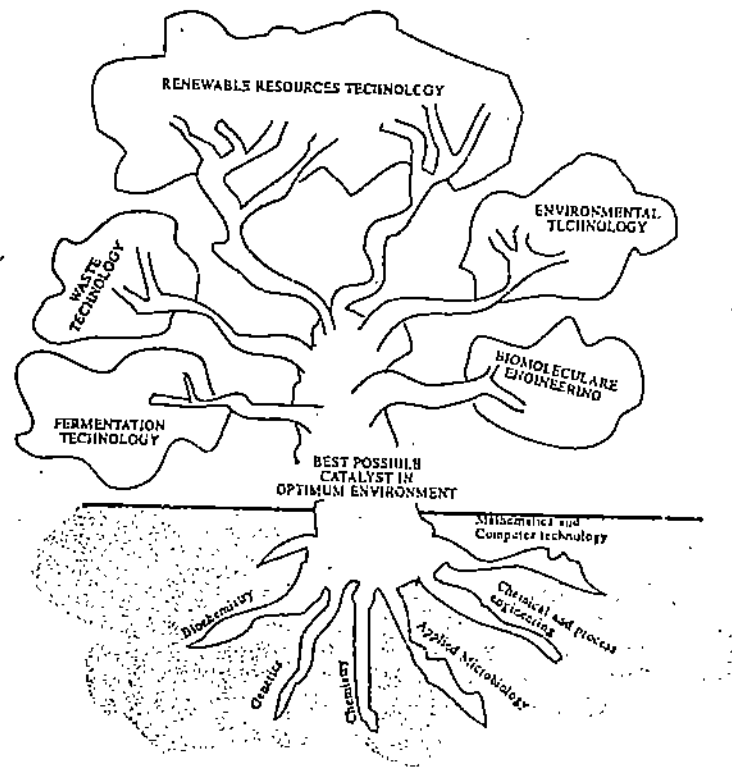
जैव प्रौद्योगिकी कई तरह से परिभाषित की गई है (सारणी 15.1)। मूलतः पदार्थों को संश्लेषित करने उनका भंगन (break down) करने या उन्हें रूपांतरित (transform) करने के लिए सूक्ष्मजीवीय (microbial) प्राणी (animal) या पादप (plant) कोशिकाओं अथवा एन्जाइम को काम में लाना जैव प्रौद्योगिकी कहलाता है। इस विशेष परिभाषा से कोई भी व्यक्ति यह समझ सकता है कि जैव प्रौद्योगिकी एक अंतः विषयक (interdisciplinary) विज्ञान है। इस विज्ञान में जैविकी, जैव रसायन, सूक्ष्मजैविकी (microbiology) और रासायनिक इंजीनियरी जैसे अनेक विषयों का इस तरह समन्वय किए जाने की जरूरत है जिससे उनकी अंतः शक्ति का इष्टतम (optimum) दोहन हो सके (चित्र 15.1)।

सारणी 15.1 : जैव प्रौद्योगिकी की कुछ चुनी हुई परिभाषाएँ

1. जैव रसायन, सूक्ष्मजैविकी और इंजीनियरी का समन्वित उपयोग ताकि सूक्ष्मजीवों, संवर्धित ऊतक कोशिकाओं (cultured tissue cells) और उनके अंशों की क्षमताओं का औद्योगिक उपयोग हो सके।
2. प्रौद्योगिकी जिसमें विभिन्न प्रकार के उपयोगी पदार्थों की प्रतियाँ बनाने और इनका निर्माण करने के लिए जैविकीय परिघटनाओं को काम में लाया जात है।
3. जीवधारियों और उनके घटकों (components) का कृषि, खाद्य और दूसरे औद्योगिक प्रक्रमों में काम लाना जैव प्रौद्योगिकी कहलाता है।
4. सूक्ष्मजीवों और उनका सक्रिय घटकों पर आधारित उत्पादन प्रक्रमों और उच्च कोटि जीवों (higher organisms) से प्राप्त कोशिकाओं और ऊतकों को काम में लाने वाले उत्पादन प्रक्रमों का विज्ञान जैव प्रौद्योगिकी कहलाता है।
5. जैविक-जीवों, तंत्रों (systems) या प्रक्रमों का निर्माण और सेवा उद्योगों के लिए अनुप्रयोग।

ऐसी आशा की जाती है कि जैव प्रौद्योगिकी इक्कीसवीं शताब्दी के उद्योग का विशिष्ट आधार बनेगी जिस तरह बीसवीं शताब्दी में भौतिकी (physics) और रसायन आधार बने थे। यह जैव रसायन सूक्ष्मजैविकी, आनुवंशिकी और आणविक जैविकी में हाल ही में हुई प्रगति के बारे में हमारे ज्ञान के कारण सम्भव हुआ है।

इसके साथ-साथ इंजीनियरी में तकनीकी प्रगति हुई जिसके फलस्वरूप इन सबसे आर्थिक लाभ पाने के लिए विष्वव्यापी खोज शुरू हुई। अनवीकरणीय (nonrenewable) संसाधनों की सीमित आपूर्ति के बारे में ज्ञान होने पर सारे संसार में अधिक सस्ते, अधिक सुरक्षित, पर्यावरण की दृष्टि से मैत्रीपूर्ण संसाधनों की तलाश शुरू हो गई, जहां जैव प्रौद्योगिकी एक प्रमुख भूमिका निभा सकती है। इसके विस्तार की असीम संभावना को देखते हुए विकसित और विकासशील देशों की अधिकांश सरकारों ने इस क्षेत्र में अनुसंधान और औद्योगिक विकास को बढ़ावा देने के लिए भारी धनराशि नियत की है। पिछले दशक में जैव प्रौद्योगिकी में विशेषता प्राप्त करने वाली 300 से अधिक कंपनियां अस्तित्व में आईं। इस प्रौद्योगिकी के अनुप्रयोग के प्रमुख क्षेत्र आनुवंशिक इंजीनियरी, एन्जाइम इंजीनियरी, किण्वन प्रौद्योगिकी, अपशिष्ट (waste) प्रौद्योगिकी, पर्यावरणीय प्रौद्योगिकी और नवीकरणीय संसाधन प्रौद्योगिकी हैं। विभिन्न विषयों को दर्शाने वाला एक निरूपक आरेख (representative diagram) चित्र 15.2 में दिखाया गया है जिसमें जड़ें जैव प्रौद्योगिकी प्रक्रमों का पोषण करती हुई और उनके अनुप्रयोग दिखाए गए हैं। इस इकाई में आप इन अनुप्रयोगों में से कुछ के बारे में जानकारी हासिल करेंगे।



चित्र 15.2 : जैव प्रौद्योगिकी वृक्ष

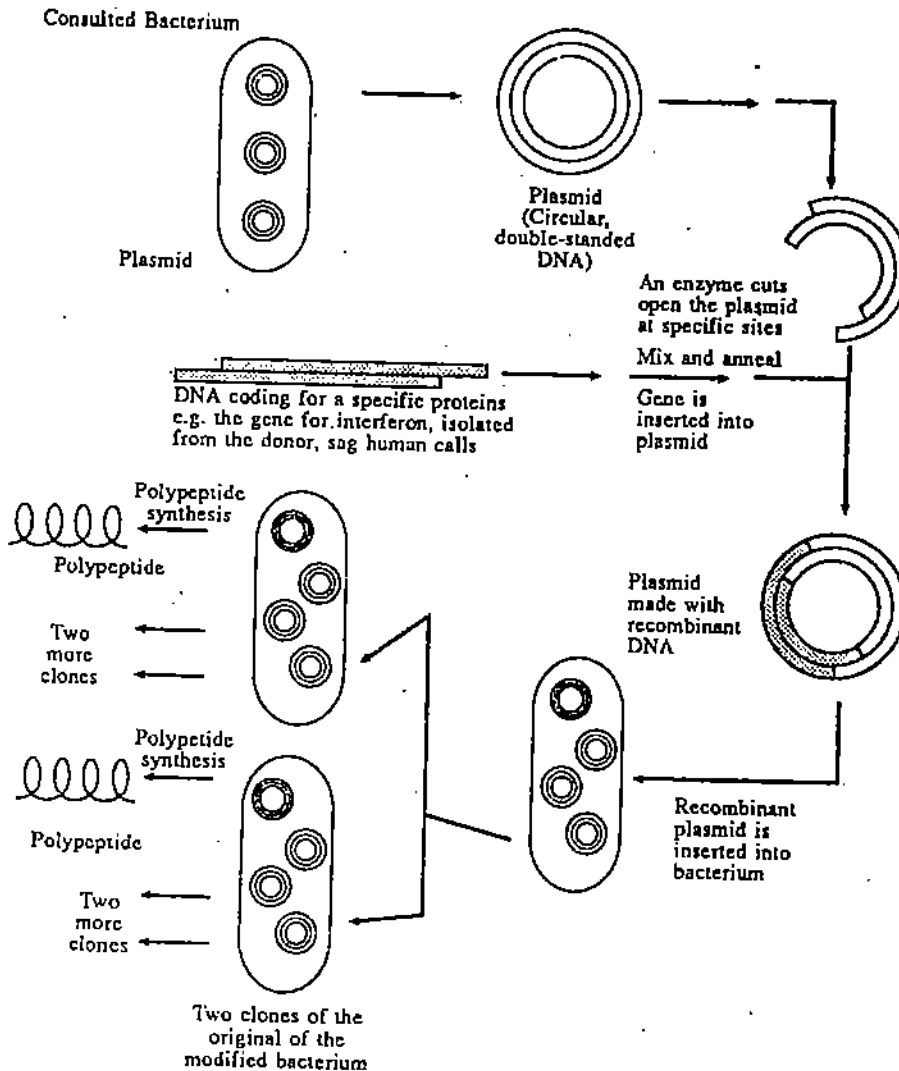
### 15.3 आनुवंशिक इंजीनियरी

आपको याद होगा कि DNA आनुवंशिकता (heredity) के अणु हैं, जो जीवित कोशिकाओं में विशिष्ट प्रोटीनों के उत्पादन को नियंत्रित करते हैं। आनुवंशिक जानकारी DNA में क्षारकों के अनुक्रमों (sequences of bases) के रूप में संचित होती है और पैतृक (parent) कोशिका से इसकी संतति को पारगत (transmitted) होती है। इसलिए संरचना में कोई परिवर्तन यानी कोशिकीय DNA के क्षारक अनुक्रम में परिवर्तन कोशिका के अभिलक्षणों (characteristics) और क्षमताओं में परिवर्तन ला देगा। ये परिवर्तन वृद्धि (addition), विलोपन (deletion), या कुछ क्षारकों या क्षारकों के बड़े खंडों के परिवर्तन के रूप में हो सकते हैं। प्रकृति में ऐसा उस समय होता है, जब कोशिका में उत्परिवर्तन (mutation) होता है, लेकिन सामान्य कोशिका विभाजन में ऐसा नहीं होता। अब



इस प्रकार के परिवर्तन प्रयोगशाला में कर सकना सम्भव है और इस प्रकार जीवित कोशिका के आनुवंशिक गठन में अपेक्षित परिवर्तन किए जा सकते हैं। ऐसा पुनर्व्योजन DNA तकनीक (recombinant DNA technique) द्वारा किया जा सकता है। इसे जीन क्लोनिंग का आनुवंशिक इंजीनियरी भी कहते हैं। उदाहरण के लिए, किसी विशेष प्रोटीन के संश्लेषण के लिए उत्तरदायी पूरी तरह से "विजातीय जीन" (foreign) को सूक्ष्मजीव के भीतर समाविष्ट किया जा सकता है। यह सूक्ष्मजीव कोई जीवाणु (bacteria) या खमीर (yeast) हो सकता है, जिसमें सामान्य रूप से यह "विजातीय जीन" नहीं होता। बदली हुई जीवाण्वीय या खमीर कोशिका अब वांछित प्रोटीन का संश्लेषण करने लगेगी, हालांकि पहले यह ऐसा नहीं कर रही थी। यह तकनीक ई. कोलाई (*E. coli*) के कुछ रूपांतरित प्रभेदों (strains) के उत्पादन में अत्यधिक काम में लाई जा रही है। ई. कोलाई नैदानिक रूप से (clinically) महत्वपूर्ण पॉलिपोटाइडों और प्रोटीनों जैसे कि इंसुलिन, सोमैटोस्टेटिन और इंटरफेरोन का संश्लेषण करता है।

जीन क्लोनिंग या आनुवंशिक इंजीनियरी के चरण चित्र 15.3 में दिखाए गए हैं। किसी दाता जाति (species) से वांछित मानव प्रोटीन के लिए कोड कर सकने वाले विशिष्ट जीन को ई. कोलाई जैसे किसी जीवाणु के आनुवंशिक ढांचे में निविष्ट (insert) किया जाता है। वांछित DNA खंड की पहचान की जाती है और उसे पृथक किया जाता है। बाद में उसे वाहक (vector) से संयोजित किया जाता है, जो उदाहरण के लिए, जीवाण्वीय प्लास्मिड हो सकता है। प्लास्मिड वृत्तीय (circular) DNA अणु होते हैं जो जीवाण्वीय-कोशिका के प्रसामान्य (normal) संघटक होते हैं। वांछित जीनों का प्लास्मिड में संयोजन करने पर पुनर्व्योजन DNA बनता है, जिसे बाद में जीवाणु में समाविष्ट कर लिया जाता है। यहां केवल मूलभूत सिद्धांत ही चित्रित किए गए हैं। इसमें शामिल एन्जाइमों और विभिन्न चरणों के लिए आवश्यक स्थितियों के विस्तृत अध्ययन के लिए जैव रसायन की कोई उच्च पाठ्य पुस्तक पढ़ी जा सकती है।



चित्र 15.3 : जीवाणु द्वारा नहीं बनाई जाने वाली किसी प्रोटीन के लिए कोडित करने वाले वांछित DNA खंड को जीवाणु प्लास्मिड के वृत्तीय DNA में निविष्ट कर कर पुनर्व्योजन DNA बनाया जाता है

दाता जीन वाला वाहक एक बार कोशिका के भीतर घुस भर जाए फिर तो जैसे-जैसे कोशिका की वृद्धि होती है और इसका विभाजन होता है, वैसे-वैसे यह प्रतिकृतियां बनाना शुरू कर देता है। इसके साथ ही नया-नया समाविष्ट जीन "अभिव्यक्त" (expressed) होता है अर्थात् इसके द्वारा कोडित प्रोटीन रूपांतरित (transformed) कोशिका द्वारा संश्लेषित होती है। प्रतिकृति (replicated) DNA पैतृक कोशिका से संतति कोशिका (daughter cell) में जाती है और क्लोन बन जाते हैं। इस प्रकार नए आनुवंशिक ढांचे वाला, नई रासायनिक क्षमताओं से भरपूर जीव बन जाता है। इस तकनीक को ऐसे यौगिकों (compounds) का उत्पादन किया जा सकता है, जिनका अत्यंत नैदानिक और औद्योगिक महत्व हो जैसे कि मानव इंसुलिन। सामान्यतया कोशिकाएं इंसुलिन या संबंधित प्रोटीनों का संश्लेषण नहीं करती लेकिन इंसुलिन के लिए मानव जीन को निर्विष्ट कराकर इन्हें रूपांतरित किया जा सकता है।

### 15.3.1 आनुवंशिक इंजीनियरी के कुछ अनुप्रयोग

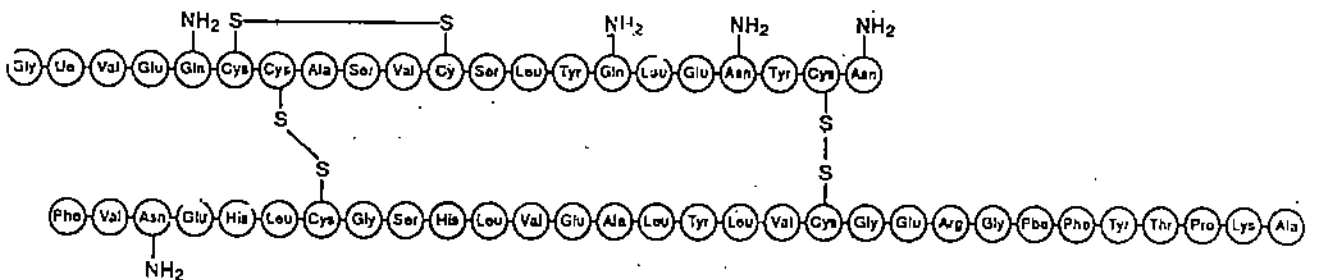
अच्छा भोजन और अच्छा स्वास्थ्य प्रत्येक मानव की तात्कालिक और प्रमुख आवश्यकताएं हैं। यह अत्यंत खेद की बात है कि विश्व के अनेक भागों में, न्यूनतम चिकित्सीय सुविधा (लोगों की पहुंच से बाहर होने के कारण) के मीत के शिकार हो जाते हैं। कभी-कभी तो अपरिहार्य औषधियां उपलब्ध न होने के कारण ऐसा होता है। हमारे देश में विश्व स्वास्थ्य संगठन (WHO) के दिशा निर्देशों के अंतर्गत सरकार ने एक महत्वाकांक्षी कार्यक्रम अपनाया है, जिसमें वर्ष 2000 तक सब के लिए स्वास्थ्य का प्रबंध किया जाएगा। ऐसे कार्यक्रमों की सफलता प्रभावी औषधियों का अधिकाधिक मात्रा में और ऐसी कीमत में उपलब्ध होने पर है, जिसे लोग खरीद सकें। इस क्षेत्र में सम्भवतया आनुवंशिक इंजीनियरी पर्याप्त योगदान दे सकती है। इस प्रौद्योगिकी से नैदानिक महत्व के बहुत से यौगिक सफलतापूर्वक तैयार किए गए हैं जैसे कि प्रोटीनें, हॉर्मोन आदि।

### 15.3.2 इंटरफेरोन का उत्पादन

इंटरफेरोन ऐसी ग्लाइकोप्रोटीनें हैं, जो विषाणु संक्रमित (virus infected) कशेरुकी (vertebrate) कोशिकाओं द्वारा उत्पन्न की जाती हैं। वे दूसरी कोशिकाओं से बंध जाती है और उन्हें विषाणु प्रतिरोधी (resistant) बना देती है। यह प्रतिरोध केवल आरंभ में संक्रमण करने वाले विषाणु तक ही सीमित नहीं रहता बल्कि इसमें अधिक व्यापक विशिष्टता (specificity) होती है। इंटरफेरोन के तीन कुलों का पता है, जो  $\alpha$ ,  $\beta$  और  $\gamma$  इंटरफेरोन कहलाते हैं। अभी हाल तक इंटरफेरोन के एकमात्र प्राकृतिक स्रोत सम्पूर्ण प्राणी ही थे। मानव श्वेताणु (leucocyte) इंटरफेरोन जीन को अब खमीर के ऐल्कोहॉल डिहाइड्रोजेनेस के जीन से संलग्न किया गया है। पुनर्योग्य जीन को लेकर खमीर, में क्लोनित किया गया है। रूपांतरित खमीर कोशिकाएं ऐल्कोहॉल डिहाइड्रोजेनेस अणु से जुड़ा हुआ इंटरफेरोन बनाती हैं। बाद में इन्हें अलग और पृथक्कृत कर लिया जाता है।

### 15.3.3 इंसुलिन का उत्पादन

यह अग्न्याशय (pancreas) द्वारा निकलने वाली प्राणी प्रोटीन है (चित्र 15.4), जो रूधिर में शर्करा के स्तर का नियंत्रण करती है। 1922 से यह मधुमेहरोधी (antidiabetic) औषधि के रूप में बाजार में विक्रत रहा है। निश्चित रूप से इसका स्रोत प्राणी अग्न्याशय (pancreas) था। लेकिन इसके उत्पादन का ढंग बहुत क्रूर और खर्चीला था क्योंकि कुछ ग्राम इंसुलिन बनाने के लिए ढेर सारे प्राणियों को मारना पड़ता था। इसके अलग पशु (cattle) और गो-इंसुलिन (bovine insulins) कुछ ऐमीनो अम्ल के अनुक्रम (sequence) में मानव इंसुलिन से भिन्न होती हैं। इस कारण



चित्र 15.4 : इंसुलिन का ऐमीनो अम्ल अनुक्रम। ऐमीनो अम्लों के नाम इकाई 5 में वर्णित तीन अक्षर वाले कोड में दिए गए हैं

वे मधुमेह (diabetic) रोगियों में वृक्कों (kidneys) और दृष्टिपटल (retina) के विकार के नियंत्रित करने में प्रभावी नहीं है। इंसुलिन को संश्लेषित करने की रासायनिक विधि कठिन और अत्यधिक खर्चीली है। लेकिन आनुवंशिक इंजीनियरी के आगमन से इंसुलिन के संश्लेषण के लिए उत्तरदायी संश्लेषित जीन को निर्मित करना और ई. कोलाई (E. coli) के प्लास्मिड से जोड़ना संभव हुआ है। जीव अभिव्यक्ति और का प्रोटीन में स्थानांतरण (translation) के बाद इंसुलिन प्राप्त की जा सकती है। औद्योगिक निर्माण के लिए यह प्रक्रम पहले

से ही काम में लाया जा रहा है। इसके फलस्वरूप इंसुलिन का उत्पादन बढ़ा है और कम लागत बैठती है, जिसकी वजह से अधिकांश रोगी इसे खरीद सकते हैं।

### 15.3.4 कुछ अन्य हॉर्मोनों का उत्पादन

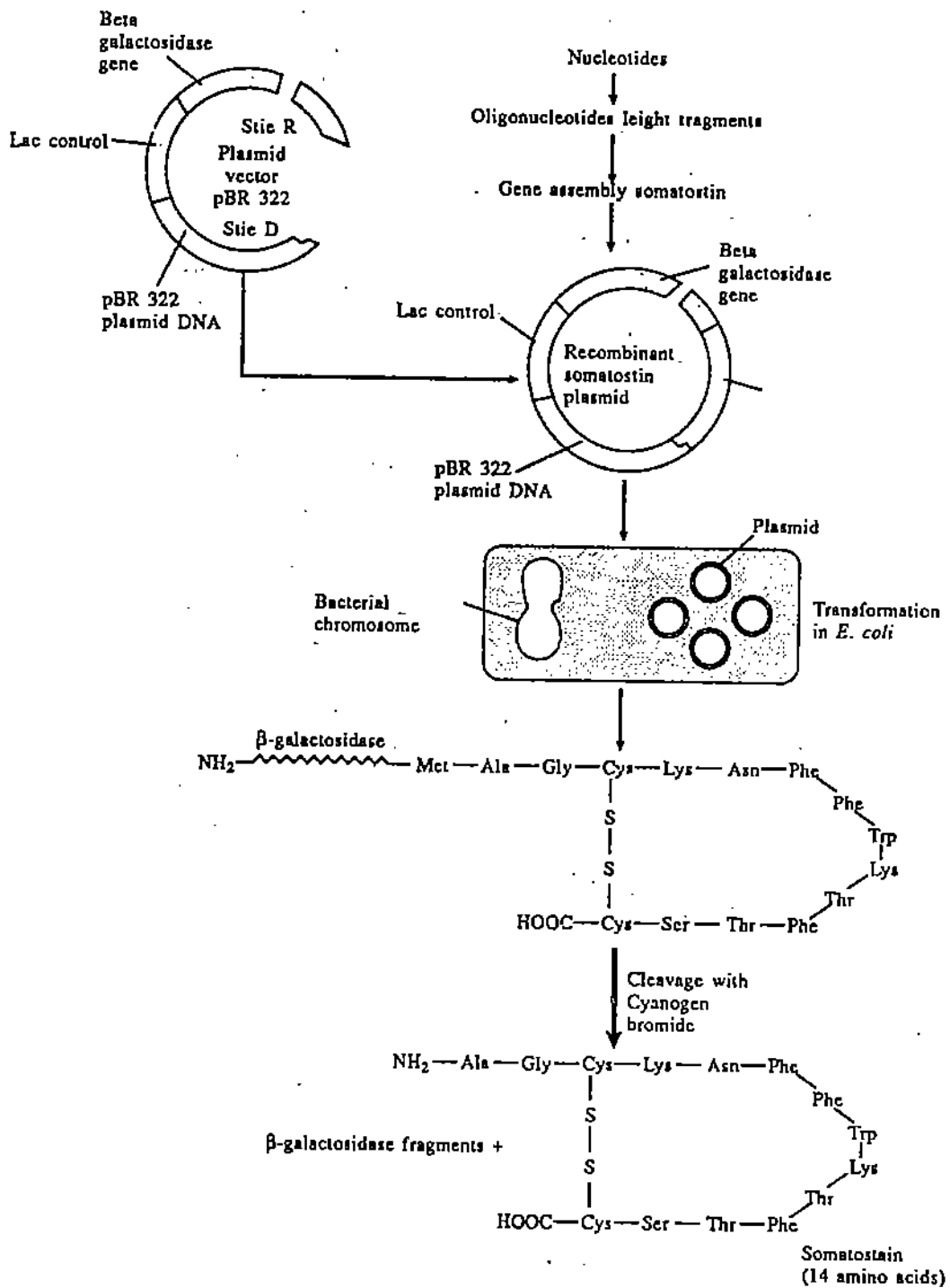
हॉर्मोन वे यौगिक हैं, जो अंतःस्रावी ग्रंथियों (endocrine glands) से स्रावित होते हैं और लक्ष्य-कोशिकाओं (target cells) या तंत्र में किसी दूसरी जगह अंगों (organs) के साथ पारस्परिक क्रिया द्वारा अनेक महत्वपूर्ण प्रक्रियाओं (functions) का नियमन करते हैं। कुछ महत्वपूर्ण हॉर्मोन और उनके प्रवर्तक सारणी 15.2 में दिए गए हैं। हॉर्मोनों का महत्व और उनकी कमी से पड़ने वाले संभावित प्रतिकूल प्रभाव इस सारणी से स्पष्ट हो जाते हैं। इसी कारण, हॉर्मोनों की कमी से होने वाले कुछ रोगों में उन्हें ही औषधि के रूप में काम में लाया जाता है। लेकिन हॉर्मोनों का संश्लेषण करना आसान काम नहीं है और इसमें अनेक संश्लेषी चरणों की जरूरत होती है तथा लागत अत्यधिक ऊंची बैठती है। पुनर्योगज DNA तकनीक या जीन क्लोनिंग इस समस्या का युक्तियुक्त हल है। रूपांतरित ई. कोलाई (*E. coli*) कोशिकाओं को काम में लाकर दो हॉर्मोन, सोमैटोस्टैटिन (somatostatin), एक हाइपोथैलेमिक (hypothalamic) हॉर्मोन; सोमैटोट्रोपिन (somatotropin), मानव वृद्धि (human growth) हॉर्मोन, को प्राप्त किया जा सकता है।

सारणी 15.2: नियमनकारी (regulatory) प्रकारों सहित विभिन्न हॉर्मोन

थैटाटोनिन	: हृदय तप का नियमन करती है।
सोमैटोत्रोपिन	: सोमैटोट्रोपिन स्राव को उद्दीपित (stimulate) करती है।
सोमैटोस्टैटिन	: अनाशय स्राव को घटाता है, सोमैटोट्रोपिन स्राव को कम करती है।
साइप्रोडोपिन	: वसापुञ्जों (adipocytes) से यथा अम्ल (fatty acid) निर्मुक्त करती है।
सोमैटोट्रोपिन	: सामान्य उपचयी (anabolic) प्रभाव, वृद्धि कारकों की निर्मुक्ति (release) उद्दीपित करती है।
पायरॉलिन और ट्रायोफोहो पायरॉलिन	: अनेक कोशिकीय अभिक्रियाओं (reaction) को उद्दीपित करती है
गैस्ट्रिन	: आनाशय और आग्न्याशय स्राव को उद्दीपित करती है।
सेकेटिन	: अग्न्याशय स्राव का नियमन करती है
इंसुलिन	: ग्लूकोस उद्ग्रहण (uptake), वसाकरण, आम उपचयी प्रभाव
ग्लूकाजन	: ग्लाइकोजेनोलिसिस, लिपिड की निर्मुक्ति
ऐल्डोजन	: सगर्भता (pregnancy) का अनुरक्षण यानी रखरखाव
ऐन्ड्रोजन	: द्वितीयक यौन अंगों (secondary sex organs) का परिपक्वण और प्रकाश
रिलैक्सिन	: पेशी तान (muscle tone)
ऐस्मिन्कीन	: चिकीन (smooth) पेशी संकुचन (contraction) हृदय प्रकार्य, ग्लाइकोजेनोलिसिस और लिपिड निर्मुक्ति

छोटे पेप्टाइड हॉर्मोन के लिए आवश्यक "जीन" यानी DNAs रासायनिक रूप से संश्लेषित किए जाते हैं और जीवाण्वीय जीन से संलग्न कर दिए जाते हैं, उदाहरण के लिए  $\beta$ -गैलैक्टोसिडेस ( $\beta$ -galactosidase)। संयोजित DNA तब वाहक प्लास्मिड और आखिर में जीवाण्वीय कोशिका में निविष्ट कर दिया जाता है। हॉर्मोन को एन्जाइम अणु के एक सिरे पर छोटी दुम के रूप में संश्लेषित किया जाता है और विशिष्ट पेप्टाइड विदलन (cleavage) द्वारा प्राप्त किया जाता है (चित्र 15.5)

मानव जीवन को अधिक आरामदेह और अधिक सुरक्षित बनाने के लिए आनुवंशिक इंजीनियरी की उपयोगिता और अंतःशक्ति को चित्रित करने वाले ये कुछ उदाहरण हैं। लेकिन विज्ञान की कोई भी शाखा संकट और खतरों से मुक्त नहीं होती और आनुवंशिक इंजीनियरी भी अपवाद नहीं है। पुनर्योगज-DNA का गठन और सूक्ष्मजीवों में इनका निवेशन एकदम से नए जीवों का सृजन कर सकता है जो अनजाने में ही प्रयोगशाला से बाहर आने पर मानव या पर्यावरण के लिए जैव संकट (biohazard) बन सकते हैं। प्रयोगशाला में रोगजनक (pathogenic) सूक्ष्मजीवों पर काम करते समय कठोर सुरक्षा संहिता लागू करने से यह जोखिम न्यूनतम हो सकता है।



चित्र 15.5: पुनर्गोत्र DNA प्रौद्योगिकी द्वारा सोमैटोस्टैटिन का उत्पादन

**बोध प्रश्न 1**

रिक्त स्थान भरिए :

- क) वृत्तीय DNAs ..... कहलाते हैं।
- ख) जीन क्लोनिंग में अनिवार्य रूप से ..... में परिवर्तन किया जाता है।
- ग) इंसुलिन की कमी के कारण ..... हो जाता है।
- घ) इंटरफेरॉन ..... होते हैं।

## बोध प्रश्न 2

नीचे दिए गए कथनों के सागने सही और गलत पर निशान लगाइए :

- क) जीन क्लोनिंग एक प्राकृतिक प्रक्रम है (सही/गलत)
- ख) पुनर्वर्णन DNA से रूपांतरित आनुवंशिकी वाले सूक्ष्म-जीव बनाते हैं। (सही/गलत)
- ग) इंसुलिन का उत्पादन आनुवंशिक इंजीनियरी द्वारा होता है। (सही/गलत)
- घ) इंटरफेरोन DNA होते हैं। (सही/गलत)
- च) इंटरफेरोन से कैंसर हो सकता है। (सही/गलत)

## 15.4 एन्जाइम प्रौद्योगिकी

एन्जाइम जैविक उत्प्रेरक (catalysts) और प्रोटीन हैं (इकाई 6)। उन्हें जीवित कोशिकाओं से पृथक किया जा सकता है और उत्प्रेरक सक्रियता में कोई कमी नहीं आती। एन्जाइम द्वारा जीवित कोशिका के भीतर और बाहर रासायनिक अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित कर सकने की सामर्थ्य ने विज्ञान की एक शाखा को जन्म दिया जो अब एन्जाइम प्रौद्योगिकी के नाम से प्रसिद्ध है। यह एक व्यापक अर्थ वाला शब्द है, जिसमें एन्जाइमों का पृथक्करण (isolation) शोधन (purification) और उनके अनुप्रयोग शामिल हैं।

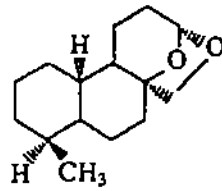
उत्प्रेरकों के रूप में एन्जाइम उच्च कोटि की अभिक्रिया और क्रियाधार (सबस्ट्रेट) विशिष्टता प्रदर्शित करते हैं जिसमें त्रिविम विशिष्टता शामिल है। इसके फलस्वरूप पार्श्व-अभिक्रियाएं (side-reaction) लगभग नहीं के बराबर होती हैं। इसके अलावा, एन्जाइम-उत्प्रेरित अभिक्रिया से केवल एक त्रिविम-समावयवी (stereo-isomer) बन सकता है, जहाँ सामान्य रासायनिक प्रक्रम से ऐनैन्टिओमरों का रेसिमिक मिश्रण (racemic mixture) बनता है। एन्जाइमों का यह गुण औषधियों (pharmaceutical) के उत्पादन में विशेष रूप से उपयोगी है, जहाँ केवल एक ऐनैन्टिओमर वांछित औषधि क्रिया दर्शाता है और दूसरा या तो निष्क्रिय होता है अथवा तंत्र के लिए, हानिकारक भी हो सकता है। उदाहरण के लिए दूसरा ऐनैन्टिओमर-औषधि का विरोधी (antagonist) भी हो सकता है।

शरीरक्रियात्मक तंत्रों (physiological systems) से पृथक्कृत किए जाने वाले एन्जाइम इन तंत्रों में हमेशा जलीय माध्यम में क्रिया करते हैं। कोशिका के बाहर भी वे इस सक्रियता को बनाए रखते हैं। अभी हाल में यह दर्शाया गया है कि कुछ एन्जाइम जल अमिश्रणीय (immiscible) कार्बनिक विलायकों (organic solvents) में परिक्षिप्त (dispersed) किए जाने पर भी उत्प्रेरकतः सक्रिय होते हैं। इस प्रेक्षण ने एन्जाइमों के अनुप्रयोग के कार्यक्षेत्र को व्यापक बना दिया है।

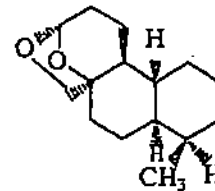
अपरिष्कृत (crude) एन्जाइम निर्मितियां (preparations) अनेक वर्षों से काम में लाई जा रही हैं। उदाहरण के लिए, निसवन उद्योग से माल्ट सार (malt extract) का और पनीर उद्योग में रेनिन का उपयोग। बड़े पैमाने पर (ग्राम मात्रा) शुद्ध एन्जाइमों का मिलना वर्तमान शताब्दी के उत्तरार्ध में संभव हुआ। अब अधिकाधिक शुद्ध एन्जाइम काम में लाए जा रहे हैं।

इस समय विश्वव्यापी एन्जाइम उत्पादन के अधिकांश भाग का अनुप्रयोग तीन क्षेत्रों में किया जा रहा है। ये हैं- मंड (starch) का शर्करा में बदला जाना (40%), अपमार्जक (detergent) निर्मितियों में योज्यों (additives) के रूप में (30%), और डेरी उद्योग में (10%)। अपमार्जक उद्योग में एन्जाइमों के उपयोग के कारण पिछले कुछ समय से एन्जाइमों के विश्वव्यापी उत्पादन में महत्वपूर्ण वृद्धि हुई है। एन्जाइमों से अपमार्जकों में कपड़े धोने के गुण बढ़ जाते हैं। मंड उद्योग में भी, डेक्सट्रोस के निर्माण में ऐमिलेस और ऐमिलोवायोसिडेस जैसे एन्जाइमों ने पूरी तरह से अम्लों का स्थान ले लिया है।

विभिन्न त्रिविम-समावयवी के बीच विभेदन (differentiation) कर सकने की दक्षता के कारण औषधि उद्योग में एन्जाइम विशेष रूप से उपयोगी सिद्ध हो रहे हैं। इस समय बाजार में लगभग 1850 औषधियां हैं, जिनमें से 528 ऐनैन्टिओमरों के रूप में हो सकती हैं। इस प्रकार इन औषधियों का शुद्ध ऐनैन्टिओमरीय रूप में उत्पादन जरूरी है। इस क्षेत्र में एन्जाइम एक महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकते हैं क्योंकि संगत प्रोकिरल पदार्थ से शुरू करते हुए या रेसिमिक मिश्रणों के वियोजन (resolution) द्वारा वे शुद्ध ऐनैन्टिओमरों के निर्माण में सहायता कर सकते हैं।

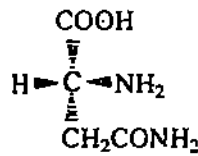


Odour less

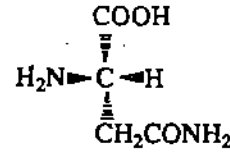


Strong amber like smell

Labadan



Sweet

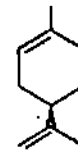


Tasteless

Asparagine



Smells like lemon



Smells like orange

Limonene

चित्र 15.6 : कुछ औद्योगिक उत्पादों के ऐनेन्टिओमर

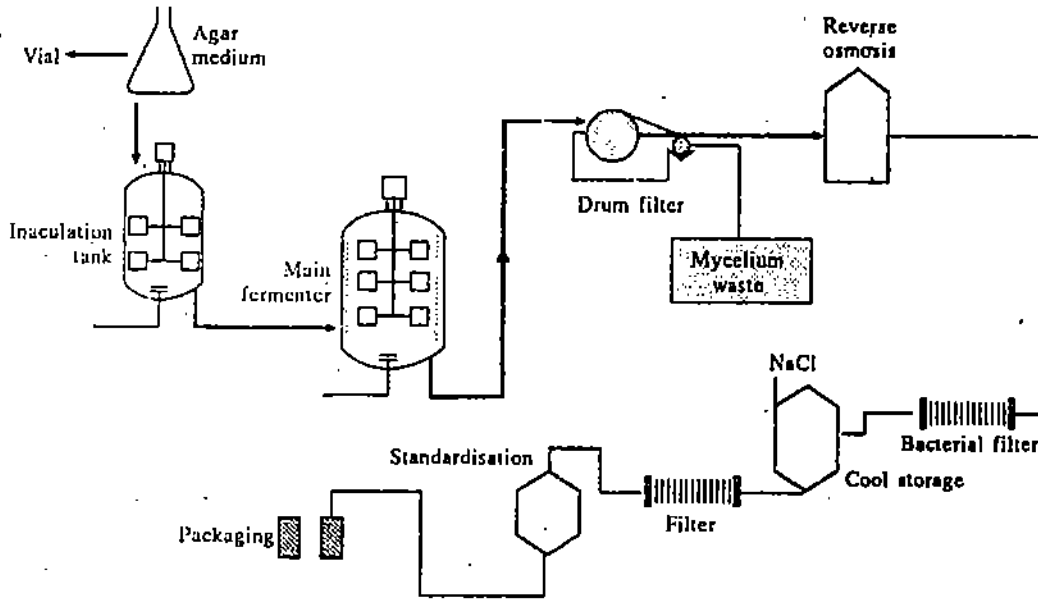
अनेक औषधियों के उत्पादन में, वरणात्मकता (selectivity) और दक्षता के वांछित स्तर प्राप्त करने के लिए एन्जाइमों को निर्णायक-चरणों में पहले से ही काम में लाया जा रहा है। औषधियों के अलावा, दूसरे औद्योगिक उत्पाद भी हैं, जैसे कि खाद्य योग्य (food additives) और परिमल या कहीए सुगंध (perfumes) जहाँ एक ऐनेन्टिओमर उपयोगी है और दूसरा उपयोगी नहीं है या हानिकारक है। लैबडान, ऐस्पेराजीन, लिगोनीन आदि ऐसे यौगिकों के उदाहरण हैं (चित्र 15.6) जहाँ एन्जाइमों का उपयोग उनके संश्लेषण में महत्वपूर्ण भूमिका निभ सकता है।

### 15.4.1 एन्जाइमों का उत्पादन

सभी जीवधारियों में एन्जाइम निरपवाद रूप से यानी बिना अपवाद के मौजूद होते हैं और इन्हें प्राणी, पादप और सूक्ष्मजीवों से पृथक्कृत किया जा सकता है। अनेक सुविधाओं के कारण सूक्ष्मजीवीय एन्जाइमों का उपयोग बढ़ रहा है। कुछ सुविधाएं नीचे दी गई हैं :

1. अगर सूक्ष्मजीवीय एन्जाइम काम में लाए जाते हैं, तो प्राणी एन्जाइमों के उत्पाद में होने वाली अनैतिक क्रूरता से बचा जा सकता है।
2. सूक्ष्मजीवों को कठोर नियंत्रित परिस्थितियों में प्रयोगशाला/उद्योग में उत्पन्न किया जा सकता है और इस प्रकार एक समान एन्जाइम उत्पादन सुनिश्चित किया जा सकता है।
3. जीन क्लोनिंग तकनीकों के आगमन से रूपांतरित आनुवंशिकी वाले सूक्ष्मजीवों का सृजन सम्भव हुआ है और इसलिए एक भिन्न प्रकार का एन्जाइम बनाया जा सकता है।

सूक्ष्मजीवों से एन्जाइमों का औद्योगिक उत्पादन किण्वन (fermentation) विधि से किया जाता है जिसमें सूक्ष्मजीवों को मंड, शीरा (मोलेसेज), छेने के पानी (whey) और अनेक अनाजों जैसे किण्वन किण्वण (सबस्ट्रेट) में रखा जाता है। (चित्र 15.7)। एन्जाइमों के उत्पादन में किण्वन पदार्थ (fermentation material) का चुनाव महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। क्योंकि यह कार्बन और नाइट्रोजन का स्रोत होता है। प्रक्रम के पूरा हो जाने पर एन्जाइम या तो सूक्ष्मजीव के भीतर होता है अथवा माध्यम में स्रवित (secreted) होता है। इसके बाद एन्जाइम निष्कर्षित (extracted) और शोधित (purified) किया जाता है (चित्र 15.7)। भाग 15.5 में हम किण्वन जैव प्रौद्योगिकी के बारे में कुछ विस्तार से बताएंगे।



चित्र 15.7 : तरल एन्जाइम निर्मिति के उत्पादन में विभिन्न अवस्थाएं

### 15.4.2 निश्चलीकृत एन्जाइम

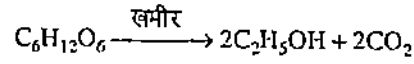
सिद्धांततः उत्प्रेरित अभिक्रिया में उत्प्रेरक की खपत नहीं होती, इसलिए कोई भी उत्प्रेरक बार-बार काम में लाया जा सकता है। इसके लिए पूर्वपिछा यह है कि उत्प्रेरक को अभिक्रिया मिश्रण से सक्रिय रूप में प्राप्त किया जाए। अभिक्रिया मिश्रणों से सक्रिय एन्जाइमों की पुनः प्राप्ति उनकी जल में विलेयता यानी घुलनशीलता और उनके स्थायित्व (stability) अभिलक्षणों के कारण विशेष रूप से कठिन है। यह याद रखना चाहिए कि प्रोटीन होने के नाते एन्जाइम आसानी से विकृतिकृत (denatured) और निष्क्रियित (inactivated) हो जाते हैं जब तक कि pH और तापमान की परिस्थितियाँ कठोरता से नियंत्रित न की जाएं। अभिक्रिया उत्पादों का पृथक्करण करते समय पर यह कर पाना सम्भव हमेशा ही सरल न हो। पुनः प्राप्ति के अभाव के कारण बड़े पैमाने पर एन्जाइमों के उपयोग की लागत बढ़ जाती है। आधात्री (matrix) कहलाने वाले जल-अविलेय (insoluble) ठोस आधार से एन्जाइम को संलग्न करके इस कठिनाई से काफी सीमा तक पार पाया जा सकता है (एन्जाइमों का निश्चलीकरण immobilisation)। निस्पंदन (filtration) और धावन (washing) द्वारा निश्चलीकृत (immobilised) एन्जाइम को आसानी से पुनः प्राप्त किया जा सकता है और पुनः काम में लाया जा सकता है।

एन्जाइम निश्चलीकरण के लिए अनेक पदार्थ और प्रक्रम काम में लाए जाते हैं, जो कि एन्जाइम प्रौद्योगिकी का एक प्रमुख भाग है। एन्जाइम निश्चलीकरण के लिए भौतिक और रासायनिक दोनों ही विधियाँ काम में लाई जाती हैं। भौतिकतः एन्जाइमों को निश्चलीकारी पदार्थ के साथ मिश्रित करके निश्चल बनाया जाता है, जिससे कि वे अघुल्य (insoluble) आधात्री पर अधिशोषित (adsorbed) हो सकें। कई रासायनिक विधियाँ विकसित की गई हैं जिससे एन्जाइम के अनावश्यक प्रकार्यात्मक (functional) समूहों और निश्चलीकरण पदार्थ के बीच सहसंयोजक आबंध (covalent bonds) बन जाते हैं। ये पदार्थ मृत्तिकाशिल्प (ceramics), कांच, लोह, जिरकोनियम, टिटैनियम जैसे अकार्बनिक (inorganic) वाहकों और सेफैरोस, सेल्युलोस जैसे प्राकृतिक बहुलकों (polymers) आदि से लेकर नाएलॉन और पॉलिएक्रिलैमाइड जैसे संश्लिष्ट (synthetic) बहुलकों तक हो सकते हैं।

## 15.5 किण्वन जैव प्रौद्योगिकी

किण्वन (fermentation) को इस प्रकार परिभाषित कर सकते हैं : यह जीवित कोशिकाओं, आमतौर पर जीवाणु या खमीर, की क्रिया द्वारा जटिल कार्बनिक अणुओं (प्रोटीनों के अलावा) का सरल यौगिकों में भंगन (breakdown) या अपघटन (decomposition) है। जीवाणु या खमीर को किण्वन (ferment) कहते हैं। ऐसे प्रक्रमों को निसहन उद्योग, ब्रेड बनाने या दूध से दही (yoghurt) बनाने के लिए औद्योगिक और घरेलू उद्देश्य से अरसे से काम में लया जा रहा है। हाल ही में, किण्वन प्रौद्योगिकी शब्द को बड़े पैमाने पर जटिल जैव-अणुओं के निर्माण के लिए भी प्रयोग किया जाने लगा है जैसे कि प्रतिजैविकों (antibiotics) के निर्माण में।

सबसे पुराना प्रक्रम जिसे किण्वन नाम दिया गया है, वह है- लमीर द्वारा शर्कराओं के निम्नीकरण (degradation) से एथेनॉल का उत्पादन।



इस प्रक्रम के विभिन्नचरण और इसके शरीरक्रियात्मक महत्व यानी कि उपापचयी ऊर्जा का ATP के रूप में प्रग्रहण, इकाई 9 में बताए जा चुके हैं। वर्तमान इकाई में हम इस और दूसरे किण्वन प्रक्रमों के अनुप्रयोग के बारे में बतलाएंगे।

### 15.5.1 ऐल्कोहॉली किण्वन

उत्पादन, वाणिज्य इकाइयों की संख्या और प्रत्यक्ष तथा अप्रत्यक्ष रूप से नियुक्त व्यक्तियों की संख्या के संदर्भ में ऐल्कोहॉल उद्योग किण्वन उद्योग का सबसे बड़ा क्षेत्र है। एक बहुत ही अच्छा वित्तीयक होने के नाते ऐल्कोहॉल को अनेक संश्लेषी अभिक्रियाओं में काम में लाया जाता है और इस कारण अनेक औद्योगिक प्रक्रमों में इसकी मांग बहुत ही ज्यादा बढ़ी है। वीयर, मदिरा (wine), व्हिस्की जैसे ऐल्कोहॉलीय पेयों (beverages) का भी एथेनॉल एक मूल संघटक है। इस रूप में इस पर लगभग सभी देशों में कर लगाया जाता है। इस प्रकार किण्वन उद्योग राज्यों के लिए राजस्व (revenue) का अच्छा स्रोत है। पेन्ट/वार्निश के लिए आमतौर पर बाजार में बिकने वाली "स्पिरिट" में मेथेनॉल और दूसरे पदार्थ मिला दिए जाते हैं जिससे वह पीने के मतलब की नहीं रहती। इसका नाम मेथिलित स्पिरिट (methylated sprit) या औद्योगिक स्पिरिट रख दिया गया है।

पूरी दुनिया में एथेनॉल का अधिकांश उत्पादन रासायनिकतः एथिलीन से किया जाता है। लेकिन कुल एथेनॉल उत्पादन का बड़ा भाग ऐल्कोहॉलीय किण्वन से होता है। भारतवर्ष जैसे देशों के लिए यह विशेषतया सच है जहां ढेरों चीनी उद्योग हैं तथा पेट्रोलियम के संसाधन सीमित हैं। चीनी उद्योग में गाढ़ उपोत्पाद (syrup byproduct) को शीरा (मोलैसेस) कहते हैं। इसमें शर्कराओं की भरमार होती है और यह ऐल्कोहॉली किण्वन के लिए एक सस्ता शुरूआती पदार्थ है।

ऐल्कोहॉलीय पेय पूरी तरह से किण्वन द्वारा बनाए जाते हैं। वीयर का उत्पादन मुख्यतः जौ से किया जाता है लेकिन हाल ही में आलू, मक्का और दूसरे अनाजों को भी इसके उत्पादन के काम में लाया जाने लगा है। खमीर सीधे ही मंड को किण्वित नहीं कर सकते। इसलिए अनाज से ऐल्कोहॉल के उत्पादन में एन्जाइम द्वारा मंड का माल्टोस या ग्लूकोस में "शर्करीकरण" (saccharification) एक अनिवार्य चरण है। लगभग सभी मद्य निर्माणशालाएं (distilleries) माल्टमिश्रित जौ (कुछ समय के लिए अंकुरित जौ) काम में लाती हैं। माल्टन (malting) फहलाने वाला यह प्रक्रम ऐमिलेसों को सक्रिय करता है, जो मंड को आलिगोसैकैराइडों और मोनोसैकैराइडों में तोड़ने में सहायता करते हैं।

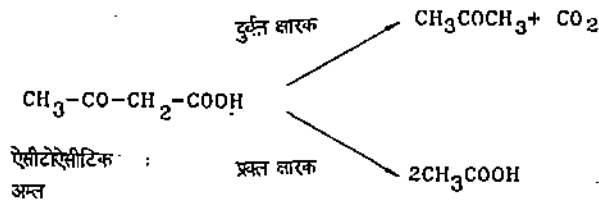
इसके बाद मंड को और भी छोटे कार्बोहाइड्रेट अणुओं में तोड़ने के लिए माल्टमिश्रित जौ को कुचला जाता है। और गर्म जल (लगभग 340K) के साथ सिमसिमाया (simmered) जाता है। कुचले हुए दानों को अलग किया जाता है और वीयर को उसकी विशिष्ट सुवास (flavor) देने के लिए सार (माल्ट वॉर्ट) को हॉपस (hops) के साथ उबाला जाता है। इसके अतिरिक्त यह एन्जाइमों की अणु की क्रिया को रोक देता है और प्रोटीन अवक्षेपित हो जाती हैं। बनने वाले माल्ट वार्ट को तब खमीर से संरोपित (inoculated) किया जाता है। इसके लिए आमतौर से जो खमीर काम में लाए जाते हैं, वे हैं *सैकेरोमाइसीज सेरेविसी* (*Saccharomyces cerevisiae*) और *सैकेरोमाइसीज एलिपसोइडिस* (*Saccharomyces ellipsoides*) या "मदिरा खमीर"। शर्करा को खमीर से परिवर्तन को शुरू करने वाला संरोपण (inoculation) एक निर्णायक चरण है जब शर्करा ऐल्कोहॉल में और यह एथेनॉल और कार्बन डाइऑक्साइड में बदल जाती है।

किण्वन के दौरान खमीर कोशिकाओं में वृद्धि होती है और वे गुणित होती रहती हैं अर्थात् एक से दो, दो से चार, चार से आठ इस तरह बढ़ती रहती हैं। ऐमिल ऐल्कोहॉल, आइसोऐमिल ऐल्कोहॉल, फेनिल ऐथिल ऐल्कोहॉल, ऐसीटिक अम्ल और ब्यूटिरिक अम्ल आदि खमीर उपापचय के महत्वपूर्ण उपोत्पाद हैं। ये लेश यौगिक (trace compounds) वीयर की सुवास को प्रभावित करते हैं। किण्वन पूरा हो जाने के बाद, खमीर कोशिकाएं निस्यंदन द्वारा हटा दी जाती हैं, वीयर को एक निश्चित कालावधि के लिए परिपक्व किया जाता है। इसके बाद और निस्यंदन और पास्चरीकरण (pasteurisation) किया जाता है। सामान्य किण्वन में लगभग एक सप्ताह लगता है। इसके बाद "तण" वीयर को प्राथमिक और द्वितीयक कालप्रभावन (ageing) के लिए बर्नकुडों (bates) में स्थानांतरित कर दिया जाता है। काल प्रभावन में छः महीने और लग जाते हैं। अगर वीयर को डिब्बा बंद किया जाए या बोतलों में भरा जाए तो तमाम खमीर कोशिकाओं को मारने के लिए इसे प्रन्द्रह मिनट के लिए 333K पर पास्चरीकृत किया जाता है और फिर खमीर को हटाने के लिए निस्यंदित किया जाता है। वीयर में ऐल्कोहॉलीय अंश आमतौर पर 4 प्रतिशत होते हैं।

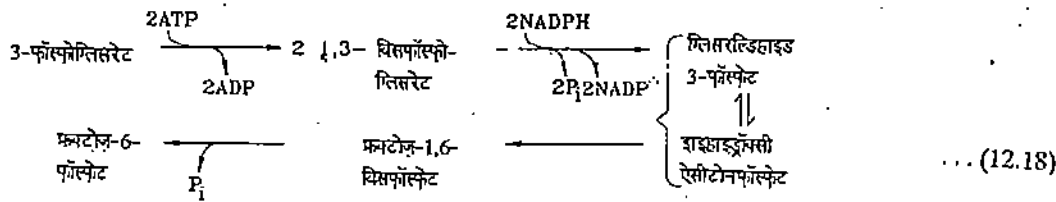
मदिरा का उत्पादन अपेक्षाकृत सरल है। मदिरा का निर्माण फलों, फलों के रस, या पौधों के भागों के सार जैसे कि डैन्डीलायनों (dandelions) से किया जाता है। मदिरा उत्पादन के लिए अंगूर का रस सामान्य स्रोत है



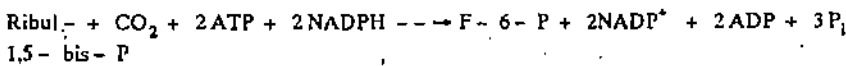
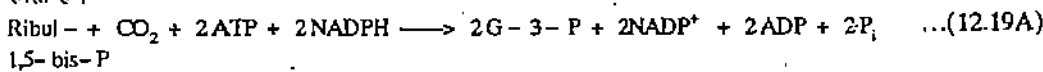
आप देख सकते हैं कि कार्बन डाइऑक्साइड के संघनन से बनने वाला पहला उत्पाद अथवा मध्यवर्ती एक  $\beta$ -कीटो अम्ल होता है जिसके जल अपघटन से 3-फॉस्फोग्लिसरेट के दो अणु बनते हैं। यह जल अपघटनी विघटन, ऐसीटोऐसीटिल अम्ल नामक  $\beta$  कीटो अम्ल के जल अपघटन के एक प्रकार के समान ही होता है।



समीकरण 12.17 में दी गई अभिक्रिया राइब्यूलोस-1,5-बिसफॉस्फेट कार्बोक्सिलेस नामक एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है। इसे संक्षेप में सामान्यतः रुबिस्को (Rubisco) के नाम से जाना जाता है। यह पाइलेक्ट्रोड की पीठिकामयी सतह पर पाया जाता है तथा कुल क्लोरोप्लास्ट प्रोटीन का लगभग 15 प्रतिशत भाग बनाता है। यह संभवतः सबसे अधिक पाया जाने वाला प्राकृतिक एन्जाइम है तथा इसके गुणों का विस्तृत अध्ययन किया गया है। 3-फॉस्फोग्लिसरेट से फ्रक्टोज-6-फॉस्फेट बनने के पद इकाई 9 में वर्णित ग्लूकोनिओजेनेसिस पथ के समान ही होते हैं। इन्हें यहाँ संक्षेप में दिया गया है :

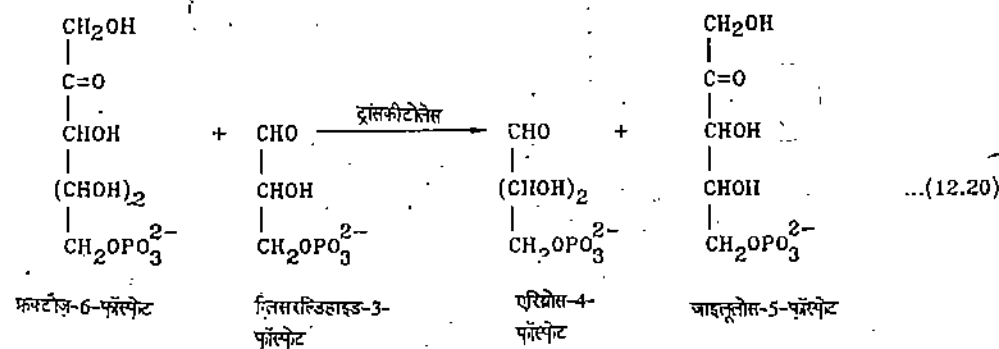


समीकरण 12.17 में दी गई अभिक्रिया से बनने वाले 3-फॉस्फोग्लिसरेट के दो अणुओं के फ्रक्टोज-6-फॉस्फेट का एक अणु प्राप्त होता है क्योंकि इसके लिए आवश्यक डाइहाइड्रॉक्सीऐसीटोन फॉस्फेट, ग्लिसराल्डिहाइड-3-फॉस्फेट के एक अणु के समावयवीकरण से प्राप्त होता है। यहाँ ध्यान दें कि प्रकाशश्लेषी अभिक्रियाओं में अपचयक के रूप में NADPH का उपयोग होता है जबकि ग्लूकोनिओजेनेसिस में NADH इस कार्य को करता है। समीकरण 12.17 तथा 12.18 का योग करने पर हमें समीकरण 12.19 प्राप्त होता है तथा यह दर्शाता है कि NADPH व ATP के एक-एक अणु के व्यय से इन अभिक्रियाओं द्वारा  $\text{CO}_2$  के एक अणु का हैक्सोज के स्तर तक अपचयन होता है।

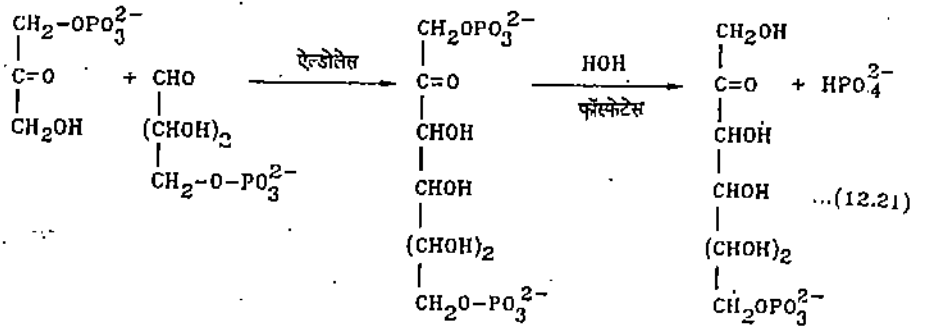


यद्यपि इस प्रक्रिया के चलते रहने के लिए आरंभिक क्रियाधार अर्थात्, राइब्यूलोस-1,5-बिसफॉस्फेट का पुनः उत्पन्न होना आवश्यक होता है। कैल्बिन चक्र की अन्य अभिक्रियाएँ इसी कार्य को सम्पन्न करती हैं। इनमें से दो प्रकार के एन्जाइम नामतः ट्रांसकीटोलेस तथा ऐल्डोलेस कार्य करते हैं।

समीकरण 12.18 की अभिक्रिया के अनुसार बनने वाला फ्रक्टोज-6-फॉस्फेट, ट्रांसकीटोलेस नामक एन्जाइम की उपस्थिति में ग्लिसराल्डिहाइड-3-फॉस्फेट के एक और अणु से संयोजन द्वारा एरिथ्रोस-4-फॉस्फेट तथा जाइतूलोस-5-फॉस्फेट बनाता है (समीकरण 12.20)।



एरिथ्रोस-4-फॉस्फेट, डाइहाइड्रॉक्सीऐसीटोन फॉस्फेट से अभिक्रिया करके सीडोहेप्टुलोस-1,7-बिसफॉस्फेट बनाता है। यह अभिक्रिया ऐल्डोलेस द्वारा उत्प्रेरित होती है।



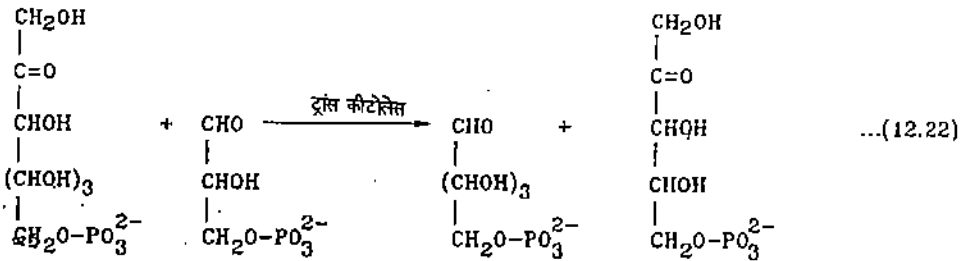
डाइहाइड्रॉक्सीऐसीटोन  
फॉस्फेट

एरिथ्रोस-  
4-फॉस्फेट

सीडोहेप्टुलोस-  
1,7-बिसफॉस्फेट

सीडोहेप्टुलोस-  
7-फॉस्फेट

ट्रांसकीटोलेस द्वारा उत्प्रेरित एक अन्य अभिक्रिया में सात कार्बन वाली शर्करा ग्लिसराल्डिहाइड-3-फॉस्फेट से अभिक्रिया करके राइबोस-5-फॉस्फेट तथा जाइलूलोस-5-फॉस्फेट का एक और अणु बनाती है, समीकरण 12.22।



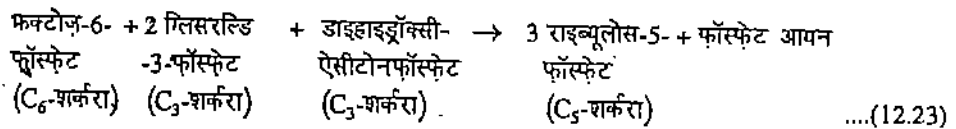
सीडोहेप्टुलोस-  
7-फॉस्फेट

ग्लिसराल्डिहाइड-3-फॉस्फेट

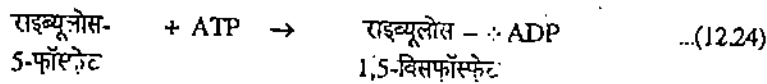
राइबोस-5-  
फॉस्फेट

जाइलूलोस-  
5-फॉस्फेट

विशिष्ट आइसोमेरेसों की उपस्थिति में जाइलूलोस-5-फॉस्फेट तथा राइबोस-5-फॉस्फेट दोनों समावयवीकृत होकर राइब्यूलोस-5-फॉस्फेट बना सकते हैं। इस प्रकार नेट अभिक्रिया को हम निम्न रूप में लिख सकते हैं:



ध्यान दें: राइब्यूलोस-5-फॉस्फेट, ATP से क्रिया द्वारा राइब्यूलोस-1,5-बिसफॉस्फेट में परिवर्तित हो जाता है। यह अभिक्रिया फॉस्फोराइब्यूलोस काइनेस द्वारा उत्प्रेरित होती है (समीकरण 12.24) तथा चक्र को पूरा कर देती है।



अभिक्रियाओं के इस सेट की चक्रीय प्रकृति को समझने के लिए इस भाग के अंत में दिए गए बोध प्रश्न 5 को हल करने का प्रयास कीजिए।

शुष्क व गर्म जलवायु के अनुरूप ढली वनस्पतियों प्रकाश संश्लेषण के लिए एक अन्य पथ का उपयोग करती हैं। इसे C<sub>4</sub> पथ कहते हैं। इसमें पत्ती की एक विशिष्ट कोशिका में CO<sub>2</sub> पांच कार्बन वाले राइब्यूलोस-बिसफॉस्फेट की अपेक्षा एक त्रिकारबन यौगिक से आबंधन करती है। इससे चार कार्बन वाला एक यौगिक प्रोस्त होता है, जो एक कोशिका में स्थानांतरित हो जाता है। इस पथ का एक लाभ यह है कि C<sub>4</sub> वनस्पतियों C<sub>3</sub> वनस्पतियों की अपेक्षा कार्बन डाइऑक्साइड का अधिक प्रभावी उपयोग करती हैं। ये C<sub>3</sub> वनस्पतियों की अपेक्षा चार गुणा तीव्रता से कार्बन का संग्रहण करती हैं। इसके परिणामस्वरूप ये अधिक उच्च ताप पर वृद्धि करने में सक्षम होती हैं तथा इनकी वृद्धि की दर भी अधिक होती है।

राइब्यूलोस-1,5-बिसफॉस्फेट कार्बोक्सिलेस नामक एन्जाइम जंतुओं व मनुष्यों में नहीं पाया जाता है। इसलिए जंतु व मनुष्य अपने जैव अणुओं के संश्लेषण के लिए CO<sub>2</sub> का कार्बन के स्रोत के रूप में उपयोग नहीं कर सकते।

ये कार्बनिक यौगिकों, लिनक उपयोग कार्बन तथा ऊर्जा को खेत के रूप में होता है, के लिए वनस्पतियों पर निर्भर करते हैं। प्रकाश संश्लेषण के अध्ययन के बाद अब आप निम्न बोध प्रश्नों को हल करने का प्रयास कीजिए।

## बोध प्रश्न 5

व्यापीकरण यर्थात्, प्रकाश संश्लेषण की अप्रकाशकीय अभिक्रियाओं की रससमीकरणमिति का परिकलन कीजिए।

संकेत : समीकरण 12.19 A को 6 से, 12.19 B को 3 से, 12.23 को 2 से तथा 12.24 को 6 से गुणा करके इन सभी अभिक्रियाओं का योग कीजिए। क्रियाधारों की प्रत्येक स्पीशीज़ में उपस्थित कार्बन परमाणुओं की संख्या को लेकर इस रससमीकरणमिति का परिकलन अधिक सरल हो सकता है।

## बोध प्रश्न 6

क) क्या प्रकाश संश्लेषण की अप्रकाशकीय अभिक्रियाओं का प्रकाश की अनुपस्थिति में होना आवश्यक है? व्याख्या कीजिए।

ख) सही उत्तर को (✓) द्वारा चिन्हित कीजिए।

मनुष्य  $\text{CO}_2$  तथा  $\text{H}_2\text{O}$  से ग्लूकोस का संश्लेषण नहीं कर सकते क्योंकि,

- वे सूर्य के प्रकाश का अवशोषण नहीं कर सकते हैं।
- उनमें राइब्यूलोस-1,5-बिसफॉस्फेट कार्बोक्सिलेस नामक एन्जाइम नहीं होता है।
- वे इस एन्जाइम के लिए वनस्पतियों पर निर्भर करते हैं।
- इनमें वनस्पतियों में पाए जाने वाले वर्णक नहीं होते हैं।

## 12.7 सारांश

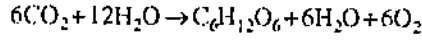
आइए, इस इकाई में चर्चित प्रकाश संश्लेषण को संक्षेप में देखें।

सूर्य के प्रकाश के प्रभाव द्वारा कार्बन डाइऑक्साइड से कार्बोहाइड्रेटों के संश्लेषण को प्रकाश संश्लेषण कहते हैं। यह सभी वनस्पतियों, नील-हरित शैवालों तथा कुछ बैक्टीरियाओं में होता है। वनस्पतियों में यह प्रक्रिया क्लोरोप्लास्टों में होती है जिनमें शिल्ली से घिरी पुटिकाएं होती हैं, जिन्हें थाइलेकोइड कहते हैं। यह स्तम्भ के रूप में एक-दूसरे पर टिकी होती है। प्रकाश के अवशोषण के लिए उत्तरदायी वर्णक थाइलेकोइड शिल्ली में झुंड के रूप में पाए जाते हैं। इन्हें प्रकाश निकाय कहते हैं। ये दो प्रकार के होते हैं, नामतः, प्रकाश निकाय I तथा II, इन्हें क्रमशः P700 तथा P680 भी कहा जाता है। यह संख्या अधिकतम प्रकाश अवशोषण के संगत तरंग दैर्घ्य को दर्शाती है। प्रत्येक प्रकाश निकाय में वर्णकों के कई अणु होते हैं, जो प्रकाश को अवशोषित करके अवशोषित ऊर्जा को विशिष्ट क्लोरोफिल के अणु पर भेज देते हैं। ये विशिष्ट क्लोरोफिल अणु प्रोटीन के एक अणु से जुड़ा होता है, जो प्रकाश रासायनिक अभिक्रिया केन्द्र, जहाँ पर प्रकाश ऊर्जा का रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तन होता है, का एक भाग होता है। प्रकाश संश्लेषण के लिए दोनों निकायों का प्रकाश द्वारा उत्तेजन आवश्यक होता है। ये दो प्रकाश निकाय क्रमवार कार्य करते हैं तथा Z रूपरेखा द्वारा जल से इलेक्ट्रॉनों को  $\text{NADP}^+$  पर स्थानांतरित करने का कार्य करते हैं। इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण के अलावा ये दो प्रकाश निकाय एक प्रोटॉन प्रवणता भी उत्पन्न करते हैं जिसमें थाइलेकोइड का अंतः भाग उसके बाह्य भाग की अपेक्षा अधिक अम्लीय हो जाता है। यह प्रोटॉन

प्रवणता NADPH के प्रत्येक मोल के लिए कम से कम एक मोल ATP के संश्लेषण का परिचालन करती है। ऐसा चक्रीय व अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण द्वारा संभव हो पाता है। इन अभिक्रियाओं को सामूहिक रूप में प्रकाश संश्लेषण की प्रकाशकीय अभिक्रियाएं कहते हैं क्योंकि ये प्रकाश पर निर्भर करती हैं। प्रकाश संश्लेषण की अन्य अभिक्रियाएं प्रकाश पर निर्भर नहीं करती हैं तथा अप्रकाशकीय अभिक्रियाएं कहलाती हैं। ये अभिक्रियाएं प्रकाशकीय अभिक्रियाओं के दौरान उत्पन्न NADPH तथा ATP का उपयोग करती हैं। इन अभिक्रियाओं के एक क्रम में 12 NADPH तथा 18 ATP के अणुओं के व्यय द्वारा कार्बन डाइऑक्साइड के 6 अणुओं से फ्रक्टोज-6-फॉस्फेट बनता है।

## 12.8 अंत में कुछ प्रश्न

1. प्रकाश संश्लेषण की अभिक्रिया को सामान्यतः निम्न रूप में लिखा जाता है :



क्या यह सही है ? अपने उत्तर की व्याख्या कीजिए।

2. प्रकाश संश्लेषण की दर को ऑक्सीजन बनने की दर के रूप में मापा जा सकता है। ऐसा मापा गया है कि 680 nm तथा 700 nm के प्रकाश के मिश्रण का उपयोग करने पर प्रकाश संश्लेषण की दर, केवल 680 अथवा केवल 700 nm के प्रकाश के उपयोग से प्राप्त दर की अपेक्षा अधिक होती है। इस प्रेक्षण की व्याख्या किस प्रकार की जा सकती है?
3. प्रकाश निकाय 1 (P700) को 700 nm तरंग दैर्घ्य वाले प्रकाश से किरणित करने पर इसका अपचयन विभव +0.4 से घटकर -1.2 वोल्ट हो जाता है। इस "अपचायक क्षमता" के रूप में प्रकाश ऊर्जा का कितना अंश तत्वांतरित होता है?
4. पृथक्कृत तथा किरणित क्लोरोप्लास्टों में ATP, ADP तथा फॉस्फेट आयनों की साम्य अवस्था सांद्रताएं क्रमशः 120.6 तथा 700  $\mu\text{M}$  हैं।
  - i) क्लोरोप्लास्टों में एक मोल ATP के बनने के लिए  $\Delta G^{\circ}$  का मान क्या होगा ?
  - ii) 700 nm के प्रकाश द्वारा चक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण में अवशोषित प्रकाश ऊर्जा का कितना अंश ATP के बनने में खर्च होता है?

टिप्पणी: प्रश्न संख्या 3 व 4 के लिए इकाई 8 से उपयुक्त समीकरणों तथा सारणी 8.1 के डाटा का उपयोग अनिवार्य होगा।

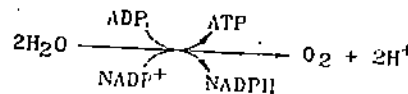
इन दोनों प्रश्नों में आप  $\text{pH} = 7.0$  तथा तापमान = 298K ले सकते हैं।

5. प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण को परिभाषित कीजिए। अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण, चक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण से किस प्रकार भिन्न है?

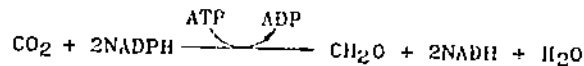
## 12.9 उत्तर

बोद्ध प्रश्न

1. (क) प्रकाशकीय अभिक्रिया



अप्रकाशकीय अभिक्रिया



- (ल) प्रकाशकीय अभिक्रियाएं क्लोरोप्लास्ट के झिल्ली वाले भेग में व अप्रकाशकीय अभिक्रियाएं क्लोरोप्लास्ट की पीठिकाओं में होती हैं।

2. प्रकाश की गति = तरंग दैर्घ्य ( $\lambda$ ), आवृत्ति ( $\nu$ )

$$= \frac{3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{1000 \times 10^{-9} \text{ m}} = 3 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$E = hv : h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$\begin{aligned} 1000 \text{ nm के एक मोल फोटॉनों की ऊर्जा} &= hv \times \text{आवोगाद्रो संख्या} \\ &= 6.26 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{14} \times 6.022 \times 10^{23} \\ &= 119.705 \times 10^3 \text{ J} \\ &= 119.705 \text{ kJ} \end{aligned}$$

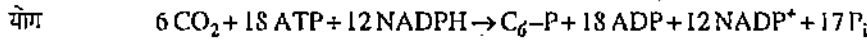
3. (क) प्रभावी अनुनाद त्रानांतरण तथा इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण के लिए व्यवस्थित विन्यास होना अनिवार्य होता है। इसके अलावा क्लोरोफिल व कैरोटिनॉइड लिपिड विलेय होते हैं तथा क्लोरोप्लास्ट की पीठिकाओं के जलीय माध्यम में वे मुक्त रूप से उच्च सांद्रता में नहीं रह सकते।

(ख) i) iv, ii) iii, iii) ii, iv) i

4. (क) iii)

(ख) इसे यह नाम इसलिए दिया गया है, क्योंकि यह देखने में अंग्रेजी के वर्ण Z के समान लगता है।

5.  $6 \times 19.12A; 6 C_5\text{-bisP} + 6 CO_2 + 12 ATP + 12 NADH \rightarrow 12 C_5\text{-P} + 12 NADP^+ + 12 ADP + 12 P_i$   
 $3 \times 19.12B; 6 C_3\text{-P} \rightarrow 3 C_6\text{-P} + 3 P_i$   
 $2 \times 12.23; 2 C_6\text{-P} + 6 C_3\text{-P} \rightarrow C C_5\text{-P} + 2 P_i$   
 $6 \times 12.24; 6 C_5\text{-P} + 6 ATP \rightarrow 6 C_5\text{-bis-P} + 6 ADP$

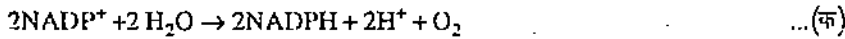


6. (क) नहीं, अप्रकाशकीय अभिक्रियाएं प्रकाश पर निर्भर नहीं करती तथा प्रकाश की अनुपस्थिति में हो सकती हैं, यद्यपि ये अभिक्रियाएं प्रकाश में भी होती हैं।

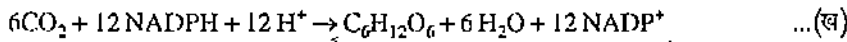
(ख) ii)

अंत में कुछ प्रश्न

1. प्रकाश संश्लेषण में "प्रकाशकीय" तथा "अप्रकाशकीय" अभिक्रियाएं होती हैं। प्रकाशकीय अभिक्रियाएं  $NADP^+$  से  $NADPH$  बनाती हैं। इसके साथ-साथ जल के उपचयन से ऑक्सीजन भी बनती है, जैसा समीकरण (क) में दिया गया है।



अप्रकाशकीय अभिक्रिया में नेट रसायनिक परिवर्तन  $CO_2$  का हैक्सोसा में "अपचयन" होता है, समीकरण (ख)।



समीकरण क को 6 से गुणा करके समीकरण ख में जोड़ने से प्रकाशसंश्लेषी अभिक्रिया की कुल रसायनिक समीकरणमिति प्राप्त होती है। ध्यान दें कि अनिवार्य मात्रा में  $NADPH$  को बनाने के लिए जल के 12 अणुओं की आवश्यकता होती है। अप्रकाशकीय अभिक्रियाओं में जल के 6 अणु उत्पन्न होते हैं। प्रश्न में दी गयी समीकरण कुल प्रक्रिया के लिए, जो एक पदीय अभिक्रिया नहीं है, आवश्यक जल के अणुओं की संख्या तथा इस प्रक्रिया से बनने वाले जल के अणुओं की संख्या को दर्शाती है। इस सीमा तक यह सही है।

2. प्रकाश संश्लेषण में दो प्रकाश निकायों के उत्तेजन व भागीदारी की आवश्यकता होती है। ये हैं—  
 प्रकाशनिकाय I व II ये क्रमशः 700 nm तथा 680 nm तरंगदैर्घ्य वाले प्रकाश द्वारा अधिकतम उत्तेजित होते हैं। इसलिए जब दोनों तरंगदैर्घ्यों का प्रकाश उपस्थित होता है, तब प्रकाश संश्लेषण की उच्च दर पाई जाती है तथा जब इन दो तरंगदैर्घ्यों में से किसी एक का उपयोग किया जाता है तब केवल एक प्रकाश निकाय ही सही प्रकार से उत्तेजित हो पाता है, दूसरा नहीं। इसलिए प्रकाश संश्लेषण की दर कम हो जाती है।

3. 700 nm के फोटॉनों के एक मोल (अथवा एक आइसटाइन) की ऊर्जा 170.9 kJ के बराबर होती है। मानक अपचयन विभव में परिवर्तन के लिए आवश्यक ऊर्जा का परिकलन इकाई 8 के उपभाग 8.2.2 में द गई निम्न समीकरण की सहायता से किया जा सकता है।

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ} &= -n.F.\Delta E^{\circ} \\ &= -1 \times 96.485 \times (-1.6) \\ &= 154.4 \text{ kJ}\end{aligned}$$

इस प्रकार प्रकाश ऊर्जा का तत्कालीन अंश

$$= 154.4 \times \frac{100}{170.9} = 90.3\%$$

4. i)  $\Delta G = \Delta G^{\circ} + 2.303 R.T. \log \frac{[ATP]}{[ATP]^2 \times [P_i]}$

$$\begin{aligned}&= (30,500) + (2.303 \times 8.314 \times 298 \times \log \frac{120 \times 10^{-6}}{(6 \times 10^{-6})(700 \times 10^{-6})}) \\ &= 30,500 + 25,425 = 55,925 \text{ J mol}^{-1} \\ &= 55.93 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

- ii) 700 nm तरंग दैर्घ्य वाले फोटॉनों के एक मोल की ऊर्जा = 170.9 kJ (परिकलन के लिए बोध प्रश्न 2 का उत्तर देखिए)। इसलिए ATP संश्लेषण के लिए उपभोगित ऊर्जा का प्रतिशत

$$= 55.93 \times \frac{100}{170.9} = 32.7\%$$

5. अवायु परित्थितियों में प्रकाश द्वारा ADP से ATP के संश्लेषण को प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण कहते हैं। अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण में ATP का संश्लेषण जल तथा NADP<sup>+</sup> के बीच इलेक्ट्रॉन अभिगमन के दौरान होता है, जबकि चक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण में इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण अभिक्रियाओं के एक क्रम के दौरान केवल प्रकाश निकाय I के उपयोग द्वारा ATP का संश्लेषण होता है।

### कुछ उपयोगी पुस्तकें

1. Harper's Review of Biochemistry (18th ed.)  
D.W. Martin, P.A. Mayes and V.W. Rodwell  
Lange Medical Publications, Maruzen Asia (Pte.) Ltd.  
Singapore, 1981
2. Outlines of Biochemistry (4th ed.)  
Eric E. Conn and P.K. Stumpf  
Wiley Eastern Limited, New Delhi  
1976
3. Principles of Biochemistry  
Albert L. Lehninger  
CBS Publishers and Distributors, Delhi  
1984
4. Biochemistry (3rd ed.)  
Lubert Stryer  
W.H. Freeman and Co., New York  
1988



उत्तर प्रदेश  
राजर्षि टण्डन मुक्त विश्वविद्यालय

UGCHE-09

जैव रसायन

खंड

4

जीन अभिव्यक्ति

---

इकाई 13

DNA तथा RNA का संश्लेषण : प्रतिकृति तथा अनुलेखन

---

5

इकाई 14

प्रोटीन संश्लेषण

---

15

इकाई 15

जैव प्रौद्योगिकी

---

32

इकाई 16

प्रतिरक्षा विज्ञान

---

47

## पाठ्यक्रम अभिकल्प समिति

प्रो. ओ.पी. मल्होत्रा  
अवकाश प्राप्त वैज्ञानिक  
रसायन विभाग  
बनारस हिन्दू विश्वविद्यालय  
बनारस

प्रो. यू. डब्ल्यू. केन्करे  
राष्ट्रीय उत्तक संवर्धन सुविधा  
प्राणि विज्ञान विभाग  
पूना विश्वविद्यालय  
पुणे

प्रो. एस.एल.एन. राव  
जैव रसायन विभाग  
उस्मानिया विश्वविद्यालय  
हैदराबाद

प्रो. शेख हादी  
जैव रसायन विभाग  
जीव विज्ञान संकाय  
अलीगढ़ मुस्लिम विश्वविद्यालय  
अलीगढ़

संकाय सदस्य, विज्ञान विद्यापीठ  
इ. गां. रा. मु. वि.  
प्रो. शक्ति आर. अहमद  
डॉ. जावेद ए. फारूकी  
डॉ. भारत इन्द्र फौजदार  
डॉ. एस. कण्णन  
डॉ. ललिता एस. कुमार  
डॉ. सुनीता मल्होत्रा  
डॉ. शोहला मुनीस रजा  
प्रो. बी. एस. सारस्वत

## खंड निर्माण क्ल

प्रो. ओ.पी. मल्होत्रा (अनुवादक)  
अवकाश प्राप्त वैज्ञानिक  
रसायन विभाग, वी.एच.यू.  
वाराणसी

डॉ० जावेद इक़बाल  
जैव रसायन विभाग  
अलीगढ़ मुस्लिम विश्वविद्यालय  
अलीगढ़  
डॉ० वी. एस. परमार  
रसायन विभाग  
दिल्ली विश्वविद्यालय  
दिल्ली

डॉ. भारत इन्द्र फौजदार  
डॉ. जावेद ए. फारूकी  
विज्ञान विद्यापीठ  
इ. गां. रा. मु. वि.

पाठ्यक्रम समन्वयकर्ता : डॉ. ललिता एस. कुमार

## अनुवाद

डॉ. संजीव कुमार  
देशबन्धु महाविद्यालय  
दिल्ली विश्वविद्यालय  
दिल्ली

श्री नरेन्द्र चौहान

डॉ. भारत इन्द्र फौजदार  
डॉ. जावेद ए. फारूकी  
विज्ञान विद्यापीठ  
इ. गां. रा. मु. वि.

मार्च, 1995

© इन्दिरा गांधी राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय, 1995

सर्वाधिकार सुरक्षित । इस कार्य का कोई भी अंश इन्दिरा गांधी, राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय की लिखित अनुमति लिए बिना मिनियोग्राफ अथवा किसी अन्य साधन से पुनः प्रस्तुत करने की अनुमति नहीं है।

ISBN-81-7263-720-9

इन्दिरा गांधी राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय के पाठ्यक्रमों के विषय में और अधिक जानकारी विश्वविद्यालय के कार्यालय मैदान गढ़ी, नई दिल्ली-110 068 से प्राप्त की जा सकती है।



## खंड 4 जीन अभिव्यक्ति

इस खंड में चार इकाइयाँ (इकाई 13-16) हैं।

इकाई 13 DNA की प्रतिकृति (Replication) तथा अनुलेखन (transcription) से संबंधित है। इस इकाई में हमने DNA की खोज तथा आनुवंशिक जानकारी को संचित करने की इसकी प्रकृति की संक्षिप्त चर्चा की है। इस इकाई में हम DNA के एक अणु द्वारा टेम्पलेट (template) के रूप में कार्य करते हुए DNA के नये अणुओं के संश्लेषण (DNA प्रतिकृति) का अध्ययन भी करेंगे। अंत में हम RNA के संश्लेषण का वर्णन करेंगे, जिसमें भी DNA, टेम्पलेट का कार्य करता है।

इकाई 14 में पहले हम प्रोटीन संश्लेषण की सामान्य रूपरेखा देंगे तथा फिर इसके विभिन्न चरणों की विस्तृत चर्चा करेंगे। हम यह भी अध्ययन करेंगे कि कोशिका की आवश्यकताओं के अनुरूप, संश्लेषण की इस प्रक्रिया का नियमन किस प्रकार होता है। इस इकाई के अंत में हम प्रतिजैविकों (antibiotics) की क्रिया के आणविक आधार तथा कैंसर (cancer) के जैव रसायन का अध्ययन करेंगे।

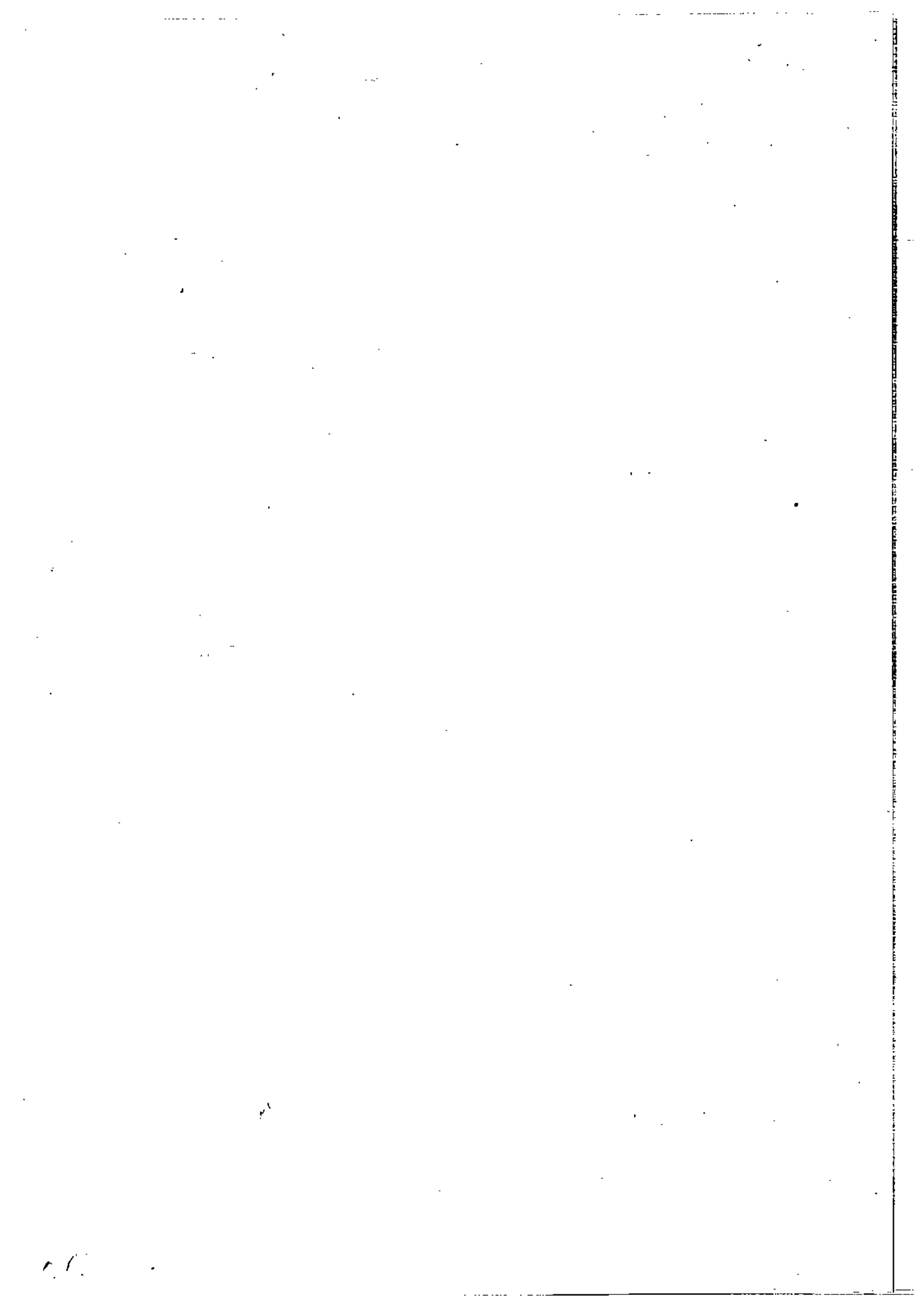
इकाई 15 में पहले हम जैव प्रौद्योगिकी, इसकी उत्पत्ति, वर्तमान स्थिति तथा क्षमताओं का अवलोकन करेंगे तथा फिर जैव प्रौद्योगिकी के प्रमुख क्षेत्रों, जैसे-आनुवंशिक इंजीनियरी, एन्जाइम प्रौद्योगिकी, किण्वन प्रौद्योगिकी इत्यादि का विस्तृत अध्ययन करेंगे।

इकाई 16 प्रतिरक्षा विज्ञान (immunology) से संबंधित है। इसमें हम विशिष्ट प्रतिरक्षा अनुक्रिया (specific immune response) का अध्ययन करेंगे। हम कोशिका तथा देहद्रवी प्रतिरक्षण (cellular and humoral immunity) तथा लसीका कोशिकाओं (lymphocytes) की भूमिका का अध्ययन भी करेंगे। अंततः हम विभिन्न प्रकार के प्रतिपिण्डों (antibodies) की संरचनाओं तथा प्रकारों की व्याख्या करेंगे।

उद्देश्य

इस खंड के अध्ययन के बाद आप

- DNA को आनुवंशिक पदार्थ सिद्ध करने वाले प्रमाणों की व्याख्या कर सकेंगे,
- DNA प्रतिकृति तथा RNA संश्लेषण का वर्णन कर सकेंगे, जिसमें DNA टेम्पलेट के रूप में कार्य करता है,
- आनुवंशिक कोड (genetic code) का वर्णन कर सकेंगे तथा प्रोटीन के जैव संश्लेषण के विभिन्न चरणों की सूची बना सकेंगे,
- प्रतिजैविक औषधि क्रिया के नियमों तथा कैंसर के कोशिकीय आधार की व्याख्या कर सकेंगे,
- जैव प्रौद्योगिकी के अर्थ का वर्णन कर सकेंगे तथा आनुवंशिक इंजीनियरी, एन्जाइम इंजीनियरी तथा किण्वन प्रौद्योगिकी के आधार की व्याख्या कर सकेंगे,
- प्रतिरक्षा की व्याख्या कर सकेंगे, तथा
- प्रतिपिण्डों के विभिन्न वर्गों की संरचनाओं तथा प्रकारों की चर्चा कर सकेंगे।



# इकाई 13 DNA तथा RNA का संश्लेषण : प्रतिकृति तथा अनुलेखन

## इकाई की रूपरेखा

- 13.1 प्रस्तावना  
उद्देश्य
- 13.2 आनुवंशिक पदार्थ  
ग्रिफिट्स (1928) तथा ऐबर्टी व लहयोगियों (1944) के प्रयोग  
हर्षी-चेस प्रयोग (1952)  
यूकैर्योटिक कोशिकाओं के DNA का संश्लेषण अणु
- 13.3 DNA प्रतिकृति
- 13.4 RNA संश्लेषण : अनुलेखन  
DNA प्रतिकृति तथा RNA अनुलेखन के बीच समानताएं
- 13.5 सारांश
- 13.6 अंत में कुछ प्रश्न
- 13.7 उत्तर

## 13.1 प्रस्तावना

इकाई 2 से 5 में हमने कुछ जंतु अणुओं की संरचनाओं तथा उनके रसायन का वर्णन किया था। वहाँ पर हमने उनकी शरीर क्रियात्मक भूमिका से आस्था परिचय कराया था। किस प्रकार कार्बोहाइड्रेट (सिलुलोज को छोड़कर) तथा वसाएँ मुख्यतः ऊर्जा स्रोतों का कार्य करती हैं। सिलुलोज एक संरचनात्मक पॉलीसैकेराइड है। इसी प्रकार कई लिपिड, हार्मोनों, विटामिनों तथा शैथिलिक कोशिकाओं की झिल्ली के अवयव होते हैं। प्रोटीनें-उपायचयी उत्प्रेरण, संरचनात्मक, हार्मोनी व अन्य कई प्रकार के प्रकार्यों के लिए उत्तरदायी होती हैं। अपनी पुनरावृत्ति जीवित कोशिकाओं का एक दूर लक्षण होता है। कोशिकाएं इस कार्य को अति परिशुद्धता (high precision) के साथ करती हैं। इसके माने यह है कि कोशिका में ऐसा कोई जैव अणु होना आवश्यक है, जो सूचना का भंडारण कर सके व पूर्ण रूप से इसे कोशिका से संतति (progeny) पर स्थानांतरित कर सके। कोशिका विभाजन से पहले इस सूचना की परिशुद्ध प्रतिलिपि बनना आवश्यक है ताकि इसमें उत्पन्न होने वाली दोनों कोशिकाओं को एक-एक प्रतिलिपि प्राप्त हो सके। इस कार्य के लिए उत्तरदायी, परिकल्पित आण्विक स्पीशीज़ को उस समय "जीन" कहा गया। अब यह जाना जा चुका है कि "जीन" शब्द की उत्पत्ति जिन कार्यों के लिए उत्तरदायी अणु के लिए की गई थी, वह कार्य DNA (तथा कभी-कभी RNA) करता है। इस इकाई में हम इस कथन के पक्ष में विभिन्न प्रमाणों का अध्ययन करेंगे। हम इसका भी अध्ययन करेंगे कि DNA (अर्थात् जीनों के समुच्चय) की प्रतिलिपि किस प्रकार बनती है। इस प्रक्रिया को प्रतिकृति कहते हैं। जीवित कोशिकाओं के DNA में उपस्थित सूचना पहले RNA के विशिष्ट अणुओं के रूप में "प्रतिलिपित" अथवा "अनुलेखित" (transcribed) होती है। फिर इसके स्थानांतरण (translation) द्वारा विभिन्न प्रोटीनों का संश्लेषण होता है। अनुलेखन की प्रक्रिया प्रतिकृति की प्रक्रिया के समान ही होती है। इसलिए इसकी चर्चा इसी इकाई में की जाएगी जबकि "स्थानांतरण" की प्रक्रिया का अध्ययन आप इकाई 14 में करेंगे। चूंकि इन सबके अध्ययन के लिए हमें DNA की संरचना की जानकारी की आवश्यकता होगी, इसलिए इस इकाई में आगे बढ़ने से पहले इकाई 4 को पुनः देख लेना आपके लिए उपयोगी होगा।

## उद्देश्य

इस इकाई के अध्ययन के बाद आप :

- DNA को आनुवंशिक पदार्थ सिद्ध करने वाले प्रमाणों की व्याख्या कर सकेंगे,
- DNA के युग्म अणु के टेम्पलेट के रूप में कार्य करते हुए नये DNA के संश्लेषण (DNA प्रतिकृति) की प्रक्रिया का वर्णन कर सकेंगे, तथा
- RNA संश्लेषण, जिसमें DNA टेम्पलेट के रूप में कार्य करता है, की प्रक्रिया का वर्णन कर सकेंगे।

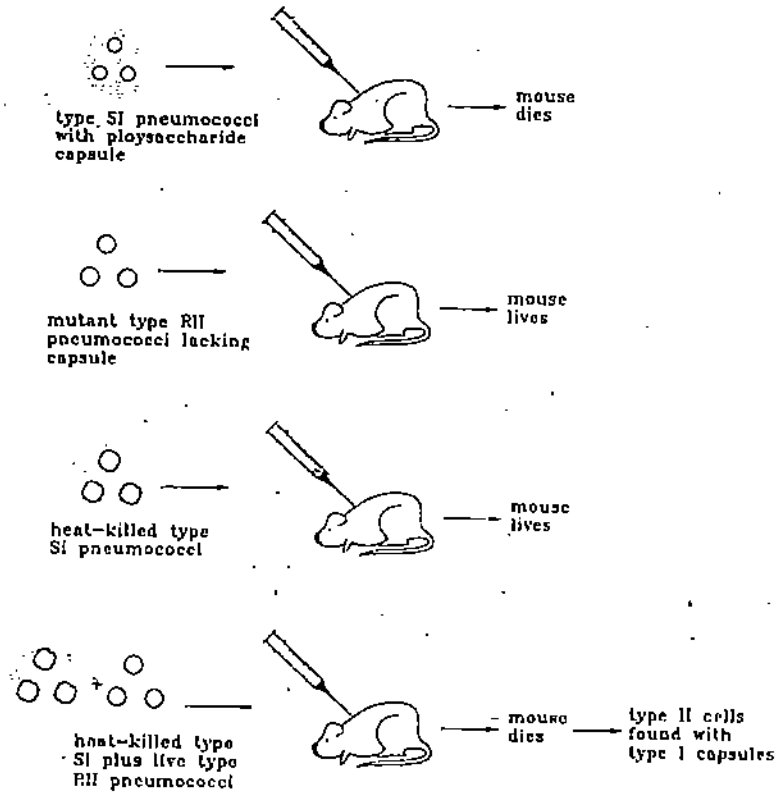
## 13.2 आनुवंशिक पदार्थ

अब यह स्पष्ट हो चुका है कि जीवन के सभी कोशिकीय रूपों तथा अधिकतर विषाणुओं (viruses) में DNA ही आनुवंशिक सूचना के स्थानांतरण का कार्य करता है। कुछ RNA विषाणुओं (RNA viruses) में RNA ही

विषाणुओं (retro-viruses) में RNA यह भूमिका निभाता है। यद्यपि फ्रेडरिक मिशर द्वारा लसिकाणुओं के केन्द्रकों से DNA के पृथक्करण (1869) तथा उसकी जैविक भूमिका को जानने के बीच एक बहुत लम्बा समय, लगभग, 75 वर्ष, लग गया। इस भाग में हम इस विस्तृत ऐतिहासिक विकास को जानने की कोशिश नहीं करेंगे, अपितु DNA की आनुवंशिक भूमिका को दर्शाते हुए कुछ प्रयोगों तथा प्रमाणों का वर्णन करेंगे।

### 13.2.1 ग्रिफिट्स (1928) तथा ऐवरी व सहयोगियों (1944) के प्रयोग

जन्तुओं में न्यूमोनिया (Pneumonia) के लिए उत्तरदायी न्यूमोकोकसी बैक्टीरिया (डिप्लोकोकस न्यूमोनी) के उग्र रूप अगर-अगर (Agar-agar) की पट्टिकाओं पर चिकनी कॉलोनियों के रूप में वृद्धि करते हैं। ऐसा इसलिए होता है, क्योंकि वे पॉलीसैकैराइड के आवरण द्वारा घिरी होती हैं। यह उन कोशिकाओं को पहचानने तथा उनसे अन्योन्यक्रिया करने का कार्य करती हैं, जिन पर यह बैक्टीरिया संक्रमण करता है। एक ऐसा उत्परिवर्ती (mutant) न्यूमोकोकस ज्ञात है जिसमें यह आवरण नहीं होता तथा यह उग्र नहीं होता। यह उत्परिवर्ती, अगर-अगर पट्टिकाओं पर स्थूल कॉलोनियों (rough colonies) के रूप में वृद्धि करता है। इन दो उपभेदों (strains) को क्रमशः S (चिकने के लिए) तथा R (स्थूल के लिए) उपभेदों के रूप में जाना जाता है। जीवित S कोशिकाओं को चूहों में इंजेक्ट (inject) करने पर उन्हें न्यूमोनिया हो जाता है तथा अंततः उनकी मृत्यु हो जाती है। दूसरी ओर जीवित R कोशिकाओं अथवा ऊष्मा द्वारा मृत S कोशिकाओं को इंजेक्ट करने पर चूहों में यह रोग अथवा मृत्यु नहीं होती। ग्रिफिट्स (1928) ने जीवित R कोशिकाओं तथा ऊष्मा द्वारा मृत S कोशिकाओं के मिश्रण को चूहों में इंजेक्ट किया तथा यह पाया कि इससे चूहों में रोग के लक्षण उत्पन्न होते हैं व अंततः उनकी मृत्यु हो जाती है (चित्र 13.1)। इसके अलावा मृत चूहे के रक्त में जीवित तथा उग्र S कोशिकाएं ही पाई गईं। इस प्रकार, सामान्यतः अहानिकारक R कोशिकाएं किसी प्रकार उग्र S कोशिकाओं में परिवर्तित हो गईं। यह परिवर्तन ऊष्मा द्वारा मृत S कोशिकाओं में उपस्थित किसी कारक द्वारा ही संभव है। बाद में, ऐवरी तथा उसके सहयोगियों (1944) ने पाया कि DNA ही यह कारक था। उन्होंने दर्शाया कि ऊष्मा द्वारा मृत S कोशिकाओं के DNA ने अन्यथा अहानिकारक R कोशिकाओं में नये आनुवंशिक गुण, जैसे उग्रता, उत्पन्न कर दिए।



चित्र 13.1 : चूहों पर न्यूमोकोकसी के विभिन्न उपभेदों के प्रभाव को दर्शाता ग्रिफिट्स के प्रयोग का व्यवस्थात्मक निरूपण S व R क्रमशः चिकनी, व स्थूल कॉलोनियाँ बनाने वाले उपभेदों को दर्शाते हैं।

#### बोध प्रश्न 1

निम्नलिखित कथन को उपयुक्त उत्तर द्वारा पूरा कीजिए-

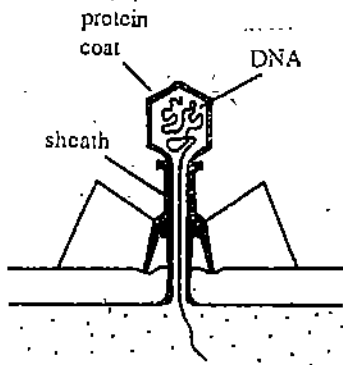
जब ग्रिफिट्स ने ऊष्मा द्वारा मृत S कोशिकाओं तथा जीवित R कोशिकाओं के मिश्रण को चूहों में इंजेक्ट किया तो चूहों की मृत्यु इसलिए हुई कि

- S कोशिकाएं पूर्ण रूप से मृत नहीं थीं।
- S कोशिकाओं का पॉलीसैकैराइड आवरण पूर्ण रूप से नष्ट नहीं हुआ था।
- जीवित R कोशिकाएं इंजेक्ट होने पर चूहों को मार सकती हैं।
- मृत S कोशिकाओं की उपस्थिति द्वारा जीवित R कोशिकाओं का S कोशिकाओं में रूपांतरण हो जाता है।

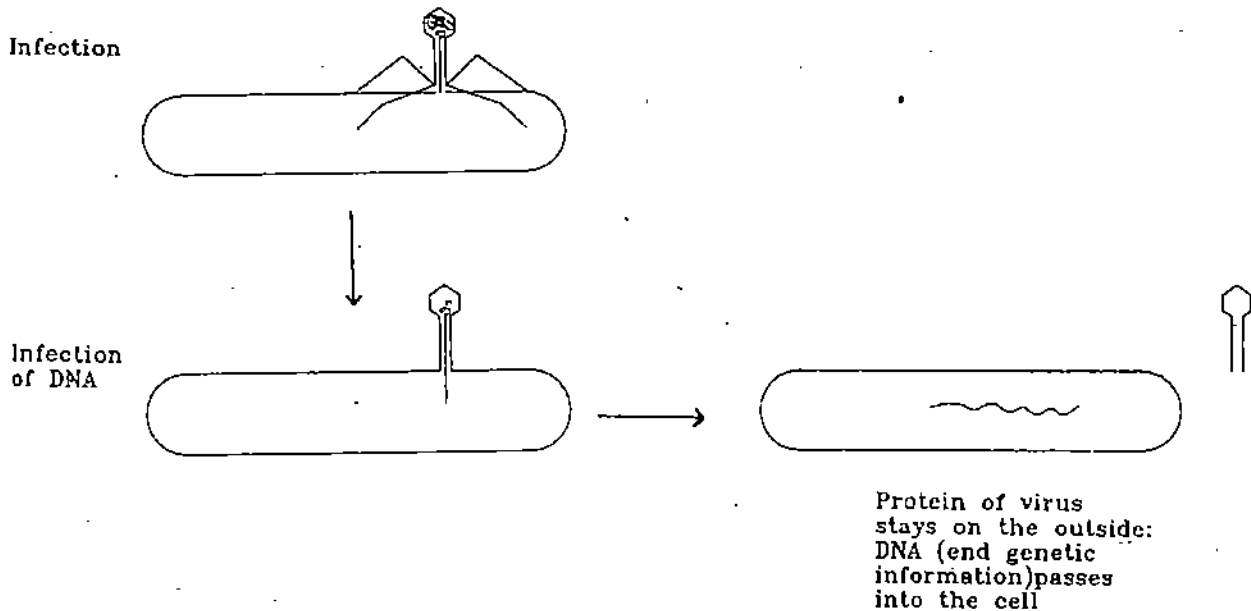
### 13.2.2 हर्षे-चेस प्रयोग (1952)

DNA तथा RNA का संश्लेषण :  
प्रतिकृति तथा अनुलेखन

बैक्टीरियाओं पर आक्रमण करने वाले विषाणुओं को जीवाणुभोजी (bacterio-phage) कहते हैं। यह द्विकुंडलीनी (double helical) DNA के एक अणु का बना होता है जो प्रोटीन के एक आवरण द्वारा घिरा होता है। इसके कोर (core) में उपस्थित DNA प्रोटीन की एक खोखली नली, जिसे पुच्छ कहते हैं, में निकलता है (चित्र 13.2)। पुच्छ के सिरे पर तंतु होते हैं। जीवाणुभोजी, जब किसी बैक्टीरिया की कोशिका का संक्रमण करता है, तब DNA का कोर कोशिका में प्रविष्ट हो जाता है जबकि प्रोटीन का आवरण, कोशिका के बाहर ही रह जाता है तथा इसे विडोलन (agitation) द्वारा अलग किया जा सकता है। हर्षे व चेस ने इसे निम्नलिखित प्रयोग द्वारा प्रमाणित किया। उन्होंने रेडियोधर्मिक समस्थानकों  $^{32}\text{P}$  व  $^{35}\text{S}$  द्वारा अंकित पोषक तत्वों वाले माध्यम में *E. coli* बैक्टीरिया पर जीवाणुभोजियों का संवर्द्धन किया। यहाँ ध्यान दें कि फॉस्फोरस के परमाणु केवल न्युक्लीक अम्लों में ही उपस्थित होते हैं, जबकि केवल प्रोटीनों में ही S (सल्फर) की उपस्थिति वाले ऐमीनो अम्ल (मिथियोनिन व सिस्टीन) होते हैं। इस प्रकार से संवर्द्ध जीवाणुभोजियों के कोर में  $^{32}\text{P}$  से अंकित DNA तथा आवरण में  $^{35}\text{S}$  से अंकित प्रोटीन होगी। इस प्रकार के जीवाणुभोजियों द्वारा *E. coli* की कोशिकाओं को संक्रमित करने के उपरान्त संवर्द्ध का विडोलन किया गया जिससे प्रोटीनीय आवरण अलग हो गया तथा  $^{35}\text{S}$  की लगभग संपूर्ण रेडियोधर्मिता माध्यम पाई गई जबकि बैक्टीरिया की कोशिका में  $^{32}\text{P}$  की रेडियोधर्मिता पाई गई (चित्र 13.3)। इसके अलावा नव उत्पन्न जीवाणुभोजियों में  $^{32}\text{P}$  की लगभग 30% रेडियोधर्मिता पाई गई। जबकि इनमें  $^{35}\text{S}$  की रेडियोधर्मिता 1% से भी कम पाई गई। यह प्रयोग स्पष्ट रूप से दर्शाता है कि जीवाणुभोजी की आनुवंशिक सूचना केवल DNA में ही उपस्थित थी तथा भोजी की संतति को उत्पन्न करने के लिये यह अनिवार्य होता है। इस प्रकार DNA ही आनुवंशिक पदार्थ होना चाहिए।



चित्र 13.2 : T-प्रकार के जीवाणुभोजी का व्यवस्थितक निरूपण



चित्र 13.3 : हर्षे व चेस के प्रयोग का व्यवस्थितक निरूपण। यह दर्शाता है कि जीवाणुभोजी का संक्रमित कोशिका में प्रवेश करता है जबकि उसका प्राटीनीय आवरण बाहर रहता है

**बोध प्रश्न 2**

जीवाणुभोजी क्या होते हैं ?

**13.2.3 यूकैरियोटिक कोशिकाओं के DNA का संयोजन अंश**

सन् 1955 में यह दर्शाया गया कि यूकैरियोटिक जीवों की कायिक कोशिकाओं (somatic cells) में DNA की मात्रा संगत जनन कोशिकाओं की अपेक्षा दो गुणी होती है। आपको याद होगा कि दो जनन कोशिकाएं, प्रत्येक अभिभावक से एक, मिलकर एक एकक कोशिका बनाती हैं, जिससे सभी कायिक कोशिकाएं उत्पन्न होती हैं। इस प्रकार दोनों अभिभावक संतति के आनुवंशिक गुणों में समान रूप से योगदान देते हैं।

ध्यान दें कि कोशिका विभाजन के समय प्रत्येक दुहितृ कोशिका (daughter cell) अपने जनक से संपूर्ण आनुवंशिक सूचना पाती है व अपनी संतति को स्थानांतरित करती है। इस प्रकार कोशिका के जीवनकाल में उसके आनुवंशिक पदार्थ का होना आवश्यक है ताकि इसे दो दुहितृ कोशिकाओं के बीच बराबर-बराबर बांटा जा सके। इस प्रकार आनुवंशिक पदार्थ का एक मुख्य लक्षण यह है कि यह हो सके अथवा कोशिका तंत्र द्वारा इसका द्विगुणीकरण संभव हो। अगले भाग में आप यह अध्ययन करेंगे कि DNA की द्विकुंडलिनी संरचना किस प्रकार द्विगुणीकरण, जिसे सामान्यतः प्रतिकृति कहते हैं, के लिए उपयुक्त है। प्रतिकृति के माने है, स्वयं की प्रतिकृति उत्पन्न करना अथवा इसके लिए उत्तरदायी होना।

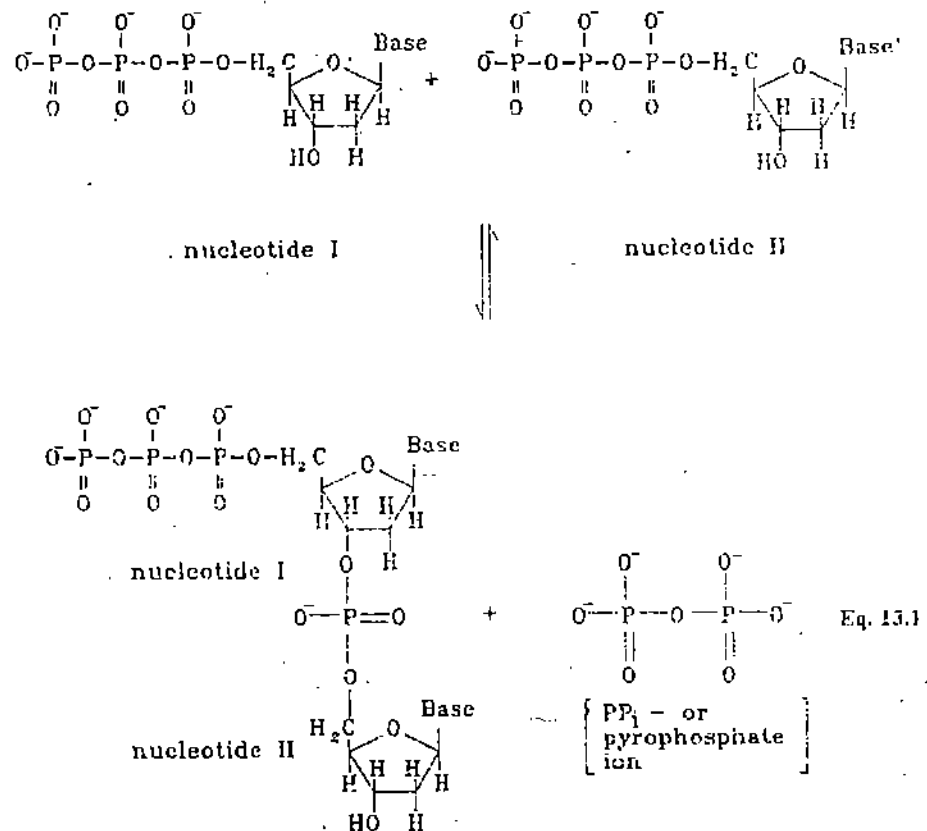
**बोध प्रश्न 3**

सही के लिए T तथा गलत के लिए F लिखिए।

- (क) सतीमकेन्द्रकी जीवों की कायिक कोशिकाओं में DNA की मात्रा संगत जनन कोशिकाओं में उपस्थित DNA के बराबर होती है।
- (ख) दो जनन कोशिकाएं, प्रत्येक अभिभावक से एक, मिलकर एकक कोशिका बनाती हैं।
- (ग) द्विगुणीकरण न कर पाना आनुवंशिक पदार्थ का एक अभिलक्षण है।

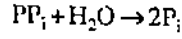
**13.3 DNA प्रतिकृति**

कोशिका में DNA का संश्लेषण चार डिऑक्सीराइबो-न्यूक्लियोटाइड ट्राइफॉस्फेटों द्वारा होता है। ये हैं— डिऑक्सी-एडेनोसिन ट्राइफॉस्फेट (d-ATP) डिऑक्सीग्वानोसिन ट्राइफॉस्फेट (d-GTP) डिऑक्सीसाइटोडीन ट्राइफॉस्फेट (d-CTP) तथा डिऑक्सीथायमीडीन ट्राइफॉस्फेट (d-TTP)। इनकी संरचनाओं को चित्र 13.4 में दर्शाया गया है। ये पायरोफॉस्फेट अंश के विलोपन द्वारा एक-दूसरे से जुड़े होते हैं तथा 3'-5'-फॉस्फोडाइएस्टर आबंध बनाते हैं, जैसा संश्लेषण 13.1 में दर्शाया गया है।

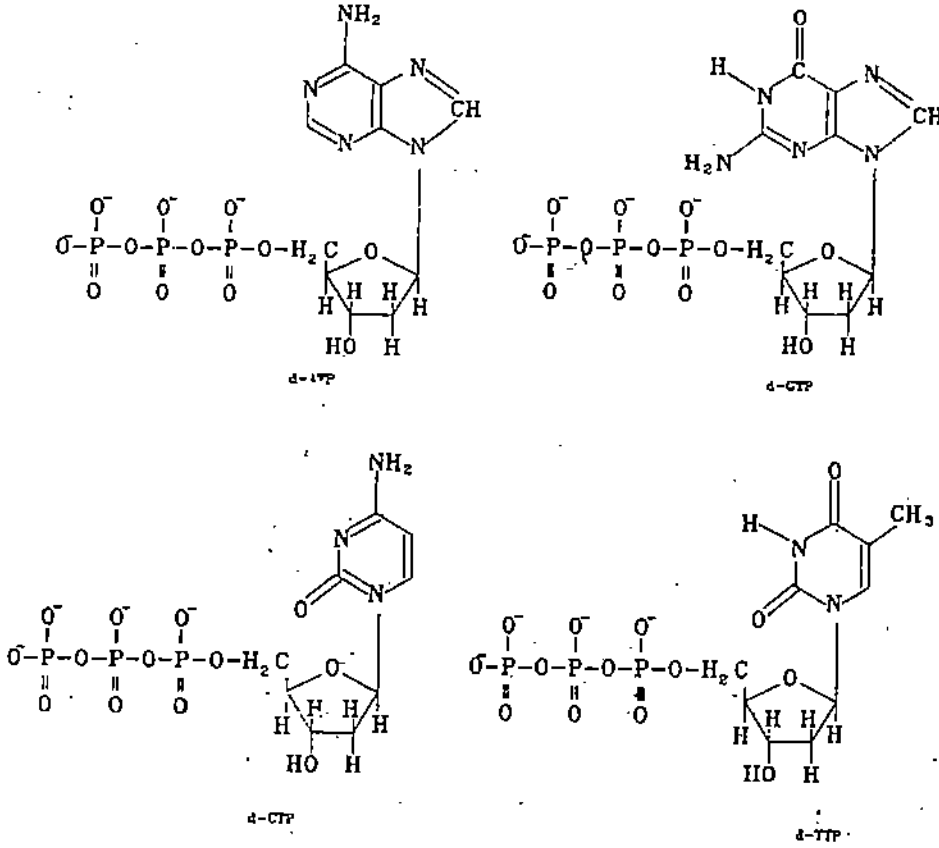


पायरोफॉस्फेट ऑयन पायरोफॉस्फेट नामक एन्जाइम की उपस्थिति में तीव्रता से फॉस्फेट आयनों में जल अपघटित हो जाता है।

DNA तथा RNA का संश्लेषण :  
प्रतिकृति तथा अनुलेखन



चूंकि यह जल अपघटन लगभग अव्युत्क्रमणीय होता है, इसलिए यह समीकरण 13.1 में दी गई अभिक्रिया को पूर्णतः की ओर जाने में सहायता प्रदान करता है। ध्यान दें कि इस अभिक्रिया के बार-बार होने से प्राप्त पॉलिडिऑक्सी न्यूक्लिओटाइड में दो स्पष्ट सिरे होंगे नामतः 5'-सिरा जो समीकरण 13.1 में ऊपर की ओर होगा तथा एक 3'-सिरा जो इसी, संरचना में नीचे की ओर होगा। DNA का जैव संश्लेषण सदैव 5'-सिरे से 3'-सिरे की दिशा में होता है अर्थात् आने वाला नया न्यूक्लिओटाइड ट्राइफॉस्फेट समीकरण 13.1 की संरचना में नीचे की ओर से अभिक्रिया करेगा।



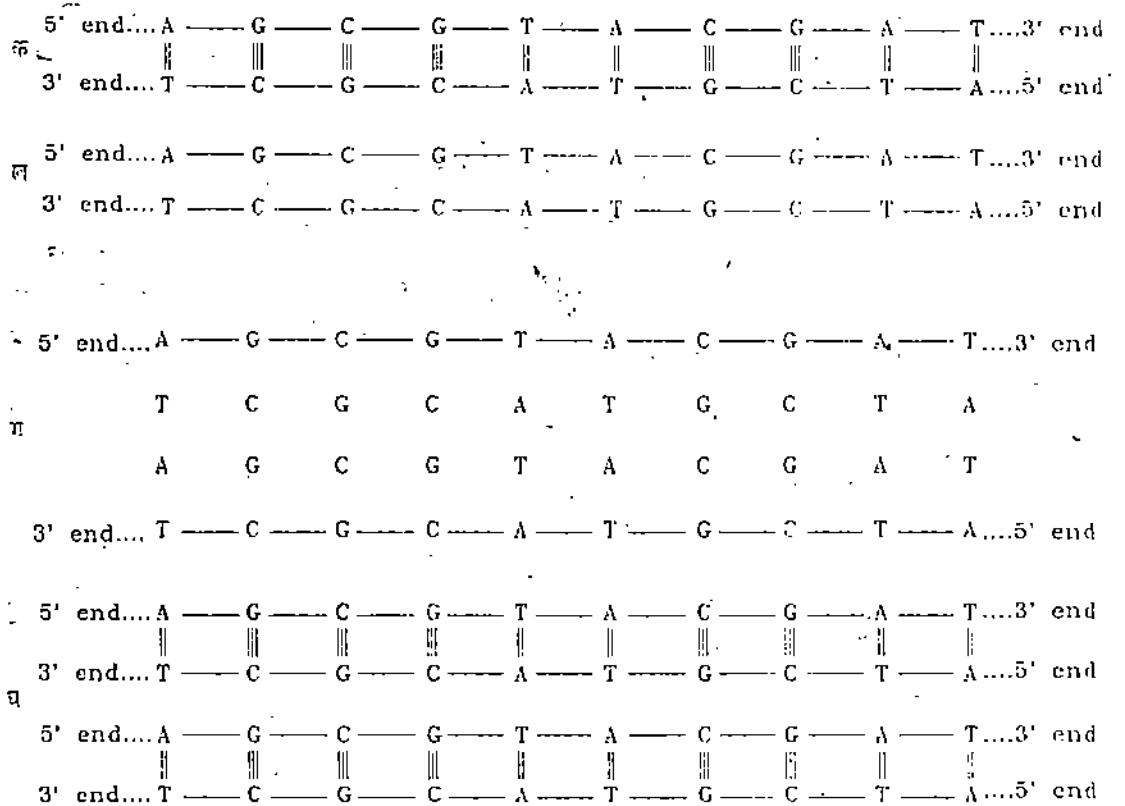
चित्र 13.4 : DNA के डिऑक्सी राइबोन्यूक्लिओटाइड ट्राइफॉस्फेट पूर्वगमियों की संरचनाएं

यह संक्षिप्त विवरण DNA के जनन के रसायन की जानकारी ही देता है। यद्यपि DNA प्रतिकृति के लिए अपेक्षित है कि विभिन्न न्यूक्लिओटाइड एक विशिष्ट क्रम में एक-दूसरे से जुड़ें। DNA के बनने में यह सूक्ष्मता अति विशिष्ट क्षारक युग्मन (base pairing) अथवा हाइड्रोजन आबंधन के कारण होती है। इसका वर्णन आगे किया गया है।

इकाई 4 में वर्णित DNA की अद्वितीय द्विकुंडलिनी संरचना का स्मरण कीजिए जिसमें दो पॉलीडिऑक्सीन्यूक्लिओटाइड शृंखलाएँ एक दूसरे से विपरीत दिशा में चलती हुई एक समान अक्ष के आसपास कुछ इस प्रकार से लिपटी होती हैं कि कर्ण कुण्डलिनी (Helix) को अकुंडलित किए बिना उनको अलग करना संभव नहीं होता है। दोनों रज्जुओं (strands) के क्षारक कर्ण कुंडलिनी के अंदर की ओर होते हैं तथा उनके तल अक्ष पर लंबित होते हैं। दो रज्जुओं के क्षारक एक-दूसरे से अति विशिष्ट रूप से संयुग्मन करते हैं। जिनमें एक रज्जुक का ऐडेनिन क्षारक दूसरे रज्जुक के थायमीन क्षारक से युग्मन करता है (A-T-युग्म) तथा अलग-अलग रज्जुओं के ग्वानिन तथा साइटोसिन एक दूसरे के आसपास होते हैं (G-C युग्म)। प्रत्येक क्षारक युग्म की विशिष्टता व स्थिरता उनमें बनने वाले हाइड्रोजन आबंधों के कारण होती है (दिएं इकाई 4 का भाग 5.4)। इस प्रकार की संरचना प्रतिकृति का आधार बनाती है। क्षारक युग्मन की विशिष्टता के कारण प्रत्येक रज्जुक दूसरे रज्जुक के संश्लेषण के लिए टेम्पलेट के रूप में कार्य कर सकता है।

इस, प्रतिकृति करने वाले DNA के भाग को हम दो रज्जुओं के क्षारकों के रैखिक निरूपण द्वारा दर्शाएँ, ताकि चित्र 13.5 (क) में दर्शाया गया है। इस चित्र में ऊर्ध्वाधर रेखाएँ (vertical lines) हाइड्रोजन आबंधों A = T में दो व G = C में तीन को दर्शाती हैं। यदि हम कल्पना करें कि DNA के एक छोटे से भाग के रज्जुक अकुंडलित हो जाते हैं तथा अलग हुए रज्जुका को चित्र 13.5 (ल) के रूप में दर्शाया जा सकता है। अब

न्यूक्लियोटाइड पूर्वगामी (चित्र 13.4 में दर्शाए गए चार डिऑक्सी न्यूक्लियोसाइड ट्राइफास्फेट) विशिष्ट क्षारक युग्मन द्वारा इन रज्जुकों के विपरीत संरेखित (align) हो सकते हैं जैसा चित्र 13.5 (ग) में दर्शाया गया है। इस चित्र में नए क्षारकों को स्पूलाक्षरों (bold face) द्वारा दर्शाया गया है। अगला युक्तिरागत पद होगा समीकरण 13.1 में दर्शाई गई अभिक्रिया के द्वारा इन पूर्वगामियों का बहुलीकरण। इसके परिणामस्वरूप दो द्विरज्जुक अणु प्राप्त होंगे (चित्र 13.5) (घ) जो एक-दूसरे व आरम्भिक DNA के समान होंगे। ध्यान दें कि यह प्रतिकृति अर्ध संरक्षी (semi-conservative) होता है जिसके माने है कि DNA के प्रत्येक दृढ़ित अणु में एक पुराना व एक नवीन रज्जुक होता है। वास्तविक संश्लेषण में पूर्वगामी एक श्रेणी में संरेखित नहीं होते अतः वे एक-एक करके बढ़ती हुई पॉली-न्यूक्लियोटाइड शृंखला में जुड़ते रहते हैं। प्रत्येक चरण में अभिक्रिया वही होती है, जो समीकरण 13.1 में दर्शाई गई है। इसमें केवल एक अंतर होता है, वह यह कि एकल न्यूक्लियोटाइड (I) के स्थान पर बढ़ती हुई पॉली-न्यूक्लियोटाइड शृंखला होती है। विभिन्न पूर्वगामियों का चयन ऊपर वर्णित क्षारक युग्मन की विशिष्टता पर आधारित होता है। इसके अलावा नव संश्लेषित रज्जुक सदैव 5'-सिरे से 3'-सिरे की ओर संश्लेषित होता है अर्थात् आने वाले प्रत्येक न्यूक्लियोसाइड ट्राइफास्फेट बढ़ती हुई पॉली-न्यूक्लियोटाइड शृंखला के 3'-OH समूह से फॉस्फोडाइएस्टर आबंध बनाता है। इस प्रकार ऊपरी युग्म के लिए नव निर्मित शृंखला दाएं से बाईं ओर तथा नीचे के युग्म के लिए बाएं से दाईं ओर की वृद्धि करेगी (चित्र 13.5) (घ)। इससे एक विशिष्ट समुत्पा उत्पन्न हो जाती है जिसकी चर्चा हम इस प्रक्रिया में भाग लेने वाले एन्जाइमों के संक्षिप्त वर्णन के बाद करेंगे।



चित्र 13.5 : DNA प्रतिकृति का विवर्तक निरूपण; क) द्विरज्जुक जनक DNA<sub>2</sub> ऊर्ध्वोपर रेखाएं, निम्नोपर रेखाएं आबंध को दर्शाती हैं; ख) जनक DNA के अलग हुए रज्जुक; ग) डिऑक्सीराइबो न्यूक्लियोसाइड पूर्वगामियों के क्षारकों को दो रज्जुकों के साथ-साथ संरेखन; घ) पूर्वगामियों के बहुलीकरण द्वारा DNA के दो समान अणुओं का बनना

DNA प्रतिकृति में भाग लेने वाला एक महत्वपूर्ण एन्जाइम है— DNA पॉलीमरेस। तीन अलग-अलग DNA पॉलीमरेस ज्ञात हैं। इन्हें DNA-पॉलीमरेस-I, II, व III द्वारा जाना जाता है। ये सभी समीकरण 13.1 में दी गई अभिक्रिया को उत्प्रेरित करते हैं, जिसमें I बढ़ती हुई पॉलीन्यूक्लियोटाइड शृंखला को दर्शाता है। DNA पॉलीमरेसों में कुछ एन्सो-न्यूक्लियेट सक्रियता भी पाई जाती है जो आने वाले न्यूक्लियोटाइड के सही होने को निश्चित करने अथवा "पूफ रीडिंग" के लिए महत्वपूर्ण होती है। उदाहरण के लिए, DNA-पॉलीमरेस-I में 3'→5' एन्सो-न्यूक्लियेट सक्रियता होती है अर्थात् यह पॉलीन्यूक्लियोटाइड शृंखला के बढ़ते 3'-सिरे पर ताम्रदेशित नव न्यूक्लियोटाइड को जल अपघटन द्वारा विदलित करके अलग कर सकता है। यदि किसी प्रकार अवांछित न्यूक्लियोटाइड समावेशित हो जाता है, तो यह टेम्पलेट रज्जुक के क्षारक से उपयुक्त हाइड्रोजन आबंध नहीं बना सकता। इससे पॉलीमरेस की सक्रियता का संदमन हो जाता है तथा 3'→5' एन्सो-न्यूक्लियेट सक्रियता अवांछित न्यूक्लियोटाइड को विदलित कर देती है। जिसके उपरांत पॉलीमरेस सक्रियता पुनः प्राप्त हो जाती है तथा DNA प्रतिकृति की प्रक्रिया आगे बढ़ जाती है।



आइए, इस इकाई में चर्चित TCA चक्र तथा वसा अम्लों के उपापचय को संक्षिप्त रूप में देखें।

ग्लाइकोलाइसम अथवा ऐलानिन से प्राप्त होने वाले पाइरुवेट का ऐसीटिल — CoA में परिवर्तन होता है। पाइरुवेट का यह ऑक्सीकरण कार्बोक्सिलीकरण तथा इससे प्राप्त ऐसीटिल अर्घाश का सहएन्जाइम —A के थाइओल समूह से संघनन तीन एन्जाइमों के समुच्चय, जिसे पाइरुवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल कहते हैं, द्वारा उत्प्रेरित होता है। वसा अम्लों के विघटन से भी ऐसीटिल — CoA प्राप्त होता है। ऐसीटिल — CoA के ऐसीटिल भाग का अभिक्रियाओं के एक चक्रीय क्रम जिसे क्रेब ट्रैड्कार्बोक्सिलिक अम्ल (TCA) चक्र अथवा सिट्रिक अम्ल चक्र कहते हैं के द्वारा पूर्ण उपचयन होता है जिससे  $CO_2$  प्राप्त होती है। ऐसीटिल — CoA के ऐसीटिल भाग के ऑक्सेलोऐसीटेट पर स्थानांतरण से सिट्रेट प्राप्त होता है। सिट्रेट पर क्रमवार कई अभिक्रियाएँ होती हैं जिनमें कार्बन डाइऑक्साइड के दो अणुओं का हास होता है तथा ऑक्सेलोऐसीटेट पुनः उत्पन्न हो जाता है। यह एक बार फिर ऐसीटिल — CoA से क्रिया करता है तथा यह चक्र चलता रहता है। TCA चक्र उपापचय में केन्द्रीय भूमिका निभाता है, क्योंकि यह कार्बोहाइड्रेटों, ऐमीनो अम्लों तथा वसाओं से प्राप्त उपापचयजों के उपचयन में सहायक होता है। इसके साथ-साथ इस चक्र के कुछ मध्यवर्ती कई अणुओं के जैव संश्लेषण के लिए पूर्वगामी का कार्य करते हैं। TCA चक्र के उपापचयजों की सान्द्रता को इष्टतम स्तर पर बनाए रखा जाता है। ऐसा पाइरुवेट के कार्बोक्सिलीकरण द्वारा ऑक्सेलोऐसीटेट के बनने से होता है। इसे ऐनाप्लिरोसिस कहते हैं।

TCA चक्र तथा इससे पहले के पदों में प्राप्त अपचित सहएन्जाइमों का इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला द्वारा पुनः उपचयन होता है तथा इससे ADP व  $P_i$  से ATP का संश्लेषण होता है। परिकलनों से पता चलता है कि कार्बोहाइड्रेट अपचय में प्राप्त ऊर्जा के तत्वांतरण का लगभग 90 प्रतिशत भाग TCA चक्र तथा इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला द्वारा होता है।

विभिन्न लाइपेसों द्वारा तेलों तथा वसाओं के जल अपघटन से ग्लिसरॉल तथा मुक्त वसा अम्ल प्राप्त होते हैं। ग्लिसरॉल का उपापचय ग्लाइकोलाइसम पथ द्वारा होता है तथा प्रत्येक वसा अम्ल का उसके संगत ऐसिल — CoA में परिवर्तन होता है जो साइटोप्लाज्म से माइटोकॉन्ड्रिया आधानी में अभिगमित हो जाता है। यहाँ पर  $\beta$ -उपचयन पथ की अभिक्रियाओं द्वारा ऐसिल — CoA की संपूर्ण ऐलिफैटिक शृंखला का ऐसीटिल — CoA के कई अणुओं में विघटन होता है। इस ऐसीटिल — CoA का ऐसीटिल भाग बाद में TCA चक्र द्वारा उपचित होता है। वसा अम्लों का जैव संश्लेषण साइटोसोल में होता है तथा ऐसीटिल — CoA का पूर्वगामी के रूप में प्रयोग करता है। यह कई एन्जाइमों के समुच्चय, जिसे वसा अम्ल लिथेस कहते हैं, द्वारा उत्प्रेरित होता है। इस एन्जाइम संकुल के बीचों-बीच एक ऐसिल वहन प्रोटीन (ACP) होती है जो विभिन्न पदों को उत्प्रेरित करने वाले एन्जाइमों से घिरी होती है। इस इकाई में वसा अम्ल जैव संश्लेषण की विभिन्न अभिक्रियाओं के क्रम द्वारा पामिटेट के संश्लेषण का वर्णन किया गया है। असंतृप्त वसा अम्ल तथा अन्य उच्च, संतृप्त वसा अम्ल पामिटेट से व्युत्पन्न होते हैं। ऐसीटिल — CoA के आठ अणुओं से पामिटेट के बनने में, पामिटेट के आठ ऐसीटिल — CoA अणुओं में विघटन से प्राप्त ऊर्जा की तुलना में कहीं अधिक ऊर्जा का व्यय होता है। ऐसा सामान्यतः सभी उपापचयों के लिए सत्य होता है।

## 10.6 अंत में कुछ प्रश्न

- रेडियोऐक्टिव रूप से अंकित निम्नलिखित योगिकों (अंकन के स्थान को \* द्वारा दर्शाया गया है) का पाइरुवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल तथा TCA चक्र के सभी एन्जाइमों तथा सहकारकों वाले कोशिका निष्कर्ष (cell extract) द्वारा अपचय किया गया। TCA चक्र का केवल एक बार ही उपयोग होने की स्थिति में अंकन ( $^{14}C$ ) की क्या नियति होगी ?
 

क) $CH_3-CO-COO^*$	ख) $CH_3-CO-COO^*$	ग) $CH_3-CO-COO^*$
घ) $CH_3-CO-SCoA^*$	च) $CH_3-CO-SCoA^*$	
- बन्धुतर के सीने की कतरी हुई पेशियों द्वारा ग्लाइकोलाइसम, TCA चक्र तथा इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला की सहायता से ग्लूकोस का  $CO_2$  तथा  $H_2O$  में अपचय किया गया। उपापचय की कुल दर का मापन ऑक्सीजन के उपभोग की दर के रूप में किया गया। ऐसा पाया गया कि i) ऑक्सेलोऐसीटेट की छोड़ी सी मात्रा डालने से ऑक्सीजन उपभोग की दर बढ़ जाती है तथा ii) ऑक्सीजन के उपभोग में यह

बढ़ोतरी ऑक्सेलोऐसीटेट को कार्बन डाइऑक्साइड तथा जल में उपचित करने के लिए आनशक ऑक्सीजन की मात्रा की कई गुणा होती है। प्रश्न i) तथा ii) की व्याख्या कीजिए।

3.  $\alpha$ -कीटोतूटारेट की आवश्यकता कई ऐमीनो अम्लों के जैव संश्लेषण के लिए होती है। इस रूपाई के अपने अध्ययन के आधार पर ज्ञात एन्जाइमी अभिक्रियाओं के क्रम के रूप में  $\alpha$ -कीटोतूटारेट के नेट संश्लेषण को इस प्रकार लिखें कि TCA चक्र के किसी भी उपापचय की सान्द्रता कम न होने पाए।
4. निम्नलिखित पहलुओं के आधार पर वसा अम्लों के  $\beta$ -उपचयन तथा जैव संश्लेषण की तुलना कीजिए।
  - क) प्रक्रिया की अंतराकोशिकीय स्थिति
  - ख) ऐसिल समूह वाहक की प्रकृति
  - ग) उपचायकों व अपचायकों की प्रकृति
  - घ) इनमें हिस्ता लेने वाले एन्जाइमों के संगठन
5. नीचे दो कथन दिए गए हैं। ये सत्य हैं अथवा असत्य। कारणों सहित इनकी व्याख्या कीजिए।
  - i) TCA चक्र में प्रवेश करने वाले प्रत्येक ऐसीटिल -CoA के अणु का मेथिल समूह पाइरूवेट के मेथिल समूह से व्युत्पन्न होता है।
  - ii) मैलेट का पम्परेट में परिवर्तन संभव नहीं है क्योंकि TCA चक्र एक ही दिशा में चलता है।

## 10.7 उत्तर

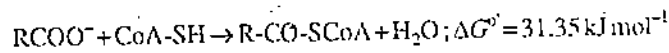
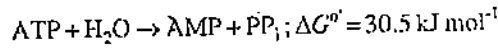
बोध्य प्रश्न

1. i)  $\times$  ii)  $\checkmark$  iii)  $\checkmark$  iv)  $\times$

2. क) ii) ख) i)

3. क) iv) ख) iii)

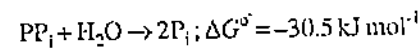
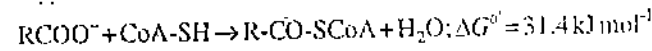
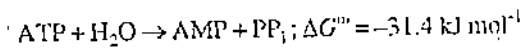
4. क) इस अभिक्रिया को हम निम्नलिखित दो अभिक्रियाओं के योग के रूप में ले सकते हैं :



इस प्रकार  $\Delta G^\circ$  का मान लगभग शून्य (0.8) के बराबर होता है तथा चूंकि  $\Delta G^\circ = -2.303$

$RT \log K'_{eq}$  इसलिए  $\log K'_{eq}$  का मान  $-10^{-1}$  तथा  $K'_{eq}$  का मान  $\approx 1$  होगा।

ख) इस अभिक्रिया को निम्नलिखित तीन अभिक्रियाओं के योग के रूप में ले सकते हैं :



$\Delta G^\circ$  का मान लगभग  $= -30.5 \text{ kJ mol}^{-1}$  होगा।

5. i) साइटोसोल ii) वायोटिन iii) सात iv) NADPH

अंत में कुछ प्रश्न

1. क) अंकन ऑक्सेलोऐसीटेट के C-2 तथा C-3 में विभाजित होगा।

ख) अंकन ऑक्सेलोऐसीटेट के C-1 तथा C-4 में विभाजित होगा।

ग) पाइरूवेट से ऐसीटिल -CoA में परिवर्तन के दौरान अंकन का  $\text{CO}_2$  के रूप में हास होगा।

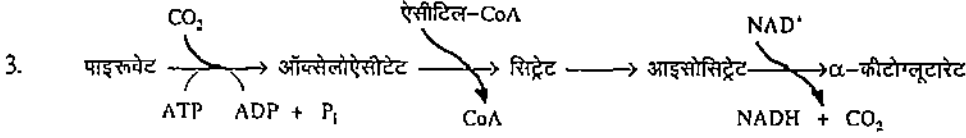
घ) (क) के समान

च) (ख) के समान

2. क) ऑक्सेलोऐसीटेट की TCA चक्र में "उत्प्रेरी" भूमिका होती है क्योंकि यह चक्र की रानाप्ति पर पुनः उत्पन्न हो जाता है तथा बार-बार उपयोग में आता है। ऑक्सेलोऐसीटेट की सान्द्रता के बढ़ने से सिट्रेट के बनने की दर बढ़ जाती है जैसा कि उच्च क्रियाधार सान्द्रता पर पाया गया है। इससे

TCA चक्र की अभिक्रियाओं की दर बढ़ जाती है जो ऑक्सीजन उपभोग में बढ़ोतरी के रूप में सामने आती है।

- ख) चूंकि ऑक्सेलोऐसीटेट पुनः उत्पन्न हो जाता है, इसलिए अधिक से अधिक ग्लूकोस के अपचय के लिए इसका बार-बार उपयोग होता है। इसके परिणामस्वरूप ऑक्सेलोऐसीटेट के उपचयन के लिए आवश्यक ऑक्सीजन की मात्रा से कहीं अधिक मात्रा में ऑक्सीजन का उपभोग होता है।



4.  $\beta$ -उपचयन जैव संश्लेषण  
 क) माइटोकॉन्ड्रिया साइटोप्लाज्म  
 ख) सहएन्जाइम-A ऐसिल बहन प्रोटीन  
 ग) FAD तथा NAD<sup>+</sup> (उपचायक) NADPH (अपचायक)  
 घ) अलग-अलग एन्जाइमों के रूप में पृथक्कृत वसा अम्ल सिंथेस संकुल के रूप में पृथक्कृत
5. i) असत्य, ऐसीटिल-CoA तंत्री शृंखला वाले वसा अम्लों के  $\beta$ -उपचयन तथा ऐमीनो अम्लों के उपापचय से भी उत्पन्न होता है।  
 ii) असत्य, फ्यूमेरेस उत्प्रेरित अभिक्रिया के विपरीत अभिक्रिया में मैलेट का निर्जलीकरण करके आसानी से फ्यूमेरेट प्राप्त किया जा सकता है।

## इकाई 11 : उपापचयी नियमन

### इकाई की रूपरेखा

- 11.1 प्रस्तावना  
उद्देश्य
- 11.2 उपापचयी नियमन के सामान्य लक्षण
- 11.3 ग्लाइकोलाइस का नियमन  
फॉस्फोफ्रुक्टोकाइनेस  
पाइरुवेट काइनेस
- 11.4 पाइरुवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल का नियमन
- 11.5 ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र का नियमन
- 11.6 ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण का नियमन
- 11.7 ग्लाइकोजन उपापचय का नियमन
- 11.8 उपापचयी पथों का नियमन तथा समन्वयन - एक अवलोकन
- 11.9 सारांश
- 11.10 अंत में कुछ प्रश्न
- 11.11 उत्तर

### 11.1 प्रस्तावना

पिछली इकाइयों में आपने कुछ उपापचयी पथों व उनकी और्जिकी का अध्ययन किया। उपापचयी प्रक्रिया में उत्पन्न ऊर्जा का उपयोग जीवित कोशिकाओं के विभिन्न प्रकार्यों के करने में किया जाता है। ये कोशिकाएं उपापचयी ऊर्जा के उत्पन्न व खर्च होने तथा जटिल कार्बनिक यौगिकों व उनके पूर्वगामियों के संश्लेषण में बहुत व्यवस्था दर्शाते हैं। ऐसा विभिन्न उपापचयी पथों की दर को नियमित करके किया जाता है। इस नियमन द्वारा ऊर्जा का उत्पन्न होना व पूर्वगामियों का संश्लेषण अनिवार्य मात्रा में ही होता है। उपापचयी पथों की दरों की यह लचकता विभिन्न प्रकार से संभव होती है। इस इकाई में हम इकाई 9 व 10 में वर्णित उपापचयी पथों के उदाहरणों द्वारा उपापचयी नियमन का अध्ययन करेंगे। इसलिए बेहतर होगा कि आप पिछली इकाइयों को दोहरा लें।

#### उद्देश्य

इस इकाई के अध्ययन के बाद आप :

- जीवों द्वारा उपापचयी दरों को नियमित करने के लिए उपयोग में लाई जाने वाली कुछ विधियों का वर्णन कर सकेंगे, तथा
- कुछ अपचयी तथा उपचयी पथों के बीच नियामक संबंधों को पहचान सकेंगे।

### 11.2 उपापचयी नियमन के सामान्य लक्षण

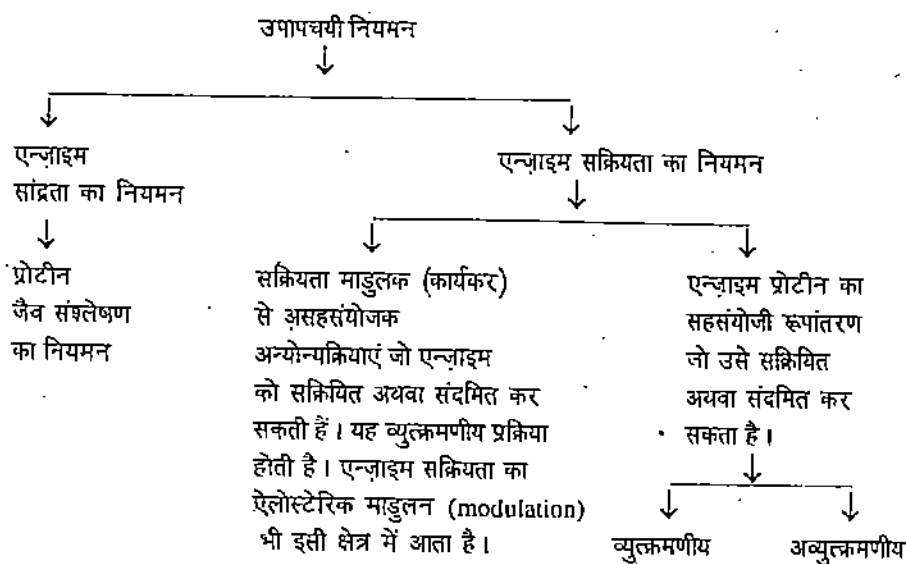
जैसा ऊपर बताया गया है कि जीवन के व्यवस्थित रूप से चलने के लिए अपचयी तथा उपचयी पथों में उपापचयजों के प्रवाह का नियमित होना आवश्यक होता है। उपापचयी प्रक्रिया का नियमन कई प्रकार से होता है। चूंकि कोशिकीय अभिक्रियाएं विशिष्ट एन्जाइमों द्वारा उत्प्रेरित होती हैं, इसलिए उपापचयी पथों की दर उस पथ के एन्जाइमों की सांद्रता (इसे स्तर भी कहते हैं) तथा उत्प्रेरी दक्षता पर निर्भर करता है। किसी पथ के सभी एन्जाइम नियमित नहीं होते हैं। कोशिकीय व्यवस्था (cellular economy) की दृष्टि से ऐसा होना आवश्यक भी नहीं है। कुछ महत्वपूर्ण अभिक्रियाओं, जो क्रान्तिक स्थानों (critical points) पर होती हैं, से संबंधित एन्जाइमों के नियमन द्वारा ही संपूर्ण पथ का नियमन संभव होता है। उदाहरण के लिए, पथ के पहले पद अथवा शाला, जहाँ पर एक से अधिक पथ मिलते हैं, पर होने वाली अभिक्रियाओं का नियमन आदि।

एन्जाइमों की सान्द्रता अथवा स्तर उनके संश्लेषण तथा निष्कासन की दर पर निर्भर करता है। कोशिकाएं कुछ एन्जाइमों को सदा एक ही दर पर संश्लेषित करती हैं। इन एन्जाइमों को अहेतुक एन्जाइम (constitutive enzymes) कहते हैं। इनका कोशिकीय स्तर लगभग स्थिर रहता है। अन्य कई एन्जाइमों के संश्लेषण की दर उनके विशिष्ट क्रियाधारों अथवा उनके अनुरूपों (analogues) की उपस्थिति में अत्यधिक बढ़ जाती है। इस प्रकार के एन्जाइमों को प्रेरित एन्जाइम (induced enzyme) कहते हैं तथा क्रियाधार अथवा उसके अनुरूप को प्रेरक (inducer) कहते हैं। एन्जाइम संश्लेषण की दर के नियमन की चर्चा हम इकाई 15 में करेंगे।

कुछ एन्जाइमों की उत्प्रेरी दक्षता (स्तर नहीं) उनके परिवेश के अनुरूप परिवर्तित होती रहती है। आपने इकाई 6 में एन्जाइम सक्रियता के नियमन का अध्ययन किया था। यहाँ पर हम एन्जाइम सक्रियता के नियमन की विभिन्न विधियों का संक्षेप में पुनः स्मरण कर रहे हैं। इनमें से एक विधि में जैव संश्लेषी पथ का अंत उत्पाद कई बार उस पथ के पहले एन्जाइम का संदमन करता है। इसे पुनर्भरण नियमन (feedback regulation) कहते हैं। ऊर्जा को उत्पन्न करने तथा उसे ATP के रूप में संरक्षित करने वाले अपचयी पथ के लिए ATP को अंत उत्पाद के रूप में लिया जा सकता है। ऐसा पया गया है कि ग्लाइकोलाइसिस पथ के कई एन्जाइमों का ATP द्वारा संदमन होता है। चूंकि ऐसे में अंत उत्पाद व पहले एन्जाइम के क्रियाधार में कोई संरचनात्मक समानता नहीं होती, इसलिए इस प्रकार के नियमन को ऐलोस्टेरिक नियमन (allosteric regulation) कहते हैं। इस प्रकार के नियामक एन्जाइम की उत्प्रेरी दक्षता को प्रभावित करने वाले विशिष्ट यौगिक को ऐलोस्टेरिक कार्यकर (allosteric effector) कहते हैं। यह एक सक्रियक (activator) अथवा संदमक (inhibitor) हो सकता है।

किसी एन्जाइम व उसके ऐलोस्टेरिक कार्यकर के बीच की अन्योन्यक्रिया असहसंयोजक तथा व्युत्क्रमणीय होती है। नियमन की एक अन्य विधि में एन्जाइम का सहसंयोजक रूपांतरण (covalent modification) होता है। उदाहरण के लिए, ग्लाइकोजन फॉस्फोरिलेस जंतुओं के संचयी कार्बोहाइड्रेट, ग्लाइकोजन के उपापचय के लिए आवश्यक पहला एन्जाइम होता है (इकाई 9)। अपने अणु के एक विशिष्ट सेरीन अवशिष्ट के फॉस्फोरिलीकरण द्वारा यह एन्जाइम सक्रियित होता है। इस फॉस्फेट समूह के निकलने पर यह पुनः निष्क्रिय हो जाता है।

इसके अलावा, उच्च बहुकोशिकीय जीवों में उपापचयी पथों की दरें हॉर्मोनों द्वारा भी नियंत्रित होती हैं। हॉर्मोनों के बनने की दर तथा उससे रक्त में उनका स्तर, विभिन्न प्रकार के उद्दीपनों (stimuli) के अनुरूप बदल सकता है। हॉर्मोनों के गन्तव्य उत्तक की कोशिकाएं उसके स्तर को भाप लेती हैं। ऐसा उनकी कोशिकाओं में उपस्थित विशिष्ट प्रोटीनों के कारण होता है। ये प्रोटीनें ग्राही (receptors) कहलाती हैं। इससे प्रेरित होकर कई अभिक्रियाएं होती हैं, जिससे अंततः उपापचयी प्रक्रिया की दर में परिवर्तन हो जाता है। ऐसा सामान्यतः नियमन की ऊपर दी गई दो क्रियाविधियों नामतः कार्यकर से असहसंयोजक अन्योन्यक्रिया तथा एन्जाइम प्रोटीन के व्युत्क्रमणीय सहसंयोजक रूपांतरण के संयोजन से होता है। चित्र 11.1 में उपापचयी नियमन की विभिन्न विधियों का संक्षिप्त निरूपण किया गया है।



चित्र 11.1 : उपापचयी नियमन की विभिन्न विधियों का संक्षिप्त निरूपण

किन्ती कोशिका का ऊर्जा आवेश,  
ATP-ADP-AMP  
निकाय में उच्च ऊर्जा फॉस्फेट आबंधों  
के स्तर को दर्शाता है।

## ऊर्जा आवेश

जैसा ऊपर बताया गया है कि अपचयी पथ के कुछ एन्जाइमों का ATP द्वारा संदमन होता है। सामान्यतः, ये एन्जाइम AMP तथा ADP द्वारा सक्रियित होते हैं। इस प्रकार, ऐडेनिलेट समूह (AMP, ADP तथा ATP) में विभिन्न अवयवों की सापेक्ष सांद्रता उपापचयी नियमन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। यह अनुपात कोशिका की ऊर्जा अवस्था अर्थात्, उपापचयी ऊर्जा की सुलभ उपलब्धता को भी दर्शाता है। डेनियल ऐटकिन्सन ने इसे ऊर्जा आवेश (energy charge) नामक समीकरण द्वारा व्यक्त किया है।

$$\text{ऊर्जा आवेश} = \frac{[\text{ATP}] + \frac{1}{2}[\text{ADP}]}{[\text{ATP}] + [\text{ADP}] + [\text{AMP}]}$$

ऊर्जा आवेश की अधिकतम सीमा एक होती है जब निकाय में केवल ATP ही होता है। न्यूनतम सीमा, शून्य, तब होती है, जब निकाय में केवल AMP ही होता है। इस प्रकार ऊर्जा आवेश का मान 0 तथा 1 के बीच रहता है। जीवित कोशिका के लिए ऊर्जा आवेश का मान 0.85 तथा 0.95 के बीच होता है अर्थात्, इसमें मुख्यतः ATP ही होता है। इसके अलावा ऊर्जा आवेश का उच्च मान ATP उत्पन्न करने वाले पथों को संदमित करता है तथा ATP की आवश्यकता वाले पथों को प्रेरित करता है।

अगले भागों में इकाई 9 तथा 10 में वर्णित उपापचयी पथों के उदाहरण द्वारा हम उपापचयी नियमन की चर्चा करेंगे। उससे पहले, निम्नलिखित बोध प्रश्न हल करने का प्रयास कीजिए।

### बोध प्रश्न 1

अवायु परिस्थितियों में पृथक्कृत मूपक हृदय उत्तकों में ऐडेनिन न्यूक्लिओटाइडों की निम्नलिखित सांद्रता पाई गई

ATP = 3.4 mM, ADP = 1.2 mM तथा AMP = 0.2 mM.

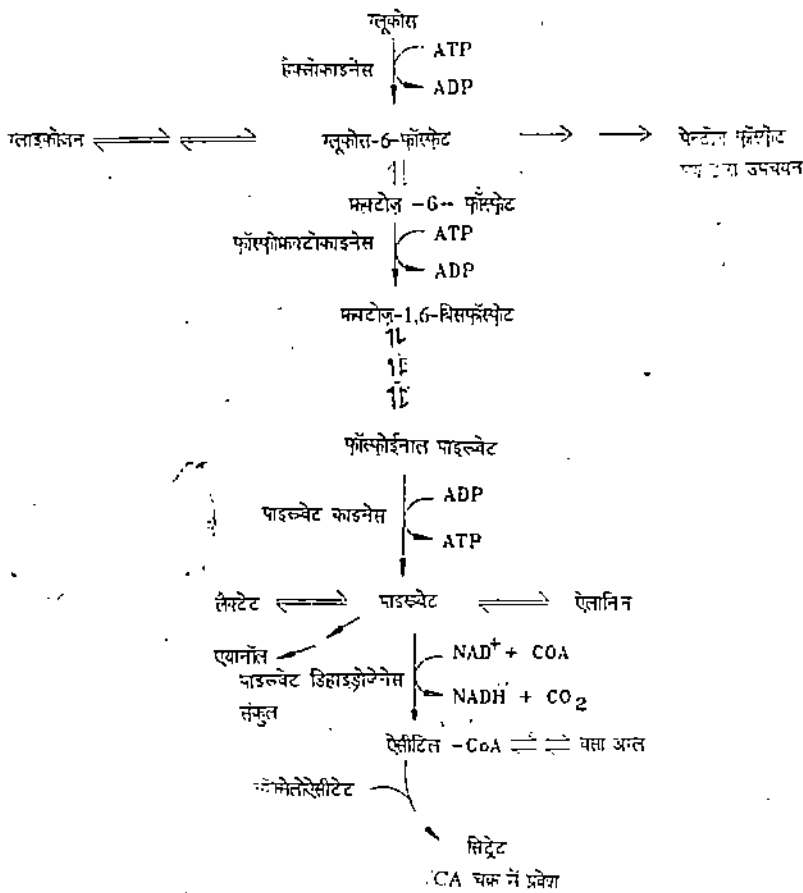
इसके संगत ऊर्जा आवेश का परिक्लन कीजिए।

## 11.3 ग्लाइकोलाइसिस का नियमन

उपापचयी पथों का नियमन सामान्यतः उन पदों पर होता है, जो मुक्त ऊर्जा में अत्यधिक कमी के कारण अव्युत्क्रमणीय होते हैं अथवा जहाँ पर एक से अधिक उपापचयी पथ परस्पर मिलते हैं। ऐसे पदों को शाखन स्थल (branching point) कहते हैं। विभिन्न उपापचयी पथों की चर्चा करते हुए हमने उनके महत्वपूर्ण नियमन स्थलों का उल्लेख किया था। आपको इकाई 9 से स्मरण होगा कि ग्लाइकोलाइसिस पथ में तीन अभिक्रियाएँ असाम्य (nonequilibrium) होती हैं। इस पथ की हेक्सोकाइनेस (HK), फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेस (PFK) तथा पाइरुवेट काइनेस (PK) द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रियाएँ इस वर्ग में आती हैं। ग्लाइकोलाइसिस पथ के शाखन स्थलों के साथ-साथ इन पदों को भी चित्र 11.2 में दर्शाया गया है। इनमें से प्रत्येक का नियमन इस पथ के पूर्ण नियमन में योगदान देता है। पहले हम PFK के नियमन को लेंगे। PFK को पहले लेने के औचित्य की व्याख्या बाद में की जाएगी।

### 11.3.1 फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेस

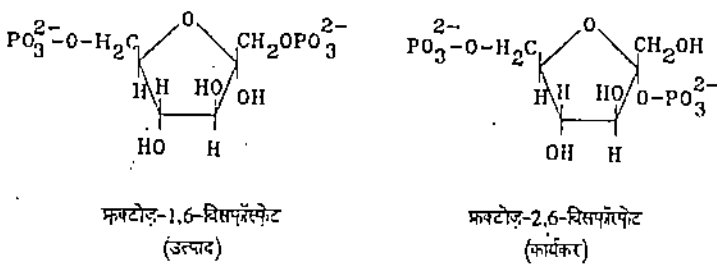
संभवतः यह ग्लाइकोलाइसिस का सबसे महत्वपूर्ण नियंत्रक घटक है। यह कई ऐलेक्ट्रिक कार्यकारों द्वारा प्रभावित होता है। इनमें से कुछ इसका सक्रियण तथा अन्य इसका संदमन करते हैं। ATP, NADH तथा सिट्रेट इसका संदमन करते हैं, जबकि ADP तथा AMP इसे सक्रियित करते हैं। आप जानते हैं कि ग्लाइकोलाइसिस के परिणामस्वरूप ADP का ATP में परिवर्तन होता है। एक प्रकार से हम ATP को इस पथ के अंत उत्पाद के रूप में ले सकते हैं। इस प्रकार अंत उत्पाद पथ की एक आरंभिक अभिक्रिया का संदमन करता है। पाइरुवेट तथा ऐसीटिल जैसे पूर्वगमियों को उपलब्ध कराना ग्लाइकोलाइसिस पथ का एक अन्य प्रकार्य होता है। ये पूर्वगामी TCA चक्र को बनाए रखने का कार्य भी करते हैं। सिट्रेट यहाँ पर संभवतः एक सूचक अणु का कार्य करता है। इसकी उच्च सांद्रता ऐलानिन तथा वसा अम्लों जैसे अतिरिक्त स्रोतों से क्रमशः पाइरुवेट तथा ऐसीटिल-CoA की पर्याप्त आपूर्ति को दर्शाती है, चित्र 11.2।



चित्र 1.2: ग्लूकोज का पाइरुवेट तथा ऐसीटिल -CoA में परिवर्तन । लगभग अव्युत्क्रमणीय पदों तथा शरत्तन स्वतंत्रों को भूरे वर्ण द्वारा दर्शाया गया है

यहाँ गह ध्यान देने योग्य है कि AMP व ADP दोनों इस एन्जाइम के सक्रियक हैं जबकि ATP संदमक होता है । यह PFK की सक्रियता पर ऊर्जा आवेश के प्रभुत प्रभाव का द्योतक है । ऊर्जा आवेश के कम होने से PFK की सक्रियता तथा तदनुसार ग्लाइकोलाइस की दर बढ़ती है ।

एच. जी. हर्स तथा ई. वान शफ्टिंगन (H.G.Hers and E. Van Schaftingen) द्वारा सन् 1980 में PI-K तथा ग्लाइकोलाइस पथ के एक अन्य सक्रियक की खोज की गई । इस सक्रियक को फ्रक्टोज -2, 6-बिस-फॉस्फेट (F-2, 6-bis-P) के रूप में पहचाना गया । इस कार्यकर तथा अभिक्रिया के उत्पाद अर्थात्, फ्रक्टोज-1,6-बिस फॉस्फेट की संरचना में अंतर पर ध्यान दें ।



F-2, 6-बिस-P अत्यंत कम सांद्रताओं (0.1 - 1.0  $\mu$ M) पर प्रभावी होता है । यह क्रियाधार अर्थात्, फ्रक्टोज -6-फॉस्फेट के प्रति एन्जाइम की बंधुता को बढ़ाता है तथा संदमक अर्थात्, ATP के प्रति बंधुता को घटाता है । आइए, समझें कि ऐसा किस प्रकार होता है ।

फ्रक्टोज-2, 6-बिस-P, फ्रक्टोज-6-फॉस्फेट तथा ATP से बनता है तथा यह अभिक्रिया फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेस-2 (PFK-2) द्वारा उत्प्रेरित होती है । एक अन्य एन्जाइम, फ्रक्टोज बिसफॉस्फेटस-2 (FBPase-2) द्वारा जल अपघटन से यह सक्रियक पुनः अभिकारकों में परिवर्तित हो सकता है । ये दो एन्जाइम फ्रक्टोज-1, 6-बिसफॉस्फेट

यहाँ पर यह जानना रोचक होगा कि एक ही प्रोटीन PFK-2 तथा FBPase-2 दोनों रूपों में कार्य करती है । F-2,6-बिस-P, PFK-2 को सक्रियित तथा FBPase-2 को संदमित करता है ।

पर इसी समान क्रिया करने वाले एन्जाइमों से भिन्न होते हैं। पहले फ्रक्टोज-6-फॉस्फेट,  $PFK$  के संदमन,  $ATP$  से किया करके  $F-2,6$ -बिस- $P$  बनाता है। यह  $PFK-2$  को सक्रियित करके स्वयं अपने बनने को उत्प्रेरित करता है। इसके साथ-साथ  $FBPase-2$  के संदमन द्वारा  $F-2,6$ -बिस- $P$  की सांद्रता बढ़ती जाती है। उच्च सांद्रता पर यह  $PFK$  को सक्रियित करके ग्लाइकोलाइसिस पथ को शुरू कर देता है। जब रक्त में ग्लूकोस की मात्रा कम होती है, तब ग्लाइकोजन द्वारा प्रेरित अभिक्रियाओं के क्रम द्वारा  $FBPase$  का सक्रियण तथा  $PFK-2$  का संदमन हो जाता है। इनके परिणामस्वरूप  $F-2,6$ -बिस- $P$  का स्तर कम हो जाता है। इससे  $PFK$  के निष्क्रियण द्वारा ग्लाइकोलाइसिस पथ की दर कम हो जाती है।

$PFK$  के संदमन के परिणामस्वरूप फ्रक्टोज-6-फॉस्फेट इकट्ठा होना आरंभ हो जाता है। यूरिक  $F-3-P$  तथा  $G-6-P$  के बीच नाम्य होता है, इसलिए  $G-6-P$  भी इकट्ठा हो जाता है। आप जानते हैं कि हेक्जोसाइनेस अपने द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रिया के उत्पाद अर्थात्, ग्लूकोस-6-फॉस्फेट द्वारा संदमित होता है। इस प्रकार  $PFK$  के संदमन से बढी  $G-6-P$  की सांद्रता हेक्जोसाइनेस को संदमित कर देती है। इसके परिणामस्वरूप ग्लाइकोलाइसिस पथ में ग्लूकोस का प्रवेश रुक जाता है।

अधिकतर उपापचयी पथों में पहला "समादेशित पद" (committed step) ही नियमन का स्थान होता है। यहाँ पर "समादेशित" शब्द का तात्पर्य किसी कार्य को करने की बचनबद्धता से है। समादेशित पद के कार्य के सम्पन्न होने पर प्रक्रिया अंत तक चलती है।  $PFK$  द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रिया ग्लाइकोलाइसिस पथ का समादेशित पद है तथा इसलिए यह पद ग्लाइकोलाइसिस के नियमन का स्थान भी है। आइए, देखें कि  $PFK$  द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रिया ग्लाइकोलाइसिस में नियमन का स्थान क्यों नहीं हो सकती है। चित्र 11.2 को एक बार फिर से देखिए। आप देख सकते हैं कि यदि  $PFK$  एन्जाइम की सक्रियता के संदमन द्वारा ग्लूकोस के ग्लूकोस-6-फॉस्फेट में परिवर्तन को अवरुद्ध किया जाता है, तब ग्लाइकोजन के विघटन से उपलब्ध  $G-6-P$  द्वारा ग्लाइकोलाइसिस प्रक्रिया जारी रह सकती है। दूसरी ओर यदि  $PFK$  सक्रियित तथा  $PFK$  संदमित हो, तब  $G-6-P$  के पर्याप्त मात्रा में उपलब्ध होने पर भी ग्लाइकोलाइसिस प्रक्रिया जारी नहीं रहती। ऐसे में पेन्टोज फॉस्फेट पथ तथा ग्लाइकोजन संश्लेषण (जो इस कार्यक्रम में वर्णित नहीं है) इत्यादि जैसे अन्य उपापचयी पथों में इस  $G-6-P$  का उपयोग होता है।

### बोध प्रश्न 2

अधिकतर उपापचयी पथों में पहले अव्युत्क्रमणीय पद पर नियमन होता है। ग्लाइकोलाइसिस में हेक्जोसाइनेस नियंत्रण का सबसे प्रमुख स्थान होता है जबकि हेक्जोसाइनेस पहले अव्युत्क्रमणीय पद को उत्प्रेरित करता है जिसमें ग्लूकोस क्रियाधार होता है। आप इस प्रत्यक्ष अनुमानयता की व्याख्या किस प्रकार करेंगे ?

### 11.3.2 पाइरुवेट काइनेस

यह ग्लाइकोलाइसिस का तीसरा नियामक अवयव है। स्तनधारियों में इस एन्जाइम का नियामक के रूप में महत्व उत्तक के प्रकार पर निर्भर करता है। इस एन्जाइम के तीन भिन्न-भिन्न रूपों में पाए जाने के फलस्वरूप ऐसा संभव हो पाता है। ये विभिन्न रूप समएन्जाइम (isozymes) कहलाते हैं। समएन्जाइम का  $L$ -रूप यकृत में बहुतायत में पाया जाता है जबकि पेशियों व मस्तिष्क में  $M$ -रूप तथा अन्य उत्तकों में  $A$ -रूप पाया जाता है। यकृत में पाया जाने वाला रूप  $ATP$  तथा ऐलानिन द्वारा संदमित होता है। यहाँ ध्यान दीजिए कि इस अभिक्रिया का उत्पाद अर्थात्, पाइरुवेट तरलता से ऐलानिन में परिवर्तित हो सकता है (चित्र 11.2)।  $ATP$  से संदमन को उच्च ऊर्जा आवेश द्वारा संदमन के रूप में व ऐलानिन द्वारा संदमन को पाइरुवेट के आधिपत्य द्वारा संदमन के रूप में लिया जा सकता है। इस प्रकार पाइरुवेट काइनेस के नियामक गुण ऊपर वर्णित  $PFK$  के नियामक गुणों के समान ही होते हैं।

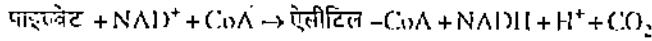
पाइरुवेट काइनेस का  $L$ -रूप फ्रक्टोज-1,6-बिसफॉस्फेट द्वारा प्रेरित होता है। यह निम्नले अव्युत्क्रमणीय पद का उत्पाद होता है। पाइरुवेट काइनेस द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रिया को ग्लाइकोलाइसिस पथ से "निकास" (exit) के स्थान के रूप में लिया जा सकता है। फ्रक्टोज-1,6-बिसफॉस्फेट का उच्च स्तर ग्लाइकोलाइसिस पथ में बढ़ते अभिवाह (flux) को दर्शाता है। इस अभिवाह से "निकलने" के लिए यह ग्लाइकोलाइसिस पथ से निकासी के स्थान को "उत्प्रेरित" (primed) करता है।

समएन्जाइम, किसी एन्जाइम के वे विभिन्न रूप होते हैं, जो जीवों की किसी एक मर्यादा अथवा केवल एक ही कोशिका में पाए जाते हैं।



## 11.4 पाइरूवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल का नियमन

आपने स्कॉई 10 में पढ़ा है कि पाइरूवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल (PDC) निम्नलिखित अभिक्रिया को उत्प्रेरित करता है। जिससे ऐसीटिल -CoA बनता है, जो TCA चक्र में प्रवेश कर सकता है।



इस एन्जाइम संकुल में तीन अहेतुक एन्जाइम (constituent enzyme) होते हैं। ये हैं—पाइरूवेट कार्बोक्सिलेस (E<sub>1</sub>), आइसोसिटोडिऑक्सील ट्रांसऐसीटिलेस (E<sub>2</sub>), तथा आइसोसिटोडिऑक्सील डिहाइड्रोजेनेस (E<sub>3</sub>)।

इसका नियन्त्रण अर्थात्, पाइरूवेट, ग्लाइकोलाइसिस पथ तथा ऐलानिन से भी प्राप्त होता है। इस अभिक्रिया का उत्पाद अर्थात्, ऐसीटिल-CoA भी एक से अधिक स्रोतों से प्राप्त होता है (चित्र 11.2)। इस प्रकार यह अभिक्रिया उपपचय के दो गारुन स्थानों को जोड़ती है। इसके अलावा यह अभिक्रिया लगभग अव्युत्क्रमणीय होती है। इसलिए इनमें कोई आश्चर्य नहीं कि इस संकुल का कठोर नियंत्रण होता है। ऐसा निम्नलिखित तीन प्रकारों से होता है :

### i) उत्पाद संदमन

इस अभिक्रिया का उत्पाद अर्थात्, ऐसीटिल-CoA एन्जाइम की सक्रियता के संदमन द्वारा इसके नियमन में सहायता प्रदान करता है। आइए, देखें कि ऐसा किस प्रकार होता है। आप स्कॉई 10 के उपभाग 10.3.5 से स्मरण करेंगे कि इस अभिक्रिया का अभिकारक, पाइरूवेट कार्बोक्सिलेस नामक एन्जाइम द्वारा ऑक्सैलोऐसीटेट में परिवर्तित हो सकता है। यह एन्जाइम ऐसीटिल-CoA द्वारा सक्रियित होता है।

जैव संश्लेषण की आवश्यकता की परिस्थितियों में TCA चक्र से  $\alpha$ -कीटोग्लूटारेट निकलता रहता है जिससे TCA चक्र के सुचारु रूप से कार्य करने के लिए अनिवार्य ऑक्सैलोऐसीटेट का पुनः उत्पन्न होना प्रभावित होता है। इसके परिणामस्वरूप सिट्रेट का संश्लेषण भी धीमा हो जाता है, जिसके माने हैं कम उपभोग के कारण ऐसीटिल-CoA का इकट्ठा होना। ऐसीटिल-CoA की उच्च सांद्रता पाइरूवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल को संदमित तथा पाइरूवेट कार्बोक्सिलेस को सक्रियित करती है। इसके फलस्वरूप TCA चक्र के सुचारु रूप से चलने तथा जैव संश्लेषणात्मक कार्य के लिए पर्याप्त मात्रा में ऑक्सैलोऐसीटेट उपलब्ध हो जाता है। जैव संश्लेषण की आवश्यकता पूरी हो जाने पर  $\alpha$ -कीटोग्लूटारेट TCA चक्र से नहीं निकलता है। इससे ऑक्सैलोऐसीटेट का पुनः उत्पन्न होना फिर से आरंभ हो जाता है। ऐसे में ऐसीटिल-CoA का उपभोग बढ़ जाता है व इसकी सांद्रता कम हो जाती है। इसके परिणामस्वरूप पाइरूवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल पर ऐसीटिल-CoA का संदमनकारी प्रभाव नभाप्त हो जाता है तथा एन्जाइम तीव्र रूप से कार्य करना आरंभ कर देता है। इसके साथ-साथ पाइरूवेट से ऑक्सैलोऐसीटेट बनाने की आवश्यकता में कमी के अनुरूप पाइरूवेट कार्बोक्सिलेस की सक्रियता भी कम हो जाती है।

अभिक्रिया का एक अन्य उत्पाद अर्थात्, NADH भी पाइरूवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल की सक्रियता को संदमित करता है। जब NADH की सांद्रता अधिक होती है, तब यह PDC के E<sub>2</sub> एन्जाइम से आबंधित होकर इसकी सक्रियता को संदमित करता है। इसके फलस्वरूप ऐसीटिल-CoA का बनना कम हो जाता है जिससे TCA चक्र तथा उससे NADH का बनना भी धीमा हो जाता है। जब अपचित सहएन्जाइम की आवश्यकता होती है, तब NAD<sup>+</sup> एन्जाइम को अधिक मात्रा में ऐसीटिल-CoA बनाने के लिए सक्रियित कर देता है जिससे अधिक NADH प्राप्त होता है।

### ii) ऊर्जा आवेश द्वारा नियमन

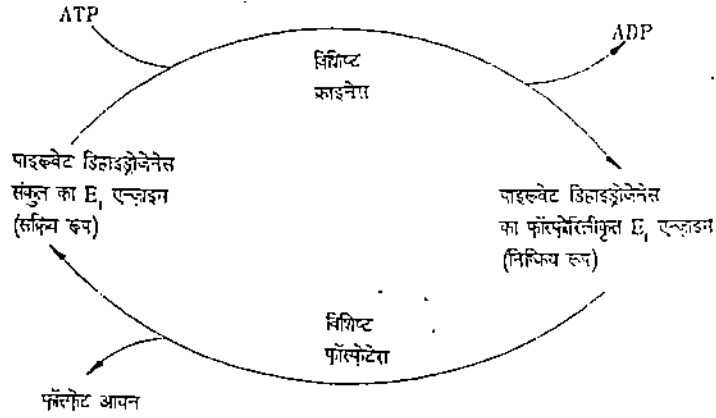
ऊर्जा आवेश द्वारा नियमन NADH द्वारा नियमन के समान ही होता है। उच्च ऊर्जा आवेश की परिस्थितियों में GTP, जो ऊर्जा में ATP के तुल्य है, E<sub>1</sub> से क्रिया करके उसे संदमित कर देता है। इससे ATP के बनने में कमी आ जाती है तथा ऊर्जा आवेश कम हो जाता है। जब ATP की आवश्यकता होती है, तब AMP, E<sub>1</sub> को सक्रिय करके चक्र को त्वरित (accelerate) कर देता है।

### iii) व्युत्क्रमणीय सहसंयोजक रूपांतरण द्वारा नियमन

ऊपर दिए गए उपापचयजों के प्रभावों के अलावा एक अन्य क्रियाविधि के द्वारा भी PDC की सक्रियता का नियमन होता है। इसमें सहसंयोजक रूपांतरण होता है तथा इसे फॉस्फोरिलीकरण-विफॉस्फोरिलीकरण क्रियाविधि के नाम से जाना जाता है। PDC में प्रोटीन काइनेस तथा प्रोटीन फॉस्फोरिलेस के कुछ अणु होते हैं। जब ATP की मात्रा अधिक होती है, तब प्रोटीन काइनेस, E<sub>1</sub> एन्जाइम के एक विशिष्ट सेरीन अवशिष्ट का फॉस्फोरिलीकरण करता है। इससे एन्जाइम निष्क्रिय हो जाता है जिसके परिणामस्वरूप ऐसीटिल-CoA तथा उससे ATP का बनना कम

हो जाता है। जब ADP की मात्रा अधिक होती है, तथा पाइरूवेट उपलब्ध होता है, तब प्रोटीन फॉस्फेट्स पाइरूवेट डिहाइड्रोजेनेस फॉस्फेट के जल अपघटन द्वारा एन्जाइम को पुनः सक्रिय कर देता है।

यह अभिक्रिया  $Ca^{2+}$  आयनों तथा इंसुलिन (insulin) द्वारा प्रेरित होती है। इस इकाई में बाद में हम एक अन्य उदाहरण को देखेंगे, जिसमें किसी एन्जाइम अथवा संकुल का व्युत्क्रमणीय फॉस्फोरिलीकरण द्वारा सक्रियण/निष्क्रियण होता है। कई नियामक एन्जाइम इस प्रकार का व्यवहार दर्शाते हैं।



चित्र 11.3 : एक अहेतुक एन्जाइम के व्युत्क्रमणीय सहसंयोजक रूपांतरण द्वारा पाइरूवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल का नियमन

जैसा हम ऊपर से देख सकते हैं कि PDC का नियमन एक प्रकार के चक्र के वाहर से TCA चक्र के नियमन के समान है। TCA चक्र का आंतरिक नियमन भी होता है। इसके बारे में पढ़ने से पहले निम्नलिखित बोध प्रश्न को हल करने का प्रयास कीजिए।

### बोध प्रश्न 3

उपयुक्त शब्दों से रिक्त स्थानों को भरिए :

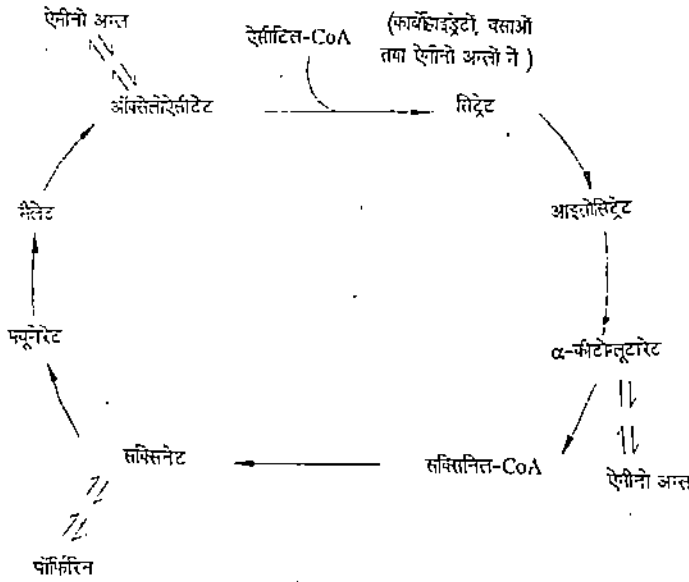
- यकृत में ..... तथा ..... पाइरूवेट काइनेस का संदमन करते हैं।
- ..... सहएन्जाइम-A के ऐसीटिल-CoA में परिवर्तन को उत्प्रेरित करने वाला नियामक एन्जाइम होता है।
- NADH ..... द्वारा पाइरूवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल की सक्रियता का संदमन करता है।

## 11.5 ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र का नियमन

आप जानते हैं कि TCA चक्र उपापचय में केन्द्रीय भूमिका निभाता है। ऐसा इसमें प्रविष्ट होने वाले उपापचयज अर्थात्, ऐसीटिल-CoA के विभिन्न पथों द्वारा उत्पन्न होने तथा चक्र द्वारा पॉर्फिरिनों (porphyrins) व कुछ ऐमीनों अम्लों के जैव संश्लेषण के लिए पूर्वगमियों को उपलब्ध कराने के कारण होता है। इसके अलावा, इस चक्र के नियमन से कोशिका में प्रभावी ऊर्जा उत्पन्न होती है। कोशिका की आवश्यकता के अनुरूप ऊर्जा के उत्पादन को बढ़ाना अथवा कम होना चाहिए। इस प्रकार चक्र के टर्नओवर की दर का उपयुक्त नियमन होना आवश्यक होता है ताकि इसके विभिन्न प्रकार्यों में समन्वय स्थापित किया जा सके। ऐसी तीन नियामक स्थलों/अवयवों द्वारा प्राप्त किया जाता है। चित्र 11.4 में इन स्थलों को दर्शाया गया है।

- सिट्रेट सिंथेस :** यह ऐसीटिल-CoA के ऑक्सैलोऐसीटेट के संघनन की अभिक्रिया अर्थात्, ऐसीटिल-CoA के TCA चक्र में प्रवेश को उत्प्रेरित करता है। उच्च ऊर्जा आवेश तथा NADH द्वारा इसका संदमन होता है। ऊर्जा आवेश द्वारा संदमन सीधे नहीं होता है। आपको ध्यान होगा कि उच्च ऊर्जा आवेश पर PDC भी निष्क्रियित हो जाता है जिससे ऐसीटिल-CoA के बनने की मात्रा कम हो जाती है। इसके फलस्वरूप सिट्रेट के बनने की दर भी कम हो जाती है। NADH सिट्रेट सिंथेस का नकारात्मक (negative) नियमन करता है। NADH/NAD<sup>+</sup> का निम्न अनुपात सिट्रेट के बनने के अनुकूल (जैसा अपेक्षित है) होता है तथा TCA चक्र की दर को बढ़ाता है। ATP, एक ऐलेस्टेरिक कार्यकर की उपस्थिति में ऐसीटिल-CoA के लिए  $K_m$  (माइकेलिस स्थिरांक, इकाई 6 भाग 6.5) का मान बढ़ जाता है। इसके परिणामस्वरूप सिट्रेट के बनने की दर कम हो जाती है।

- ii) आइसोसिट्रेट डिहाइड्रोजेनेस आइसोसिट्रेट के  $\alpha$ -कीटोग्लूटरेट में परिवर्तन को उत्प्रेरित करता है तथा नकारात्मक रूप में NADH व सकारात्मक रूप में  $NAD^+$  की सान्द्रता की द्वितीय कोटि द्वारा नियमित होता है। इससे NADH/ $NAD^+$  अनुपात इस एन्जाइम की सक्रियता के लिए अत्यंत महत्वपूर्ण हो जाता है। इसके अतिरिक्त ATP/ADP का अनुपात भी इसके नियमन के लिए महत्वपूर्ण होता है। इसकी सक्रियता में ATP संदमक तथा ADP धन रूपांतरक के रूप में कार्य करते हैं।
- iii)  $\alpha$ -कीटोग्लूटरेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल, TCA चक्र के तीसरे नियंत्रण केन्द्र को उत्प्रेरित करता है तथा संरचनात्मक रूप से पाइरुवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल के समान होता है तथा उसी के समान इसका नियमन भी होता है। यह सक्सिनिल-CoA तथा NADH द्वारा (उत्पाद संदमन) तथा ATP की उच्च सान्द्रता द्वारा संदमित होता है। ATP की उच्च सान्द्रता के कारण एन्जाइम का निष्क्रियण होता है जिसके फलस्वरूप  $\alpha$ -कीटोग्लूटरेट इकट्ठा हो जाता है।  $\alpha$ -कीटोग्लूटरेट, ग्लूटामेट में परिवर्तित होकर इस चक्र से बाहर आ जाता है। ग्लूटामेट की प्रोटीन के संश्लेषण तथा कई ऐमीनों अम्लों के पूर्वागामी के रूप में भी आवश्यकता होती है। जब NADH कम होता है, तब एन्जाइम सक्रिय होकर ATP के उत्पादन को बढ़ाता है तथा ATP द्वारा होने वाले जैवसंश्लेषी कार्यों में कमी करता है। इन सब नियंत्रण करने वाले तत्वों का कुल प्रभाव, ATP/ADP अथवा NADH/ $NAD^+$  के उच्च अनुपातों की अवस्था में TCA चक्र की गति धीमी करना होता है।



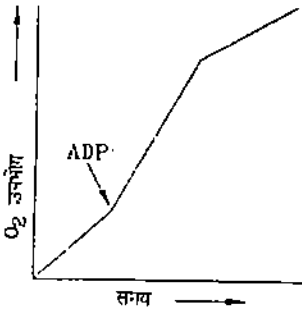
चित्र 11.4: नियामक स्थलों को दर्शाता ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र। भूरे तीरों द्वारा दर्शाए गए स्थलों का ऊर्जा आयेता तथा NADH/ $NAD^+$  अनुपात द्वारा नियमन होता है।

#### बोध प्रश्न 4

TCA चक्र के नियमन का क्या महत्व है ?

### 11.6 ऑक्सीकरण फॉस्फोरिलीकरण का नियमन

पिछली इकाइयों में आपने पढ़ा कि कार्बोहाइड्रेटों, वसा अम्लों इत्यादि क्रियाधारों के उपचयन से प्राप्त अपचित सहएन्जाइमों, NADH तथा  $FADH_2$  माइटोकॉन्ड्रिया की अंतः झिल्ली में पुनः उपचित हो जाते हैं। ऐसा वे अपने इलेक्ट्रॉनों के इलेक्ट्रॉन अभिगमन श्रृंखला द्वारा आण्विक ऑक्सीजन पर स्थानांतरण से प्राप्त करते हैं।



चित्र 11.5 : समय के अनुरूप  $O_2$  के उपभोग को दर्शाता आरेख। सामान्य अवस्था में अधिकतम ऐडेनोसिन ट्रायफॉस्फेट (ATP) तथा बहुत कम ADP होता है और  $O_2$  के उपभोग की दर कम होती है। ऊर्जा की आकस्मिक आवश्यकता तथा फलस्वरूप ATP के ADP में रूपांतरण के कारण यह दर दस गुणा अधिक हो सकती है। पृथक्कृत माइटोकॉन्ड्रिया में ADP के डालने पर यही परिणाम प्राप्त होते हैं।

इलेक्ट्रॉन अभिगमन, ADP तथा फॉस्फेट आयन द्वारा ATP के संश्लेषण से युग्मित होता है। ये दोनों सामूहिक रूप में ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण कहलाते हैं जिसका अध्ययन आपने इकाई 8 में किया है। आपको याद होगा कि इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला में प्रोटॉन, आधात्री (matrix) से माइटोकॉन्ड्रिया की झिल्ली के अंदर व बाहर के बीच के स्थान में पमित होकर एक प्रोटॉन प्रवणता (proton gradient) उत्पन्न करते हैं। जैसे-जैसे इस प्रवणता से प्रोटॉन  $H^+$ -ATPase जिसे ATP सिंथेस भी कहते हैं, द्वारा वापिस आधात्री में जाते हैं, प्रोटॉन प्रवणता में एकत्रित मुक्त ऊर्जा का उपयोग ADP तथा फॉस्फेट आयन से ATP के ऊर्जाशोषी संश्लेषण में होता है। इस प्रकार, ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण को अपचित सहएन्जाइमों, आणविक ऑक्सीजन, ADP तथा फॉस्फेट आयनों की आवश्यकता होती है। इस प्रक्रिया की दर ADP की सांद्रता के प्रति अति संवेदनशील होती है, जैसा अलग किए गए माइटोकॉन्ड्रिया के उपयोग से किए गए प्रयोगों द्वारा स्पष्ट है।

आराम की अवस्था में ऑक्सीजन उपभोग की दर व तदनुसार ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण की दर बहुत कम होती है। इसे "अक्रियता दर" (idling rate) कहते हैं। इस निकाय में संतृप्तता के संगत सांद्रता तक ADP को डालने से दर लगभग 10 गुणा बढ़ जाती है। इसका व्यवस्थात्मक निरूपण चित्र 11.5 में किया गया है। जब डाला गया ADP पूर्णतया ATP में परिवर्तित हो जाता है, तब दर एक बार फिर गिरकर अक्रियता दर पर पहुंच जाती है। इस परिघटना को ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण का ग्राही नियंत्रण (acceptor control) अथवा श्वसनी नियंत्रण (respiratory control) कहते हैं।

चित्र 11.5 में दर्शाए गए प्रायोगिक प्रेक्षण का उपयोग अक्सर माइटोकॉन्ड्रिया नमूने की अखंडता की जांच के लिए किया जाता है, क्योंकि पुराने तथा क्षतिग्रस्त माइटोकॉन्ड्रिया ADP के डालने पर कोई क्रिया नहीं दर्शाते।

आपने इकाई 8 में अध्ययन किया था कि कुछ यौगिक, जिन्हें वियुग्मक (uncouplers) कहते हैं, इलेक्ट्रॉन अभिगमन का ATP संश्लेषण से वियुग्मन करते हैं। ये वियुग्मक संभवतः माइटोकॉन्ड्रिया की अंतः झिल्ली से जुड़े होते हैं तथा प्रोटॉनों को आधात्री में वापिस लाने के लिए, ATP संश्लेषण की तुलना में एक अधिक सुगम वैकल्पिक पथ प्रदान करते हैं। इन क्रियाओं की उपस्थिति में अपचित सहएन्जाइम सामान्य तरीके से पुनः उपचित होते हैं व इससे प्राप्त होने वाली मुक्त ऊर्जा ऊष्मा के रूप में निकल जाती है। कुछ शारीरिकीयात्मक निकायों, जिनमें शरीर के तापमान को बनाए रखने के लिए ऊष्मा उत्पन्न करने की आवश्यकता होती है, में भी इसी नियम का पालन होता है। उदाहरण के लिए, कुछ शीतनिक्रियी जंतु (hibernating animals), कुछ नवजात शिशु (मानव के भी) तथा शीत-अनुकूलित (cold-adapted) स्तनधारी इत्यादि हैं। इनके भूरे ऐडीपोस उत्तकों में माइटोकॉन्ड्रिया अत्यधिक मात्रा में होते हैं, जिनकी अंतः झिल्ली में थर्मोजेनिन (thermogenin) नामक प्रोटीन की उच्च मात्रा होती है। इसे वियुग्मक प्रोटीन भी कहते हैं। थर्मोजेनिन, प्रोटॉनों के वापिस आधात्री में प्रवाहित होने के लिए, एक वैकल्पिक पथ प्रदान करती है तथा इस प्रकार यह इलेक्ट्रॉन अभिगमन के दौरान उत्पन्ने मुक्त ऊर्जा को ऊष्मा के रूप में निकालने में सहायता देती है।

#### बोध प्रश्न 5

निम्नलिखित कथन सही हैं अथवा गलत। अपने उत्तर की संक्षिप्त व्याख्या कीजिए।

ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण की प्रक्रिया पर वियुग्मक के ज्ञात प्रभावों के आधार पर हम कह सकते हैं कि वियुग्मक का उपयोग करने पर,

i) कुछ जीवों में बुखार उत्पन्न हो सकता है।

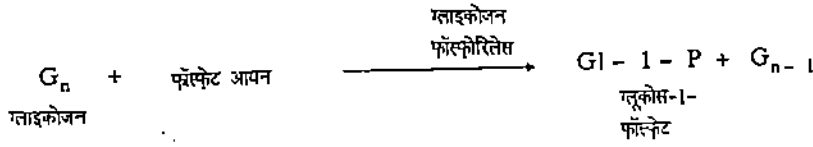
ii). ATP संश्लेषण में कमी के कारण सामान्य थकान व पेशियों में कमजोरी की शिकायत हो सकती है।

iii) कार्बोहाइड्रेटों, लिपिडों व प्रोटीनों का उपापचय कम हो जाता है।

iv) शरीर द्वारा ऑक्सीजन की आवश्यकता में कमी हो जाती है।

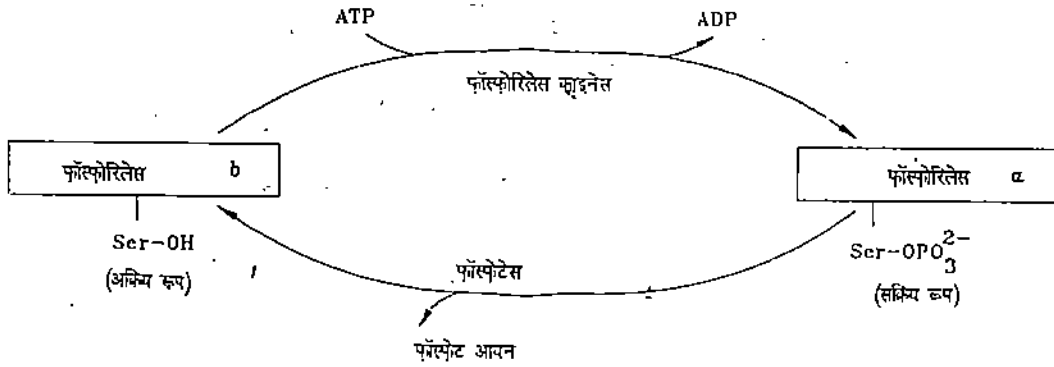
## 11.7 ग्लाइकोजन उपापचय का नियमन

जैसा कि इकाई 9 में बताया गया है, ग्लाइकोजन, ग्लूकोस की इकाइयों से बना एक संचयी पॉलीसेकराइड होता है। इसकी ग्लूकोस इकाइयों का एक-एक करके उपापचय होता है। इसकी अभिक्रिया को हम निम्न प्रकार से लिख सकते हैं :



इसके उत्पाद, GI-1-P का ग्लूकोस-6-फॉस्फेट में समावयवीकरण हो जाता है जिस पर ग्लाइकोलाइसिस व अन्य अभिक्रियाएं होती हैं। हम इस अभिक्रिया को उत्प्रेरित करने वाले एन्जाइम अर्थात्, ग्लाइकोजन फॉस्फोरिलेस की संक्षिप्त चर्चा करेंगे। इसको केवल फॉस्फोरिलेस भी कहते हैं। यह एन्जाइम दो अंतरापरिवर्तनीय रूपों, नामतः एक सक्रिय रूप जिसे फॉस्फोरिलेस *a* तथा एक अक्रिय रूप जिसे फॉस्फोरिलेस *b* कहते हैं, में पाया जाता है।

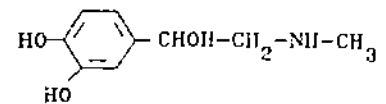
फॉस्फोरिलेस *a* में एन्जाइमी प्रोटीन का एक विशिष्ट सेरीन अवशिष्ट फॉस्फोरिलीकृत होता है। फॉस्फोरिलेस *b* में फॉस्फेट समूह अनुपस्थित होते हैं। फॉस्फोरिलेस काइनेस द्वारा उत्प्रेरित, फॉस्फोरिलेस *b* की ATP से क्रिया से फॉस्फोरिलेस *a* प्राप्त होता है। एक विशिष्ट फॉस्फेटेस की उपस्थिति में इसका विफॉस्फोरिलीकरण होता है तथा फॉस्फोरिलेस *b* पुनः प्राप्त हो जाता है। इसे निम्न प्रकार से दर्शाया जा सकता है।



त्र्युत्क्रमणीय सहसंयोजक रूपांतरण, विशेषकर एन्जाइमी प्रोटीन के फॉस्फोरिलीकरण-विफॉस्फोरिलीकरण, द्वारा एन्जाइमी सक्रियता का यह नियमन ऊपर चर्चित पाइरुवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल के नियमन के समान ही होता है।

फॉस्फोरिलेस *a* व फॉस्फोरिलेस *b* के अंतरापरिवर्तन से संबंधित दो एन्जाइमों अर्थात्, फॉस्फोरिलेस काइनेस तथा फॉस्फेटेस की सक्रियता का सटीक नियंत्रण भी आवश्यक है। अन्यथा इन अभिक्रियाओं द्वारा व्यर्थ में ही ATP का ADP व फॉस्फेट आयन में जल अपघटन हो सकता है। इस प्रकार संभवतः वेकार में होने वाले चक्रों को व्यर्थ चक्र (futile cycles) कहते हैं। ऐसा पाया गया है कि इन दो रूपों का अंतरापरिवर्तन वास्तव में अभिक्रियाओं के सोपानीपात (cascade) का अंतिम पद होता है। हम इसकी विस्तृत चर्चा नहीं करेंगे। ये अभिक्रियाएं रक्त में हॉर्मोनों के सिग्नल के संसूचित होने पर होती हैं। इसमें भाग लेने वाला विशिष्ट हॉर्मोन है - एपिनेफ्रीन (epinephrine) जिसे ऐड्रिनेलिन (adrenaline) भी कहते हैं।

एपिनेफ्रीन का संश्लेषण ऐड्रिनल अन्तस्था (adrenal medulla) में होता है तथा इसे "संकट हॉर्मोन" भी कह सकते हैं। उपापचयी ऊर्जा के निकलने की दर को बढ़ाना इसका मुख्य कार्य होता है। इस कार्य के लिए संचयी कार्बोहाइड्रेट, ग्लाइकोजन, के उपापचय द्वारा मोनोसैकराइडों की आपूर्ति को बढ़ाया जाता है।

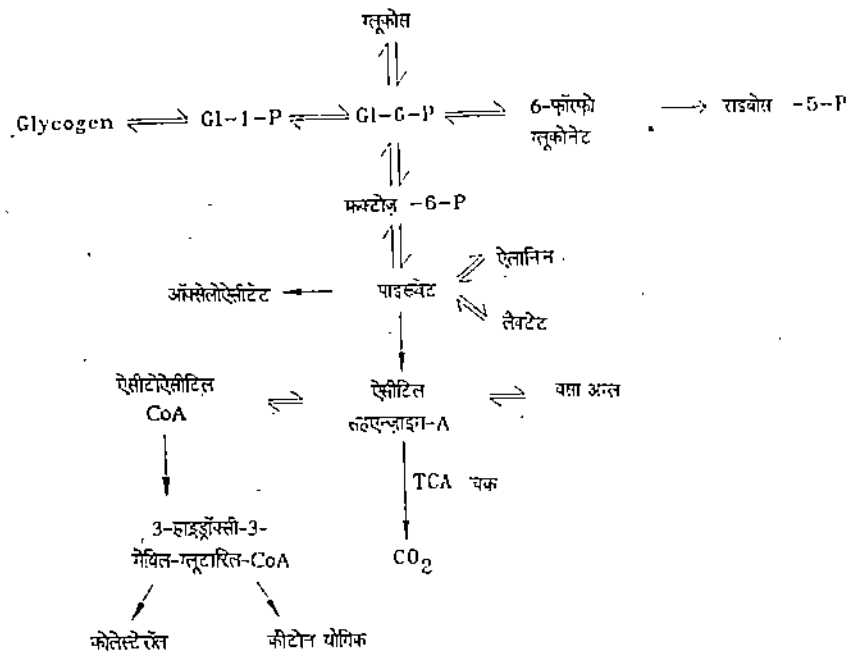


एपिनेफ्रीन

## 11.8 उपापचयी पथों का नियमन तथा समन्वयन: एक अवलोकन

पिछले भाग में हमारी चर्चा अधिकतर यहीं तक सीमित रही कि कुछ विशिष्ट एन्जाइमों का नियमन किस-किस प्रकार से होता है तथा इससे संबंधित उपापचयी पथों पर क्या प्रभाव पड़ता है। यद्यपि ये पथ विलगित (isolated) रूप में कार्य नहीं करते हैं। पूर्वगमियों के अणुओं व ऊर्जा के लगातार विनिमय द्वारा ये अन्य पथों से समन्वित होते हैं। इस स्तर पर सभी पथों का पूर्ण वर्णन आवश्यक नहीं है। यद्यपि विभिन्न उपापचयी पथों के अंतरा संबंधों, विशेषकर उनके नियामक पहलुओं के वर्णन के बिना, उपापचयी नियमन का एक परिचयी वर्णन भी अपूर्ण तथा कुछ सीमा तक विकृत होगा। इस भाग में इन्हीं संबंधों की चर्चा की गई है।

ग्लूकोस के पूर्ण उपचयन में हमने तीन मुख्य शाखाओं अथवा जंक्शनों को देखा था जहाँ पर अन्य उपापचयी पथों से पूर्वगमियों का विनिमय स्पष्ट दिखाई देता है। ये विनिमय ग्लूकोस-6-फॉस्फेट, पाइरुवेट तथा ऐसीटिल-CoA की अवस्थाओं पर होते हैं। इन स्पीशीज़ की उपापचयी नियति तथा विभिन्न पथों के बीच के संबंधों को चित्र 11.6 में संक्षिप्त रूप में दिया गया है।



चित्र 11.6 : कुछ उपापचयी पथों के शाखन स्थान तथा अंतरासंबंध। तीरों के माने यह नहीं है कि अभिक्रिया एक ही पद में होती है।

कोशिका में प्रवेश करने वाले ग्लूकोस के अणु ग्लूकोस-6-फॉस्फेट (GI-6-P) में परिवर्तित हो जाते हैं। इस GI-6-P की नियति कोशिका की उपापचयी/शारीरिकियात्मक अवस्था पर निर्भर करती है। जब ATP तथा पाइरुवेट व सिट्रेट जैसे पूर्वगमियों की आपूर्ति पर्याप्त होती है, तब फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेस द्वारा उत्प्रेरित पद संदमित हो जाता है। जैसा पहले वर्णन किया गया है, इससे GI-6-P का ग्लाइकोलाइसिस पथ में प्रवेश अवरोधित हो जाता है। ऐसी अवस्था में यह ग्लूकोस-1-फॉस्फेट तथा फिर ग्लाइकोजन, जो इस कार्बोहाइड्रेट का संचयी रूप है, में परिवर्तित हो जाता है। जब अन्य जैव अणुओं के संचयन के लिए पूर्वगमियों की तथा ATP की अत्यधिक आवश्यकता होती है, तब फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेस का संदमन नग्न हो जाता है तथा GI-6-P ग्लाइकोलाइसिस पथ में प्रवेश कर जाता है। ऐसे में तबकी कार्बोहाइड्रेट के उपयोग से और GI-6-P भी प्राप्त किया जा सकता है।

एक अन्य वैकल्पिक पथ, पेन्टोस फॉस्फेट पथ, द्वारा भी ग्लूकोस-6-P का निम्नीकरण संभव होता है। इस पथ में NADPH तथा राइबोस-5-फॉस्फेट प्राप्त होते हैं। इस पथ की चर्चा इस पाठ्यक्रम में नहीं की गई है। NADPH जैव संश्लेषी पथों, उदाहरण के लिए वसा अम्लों के जैव संश्लेषण में अपचायक का कार्य करता है तथा राइबोस-5-फॉस्फेट न्यूक्लियोटाइडों व न्यूक्लीक अम्लों के संश्लेषण के लिए 5-कार्बन वाली शर्करा उपलब्ध कराता है। NADPH तथा राइबोस-5-फॉस्फेट के उत्पन्न होने का सापेक्ष अनुपात कोशिकीय आवश्यकताओं के अनुरूप नियमित किया जा सकता है। ऐसा विभिन्न अभिक्रियाओं में थोड़े से परिवर्तन द्वारा प्राप्त किया जाता है।

ग्लाइकोलाइसिस पथ द्वारा GI-6-P के विघटन से पाइरुवेट व NADH के दो-दो अणु प्राप्त होते हैं तथा इसमें थोड़ी-सी मात्रा में ATP भी बनता है। कठोर परिश्रम के दौरान तेजी से संकुचित होती पेशियों के लिए आवश्यक ATP की आपूर्ति TCA चक्र तथा इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला द्वारा संभव नहीं है क्योंकि इसके लिए पर्याप्त मात्रा में ऑक्सीजन उपलब्ध नहीं होती है। ऐसे में पाइरुवेट को लैक्टेट में परिवर्तित करके NADH से  $\text{NAD}^+$  को पुनः उत्पन्न किया जा सकता है अर्थात्, ग्लाइकोलाइसिस पथ को कुछ समय के लिए अवायु परिस्थितियों में चलाया जा सकता है। लैक्टेट को यकृत में स्थानांतरित किया जाता है जहाँ पर यह पुनः पाइरुवेट में परिवर्तित हो जाता है जिसका आवश्यकता के अनुरूप और आगे उपापचय होता है। हम यहाँ पर देख सकते हैं कि आवश्यकता पड़ने पर हमारा शरीर किस यकृत से उपापचयी उत्तरदायित्व को पेशियों से यकृत पर स्थानांतरित कर देता है।

पाइरुवेट तथा ऐलानिन का अंतरापरिवर्तन कार्बोहाइड्रेट व ऐमीनो अम्ल उपापचय के बीच एक महत्वपूर्ण कड़ी है। दोनों स्रोतों से प्राप्त होने वाला पाइरुवेट, ऐसीटिल-CoA में परिवर्तित हो जाता है। यह पद ऐसीटिल-CoA, NADH तथा GTP, जो ऊर्जा (NADH व GTP) तथा पूर्वगामियों की पर्याप्त मात्रा को दर्शाते हैं, द्वारा संदमित होता है। पाइरुवेट की एक अन्य नियति है - पाइरुवेट कार्बोक्सिलेस द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रिया द्वारा कार्बोक्सिलेशन से ऑक्सैलोऐसीटेट बनाना (इकाई 9)। यह ऑक्सैलोऐसीटेट फ्रक्टोज-6-फॉस्फेट में परिवर्तित हो सकता है जो अंततः ग्लूकोनिओजेनेसिस द्वारा ग्लूकोस में परिवर्तित हो जाता है। इस अभिक्रिया द्वारा TCA चक्र के उपापचयजों के स्तर को बनाए रखने में भी सहायता मिलती है। यह चक्र अवायु ग्लाइकोलाइसिस व वायुजीवी इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला के बीच में कड़ी का कार्य करता है। यह चक्र कार्बोहाइड्रेटों, वसा अम्लों तथा कई ऐमीनो अम्लों के पूर्ण उपचयन में भी केन्द्रीय भूमिका निभाता है।

ऐसीटिल-CoA पाइरुवेट-तथा वसा अम्लों से बनता है। कुछ ऐमीनो अम्ल, जिन्हें कीटोनजनक ऐमीनो अम्ल भी कहते हैं, इस उपापचयज के अन्य स्रोत होते हैं। TCA चक्र में ऐसीटिल-CoA का प्रवेश आसानी से उपलब्ध ऊर्जा के स्रोत की पर्याप्त आपूर्ति को दर्शाते ATP द्वारा सिट्रेट सिंथेस के संदमन द्वारा नियमित होता है। इसके परिणामस्वरूप उपापचयी विघटन तथा उससे ATP का बनना बहुत धीमा हो जाता है। अपितु उपलब्ध ऐसीटिल-CoA का उपयोग वसा अम्लों के संश्लेषण में हो जाता है। जो उपापचयी ऊर्जा के संचय का एक अन्य रूप होते हैं। वसा अम्लों के जैव संश्लेषण का पहला पद, अर्थात्, ऐसीटिल-CoA का मैलोनिल-CoA में परिवर्तन (इकाई 10) जो ATP पर निर्भर करता है, सिट्रेट द्वारा सक्रियित होता है। ऐसीटिल-CoA की तीसरी नियति है इसका  $\beta$ -हाइड्रॉक्सी-3-मेथिल ग्लूटारिल-CoA (HMG-CoA) में परिवर्तन जो कोलेस्टेरोल तथा सभी स्टेराइड हॉर्मोनों में पूर्वगामी होता है। इसके अलावा HMG-CoA, ऐसीटोन,  $\beta$ -कीटोब्यूटिरेट तथा  $\beta$ -हाइड्रॉक्सीब्यूटिरेट जैसे कीटोनों का भी स्रोत होता है। भुखमरी तथा लम्बे उपवास के दौरान इन कीटोनों का बनना बहुत महत्वपूर्ण हो जाता है क्योंकि ऐसे में शरीर में कार्बोहाइड्रेटों का संचय समाप्त हो जाता है तथा शरीर अपनी ऊर्जा की आवश्यकताओं के लिए संचयी वसाओं पर निर्भर होता है।

कुछ वनस्पतियों व सूक्ष्मजीवों में ऐसीटिल-CoA के दो अणुओं के ऐसीटिल भाग मिलकर, ग्लाइऑक्सिलेट चक्र (इसकी चर्चा इस पाठ्यक्रम में नहीं की गयी है) द्वारा सक्सीनेट (चार कार्बन वाला एक अम्ल) का एक अणु बनते हैं। इसके बाद TCA चक्र की अभिक्रियाओं द्वारा सक्सीनेट पहले ऑक्सैलोऐसीटेट में तथा बाद में ग्लूकोनिओजेनेसिस द्वारा ग्लूकोस में परिवर्तित हो जाता है। इसके परिणामस्वरूप ये सूक्ष्मजीव वसाओं को कार्बोहाइड्रेटों में परिवर्तित कर सकते हैं। मनुष्यों व अन्य स्तनधारियों में ग्लाइऑक्सिलेट पथ का प्रमुख एन्जाइम आइसोसिट्रेट लाइसेस उपस्थित नहीं होता है। इसलिए ये वसाओं को कार्बोहाइड्रेटों में परिवर्तित नहीं कर सकते जबकि इसके विपरीत परिवर्तन संभव होता है (दिलें चित्र 11.6)।

ऊपर बताया गया है कि ऐलानिन को पाइरुवेट में परिवर्तित किया जा सकता है। कुछ अन्य ऐमीनो अम्लों को  $\alpha$ -कीटोग्लूटारेट सक्सीनिल-CoA, फ्यूमेरेट अथवा ऑक्सैलोऐसीटेट जैसे TCA चक्र के मध्यवर्तियों में परिवर्तित किया जा सकता है। चूंकि ये सभी मध्यवर्ती ऑक्सैलोऐसीटेट में परिवर्तित होकर ग्लूकोनिओजेनेसिस द्वारा ग्लूकोस में परिवर्तित हो सकते हैं, इसलिए इन ऐमीनो अम्लों को ग्लूकोसजनक (glucogenic) ऐमीनो अम्ल कहते हैं। लंबी भुखमरी की अवस्था में ये रक्त में ग्लूकोस का एक अन्य महत्वपूर्ण स्रोत बनते हैं। अन्य ऐमीनो अम्ल ऐसीटोऐसीटिल-CoA तथा ऐसीटिल-CoA बनाते हैं तथा कीटोनजनक ऐमीनो अम्ल कहलाते हैं क्योंकि इनके निम्नीकरण से, जैसा ऊपर बताया गया है, कीटोन यौगिक प्राप्त होते हैं, कुछ ऐमीनो अम्ल कीटोनजनक व ग्लूकोसजनक दोनों रूप में कार्य करते हैं।

#### बोध प्रश्न 6

लंबी भुखमरी की अवस्था में क्या मनुष्य निम्न विधियों से रक्त में ग्लूकोस के स्तर को बनाए रख सकते हैं? अपने उत्तर की संक्षिप्त व्याख्या कीजिए।

- शरीर में उपलब्ध वसाओं के निम्नीकरण द्वारा
- ऐमीनो अम्लों तथा प्रोटीनों के निम्नीकरण द्वारा

## 11.9 सारांश

आइए अब हम इस इकाई में उपापचयी नियमन के बारे में की गई चर्चा को संक्षेप में देखें। जीवित कोशिका में ऊर्जा व पूर्वगामियों की आवश्यकता, उसकी अवस्था पर निर्भर करती है। इसलिए कोशिका के वातावरण में परिवर्तन के अनुरूप कुछ प्रक्रियाओं को प्रेरित तथा कुछ अन्य को संदमित करना होता है। ऐसा संबंधित एंजाइमों की सांद्रताओं अथवा उत्प्रेरी दक्षता के माडुलन (modulation) द्वारा प्राप्त किया जाता है। कई जैव संश्लेषी पथों में अंत उत्पाद उस पथ के पहले एन्जाइम को संदमित करता है तथा इसमें बनने वाले उत्पाद अथवा अन्य मध्यवर्तियों के अनावश्यक रूप से इकट्ठा होने को रोकता है (पुनर्भरण संदमन)। इस प्रणाली के विशिष्ट पदार्थों से असहसंयोजक अन्योन्यक्रिया द्वारा किसी एन्जाइम की सक्रियता के माडुलन को एलोस्टेरिक माडुलन कहते हैं। कुछ एन्जाइमों की उत्प्रेरी दक्षता एन्जाइम की प्रोटीन के व्युत्क्रमणीय सहसंयोजक रूपांतरण द्वारा भी नियमित होती है। उच्च बहुकोशिकीय जीवों में हॉर्मोनों द्वारा उपापचय का नियमन सामान्यतः एलोस्टेरिक माडुलन तथा व्युत्क्रमणीय सहसंयोजक रूपांतरण के संयोजन द्वारा होता है।

ग्लाइकोलाइस की दर मुख्यतः फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेस (PFK), हैक्सोकाइनेस (HK) तथा पाइरुवेट काइनेस (PK) के नियमन द्वारा माडुलित होती है।

पाइरुवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल द्वारा उत्प्रेरित पाइरुवेट का ऐसीटिल-CoA में परिवर्तन, ऐसीटिल-CoA, NADH तथा GTP द्वारा संदमित होता है। इसके अलावा यह एन्जाइम संकुल इसके एक अहेतुक एन्जाइम के फॉस्फोरिलीकरण द्वारा निष्क्रियित होता है।

ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र, कार्बोहाइड्रेटों, वसाओं तथा कुछ ऐमीनो अम्लों के उपापचयी विघटन से प्राप्त ऐसीटिल-CoA के ऐसीटिल अर्धांश के संभाषक उपचयन में केन्द्रीय भूमिका निभाता है। सिट्रेट सिंथेस, आइसोसिट्रेट डिहाइड्रोजेनेस तथा  $\alpha$ -कीटोग्लूटारेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल इस चक्र के नियामक एन्जाइम हैं। सम्मिलित रूप में इनके प्रभाव से ATP/ADP अथवा NADH/NAD<sup>+</sup> के अनुपातों के उच्च मानों पर चक्र धीमा हो जाता है।

आवश्यकता पड़ने पर ग्लाइकोजन की ग्लूकोस इकाइयाँ एक-एक करके अलग होकर ग्लाइकोलाइस के लिए उपलब्ध हो जाती हैं। यह अभिक्रिया ग्लाइकोजन फॉस्फोरिलेस द्वारा उत्प्रेरित होती है। एपिनेफ्रीन नामक हॉर्मोन की उपस्थिति के परिणामस्वरूप इस एन्जाइम की सक्रियता व्युत्क्रमणीय सहसंयोजक रूपांतरण द्वारा नियमित होती है।

जीवित कोशिकाओं में विभिन्न उपापचयी पथ विलगित रूप से नहीं होते हैं। वे एक-दूसरे पर निर्भर करते हैं तथा पूर्वगामियों, ऊर्जा तथा विभिन्न मुख्य अणुओं की सापेक्ष सांद्रता के बारे में जानकारी के लगातार विनिमय के द्वारा समन्वित होते हैं। यह सांद्रता ATP/ADP, NADH/NAD<sup>+</sup>, NADPH/NADP<sup>+</sup> अनुपातों के रूप में व्यक्त की जाती है। कुछ पूर्वगामियों जैसे-न्यूक्लीक अम्ल जैव संश्लेषण के लिए आवश्यक पेन्टोस शर्कराओं की उपलब्धता का स्तर भी कुछ पथों को उद्दीप्त करता है जबकि कुछ अन्य को संदमित करता है। लंबी भुखमरी के दौरान जंतुओं (मानव सहित) के शरीर में संचित वसा तथा ऐमीनो अम्लों के उपयोग द्वारा शरीर की ऊर्जा आवश्यकताओं को पूरा किया जाता है तथा रक्त में ग्लूकोस का संतुलनगत स्तर बनाए रखा जाता है।

## 11.10 अंत में कुछ प्रश्न

- 1) कठिन शारीरिक परिश्रम के दौरान कोशिका का ऊर्जा आवेश अल्पमात्र (0.89 के सामान्य मान से कम होकर 0.70 पर पहुँच गया तथा फिर धीरे-धीरे सामान्य मान पर वापस आ गया।
  - i) सामान्य मान पुनः प्राप्त करने में संभव ग्लाइकोलाइस पथ के किन परिवर्तनों का योगदान देना होगा ?

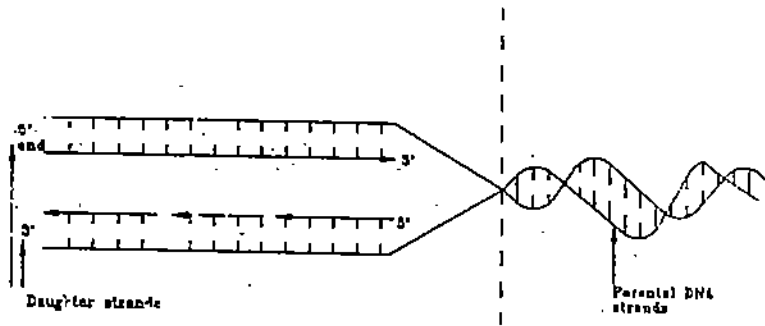


इनमें से कोई भी पॉलीमरेस नई पॉलीन्यूक्लियोटाइड श्रृंखला का उपक्रमण (initiation) करने में सक्षम नहीं होती अर्थात् समीकरण 13.1 में अनिवार्यतः एक ऑलिगो अथवा पॉली-न्यूक्लियोटाइड श्रृंखला होनी चाहिए। इसे प्रारम्भक (primer) कहते हैं। DNA पॉलीमरेस-I के लिए RNA का एक टुकड़ा प्रारम्भक का कार्य करता है जो बाद में विदलित होकर अलग हो जाता है।

जैसा ऊपर बताया गया है कि DNA प्रतिकृति सदैव 5'-सिरे से 3'-सिरे की दिशा में होती है। ऐसा DNA पॉलीमरेसों की अभिक्रिया विशिष्टता के कारण होता है। जैसा चित्र 13.5 में दर्शाया गया है, यह आवश्यक है कि दो नव संश्लेषित रज्जुक विपरीत दिशा में जाएं। ऐसा दर्शाया गया है कि जब एक रज्जुक की प्रतिकृति कुछ लम्बाई तक हो जाती है, उसके बाद दूसरे रज्जुक की प्रतिकृति आरंभ हो जाती है व यह विपरीत दिशा में बढ़ती है। जिस स्थान पर यह प्रतिकृति आरंभ होती है, उसे प्रतिकृति फोर्क (replication fork) कहते हैं (चित्र 13.6)। यह आसानी से समझा जा सकता है कि ऐसे में प्रतिकृति निरंतर नहीं होगी। जब-जब पहले रज्जुक (लगातार प्रतिकृति करने वाला) की प्रतिकृति कुछ और आगे बढ़ती है, तब-तब एक नए खंड का उपक्रमण होता है। ज्यों-ज्यों प्रतिकृति की प्रक्रिया प्रगति करती है, त्यों-त्यों जनक DNA लगातार अकुंडलित होता जाता है।

असंतत (discontinuous) रूप से बनने वाले रज्जुक के खंडों की लंबाई लगभग 1000-2000 न्यूक्लियोटाइडों के बराबर होती है तथा इन्हें ओकाजाकी खंड (okazaki fragments) कहते हैं। संतत रूप से संश्लेषित होने वाले रज्जुक को अग्र रज्जुक (leading strand) व असंतत रूप से संश्लेषित रज्जुक को पश्चगामी रज्जुक (lagging strand) कहते हैं। पश्चगामी रज्जुक ओकाजाकी खंडों का बना होता है। इसके उपरांत एक अन्य एंजाइम, DNA लाइगेस (DNA-ligase) की उपस्थिति में ये खंड एक-दूसरे से सहसंयोजक रूप से आबंधित हो जाते हैं।

यहाँ ध्यान दें कि DNA की द्विकुंडलिनी का विकुंडलन एक ऊर्जा-अपेक्षी प्रक्रिया है। इसके लिए विशिष्ट प्रोटीनों जैसे — हेलिकेस, रेप-प्रोटीनों तथा एक एकल रज्जुक आबंधन प्रोटीन (single strand binding (SSB) protein) की आवश्यकता होती है। हेलिकेस तथा रेप प्रोटीनें DNA के अणु पर विशिष्ट स्थानों पर आबंधन करती हैं तथा प्रत्येक क्षारक युग्म के लिए ATP के दो अणुओं के व्यय द्वारा द्विकुंडलिनी का विकुंडलन करती हैं। SSB प्रोटीन इस प्रकार से अलग हुए रज्जुकों से आबंधन द्वारा पुनः द्विकुंडलिनी के बनने को रोकती है।



चित्र 13.6 : अग्र (संतत प्रतिकृति करने वाले) तथा पश्चगामी (असंतत प्रतिकृति करने वाले) रज्जुकों को दर्शाता प्रतिकृति फोर्क का व्यवस्थात्मक निरूपण

यह स्पष्ट होना चाहिए कि विशिष्ट क्षारक युग्मन DNA प्रतिकृति की अति परिशुद्धता के लिए उत्तरदायी है। नव संश्लेषित DNA रज्जुक व उसके टेम्पलेट के क्षारक क्रम के बीच पूरकता (complementarity) को पहले संकरण अध्ययनों (hybridisation studies) तथा बाद में क्षारक क्रम निर्धारण द्वारा सीधे दर्शाया गया। DNA पॉलीमरेस द्वारा DNA संश्लेषण में त्रुटि की संभावना नगण्य होती है। क्षारक युग्मन का यह नियम DNA द्वारा निर्देशित RNA संश्लेषण का आधार भी है। इसे अनुलेखन कहते हैं जिसका वर्णन अगले भाग में किया जाएगा।

#### बोध प्रश्न 4

ओकाजाकी खंड क्या होते हैं ?

.....

.....

.....

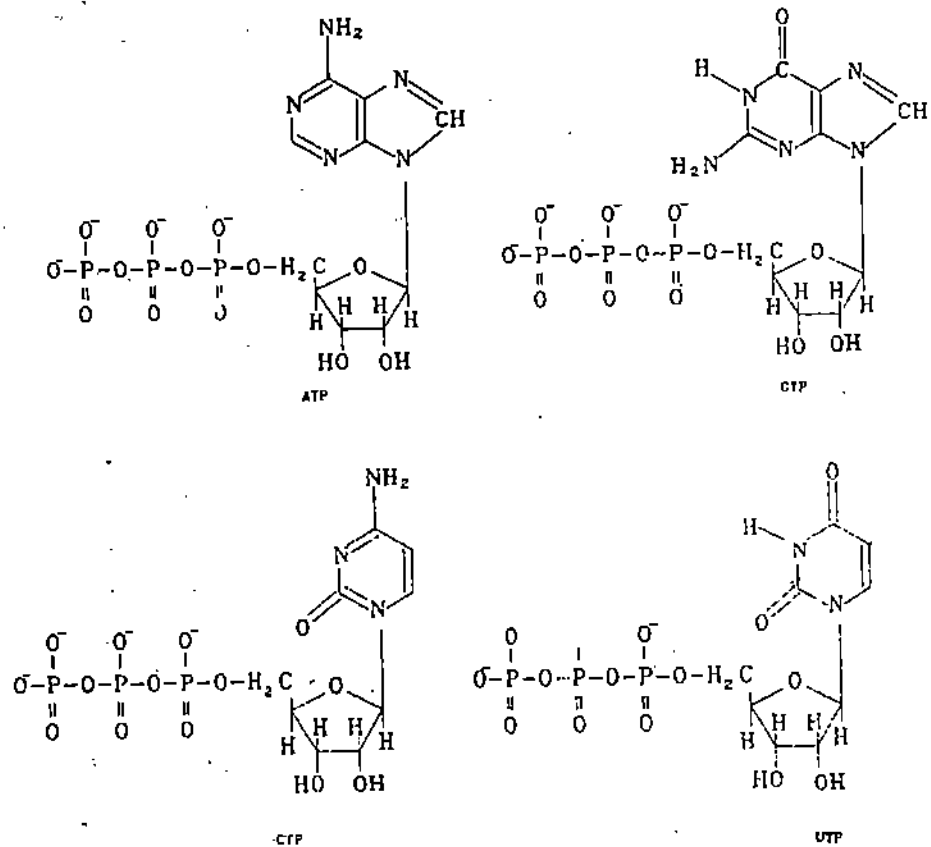
.....

### 13.4 RNA संश्लेषण : अनुलेखन

कोशिका में तीन प्रकार के RNA होते हैं। ये हैं—राइबोसोमी RNA, स्थानांतरण RNA तथा दूत RNA (messenger RNA)। इनकी रासायनिक संरचना एक समान होती है अर्थात् ये सभी पॉलीन्यूक्लियोटाइड होते हैं, जिनमें न्यूक्लियोटाइड, फास्फोडाइएस्टर आबंधन द्वारा जुड़े होते हैं। यद्यपि ये आकार, द्वितीयक संरचना तथा प्रकारों में एक-दूसरे से भिन्न होते हैं (दिलें इकाई 4 व 14)। इन सभी का संश्लेषण DNA टेम्पलेटों पर एक समान रासायनिक अभिक्रियाओं द्वारा होता है। यह अभिक्रिया समीकरण 13.1 में दी गई अभिक्रिया के समान ही है। इस प्रक्रिया को अनुलेखन (transcription) कहते हैं।

इस प्रक्रिया में राइबोन्यूक्लियोसाइड ट्राइफास्फेट पूर्वगमियों का कार्य करते हैं। ये DNA संश्लेषण के लिए आवश्यक डिऑक्सी अनुरूपों के संगत होते हैं। इसके अलावा थायमीन RNA में नहीं पाया जाता है। इसके स्थान पर यूरासिल कार्य करता है। इस प्रकार RNA संश्लेषण के पूर्वगामी हैं ऐडेनोसिन ट्राइफास्फेट (ATP) ग्वानोसिन ट्राइफास्फेट (GTP) साइटीडीन ट्राइफास्फेट (CTP) तथा यूरिडीन ट्राइफास्फेट (UTP) (चित्र 13.7)।

RNA संश्लेषण में भाग लेने वाले एन्जाइम को RNA पॉलीमेरेस कहते हैं। पूर्वगमियों,  $Mg^{2+}$  तथा  $Mn^{2+}$  आयनों के अलावा इसके लिए द्विकुंडलिनी DNA की आवश्यकता भी होती है जो टेम्पलेट का कार्य करता है। अनुलेखन के लिए DNA का विकुंडलन होता है। यहाँ यह जानना अत्यंत रोचक है कि DNA के दो रज्जुकों में से केवल एक का अनुलेखन ही होता है। यह DNA संश्लेषण से भिन्न है जहाँ पर दोनों रज्जुकों की प्रतिकृति होती है। इसके अलावा RNA पॉलीमेरेस के लिए प्रारंभक की आवश्यकता भी नहीं होती। DNA पर कुछ विशिष्ट स्थान होते हैं जहाँ पर RNA पॉलीमेरेस आबंधन करके अनुलेखन का उपक्रमण कर देता है। इसी प्रकार समापन संकेत (termination signals) भी होते हैं, जहाँ RNA पॉलीमेरेस रुक जाता है व नव संश्लेषित RNA को मुक्त कर देता है। इनमें से कुछ पहलुओं का इकाई 14 में वर्णन किया गया है क्योंकि ये प्रोटीन जैव-संश्लेषण से भी संबंधित हैं। इसके अलावा RNA पॉलीमेरेस में एक्सोव्यूक्तिपेस सक्रियता नहीं पाई जाती।



चित्र 13.7 : RNA संश्लेषण के राइबोन्यूक्लियोसाइड ट्राइफास्फेट पूर्वगमियों की संरचना

### 13.4.1 DNA प्रतिकृति तथा RNA अनुलेखन के बीच समानताएं

DNA तथा RNA का संश्लेषण :  
प्रतिकृति तथा अनुलेखन

1. प्रत्येक प्रक्रिया के लिए पूर्वगामियों के रूप में संगत न्यूक्लियोसाइड ट्राइफॉस्फेटों की आवश्यकता होती है।
2. दोनों में पॉलीन्यूक्लियोटाइड शृंखला 5'-सिरे से 3'-सिरे की ओर बढ़ती है अर्थात् इस अभिक्रिया में बढ़ती हुई शृंखला के 3'-OH समूह का आने वाले पूर्वगामी के  $\alpha$  फॉस्फेट समूह (अर्थात् राइबोस से सीधे जुड़े फॉस्फेट समूह) पर नाभिक स्नेही आक्रमण होता है (समीकरण 13.1)।
3. प्रत्येक मामले में पायरोफॉस्फेट आयन के जलाघटनी विदलन द्वारा अभिक्रिया पूर्णतः की ओर परिचालित होती है।
4. दोनों में उत्पाद का क्षारक क्रम DNA टेम्पलेट से होने वाले क्षारक युग्मन की विशिष्टता द्वारा निर्धारित होता है।

### 13.5 सारांश

DNA अर्थात् पॉलीडिऑक्सीराइबोन्यूक्लियोटाइड सभी कोशिकीय जीवों तथा अधिकतर विषाणुओं का आनुवंशिक पदार्थ होता है। ऐसा पाया गया है कि न्यूमोकोकॉकी के उग्र उपभेद से पृथक्कृत DNA उसी बैक्टीरिया के जीवित अहानिकारक उपभेद से मिश्रण के रूप में प्रायोगिक जंतुओं में रोग (न्युमोनिया) के लक्षण उत्पन्न कर सकता है। इसके अलावा इन जंतुओं के रक्त में जीवित उग्र बैक्टीरिया ही पाए गए। इससे ज्ञात होता है कि उग्र उपभेद का DNA अहानिकारक उपभेद को उग्र उपभेद में रूपांतरित कर सकता है। जीवाणुभोजियों पर किए गए प्रयोगों से ज्ञात हुआ कि संक्रमित बैक्टीरिया की कोशिका में जीवाणुभोजी का DNA ही प्रविष्ट हो सकता है। रक्त प्रोटीन आवरण को सरल विडोलन द्वारा अलग किया जा सकता है। संक्रमित कोशिका में संक्रमक जीवाणुभोजी कणों को उत्पन्न करने के लिए पूर्ण सूचना उपलब्ध पाई गई। यह सूचना केवल जीवाणुभोजी के DNA द्वारा ही आ सकती है।

DNA की प्रतिकृति होती है अर्थात् क्षारक युग्मन की अतिविशिष्टता के कारण इसकी प्रतिलिपियाँ उत्पन्न होती हैं। द्विकुंडलिनी DNA का प्रत्येक रज्जुक एक नए रज्जुक के संश्लेषण के लिए टेम्पलेट का कार्य करता है। DNA का संश्लेषण डिऑक्सी-राइबो-न्यूक्लियोसाइड ट्राइफॉस्फेटों जैसे पूर्वगामियों से होता है। नव संश्लेषित शृंखला 5'-सिरे से 3'-सिरे की ओर बढ़ती है। यह अभिक्रिया DNA पॉलीमरेस द्वारा उत्प्रेरित होती है। बढ़ती हुई शृंखला में जुड़ने वाले प्रत्येक न्यूक्लियोटाइड के लिए एक पायरोफॉस्फेट आयन उत्पन्न होता है। इसके जल अपघटन द्वारा अभिक्रिया पूर्णतः की ओर परिचालित होती है। हेलिकेस व अन्य प्रोटीनों द्वारा टेम्पलेट DNA का विकुंडलन होता है जिससे एक रज्जुक वाले DNA के छोटे-छोटे क्षेत्र प्राप्त होते हैं जहाँ DNA पॉलीमरेस आबंधन करता है। यह एन्जाइम एक नई शृंखला को आरंभ नहीं कर सकता। इसके लिए एक RNA प्रारंभक की आवश्यकता होती है जिस पर DNA की नई शृंखला जुड़ जाती है। संश्लेषण के उपरांत RNA बला भाग विगलित हो जाता है। DNA के दोनों रज्जुकों की प्रतिकृति एक साथ व विपरीत दिशा में होती है। इनमें से एक रज्जुक सरल संश्लेषित होता है जिसे अग्र रज्जुक कहते हैं। दूसरा रज्जुक छोटे-छोटे (लगभग 100-200 न्यूक्लियोटाइडों वाले) खंडों में संश्लेषित होता है। इसे पश्चगामी रज्जुक कहते हैं। ये रज्जुक टेम्पलेट से जुड़े रहते हैं। अंततः DNA लाइगेस की क्रिया द्वारा ये परस्पर जुड़ जाते हैं। संपूर्ण प्रक्रिया के समाप्त होने पर द्विकुंडलिनी रज्जुकों वाले DNA के दो अणु प्राप्त होते हैं जो एक-दूसरे के व आरंभिक DNA के समान होते हैं। DNA की प्रतिकृति को अर्द्ध-संरक्षी कहते हैं क्योंकि प्रत्येक नए DNA अणु में एक पुराना व एक नवसंश्लेषित रज्जुक होता है।

सभी कोशिकीय RNA, द्विरज्जुकीय DNA के किसी एक रज्जुक द्वारा टेम्पलेट के रूप में कार्य करने पर उत्पन्न होते हैं। इस प्रक्रिया में न्यूक्लियोसाइड ट्राइफॉस्फेट पूर्वगामियों का कार्य करते हैं तथा संश्लेषण को उत्प्रेरित करने वाले एन्जाइम को RNA पॉलीमरेस कहते हैं। रासायनिक तौर पर यह अभिक्रिया DNA प्रतिकृति के समान ही होती है। नव संश्लेषित RNA का क्षारक क्रम टेम्पलेट के क्रम द्वारा निर्देशित होता है तथा पूर्वगामियों का चयन विशिष्ट क्षारक युग्मन द्वारा होता है जैसा DNA प्रतिकृति में पाया जाता है। RNA संश्लेषण में DNA का केवल एक रज्जुक ही अनुलेखित होता है।

### 13.6 अंत में कुछ प्रश्न

1. हर्षे तथा चैस द्वारा किए गए प्रयोग में अक्रिय जीवाणुभोजी से बैक्टीरिया में रेडियोधर्मिता का स्थानांतरण केवल DNA द्वारा ही क्यों हुआ ?
2. (क) RNA संश्लेषण किस दिशा में होता है ?  
(ख) क्या RNA पॉलीमरेस में ऐक्सोन्यूक्लियेस सक्रियता उपस्थित होती है ?

3. DNA में क्षारक किस प्रकार संयुग्मित होते हैं ?
4. DNA व RNA के क्षारकों के बीच क्या अंतर होता है ?
5. DNA प्रतिकृति में कौन सा एन्जाइम भाग लेता है ?
6. DNA प्रतिकृति तथा अनुलेखन के बीच क्या समानताएं हैं ?

### 13.7 उत्तर

#### बोध प्रश्न

1. घ
2. बैक्टीरिया पर आक्रमण करने वाले विषाणुओं को जीवाणुभोजी कहते हैं।
3. क) F      ख) T      ग) F
4. असंतत रूप से प्रतिकृति करने वाले रज्जुक के खंड लगभग 1000 से 2000 न्यूक्लियोटाइडों के बने होते हैं। इन्हें ओकाज़ाकी खंड कहते हैं।
5. DNA तीन प्रकार के होते हैं। ये हैं- स्थानान्तरण RNA राइबोसोमी RNA तथा दूत RNA

#### अंत में कुछ प्रश्न

1. अंकित जीवाणुभोजी से बैक्टीरिया में रेडियोधर्मिता का स्थानान्तरण केवल DNA द्वारा इसलिए हुआ क्योंकि यह आनुवांशिक पदार्थ के रूप में कार्य करता है तथा नए जीवाणु भोजियों के संश्लेषण से सूचना का वहन करता है। जीवाणुभोजी का प्रोटीनीय भाग बैक्टीरिया की कोशिका के बाहर रहता है।
2. क) यह 5'-सिरे से 3'-सिरे की दिशा में होता है।  
ख) नहीं ! RNA पॉलीमेरेस में एक्सोन्यूक्लियेस सक्रियता नहीं पाई जाती।
3. एक रज्जुक का ऐडेनिन क्षारक दूसरे रज्जुक के थायमीन के साथ (A-T युग्म) तथा ग्वानिन, साइटोसीन (G-C युग्म) के साथ संयुग्मन करता है।
4. RNA में थायमीन के स्थान पर यूरासिल होता है।
5. DNA पॉलीमेरेस  
कृपया भाग 13.5 देखें।

## इकाई 14 प्रोटीन संश्लेषण

### इकाई की रूपरेखा

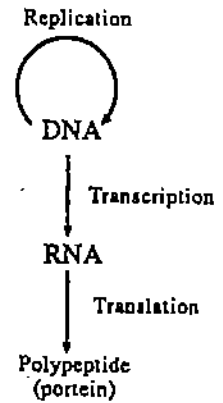
- 14.1 प्रस्तावना
  - उद्देश्य
- 14.2 प्रोटीन संश्लेषण का परिदृश्य
- 14.3 आनुवंशिक कोड
- 14.4 राइबोसोम की संरचना और भूमिका
- 14.5 प्रोटीन संश्लेषण की क्रियाविधि
  - ऐमीनो अम्लों का सक्रियण
  - पोलिपेप्टाइड शृंखला का प्रारंभ
  - पोलिपेप्टाइड शृंखला का दीर्घिकरण
  - पोलिपेप्टाइड शृंखला-निर्माण का समापन
- 14.6 प्रोटीन जैव संश्लेषण का नियमन
- 14.7 प्रतिजैविक, प्रोटीन जैव संश्लेषण का संदमन
- 14.8 कैंसर जैव रसायन विज्ञान
- 14.9 सारांश
- 14.10 अंत में कुछ प्रश्न
- 14.11 उत्तर

### 14.1 प्रस्तावना

इकाई 4 और 5 में आपने न्यूक्लीक अम्लों (nucleic acids) और प्रोटीनों के बारे में जानकारी हासिल की। आप निश्चित ही अनेक संघटकों (constituents), संरचनाओं (structures) और प्रकारों (function) से परिचित होंगे। इस इकाई में आप जीवधारियों में प्रोटीनों का संश्लेषण (synthesis) कैसे होता है और न्यूक्लीक अम्लों की क्या भूमिका होती है, इसके बारे में पढ़ेंगे।

DNA यानी जीनों में, विभिन्न प्रोटीनों में ऐमीनो अम्लों के विशिष्ट अनुक्रम (specific sequences) के लिए कोडित अनुदेश (coded instructions) होते हैं। पहले विशेष RNA में क्षारकों (bases) के विशिष्ट अनुक्रमों के रूप में इनकी "प्रतियाँ" (copies) तैयार की जाती है या इनका अनुलेखन (transcription) होता है इस विशेष RNA को दूत RNA या mRNA कहते हैं। mRNA राइबोसोमों से संयोजित (combine) हो जाते हैं, जहाँ कोडित अनुदेश का दूसरी प्रकार के RNA की सहायता से प्रोटीनों में ऐमीनों अम्ल अनुक्रम में विकोडन (decoded) यानी "स्थानांतरण" (translation) होता है। इस RNA को स्थानांतरण RNA या tRNA कहते हैं। भिन्न-भिन्न प्रकार के ढेर सारे tRNA होते हैं। प्रत्येक tRNA एक ऐमीनो अम्ल के लिए विशिष्ट होता है। tRNA राइबोसोम तक ऐमीनो अम्ल ले जाते हैं और mRNA पर कोडित संदेश के अनुरूप इन्हें उचित ढंग से संरेखित (align) कर देते हैं। ऐसा tRNA पर स्थित कुछ क्षारकों की विशिष्ट पारस्परिक-क्रिया (interaction) द्वारा होता है। ये क्षारक mRNA पर स्थित क्षारकों के साथ क्षारक-युग्म (base-pairs) बनाते हैं। mRNA पर क्षारक अनुक्रम और उनके द्वारा विनिर्दिष्ट (specified) ऐमीनो अम्ल के बीच जो संबंध है, वह आनुवंशिक कोड (genetic code) कहलाता है। पॉलिपेप्टाइडों और प्रोटीनों का RNA-विशेष संश्लेषण "स्थानांतरण" कहलाता है। यह प्रक्रम जटिल है और इसमें भिन्न-भिन्न बृहदणुओं (macromolecules) की आवश्यकता पड़ती है।

इस इकाई में पहले हम प्रोटीन संश्लेषण का परिदृश्य (overview) प्रस्तुत करेंगे और तब विभिन्न अवस्थाओं की कुछ विस्तार से चर्चा करेंगे। हम संक्षेप में यह भी अध्ययन करेंगे कि किस प्रकार यह प्रक्रम कोशिका की ज़रूरतों



आनुवंशिक (genetic) जानकारी DNA में क्षारकों के अनुक्रम के रूप में संघित होती है। यह RNA में पूंक्तिओटाइडों के अनुक्रम में पुनः लिखी जाती है और अंत में पॉलिपेप्टाइड में ऐमीनो अम्लों के अनुक्रम के रूप में अभिव्यक्त होती है।

के हिसाब से नियमित होता है। इसके बाद प्रतिजैविकों (antibiotics) की क्रियाओं के आण्विक आधार (molecular basis) का वर्णन करेंगे। अंत में हम कैंसर के जैव रसायन का अध्ययन करेंगे। हमारी सलाह है कि इस इकाई को पढ़ने से पहले आप एक बार इकाई 4 को फिर से दोहरा लें।

### उद्देश्य

इस इकाई के अध्ययन के बाद आप,

- आनुवंशिक कोड का वर्णन कर सकेंगे,
- राइबोसोमों की भूमिका की व्याख्या कर सकेंगे,
- प्रोटीन जैव संश्लेषण में विभिन्न चरण बता सकेंगे और प्रक्रम में उनके महत्व की चर्चा कर सकेंगे,
- कोशिका में प्रोटीन संश्लेषण को नियंत्रित करने वाले विभिन्न कारकों और दवाओं का वर्णन कर सकेंगे,
- प्रतिजैविक औषध क्रिया के सिद्धांत की व्याख्या कर सकेंगे, और
- कैंसर के कोशिकीय आधार का वर्णन कर सकेंगे।

## 14.2 प्रोटीन संश्लेषण का परिदृश्य

प्रोटीन संश्लेषण राइबोसोमों पर होता है। प्रत्येक राइबोसोम कण में mRNA अणु और लगभग 52 भिन्न-भिन्न प्रोटीन अणु होते हैं। प्रत्येक कण में एन्जाइम तंत्र होता है, जो ऐमीनो अम्लों के बीच पेप्टाइड आबंध बनाने के लिए आवश्यक है। राइबोसोम mRNA को बांधने के लिए स्थल और परिसज्जित (finished) पॉलिपेप्टाइड शृंखला में ऐमीनो अम्लों के समाहार (assembly) और उनके संरेखण (aligning) के लिए स्थल प्रदान करते हैं। ऐमीनो अम्ल अपने आप राइबोसोम से परस्पर क्रिया कर सकने में असमर्थ हैं और mRNA अणु में क्षारकों को नहीं पहचान सकते। "वाहक अणुओं" (carrier molecules) का एक संग्रह होता है, जिसे tRNA कहते हैं और जिसका वर्णन इकाई 4 में किया गया है। इन अणुओं में ऐमीनो अम्लों के संलग्न के लिए एक स्थल होता है और एक क्षेत्र होता है जिसे प्रति कोडॉन (anticodone) कहते हैं। प्रति कोडॉन mRNA में उचित क्षारक कोडॉन को पहचानता है (इकाई 4, चित्र 4.3)। समाहार के लिए ऐमीनो अम्लों का उचित चरण (selection) tRNA अणु से निर्धारित होता है। इन अणुओं की स्थिति प्रत्येक tRNA अणु के प्रति कोडॉन और mRNA के संगत कोडॉन के बीच हाइड्रोजन-आबंधन या क्षारक युग्मन (base pairing) द्वारा निर्धारित होता है। जब ऐमीनो अम्ल tRNA अणु के साथ संलग्न हो जाता है तो tRNA को ऐमीनोएसिलित (aminoacylated) या आवेशित (charged) कहते हैं। ऐमीनो अम्ल का इसके संगत tRNA से यह बंधन, ऐमीनोएसिलित tRNA सिंथेटेस एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होता है और इसमें ATP की आवश्यकता पड़ती है। प्रत्येक ऐमीनो अम्ल के लिए कम से कम एक प्रकार का tRNA और ऐमीनोएसिलित tRNA-सिंथेटेस होता है।

वास्तविक प्रोटीन संश्लेषण तीन चरणों में होता है : प्रारंभ (initiation), शृंखला दीर्घीकरण (chain elongation) और समापन (termination)। आवेशित tRNA अणु को बांधने के लिए राइबोसोम पर दो स्थल होते हैं। ये स्थल P और स्थल A कहलाते हैं। प्रारंभ में प्रारंभक tRNA (initiator tRNA) (जिस पर मेथायोनोन होता है) का राइबोसोम के P स्थल पर mRNA के आरंभ कोडॉन से बंधन होता है। इसके बाद उपयुक्त ऐमीनोएसिलित tRNA का राइबोसोम के स्थल A पर mRNA के अगले कोडॉन से बंधन होता है। प्रथम ऐमीनो अम्ल (जो प्रारंभक tRNA पर स्थित है) के स्थानांतरण और द्वितीय ऐमीनो अम्ल (जो स्थल A पर tRNA से संलग्न है) से इसके पेप्टाइड आबंध बनने से एक पेप्टाइड आबंध बनता है। इसके बाद पहला tRNA अणु, जो अब मुक्त है, P स्थल से बहिःक्षिप्त (ejected) हो जाता है और डाइपेप्टाइड ऐमीनोएसिलित tRNA अणु A स्थल से P स्थल पर चला जाता है। तृतीय कोडॉन का संगत ऐमीनोएसिलित tRNA अब A स्थल से बंधन करता है। इससे दीर्घीकरण का एक दूसरा दौर शुरू होता है जो ऊपर वर्णन किए गए तरीके से चलता रहता है। जब mRNA पर विराम कोडॉन (stop codon) A स्थल पर विराजमान हो जाता है, तो समापन होता जाता है। इसके बाद पूरी बन चुकी पॉलिपेप्टाइड शृंखला (chain) राइबोसोम से निर्मुक्त (released) हो जाती है। प्रोटीन जैवसंश्लेषण का विस्तार से अध्ययन करने से पहले, आइए, हम आनुवंशिक कोड और राइबोसोम की संरचना तथा भूमिका के बारे में जान लें।

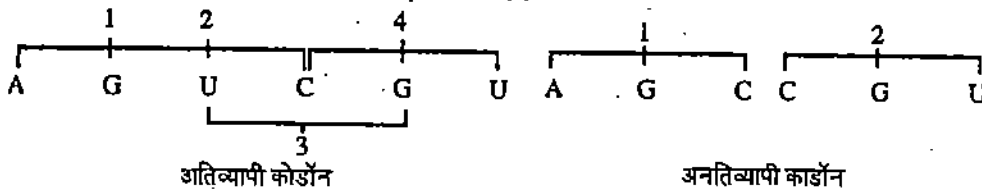
## 14.3 आनुवंशिक कोड

हम इस इकाई और पहले वाली इकाइयों में कोडॉन (codon) प्रतिकोडॉन (anticodon) और कोडों (codes) जैसे शब्दों का प्रयोग करते रहे हैं। अब यह उपयुक्त होगा कि इन शब्दों की सही-सही परिभाषा दी जाए। आनुवंशिक पदार्थ DNA अणु होता है (केवल कुछ RNA विषाणुओं (viruses) को छोड़कर जहाँ RNA ही आनुवंशिक पदार्थ है)। अब यह साबित हो चुका है कि आनुवंशिक जानकारी DNA में क्षारकों के विशिष्ट अनुक्रमों (sequences of bases) के रूप में ले जाई जाती है जिन्हें कोडॉन (codon) कहते हैं। DNA के विभिन्न खंड जीनों के रूप में प्रकाशित करते हैं यानी कि ऐमीनो अम्लों के अनुक्रम को विनिर्दिष्ट करके प्रोटीनों

के लिए कोड करते हैं। DNA या इसके RNA अनुलेख (transcript) (अर्थात्, mRNA) में क्षारकों के अनुक्रम और ऐमीनो अम्लों के द्वारा विनिर्दिष्ट प्रोटीनों में ऐमीनो अम्लों के अनुक्रम के बीच जो संबंध है, वह आनुवंशिक कोड कहलाता है।

आप जानते ही हैं कि प्रोटीनों में 20 भिन्न-भिन्न ऐमीनो अम्ल होते हैं, जो DNA अणु में मौजूद चार क्षारकों द्वारा कोडित होते हैं। यह स्पष्ट है कि अगर एक क्षारक एक ऐमीनो अम्ल के लिए कोडित करता है, तो केवल चार ऐमीनो अम्लों को कोडित किया जा सकता है। साधारण गणित से पता चलता है कि अगर दो क्षारकों का संयोजन एक ऐमीनो अम्ल के लिए कूटलेखन करता है, तो इस प्रकार के युग्मों (pairs) की अधिकतम संख्या सोलह (यानी  $4^2$ ) होती है। प्रोटीनों में पाए जाने वाले बीस ऐमीनो अम्लों के लिए यह पर्याप्त नहीं है। यह अनुभव किया गया कि न्यूनतम कोड साइज क्षारकों की त्रिक (triplet of bases) होगी। चार क्षारकों से बनने वाले विभिन्न त्रिकों की संख्या 64 होती है (यानी के  $4^3$ ), जो सभी ऐमीनो अम्लों का कोडित करने के लिए पर्याप्त है। बाद में आनुवंशिक प्रयोगों से इस बात की पुष्टि हुई कि वास्तव में आनुवंशिक कोड क्षारकों का त्रिक है : तीन निकटवर्ती न्यूक्लिओटाइडें एक ऐमीनो अम्ल को विनिर्दिष्ट करती हैं। पहले पहल जिस कोडॉन की पहचान की गई वह UUU था जो फेनिल-एलानिन के लिए कोडित करती है।

आनुवंशिक कोड में कुछ अभिलक्षण होते हैं जैसे कि अनतिव्यापी (non-overlapping) और अपहास (degeneracy)। अनतिव्यापी से हमारा यह मतलब है कि कोई भी क्षारक एक त्रिक (कोडॉन) का अंश हो सकता है और दूसरे कोडॉन में काम में नहीं लाया जाता। इस तरह प्रत्येक क्षारक का केवल एक बार "वाचन" होता है या कहिए एक ही बार "पढ़ा" जाता है।



अतिव्यापी कोडॉन

अनतिव्यापी कोडॉन

अपहास का अर्थ है एक ऐमीनो अम्ल का एक से अधिक त्रिक द्वारा कूटलेखन किया जाना। केवल मेथियोनीन और ट्रिप्टोफेन एक अकेले त्रिक द्वारा कोडित होते हैं, जो क्रमशः AUG और UGG हैं। बाकी सारे ऐमीनो अम्लों के लिए एक से अधिक त्रिक द्वारा कोडित होते हैं। लेकिन यह ध्यान देने की बात है कि कोई भी त्रिक केवल एक ही ऐमीनो अम्ल को कोडित करता है। इसके अलावा, कोई भी दिया गया त्रिक सभी जातियों (स्पीशीज) में उसी ऐमीनो अम्ल को कोडित करता है। केवल माइटोकॉन्ड्रिया (mitochondria) में प्रोटीन जैव संश्लेषण इसका अपवाद है जहां छोटी-छोटी भिन्नताएं देखने में आती हैं। इस प्रकार कोड सार्विक (universal) नहीं है लेकिन लगभग सभी जातियों पर लागू होता है। इसे "मानक" (standard) आनुवंशिक कोड के नाम से पुकारा जाता है और यह सारणी 14.1 में दिखाया गया है।

सारणी 14.1 : "मानक" आनुवंशिक कोड और कोडॉन निर्धारण (assignments)

प्रथम क्षारक	द्वितीय क्षारक				तृतीय क्षारक	
	U	C	A	G		
U	UUU फेनिल-एलानिन	UCU सेरीन	UAC टाइरोसीन	UGU सिस्टीइन	U	
	UUC फेनिल-एलामीन	UCC सेरीन	UAC टाइरोसीन	UGC सिस्टीइन	C	
	UUA ल्यूसीन	UCA सेरीन	UAA (विराम) CT*	UGA (विराम) CT*	A	
	UUG ल्यूसीन	UCG सेरीन	UAG (विराम) CT*	UGG ट्रिप्टोफॉन	G	
	C	CUU ल्यूसीन	CCU प्रोलीन	CAU हिस्टिडीन	CGU अर्जिनीन	U
		CUC ल्यूसीन	CCC प्रोलीन	CAC हिस्टिडीन	CGC अर्जिनीन	C
		CUA ल्यूसीन	CCA प्रोलीन	CAA ग्लूटमीन	CGA अर्जिनीन	A
CUG ल्यूसीन		CCG प्रोलीन	CAG ग्लूटमीन	CGG अर्जिनीन	G	

A	AUU	ACU	AAU	AGU	U
	आइसोल्यूसीन	थ्रिऑनीन	ऐस्पेराजीन	सेरीन	
	AUC	ACC	AAC	AGC	C
	आइसोल्यूसीन	थ्रिऑनीन	ऐस्पेराजीन	सेरीन	
	AUA	ACA	AAA	AGA	A
	आइसोल्यूसीन	थ्रिऑनीन	लाइसीन	आर्जिनीन	
G	AUG (आरंभ)**	ACG	AAG	AGG	G
	मेथायोनीन	थ्रिऑनीन	लाइसीन	आर्जिनीन	
	GUU	GCU	GAU	GGU	U
	वेलीन	ऐलानीन	एल्पाटिक अम्ल	ग्लाइसीन	
	GUC	GCC	GAC	GGC	C
	वेलीन	ऐलानीन	एल्पाटिक अम्ल	ग्लाइसीन	
G	GUA	GCA	GAA	GGA	A
	वेलीन	ऐलानीन	ग्लूटामिक अम्ल	ग्लाइसीन	
	GUG	GCG	GAG	GGG	G
	वेलीन	ऐलानीन	ग्लूटामिक अम्ल	ग्लाइसीन	

\* कोडॉन CT श्रृंखला-समापन के लिए एक संकेत कोडॉन है।

\*\* AUG स्थान (तंत्र) में श्रृंखला प्रारंभ के लिए एक संकेत के रूप में प्रकाश करता है।

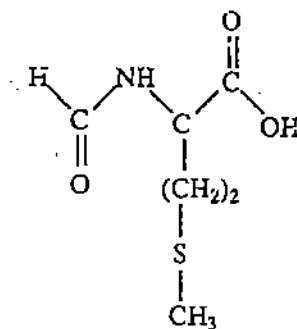
ध्यान दीजिए कि कोड mRNA के लिए दिए गए हैं। DNA में, U का स्थान T लेगा।

आज हमें सभी ऐमीनो अम्लों के लिए सभी कड़ों का पता है (सारणी 14.1)। चार क्षारकों से  $64 (4^3 = 64)$  सम्भावित त्रिकों में से केवल 61 त्रिक विशिष्ट ऐमीनो अम्लों के लिए कोड करते हैं। UAA, UAG और UGA नामक दूसरे तीन त्रिक किसी भी ऐमीनो अम्ल के लिए कोड नहीं करते। ये श्रृंखला समापनों या विराम संकेतों के रूप में कार्य करते हैं। त्रिक AUG (मेथायोनीन के लिए कोड) प्रारंभिक कोडॉन की तरह भी काम करता है यानी कि नई पॉलिपेट्टाइड का संश्लेषण शुरू करने के लिए काम आता है। आइए, इन कोडॉन की कुछ विस्तार से चर्चा करते हैं।

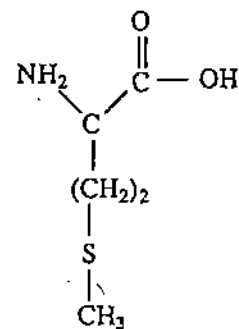
सबसे पहले प्रकाशित (functional) आनुवंशिक यूनिट, जीन या समपाद (cistron) वह है, जो एक पॉलिपेट्टाइड श्रृंखला के संश्लेषण को विनिर्दिष्ट (specify) करता है। याद कीजिए कि कुछ प्रोटीन एकल (single) पॉलिपेट्टाइड श्रृंखला की बनी होती हैं। जबकि दूसरी में ऐसी एक से अधिक समरूप (identical) या भिन्न श्रृंखलाएं होती हैं, जो असहसंयोजक पारस्परिकक्रियाओं (non-covalent interactions) उप-यूनिट (subunits) द्वारा आपस में बंधी रहती हैं। अगर उप-यूनिट रासायनिक रूप से भिन्न हों, तो संपूर्ण प्रोटीन को विनिर्दिष्ट करने के लिए एक से अधिक समपादों की आवश्यकता पड़ती है।

### प्रारंभ कोडॉन

mRNA आमतौर पर बहुसमपादीय (polycistronic) होता है अर्थात्, यह अनेक भिन्न-भिन्न प्रोटीनों के संश्लेषण के लिए संदेश ले जाता है। इसलिए यह जरूरी है कि इसमें भी "आरंभ" या "विराम" संकेत हों ताकि प्रत्येक प्रोटीन के लिए संदेश दूसरी प्रोटीन के लिए संदेश से अच्छी तरह निर्धारित की हुई और पृथक किए हुए हो। जैसाकि सारणी 14.1 में दिखाया गया है। आनुवंशिक कोड में ऐसे संकेत जरूर होते हैं। जब त्रिक AUG संदेश के अर्थात् या कहिए भीतरी भाग में होता है, तो मेथायोनीन के लिए कोडॉन के रूप में और जब संदेश के शुरू में होता है, तो श्रृंखला प्रारंभ के लिए कोडॉन के रूप में कार्य करता है। बाद वाले मामले में यह मुक्त मेथायोनीन के लिए नहीं बल्कि N-फॉर्मिल मेथायोनीन के लिए कोड करता है।



N-फॉर्मिल मेथायोनीन (FMet)



मेथायोनीन (Met)

मेथायोनीन के लिए दो तरह के tRNA होते हैं जिनके नाम हैं- tRNA<sup>FMet</sup> और tRNA<sup>Met</sup>। दोनों में एक से प्रतिकोडॉन होते हैं लेकिन क्रमशः फॉर्मिल-मेथायोनीन और मेथायोनीन के लिए विशिष्ट होते हैं। वे mRNA पर



AUG कोडॉन के साथ क्रमशः सदेश के शुरू में और अन्त में संयोजन करते हैं। इसके कारण प्रत्येक नवजात पॉलिपेटाइड (nascent polypeptide) शृंखला के N-टर्मिनल पर मेथायोनीन अवशिष्ट (residue) होता है। कुछ मामलों में त्रिक GUG आरंभ संकेत के रूप में कार्य करता है। यूकैरियोटों में, प्रारंभक मेथायोनीन फॉर्मिलीकृत (formylated) नहीं होती है।

समापन कोडॉन :

तीन त्रिक ऐसे हैं, जो किसी भी ऐमीनो अम्ल के लिए कोड नहीं करते। ये हैं- UAA, UAG और UGA। ये समापन या विराम या निर्मुक्त (release) या अनर्थक (nonsense) कोडॉन कहलाते हैं। ये कोडॉन किसी भी ऐमीनोएसिल-tRNA (aa-tRNA) द्वारा नहीं पढ़े जाते बल्कि निर्मुक्ति कारक (release factors) कहलाने वाली विशिष्ट प्रोटीनों द्वारा स्थानांतरण (translation) में उपयुक्त अवस्था (समापन) पर पहचाने जाते हैं जिसके फलस्वरूप एक संपूर्ण बन चुकी पॉलिपेटाइड शृंखला निर्मुक्त होती है। यह देखा गया है कि कुछ मामलों में, समापन कोडॉन अकेले ही कार्य करता है जबकि दूसरे मामलों में दो अनुक्रमिक समापन कोडॉन शृंखला समापन का काम करते हैं (चित्र 14.1)।

Human hemoglobin a chain mRNA	5' AAAUACCGUUAAGCU...
<i>E. coli</i> lactose repressor mRNA	5' GAAAGCGGCGAGUGACCGCAAGGCAAUUAA
MS2 "A" Protein mRNA	5' CGGCUCUCUAGAUAGAGCCCUCAA.....
MS2 coat protein mRNA	5' UCCGGCAUCUACUAAUAGACGCCG...

चित्र 14.1: मोटे अक्षर वाला त्रिक समापन कोडॉनों को दर्शाता है

### बोध प्रश्न 1

आनुवंशिक कोड के बारे में नीचे दिए गए कथनों में से कौन-सा कथन सच नहीं है?

- क) हर कोडॉन में तीन न्यूक्लिओटाइड होते हैं।
- ख) प्रत्येक कोडॉन केवल एक ही प्रकार के ऐमीनो अम्ल के लिए कोड करता है।
- ग) कोडॉन mRNA पर ले जाए जाते हैं।
- घ) प्रत्येक प्रकार के ऐमीनो अम्ल के लिए मात्र एक कोडॉन होता है।

## 14.4 राइबोसोम की संरचना और भूमिका

प्रोटीन जैवसंश्लेषण के विलयल (locus) राइबोसोम हैं। ये प्रोटीन और राइबोसोमी RNA (rRNA) के बड़े-बड़े संकर (complexes) हैं (चित्र 14.2)। इनमें दो उपयूनिटें होती हैं - एक "बड़ी" और एक "छोटी" जिनकी सापेक्ष साइजें (relative sizes) आमतौर पर उनके अवसादन गुणांकों (sedimentation coefficients) या S मानों (S values) में व्यक्त की जाती है। ई. कोलाई राइबोसोमों में कण द्रव्यमान (particle mass) लगभग  $2.5 \times 10^6$  डाल्टन का और अवसादन गुणांक 70 S के बराबर होता है तथा उनकी उपयूनिटें 50 S और 30 S होती है। उपयूनिटों को आगे भी उनकी संघटक प्रोटीनों और RNA में विभक्त (split) किया जा सकता है। 30 S उपयूनिट में 21 भिन्न-भिन्न प्रोटीनों और 16 S RNA अणु होता है। 50 S उपयूनिट में 32 भिन्न-भिन्न प्रोटीनों और दो RNA अणु, 5 S तथा 23 S होते हैं। यूकैरियोटी राइबोसोम बड़े होते हैं। जैसे कि 80 S इनकी उपयूनिटें 40 S और 60 S होती हैं। छोटी उपयूनिट में एक 18 S RNA अणु और 33 भिन्न-भिन्न प्रोटीनें होती हैं। बड़ी उपयूनिट में तीन RNA अणु (28S, 5.8S और 5 S) और 45 विभिन्न प्रोटीनें होती हैं। प्रोकैरियोटी और यूकैरियोटी राइबोसोमों के बीच कोई प्रकार्यात्मक अंतर नहीं होता।

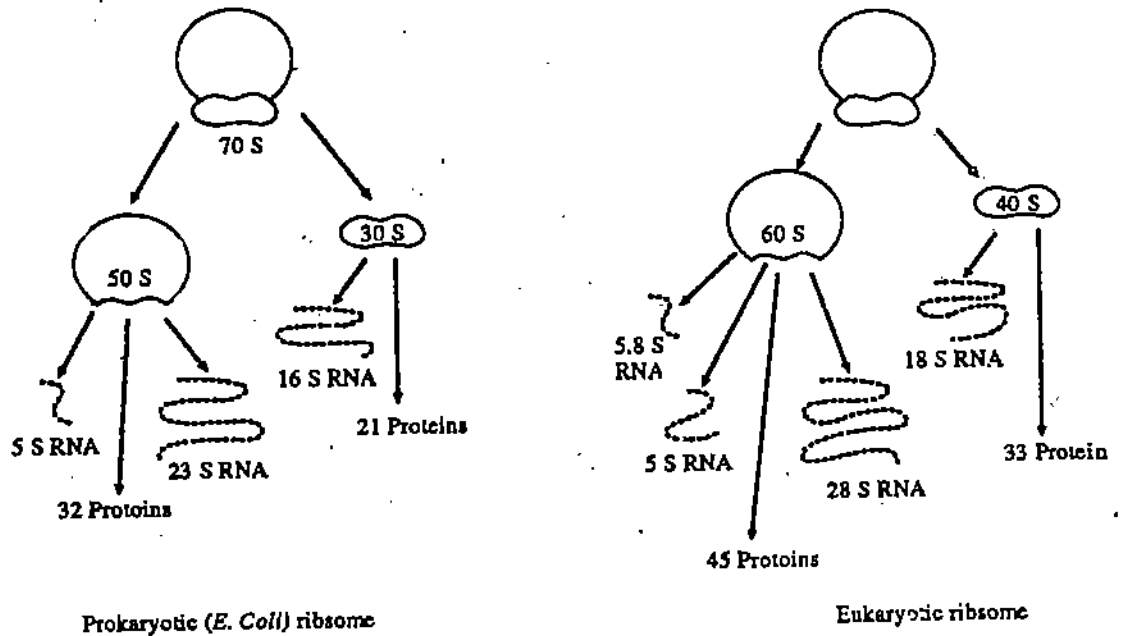
mRNA और tRNA के बंधन में विशिष्ट राइबोसोमी प्रोटीनें प्रत्यक्ष रूप से शामिल हैं। स्पष्टतया rRNA इन बंधन स्थलों में सीधे भाग नहीं लेता, बल्कि एक संरचनात्मक बहुलक (polymer) के रूप में कार्य करता है जो गुणक (multiplier) कणों को एक संघट्ट विन्यास (compact configuration) में साथे रहता है।

राइबोसोम में tRNA अणुओं के लिए दो बंधनकारी स्थल होते हैं, A (ऐमीनो-एसिल) और P (पेप्टिडिल) स्थल, (चित्र 14.3 देखिए)। साथ मिलकर वे mRNA के दो पड़ोसी कोडॉनों तक फैले रहते हैं। स्थानांतरण के दौरान

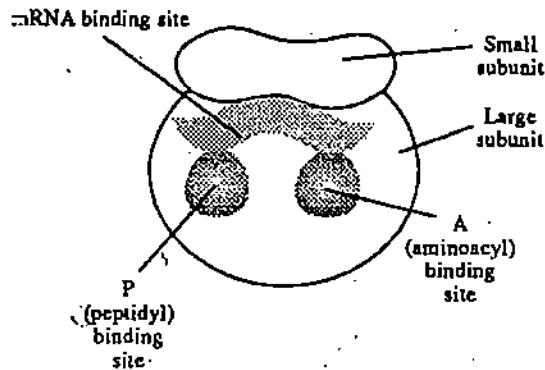
राइबोसोम दो अनियमित आकृति वाली उप-यूनिटों की बनी होती हैं, जो आपस में अच्छी तरह से फिट रहती हैं। इतना जरूर है कि स्थानांतरण के दौरान दोनों उप-यूनिटें एक-दूसरे से थोड़ा-सा हट जाती हैं।

डाल्टन द्रव्यमान की एक यूनिट है, जो लगभग एक अकेले हाइड्रोजन अणु के तुल्य (equivalent) है। डाल्टन और आणविक भार (molecular weight) शब्दों का प्रयोग एक दूसरे के स्थान पर किया जा सकता है।

A स्थल पर आगत (in-coming) ऐमीनो ऐसिल tRNA को बांधता है जैसाकि सामान्यतः इस स्थल पर जगह सम्भाले हुए कोडॉन द्वारा विनिर्दिष्ट होता है। यह कोडॉन वर्धी पेप्टाइड शृंखला (growing peptide chain) के लिए अगले ऐमीनो अम्ल को विनिर्दिष्ट करता है। स्थल P पर वर्धी शृंखला पेप्टिडिल tRNA डेरा जमाए रहता है। इस tRNA में पहले ही संश्लिष्ट ऐमीनो अम्लों की शृंखला होती है। स्वानांतरण में स्थल A और P की भूमिका को समझाने के लिए चित्र 14.4 को देखें।



चित्र 14.2 : राइबोसोमी संयोजन



चित्र 14.3 : राइबोसोम के बंधन स्थल (binding sites) मुख्यतया बड़ी उप-यूनिट पर अवस्थित (located) होते हैं; एक स्थल है जिस पर mRNA बंधता है। A स्थल और P स्थल भी दर्शाए गए हैं

### 14.5 प्रोटीन संश्लेषण की क्रियाविधि

प्रति कोडॉन पर त्रिक क्षारक अनुक्रम tRNA अणु द्वारा ले जाए जाने से बने ऐमीनो अम्ल से प्रत्यक्ष रूप से संबंधित होता है।

अब हम उन अभिक्रियाओं के जटिल अनुक्रम का वर्णन करेंगे, जिसमें tRNA, mRNA, राइबोसोम, एन्जाइम और प्रोटीनें शामिल हैं। प्रोटीन संश्लेषण में मोटेतौर पर चार चरण होते हैं :-

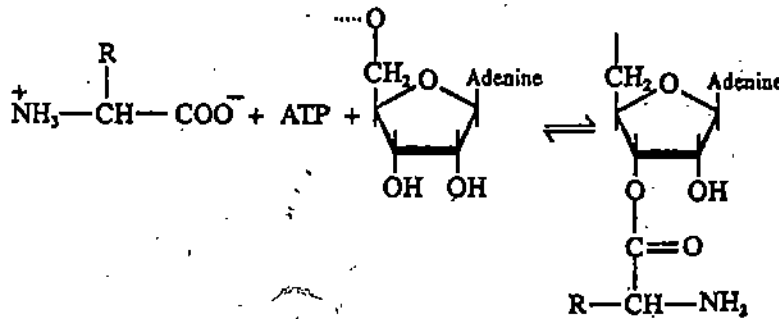
- i) ऐमीनो अम्लों का सक्रियण (activation)
- ii) पॉलिपेप्टाइड शृंखला का प्रारंभन (initiation)
- iii) पॉलिपेप्टाइड शृंखला का दीर्घीकरण (elongation)
- iv) पॉलिपेप्टाइड शृंखला निर्माण का समापन (termination)

यह प्रक्रम चित्र 14.4 में संक्षेप में दिखा गया है।

### 14.5.1 ऐमीनो अम्लों का सक्रियण

ऊष्मागतिकतः (thermodynamically) मुक्त ऐमीनो अम्लों की बजाय पेप्टाइड कम स्थायी होती हैं। इसलिए ऐमीनो अम्लों को ऊर्जा खर्च करके "सक्रियित" (activate) करना जरूरी है, जिससे कि पेप्टाइड संश्लेषण ऊष्मागतिकतः संभव हो सके। दूसरी बात यह है कि ऐमीनो अम्लों mRNA कोडॉन के क्षारकों को अपने आप पहचान नहीं सकते हैं। प्रोटीन जैव संश्लेषण में ये दोनों ही "समस्याएं" ऐमीनो अम्लों को उनके विशिष्ट tRNA से संलग्न करके हल की जा सकती हैं। इस अभिक्रिया में ATP की जरूरत पड़ती है और इसे ऐमीनो अम्लों का सक्रियण कहते हैं। इसके बाद जो ऐमीनो ऐसिल-tRNA (aa-tRNA) बनता है, वह प्रोटीन जैवसंश्लेषण में भाग लेता है।

aa-tRNA का निर्माण ऐमीनोऐसिल tRNA सिन्थेटेस कहलाने वाली विशिष्ट एन्जाइमों द्वारा उत्प्रेरित होता है। ये एन्जाइम tRNA के अन्त्य (terminal) राइबोस के 3' —OH समूह और ऐमीनो अम्ल के बीच एस्टर बंधन (linkage) स्थापित करने में सहायता करते हैं। सारी की सारी अभिक्रिया को ATP की जरूरत होती है और इसे नीचे दिए गए ढंग से निरूपित (represent) किया जा सकता है:



केवल प्रारंभी Met-tRNA<sup>Met</sup> और P Met-tRNA<sup>Met</sup> ही ऐसे ऐमीनोऐसिल-tRNA हैं, जो सीधे ही P स्थल पर चले जाते हैं। बाकी सारे ऐमीनोऐसिल-tRNAs राइबोसोम के A स्थल से जाते हैं।

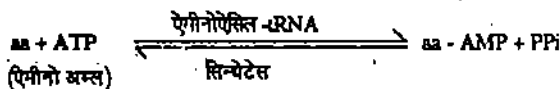
ऐमीनो अम्ल

tRNA का 3' सिरा

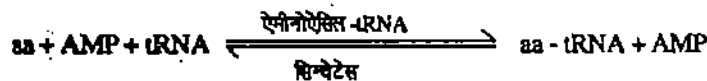
(ऐमीनोऐसिल-tRNA)

यह अभिक्रिया अकार्बनिक (inorganic) पाइरोफॉस्फेट द्वारा उत्प्रेरित पाइरोफॉस्फेट आयन (PPi) के जलअपघटनी निष्कासन (hydrolytic removal) द्वारा संपन्न होती है। इस तरह, प्रोटीन जैव संश्लेषण के लिए ऐमीनो अम्लों का सक्रियण वसाओं के जैव संश्लेषण में वसा अम्लों का सक्रियण से मिलता-जुलता है (इकाई 8)। वसाओं के जैव संश्लेषण की तरह ऐमीनो अम्लों का सक्रियण भी दो-चरण वाला प्रक्रम है, जिसमें एन्जाइम बंधित ऐमीनोऐसिल AMP मध्यवर्ती (intermediate) के रूप में होता है।

- 1) एन्जाइम (ऐमीनोऐसिल-tRNA सिन्थेटेस) द्वारा ऐमीनो अम्ल का सक्रियण



- 2) ऐमीनो अम्ल का aa-AMP से विशिष्ट tRNA पर स्थानांतरण



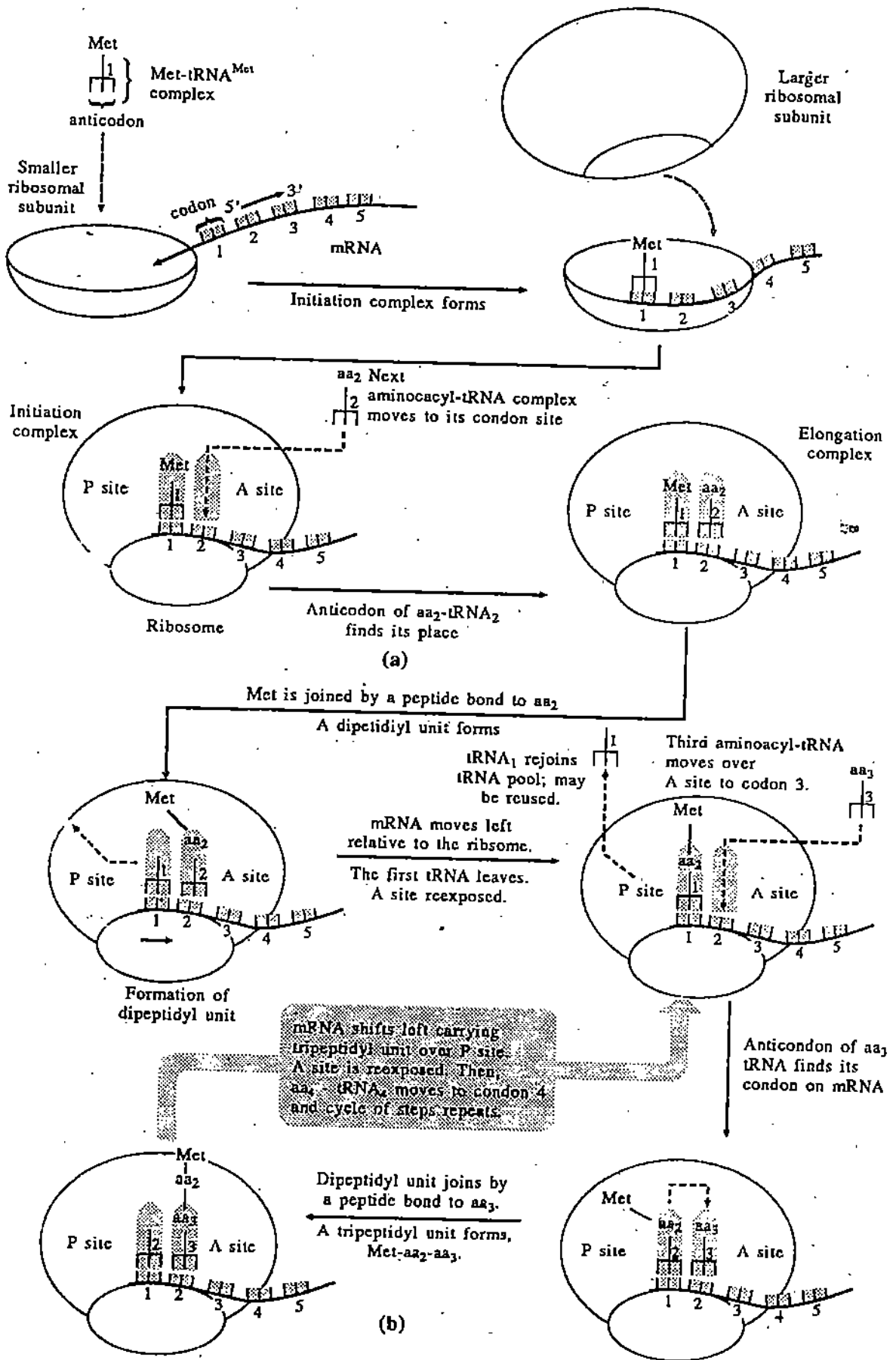
aa-tRNA को "बाधित" (charged) tRNA भी कहते हैं।

aa-tRNA सिन्थेटेस असाधारण रूप से विशिष्ट होते हैं। वे कोशिकीय (cellular) ऐमीनो अम्ल निकाय (pool) में से, जिसमें बहुत समान संरचनाओं वाले ऐमीनो अम्ल (जैसे कि Ile, Val, Phe, Tyr आदि) होते हैं, न केवल सही ऐमीनो अम्ल को बल्कि tRNA की पूरी की पूरी श्रेणी (range) से उपयुक्त tRNA को भी पहचान लेते हैं। यह प्रक्रम आश्चर्यजनक रूप से त्रुटिहीन है।

### 14.5.2 पॉलिपेप्टाइड संश्लेषण का प्रारंभ

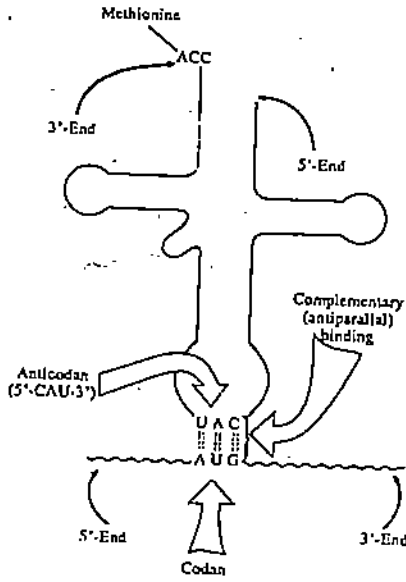
सक्रियित ऐमीनो अम्ल यानी कि ऐमीनोऐसिल tRNAs राइबोसोमों पर विसरित (diffuse) हो जाते हैं, जो पॉलिपेप्टाइड शृंखला निर्माण स्थल हैं। पॉलिपेप्टाइड संश्लेषण विलयन (solution) में कभी भी नहीं होता बल्कि इसे हमेशा ही राइबोसोमों की जरूरत होती है जो आनुवंशिक कोड के अनुरूप ठीक-ठीक संरेखण (alignment) के लिए aa-tRNA और mRNA को अभिविन्यस्त करते हैं। मेथायोनीन (Met) निरपवाद रूप से यूकैरियोटों में पेप्टाइड प्रारंभक अपशिष्ट और प्रोकैरियोटों में N-फॉर्मिलमेथायोनीन (fMet) के रूप में होती है।

प्रारंभ संकर-mRNA सावुत राइबोसोम और प्रारंभिक ऐमीनोऐसिल-tRNA योगोत्पाद (रिडेक्ट) का बना पुंज है।



चित्र 14.4 : (क) पॉलिपेप्टाइड के संश्लेषण के आरंभ में दीर्घीकरण संकेत का निर्माण; (ख) पॉलिपेप्टाइड संश्लेषण में दीर्घीकरण के चरण; (क) प्रारंभ से बनने वाली डाइपेप्टिडित यूनिट Met-aa<sub>2</sub> में अब तीसरा ऐमीनो-अम्ल अवशिष्ट, aa<sub>3</sub> मिला जाता है।

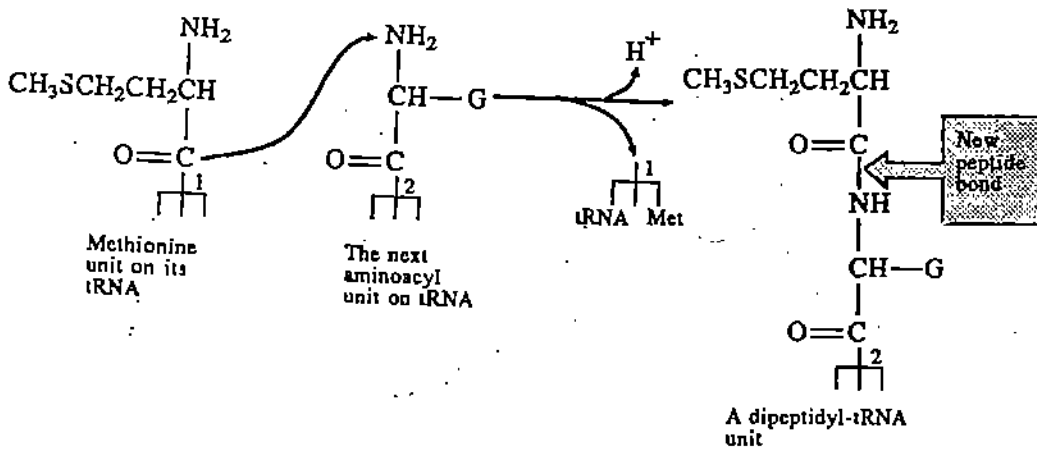
फॉर्मिल समूह एन्जाइम: सन्निविष्ट (introduce) कराया-और हटा दिया जाता है। मेथायोनीन आवेशित tRNA (Met-tRNA<sup>Met</sup>) राइबोसोम की सतह पर P स्थल पर अपने प्रतिकोडॉन से सुमेलित mRNA के प्रथम (आरंभ) कोडॉन पर विराजमान हो जाता है (चित्र 14.5)। अब द्वितीय aa-tRNA यूनिट, यानी ऐमीनोएसिल समूह aa<sub>2</sub> वाला tRNA स्थल A (ऐमीनोएसिल बंधन स्थल) पर सुमेलन कोडॉन से बंध जाता है। फलस्वरूप, ऐमीनोएसिल यूनिटें पास-पास स्थित हो जाती हैं और पेप्टाइड आबंध बनना (शृंखला दीर्घीकरण) शुरू हो जाता है।



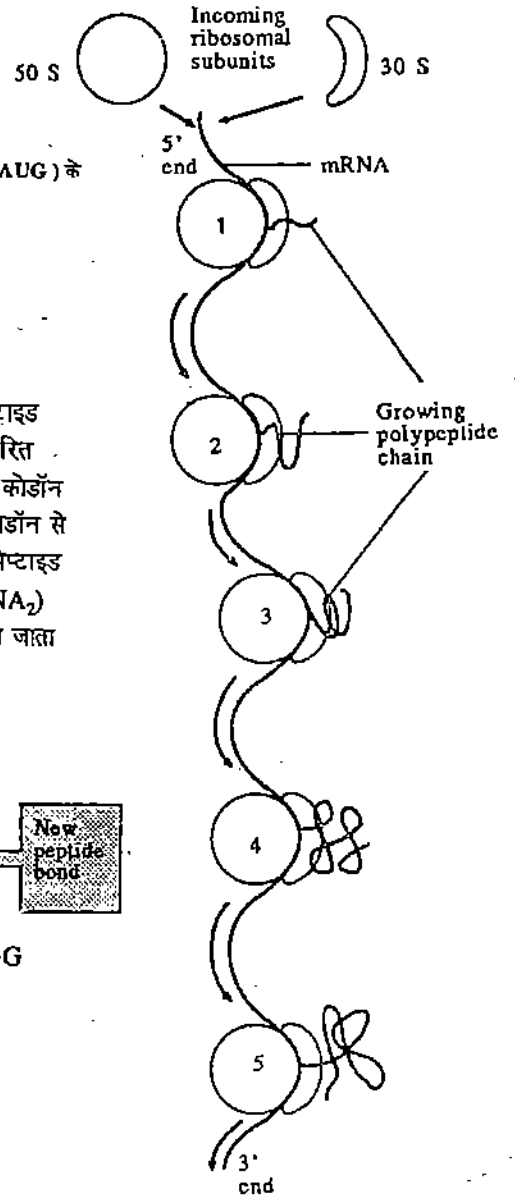
चित्र 14.5: मेथायोनिन tRNA (Met-tRNA) का प्रतिकोडॉन (CAU) का मेथायोनीन के लिए mRNA कोडॉन (AUG) के साथ पूरक-बंधन (complementary binding), ऐमीनो अम्ल संलग्न स्थल भी दिखाया गया है

### 14.5.3 पॉलिपेप्टाइड शृंखला का दीर्घीकरण

प्रथम आवेशित tRNA यानी कि Met-tRNA<sub>1</sub> अपने ऐमीनो अम्ल (Met) को द्वितीय आवेशित tRNA (tRNA<sub>2</sub>) के aa<sub>2</sub> ऐमीनो अम्ल पर स्थानांतरित कर देता है और ऐमाइड आबंध (amide bond) या पेप्टाइड बन जाता है। यह प्रक्रम पेप्टिडिल ट्रांसफेरेस (peptidyl transferases) नामक कुछ एन्जाइमों द्वारा उत्प्रेरित होता है। P स्थल पर मुक्त किया गया tRNA (tRNA<sub>1</sub>) mRNA को त्याग देता है और mRNA एक कोडॉन आगे बढ़ जाता है। तीसरा आवेशित tRNA (tRNA<sub>3</sub>) अपने प्रतिकोडॉन का A स्थल के ऊपर तीसरे कोडॉन से सुमेलन करता है। यह स्थल एक कोडॉन की बाईं ओर होने वाली गति के कारण खाली हुआ था। डाइपेप्टाइड Met-aa<sub>2</sub> का aa<sub>3</sub> ऐमीनो अम्ल पर स्थानांतरित हो जाने से दीर्घीकरण होता है और मुक्त tRNA (tRNA<sub>2</sub>) वियोजित (dissociate) हो जाने से mRNA A स्थल से P स्थल को बाईं ओर एक कोडॉन विस्थापित हो जाता है। शृंखला की अपेक्षित लंबाई हो जाने तक प्रक्रम बार-बार दोहराया जाता है।



mRNA के प्रत्येक रज्जुक (Strand) को विशेष प्रोटीन की बहुप्रतियां (multiple copies) बनाने के लिए काम में लाया जा सकता है। अनेक राइबोसोम -10 से लेकर 20 तक सामान्यतया mRNA के एकल रज्जुक से बंधते हैं। प्रत्येक राइबोसोम स्वतंत्र रूप से एक पॉलिपेप्टाइड बनाता है। सम्पूर्ण संकर (complex) को पॉलिपेप्टाइडोसोम कहते हैं।



पॉलिपेप्टाइडोसोम

इस स्थान पर यह जान लेना बहुत जरूरी है कि पेप्टाइड शृंखला एकल ऐमीनो अम्ल जोड़ने से चरणबद्ध बढ़ती है। इसका ऐमीनो टर्मिनल से आरंभ होकर कार्बोऑक्सिल टर्मिनल पर समापन होता है। mRNA के कोडॉनों का "वाचन" 5'- से 3'- तक होता है।

### 14.5.4 पॉलिपेप्टाइड शृंखला निर्माण का समापन

एक बार राइबोसोम किसी एक शृंखला समापन कोडॉन (अनर्थक कोडॉन) तक नीचे चला जाता है, तो पॉलिपेप्टाइड निर्मुक्त (release) हो जाती है। राइबोसोम को दूसरी प्रोटीन या पॉलिपेप्टाइड शृंखला के संश्लेषण के लिए दुबारा काम में लाया जाता है।

राइबोसोम को छोड़ देने के बाद पॉलिपेप्टाइड शृंखला अपनी द्वितीयक (secondary) तृतीयक (tertiary) और चतुर्थक (quaternary) संरचनाएं अपना लेती है। (इकाई 5)।

प्रोटीन जैव संश्लेषण के इस सरलीकृत वर्णन में अनेक विवरण छूट गए हैं। उदाहरण के लिए प्रारंभिक Met-IRNA<sup>Met</sup>-mRNA- राइबोसोम संकर के निर्माण में विभिन्न "प्रारंभन कारकों" (initiation factors) की भूमिका का वर्णन नहीं किया गया है। इसी तरह mRNA के साथ-साथ राइबोसोम की गति के बारे में जिसमें GTP की आवश्यकता पड़ती है और जिन निर्मुक्त कारकों की वजह से जो पूर्ण बन चुकी पॉलिपेप्टाइड शृंखला की निर्मुक्ति होती है, उनके बारे में ब्यौरा नदारद है। इस विषय में जिन विद्यार्थियों की दिलचस्पी है, वे इन बातों के विवरण के लिए जैव रसायन की कोई भी उच्च पाठ्य पुस्तक पढ़ सकते हैं।

बोध प्रश्न 2

पॉलिपेप्टाइड शृंखला का दीर्घीकरण किस स्थल पर होता है ?

- |                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| क) A-स्थल             | ख) P-स्थल                 |
| ग) A और P स्थल के बीच | घ) A और P दोनों स्थलों पर |

### 14.6 प्रोटीन जैवसंश्लेषण का नियमन

किसी जीवधारी में विभिन्न प्रोटीनों की मांगें उसकी शरीरक्रियात्मक अवस्था (physiological state) और पर्यावरण (environment) के अनुसार बदलती रहती हैं। इसके अलावा, यह भी आवश्यक है कि कुछ प्रोटीनों अन्य प्रोटीनों की तुलना में बड़ी मात्रा में संश्लेषित हों। कुछ ऐसी भी हैं, जिनका संश्लेषण मुख्यतः चालू पर्यावरणों की अनुक्रिया (response) में होता है। आवश्यकता न होने पर ऐसी प्रोटीनों का या तो संश्लेषण नहीं होता या वे अत्यधिक कम मात्रा में बनती हैं। ऐसा माना जाता है कि ऐसी परिस्थितियों में संवर्धित जीन अभिव्यक्त (express) नहीं होता।

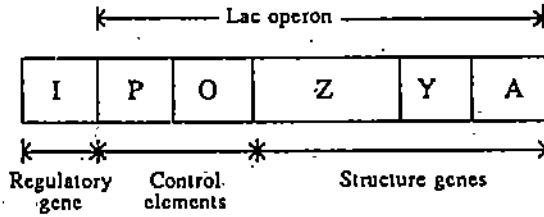
कोशिका में किसी भी प्रोटीन की सांद्रता (concentration) इसकी संश्लेषण-दर और निम्नीकरण (degradation) पर निर्भर करती है। इस भाग में हम केवल प्रोटीन जैव संश्लेषण की दर के नियमन के बारे में विचार करेंगे। अब तक आप यह तो निश्चित ही जान चुके होंगे कि प्रोटीन जैव संश्लेषण प्रक्रम में दो प्रमुख चरण हैं, जो अनुलेखन (transcription) (इकाई 13) और स्थानांतरण (translation) (यह इकाई) कहलाते हैं। प्रोकैरियोटों में नियंत्रण मुख्यतः अनुलेखन-स्तर पर होता है। दूसरी तरफ, यूकैरियोटों में प्रोटीन जैव संश्लेषण का नियमन स्थानांतरण-स्तर पर होता है। यूकैरियोटों में अनुलेखन प्रतिरूपों (transcriptional patterns) में परिवर्तन कोशिका विभेदन (cell differentiation) के दौरान होता है।

प्रोकैरियोटों में जैसे भी और जब भी जरूरत हो, उसी हिसाब से प्रोटीनों के संश्लेषण के सिद्धांत को उजागर करने वाला सुप्रसिद्ध उदाहरण *ऐशेरिकिया कोलाई* (*Escherichia coli*) के  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेस (लैक्टोस भी कहते हैं) का विप्रेरण (induction) है। ये जीवाणु ऊर्जा और कार्बन के स्रोत के रूप में ग्लूकोस वाले माध्यम से सुगमता से बढ़ते हैं। इन परिस्थितियों में जीवाणु,  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेस की बहुत थोड़ी सी मात्रा संश्लेषित करते हैं। अगर ग्लूकोस की अनुपस्थिति में ये ही जीवाणु ऐसे माध्यम में स्थानांतरित कर दिए जाएं जिनमें लैक्टोस हो, तो वे  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेस का संश्लेषण शुरू कर देते हैं और अच्छी तरह बढ़ने लगते हैं। लैक्टोस को विप्रेरक (inducer) कहते हैं और गैलेक्टोसिडेस को दूसरे एन्जाइमों, जैसे कि ग्लाइकोलिटिक (glycolytic) की तुलना में विप्रेरणीय एन्जाइम (inducible enzyme) कहते हैं। विप्रेरणीय एन्जाइमों को सभी परिस्थितियों में संश्लेषित किया जा सकता है। इन्हें अहेतुक एन्जाइम (constitutive enzyme) कहते हैं।  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेस का विप्रेरण अन्य  $\beta$ -गैलेक्टोसाइडों द्वारा भी हो सकता है। आमतौर पर जिस विप्रेरक को सबसे ज्यादा काम में लाया जाता है, वह है -आइसोप्रोपिल योयोगैलेक्टोसाइड। एन्जाइम द्वारा जलअपटित (hydrolysis) न होने के कारण वृद्धि माध्यम (growth medium) में इसकी सांद्रता नियत रहती है। अगर लैक्टोस पर बढ़ने वाले जीवाणुओं को एकत्रित किया जाए-धोया जाए और ग्लूकोस माध्यम में स्थानांतरित किया जाए तो  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेस का संश्लेषण फिर से न्यूनतम स्तर तक घट जाता है। जीवाणुओं की जैसे भी और जब भी आवश्यकता हो, उसी के अनुसार एन्जाइमों के सेट (set) को संश्लेषित करने की योग्यता कोशिकीय अर्थव्यवस्था (cellular economy) के लिए महत्वपूर्ण है और यह कई किस्म के पर्यावरणों में वर्धन (grow) करने की अनुकूलनशीलता (adaptability) देती है। इसके साथ-साथ कोशिका को ऐसी प्रोटीनों को संश्लेषित नहीं करना पड़ता जिनकी जरूरत नहीं होती। आवश्यकतानुसार एन्जाइम संश्लेषण की चालू हो जाने और बंद हो जाने की इस क्रियाविधि की रूपरेखा नीचे भी गई है।

लैक्टोस की तरह कुछ यौगिक हैं जिनकी वजह से कुछ एन्जाइमों की मात्रा में कमी आ जाती है ऐसे यौगिक सहव्यमनकर (corepressor) कहलाते हैं।

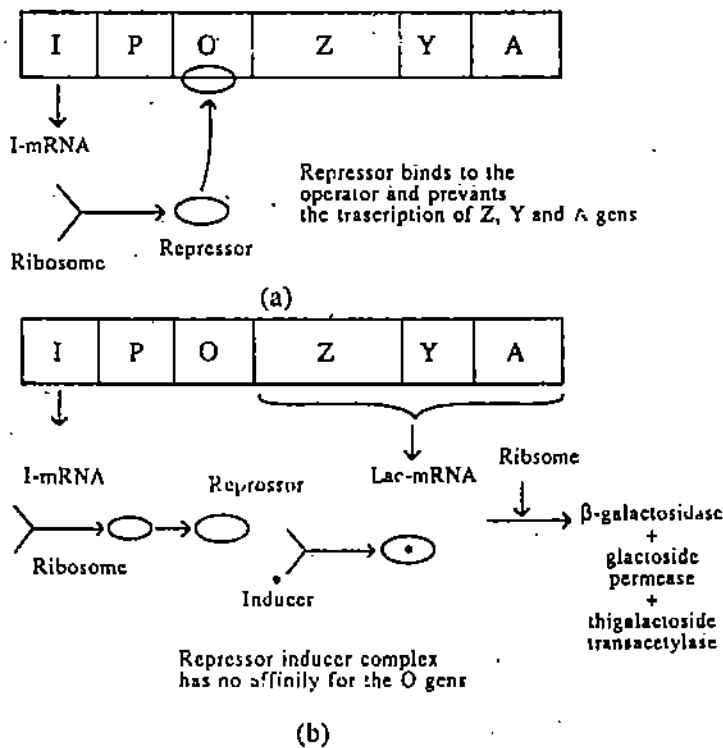
अनेक संरचनात्मक जीव यानी अलग-अलग पॉलिपेप्टाइड श्रृंखलाओं को विनिर्दिष्ट करने वाले जीन जीवाण्वीय राइबोसोम पर लगातार विन्यस्त या कहिए व्यवस्थित पाए गए हैं। इन जीनों और उनके नियंत्रण तत्वों का संग्रह "ओपेरॉन" कहलाता है। ऊपर दिए गए मामले में यह लैक (*lac*) ओपेरॉन है। इस बारे में नीचे चर्चा की जाएगी। लैक-ओपेरॉन तीन एंजाइमों के संश्लेषण के लिए उत्तरदायी है। ये हैं-  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेस, गैलेक्टोसाइड परमीएस और थायॉगैलेक्टोसाइड ट्रांसऐसीटिलेस। संगत तीन संरचनात्मक जीन सटे हुए स्थित होते हैं और क्रमशः Z, Y और A जीन कहलाते हैं। इनके एकदम बाद ही नियंत्रण तत्व होते हैं, जिनके नाम हैं-प्रचालक (operator) और वर्धक (promotor) जीन। ये पाँचों जीन मिलकर लैक ओपेरॉन बनाते हैं जो लैक्टोस उपापचय (metabolism) और उसके नियंत्रण में मध्यम (mediating) बनकर प्रोटीनों के संश्लेषण के लिए उत्तरदायी है। इसके समीप ही दूसरा जीन स्थित होता है- नियामक (regulatory) या "I" जीन (चित्र 14.6)।

ओपेरॉन संरचनात्मक जीनों के समूह से गठित होते हैं। ये जीन एकल संदेश और साथ ही उनके सम्बद्ध नियंत्रण तत्वों के रूप में अनुलिखित (transcribe) होते हैं। ओपेरॉन एकल दमनकर द्वारा नियंत्रित होता है।



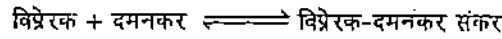
चित्र 14.6: ई. कोलाई लैक ओपेरॉन का यानी लैक्टोस उपापचय की प्रोटीनों का कोडॉन करने वाले जीन और उनकी अभिव्यक्ति को नियंत्रित करने वाले नियंत्रण स्थल का आनुवंशिक मानचित्र

नियामक "I" जीन अपना संगत mRNA पैदा करता है जो I-mRNA कहलाता है। I-mRNA राइबोसोम से संयोजन और स्थानांतरण के बाद एक विशिष्ट प्रोटीन का संश्लेषण करता है, जिसे दमनकर (repressor) कहते हैं। इस प्रोटीन में O जीन के लिए अति बंधुता (high affinity) होती है और यह विशिष्ट रूप से O जीन से बंधन करती है। यह बंधन लैक ओपेरॉन के अनुलेखन को रोकता है। इस प्रकार लैक्टोस उपापचय का संश्लेषण नहीं हो पाता (चित्र 14.7 क)। यह स्थिति विप्रेरक की अनुपस्थिति में व्याप्त रहती है यानी की उस स्थिति में जब जीवाणु ग्लूकोस माध्यम में वर्धित हो रहे हों। जब विप्रेरक मौजूद होता है, तो यह दमनकर से विशिष्ट रूप से बंधित हो जाता है और एक विप्रेरक-दमनकर संकर (inducer repressor complex) को जन्म देता है। इस संकर की O जीन के प्रति बंधुता नहीं होती। प्रचालक (O-जीन) से दमनकर के न बंध पाने की हालत में, संरचनात्मक जीन लैक-mRNA उत्पन्न करने और विशिष्ट प्रोटीनों के संश्लेषण को नियमन के लिए अनुलिखित होते हैं (चित्र 14.7 ख)।



चित्र 14.7: ई. कोलाई के लैक-ओपेरॉन की अभिव्यक्ति  
क) विप्रेरक की अनुपस्थिति;  
ख) विप्रेरक की उपस्थिति में

ध्यान दें कि विप्रेरक-दमनकर पारस्परिक क्रिया (interaction) उत्क्रमणीय (reversible) है।



अगर विप्रेरक की सान्द्रता घट जाए, तो संकर विघोजित हो जाता है। मुक्त दमनकर प्रचालक से बंध सकने में और लैक ओपेरॉन के अनुलेखन को बंद करने में समर्थ है। जीवाण्वीय mRNA की अल्प आयु होती है। इनकी औसत जीवन अवधि 2-3 मिनट की है। इसलिए मौजूदा लैक mRNA तेजी से निम्नीकृत (degraded) हो जाता है और  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेस संश्लेषण दो मिनट में ही बंद हो जाता है।

यूकैरियोटो में प्रोटीन जैवसंश्लेषण का नियमन अधिक जटिल है। जैसाकि ऊपर उल्लेख किया जा चुका है, यह स्थानांतरण स्तर पर परिचालित होता है। इसमें प्रारंभन कारकों का उत्क्रमणीय सक्रियण/निष्क्रियण होता है। इन कारकों की नई पॉलिपेप्टाइड शृंखला का संश्लेषण आरंभ करने के लिए जरूरत पड़ती है। यह नियमन प्रारंभन कारक के फॉस्फोरिलीकरण (phosphorylation) और विफॉस्फोरिलीकरण (dephosphorylation) द्वारा संपन्न होता है। इसकी विधि वैसी ही है, जैसी कि प्रोटीन एन्जाइम के उत्क्रमणीय सहसंयोजक रूपांतरण (covalent modification) द्वारा एन्जाइम सक्रियता के नियमन के अंतर्गत वर्णित की गई है। दूसरी क्रियाविधि में जो ज्यादातर भ्रूणीय अवस्था (embryonic stage) पर परिचालित होती है, किसी प्रोटीन के संयोजन द्वारा mRNA का "गोपन" (masking) और फलस्वरूप इसका स्थानांतरण रूक जाता है।

### 14.7 प्रतिजैविक : प्रोटीन जैव संश्लेषण का संदमन

प्रोटीन जैवसंश्लेषण किसी भी जीव के जीवन का अनिवार्य भाग है। एक ताह से अगर प्रोटीन संश्लेषण किसी तरह रुक जाता है, तो जीव जीवित नहीं रह सकता। कुछ प्रतिजैविकों की क्रिया में इस तथ्य का शोषण किया गया है।

प्रतिजैविक (antibiotic) की परिभाषा इस प्रकार है : यह सूक्ष्मजीव (micro organism) द्वारा उत्पन्न एक यौगिक है जो थोड़ी सी सांद्रता में दूसरे सूक्ष्मजीव की वृद्धि और चयापचय का संदमन (inhibit) करता है। प्रतिजैविकों का प्रोटीन संश्लेषण और DNA तथा RNA संश्लेषण के व्योरे को स्पष्ट करने के लिए नैदानिकतः और अनुसंधान अभिकर्मकों के रूप में व्यापक उपयोग हो रहा है। जीवाणुओं में प्रोटीन संश्लेषण का निषेध (prohibit) करने वाले सैकड़ों प्रतिजैविकों में से कुछ की सूची सारणी 14.2 में दी गई है। इनमें से कुछ की केवल सीमित नैदानिक उपयोगिता है क्योंकि वे भी प्राणी कोशिकाओं का संदमन करते हैं और इस नाते जीवाणु तथा परपोषी (host) दोनों ही के लिए अविषालु (toxic) हैं।

सारणी 14.5: प्रोटीन संश्लेषण के प्रतिजैविक संदमक

प्रतिजैविक	क्रिया
स्ट्रेप्टोमाइसिन	प्रारंभन का संदमन करती है और इसकी वजह से mRNA का गलत वाचन होता है यानी कि वह गलत पढ़ा जाता है (क्रैकरोट)।
टेट्रासाइक्लीन	30S उपयूनिट से बंधती है और ऐमीनोएसिल tRNA के बंधन का संदमन करती है (क्रैकरोट)।
क्लोरेट्रेमिन्कोल*	50S राइबोसोमीय उपयूनिट की पेप्टिडिल ट्रांसफेरेस सक्रियता का संदमन करती है (क्रैकरोट)।
साइक्लोसेरिमाइड*	60S राइबोसोमीय उपयूनिट की पेप्टिडिल ट्रांसफेरेस सक्रियता का संदमन करती है (यूकैरियोट)।
एरिथ्रोमाइसिन	50S उपयूनिट से बंधन करती है और स्थानांतरण (translocation) का संदमन करती है (क्रैकरोट)।
फ्लोमाइसिन*	ऐमीनोएसिल-tRNA के तुल्य रूप (analog) कार्य करते हुए परिचलकपूर्ण (premature) शृंखला समाप्त करती है। (क्रैकरोट और यूकैरियोट)।

\* परपोषी में भी सक्रिय

स्ट्रेप्टोमाइसिन उदाहरण के लिए, Met-tRNA को P स्थल पर बंधने में बाधा डालती है और इस प्रकार पॉलिपेप्टाइड शृंखला के संश्लेषण के प्रारंभन का संदमन करती है। साथ ही इससे mRNA गलत पढ़ा जाता है। इससे प्रारंभन और दीर्घिकरण चरणों का संदमन होता है। बाइबार्ब होने वाली त्रुटि यह है कि फेनिलएलानिन (UUU) की जगह आइसोल्यूसीन (AUU) का निवेशन (insertion) होता है। टेट्रासाइक्लीन भी ऐमीनोएसिल-tRNA का राइबोसोम से बंधन का संदमन करती है जिससे पॉलिसोम निर्माण और प्रोटीन संश्लेषण का संदमन होता है।



## इकाई 10 उपापचय - II

### इकाई की रूपरेखा

- 10.1 प्रस्तावना  
उद्देश्य
- 10.2 पाइरूवेट का ऐसीटिल -CoA में परिवर्तन
- 10.3 ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र  
TCA चक्र में ऐसीटिल -CoA का प्रवेश  
TCA चक्र की अन्य अभिक्रियाएं  
TCA चक्र में द्विविन संश्लेषण  
TCA चक्र की रससमीकरणमिती तथा और्जिकी  
TCA चक्र की केन्द्रीय भूमिका
- 10.4 वसाओं का उपापचय  
वसा अम्लों का ऐसिल -CoA में परिवर्तन  
ऐसिल -CoA का ऑक्सीकरण निम्नीकरण  
वसा अम्लों के उपचयन की और्जिकी  
वसा अम्लों का जैव संश्लेषण  
वसा अम्लों के जैव संश्लेषण तथा निम्नीकरण की और्जिकी की तुलना
- 10.5 सारांश
- 10.6 अंत में कुछ प्रश्न
- 10.7 उत्तर

### 10.1 प्रस्तावना

पिछली इकाई में आपने ग्लूकोस व अन्य शर्कराओं के पाइरूवेट में उपापचयी विघटन का अध्ययन किया था। अनायु परिस्थितियों में पाइरूवेट, जंतु कोशिका में लैक्टेट तथा खमीर कोशिकाओं में एथानॉल में परिवर्तित हो जाता है। ये अभिक्रियाएं ग्लाइकोलाइसिस प्रक्रिया को बनाए रखने के लिए  $NAD^+$  को पुनः उत्पन्न करने अर्थात्,  $NADH$  के उपचयन का कार्य करती हैं। जबकि वायुजीवी परिस्थितियों में  $NADH$  का उपचयन इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला द्वारा होता है, जिसमें यह अपने इलेक्ट्रॉन ऑक्सीजन पर स्थानांतरित करता है। इसकी चर्चा इकाई 8 में की गई है। इन परिस्थितियों में पाइरूवेट पहले ऐसीटिल-सहएन्जाइम A में परिवर्तित होता है फिर इसका  $CO_2$  तथा  $H_2O$  में उपचयन हो जाता है। ऐसीटिल -CoA का ऐसीटेट भाग एक चक्रीय उपापचयी पथ द्वारा उपचित होता है। इसे ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र अथवा क्रैव चक्र या सिट्रिक अम्ल चक्र कहते हैं। इसकी चर्चा हम प्रस्तुत इकाई में करेंगे। चूंकि पाइरूवेट ऐलानिन नामक ऐमीनो अम्ल से भी बनता है तथा ऐसीटिल -CoA स्वयं वसा अम्ल के विघटन का उत्पाद है, इसलिए ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र, उपापचय में एक केन्द्रीय भूमिका निभाता है। जहाँ पर कार्बोहाइड्रेटों, वसाओं तथा प्रोटीनों का उपापचय अभिसरित (converge) होता है (इकाई 9)। ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र अपने कुछ उपापचयों द्वारा कई ऐमीनो अम्लों के उपापचय से सीधे संबंधित है। इसके अलावा यह कुछ जैव अणुओं के जैव संश्लेषण के लिए पूर्वगामी भी उपलब्ध कराता है। इस इकाई में हम पाइरूवेट के ऐसीटिल -CoA में परिवर्तन, TCA चक्र द्वारा इसके उपचयन तथा वसा अम्लों के उपापचय का अध्ययन करेंगे। अगली इकाई उपापचय के नियमन से संबंधित है।

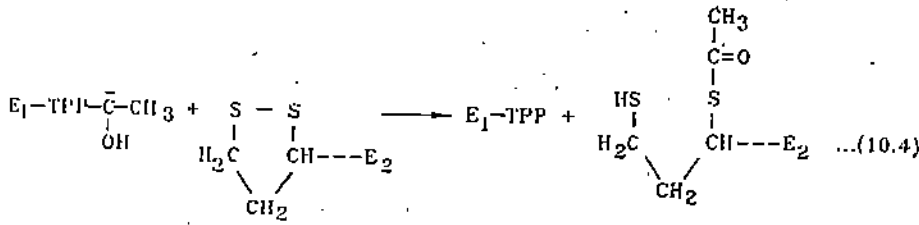
#### उद्देश्य

इस इकाई के अध्ययन के बाद आप :

- पाइरूवेट के ऐसीटिल -CoA में परिवर्तन से संबंधित अभिक्रियाओं का वर्णन कर सकेंगे,
- ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र के विभिन्न पदों का वर्णन कर सकेंगे,
- विभिन्न जैव अणुओं के जैव संश्लेषण के लिए पूर्वगामी उपलब्ध कराने के कार्य सहित, उपापचय में ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र की केन्द्रीय भूमिका की व्याख्या कर सकेंगे,
- वसा अम्लों के विघटन तथा जैव संश्लेषण के पथों का वर्णन कर सकेंगे, तथा



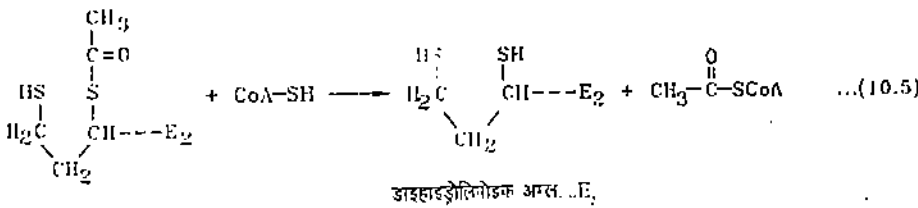
संभाव्य ऐलिडहाइड अथवा इतका सक्रिय रूप  $E_2$  के प्रॉन्थेटिक समूह, लिपोइक अम्ल से किया करता है, समीकरण 10.4.



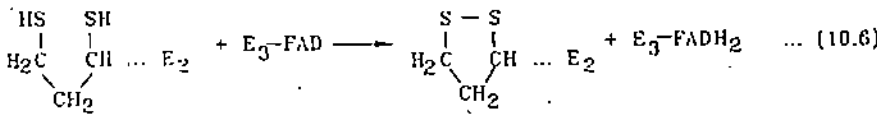
$E_1$  से जुड़ा लिपोइक अम्ल

आप देख सकते हैं कि इस अभिक्रिया में संभाव्य ऐलिडहाइड का कार्बोक्सिलिक अम्ल में उपचयन तथा लिपोइक अम्ल का डाइहाइड्रोलिपोइक अम्ल में अपचयन हो जाता है। इसके अलावा, अम्ल, थाइओलएस्टर के रूप में एन्ज़ाइम संकुल से ही जुड़ा रहता है।

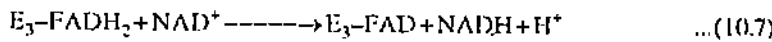
अगले पद में डाइहाइड्रोलिपोइक अम्ल से ऐसीटिल समूह का CoA-SH पर स्थानांतरण होता है, समीकरण 10.5.



$E_2$ -FAD से अभिक्रिया द्वारा इस डाइहाइड्रोलिपोइक अम्ल का पुनः लिपोइक अम्ल में उपचयन हो जाता है, समीकरण 10.6.



अंत में  $E_2$  के अपचित प्रॉन्थेटिक समूह अर्थात्  $FADH_2$  का  $NAD^+$  द्वारा पुनः उपचयन हो जाता है, समीकरण 10.7.

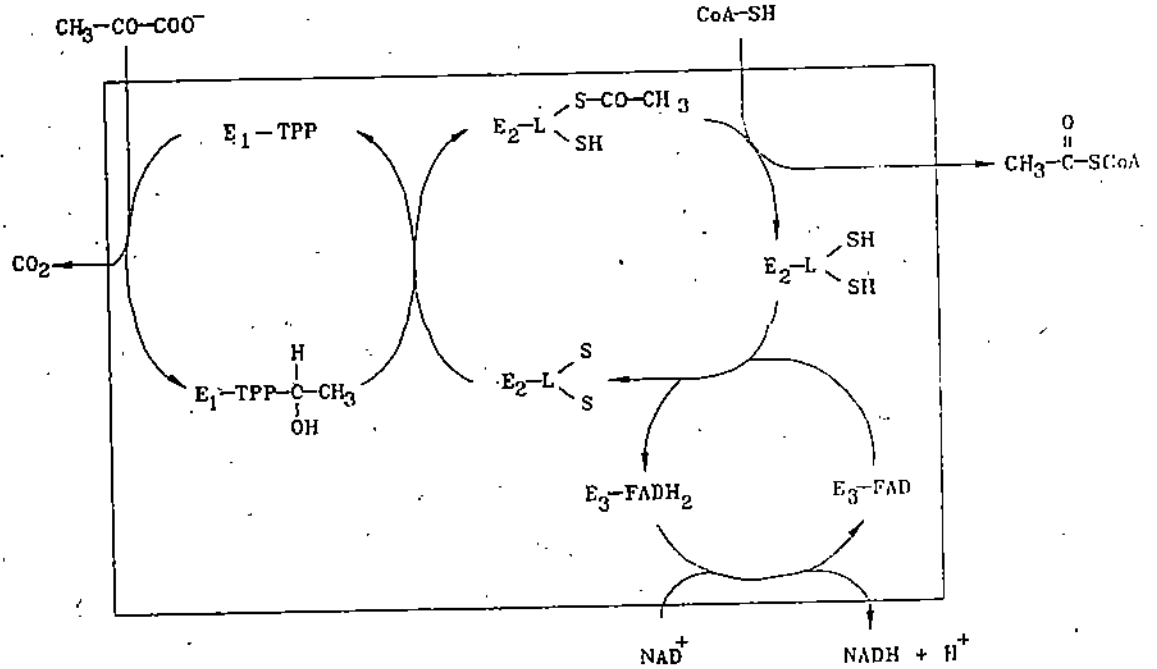


समीकरण 10.2 तथा 10.4 से 10.7 के योग से समीकरण 10.1 प्राप्त होती है। यहाँ हम देख सकते हैं कि पाइरूवेट ने कई अभिक्रियाएँ जैसे विकार्वोक्सिलीकरण, उपचयन तथा CoA-SH के थाइओल समूह से संघनन आदि की हैं परंतु इनमें कोई भी माध्यवर्ती माध्यम में मुक्त नहीं होता है। ये सभी एन्ज़ाइम से जुड़े रहते हैं तथा सीधे एक एन्ज़ाइम से दूसरे एन्ज़ाइम पर स्थानांतरित होते हैं। इस परिघटना को क्रियाधार प्रणालन (substrate channelling) कहते हैं।

चित्र 10.1 में इन अभिक्रियाओं को संक्षेप में दिया गया है। इसमें पाइरूवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल को एक डिब्बे के रूप में दर्शाया गया है। वैसे चित्र में दर्शाया गया है, पाइरूवेट, CoA-SH तथा  $NAD^+$  इस डिब्बे के अंदर जाते हैं जबकि  $CO_2$ , ऐसीटिल-CoA तथा NADH इससे बाहर जाते हैं।

इकाई 8 (सारणी 8.1) में बताया गया था कि थाइओलएस्टर आवंधन एक उच्च ऊर्जा आवंधन होता है। इसकी ऊर्जा ऐलिडहाइड (अथवा संभाव्य ऐलिडहाइड समूह) के उपचयन से प्राप्त होती है। यह ऊर्जा आंशिक रूप में थाइओलएस्टर आवंधन में संरक्षित होती है तथा शेष अपचित सहएन्ज़ाइम अर्थात्, NADH के रूप में संरक्षित होती है। आपको ध्यान होगा कि इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला द्वारा NADH के उपचयन में ऊर्जा का यह भाग ATP के रूप में पुनः प्राप्त हो जाता है। इस प्रकार यह बहुएन्ज़ाइमी संकुल, ऊर्जा संरक्षक के रूप में बहुत दक्ष होता है। पाइरूवेट के ऐसीटिल-CoA में परिवर्तन के अध्ययन के उपरान्त आइए, अब हम ऐसीटिल-CoA की नियति की चर्चा करें, जो TCA चक्र में प्रवेश करती है। आगे बढ़ने से पूर्व निम्नलिखित दोष प्रश्न को हल करने का प्रयास कीजिए।

13-11-11



चित्र 10.1 : पाइरूवेट डिहाइड्रोजेनेस (डिब्बा) द्वारा उत्प्रेरित पाइरूवेट के ऐसीटिल -CoA में परिवर्तन से संबंधित अभिक्रियाओं का संक्षिप्त निरूपण। L, लिपोइक अम्ल को दर्शाता है।

बोध प्रश्न।

निम्नलिखित में से सही कथन के आगे (✓) और गलत के आगे (x) का चिह्न लगाइए :

पाइरूवेट का ऐसीटिल-सहएन्ज़ाइम A तथा CO<sub>2</sub> में परिवर्तन

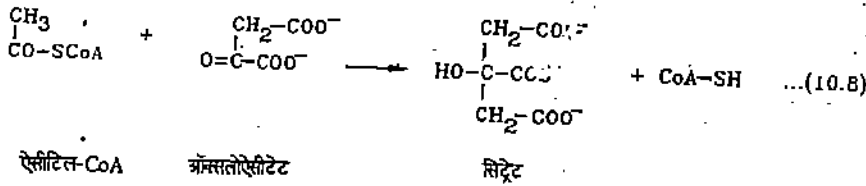
- मुख्यतः लिपोइक अम्ल द्वारा उत्प्रेरित होता है। ( )
- विफावोक्सिलीकरण, उपचयन तथा संघनन अभिक्रियाओं द्वारा होती है। ( )
- अनिवार्यतः अप्युत्क्रमणीय होता है। ( )
- ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र का हिस्सा होता है। ( )

### 10.3 ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र

वसा अम्लों के विघटन (भाग 10.4) तथा पाइरूवेट से प्राप्त ऐसीटिल अर्धांश (moiety) अभिक्रियाओं के एक चक्रीय सेट द्वारा कार्बन डाइऑक्साइड तथा जल में उपचित होता है। इस चक्रीय सेट को सिट्रिक अम्ल चक्र अथवा क्रेब का ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल (TCA) चक्र कहते हैं। इसका नाम, इसकी खोज करने वाले के नाम पर आधारित है। जैसा पहले बताया गया है यह चक्र उपापचयी पथों में केन्द्रीय भूमिका निभाता है क्योंकि इसके पूर्वगामी, पाइरूवेट तथा ऐसीटिल -CoA कार्बोहाइड्रेटों, वसा अम्लों तथा कुछ ऐमीनो अम्लों द्वारा प्राप्त हो सकते हैं। कुछ अन्य ऐमीनो अम्लों के विघटन से ऐसे उपापचयन प्राप्त होते हैं, जो इस चक्र के मध्यवर्ती होते हैं। इसके साथ-साथ इस चक्र के मध्यवर्ती कई जैव अणुओं के जैव संश्लेषण में पूर्वगमियों का कार्य करते हैं। ऑक्सैलोऐसीटेट से क्रिया द्वारा सिट्रेट बनाकर ऐसीटिल -CoA इस चक्र में प्रवेश करता है। इसका तथा इसके बाद होने वाली अभिक्रियाओं का वर्णन नीचे किया गया है।

#### 10.3.1 TCA चक्र में ऐसीटिल-CoA का प्रवेश

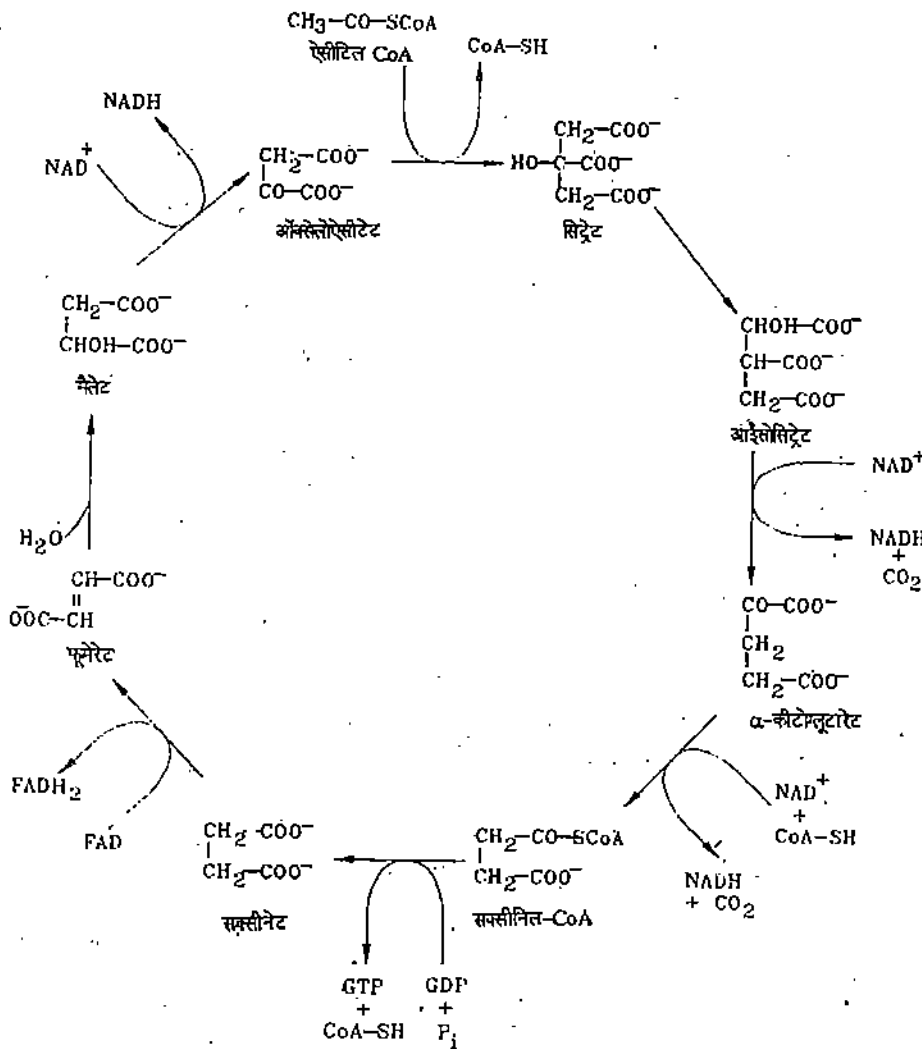
ऐसीटिल -CoA ऑक्सैलोऐसीटेट से अभिक्रिया करके सिट्रेट बनाता है तथा सहएन्ज़ाइम -A को मुक्त कर देता है (समीकरण 10.8)। इस अभिक्रिया को उत्प्रेरित करने वाले एन्ज़ाइम को सिट्रेट सिंथेस कहते हैं। पहले इस एन्ज़ाइम को संघनन करने वाले एन्ज़ाइम के रूप में जाना जाता था।



आप इस अभिक्रिया की एंजिम संघनन से समानता देख सकते हैं, अर्थात्, ऐसीटिल-CoA के α-CH समूह (CO से अगला) का कार्बोनिल समूह से संघनन। शरीरक्रियात्मक निकायों में नये C-C आबंध स्थापित करने के लिए अक्सर इस अभिक्रिया का उपयोग किया जाता है। आप इसकी तुलना ग्लूकोनिओजेनेसिस (इकाई 9) के दौरान ग्लिसरॉएलिहाइड-3-फॉस्फेट तथा डाइहाइड्रॉक्सीऐसीटोन फॉस्फेट से फ्रक्टोज-1,6-बिस-फॉस्फेट के बनने से कर सकते हैं।

### 10.3.2 TCA चक्र की अन्य अभिक्रियाएं

ऊपर दी गई अभिक्रिया में एक चार कार्बन वाला एक यौगिक 2-कार्बन वाली ऐसीटेट इकाई से संघनन द्वारा 6-कार्बन वाला यौगिक, सिट्रेट बनाता है। इस सिट्रेट पर कई अभिक्रियाएँ होती हैं जिनमें CO<sub>2</sub> के दो अणुओं का हास होता है तथा 4-कार्बन वाला मूल यौगिक पुनः प्राप्त हो जाता है। इन अभिक्रियाओं को संक्षेप में चित्र 10.2 में दर्शाया गया है।

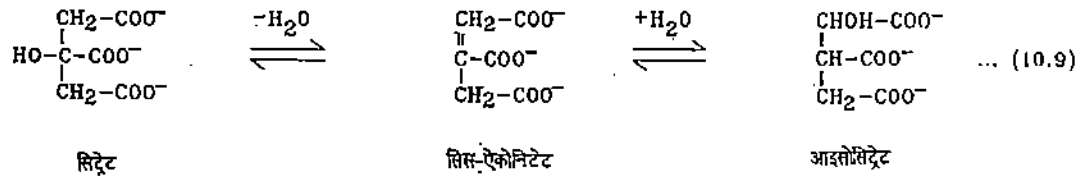


चित्र 10.2 : TCA चक्र की अभिक्रियाओं का संक्षिप्त निरूपण

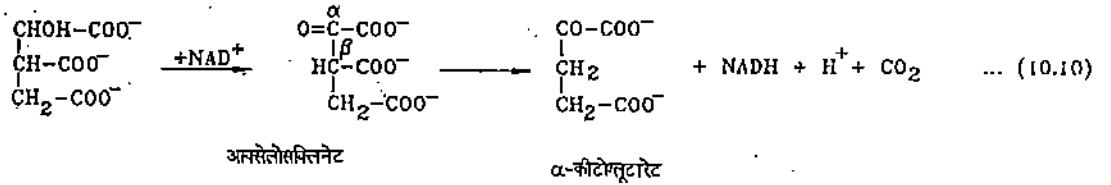
इस चक्र के आरंभ में ऐकोनिटेट नामक एन्जाइम की उपस्थिति में सिट्रेट का आइसोसिट्रेट में समावयवीकरण हो जाता है। यह एन्जाइम एक आयरन-सल्फर प्रोटीन होता है, जिसमें आयरन किसी हीम (heme) भाग से नहीं जुड़ा होता है। इसलिए इसे हीम रहित आयरन प्रोटीन भी कहते हैं। ऐसा प्रतिपादित किया गया है कि इस अभिक्रिया में पहले सिट्रेट का निर्जलीकरण होता है तथा फिर पुनर्जलयोजन होता है। सिस-ऐकोनिटेट इसमें

सिट्रेट तथा आइसोसिट्रेट के निर्जलीकरण उत्पाद ऐकोनिटेट के कारण एन्जाइम का नाम ऐकोनिटेट है।

मध्यवर्ती का कार्य करता है जैसा समीकरण 10.9 में दर्शाया गया है। यद्यपि इस क्रियाविधि का अभी सत्यापन नहीं हुआ है।

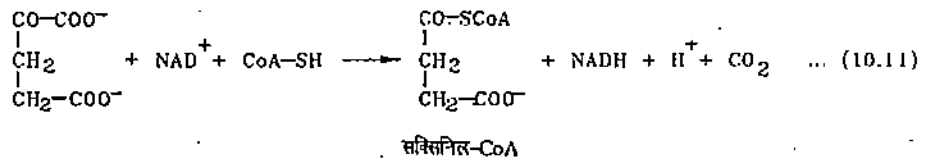


आइसोसिट्रेट, आइसोसिट्रेट डिहाइड्रोजेनेस की उपस्थिति में  $\text{NAD}^+$  से अभिक्रिया करके  $\alpha$ -कीटोग्लूटारेट बनाता है, जो एक 5-कार्बन वाला यौगिक है। ऐसा दो पदों में होता है। पहले पद में द्वितीयक ऐल्कोहॉल का कीटोन में उपचयन होता है, जबकि दूसरे पद में  $\beta$ -विकार्वोमिसलीकरण होता है।

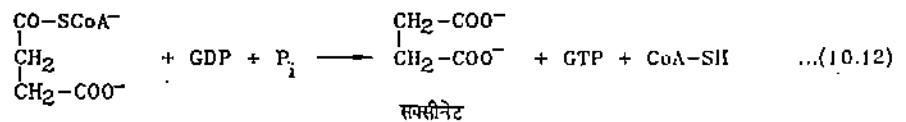


इस अभिक्रिया में  $\text{CO}_2$  का हास अभिक्रिया को पूर्णतया दाईं ओर ले जाने में सहायक होता है।

इससे अगली अभिक्रिया एक अन्य बहुएन्जाइमी संकुल नामतः  $\alpha$ -कीटोग्लूटारेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल की उपस्थिति में होती है। यह संकुल बहुत कुछ पाइरुवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल के समान ही है तथा इसकी प्रकृति भी लगभग वैसी ही है, ऐसा हम समीकरण 10.1 तथा 10.11 की तुलना से देख सकते हैं।

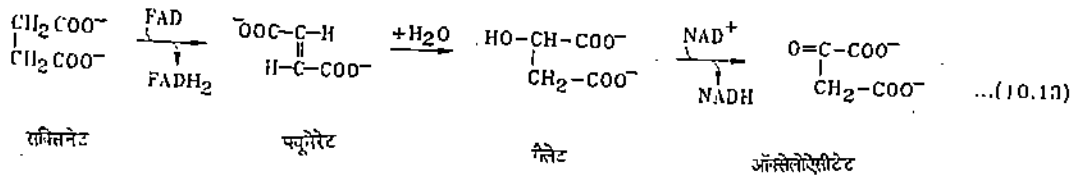


आपको ध्यान होगा कि सक्सिनिल-CoA में उपस्थित थाइओलएस्टर आबंध एक उच्च ऊर्जा आबंध होता है। यह ऊर्जा अगली अभिक्रिया में एक न्यूक्लिओसाइड ट्राइफॉस्फेट, GTP, के पायरोफॉस्फेट आबंध के रूप में पुनः प्राप्त हो जाती है। यह अभिक्रिया सक्सिनिल-सिंथेस नामक एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है। इस एन्जाइम का नाम समीकरण 10.12 में दी गई अभिक्रिया की विपरीत अभिक्रिया पर आधारित है।



आप देख सकते हैं कि समीकरण 10.10 व 10.11 दोनों की अभिक्रियाओं में  $\text{CO}_2$  के एक-एक अणु के निकलने से  $\text{CO}_2$  के कुल दो अणुओं का हास होता है। इसके परिणामस्वरूप एक चार-कार्बन वाला यौगिक बनता है। अगले तीन पदों में सक्सिनेट का 4-कार्बन वाले मूल यौगिक ऑक्सैलोऐसीटेट में रूपांतरण होता है। इससे चक्र पूरा हो जाता है तथा ऐसीटिल-CoA का अगला अणु चक्र में प्रवेश कर सकता है।

सक्सिनेट पर एक के बाद एक तीन अभिक्रियाएँ क्रमशः उपचयन, जलयोजन तथा एक और उपचयन अभिक्रियाएँ होती हैं। इनमें से पहली अभिक्रिया में सक्सिनेट से हाइड्रोजेन के दो परमाणुओं के फ्लेविन ऐडेनिन डाइन्यूक्लिओटाइड (FAD) पर स्थानांतरण से अपचित सहएन्जाइम (FADH<sub>2</sub>) तथा एक असंतृप्त अम्ल, फ्यूमरेट प्राप्त होता है। यह अभिक्रिया सक्सिनेट डिहाइड्रोजेनेस नामक एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है। हम यहाँ यह बताना चाहेंगे कि जब-जब किसी संतृप्त कार्बनिक यौगिक, सामान्यतः अम्ल अथवा इसके व्युत्पन्न में से हाइड्रोजेन के दो परमाणुओं को निकाल कर व C=C द्विआबंध बनाकर असंतृप्त यौगिक में परिवर्तित करना होता है, तब प्रकृति फ्लेविन न्यूक्लिओटाइड सहएन्जाइम का उपयोग करती है। दूसरी ओर पिरिडीन न्यूक्लिओटाइड सहएन्जाइमों  $\text{NAD}^+$  या  $\text{NADP}^+$  का उपयोग ऐल्कोहॉली अथवा ऐलिडहाइड समूह के उपचयन के लिए होता है। फ्यूमरेट, फ्यूमरेस की उपस्थिति में जल के एक अणु का संयोजन करके मैलेट बनाता है, जो मैलेट डिहाइड्रोजेनेस की उपस्थिति में  $\text{NAD}^+$  द्वारा ऑक्सैलोऐसीटेट में उपचित हो जाता है। ये तीन अभिक्रियाएँ नीचे दर्शाई गई हैं :



इस चक्र के कुछ मध्यवर्ती अन्य जैव अणुओं के उपापचय में भी हिस्सा लेते हैं। इन संबंधों के महत्व की चर्चा इस इकाई में बाद में की जाएगी। पहले निम्न बोध प्रश्न को हल करने का प्रयास कीजिए।

**बोध प्रश्न 2**

सही उत्तर को (✓) द्वारा चिन्हित कीजिए।

क) TCA चक्र को निरन्तरता के लिए किस यौगिक के पुनः बनने की आवश्यकता होती है ?

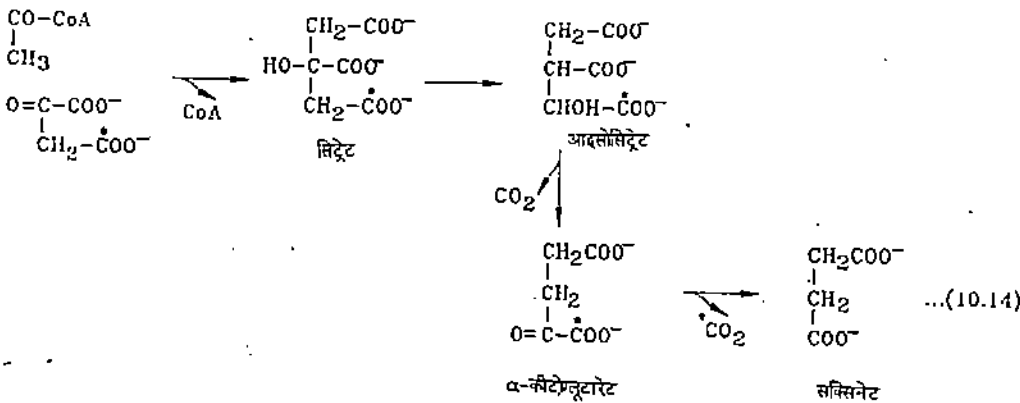
- i) पाइरुविक अम्ल
- ii) ऑक्सैलोऐसीटेट
- iii) सिट्रेट
- iv) मैलेट

ख) TCA चक्र में प्रवेश से पहले, पाइरुवेट किस में परिवर्तित होता है ?

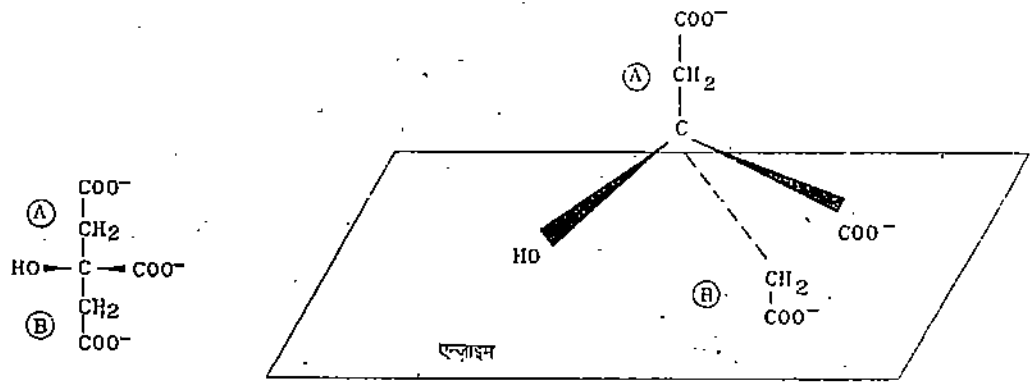
- i) ऐसीटिल -CoA
- ii) चेट
- iii) एथानॉल
- iv) ऑक्सैलोऐसीटेट

**10.3.3 TCA चक्र में त्रिविम रसायन**

TCA चक्र पर समस्थानिक अनुज्ञापक विधि (isotopic tracer techniques) के प्रयोग से प्राप्त परिणामों के आधार पर एन्जाइमों तथा कुछ प्रकार के पदार्थों के बीच अन्धोन्धक्रिया की त्रिविम रसायन का सामान्यीकरण किया गया है। उदाहरण के लिए, यदि ऑक्सैलोऐसीटेट में कीटो समूह से दूरस्थ कार्बोक्सिल कार्बन को C<sup>14</sup> द्वारा अंकित किया जाता है, तो संपूर्ण रेडियोधर्मिता α-कीटोब्यूटारेट में पाई जाती है और अगले पद अर्थात्, समीकरण 10.11 की अभिक्रिया में यह CO<sub>2</sub> के रूप में पुनः प्राप्त हो जाती है। इससे प्राप्त होने वाले सक्सिनेट में कोई रेडियोधर्मिता नहीं होती। इन सब परिणामों की व्याख्या केवल तभी संभव है, यदि सिट्रेट का सक्सिनेट में परिवर्तन नीचे दिए गए अभिक्रिया क्रम द्वारा होता है।



आप देख सकते हैं कि सिट्रेट के सममित अणु (symmetrical citrate) में दो -CH<sub>2</sub>-COO<sup>-</sup> समूह रासायनिक तौर पर एक समान हैं। इसलिए सिट्रेट से आइसोसिट्रेट बनने में दोनों के भाग लेने की बराबर संभावना है। यदि ऐसा हो तो केवल आधी रेडियोधर्मिता CO<sub>2</sub> तथा शेष आधी सक्सिनेट में होगी। परंतु प्रयोगों से पता चलता है कि संपूर्ण रेडियोधर्मिता CO<sub>2</sub> में ही पाई जाती है। इसके माने यह है कि ऐकोनिटैस एन्जाइम किसी प्रकार रासायनिक तौर पर समान -CH<sub>2</sub>-COO<sup>-</sup> के दोनों समूहों में अंतर करता है। ऑगस्टोन (Ogston) ने प्रतिपादित किया कि यह केवल तभी संभव है यदि क्रियाधार के तीनों समूह एन्जाइम के तीन विशिष्ट स्थानों से आवंधित हों, जैसा कि चित्र 10.3 में दर्शाया गया है।

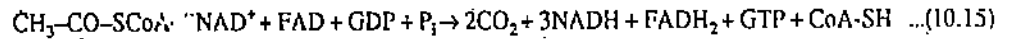


चित्र 10.3: सिट्रेट-एफोनिटेस संकुल की प्रतिपादित संरचना। एन्जाइम के सक्रिय स्थान पर OH, COO<sup>-</sup> तथा CH<sub>2</sub>-COO<sup>-</sup> समूहों से आबंधन के लिए विशिष्ट पूरक (specific complementary) स्थान होते हैं। OH तथा COO<sup>-</sup> समूह अपने स्थानों को नहीं बदल सकते हैं, इसलिए सिट्रेट की संरचना में 'स' द्वारा दर्शाया गया CH<sub>2</sub>-COO<sup>-</sup> समूह ही केवल सक्रिय स्थान से आबंधन कर सकता है। 'क' से अंकित CH<sub>2</sub>-COO<sup>-</sup> समूह दी गई ज्यामिती में सक्रिय स्थान से आबंधन नहीं बना सकता क्योंकि ऐसा करने के लिए OH तथा COO<sup>-</sup> समूहों को अपने विशिष्ट स्थानों को बदलना होगा।

सामान्य सूत्र CXYH<sub>2</sub> वाले यौगिकों जैसे, सिट्रेट, को पूर्वकिरेल (prochiral) कहते हैं। ये यौगिक एक ही पद में CXYZY जैसे किरेल अणुओं में परिवर्तित हो सकते हैं। इस प्रक्रिया में दो समावयवी किरेल अणु प्राप्त होते हैं। यह इस पर निर्भर करता है कि अभिकारक के किस H-परमाणु का Z समूह द्वारा प्रतिस्थापन होता है। चित्र 10.3 में दर्शाए गए एन्जाइम-क्रियाधार संकुल में दो -CH<sub>2</sub>COO<sup>-</sup> समूह रासायनिक तौर पर एक समान नहीं रहते क्योंकि उनमें से एक एन्जाइम से आबंधित है जबकि दूसरा नहीं। इसके अलावा अन्य दो समूहों अर्थात्, OH तथा COO<sup>-</sup> के विशिष्ट आबंधन के कारण ये अपने स्थानों को भी नहीं बदल सकते। जैव रासायनिक अभिक्रियाओं में इस प्रकार रासायनिक तौर पर समान समूहों में अंतर करने के कई उदाहरण मिलते हैं।

### 10.3.4 TCA चक्र की रससमीकरणमिती तथा और्जिकी

चित्र 15.2 अथवा TCA चक्र की अभिक्रियाओं के योग द्वारा हमें निम्न रससमीकरणमिती वाली संतुलित समीकरण प्राप्त होते हैं :



इस समीकरण में ... के अणुओं तथा प्रोटोनों को छोड़ दिया गया है। इकाई 8 में बताया गया था कि इलेक्ट्रॉन अभिगमन श्रृंखला द्वारा NADH के उपचयन में ATP के तीन अणुओं का संश्लेषण होता है। इसी प्रकार FADH<sub>2</sub> के प्रत्येक अणु के उपचयन से ATP के दो अणुओं का संश्लेषण होता है। इसके अलावा GTP, ATP के तुल्य होता है तथा निम्नलिखित अभिक्रिया द्वारा इसे ATP में परिवर्तित किया जा सकता है।



इस प्रकार ऐसीटिल CoA के 2-कार्बन वाले ऐसीटिल भाग के TCA चक्र द्वारा उपचयन में ATP के कुल (3×3) + (2×1) + 1 = 12 अणुओं का संश्लेषण होता है। यदि हम ग्लाइकोलाइस, उससे प्राप्त दो पाइरूवेट अणुओं के ऐसीटिल -CoA में परिवर्तन तथा TCA चक्र द्वारा उनके उपचयन के रूप में ग्लूकोस के एक अणु के पूर्ण उपचयन को लें, तो ऊर्जा का निम्न खाता प्राप्त होता है :

अभिक्रिया	संश्लेषित ATP की संख्या	अपचित सहएन्जाइम
ग्लूकोस → 2 पाइरूवेट (ग्लाइकोलाइस)	2	2NADH
2 पाइरूवेट + 2 CoA → 2 ऐसीटिल-CoA + 2CO <sub>2</sub> (पाइरूवेट डिहाइड्रोजेनेस संकुल)	-	2NADH
2 ऐसीटिल-CoA → 4CO <sub>2</sub> + 2 CoA (TCA चक्र)	2	6NADH + 2 FADH <sub>2</sub>
योग : ग्लूकोस → 6CO <sub>2</sub>	4	10NADH + 2FADH <sub>2</sub>



प्रत्येक  $\text{NADH}^+$  को 3 ATP तथा प्रत्येक  $\text{FADH}_2$  को दो ATP के बराबर लेते हुए ग्लूकोस के प्रत्येक अणु के पूर्ण उपचयन में ATP के कुल 36 अणु प्राप्त होते हैं। ध्यान दें कि ग्लाइकोलाइस के दौरान ATP के केवल दो अणुओं का संश्लेषण होता है तथा बाकी छत्तीस अणु पाइरुवेट के दो अणुओं के उपचयन से प्राप्त होते हैं। इसके अलावा ATP संश्लेषण का मुख्य भाग (लगभग 90 प्रतिशत) इलेक्ट्रॉन अभिगमन श्रृंखला द्वारा अपचित एहएन्जाइमों के पुनः उपचयन में प्राप्त होता है।

ऊर्जा संरक्षण की कुल दक्षता (अर्थात्, ATP के संश्लेषण में इसका उपयोग) बहुत अधिक होती है। मानक परिस्थितियों में ग्लूकोस के पूर्ण उपचयन से प्रति मोल, 3085 kJ ऊर्जा प्राप्त होती है। इन परिस्थितियों में ADP व  $\text{P}_i$  द्वारा ATP के संश्लेषण में  $38 \times 30.5 = 1159$  kJ ऊर्जा का उपयोग होता है अर्थात्, दक्षता,  $(1159 \times 100)/3085 \approx 37.5$  प्रतिशत होती है। वास्तविक दक्षता इससे कहीं अधिक होती है क्योंकि कोशिका में उपस्थित परिस्थितियाँ मानक परिस्थितियों से भिन्न होती हैं (इकाई 8 देखिए)।

आपको ध्यान होगा कि जब उपचयन के लिए ग्लूकोस इकाई ग्लाइकोजन से प्राप्त होती है, तब ग्लाइकोलाइस द्वारा संश्लेषित होने वाले ATP के अणुओं की संख्या तो से बढ़कर तीन हो जाती है।

इस प्रकार ग्लाइकोजन की प्रत्येक ग्लूकोस इकाई के पूर्ण उपचयन में ATP के उन्तालीस अणुओं का संश्लेषण होता है।

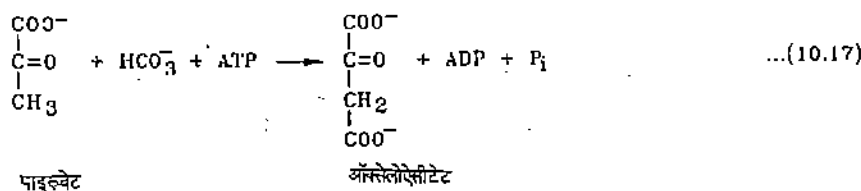
TCA चक्र के विभिन्न पदों, अभिक्रियाओं, रससमीकरणमिति तथा और्जिकी के अध्ययन के बाद आइए, अब हम उपापचय में इसके महत्व को समझें।

### 10.3.5 TCA चक्र की केन्द्रीय भूमिका

ऐसीटिल  $\text{CoA}$  के ऐसीटिल भाग के कार्बन डाइऑक्साइड में उपचयन अर्थात्, एक अपचयी कार्य के अलावा TCA चक्र कई यौगिकों के जैव संश्लेषण हेतु पूर्वगामी उपलब्ध करता है अर्थात्, एक उपचयी कार्य करता है। इसलिए इस चक्र को कई बार ऐम्फिबोलिक (amphibolic) पथ भी कहते हैं। आइए, देखें कि TCA चक्र यह कार्य किस प्रकार करता है।

इकाई 9 में बताया गया था कि अपचयी अर्थात्, विघटनकारी पथ अभिसारी होते हैं। अलग-अलग प्रकार के कई पदार्थों अथवा पोषक तत्वों से कुछ समान उपापचयज बनते हैं, जो एक समान पथ द्वारा और विघटित होते हैं। आपने कार्बोहाइड्रेटों व ऐमीनो अम्लों से पाइरुवेट तथा पाइरुवेट व वसा अम्लों से ऐसीटिल  $\text{CoA}$  के बनने का अध्ययन किया। ऐसीटिल  $\text{CoA}$  का TCA चक्र द्वारा उपचयन होता है। ग्लूटामेट तथा ऐस्पार्टेट से संबंधित कई ऐमीनो अम्लों का उपापचय क्रमशः  $\alpha$ -कीटोग्लूटारेट तथा ऑक्सेलोऐसीटेट में परिवर्तन द्वारा होता है और ये दोनों इस चक्र के मध्यवर्ती हैं। इस चक्र के कुछ अन्य मध्यवर्ती जैसे - सक्सिनेट अन्य जैव अणुओं के पूर्वगामी होते हैं। ये परिवर्तन अपचय की अभिसारी प्रवृत्ति तथा TCA चक्र की केन्द्रीय भूमिका को दर्शाते हैं।

ऑक्सेलोऐसीटेट तथा TCA चक्र के अन्य उपापचयज पूर्ण अभिक्रिया (समीकरण 10.15) में "उत्प्रेरक" का कार्य करते हैं क्योंकि चक्र के पूरा होने पर ये पुनः उत्पन्न हो जाते हैं। इस चक्र के सुचारू रूप से चलने, तदनुसार कार्बोहाइड्रेटों, वसाओं व प्रोटीनों के उपापचय के लिए इनकी सान्द्रता का इष्टतम स्तर पर बने रहना आवश्यक होता है। जब इस चक्र के कुछ उपापचयज अन्य जैव अणुओं के जैव संश्लेषण के लिए पूर्वगामी के रूप में निकल जाते हैं तब चक्र के सभी उपापचयजों की सान्द्रता का हो जाती है। ऐसा अभिक्रिया क्रम की चक्रीय प्रकृति के कारण होता है। इसके परिणामस्वरूप चक्र की गति कम हो जाती है तथा ऐसीटिल  $\text{CoA}$  इकट्ठा हो जाता है व ATP के बनने की दर भी कम हो जाती है। ऐसे में कुछ उपापचयजों की आपूर्ति करना अनिवार्य हो जाता है। स्तनधारियों में ऐसी ही एक महत्वपूर्ण अभिक्रिया है पाइरुवेट,  $\text{CO}_2$  तथा ATP द्वारा ऑक्सेलोऐसीटेट का बनना। यह अभिक्रिया पाइरुवेट कार्बोक्सिलेस द्वारा उत्प्रेरित होती है (समीकरण 10.17)। ध्यान दें कि ग्लूकोनिओजेनेसिस में पाइरुवेट के फॉस्फोईनॉल पाइरुवेट में परिवर्तन के दौरान भी ऐसी ही अभिक्रिया होती है (इकाई 9)।



चक्र के किसी भी मध्यवर्ती की पुनः पूर्ति द्वारा चक्र के सभी उपापचयजों की सान्द्रता बढ़ जाती है। पुनः पूर्ति की इस प्रक्रिया को ऐनाप्लेरोसिस (anaplerosis, जिसके माने हैं- "भरना") कहते हैं।

ध्यान दीजिए कि कार्बोहाइड्रेटों का ग्लाइकोलाइजेशन जंतु के शरीर में पाइरुवेट का प्रमुख स्रोत होता है। ऐनाब्लिरोसिस तथा उसके द्वारा TCA चक्र के सुचारू रूप से चलने के लिए पाइरुवेट की उपलब्धता अनिवार्य होती है। जैसा हम इस इकाई में देखेंगे कि वसाएँ ऐसीटिल-CoA में विघटित होती हैं व इनका उपापचय सामान्यतः TCA चक्र द्वारा होता है। इस प्रकार कार्बोहाइड्रेट, शरीर की कोशिकाओं में वसाओं के अपचय अथवा "दहन" में अप्रत्यक्ष रूप से सहयोग करते हैं। यह दर्शाता है कि जो व्यक्ति अपने शरीर की वसाओं के "दहन" द्वारा अपना भार कम करना चाहते हैं, उनके आहार में कार्बोहाइड्रेटों की कुछ मात्रा का होना अनिवार्य होता है। ऐसा आकलन किया गया है कि ऐसे व्यक्तियों की ऊर्जा आवश्यकताओं का लगभग पांचवाँ हिस्सा, आहार में कार्बोहाइड्रेटों के रूप में होना चाहिए। यह पाइरुवेट की पर्याप्त आपूर्ति को बनाए रखता है जिससे TCA चक्र के मध्यवर्तियों का इष्टतम स्तर बना रहता है। TCA चक्र के धीमे होने पर इकट्ठे हुए ऐसीटिल-CoA के परिणामों का वर्णन इकाई 11 में किया जाएगा।

### बोध प्रश्न 3

उपयुक्त उत्तर के चयन द्वारा कथन को पूरा कीजिए।

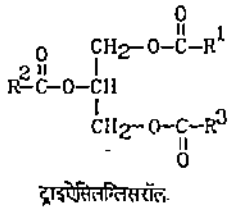
क) TCA चक्र द्वारा पाइरुवेट के एक अणु के उपचयन द्वारा बनने वाले ATP के अणुओं की संख्या होती है।

- i) 2
- ii) 4
- iii) 10
- iv) 15

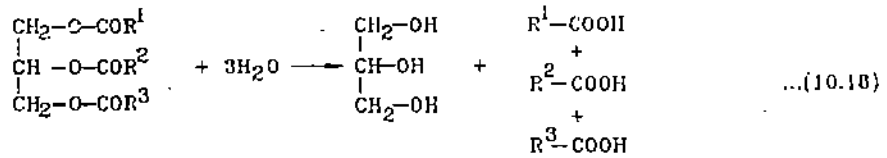
ख) TCA चक्र की उपापचय में केन्द्रीय भूमिका होती है, क्योंकि :

- i) उपापचय में यह केन्द्रीय स्थान पर होता है।
- ii) इसकी यंत्रण प्रकृति होती है।
- iii) यह जैव अणुओं के संश्लेषण (उपचय) तथा अपचय, दोनों में सहायता करता है।
- iv) इस चक्र द्वारा कई ऐमीनो अम्लों का उपापचय होता है।

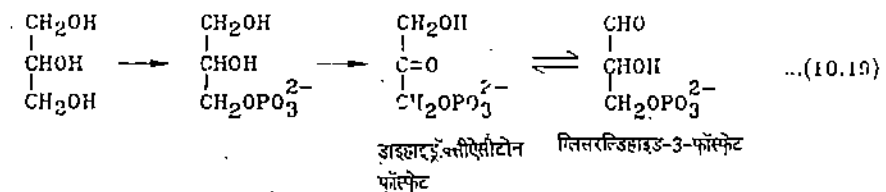
## 10.4 वसाओं का उपापचय



आप जानते हैं कि तेल व वसाएँ जीवों के प्रमुख ऊर्जा भंडार होते हैं। आपने खंड 1 की इकाई 3 में इनकी संरचना का अध्ययन किया है। आप जानते हैं कि ये ग्लिसरॉल व वसा अम्लों के एस्टर होते हैं अर्थात् ये ट्राइऐसिलग्लिसरॉल होते हैं। इनके तीन अम्ल, नामतः, R<sup>1</sup>-COOH, R<sup>2</sup>-COOH तथा R<sup>3</sup>-COOH एक समान हो सकते हैं अथवा भिन्न। i) ऐल्किल समूहों R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup> तथा R<sup>3</sup> की शृंखला की लंबाई तथा ii) इन समूहों में द्विआबंध की उपस्थिति तथा स्थान वसा अम्लों के मुख्य अंतर होते हैं। साइटोप्लाज्म में इन ट्राइऐसिलग्लिसरॉलों का जल अपघटन होता है। यह अभिक्रिया एक से अधिक पदों में होती है तथा आंत्रों में सावित विभिन्न लाइपेसों द्वारा उत्प्रेरित होती है।



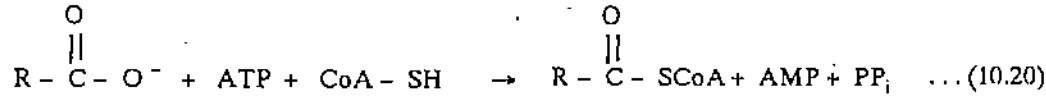
ग्लिसरॉल के फॉस्फोरिलीकरण तथा उपचयन से डाइहाइड्रॉक्सीऐसीटोन फॉस्फेट प्राप्त होता है इसके समावयवीकरण से ग्लिसरॉल-3-फॉस्फेट बनता है, समीकरण 10.19 विषयक ग्लाइकोलाइजेशन पथ, (इकाई 9), TCA चक्र (इकाई 10, भाग 10.3) तथा इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला (इकाई 8) द्वारा निम्नीकरण होता है।



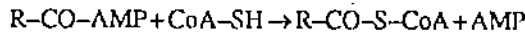
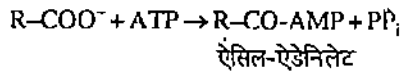
प्रत्येक वसा अम्ल पहले संगत ऐसिल सहएन्जाइम -A में परिवर्तित होता है तथा फिर माइटोकॉन्ड्रियी आघात्री (mitochondrial matrix) में इसका अभिगमन होता है, जहाँ यह विघटित होता है। इस भाग में हम केवल संगृप्त वसा अम्लों के उत्पापचयी विघटन की चर्चा ही करेंगे। असंगृप्त वसा अम्लों के उत्पापचय तथा ऐसिल - CoA के साइटोप्लाज्म से माइटोकॉन्ड्रियी आघात्री में अभिगमन की क्रियाविधि की चर्चा नहीं की जाएगी।

#### 10.4.1 वसा अम्लों का ऐसिल - CoA में परिवर्तन

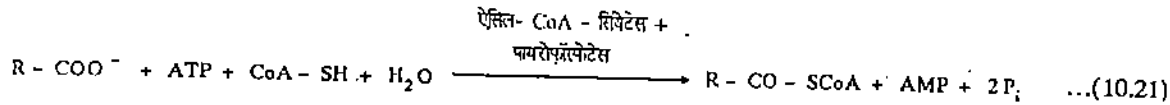
ATP के पायरोफॉस्फेट आबंध से भंडारित मुक्त ऊर्जा के उपयोग द्वारा वसा अम्ल के कार्बोक्सिल समूह तथा सहएन्जाइम -A (CoA-SH; समीकरण 10.20) के बीच थाइओलएस्टर आबंध बनता है। यह अभिक्रिया ऐसिल - CoA सिंथेटेस, जिसे वसा अम्ल थायोकाइनेस भी कहते हैं, द्वारा उत्प्रेरित होती है।



अम्लों के एस्टरिकरण प्रक्रिया के एक भाग के रूप में इसी प्रकार की एक अभिक्रिया की चर्चा इकाई 8 में की गई थी। आपको ध्यान होगा कि ऊपर दी गई अभिक्रिया दो पदों में होती है। पहले पद में वसा अम्ल तथा ATP एन्जाइम के सक्रिय स्थान पर अभिक्रिया करते हैं तथा इसमें एन्जाइम से आबंधित ऐसिल-ऐडेनिलेट (जिसे ऐसिल -AMP भी कहते हैं) बनता है। अगले पद में, ऐसिल ऐडेनिलेट, CoA-SH से अभिक्रिया करके ऐसिल -CoA तथा AMP बनाता है। ऐसिल-ऐडेनिलेट की संरचना इकाई 8 के भाग 8.5.1 में दी गई है।



जैसा इकाई 8 में बताया गया है, इस अभिक्रिया का साम्य स्थिरांक एक के बराबर होता है क्योंकि ATP के AMP व  $\text{P}_i$  में तथा ऐसिल -CoA के ऐसीलेट व CoA-SH में जल अपघटन के  $\Delta G^\circ$  के मान बराबर होते हैं (इकाई 8. सारणी 8.1)। पायरोफॉस्फेट आयन ( $\text{PP}_i$ ) के पायरोफॉस्फेटेस द्वारा दो फॉस्फेट आयनों में जल अपघटन के द्वारा यह अभिक्रिया पूर्णता की ओर जाती है। इस प्रकार हम कुल अभिक्रिया को निम्न रूप में लिख सकते हैं :

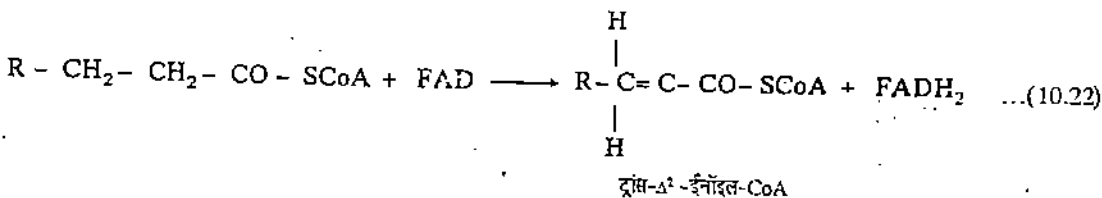


इस अभिक्रिया में दो उच्च ऊर्जा पायरोफॉस्फेट आबंध टूटते हैं तथा एक उच्च ऊर्जा वाला थाइओलएस्टर आबंध स्थापित होता है। अतिरिक्त ऊर्जा का उपयोग अभिक्रिया को ऐच्छिक दिशा में करने में होता है जैसा पहले भी बताया गया है कि अतिरिक्त ऊर्जा के व्यय द्वारा ऊर्जापक्षी अभिक्रियाओं को पूर्णता की ओर ले जाना (दिएं ग्लूकोनिओजेनेसिस, इकाई 9) जैव संश्लेषण प्रक्रिया का एक सामान्य लक्षण है।

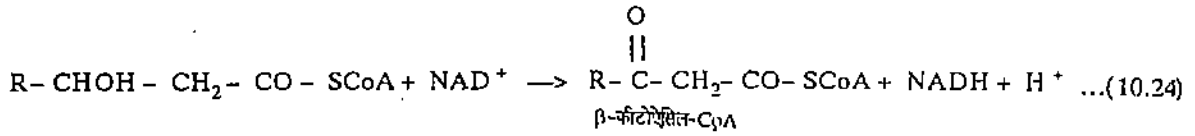
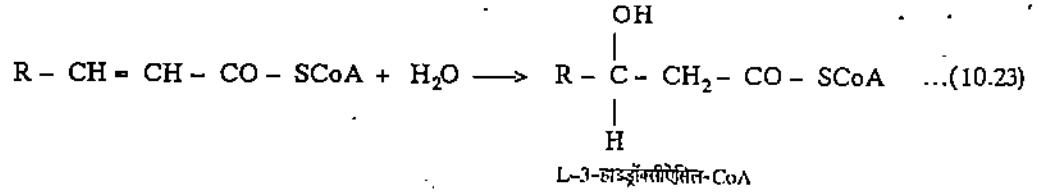
#### 10.4.2 ऐसिल - CoA का ऑक्सीकरण निम्नीकरण

ऐसिल - CoA पर क्रमवार चार अभिक्रियाएं होती हैं। ये हैं - उपचयन, जलयोजन (अर्थात्, जल के अणु का संयोजन), एक अन्य उपचयन तथा एक धायोलिटिक विदलन। इन अभिक्रियाओं के परिणामस्वरूप इससे ऐसीटिल - CoA के रूप में दो कार्बन वाले खंड का हास होता है। अवशिष्ट ऐसिल - CoA, जो अब दो-कार्बन परमाणु छोटा होता है, पर इसी क्रम में अभिक्रियाएं फिर से होती हैं। यह प्रक्रिया तब तक चलती रहती है, जब तक वसा ऐसिल - CoA की संपूर्ण शृंखला ऐसीटिल - CoA के विभिन्न अणुओं में विभाजित नहीं हो जाती।

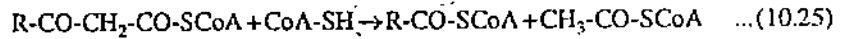
पहली उपचयन अभिक्रिया एक ऐसिल - CoA डिहाइड्रोजेनेस द्वारा उत्प्रेरित होती है तथा इसमें FAD हाइड्रोजन ग्राही का कार्य करता है।



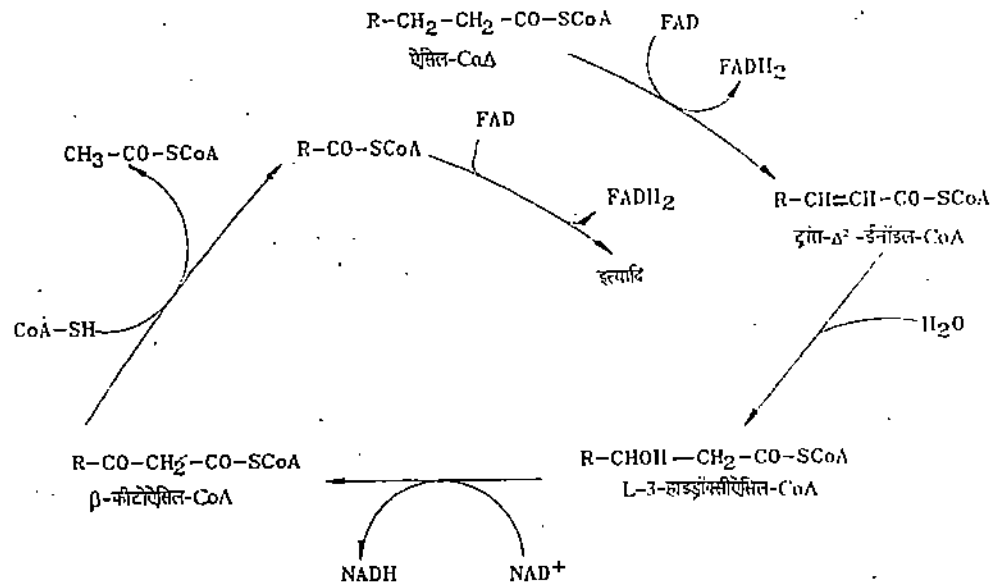
इसमें प्राप्त होने वाला ट्रांस-2,3 असंतृप्त ईनॉइल—CoA ईनॉइल—CoA हाइड्रोलेस की उपस्थिति में जल के एक अणु का संयोजन करता है। जल का संयोजन त्रिविम-विशिष्ट होता है तथा इसमें L-3-हाइड्रॉक्सीऐसिल -CoA बनता है जिसका L-3 - हाइड्रॉक्सीऐसिल -CoA डिहाइड्रोजेनेस की उपस्थिति में उपचयन होता है। इस अभिक्रिया में NAD<sup>+</sup> सहएन्जाइम का कार्य करता है।



इस क्रम की अंतिम अभिक्रिया में β-कीटोऐसिल —CoA β-कीटोयायोलेस (जिसे थायोलेस भी कहते हैं) की उपस्थिति में —CoA-SH से क्रिया करके ऐसीटिल —CoA तथा आरंभिक ऐसिल —CoA से दो कार्बन परमाणु कम वाला ऐसिल—CoA बनाता है।



इसे नये ऐसिल —CoA पर फिर से समीकरण 10.22 से 10.25 वाली सभी अभिक्रियाएँ होती हैं तथा यह प्रक्रिया तब तक चलती रहती है, जब तक संपूर्ण ऐलिकेटिक श्रृंखला का ऐसीटिल —CoA के कई अणुओं में निम्नीकरण (degradation) नहीं हो जाता है। ध्यान दें कि समीकरण 10.22 से 10.24 तक की अभिक्रियाओं के परिणामस्वरूप ऐसिल —CoA के β-मेथिलीन समूह का कीटो समूह में उपचयन हो जाता है। इसलिए इस पथ को β-उपचयन पथ कहते हैं। चित्र 10.4 में इस पथ की अभिक्रियाएँ संक्षेप में दी गई हैं।



चित्र 10.4 : वसा अम्लों के β उपचयन पथ की अभिक्रियाओं का तथ्यिक चिह्न

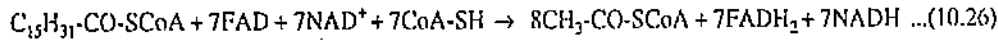
समीकरण 10.22 से 10.24 की अभिक्रियाओं की TCA चक्र की अंतिम तीन अभिक्रियाओं, नामतः, सक्सिनेट → फ्यूमरेट → मैलेट → ऑक्सैलोऐसीटेट से समानता होती है। ऐसा प्रतीत होता है कि जब-जब एक समान रासायनिक रूपांतरणों की आवश्यकता होती है, तब-तब प्रकृति विभिन्न उपापचयी पथों में मिलती-जुलती अभिक्रियाओं का उपयोग करती है।

समीकरण 10.22 से 10.25 की अभिक्रियाओं के परिणामस्वरूप एक समय में ऐसिल —CoA के अणु से दो कार्बन वाले खंड का हास होता है। यह ध्यान देने योग्य है कि तेलों तथा वसाओं में उपस्थित वसा अम्लों में कार्बन परमाणुओं की सम संख्या होती है। इस प्रकार, संपूर्ण कार्बन श्रृंखला, ऐसीटिल -CoA के अणुओं में विभाजित हो

जाती है। कार्बन परमाणुओं की विषम संख्या वाले वसा अम्ल बहुत कम पाए जाते हैं। ऐसे में अंततः प्रॉपियोनिल —CoA के रूप में तीन कार्बन वाला खंड रह जाता है। यह सक्सिनिल —CoA में कार्बोक्सीलीकृत होकर TCA चक्र में प्रवेश करता है।

### 10.4.3 वसा अम्लों के उपचयन की और्जिकी

वसा अम्लों के उपचयन द्वारा उच्च मात्रा में ATP प्राप्त होता है। आइए, कई तेलों व वसाओं में सामान्यतः पाए जाने वाले वसा अम्ल, पामिटिक अम्ल के उदाहरण द्वारा इसे समझें। इसका आण्विक सूत्र  $C_{16}H_{32}O_2$  (अर्थात्,  $C_{15}H_{31}-COOH$ ) होता है। इसे इसके सक्रिय रूप अर्थात्, पामिटॉइल —CoA अथवा  $C_{15}H_{31}CO-SCoA$  में परिवर्तित करने के लिए दो उच्च ऊर्जा पायरोफॉस्फेट आबंधों का उपयोग होता है। चूंकि  $\beta$ -उपचयन पथ के प्रत्येक चक्र में दो कार्बन वाला खंड निकलता है, इसलिए पामिटॉइल —CoA के पूर्ण विखंडन में सात बार इस पथ का उपयोग होगा तथा इसमें ऐसीटिल —CoA के आठ अणु प्राप्त होंगे। इस प्रकार पामिटॉइल —CoA के  $\beta$ -उपचयन निम्नीकरण के लिए हम निम्नलिखित समीकरण लिख सकते हैं :



इसमें  $H^+$  आयनों तथा जल के अणुओं को नहीं दर्शाया गया है।  $\beta$ -उपचयन पथ की अभिक्रियाओं में उपयोगी ऊर्जा का सीधे संरक्षण नहीं होता है। ऊर्जा का पारक्रमण केवल ऐसीटिल —CoA तथा अपचित सहएन्जाइमों के उपचयन में ही होता है। आपको भाग 10.3.3 से स्मरण होगा कि ऐसीटिल —CoA के प्रत्येक अणु के ऐसीटिल भाग के पूर्ण उपचयन से ATP के बारह अणुओं का संश्लेषण होता है। इसके अलावा  $FADH_2$  के उपचयन से दो तथा  $NADH$  के उपचयन से ATP के तीन अणुओं का संश्लेषण होता है। इस प्रकार पामिटॉइल —CoA के प्रत्येक अणु के लिए अभिक्रिया के उत्पादों से ATP का कुल संश्लेषण  $(12 \times 8) + (7 \times 2) + (7 \times 3) = 131$  अणुओं के बराबर होता है। चूंकि पामिटेट से पामिटॉइल —CoA के बनने में दो उच्च ऊर्जा आबंधों का व्यय हुआ था, इसलिए पामिटेट के प्रत्येक अणु के पूर्ण उपचयन से ATP के नेट 129 अणु प्राप्त होते हैं।

पामिटिक अम्ल के उपचयन की मानक मुक्त ऊर्जा  $-9780 \text{ kJ mol}^{-1}$  पाई गई है तथा ATP के 129 अणुओं के संश्लेषण की मानक मुक्त ऊर्जा  $129 \times (+30.5) = 3935 \text{ kJ mol}^{-1}$  होती है। इस प्रकार ऊर्जा पारक्रमण की मानक मुक्त ऊर्जाओं पर आधारित दक्षता  $(3935/9780) \times 100 = 0.402$  अथवा लगभग 40 प्रतिशत होती है। यह दक्षता ग्लाइकोलाइसिस, TCA चक्र तथा ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण इत्यादि की दक्षता के समान ही है। ग्लूकोस तथा पामिटिक अम्ल के लिए द्रव्यमान के आधार पर उपापचयी उपचयन की और्जिकी की तुलना करना रोचक होगा। एक मोल ग्लूकोस (मोलर द्रव्यमान = 180) के पूर्ण उपचयन में ATP के 38 मोलों का संश्लेषण होता है, अर्थात्,  $38/180 = 0.211$  मोल ATP प्रति ग्राम ग्लूकोस के लिए। दूसरी ओर पामिटिक अम्ल (मोलर द्रव्यमान = 288) के पूर्ण उपचयन में 129 मोल ATP अर्थात्,  $129/288 = 0.448$  मोल ATP प्रति ग्राम पामिटिक अम्ल, प्राप्त होते हैं। ध्यान दें कि द्रव्यमान के आधार पर वसा अम्लों के उपचयन में कार्बोहाइड्रेटों की अपेक्षा दो गुणा से भी अधिक ATP का संश्लेषण होता है। ऐसा वसाओं तथा कार्बोहाइड्रेटों के उपचयन (अथवा दहन) की मानक मुक्त ऊर्जा क्रमशः 33.9 तथा  $15.9 \text{ kJ g}^{-1}$  के लिए भी सत्य है।

वसा अम्ल अपचय के अध्ययन के बाद आइए, देखें कि इनका संश्लेषण किस प्रकार होता है, पर इतने पहले आप निम्न बोध प्रश्न को हल करने का प्रयास कीजिए।

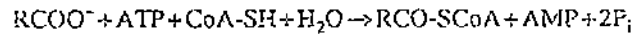
#### बोध प्रश्न 4

इन प्रश्नों का उत्तर देने के लिए आप सारणी 8.1 में दिए गए डाटा का उपयोग कर सकते हैं।

क) निम्नलिखित अभिक्रिया के लिए दर्शाएं कि इसका साम्य स्थिरांक लगभग एक के बराबर होता है :

प्रति कार्बन परमाणु बनने वाले ATP के अणुओं की संख्या ग्लूकोस के लिए 38/180 अथवा  $\approx 0.21$  तथा पामिटेट के लिए 129/288 अथवा  $\approx 0.45$  होती है। इस अंतर का रासायनिक कारण यह है कि पामिटेट के अधिकतर कार्बन परमाणु अनचित अवस्था में होते हैं जबकि ऑक्सीजन के लः परमाणुओं की उपस्थिति के कारण ग्लूकोस के कार्बन परमाणु आंशिक रूप से उपचित होते हैं।

स) निम्नलिखित अभिक्रिया के लिए  $\Delta G^\circ$  का मान क्या होगा ?

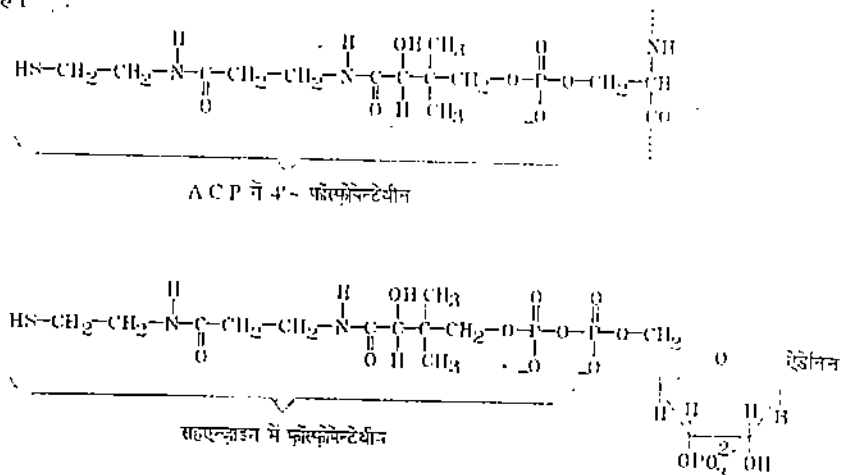


### 10.4.4 वसा अम्लों का जैव संश्लेषण

अधिकतर जीवित निकायों में वसा अम्लों का जैव संश्लेषण होता है तथा सभी में ऐसीटिल —CoA ही आरंभिक पदार्थ होता है। जैव संश्लेषण,  $\beta$ -उपचयन पथ का मात्र विपरीत ही नहीं है, इसमें कई नई अभिक्रियाएँ भी होती हैं। इसके अलावा जैव संश्लेषण का स्थान तथा इसमें भाग लेने वाले एन्जाइमों का संगठन भी भिन्न होता है। निम्नीकरण तथा जैवसंश्लेषण पथों के महत्वपूर्ण अंतर को नीचे दिया गया है :

- वसा अम्लों का निम्नीकरण माइटोकॉन्ड्रियी आधारी तथा परॉक्सीसोमों में होता है जबकि उनका संश्लेषण साइटोसोल में होता है।
- वसा अम्लों के निम्नीकरण से संबंधित एन्जाइम अलग-अलग पाए जाते हैं जबकि वसा अम्लों के जैव संश्लेषण से संबंधित एन्जाइम प्रबल बहुएन्जाइमी संकुल (उदाहरण के लिए, बैक्टीरिया में) के रूप में पाए जाते हैं अथवा एक ही प्रोटीन में एक दूसरे से सहसंयोजक आवंधों द्वारा जुड़े होते हैं उदाहरण के लिए, उच्च जीवों में। दोनों रूपों में इसे वसा अम्ल सिंथेस के रूप में जाना जाता है।
- वसा अम्लों के विघटन में ऐसिल समूह सदैव सहएन्जाइम -A के SH समूह से जुड़ा रहता है। जबकि जैव संश्लेषण में ऐसिल समूह एक विशिष्ट प्रोटीन, जिसे ऐसिल वहन प्रोटीन (acyl carrier protein (ACP)) कहते हैं, के प्रॉस्थेटिक समूह के SH से जुड़ा रहता है। यह प्रोटीन वसा अम्ल सिंथेस का ही एक हिस्सा होता है।
- वसा अम्ल संश्लेषण में श्रृंखला में बढ़ोतरी ऐसीटिल —CoA से व्युत्पन्न दो-कार्बन वाले खंडों के क्रमबद्ध संयोजन द्वारा होती है। यह निम्नीकरण पथ में दो-कार्बन वाले खंडों के निकलने के संगत है। यद्यपि संश्लेषण पथ में ऐसीटिल —CoA का पहले कार्बोक्सिलीकरण द्वारा "सक्रियण" होता है। इसमें मैलेनिल —CoA प्राप्त होता है तथा ATP के एक उच्च ऊर्जा आवंध का व्यय होता है। मैलेनिल —CoA तथा ऐसिल -ACP के ऐसिल भाग की संघटन अभिक्रिया कार्बन डाइऑक्साइड के हास द्वारा परिचालित होती है।
- वसा अम्ल के विघटन में उपचायकों के रूप में FAD तथा  $\text{NAD}^+$  के उपयोग के विपरीत जैव संश्लेषण पथ में उपचायक के रूप में केवल NADH का उपयोग ही होता है।

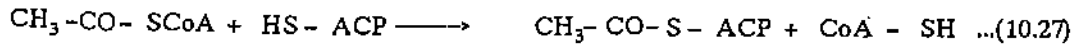
जैसा ऊपर बताया गया है, वसा अम्लों का जैव संश्लेषण वसा अम्ल सिंथेस द्वारा उत्प्रेरित होता है जो एक बहुएन्जाइमी संकुल हो सकता है अथवा एक ही प्रोटीन के अलग-अलग भागों पर सभी कार्य कर सकता है। दोनों रूपों में अभिक्रिया के पद तथा उनकी उत्प्रेरी क्रियाएँ एक समान ही होती हैं। इसके अलावा, बढ़ता हुआ ऐसिल भाग ऐसिल वहन प्रोटीन (ACP) के SH समूह से सहसंयोजक रूप से आवंधित होता है। यह SH समूह फॉस्फोपेन्टेथीन का हिस्सा होता है जो ACP के सेरीन अवशिष्ट से सहसंयोजक रूप से आवंधित होती है। ध्यान दें कि यही फॉस्फोपेन्टेथीन सहएन्जाइम -A की संरचना का भाग भी बनाती है जैसा चित्र 10.5 में दर्शाया गया है।



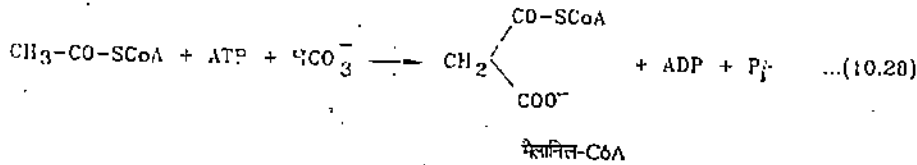
चित्र 10.5 : ACP तथा सहएन्जाइम -A में फॉस्फोपेन्टेथीन

ऐसिल वहन प्रोटीन वसा अम्ल संश्लेषण के दौरान सभी गंधर्वतियों का वहन करती है।

ऐसीटिल - CoA के ऐसीटिल समूह का पहले ACP पर स्थानांतरण होता है। यह अभिक्रिया ऐसीटिल ट्रांसऐसिलेस द्वारा उत्प्रेरित होती है।

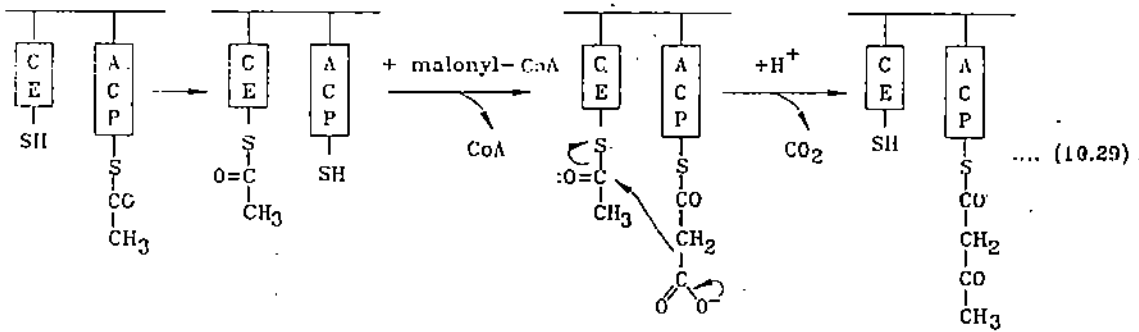


ऐसीटिल - CoA के एक अन्य अणु का कार्बोक्सिलीकरण द्वारा "सक्रियण" होता है। यह अभिक्रिया एक बायोटिन एन्ज़ाइम, ऐसीटिल - CoA कार्बोक्सिलेस द्वारा उत्प्रेरित होती है तथा इस अभिक्रिया में ATP भी भाग लेता है। इसमें ATP का ADP तथा P<sub>i</sub> में जल अपघटन हो जाता है।



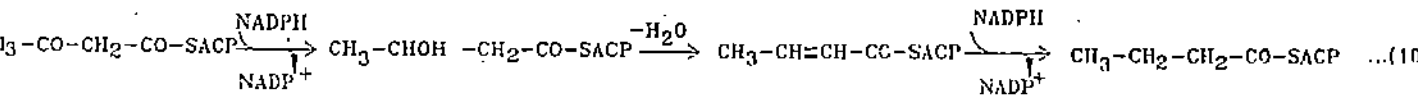
पाइरूवेट से ऑक्सैलोऐसीटेट बनने की अभिक्रिया (समीकरण 10.17) से इस अभिक्रिया की समानता पर ध्यान दें। यह एक अन्य उदाहरण है जिसमें रासायनिक तौर पर समान अभिक्रियाओं को करने के लिए समान क्रियाविधि का उपयोग होता है यद्यपि उनमें अलग-अलग एन्ज़ाइमों की आवश्यकता होती है जो अलग-अलग क्रियाधारों के लिए विशिष्ट होते हैं।

ऐसीटिल - ACP का, ऐसीटिल समूह संघनन एन्ज़ाइम (समीकरण 10.29 में CE) के सक्रिय स्थान पर स्थानांतरण होता है। इससे ACP का SH समूह मुक्त हो जाता है जो मैलोनिल - CoA से अभिक्रिया करके मैलोनिल - ACP बनाता है। यह संघनन एन्ज़ाइम से आवंधित ऐसीटिल समूह के पास उपयुक्त स्थान पर होता है जिससे संघनन क्रिया संभव हो सके तथा ऐसिटोऐसीटिल - ACP बन सके।



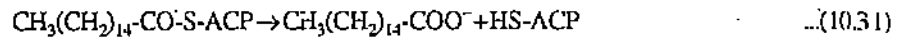
CO<sub>2</sub> के हास से संघनन अभिक्रिया अव्युत्क्रमणीय हो जाती है। यहाँ पर इस अभिक्रिया तथा निम्नीकरण पथ में β-कीटो-थायोलैस द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रिया (समीकरण 10.25) में इस महत्वपूर्ण अंतर पर ध्यान दें।

ऐसिटोऐसीटिल - ACP पर एक के बाद एक तीन अभिक्रियाएँ पहले अपचयन, फिर निर्जलीकरण तथा फिर एक अपचयन अभिक्रिया होती हैं। ये अभिक्रियाएँ क्रमशः β-कीटोऐसिल - ACP-रिडक्टेस, 3-हाइड्रॉक्सीऐसिल - ACP-डिहाइड्रेटेस तथा ईनॉइल - ACP-रिडक्टेस द्वारा उत्प्रेरित होती हैं (समीकरण 10.30)। यह सभी एन्ज़ाइमी क्रियाएँ वसा अम्ल सिंथेस की क्रियाओं का हिस्सा होती हैं।



इन अभिक्रियाओं के परिणामस्वरूप ऐसीटिल - CoA की ऐसिल शृंखला दो कार्बन परमाणुओं द्वारा बढ़कर ब्यूटाइरिल - ACP में परिवर्तित हो जाती है। यह ब्यूटाइरिल समूह समीकरण 10.29 के पहले पद के समान संघनन एन्ज़ाइम पर स्थानांतरित हो जाता है तथा एक अन्य मैलोनिल समूह ACP से जुड़ जाता है (जैसा समीकरण 10.29 के दूसरे पद में होता है)। इसके बाद इनमें संघनन (समीकरण 10.29 का तीसरा पद) तथा समीकरण 10.30 की अभिक्रियाएँ होती हैं। अब तक ऐसिल शृंखला छः-कार्बन परमाणु वाली हो जाती है। ये प्रक्रिया तब तक चलती रहती है, जब तक पामिटॉइल - ACP (C<sub>15</sub>H<sub>31</sub>-CO-S-ACP) प्राप्त नहीं हो जाता। पामिटॉइल संघनन एन्ज़ाइम की विशिष्ट

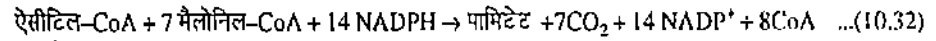
आवश्यकताओं को पूरा नहीं करता है, इसलिए वह इसका ग्रहण नहीं करता है अतिलु पामिटॉइल -ACP एक जलअपघटनी एन्जाइम, थायोएस्ट्रेस का क्रियाधार बन जाता है। यह एन्जाइम भी वसा अम्ल सिंथेस का ही एक भाग होता है। तदनुसार इसके जल अपघटन द्वारा पामिटेट मुक्त हो जाता है तथा एक नई वसा ऐसिल श्रृंखला के संश्लेषण के लिए ACP पुनः उपलब्ध हो जाता है।



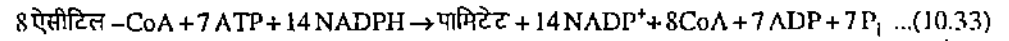
आवश्यकता पड़ने पर ऐलैफैटिक श्रृंखला का और आगे बढ़ना तथा द्विआबंधों का बनना अन्य एन्जाइमों द्वारा होता है। इनकी चर्चा यहाँ पर नहीं की गई है। आइए, अब हम वसा अम्लों के जैव संश्लेषण तथा निम्नीकरण की और्जिकी की तुलना करें।

#### 10.4.5 वसा अम्लों के जैव संश्लेषण तथा निम्नीकरण की और्जिकी की तुलना

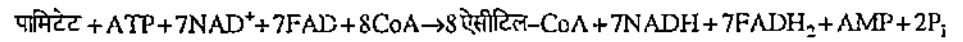
ऐसीटिल - CoA से आरंभ करके समीकरण 10.29 व 10.30 की अभिक्रियाओं को सात बार करने के बाद अंततः जल अपघटन (समीकरण 10.31) द्वारा हमें निम्नलिखित समीकरण प्राप्त होती है:



इसे मैलोनिल -CoA के बनने से संबंधित समीकरण 10.28 में जोड़ने से हमें ऐसीटिल -CoA के आठ अणुओं से एक C<sub>16</sub>-वसा अम्ल, पामिटेट के संश्लेषण के लिए निम्नलिखित समीकरण प्राप्त होती है :



पामिटेट के β-ऑक्सीकरण विघटन से आपको ध्यान होगा कि पामिटेट को पामिटॉइल -CoA में परिवर्तित करने के लिए उच्च ऊर्जा वाले दो पायरोफॉस्फेट आबंधों की आवश्यकता होती है। इसके उपरान्त β-उपचयन पथ की अभिक्रियाओं के सात बार होने से ऐसीटिल -CoA के आठ अणु प्राप्त होते हैं जिसके साथ-साथ NAD<sup>+</sup> तथा FAD प्रत्येक के सात-सात अणु भी बनते हैं। कुल अभिक्रिया को हम इस प्रकार लिख सकते हैं :



समीकरण 10.33 तथा 10.34 की अभिक्रियाओं की और्जिकी की तुलना के लिए दोनों में उच्च ऊर्जा आबंधों की तुल्यता (equivalents) को लेना आवश्यक है। जैसा पहले बताया गया है कि NADH व NADPH का प्रत्येक अणु ऊर्जा के रूप में ATP के तीन अणुओं अथवा तीन उच्च-ऊर्जा आबंधों तथा FADH<sub>2</sub> का प्रत्येक अणु इस प्रकार के दो आबंधों के तुल्य होता है। तदनुसार, ऐसीटिल -CoA के आठ अणुओं के पामिटेट में परिवर्तन में 7 + (4×3) = 49 उच्च ऊर्जा आबंधों का "व्यय" होता है तथा समीकरण 10.34 की अभिक्रियाओं में इस प्रकार के (7×3) + (7×2) - 2 = 33 आबंधों का "लाभ" होता है। यह संख्या उपभाग 10.4.3 में दी गई संख्या से भिन्न है क्योंकि यहाँ पर हम पामिटेट के ऐसीटिल -CoA तक विघटन की चर्चा कर रहे हैं न कि उसके पूर्ण उपचयन की। ध्यान दें कि जैवसंश्लेषण कार्यों को करने के लिए, संश्लेषित अणु के निम्नीकरण से "प्राप्त" ऊर्जा, से कहीं अधिक ऊर्जा का "व्यय" करना पड़ता है। इस अतिरिक्त ऊर्जा का व्यय जैवसंश्लेषण अभिक्रियाओं को पूर्णता की ओर ले जाने के लिए होता है। आपको ध्यान होगा कि पाइरुवेट से ग्लूकोस के संश्लेषण में ग्लूकोस के पाइरुवेट में विघटन की तुलना में कहीं अधिक ऊर्जा का व्यय होता है। इन दो उदाहरणों के आधार पर हम एक सामान्यीकृत नियम की व्याख्या कर सकते हैं। सभी जैवसंश्लेषण पथों में किसी यौगिक के संश्लेषण में, उसके उपापचयी विघटन से प्राप्त ऊर्जा की तुलना में कहीं अधिक ऊर्जा का निवेश होता है। यह अतिरिक्त ऊर्जा जैवसंश्लेषण अभिक्रिया को पूर्णता की ओर ले जाने में सहायता करती है। यह नियम विघटन तथा जैव संश्लेषण के लिए अलग-अलग पथों की अनिवार्यता की आंशिक रूप से व्याख्या कर सकता है।

#### बोध प्रश्न 5

निम्नलिखित में रिक्त स्थानों को भरिए :

- वसा अम्ल जैव संश्लेषण ..... में होता है।
- ..... ऐसीटिल -CoA कार्बोक्सिलेस एन्जाइम का सहकारक है।
- वसा अम्ल संश्लेषण चक्र द्वारा पामिटेट के संश्लेषण के लिए मैलोनिल -CoA के ..... अणुओं की आवश्यकता होती है।
- मैलोनिल -CoA से वसा अम्लों के बनने में ..... अपचयक का कार्य करता है।



1. Harper's Review of Biochemistry (18th ed.)  
D.W. Martin, P.A. Mayes and V.W. Rodwell, Lange Medical Publications, Maruzen Asia (Pte.) Ltd. Singapore  
1981
2. Outlines of Biochemistry (4th ed.)  
Eric E. Conn and P. K. Stumpf, Wiley Eastern Limited, New Delhi  
1976
3. Principles of Biochemistry  
Albert L. Lehninger  
CBS Publications and Distributors, Delhi  
1984
4. Biochemistry (3rd ed.)  
Lubert Stryer  
W.H. Freeman and Co., New York  
1988

# NOTES



उत्तर प्रदेश  
राजर्षि टाउन मुक्त विश्वविद्यालय

UGCHE-09

जैव रसायन

संड

3

जैव और्जिकी तथा उपापचय

इकाई 8

जैव और्जिकी

5

इकाई 9

उपापचय - I

28

इकाई 10

उपापचय - II

47

इकाई 11

उपापचयी नियमन

66

इकाई 12

प्रकाश संश्लेषण

81

1-4

## पाठ्यक्रम अभिकल्प समिति

प्रो. ओ.पी. मल्होत्रा  
अवकाश प्राप्त वैज्ञानिक  
रसायन विभाग  
बनारस हिन्दू विश्वविद्यालय  
वाराणसी

प्रो. यू.डब्ल्यू. केन्करे  
राष्ट्रीय उत्तक संवर्धन सुविधा  
प्राणि विज्ञान विभाग  
पूना विश्वविद्यालय  
पुणे

प्रो. एत.एल.एन. राव  
जैव रसायन विभाग  
उस्मानिया विश्वविद्यालय  
हैदराबाद

प्रो. शेख हादी  
जैव रसायन विभाग  
जीव विज्ञान संकाय  
अलीगढ़ मुस्लिम विश्वविद्यालय  
अलीगढ़

संकाय सदस्य, विज्ञान विद्यापीठ  
इं. गां. रा. मु. वि.  
प्रो. शक्ति आर. अहमद  
डॉ. जावेद ए. फारूकी  
डॉ. भारत इन्द्र फौजदार  
डॉ. एस. कण्णन  
डॉ. ललिता एस. कुमार  
डॉ. सुनीता मल्होत्रा  
डॉ. शहला मुनीस रज़ा  
डॉ. बी. एस. सारस्वत

## खंड निर्माण दल

प्रो. ओ.पी. मल्होत्रा (संपादक)  
अवकाश प्राप्त वैज्ञानिक  
रसायन विभाग, बी.एच.यू.  
वाराणसी

डॉ. ललिता एस. कुमार  
विज्ञान विद्यापीठ  
इं. गां. रा. मु. वि.

पाठ्यक्रम समन्वयकर्ता : डॉ. ललिता एस. कुमार

## अनुवाद

डॉ. संजीव कुमार  
देशबन्धु महाविद्यालय  
दिल्ली विश्वविद्यालय  
दिल्ली

डॉ. ललिता एस. कुमार  
विज्ञान विद्यापीठ  
इं. गां. रा. मु. वि.

मार्च, 1995

© इन्दिरा गांधी राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय, 1995

सर्वाधिकार सुरक्षित । इस कार्य का कोई भी अंश इन्दिरा गांधी, राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय की लिखित अनुमति लिए बिना प्रतिलिपि अथवा किसी अन्य साधन से पुनः प्रस्तुत करने की अनुमति नहीं है ।

ISBN-81-7263-764-0

इन्दिरा गांधी राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय के पाठ्यक्रमों के विषय में और अधिक जानकारी विश्वविद्यालय के कार्यालय मैदान गढ़ी, नई दिल्ली-110 068 से प्राप्त की जा सकती है ।

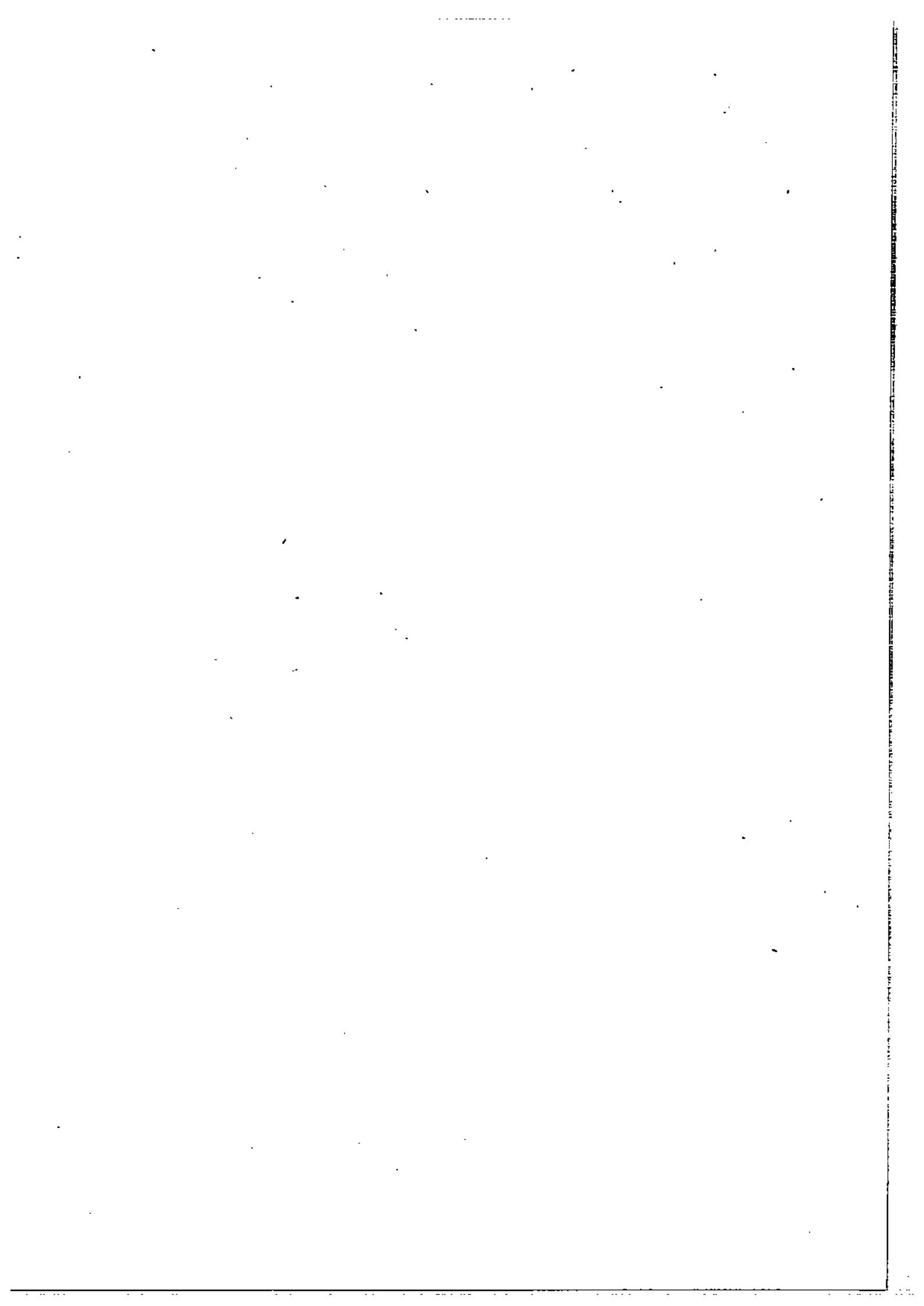
## खण्ड 3 जैव और्जिकी तथा उपापचय

इस पाठ्यक्रम के पिछले दो खंडों में आपने कोशिका तथा उसमें उपस्थित विभिन्न जैव अणुओं के निष्पत्ति में पढ़ा। इस खंड, खंड 3 में हम जैव और्जिकी तथा मध्यस्थ उपापचय की चर्चा करेंगे जिसमें अपचय व उपचय दोनों सम्मिलित हैं। इस खंड में पाँच इकाइयाँ हैं। इकाई 8 में हमने जैव और्जिकी अर्थात्, जैव रासायनिक अभिक्रियाओं की और्जिकी की चर्चा की है। इकाई 9 कार्बोहाइड्रेटों, मुख्यतः ग्लूकोस, के उपापचय से संबंधित है। इकाई 10 भी उपापचय से संबंधित है तथा इसमें क्रेब चक्र तथा वसा अम्ल उपापचय सम्मिलित हैं। उपापचयी प्रक्रियाओं के नियंत्रण की चर्चा इकाई 11 में की गई है। इसमें इकाई 9 तथा 10 में चर्चित उपापचयी प्रक्रियाओं से संबंधित एंजाइमों का नियमन सम्मिलित है। इस खंड की अंतिम इकाई, इकाई 12, एक अन्य महत्वपूर्ण प्रक्रिया, प्रकाश संश्लेषण से संबंधित है, जो वनस्पतियों में पाई जाती है।

### उद्देश्य

इस खंड के अध्ययन के बाद आप:

- जैव रासायनिक अभिक्रियाओं की और्जिकी की व्याख्या कर सकेंगे,
- कुछ कार्बोहाइड्रेटों तथा वसा अम्लों के उपापचय की व्याख्या कर सकेंगे,
- उपापचयी प्रक्रियाओं के नियंत्रण की व्याख्या कर सकेंगे, तथा
- वनस्पतियों में प्राप्त प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया की व्याख्या कर सकेंगे।



## इकाई 8 जैव और्जिकी

### इकाई की रूपरेखा

- 8.1 प्रस्तावना  
उद्देश्य
- 8.2 जैव रासायनिक अभिक्रियाओं की ऊष्मागतिकी  
ऊष्मागतिकी का पहला नियम  
ऊष्मागतिकी का दूसरा नियम  
जैव रासायनिक और्जिकी में परंपराएं  
 $\Delta G$  के मानों की योग्यता — संयुग्मन अभिक्रियाएँ
- 8.3 ATP : जैविक ऊर्जा परिवर्तनों का ऊर्जा वाहक  
ATP का जल अपघटन  
जैविक ऊर्जा परिवर्तनों में ATP की भूमिका  
ATP की भूमिका का संरचनात्मक आधार
- 8.4 ATP का बनना  
क्रियाधार स्तर फॉस्फोरिलीकरण  
ऑक्सीकरण फॉस्फोरिलीकरण  
प्रकाश संश्लेषण
- 8.5 ऊर्जा शोषी कार्यों के लिए ATP का उपयोग  
कार्बोट्रिक यौगिकों का संश्लेषण  
पेशी संकुचन
- 8.6 ऊष्मागतिकी तथा जीवित कोशिका
- 8.7 सारांश
- 8.8 अंत में कुछ प्रश्न
- 8.9 उत्तर

### 8.1 प्रस्तावना

पिछले खंडों में आपने कोशिका की संरचना, प्रकारों तथा उसमें उपस्थित जैव अणुओं का अध्ययन किया था। आप जानते हैं कि कोशिका की जटिल कार्वनिक यौगिकों से बनी एक सुस्पष्ट संरचना होती है। जीवित निकायों में ऊर्जा के निरंतर अभिवाह (flux) तथा विभिन्न प्रक्रियाओं के लिए इसके परिवर्तन द्वारा ऐसा संभव हो पाता है। जीवित निकायों में यह परिवर्तन ऊष्मागतिकी के नियमों द्वारा निर्देशित होता है। इस प्रकार के परिवर्तनों का अध्ययन जैव और्जिकी के अन्तर्गत आता है। जैव और्जिकी, पोषक तत्वों के विघटन से ऊर्जा के उत्पन्न होने, उसके भंडारण तथा कोशिका के विभिन्न प्रकार्यों को करने में उसके उपयोग से संबंधित है। इसके अलावा, जैव और्जिकी कई जैव रासायनिक अभिक्रियाओं वाले जैव रासायनिक पथों के जटिल नेटवर्क को सुलझाने का प्रयास करती है। इसमें हम विभिन्न स्पीशीज़ की मुक्त ऊर्जा के रूप में जैव रासायनिक अभिक्रियाओं की वैज्ञानिक व्याख्या करने के लिए ऊष्मागतिकी के नियमों का उपयोग करते हैं।

इस इकाई में पहले हम ऊष्मागतिकी के मूल नियमों का पुनर्वलोकन करेंगे तथा फिर जैव रासायनिक अभिक्रियाओं की स्वतः प्रवर्तिता के लिए विभिन्न ऊष्मागतिक राशियों के रूप में मापदंड प्राप्त करने का प्रयास करेंगे। यद्यपि विभिन्न जीव दिखने में एक दूसरे से बहुत अलग होते हैं, फिर भी उनमें एक अभूतपूर्व समानता पाई जाती है कि वह सभी ऊर्जा वाहक के रूप में 'चमत्कारी अणु' ATP का उपयोग करते हैं। इन फॉस्फोरिलीकरण तथा प्रकाश संश्लेषण प्रक्रियाओं में इसके बनने व विभिन्न ऊर्जाशोषी अभिक्रियाओं जैसे अणुओं का संश्लेषण, इत्यादि में इसके उपयोग का अध्ययन करेंगे। इस इकाई में हम जीवित निकायों में ऊष्मागतिकी के नियमों की वैधता की चर्चा करेंगे। आगे जाने वाली इकाइयों में आप खंड 1 व 2 में वर्णित कुछ जैव अणुओं के जैव संश्लेषण तथा विघटन का अध्ययन करेंगे।

#### उद्देश्य

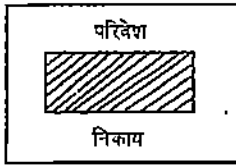
इस इकाई के अध्ययन के बाद आप :

- शरीरक्रियात्मक अवस्थाओं में होने वाली विभिन्न जैव रासायनिक अभिक्रियाओं की संभावित दिशा का पूर्वानुमान लगा सकेंगे,

- इन अभिक्रियाओं से संबंधित ऊर्जा के निवेश (input) व उत्पादन का परिकलन कर सकेंगे,
- जीवित निकायों में ATP के महत्व, उसके बनने तथा उसके उपयोगों का वर्णन कर सकेंगे, तथा
- जीवित निकायों में ऊष्मागतिकी के नियमों की अनुप्रयोज्यता (applicability) की तार्किकता सिद्ध कर सकेंगे।

## 8.2 जैव रासायनिक अभिक्रियाओं की ऊष्मागतिकी

जैविक निकायों के संदर्भ में और्जिकी को जैव और्जिकी कहते हैं।



समष्टि

ऊष्मागतिकी जिसे और्जिकी भी कहते हैं, मनुष्य के अनुभव पर आधारित कुछ नियमों के रूप में जानी जाती है। इन नियमों के वर्णन अथवा जैव रासायनिक अभिक्रियाओं में अनुप्रयोगों को जानने से पहले बेहतर होगा कि हम ऊष्मागतिकी में उपयुक्त विभिन्न पदों से परिचय कर लें। ये इस प्रकार हैं :

**निकाय :** ऊष्मागतिकी में, समष्टि (universe) के जिस भाग का हम अध्ययन करना चाहते हैं, वह निकाय (system) तथा बाकी सब उसका परिवेश (surroundings) कहलाता है। प्रत्येक निकाय अपने परिवेश से एक सीमा (वास्तविक अथवा काल्पनिक) द्वारा अलग होता है। ऊष्मागतिक निकाय तथा परिवेश आपस में द्रव्य तथा ऊर्जा का विनिमय कर सकते हैं। ऐसा निकाय जिसमें द्रव्य तथा ऊर्जा दोनों का आदान-प्रदान संभव हो, वह विद्युत निकाय (open system) कहलाता है। दूसरी ओर वह निकाय जो ऊर्जा के प्रवाह की अनुमति तो देता है, लेकिन जिसमें द्रव्य का विनिमय संभव न हो, वह संवृत निकाय (closed system) कहलाता है तथा वह निकाय जो ऊर्जा व द्रव्य दोनों के विनिमय की अनुमति नहीं देता, वह वियुक्त निकाय (isolated system) कहलाता है।

**निकाय की अवस्था :** ऊष्मागतिकी में निकाय की अवस्था को ऊष्मागतिक परिवर्तियों (thermodynamic variables) के मान द्वारा परिभाषित किया जाता है। ये परिवर्ती हैं—दाब, तापमान तथा संयोजन। उदाहरण के लिए, 298 K तथा 1 बार दाब पर जल का 100 सेमी<sup>3</sup> एक ऊष्मागतिक अवस्था दर्शाता है। इनमें से किसी एक परिवर्ती के मान में परिवर्तन से एक नई अवस्था प्राप्त होती है।

**स्वतः प्रक्रम (Spontaneous process) :** ऊष्मागतिकी में, किसी परिवर्तन अथवा किसी रासायनिक अभिक्रिया के अपने आप होने की क्षमता को स्वतः प्रवर्तिता (spontaneity) कहते हैं। इसका परिवर्तन की दर से कोई संबंध नहीं होता। उदाहरण के लिए, जब ठोस अमोनियम क्लोराइड को जल में डाला जाता है तब वह स्वतः ही विलयन में परिवर्तित हो जाता है। इसी प्रकार जब एक अम्ल व क्षारक को मिलाया जाता है, तो वे एक-दूसरे का उदासीनीकरण कर देते हैं। यह स्वतः होने वाली प्रक्रियाओं के उदाहरण हैं। इनकी विलोम प्रक्रियाएँ जैसे, किसी लवण के विलयन से अम्ल व क्षारक का बनना, स्वतः नहीं होती हैं। विशिष्ट परिस्थितियों में सामान्यतः स्वतः न हो पाने वाली प्रक्रियाओं को ऊर्जा के निवेश द्वारा किया जा सकता है। उदाहरण के लिए, लवणों का विद्युत अपघटन। कई बार स्वतः होने वाली अभिक्रियाएँ अत्यंत धीमी गति से होती हैं। गर्म करने पर अथवा उष्णयुक्त उत्प्रेरक की उपस्थिति में ही ऐसी अभिक्रियाओं की दर अर्थपूर्ण होती है। उदाहरण के लिए, ग्लूकोस के अपचयन से कार्बन डाइऑक्साइड तथा जल बनना एक स्वतः होने वाली प्रक्रिया है, परंतु ग्लूकोस को गर्म किए बिना अथवा जैविक उत्प्रेरकों की अनुपस्थिति में इसकी दर मापन योग्य नहीं होती।

आप जानते हैं कि उत्प्रेरक केवल स्वतः होने वाली अभिक्रिया की दर ही बढ़ा सकते हैं। यह स्वतः न होने वाली अभिक्रियाओं को कर सकने में सक्षम नहीं होते हैं।

अब हम ऊष्मागतिकी के नियमों व इनसे उभर कर आने वाली ऊष्मागतिक राशियों का वर्णन करेंगे। हम उनके महत्व को समझने की कोशिश करेंगे व स्वतः प्रवर्तिता के मापदंड (criterion) के रूप में उनका मूल्यांकन करेंगे।

### 8.2.1 ऊष्मागतिकी का पहला नियम

ऊष्मागतिकी के पहले नियम के अनुसार "किसी निकाय तथा उसके परिवेश अर्थात्, समष्टि की कुल ऊर्जा स्थिर होती है।" यदि कोई निकाय अवस्था 'A' से 'B' पर जाता है और इस प्रक्रिया में परिवेश से ऊर्जा का विनिमय करके कुछ कार्य करता है, तब ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार,

$$E_B - E_A = \Delta E = Q - W \quad \dots(8.1)$$

आंतरिक ऊर्जा में अणुओं की स्थानांतरित (translational), घूर्णन (rotational), कंपनिक (vibrational) तथा इलेक्ट्रॉनिक (electronic) ऊर्जाएँ सभी होती हैं।

जहाँ  $E_A$  व  $E_B$  क्रमशः 'A' तथा 'B' अवस्था में निकाय की ऊर्जा होती है, इसे आंतरिक ऊर्जा (internal energy) कहते हैं।  $Q$ , निकाय द्वारा परिवेश से अवशोषित ऊर्जा तथा  $W$  निकाय द्वारा परिवेश पर किए गए कार्य को दर्शाता है। ध्यान दीजिए कि कार्य भी ऊर्जा का ही एक प्रकार है। अब ध्यान दीजिए कि यद्यपि ऊर्जा का परिवर्तन, उदाहरण के लिए, ऊष्मा से कार्य तथा विलोम, हो सकता है, परंतु समष्टि की कुल ऊर्जा स्थिर रहती है। इसलिए ऊष्मागतिकी के पहले नियम को ऊर्जा के संरक्षण का नियम (law of conservation of energy) भी कहते हैं। ध्यान दीजिए कि निकाय की ऊर्जा में परिवर्तन,  $\Delta E$ , निकाय की आरंभिक तथा अंतिम अवस्था पर ही निर्भर करता है तथा परिवर्तन के पथ अथवा इसमें हिस्सा लेने वाले विभिन्न चरणों की संख्या पर निर्भर नहीं करता है। यह प्रथम नियम का एक महत्वपूर्ण परिणाम है।



प्रत्येक निकाय तथा इसके प्रत्येक अवयव की कुछ ऊर्जा होती है। समीकरण 8.1 में  $E_A$  तथा  $E_B$  क्रमशः 'A' तथा 'B' अवस्था में सभी अवयवों की ऊर्जा के योग को दर्शाता है। अधिकतर अभिक्रियाओं के लिए इनके परम मानों (absolute values) को जानना आवश्यक नहीं होता है, अपितु अभिक्रिया में होने वाले ऊर्जा परिवर्तन  $\Delta E$  को जानना ही पर्याप्त होता है। प्रायोगिक तौर पर ऊर्जा परिवर्तन को  $Q$  तथा  $W$  के मानों के मापन द्वारा जाना जा सकता है।

अधिकतर रासायनिक अभिक्रियाओं को सामान्यतः स्थिर दाब पर किया जाता है। यदि हम मान लें कि इन अभिक्रियाओं में प्रसार कार्य (work of expansion) ही होता है, तब हम समीकरण 8.1 को इस प्रकार लिख सकते हैं :

$$\Delta E = Q_p - P\Delta V ; E_B - E_A = Q_p - P[V_B - V_A]$$

जहाँ पादाक्षर (subscript)  $P$  दाब का स्थिर होना दर्शाता है। इस समीकरण को पुनर्व्यवस्थित करके हम लिख सकते हैं कि,

$$Q_p = (E_B + PV_B) - (E_A + PV_A)$$

इन परिस्थितियों में एक अन्य फलन रासायनिक तथा जैव रासायनिक अभिक्रियाओं के वर्णन के लिए अधिक उपयुक्त होता है। इसे एन्थैल्पी कहते हैं तथा  $H$  के चिह्न द्वारा दर्शाते हैं :

$$H = E + PV ; \Delta H = \Delta E + P\Delta V$$

आंतरिक ऊर्जा की तरह एन्थैल्पी भी एक अवस्था फलन होता है। हम किसी अभिक्रिया के दौरान होने वाले एन्थैल्पी परिवर्तन को ही माप सकते हैं, अभिकारकों अथवा उत्पादों की परम एन्थैल्पियों को नहीं। सामान्यतः अभिक्रियाओं में आयतन में अधिक परिवर्तन नहीं होता तथा आंतरिक ऊर्जा ( $E$ ) तथा एन्थैल्पी ( $H$ ) में अधिक अंतर नहीं होता। जैव रासायनिक अभिक्रियाओं में  $P\Delta V$  पर नग्न्य होता है तथा  $E$  व  $H$  का अंतर और भी कम होता है।

अब तक हमने दो ऊष्मागतिक फलनों नामतः,  $E$  तथा  $H$  को परिभाषित किया है। आइए देखें कि क्या यह स्वतः प्रवर्तिता का मापदंड प्रदान कर सकते हैं अथवा नहीं। कई स्वतः होने वाली अभिक्रियाओं में  $\Delta E$  ऋणात्मक होता है तथा अन्य कई के लिए धनात्मक अर्थात्, कई अभिक्रियाओं में आंतरिक ऊर्जा कम होती है जबकि कई अन्य में यह बढ़ती है। इस प्रकार  $\Delta E$  का मान स्वतः प्रवर्तिता का मापदंड नहीं हो सकता है।

काफी समय तक ऐसा माना जाता रहा कि  $\Delta H$  का, स्वतः प्रवर्तिता के मापदंड के रूप में उपयोग किया जा सकता है क्योंकि स्थिर दाब पर होने वाली अधिकतर स्वतः अभिक्रियाओं में ऊष्मा का विमोचन होता है, अर्थात्, वह ऊष्माक्षेपी (exothermic) होती हैं। परंतु आदिस्ता-आदिस्ता यह स्पष्ट होता गया कि कई स्वतः होने वाली अभिक्रियाओं में  $\Delta H$  का मान धनात्मक होता है अर्थात्, अभिक्रिया में एन्थैल्पी बढ़ती है यानि यह ऊष्माशोषी (endothermic) होती है। उदाहरण के लिए, जल में  $\text{LiCl}$  तथा  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  का घुलना, स्वतः होने वाली अभिक्रियाएं हैं, परंतु  $\text{LiCl}$  के घुलने से ऊष्मा उत्पन्न होती है, जबकि  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  का घुलना एक ऊष्माशोषी अभिक्रिया है। इस प्रकार, एन्थैल्पी परिवर्तन भी स्वतः प्रवर्तिता का मापदंड नहीं हो सकता।

इस प्रकार हमने देखा कि प्रथम नियम से प्राप्त होने वाले दो ऊष्मागतिक फलन अभिक्रिया की स्वतः प्रवर्तिता का पर्याप्त मापदंड प्रदान करने में सक्षम नहीं हैं। इसलिए हमें एक अन्य नियम की आवश्यकता है, जो इस ऐच्छिक मापदंड का प्रदान कर सके। आइए, देखें कि क्या ऊष्मागतिकी का दूसरा नियम यह कार्य कर सकता है ?

## 8.2.2 ऊष्मागतिकी का दूसरा नियम

इस नियम का वर्णन कई प्रकार से किया जा सकता है। जैव रासायनिक प्रक्रियाओं के लिए प्रासंगिक कथन के अनुसार कोई परिवर्तन तभी स्वतः हो पाता है जब उससे समष्टि अर्थात्, निकाय व उसके परिवेश की कुल यादृच्छिकता (randomness) बढ़ती है। यादृच्छिकता की मात्रा को एक अन्य ऊष्मागतिक फलन के रूप में निरूपित किया जाता है। इसे एन्ट्रॉपी कहते हैं व  $S$  के चिह्न द्वारा दर्शाते हैं। इस प्रकार किसी स्वतः होने वाली प्रक्रिया के लिए समष्टि की एन्ट्रॉपी बढ़ना आवश्यक है। दूसरे शब्दों में स्वतः परिवर्तन के लिए  $\Delta S$  (निकाय) +  $\Delta S$  (परिवेश) का मान शून्य से अधिक होना चाहिए। इस प्रकार हमें एन्ट्रॉपी परिवर्तन के रूप में स्वतः प्रवर्तिता का मापदंड प्राप्त हो गया है परंतु इस कथन के आधार पर किसी अभिक्रिया की स्वतः प्रवर्तिता को प्रामुक्त (predict) करना सदैव संभव नहीं होता है। ऐसा इसलिए है कि एन्ट्रॉपी परिवर्तन का मापन सरल नहीं होता है। इसके अलावा इस नियम के अनुसार हमें केवल निकाय की नहीं अपितु उसके परिवेश की एन्ट्रॉपी में परिवर्तन का मापन भी करना होता है। जे. गिब्स ने अभिक्रिया की दिशा को प्रामुक्त करने के लिए एक सुविधाजनक फलन की खोज की। इसे मुक्त ऊर्जा ( $G$ , free energy) कहते हैं व निम्न प्रकार से परिभाषित करते हैं :

$$G = H - TS ; \Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad \dots (8.2)$$

शून्य स्तर पर एन्ट्रॉपी, किसी निकाय के लिए कुल ऊर्जा में परिवर्तन के बिना, उसके विभिन्न विन्यासों की संभव संख्या का सूचक होती है। यदि किसी वदार्थ के लिए विभिन्न विन्यासों की संख्या  $\Omega$  है तो जगती प्रति मॉल परम एन्ट्रॉपी ( $S$ ) निम्नलिखित समीकरण द्वारा दी जाती है,

$$S = R \ln \Omega$$

जहाँ  $R$  गैस स्थिरांक को दर्शाता है।

जहाँ पर  $\Delta G$ , स्थिर तापमान व दाब पर होने वाली किसी प्रक्रिया अथवा रासायनिक अभिक्रिया की मुक्त ऊर्जा में परिवर्तन होता है।  $\Delta H$  तथा  $\Delta S$  क्रमशः निकाय की एन्थैल्पी तथा एन्ट्रॉपी में परिवर्तन को दर्शाते हैं। इनमें परिवेश का मापन सम्मिलित नहीं होता है।

किसी प्रक्रिया अथवा रासायनिक अभिक्रिया के कुल एन्थैल्पी परिवर्तन का कुछ भाग ( $T\Delta S$  के बराबर) निकाय की यादृच्छिकता को बढ़ाने में खर्च हो जाता है तथा बाकी अर्थात्,  $\Delta H - T\Delta S = \Delta G$  उपयोगी कार्य को करने के लिए उपलब्ध होता है। यह कार्य यांत्रिकीय, रासायनिक संश्लेषण अथवा सांद्रता के विपरीत पदार्थों के अभिगमन से संबंधित हो सकता है। मुक्त ऊर्जा की अभिकल्पना व उसके अनुप्रयोगों को जैव रासायनिक अभिक्रियाओं द्वारा अच्छी तरह से समझा जा सकता है। ऐसा हम इस इकाई में वर्णित उदाहरणों से देख सकते हैं।

गिब्स के अनुसार कोई प्रक्रिया (या अभिक्रिया) तभी स्वतः होती है, जब निकाय की मुक्त ऊर्जा में कमी होती है। दूसरे शब्दों में, स्वतः होने वाली अभिक्रिया के लिए  $\Delta G$  (निकाय) का मान ऋणात्मक होना चाहिए। ध्यान दें कि स्वतः प्रवर्तिता के लिए इस मापदंड के प्रयोग में परिवेश के मापन की आवश्यकता नहीं होती, केवल अभिक्रिया करने वाले निकाय का ही मापन किया जाता है।

$\Delta G$  का मान अभिक्रिया से पहले व बाद, निकाय की मुक्त ऊर्जा पर निर्भर करता है, अर्थात्,

$$\Delta G = G(\text{उत्पाद}) - G(\text{अभिकारक})$$

इस प्रकार,  $\Delta G$  का मान अभिक्रिया के पथ अथवा क्रियाविधि पर निर्भर नहीं करता है।  $\Delta G$  का यह गुण कई परिकल्पनों में उपयोगी होता है। इसका वर्णन हम बाद में करेंगे। इसके अलावा यह भी ध्यान में रखने योग्य है कि  $\Delta G$  का मान रासायनिक अभिक्रिया की दर के बारे में कोई जानकारी नहीं देता है। इस प्रकार हमें  $\Delta G$  के रूप में स्वतः प्रवर्तिता के लिए एक उपयोगी मापदंड प्राप्त हो गया है। चूंकि यह एक महत्वपूर्ण फलन है, इसलिए विभिन्न प्रकार की अभिक्रियाओं के अन्य महत्वपूर्ण लक्षणों से इसके संबंध को जानना उपयोगी होगा।

व्युत्क्रमणीय अभिक्रियाओं में मुक्त ऊर्जा परिवर्तन

A तथा B के C तथा D में परिवर्तन वाली व्युत्क्रमणीय अभिक्रिया



के लिए मुक्त ऊर्जा परिवर्तन ( $\Delta G$ ) को निम्नलिखित समीकरण द्वारा दर्शाया जा सकता है:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{[C][D]}{[A][B]} \quad \dots (8.3)$$

जहाँ  $\Delta G^\circ$  एक स्थिरांक होता है, जो प्रत्येक अभिक्रिया के लिए विशिष्ट होता है,  $R$  मोलर गैस स्थिरांक,  $T$  परम तापमान (केल्विन में) तथा कोष्ठक में दी गई राशियाँ संगत अभिकारकों व उत्पादों की सांद्रता (सही मापने में सक्रियता) दर्शाती हैं। यदि हम मान लें कि अभिक्रिया को मानक अवस्थाओं में किया जा रहा है, तो  $\Delta G^\circ$  का महत्व स्पष्ट हो जाता है। मानक अवस्था में सभी अभिकारकों तथा उत्पादों की सांद्रता 1 होती है (विलयनों के लिए एक मोल प्रति  $\text{dm}^3$  तथा गैसों के लिए एक बार का दाब)। इन परिस्थितियों में  $\Delta G$  व  $\Delta G^\circ$  का मान बराबर होता है क्योंकि समीकरण 8.3 के दाईं ओर का दूसरा पद शून्य के बराबर हो जाता है। इसलिए  $\Delta G^\circ$  को अभिक्रिया का मानक मुक्त ऊर्जा परिवर्तन (या केवल मानक मुक्त ऊर्जा) कहते हैं। ध्यान दें कि वास्तविक मुक्त ऊर्जा परिवर्तन,  $\Delta G$  के मान तथा अभिकारकों व उत्पादों की सांद्रता पर निर्भर करेगा, जैसा समीकरण 8.3 में दर्शाया गया है।  $\Delta G$  व  $\Delta G^\circ$  के बीच अंतर को जानना बहुत महत्वपूर्ण होता है। कई अभिक्रियाओं के लिए  $\Delta G^\circ$  के मानों को सारणीबद्ध किया गया है। यद्यपि किसी अभिक्रिया के लिए विभिन्न अभिकारकों व उत्पादों की सांद्रता के आधार पर (समीकरण 8.3 द्वारा) उसके वास्तविक  $\Delta G$  के मान का परिकलन करना आवश्यक होता है। अभिक्रिया की स्वतः प्रवर्तिता तथा व्युत्क्रमणीय अभिक्रिया की दिशा के निर्धारण में मापदंड  $\Delta G$  होता है,  $\Delta G^\circ$  नहीं। जैसा पहले बताया जा चुका है, अभिक्रिया ऋणात्मक  $\Delta G$  की दिशा में ही होगी।

व्युत्क्रमणीय अभिक्रिया की मानक मुक्त ऊर्जा,  $\Delta G^\circ$  उसके साम्य स्थिरांक (equilibrium constant) से संबंधित होती है। साम्य अवस्था में निकाय की मुक्त ऊर्जा न्यूनतम होती है तथा अभिक्रिया के  $\Delta G$  का मान शून्य होता है, इसलिए,

$$\Delta G = 0 = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{[C]_{\text{eq}}[D]_{\text{eq}}}{[A]_{\text{eq}}[B]_{\text{eq}}} \quad \dots (8.4)$$

जहाँ कोष्ठक के बीच दी गई राशियाँ साम्य अवस्था में संगत अभिकारकों व उत्पादों की सांद्रता को दर्शाती हैं।  
यूँकि,

$$\frac{[C]_{eq} [D]_{eq}}{[A]_{eq} [B]_{eq}} = K_{eq}$$

इसलिए

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K_{eq}$$

$$\Delta G^{\circ} = -2.303 \times R \times T \times \log K_{eq} \quad \dots(8.5)$$

परंपरागत तौर पर तापमान को 298 K लिया जाता है, तथा इस तापमान पर विभिन्न अभिक्रियाओं के  $K_{eq}$  मानों द्वारा उनकी मानक मुक्त ऊर्जा का परिकलन किया जाता है। उदाहरण के लिए, यदि 298K पर  $K_{eq}$  का मान 0.1 हो तो,

$$\Delta G^{\circ} = 2.303 \times 8.314 \times 298 \times \log 0.1$$

$$= -2.303 \times 8.314 \times 298 \times -1$$

$$= 5705.8 \text{ J mol}^{-1}$$

$$= 5.706 \text{ kJ mol}^{-1}$$

इसी प्रकार उन अभिक्रियाओं के लिए भी  $\Delta G^{\circ}$  मानों का परिकलन किया जा सकता है, जिनके  $K_{eq}$  का मान 1 अथवा 10 होता है। इनके  $\Delta G^{\circ}$  का मान क्रमशः शून्य तथा  $-5.706 \text{ kJ mol}^{-1}$  होता है। इन मानों की तुलना से पता लगता है कि 298K पर साम्य स्थिरांक में दस गुणा परिवर्तन से मानक मुक्त ऊर्जा में  $-5.706 \text{ kJ mol}^{-1}$  का परिवर्तन होता है।

अपचयोपचय अभिक्रियाओं में मुक्त ऊर्जा परिवर्तन : अपचयोपचय अभिक्रियाओं, अर्थात् वह अभिक्रियाएँ जिनमें अपचयन व उपचयन साथ-साथ होते हैं, के लिए मानक मुक्त ऊर्जा का मान उसमें भाग लेने वाले उपचायक-अपचायक युग्म के मानक अपचयन विभवों के अंतर द्वारा प्राप्त किया जा सकता है। इससे साम्य स्थिरांक का मान भी ज्ञात किया जा सकता है।

मानक उपचयन विभवों का अंतर  $\Delta E^{\circ}$  मानक मुक्त ऊर्जा परिवर्तन से निम्नलिखित समीकरण द्वारा संबंधित है:

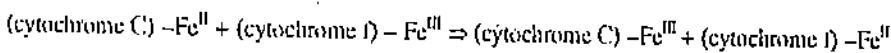
$$\Delta G^{\circ} = -nF\Delta E^{\circ} \quad \dots(8.6)$$

जहाँ,  $n$  = अभिक्रिया में स्थानांतरित इलेक्ट्रॉनों की संख्या

$F$  = फॅराडे, यह एक मोल इलेक्ट्रॉनों के एक वोल्ट के विभव ( $96.485 \text{ kJ vol}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ) में कमी से उत्पन्न मुक्त ऊर्जा परिवर्तन होता है।

$\Delta E^{\circ}$  (वोल्ट में) यह अभिक्रिया करने वाले दो युग्मों के मानक उपचयन विभवों के अंतर के बराबर होता है।

उदाहरण के लिए, ग्लूकोस उपापचयजों से आश्विक ऑक्सीजन तक इलेक्ट्रॉनों के स्थानांतरण से संबंधित निम्नलिखित अभिक्रिया :



के लिए  $\Delta E^{\circ}$  का मान 0.11V होता है।

समीकरण 8.6 द्वारा

$$\Delta G^{\circ} = -1 \times 96.485 \times 0.11 = -10.61 \text{ kJ mol}^{-1}$$

बोध प्रश्न 1

नीचे उत्तर को (✓) द्वारा चिह्नित कीजिए।

मुक्त ऊर्जा परिवर्तन,  $\Delta G$ ,

i) साम्य पर शून्य के बराबर होता है।

ii) मानक मुक्त ऊर्जा के समानुपाती होता है।

iii)  $-RT \ln K_{eq}$  के बराबर होता है।

iv) का परिकलन केवल तभी किया जा सकता है, जब अभिकारक व उत्पाद, दोनों की सांद्रता 1M हो।

इलेक्ट्रॉनों की हानि उपचयन तथा इलेक्ट्रॉनों का लाभ अपचयन कहलाता है।

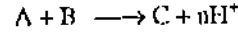
अपचायक की अपचयित अर्थात् इलेक्ट्रॉन ग्रहण करने की प्रवृत्ति के माप को उपचायक/अपचायक युग्म का मानक अपचयन विभव कहते हैं। यह प्रेषित विभव तथा इलेक्ट्रॉन-ग्राही व इलेक्ट्रॉन-दाता के सांद्रता अनुपात से संबंधित होता है जिसे नेर्नस्ट समीकरण द्वारा निम्नलिखित रूप में दर्शाया जाता है :

$$E = E^{\circ} + \frac{2.303RT}{nF} \log \frac{[\text{electron-acceptor}]}{[\text{electron-donor}]}$$

### 8.2.3 जैव रासायनिक और्जिकी में परंपराएँ

जैव रासायनिक अभिक्रियाओं में दो परंपराएँ बहुत महत्वपूर्ण होती हैं। इनमें से पहली मानक अवस्था, फलस्वरूप मानक मुक्त ऊर्जा परिवर्तन, से संबंधित है। आपको ध्यान होगा कि मानक अवस्था उस परिस्थिति को कहते हैं जिसमें सभी अभिकारक व उत्पादों की मोलर सांद्रता एक होती है। जिसके माने हैं कि हाइड्रोजन आयन वाली अभिक्रियाओं में हाइड्रोजन आयन की सांद्रता 1M अर्थात्, pH का मान शून्य होगा। यद्यपि, जैव रासायनिक अभिक्रियाएँ लगभग 7pH पर होती हैं, अर्थात्,  $[H^+] = 10^{-7}M$  तथा ऊपर दी गई मानक अवस्था उपयुक्त नहीं होती। इसीलिए जैव रासायनिक अभिक्रियाओं के लिए एक अलग मानक अवस्था को अपनाया गया है, जिसमें  $H^+$  आयनों की सांद्रता  $10^{-7}M$  (तथा pH=7.0) होती है, जबकि अन्य सभी स्पीशीज की सांद्रता, जैसा अन्य अभिक्रियाओं के लिए होता है, 1M होती है। इसके अलावा संगत मानक मुक्त ऊर्जा को एक नया चिह्न भी दिया गया है। भौतिक रासायनिक मानक अवस्था के संगत  $\Delta G^\circ$  के चिह्न के स्थान पर  $\Delta G'^\circ$  चिह्न का उपयोग किया जाता है।

हाइड्रोजन आयन मुक्त करने वाली अभिक्रिया,



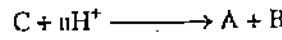
के लिए दो मानक मुक्त ऊर्जाएँ निम्न प्रकार से संबंधित होती हैं :

$$\Delta G^\circ = \Delta G'^\circ + nRT \ln \frac{1}{10^{-7}}$$

$$n=1 \text{ तथा } T=298K \text{ पर}$$

$$\Delta G^\circ = \Delta G'^\circ + 40.0 \text{ kJ mol}^{-1}$$

अर्थात्, एक हाइड्रोजन आयन को उत्पन्न करने वाली अभिक्रियाओं के लिए  $\Delta G^\circ$  का मान  $\Delta G'^\circ$  के मान से लगभग  $40 \text{ kJ mol}^{-1}$  अधिक होता है। दूसरी ओर वे अभिक्रियाएँ, जिनमें  $H^+$  आयन एक अभिकारक होता है जैसे,



के लिए,  $n=1$  तथा  $T=298K$  पर  $\Delta G'^\circ$  का मान  $\Delta G^\circ$  के मान की अपेक्षा  $40 \text{ kJ mol}^{-1}$  अधिक होता है तथा वे अभिक्रियाएँ जिनमें  $H^+$  आयन हिस्सा नहीं लेते उनमें  $\Delta G^\circ$  का मान  $\Delta G'^\circ$  के मान के बराबर होता है।

इसलिए जैव रासायनिक अभिक्रियाओं के लिए मानक सारणियों में दिए  $\Delta G^\circ$  मानों का उपयोग ध्यानपूर्वक करना चाहिए।

जैव रासायनिक और्जिकी में एक अन्य परंपरा का उपयोग होता है। इसके अनुसार जलीय विलयनों में जल की सक्रियता को एक माना जाता है, जबकि उसकी सांद्रता लगभग 55M होती है।

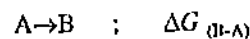
अभिक्रिया के विभिन्न चरणों के मानक मुक्त ऊर्जा परिवर्तनों के मानों का योग किया जा सकता है। विभिन्न चरणों के  $\Delta G$  मानों का कुल योग यह बताता है कि अभिक्रिया उत्पादों की दिशा में होगी अथवा नहीं  $\Delta G$  योज्यता के इस गुण के महत्व का अध्ययन आप अगले उपभाग में करेंगे।

### 8.2.4 $\Delta G$ के मानों की योज्यता - संयुग्मन अभिक्रियाएँ

$\Delta E$ ,  $\Delta H$  तथा  $\Delta G$  के मान निकाय की आरंभिक तथा अंतिम अवस्था पर ही निर्भर करते हैं। जब किसी निकाय को अवस्था 'A' से अवस्था 'B' में परिवर्तित किया जाता है, तब

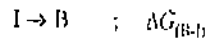
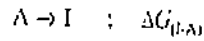
$$\Delta G (A \rightarrow B \text{ के लिए}) = G_B - G_A$$

$\Delta G$  का मान परिवर्तन के पथ अथवा अवस्था A से B तक जाने के विभिन्न चरणों की संख्या पर निर्भर करता है। यह परिवर्तन केवल एक चरण में हो सकता है, जैसे,



आपको ध्यान होगा कि किसी अभिक्रिया की स्वतः प्रवृत्ति का मापदंड उसके  $\Delta G$  का मान होता है न कि  $\Delta G^\circ$  अथवा  $\Delta G'^\circ$  का मान।  $\Delta G$  का मान, मानक अवस्था के घयन पर निर्भर नहीं करता है।

अथवा अभिक्रिया किन्ती मध्यवर्ती (I) के द्वारा हो सकती है, अतः

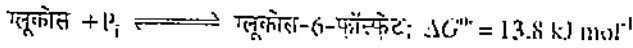


चूँकि  $\Delta G$  का मान केवल आरंभिक तथा अंतिम अवस्था पर ही निर्भर करता है, इसलिए

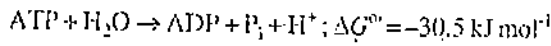
$$\Delta G_{(B-A)} = \Delta G_{(I-A)} + \Delta G_{(I-B)}$$

दूसरे शब्दों में, ऊष्मागतिकीय समीकरणों को बीजगणितीय समीकरणों की तरह ही जमा या घटा किया जा सकता है। यह एक महत्वपूर्ण संबंध है। यह उन अभिक्रियाओं के  $\Delta G$  (अथवा  $\Delta G^\circ$  या  $\Delta G^\circ$ ) मानों का परिकलन करने में सहायक होता है, जिनके लिए  $\Delta G$  का सीधा निर्धारण सरल नहीं होता है।

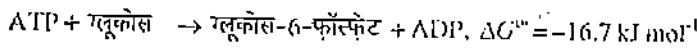
मुक्त ऊर्जा की योग्यता का एक सीधा निष्कर्ष यह निकलता है कि अति उपयुक्त अभिक्रियाओं के संयुग्मन द्वारा कई प्रतिकूल अभिक्रियाओं ( $\Delta G =$  धनात्मक) को संभव बनाया जा सकता है। अभिक्रियाओं का संयुग्मन कई प्रकार से किया जा सकता है। इनमें से एक विधि में यह कार्य एन्जाइमों की सहायता से होता है। उदाहरण के लिए, ग्लाइकोलिसिस (एक उपापचयी पथ जिसका अध्ययन आप अगली इकाई में करेंगे) के पहले चरण में ग्लूकोस का ग्लूकोस-6-फॉस्फेट में परिवर्तन होता है।



जैसा आप देख सकते हैं यह एक ऊर्जाशोषी (endergonic) प्रक्रिया है तथा स्वतः नहीं होगी। यद्यपि एक उच्च ऊर्जाजनिक (exergonic) अभिक्रिया जैसे, ATP के जल अपघटन से इसका संयुग्मन करके इस अभिक्रिया को स्वतः किया जा सकता है।



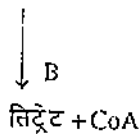
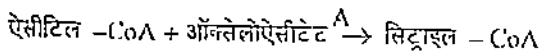
संपूर्ण अभिक्रिया को हम इस प्रकार लिख सकते हैं,



यहाँ पर यह ध्यान देने योग्य है कि यदि ये दो अभिक्रियाएँ अलग-अलग हो रही हैं तब ये संयुग्मित नहीं होंगी। यह अभिक्रिया हेचलोकॉस्नेस नामक एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है। यह एन्जाइम ATP से ग्लूकोस पर फॉस्फेट समूह के स्थानांतर को सुगम बनाता है।

संयुग्मन की एक अन्य संभव विधि में अनुकूल अभिक्रिया या तो प्रतिकूल अभिक्रिया से ठीक पहले अथवा ठीक बाद में होती है। यदि यह ठीक पहले होती है, तो यह प्रतिकूल अभिक्रिया के लिए अत्यधिक मात्रा में अभिकारक उपलब्ध कराती है जिससे वह अभिक्रिया संभव हो जाती है और यदि वह प्रतिकूल अभिक्रिया ठीक बाद में होती है, तब यह उस अभिक्रिया के उत्पाद से लगातार अभिक्रिया करके प्रतिकूल अभिक्रिया को अग्र दिशा में ले जाती है।

B  $\rightarrow$  C जैसी प्रतिकूल अभिक्रिया के लिए A  $\rightarrow$  B या C  $\rightarrow$  D जैसी अत्यधिक अनुकूल अभिक्रियाएँ उपयुक्त संयुग्मन अभिक्रिया का कार्य कर सकती हैं। इनमें से पहली अभिक्रिया को B  $\rightarrow$  C से ठीक पहले होना होगा, जबकि दूसरी अभिक्रिया B  $\rightarrow$  C के ठीक बाद में होगी। उदाहरण के लिए, अभिक्रियाओं के निम्नलिखित क्रम में :



चरण A के लिए  $\Delta G^\circ$  का मान शून्य के करीब (परंतु ऋणात्मक) होता है, जबकि चरण B अत्यधिक ऊर्जाजनिक होता है तथा संपूर्ण अभिक्रिया अनुकूल होकर अच्छी मात्रा में अग्र दिशा में होती है।

जीवित निकायों की विभिन्न ऊर्जापिंडी प्रक्रियाओं में ऐडेनोसिन ट्राइफॉस्फेट (ATP) ऊर्जा वाहक का कार्य करता है। अगले भाग में आप इसका अध्ययन करेंगे। इससे पहले निम्नलिखित बोध प्रश्न को हल करने का प्रयास कीजिए।

## बोध प्रश्न 2

क) आपने  $\Delta G^\circ$  तथा  $\Delta G^\circ$  की मिलती जुलती प्रकृति का अध्ययन किया है। बताइए कि  $\Delta G^\circ$  तथा  $\Delta G^\circ$  का मान किन परिस्थितियों में अलग-अलग होगा?

.....

.....

ग्लूकोस के कार्यन डाइऑक्साइड व जल में उच्चमन के लिए  $\Delta G^\circ$  का मान समान होगा चाहे वह वन ऊर्जामानवी में धरम द्वारा किया गया हो चाहे जीवित नोशिका में बहुकरीन तरीके से किया गया हो।

संयुग्मन का यह तरीका अनिवार्यतः द्रव अनुपाती क्रिया के नियम (law of mass action) की अभिव्यक्ति है।

ख) किसी अभिक्रिया,  $A \rightarrow B$ , के लिए क्या  $\Delta G^{\circ}$  का मान उसकी संभाव्यता को बताने में तक्षन है?

### 8.3 ATP : जैविक ऊर्जा परिवर्तनों का ऊर्जा वाहक

आराम से बैठकर कार्य करने वाले मनुष्य को प्रतिदिन लगभग 8000kJ ऊर्जा की आवश्यकता होती है, जबकि शारीरिक कार्य करने वाले मनुष्य को लगभग 16000kJ तक की आवश्यकता होती है।

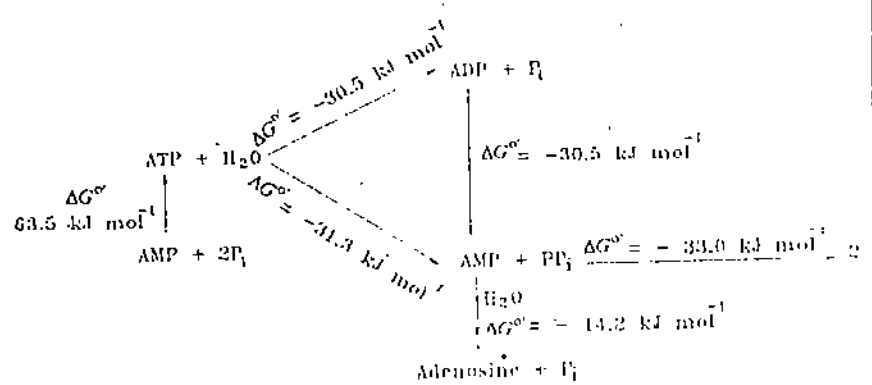
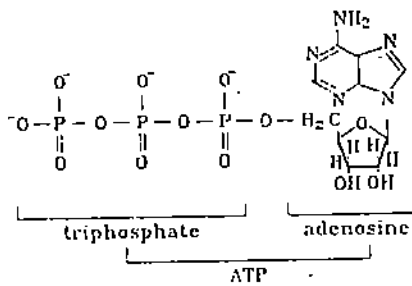
'ATP' ऊर्जा का 'भंडार' नहीं होता, अपितु यह ऊर्जाशोषी तथा ऊर्जाजनिक अभिक्रियाओं के बीच सेतु का कार्य करता है।

ATP का ट्राइफॉस्फेट हिस्सा इतने ऊर्जा वाहक के रूप में कार्य करने के लिए उत्तरदायी है।

आपको ध्यान होगा कि समतापी (isothermal) परिस्थितियों में, उपयोगी कार्य के लिए उपलब्ध ऊर्जा, मुक्त ऊर्जा परिवर्तन के बराबर होती है। चूंकि जीवित कोशिकाएं समतापी परिस्थितियों में कार्य करती हैं, इसलिए विभिन्न ऊर्जापिथी प्रकारों के लिए यह मुक्त ऊर्जा का उपयोग करती हैं। ऊर्जा उत्पन्न करने वाले निकायों से ऊर्जा का उपयोग करने वाले निकायों तक मुक्त ऊर्जा का स्थानांतरण कोशिकीय उपापचय का एक मुख्य कार्य होता है। जैसा पहले भी बताया गया है कि लगभग सभी जीव इस कार्य लिए ऐडेनोसिन ट्राइफॉस्फेट (ATP) का उपयोग करते हैं। अब हम यह देखने का प्रयास करेंगे कि ATP किस प्रकार ऊर्जा वाहक का कार्य करता है तथा इस कार्य के लिए ATP ही क्यों उपयुक्त है?

#### 8.3.1 ATP का जल अपघटन

आपने इकाई 4 में पढ़ा था कि ऐडेनोसिन ट्राइफॉस्फेट एक प्यूरिन क्षारक, ऐडेनिन, राइबोस शर्करा तथा एक ट्राइफॉस्फेट इकाई वाला न्यूक्लिओटाइड होता है। चित्र 8.1 में ATP तथा इसके जल अपघटन उत्पादों की संरचना दी गई है। इसके जल अपघटन उत्पाद हैं- ऐडेनोसिन डाइफॉस्फेट (ADP); ऐडेनोसिन मोनोफॉस्फेट, AMP, तथा अकार्बनिक फॉस्फेट ( $P_i$ )। जैसा इस चित्र में दर्शाया गया है ATP के जल अपघटन में उच्च मात्रा में मुक्त ऊर्जा उत्पन्न होती है।



चित्र 8.1 : ATP तथा उसके अवयवों की संरचना तथा जल अपघटन

जीवित कोशिका में ATP के ADP में जल अपघटन का वास्तविक मुक्त ऊर्जा परिवर्तन ( $\Delta G$ ) चित्र 8.1 में दिए गए  $\Delta G^{\circ}$  मानों से काफी भिन्न होता है तथा इस अभिक्रिया में हिस्सा लेने वाले विभिन्न अभिकारकों की अंतः कोशिकी सांद्रता पर निर्भर करता है, जिनका मान सामान्यतः अल्पमान न 1 से बहुत अल्प होता है। उदाहरण के लिए, मानव एरिथ्रोसाइट्स (रक्त की लाल कोशिकाएं) में ATP, ADP तथा  $P_i$  की सांद्रताएं क्रमशः 2.25, 0.25 तथा 1.65 mM होती हैं। रक्त के pH को 7.4 तापमान को 298K (मानक तापमान न pH) मानते हुए समीकरण 8.3 की सहायता से इन कोशिकाओं में ATP के जल अपघटन के लिए  $\Delta G$  के वास्तविक मान का परिकलन किया जा सकता है।

$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + (2.303 \times R \times T \times \log \frac{[ADP][P_i]}{[ATP]})$$

$$= -30.5 + \left[ 2.303 \times 8.314 \times 298 \times \log \frac{(2.5 \times 10^{-4})(1.65 \times 10^{-3})}{(2.25 \times 10^{-3})} \right]$$

$$\Rightarrow -30.5 - 21.3$$

$$\Rightarrow -51.8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

ऊपर (चित्र 8.1 में) दिए गए  $\Delta G^{\circ}$  के मानों का महत्व तब स्पष्ट होगा, जब हम ऊर्जा वाहक के रूप में ATP के चयन के युक्तिसंगत होने की चर्चा करेंगे। अभी के लिए केवल यह जान लेना ही काफी है कि ATP के जल अपघटन द्वारा उच्च मात्रा में ऊर्जा प्राप्त होती है। आइए, देखें कि इस ऊर्जा का उपयोग किस प्रकार होता है? अर्थात् ATP कैसे कार्य करता है?

### 8.3.2 जैविक ऊर्जा परिवर्तनों में ATP की भूमिका

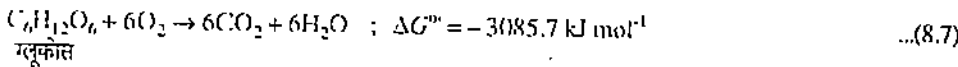
ATP के जल अपघटन से प्राप्त ऊर्जा का उपयोग कई ऊर्जापिथी अभिक्रियाओं को करने में किया जाता है। ऐसा उपयुक्त अभिक्रियाओं को ठीक प्रकार से संयुग्मित करके किया जाता है। इस प्रकार ऊर्जापिथी अभिक्रिया को करने की प्रक्रिया में ATP का ADP में परिवर्तन हो जाता है। जीवन को बनाए रखने के लिए हमें ADP व P<sub>i</sub> से ATP को पुनः उत्पन्न करना होता है तथा इसके लिए ऊर्जा बाह्य स्रोतों से प्राप्त की जाती है।

रसायनपोषी जीवों (chemotrophs) में पोषक तत्वों का उपापचयी निम्नीकरण इस प्रकार होता है कि इससे उत्पन्न मुक्त ऊर्जा का उपयोग ADP व P<sub>i</sub> से ATP के संश्लेषण में होता है। यह धनात्मक  $\Delta G^\circ$  वाली एक ऊष्मापोषी अभिक्रिया होती है। इसी प्रकार प्रकाश संश्लेषण के दौरान प्रकाश ऊर्जा का, ATP के रूप में, रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तन होता है। इसके साथ-साथ कुछ अपचयनी पदार्थ भी बनते हैं।

इस प्रकार जीवित निकायों में ATP लगातार बनता और खर्च होता रहता है। यह जीवित कोशिकाओं में "ऊर्जा मुद्रा" (energy currency) के रूप में कार्य करता है। जीवित कोशिकाओं में ATP की भूमिका को विदेश में मुद्रा विनिमय के समान माना जा सकता है। जब हम विदेश की यात्रा करते हैं, तो पहले हम अपने पैसे को स्थानीय मुद्रा में परिवर्तित करवाते हैं ताकि हम विभिन्न सेवाओं तथा सामान इत्यादि के लिए भुगतान कर सकें। इसी प्रकार जीवित कोशिकाओं द्वारा प्राप्त ऊर्जा (पोषक तत्वों की रासायनिक ऊर्जा अथवा प्रकाश संश्लेषण के दौरान प्राप्त प्रकाश ऊर्जा) का पहले उसकी ऊर्जा मुद्रा अर्थात्, ATP में परिवर्तन होता है, फिर इसका उपयोग विभिन्न ऊर्जापोषी प्रक्रियाओं को करने के लिए किया जाता है।

ATP की ऊर्जा पारक्रमी (energy transducing) अथवा ऊर्जा वाहक की भूमिका के लिए आवश्यक है कि उसका तेजी से "टर्न ओवर" होता रहे अर्थात्, ATP का लगातार तेजी से ADP तथा P<sub>i</sub> में विघटन तथा पुनः संश्लेषण होता रहे। ATP के उत्पादन की तीव्रता का अनुमान इस तथ्य से लगाया जा सकता है कि एक युवा मनुष्य आराम की स्थिति में लगभग 30-40 kg ATP प्रतिदिन बनाता है, यानि इतनी मात्रा में ATP का ADP व P<sub>i</sub> में विघटन तथा पुनः ATP में परिवर्तन होता है। ATP, ADP तथा P<sub>i</sub> की सापेक्ष सांद्रताएं स्थिर रहती हैं।

इसके पहले कि हम ATP-ADP परिवर्तन के रसायन की चर्चा करें, एक सामान्य पोषक तत्व, ग्लूकोस, के उपयुक्त से प्राप्त होने वाली मुक्त ऊर्जा से इस प्रक्रिया में प्राप्त होने वाली मुक्त ऊर्जा के मान की तुलना करना महत्वपूर्ण होगा।

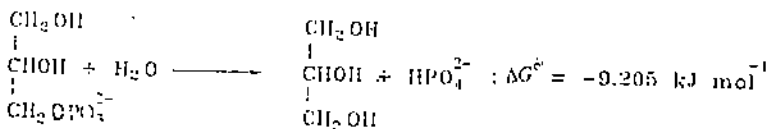


आप देख सकते हैं कि एक मोल ग्लूकोस के पूर्ण रूप से कार्बन डाइऑक्साइड व जल में परिवर्तित होने से अत्यधिक मात्रा में मुक्त ऊर्जा उपलब्ध हो जाती है। ATP के संश्लेषण के लिए इस ऊर्जा के सार्थक उपयोग के लिए आवश्यक है कि यह कई छोटे-छोटे हिस्सों में प्राप्त हो, जिसमें से प्रत्येक, ATP के संश्लेषण के लिए पर्याप्त ऊर्जा प्रदान कर सके (हाशिए में दिए गए उदाहरण को देखिए)।

इस प्रकार ग्लूकोस का उपचयन कई चरणों में होना चाहिए तथा इसमें इतने ही मध्यवर्ती होंगे, जिन्हें उपापचयज (metabolites) कहें हैं। वास्तव में ऐसा ही पाया जाता है तथा ऐसा होना सभी उपापचयी पथों का सामान्य लक्षण होता है। इसलिए उपापचय को सामान्यतः "मध्य उपापचय" (intermediary metabolism) कहते हैं। इकाई 9 व 10 में उपापचयी पथों के कुछ उदाहरणों की चर्चा की जाएगी।

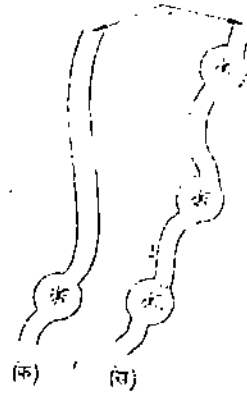
### 8.3.3 ATP की भूमिका का संरचनात्मक आधार

हमने देखा कि ATP के जल अपघटन के लिए  $\Delta G^\circ$  का मान AMP के जल अपघटन के मान की तुलना में बहुत अधिक होता है। वास्तव में इसका मान लगभग सभी सामान्य फॉस्फेट एस्टर्स जैसे, ग्लिसरॉल-1-फॉस्फेट, ग्लूकोल-6-फॉस्फेट, इत्यादि की अपेक्षा अधिक होता है (सारणी 8.1)।



ऊर्जा के रासायनिक स्रोत का उपयोग करने वाले जीव रसायनपोषी जीव कहलाते हैं।

जल का निचय

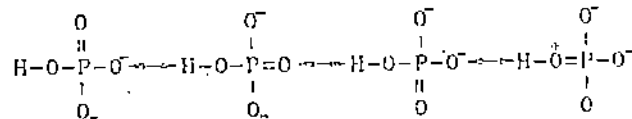


यदि केवल छोटी व कम क्षमता वाली टरबाइन ही उपलब्ध हो तो एक बड़े प्ररने से बिजली के उत्पादन के दौरान भी ऐसी ही परिस्थिति सामने आती है। चूंकि प्ररने के बल पर लगाई गई टरबाइन अपनी क्षमता (मान लीजिए कि यह 100 MW की है) से अधिक बिजली का उत्पादन नहीं कर सकती, इसलिए प्ररने की बार्की मुक्त ऊर्जा व्यर्थ जाती है (यह ऊष्मा के रूप में परिवर्तित हो जाती है)। दूरारी और यदि उपयुक्त ऊँचाइयों पर कई टरबाइनें लगाई जा सकें, तो प्ररने की मुक्त ऊर्जा का बेहतर उपयोग किया जा सकता है। इसके लिए आप निम्न चित्र का भी तुलना कर सकते हैं। इसी प्रकार ग्लूकोस के उपचयन में निम्नाने जाते मुक्त ऊर्जा का बेहतर उपयोग तभी हो सकता है, जब वह कई चरणों में प्राप्त हो। इसके द्वारा ATP के तर्नी अधिक अणुओं का संश्लेषण संभव होगा।

क्रमांक	यौगिक (अभिक्रिया)	$\Delta G^\circ$	
		kcal mol <sup>-1</sup>	kJ mol <sup>-1</sup>
1.	फॉस्फोइनॉल पाइरुवेट	-14.8	-61.92
2.	कार्बोक्सील फॉस्फेट (→ कार्बोमिट + P <sub>i</sub> )	-12.3	-51.46
3.	1,3-डाइफॉस्फोग्लिसरेट (→ फॉस्फोग्लिसरेट + P <sub>i</sub> )	-11.8	-49.37
4.	फॉस्फोक्रिएटिन	-10.3	-43.1
5.	ऐसीटिल फॉस्फेट	-10.3	-43.1
6.	पायरोफॉस्फेट आयन (PP <sub>i</sub> + H <sub>2</sub> O → 2P <sub>i</sub> )	-7.9	-33.0
7.	ATP (→ AMP + PP <sub>i</sub> )	-7.5	-31.38
8.	ATP (→ ADP + P <sub>i</sub> )	-7.3	-30.5
9.	ADP (→ AMP + P <sub>i</sub> )	-7.3	-30.5
10.	AMP (→ ऐडेनोसिन + P <sub>i</sub> )	-3.4	14.23
11.	ग्लूकोस-1-फॉस्फेट	-5.0	-20.92
12.	फ्रक्टोस-6-फॉस्फेट	-3.8	-15.90
13.	ग्लूकोस-6-फॉस्फेट	-3.3	-13.80
14.	ग्लिसरॉल-1-फॉस्फेट	-2.2	-9.20
15.	ऐसीटिल-AMP (→ ऐसीटेट + AMP)	-13.3	-55.65
16.	ऐसीटिल-S-CoA (→ ऐसीटेट + CoA-SH)	-7.5	-31.38
17.	कार्बोक्सिलिक एस्टर (→ कार्बोक्सिलेट आयन + ऐल्कोहॉल)	-4.0	-16.73

किसी अभिक्रिया के लिए  $\Delta G^\circ$  का मान उसके सत्य स्थिरांक से संबंधित होता है। इसके माने यह है कि टर्मिनल फॉस्फेट समूह को जल पर स्थानांतरित करने की प्रवृत्ति, ग्लिसरॉल व अन्य सामान्य फॉस्फेटों की अपेक्षा ATP में अधिक होती है। इसलिए हम कहते हैं कि ATP की फॉस्फेट समूह स्थानांतरण क्षमता (phosphate group transfer potential) अन्य फॉस्फेट एस्टरों की अपेक्षा अधिक होती है।

ATP की उच्च फॉस्फेट समूह स्थानांतरण क्षमता की व्याख्या pH 7 पर उसकी तथा ADP व फॉस्फेट आयन की संरचना के आधार पर की जा सकती है। pH के इस मान पर ATP में एक-दूसरे के करीब चार ऋण आवेश होते हैं। उनके बीच प्रबल प्रतिकर्षण बल होते हैं। ADP में ऐसे आवेशों की संख्या तीन होती है व इसके परिणामस्वरूप उसमें प्रति-जल बल ATP की अपेक्षा कम होते हैं। इसके अलावा pH = 7 पर फॉस्फेट आयन उसमें उपस्थित इलेक्ट्रॉनों के अनुनाद द्वारा स्थायीकृत होता है।



जैसे-जैसे जल अवस्था की मुक्त ऊर्जा कम हो जाती है तथा अभिक्रिया के लिए  $\Delta G^\circ$  का मान बढ़ जाता है।  
 1. जल होगा कि  $\Delta G^\circ$  का मान अधिकारकों व उत्पादों की मुक्त ऊर्जा के अंतर के बराबर होता है।  
 2. के लिए इस प्रकार का अनुनादी स्थायीकरण संभव नहीं होता है।

इसी प्रकार हम ADP के AMP व P<sub>i</sub> में जल अपघटित होने की अभिक्रिया के उच्च  $\Delta G^\circ$  मान की व्याख्या भी कर सकते हैं परंतु AMP, ग्लिसरॉल-1-फॉस्फेट अथवा अन्य फॉस्फेट एस्टरों के लिए ऐसा संभव नहीं है।



## कुछ उपयोगी पुस्तकें

- (1) *Harper's Review of Biochemistry* (18th ed.), D.W. Martin, P.A. Mayes and V.W. Rodwell, Lange Medical Publications, Maruzen Asia Pvt. Ltd., Singapore, 1981.
- (2) *Outlines of Biochemistry* (4th ed.), Eric E. Conn and P.K. Stumpf, Wiley Eastern Limited, New Delhi, 1976.
- (3) *Principles of Biochemistry*, Albert L. Lehninger, CBS Publishers and Distributors, Delhi, 1984.

ऊपर दी गई पुस्तकें जो आपके अध्ययन केंद्र में उपलब्ध होंगी इन के अलावा हम आपको निम्नलिखित पुस्तकों (जो अन्य स्रोतों से उपलब्ध हो सकती हैं) का अध्ययन करने का सुझाव देते हैं।

- (1) *Biochemistry—the chemistry of life*, David T. Plummer, McGraw-Hill International Editions, London, 1989.
- (2) *Biochemistry*, Geoffrey Zubay, Macmillan Publishing Company, 1980.
- (3) *Biochemistry*, Lubert Stryer, W.H. Freeman and Company, N.Y. 3rd Ed. 1988.

टिप्पणियाँ

136



उत्तर प्रदेश  
राजर्षि टण्डन मुक्त विश्वविद्यालय

UGCHE-09

जैव रसायन

सं०

2

जैव अणु-II

इकाई 5

प्रोटीन

5

इकाई 6

एन्जाइम

33

इकाई 7

विटामिन, सहएन्जाइम तथा खनिज

58

## खंड 2 : जैव अणु -II

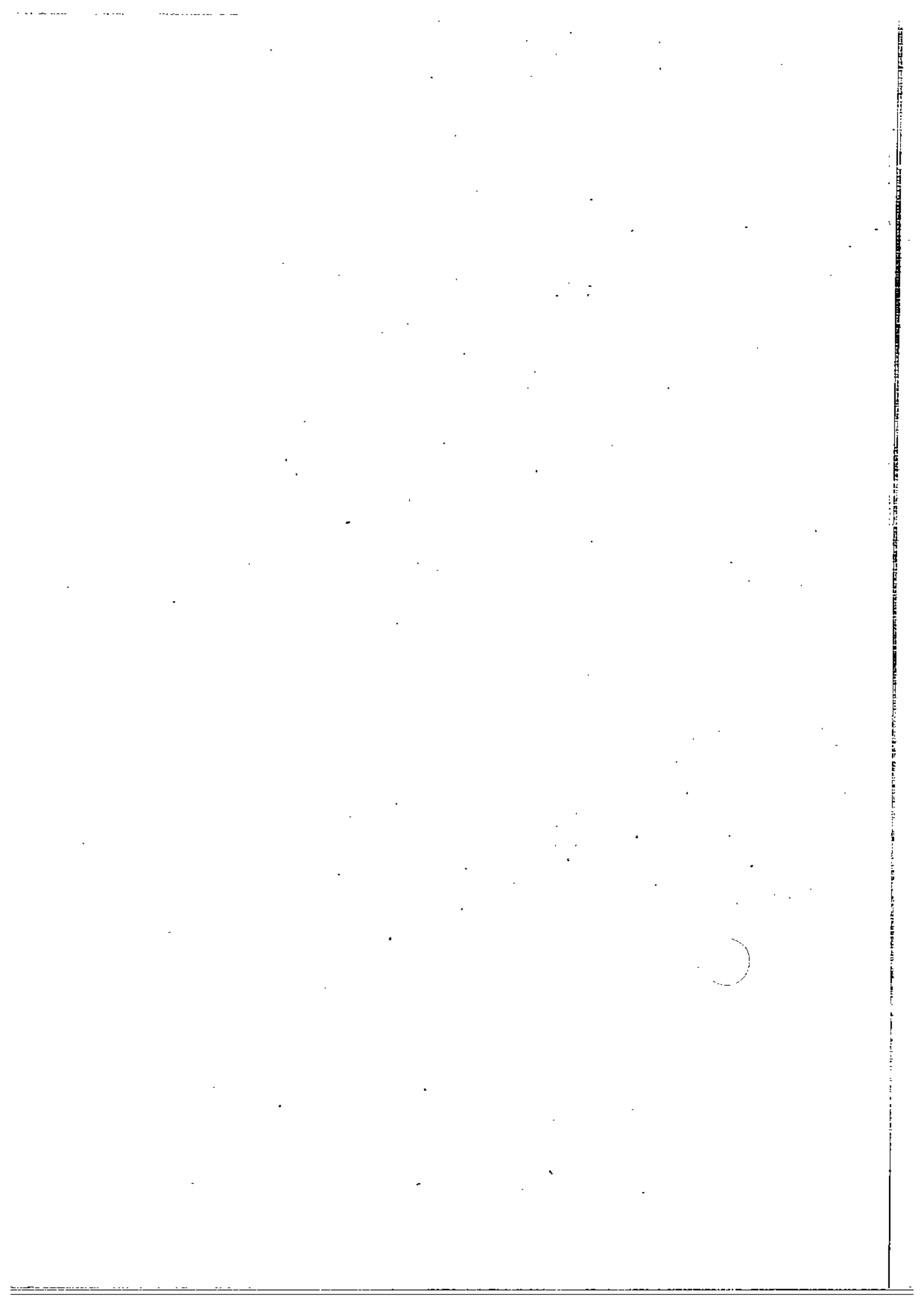
आपने खंड 1 में कोशिका की संरचना व उसमें उपस्थित विभिन्न कोशिकाओं के कार्यों का अध्ययन किया था। आपने कुछ जैव अणुओं जैसे, कार्बोहाइड्रेटों, लिपिडों व न्यूक्लीक अम्लों का भी अध्ययन किया था। इन अणुओं का जीवित कोशिका से गहरा संबंध होता है। जैव अणुओं के अपने अध्ययन को आगे बढ़ाते हुए हम खंड 2 में कुछ और अणुओं की व्याख्या करेंगे। ये अणु जीवों के विभिन्न कार्यों में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।

खंड 2 में तीन इकाइयां हैं। इकाई 5 में हम प्रोटीनों की चर्चा करेंगे जिनकी मात्रा किसी जीव के विभिन्न जैव अणुओं में सबसे अधिक होती है। इकाई 6 में हम अणुओं के एक दूसरे समूह, जिसे एन्जाइम कहते हैं, की चर्चा करेंगे। यह जीवों में उत्प्रेरक का कार्य करते हैं। इस खंड की अंतिम इकाई, इकाई 7 में आप विटामिनों व खनिजों का अध्ययन करेंगे। इस इकाई में आप कुछ विटामिनों के सहएन्जाइम स्वरूप का भी अध्ययन करेंगे।

### उद्देश्य

इस इकाई के अध्ययन के बाद आप :

- $\alpha$ -एमीनो अम्लों से प्रोटीनों के बनने का वर्णन तथा इन जैव अणुओं के संरचनात्मक संगठन की व्याख्या कर सकेंगे,
- जीव में एन्जाइम क्रिया की क्रियाविधि तथा एन्जाइम की भूमिका की व्याख्या कर सकेंगे, तथा
- विटामिनों व खनिजों के महत्व व कुछ विटामिनों के सहएन्जाइम स्वरूप की व्याख्या कर सकेंगे।



## इकाई 5 प्रोटीन

### रूपरेखा

- 5.1 प्रस्तावना
  - उद्देश्य
- 5.2 प्रोटीनों का जैविक महत्व
- 5.3 प्रोटीनों की रसायन
  - ऐमीनो अम्ल : प्रोटीनों के निर्माण खंड
  - $\alpha$ -ऐमीनो अम्लों की संरचना
  - पेप्टाइड
- 5.4 प्रोटीनों की संरचना
  - प्राथमिक संरचना
  - पेप्टाइड आबंध की समतलीय संरचना
  - प्रोटीन बलन में दुर्बल असहसंयोजक अन्वोन्यक्रियाओं का महत्व
  - द्वितीय संरचना
  - तृतीय संरचना
  - चतुष्क संरचना
  - हीमोग्लोबिन – एक वहन प्रोटीन
- 5.5 सारांश
- 5.6 अंत में कुछ प्रश्न
- 5.7 उत्तर

### 5.1 प्रस्तावना

हमने खंड 1 की 1 से 4 इकाइयों में कोशिका व इसके संगठन का वर्णन किया था। वहाँ आपका परिचय कार्बोहाइड्रेटों व लिपिडों जैसे महत्वपूर्ण जैव अणुओं व जीवों के प्रकारों में उनके महत्व से कराया गया था। इसके अलावा हमने न्यूक्लीक अम्लों व आनुवांशिकता की क्रियाविधि में उनके महत्व का वर्णन भी किया था। इस इकाई में आपका परिचय जैव अणुओं के एक महत्वपूर्ण व जटिल समूह से कराया जाएगा। इन्हें प्रोटीन कहते हैं। यह जैविक प्रक्रिया में मुख्य भूमिका निभाते हैं व किसी कोशिका में प्रोटीन की मात्रा कोशिका के गुष्क भार की लगभग आधी होती है। यह अणु  $\alpha$ -ऐमीनो अम्लों के बने होते हैं। इस इकाई में हम देखेंगे कि  $\alpha$ -ऐमीनों अम्ल किस प्रकार जुड़कर पॉलीपेप्टाइड शृंखला बनाते हैं जिससे प्रोटीन की प्राथमिक, द्वितीयक, तृतीयक व चतुष्क संरचनाएं प्राप्त होती हैं। इस प्रकार इस इकाई में आप प्रोटीनों के संरचनात्मक संगठन का अध्ययन करेंगे। इसके आधार पर हम प्रोटीनों द्वारा एन्जाइमों के रूप में कार्य करने को समझ सकते हैं। इसका वर्णन हम अगली इकाई में करेंगे।

### उद्देश्य

इस इकाई के अध्ययन के बाद आप :

- प्रोटीनों की एकलकी संरचनात्मक इकाई,  $\alpha$ -ऐमीनो अम्लों की रसायन का वर्णन कर सकेंगे तथा त्रिभिन्न प्रकार के ऐमीनो अम्लों के बीच अंतर बता सकेंगे,
- विभिन्न ऐमीनो अम्लों द्वारा परस्पर सहसंयोजक तरीके से जुड़कर रैखिक पॉलीपेप्टाइड शृंखला, जिसे प्रोटीन की प्राथमिक संरचना भी कहते हैं, बनाने की व्याख्या कर सकेंगे,
- प्राथमिक संरचना में विभिन्न ऐमीनो अम्लों की उपस्थिति के कारण प्रोटीनों की संरचना व प्रकारों की विविधता के कारण की व्याख्या कर सकेंगे,
- प्रोटीनों की द्वितीयक संरचना में हाइड्रोजन आबंध के महत्व का वर्णन कर सकेंगे तथा प्रोटीन शृंखला के बलन (folding) द्वारा तृतीयक संरचना को प्राप्त करने में अन्य असहसंयोजक अन्वोन्यक्रियाओं के योगदान की व्याख्या कर सकेंगे, तथा
- मायोग्लोबिन व हीमोग्लोबिन द्वारा ऑक्सीजन वहन का कार्य करने का उदाहरण लेकर प्रोटीन की चतुष्क संरचना में बलित पॉलीपेप्टाइड शृंखलाओं के विन्यास की व्याख्या कर सकेंगे।

## 5.2 प्रोटीनों का जैविक महत्व

प्रोटीन शब्द, जिसका अर्थ होता है - "सर्वाधिक महत्व वाला", का प्रयोग जर्मनी के रसायनविज्ञ जी. टी. मुल्डर ने सन् 1839 में किया था। ऐसा उन्होंने इन अणुओं के जैविक महत्व के आधार पर किया था। प्रोटीनें, असीमकेन्द्रकी व ससीमकेन्द्रकी सभी प्रकार की कोशिकाओं में पाई जाती हैं तथा मनुष्यों में यह सबसे अधिक पाया जाने वाला जैव रासायनिक पदार्थ होता है। यह कोशिका में विभिन्न रूपों में पाई जाती हैं व जीवन को बनाए रखने के लिए कई प्रकार के कार्य करती हैं। उदाहरण के लिए, एन्जाइमों के रूप में यह उत्प्रेरक का कार्य करती हैं जो जीवित कोशिकाओं में विभिन्न रासायनिक अभिक्रियाओं को त्वरित करती हैं। हम कह सकते हैं कि एन्जाइमों के बिना जीवन संभव नहीं है। इनका योगदान अत्यंत महत्वपूर्ण है। इनका विस्तृत वर्णन हम अगली इकाई में करेंगे। एन्जाइमों के अलावा प्रोटीनें कई अन्य कार्य भी करती हैं जो किसी भी दृष्टि से कम महत्वपूर्ण नहीं हैं। लिपिडों के साथ यह कोशिका भित्ति के संरचनात्मक अवयवों को बनाती हैं। यह अणु मानव शरीर के संरचनात्मक ढाँचे व हिलने-डुलने के लिए भी उत्तरदायी होते हैं। प्रबल प्रोटीन फाइबर, संयोजी उत्तक (connective tissue) के रूप में हड्डी व त्वचा को जोड़ने का कार्य करते हैं। हड्डी की गति मांस-पेशियों (muscles) द्वारा होती है जो संकुचित हो सकने योग्य प्रोटीनों की बनी होती हैं। यह अणु कोशिकाओं में क्रोमोसोमों की गति व जीवों में अन्य गतिशील तथा वहन कार्यों में भी हिस्सा लेते हैं। उदाहरण के लिए, हीमोग्लोबिन के अणु ऑक्सीजन को फेफड़ों से कोशिका में ले जाते हैं। रक्त में प्रोटीन, तरल का संतुलन बनाए रखने व लिपिडों के वहन का कार्य करती है। यह रक्त स्कन्दन (blood clotting) प्रक्रिया का हिस्सा भी है। प्रतिरक्षी के रूप में यह शरीर के लिए संक्रमणों के प्रति प्रतिरक्षा साधन बनाती हैं। इनमें से कुछ हॉर्मोन तथा तंत्रिकाप्रेषी (neurotransmitters) के रूप में रासायनिक संदेशवाहकों का कार्य करते हैं। प्रोटीनें ग्राही (receptor) का कार्य भी करती हैं जो इन रासायनिक संदेशवाहकों की पहचान करते हैं। DNA के विशिष्ट क्षेत्रों में बंधन द्वारा कुछ प्रोटीन जीन अभिव्यक्ति (gene expression) का नियंत्रण भी करती हैं। इसके अतिरिक्त कुछ प्रोटीनें विष का कार्य भी करती हैं, जैसे, सर्पो का विष तथा कुछ टॉक्सिनों का कार्य भी करती हैं जैसे, बैक्टीरिया के टॉक्सिन जो मनुष्यों में वाटुलिनिम (botulism) के लिए उत्तरदायी हैं।

## 5.3 प्रोटीनों की रसायन

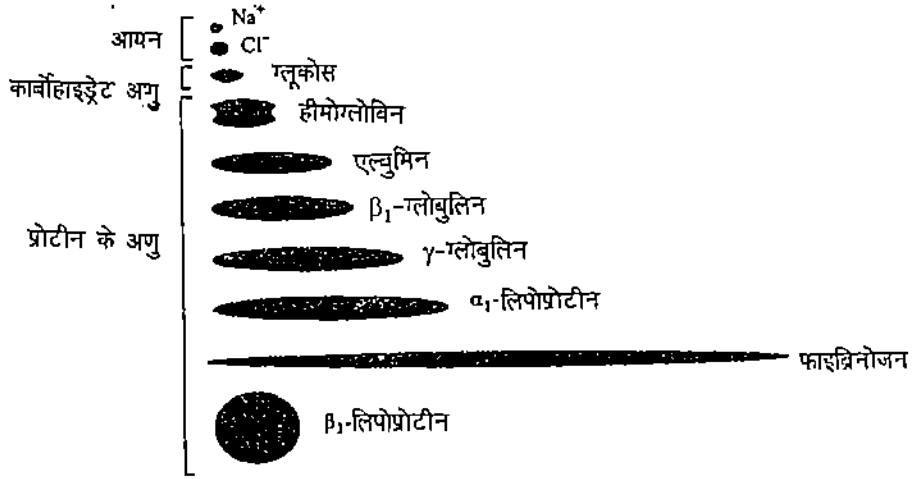
इस भाग में हम प्रोटीनों के औसत रासायनिक संयोजन व आकार की संक्षिप्त चर्चा करेंगे इसके अलावा हम मुख्यतः प्रोटीनों के निर्माण खंड, ऐमीनो अम्लों की रसायन की व्याख्या करेंगे।

प्रोटीनें, कार्बन, हाइड्रोजन, ऑक्सीजन व नाइट्रोजन की बनी होती हैं। अधिकतर प्रोटीनों में सल्फर भी पाया जाता है। यद्यपि प्रोटीनों में सल्फर की मात्रा में थोड़ा अंतर होता है, अन्य तत्वों का संयोजन लगभग एकसमान होता है। सारणी 5.1 में प्रोटीनों का औसत तात्त्विक संयोजन दिया गया है। प्रोटीनों के अणु अत्यधिक बड़े होते हैं तथा इनका आण्विक द्रव्यमान लगभग 5(XX) डाल्टन से कई लाख तक होता है। चित्र 5.1 में हमने विभिन्न प्रोटीनों के अणुओं के आकार को एक अन्य जैव अणु, ग्लूकोस व सोडियम व क्लोराइड जैसे अकार्बनिक आयनों के सापेक्ष दर्शाया है। इस बड़े आकार के कारण प्रोटीनें कोलॉइडी गुण दर्शाती हैं। यह कोशिका झिल्ली में से नहीं निकल सकती, इसीलिए मूत्र में प्रोटीन की उपस्थिति गुर्दे की झिल्ली के संभावित नुकसान की चेतावनी देती है।

आइए, पहले हम प्रोटीन अणु के निर्माण खंडों का वर्णन करें।

सारणी 5.1 : प्रोटीनों का औसत तात्त्विक संयोजन

तत्व	प्रतिशत
कार्बन	53
हाइड्रोजन	7
ऑक्सीजन	23
नाइट्रोजन	16
सल्फर	1

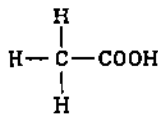


चित्र 5.1 : सोडियम व क्लोराइड आयनों तथा ग्लूकोस के अणु की तुलना में विभिन्न प्रोटीनों का तुलनात्मक आकार

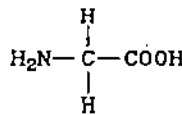
### 5.3.1 ऐमीनो अम्ल : प्रोटीनों के निर्माण खंड

जब हम देखते हैं कि प्रोटीनें एन्जाइमों के रूप में हजारों जैव रासायनिक अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित करती हैं तथा इसके साथ-साथ जीवों में अन्य कई महत्वपूर्ण कार्य भी करती हैं, तब यह सोचना स्वाभाविक हो जाता है कि उनके कार्यों में इस प्रकार की विविधता उनकी स्पष्ट संरचनाओं के कई रूपों द्वारा ही संभव है। इस इकाई का एक उद्देश्य इस प्रकार की संरचनात्मक विविधता के आधार को खोजना है और इसके लिए प्रोटीनों के निर्माण खंडों,  $\alpha$ -ऐमीनो अम्लों को समझना आवश्यक है। आइए हम  $\alpha$ -ऐमीनो अम्लों के कुछ आधारभूत तथ्यों का पुनः स्मरण कर लें।

ऐमीनो अम्ल एक कार्बनिक अम्ल का अणु होता है, जिसमें एक ऐमीनो ( $-NH_2$ ) समूह होता है। उदाहरण के लिए, ऐसीटिक अम्ल में कार्बोक्सिल समूह से आगे कार्बन परमाणु से जुड़े एक हाइड्रोजन परमाणु को ऐमीनो समूह द्वारा प्रतिस्थापित करके एक सरल ऐमीनो अम्ल, ग्लाइसिन को प्राप्त किया जा सकता है।

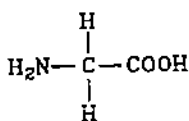


ऐसीटिक अम्ल

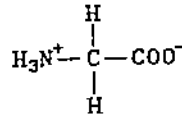


ग्लाइसिन

ऐमीनो अम्ल को सामान्यतः अनायनित रूप में दर्शाया जाता है जिससे कि ऐमीनो व कार्बोक्सिल दोनों समूहों की उपस्थिति को दर्शाया जा सके। यद्यपि pH (~7) की शरीरक्रियात्मक अवस्था (physiological conditions) में मुख्यतः आयनित रूप उपस्थित होता है। इस प्रकार ऐमीनो अम्ल जैसे, ग्लाइसिन को, अनायनित व आयनित रूपों द्वारा दर्शाया जा सकता है।



ग्लाइसिन : अनायनित रूप



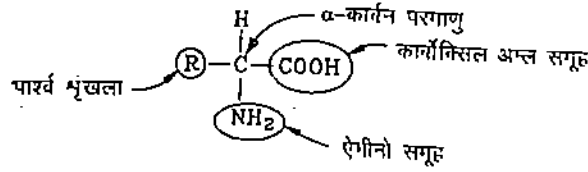
ग्लाइसिन : आयनित रूप

इसके अलावा कार्बोक्सिल समूह से आगे कार्बन परमाणु को  $\alpha$ -कार्बन कहते हैं। जिन ऐमीनो अम्लों में ऐमीनो समूह इस  $\alpha$ -कार्बन से जुड़ा होता है,  $\alpha$ -ऐमीनो अम्ल कहलाते हैं। जैविक रूप से महत्वपूर्ण ऐमीनो अम्ल सैद्धांतिक रूप से  $\alpha$ -ऐमीनो अम्ल ही होते हैं।

सभी  $\alpha$ -ऐमीनो अम्लों में एक संरचनात्मक अनुकल्प (moiety) होता है। इनमें एक सिरे पर ऐमीनो समूह व दूसरे सिरे पर कार्बोक्सिल समूह होता है व दोनों  $\alpha$ -कार्बन परमाणु से जुड़े होते हैं जिस पर एक हाइड्रोजन परमाणु भी होता है।  $\alpha$ -कार्बन पर उपस्थित चौथे समूह को पार्श्व शृंखला (side chain) कहते



है तथा इसे R द्वारा दर्शाया जाता है। सरलतम ऐमीनो अम्ल, ग्लाइसिन में पार्श्व शृंखला केवल हाइड्रोजन परमाणु ही होता है। अन्य  $\alpha$ -ऐमीनो अम्लों में यह पार्श्व शृंखला अधिक जटिल रासायनिक समूहों की बनी होती है। सभी  $\alpha$ -ऐमीनो अम्ल, पार्श्व शृंखला की प्रकृति द्वारा ही एक-दूसरे से भिन्न होते हैं। इस प्रकार  $\alpha$ -ऐमीनो अम्लों के सामान्य सूत्र को निम्न तरीके से दर्शाया जा सकता है :



आइए, अब हम प्रोटीनों में सामान्यतः मिलने वाले महत्वपूर्ण ऐमीनो अम्लों की संरचना का वर्णन करें। हम इन ऐमीनो अम्लों को उनकी पार्श्व शृंखला की प्रकृति के आधार पर वर्गीकृत भी करेंगे।

### 5.3.2 $\alpha$ -ऐमीनो अम्लों की संरचना

जैसा हमने पहले बताया है कि विभिन्न ऐमीनो अम्लों की एक-दूसरे से भिन्नता  $\alpha$ -कार्बन परमाणु से जुड़े R समूह अर्थात् पार्श्व शृंखला के आधार पर होती है। अधिकतर जीवों में बीस  $\alpha$ -ऐमीनो अम्ल होते हैं जो विविध प्रकार की प्रोटीनें बनाते हैं। सारणी 5.2 में हमने इन ऐमीनो अम्लों को सारणीबद्ध किया है तथा उनकी पार्श्व शृंखला की प्रकृति को दर्शाया है। इस इकाई में हमने ऐमीनो अम्लों के लिए त्रिवर्णी चिह्नों (three letter abbreviations) का उपयोग किया है। इसके अलावा एकलवर्णी चिह्नों का उपयोग भी होता है। इन्हें भी सारणी 5.2 में दर्शाया गया है। इस सारणी के अध्ययन से आप देख सकते हैं कि पार्श्व शृंखलाओं के गुणों के आधार पर ऐमीनो अम्लों को तीन वर्गों में बाँटा जा सकता है। ये हैं -कमपरा: अध्रुवीय (nonpolar), अनावेशित ध्रुवीय (uncharged polar) व आवेशित ध्रुवीय (charged polar) पार्श्व शृंखला वाले ऐमीनो अम्ल। अध्रुवीय समूह के ऐमीनो अम्लों में सामान्यतः ऐलिफैटिक अथवा ऐरोमैटिक पार्श्व शृंखला होती है जबकि अनावेशित ध्रुवीय प्रकार की पार्श्व शृंखलाओं में हाइड्रॉक्सिल, ऐमाइड अथवा सल्फहाइड्रिल समूह होते हैं। आवेशित ध्रुवीय समूह को अम्लीय या क्षारकीय वर्गों में बाँटा जा सकता है। ऐसा पार्श्व शृंखला में कार्बोक्सिल अथवा क्षारकीय समूहों के आधार पर किया जाता है। यद्यपि टायरोसिन तथा ट्रिप्टोफान में अध्रुवीय पार्श्व शृंखलाएं होती हैं, उन्हें अनावेशित ध्रुवीय समूह में भी रखा जा सकता है। इनकी क्षीण ध्रुवता टायरोसिन पार्श्व शृंखला में -OH तथा ट्रिप्टोफान पार्श्व शृंखला में -NH समूह के कारण होती है। ध्रुवीय पार्श्व शृंखलाओं, आवेशित व अनावेशित दोनों की प्रवृत्ति जल जैसे ध्रुवीय अणुओं-से अन्योन्यक्रिया करने की होती है। जल वह माध्यम है जिसमें अधिकतर प्रोटीनें कार्य करती हैं; दूसरी ओर अध्रुवीय पार्श्व शृंखलाएं जल के अणुओं से दूर भागती हैं व अध्रुवीय वातावरण पाने की कोशिश करती हैं। ध्रुवीय व अध्रुवीय पार्श्व शृंखलाओं की जल के प्रति अन्योन्यक्रिया का अंतर, रैलीय प्रोटीन शृंखला की विविध संरचनाओं में वलन के लिए महत्वपूर्ण होता है। यह विविध संरचनाएं जीव के विभिन्न कार्यों के लिए विशेष होती हैं।

सारणी 5.2 : प्रोटीनों में सामान्यतः मिलने वाले ऐमीनो अम्लों की संरचनाएं

ऐमीनो अम्ल	चिह्न (कोष्ठक में एकलवर्णी चिह्न हैं)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\   \quad    \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} - \text{O}^- \\   \\ \text{R} \end{array}$ में R (पार्श्व शृंखला) की संरचना
अध्रुवीय R समूह		
ग्लाइसिन	Gly (G)	-H
ऐलानिन	Ala (A)	-CH <sub>3</sub>
वैलीन	Val (V)	-CH $\begin{cases} \text{CH}_3 \\ \text{CH}_3 \end{cases}$
ल्यूसिन	Leu (L)	CH <sub>2</sub> -CH $\begin{cases} \text{CH}_3 \\ \text{CH}_2 \end{cases}$

आइसो'ल्यूसिन	Ile (I)	$\begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
फेनिलएलानिन	Phe (F)	$-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_5$
ट्रिप्टोफान	Trp (W)	$-\text{CH}_2-\text{C}_8\text{H}_6\text{N}_2$
टायरोसिन	Tyr (Y)	$-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$
मेथियोनिन	Met (M)	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{S}-\text{CH}_3$
प्रोलीन	Pro (P)	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{O}-\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{H}_2\text{N}^+ \quad \text{CH}_2 \\ \quad \quad   \\ \quad \quad \text{CH}_2 \end{array}$ (पूर्ण संरचना)
घुवीय अनावेशित R समूह		
सेरीन	Ser (S)	$-\text{CH}_2-\text{OH}$
थ्रॉनिन	Thr (T)	$\begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{OH} \end{array}$
सिस्टीन	Cys (C)	$-\text{CH}_2-\text{SH}$
ऐस्पेराजीन	Asn (N)	$-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2$
ग्लूटामीन	Gln (Q)	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2$
घुवीय, आवेशित R समूह		
अम्लीय R समूह		
ऐस्पार्टिक अम्ल	Asp (D)	$-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$
ग्लूटामिक अम्ल	Glu (E)	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$
क्षारकीय समूह		
लाइसीन	Lys (K)	$-(\text{CH}_2)_4-\text{NH}_2$
आर्जिनिन	Arg (R)	$-(\text{CH}_2)_3-\text{NH}-\text{C}(=\text{NH})\text{NH}_2$
हिस्टिडीन	His (H)	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH} \\   \quad   \\ \text{HN} \quad \text{N} \\ \quad \quad   \\ \quad \quad \text{C} \\ \quad \quad   \\ \quad \quad \text{H} \end{array}$

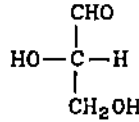
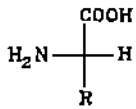
अब हम संक्षेप में ऐमीनो अम्लों की त्रिविम रसायन का वर्णन करेंगे।

### ऐमीनो अम्लों की ध्रुवण घूर्णकता तथा विन्यास

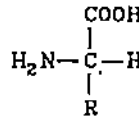
आपने देखा होगा कि ग्लाइसिन को छोड़कर सभी ऐमीनो अम्लों में एक किरैल अथवा असममित कार्बन परमाणु होता है, अर्थात्, इनमें एक कार्बन परमाणु चार अलग-अलग समूहों से आवृणित होता है। इन ऐमीनो अम्लों में  $\alpha$ -कार्बन परमाणु किरैल केन्द्र होता है और आपको स्मरण होगा कि किरैल कार्बन परमाणु वाले अणु ध्रुवण घूर्णकता (optical rotation) दर्शाते हैं। इसलिए ग्लाइसिन को छोड़कर सभी ऐमीनो अम्ल ध्रुवण घूर्णक होते हैं अर्थात्, यह समतल-ध्रुवित प्रकाश (plane polarised light) को दाईं अथवा बाईं ओर घुमाते हैं तथा इन्हें क्रमशः (+) तथा (-) समावयव कहते हैं। आइए, अब हम विन्यास (configuration) अर्थात्, ऐमीनो अम्ल के  $\alpha$ -कार्बन परमाणु पर परमाणुओं तथा समूहों के त्रिविम विन्यास की चर्चा करें। जैसा कि कार्बोहाइड्रेटों में होता है, किरैल कार्बन परमाणु के विन्यास को D तथा L से दर्शाया जाता है। आपको याद होगा (भाग 2.3) कि यह चिह्न ग्लिसरॉल्लिडहाइड से तुलना के उपरान्त दिए जाते हैं।

$\alpha$ -ऐमीनो अम्लों में भी  $\alpha$ -कार्बन परमाणु के विन्यास की तुलना ग्लिसरॉल्लिडहाइड के विन्यास से की जाती है।

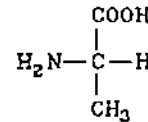
L-ऐमीनो अम्लों के फिशर प्रक्षेपण (Fischer projection) को निम्न रूप में दर्शाया जाता है:



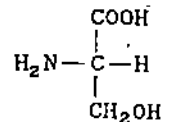
L-ग्लिसरॉल्लिडहाइड



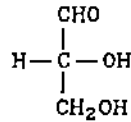
L-ऐमीनो अम्ल



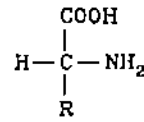
L-ऐलानिन



L-सेरीन



D-ग्लिसरॉल्लिडहाइड



D-ऐमीनो अम्ल

जैसा कि ऊपर दर्शाया गया है, L-ऐमीनो अम्लों में  $-\text{NH}_2$  समूह बाईं तथा D-रूप में  $-\text{NH}_2$  समूह दाईं ओर होता है। प्रोटीनों में पाए जाने वाले सभी ऐमीनो अम्लों में L-विन्यास होता है तथा इन्हें L(+) अथवा L(-) द्वारा दर्शाया जाता है जो उनके समतल ध्रुवित प्रकाश को क्रमशः दाईं अथवा बाईं ओर घुमाने पर निर्भर करता है। यद्यपि D-ऐमीनो अम्ल प्रकृति में पाए जाते हैं, ये प्रोटीनों में कभी उपस्थित नहीं होते। इनकी तुलना में सामान्य कार्बोहाइड्रेटों में सामान्यतः D-विन्यास पाया जाता है।

सारणी 5.2 में दिए गए बीस ऐमीनो अम्लों में से कुछ को "अनिवार्य ऐमीनो अम्ल" (essential amino acids) कहते हैं। आइए, देखें कि हमारे शरीर के लिए कौन-कौन से ऐमीनो अम्ल अनिवार्य हैं।

### अनिवार्य ऐमीनो अम्ल

मकान के प्रोटीन में लाइसीन तथा ट्रिप्टोफान की मात्रा कम होती है। चावल में लाइसीन तथा थ्रिऑनीन की मात्रा कम होती है। गेहूँ में लाइसीन की मात्रा कम होती है। शाकाहारी लोगों को सब्जियों तथा दालों को खाना चाहिए जिससे कि उनको अनिवार्य ऐमीनो अम्लों की पर्याप्त मात्रा प्राप्त हो सके तथा वे प्रोटीन अपूर्णाकार से होने वाले रोगों से बच सकें। ये रोग सामान्यतः उन स्थानों में पाए जाते हैं जो प्रोटीन के स्रोत के रूप में केवल एक प्रकार के पौधे जैसे मकान, पर निर्भर करते हैं।

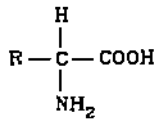
प्रकृति में सामान्यतः मुक्त ऐमीनो अम्ल नहीं पाए जाते, ये मुख्यतः प्रोटीन के अणुओं का भाग होते हैं। सभी प्रोटीनों के पूर्ण जल अपघटन द्वारा सारणी 5.2 में दिए गए सभी बीस L- $\alpha$ -ऐमीनो अम्ल प्राप्त होते हैं। हमारे शरीर में इनमें से केवल दस का संश्लेषण संभव है। अन्य ऐमीनो अम्ल जो मानव द्वारा नहीं बनाए जा सकते वे आहार के रूप में दिए जाते हैं। इस वर्ग के ऐमीनो अम्लों को अनिवार्य ऐमीनो अम्ल कहते हैं। एक संतुलित आहार में सामान्यतः जंतु व पादप प्रोटीनों को लेने की सलाह दी जाती है क्योंकि इससे सभी अनिवार्य ऐमीनो अम्ल प्राप्त हो जाते हैं। पाचन के दौरान आहार में उपस्थित प्रोटीनों का जल अपघटन हो जाता है व इससे प्राप्त होने वाले ऐमीनो अम्लों से मानव प्रोटीन निर्मित होते हैं। ल्यूसिन, आइसोल्यूसिन, लाइसीन, मेथियोनिन, फेनिलएलानिन, ट्रिप्टोफान, थ्रिऑनीन, वेलीन, हिस्टिडीन तथा आर्जिनिन अनिवार्य ऐमीनो अम्ल हैं। इनमें से अंतिम दो केवल शिशु अवस्था में ही अनिवार्य हैं। वे प्रोटीन जिनमें वे सभी दस अनिवार्य ऐमीनो अम्ल पाए जाते हैं, उन्हें पर्याप्त प्रोटीन (adequate proteins) कहते हैं। दुग्ध व जंतु प्रोटीन सभी ऐमीनो अम्लों से एक अच्छे स्रोत हैं जबकि पादप प्रोटीनों में एक अथवा अधिक अनिवार्य ऐमीनो अम्लों की कमी होती है। यद्यपि तोया प्रोटीन एक अपवाद है। यह एक पर्याप्त प्रोटीन होती है।

अब हम ऐमीनो अम्लों के अम्ल-क्षारक गुणों का वर्णन करेंगे। ऐमीनो अम्लों की संरचना जो हमने अब तक दर्शायी है, वह कार्बनिक व अधुवीय विलायकों में पाई जाती है। आप अवश्य ही यह सोच रहे होंगे कि जलीय

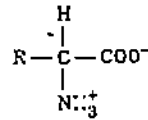
विलयनों अर्थात्, ध्रुवीय माध्यम में इनकी संरचना क्या होगी क्योंकि इसके अणु में अम्लीय व क्षारकीय दोनों तरह के समूह होते हैं। आइए, अब हम ध्रुवीय माध्यम में ऐमीनो अम्लों के व्यवहार का अध्ययन करें।

### ऐमीनो अम्लों के अम्ल-क्षारक गुण

चूँकि प्रोटीनें ऐमीनो अम्लों की बनी होती हैं (इसकी विस्तृत चर्चा हम भाग 5.4 में करेंगे), इसलिए ऐमीनो अम्लों के अम्ल-क्षारक गुणों का ज्ञान, प्रोटीनों के गुणों को समझने में सहायक होगा। हमने पहले ही देखा है कि सभी ऐमीनो अम्लों में कम से कम एक कार्बोक्सिल समूह व एक ऐमीनो समूह होता है। ये दोनों समूह जलीय विलयन में आयनित हो सकते हैं। इस प्रकार जल में ऐमीनो अम्ल, अम्लों व क्षारकों दोनों के समान कार्य कर सकते हैं। इस प्रकार के गुण दर्शाने वाले अणुओं को **उभयधर्मी (amphoteric) अणु** कहते हैं। दूसरे शब्दों में एक उभयधर्मी पदार्थ प्रोटॉन का ग्रहण अथवा दान, दोनों कर सकता है। उदासीन अथवा लगभग उस pH पर ऐमीनो अम्ल एक **द्विध्रुवी आयन** अथवा **उभयविष्ट आयन (zwitterion)** बनाते हैं। ऐसा अम्लीय कार्बोक्सिल समूह द्वारा एक हाइड्रोजन आयन के दान तथा क्षारकीय ऐमीनो समूह द्वारा हाइड्रोजन आयन के ग्रहण द्वारा होता है।

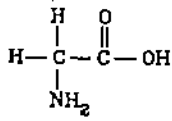


अनायनित ऐमीनो अम्ल

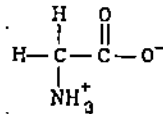


आयनित ऐमीनो अम्ल  
(उभयविष्ट अथवा द्विध्रुवी आयन)

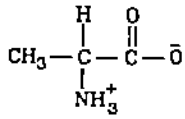
इस प्रकार उदासीन pH पर एक उभयविष्ट आयन में एक ही अणु पर धन तथा ऋण आवेश पाया जाता है। चूँकि जैविक वातावरण में ऐमीनो अम्ल लगभग उदासीन pH वाले जलीय विलयन में उपस्थित होते हैं, यह उभयविष्ट आयन के रूप में पाए जाते हैं, यद्यपि सरलता के लिए हम इस इकाई में इन अणुओं को अनायनित रूप में ही दर्शाएंगे। आइए, अब हम कुछ ऐमीनो अम्लों को उभयविष्ट रूप में देखें।



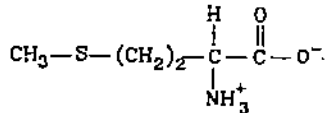
ग्लाइसिन  
(अनायनित)



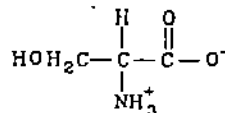
ग्लाइसिन  
(आयनित, उभयविष्ट आयन)



ऐलानिन



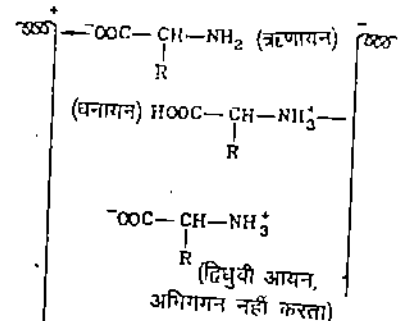
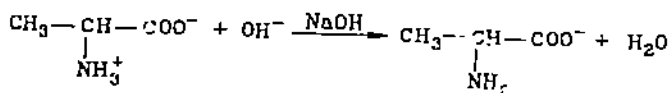
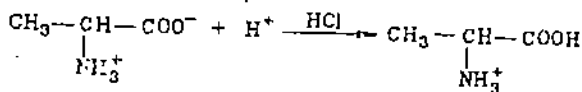
मेथियोनिन



सेरीन

आपने ऊपर ध्यान दिया होगा कि उभयविष्ट आयनों में एक धन तथा एक ऋण आवेश होता है अर्थात्, यह विद्युत् उदासीन होते हैं। इसीलिए यह द्विध्रुवी आयन विद्युत् क्षेत्र में अभिगमन नहीं करते हैं। वह pH जिस पर ऐमीनो अम्लों (प्रोटीनों में भी) पर कोई नेट आवेश नहीं होता, उसे **समविभव बिन्दु (isoelectric point, pI)** कहते हैं। उदाहरण के लिए, ग्लाइसिन का समविभव बिन्दु 6.0 है इसके माने यह है कि इस pH पर ग्लाइसिन उभयविष्ट रूप में होगी।

आइए, अब हम संक्षेप में यह देखें कि अम्लीय अथवा क्षारकीय माध्यम में ऐमीनो अम्ल के अणु (तथा प्रोटीनें) किस प्रकार का व्यवहार दर्शाते हैं। यह उभयधर्मी यौगिक अम्ल अथवा क्षारक के साथ किया करके लवण बना सकते हैं। उदाहरण के लिए, ऐलानिन के उभयविष्ट आयन की निम्न अभिक्रियाएं देखें :



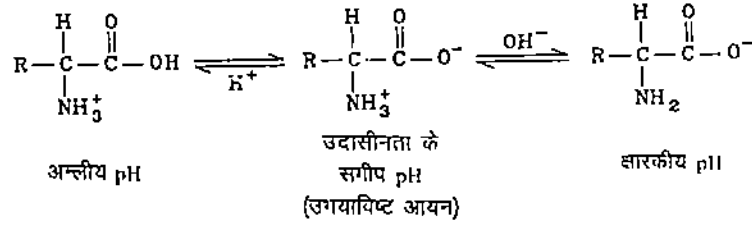
समविभक्त बिन्दु पर प्रोटीनों की घुलनशीलता न्यूनतम होती है तथा यह विद्युत्-उदासीन अणु सरलता से पुंज (aggregates) बना लेते हैं जिससे इनको विलयन से निकालना सुगम हो जाता है। इसका अनुप्रयोग हमारी रोज़मर्रा की जिन्दगी में भी मिलता है। उदाहरण के लिए, केसीन, गाय के दूध में पाई जाने वाली एक प्रोटीन है। इसका समविभक्त बिन्दु 4.7 है जबकि गाय के दुग्ध का सामान्य pH 6.3 होता है। पनीर के बनाने में, पेक्टिरीमा द्वारा जो लेक्टिक अम्ल बनाता है उससे दुग्ध का pH कम आता है जिसके परिणामस्वरूप केसीन की विलेयता कम हो जाती है जिससे पनीर विलयन से अलग हो जाता है।

वह पदार्थ जो किसी विलयन के आकस्मिक pH परिवर्तन में रोधक होते हैं, उन्हें उभयप्रतिरोधी (buffers) कहा जाता है। आपको स्मरण होगा कि दुर्बल अम्ल (जैसे, ऐसीटिक अम्ल) तथा उसके लवण (जैसे, सोडियम ऐसीटेट) के मिश्रण के विलयन उभयप्रतिरोधी का कार्य करते हैं। यही दुर्बल क्षारकों व उनके लवणों के बारे में भी सत्य है।

$$pK_a = -\log K_a$$

$$pH = -\log [H^+]$$

इन अभिक्रियाओं से हम यह देख सकते हैं कि उभयविष्ट आयन में  $H^+$  अथवा  $OH^-$  के योग से अणु पर नेट धनावेश अथवा ऋणावेश प्राप्त होत है। इस प्रकार जलीय विलयन के pH पर निर्भर करते हुए ऐमीनो अम्ल (तथा प्रोटीन भी) विभिन्न आयनी रूपों में रह सकते हैं।



ऐमीनो अम्लों (तदनुसार प्रोटीनों) द्वारा अम्ल ( $-COOH$  समूह के कारण) अथवा दुर्बल क्षारक ( $-NH_2$  समूह के कारण) के जैसा व्यवहार दर्शाने के गुण का प्रकृति ने अच्छा उपयोग किया है क्योंकि यह अणु शरीर के तरल में उभयप्रतिरोधी (buffers) का कार्य करते हैं। रक्त में प्रोटीनों का एक महत्वपूर्ण कार्य pH को 7.35 से 7.45 के बीच बनाए रखना होता है।

हम कह सकते हैं कि आयनीकृत हो सकने वाली पार्श्व शृंखलाओं वाले ऐमीनो अम्ल (जैसे कि ग्लूटामिक एसिड या लाइसीन) अथवा प्रोटीनों के सिरों पर मिलने वाले ऐमीनो अम्ल जिनका ऐमीनो या कार्बोक्सिल समूह मुक्त होता है, प्रोटीन के अणु के अम्ल-क्षारक गुणों में योगदान दे सकते हैं। ऐसा इसलिए है क्योंकि प्रोटीन की पॉलीपेटाइड शृंखला के (इसकी चर्चा हम उपभाग 5.3.3 में करेंगे) ऐमीनो अम्लों में मुक्त  $\alpha$ -ऐमीनो अथवा  $\alpha$ -कार्बोक्सिल समूह नहीं होता है। केवल दो सिरों पर मिलने वाले ऐमीनो अम्लों में ही यह संभव होता है। कुछ पार्श्व शृंखलाएं (R-समूह) जो आयनीकृत हो सकती हैं वह उस ऐमीनो अम्ल के लिए संभव आयनित रूपों की संख्या बढ़ा सकती हैं। यह प्रोटीनों की संरचना व कार्य के लिए बहुत महत्वपूर्ण है। किसी समूह के आयनित होने की प्रवृत्ति को  $pK_a$  मान के रूप में व्यक्त किया जाता है जो pH के समान ही होता है। कम pH के माने अधिक हाइड्रोजन आयन सांद्रता व तदनुसार अधिक अम्लता होती है। इसी प्रकार किसी आयनीकृत हो सकने वाले समूह का कम  $pK_a$  मान उसकी प्रबल अम्लीय प्रकृति दर्शाता है तथा यह अधिक सरलता से आयनीकृत हो जाता है।

आगे बढ़ने से पहले निम्नलिखित बोध प्रश्नों को हल कीजिए।

बोध प्रश्न 1 तथा 2 में सही उत्तर को (✓) चिह्न द्वारा चिह्नित कीजिए।

### बोध प्रश्न 1

ऐमीनो अम्लों की विभिन्नता

- |     |   |     |
|-----|---|-----|
| (क) | उनके $\alpha$ -कार्बोक्सिल समूह                 | [ ] |
| (ख) | उनके भिन्न आणविक द्रव्यमानों                    | [ ] |
| (ग) | उनके $\alpha$ -ऐमीनो समूह                       | [ ] |
| (घ) | उनकी पार्श्व शृंखला की प्रकृति के कारण होती है। | [ ] |

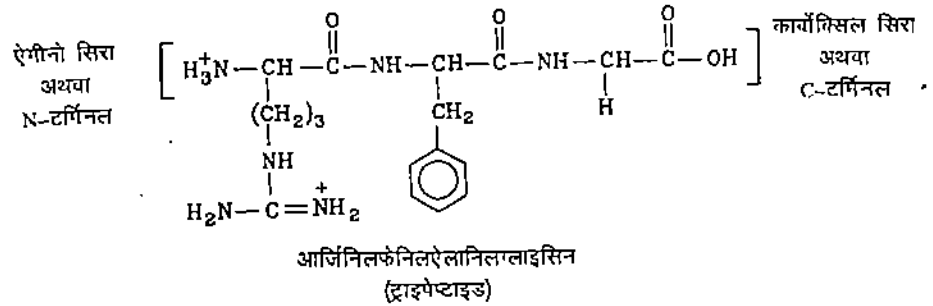
### बोध प्रश्न 2

ऐमीनो अम्लों को उभयधर्मी कहते हैं, क्योंकि

- |     |  |     |
|-----|--|-----|
| (क) | उनमें क्षारकीय समूह होता है।                 | [ ] |
| (ख) | उनमें अम्लीय समूह होता है।                   | [ ] |
| (ग) | उनमें अम्लीय व क्षारकीय दोनों समूह होते हैं। | [ ] |
| (घ) | उपरोक्त में से कोई भी नहीं।                  | [ ] |

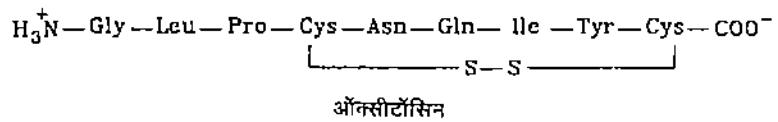
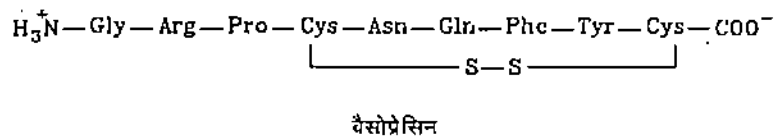


बनने के समय जल के अणु के विलोपन के उपरान्त बचने वाले ऐमीनो अम्ल के हिस्से होते हैं। ध्यान दें कि किसी पेप्टाइड का नामांकन ऐमीनो टर्मिनल की तरफ से होता है अर्थात् उस तरफ से जिस तरफ मुक्त  $\alpha$ -ऐमीनो समूह होता है। उदाहरण के लिए, ऊपर दिए गए टेट्रापेप्टाइड में ऐमीनो सिरे (इसे N-टर्मिनल भी कहते हैं) पर ग्लाइसिल अवशिष्ट है। इसी प्रकार दूसरा सिरा जहाँ पर मुक्त  $\alpha$ -कार्बोक्सिल समूह होता है, उसे कार्बोक्सिल सिरा अथवा C-टर्मिनल कहते हैं। ऊपर दिए उदाहरण में लाइसीन अवशिष्ट C-टर्मिनल पर है। नीचे दिए ट्राइपेप्टाइड अर्जिनिलफेनिलऐलानिलग्लाइसीन द्वारा यह और स्पष्ट हो जाएगा।

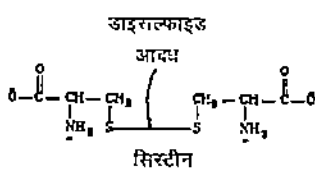


आपने यह भी देखा होगा कि पेप्टाइड, विशेषकर पॉलीपेप्टाइड की पूरी संरचना लिखना अव्यावहारिक है। ऐसे में संरचना को ऐमीनो अम्लों के एकलवर्णी अथवा त्रिवर्णी चिह्नों (सारणी 5.2) द्वारा दर्शाया जा सकता है।

प्रकृति में कई पेप्टाइड पाए जाते हैं। इनमें से प्रत्येक कोई न कोई विशिष्ट कार्य करता है। उदाहरण के लिए, वैसोप्रेसिन तथा ऑक्सीटॉसिन दो पेप्टाइड हॉर्मोन हैं जो मानव के द्वारा उत्पन्न किए जाते हैं। इनकी संरचनाओं को नीचे दिया गया है।



सिस्टीन (cysteine) अधिकतर डाइसल्फाइड आबंध द्वारा आवधिक द्विलक के रूप में पाया जाता है। इसे सिस्टीन (cystine) कहते हैं।



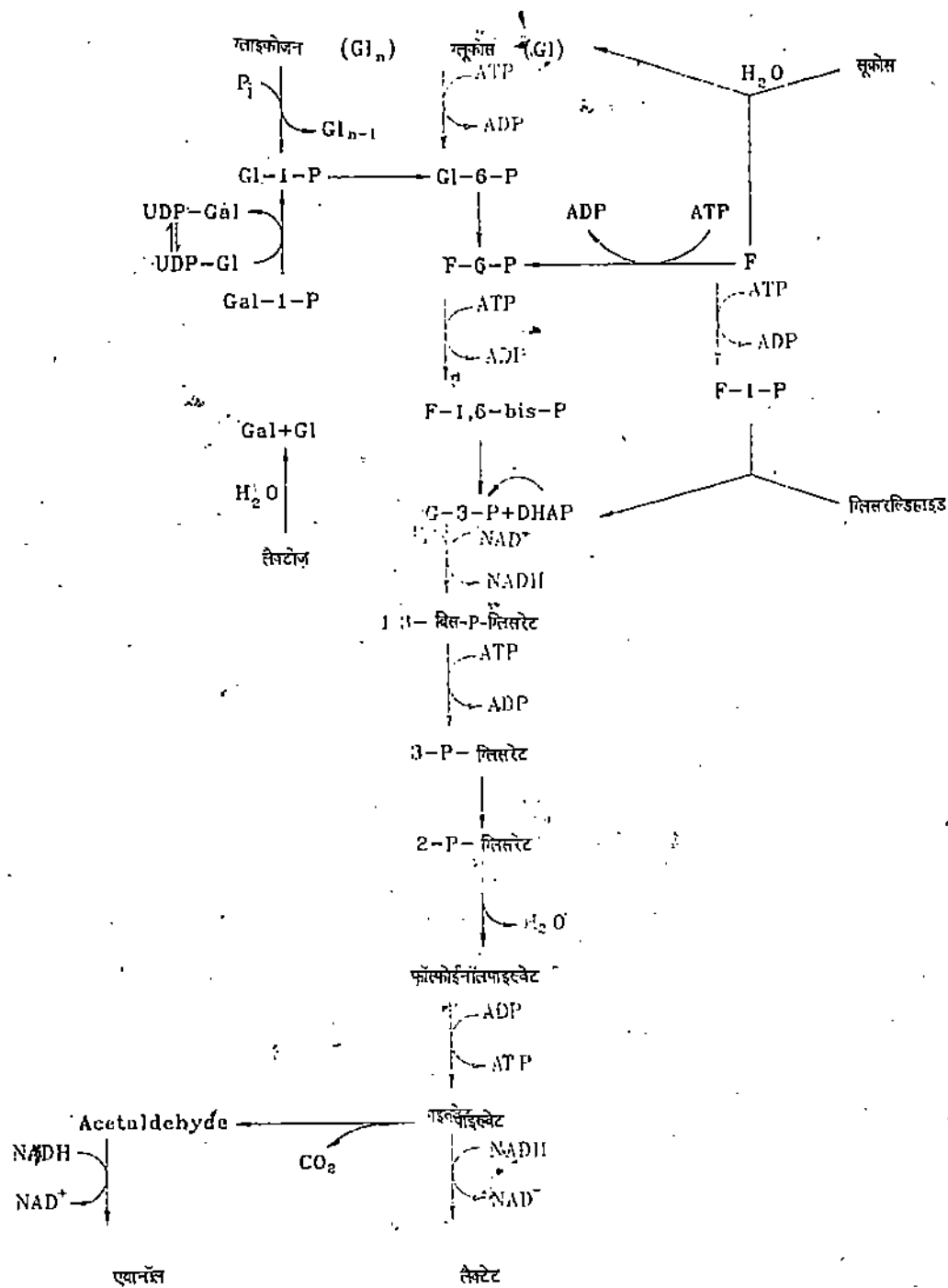
डाइसल्फाइड आबंध की धर्या इस भाग 5.4 में करेंगे।

पेप्टाइड आबंधों के साथ-साथ इन पेप्टाइडों में दो सिस्टीन अवशिष्टों के बीच एक डाइसल्फाइड सेतु भी होता है। यह पेप्टाइड महत्वपूर्ण जैविक कार्य करते हैं। वैसोप्रेसिन मानव में तरलों के संतुलन बनाए रखने का कार्य करता है। यह गुर्दे द्वारा जल के पुनः अवशोषण को बढ़ा देता है जिससे शरीर में जल के संचार की मात्रा के नियंत्रण द्वारा रक्त चाप को नियंत्रित किया जाता है। ऑक्सीटॉसिन दुग्धस्रावण (lactation) को बढ़ावा देता है। इसका उपयोग शिशु जन्म के समय प्रसव पीड़ा को प्रेरित करने के लिए दवा के रूप में भी किया जाता है।

अब तक आप यह जान चुके हैं कि प्रोटीनों के निर्माण खंड, ऐमीनो अम्ल अणु किस प्रकार पेप्टाइड आबंधों द्वारा पॉलीपेप्टाइड शृंखला बनाते हैं। आइए, अब हम आने वाले भागों में प्रोटीन की संरचना का वर्णन करें। आप अपने पेप्टाइड संबंधी ज्ञान का परीक्षण निम्नलिखित बोध प्रश्न द्वारा कर सकते हैं।

### बोध प्रश्न 3

ट्राइपेप्टाइड, Asp. Leu. Trp की पूर्ण संरचना बनाइए।



चित्र 9.2 : विभिन्न शर्कराओं के प्रवेश को दर्शाती ग्लाइकोलाइसिस व ऐल्कोहॉली किण्वन की रूपरेखा। भूरे तीरों द्वारा अनुक्रमणीय अभिक्रियाओं को दर्शाया गया है।

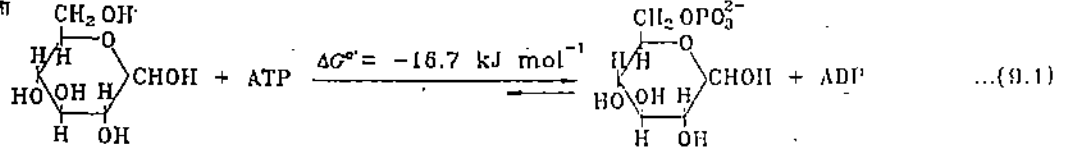
संकेत चिह्न : ग्लूकोस, GI; फ्रक्टोज, F; फॉस्फेट समूह, P<sub>i</sub>; ग्लिसरॉल्लिहाइड-3-फॉस्फेट, G-3-P; डाइहाइड्रॉक्सीऐसीटोन फॉस्फेट, DHAP; गैलेक्टोस, Gal.



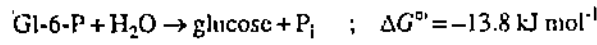
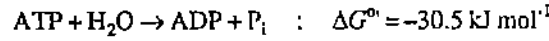
### 9.3.1 ग्लूकोस का ट्राइओस फॉस्फेट में परिवर्तन

यकृत की कोशिकाओं में ग्लूकोकाइनेस नामक एंजाइम भी होता है, जो केवल ग्लूकोस का ही फॉस्फोरिलीकरण करता है।

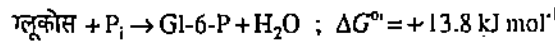
पहले पद में ग्लूकोस ATP से अभिक्रिया करके ग्लूकोस-6-फॉस्फेट (GI-6-P) तथा ADP बनाता है। यह अभिक्रिया हैक्सोकाइनेस नामक एंजाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है, समीकरण 9.1.



मुक्त ऊर्जा में अत्यधिक कमी के कारण यह अभिक्रिया लगभग अव्युत्क्रमणीय होती है। इस अभिक्रिया के लिए  $\Delta G^\circ$  का मान, ATP व GI-6-P के जल अपघटन के  $\Delta G^\circ$  मानों द्वारा परिकलित किया जा सकता है। जल अपघटन के यह  $\Delta G^\circ$  मान इकाई 8 की सारणी 8.1 में दिए गए हैं।



दूसरी अभिक्रिया को हम इस प्रकार भी लिख सकते हैं :



इन अभिक्रियाओं के योग से हम समीकरण 9.1 को प्राप्त कर सकते हैं। इस प्रकार इस अभिक्रिया के लिए  $\Delta G^\circ$  का मान  $16.7 \text{ kJ mol}^{-1}$  होगा।  $\Delta G^\circ$  तथा  $K'_{eq}$  के बीच के संबंध का उपयोग करते हुए हम  $\text{pH}=7.0$  पर इस अभिक्रिया के साम्य स्थिरांक का परिकलन कर सकते हैं।

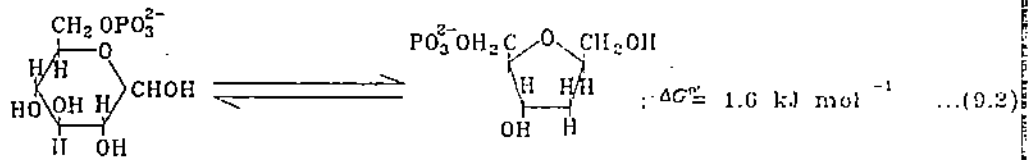
$$\Delta G^\circ = -R.T.\ln K'_{eq} = -2.303 \times RT \times \log K'_{eq}$$

$\Delta G^\circ$ ,  $R$  तथा  $T$  के मानों को प्रतिस्थापित करते हुए  $\text{pH}=7.0$  व  $298 \text{ K}$  पर इस अभिक्रिया का साम्य स्थिरांक  $8.45 \times 10^2$  होगा।

$$K'_{eq} = \frac{[\text{ADP}][\text{GI-6-P}]}{[\text{ATP}][\text{ग्लूकोस}]} = 8.45 \times 10^2$$

इस प्रकार साम्य स्थिरांक, ग्लूकोस व ATP से GI-6-P के बनने के अनुकूल है।

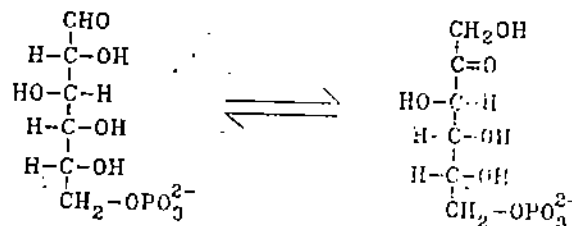
दूसरे पद में फॉस्फोग्लूकोस आइसोमेरेस द्वारा उत्प्रेरित एक समावयवीकरण अभिक्रिया होती है, समीकरण 9.2.



GI-6-P

F-6-P

आप इस सरल ऐल्डोस-कीटोस समावयवीकरण को दोनों शर्कराओं की विवृत शृंखला (open chain) संरचना द्वारा अधिक स्पष्ट रूप से समझ सकते हैं,



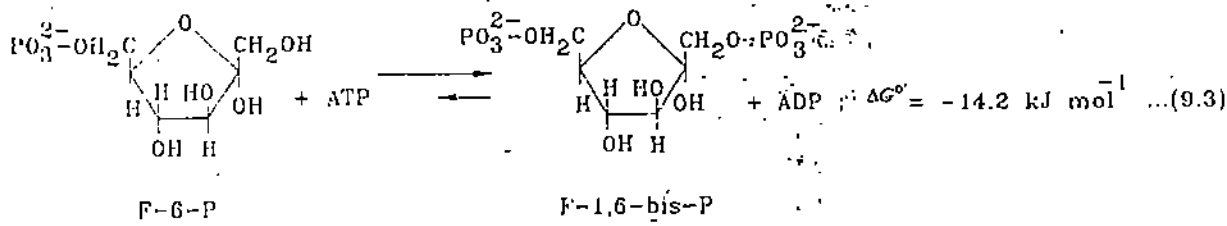
GI-6-P

F-6-P

इकाई 2 से आपको स्मरण होगा कि फ्रक्टोज व इसके व्युत्पन्नो में फ्रुक्टोस अथवा 5 सदस्यीय वलय संरचना, पायरैनोस अथवा 6 सदस्यीय वलय संरचना की अपेक्षा कहीं अधिक पाई जाती है। 6 सदस्यीय संरचना मुख्यतः ग्लूकोस व उसके व्युत्पन्नो में पाई जाती है।

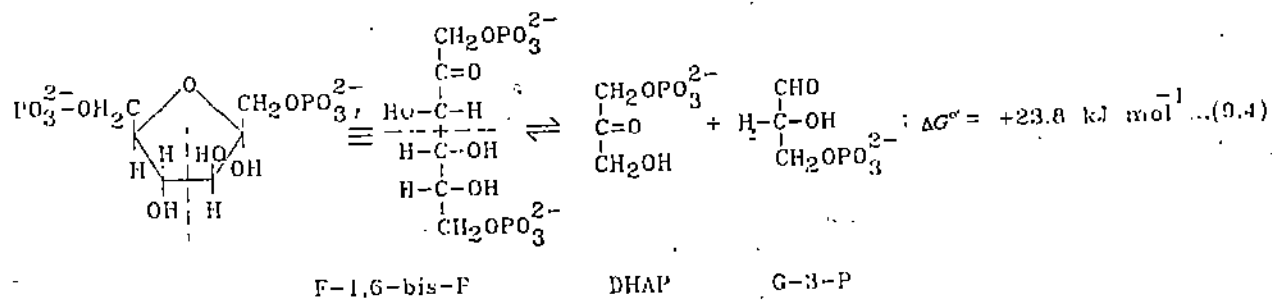
अगले पद में F-6-P, ATP के एक अन्य अणु द्वारा फॉस्फोरिलीकृत होकर फ्रक्टोज-1,6-बिस-फॉस्फेट (F-1,6-bis-P) बनाता है। यह अभिक्रिया फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेस (PFK) नामक एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है, समीकरण 9.3.

आपको इकाई 6 से याद होगा कि ऐलोस्टेरिक नियन्त्रण में उपाख्यी पद का फल एन्जाइम इसके अंत उत्पाद से संश्लिप्त होता है।



मुक्त ऊर्जा में अत्यधिक कमी के कारण यह अभिक्रिया भी लगभग अव्युत्क्रमणीय होती है व इसमें F-1,6-bis-P बनाता है। यह अभिक्रिया ग्लाइकोलाइस की दर के नियन्त्रण में प्रमुख भूमिका निभाती है, क्योंकि PFK एक ऐलोस्टेरिक एन्जाइम होता है। यह, ADP व AMP जो इसके लिए सक्रियक (activator) का कार्य करते हैं तथा ATP, सिट्रेट व बसा अम्लों जो इसके लिए संश्लिप्तक (inhibitor) का कार्य करते हैं, की कोशिकीय सांद्रताओं के प्रति अति संवेदनशील होता है। इस पहलू की चर्चा इकाई 11 में की जाएगी।

फ्रक्टोज-1,6-बिस-फॉस्फेट का ग्लिसराल्डिहाइड-3-फॉस्फेट (G-3-P) तथा डाइहाइड्रॉक्सीऐसीटोन फॉस्फेट (DHAP) के एक-एक अणु में विदलन हो जाता है, जैसा कि समीकरण 9.4 में दर्शाया गया है। इस अभिक्रिया को उत्प्रेरित करने वाले एन्जाइम को फ्रक्टोज-1,6-बिस-फॉस्फेट ऐल्डोलेस अथवा केवल ऐल्डोलेस कहते हैं।



यदि हम इसकी विपरीत अभिक्रिया लें, तो यह एक ऐल्डोल संघनन के समान होगा, जिसमें G-3-P के ऐल्डिहाइड समूह की DHAP के सक्रिय मेथिलीन समूह से क्रिया होती है। यह इस एन्जाइम के नाम की व्याख्या भी करता है।

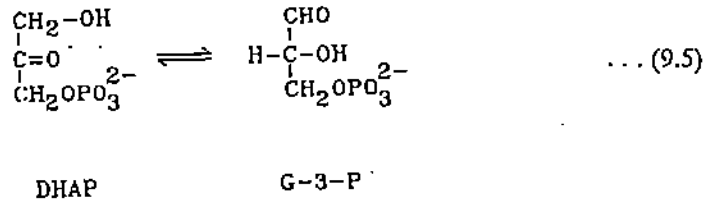
आप देख सकते हैं कि इस अभिक्रिया में मानक मुक्त ऊर्जा अत्यधिक बढ़ रही है। नीचे दिए गए परिकलन द्वारा हम देख सकते हैं कि इस अभिक्रिया का साम्य स्थिरांक लगभग  $10^{-5}$  M होगा।

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ &= -R \cdot T \cdot \ln K'_{eq} = -2.303 \times R \times T \times \log K'_{eq} \\
 \log K'_{eq} &= \frac{\Delta G^\circ}{-2.303 \times R \times T} \\
 &= \frac{23.8}{-2.303 \times 8.314 \times 298} = -4.18 \\
 K'_{eq} &= \frac{[\text{G-3-P}] \times [\text{DHAP}]}{[\text{F-1,6-bis-P}]} = 6.61 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

F-1,6-bis-P की शरीरक्रियात्मक सांद्रता लगभग  $10^{-4}$  M होती है। समीकरण में इस मान को रखते हुए हम देख सकते हैं कि G-3-P व DHAP की सांद्रता का गुणनफल  $6.6 \times 10^{-9}$  अथवा लगभग  $10^{-8}$  M होगा। चूंकि F-1,6-bis-P से ये समान मोलर मात्रा में बनते हैं, इसलिए इनमें से प्रत्येक की सांद्रता लगभग  $10^{-4}$  M होगी। इसके माने यह है कि लगभग 50 प्रतिशत F-1,6-bis-P का G-3-P व DHAP में परिवर्तन होता

है। चूंकि ग्लाइकोलाइस की अन्य अभिक्रियाओं को करने के लिए G-3-P व DHAP का लगातार उपयोग होता रहता है, इसलिए इनकी सांद्रता बहुत कम हो जाती है। F-1, 6-bis-P के और विदलन द्वारा G-3-P व DHAP बनते रहते हैं। जैसा हम बार-बार कहते आ रहे हैं, यह उदाहरण दर्शाता है कि यद्यपि अधिकतर अभिक्रियाओं की दिशा निर्धारण के लिए  $\Delta C^0$  का मान ही पर्याप्त होता है लेकिन किसी भी रासायनिक परिवर्तन व उसके संबंधित ऊर्जा परिवर्तनों की वास्तविक स्थिति अभिकारकों व उत्पादों की शरीरक्रियात्मक सांद्रता द्वारा ही प्राप्त होती है।

ग्लिसराल्डिहाइड व डाइहाइड्रॉक्सीऐसीटोन को अक्सर 3-कार्बन शर्कराओं अथवा ट्राइओसों के रूप में जाना जाता है। अन्य ऐल्डोस-कीटोस अंतरापरिवर्तनों के समान इनके फॉस्फोरिलीकृत व्युत्पन्न, G-3-P तथा DHAP भी एक दूसरे में परिवर्तनीय होते हैं। यह अभिक्रिया ट्राइओसफॉस्फेट आइसोमेरेस नामक एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है।



G-3-P, ग्लाइकोलाइस के अगले चरण के लिए क्रियाधार होता है। यद्यपि G-3-P में परिवर्तन के कारण इस पद में DHAP का भी अपचय होता है। इस प्रकार प्रभावी रूप से ग्लूकोस के एक अणु से G-3-P के दो अणु प्राप्त होते हैं। इसके परिणामस्वरूप ग्लाइकोलाइस के द्वितीय चरण में प्रत्येक अभिक्रिया को दो से गुणा करने पर ही ग्लूकोस के संगत सही रससमीकरणमिती प्राप्त होगी। इस चरण में अपचयोपचय व फॉस्फोरिलीकरण पद होते हैं।

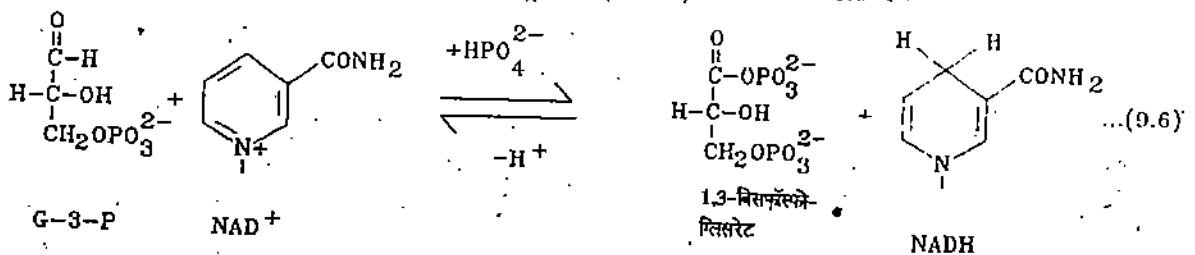
**बोध प्रश्न 1**

निम्नलिखित में से कौन-से कथन सत्य व कौन-से असत्य हैं ? असत्य कथनों के स्थान पर सही कथन दीजिए।

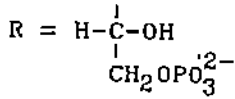
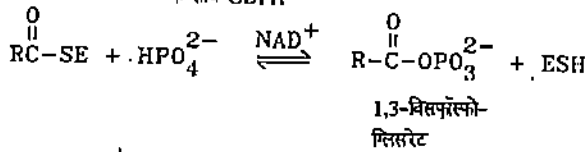
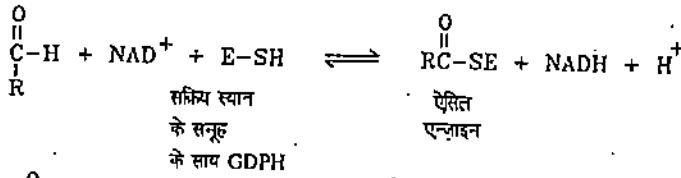
- i) ग्लूकोकाइनेस ग्लूकोस के फॉस्फोरिलीकरण के लिए विशिष्ट होता है।  
.....
- ii) फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेस उरा अभिक्रिया को उत्प्रेरित करता है जिसमें ग्लूकोस-1-फॉस्फेट क्रियाधार होता है।  
.....
- iii) PFK द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रिया ATP व सिट्रेट की उच्च सांद्रता द्वारा संदमित होती है।  
.....
- iv) G-3-P के समान डाइहाइड्रॉक्सीऐसीटोन भी ग्लाइकोलाइस पथ द्वारा अपचित हो सकता है।  
.....

**9.3.2. G-3-P का पाइरूवेट में परिवर्तन**

F-1, 6-bis-P के विदलन व DHAP के समावयवीकरण से प्राप्त G-3-P, NAD<sup>+</sup> तथा फॉस्फेट आयन से अभिक्रिया करके 1, 3-बिसफॉस्फोग्लिसरेट बनाता है जैसा समीकरण 9.6 में दर्शाया गया है। यह अभिक्रिया ग्लिसराल्डिहाइड-3-फॉस्फेट डिहाइड्रोजेनेस (GPDH) द्वारा उत्प्रेरित होती है।

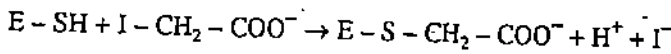


GPDH के सक्रिय स्थान पर एक अतिक्रियाशील सिस्टीन-SH समूह होता है। ऐसा पाया गया है कि यह अभिक्रिया स्पष्ट दो पदों में होती है। पहले अपचयन/उपचयन पद में G-3-P का ऐलिडहाइड समूह ऐसिल समूह में उपचित हो जाता है, जो थायोएस्टर के रूप में एन्जाइम के सक्रिय स्थान के -SH समूह से सहसंयोजक आबंध द्वारा जुड़ा रहता है। इसके साथ-साथ NAD<sup>+</sup> का NADH में अपचयन होता है। इसके उपरांत, समूह स्थानांतरण पद में ऐसिल समूह फॉस्फेट आयन पर स्थानांतरित होकर उत्पाद, 1,3-बिसफॉस्फोग्लिसरेट बनाता है। इस अभिक्रिया के होने के लिए NAD<sup>+</sup> का होना अति आवश्यक होता है। इसकी अनुपस्थिति में यह अभिक्रिया नहीं होती।



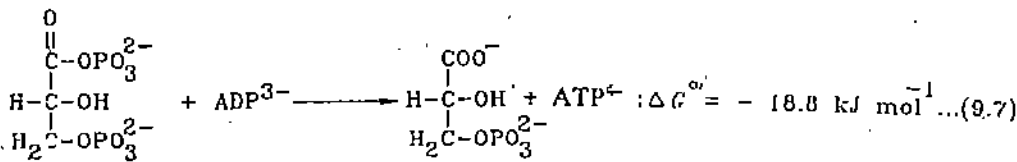
ऊर्जा परिवर्तनों के पहलू से यह अभिक्रिया बहुत महत्वपूर्ण है क्योंकि ऐलिडहाइड समूह के ऐसिल समूह में उपचयन में प्राप्त होने वाली मुक्त ऊर्जा का एक भाग पहले थाइऑल एस्टर व बाद में अंत उत्पाद के ऐसिल फॉस्फेट आबंध में संरक्षित होता है। यहाँ पर उत्प्रेरित अभिक्रिया विशेषकर उपचयन व ऊर्जा संरक्षक फॉस्फोरिलीकरण अभिक्रिया के संयुग्मन में सहसंयोजक एन्जाइम क्रियाधार मध्यवर्ती की भूमिका पर ध्यान दीजिए। यह क्रियाधार स्तर फॉस्फोरिलीकरण (substrate-level-phosphorylation) का एक उदाहरण है।

GPDH के सक्रिय स्थान का अति क्रियाशील -SH समूह कई अन्य अभिकर्मकों के साथ आसानी से क्रिया करता है। जैसे आयोडोऐसीटेट या आयोडोऐसिटामाइड।



सक्रिय स्थान के -SH समूह का अवरोधन करने पर GPDH की उत्प्रेरी क्षमता का हास होता है। आयोडोऐसीटेट व आयोडोऐसिटामाइड GPDH से अभिक्रिया द्वारा ही ग्लाइकोलाइसिस पथ में ग्लूकोस के विघटन का संदमन करते हैं।

ग्लाइकोलाइसिस के अगले पद में, 1,3-बिसफॉस्फोग्लिसरेट ADP से क्रिया करता है। यह अभिक्रिया फॉस्फोग्लिसरेट द्वारा उत्प्रेरित होती है तथा इसमें 3-फॉस्फोग्लिसरेट व ATP उत्पाद के रूप में प्राप्त होते हैं, समीकरण 9.7.

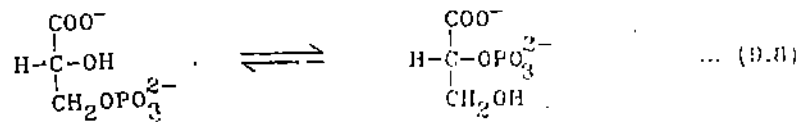


### 3-फॉस्फोग्लिसरेट

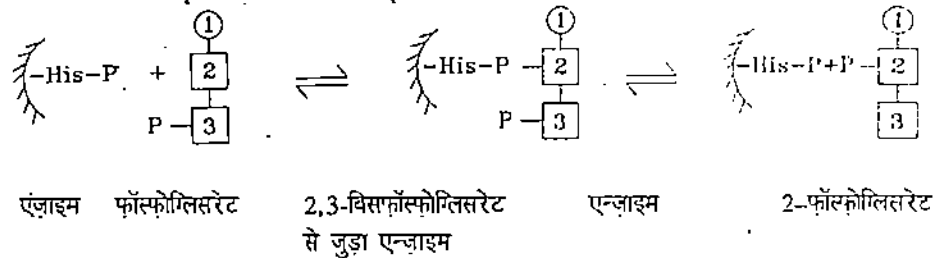
इस अभिक्रिया में पिछले पद में संरक्षित ऊर्जा के व्यय से ATP का संश्लेषण होता है। यह ग्लाइकोलाइसिस का 9<sup>वां</sup> पहला पद है, जिसमें ATP उत्पन्न होता है।

ध्यान दें कि यहाँ ADP तथा फॉस्फेट अयुग्मन के बीच सीधे कोई अभिक्रिया नहीं होती है। अपितु पहले पद में फॉस्फेट समूह ऐसिल लिसे से जुड़ता है तथा इस ऐसिल-फॉस्फेट की उच्च फॉस्फेट समूह स्थानांतरण क्षमता के उपयोग द्वारा ADP पर फॉस्फेट समूह के स्थानांतरण से ATP प्राप्त होता है।

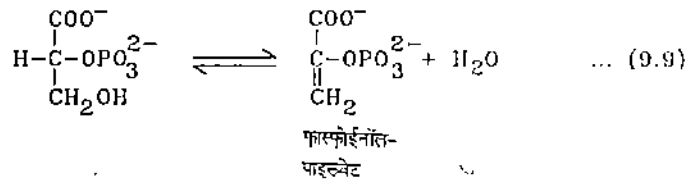
फॉस्फोग्लिसरोम्यूटेस द्वारा उत्प्रेरित अगली अभिक्रिया में 3-फॉस्फोग्लिसरेट का 2-फॉस्फोग्लिसरेट में सभावयवीकरण होता है, समीकरण 9.8.



इस अभिक्रिया के लिए एन्जाइम से जुड़े 2, 3-बिसफॉस्फोग्लिसरेट की आवश्यकता होती है। एन्जाइम के सक्रिय स्थान का एक हिस्टिडीन अवशिष्ट सफलतापूर्वक फॉस्फेट समूह के ग्राही-ब दाता का कार्य करता है। इस सभावयवीकरण के लिए निम्नलिखित क्रियाविधि प्रतिपादित की गई है :

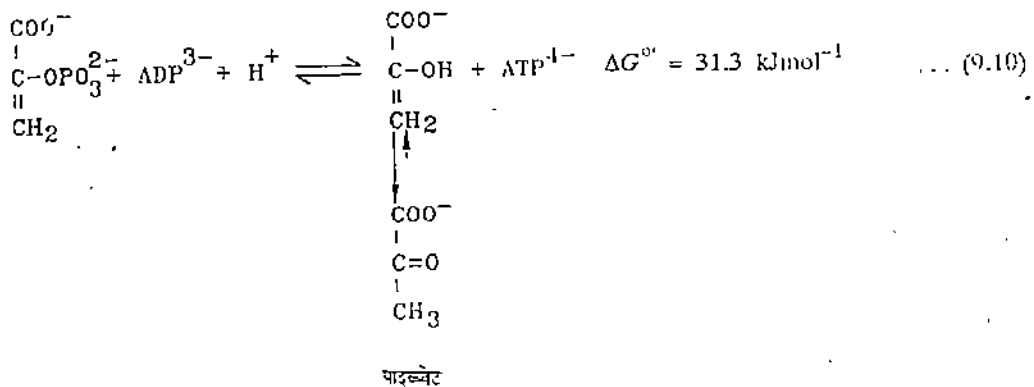


2-फॉस्फोग्लिसरेट के निर्जलीकरण से फॉस्फोईनॉलपाइरूवेट (PEP) प्राप्त होता है, समीकरण 9.9। इस अभिक्रिया को उत्प्रेरित करने वाले एन्जाइम को इनोलेस कहते हैं।



एरिथ्रोसाइटों में PK की आनुवंशिक कमी से हीमोलिटिक रक्तारपता (hemolytic anaemia) हो जाती है। इसमें एरिथ्रोसाइटों का अत्यधिक नाश में नारा होता है। यह ग्लाइकोलाइस की दर में कमी का परिणाम हो सकता है। ऐसा माना जाता है कि इसमें ATP के संश्लेषण की दर कोशिका की ऊर्जा-आवश्यकताओं को पूरा करने व एरिथ्रोसाइटों की संरचना को बनाए रखने के लिए पर्याप्त नहीं होती है।

ईनॉल यौगिकों के फॉस्फेट एस्टर भी उच्च ऊर्जा वाले यौगिक होते हैं (सारणी 8.1, इकाई 8)। इनकी फॉस्फेट समूह स्थानान्तरण क्षमता भी उच्च होती है। अगले पद में इसका उपयोग ADP पर फॉस्फेट समूह के स्थानान्तरण में होता है व इससे ADP तथा पाइरूवेट प्राप्त होते हैं। यह अभिक्रिया पाइरूवेट काइनेस (PK) नामक एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है, समीकरण 9.10.



इस अभिक्रिया में मुक्त ऊर्जा में अत्यधिक कमी होती है जिससे यह अभिक्रिया लगभग अव्युत्क्रमणीय हो जाती है। ऊर्जा की यह कमी मुख्यतः ईनॉल-कीटोन रूपांतरण के कारण होती है। कीटोन, ईनॉल से कहीं अधिक स्थिर होता है।

फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेस के बाद पाइरूवेट काइनेस ग्लाइकोलाइस की दर के नियमन का दूसरा महत्वपूर्ण केन्द्र है। यह ग्लूकोस-6-फॉस्फेट, फ्रक्टोज-6-बिसफॉस्फेट व ग्लिसरॉल-3-फॉस्फेट द्वारा सक्रियित होता है तथा ऐलानिन, A व वसा अम्लों द्वारा संदमित होता है। इन गुणों के महत्व की चर्चा म इकाई 11 में करेंगे।

ग्लूकोस से पाइरुवेट तक होने वाली अभिक्रियाओं में होने वाले ऊर्जा परिवर्तन, संक्षेप में, सारणी 9.1 में दिए गए हैं :

सारणी 9.1 : ग्लाइकोलाइसिस की अभिक्रियाओं की और्जिकी

समीकरण संख्या	अभिक्रिया प्रकार	$\Delta G^{\circ}$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	$\Delta G$ (kJ mol <sup>-1</sup> )
9.1	फॉस्फेट स्थानांतरण	-16.74	-33.47
9.2	समावयवीकरण	+1.67	-2.51
9.3	फॉस्फेट स्थानांतरण	-14.22	-22.17
9.4	एल्डोल विदलन	+23.85	-1.25
9.5	समावयवीकरण	+7.53	+2.57
9.6	उपचयन तथा फॉस्फोरिलीकरण	+6.28	-1.64
9.7	फॉस्फेट स्थानांतरण	-18.83	+1.20
9.8	फॉस्फेट समूह विस्थापन	+4.60	+0.83
9.9	निर्जलीकरण	+1.67	-3.35
9.10	फॉस्फेट स्थानांतरण	-31.4	-16.74

इस सारणी में दिए गए वास्तविक मुक्त ऊर्जा परिवर्तन ( $\Delta G$ ) ज्ञात  $\Delta G^{\circ}$  मानों तथा विभिन्न उपापचयों की अंतराकोशिकीय सांद्रताओं पर आधारित हैं। अंतराकोशिकीय सांद्रताओं को जानने के लिए कोशिकाओं के संविदारण (rupture) से पहले सभी अभिक्रियाओं को रोकना आवश्यक होता है। ऐसा करने के लिए उत्तकों को पहले ठंडा करते हैं व फिर द्रवित नाइट्रोजन के ताप पर उसका हिमीकरण (freezing) किया जाता है। इसी हिमीकृत अवस्था में उत्तकों को पीसा जाता है व परस्फोरिक अम्ल की उपस्थिति में इनका निष्कर्षण (extraction) किया जाता है। इस अम्ल द्वारा सभी एन्जाइमों का निष्कियण हो जाता है। फिर इस निष्कर्ष (extract) का विभिन्न उपापचयों के लिए आमापन (assay) किया जाता है। इस प्रकार से प्राप्त डाटा को हिमीकरण के समय अंतराकोशिकीय सांद्रता से संबंधित किया जा सकता है। यदि यह सावधानियाँ न बरती जाएं तो निष्कर्ष में उपापचयों की सांद्रता तीव्रता से साम्य अवस्था के संगत मानों के बराबर हो जाती है। ऐसा उनमें उपस्थित एन्जाइमों के कारण होता है। उपापचयों की सांद्रता अलग-अलग उत्तकों में अलग-अलग होती है। सारणी 9.1 में दिए गए  $\Delta G$  मानों को मानव एरिथ्रोसाइटों के लिए परिकल्पित किया गया है। ये ऊर्जा की अपनी संपूर्ण आवश्यकता ग्लाइकोलाइसिस द्वारा ही पूरी करते हैं।

इसके आगे पाइरुवेट का उपापचय, जीव की प्रकृति तथा उसकी शरीरक्रियात्मक अवस्था जैसे ऑक्सीजन पूर्ति की दर पर निर्भर करता है। इनकी व्याख्या नीचे की गई है। इससे पहले निम्नलिखित प्रश्न को हल करने का प्रयास कीजिए।

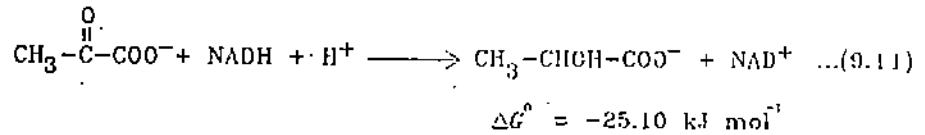
## योजना प्रश्न 2

ग्लाइकोलाइसिस द्वारा ATP का बनना किस पहलू से अद्वितीय है ?

### 9.3.3 पाइरुवेट की उपापचयी नियति

वायुजीवी परिस्थितियों में पाइरुवेट पहले ऐसीटिल-CoA में परिवर्तित होता है तथा फिर क्रेब के ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र, जिसे सिट्रिक अम्ल चक्र भी कहते हैं, द्वारा कार्बन डाइऑक्साइड में उपचयित हो जाता है (चित्र 9.1)। इन अभिक्रियाओं की चर्चा इकाई 10 में की जाएगी। ग्लाइकोलाइसिस तथा इन अभिक्रियाओं के दौरान प्राप्त होने वाले उपचयित सहएन्जाइम ऑक्सीकरण फॉस्फोरिलीकरण द्वारा पुनः उपचयित हो जाते हैं। इसमें उपापचयी ऊर्जा के उपयोग द्वारा ATP का संश्लेषण होता है। पोषक तत्वों से उपापचयी ऊर्जा के निकलने व उसके संरक्षण का मुख्य भाग ऑक्सीकरण फॉस्फोरिलीकरण द्वारा ही किया जाता है। इसमें प्राप्त पुनः उपचयित सहएन्जाइम क्रियाधार के अन्य अणुओं से क्रिया करने के लिए उपलब्ध होते हैं।

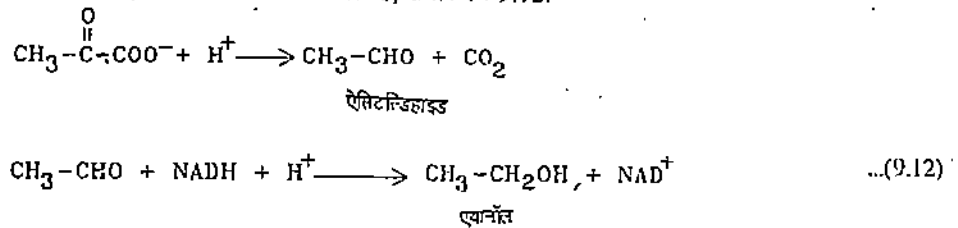
ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण की दर व तदनुसार अपचित सहएन्जाइमों के पुनः उपचित होने की दर ऑक्सीजन की पूर्ति पर निर्भर करती है। यदि ऊर्जा की मांग अधिक हो, जैसा पेशी की अति सक्रियता में होता है, तब उत्तकों में ऑक्सीजन की पूर्ति तीव्रता से बनते अपचित सहएन्जाइमों का पुनः उपचयन करने के लिए पर्याप्त नहीं होती है। ऐसे में अपचित सहएन्जाइमों के पुनः उपचयन के लिए वैकल्पिक पथों का कार्य करना आवश्यक होता है ताकि ATP की आपूर्ति को निरंतर बनाए रखा जा सके। जंतुओं की पेशियों में इस कार्य के लिए पाइरुवेट का उपयोग होता है। ग्लिसरॉल्लिहाइड-3-फॉस्फेट के उपचयन-फॉस्फोरिलीकरण से प्राप्त NADH (समीकरण 9.6) लैक्टेट डिहाइड्रोजेनेस नामक एन्जाइम की उपस्थिति में पाइरुवेट से अभिक्रिया करके लैक्टेट तथा NAD<sup>+</sup> बनाता है, समीकरण 9.11.



लैक्टोबैसिलस (Lactobacillus) में लैक्टेट ही अंत उत्पाद होता है।

इससे प्राप्त होने वाले NAD<sup>+</sup> का उपयोग फिर से समीकरण 9.6 में दी गई अभिक्रिया को करने के लिए किया जा सकता है। ध्यान दें कि न तो ग्लाइकोलाइस के किसी पद के लिए ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है और न ही इस अभिक्रिया के लिए। इस प्रकार सीमित ऑक्सीजन आपूर्ति की अवस्था में भी ATP का निरंतर बनना संभव होता है। कठोर शारीरिक परिश्रम के दौरान ग्लाइकोलाइस ही ATP का मुख्य स्रोत होता है इसमें प्राप्त लैक्टेट की उच्च मात्रा के निपटारे की चर्चा बाद में की गई है।

खमीर की कोशिकाओं में NADH के पुनः उपचयन में पाइरुवेट का उपयोग सीधे नहीं होता है। पहले थायमीन पायरोफॉस्फेट पर निर्भर एन्जाइम पाइरुवेट डि कार्बोक्सिलेट की उपस्थिति में इसका विकार्बोक्सिलीकरण होता है व इससे ऐसिटिल्लिहाइड प्राप्त होता है। फिर ऐसिटिल्लिहाइड ऐल्कोहॉल डिहाइड्रोजेनेस की उपस्थिति में NADH से क्रिया करके एथानॉल तथा NAD<sup>+</sup> बनाता है, समीकरण 9.12.



इसमें प्राप्त NAD<sup>+</sup> का उपयोग समीकरण 9.6 में दी गई अभिक्रिया को करने में हो सकता है। इस प्रकार यह प्रक्रिया, जिसे ऐल्कोहॉली किण्वन भी कहते हैं, वायु अथवा ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में भी हो सकती है तथा यह खमीर की कोशिका को ऊर्जा (ATP के रूप में) की आपूर्ति करती है। यदि ऑक्सीजन की आपूर्ति पर्याप्त हो, तो ऊपर दी गई विधि द्वारा पाइरुवेट का पूर्ण उपचयन संभव है।

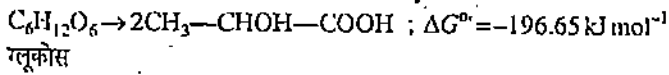
एक अन्य उपापचयी अभिक्रिया में पाइरुवेट कार्बोक्सिलेस नामक एन्जाइम द्वारा पाइरुवेट के कार्बोक्सिलीकरण द्वारा ऑक्सैलोऐसीटेट (oxaloacetate) प्राप्त होता है। यह एन्जाइम बायोटीन पर निर्भर करता है। यह अभिक्रिया TCA चक्र के मध्यवर्तियों के पुनः संभरण तथा ग्लूकोनिओजेनेसिस के लिए क्रियाधारों को उपलब्ध कराने का कार्य करती है।

ग्लाइकोलाइस की विभिन्न अभिक्रियाओं के अध्ययन के बाद आइए, अब हम इस पथ की संपूर्ण रससमीकरणमिती तथा विभिन्न अभिक्रियाओं की और्जिकी का अध्ययन करें।

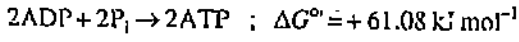
### 9.3.4 ATP के बनने की रससमीकरणमिती तथा ग्लाइकोलाइस की और्जिकी

चित्र 9.2 में दी गई ग्लाइकोलाइस की रूपरेखा दर्शाती है कि ग्लूकोस के फ्रक्टोज-1, 6-बिसफॉस्फेट में परिवर्तन से ATP के दो अणुओं का व्यय होता है (समीकरण 9.1 व 9.3)। फ्रक्टोज-1, 6-बिसफॉस्फेट, ट्राइओस-फॉस्फेट के दो अणु बनाता है (समीकरण 9.4)। ट्राइओस-फॉस्फेट के प्रत्येक अणु के लैक्टेट में परिवर्तन के दौरान ATP के दो अणु प्राप्त होते हैं। इसकी दो अभिक्रियाएं क्रमशः फॉस्फोग्लिसरेट काइनेस (समीकरण 9.7) तथा पाइरुवेट काइनेस (समीकरण 9.10) द्वारा उत्प्रेरित होती हैं। इस प्रकार ग्लूकोस के प्रत्येक अणु के लिए इन अभिक्रियाओं द्वारा ATP के चार अणु प्राप्त होते हैं। इनमें से आरंभ में व्यय किए गए ATP के नेट दो अणुओं को घटाकर हम देख सकते हैं कि ग्लूकोस के एक अणु के दो लैक्टेट अणुओं में परिवर्तन के दौरान ATP के नेट दो अणुओं का संश्लेषण होता है। इस प्रकार संपूर्ण रासायनिक परिवर्तन को हम दो आंशिक अभिक्रियाओं के रूप में लिख सकते हैं :

अभिक्रिया	ATP के प्रति ग्लूकोस व्यय में परिवर्तन
GI → GI - 6 - P	- 1
F - 6 - P → F-1, 6-bis-P	-1
2x1, 3-बिस-P-ग्लिसरेट → 2x3-P-ग्लिसरेट	+2
2xPEP → 2x पाइरुवेट	+2
योग	+2ATP



ग्लूकोस



केवल  $\Delta G^\circ$  मानों को ही लेते हुए हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि ग्लूकोस के लैक्टेट में विघटन के दौरान निकलने वाली कुल मुक्त ऊर्जा का लगभग 31 प्रतिशत ATP के रूप में संरक्षित (captured) हो जाता है जो जीवों में ऊर्जा का एक सुलभ स्रोत है। ऊर्जा के संरक्षण का वास्तविक प्रतिशत इससे अलग होता है क्योंकि कोशिकाओं में विभिन्न उपापचयों की सांद्रता मानक (1.0M) से कहीं अलग होती है। जैसा इकाई 8 में बताया गया है, मानव एरिथ्रोसाइटों में ATP के जल अपघटन की वास्तविक मुक्त ऊर्जा  $-51.8 \text{ kJ mol}^{-1}$  होती है। इससे ऊर्जा संरक्षण की मात्रा 50 प्रतिशत के करीब हो जाती है। इसके माने यह नहीं है कि बाकी की ऊर्जा व्यर्थ हो जाती है। यह दो अन्य मुख्य कार्य करती है। पहला यह कि  $\Delta G^\circ$  का उच्च ऋणात्मक मान यह निश्चित करता है कि विभिन्न अभिक्रियाएँ वांछित दिशा में ही हों अर्थात्, ग्लाइकोलाइसिस पथ की दिशा में तथा इसका विपरीत न हो सके। यह तथा आवश्यक एन्जाइमों की उपस्थिति, आवश्यकता पड़ने पर ATP की पूर्ति को बनाए रखने में सक्षम होते हैं। दूसरा, पोषक तत्वों के विघटन से प्राप्त ऊर्जा तथा संरक्षित ऊर्जा का अंतर ऊष्मा में परिवर्तित हो जाता है व आसपास के तापमान में कमी होने पर शरीर का तापमान बनाए रखने का कार्य करता है। यह गर्म मौसम के दौरान ऊष्मा को निकालने के लिए प्रभावी निकास की आवश्यकता की व्याख्या भी करता है। ऊर्जा पारक्रमण (energy transduction) की दृष्टि से मानव निर्मित कोई भी मशीन जीवित कोशिका की बराबरी नहीं कर सकती।

### बोध प्रश्न 3

पाइरुवेट की विभिन्न उपापचयी नियतियों को दर्शाती एक रूपरेखा दीजिए।

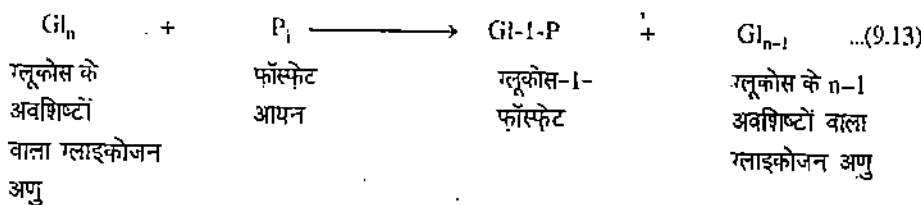
### बोध प्रश्न 4

शरीर में होने वाले ऐन्डोहॉली किण्वन किस प्रकार कंकाल पेशी में लैक्टेट के बनने के समान है ?

### 9.3.5 ग्लाइकोजन व अन्य शर्कराओं का ग्लाइकोलाइसिस पथ में प्रवेश

ग्लूकोस के अलावा अन्य कार्बोहाइड्रेट भी ग्लाइकोलाइसिस द्वारा ही उपापचित होते हैं। यह इस पथ में विभिन्न स्थानों पर प्रवेश करते हैं (चित्र 9.2)। आइए, हम कुछ प्रमुख पोषक कार्बोहाइड्रेटों को लें।

- i) ग्लाइकोजन का प्रवेश : ग्लाइकोजन, जंतु स्रोत से प्राप्त निश्चित पॉलीसैकेराइड (reserve polysaccharide) है। संरचनात्मक रूप से यह स्टार्च के ऐमाइलोपेक्टिन हिस्से के समान होता है (संरचना के लिए इकाई 2 का भाग 2.5 देखिए)। शरीर का अतिरिक्त ग्लूकोस ग्लाइकोजन के रूप में संचित रहता है। आवश्यकता पड़ने पर ग्लाइकोजन के अनपचयी (nonreducing) सिरे से ग्लाइकोजन फॉस्फोरिलेस की क्रिया द्वारा एक-एक करके ग्लूकोस के अवशिष्ट निकाल लिए जाते हैं, समीकरण 9.13.

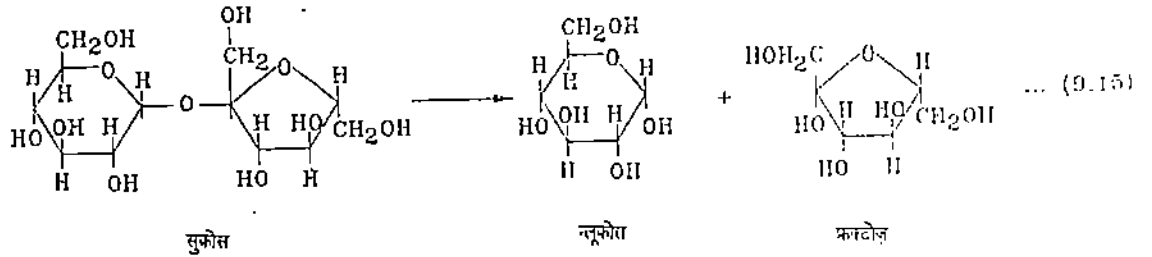


इसके बाद फॉस्फोग्लूकोम्यूटेस नामक एन्जाइम द्वारा ग्लूकोस-1-फॉस्फेट का ग्लूकोस-6-फॉस्फेट में रूपावलीकरण हो जाता है, समीकरण 9.14.

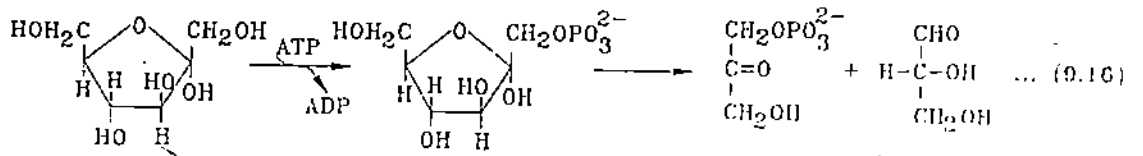


इसके बाद की सभी अभिक्रियाएँ वही हैं, जिनकी चर्चा हम पहले कर चुके हैं। ध्यान दें कि इसमें GI-6-P के बनने के लिए ATP की आवश्यकता नहीं होती है। इसके परिणामस्वरूप ग्लाइकोजन के प्रत्येक ग्लूकोस अवशिष्ट के ग्लाइकोलाइजेशन में ATP के नेट तीन अणु उत्पन्न होते हैं।

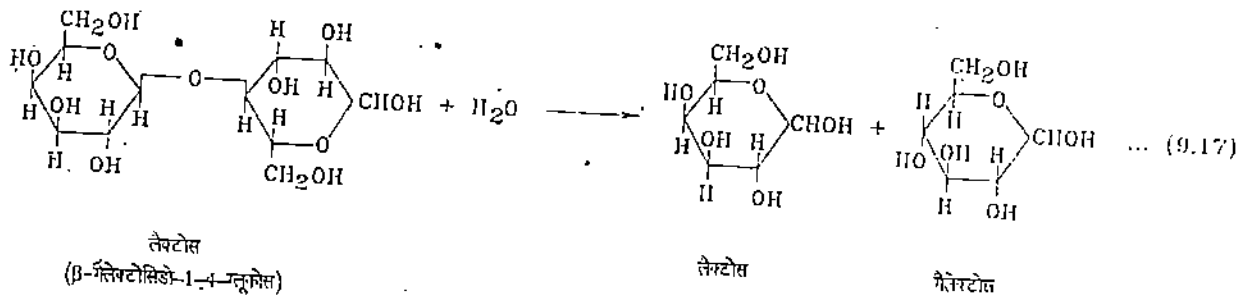
- ii) सुक्रोस तथा फ्रक्टोज का प्रवेश : आंतों द्वारा केवल मोनोसैकेराइडों का अवशोषण ही संभव है, डाइसैकेराइडों का नहीं। इसलिए आंतों की श्लेष्म ग्रंथियों (intestinal mucosa) में पाए जाने वाले एन्जाइम इन्वर्टेस (invertase) की उपस्थिति में सुक्रोस जैसे डाइसैकेराइडों का पहले जल अपघटन होता है, जिससे ग्लूकोस तथा फ्रक्टोज प्राप्त होते हैं, समीकरण 9.15.



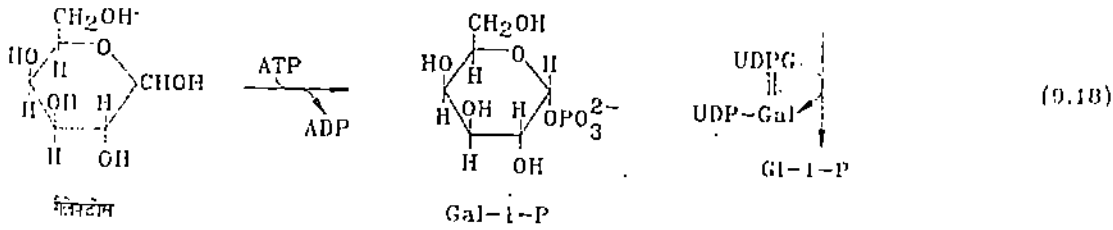
फ्रक्टोज दो अलग-अलग पथों से ग्लाइकोलाइजेशन पथ में प्रवेश करता है। इनमें से पहले, कम पाए जाने वाले, पथ में फ्रक्टोज की ATP से क्रिया द्वारा फ्रक्टोज-6-फॉस्फेट प्राप्त होता है। यह अभिक्रिया हैक्सोकाइनेस नामक एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है। यह वही एन्जाइम है, जो ग्लूकोस को ग्लूकोस-6-फॉस्फेट में परिवर्तित करता है। इसके आगे उपापचय उसी प्रकार से होता है, जैसे चित्र 9.2 में दिया गया है। यद्यपि फ्रक्टोज अधिकतर फ्रक्टोकाइनेस की उपस्थिति में ATP से क्रिया करता है तथा फ्रक्टोज-1-फॉस्फेट (F-1-P) बनाता है। इसके विदलन से ग्लिसाराल्डिहाइड तथा डाइहाइड्रॉक्सीएसीटोन बनते हैं। यह अभिक्रिया F-1-P ऐल्डोलेस की उपस्थिति में होती है, समीकरण 9.16। इस एन्जाइम का कार्य वही है, जो समीकरण 9.4 में दी गई अभिक्रिया में होता है। इसके आगे का उपापचय चित्र 9.2 में स्पष्ट रूप से दिया गया है।



- ii) लैक्टोस तथा गैलेक्टोस का प्रवेश : आपने पढ़ा है कि दूध में पाई जाने वाली शर्करा, लैक्टोस, एक डाइसैकेराइड होती है, जो ग्लूकोस तथा गैलेक्टोस के एक-एक अणु से मिलकर बना होता है। आंतों में लैक्टोस (अथवा  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेस) नामक एन्जाइम द्वारा इसका मोनोसैकेराइडों में जल अपघटन होता है। यह एन्जाइम भी आंतों में उपस्थित श्लेष्म ग्रंथियों में पाए जाते हैं, समीकरण 9.17.



गैलेक्टोकाइनेस की उपस्थिति में ATP द्वारा गैलेक्टोस का त्याग संख्या 1 पर फॉस्फोरिलीकरण होता है। इससे प्राप्त होने वाला गैलेक्टोस-1-फॉस्फेट (Gal-1-P) यूरिडीन-डाइफॉस्फो-ग्लूकोस (UDP-G) से अभिक्रिया करके यूरिडीन-डाइफॉस्फो-गैलेक्टोस (UDP-Gal) तथा ग्लूकोस-1-फॉस्फेट (GI-1-P) बनाता है। यह अभिक्रिया गैलेक्टोस-1-फॉस्फेट यूरिडिल ट्रांसफेरेस नामक एन्जाइम की उपस्थिति में होती है। इससे प्राप्त UDP-Gal, UDPG-एपीमेरेस की उपस्थिति में एपीमरीकृत होकर UDPG बनाता है, समीकरण 9.18.



इस प्रकार गैलेक्टोस-1-फॉस्फेट यूरिडिल ट्रांसफेरस तथा एपीमेरेस की सम्मिलित क्रिया द्वारा Gal-1-P का Gl-1-P में एपीमरीकरण होता है। यह उसी प्रकार ग्लाइकोलाइसिस पथ में प्रवेश करता है, जैसा ग्लाइकोजन के लिए बताया गया है।

### 9.3.6 ग्लाइकोलाइसिस से संबंधित कुछ विकार

आपने इकाई 6 में पढ़ा है कि उपापचय का नियंत्रण मुख्यतः प्रमुख एन्जाइमों की सक्रियता को बढ़ा अथवा घटाकर किया जाता है तथा मनुष्यों में कुछ एन्जाइमों की अनुपस्थिति अथवा कमी से कई प्रकार के रोग हो जाते हैं। आइए, ग्लाइकोलाइसिस पथ से संबंधित कुछ इस प्रकार के रोगों की चर्चा करें। कई बार जब कोई एन्जाइम उपस्थित नहीं होता, अथवा कम मात्रा में होता है, जब उसके संगत क्रियाधार शरीर में इकट्ठे हो जाते हैं। इससे कुछ विकार उत्पन्न हो जाते हैं जिन्हें "उपापचय की-नैसर्गिक त्रुटियाँ" ("Inborn errors of metabolism") कहते हैं। ये आनुवंशिक कमियों से संबंधित होती हैं तथा इनमें से कई अप्रभावी विशेषकों (recessive traits) के रूप में संचारित (transmit) होते हैं। कई उपापचयी विकार ग्लूकोस के अलावा अन्य शर्कराओं के ग्लाइकोलाइसिस पथ में प्रवेश से संबंधित हैं।

कुछ नवजात शिशु गैलेक्टोसेमिया से पीड़ित होते हैं। इनमें गैलेक्टोस का उपापचय गैलेक्टोस-1-फॉस्फेट की अवस्था में अवरूढ़ हो जाता है। ऐसा गैलेक्टोस-1-फॉस्फेट यूरिडिल ट्रांसफेरस नामक एन्जाइम के अभाव के कारण होता है। गैलेक्टोस के इकट्ठा होने के आरंभिक लक्षणों में उल्टियाँ, दस्त, यकृत का बढ़ना तथा पीलिया अर्थात् हैं। दाद की अवस्था में रोगी मंद बुद्धि, आँखों के धुंधलेपन, इत्यादि से पीड़ित हो जाते हैं। इससे मृत्यु भी हो सकती है। आरंभ की अवस्था में इनके उपचार का सर्वोत्तम तरीका है आहार में से गैलेक्टोस को निकालना, क्योंकि मंद बुद्धित्व अक्सर अनुत्क्रमणीय होता है। यहां ध्यान देने योग्य है कि गैलेक्टोसेमिया विषैले पदार्थ के इकट्ठा होने के कारण होता है, किसी अनिवार्य पोषक तत्व की कमी के कारण नहीं। इसके अलावा, रोगी अंततः इस परेशानी पर काबू पा जाता है क्योंकि बड़ी आयु में गैलेक्टोस का उपयोग करने के लिए अन्य पथ विकसित हो जाते हैं।

फ्रक्टोज असहिष्णुता (fructose intolerance) एक ऐसा उपापचयी विकार है, जो फ्रक्टोज-1-फॉस्फेट ऐल्डोलेस के अभाव के कारण होता है।

कई लोगों, विशेषकर एशिया तथा अफ्रीका के निवासियों, में व्यस्क अवस्था में जाकर लैक्टोस असहिष्णुता उत्पन्न हो जाती है। ऐसा उनके आंत्रों की श्लेष्मी ग्रन्थियों में लैक्टेट के अपर्याप्त स्तर के कारण होता है। लैक्टोस चूँकि एक डाइसैकेराइड है, इसलिए यह आंत्रों द्वारा अवशोषित नहीं होता और इकट्ठा हो जाता है। इसके परिणामस्वरूप आंत्र में उपस्थित पदार्थों का परासरणी दाब बढ़ जाता है, जिससे आंत्रों में जल का विसरण होता है तथा गैट में अफारा (flatulence) हो जाता है। इसके अलावा आंत्रों में उपस्थित सूक्ष्मजीव, लैक्टोस का अवशोषण करके सरलता से उसे उपापचित कर सकते हैं जिसके कारण उनकी संख्या में अत्यधिक वृद्धि हो जाती है तथा वायु का बनना होता है। यह एक गंभीर स्थिति नहीं है क्योंकि लैक्टोस कोई अनिवार्य पोषक तत्व नहीं है और इसे सरलता से छोड़ा जा सकता है। ऐसे व्यक्ति दूध को पचाने में कठिनाई महसूस करते हैं जबकि दही को आसानी से पचा सकते हैं क्योंकि दही बनने की प्रक्रिया में लगभग सारा लैक्टोस लैक्टेट में परिवर्तित हो जाता है।

स्रोत प्रश्न 3

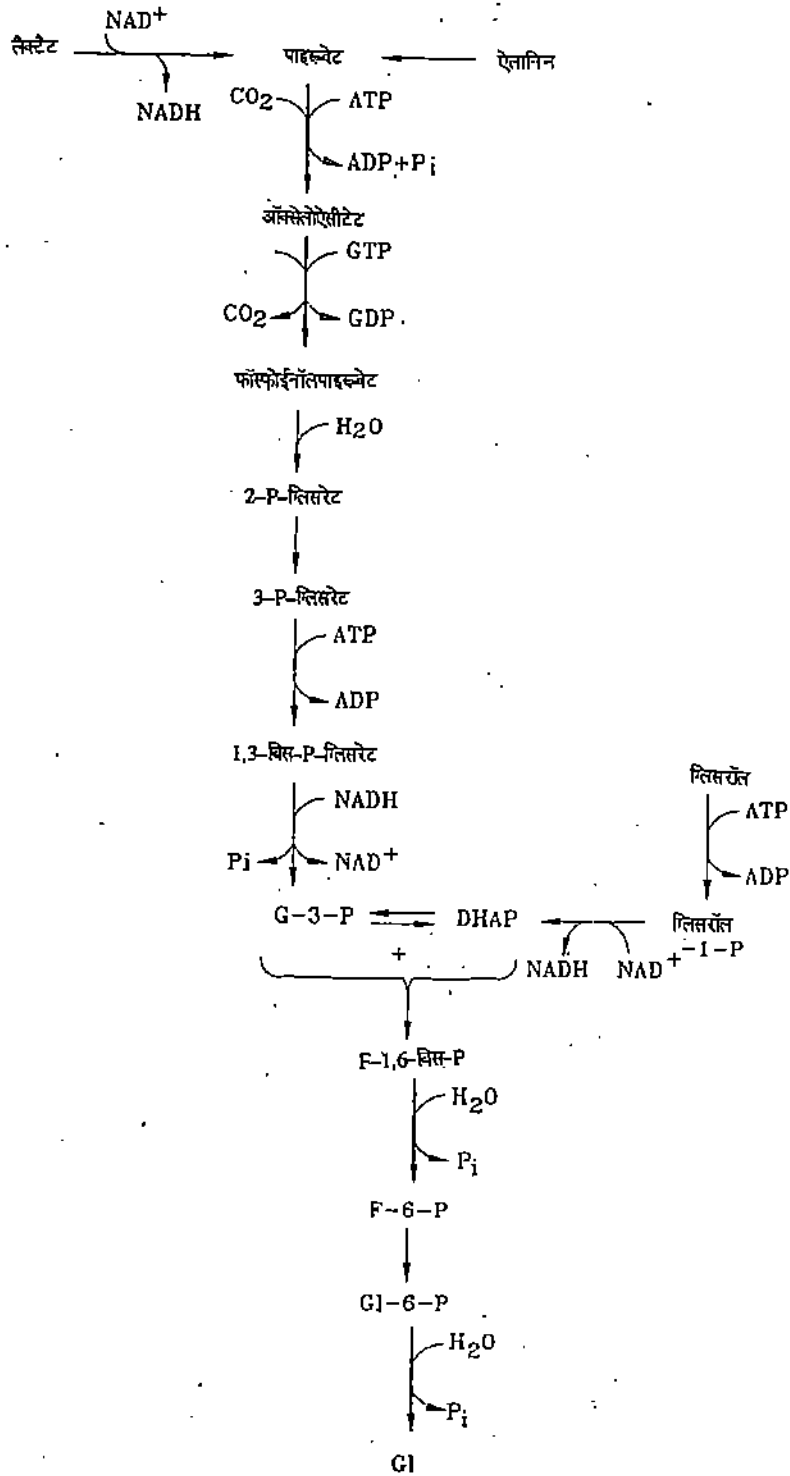
निम्नलिखित रिक्त स्थानों को उपयुक्त शब्दों से भरिए।

- i) ग्लाइकोलाइसिस पथ में ग्लाइकोजन के लैक्टेट में परिवर्तन से ..... ATP का लाभ होता है।
- ii) पेशी की तीव्र सक्रियता के दौरान ..... के बनने में वृद्धि हो जाती है।
- iii) गैलेक्टोसेमिया, मानव शरीर में ..... के इकट्ठा होने के कारण होता है।

### 9.4 ग्लूकोनिओजेनेसिस

ग्लूकोनिओजेनेसिस मुख्यतः यकृत में होता है।

जैसा पहले बताया गया है, कठोर परिश्रम के दौरान ग्लाइकोलाइसिस कंकाल पेशी के लिए ATP के मुख्य स्रोत के रूप में कार्य करता है। इसके परिणामस्वरूप पेशी में लैक्टेट इकट्ठा हो जाता है। आराम की स्थिति में लैक्टेट का यह आधिक्य यकृत में चला जाता है, जहाँ पर यह पुनः ग्लूकोस में परिवर्तित हो जाता है। लैक्टेट जैसे अकार्बोहाइड्रेट पूर्वगामी के ग्लूकोस में परिवर्तन को ग्लूकोनिओजेनेसिस (gluconogenesis) कहते हैं।



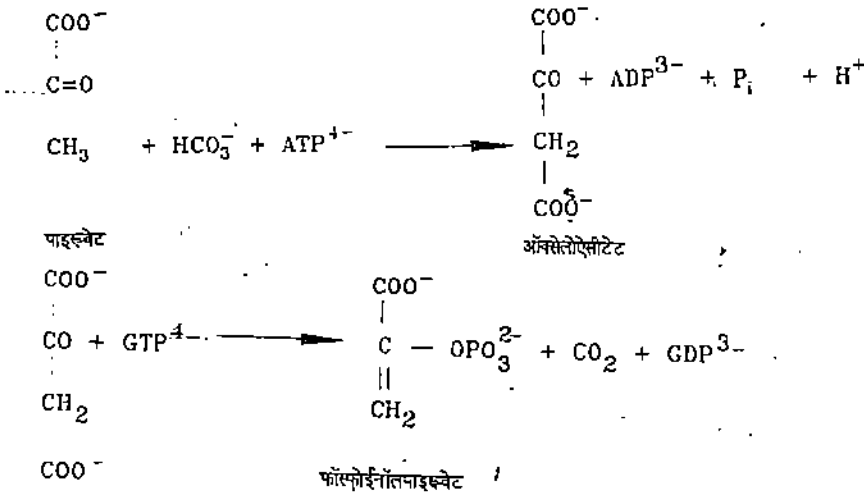
चित्र 9.3 : लैक्टेट, ऐमीनो अम्ल तथा ग्लिसरॉल के प्रवेश के स्थानों को दर्शाती ग्लूकोनिओजेनेसिस की रूपरेखा

ग्लिसरॉल तथा कुछ ऐमीनो अम्ल भी ग्लूकोनिओजेनेसिस के लिए आरंभिक पदार्थ का कार्य करते हैं। यह विशेषकर भूखपन (starvation) की अवस्था में महत्वपूर्ण होते हैं। इस अवस्था में रक्त में ग्लूकोस का स्तर 80 mg प्रति 100 cm<sup>3</sup> बनाए रखना होता है क्योंकि मस्तिष्क के लिए ग्लूकोस ही प्राथमिक ईंधन का कार्य करता है। इसलिए शरीर में अकार्बोहाइड्रेट पदार्थों को ग्लूकोस में परिवर्तित किया जाता है।

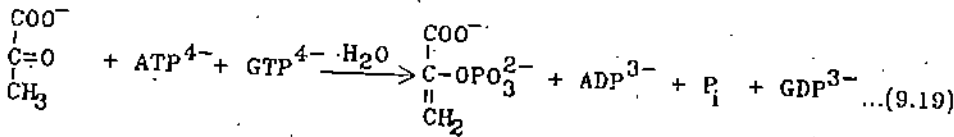
ग्लूकोनिओजेनेसिस का पथ व इसमें लैक्टेट, ऐमीनो अम्ल तथा ग्लिसरॉल के प्रवेश के स्थानों को चित्र 9.3 में दर्शाया गया है। आप देख सकते हैं कि इसकी कई अभिक्रियाएं ग्लूकोलाइसिस के समान परंतु विपरीत दिशा में हैं। तीन पदों में ये पथ अंतर-दशाति हैं। ये हैं—i) पाइरूवेट का फॉस्फोईनॉलपाइरूवेट में परिवर्तन; ii) फ्रक्टोज-1, 6-बिसफॉस्फेट का फ्रक्टोज-6-फॉस्फेट में परिवर्तन तथा ग्लूकोस-6-फॉस्फेट का ग्लूकोस में परिवर्तन। आपको ध्यान होगा कि ये तीनों अभिक्रियाएं वही हैं जिनमें ऊर्जा में अत्यधिक गिरावट या कमी उत्पन्न होती है तथा ग्लाइकोलाइसिस की दिशा में ये लगभग अच्युत्क्रमणीय होती है (सारणी 9.1)। ये अभिक्रियाएं इस पथ में नियंत्रण के स्थान भी दर्शाती हैं जिनकी चर्चा आगे की गई है।

ग्लाइकोलाइसिस तथा ग्लूकोनिओजेनेसिस एक आभासी चक्र (Pseudocycle) अथवा विपरीत दिष्ट अभिक्रिया क्रम के युग्म को दर्शाते हैं।

ATP तथा पाइरूवेट कार्बोक्सिलेस नामक एन्जाइम की उपस्थिति में पहले पाइरूवेट के कार्बोक्सिलीकरण द्वारा ऑक्सेलोऐसीट बनता है। यह एन्जाइम बायोटीन पर निर्भर करता है। इसके बाद एक अन्य उच्च ऊर्जा फॉस्फेट यौगिक ग्वानोसिन ट्राइफॉस्फेट (GTP) की उपस्थिति में ऑक्सेलोऐसीट का बिकार्बोक्सिलीकरण तथा फॉस्फोरिलीकरण होता है। यह अभिक्रिया फॉस्फोईनॉलपाइरूवेट कार्बोक्सिकाइनेस नामक एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है।

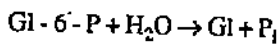
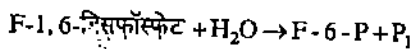


इन अभिक्रियाओं के योग से हमें निम्नलिखित अभिक्रिया प्राप्त होती है :



ध्यान दीजिए कि यहाँ पर पाइरूवेट के फॉस्फोईनॉलपाइरूवेट में परिवर्तन के दौरान दो उच्च ऊर्जा फॉस्फेट आबंधों ATP व GTP का व्यय होता है जबकि इसके विपरीत परिवर्तन अर्थात्, ग्लाइकोलाइसिस की दिशा में ऐसा केवल एक आबंध ही बनता है (समीकरण 9.10)। इस अतिरिक्त ऊर्जा के निवेश से अन्यथा प्रतिकूल ( $\Delta G^\circ = 61.8 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) परिवर्तन अर्थात्, पाइरूवेट से फॉस्फोईनॉलपाइरूवेट संभव हो जाता है।

संगत फॉस्फेटों की उपस्थिति में फ्रक्टोज-1, 6-बिसफॉस्फेट तथा ग्लूकोस-1-फॉस्फेट का जल अपघटन होता है।



ग्लाइकोलाइसिस की दिशा में इनमें से प्रत्येक अभिक्रिया के लिए ATP के एक अणु की आवश्यकता होती है।

ग्लाइकोलाइस तथा ग्लूकोनिओजेनेसिस की अभिक्रियाओं व उनके एन्जाइमों के बीच के अंतर को सारणी 9.2 में संक्षेप में दिया गया है।

सारणी 9.2 : ग्लाइकोलाइस व ग्लूकोनिओजेनेसिस की अभिक्रियाओं तथा एन्जाइमों में अंतर

ग्लाइकोलाइस		ग्लूकोनिओजेनेसिस	
अभिक्रिया	एन्जाइम	अभिक्रिया	एन्जाइम
$GI+ATP \rightarrow GI-6-P+ADP$	हैक्सोकाइनेस	$GI-6-P+H_2O \rightarrow GI+P_i$	GI-6-फॉस्फेट
$F-6-P+ATP \rightarrow F-1, 6-bis-P+ADP$	फॉस्फोफ्रक्टोलाइनेस	$F-1, 6-bis-P+H_2O \rightarrow$	F-1, 6-बिसफॉस्फेट
फॉस्फोईनॉलपाइरूवेट + ADP $\rightarrow$ पाइरूवेट + ATP	पाइरूवेट काइनेस	पाइरूवेट + ATP + GTP + CO <sub>2</sub> $\rightarrow$ PEP + ADP + P <sub>i</sub> + GDP + CO <sub>2</sub>	पाइरूवेट कार्बोक्सिलेस + फॉस्फोईनॉल पाइरूवेट कार्बोक्सिलाइनेस

संकेत : ग्लूकोस GI; फ्रक्टोज F; फॉस्फेट समूह P; फॉस्फेट आयन P<sub>i</sub>; फॉस्फोईनॉलपाइरूवेट PEP

आइए, अब हम पाइरूवेट के दो अणुओं के ग्लूकोस के एक अणु में परिवर्तन के लिए आवश्यक ऊर्जा के निवेश को लें। पाइरूवेट के प्रत्येक अणु के फॉस्फोईनॉलपाइरूवेट में परिवर्तन के लिए ATP तथा GTP के एक-एक अणु की आवश्यकता होती है। 3-फॉस्फोग्लिसरेट से 1,3-बिसफॉस्फोग्लिसरेट के बनने के लिए एक और ATP की आवश्यकता होती है। इस प्रकार ग्लूकोनिओजेनेसिस पथ द्वारा ग्लूकोस के एक अणु के संश्लेषण के लिए छः उच्च ऊर्जा आवंधों का व्यय होता है। इसके विपरीत ग्लाइकोलाइस में ATP के केवल दो अणु प्राप्त होते हैं। इन चार अतिरिक्त उच्च ऊर्जा आवंधों का व्यय, ग्लूकोस से पाइरूवेट बनने की ऊष्मागतिकता: प्रतिकूल अभिक्रिया को संभव बनाने के लिए होता है। ग्लूकोनिओजेनेसिस की पूर्ण शृंखला में मुक्त ऊर्जा में उच्च ऋणात्मक परिवर्तन होता है।

बोधा प्रश्न 6

ग्लूकोनिओजेनेसिस के अतिरिक्त अन्य कारक कौन से हैं ?

9.5 सारांश

आइए, उन दो उपापचयी पथों को संक्षेप में देखें, जिनका अध्ययन इस इकाई में किया गया है।

जीवित कोशिकाओं द्वारा की जाने वाली सभी अभिक्रियाओं को सम्मिलित तौर पर उपापचय कहते हैं। इसे मुख्यतः दो प्रकारों नामतः, जटिल कार्बनिक यौगिकों के सरल यौगिकों में निम्नीकरण वाले (अपचय) तथा सरल पदार्थों से जटिल अणुओं को बनाने वाले (उपचय) के रूप में लिया जा सकता है। अभिक्रियाओं की अपचयी श्रृंखलाएं अथवा पथ उपापचयी ऊर्जा को मुक्त करने तथा जीवित कोशिका द्वारा उपयोग के योग्य रूप अर्थात्, ATP में परिवर्तित करने का कार्य करते हैं। यह पथ जटिल अणुओं के संश्लेषण के लिए पूर्वगामी भी उपलब्ध कराते हैं।

ग्लूकोस का पाइरूवेट में अपचय दस पदों में होता है। पहले तीन पदों में ग्लूकोस, ग्लूकोस-6-फॉस्फेट, फ्रक्टोज-6-फॉस्फेट तथा फ्रक्टोज-1, 6-बिसफॉस्फेट में परिवर्तित होता है। इन पदों में ग्लूकोस के प्रत्येक अणु के लिए ATP के दो अणुओं का व्यय होता है। फ्रक्टोज-1, 6-बिसफॉस्फेट के विघटन से ट्राइऑसफॉस्फेट के दो अणु प्राप्त होते हैं। अंततः ट्राइऑसफॉस्फेट के दो अणु पाइरूवेट के दो अणुओं में परिवर्तित हो जाते हैं। अभिक्रिया के इस क्रम को ग्लाइकोलाइस कहते हैं।

इसमें ग्लूकोस के प्रत्येक अणु द्वारा ADP से ATP के दो अणुओं का संश्लेषण होता है।

ग्लूकोस के, अवामु ऐल्कोहॉली किण्वन में पाइरूवेट का ऐसीट-ऐलिडहाइड में विभ्रसोक्सिडीकरण हो जाता है जिसके अपचयन से एथानॉल प्राप्त होता है तथा साथ-साथ NADH का NAD<sup>+</sup> में उपचयन भी हो जाता है। वायुजीवी परिस्थितियों में पाइरूवेट ऐसीटिल-सहएन्जाइम A में परिवर्तित हो जाता है तथा फिर पूर्णतः उपचित होकर कार्बनडाइऑक्साइड बनाता है।

ग्लाइकोजन, सुक्रोज, फ्रक्टोज, लैक्टोज तथा गैलेक्टोज कुछ ऐसी शर्कराएँ हैं, जो ग्लाइकोलाइसिस पथ में प्रवेश करती हैं व वहाँ उपापचयित हो जाती हैं। कुछ एन्जाइमों की कमी से मनुष्यों में कुछ उपापचयी विकार उत्पन्न हो जाते हैं। ग्लाइकोलाइसिस से संबंधित कुछ विकारों की इस इकाई में चर्चा की गई है।

फठोर शारीरिक परिश्रम के दौरान पेशियों में लैक्टेट इकट्ठा हो जाता है। यह लैक्टेट यकृत में जाकर पाइरूवेट में उपचित हो जाता है जो फिर ग्लूकोस में परिवर्तित हो जाता है। इस पथ को ग्लूकोनिओजेनेसिस कहते हैं। यह पथ ग्लाइकोलाइसिस से तीन पदों में भिन्न होता है। पाइरूवेट के दो अणुओं के ग्लूकोनिओजेनेसिस पथ द्वारा ग्लूकोस के एक अणु में परिवर्तन होने में छः उच्च ऊर्जा आवंधों का व्यय होता है जबकि ग्लाइकोलाइसिस की प्रक्रिया में केवल दो उच्च ऊर्जा आवंध प्राप्त होते हैं।

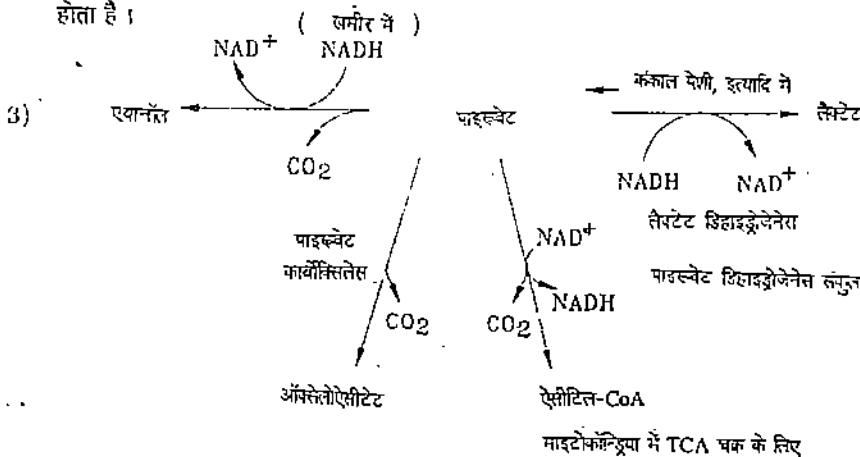
## 9.6 अंत में कुछ प्रश्न

- (क) ग्लाइकोलाइसिस पथ द्वारा ग्लूकोस के लैक्टेट में परिवर्तित होने का संतुलित समीकरण लिखिए।  
(ख) सारणी 9.1 में दिए गए डाटा के आधार पर इसके  $\Delta G^\circ$  के मान का परिकलन कीजिए।  
(ग) विभिन्न स्थानों की निम्नलिखित सांद्रता के संगत इस अभिक्रिया के लिए  $\Delta G^\circ$  के मान का परिकलन कीजिए :  
ग्लूकोस, 5.0 m mol ; लैक्टेट, 0.05 m mol ; ATP, 2.0 m mol ; ADP, 0.2 m mol ; तथा  $P_i$ , 1.0 m mol (संकेत : इकाई 8 देखिए)।
- क्या ग्लूकोनिओजेनेसिस, ग्लाइकोलाइसिस का ठीक विपरीत है ? यदि नहीं, तो कैसे ?
- किसी विलयन में समीकरण 9.10 की अभिक्रिया में हिस्सा लेने वाली सभी स्वीशीज़  $pH = 7.00$  तथा  $298 K$  पर एक-दूसरे के प्रति साम्य में हैं। यदि  $([ATP]/[ADP])$  का अनुपात 10 के बराबर है, तो पाइरूवेट तथा फॉस्फोईनॉलपाइरूवेट की सांद्रताओं का अनुपात क्या होगा ?
- विभिन्न स्थानों पर  $C^{14}$  से अंकित ग्लूकोस का ऐल्कोहॉली किण्वन किया गया तथा उससे अलग किए गए उत्पादों, कार्बन डाइऑक्साइड तथा एथानॉल (मिथिल कार्बन तथा ऐल्कोहॉली समूह कार्बन) का  $C^{14}$  अंकन के लिए परीक्षण किया गया।  
क) यदि ग्लूकोस C-1 स्थान पर  $C^{14}$  द्वारा अंकित था, तो उत्पादों में अंकन कहाँ पर होगा ?  
ख) ग्लूकोस के किस स्थान पर  $C^{14}$  को अंकित किया जाए कि अंकन पूर्णतया  $CO_2$  में आ जाए ?
- ग्लाइकोलाइसिस पथ में PFK तथा PK नामक एन्जाइमों के महत्व का वर्णन कीजिए।

## 9.7 उत्तर

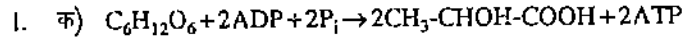
बोध प्रश्न

- i) सही      ii) गलत, PFK, ग्लूकोस-6-फॉस्फेट की अभिक्रिया को उत्प्रेरित करता है।  
iii) सही      iv) गलत, ग्लाइकोलाइसिस पथ में प्रवेश के लिए DHAP को G-3-P में परिवर्तित होना पड़ता है।
- ग्लाइकोलाइसिस द्वारा ATP का बनना इस माने में विशिष्ट है कि यह क्रियाधार स्तर फॉस्फोरिलीकरण द्वारा होता है।



4. दोनों को प्रकृति अवायु है तथा ग्लाइकोलाइसिज के दौरान बनने वाले NADH को, पाइरूवेट अथवा पाइरूवेट से बनने वाले किसी उत्पाद को इलेक्ट्रॉनों के दान द्वारा, उपचित करते हैं।
5. i) 3 मोल, ii) लैक्टेट iii) गैलेक्टोस
6. ग्लूकोनिओजेनेसिस लैक्टेट जैसे अकार्बोहाइड्रेट पूर्वगामियों जो अन्यथा व्यर्थ होते हैं, से ग्लूकोस बनाने के लिए महत्वपूर्ण हैं। दूसरे यह प्रकृत तथा पेशियों के ग्लाइकोजन तथा रक्त के शर्करा स्तर को बनाए रखता है।

अंत में कुछ प्रश्न



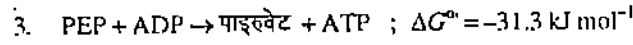
ख)  $\Delta G^\circ$  का मान है -123.4 kJ/मोल ग्लूकोस

ग)  $DG = DG^\circ + 2,303 \times R \times T \times \log \frac{(\text{लैक्टेट})^2 \times [ATP]^2}{(\text{ग्लूकोस}) \times [ADP]^2 \times [P_i]^2}$

$$= (-123,500) + 2,303 \times 8.314 \times 298 \times \log \frac{(0.05 \times 10^{-3})^2 \times (2.0 \times 10^{-3})^2}{5 \times 10^{-3} \times 0.2 \times 10^{-3} \times 2 \times (1 \times 10^{-3})^2}$$

$$= -113.70 \text{ kJ/mol ग्लूकोस}$$

2. यह पूर्ण रूप से ग्लाइकोलाइसिज का विपरीत नहीं है तथा तीन पदों में उससे भिन्न है। ये पद हैं - पाइरूवेट का PEP में, F-1, 6-बिस-P का F-6-P में तथा G1-6-P का ग्लूकोस में परिवर्तन।



$$\Delta G^\circ = -2,303 \times R \times T \times \log K'$$

$$\log K' = \frac{-31,300}{-2,303 \times 8.314 \times 298} = 5.486$$

$$K' = 3.06 \times 10^5 = \frac{[\text{Pyruv}][ATP]}{[\text{PEP}][ADP]}$$

$$\text{यदि } [ATP]/[ADP] = 10$$

$$[\text{Pyruv}]/[\text{PEP}] = 3.06 \times 10^5 / 10 = 3.06 \times 10^4$$

4. क) एथानॉल के मेथिल कार्बन परमाणु पर।  
ख) C-3 अथवा C-4 स्थान पर।
5. ये ग्लाइकोलाइसिज की दर नियंत्रण के नियमन के महत्वपूर्ण स्थान हैं।

प्रोटीन मुख्यतः विभिन्न ऐमीनो अम्लों के एक रैखिक बहुलक के रूप में बनती है। इस पॉलीपेप्टाइड के बनने का वर्णन हमने ऊपर किया है। पॉलीपेप्टाइड व प्रोटीन के बीच अंतर करना कठिन है परंतु सामान्यतः 5000 डाल्टन से अधिक आण्विक द्रव्यमान वाले प्राकृतिक पॉलीपेप्टाइड को प्रोटीन कहा जाता है। दूसरे शब्दों में इसके माने यह है कि जब पॉलीपेप्टाइड एक जैव बहुलक के रूप में इतना बड़ा हो जाए कि उसका आण्विक द्रव्यमान हजारों में हो जाए तब उसे प्रोटीन कहना अधिक उचित होगा। यद्यपि अत्यधिक बड़े आकार के कारण यह स्पष्ट हो जाता है कि प्रोटीनों की संरचना अत्यंत जटिल होगी। प्रोटीन के अणु की संरचना ही उसके जैविक कार्य व अन्य गुणों का निर्धारण करती है। यह पाया गया है कि प्रत्येक प्रोटीन का एक विशिष्ट त्रिआयामी आकार होता है। प्रोटीन की संरचना की चर्चा चार अलग-अलग भागों में की गई है। ये चार भाग संगठनात्मक स्तर भी कहलाते हैं। ये हैं क्रमशः, प्राथमिक, द्वितीयक, तृतीयक और चतुष्क संरचनाएं। अब हम इन संरचनाओं का वर्णन करेंगे।

### 5.4.1 प्राथमिक संरचना

जैसा कि ऊपर बताया गया है, प्रोटीन का निर्माण ऐमीनो अम्लों की एक लंबी शृंखला के रूप में होता है जिसे पॉलीपेप्टाइड कहते हैं। किसी प्रोटीन में N-टर्मिनल से C-टर्मिनल तक पेप्टाइड आबंधों से जुड़े ऐमीनो अम्ल अवशिष्टों की संख्या व अनुक्रम को उसकी प्राथमिक संरचना (primary structure) कहते हैं। संक्षेप में, पॉलीपेप्टाइड की पूर्ण सहसंयोजक संरचना उसकी प्राथमिक संरचना होती है। उदाहरण के लिए, ग्लूकोगॉन, वह प्रोटीन जो ग्लाइकोजन के ग्लूकोस में परिवर्तन को प्रेरित करती है, की प्राथमिक संरचना निम्न है-

His - Ser - Glu - Gly - Thr - Phe - Thr - Ser - Asp - Tyr - Ser - Lys - Tyr - Leu - Asp - Ser - Arg - Arg - Ala - Glu - Asp - Phe - Val - Glu - Trp - Leu - Met - Asn - Thr

10

20

29

यह निष्कर्ष निकालना आसान है कि प्रोटीन में ऐमीनो अम्लों का अनुक्रम ही उसके भौतिक रासायनिक तथा जैविक गुणों का निर्धारण करेगा। ऐमीनो अम्ल अनुक्रम में थोड़ा-सा बदलाव भी उस प्रोटीन के गुणों में महत्वपूर्ण परिवर्तन कर सकता है। उदाहरण के लिए, हीमोग्लोबिन के अणु में चार पॉलीपेप्टाइड शृंखलाएं होती हैं जिनमें 574 ऐमीनो अम्ल होते हैं। यह अणु रक्त में होता है व ऑक्सीजन वहन का कार्य करता है। इसकी एक शृंखला में केवल एक ऐमीनो अम्ल के बदलने से हीमोग्लोबिन के अणु में त्रुटि आ जाती है। ऐसा हीमोग्लोबिन दात्र कोशिका अरक्तता (sickle cell anemia) के रोगियों में पाया जाता है।

इसका सार यह निकलता है कि प्रोटीन की प्राथमिक संरचना कार्बनिक यौगिक के संरचनात्मक सूत्र की भाँति है। यद्यपि छोटे कार्बनिक यौगिक का सूत्र उसके रासायनिक कार्य के बारे में काफी सूचना देता है, प्रोटीन की प्राथमिक संरचना ऐसा कोई सुराग नहीं देती। ऐमीनो अम्लों का रैखिक अनुक्रम चाहे जितना भी भिन्न क्यों न हो केवल एकायामी ही होता है तथा प्रोटीन के विविध कार्यों की व्याख्या नहीं कर सकता है। दूसरी ओर किसी प्रोटीन की पॉलीपेप्टाइड शृंखला में ऐमीनो अम्लों का अनुक्रम उसके बलन पैटर्न की जटिलता को निर्धारित करता है जो उसके कार्यों की व्याख्या करता है। आगे आने वाले उपभागों में हम उन नियमों का अध्ययन करेंगे जो प्रोटीन की पॉलीपेप्टाइड शृंखलाओं की जटिल संरचनाओं में बलन को नियंत्रित करते हैं।

आप ध्यान दें कि दो प्रबल सहसंयोजक अन्योन्यक्रियाएं नामतः, पेप्टाइड तथा डाइसल्फाइड आबंध, प्रोटीन की प्राथमिक संरचना अर्थात्, पॉलीपेप्टाइड शृंखला की अखंडता को बनाए रखने का कार्य करती हैं। दूसरी ओर पॉलीपेप्टाइड शृंखला का बलन, अर्थात्, उच्च कोटि संरचनाओं का बनना कई दुर्बल असहसंयोजक अन्योन्यक्रियाओं के मिलने से होता है। इसके अलावा, पॉलीपेप्टाइड शृंखला के बलन पैटर्न पेप्टाइड आबंध, जो अलग-अलग ऐमीनो अम्लों को जोड़ता है, की ज्यामिति पर निर्भर करते हैं। हमने पेप्टाइड आबंध का वर्णन उपभाग 5.3.2 में किया है। आइए अब हम इस आबंध के प्रोटीन बलन पर पड़ने वाले प्रभाव को समझें।

### 5.4.2 पेप्टाइड आबंध की समतलीय संरचना

पेप्टाइड आबंध का ज्यामितीय आकार पॉलीपेप्टाइड शृंखला के बलन पर कुछ नियंत्रण लागू करता है। पॉलिंग व कोरे ने पहले पहल यह खोजा कि पेप्टाइड आबंध समतलीय (planar) होता है। ऐसा पेप्टाइड

यदि किसी प्रोटीन में माना 100 ऐमीनो अम्ल अवशिष्ट हैं और राशी एक समान हैं तब केवल एक प्रोटीन ही संभव होगी जबकि यदि इस शृंखला में प्रत्येक स्थान किसी भी ऐमीनो अम्ल द्वारा लिया जा सकता हो तब संरचनात्मक रूप से गिना प्रोटीनों की संख्या  $20^{100}$  या लगभग अनंत होगी। संरचनात्मक विविधता की इस अनंतता द्वारा प्रोटीनों के विविध कार्यों को करने की क्षमता को आसानी से समझा जा सकता है।

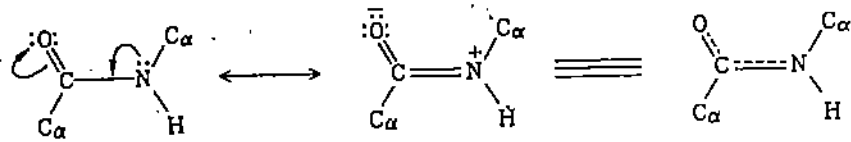
चूंकि ऐमीनो अम्ल के  $\alpha$ -कार्बन परमाणु से जुड़े ऐमीनो व कार्बोक्सिल समूह प्रोटीन शृंखला में ऐमाइड आबंध बनाने में हिस्सा लेते हैं (शृंखला के सिरे को छोड़कर) इसलिए पार्व शृंखलाएं अथवा R-समूह किसी प्रोटीन में उपस्थित ऐमीनो अम्लों की गिनता को दर्शाते हैं।

दात्र कोशिका अरक्तता (sickle cell anemia) में हीमोग्लोबिन के अणु की एक प्रोटीन आइसोव्यूशिन के स्थान पर ल्यूसिन होता है। उत्तकों को ऑक्सीजन देकर फेफड़ों में वापिस जाते हुए इस त्रुटिपूर्ण हीमोग्लोबिन के अणु बहुलकृत होकर छोटी-छोटी धमनियों को अवरुद्ध कर देते हैं जिसके अत्यन्त परिणाम निकलते हैं।

प्रोटीन की प्राथमिक संरचना बनाने वाली पॉलीपेप्टाइड शृंखलाएं ध्वलित होकर प्रोटीन की उच्च कोटि की संरचनाएं बनाती हैं।

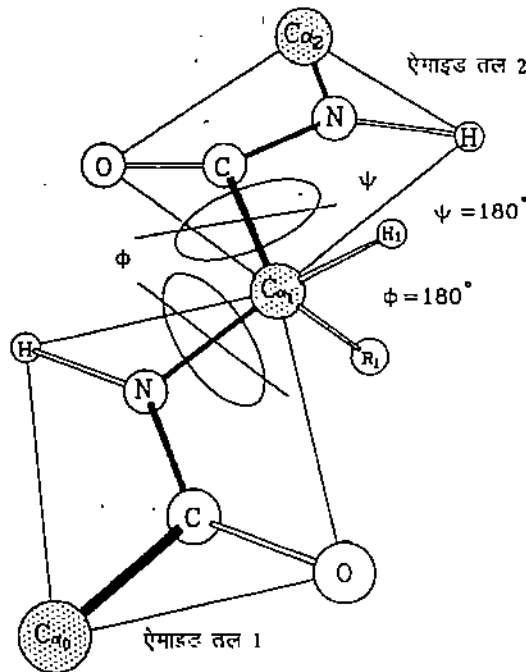


आबंध के दो विहित रूपों (canonical forms) के बीच अनुनाद (resonance), जैसा कि नीचे दर्शाया गया है, के कारण होता है।



इस प्रकार इलेक्ट्रॉनों के अस्थानीकरण के कारण पेप्टाइड के C=O तथा C-N आबंध दोनों आंशिक द्विआबंध दर्शाते हैं व पेप्टाइड आबंध किसी अन्य असंतुप्त निकाय की तरह ज्यामितीय समावयवन (geometric isomerism) दर्शाता है। यह ट्रांस विन्यास में पाया जाता है क्योंकि सिस विन्यास की अपेक्षा ट्रांस विन्यास में स्थूल  $\alpha$ -कार्बन परमाणु अधिक दूरी पर होते हैं। इलेक्ट्रॉनों के अस्थानीकरण (delocalisation) का दूसरा परिणाम यह होता है कि पेप्टाइड आबंध के सभी परमाणु अर्थात्, O, C, N, H, एक ही तल में हो जाते हैं और O व H परमाणु ट्रांस स्थिति में होते हैं।

इस प्रकार पेप्टाइड आबंध को बनाने वाले प्रत्येक आबंधों में विभोटी दृढ़ता (torsional rigidity) होती है (इसके कारण अंतराबंध हाइड्रोजन आबंधन बनाना असंभव हो जाता है)। यद्यपि पेप्टाइड के तल को  $C_{\alpha}$ -N तथा  $C_{\alpha}$ -C आबंध अक्ष पर मरोड़ना संभव है जैसा कि चित्र 5.2 में दर्शाया गया है।

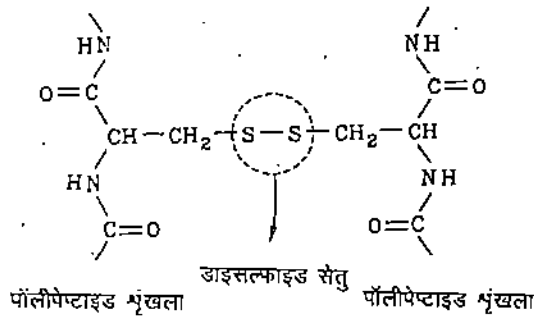


चित्र 5.2 : पॉलीपेप्टाइड शृंखला का एक हिस्सा केन्द्रीय  $\alpha$ -कार्बन परमाणु के आसपास निकटवर्ती पेप्टाइड तलों के पूर्ण व संगत पूर्ण कोणों को दर्शाते हुए।  $\phi = \psi = 180^\circ$  पूर्ण रूप से विस्तृत पॉलीपेप्टाइड शृंखला के संगत होते हैं।

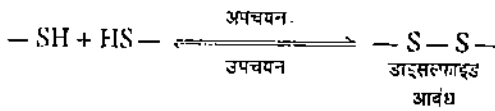
$\phi$  व  $\psi$  कोण क्रमशः N- $C_{\alpha}$  व  $C_{\alpha}$ -C आबंधों के आसपास पेप्टाइड तलों के पूर्ण को दर्शाते हैं। जब शृंखला पूर्ण रूप से विस्तृत होती है, तब  $\phi$  व  $\psi$  के मानों को  $180^\circ$  माना जाता है। केन्द्रीय  $\alpha$ -कार्बन से देखते हुए पेप्टाइड तल के दक्षिणावर्त (clockwise) घूर्णन को घनात्मक व उत्तरावर्त (anticlockwise) घूर्णन को ऋणात्मक मान दिया जाता है। इस प्रकार पेप्टाइड तल  $\alpha$ -कार्बन के आबंधों के आसपास व्यावर्तन (twist) तथा घूर्णन कर सकता है। घूर्णन के सापेक्ष कोण पॉलीपेप्टाइड शृंखला की दिशा व बलन के प्रकार को परिभाषित करते हैं।  $\phi$  व  $\psi$  कोणों के कुछ मान कुछ अनावर्धित परमाणुओं को अत्यधिक भ्रम लाते हैं जिससे त्रिविमी प्रतिकर्षण उत्पन्न हो जाता है। इसलिए यह "वर्जित" होते हैं। यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि इस कारण से पॉलीपेप्टाइड द्वारा धारण किए जा सकने वाले संरूपणों (conformations) की संख्या में काफी कमी आ जाएगी।

अब हम प्रोटीन संरचना को स्थायी करने वाली एक अन्य सहसंयोजक अन्योन्यक्रिया का वर्णन करेंगे। इसे डाइसल्फाइड आबंध कहते हैं।

डाइसल्फाइड आबंध अथवा सेतु, प्रोटीनों की उच्च कोटि संरचनाओं को स्थायीकृत करने में अत्यंत महत्वपूर्ण होते हैं। यह आबंध दो पॉलीपेप्टाइड शृंखलाओं को सिस्टीन अवशिष्टों के द्वारा जोड़ सकता है जैसा कि नीचे दर्शाया गया है:



आपको ध्यान होगा कि सिस्टीन में थाइओल समूह (-SH) होता है। यह समूह आसानी से एक दूसरे थाइओल समूह के साथ उपचयन अभिक्रिया करके डाइसल्फाइड आबंध दे सकता है।



जैसा कि आप देख सकते हैं कि यह एक व्युत्क्रमणीय अभिक्रिया है और अपचायक परिस्थितियों में विपरीत दिशा में जा सकती है। डाइसल्फाइड सेतु सामान्यतः स्थिर होते हैं व एक ही पॉलीपेप्टाइड शृंखला के भिन्न-भिन्न हिस्सों को भी जोड़ सकते हैं जैसा कि वैसोप्रेसिन व ऑक्सीटॉसिन (दिएं उपभाग 5.3.3) में दर्शाया गया है। ऐसे में, यह पॉलीपेप्टाइड के बलन पैटर्न पर कुछ नियंत्रण लागू करते हैं व बलित संरूपण को स्थिरता प्रदान करते हैं।

आइए, अब हम असहसंयोजक अन्योन्यक्रियाओं का वर्णन करें जो प्रोटीन संरचना को स्थायी बनाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं।

### 5.4.3 प्रोटीन बलन में दुर्बल असहसंयोजक अन्योन्यक्रियाओं का महत्व

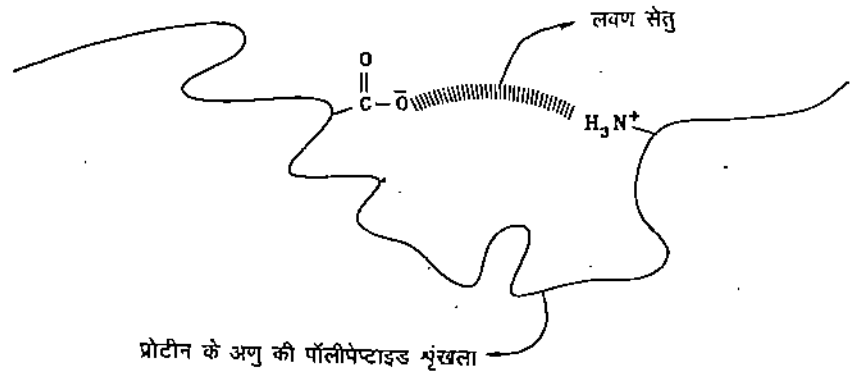
जैसे हमने पहले चर्चा की है कि पॉलीपेप्टाइड शृंखला की प्राथमिक संरचना सहसंयोजक ऐमाइड आबंधों द्वारा अनुरक्षित (maintained) होती है तथा यह अनियमित तापीय गति को सहने के योग्य होती है। दूसरा सहसंयोजक बंध जो प्रोटीन की उच्च कोटि की संरचना को बनाए रखता है, वह है - डाइसल्फाइड आबंध। यद्यपि पॉलीपेप्टाइड शृंखला का बलित होकर द्वितीयक, तृतीयक व चतुष्क संरचनाएं (इनकी व्याख्या हम आगे भाग में करेंगे) बनाना मुख्यतः दुर्बल असहसंयोजक अन्योन्यक्रियाओं के पारस्परिक सहयोग से होता है। अकेले में यह अन्योन्यक्रियाएं दुर्बल होती हैं व तापीय गति द्वारा आसानी से विदरित (disrupted) हो जाती हैं जबकि ऐसी बहुत-सी अन्योन्यक्रियाओं का मिला-जुला प्रभाव काफी होता है। ये अन्योन्यक्रियाएं प्रोटीन की उच्च कोटि संरचनाओं को न केवल स्थिरता प्रदान करती हैं, अपितु उनमें एक सीमा तक लचक (flexibility) भी पैदा करती हैं जो कि प्रोटीनों के जैविक कार्यों के लिए अनिवार्य है।

प्रोटीनों की संरचनाओं को स्थायित्व प्रदान करने वाली असहसंयोजक अन्योन्यक्रियाएं हैं— स्थिर वैद्युत बल, (electrostatic forces), वान्डर वाल्स बल, हाइड्रोजन आबंध व जलविरोधी (hydrophobic) अन्योन्यक्रियाएं। हम संक्षेप में इन बलों का वर्णन करेंगे। इन अन्योन्यक्रियाओं व डाइसल्फाइड आबंध में उपस्थित ऊर्जा का आकलन आप सारणी 5.3 द्वारा प्राप्त कर सकते हैं।

अन्योन्यक्रिया या आबंध का प्रकार	अन्योन्यक्रिया अथवा आबंध ऊर्जा (kJ mol <sup>-1</sup> )
स्थिर वैद्युत अन्योन्यक्रियाएं	12.5 - 20.9
हाइड्रोजन आबंध	12.5 - 20.9
वान्डर वाल्स अन्योन्यक्रियाएं	1 - 5
जल विरोधी अन्योन्यक्रियाएं	2.8 प्रति CH <sub>2</sub> समूह
डाइसल्फाइड आबंध	200

अब आप देखेंगे कि स्थिर वैद्युत अन्योन्यक्रियाएं क्या होती हैं।

उदासीन pH पर कई प्रोटीनों के ऐमीनो अम्लों की पार्श्व शृंखलाओं में आवेशित समूह होते हैं, जैसे, लाइसीन या ग्लूटामिक अम्ल में क्रमशः -N<sup>+</sup>H<sub>3</sub> या -C(=O)-O<sup>-</sup> समूह। पॉलीपेप्टाइड शृंखला में इस प्रकार के आवेशों के आसपास होने से आकर्षण बल उत्पन्न होते हैं जिससे स्थिर वैद्युत आबंध, जिन्हें आयनिक आबंध अथवा लवण सेतु कहते हैं, बनते हैं।

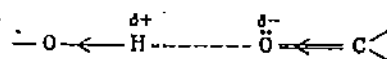


इस प्रकार ये आबंध पॉलीपेप्टाइड शृंखला की बलन प्रक्रिया में हिस्सा लेते हैं। जैसा कि आयनिक आबंध से अपेक्षित है, लवण सेतु की अन्योन्यक्रिया प्रोटीन अणु व जल के अंतरापृष्ठ (interface) पर नगण्य होगी क्योंकि यहाँ पर परावैद्युतांक (dielectric constant) बहुत अधिक होता है। यद्यपि प्रोटीन के अंदर की ओर, जहाँ जल की पहुंच कम होती है, यह अन्योन्यक्रिया महत्वपूर्ण होती है।

प्रोटीन बलन में भाग लेने वाली एक अन्य दुर्बल अन्योन्यक्रिया है - वान्डर वाल्स परिक्षेपण (dispersion) बल। यह अनावेशित अणुओं के बीच आकर्षण के कारण होती है। यह तब प्रभावी होती है जब दो परमाणु इतने पास आ जाएं कि उनके इलेक्ट्रॉन अणु एक दूसरे को विच्छेदित (penetrate) कर सकें। यद्यपि इस दूरी पर प्रतिकर्षण बल भी उत्पन्न होते हैं, आकर्षण बल अधिक प्रबल होते हैं। इन परिक्षेपण अन्योन्यक्रियाओं की ऊर्जा बहुत कम होती है परंतु संचयी (cumulative) प्रभाव, अन्योन्यक्रिया दर्शाती प्रोटीन सतहों पर अधिक होता है व प्रोटीन की बलित अवस्था को बनाए रखने में महत्वपूर्ण होता है।

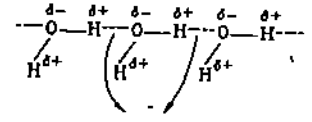
आइए, अब हम हाइड्रोजन आबंध का वर्णन करें। यह जैविक संरचना व कार्यों के लिए एक महत्वपूर्ण कड़ी है। यह एक दुर्बल असहसंयोजक अन्योन्यक्रिया है।

हाइड्रोजन आबंध, ऋणविद्युती परमाणु (जैसे O, N अथवा S) से सहसंयोजक आबंधित हाइड्रोजन परमाणु व किसी दूसरे ऋणविद्युती परमाणु जिस पर इलेक्ट्रॉनों का एकाकी युग्म (lone pair) उपलब्ध हो, के बीच स्थिर-वैद्युत अन्योन्यक्रिया के परिणामस्वरूप बनता है।



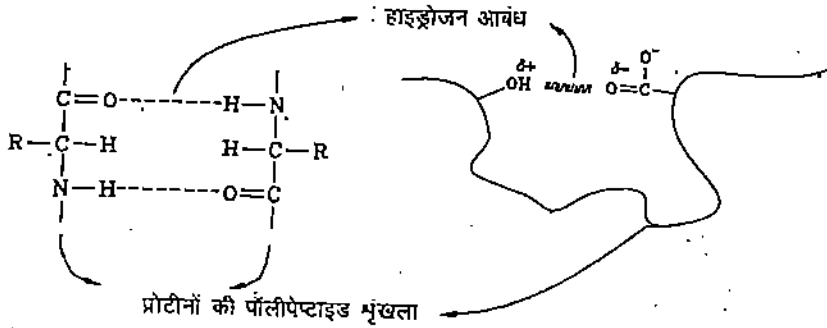
-OH समूह के हाइड्रोजन परमाणु पर आंशिक धनावेश उत्पन्न हो जाता है क्योंकि इलेक्ट्रॉन अत्र अधिक ऋणविद्युती ऑक्सीजन परमाणु की ओर आकर्षित होता है। यह धनावेशित H परमाणु >C=O आबंध के ऑक्सीजन परमाणु पर उपलब्ध असहभाजित इलेक्ट्रॉन युग्म से स्थिर वैद्युत तरीके से अन्योन्यक्रिया करता है। इस अन्योन्यक्रिया को हाइड्रोजन आबंध कहते हैं। आप देखेंगे कि इस अन्योन्यक्रिया का नेट प्रभाव यह होता है कि हाइड्रोजन परमाणु दो ऋणविद्युती परमाणुओं के बीच सहभाजित हो जाता है। हाइड्रोजन आबंध की प्रबलता हाइड्रोजन परमाणु को सहभाजित करने वाले परमाणुओं की ऋणविद्युती प्रकृति पर निर्भर करती है। इनके अधिक ऋणविद्युती होने के माने है प्रबल हाइड्रोजन आबंध।

जल में हाइड्रोजन आबंध एक अणु के हाइड्रोजन परमाणु व दूसरे के ऑक्सीजन परमाणु के बीच बनते हैं।



जल के अणुओं में हाइड्रोजन आबंध

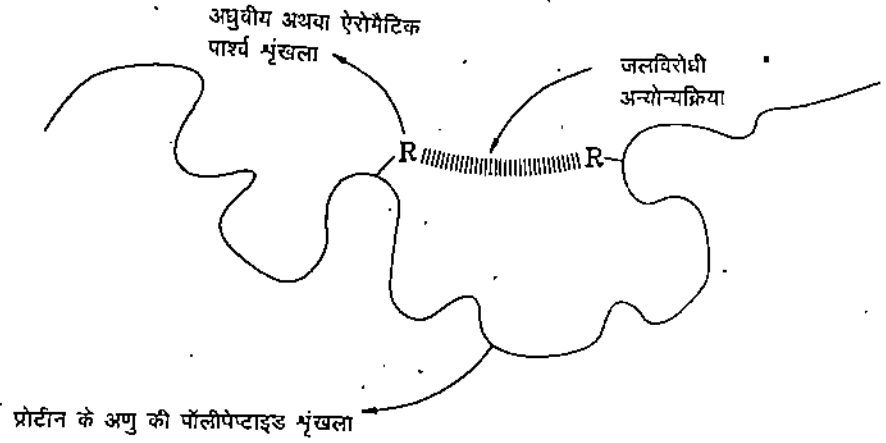
प्रोटीनों में हाइड्रोजन आबंध तब बनते हैं, जब ऋणविद्युती नाइट्रोजन तथा पेप्टाइड आबंध के कार्बोनिल ऑक्सीजन के बीच हाइड्रोजन परमाणु का सहभाजन होता है। ऐसा एक ही पॉलीपेप्टाइड अथवा अलग-अलग पॉलीपेप्टाइडों के बीच हो सकता है। पार्श्व शृंखला के -OH समूहों व दूसरे ऐमीनो अम्ल अवशिष्ट के कार्बोनिल समूह के बीच में भी हाइड्रोजन आबंध बन सकता है।



प्रोटीन की संरचना के स्थायित्व में हाइड्रोजन आबंधों का महत्व विवादित है। ऐसा इसलिए है क्योंकि सार्वत्रिक जैविक माध्यम, जल, अन्य जल के अणुओं व पॉलीपेप्टाइड शृंखला के उपयुक्त समूहों के साथ हाइड्रोजन आबंध बनाता है। इसलिए वलन की प्रक्रिया शुरू होने से पूर्व प्रोटीन की हाइड्रोजन आबंध बनाने योग्य ऐमीनो अम्ल पार्श्व शृंखलाएं पहले जल के साथ हाइड्रोजन आबंध बनाएंगी। प्रोटीन वलन के समय जल के साथ बने हाइड्रोजन आबंधों को टूटना होगा तथा प्रोटीन की पार्श्व शृंखलाओं के बीच नए हाइड्रोजन आबंध बनने होंगे। इस प्रकार उच्च कोटि की प्रोटीन संरचनाओं के स्थायित्व में हाइड्रोजन आबंधों का योगदान जल के साथ बने हाइड्रोजन आबंधों के टूटने की ऊर्जा व अंतर अवशिष्ट हाइड्रोजन आबंध बनने की ऊर्जा के अंतर के बराबर होगा और यह बहुत कम होगा। फिर भी प्रोटीन वलन में हाइड्रोजन आबंधों का महत्व, उनकी बहुत अधिक संख्या के कारण है।

आइए अब देखें कि जलविरोधी अन्योन्यक्रिया क्या होती है व प्रोटीनों के स्थायीकरण में इसका क्या योगदान है।

प्रोटीनों की ऐलिफैटिक पार्श्व शृंखलाओं, जैसे कि वेलीन अथवा आइसोवैलीन, के हाइड्रोजन परमाणु कार्बन से जुड़े होते हैं तथा आबंध बनाने वाला इलेक्ट्रॉन युग्म उन दोनों में बराबर सहभाजित होता है। इसलिए इन हाइड्रोजन परमाणुओं पर कोई आंशिक आवेश नहीं होता है। इसी कारण से यह ऐलिफैटिक पार्श्व शृंखलाएं जल से हाइड्रोजन आबंध नहीं बनाती व ध्रुवीय कहलाती हैं। जब ऐसी पार्श्व शृंखलाएं जल में अनावरित होती हैं, तब जल के हाइड्रोजन आबंधों का जाल बिगड़ जाता है। जल में हाइड्रोजन आबंधों का एक ढीला उच्चावधनी गुच्छा (fluctuating cluster) होता है जिसमें हाइड्रोजन आबंध में हिस्सा लेने वाले परमाणु लगातार बदलते रहते हैं। चूंकि जल के अणु अधुवीय पार्श्व शृंखला से हाइड्रोजन आबंध नहीं बना पाते, उन्हें आपस में अधिक मात्रा में हाइड्रोजन आबंध बनाने पड़ते हैं। इसके कारण अधुवीय पार्श्व शृंखला के आसपास जल के अणुओं की एक अत्यधिक व्यवस्थित संरचना बन जाती है जिससे उस क्षेत्र में जल की एन्ट्रॉपी कम हो जाती है और यह उष्मागतिकतः (thermodynamically) अवांछनीय है। इस प्रकार, अधुवीय पार्श्व शृंखलाएं जल में जाने से संकोच करती हैं व अपनी ही तरह की पार्श्व शृंखलाओं (जो कि प्रोटीन अणु के अंतः में होती हैं) से अन्योन्यक्रिया करती हैं। इससे जल के अणु मुक्त हो जाते हैं व निकाय की एन्ट्रॉपी बढ़ जाती है। इस प्रकार प्रोटीन का वलन कुछ इस तरह से होता है कि सभी अधुवीय पार्श्व शृंखलाएं प्रोटीन के भीतर की ओर चली जाती हैं व ध्रुवीय शृंखलाएं अणु के पृष्ठ पर आ जाती हैं जहाँ वह जल के अणुओं से अनुकूल अन्योन्यक्रिया करती हैं। अधुवीय पार्श्व शृंखला के एक -CH<sub>3</sub> समूह के जलीय परिस्थितियों से प्रोटीन के अंतः भाग की ओर स्थानान्तरण से लगभग 2.8 kJ mol<sup>-1</sup> मुक्त ऊर्जा प्राप्त होती है।



ऊपर दी गई जलविरोधी अन्योन्यक्रियाओं के परिणामस्वरूप ऐरोमैटिक ऐमीनो अम्ल अवशिष्ट जैसे फेनिलऐलानिन, टाइरोसीन अथवा ट्रिप्टोफान इत्यादि भी एक-दूसरे के ऊपर स्तंभ के रूप में इकट्ठे हो जाते हैं। एक बार अधुवीय अवशिष्ट (एलिफैटिक अथवा ऐरोमैटिक) जब पास आ जाते हैं, तब उनके बीच वान्डर वाल्स परिक्षेपण बल उत्पन्न हो जाते हैं जिससे वलित संरचना को और स्थायित्व प्राप्त होता है। यद्यपि जलविरोधी अन्योन्यक्रियाओं में कोई वास्तविक आबंध नहीं बनता फिर भी यह प्रोटीन की वलित संरचना को बनाए रखने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं।

हमने अब तक प्रोटीनों की प्राथमिक संरचना व पॉलीपेटाइड शृंखलाओं को वलित करके प्रोटीनों की उच्च कोटि संरचनाएं बनाने में सहायक विभिन्न अन्योन्यक्रियाओं का वर्णन किया है। इस जानकारी के बाद आइए, अब हम प्रोटीन के द्वितीयक, तृतीयक और चतुष्क संरचनाओं में बलन का वर्णन करें। इन उच्च कोटि प्रोटीन संरचनाओं की चर्चा द्वारा आप और स्पष्ट रूप से समझ सकेंगे कि इन संरचनाओं का बनना विभिन्न अस्हसंयोजक अन्योन्यक्रियाओं तथा पेटाइड आबंध की प्रकृति पर किस प्रकार निर्भर है।

#### बोध प्रश्न 4

सही वाक्य को [✓] द्वारा चिह्नित करें।

प्रोटीनों में आवेशों के बीच स्थिर वैद्युत अन्योन्यक्रियाएं अधिकतम होती हैं

- |    |                                  |     |
|----|----------------------------------|-----|
| क) | प्रोटीन की सतह के विल्लुक्त नीचे | [ ] |
| ख) | प्रोटीन की सतह पर                | [ ] |
| ग) | प्रोटीन के अंतः भाग में          | [ ] |
| घ) | इनमें से कोई नहीं                | [ ] |

#### 5.4.4 द्वितीयक संरचना

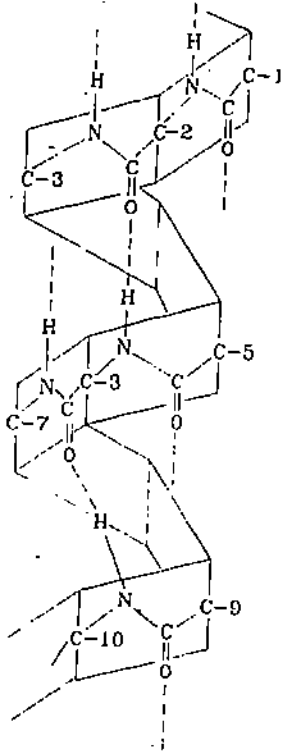
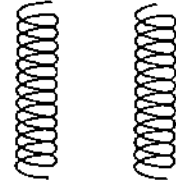
पॉलिंग व कोरे ने प्रोटीनों द्वारा X-किरण विवर्तन (diffraction) के गहन अध्ययन से प्रोटीन बलन के अत्यधिक व्यवस्थित व स्थिर अवयवों को पहचाना जिन्हें द्वितीयक संरचनाएं कहते हैं। द्वितीयक संरचना मूलतः प्रोटीन की पॉलीपेटाइड शृंखला में निकटवर्ती ऐमाइड बंधों के कारण ऐमीनो अम्लों के विशिष्ट ज्यामितीय विन्यास को कहते हैं। पेटाइड आबंध की समतलीय प्रकृति व ट्रांस विन्यास का वर्णन हमने उपभाग 5.4.2 में किया है। पेटाइड आबंध के इन गुणों द्वारा लागू संरचनात्मक नियंत्रणों तथा सघन व्यवस्था में अनावधित परमाणुओं के बीच परिक्षेपण अन्योन्यक्रियाओं को अधिकतम करने की आवश्यकता को ध्यान में रखते हुए पॉलिंग व कोरे ने प्रोटीन संरचना के ऐसे मॉडल बनाए जिनमें अधिकतम स्थिरता हो। इनमें पॉलीपेटाइड के कार्बोनिल ऑक्सीजन व ऐमाइड नाइट्रोजन परमाणुओं के बीच रैखीय हाइड्रोजन आबंध बनते हैं। इस प्रकार की दो संरचनाएं जिनमें अधिकतम स्थायित्व व न्यूनतम विरूपण (distortion) हो, में से एक कुंडलित संरचना को  $\alpha$ -कुंडलिनी ( $\alpha$ -helix) कहते हैं व दूसरी संरचना को  $\beta$ -कल्लोलित शीट ( $\beta$ -pleated sheet) कहते हैं। यद्यपि ये संरचनाएं संश्लेषित छोटे पॉलीपेटाइडों के X-किरण विवर्तन व मॉडलों के आधार पर प्रतिपादित की गई थीं परंतु बाद में यह पाया गया कि यह संरचनाएं विभिन्न प्रोटीनों में भी उपस्थित होती हैं। अब हम  $\alpha$ -कुंडलिनी व  $\beta$ -कल्लोलित शीट संरचनाओं के अर्थ की व्याख्या करेंगे।

## α-कुंडलिनी

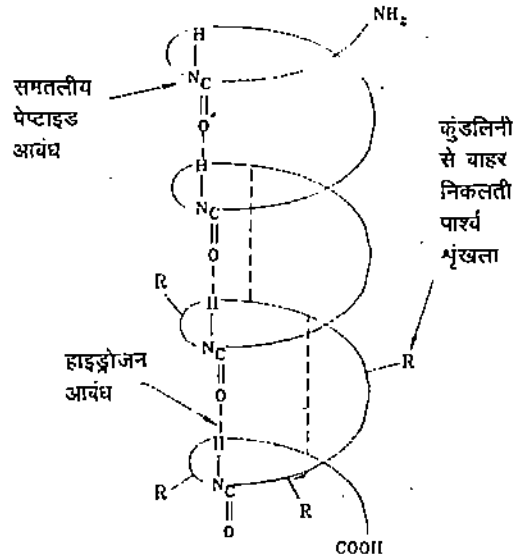
प्रोटीन

α-कुंडलिनी संरचनाएं पॉलीपेटाइड शृंखला में N-C<sub>α</sub> व C<sub>α</sub>-C आबंध के आसपास घूर्णन के एक विशिष्ट पैटर्न द्वारा प्राप्त होती हैं। इसके माने यह है कि पॉलीपेटाइड शृंखला स्वयं ही वलित होकर कुंडलित अथवा सर्पिल (spiral) आकार में आ सकती है। इस प्रकार α-कुंडलिनी एक ऐसी कुंडलित संरचना है, जो एक दक्षिणावर्ती पंच अथवा वृत्ताकार सीढ़ी से मिलती-जुलती है। इस विन्यास में एक ऐमीनो अम्ल के कार्बोनिल समूह तथा उसी शृंखला में चौथे ऐमीनो अम्ल के -NH समूह के बीच हाइड्रोजन आबंध बनना संभव है जैसा कि चित्र 5.3 में दिखाया गया है।

सिंघ्र की संरचना कुंडलित होती है।



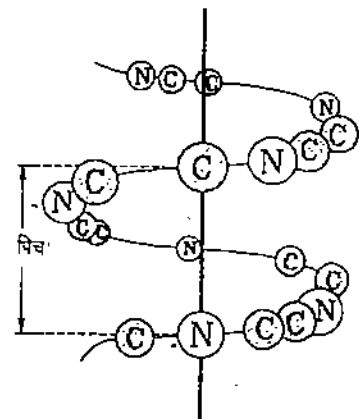
(क)



(ख)

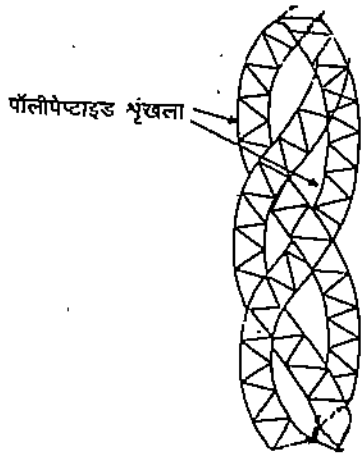
चित्र 5.3: दक्षिणावर्ती α-कुंडलिनी (क) पेटाइड समूहों को तलों के रूप में दर्शाती हुए, α-कार्बन परमाणु उत्तरोत्तर तलों की संधि के स्थान पर स्थित हैं। (ख) कुंडलिनी, जैसी सामान्यतः इस प्रकार में दर्शाई गई है।

आप देखेंगे कि हाइड्रोजन आबंध कुंडलिनी के अक्ष के समानान्तर है तथा अधिकतम प्रबलता के लिए रेखीय तरीके से क्रमबद्ध हैं। इसके अलावा ऐमीनो अम्ल अवशिष्टों की पार्श्व शृंखलाएं अक्ष से परे की ओर जा रही हैं। कुंडलिनी के एक पूर्ण चक्र में लगभग 3.6 ऐमीनो अम्ल होते हैं। L-ऐमीनो अम्लों वाली पॉलीपेटाइड शृंखलाओं में दक्षिणावर्ती कुंडलिनी उत्तरावर्ती कुंडलिनी की अपेक्षा अधिक स्थायी होती है। किरेटिन, जो कि केश, फर, ऊन, नखर, खुर तथा पंख में पाई जाने वाली प्रोटीन है, में α-कुंडलित द्वितीयक संरचनाएं मिलती हैं। किरेटिनो में तीन α-कुंडलिनियाँ होती हैं जो रस्ती की तरह एक दूसरे के आसपास लिपटी होती हैं। ये कुंडलियाँ आपस में डाइसल्फाइड आबंधों द्वारा जुड़ी होती हैं। इन डाइसल्फाइड आबंधों की अधिक संख्या किरेटिनो को दृढ़ता देती है व उन्हें कम लचीला बनाती है।



कुंडलिनी की पिच (pitch) अथवा दो क्रमागत चक्रों के बीच की दूरी 540 pm होती है।

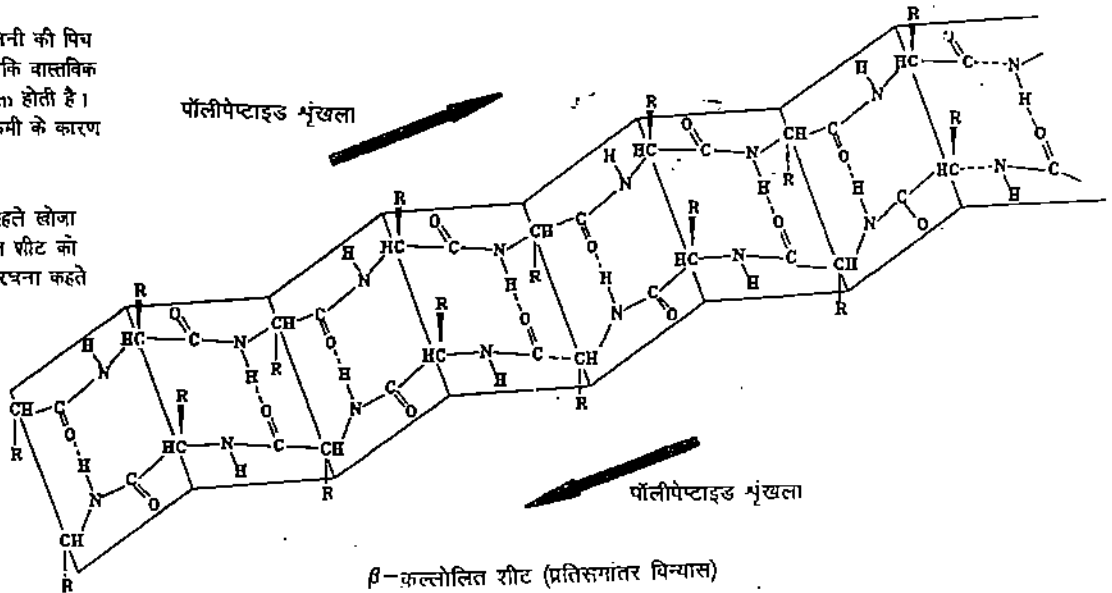
कोलेजन, शरीर में सबसे अधिक मिलने वाली प्रोटीन है। यह त्वचा, हड्डी, दांत, उपास्थि (cartilage), कण्डरा (tendon), रक्त वाहिनियों तथा संयोजी उत्तकों में पाई जाती है। ये प्रोटीन वास्तविक α-कुंडलिनी नहीं बनाती हैं परंतु यह एक त्रिक (triple) कुंडलिनी के रूप में उपस्थित होती है। ये तीन पॉलीपेटाइड शृंखलाएं उत्तरावर्ती कुंडलित विन्यास में होती हैं व दक्षिणावर्ती तरह से एक-दूसरे के आस-पास लिपटी होती हैं। इससे कोलेजन तंतु अत्यन्त कठोर हो जाता है। आप पूछेंगे की कोलेजन वास्तविक α-कुंडलिनी क्यों नहीं बनाते हैं। ऐसा उनकी पॉलीपेटाइड शृंखला में प्रोलीन अवशिष्टों की एक बड़ी संख्या के कारण होता है।



कोलेजन की त्रिक कुंडलिनी

कोलेजन शृंखलाओं की कुंडलिनी की पिच लगभग 900 pm होती है जबकि वास्तविक  $\alpha$ - कुंडलिनी में यह 500 pm होती है। ऐसा हाइड्रोजन आबंधों की कमी के कारण होता है।

$\alpha$ - कुंडलिनी संरचना को पहले खोजा गया था जबकि  $\beta$ - कल्लोलित शीट को बाद में, इसीलिए इसे  $\beta$ - संरचना कहते हैं।



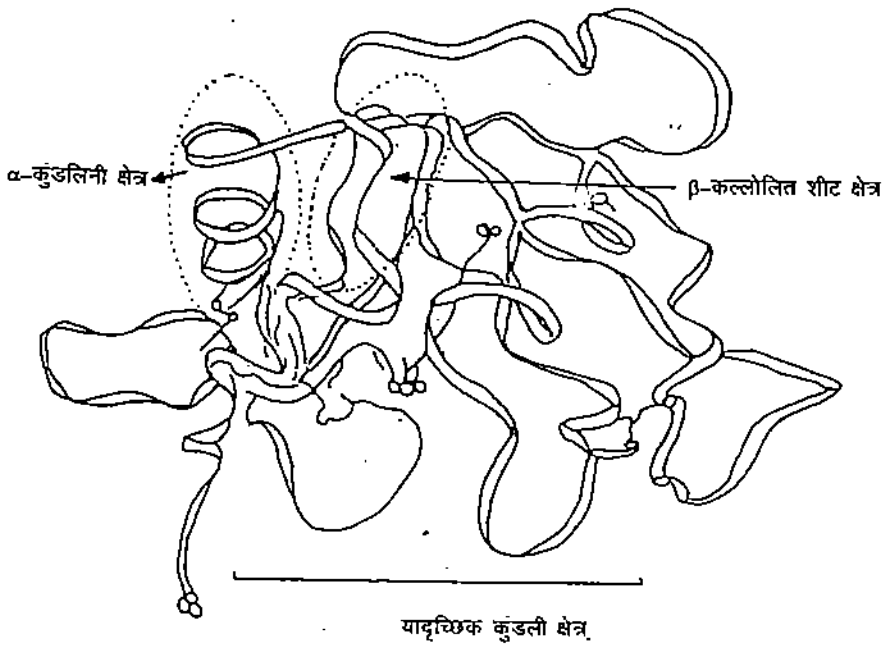
प्रोलीन अपनी चक्रीय संरचना (सारणी 5.2) के कारण कुंडलिनी के बनने में व्यवधान उत्पन्न करता है तथा इसकी प्रवृत्ति पॉलीपेप्टाइड शृंखला को मोड़ने अथवा कुंचित (kink) करने की होती है। इसके अलावा पेप्टाइड बंध के बनने में लगे ऐमीनो समूह हाइड्रोजन की कमी के कारण कार्बोनिल समूह से हाइड्रोजन आबंध बनाने में हिस्सा नहीं ले सकते हैं।

आइए, अब हम  $\beta$ -कल्लोलित शीट संरचना में प्रोटीन शृंखलाओं के विन्यास की व्याख्या करें।

### $\beta$ -कल्लोलित शीट

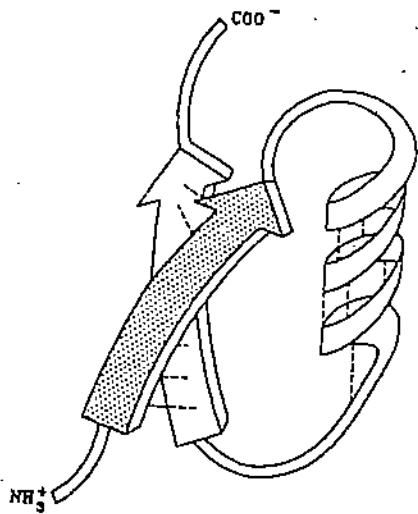
इस विन्यास में पॉलीपेप्टाइड शृंखलाएं लगभग पूर्ण रूप से विस्तृत होती हैं तथा हाइड्रोजन आबंध टेढ़ी-मेढ़ी चलती हुई समान्तर शृंखलाओं के बीच बनते हैं।  $\alpha$ -कुंडलिनियों के विपरीत इनमें हाइड्रोजन आबंधों की दिशा पॉलीपेप्टाइड शृंखला की दिशा के लंबवत् होती है।  $\beta$ -कल्लोलित संरचनाओं में पार्श्व शृंखलाएं शीट से ऊपर व नीचे की ओर होती हैं।

$\beta$ -शीटों में प्रोटीन शृंखलाओं का समान्तर अथवा प्रतिसमान्तर विन्यास हो सकता है। समान्तर  $\beta$ -शीटों में पॉलीपेप्टाइड शृंखलाएं ऐमीनो से कार्बोक्सिल टर्मिनलों तक एक ही दिशा में जाती हैं जबकि प्रतिसमान्तर  $\beta$ -शीटों में शृंखलाएं विपरीत दिशा में चलती हैं। प्रतिसमान्तर  $\beta$ -शीटें अधिक स्थायी होती हैं क्योंकि इनमें हाइड्रोजन आबंध अधिक रैखीय तरह से अभिविन्यस्त होते हैं।  $\beta$ -संरचनाओं में कई पॉलीपेप्टाइड शृंखलाएं शीटों के बनाने में हिस्सा लेती हैं जो एक-दूसरे के ऊपर सम्भाकार तरीके से टिकी होती है। यद्यपि इस प्रकार की संरचनाएं स्थूल पार्श्व शृंखलाओं वाले ऐमीनो अम्लों के अनुकूल नहीं होती हैं। ऐसा पार्श्व शृंखलाओं के बीच त्रिविमी अवरोध के कारण होता है क्योंकि यह शृंखलाएं शीट के तल से ऊपर व नीचे की ओर जाती हैं।  $\beta$ -शीट संरचनाएं रेशम में मिलती हैं। हम यहाँ पर आपको यह बता दें कि यद्यपि  $\alpha$ -कुंडलिनी व  $\beta$ -शीट संरचनाएं शुद्ध रूप में कई प्रोटीनों में मिलती हैं, परंतु अधिकतर प्रोटीनों की द्वितीयक संरचनाएं,  $\alpha$ -कुंडलिनी,  $\beta$ -शीट व एक अन्य संरूपण, जिसे यादृच्छिक कुंडली (random coil) कहते हैं, का मिश्रण होती हैं। "यादृच्छिक कुंडली", पद के माने यह नहीं है कि इसमें विभिन्न परमाणु व समूह कोई भी स्थान ले सकते हैं। इनके स्थान निर्धारित होते हैं। उपभाग 5.4.2 में बताए गए कारणों के आधार पर इस क्षेत्र के ऐमीनो अम्ल अवशिष्टों के  $\phi$  व  $\psi$  कोणों का मान भी नियंत्रित होता है। "यादृच्छिक कुंडली" पद के माने यह है कि इस क्षेत्र में पॉलीपेप्टाइड शृंखला का संरूपण ऊपर दिए गए नियमित पैटर्नों से मेल नहीं खाता है।



प्रोटीनों में कई बार मिलने वाला एक पैटर्न है  $\beta - \alpha - \beta$  जहाँ पर  $\alpha -$  कुंडलिनी क्षेत्र दोनों ओर  $\beta -$  शीटों द्वारा घिरा होता है। उदाहरण के तौर पर ऐसा गोलिकात्मक (globular) प्रोटीनों में होता है।

गोलिकात्मक प्रोटीनों में पॉलीपेट्टाइड शृंखला चलित होकर स्वयं के ऊपर भी आ सकती है। इसी शृंखला की दिशा में  $180^\circ$  का परिवर्तन हो जाता है। इन संरचनाओं को  $\beta -$  मोड़ कहा जाता है।



चित्र 5.4 : प्रोटीन में  $\beta - \alpha - \beta$  बलन पैटर्न का व्यवस्थात्मक निरूपण।  $\beta -$  कुंडलिनी को कुंडलित संरचनाओं द्वारा व  $\beta -$  शीटों को बड़े तीरों द्वारा दर्शाया गया है।

इस यहाँ दृढ़ता से कहना चाहेंगे कि यह द्वितीयक विन्यास प्रोटीनों को संरचना पर निर्भर गुण प्रदान करती है। केशों या ऊन की किर्रेटिन, सिल्क फाइब्रॉइन, तथा कोलैजन इत्यादि प्रोटीनों के संरचना पर निर्भर गुणों के उत्तम उदाहरण हैं। उन के रेशे लचीले, दितान्य (extensible) तथा प्रत्यास्थ (elastic) होते हैं

सिल्क, फाइब्रॉइन नामक प्रोटीन ली बनी होती है जिसकी संरचना  $\beta -$  कल्लोलित शीट जैसी होती है।



प्रोटीनों को कई भिन्न-भिन्न प्रकार से वर्गीकृत किया गया है। इनमें से एक वर्गीकरण प्रोटीनों के भौतिक लक्षणों पर आधारित है व उन्हें गोलिकामय व रेशेदार (fibrous) प्रोटीनों के रूप में वर्गीकृत करता है।

गोलिकामय प्रोटीनों जल में घुलनशील होती हैं अर्थात्, कोलाइडी परिक्षेपण बनाती हैं व भंगुर होती हैं तथा कई कार्य करती हैं जैसे, जैवरासायनिक क्रियाओं को उत्प्रेरित करना व पदार्थों का वहन करना हृत्पादि एन्जाइम व हीमोग्लोबिन इनके उदाहरण हैं। दूसरी ओर रेशेदार प्रोटीनों जल में अघुलनशील होती हैं तथा दृढ़ होती हैं तथा संरचनात्मक या संरक्षण का कार्य करती हैं उदाहरण के लिए, किरेटिन, कोलेजन तथा सिल्क।

जो ऊन की किरेटिन की  $\alpha$ -कुंडलिनी संरचना के कारण ही है। दूसरी ओर सिल्क के रेशे अत्यधिक प्रबल व अविन्याय होते हैं। यह गुण पूर्ण रूप से विस्तृत पॉलीपेप्टाइड शृंखलाओं से बनी  $\beta$ -शीट संरचनाओं के कारण होता है। चूंकि ये शृंखलाएं पहले ही से पूर्ण विस्तृत होती हैं, इसलिए ये अविन्याय होती हैं। चूंकि सिल्क के तंतु में  $\beta$ -शीटें एक-दूसरे के ऊपर होती हैं व दुर्बल वान्डर वाल्स बलों द्वारा जुड़ी होती हैं, इसलिए ये लचीले होते हैं। इसी प्रकार कोलेजन की त्रि कुंडलित संरचना उसे दृढ़ता, यांत्रिक शक्ति तथा तनन-प्रतिरोधी गुण प्रदान करती है जो संयोजी उत्तक प्रोटीन के लिए आदर्श गुण हैं।

हमने अब तक बताया है कि किसी प्रोटीन के अणु के विशिष्ट ऐमीनो अम्ल अनुक्रम को प्राथमिक संरचना कहते हैं। यह प्राथमिक संरचना जो संरूपण ग्रहण करती है उसे द्वितीयक संरचना कहते हैं। यह संरचना पेप्टाइड आवंध की समतलता से प्रभावित होती है व हाइड्रोजन आवंधों द्वारा स्थायीकृत होती है। अब आप यह सीखें कि प्राथमिक व विभिन्न मात्राओं में द्वितीयक संरचनाओं से बना प्रोटीन का अणु किस प्रकार बलित होकर विशिष्ट आकर, जिसे तृतीयक संरचना कहते हैं, ग्रहण करता है। आप यह भी देखेंगे कि इस संरचना को स्थायी करने में कई प्रकार के बलों का योगदान होता है। इनकी चर्चा हम उपभाग 5.4.3 में कर चुके हैं। आइए, अब हम प्रोटीन के अणुओं की तृतीयक संरचना की चर्चा करें।

### बोध प्रश्न 5

सही उत्तर पर सही [✓] का निशान लगाइए।

शुद्ध रूप में  $\beta$ -शीटें निम्नलिखित में पाई जाती हैं :

(क)	सिल्क फाइब्रॉन	[ ]
(ख)	$\alpha$ -किरेटिन	[ ]
(ग)	कोलेजन	[ ]
(घ)	इनमें से कोई नहीं	[ ]

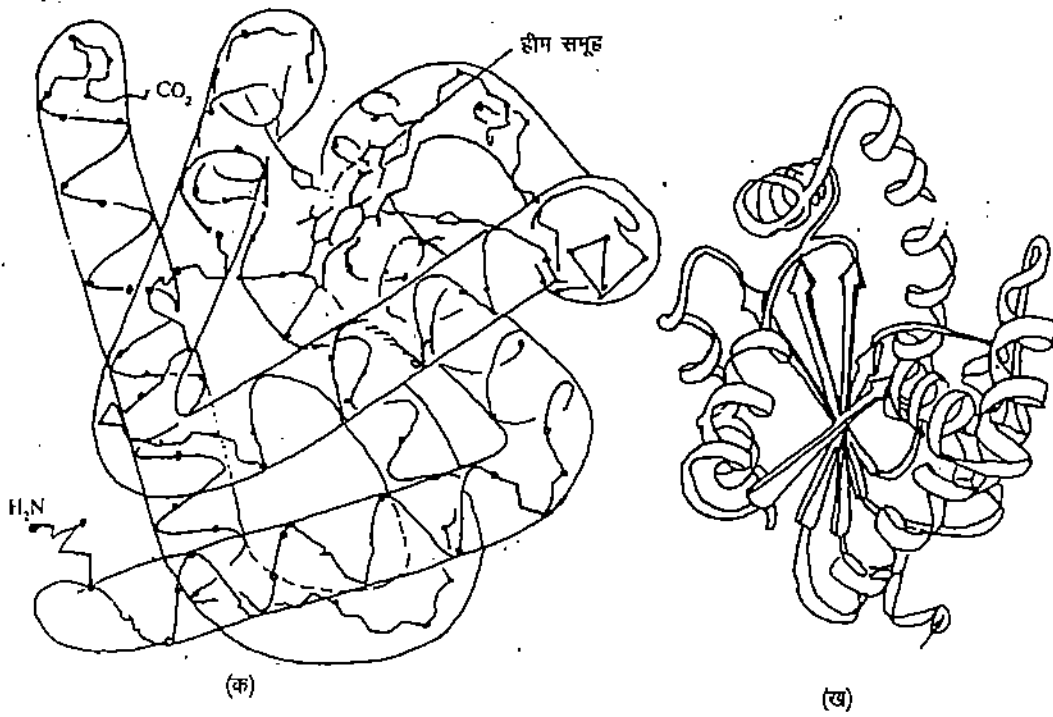
### 5.4.5 तृतीयक संरचना

हमने देखा है कि नियमित पुनावर्तन करने वाले संरचनात्मक लक्षण जैसे,  $\alpha$ -कुंडलिनी तथा  $\beta$ -शीटें विशेषकर, किरेटिन, सिल्क फाइब्रॉइन अथवा कोलेजन जैसी रेशेदार प्रोटीनों में होते हैं। अधिकतर अन्य प्रोटीनों में पॉलीपेप्टाइड शृंखला व्यावर्तित, बलित तथा संहत होकर लगभग गोलाकार त्रि-आयामी आकार में होती है जिसे तृतीयक संरचना कहते हैं। तृतीयक संरचना में  $\beta$ -कुंडलिनी तथा  $\beta$ -शीटें जैसी द्वितीयक संरचनाएं यादृच्छिक कुंडलीय क्षेत्रों के साथ एक दूसरे के ऊपर बलित हो एक त्रि-आयामी संहत गोलाकार संरचना बनाते हैं। इन गोलिकामय प्रोटीनों में पॉलीपेप्टाइड शृंखलाएं सघनता से पैक होती हैं और बहुत कम गुहाएं (cavities) छोड़ती हैं जिनमें जल भरा होता है। गोलाकार तृतीयक संरचनाओं के बनने के यह माने नहीं हैं कि उसमें द्वितीयक संरचनात्मक लक्षण उपस्थित हैं क्योंकि बिना किसी द्वितीयक संरचना के भी संहत गोलाकार बन सकता है। जहां कहीं भी तृतीयक संरचना में द्वितीयक संरचनाएं उपस्थित होती हैं, उनकी ज्यामितीय विशिष्टताएं रेशेदार प्रोटीनों जैसी ही होती हैं। यद्यपि कभी-कभी इनमें थोड़ा सा परिवर्तन भी होता है। तृतीयक संरचना की एक विशेषता यह है कि प्रोटीन शृंखला के कुछ हिस्से जो अनुक्रम में एक-दूसरे से अत्यधिक दूरी पर हैं वे बलित त्रि-आयामी संरचना में पास-पास आ जाते हैं। हमने चित्र-5.5 में दो प्ररूपी प्रोटीनों - मायोग्लोबिन तथा ऐडेनिलेट काइनेस की संरचना दी है।

सब एंजाइम गोलिकामय प्रोटीन होते हैं।

हाइड्रोजन आवंध व अन्य अन्योन्यक्रियाओं का वर्णन हमने उपभाग 5.4.3 में किया है।

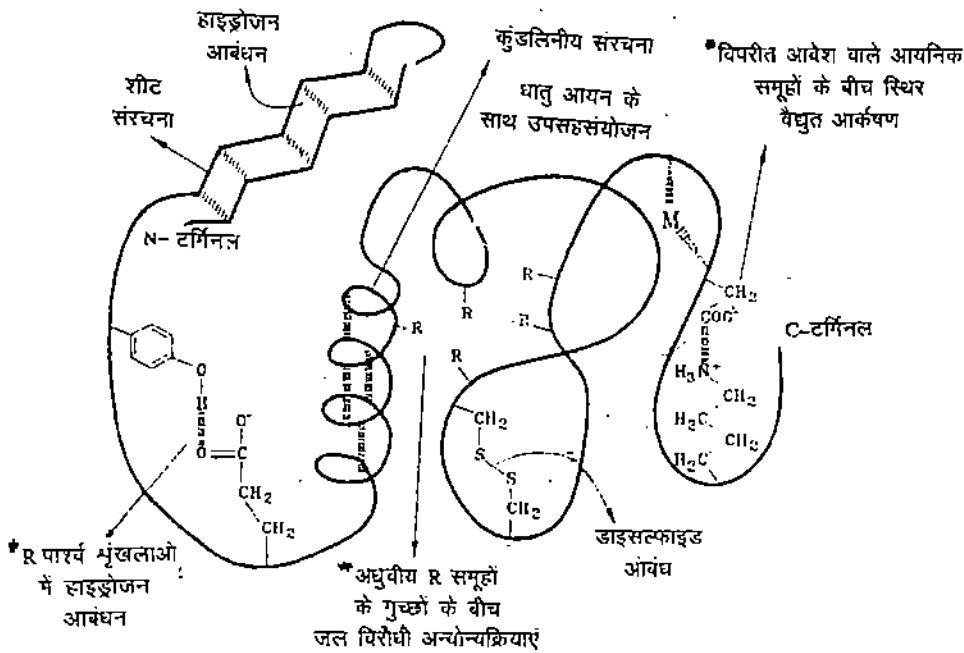
संपूर्ण प्रोटीन के अणु का बलन अर्थात्, तृतीयक संरचना, हाइड्रोजन आवंधों तथा जलविरोधी अन्योन्यक्रियाओं द्वारा स्थायीकृत होता है। यह अन्योन्यक्रियाएं मूलतः बलन की विशिष्टता के लिए उत्तरदायी हैं। अन्य अन्योन्यक्रियाएं जैसे कि वान्डर वाल्स बल भी इसमें महत्वपूर्ण योगदान देती हैं क्योंकि गोलिकामय प्रोटीन में ऐमीनो अम्ल पार्ष्व शृंखलाएं बहुत सघनता से पैक होती हैं। बलित संरचना के स्थायित्व में थोड़ा-सा योगदान



चित्र 5.5 (क) मायोग्लोबिन, आप देखेंगे कि इसका जगु मुख्यतः कुंडलिनी क्षेत्रों का बना है।

(ख) ऐडेनिलेट काइनेस : यह जगु  $\alpha$ -कुंडलिनियों व  $\beta$ -शीटों का बना है। कुंडलिनियों को फीतों (ribbon) की तरह व शीटों को तीरों द्वारा दर्शाया गया है।

स्थिर वैद्युत बलों जैसे, एक ऐमीनो अम्ल अवशिष्ट के  $-\text{COO}^-$  व दूसरे के  $-\text{NH}_3^+$  समूह के बीच अन्योन्यक्रिया द्वारा भी होता है। कुछ एन्जाइमों में डाइसल्फाइड आबंध और स्थिरता प्रदान करते हैं। चित्र 5.6 में हमने एक गोलिकामय प्रोटीन का व्यवस्थात्मक निरूपण किया है व इसकी तृतीयक संरचना को स्थायीकृत करने वाले विभिन्न बलों को दर्शाया है।



चित्र 5.6 : प्रोटीनों में गोलाकार संरचनाओं को स्थायित्व देने वाले आबंधों व बलों का व्यवस्थात्मक निरूपण।

\* चिह्न द्वारा चिह्नित अन्योन्यक्रियाएं सभी गोलिकामय प्रोटीनों में होती हैं। अन्य अन्योन्यक्रियाएं उपस्थित हो सकती हैं और नहीं भी हो सकती।

जैव अणु-11

किसी प्रोटीन की वलित अवस्था, अर्थात्, इसकी तृतीयक संरचना जो ताप व pH की सामान्य परिस्थितियों में बनती है, की ऊर्जा न्यूनतम होती है इसलिए यह अधिकतर स्थायी होती है इस प्रावस्था को प्राकृत विन्यास (native configuration) कहते हैं। प्राकृत विन्यास वाली इन प्रोटीनों को pH, ताप अथवा कार्बनिक विलायकों के चरम द्वारा अवलित, अर्थात्, विकृतीकृत (denatured) किया जा सकता है। विकृतीकरण द्वारा प्रोटीन अवलित होकर यादृच्छिक अवस्था में आ जाती है व उसकी जैविक क्रियाशीलता समाप्त हो जाती है। इन विकृति कारकों का हटाना आणविक लवण सेतुओं तथा अन्य अन्योन्यक्रियाओं पर विद्यारी (disruptive) प्रभाव पड़ता है। इस प्रकार प्राकृत अवस्था की स्थायीकरण ऊर्जा अवलित अवस्था की अपेक्षा अधिक होती है। एन्जाइमों के पहलू से एक यादृच्छिक, अति अनियमित अवलित पॉलीपेटाइड शृंखला का अति नियमित वलित अवस्था में परिवर्तन इसका कारण है।

कई गोलिकामय प्रोटीनों संरचनात्मक पिंडों (lobes) में व्यवस्थित होती हैं। इनकी प्रकृति भी गोलिकामय होती है तथा पॉलीपेटाइड शृंखला द्वारा बंधित होते हैं। प्रत्येक पिंड का विशिष्ट कार्य होता है। उदाहरण के लिए एन्जाइम ग्लिसरॉल डिहाइड्रोजेनेस में इसको बनाने वाले चार शृंखलाओं के स्पष्ट दो पिंड होते हैं। इसमें से एक NAD से जुड़ा होता है जो एन्जाइम का सहकारक (cofactor) होता है। दूसरा पिंड उत्प्रेरक का कार्य करता है तथा क्रियाधार, ग्लिसरॉल डिहाइड्रोजेनेस से जुड़ा होता है। इनकी संरचनाएं चित्र 5.7 में दर्शाई गई हैं।

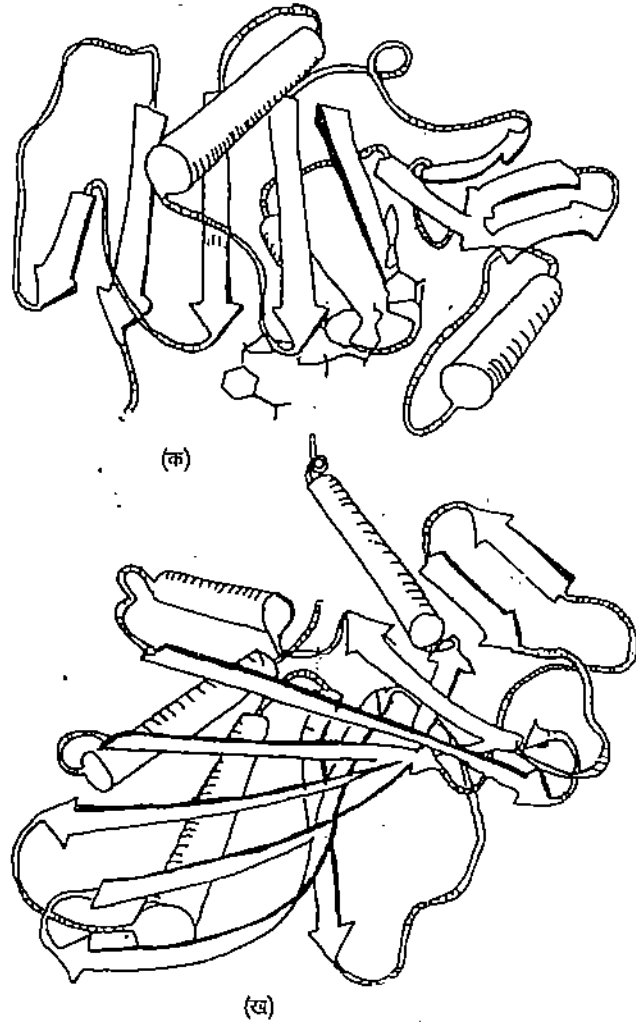
हम यहाँ पर यह और बता दें कि कुछ प्रोटीनों जिनके कार्य करने के लिए धात्विक आयनों की आवश्यकता होती है, उनमें ऋणावेशित पार्श्व शृंखलाओं के साथ उपसहसंयोजित (coordinated) धात्विक आयन भी स्थायित्व में महत्वपूर्ण योगदान दे सकता है। इसी प्रकार कोई अधुवीय पार्श्व शृंखला कभी-कभी प्रोटीन की सतह पर जल की ओर अनावरित हो सकती है। इस प्रकार के अवशिष्ट दूसरी पॉलीपेटाइड शृंखलाओं से जुड़कर चतुष्क संरचनाएं बना सकते हैं या किंगी शिस्ती के अंतः भाग के जलविरोधी क्षेत्र से अन्योन्यक्रिया कर सकते हैं या एन्जाइमों के अधुवीय क्रियाधारों से बंधित हो सकते हैं। सामान्यतः गोलिकामय प्रोटीनों के अधिकतर ध्रुवीय समूह प्रोटीन की सतह पर व अधिकतर अधुवीय समूह प्रोटीन के अंतः भाग में रहते हैं। निम्नलिखित बोध प्रश्न को हल करके आप आगे बढ़ सकते हैं।

बोध प्रश्न 6

उपयुक्त कथन पर सही [✓] का निशान लगाइए।

गोलिकामय प्रोटीनों में सदैव उपस्थित होती हैं :

- (क) कुछ  $\alpha$ -कुंडलियां : |
- (ख) कुछ  $\beta$ -शीटें : |
- (ग) कुछ यादृच्छिक कुंडलियाँ : |
- (घ)  $\alpha$ -कुंडलिनी तथा  $\beta$ -शीटें : |



चित्र 5.7: एन्जाइम ग्लिसरॉल डिहाइड्रोजेनेस की उपइकाई में पिंड संरचनाएं। (क) NAD बंधित NAD बंधन पिंड (ख) उत्प्रेरक पिंड

कई बार समान व भिन्न प्रकार की पॉलीपेटाइड शृंखलाएं, जिनमें से प्रत्येक एक संतत तृतीयक संरचना में वलित होती है, एक-साथ सलीन होकर एक संरचनात्मक पुंज बनाती हैं। प्रोटीन संगठन के इस स्तर को इसकी चतुष्क संरचना कहते हैं। आइए, अब हम प्रोटीन संरचना के इस उच्चतम स्तर की व्याख्या करें।

### 5.4.6 चतुष्क संरचना

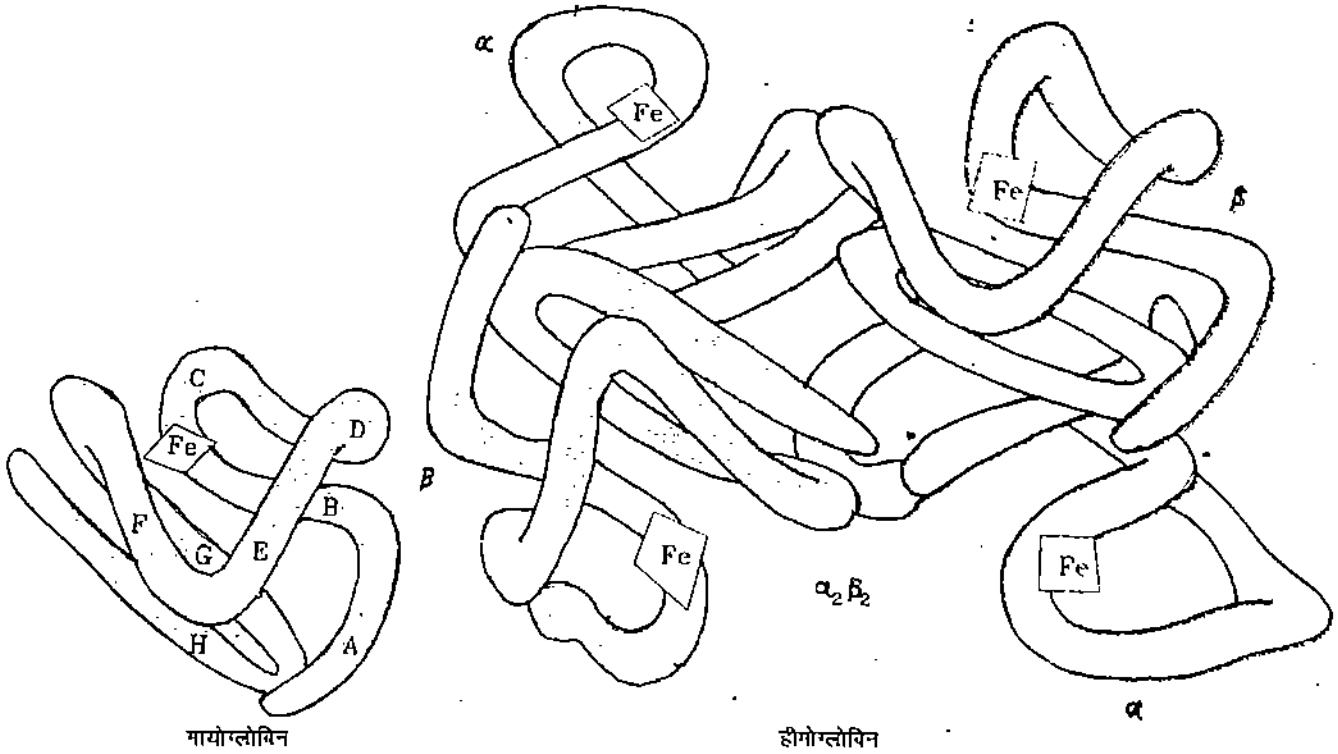
जैसा कि हमने ऊपर बताया है, प्रोटीन संगठन के इस स्तर पर दो या दो से अधिक प्रोटीन इकाइयों का संगुणन होता है व इससे एक जटिल व क्रियात्मक इकाई प्राप्त होती है। इनमें से प्रत्येक प्रोटीन इकाई की अपनी तृतीयक संरचना होती है। विभिन्न प्रोटीनों की उप-इकाइयों के इस संगुणन को चतुष्क संरचना कहते हैं। डाइसल्फाइड आबंध के अपवाद को छोड़कर, इन उप-इकाइयों को जोड़ने वाले बल वही हैं जो तृतीयक संरचना में उपस्थित होते हैं।

तृतीयक व चतुष्क संरचनाओं के बीच संबंध को मायोग्लोबिन तथा हीमोग्लोबिन के उदाहरणों द्वारा बहुत अच्छी तरह से समझा जा सकता है। मायोग्लोबिन मांसपेशियों में ऑक्सीजन संचयन का कार्य करती है जबकि हीमोग्लोबिन पूरे शरीर में ऑक्सीजन का वहन करती है। जब कोशिका में ऑक्सीजन की मात्रा अधिक हो जाती है, तब मायोग्लोबिन उसे बांधित कर लेती है और जब कोशिका में ऑक्सीजन की मात्रा कम हो जाती है तब वह उसे विसर्जित कर देती है। आपको ध्यान होगा कि मायोग्लोबिन में प्रोटीन संगठन का तृतीयक स्तर होता है। इसकी संरचना चित्र 5.5 में दी गई है। यह एक एकल पॉलीपेटाइड शृंखला वाला अणु है जिसमें आठ  $\alpha$ -कुंडलिनियों में व्यवस्थित ऐमीनो अम्ल अवशिष्ट होते हैं। यह अवशिष्ट सात बिना कुंडलिनी वाले रज्जुकों (strands) द्वारा जुड़े होते हैं। यह बिना कुंडलिनी वाले रज्जुक  $\alpha$ -कुंडलिनी डिस्कों को एक-दूसरे पर वलित होने में सहायता प्रदान करते हैं जिससे एक संहत गोलाकार संरचना प्राप्त होती है। एक अप्रोटीन अणु जिसे हीम कहते हैं व जिसके केन्द्र में आयरन का एक परमाणु होता है, ऑक्सीजन बांधन स्थल का कार्य करता है। यह मायोग्लोबिन अणु के अधुवीय हिस्से में स्थित होता है व शृंखला के हिस्टिडीन अणु से आबंधित होता है।

हीमोग्लोबिन की ऑक्सीजन बन्धनीय योग्यता भी हीम समूह के कारण ही होती है। हीमोग्लोबिन लाल रक्त कणिकाओं में उपस्थित होती है, जहाँ यह ऑक्सीजन से जुड़ती है व उसे पूरी शरीर के उत्तकों में ले जाती है। इसके अणु में चार पॉलीपेटाइड शृंखलाएं होती हैं और प्रत्येक में एक हीम समूह होता है। इनमें से दो को  $\alpha$ -शृंखलाएं व दो को  $\beta$ -शृंखलाएं कहते हैं। प्रत्येक  $\alpha$ -शृंखला में 141 व  $\beta$ -शृंखला में 146 अवशिष्ट होते हैं। चारों पॉलीपेटाइड शृंखलाएं असहसंयोजक अन्योन्यक्रियाओं मुख्यतः जलविरोधी व वान्डर वात्स परिक्षेपण बलों द्वारा जुड़ी होती हैं। अंतर-शृंखला संबंधों में से लगभग एक तिहाई हाइड्रोजन आबंधों तथा स्थिर वैधुत अन्योन्यक्रियाओं द्वारा बनते हैं। यह बलन प्रक्रिया को विशिष्टता प्रदान करते हैं। चित्र 5.8 में हीमोग्लोबिन के अणु को दर्शाया गया है।

शरीर को पचना व श्वसन में उपस्थित प्रोटीन को विघटित करने वाली हैं। इसके साथ अन्य प्रोटीन जैसे तथा जीवाणिक प्रोटीन भी विकृत हो जाते हैं व इसके साथ विघटन से भी बचाव होता है।

रेखण्ड तथा रेखिकात्मक प्रोटीनों एक या अधिक पॉलीपेटाइड शृंखलाओं की बनी हो सकती हैं। जब प्रोटीन एक से अधिक शृंखलाओं को करीब हो तब उसे स्वल्पसंयोजक (oligomeric) प्रोटीन कहते हैं व प्रत्येक शृंखला को उप-इकाई (protomer) अथवा उप-इकाई कहते हैं।



चित्र 5.8 : मायोग्लोबिन व हीमोग्लोबिन की संरचनाओं की तुलना। हीम (Fe) समूहों के स्थान तथा मायोग्लोबिन की शृंखला व हीमोग्लोबिन की  $\beta$ -शृंखला में बलन पैटर्न की समानता को देखें।

आपने ध्यान दिया होगा कि हीमोग्लोबिन की  $\alpha$ -तथा  $\beta$ -शृंखलाएं बहुत कुछ मायोग्लोबिन के समान हैं तथा मायोग्लोबिन से मिलती चार उपइकाइयों इकट्ठी होकर हीमोग्लोबिन का अणु बनाती हैं। मायोग्लोबिन से

हीमोग्लोबिन की  $\alpha$ - व  $\beta$ - शृंखलाओं का ऐमीनो अम्ल अनुक्रम मिलता-जुलता परंतु अलग होता है।  $\beta$ -शृंखला में आठ  $\alpha$ -कुंडलिनियां होती हैं, जबकि  $\alpha$ -शृंखला में केवल सात  $\alpha$ -कुंडलिनियां होती हैं।

हीमोग्लोबिन के विकास में संभवतः  $\alpha$  व  $\beta$  शृंखलाओं में मायोग्लोबिन की सतह के ध्रुवीय अवशिष्टों का अध्रुवीय अवशिष्टों द्वारा प्रतिस्थापन हुआ है। चूंकि अध्रुवीय अवशिष्टों के जल में अनावरण से अस्थायित्व उत्पन्न होगा इसलिए  $\alpha$  व  $\beta$  शृंखलाएं कुछ इस तरह से परस्पर जुड़ी होती हैं, जिससे अध्रुवीय अवशिष्ट, प्रोटीन के अंतः भाग को चले जाएं। इससे हीमोग्लोबिन की चतुष्क संरचना प्राप्त होती है। यह संरचना एक नया कार्य करने में सक्षम है जो मायोग्लोबिन के अणु नहीं कर सकते हैं। इस कार्य की और चर्चा हम अगले उपभाग में करेंगे।

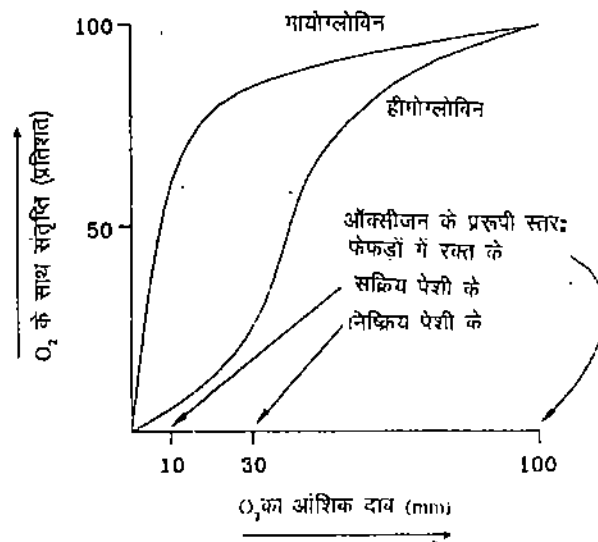
किसी प्रोटीन में चतुष्क अथवा स्वल्पलक संरचना होने के कई लाभ हैं। उदाहरण के लिए किसी प्रोटीन के कार्य का नियंत्रण अथवा उसके द्वारा कोई नया कार्य किया जाना, कई उप-इकाइयों के संगुणन से चतुष्क संरचना में अलग-अलग उपइकाइयों की उपस्थिति से किसी कार्य की विशिष्टता में बदलाव भी संभव है, जैसा उत्प्रेरण में होता है। चतुष्क संरचनाओं की उपस्थिति का कारण स्पीशीज़ की उत्तरजीविता भी हो सकता है। जैव संश्लेषण प्रक्रिया में कौशिका द्वारा गलती किए जाने की सीमित संभावना भी है जिसके कारण अनुक्रम में कोई गलत ऐमीनो अम्ल वाली गलत प्रोटीन भी बन सकती है।

एक इकाई वाली प्रोटीन में ऐसी गलती के कारण प्रोटीन का कार्य पूरा रूप से प्रभावित हो सकता है जिससे उस स्पीशीज़ पर विनाशी असर हो सकता है। परंतु एक बहु-उपइकाई वाली प्रोटीन में किसी एक उपइकाई के दूषित हो जाने से उसके कार्य पर बहुत अधिक प्रभाव नहीं पड़ेगा वशर्ते कि अन्य सभी उपइकाइयां सामान्य हों।

इस प्रकार चतुष्क संरचनाएं न केवल अपनी जटिल संरचना से संबंधित प्रकार्यों के लिए महत्वपूर्ण हैं, बल्कि यह जैव संश्लेषण प्रक्रिया में हुई गलती को सही करने में सक्षम होती है। आइए, अब हम शरीर में हीमोग्लोबिन के कार्य की संक्षिप्त चर्चा करें।

### 5.4.7 हीमोग्लोबिन—एक वहन प्रोटीन

आपने उपभाग 5.4.6 में पढ़ा कि हीमोग्लोबिन ऑक्सीजन से बंध बनाती है व पूरे शरीर में इसका वहन करती है। हीमोग्लोबिन का यह वहन प्रकार्य इसकी चतुष्क संरचना पर बहुत निर्भर करता है। चित्र 5.9 में एकक इकाई वाले मायोग्लोबिन के अणु व बहु इकाई वाले हीमोग्लोबिन अणु की ऑक्सीजन बंधन क्षमता की तुलना की गई है।



चित्र 5.9 : मायोग्लोबिन व हीमोग्लोबिन के ऑक्सीजन बंधन वक्र दर्शाता चित्र

आप देखेंगे कि मायोग्लोबिन का ऑक्सीजन बंधन वक्र बहुत सरल है व इसके ऑक्सीजन संयोजी प्रकार्य के अनुरूप है। यह आसानी से ऑक्सीजन द्वारा संतृप्त हो जाता है व ऑक्सीजन की सांद्रता कम हो जाने पर इसका विसर्जन करता है। दूसरी ओर हीमोग्लोबिन का ऑक्सीजन बंधन वक्र सिगमरूपी होता है जो यह दर्शाता है कि जैसे-जैसे ऑक्सीजन का बंधन होता जाता है, वैसे-वैसे इसकी बंधन क्षमता बढ़ती जाती है।

इसके अलावा हीमोग्लोबिन की ऑक्सीजन के प्रति बंधुता कम होती है और केवल फेफड़ों में ही, जहाँ ऑक्सीजन का दाब उच्च होता है, यह संतृप्त हो पाती है। दूसरी ओर उत्तकों में जहाँ ऑक्सीजन का दाब कम होता है, यह आसानी से ऑक्सीजन को विसर्जित कर देती है। इस प्रकार यह ऑक्सीजन के वहन का कार्य करती है। चित्र 5.9 से यह स्पष्ट हो जाता है कि इन परिस्थितियों में मायोग्लोबिन ऑक्सीजन से बंधित रहती है। हीमोग्लोबिन के अणु के व्यवहार को इस आधार पर समझा जा सकता है कि  $O_2$  के अणुओं के उत्तरोत्तर आबंधन से हीम समूह अंतर-इकाई विन्यास में परिवर्तन को विमोचित कर देता है जिससे बाकी बचे हुए हीम समूहों की ऑक्सीजन बंधुता अत्यधिक बढ़ जाती है। आपको याद होगा कि हीमोग्लोबिन के एक अणु में चार हीम समूह होते हैं। यह आकलित किया गया है कि चौथे हीम समूह से ऑक्सीजन का बंधन पहले हीम समूह की अपेक्षा लगभग 400 गुणा प्रबल होता है।

### बोध प्रश्न 7

सही कथन पर सही [✓] का निशान लगाए।

हीमोग्लोबिन विकास की दृष्टि से

- |     |                   |     |
|-----|-------------------|-----|
| (क) | हीम               | [ ] |
| (ख) | एडेनिलेट काइनेस   | [ ] |
| (ग) | मायोग्लोबिन       | [ ] |
| (घ) | इनमें से कोई नहीं | [ ] |
- से संबंधित है।

### 5.5 सारांश

प्रोटीनों के अणु बड़े व जटिल होते हैं। इनका आणविक द्रव्यमान कुछ हजारों से लाखों तक होता है। यह जीवन के लिए अनिवार्य कई प्रकार्यों को करते हैं।

- प्रोटीनों की मूल संरचनात्मक इकाईयां बीस  $\alpha$  - ऐमीनो अम्ल होते हैं। इनमें से सभी का L- विन्यास होता है।
- प्रोटीन के अपवाद को छोड़कर सभी ऐमीनो अम्लों का एक सामान्य संरचनात्मक लक्षण होता है। इनमें एक ही कार्बन परमाणु पर ऐमीनो व कार्बोक्सिल समूह होते हैं तथा इसीलिए इन्हें  $\alpha$  - ऐमीनो अम्ल कहा जाता है।  $\alpha$  - कार्बन परमाणु पर एक हाइड्रोजन का परमाणु भी होता है व चौथे समूह को R - समूह अथवा पार्श्व शृंखला कहते हैं। यह पार्श्व शृंखला प्रत्येक ऐमीनो अम्ल के लिए विशेष होती है।
- ग्लाइसिन (जिसमें R एक H परमाणु है) के अपवाद को छोड़कर सभी ऐमीनो अम्ल घुवण घूर्णकता दर्शाते हैं।
- प्रोटीन विभिन्न ऐमीनो अम्लों के एक रेखीय बहुलक की बनी होती है जिसमें ऐमीनो अम्ल पेप्टाइड आबंधों द्वारा बंधित होते हैं। इन शृंखलाओं को पॉलीपेप्टाइड शृंखलाएं कहते हैं।
- चूंकि प्रत्येक प्रोटीन शृंखला सैकड़ों ऐमीनो अम्लों की बनी होती है तथा ऐसी शृंखला में प्रत्येक स्थान पर अलग-अलग भौतिक रसायन गुणों वाले बीस  $\alpha$  - ऐमीनो अम्लों में से कोई भी हो सकता है, इसलिए संरचनात्मक तरीके से अलग संभव प्रोटीनों की संख्या बहुत बड़ी है और यह कुछ सीमा तक प्रोटीनों द्वारा किए जा सकने वाले विविध प्रकार्यों की व्याख्या करती है।
- ऐमीनो अम्ल अवशिष्टों की आयनन योग्य पार्श्व शृंखलाएं प्रोटीनों की अम्ल-क्षारक गुणों व उनकी उभयप्रतिरोधकता में योगदान देती हैं।
- प्रोटीन संरचना की जटिलता को संगठन के विभिन्न स्तरों पर व्यवस्थित करके समझा जा सकता है। इन स्तरों को प्राथमिक, द्वितीयक, तृतीयक व चतुष्क संरचनाएं कहा जाता है। इनमें से प्रत्येक अपने से उच्च स्तर की संरचना बनाने में योगदान देती है।
- पेप्टाइड आबंधों द्वारा रेखीय तरीके से बंधित ऐमीनो अम्ल अवशिष्टों की संख्या व अनुक्रम प्रोटीन की प्राथमिक संरचना कहलाती है।

- प्रोटीन की संरचना सामान्यतः प्राथमिक कुंडली की तरह नहीं रहती अपितु इनमें स्पष्ट त्रिआयामी चलाव पैरामें होते हैं जो एमीनो अम्ल अनुक्रम तथा विभिन्न अतिसंयोजक अणुन्यक्तियों द्वारा निर्धारित होते हैं।
- पेराल्ड क्रम की समतलीय प्रकृति तथा पॉलीपेटाइड श्रृंखला के  $\alpha$ -C = O व -NH समूहों के बीच हाइड्रोजन आबंधों द्वारा प्रोटीन के विभिन्न क्षेत्र अपने आपसे संयोजित करने  $\alpha$ -कुंडलिनी अथवा  $\beta$ -शीटों जैसे उत्तरोत्तर व्यवस्थित संरचनात्मक तत्वों द्वारा द्वितीयक संरचना बना लेते हैं।
- कई प्रोटीनों में पॉलीपेटाइड श्रृंखला के प्राथमिक कुंडली के साथ जुड़े द्वितीयक संरचना वाले तत्व एक दूसरे के ऊपर घुलित होकर एक संरुद्ध संरचनाकार प्रकृत्य कर लेते हैं। इसे प्रोटीन की संरचना का तृतीयक स्तर कहते हैं। इस संरचना में पॉलीपेटाइड श्रृंखला के मुख्य तित्तों एक-दूसरे के समीप आ जाते हैं।
- अम्लीय अथवा प्रोटीन, एंजिमाएक्टिव के उत्पन्न द्वारा प्रोटीन संरचना के बहुत स्तर को समझा जा सकता है। स्वतंत्र से अलग अलग प्रकार की कुछ बार पॉलीपेटाइड श्रृंखलाएं एक-दूसरे के साथ मिलकर एक अथवा तद्व्यतिरिक्त संरचनाएं बनाती हैं।
- एंजिमाएक्टिव का बहुत कार्य उनकी बहुत संरचना पर निर्भर करता है।
- प्रोटीनों की तृतीयक व बहुत संरचनाओं को बनाने वाली अलग प्रक्रिया मुख्यतः कुछ ऐमीनो अम्लों की पारस्परिक श्रृंखलाओं द्वारा जल से बनने व प्रोटीन के अणु अणु में जल की प्रकृति में उत्पन्न उत्तरोत्तरी बलों द्वारा नियंत्रित होती है। स्थिति अन्ततः अणु अणु अणुन्यक्तियों तथा निर्भर वैद्युत बलों द्वारा स्थायीकृत होती है। अन्त प्रक्रिया की विशिष्टता माइक्रोएन आबंधों के कारण होती है।

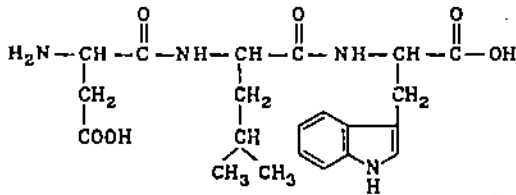
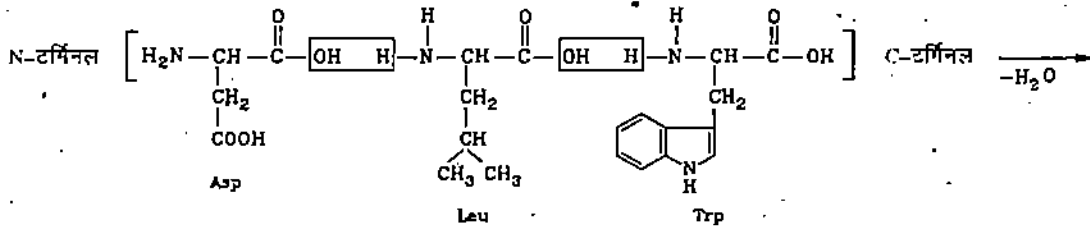
### 5.6 अंत में कुछ प्रश्न

1. प्रोटीनों के कुछ महत्वपूर्ण प्रसारों का वर्णन कीजिए।
2. दो या दो से अधिक अम्लों की मूली बनाकर जिनकी संख्या श्रृंखलाएं माइक्रोएन आबंध बनाने में सक्षम हो सकती हैं।
3. किस प्रकार के अम्लों अम्ल प्रोटीनों के अम्ल आरके व्यवहार के लिए उत्तरदायी होते हैं ?
4. क्या आप कहेंगे कि पेराल्ड आबंध समतलीय क्यों होता है ?
5. उत्तरोत्तरी बलों की उत्पत्ति का वर्णन कीजिए।
6. प्रोटीनों की द्वितीयक संरचना बनाने वाले दो उत्तरोत्तर तित्तुओं की संक्षिप्त व्याख्या कीजिए।
7. प्रोटीनों की बहुत संरचनाओं के उपयोग बताइए।

### 5.7 उत्तर

1. 1/2  
2. 3  
3. 4

4. 5  
5. 6  
6. 7  
7. 8

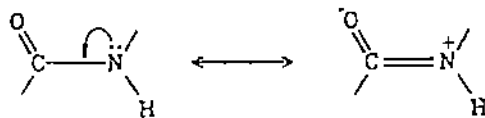


ट्राइपेप्टाइड Asp. Leu. Trp.

4. ग)
5. क)
6. ग)
7. ग)

**अंत में कुछ प्रश्न**

1. प्रोटीन के अणु, एंजाइमों के रूप में कई जैवरासायनिक अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित करते हैं। इसके अलावा यह कोशिका के संरचनात्मक तत्वों को बनाते हैं, जीवों के विभिन्न गतिशील, बहन तथा संश्लेषण प्रकार्यों में हिस्सा लेते हैं। यह संक्रमण के विरुद्ध प्रतिरक्षा साधन का कार्य भी करते हैं। प्रोटीनें जीन अभिव्यक्ति को भी नियंत्रित करती हैं। कुछ प्रोटीनें हॉर्मोनों का कार्य भी करती हैं।
2. सेरीन, थ्रिऑनीन, ऐस्पेराजीन, ग्लूटामीन, ऐस्पार्टिक एसिड, ग्लूटामिक एसिड, सिस्टीन, हिस्टिडीन, लाइसीन तथा आर्जिनिन हाइड्रोजन आबंध बनाने में हिस्सा ले सकते हैं क्योंकि उनकी पार्श्व शृंखलाओं में हाइड्रोजन, O, N अथवा S परमाणु से जुड़ी होती है या उनकी पार्श्व शृंखलाओं में >C=O समूह होता है।
3. आवेशित पार्श्व शृंखलाओं वाले ऐमीनो अम्ल जैसे ग्लूटामिक एसिड, ऐस्पार्टिक एसिड, लाइसीन, आर्जिनिन तथा N व C-टर्मिनल वाले वे ऐमीनो अम्ल जिनका क्रमशः α-ऐमीनो तथा α-कार्बोक्सिल समूह मुक्त होता है प्रोटीनों के अम्ल-क्षारक व्यवहार के लिए उत्तरदायी होते हैं।
4. पेप्टाइड समूह नीचे दर्शाई गई दो विहित संरचनाओं के बीच अनुवाद करता है।





इस प्रकार  $>C=O$  व  $C-N$  आबंध दोनों द्विआबंध व्यवहार दर्शाते हैं। चूंकि द्विआबंध के अक्ष पर घूर्णन संभव नहीं है, इसलिए पेप्टाइड आबंध के नष्ट होने परमाणुओं का समतलीय होना अनिवार्य हो जाता है।

5. अधुवीय पार्श्व शृंखलाओं की जल से हाइड्रोजन आबंध द्वारा अन्योन्यक्रिया कर पाने की असमर्थता के कारण जलविरोधी बल उत्पन्न होते हैं। ऐसी पार्श्व शृंखलाओं की उपस्थिति में जल को अपने हाइड्रोजन आबंध नेटवर्क (जाल) को बढ़ाना पड़ता है। इसके परिणामस्वरूप जल की संरचना अतिव्यवस्थित हो जाती है जिससे एन्ट्रॉपी कम हो जाती है तथा ऊष्मागतिक अस्थायित्व उत्पन्न होता है। प्रोटीन के स्वतः बलन से यह अधुवीय पार्श्व शृंखलाएं प्रोटीन के अंतः भाग में चली जाती हैं व जल के अणु हाइड्रोजन आबंधित नेटवर्क से मुक्त हो जाते हैं। इससे एन्ट्रॉपी बढ़ जाती है व ऊष्मागतिक स्थायित्व पुनः प्राप्त हो जाता है।
6.  $\alpha$ -कुंडलिनी व  $\beta$ -क्लोलित शीट वह उत्तरोत्तर विन्यास हैं, जो प्रोटीन की द्वितीयक संरचना में पाए जाते हैं।  $\alpha$ -कुंडलिनी में पॉलीपेप्टाइड शृंखला मुड़कर स्वयं अपने ऊपर कुछ इस प्रकार से आती है कि वह किसी पेंच अथवा कुंडलित स्पिंग की भांति लगती है। पार्श्व शृंखलाएं इस कुंडलिनी के अक्ष से बाहर की ओर निकलती हैं।  $\beta$ -क्लोलित शीट विन्यास में पॉलीपेप्टाइड शृंखलाएं एक-दूसरे के समान्तर अथवा प्रतिसामान्तर चलती हैं व लगभग पूर्ण रूप से तनित होती हैं।  $\beta$ -शीटों में पार्श्व शृंखलाएं, शृंखलाओं अथवा शीटों के तल से ऊपर व नीचे की ओर निकलती हैं।  $\alpha$ -कुंडलिनी व  $\beta$ -शीट संरचनाएं हाइड्रोजन आबंधों द्वारा स्थायीकृत होती हैं।  $\alpha$ -कुंडलिनी में हाइड्रोजन आबंध अक्ष के समान्तर होते हैं जबकि  $\beta$ -शीटों में हाइड्रोजन आबंधों की दिशा पॉलीपेप्टाइड शृंखला की दिशा के लंबित होती है।
7. चतुष्क संरचनाएं नये नियंत्रणात्मक अथवा उत्प्रेरी प्रकार्यों को करने की क्षमता अर्जित करने योग्य होती हैं जो उनके बनाने वाली उपइकाइयों में नहीं होतीं। इससे प्रोटीन की स्थिरता भी बढ़ती है व इनमें किसी दूषित इकाई के कारण उत्पन्न दोष को सही करने की क्षमता भी होती है।

## इकाई 6 एंजाइम

### रूपरेखा

- 6.1 प्रस्तावना  
उद्देश्य
- 6.2 एंजाइमों के सामान्य अभिलक्षण  
रासायनिक प्रकृति  
उत्प्रेरी दक्षता  
क्रियात्मक विशिष्टता  
एंजाइम सक्रियता का नियमन
- 6.3 एंजाइमों का वर्गीकरण
- 6.4 एंजाइम क्रिया की क्रियाविधि  
रासायनिक अभिक्रियाओं का सक्रमण अवस्थावाद  
एंजाइम सक्रियण ऊर्जा को किस प्रकार कम करते हैं ?
- 6.5 एंजाइम बलगतिकी  
क्रियाधार की सांद्रता  
pH का प्रभाव  
तापमान का प्रभाव  
एंजाइम संदमन
- 6.6 एंजाइम सक्रियता का नियमन  
क्रियाधार अथवा उत्पाद द्वारा नियमन  
एन्जेनेटिक नियमन  
एंजाइम के व्युत्क्रमी सहसंयोजक रूपांतरण द्वारा नियमन
- 6.7 तन-एंजाइम
- 6.8 सनात्थ विज्ञान में एंजाइम
- 6.9 सारांश
- 6.10 अंत में कुछ प्रश्न
- 6.11 उत्तर

### 6.1 प्रस्तावना

इकाई 5 में आपने जैव अणुओं के महत्वपूर्ण वर्ग, प्रोटीनों का अध्ययन किया। प्रोटीनों द्वारा किए जाने वाले कार्यों की विभिन्नता जीवन के लिए अत्यन्त महत्वपूर्ण है और इसमें कोई संदेह नहीं कि इन कार्यों में से सबसे महत्वपूर्ण कार्य प्रोटीनों का वह समूह करता है जिन्हें एंजाइम कहते हैं। एंजाइम एक जैविक उत्प्रेरक होता है व जैव रासायनिक अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित करता है। जीवित कोशिकाएं, जिनका विवरण इस पाठ्यक्रम की इकाई 1 में दिया गया है, अपनी व जीव की उत्तरजीविता के लिए इस प्रकार की कई जैव रासायनिक अभिक्रियाओं पर निर्भर करती हैं। चूंकि प्रत्येक जैव रासायनिक अभिक्रिया के लिए अलग-अलग एंजाइम की आवश्यकता होती है इसलिए कोशिका में विभिन्न प्रकार के एंजाइमों की एक बड़ी संख्या होती है। समन्वित रूप से कार्य करते हुए एंजाइम विभिन्न जैव रासायनिक अभिक्रियाओं की गति व दिशा नियंत्रित करते हैं। इस प्रकार एंजाइमों व उनके गुणों को समझना उपापचय (metabolism) के समझने में सहायक होगा जिसकी चर्चा हम खंड 3 में करेंगे। इस इकाई में हम एंजाइमों का अध्ययन करेंगे व जीवित कोशिका में उनके कार्य को समझने का प्रयास करेंगे। इसके अलावा आप यह भी सीखेंगे कि कई एंजाइमों के उचित रूप से कार्य करने में अन्य अप्रोटीनीय कार्बनिक अणुओं अथवा धात्विक आयनों का भी योगदान होता है। इन्हें सहकारक (cofactors) कहते हैं। कुछ विटामिन व खनिज भी इन जैव उत्प्रेरकों के लिए सह एंजाइम/सहकारक का कार्य करते हैं। अधिकतर विटामिन व खनिज मूलतः कोशिका की उचित क्रिया, वृद्धि या प्रजनन को बनाए रखने का कार्य करते हैं। विटामिनो व खनिजों की चर्चा हम इकाई 7 में करेंगे।

### उद्देश्य

इस इकाई के अध्ययन के बाद आप :

1. एंजाइमों के जैविक महत्व तथा उनके सामान्य अभिलक्षणों का वर्णन कर सकेंगे,
2. जैव रासायनिक क्रिया के आधार पर एंजाइमों को छह मुख्य वर्गों में वर्गीकृत कर सकेंगे,
3. भौतिक-रासायनिक पदों के माध्यम से एंजाइम अभिक्रिया की क्रियाविधि की व्याख्या कर सकेंगे,

आपको पता होगा कि एंजाइम मोलिक्यूल प्रोटीन होते हैं यद्यपि वे अन्य प्रोटीनों से भिन्न हैं क्योंकि यह जैव उत्प्रेरक का कार्य करते हैं।

- अभिक्रिया दर पर क्रियाधार व एंजाइम की सांद्रता तथा pH व तापमान के प्रभाव का वर्णन कर सकेंगे,
- स्पर्धात्मक व अस्पर्धात्मक संदमन के बीच अंतर बता सकेंगे,
- एंजाइम नियमन की विभिन्न क्रियाविधियों की व्याख्या कर सकेंगे,
- सम-एंजाइमों को परिभाषित कर सकेंगे, तथा
- स्वास्थ्य विज्ञान में एंजाइमों के महत्व का वर्णन कर सकेंगे।

## 6.2 एंजाइमों के सामान्य अभिलक्षण

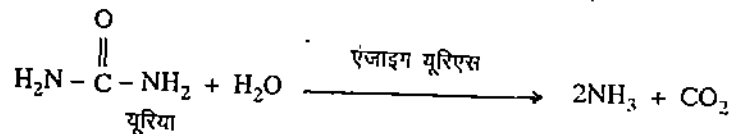
जैव निकायों में होने वाली सभी एंजाइम उत्प्रेरित अभिक्रियाओं को सम्मिलित रूप में उपापचयी अभिक्रियाएं कहते हैं। उपापचय में उपापचयी (anabolic) तथा अपचयी (catabolic) अभिक्रियाएं होती हैं। अपचयी अभिक्रियाओं में बड़े अणु खंडित होकर छोटे उत्पाद व ऊर्जा देते हैं जबकि उपापचयी अभिक्रियाओं में कोशिकाएं ऊर्जा का उपयोग करके वृद्धि तथा अन्य कार्यों के लिए आवश्यक अणु बनाती हैं। यह दोनों प्रकार की अभिक्रियाएं कोशिका में लगातार होती रहती हैं।

एंजाइम, प्रोटीनों का एक विशिष्ट वर्ग होते हैं और जैसा पहले बताया गया है यह उपापचय अभिक्रियाओं में जैव उत्प्रेरक का कार्य करते हैं। यह जीवों में होने वाली अधिकतर क्रियाओं के लिए उत्तरदायी हैं तथा अब तक दो हजार से अधिक एंजाइमों को पहचाना जा चुका है। यद्यपि एंजाइम जीवन के अनुरक्षण में उपयोगी हैं कुछ एंजाइमों का चिकित्सात्मक व व्यावसायिक उपयोग भी होता है। उदाहरण के लिए रक्त में एक विशिष्ट एंजाइम का स्तर हृदय रोग में हृदय की मांसपेशियों में हुई हानि के बारे में जानकारी देता है। व्यावसायिक तौर पर एंजाइमों का उपयोग सदियों से होता आ रहा है जैसे कि ऐल्कोहॉली पेय बनाने के लिए किण्वन (fermentation) की प्रक्रिया में।

अब हम एंजाइमों के कुछ अभिलक्षणों का वर्णन करेंगे तथा इस इकाई में इस्तेमाल होने वाले कुछ पदों की व्याख्या करेंगे।

### 6.2.1 रासायनिक प्रकृति

बहुत समय तक यही समझा जाता रहा कि एंजाइम जीवित जीव की अविकल कोशिकीय संरचना का ही एक हिस्सा होते हैं। लेकिन सन् 1897 में बुक्नर ने दर्शाया कि एंजाइम जीवित कोशिकाओं द्वारा उत्पन्न किए जाने वाले कार्बनिक पदार्थ होते हैं व उनकी उत्प्रेरी सक्रियता के लिए अविकल कोशिकीय संरचना का होना आवश्यक नहीं होता है। लगभग तीस वर्ष उपरांत सुमनर ने एंजाइमों की सही रासायनिक प्रकृति का प्रतिस्थापन किया। उसने दर्शाया कि यूरिया के जलापघटन को उत्प्रेरित करने वाले एंजाइम, यूरिएस का क्रिस्टलीकरण किया जा सकता है तथा यह प्रोटीनों के गुणों को दर्शाता है।



राइबोन्यूक्लियस, राइबोन्यूक्लीक अम्ल के विघटन को उत्प्रेरित करता है

लाइसोज़ाइम वह एंजाइम है जो बैक्टीरिया की कोशिका भित्ति को निम्नीकृत (degrade) करता है।

वर्णिकरण की एक विधि के अनुसार प्रोटीनों को दो मुख्य वर्गों में बांटा जा सकता है। इसके अनुसार सरल प्रोटीन वह होती हैं जिनके जल अपघटन द्वारा केवल ऐमीनो अम्ल ही प्राप्त होते हैं जबकि दूसरी प्रकार की प्रोटीनों के जल अपघटन द्वारा ऐमीनो अम्ल के साथ-साथ अन्य कार्बनिक अथवा अकार्बनिक पदार्थ प्राप्त होते हैं। उन्हें संयुग्मित प्रोटीन कहते हैं।

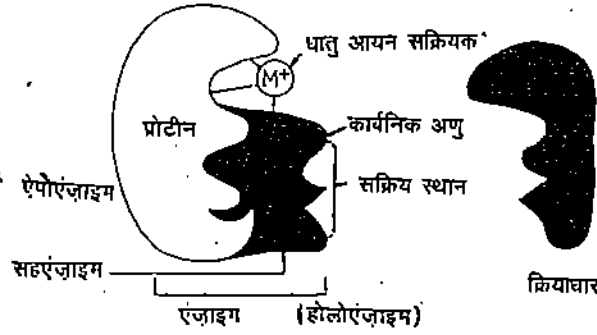
एंजाइम सहकारकों के विषय में अधिक जानकारी आभू इकाई 7 में प्राप्त करेंगे।

नॉरथाप तथा कुनिट्ज ने कई एंजाइमों के क्रिस्टलीकरण व उनकी प्रोटीनीय प्रकृति के प्रतिस्थापन द्वारा इसकी पुष्टि की। सन् 1960 में स्टाइन तथा मूर की प्रयोगशालाओं में एंजाइम राइबोन्यूक्लियस के रसायन को उसके ऐमीनो अम्ल अनुक्रम के निर्धारण द्वारा प्रतिस्थापित किया गया। इसके कुछ वर्षों बाद मेरीफील्ड ने सन् 1969 में ज्ञात ऐमीनो अम्ल अनुक्रम के आधार पर राइबोन्यूक्लियस नामक एंजाइम का पूर्ण संश्लेषण किया। इससे यह सिद्ध हो गया कि एंजाइम अन्य अजैविक रासायनों के समान ही होते हैं। एंजाइम के रसायन की पूर्ण जानकारी फिलिप्स (1965) के कार्य से प्राप्त हुई जिसने लाइसोज़ाइम की त्रिआयामी संरचना का पता लगाया। इस जानकारी के आधार पर फिलिप्स तथा उनके साथियों ने लाइसोज़ाइम की उत्प्रेरी प्रक्रिया के लिए रासायनिक क्रियाविधि प्रतिपादित की। तब ऐसा पहली बार हुआ था। आजकल कई एंजाइमों का प्राथमिक ऐमीनो अम्ल अनुक्रम तथा उनकी त्रिआयामी संरचना ज्ञात है। इससे एंजाइमों की संरचना, प्रकार्य, नियमन तथा विकास को नियंत्रित करने वाले लक्षणों के बारे में पता चला है।

एंजाइमों की संरचना में बहुत विविधता पाई जाती है। कई एंजाइम केवल प्रोटीन के अणु होते हैं। इसका तात्पर्य यह है कि प्रोटीन का अणु स्वयं उत्प्रेरक का कार्य कर सकता है। यद्यपि कई एंजाइमों को उत्प्रेरी प्रकार्य करने के लिए कुछ अप्रोटीन अणुओं की भी आवश्यकता होती है। इसके माने यह है कि यह एंजाइम संयुग्मित प्रोटीन के अणु होते हैं। आइए, पहले हम इस इकाई में इस्तेमाल किए गए कुछ पदों का अर्थ समझ लें। चित्र 6.1 में एंजाइम की संरचना व प्रकार्य से संबंधित इन पदों को दर्शाया गया है।

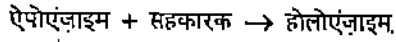
**ऐपोएंजाइम :** एंजाइम अणु के प्रोटीन हिस्से को ऐपोएंजाइम कहते हैं।

**सहकारक :** एंजाइम के अप्रोटीन हिस्से को सहकारक कहते हैं। मूलतः सहकारक, संयुग्मित प्रोटीन के अणुओं वाले एंजाइमों में उपस्थित एक अतिरिक्त रासायनिक समूह होता है। सहकारक,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  जैसे सरल धात्विक अणु अथवा निकोटिनामाइड एडेनिन डाइन्यूक्लियोटाइड जैसे जटिल कार्बनिक अणु हो सकते हैं। सहकारक की चाहे को प्रकृति ही यह एंजाइम की सक्रियता के लिए आवश्यक होते हैं।



चित्र 6.1 : एंजाइम का व्यवस्थात्मक निरूपण

**होलोएंजाइम :** ऐपोएंजाइम तथा सहकारक के संयोजन को होलोएंजाइम कहते हैं।



**सक्रियक :** यदि किसी एंजाइम का सहकारक धात्विक आयन हो, जैसे,  $Fe^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Zn^+$ , इत्यादि तब सहकारक सक्रियक कहलाता है।

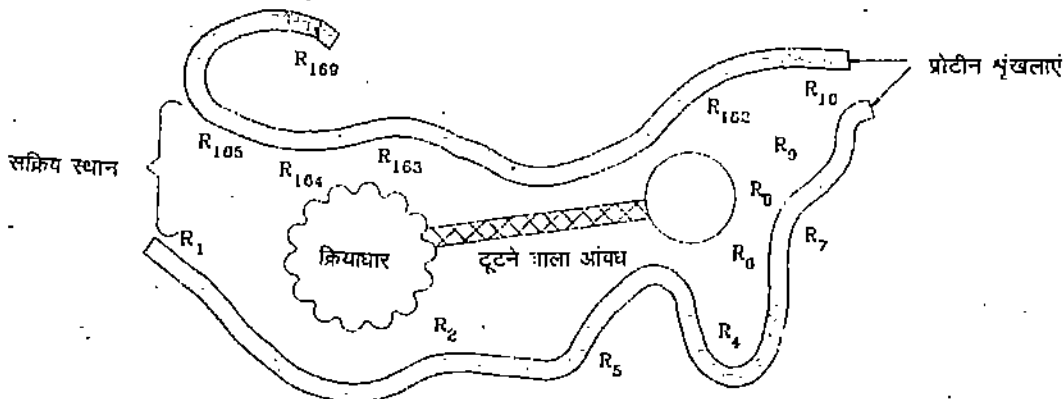
**सहएंजाइम :** जब किसी एंजाइम का सहकारक, अप्रोटीन कार्बनिक अणु होता है तब यह सहएंजाइम (coenzyme) कहलाता है। उदाहरण के लिए, B-समूह के विटामिन सहएंजाइम होते हैं, जो कोशिकीय प्रवसन के लिए आवश्यक होते हैं।

**प्रॉस्थेटिक समूह :** ऐपोएंजाइम से प्रवल रूप से जुड़े सहकारक को सामान्यतः प्रॉस्थेटिक समूह कहते हैं। यद्यपि यह संभव है कि किसी एंजाइम का प्रॉस्थेटिक समूह किसी अन्य एंजाइम के लिए केवल एक सहकारक ही हो।

**क्रियाधार :** वह रासायनिक पदार्थ जिसका रूपांतरण एंजाइम द्वारा उत्प्रेरित होता है उसका क्रियाधार कहलाता है। क्रियाधार के उत्प्रेरी रूपांतरण में पहले वह एंजाइम से जुड़ता है। फिर अभिक्रिया होती है जिसमें आबंधों का टूटना व बनना होता है। इसके परिणामस्वरूप उत्पाद प्राप्त होता है।

**सक्रिय स्थान :** एंजाइम का वह हिस्सा जहां पर उत्प्रेरी प्रक्रिया होती है, उसका सक्रिय स्थान कहलाता है। इस प्रकार अभिक्रिया के दौरान क्रियाधार एंजाइम के लिए विशिष्ट क्षेत्र से जुड़ता है। इसके अलावा अभिक्रिया का उत्प्रेरण व उत्पाद का विसर्जन भी इसी स्थान से होता है।

सक्रिय स्थान ऐमीनो अम्लों की कुछ पार्श्व शृंखलाओं का बना होता है। इनमें से कुछ को आबंधन समूह कहते हैं व अन्य उत्प्रेरी समूह कहलाते हैं। आबंधन पार्श्व शृंखलाएं क्रियाधार के विभिन्न अंशों से हाइड्रोजन आबंधों तथा स्थिर वैद्युत अथवा जलविरोधी अन्योन्यक्रियाओं द्वारा जुड़ सकती हैं। इस प्रकार आबंधन ऐमीनो अम्ल ध्रुवीय अथवा अध्रुवीय हो सकते हैं। यद्यपि उत्प्रेरी समूहों की ऐमीनो अम्ल पार्श्व शृंखलाएं केवल ध्रुवीय ही हो सकती हैं क्योंकि वह क्रियाधार की इलेक्ट्रॉनिक संरचना में परिवर्तन लाती हैं। यह रासायनिक रूपांतरण के लिए आवश्यक होता है। हम यहां पर यह बताना दें कि आबंधन प्रक्रिया में हिस्सा लेने वाली व उत्प्रेरी कार्य करने वाली पार्श्व शृंखलाओं में स्पष्ट अंतर करना संभव नहीं है। कुछ ऐमीनो अम्ल पार्श्व शृंखलाएं दोनों रूपों में कार्य कर सकती हैं। चित्र 6.2 में हमने सक्रिय स्थान का व्यवस्थात्मक निरूपण किया है।

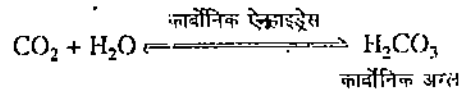


चित्र 6.2 : सक्रिय स्थान का व्यवस्थात्मक निरूपण। अंकित 'R' ऐमीनो अम्लों की प्रोटीन शृंखला की स्थिति को दर्शाते हैं।

अब हम एक एंजाइम की जैवउत्प्रेरक के रूप में कार्य करने की दक्षता का वर्णन करेंगे। आप यह भी सीखेंगे कि एंजाइमों में अत्यधिक उत्प्रेरी क्षमता होती है।

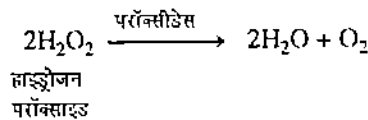
### 6.2.2 उत्प्रेरी दक्षता

जीवित कोशिका में एंजाइम अपना कार्य तापमान व pH की मध्यम परिस्थितियों में करते हैं। जीवित कोशिका में शरीरक्रियात्मक परिस्थितियों में एंजाइमों द्वारा उत्प्रेरित विभिन्न रासायनिक अभिक्रियाएँ कोशिका के बाहर, एंजाइम की अनुपस्थिति में शायद ही कभी हो पाएँ। उदाहरण के लिए, एंजाइमों की अनुपस्थिति में एक बार के भोजन के पचने में लगभग पचास वर्ष लग जायेंगे। एक दूसरा उदाहरण कार्बन डाइऑक्साइड की जल से व्युत्क्रमणीय अभिक्रिया द्वारा कार्बोनिक अम्ल का बनना है। यह अभिक्रिया कार्बोनिक ऐनहाइड्रेस नामक एंजाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है। यह एंजाइम अधिकतर उच्चतनों में पाया जाता है विशेषकर एरिथ्रोसाइटों (लाल रुधिर कणिकाएँ) में।



लाल रुधिर कणिकाओं में कार्बोनिक ऐनहाइड्रेस प्रचुर मात्रा में होता है। इनके द्वारा RBC, CO<sub>2</sub> को अवशोषित कर लेती है तथा फेफड़ों में ले जाती है जहाँ से यह शरीर के एक उत्पाद के रूप में निष्कासित हो जाती है।

इस अभिक्रिया की दर अत्यंत कम होती है परन्तु एंजाइम की उपस्थिति में यह लगभग 10<sup>7</sup> गुणा हो जाती है। एक अन्य अभिक्रिया जिसकी चर्चा हम यहां कर सकते हैं वह है हाइड्रोजन परॉक्साइड का ऑक्सीजन व जल में विघटन।



यह अभिक्रिया परॉक्सीडेस नामक एंजाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है। हाइड्रोजन परॉक्साइड कई जैविक उपचयनों में उप-उत्पाद के रूप में उत्पन्न होता है। यह अत्यंत विषैला होता है तथा इसका तुरंत विघटन होना आवश्यक होता है ताकि यह कोशिका के विभिन्न अवयवों को हानि न पहुँचा सके। ऐसा परॉक्सीडेस नामक एंजाइम की सहायता से होता है। इसकी उपस्थिति में अभिक्रिया की दर अनुत्प्रेरित अभिक्रिया की अपेक्षा 10<sup>10</sup> गुणा हो जाती है।

इस प्रकार यह स्पष्ट हो गया है कि एंजाइम अभिक्रिया की दर को अत्यधिक बढ़ा देते हैं और यह जैविक निकायों के लिए अत्यंत महत्वपूर्ण होता है। जहाँ कहीं भी तुलना संभव हुई है, एंजाइम की उपस्थिति में जैव रासायनिक अभिक्रियाओं की दर में 10<sup>4</sup> से 10<sup>14</sup> गुणा तक वृद्धि पाई गई है। सारणी 6.1 में एंजाइमों द्वारा अभिक्रिया की दर में वृद्धि के कुछ उदाहरण दिए गए हैं।

सारणी 6.1 : एंजाइमी व अएंजाइमी उत्प्रेरण की तुलना

क्रियाधार	उत्प्रेरक	तापमान (K)	अभिक्रिया स्थिरांक (mol dm <sup>-3</sup> ) <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>
ऐमाइड (जलापघटन)			
वेन्जामाइड	H <sup>+</sup>	325	2.4 × 10 <sup>-6</sup>
वेन्जामाइड	OH <sup>-</sup>	326	8.5 × 10 <sup>-6</sup>
वेन्जॉयल-L-टायरोसिनामाइड	α-काइमोट्रिप्सिन	298	14.9
यूरिया जलापघटन	H <sup>+</sup>	335	7.4 × 10 <sup>-7</sup>
	यूरिएस	294	5.0 × 10 <sup>6</sup>
हाइड्रोजन परॉक्साइड (विघटन)	Fe <sup>2+</sup>	295	56
	परॉक्सीडेस	295	3.5 × 10 <sup>7</sup>

अभिक्रिया दर में इस प्रकार की वृद्धि के लिए उत्तरदायी कारकों की चर्चा हम उपभाग 6.4 में करेंगे।

किसी एंजाइम की उत्प्रेरी दक्षता को उसकी टर्नओवर संख्या (turnover number) के रूप में व्यक्त किया जाता है। यह संख्या तापमान व pH की उपयुक्त परिस्थितियों में एंजाइम के एक अणु द्वारा इकाई समय में रूपांतरित क्रियाधार के अणुओं की संख्या को दर्शाती है। आप तापमान व pH की उपयुक्त परिस्थितियों के बारे में उपभाग 6.5 में पढ़ेंगे। सारणी 6.2 में कुछ एंजाइमों की टर्नओवर संख्या दी गई है। जैसा आप सारणी से देख सकते हैं, विभिन्न एंजाइमों की उत्प्रेरी दक्षता अलग-अलग होती है।

एंजाइम	टर्नओवर संख्या (sec <sup>-1</sup> )
कार्बोनिक ऐनहाइड्रेस	60,000
3-फीटोस्टीरॉयड आइसोमिरेस	28,000
ऐसीटाइल कॉलिनस्टीरेस	25,000
लेक्टेट डिहाइड्रोजेनेस	1,000
काइमोट्रिप्सिन	100
DNA पॉलीमिरेस	15

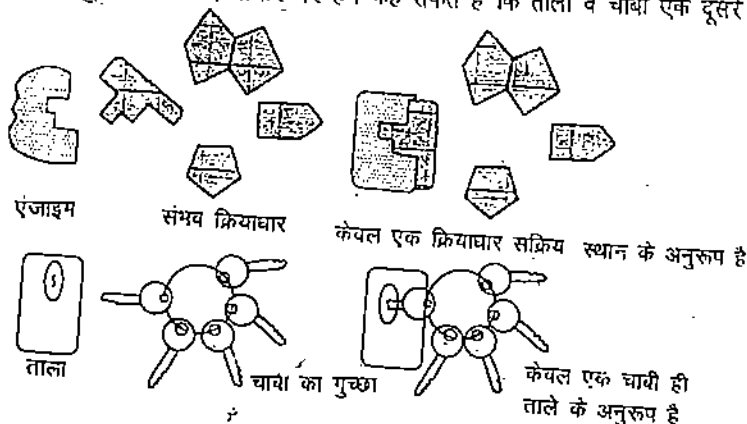
किसी विशिष्ट अभिक्रिया अथवा अभिक्रियाओं के वर्ग के विशेष क्रियाधारों पर अभिक्रिया करने के प्रति विशिष्टता दर्शाना एंजाइमी उत्प्रेरण का एक महत्वपूर्ण पहलू होता है। अगले उपभाग में आप एंजाइमी क्रिया की विशिष्टता के बारे में पढ़ेंगे।

### 6.2.3 क्रियात्मक विशिष्टता

एंजाइम अन्य अएंजाइमी उत्प्रेरकों से इस बात में भिन्न होते हैं कि यह क्रियाधार पर क्रिया करने में विशिष्टता दर्शाते हैं। एंजाइम क्रिया करने के लिए क्रियाधारों के प्रति तथा उत्प्रेरित करने के लिए अभिक्रिया के प्रकार के प्रति विशिष्टता दर्शाते हैं। इस प्रकार यदि कोई क्रियाधार दो अलग-अलग रासायनिक अभिक्रियाएं करता है तो उनके लिए दो अलग एंजाइम क्रिया करेंगे। शरीरक्रियात्मक दृष्टि से विशिष्टता किसी एंजाइम द्वारा कई क्रियाधारों के मिश्रण में से एक विशेष क्रियाधार को पहचान कर रूपांतरित करने की क्षमता को दर्शाती है। इस प्रकार, किसी क्रियाधार के प्रति एंजाइम की विशिष्टता में न केवल क्रियाधार व एंजाइम के बीच आवंध की प्रबलता अपितु उत्प्रेरित अभिक्रिया की दर भी सम्मिलित होती है।

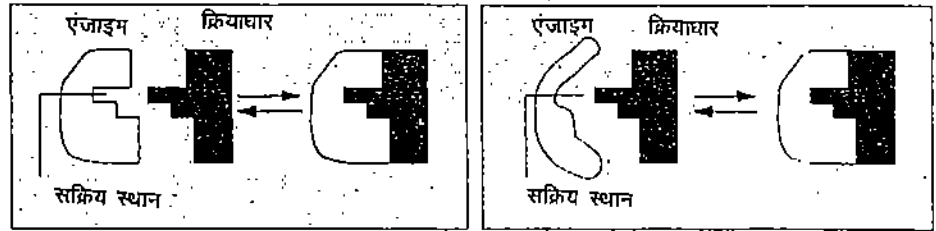
विशिष्टता का परिमाण अलग-अलग एंजाइमों में अलग-अलग होता है। कई एंजाइमों की विशिष्टता बहुत कम होती है इसलिए वह विविध प्रकार के क्रियाधारों पर क्रिया कर सकते हैं। इसके लिए यह आवश्यकता है कि क्रियाधार में एक विशेष प्रकार का आवंध उपस्थित हो जिस पर अभिक्रिया संभव हो जैसे कि पेप्टाइड आवंध, फॉस्फेट एस्टर आवंध अथवा कार्बोक्सिलिक एस्टर आवंध इत्यादि। यह एंजाइम निम्नीकारक प्रकार के होते हैं जैसे कि पेप्टिडेस, फॉस्फोटेस अथवा एस्टरस इत्यादि। यह सामान्यतः पाचन प्रक्रिया में हिस्सा लेते हैं जहां पर अतिविशिष्टता जीव की उपापचय व्यवस्था के लिए उपयुक्त नहीं होती है। कुछ अन्य एंजाइम मध्यम विशिष्टता दर्शाते हैं। ऐसे एंजाइम सामान्यतः समूहों के प्रति विशिष्टता दर्शाते हैं। उदाहरण के लिए, कार्बोपेप्टिडेस 'A', एक मुक्त कार्बोक्सिल समूह वाले C-टर्मिनल ऐमीनो अम्ल को निकालने के लिए विशिष्ट होता है। हैक्सोकाइनेस मध्यम विशिष्टता वाला एक अन्य एंजाइम है। यह विविध D-हैक्सोसिस के फॉस्फोरिलेशन को उत्प्रेरित करता है। ऊपर दिए गए एंजाइमों के अलावा कुछ एंजाइम ऐसे भी होते हैं जो अतिविशिष्टता दर्शाते हैं और किसी विशेष क्रियाधार पर ही क्रिया करते हैं। यूरेएस इस प्रकार के एंजाइमों का सबसे अच्छा उदाहरण है। यह केवल यूरिया पर ही क्रिया करता है। कई एंजाइमी अभिक्रियाएं त्रिविम रासायनिक विशिष्टता भी दर्शाती हैं। उदाहरण के लिए, D-ऐमीनो अम्ल ऑक्सीडेस केवल D-ऐमीनो अम्लों के लिए ही विशिष्ट होता है तथा यह L-ऐमीनो अम्लों को प्रभावित नहीं करता है। जैसा कि अपेक्षित है, जैव संश्लेषी एंजाइम अतिविशिष्ट होते हैं ताकि उपयुक्त गतिविधियां विशिष्ट दिशा में निर्देशित की जा सकें।

लगभग एक शताब्दी पहले, एमिल फिशर ने एंजाइम क्रियाधार अन्योन्यक्रिया की विशिष्टता की व्याख्या के लिए "ताला-चाबी" (lock and key) परिकल्पना को प्रतिपादित किया था। यद्यपि यह परिकल्पना अभी भी कुछ सीमा तक गान्य है, एंजाइम की क्रियाधार अथवा विघटनशील आवंध के प्रति विशिष्टता सक्रिय स्थान के आकार तथा उसके स्थलाकृतिक लक्षणों द्वारा निर्धारित होती है। इसके अलावा क्रियाधार से आवंधन व उत्प्रेरण में हिस्सा लेने वाले ऐमीनो अम्ल अवशिष्टों का उपयुक्त त्रिविम विन्यास भी विशिष्टता के निर्धारण में योगदान देते हैं। आधुनिक ज्ञान के आधार पर हम कह सकते हैं कि ताला व चाबी एक दूसरे के न केवल



अधिकतर एंजाइम केवल एक विशेष क्रियाधार के लिए विशिष्ट होते हैं। यह एक ताले के समान होता है जो केवल एक विशेष चाबी द्वारा ही खुलता है।

अनुरूप हों अपितु उनमें इतना लचीलापन होना चाहिए कि उनकी अनुरूपता अधिकतम हो सके। इस सिद्धांत को "प्रेरित अनुरूपता" (induced fit) का सिद्धांत कहते हैं। इसकी तुलना दस्ताने में घुसते हुए हाथ से की जा सकती है क्योंकि हाथ दस्ताने को अपने अनुरूप बना लेता है अर्थात् प्रेरित करता है। यद्यपि ऐसे में भी विशिष्टता रहती है क्योंकि बाएं हाथ का दस्ताना दाएं हाथ के अनुरूप नहीं होता है। चित्र 6.3 में हमने "ताला-चाबी" तथा "प्रेरित अनुरूपता" को चित्रात्मक रूप में दर्शाया है।



चित्र 6.3 : (क) ताला चाबी परिकल्पना में सक्रिय स्थान सुनिश्चित रूप से क्रियाधार अणु के अनुरूप होता है।

(ख) प्रेरित अनुरूपता सिद्धांत के अनुसार क्रियाधार को अपने पूरक आकार को ग्रहण करने के लिए सक्रिय स्थान को प्रेरित करता है।

### 6.2.4 एंजाइम सक्रियता का नियमन

लघु आयनों व लघु अणुओं द्वारा नियमन एंजाइमी उत्प्रेरण का एक दिलचस्प लक्षण है। यह आयन व अणु क्रियाधार, क्रियाधार अनुरूप (substrate analogue) अथवा क्रियाधार की संरचना से पूर्णतः असंबंधित पदार्थ हो सकते हैं। अनएंजाइमी उत्प्रेरकों में ऐसा नहीं होता है। यह नियमक (regulatory) अणु कई बार जैव संश्लेषी पद के अंत उत्पाद होते हैं तथा पथ के प्रारंभिक चरणों में कार्य करने वाले एंजाइमों का संदमन करते हैं। इस प्रकार वह स्वयं के बनने का नियमन करते हैं। यह एंजाइमों का एक सबसे आकर्षक गुण है इस गुण के आधार पर कोशिका की बदलती हुई परिस्थितियों के अनुरूप एंजाइम सक्रियता का नियमन किया जा सकता है। एंजाइमों के इस पहलू के बारे में आप उपभाग 6.6 में और जानकारी प्राप्त करेंगे।

#### बोध प्रश्न 1

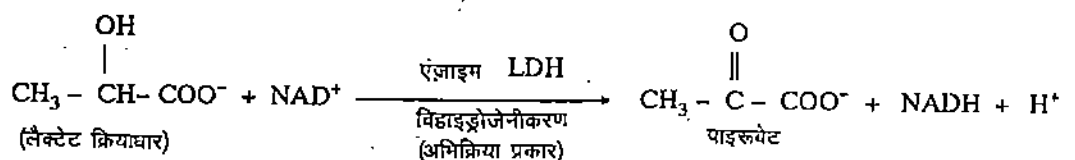
सही कथन को [✓] द्वारा चिह्नित कीजिए :

- क) यूरिया के जल अपघटन को उत्प्रेरित करने वाले एंजाइम, यूरिएस की प्रकृति अप्रोटीनीय होती है। [ ]
- ख) ऐपोएन्जाइम तथा सहकारक के संयोजन को होलोएन्जाइम कहते हैं। [ ]
- ग) किसी एन्जाइम की अपने क्रियाधार के प्रति विशिष्टता के लिए आबंधन की प्रबलता व उत्प्रेरण की दर दोनों उत्तरदायी होते हैं। [ ]
- घ) सभी एन्जाइम अपनी अभिक्रियाओं को एक समान दर से उत्प्रेरित करते हैं। [ ]

पिछले कुछ उपभागों में आपने प्रोटीनों के एक महत्वपूर्ण वर्ग, एंजाइमों के जैविक महत्व के बारे में पढ़ा, इसके बाद हमने इन जैव उत्प्रेरकों के सामान्य लक्षणों की चर्चा की तथा इस इकाई में इस्तेमाल होने वाले कुछ पदों को परिभाषित किया। अब अगले भाग में हम एंजाइमों के वर्गीकरण व नामपद्धति की संक्षिप्त चर्चा करेंगे।

## 6.3 एंजाइमों का वर्गीकरण

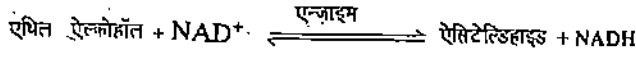
यद्यपि एंजाइमों के लिए नियमित नामों का उपयोग होता है, लेकिन कई बार उनको पहचानने के लिए साधारण/सामान्य नामों का उपयोग भी किया जाता है। एंजाइमों के साधारण नाम को व्युत्पन्न करने के लिए क्रियाधार तथा अभिक्रिया के प्रकार के नाम का उपयोग किया जाता है तथा अंत में प्रत्यय (suffix) ऐसा लगाया जाता है। उदाहरण के लिए लैक्टेट के पाइरूवेट में उपचयन में नजदीक के परमाणुओं से हाइड्रोजन के दो परमाणु निकलते हैं अर्थात् विहाइड्रोजेनीकरण (dehydrogenation) होता है। इस अभिक्रिया में निकोटिनामाइड ऐडेनिन डाइन्यूक्लियोटाइड (NAD<sup>+</sup>) नामक उपचायक का उपयोग होता है। इस अभिक्रिया को उत्प्रेरित करने वाले एंजाइम का नाम होगा लैक्टेट डिहाइड्रोजेनेस अथवा संक्षेप में LDH.



एंजाइमों को उनके द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रियाओं के प्रकार के आधार पर वर्गीकृत किया जाता है। हम एंजाइमों के 6 प्रमुख वर्गों का वर्णन करेंगे। यह वर्गीकरण एंजाइमों द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रिया के प्रकारों व जिन क्रियाधारों पर किया होती है, के आधार पर किया गया है। हम एंजाइमों के प्रत्येक वर्ग को उदाहरण सहित बतायेंगे।

### ऑक्सीडोरिडक्टेस

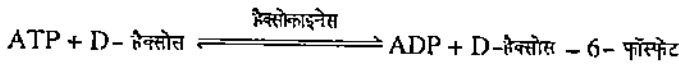
एंजाइमों का यह वर्ग शारीरिकीयात्मक उपचयन-अपचयन प्रक्रियाओं में हिस्सा लेता है, अर्थात्, यह इलेक्ट्रॉन के स्थानांतरण को उत्प्रेरित करते हैं। ऐल्कोहॉल : NAD ऑक्सीडोरिडक्टेस इस वर्ग का एक उदाहरण है। यह दर्शाता है कि ऐल्कोहॉल इलेक्ट्रॉन दाता तथा NAD<sup>+</sup> इलेक्ट्रॉन ग्राही का कार्य करता है।



यह एंजाइम अपने साधारण नाम, ऐल्कोहॉल डिहाइड्रोजेनेस द्वारा भी जाना जाता है। आप देखेंगे कि साधारण नाम अभिक्रिया करने वाले क्रियाधार का पूर्ण वर्णन नहीं करता है।

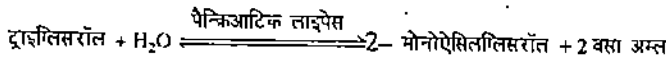
### ट्रांसफरेस

एंजाइमों का यह वर्ग रासायनिक समूह के एक क्रियाधार से दूसरे क्रियाधार पर स्थानांतरण को उत्प्रेरित करता है। ऐमीनो, मेथिल, ऐसिल, सल्फेट अथवा फॉस्फेट इत्यादि समूह स्थानांतरित हो सकते हैं। हैक्सोकाइनेस के नाम से जाना जाने वाला एंजाइम इस वर्ग का एक प्ररूपी उदाहरण है। ATP : D - हैक्सोस-6-फॉस्फो ट्रांसफरेस इस एंजाइम का नियमित नाम है। यह दर्शाता है कि ATP, फॉस्फेट समूह का दाता है व हैक्सोस इसका ग्राही है तथा हैक्सोस के कार्बन परमाणु संख्या 6 के हाइड्रॉक्सिल समूह पर फॉस्फेट समूह का स्थानांतरण होता है।



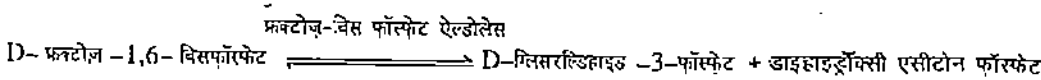
### हाइड्रोलेस

एंजाइमों की एक बड़ी संख्या जल अपघटनी अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित करती है। खाद्य पदार्थों का विभाजन करने वाले पाचक एंजाइम जैसे कि एमाइलेस, लूकेस, लाइपेस तथा सभी प्रोटीएस इत्यादि, इस वर्ग से संबंधित हैं। इस समूह का एक एंजाइम जो अपने साधारण नाम पैन्क्रियाटिक लाइपेस द्वारा जाना जाता है, लिपिडों को विभाजित करता है। ट्राइग्लिसरॉल ऐसिल हाइड्रोलेस इस एंजाइम का नियमित नाम है।



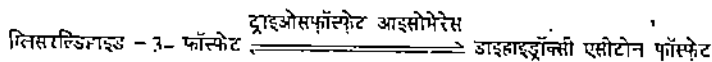
### लाइऐस

एंजाइमों का यह समूह जल अपघटन के बिना रासायनिक समूहों के विलोपन को उत्प्रेरित करता है। इसके परिणामस्वरूप एक द्विआबंध प्राप्त होता है। फ्रक्टोज-बिस-फॉस्फेट ऐल्डोलेस नामक साधारण नाम वाला एंजाइम इस वर्ग का एक उदाहरण है। D - फ्रक्टोज - 1,6- बिसफॉस्फेट D-ग्लिसराल्डिहाइड 3-फॉस्फेट-लाइऐस इस एंजाइम का नियमित नाम है। यह दर्शाता है कि D - फ्रक्टोज-1,6- बिसफॉस्फेट क्रिया करके उत्पाद के रूप में D - ग्लिसराल्डिहाइड-3-फॉस्फेट देता है।



### आइसोमरेस

इस वर्ग के एंजाइम समावयवीकरण अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित करते हैं। रेसीमेस, एपीमिरेस तथा म्यूटेस इस वर्ग के एंजाइम होते हैं। साधारण नाम वाले एंजाइम, ट्राइओसफॉस्फेट आइसोमरेस का नियमित नाम है, D-ग्लिसराल्डिहाइड 3-फॉस्फेट कीटॉल-आइसोमरेस। यह दर्शाता है कि D-ग्लिसराल्डिहाइड 3-फॉस्फेट नामक ऐल्डोस अपने समावयवी कीटोस में परिवर्तित होता है। यह कीटोस डाइहाइड्रॉक्सीऐसीटोन फॉस्फेट कहलाता है।



### लाइगेस/सिन्थेटेस

इस वर्ग के एंजाइम उच्च ऊर्जा आवंध के जल अपघटन से प्राप्त ऊर्जा की कीमत पर दो अणुओं को एक साथ जोड़ने का कार्य करते हैं। आइसोल्याूसिल - tRNA सिन्थेटेस नामक एंजाइम का नियमित नाम

पैन्क्रियाटिक लाइपेस, प्राथमिक ऐसिल समूहों के जलअपघटन के लिए लगभग विशिष्ट ही है। यह ट्राइऐसिलग्लिसरॉल के C-1 तथा C-3 वाले ऐसिल समूहों पर क्रिया करता है। इसके परिणामस्वरूप 2-मोनोऐसिलग्लिसरॉल इस अभिक्रिया के मुख्य अंतः उत्पाद होते हैं।



L- आइसोत्वूसिन : tRNA<sup>Leu</sup> लाइसेस (AMP बनाने वाला) होता है। यह दर्शाता है कि L- आइसोत्वूसिन, आइसोत्वूसिन-विशिष्ट tRNA से जुड़ता है तथा इस प्रक्रिया में ATP के जल अपघटन से AMP तथा पाइरोफॉस्फेट प्राप्त होता है।



एंजाइमों के एक अन्य वर्गीकरण में उन्हें सांकेतिक संख्या दी जाती है। इस संख्या के चार हिस्से होते हैं। इसके पहले हिस्से की संख्या उत्प्रेरित अभिक्रिया का प्रकार दर्शाती है जो ऊपर दिए गए वर्गीकरण के अनुरूप होता है। दूसरी संख्या उपवर्ग बताती है जो अभिक्रिया में हिस्सा लेने वाले क्रियाधार अथवा उस आवंध को दर्शाती है जिस पर अभिक्रिया होती है। तीसरी संख्या उप उपवर्ग को दर्शाती है जो उत्प्रेरित अभिक्रिया की सही-सही जानकारी देती है जैसे कि इलेक्ट्रॉनग्राही की प्रकृति क्या है ? अथवा किस प्रकार का रासायनिक समूह निकल रहा है ? इत्यादि। चौथी व अंतिम संख्या उस उपवर्ग में एंजाइम का अनुक्रमांक बताती है। उदाहरण के लिए, लैक्टेट डिहाइड्रोजेनेस की सांकेतिक संख्या 1.1.1.27 है जबकि हैक्सोकाइनेस के लिए यह 2.7.1.1 होती है।

आप देखेंगे कि यद्यपि नियमित नाम एंजाइम का सही-सही वर्णन करता है परन्तु यह नाम रोजमर्रा के इस्तेमाल के लिए उपयुक्त नहीं है। इसलिए पुराने साधारण/सामान्य नामों का उपयोग जैवरासायनिक साहित्य में अभी भी किया जाता है।

**बोध प्रश्न 2**

निम्नलिखित एंजाइमों में से हाइड्रोजेनेस को पहचानिए। उपयुक्त उत्तर के सामने [✓] चिन्ह लगाइए।

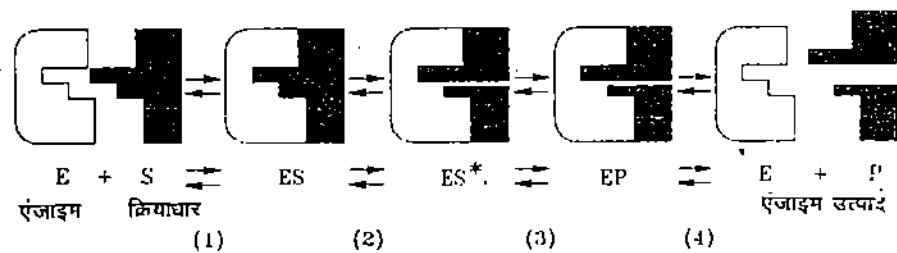
- (क) यूरिएस [ ]
- (ख) LDH [ ]
- (ग) ऐल्कोहॉल डिहाइड्रोजेनेस [ ]
- (घ) ऐमाइलेस [ ]

आइए अब हम यह देखें कि एंजाइम किस प्रकार अभिक्रिया की दर को बढ़ाते हैं। हम एंजाइम की उत्प्रेरी क्षमता में योगदान करने वाले विभिन्न भौतिक रासायनिक कारकों का संक्षिप्त वर्णन करेंगे।

**6.4 एंजाइम क्रिया की क्रियाविधि**

भाग 6.6.2 में आपने एंजाइमों की अत्यधिक उत्प्रेरी क्षमता के बारे में पढ़ा। आपने देखा कि वह रासायनिक अभिक्रिया की दर को अत्यधिक बढ़ा देते हैं। इस भाग में हम एंजाइम क्रिया की क्रियाविधि को समझने का प्रयास करेंगे। अगले भाग में आप एंजाइमी अभिक्रियाओं की दरों को प्रभावित करने वाले कारकों के बारे में जानकारी प्राप्त करेंगे।

सामान्यतः एंजाइम उत्प्रेरित अभिक्रियाएं कई चरणों में होती हैं, जैसा कि चित्र 6.4 में दर्शाया गया है।

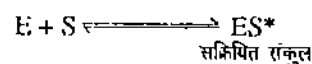


चित्र 6.4 : एंजाइम उत्प्रेरण के विभिन्न चरणों का चित्रात्मक निरूपण

पहले चरण में क्रियाधार (S), एंजाइम (E) की सतह से जुड़ जाता है तथा एक एंजाइम-क्रियाधार संकुल (ES) बनाता है।



संकुल बनाने के बाद क्रियाधार सक्रिय हो जाता है तथा इसके आवंध धुवित हो जाते हैं।



इसके बाद सक्रियित संकुल में रासायनिक परिवर्तन द्वारा एंजाइम-उत्पाद संकुल बन जाता है।

एंजाइम



अंतिम चरण में उत्पाद संकुल से मुक्त हो जाते हैं व एंजाइम अभिक्रिया के लिए पुनः उपलब्ध हो जाता है।



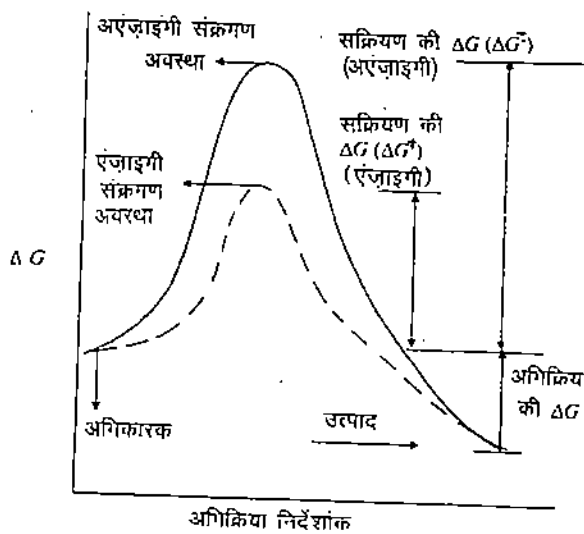
आपको ध्यान होगा कि हमने उपभाग 6.2.1 में बताया था कि उपरोक्त सभी पद एंजाइम की सतह अर्थात् सक्रिय स्थान पर होते हैं, जहां पर आवंधन समूह व उत्प्रेरी समूह, क्रियाधार के रूपांतरण में हिस्सा लेते हैं। सक्रियित संकुल का बनना एंजाइमी उत्प्रेरण का सबसे प्रमुख चरण होता है तथा एंजाइम व क्रियाधार के बीच की अन्योन्यक्रियाएं सामान्यतः असहसंयोजी प्रकार की होती हैं अर्थात्, स्थिर वैद्युत, जलविरोधी, हाइड्रोजन आवंधन इत्यादि। कई बार सहसंयोजक आवंधन बन जाता है फिर भी एंजाइम व क्रियाधार के बीच की अन्योन्यक्रिया दुर्बल ही होती है ताकि एंजाइम-उत्पाद संकुल आसानी से टूट कर उत्पाद को मुक्त व एंजाइम को पुनः उत्पन्न कर सके।

हम यहां पर दृढ़ता से कहना चाहेंगे कि एंजाइमों की उपस्थिति में अत्यधिक उच्च अभिक्रिया दरें होना कोई जादुई प्रक्रिया नहीं है अपितु इसे भौतिक व कार्वनिक रसायन के नियमों के द्वारा कम से कम गुणात्मक रूप में तो समझा ही जा सकता है। सामान्यतः यह माना जाता है कि एंजाइमी अभिक्रियाओं द्वारा क्रियाधार के रूपांतरण में नाभिकस्नेही, इलेक्ट्रॉनस्नेही, समांशान तथा पुनर्विन्यास अभिक्रियाएं भाग लेती हैं। इसके साथ-साथ एंजाइमी अभिक्रियाओं की दक्षता, की व्याख्या सामीप्य प्रभाव (proximity effect) तथा अभिविन्यास प्रभाव द्वारा की जा सकती है। यद्यपि दर की वढोतरी में प्रत्येक भौतिक रासायनिक कारकों का सही गुणात्मक योगदान अभी भी अनुमान का विषय ही है।

आइए अब हम एंजाइमों की उत्प्रेरी क्षमता को निर्धारित करने वाले नियमों की सरल रूप में चर्चा करें।

#### 6.4.1 रासायनिक अभिक्रियाओं का संक्रमण अवस्थावाद

कोई रासायनिक अभिक्रिया केवल तभी हो सकती है यदि वह ऊष्मागतिक रूप से संभव हो। इसके माने यह है कि अभिकारक के उत्पाद में परिवर्तन से ऋणात्मक मुक्त ऊर्जा परिवर्तन होना चाहिए अर्थात्, दी गई परिस्थितियों में (उदाहरण के लिए, अभिकारकों तथा उत्पादों की सांद्रताओं)  $\Delta G$  का मान ऋणात्मक होना चाहिए (चित्र 6.5 देखिए)।

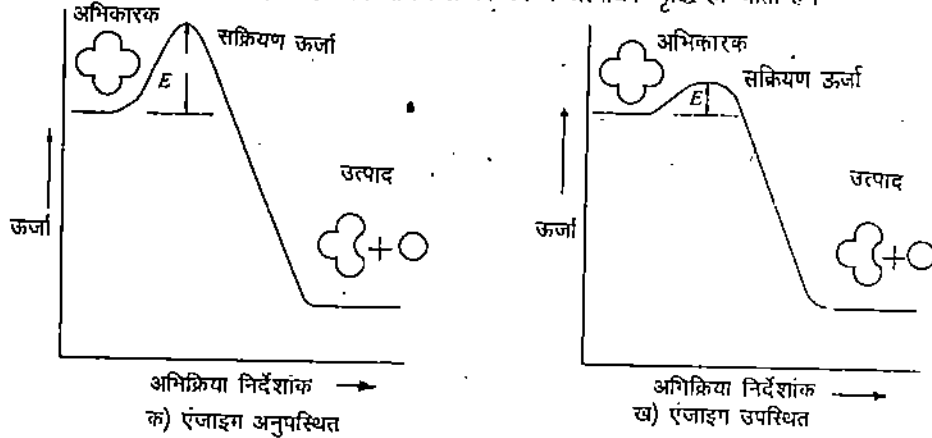


चित्र 6.5 : अभिक्रियाओं के उत्पादों में परिवर्तन की प्रक्रिया के समय मुक्त ऊर्जा के स्तर में परिवर्तन

अभिक्रिया निर्देशांक से यह स्पष्ट है कि उत्पादों में परिवर्तित होने के लिए अभिकारकों को मुक्त ऊर्जा की एक रोधिका को पार करना होता है। यह ऊर्जा रोधिका अभिक्रिया की सक्रियण ऊर्जा ( $E$ , activation energy) कहलाती है। इस अरेख में चोटी के स्थान के संगत आण्विक संरचना तथा संरूपण को संक्रमण अवस्था (transition state) कहते हैं। संक्रमण अवस्था में रासायनिक आवंध टूटने अथवा बनने की प्रक्रिया में होते हैं। इस प्रकार यह अवस्था अभिक्रिया के पथ की सर्वोच्च सक्रियित अवस्था होती है तथा इसीलिए यह सर्वाधिक अस्थिर भी होती है।

संक्रमण अवस्था की परिकल्पना अभिक्रिया की दर को सक्रियण की मुक्त ऊर्जा के रूप में व्यक्त करने में सहायक होती है। चूंकि संक्रमण अवस्था वाले अणु उत्पाद बनाते हैं इसलिए अभिक्रिया की दर संक्रमण अवस्था

में उपस्थित अणुओं की सांद्रता पर निर्भर करती है। अभिक्रिया की दर को बढ़ाने के लिए यह सांद्रता बढ़नी चाहिए और इसके लिए सक्रियण ऊर्जा कम होनी चाहिए (चित्र 6.6 देखिए)। ऐसा होने के लिए सक्रियण एन्थैल्पी ( $\Delta H^\ddagger$ ) कम होनी चाहिए अथवा सक्रियण एन्ट्रॉपी ( $\Delta S^\ddagger$ ) के मान में कमी होनी चाहिए। एंजाइमों की उपस्थिति में ठीक यही होता है और अभिक्रिया की दर में अत्यधिक वृद्धि हो जाती है।



चित्र 6.6 : एंजाइम का सक्रियण ऊर्जा पर प्रभाव। अभिकारक के अणुओं को उत्पादों में परिवर्तित होने के लिए ऊर्जा रोकिका को पार करना होता है।

चित्र 6.5 व 6.6 से यह स्पष्ट हो जाना चाहिए कि एंजाइम केवल सक्रियण की मुक्त ऊर्जा को कम करते हैं ताकि अभिकारक के अधिक से अधिक अणु ऊर्जा रोकिका को पार कर उत्पाद दे सकें। इस प्रकार एंजाइम अभिक्रिया की मुक्त ऊर्जा से संबंधित साम्य को प्रभावित नहीं करते अपितु वह केवल साम्य को प्राप्त करने की दर को बढ़ाते हैं।

अब हम गुणात्मक रूप में यह देखेंगे कि एंजाइम सक्रियण ऊर्जा को किस प्रकार कम करते हैं।

#### 6.4.2 एंजाइमों द्वारा सक्रियण ऊर्जा को कम करना

रासायनिक अभिक्रिया अभिकारक के अणुओं के बीच अनियमित संघट्टनों के परिणामस्वरूप होती है। इसके माने यह है कि अभिक्रिया करने के लिए अभिकारकों को एक दूसरे के समीप आना पड़ता है। एंजाइम की अनुपस्थिति में ऐसा होने की संभावना कम होती है। यदि अभिकारकों में संघट्टन होता भी है तो भी अभिक्रिया अधिक नहीं होती क्योंकि अधिकतर संघट्टन प्रभावहीन होते हैं। केवल वही संघट्टन प्रभावी होते हैं व उत्पाद देते हैं जिनके अभिकारक अणुओं में पर्याप्त ऊर्जा होती है तथा जिनके अभिक्रिया में हिस्ता लेने वाले समूहों का एक दूसरे के प्रति उपयुक्त अभिविन्यास होता है। इस प्रकार के प्रभावी संघट्टनों की संभावना कम होती है। इसके अलावा समूहों के उपयुक्त विन्यास के कारण निकाय की एन्ट्रॉपी भी कम हो जाती है। एन्ट्रॉपी में यह कमी सक्रियण की मुक्त ऊर्जा को बढ़ा देती है। इस प्रकार हम एंजाइम की अनुपस्थिति में न्यून अभिक्रिया दर की व्याख्या कर सकते हैं।

दूसरी ओर एंजाइम में सक्रिय स्थान होता है जो अन्योन्यक्रिया करने वाले अणुओं को बांधता है व एक दूसरे के समीप लाता है जिससे अभिक्रिया संभव हो सके। इसे सामीप्य प्रभाव (proximity-effect) कहते हैं। इस प्रभाव के परिणामस्वरूप अभिक्रिया करने वाले अणुओं की अत्यधिक उच्च सांद्रता प्राप्त हो जाती है जिससे अभिक्रिया की दर में वृद्धि हो जाती है। यह एक प्रकार से संघट्टन की दर को बढ़ाने के समान है। इस प्रकार एंजाइम अभिक्रिया माध्यम में से क्रियाधारों को इकट्ठा करके उनके बीच संघट्टन करवाते हैं। एक ही अणु में अन्योन्यक्रिया करने वाले दो समूहों वाले मॉडल कार्बनिक यौगिकों को संश्लेषित करके एंजाइमों के सामीप्य प्रभाव का अनुहरण (mimicked) किया गया है। ऐसा दर्शाया गया है कि केवल इसी प्रभाव के कारण अभिक्रिया में लगभग  $10^4$  गुणा वृद्धि हो सकती है।

उपयोगी संघट्टन की एक अन्य आवश्यकता, नामतः अभिक्रिया करने वाले समूहों का उपयुक्त अभिविन्यास, भी एंजाइमों द्वारा उपलब्ध कराई जा सकती है। एंजाइम का सक्रिय स्थान आबंधन समूहों की सहायता से अन्योन्यक्रिया करने वाले अणुओं को एक दूसरे के प्रति उपयुक्त अभिविन्यास में रख सकता है। इसे अभिविन्यास प्रभाव (orientation effect) कहते हैं। इस प्रकार सक्रिय स्थान पर क्रियाधार का अभिविन्यास अभिक्रिया के लिए उपयुक्त तरीके से होता है। इस प्रभाव का भी अनुहरण किया जा चुका है व यह पाया गया है कि इसके द्वारा भी अभिक्रिया की दर में लगभग  $10^4$  गुणा वृद्धि हो सकती है। इस प्रकार एंजाइमी उत्प्रेरण में सामीप्य व अभिविन्यास प्रभावों के द्वारा ही लगभग  $10^8$  गुणा संवृद्धि संभव है।

इन प्रभावों की सहायता से एंजाइम, अएंजाइमी अभिक्रियाओं के लक्षण, प्रतिकूल एन्ट्रॉपी रोकिका को पार पाने में समर्थ होते हैं। सक्रिय स्थान पर होने वाली एंजाइमी-क्रियाधार अन्योन्यक्रियाओं से उत्पन्न आबंध ऊर्जा की कीमत पर एंजाइम एन्ट्रॉपी की हानि को पार पा सकते हैं। इस प्रकार यह समझना आसान है कि एंजाइम किस प्रकार अभिक्रिया की सक्रियण ऊर्जा को कम करते हैं।

एंजाइमी उत्प्रेरण में योगदान देने वाला एक अन्य कारक है "प्रेरित अनुरूपता" (induced fit) जिसकी चर्चा हमने उपभाग 6.2.3 में की थी। इसके अनुसार एंजाइम-क्रियाधार संकुल के बनने पर एंजाइम व क्रियाधार, दोनों के संरूपण में परिवर्तन होता है। क्रियाधार में होने वाले इस संरूपण परिवर्तन के परिणामस्वरूप इसके बंधक कोणों व आवंध आयामों के विरूपण के रूप में तनाव (strain) उत्पन्न हो जाता है। इस तनाव के कारण क्रियाधार, संक्रमण अवस्था के समान हो जाता है जिससे क्रियाधार को उसके उत्पादों में परिवर्तित करने की सक्रियण ऊर्जा कम हो जाती है। हम यहां यह बताना चाहेंगे कि तनाव की परिस्थितियों में क्रियाधार की अभिक्रिया दर लगभग  $10^8$  गुणा तक बढ़ सकती है।

अंत में, सक्रिय स्थान के उत्प्रेरी समूह भी दर की संवृद्धि में योगदान देते हैं। आपको ध्यान होगा कि कई कार्बनिक अभिक्रियाएं  $H^+$  अथवा  $OH^-$  द्वारा उत्प्रेरित होती हैं यद्यपि, आमाशयी स्राव के अपवाद को छोड़ कर, जैविक माध्यम में इन आयनों की सांद्रता अत्यधिक कम होती है। एंजाइम के सक्रिय स्थान पर उत्प्रेरी समूहों का कार्य करने वाले अम्लीय व क्षारकीय समूह प्रोटॉन दाता अथवा प्रोटॉनग्राही के रूप में कार्य कर सकते हैं। इस प्रकार यह प्रभावी तरीके से जैव रासायनिक अभिक्रिया को उत्प्रेरित कर सकते हैं क्योंकि इन सबका सम्मिलित प्रभाव अंजाइमी अभिक्रिया में कभी-कभी अम्लीय व क्षारकीय समूह से टकराने की अपेक्षा बहुत अधिक हो सकता है।

हम संक्षेप में कह सकते हैं कि एंजाइम अत्यधिक प्रभावी उत्प्रेरक होते हैं क्योंकि यह अन्योन्यक्रिया करने वाले अणुओं को उपयुक्त अभिविन्यास में एक दूसरे के समीप ला सकते हैं। इसके अलावा सक्रिय स्थान पर उपस्थित समूह स्थानीय तौर पर प्रोटॉन दाताओं अथवा प्रोटॉन ग्राहियों की उच्च सांद्रता उपलब्ध करा सकते हैं। यह समूह अभिक्रिया को करवाने के लिए उपयुक्त स्थिति में भी होते हैं।

आप एंजाइमों के बारे में अपनी समझ को निम्न बोध प्रश्न हल करके परख सकते हैं।

### बोध प्रश्न 3

उपयुक्त शब्दों द्वारा निम्नलिखित रिक्त स्थान पूर्ण कीजिए।

- एंजाइम किसी अभिक्रिया में साम्य अवस्था प्राप्त करने की दर को \_\_\_\_\_ हैं।
- एंजाइम अभिक्रिया की सक्रियण ऊर्जा को \_\_\_\_\_ करते हैं।
- एंजाइम रासायनिक अभिक्रिया की एन्ट्रॉपी रोधिका को \_\_\_\_\_ तथा \_\_\_\_\_ प्रभावों द्वारा पार करते हैं।
- \_\_\_\_\_ अवस्था में रासायनिक आवंध बनने व टूटने की प्रक्रिया में होते हैं।

इस भाग में हमने एंजाइमों द्वारा दर संवृद्धि करने की व्याख्या की। अब आप एंजाइमी अभिक्रियाओं की बलगतिकी का अध्ययन करेंगे। इसमें हम एंजाइमी अभिक्रियाओं की दर को सीधे प्रभावित करने वाले कारकों की चर्चा करेंगे।

## 6.5 एंजाइम बलगतिकी

एंजाइम बलगतिकी, एंजाइमी अभिक्रियाओं की दरों व इन्हें प्रभावित करने वाले विभिन्न प्राचलों (parameters) जैसे कि क्रियाधार की सांद्रता, एंजाइम की सांद्रता, pH, तापमान तथा संदमकों अथवा सक्रियकों के रूप में कार्य करने वाले पदार्थों की उपस्थिति इत्यादि से संबंधित है। एंजाइम बलगतिकी का अध्ययन इसलिए महत्वपूर्ण है क्योंकि यह एंजाइम क्रिया की क्रियाविधि पर प्रकाश डालती है। ऐसा अध्ययन हमें कोशिकीय वातावरण में एंजाइम के व्यवहार की जानकारी देता है तथा इसके साथ-साथ यह जीवों के पास, एंजाइम सक्रियता को नियंत्रित करने के लिए उपलब्ध नियमन क्रियाविधियों के बारे में भी संकेत देता है।

इससे पहले कि हम अभिक्रिया की दर को प्रभावित करने वाले कारकों का वर्णन करें आइए हम संक्षेप में देखें कि अभिक्रिया दर का मापन किस प्रकार किया जाता है।

### एंजाइमों की अभिक्रिया दरों का मापन

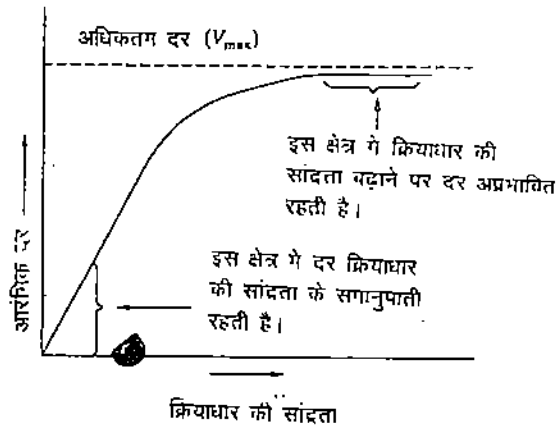
एंजाइमी अभिक्रिया के दौरान होने वाले रासायनिक परिवर्तन की समय पर निर्भरता को मॉनीटर करके एंजाइम की सक्रियता को मापा जा सकता है। उपयुक्त परिस्थितियों में एंजाइम का क्रियाधार के साथ उष्मायन (incubation) किया जाता है। अभिक्रिया की प्रगति के साथ-साथ क्रियाधार लुप्त होता जाता है व नया उत्पाद प्राप्त होता है। अभिक्रिया मिश्रण में से छोटे-छोटे अंशभागजियों (aliquots) को निकाल कर व उत्पाद के नष्ट होने अथवा क्रियाधार के लुप्त होने के रूप में उनके विश्लेषण द्वारा इन परिवर्तनों को मॉनीटर किया जाता है। कई बार उष्मायन मिश्रण पर सीधे-सीधे मापन किया जा सकता है। ऐसे में अंशभागजियों का निकालना आवश्यक नहीं होता है। उदाहरण के लिए, कई अपोपचय अभिक्रियाओं जिनमें NAD अथवा NADP लेक्ट्रॉन-ग्राही का कार्य करते हैं, की अभिक्रिया प्रगति को NAD (या NADP) के अपचयित उत्पाद NADH या NADPH को मॉनीटर करके देखा जा सकता है। यह उत्पाद 340 nm के प्रकाश को अवशोषित करते हैं। इसी नियम के आधार पर अन्य कई एंजाइम उत्प्रेरित अभिक्रियाओं को मॉनीटर किया जा सकता है। नमूने क्रियाधार अथवा उत्पाद का एक विशिष्ट अवशोषण स्पेक्ट्रम (absorption spectrum) होता है।

आइए अब देखें कि क्रियाधार की सांद्रता किस प्रकार जैव रासायनिक अभिक्रिया की दर को परिवर्तित करती है।

### 6.5.1 क्रियाधार की सांद्रता

अभिक्रिया की आरंभिक दर की परिस्थिति महत्वपूर्ण होती है क्योंकि ऐसे में उत्पाद की मात्रा अत्यंत कम होती है अन्यथा यह विपरीत अभिक्रिया द्वारा परिणामों को अटित बना सकती है।

क्रियाधार की सांद्रता का अभिक्रिया दर पर प्रभाव जानने हेतु हम सरलता के लिए एक एकल क्रियाधार की एंजाइम से अभिक्रिया को लेंगे। यदि हम एंजाइम को भी अभिकारक के रूप में लें तो यह दो रासायनिक पदार्थों के बीच अभिक्रिया के तुल्य होगा अर्थात् एंजाइम व क्रियाधार। यद्यपि एंजाइमी व अएंजाइमी निकायों में अभिक्रिया दर की अभिकारक सांद्रता पर निर्भरता के प्रति एक महत्वपूर्ण अंतर होता है। उदाहरण के लिए, यदि हम दो अभिकारकों 'क' व 'ख' के बीच अएंजाइमी अभिक्रिया करें जिसमें 'क' की सांद्रता स्थिर हो व 'ख' की सांद्रता में परिवर्तन किया जाए तो उत्पाद बनने की आरंभिक दर अभिकारक 'ख' की सांद्रता के समानुपाती होगी। दूसरी ओर यदि हम अभिक्रिया को कुछ इस प्रकार करें कि जिसमें एंजाइम की सांद्रता स्थिर रखी जाए व क्रियाधार की सांद्रता में परिवर्तन किया जाए तो ऐसे में अभिक्रिया की आरंभिक दर बढ़ती हुई क्रियाधार की सांद्रता पर हाइपरबोली तरीके से निर्भर करेगी। ऐसे में क्रियाधार की उच्च सांद्रता पर अभिक्रिया की दर सर्वाधिक मान पर पहुंच जाती है तथा क्रियाधार की सांद्रता को और अधिक बढ़ाने पर यह अपरिवर्तित रहती है। इसे चित्र 6.7 में दर्शाया गया है।



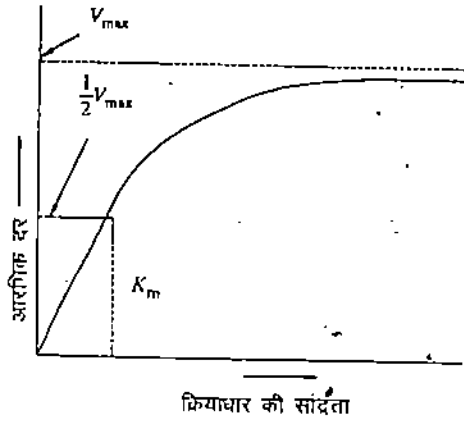
चित्र 6.7 : एंजाइम की सांद्रता को स्थिर रखते हुए अभिक्रिया दर का क्रियाधार की सांद्रता के अनुरूप परिवर्तन

अएंजाइमी निकायों के विपरीत एंजाइमी निकायों में अभिक्रिया दर के संतृप्त मान पर पहुंचने की व्याख्या कुछ इस प्रकार की जा सकती है। अएंजाइमी अभिक्रिया में अभिक्रिया की दर अभिकारकों के अणुओं के बीच होने वाले प्रभावी संघट्टनों पर निर्भर करती है। यदि एक अभिकारक की सांद्रता स्थिर हो तब इस प्रकार के प्रभावी संघट्टनों की संख्या दूसरे अभिकारक की सांद्रता के समानुपाती होगी। दूसरी ओर एंजाइमी अभिक्रिया में एंजाइम व क्रियाधार में प्रभावी संघट्टन द्वारा एंजाइम-क्रियाधार संकुल प्राप्त होता है जिसमें क्रियाधार दृढ़ता से एंजाइम के सक्रिय स्थान से जुड़ा होता है। यह संकुल टूट कर उत्पाद देता है व एंजाइम को मुक्त करता है। चूंकि सक्रिय स्थान की संख्या, एंजाइम की सांद्रता (जो कि स्थिर है) के कारण सीमित होती है, इसलिए अभिक्रिया की दर क्रियाधार की सांद्रता के साथ-साथ केवल तब तक बढ़ेगी जब तक यह सभी स्थान भर ना जाए। इन परिस्थितियों में निकाय अभिक्रिया की सर्वाधिक संभव दर दर्शाएगी। उनके उपरान्त अभिक्रिया की दर में और वृद्धि नहीं होगी।

चित्र 6.7 में अभिक्रिया दर की क्रियाधार की सांद्रता पर निर्भरता दर्शाने हुए वक्र का अकार हाइपरबोली है। माइकेलिस तथा मेन्टन ने पहले पहल सन् 1913 में एंजाइम अभिक्रियाओं के इस संबंध को पहचाना व इसे एक गणितीय सूत्र के रूप में व्यक्त किया। एंजाइम यतगतिकी के इस समीकरण को माइकेलिस - मेन्टन समीकरण कहते हैं।

$$\text{अभिक्रिया दर} = v = \frac{V_{\max} \times [S]}{[S] + K_m}$$

जहां पर [S] क्रियाधार की मोलर सांद्रता व  $V_{\max}$  एंजाइम की दी गई सांद्रता के लिए सर्वाधिक संभावित अभिक्रिया दर है।  $K_m$  को माइकेलिस स्थिरांक कहते हैं व यह क्रियाधार की सर्वाधिक सांद्रता के उत मान के बराबर होता है जिस पर एंजाइम उत्प्रेरित अभिक्रिया की आरंभिक दर सर्वाधिक दर ( $V_{\max}$ ) की आधी होती है, अर्थात्  $v = \frac{1}{2} V_{\max}$ । चित्र 6.8 द्वारा यह स्पष्ट हो जाता है।



चित्र 6.8 :  $K_m$  क्रियाधार की उस सांद्रता के बराबर है जो  $V_{max}$  के आधे के संगत आरंभिक दर देती है

उक्त समीकरण से यह स्पष्ट है कि अभिक्रिया की दर का सर्वाधिक मान तभी होगा जब  $[S]$  का मान अधिक होगा।

अब हम यह देखेंगे कि एंजाइम वलगतिकी में  $V_{max}$  तथा  $K_m$  का क्या महत्व है।

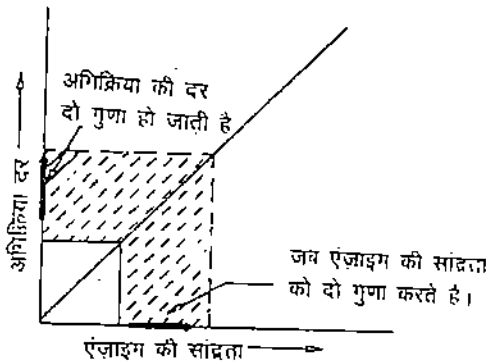
**$V_{max}$  का महत्व :**  $V_{max}$  पर एंजाइम के सभी अणु एंजाइम-क्रियाधार संकुल (ES) के रूप में होते हैं तथा क्रियाधार के उत्पाद में परिवर्तन को लगातार उत्प्रेरित करते हैं। इस प्रकार  $V_{max}$  पर एंजाइम पूर्ण रूप से संतृप्त होता है। यदि दो अलग-अलग एंजाइम एक ही अभिक्रिया को उत्प्रेरित करते हों तो उनकी एंजाइमी सक्रियता की तुलना उनके  $V_m$  के मान द्वारा की जा सकती है।

**$K_m$  का महत्व :**  $K_m$  जैसा कि हमने पहले बताया है,  $1/2 V_{max}$  पर क्रियाधार की सांद्रता के बराबर होता है। चूंकि  $V_{max}$  पर एंजाइम के सभी अणु एंजाइम-क्रियाधार संकुल के रूप में होते हैं इसलिए हम कह सकते हैं कि एंजाइम के आधे अणुओं को ES संकुल में परिवर्तित करने के लिए आवश्यक क्रियाधार की सांद्रता ( $K_m$ ) एक तरह से एंजाइम की क्रियाधार के प्रति बंधुता का मापक है।  $K_m$  का कम मान एंजाइम की क्रियाधार के प्रति उच्च बंधुता दर्शाता है क्योंकि क्रियाधार की कम सांद्रता से ही एंजाइम संतृप्त हो जाएगा। इसी प्रकार  $K_m$  के उच्च मान के माने हैं एंजाइम को संतृप्त करने के लिए क्रियाधार की उच्च सांद्रता की आवश्यकता, अर्थात्, एंजाइम की क्रियाधार के प्रति निम्न बंधुता होना।

आपने यह सीखा है कि क्रियाधार की सांद्रता बढ़ाने से एक सीमा तक अभिक्रिया की दर भी बढ़ती है जिसके बाद क्रियाधार की सांद्रता में बढ़ोतरी अभिक्रिया की दर को परिवर्तित नहीं करता है। अब हम एंजाइमी अभिक्रिया की वलगतिकी में एंजाइम की सांद्रता की भूमिका की चर्चा करेंगे।

### 6.5.2 एंजाइम की सांद्रता

एंजाइमी अभिक्रियाओं में एंजाइम की सांद्रता सामान्यतः क्रियाधार की सांद्रता की अपेक्षा कम होती है। इसलिए यदि शुद्ध एंजाइम का प्रयोग किया जाए व क्रियाधार की सांद्रता बहुत अधिक हो तब अभिक्रिया दर एंजाइम की सांद्रता के समानुपाती होती है। उदाहरण के लिए, यदि इन परिस्थितियों में एंजाइम की सांद्रता को दो गुणा कर दिया जाए तो क्रियाधार के उत्पाद में परिवर्तन की भी इसके संगत बढ़ोतरी हो जाती है (चित्र 6.9)।

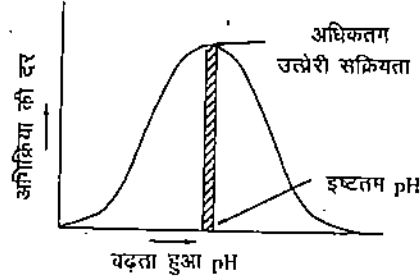


चित्र 6.9 : एंजाइम की सांद्रता के साथ उत्प्रेरित अभिक्रिया की दर में परिवर्तन

आइए अब हम एंजाइम की उत्प्रेरी सक्रियता पर विलयन के pH प्रभाव की चर्चा करें।

### 6.5.3 pH का प्रभाव

एंजाइम उत्प्रेरित अभिक्रियाएं हाइड्रोजन आयन की सांद्रता अर्थात् अभिक्रिया मिश्रण के pH से अत्यधिक प्रभावित होती है। अधिकतर, pH के मान में थोड़े से परिवर्तन से एंजाइम की जैविक उत्प्रेरक के रूप में कार्य की क्षमता में महत्वपूर्ण वृद्धि हो जाती है। एंजाइम उत्प्रेरित अभिक्रिया में pH परिवर्तन के सापेक्ष अभिक्रिया की दर दर्शाने वाला आरेख सामान्यतः घंटाकार होता है (चित्र 6.10)। आप देखेंगे कि एंजाइम की सक्रियता केवल एक सीमित क्षेत्र में ही अत्यधिक होती है तथा इससे अधिक व कम pH की परिस्थितियों में यह कम हो जाती है।



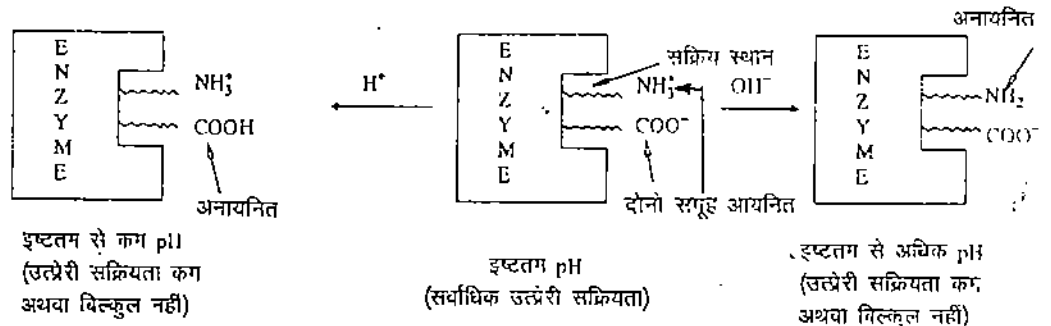
चित्र 6.10 : एंजाइम की सक्रियता पर pH का प्रभाव

वह pH जहां पर एंजाइम सर्वाधिक अभिक्रिया दर दर्शाता है, इष्टतम pH (optimal pH) कहलाता है। अधिकतर एंजाइमों की सर्वाधिक उत्प्रेरी सक्रियता लगभग 7pH के आसपास होती है जो अधिकतर जैविक तरलों का pH भी होता है। यद्यपि कई एंजाइमों की सर्वाधिक सक्रियता इससे अधिक अथवा कम pH पर होती है। पेप्सिन इसका एक महत्वपूर्ण उदाहरण है। यह एक पाचन एंजाइम है जो आमाशय में पाया जाता है। इसकी सर्वाधिक सक्रियता लगभग 1.5 pH पर होती है। यह आमाशय रस (gastric juice) का pH होता है। सारणी 6.3 में हमने कुछ एंजाइमों के इष्टतम pH को सूचिवद्ध किया है।

सारणी 6.3

एंजाइम	इष्टतम pH मान
पेप्सिन	1.5
$\alpha$ - ग्लूकोसीडेस	5.4
यूरिऐस	6.7
$\alpha$ - ऐमाइलेस	7.0
कार्बोक्सीपेप्टिडेस	7.5
ट्रिप्सिन	7.8
एल्कालाइन फॉस्फेटेस	9.5

गुणात्मक रूप में एंजाइम सक्रियता पर pH के प्रभाव के लिए कई कारक उत्तरदायी होते हैं। किसी अभिक्रिया में इनमें से कोई एक अथवा सभी एक साथ कार्य करते हैं। pH में परिवर्तन से एंजाइमी प्रोटीन का विकृतीकरण हो जाता है जिससे यह निष्क्रिय हो जाती है। इसके अलावा आपको ध्यान होगा (उपभाग 6.2.1) कि एंजाइम के सक्रिय स्थान में ऐमीनो अम्ल पार्श्व शृंखलाएं होती हैं जो आबंधन तथा उत्प्रेरी समूह बनाती हैं। उत्प्रेरी सक्रियता केवल तभी संभव है जब यह पार्श्व शृंखलाएं आयनन की उपयुक्त अवस्था में हों और इन पार्श्व शृंखलाओं की आयनन अवस्था अभिक्रिया मिश्रण के pH पर निर्भर करती है तथा एंजाइम की सक्रियता को प्रभावित करती है। हम इसे एक उदाहरण द्वारा समझेंगे। मान लीजिए कि किसी एंजाइम को उत्प्रेरण के लिए सक्रिय स्थान में दो आवेशित/आयनन पार्श्व शृंखलाओं ( $\sim\text{NH}_3^+$  तथा  $\sim\text{COO}^-$ ) की आवश्यकता होती है। ऐसी आयनन अवस्था केवल इष्टतम pH मान के तंगत विशेष pH क्षेत्र में ही संभव है।



जैसा कि आप ऊपर दिए गए निरूपण से देख सकते हैं कि अम्लीय pH (इष्टतम से कम pH) पर  $\text{COO}^-$  समूह प्रोटॉन का ग्रहण करके  $\text{COOH}$  में परिवर्तित हो जाता है तथा क्षारीय pH (इष्टतम से अधिक pH)

ATP व ADP को उच्च ऊर्जा फॉस्फेट यौगिक (high energy phosphate compounds) कहते हैं तथा इन यौगिकों के फॉस्फेट समूहों के बीच फॉस्फोएनहाइड्राइड अथवा पायरोफॉस्फेट आबंधों को उच्च ऊर्जा आबंध कहते हैं। इस पद के माने केवल यही है कि यह यौगिक में जल अपघटन के स्थान को दर्शाता है। इसका यह अर्थ कदापि नहीं है कि मुक्त ऊर्जा किसी प्रकार इस आबंध में केन्द्रित हो गई है और फिर इस प्रकार की व्याख्या के लिए उत्पादों व अभिकारकों की पूर्ण संरचनाओं को ध्यान में रखना आवश्यक होता है।

उपापचयी प्रक्रियाओं में भाग लेने वाले कई अन्य उच्च ऊर्जा फॉस्फेट यौगिकों को सारणी 8.1 में दिया गया है। इनमें से कई यौगिकों की फॉस्फेट समूह स्थानांतरण क्षमता ATP की अपेक्षा अधिक होती है। फॉस्फेट समूह स्थानांतरण क्षमता के अनुसार ATP का यह मध्यम स्थान बहुत महत्वपूर्ण होता है।

फॉस्फेट व्युत्पन्नों के अलावा कई अन्य यौगिकों के जल अपघटन के लिए भी  $\Delta G^\circ$  का उच्च मान होता है। इनमें से कुछ को सारणी 8.1 में दिया गया है। इन्हें भी "उच्च ऊर्जा यौगिक" कहते हैं। जैसा हम बाद में देखेंगे कि इनमें से कुछ जैवसंश्लेषी कार्यों में ATP के उपयोग के दौरान मध्यवर्ती का कार्य करते हैं। यहाँ यह ध्यान देने योग्य है कि उच्च ऊर्जा यौगिकों के रूप में वर्गीकरण पूर्णतः जल अपघटन के  $\Delta G^\circ$  मानों के आधार पर ही होता है।

आइए, अब हम यह देखें कि जीवन की विभिन्न प्रक्रियाओं के लिए ऊर्जा वाहक के रूप में ATP का चयन ही क्यों हुआ? इस संदर्भ में ATP के जल अपघटन की ऊर्जाजिनिक प्रकृति सर्वाधिक महत्वपूर्ण है। हमने यह देखा है कि ATP के जल अपघटन से उच्च मात्रा में मुक्त ऊर्जा प्राप्त होती है (चित्र 8.1)। यहाँ पर शायद यह उचित होगा कि हम एक सीधे से प्रश्न का उत्तर दें कि यदि ATP का ADP अथवा AMP में जल अपघटन समान रूप से ऊर्जाजिनिक (दोनों के लिए  $\Delta G^\circ$  का मान लगभग  $-30.5 \text{ kJ mol}^{-1}$  है), तब ATP/ADP युग्म ही ऊर्जा वाहक का कार्य क्यों करता है तथा ATP/AMP युग्म ऐसा क्यों नहीं कर पाता है?

इस प्रश्न का उत्तर इस तथ्य में है कि ATP के AMP में जल अपघटन से हमें पायरोफॉस्फेट ( $P_i$ ) का एक अणु प्राप्त होता है। जिसके और आगे जल अपघटित हो जाने से उच्च मात्रा ( $\Delta G^\circ = -33.0 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) में अतिरिक्त मुक्त ऊर्जा प्राप्त होती है। इसके परिणामस्वरूप, ATP के AMP व अकार्बनिक फॉस्फेट में जल अपघटन का प्रभावी  $\Delta G^\circ$  मान बहुत अधिक हो जाता है, जिसके माने हैं कि यह अभिक्रिया अव्युत्क्रामणीय होगी यानि AMP से पुनः ATP को प्राप्त करना बहुत कठिन हो जाएगा। दूसरी ओर  $ADP \rightarrow ATP$  को पुनः प्राप्त करने के लिए केवल थोड़ी मात्रा में ही ऊर्जा की आवश्यकता होती है।

इसके अलावा फॉस्फेट समूह स्थानांतरण क्षमता के आधार पर माध्यमिक स्थान पर होने के कारण ATP विभिन्न उपापचयी अभिक्रियाओं में फॉस्फेट समूह के वहन का कार्य भी प्रभावी रूप से कर सकता है। ऐसा इसलिए संभव है क्योंकि ATP कई उपापचयों पर अपने फॉस्फेट समूह को स्थानांतरित कर सकता है तथा ऐसे कई यौगिक (ATP से अधिक फॉस्फेट समूह स्थानांतरण क्षमता वाले) उपलब्ध हैं, जो ATP को पुनः उत्पन्न करने में सहायक हो सकते हैं। एक अन्य पहलू जो ATP के चुनाव को युक्तिसंगत बनाता है, वह है -उसका स्वयं तथा उसके विभिन्न जल अपघटन उत्पादों का अभिकारकों व उत्पादों के रूप में विभिन्न जैव रासायनिक अभिक्रियाओं में हिस्सा लेना। यह ATP को संयुग्म के लिए एक उचित यौगिक बनाता है। आपको ध्यान होगा कि उपलब्ध मुक्त ऊर्जा का उपयोग केवल तभी संभव है, यदि अभिक्रियाओं को उपयुक्त रूप से संयुग्मित किया जा सके।

AMP, ADP तथा ATP के पूरित क्षारक तथा राइबोस, सार्करा (अर्थात्, न्यूक्लियोसाइड वाला भाग) एन्जाइमों से इनकी अन्योन्यक्रियाओं में सहायक होता है। यह एन्जाइमों के नियमन के लिए महत्वपूर्ण है। स्थिरता के अलावा ऊपर दिए गए गुण वैश्विक प्रक्रियाओं में ATP की भूमिका के लिए उत्तरदायी हैं।

ATP की भूमिका व उसकी कार्य करने की विधि के अध्ययन के दौरान हमने यह देखा है कि इसका तीव्र "टर्न ओवर" होना आवश्यक है। आइए, देखें कि यह कार्य किस प्रकार होता है? इससे पहले निम्नलिखित बोध प्रश्न हल करने का प्रयास करें।

### बोध प्रश्न 3

उपयुक्त उत्तर का चयन कीजिए।

इनमें से ..... के अलावा सभी में उच्च ऊर्जा फॉस्फेट समूह उपस्थित है।

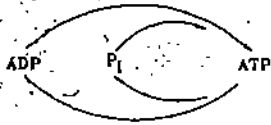
- ATP
- ADP
- AMP
- पायरोफॉस्फेट आयन

किसी यौगिक को उच्च ऊर्जा यौगिक तभी कहते हैं जब उसके जल अपघटन की मुक्त ऊर्जा ऋणात्मक हो तथा इसका मान  $29.2 \text{ kJ mol}^{-1}$  से अधिक हो अर्थात्, यह  $29.2 \text{ kJ mol}^{-1}$  से अधिक ऋणात्मक होना चाहिए।



## 8.4 ATP का बनना

पोषकों का उपचयन  
प्रकाश संश्लेषण

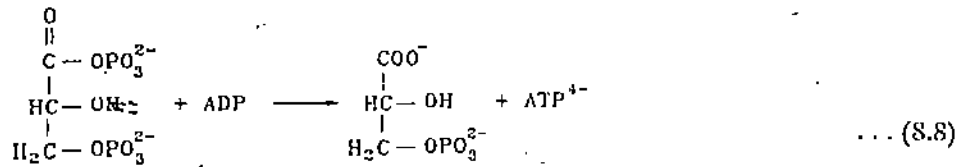


कोशिका के ऊर्जापिधी कार्य

ATP का पुनः संभरण कई प्रकार से होता है। इस भाग में हम ATP के संश्लेषण के दो प्रमुख पथों को लेंगे। यह पथ पोषक तत्वों के विघटन तथा प्रकाश संश्लेषण के दौरान पाए जाते हैं। पोषक तत्वों के विघटन में उच्च फॉस्फेट समूह स्थानांतरण क्षमता वाले फॉस्फोरिलीकृत उपापचयकों की ADP से अभिक्रिया द्वारा ATP प्राप्त होता है। इस विधि को क्रियाधार स्तर फॉस्फोरिलीकरण (substrate level phosphorylation) कहते हैं। वायुजीवी (aerobic) जीवों में क्रियाधार अपने इलेक्ट्रॉनों को सहएन्जाइमों पर स्थानांतरित करके उपचयित हो जाते हैं। इस प्रकार से प्राप्त अपचयित सहएन्जाइम (NADH, FADH<sub>2</sub>, इत्यादि) अंततः अपने इलेक्ट्रॉनों को ऑक्सीजन पर स्थानांतरित कर देते हैं तथा इस अभिक्रिया में ATP के कई अणुओं का संश्लेषण होता है। वायुजीवी जीवों की कोशिकाओं में यह ATP का प्रमुख स्रोत होता है। इसे ऑक्सीकरण फॉस्फोरिलीकरण (oxidative phosphorylation) अथवा इलेक्ट्रॉन परिगमन श्रृंखला (electron transport chain) कहते हैं। आइए, ATP बनाने वाली इन प्रक्रियाओं का विस्तृत अध्ययन करें।

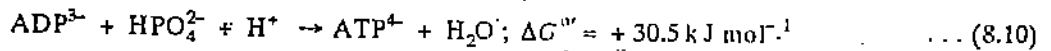
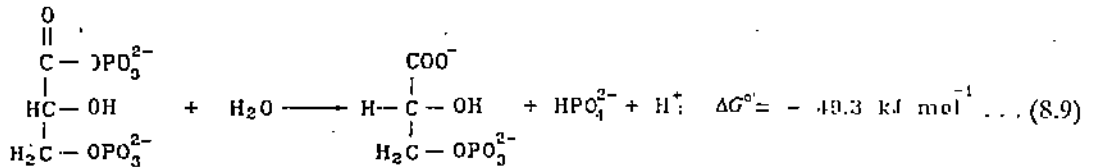
### 8.4.1 क्रियाधार स्तर फॉस्फोरिलीकरण

मांसपेशियों में ग्लूकोस तथा अन्य शर्कराओं के पाइरूवेट में पारवर्तन (ग्लाइकोलाइसिस) में दो अभिक्रियाएँ ATP बनाती हैं। इनका अध्ययन आग इकाई 9 में भी करेंगे। ये हैं— ADP की 1,3-डाइफॉस्फोग्लिसरेट (DPG) तथा फॉस्फोईनॉल पाइरूवेट (PEP) से अभिक्रियाएँ।



(DPG)

इस अभिक्रिया के लिए  $\Delta G^\circ$  के मान का परिकलन सारणी 8.1 से DPG तथा ATP के जल अपघटन की मानक मुक्त ऊर्जाओं के मानों द्वारा किया जा सकता है।



समीकरण 8.9 तथा 8.10 का योग करने पर हमें समीकरण 8.8 में दी गई अभिक्रिया के लिए  $\Delta G^\circ$  का मान प्राप्त होता है जो  $-18.8 \text{ kJ mol}^{-1}$  के बराबर है। इस प्रकार यह अभिक्रिया ऊर्जाजनिक होती है। इसलिए इसे उत्पादों की दिशा में स्वतः होना चाहिए। इस अभिक्रिया के लिए साम्य स्थिरांक का परिकलन निम्न तरीके से किया जा सकता है :

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K'_{\text{eq}} = -2.303 \times R \times T \log K'_{\text{eq}}$$

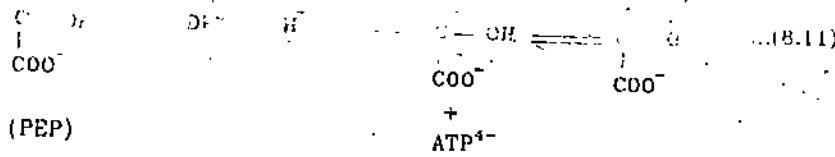
$$\therefore \text{अर्थात् } \log K'_{\text{eq}} = \frac{-18800}{-(2.303 \times 8.314 \times 298)} = 3.3$$

$$\text{तथा } K'_{\text{eq}} = 1.99 \times 10^3 \text{ at pH 7 and 298K}$$

ध्यान दें कि इस अभिक्रिया के लिए  $K'_{eq}$  का मान ATP के बनने के अनुकूल है तथा इस प्रक्रिया में ATP के संश्लेषण के लिए आवश्यक ऊर्जा से कहीं अधिक ऊर्जा का व्यय होता है।

जैव ओर्जिकी

PEP (PEP) के बीच होती है।



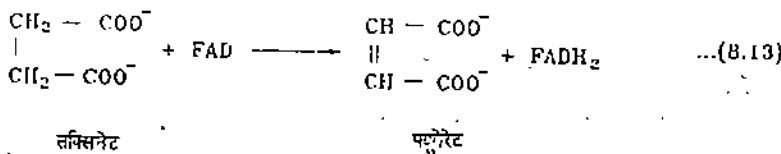
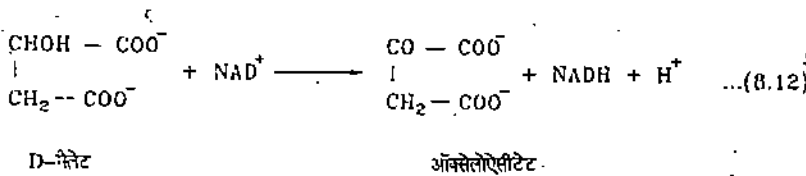
इस अभिक्रिया के लिए  $\Delta G^\circ$  के मान का परिकलन ठीक-उसी प्रकार किया जा सकता है, जैसे समीकरण 8.8 में दी गई अभिक्रिया के लिए बताया गया है।

बोध प्रश्न 4

सारणी 8.1 में दिए गए डाटा की सहायता से समीकरण 8.11 में दी गई अभिक्रिया के लिए  $\Delta G^\circ$  के मान का परिकलन कीजिए।

### 8.4.2 ऑक्सीकरण फॉस्फोरिलीकरण

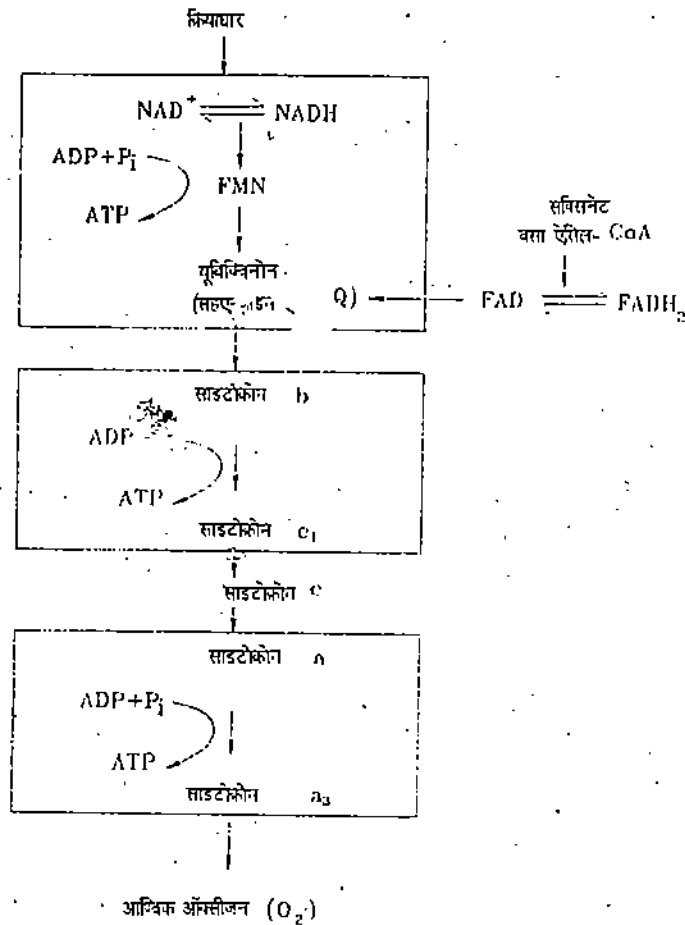
जैसा पहले बताया जा चुका है, ऑक्सीकरण फॉस्फोरिलीकरण में अपचयित सहएन्जाइम हिस्सा लेते हैं। अपचयित सहएन्जाइमों को उत्पन्न करने वाली दो प्ररूपी अभिक्रियाएँ यहाँ दी गई हैं।



सहएन्जाइम, एन्जाइम के प्रोटीन भाग के कार्य के लिए आवश्यक एक सहायक पदार्थ होता है तथा यह अम्लसंयोजक तरीके से प्रोटीन से जुड़ा होता है। निकोटिनामाइड ऐडेनिन-डाइन्यूक्लिओटाइड (NAD<sup>+</sup>) तथा फ्लेविन ऐडेनिन डाइन्यूक्लिओटाइड (FAD) की संरचनाओं का अध्ययन आपने इस पाठ्यक्रम की इकाई 7 में किया है।

अपचयित सहएन्जाइमों, NADH तथा FADH<sub>2</sub> का अभिक्रियाओं की एक श्रेणी द्वारा पुनः उपचयन होता है। इस श्रेणी को इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला (electron transport chain) कहते हैं तथा इसमें आविष्क ऑक्सीजन अंततः इलेक्ट्रॉनों को ग्रहण करती है। इस पथ को ऑक्सीकरण फॉस्फोरिलीकरण भी कहते हैं, क्योंकि सामान्य शरीरक्रियात्मक अवस्था में इलेक्ट्रॉन अभिगमन, ADP व P<sub>i</sub> से ATP के कई अणुओं के संश्लेषण से संयुग्मित होता है। चित्र 8.2 में इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला के विभिन्न चरणों को दर्शाया गया है तथा इसमें ATP के संश्लेषण से संबंधित स्थानों को भी दिखाया गया है। चित्र 8.2 में दर्शाई गई अभिक्रियाएँ तथा इनसे संयुग्मित ATP का संश्लेषण माइटोकॉन्ड्रिया के अंतः झिल्ली पर स्थित एन्जाइमों द्वारा किया जाता है (माइटोकॉन्ड्रिया की संरचना के लिए इकाई 1 को देखिए)। सहएन्जाइम Q के अपवाद को छोड़कर इस शृंखला के सभी अवयव प्रोटीन से संबंधित होते हैं।

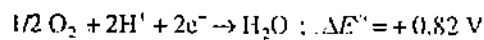
इलेक्ट्रॉन अभिगमन प्रक्रिया में ऑक्सीजन की आवश्यकता के कारण इसे श्वसनी शृंखला (respiratory chain) भी कहते हैं।



चित्र 8.2 : ATP संश्लेषण से संयुग्मन के स्थान तथा इलेक्ट्रॉनों के प्रवाह की दिशा दर्शाती इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला

इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला के पहले चरण में  $NAD^+$  डिहाइड्रोजेनेस नामक एन्जाइम द्वारा  $NADH$  में अपचयित होता है। यह एन्जाइम क्रियाधार में से हाइड्रोजन के दो परमाणुओं को निकालता है।  $NADH$  एक प्रोटॉन तथा एक हाइड्राइड आयन को  $NADH$  डिहाइड्रोजेनेस नामक एन्जाइम संकुल पर स्थानांतरित कर देता है। इस संकुल का एक सहकारक, फ्लेविन मोनो-क्यूबिलोटाइड (FMN) होता है, जो हाइड्रोजन के दो परमाणुओं का ग्रहण करके  $FMNH_2$  में परिवर्तित हो जाता है। इसके बाद हाइड्रोजन परमाणु यूबिक्विनोन, जिसे सहएन्जाइम Q कहते हैं, पर स्थानांतरित हो जाते हैं। शृंखला के बाकी सदस्य साइटोक्रोम होते हैं। इलेक्ट्रॉन इस शृंखला में साइटोक्रोम b,  $c_1$ , c, a तथा  $a_3$  से होते हुए आण्विक ऑक्सीजन तक जाते हैं। केवल साइटोक्रोम  $a_3$  ही सीधे आण्विक ऑक्सीजन से अभिक्रिया कर सकता है। यह वह स्थान है, जहाँ पर अभिगमित इलेक्ट्रॉन, आण्विक ऑक्सीजन तथा मुक्त प्रोटॉन एकटूठे होकर जल बनाते हैं।

हमने उपभाग 8.2.3 में देखा था कि उपचयन-अपचयन अभिक्रियाओं में संबंधित उपचयक-अपचयक युग्मों के मानक अपचयन विभव के अंतर द्वारा अभिक्रिया के लिए मानक मुक्त ऊर्जा परिवर्तन व उसके संगत साम्य स्थिरांक का परिचलन किया जा सकता है।  $NADH$  के आण्विक ऑक्सीजन द्वारा अपचयन (चित्र 8.2) के लिए कुल मानक मुक्त ऊर्जा परिवर्तन  $O_2/H_2O$  तथा  $NAD^+/NADH$  युग्मों के मानक अपचयन विभवों के द्वारा किया जा सकता है। इन युग्मों के लिए अपचयन अभिक्रियाएँ निम्न अभिक्रियाओं द्वारा दर्शाई जा सकती हैं :



इन अभिक्रियाओं को घटाकर व पुनर्व्यवस्थित करके निम्न समीकरण प्राप्त होती है



समीकरण 8.6 में  $n (=2)$  व  $\Delta E^\circ (1.14v)$  का मान रखकर हम  $NADH$  के ऑक्सीजन द्वारा उपचयन के लिए  $\Delta G^\circ$  के मान का परिचलन कर सकते हैं।

$$\Delta G^\circ = -2 \times 96.48 \times 1.14 = -219.97 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$E^\circ$ , pH=7 अर्थात् जैव रासायनिक मानक अवस्था पर मानक विभव (standard potential) दर्शाता है।

ध्यान दें कि निकाय की मानक मुक्त ऊर्जा में बहुत अधिक कमी हो रही है। यदि उपयुक्त रूप से इसका उपयोग किया जाए तो इसके द्वारा ATP ( $\Delta G^\circ = +30.5 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) के कई अणुओं का संश्लेषण किया जा सकता है। जीवित कोशिका में इलेक्ट्रॉन अभिगमन की प्रक्रिया में वास्तव में ऐसा ही होता है, चित्र 8.2।

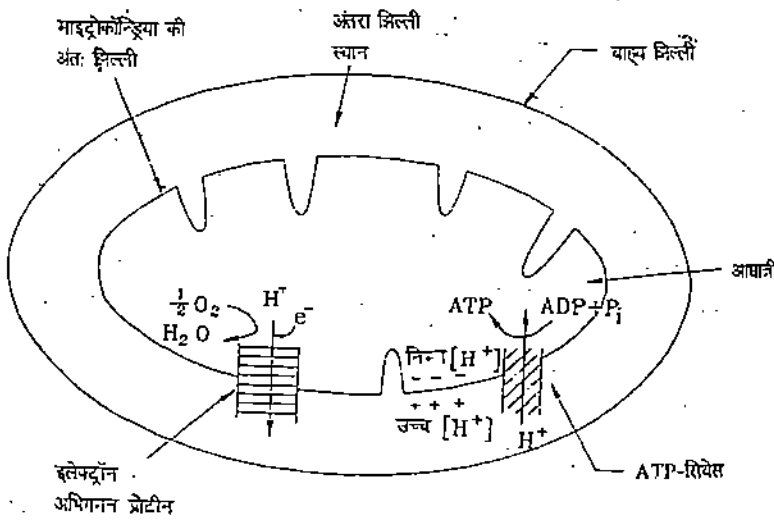
ऊपर की गई चर्चा से यह पता चलता है कि ऊष्मागतिक रूप से ATP के संश्लेषण को इलेक्ट्रॉन अभिगमन श्रृंखला के विशिष्ट पदों से संयुग्मित किया जा सकता है, यदि उस पद में होने वाला मानक विभव परिवर्तन,  $\Delta E^\circ$ , ATP के संश्लेषण के लिए पर्याप्त मुक्त ऊर्जा उपलब्ध करवा सके। यद्यपि यह इस बात की व्याख्या नहीं करता कि यह संयुग्मन किस प्रकार होता है (जैसा कि सभी ऊष्मागतिक परिकल्पनों के लिए होता है)।

**ऑक्सीकरण फॉस्फोरिलीकरण की क्रियाविधि-रसोपरासरणी परिकल्पना**

इलेक्ट्रॉन अभिगमन तथा ATP संश्लेषण के संयुग्मन की क्रियाविधि कई वर्षों से शोध का विषय रही है। इसकी एक व्याख्या के अनुसार इलेक्ट्रॉन अभिगमन के दौरान एक उच्च फॉस्फेट समूह स्थानांतरण क्षमता वाला मध्यवर्ती बनता है, जो अपने फॉस्फेट समूह को ADP पर स्थानांतरित कर देता है। इस प्रतिपादित मध्यवर्ती व ADP के बीच अभिक्रिया, ADP की DPG व PEP से अभिक्रियाओं (समीकरण 8.8 व 8.11) के समान होगी। यद्यपि इस प्रकार के मध्यवर्ती के संसूचन के लिए किए गए सभी प्रयोगों में निराशा ही हाथ लगी है। अब तक ऐसा कोई मध्यवर्ती नहीं पाया गया है।

ऐसा पाया गया है कि माइटोकॉन्ड्रिया की अंतः झिल्ली पर उपस्थित एन्जाइमों की एक जटिल व्यवस्था ATP के संश्लेषण के लिए उत्तरदायी होती है। इस एन्जाइम की खोज पहले ATP के जल अपघटन (अर्थात्, संश्लेषण के विपरीत) में उत्प्रेरक के रूप में हुई थी। तदनुसार इसका नाम ATPase रखा गया। इसका विशिष्ट नाम है  $H^+ - ATPase$  अथवा  $F_1 - F_0 - ATPase$ । इसके यह नाम क्रमशः इसकी सक्रियता में  $H^+$  की भूमिका तथा इसकी उपइकाई की संरचना के आधार पर रखे गए। शरीरक्रियात्मक रूप में यह एन्जाइम, ADP व  $P_i$  से ATP के संश्लेषण में उत्प्रेरक की भूमिका निभाता है। इसलिए इसे ATP-सिंथेस भी कहते हैं।

पीटर मिशेल ने सन् 1961 में ATP-सिंथेस की भूमिका तथा इलेक्ट्रॉन अभिगमन के ATP संश्लेषण से संयुग्मन की व्याख्या के लिए एक अनूठा सुझाव दिया। उसके अनुसार इलेक्ट्रॉन अभिगमन के विशिष्ट चरणों में निकलने वाली मुक्त ऊर्जा का उपयोग माइटोकॉन्ड्रिया में माइटोकॉन्ड्रिया आघात्री (mitochondrial matrix) यानि अंतः झिल्ली के अंदर से, अंतराझिल्ली स्थान अर्थात्, अंतः झिल्ली के बाहर की ओर प्रोटॉनों को "पंप" करने में होता है। इसे चित्र 8.3 में दिखाया गया है।



चित्र 8.3 : माइटोकॉन्ड्रिया की अंतः झिल्ली पर ऑक्सीकारणी फॉस्फोरिलीकरण। इलेक्ट्रॉन अभिगमन, आघात्री से अंतरा झिल्ली स्थान में प्रोटॉनों को पंप करता है। जैसे-जैसे प्रोटॉन ATP-सिंथेस में से प्रवणता (gradient) के अनुरूप प्रवाहित होते हैं, वे ATP के ऊर्जाशोषी संश्लेषण को प्रेरित करते हैं।

प्रोटॉनों की एक ही दिशा में 'पंपिंग', शिल्ली के आरपार इलेक्ट्रॉन अभिगमन प्रोटीनों के विशिष्ट रूप से एक ही दिशा में होने के कारण होती है। चूंकि माइटोकॉन्ड्रिया की अंतः शिल्ली प्रोटॉनों के लिए पारगम्य (permeable) नहीं होती है, इसलिए pH की प्रवणता तथा शिल्ली विभव के रूप में कुछ मुक्त ऊर्जा का भंडारण हो जाता है। शिल्ली के बाहर का स्थान अंतः स्थान की अपेक्षा अधिक अम्लीय हो जाता है तथा इसमें घनावेशों की संख्या भी अंतः स्थान की अपेक्षा अधिक हो जाती है। ये दोनों प्रवणताएं मिलकर एक प्रोटॉन गामक बल (proton motive force) उत्पन्न करती हैं। प्रोटॉनों का 'अधिक्य' ATP-सिंथेस की सहायता से आधात्री में वापिस प्रवाहित हो जाता है। यह एन्जाइम शिल्ली में उपस्थित होता है तथा शिल्ली में से प्रोटॉनों के प्रवाह के लिए एक बाहिका प्रदान करता है अन्यथा यह शिल्ली अपारगम्य होती है। प्रोटॉन गामक बल में उपस्थित मुक्त ऊर्जा ADP व P<sub>i</sub> से ATP के बनने को प्रेरित करती है। मिशेल की इस परिकल्पना को रसोपरासरणी परिकल्पना (chemiosmotic hypothesis) कहते हैं। इस सरल व महत्वपूर्ण परिकल्पना को कई प्रयोगों के परिणामों द्वारा समर्थन प्राप्त है जो निम्नलिखित हैं :

- इलेक्ट्रॉन अभिगमन के दौरान माइटोकॉन्ड्रिया की अंतः शिल्ली के आर-पार प्रोटॉन प्रवणता के बनने को प्रमाणित किया जा चुका है।
- इलेक्ट्रॉन अभिगमन की अनुपस्थिति में माइटोकॉन्ड्रिया की अंतः शिल्ली पर कृत्रिम रूप से pH प्रवणता उत्पन्न करने पर भी ATP का संश्लेषण होता है।
- इस परिकल्पना के अनुसार इलेक्ट्रॉन अभिगमन तथा ATP संश्लेषण के संयुग्मन लिए एक बंद कक्ष (अथवा पुटिका) अनिवार्य होती है अन्यथा शिल्ली के दोनों ओर प्रोटॉनों का मुक्त प्रवाह होगा व प्रोटॉन प्रवणता स्थापित नहीं हो पाएगी। इसी प्रागुक्ति के अनुरूप जब इलेक्ट्रॉन अभिगमन अंतः शिल्ली के खंडों द्वारा ही उत्प्रेरित हो जाता है, तब ATP का संश्लेषण नहीं होता है। इसमें उत्पन्न मुक्त ऊर्जा ऊष्मा के रूप में निष्कल जाती है।
- कुछ पदार्थ बैकल्पिक प्रोटॉन बाहिका उपलब्ध कराके प्रोटॉनों के अभिगमन में सहायता प्रदान करते हैं। यह पदार्थ प्रोटॉन प्रवणता को स्थापित नहीं होने देते। इनकी उपस्थिति में इलेक्ट्रॉन अभिगमन सुचारु रूप से होता रहता है परंतु ATP का संश्लेषण नहीं होता है। संभवतः इन पदार्थों द्वारा होने वाले इलेक्ट्रॉन परिगमन, ATP-सिंथेस की सहायता से होने वाले अभिगमन की अपेक्षा अधिक सुगम होता है। इन पदार्थों को विपुग्मनकारी (uncoupler) कहते हैं। इनकी उपस्थिति में भी इलेक्ट्रॉन अभिगमन से प्राप्त मुक्त ऊर्जा ऊष्मा में परिवर्तित हो जाती है। 2,4 डाइनाइट्रोफीनॉल एक सामान्य विपुग्मनकारी होता है।

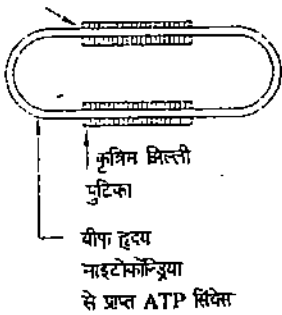
#### ४.4.3 प्रकाश संश्लेषण

प्रकाश संश्लेषण वह प्रक्रिया है, जिसमें पेड़-पौधे प्रकाश की ऊर्जा का उपयोग करके कार्बन डाइऑक्साइड व जल जैसे सरल अणुओं से कार्बोहाइड्रेटों का संश्लेषण करते हैं।

प्रकाश संश्लेषण में एक "प्रकाशिक अभिक्रिया" (light reaction) तथा एक "अप्रकाशिक अभिक्रिया" (dark reaction) होती है। इनका विस्तृत अध्ययन आप इकाई 12 में करेंगे। प्रकाशिक अभिक्रिया में प्रकाश ऊर्जा का उपयोग एक अपचयित सहएन्जाइम NADH तथा ATP के बनाने में होता है। इनकी आवश्यकता, अप्रकाशिक अभिक्रिया में कार्बन डाइऑक्साइड के यौगिकीकरण (fixation) तथा कार्बोहाइड्रेटों में परिवर्तन के लिए होती है। यहाँ पर हम केवल ATP के संश्लेषण की चर्चा ही करेंगे। बाकी जानकारी इकाई 12 में दी जाएगी।

प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया वनस्पतियों व कुछ प्रकाश संश्लेषी बैक्टीरियाओं में होती है। वनस्पतियों में प्रकाश संश्लेषण का कार्य क्लोरोप्लास्ट में होता है। इनमें शिल्ली से घिरी पुटिकाएं (vesicles) होती हैं, जिन्हें थाइलेकोइड (thylakoids) कहते हैं। ये प्रकाश संश्लेषण के केन्द्र होते हैं। रसोपरासरणी परिकल्पना प्रकाश संश्लेषण के दौरान ATP के बनने में भी लागू होती है। प्रकाश के किरणन से थाइलेकोइडों के अंतः कक्ष अधिक अम्लीय हो जाते हैं। इससे उत्पन्न प्रोटॉन प्रवणता से ATP का संश्लेषण उसी प्रकार होता है जैसा माइटोकॉन्ड्रिया में इसके संगत अभिक्रिया में होता है। यहाँ भी कुछ सरल व सीधे प्रयोगों के परिणाम रसोपरासरणी परिकल्पना के अनुरूप ही होते हैं, जैसे,

हेलेथैक्टिरिया से प्राप्त धेरटीरियोरोडॉक्सिन



- पृथक्कृत क्लोरोप्लास्टों को pH 4 के उभयप्रतिरोधी विलयन में पर्याप्त समय तक रखा गया ताकि उनमें एक साम्य स्थापित हो जाए व अंतः कक्ष का pH कम हो जाए। इनमें ADP व P<sub>i</sub> को डालकर तथा pH को अकस्म्यत् 8 तक बढ़ाकर एक कृत्रिम pH प्रवणता उत्पन्न की गई, जिसमें क्लोरोप्लास्टों के अंतः कक्ष, बाहर की अपेक्षा अधिक अम्लीय थे। ऐसा पाया गया कि ये क्लोरोप्लास्ट प्रकाश की अनुपस्थिति में भी ATP का संश्लेषण करते हैं व इसके साथ pH की प्रवणता भी कम हो जाती है। इस प्रयोग से यह पता चलता है कि pH प्रवणता एक उच्च ऊर्जा वाली अवस्था है जो किसी अन्य प्रकार की ऊर्जा की सहायता के बिना भी ATP संश्लेषण का परिचालन कर सकती है।
- रसोपरासरणी परिकल्पना के अनुसार शिल्ली के आर-पार प्रोटॉनों की 'पंपिंग' तथा ATP का संश्लेषण दो अलग-अलग अभिक्रियाएँ हैं। ये दो अलग-अलग एंजाइमों द्वारा उत्प्रेरित होती हैं व इनका संयुग्मन

इसलिए हो पाता है कि इनके उत्प्रेरक इन्डिश रूप में एक ही शिल्ली पर उपस्थित होते हैं। एक सरल प्रयोग द्वारा इसका सत्यापन किया गया है। इसमें एक ज़ोत से प्रोटॉन 'पंपिंग' वाला भाग व किसी अन्य ज़ोत से ATP संश्लेषण वाला भाग लिया गया। 'पंपिंग' वाला भाग प्रकाश संश्लेषी हैलोबैक्टीरिया से पृथक्कृत शुद्धिकृत बैक्टीरियो-रोडॉप्सिन तथा संश्लेषण वाला भाग पशु (beef) हृदय के माइटोकॉन्ड्रिया (यह एक अप्रकाशसंश्लेषी निकाय है) से पृथक्कृत ATP-सिंथेस था। इन दोनों हिस्सों का एक ऐसी शिल्ली में समावेश किया गया जो बंद पुटिका बनाती है। हाशिए में दिए गए निरूपण को देखिए। इस प्रकार से प्राप्त "कृत्रिम" अथवा "पुनर्रचित" पुटिकाएं प्रकाश द्वारा किरणित करने पर ATP के संश्लेषण का परिचलन करने में सक्षम पाई गईं। वह प्रक्षेप परिकल्पना को सत्यापित करता है तथा दर्शाता है कि प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण व ऑक्सीकारणी फॉस्फोरिलीकरण द्वारा ATP के संश्लेषण की क्रियाविधि एक समान ही है।

प्रकाश ऊर्जा का उपयोग व इसका रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तन बहुत रोचक प्रक्रियाएं हैं। इनकी चर्चा हम इकाई 12 में करेंगे।

ATP की तरह, प्रोटॉन प्रवणता भी भंडारित मुक्त ऊर्जा का एक रूप है, जिसका उपयोग विभिन्न जीव कई प्रकार के कार्यों को करने के लिए करते हैं। आयनों का सक्रिय अभिगमन, कणभों (flagella) का घूर्णन, ATP का संश्लेषण तथा पीतनिष्क्रियता (hibernation) के दौरान ऊष्मा को उत्पन्न करना, इत्यादि, इसके कुछ उदाहरण हैं।

### बोध प्रश्न 5

निम्नलिखित कथन को सही उत्तर द्वारा पूर्ण कीजिए।

ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण में, डाइनाइट्रोफीनॉल

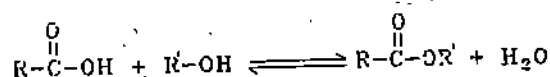
- इलेक्ट्रॉन अभिगमन के संदमन का कार्य करता है।
- ATP संश्लेषण के बिना इलेक्ट्रॉन अभिगमन को होने देता है।
- साइटोक्रोम की क्रिया का संदमन करता है।

## 8.5 ऊर्जाशोषी कार्यों के लिए ATP का उपयोग

पिछले भाग में हमने विभिन्न प्रकार के ऊर्जा निवेश, रासायनिक पोषक तत्वों अथवा प्रकाश के ATP में तत्वांतरण (transmutation) की चर्चा की थी। ATP जीवित कोशिकाओं में ऊर्जा की मुद्रा का रासायनिक स्वरूप होता है। अब हम कोशिका के कुछ ऊर्जाशोषी कार्यों को करने के लिए ATP की रासायनिक ऊर्जा के उपयोग के कुछ उदाहरणों का संक्षिप्त अध्ययन करेंगे।

### 8.5.1 कार्बनिक यौगिकों का संश्लेषण

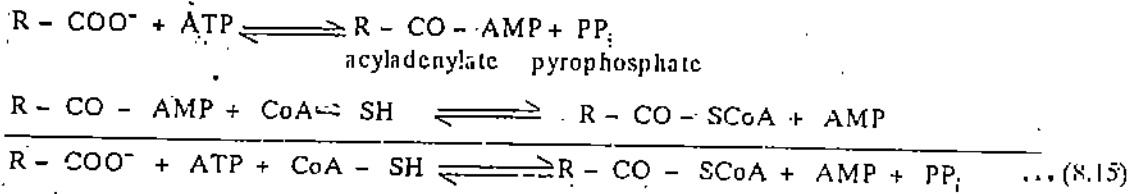
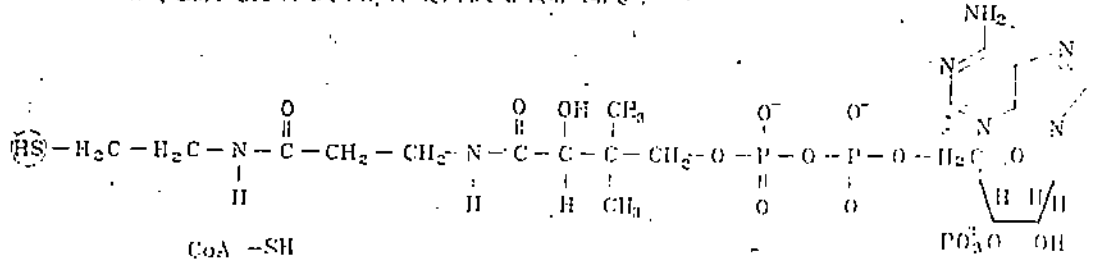
आइए, हम अम्लों व ऐल्कोहॉलों के बीच व्युत्क्रमणीय अभिक्रिया को देखें।



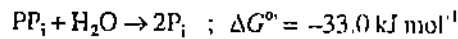
इस अभिक्रिया में साम्य बहुत कुछ समीकरण के बाईं ओर होता है अर्थात्, एस्टर का जल अपघटन अधिक अनुकूल होता है। ऐसा विशेषकर जलीय विलयनों में होता है, जहाँ जल की सांद्रता बहुत अधिक होती है (लगभग 55 M)। इस प्रकार एस्टरों जैसे तेलों व वसाओं के जलीय निलंबन (suspensions) सामान्यतः अम्लों व ऐल्कोहॉलों के विलयन देते हैं। इसका एक परिचित उदाहरण है—मक्खन का विकृत गंधी (rancid) होना। इस प्रकार एस्टरों के बनने के लिए विशिष्ट परिस्थितियों की आवश्यकता होती है ताकि प्रतिकूल साम्य स्थिरांक को पार पाया जा सके। प्रयोगशाला में ऐसा, अम्ल व ऐल्कोहॉल की अभिक्रिया को निर्जलीय परिस्थितियों में करके तथा इसमें उत्पन्न होने वाले जल को लगातार निकाल कर किया जा सकता है, जैसे, सान्द्र सल्फ्यूरिक

अम्ल की उपस्थिति में। जीवित निकाय इस कार्य को एक-दूसरे रूप में करते हैं। जलीय परिवेश में इस प्रतिकूल ऊर्जाशोषी अभिक्रिया का परिचालन करने के लिए वह मुक्त ऊर्जा का व्यय करते हैं। यह मुक्त ऊर्जा ATP के अणु के जल अपघटन से प्राप्त होती है। हम इसकी चालाक्या निम्न प्रकार से कर सकते हैं।

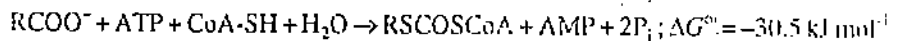
जैविक निकायों में पहले ATP तथा सहएन्जाइम -A (CoA-SH) से अभिक्रिया द्वारा अम्ल के अणु का "सक्रियण" होता है। आपने CoA-SH की संरचना का अध्ययन इकाई 7 में किया गया था (भाग 7:3)। पुनः स्मरण के लिए CoA-SH की संरचना को यहाँ फिर से दिया गया है :



इस अभिक्रिया का साम्य स्थिरांक लगभग 1 होता है अर्थात्,  $\Delta G^\circ$  का मान शून्य के करीब होता है। ATP का एक उच्च ऊर्जा आबंध टूटता है व लगभग इतनी ही ऊर्जा वाला एक नया आबंध ऐसिल -SCoA में स्थापित हो जाता है (सारणी 8.1 से ATP व ऐसीटिल -CoA के जल अपघटन के  $\Delta G^\circ$  मानों की तुलना करें)। शरीरक्रिया तंत्रों में पायरोफॉस्फेट आयन को लगातार निकाल कर एस्टर के बनने की अभिक्रिया को संपूर्णता की ओर परिचालित किया जाता है। एक अन्य एन्जाइम पायरोफॉस्फेटेस की सहायता से पायरोफॉस्फेट का जल अपघटन किया जाता है।

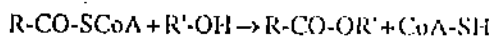


मुक्त ऊर्जा में अत्यधिक कमी के कारण संपूर्ण अभिक्रिया लगभग अव्युत्क्रमणीय हो जाती है।

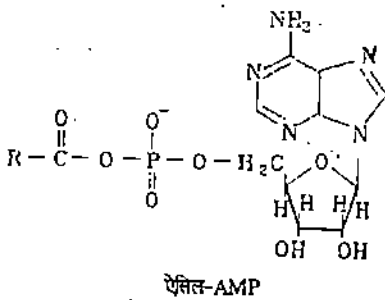


यहाँ ध्यान दें कि एक थायोल-एस्टर उच्च ऊर्जा आबंध बनाने के लिए दो उच्च ऊर्जा पायरोफॉस्फेट आबंधों का व्यय होता है। ऊर्जाशोषी अभिक्रियाओं को संपूर्णता की ओर परिचालित करने के लिए बहुत अधिक मुक्त ऊर्जा का ऐसा उपयोग कई जैवसंश्लेषी पथों में पाया जाता है। इनमें से कई अभिक्रियाएँ पायरोफॉस्फेट के जल अपघटन द्वारा अव्युत्क्रमणीय हो जाती हैं।

उच्च ऐसिल समूह स्थानांतरण क्षमता के कारण ऐसिल -CoA एक प्रकार से ऐसिल समूह का "सक्रियित" रूप होता है। ऐल्कोहॉलों, ऐमीनों तथा जल जैसे कई ग्रहियों पर ऐसिल समूह का स्थानांतरण स्वतः हो सकता है। इस प्रकार की ऐसिल समूह स्थानांतरण अभिक्रियाओं में मुक्त ऊर्जा बहुत कम हो जाती है अर्थात्,  $\Delta G^\circ$  का मान अधिक व ऋणात्मक होता है।



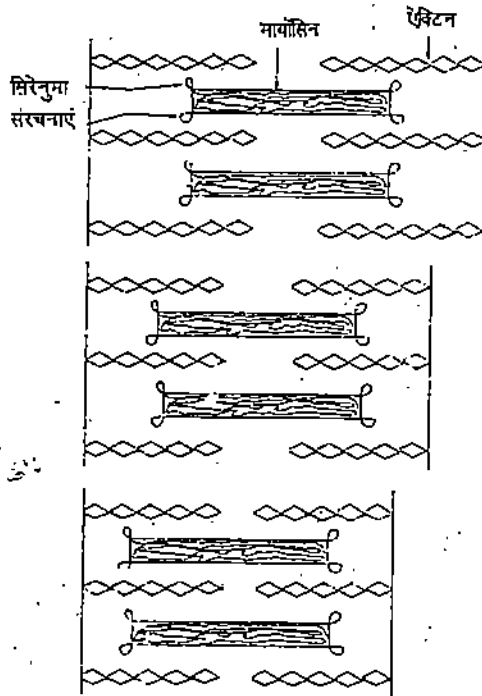
इससे मिलती-जुलती प्रक्रिया में "सक्रियित" ऐसिल समूह की आवश्यकता वाली जैवसंश्लेषी अभिक्रियाओं में ऐसिल AMP का उपयोग होता है। इनमें सहएन्जाइम -A भाग नहीं लेता है। उदाहरण के लिए प्रोटीन के अम्ल संश्लेष में प्रत्येक ऐमीनो अम्ल के कार्बोक्सिल समूह का सक्रियण ऐमीनोऐसिल-ऐडेनिलेट के बनने से होता है तथा इससे उत्पन्न होने वाले पायरोफॉस्फेट आयन के जल अपघटन से यह अभिक्रिया अव्युत्क्रमणीय हो जाती है।



## 8.5.2 पेशी संकुचन

आइए, अब हम ATP के जल अपघटन से प्राप्त मुक्त ऊर्जा के यांत्रिक कार्य, जैसे पेशी संकुचन (muscle contraction), में उपयोग का अध्ययन करें।

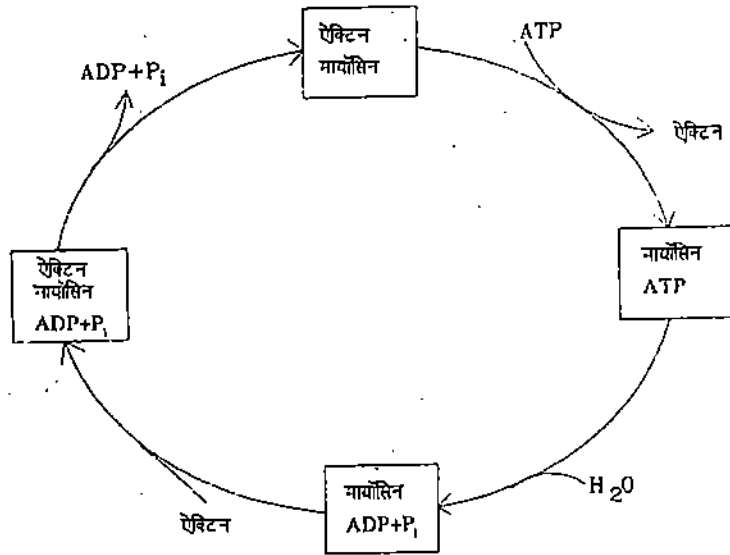
पेशी के संकुचनशील रेशों (contractile fibres) में स्थूल तथा पतले तंतुओं का अतिव्यापी विन्यास होता है। स्थूल तंतु मायोसिन के छड़ीनुमा अणुओं के सामान्तर समूह के बने होते हैं। इसमें पतले तंतुओं को स्पर्श करती छोटी-छोटी सिरिनुमा संरचनाएं होती हैं। पतले तंतुओं में रेशेदार ऐक्टिन (F-actin) नामक प्रोटीन के दो गुच्छे एक-दूसरे पर लिपटे होते हैं। पेशी-रेशों में स्थूल व पतले तंतुओं का एक-दूसरे के समानांतर नियमित विन्यास होता है। इन पुनरावृत्त इकाइयों को पिशितांश (sarcomeres) कहते हैं (चित्र 8.4)। संकुचन के दौरान प्रत्येक पिशितांश में स्थूल तंतु पतले तंतुओं के बीच के स्थान में खिसक जाते हैं, जिससे पूरे पेशी रेशे की लंबाई कम हो जाती है। इसके साथ-साथ ATP का जल अपघटन होता है, जो इस कार्य के लिए आवश्यक मुक्त ऊर्जा प्रदान करता है। सन् 1940 में A. Szent-Gyorgyi ने पाया कि ऐक्टिन-मायोसिन वाले तंतु ATP के डालने से संकुचित होते हैं, जबकि ऐक्टिन अथवा मायोसिन के तंतु अकेले में इस प्रकार संकुचित नहीं होते।



चित्र 8.4 : संकुचन की विभिन्न अवस्थाओं में पेशी पिशितांश के स्थूल (मायोसिन) तथा पतले (ऐक्टिन) तंतु

स्थूल तंतुओं में उपस्थित मायोसिन ATPase के रूप में कार्य कर सकती है, अर्थात्, यह ATP के ADP व P<sub>i</sub> में जल अपघटन की अभिक्रिया को उत्प्रेरित कर सकती है। ऐक्टोमायोसिन संकुल अकेले मायोसिन की अपेक्षा ATP को अधिक तेजी से जल अपघटित करता है। ऐक्टोमायोसिन से ATP के आबंधन से संकुल टूट जाता है, अर्थात्, ऐक्टिन व मायोसिन के बीच का संपर्क टूट जाता है। ATP का जल अपघटन मायोसिन - ATP संकुल में होता है, परंतु इसके उत्पाद माध्यम में विसर्जित नहीं होते। इसमें प्राप्त होने वाला मायोसिन - ADP-P<sub>i</sub> संकुल फिर से ऐक्टिन से आबंधित हो जाता है, जो उत्पादों (ADP व P<sub>i</sub>) के मायोसिन से वियोजन को त्वरित करता है। इस प्रकार बनने वाला ऐक्टोमायोसिन ATP के अन्य अणु से आबंधन के लिए एक बार फिर से तैयार होता है (चित्र 8.5)। जब ऐक्टिन व मायोसिन-ADP-P<sub>i</sub> संकुल के बीच आबंधन होता है, तब यह उसी स्थान पर नहीं होता है, जहाँ प्रारंभिक ऐक्टोमायोसिन में होता है अपितु यह उसके आस-पास कहीं होता है, जैसा कि चित्र (8.4) में दर्शाया गया है। ऐसा ATP के आबंधन से मायोसिन के सिरिनुमा हिस्से में होने वाले संरूपीय परिवर्तन के कारण होता है। यह कुछ-कुछ नाव चलाने की क्रिया के समान होता है, जिसमें मायोसिन के सिरिनुमा हिस्से चप्पू का कार्य करते हैं तथा स्थूल तंतुओं के खिसकने के लिए उत्तरदायी होते हैं।





चित्र 8.5: ऐक्टोमायोसिन संकुल द्वारा ATP का जल अपघटन

### 3.6 ऊष्मागतिकी तथा जीवित कोशिका

इस इकाई में हमने चिरप्रतिष्ठित ऊष्मागतिकी (classical thermodynamics) अथवा साम्य ऊष्मागतिकी के नियमों के आधार पर कुछ जैव रासायनिक अभिक्रियाओं व प्रक्रियाओं तथा उनमें होने वाले ऊर्जा परिवर्तनों का अध्ययन किया है। यह नियम साम्य अवस्था में संवृत निकायों के अध्ययन, जिसमें सभी परिवर्तन धीमे व व्युत्क्रमणीय तरीके से होते हैं, के आधार पर बनाए गए हैं। दूसरी और जीवित कोशिका विवृत निकाय होती है। इसके अलावा विभिन्न कोशिकीय अवयवों की सांद्रताएं उनके साम्य मानों से बहुत भिन्न होती हैं तथा उपापचयी अभिक्रियाएं अति तीव्र होती हैं। इसलिए यह प्रश्न उठना स्वाभाविक है कि क्या ऊष्मागतिकी के नियम जीवित कोशिकाओं पर लागू होते हैं। इस इकाई तथा जैव रसायन की अधिकतर पाठ्य पुस्तकों में ऊष्मागतिकी के सिद्धान्तों का उपयोग दो प्रकार से किया जाता है। इनमें से एक है—स्वतः होने वाली अभिक्रियाओं की दिशा का पूर्व अनुमान लगाना व दूसरा है—जीवित कोशिका में विभिन्न स्पीशीज़ की सांद्रताओं के आधार पर इन अभिक्रियाओं के लिए मुक्त ऊर्जा परिवर्तनों का परिकलन करना। इन कार्यों के लिए ऊष्मागतिकी के नियम जीवित व अन्य निकायों पर समान रूप से लागू होते हैं।

जीवित निकाय सदैव एक स्थायी अवस्था (steady state) में होता है, जिसमें द्रव्य व ऊर्जा के निवेश की दर उनके उत्पादन की दर के बराबर होती है। स्थायी अवस्था में विभिन्न कोशिकीय अवयवों की सांद्रता, उदाहरण के लिए ATP, काफी समय तक स्थिर रहती है क्योंकि उनके बनने की दर (तथा कोई निवेश, यदि है तो) उनके व्यय होने की दर के समान होती है। ऐसे निकाय के लिए असाम्य (non equilibrium) (या अब्युत्क्रमणीय) ऊष्मागतिकी के नियमों को लागू करना अधिक उपयुक्त होगा। परंतु यह नियम बहुत जटिल है व इस पाठ्यक्रम की सीमा से बाहर है। यद्यपि विवृत निकायों के दो गुण यहां पर प्रासंगिक हैं तथा इन्हें यहां विशेष महत्व देने की आवश्यकता है। ये हैं—1) स्थायी अवस्था में विवृत निकाय केवल तभी उपयोगी कार्य कर सकता है जब उसके अवयव के बीच साम्य स्थापित न हो। साम्य पर उपस्थित कोई भी निकाय स्थिर तापमान पर उपयोगी कार्य नहीं कर सकता क्योंकि ऐसे में  $\Delta G$  का मान शून्य होता है। 2) स्थायी अवस्था विवृत निकाय की सर्वाधिक व्यवस्थित अवस्था होती है। विवृत निकाय के लिए एन्ट्रॉपी उत्पन्न करने की दर स्थायी अवस्था में न्यूनतम होती है तथा निकाय अधिकतम दक्षता से कार्य करता है। ध्यान दें कि जब  $\Delta S$  का मान न्यूनतम होता है तब  $\Delta G (= \Delta H - T\Delta S)$  का मान अधिकतम होता है। जीवित निकायों में असाम्य ऊष्मागतिकी के नियमों का अनुप्रयोग करने वाले अराणी वैज्ञानिक A. Katchalsky ने इसे बहुत अच्छी तरह से कहा है। उसके अनुसार, "चूंकि ऊष्मागतिकी के दूसरे नियम द्वारा सभी प्राकृतिक परिघटनाओं पर लागू एन्ट्रॉपी के नियम से बचना संभव नहीं है इसलिए जीवित जीवों ने एक आसान रास्ता चुना है—वे स्थायी अवस्था को बनाए रखते हुए न्यूनतम दर पर एन्ट्रॉपी उत्पन्न करते हैं।"

सही उत्तर को (✓) व गलत उत्तर को (x) द्वारा चिह्नित कीजिए।

- i) जीवित कोशिकाएँ सदैव साम्य अवस्था में रहती हैं।
- ii) किसी कोशिका के प्रत्येक अवयव के बनने की दर उसके खर्च होने की दर के बिल्कुल बराबर होती है।
- iii) ऊष्मागतिकतः जीवित कोशिकाएँ एक संवृत निकाय बनाती हैं।
- iv) मायोसिन-ATP संकुल पेशी संकुचन के लिए उत्तरदायी होता है।
- v) सामान्यतः जैविक निकायों में कार्बनिक अणुओं के संश्लेषण के लिए ऊर्जा ATP के जल अपघटन से प्राप्त होती है।

## 8.7 सारांश

जीवित जीव एक अतिव्यवस्थित निकाय होते हैं जो कोशिकाओं के बने होते हैं। ये कोशिकाएँ जटिल कार्बनिक अणुओं की बनी होती हैं व इनकी स्पष्ट संरचनाएँ होती हैं। जीवित कोशिकाएँ यादृच्छिक रूप से वितरित व अव्यवस्थित कच्चे पदार्थों पर निर्भर करती हैं। इस प्रकार के अव्यवस्थित परिवेश से व्यवस्थित निकायों का स्वतः बनना अर्थात्, पूर्ण अव्यवस्था से व्यवस्था प्राप्त करना जीवित निकायों में ऊर्जा के लगातार प्रवाह द्वारा संभव हो पाता है। किसी निकाय व उसके परिवेश के बीच ऊर्जा (एन्थैल्पी अधिक उपयुक्त है) का विनिमय ऊर्जा संरक्षण के नियम या ऊष्मागतिकी के पहले नियम द्वारा नियंत्रित होता है। निकाय के कुल एन्थैल्पी परिवर्तन का कुछ भाग उसकी एन्ट्रॉपी बढ़ाने में खर्च हो जाता है तथा बाकी (मुक्त ऊर्जा में परिवर्तन) स्थिर ताप पर उपयोगी कार्य के लिए उपलब्ध होता है। जीवित निकाय ऊर्जा ग्रहण करने व इसके उपयोग के लिए मुक्त ऊर्जा पर निर्भर करते हैं। किसी निकाय की एन्थैल्पी, एन्ट्रॉपी तथा मुक्त ऊर्जा में परिवर्तन क्रमशः  $\Delta H$ ,  $\Delta S$  व  $\Delta G$  निम्न समीकरण द्वारा संबंधित है:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

कोई भौतिक परिवर्तन अथवा रासायनिक अभिक्रिया केवल तभी स्वतः (अपने आप) होती है जब उसके लिए  $\Delta G$  का मान ऋणात्मक होता है। ऊर्जाजनिक प्रक्रियाएँ स्वतः होती हैं। ऊष्माशोषी प्रक्रियाओं, जिसमें  $\Delta G$  का मान धनात्मक होता है, को उपयुक्त (उच्च ऊर्जाजनिक प्रक्रिया) से संयुग्मित करके किया जा सकता है। इससे पूर्ण निकाय के नेट  $\Delta G$  का मान ऋणात्मक हो जाता है।  $\Delta G$ , एक स्थिरांक, मानक मुक्त ऊर्जा,  $\Delta G^\circ$  से निम्न समीकरण द्वारा संबंधित है :

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K_{eq}$$

जैव रासायनिक निकायों में सभी मापन pH=7 के स्थिर मान पर किए जाते हैं। pH 7 पर मानक मुक्त ऊर्जा परिवर्तन को  $\Delta G^\circ$  द्वारा दर्शाया जाता है।

सभी जैविक निकाय मुक्त ऊर्जा की उपलब्धता पर निर्भर करते हैं। यह मुक्त ऊर्जा कई रूपों में हो सकती है, जैसे, रासायनिक ऊर्जा तथा प्रकाश ऊर्जा, इत्यादि। ATP, जीवित निकायों में ऊर्जा का एक प्रमुख स्रोत है। pH = 7 व 298 K पर ऐडेनोसिन ट्राइफॉस्फेट (ATP) के ऐडेनोसिन डाइफॉस्फेट (ADP) तथा फॉस्फेट आयन ( $P_i$ ) में जल अपघटन की मानक मुक्त ऊर्जा  $-30.5 \text{ kJ mol}^{-1}$  होती है। जीवित निकायों में बाहर से आने वाली ऊर्जा, चाहे वह पोषक तत्वों के रूप में हो अथवा प्रकाश ऊर्जा के रूप में (प्रकाश संश्लेषण में), पहले वह (ATP) में परिवर्तित होती है, अर्थात्, ADP तथा  $P_i$  से ATP का संश्लेषण होता है और बाद में ATP के ADP व  $P_i$  में जल अपघटित होने पर यह ऊर्जा उपलब्ध हो जाती है तथा इसका उपयोग कोशिका में विभिन्न ऊर्जाशोषी (endergonic) कार्यों को करने के लिए किया जाता है जैसे कि रासायनिक संश्लेषण, यांत्रिक कार्य, परासरणी प्रवणता (osmotic gradient) के विपरीत आयनों व अणुओं का अभिगमन इत्यादि। ATP को एक "उच्च ऊर्जा" भौतिक कहा जाता है। विशिष्ट भूमिका के कारण सभी जीवित निकायों में ATP का निरंतर व तीव्र संश्लेषण व विघटन अर्थात्, "टर्न ओवर" होता रहता है।

ऊष्मागतिकतः, जीवित कोशिकाएँ एक विवृत निकाय (open system) बनाती हैं, जो लगातार अपने परिवेश के साथ ऊर्जा व द्रव्य का विनिमय कर सकता है। जीवित कोशिका सदैव स्थायी अवस्था (steady state) में रहती है अर्थात्, इसमें द्रव्य तथा ऊर्जा के निवेश व व्यय की दर समान होती है। जब विवृत निकाय स्थायी अवस्था में होता है, तब एन्ट्रॉपी में न्यूनतम बढ़ोतरी होती है।

## 8.8 अंत में कुछ प्रश्न

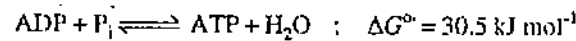
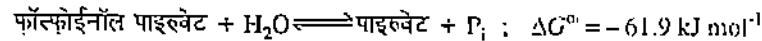
सारणी 8.1 में दिए गए डाटा के आधार पर निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए।

- यदि अभिक्रिया के प्रत्येक सदस्य की सांद्रता 1 मोल प्रति लीटर हो, तो निम्नलिखित व्युत्क्रमणीय अभिक्रियाओं की स्वतः प्रवृत्ति की दिशा का पूर्वानुमान कीजिए।
  - ATP + क्रिएटिन  $\rightleftharpoons$  फॉस्फोक्रीएटिन + ADP
  - ATP + ग्लूकोस  $\rightleftharpoons$  ग्लूकोस-6-फॉस्फेट + ADP
  - ATP + ऐसीटेट  $\rightleftharpoons$  ऐसीटिल फॉस्फेट + ADP
  - ATP + पाइरूवेट  $\rightleftharpoons$  फॉस्फोईनॉल पाइरूवेट + ADP
- ग्लूकोस-6-फॉस्फेट के ग्लूकोस-1-फॉस्फेट में समावयवीकरण के लिए  $\Delta G^\circ$  तथा साम्य स्थिरांक ( $K'_{eq}$ ) का परिकलन कीजिए।
- निम्नलिखित अभिक्रिया,
 
$$\text{ATP} + 3 \text{ फॉस्फोग्लिसरेट} \rightleftharpoons 1, 3\text{-डाइफॉस्फोग्लिसरेट} + \text{ADP}$$
 के लिए,
  - $\Delta G^\circ$  तथा  $K'_{eq}$  मानों का परिकलन कीजिए।
  - यदि ATP, ADP का अनुपात 10 : 1 हो, तो 1,3-डाइफॉस्फोग्लिसरेट व 3-फॉस्फोग्लिसरेट का अनुपात क्या होगा ?
- ATP को कोशिका की "ऊर्जा मुद्रा" कहते हैं। इस कथन की तार्किकता सिद्ध कीजिए।

## 8.9 उत्तर

### बोध प्रश्न

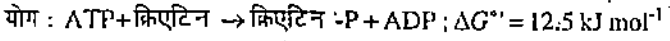
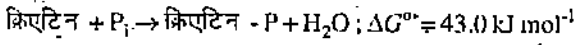
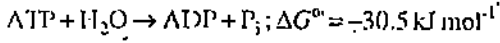
- (i)
- क) जब  $H^+$  अभिकारक अथवा उत्पाद हो, तब दोनों के मान अलग होंगे।  
ख)  $\Delta G^\circ$  का मान अभिक्रिया की स्वतः प्रवृत्ति के बारे में केवल तभी जानकारी दे सकता है, जब इसका मान वास्तविक मुक्त ऊर्जा परिवर्तन के समान होता है। तापमान, pH अथवा सांद्रता की मानक अवस्था से भिन्न अवस्थाओं में सामान्यतः ऐसा नहीं होता है।
- (iii)
- इस अभिक्रिया को निम्नलिखित दो अभिक्रियाओं के योग के रूप में लिया जा सकता है। जिनके लिए  $\Delta G^\circ$  के मान सारणी 8.1 में दिए गए हैं।



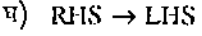
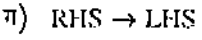
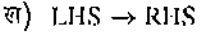
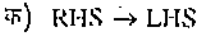
- (ii)
- (i) ×      ii) ✓      iii) ×      iv) ×      v) ✓

### अंत में कुछ प्रश्न

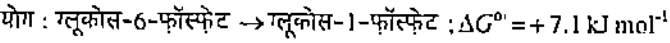
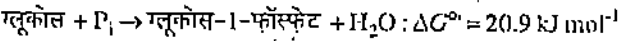
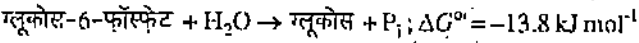
- प्रत्येक अभिक्रिया उस दिशा में स्वतः होगी, जिसमें  $\Delta G$  का मान ऋणात्मक होगा। चूंकि अभिक्रिया के प्रत्येक सदस्य की आरंभिक सांद्रता एक है तथा pH व तापमान क्रमशः 7 व 298 K हैं इसलिए,  $\Delta G$  का मान  $\Delta G^\circ$  के बराबर होगा। इनमें से प्रत्येक अभिक्रिया के लिए  $\Delta G^\circ$  का मान अभिक्रिया को विभिन्न चरणों में विभाजित करके व  $\Delta G$  मानों के संयोजन के नियम का उपयोग करके, परिकलित किया जा सकता है। इन विभिन्न चरणों के लिए  $\Delta G^\circ$  का मान सारणी 8.1 में दिए गए डाटा से प्राप्त किया जा सकता है। उदाहरण के लिए, अभिक्रिया (क) को निम्नलिखित दो अभिक्रियाओं के योग के रूप में लिया जा सकता है:



ध्यान दें कि यदि यह अभिक्रिया दाईं ओर (LHS) से दाईं ओर (RHS) जाती है, तब इसके लिए  $\Delta G^\circ$  का मान धनात्मक है। इसी अभिक्रिया के RHS से LHS की ओर जाने के लिए  $\Delta G^\circ$  का मान  $-12.5 \text{ kJ mol}^{-1}$  होगा। ख, ग व घ अभिक्रियाओं के लिए भी हम इसी प्रकार  $\Delta G^\circ$  मानों का परिकलन कर सकते हैं। इन अभिक्रियाओं के स्वतः होने की दिशाएं इस प्रकार हैं :



2. ग्लूकोस-6-फॉस्फेट के ग्लूकोस-1-फॉस्फेट में समावयवीकरण को निम्नलिखित दो अभिक्रियाओं के योग के रूप में लिया जा सकता है :



$K'_{eq}$  का मान निम्नलिखित समीकरण द्वारा परिकलित किया जा सकता है :

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K'_{eq}$$

$$+7100 = -2.303 \times 8.314 \times 298 \times \log K'_{eq}$$

$$\log K'_{eq} = 1.244$$

$$K'_{eq} = 5.69 \times 10^{-2}$$

3. क)  $\Delta G^\circ$  तथा  $K'_{eq}$  मानों का परिकलन ठीक उसी प्रकार किया जा सकता है, जैसा प्रश्न संख्या 2 के उत्तर में दिया गया है।

$$\Delta G^\circ = 18.8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$K'_{eq} = 5.01 \times 10^{-4}$$

$$\text{ख) } K'_{eq} = \frac{[\text{डाइफॉस्फोग्लिसरेट}]}{[\text{3-फॉस्फोग्लिसरेट}]} \times \frac{[\text{ADP}]}{[\text{ATP}]} = 5.01 \times 10^{-4}$$

$$\frac{[\text{डाइफॉस्फोग्लिसरेट}]}{[\text{3-फॉस्फोग्लिसरेट}]} = 5.01 \times 10^{-4} \times \frac{[\text{ATP}]}{[\text{ADP}]}$$

$$= 5.01 \times 10^{-4} \times 10$$

$$= 5.01 \times 10^{-3}$$

4. संकेत : आप इस प्रश्न का उत्तर भाग 8.3 के आधार पर दे सकते हैं।

## इकाई 9 उपापचय-I

### इकाई की रूपरेखा

- 9.1 प्रस्तावना  
उद्देश्य
- 9.2 उपापचयी पथों की सामान्य रूपरेखा
- 9.3 ग्लाइकोलाइस तथा ऐल्कोहॉली किण्वन  
ग्लूकोस का ट्राइओस फॉस्फेट में परिवर्तन  
G-3-P का पाइरुवेट में परिवर्तन  
पाइरुवेट की उपापचयी नियति  
ATP के बनने की रासायनिक संरचना तथा ग्लाइकोलाइस की और्जिकी  
ग्लाइकोलिसिस व अन्य शर्कराओं का ग्लाइकोलाइसिस पथ में प्रवेश  
ग्लाइकोलाइसिस से संबंधित कुछ विकार
- 9.4 ग्लूकोनिओजेनेसिस
- 9.5 सारांश
- 9.6 अंत में कुछ प्रश्न
- 9.7 उत्तर

### 9.1 प्रस्तावना

पिछली इकाई में हमने ऊष्मागतिकी के दो नियमों को दोहराया था तथा कोशिका में उच्च ऊर्जा स्रोत अर्थात्, ATP के उत्पन्न होने की चर्चा की थी। यह जटिल अणु कई महत्वपूर्ण उपापचयी पथों में उत्पन्न होता है तथा उन्हीं में खर्च हो जाता है। इन पथों की चर्चा हम प्रस्तुत व अगली इकाई में करेंगे।

“उपापचय” शब्द का उपयोग जीवित कोशिकाओं द्वारा की जाने वाली सभी रासायनिक अभिक्रियाओं के लिए सामूहिक रूप में होता है। अभिक्रियाओं की इन श्रेणियों, अर्थात् उपापचयी पथों की उत्पत्ति मुख्यतः ऊर्जा के तत्वांतरण (transmutation) व विभिन्न पूर्वगमियों (precursors) अथवा निर्माण खंडों के बनने तथा मॉलिक्यूलों, प्रोटीनों व न्यूक्लीक अम्लों, इत्यादि जैसे बहुलकों के रूप में उनके समायोजन के लिए हुई है। इनके साथ-साथ हार्मोनों, तंत्रिकाप्रेषियों (neurotransmitters), इत्यादि जैसे रासायनिक संदेशवाहकों के संश्लेषण के लिए भी कुछ लघु पथ होते हैं। ये पथ भी कम महत्वपूर्ण नहीं होते। सामान्य तौर पर उपापचय पथों को दो स्पष्ट शीर्षकों के अंतर्गत लिया जा सकता है। ये हैं -अपचय (catabolism) तथा उपचय (anabolism)। अपचय में जटिल कार्बनिक अणुओं का सरल कार्बनिक अथवा अकार्बनिक अणुओं में विघटन होता है। इसमें ऊर्जा उत्पन्न होती है व उसका तत्वांतरण होता है। दूसरी ओर उपचय में ऊर्जा के निवेश द्वारा सरल अणुओं से जटिल कार्बनिक अणुओं का संश्लेषण होता है। सभी उपापचयी पथों में कई चरण होते हैं व इनमें कई मध्यवर्ती होते हैं। इन्हें उपापचयज (metabolites) कहते हैं। इसलिए उपापचय को अवसर “मध्यस्थ उपापचय” (intermediary metabolism) कहते हैं। इस इकाई में हम कार्बोहाइड्रेटों के अपचय व उपचय का अध्ययन करेंगे।

#### उद्देश्य

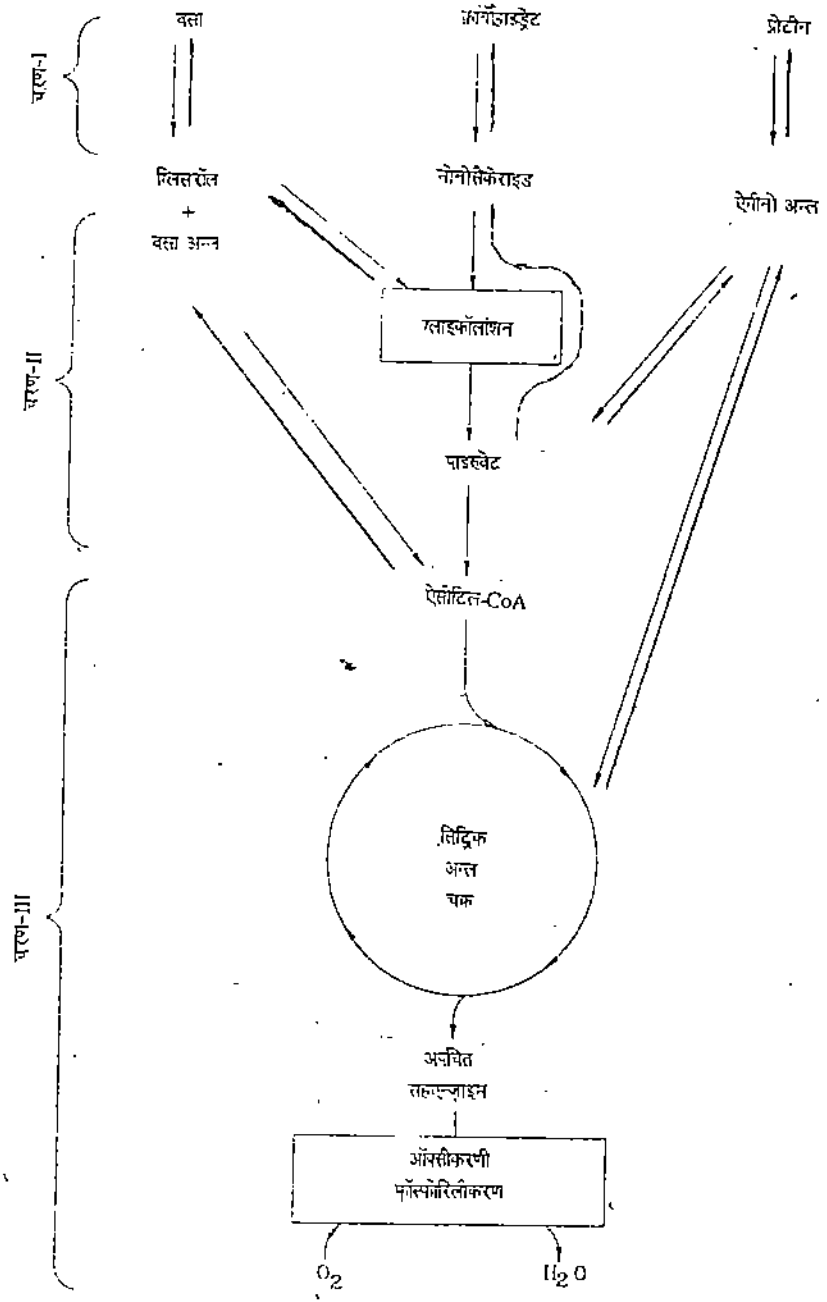
इस इकाई के अध्ययन के बाद आप:

- ④ ग्लूकोस को पाइरुवेट, लैक्टेट तथा एथानॉल नामक सरल कार्बनिकों में निम्नीकृत करने वाले रासायनिक चरणों का वर्णन कर सकेंगे,
- ④ कोशिका द्वारा उपापचयी ऊर्जा के संरक्षण अथवा उसके प्रत्यक्ष उपयोग, ऊर्जा तत्वांतरण से संबंधित चरणों को पहचान सकेंगे,
- ④ पाइरुवेट के पुनः ग्लूकोस में परिवर्तित होने के पथ का वर्णन कर सकेंगे, तथा
- ④ ग्लूकोस के विघटन व संश्लेषण की और्जिकी की तुलना कर सकेंगे।

### 9.2 उपापचयी पथों की सामान्य रूपरेखा

कार्बोहाइड्रेटों, वसाओं तथा प्रोटीनों के उपापचयी विघटन का सर्वेक्षण दर्शाता है कि ये तीन चरणों में होते हैं, जैसा चित्र 9.1 में दर्शाया गया है। पहले चरण में बड़े पोषक अणुओं का छोटे अणुओं में अपघटन होता है, जो उनके निर्माण खंड होते हैं। इस चरण में कोई उपापचयी ऊर्जा प्राप्त नहीं होती। दूसरे चरण में इस

प्रकार से प्राप्त छोटे अणुओं का आर विघटन होता है व इससे एक समान उपापचयज (common metabolites) जैसे, पाइरूवेट प्राप्त होता है। इस चरण में सीमित मात्रा में ऊर्जा प्राप्त होती है जिसका एक भाग ATP के कुछ अणुओं के संश्लेषण में खर्च हो जाता है। ये दो चरण अवायु (anaerobic) अवस्था में भी संभव होते हैं। तीसरे चरण में, पिछले चरण से प्राप्त उत्पादों का एक चक्रीय प्रक्रम द्वारा कार्बनडाइऑक्साइड व जल में उपचयन हो जाता है। इस चक्रीय प्रक्रम को ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल अथवा सिट्रिक अम्ल चक्र (tricarboxylic acid or citric acid cycle) कहते हैं। उपापचयज अपने इलेक्ट्रॉनों को सहएंजाइमों (NAD<sup>+</sup> तथा FAD) पर स्थानांतरित कर देते हैं। इससे प्राप्त अपचयित सहएंजाइम (NADH तथा FADH<sub>2</sub>) इलेक्ट्रॉन अभिगमन शृंखला में ऑक्सीजन द्वारा तथा इसके उपरांत ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण द्वारा पुनः उपयुक्त हो जाते हैं। उपापचयी ऊर्जा का एक बहुत बड़ा हिस्सा अवायु चरण में प्राप्त होता है व ATP के अधिकतर अणुओं का संश्लेषण इसी ऊर्जा के द्वारा होता है। इस चरण के लिए ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है, इसीलिए यह चरण उपापचयन के वायुजीवी (aerobic) भाग को दर्शाता है।



चित्र 9.1 : कार्बोहाइड्रेटों, वसाओं तथा प्रोटीनों के उपापचयी विघटन के विभिन्न चरण। नीचे की ओर काले तीर विघटन (अपचय) को, व ऊपर की ओर भूरे तीर जीवसंश्लेषी (उपचय) चरणों को दर्शाते हैं।

चित्र 9.1 कार्बोहाइड्रेट वसाओं व प्रोटीनों के उपापचय की अभिसारी (convergent) प्रकृति को दर्शाता है। हम देख सकते हैं कि इनमें एक समान उपापचय प्राप्त होता है। इन यौगिकों का जैव संश्लेषण बहुत सीमा तक (पूर्णतः नहीं) इससे विघटन से संबंधित चरणों के विपरीत होता है। इसके विघटन व संश्लेषण की अभिक्रियाओं में थोड़ा परन्तु महत्वपूर्ण अंतर होता है। इस प्रकार उपापचय की अपसारी (divergent) प्रकृति होती है अर्थात्, इसमें एक समान पूर्वगमियों (precursors) से विभिन्न प्रकार के यौगिक जैसे, कार्बोहाइड्रेट, वसा तथा प्रोटीन प्राप्त होते हैं।

उपापचयी पथों को और्जिकी का वर्णन हम केवल विघटन में होने वाले कुल ऊर्जा परिवर्तन जैसे, ग्लूकोस में, तथा ATP के बनने में प्रग्रहित ऊर्जा से इसकी तुलना के रूप में करेंगे। हम ऊर्जा तत्वांतरण (energy transmutation) की क्रियाविधि की चर्चा नहीं करेंगे। इस पाठ्यक्रम में हम सभी सामान्य यौगिकों के उपापचय की चर्चा नहीं करेंगे अपितु केवल कुछ उपापचयी शृंखलाओं की चर्चा द्वारा उपापचय के नियमों को समझने का प्रयास करेंगे। इस इकाई में हम ग्लाइकोलाइसिस (glycolysis) तथा अगली इकाई में ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र तथा वसा अम्ल विघटन की चर्चा करेंगे। इसी प्रकार इस इकाई में ग्लूकोनिओजेनेसिस तथा अगली इकाई में वसा अम्ल जैव संश्लेषण नामक चयी प्रक्रियाओं के वर्णन द्वारा हम विघटन व जैव संश्लेषण पथों के बीच अंतर को समझ सकेंगे।

इन उपापचयी पथों को समझने के लिए कई प्रकार के प्रयोगों का सहारा लिया गया। जंतु तथा पादप उत्तकों, पतले स्लाइसों व विभिन्न उपापचयजों वाले उभय प्रतिरोधी माध्यम में ऊष्माणन (incubation) करके उससे प्राप्त उत्पादों को पहचाना गया। विशिष्ट संदमकों की उपस्थिति में कुछ यौगिक अत्यधिक मात्रा में प्राप्त हुए व कुछ अन्य नगण्य मात्रा में प्राप्त हुए। आप जानते हैं कि X-किरणों के उच्छादन (exposure) द्वारा सूक्ष्मजीवों में आनुवंशिक दोषों को उत्पन्न किया जा सकता है। इस प्रकार से प्राप्त उत्परिवर्तियों (mutants) के अध्ययन पाया गया कि किसी-किसी उपापचयी पद को कर पाने में सक्षम नहीं होते हैं। इसके परिणामस्वरूप अवरोधक चरण से पहले वाले उपापचयज, माध्यम में इकट्ठे हो जाते हैं तथा इसके बाद वाले उपापचयज नहीं बनते। इस प्रकार से कई उत्परिवर्तियों पर किए गए अध्ययनों के परिणामों को इकट्ठा किया गया। इसके अतिरिक्त आनुवंशिक दोषों से प्रभावित मनुष्यों में अध्ययन द्वारा भी इसी प्रकार की सूचना एकत्रित की गई। रेडियोधर्मी रासायनिक तौर पर अंकित यौगिकों के उपयोग से भी उपापचयी व अपचयी पथों के बारे में जानने में बहुत सहायता प्राप्त हुई। रासायनिक रूप से अंकित यौगिकों द्वारा किसी यौगिक के कार्बन परमाणु को उसके विशिष्ट पूर्वगामी से संबंधित करने में सहायता प्राप्त होती है। जैसा कि पहले बताया गया है, इस व अगली इकाई में इस प्रकार से ज्ञात उपापचयी पथों का वर्णन करेंगे। आइए, ग्लाइकोलाइसिस से इसे आरंभ करें।

### 9.3 ग्लाइकोलाइसिस तथा ऐल्कोहॉली किण्वन

आण्विक ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में छः कार्बन वाले ग्लूकोस के तीन-तीन कार्बन वाले लैक्टेट के दो अणु में विघटन को ग्लाइकोलाइसिस (glycolysis) कहते हैं। इसे होमोलेक्टिक किण्वन (homolactic fermentation) भी कहते हैं। यह, सूक्ष्मजीवों व अधिकतर उच्च जंतुओं व वनस्पतियों में होने वाली एक सामान्य प्रक्रिया है। खमीरों (yeasts) में पाया जाने वाला पथ, ऐल्कोहॉली किण्वन, इससे बहुत मिलता-जुलता है। इसमें ग्लूकोस विघटन दो कार्बन वाले ऐल्कोहॉल के दो अणुओं व  $CO_2$  के दो अणुओं में होता है। इन पथों में पाई जाने वाली अभिक्रियाओं के क्रम की खोज बुक्नर व हालेन तथा यंग ने 1937 सदी के आरंभ तथा बाद में एम्बडेन (Embden), मय्पेरहॉफ, न्यूबर्ग, बारवर्ग तथा कोरी ने की। ऐसा उन्होंने दोनों पथों के समानान्तर अध्ययन से पाया।

ग्लाइकोलाइसिस तथा ऐल्कोहॉली किण्वन की रूपरेखा को चित्र 9.2 में दर्शाया गया है। आप इसमें दो चरणों को स्पष्ट देख सकते हैं। पहले चरण में विभिन्न हैक्सोस एक समान उत्पाद अर्थात्, ग्लिसराल्डिहाइड-3-फॉस्फेट परिवर्तित होकर ग्लाइकोलाइसिस पथ में प्रवेश करते हैं। यह ऊर्जापिंडी चरण होता है, जिसमें हैक्सोसो के फॉस्फोरिलकरण के लिए ATP के अणुओं का व्यय होता है। दूसरे चरण में सभी हैक्सोस एक ही पथ का पालन करते हैं। ग्लिसराल्डिहाइड का लैक्टेट में परिवर्तन होता है। इस पद में ATP के रूप में ऊर्जा निकलता है। आइए, इन पदों का एक-एक करके अध्ययन करें।

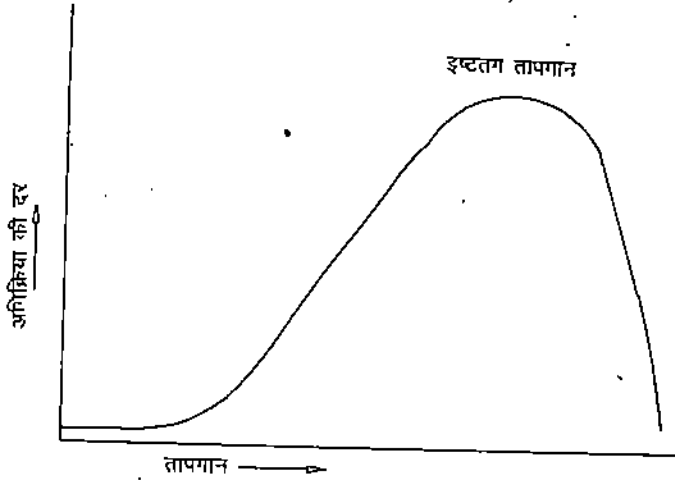
Glycos का अर्थ शर्करा + Lysis का अर्थ है तयन।

पर  $N^+H_3$  समूह  $-NH_2$  में विप्रोटोनीकृत हो जाता है। इसके परिणामस्वरूप दोनों परिस्थितियों में उत्प्रेरी सक्रियता कम हो जाती है क्योंकि इनमें सक्रिय स्थल पर आयनीकृत हो सकने योग्य पार्श्व शृंखलाओं का उपयुक्त संयोजन नहीं हो पाता है। अतः एंजाइमी सक्रियता पर pH का प्रभाव आवेशित क्रियाधार की आयनन अवस्था में बदलाव के कारण भी हो सकता है क्योंकि इसका असर क्रियाधार व एंजाइम के आवंध पर पड़ता है।

अब आप एंजाइम उत्प्रेरित अभिक्रियाओं को प्रभावित करने वाले चौथे कारक के बारे में सीलेंगे।

### 6.5.4 तापमान का प्रभाव

आप जानते हैं कि तापमान के बढ़ने से अभिकारक के अणुओं के बीच संघट्टन बढ़ जाते हैं। इस प्रकार तापमान के बढ़ने से अभिक्रिया की दर बढ़ जाती है। यद्यपि एंजाइमी अभिक्रियाओं में ऐसा केवल एक सीमित ताप क्षेत्र में ही होता है। उसके बाद अभिक्रिया की दर में तीव्र कमी आ जाती है। इसके माने यह है कि एंजाइमों का एक इष्टतम तापमान होता है, जहां पर उनकी सक्रियता अधिकतम होती है जैसा कि चित्र 6.11 में दर्शाया गया है।



चित्र 6.11: एन्जाइम की सक्रियता पर तापमान का प्रभाव

जैसा आपने इस चित्र में देखा होगा कि एंजाइम की सक्रियता तापमान के साथ बढ़ती है। ऐसा स्पष्टतः एंजाइम व क्रियाधार के बीच होने वाले संघट्टनों की संख्या तथा इनकी ऊर्जा में बढ़ोतरी के परिणामस्वरूप होता है। तापमान में और बढ़ोतरी करने पर एंजाइम की सक्रियता तीव्रता से कम हो जाती है। ऐसा ताप द्वारा एंजाइमी प्रोटीन के विकृतीकरण के कारण होता है। हम कह सकते हैं कि यद्यपि तापमान के बढ़ने से अभिक्रिया की दर बढ़ती है परन्तु इसके साथ-साथ एंजाइम के निष्क्रिय होने की दर भी बढ़ती है। एंजाइम सक्रियता के लिए इष्टतम तापमान की परिकल्पना कोई बहुत उचित नहीं है क्योंकि यह तापमान में बढ़ोतरी से एंजाइमी सक्रियता में लाभ व एंजाइम निष्क्रियण से सक्रियता में हानि के परिणामस्वरूप होती है। चूंकि एंजाइम का निष्क्रियण समय पर निर्भर करता है, इसलिए इष्टतम तापमान स्वयं किसी तापमान पर अभिक्रिया दर मापन में लगे समय पर निर्भर करेगा। तापमान में  $10^\circ$  बढ़ोतरी के संगत अभिक्रिया की दर में परिवर्तन को इसका  $Q_{10}$  अथवा ताप गुणांक मान कहते हैं। अधिकतर रासायनिक अभिक्रियाओं के लिए यह मान लगभग 2 होता है। दूसरी ओर एंजाइमी अभिक्रियाओं के लिए  $Q_{10}$  का मान कम होता है।

ऊपर दिए उपभागों में आपने एंजाइमी सक्रियता को प्रभावित करने वाले कारकों के बारे में पढ़ा। अब हम एन्जाइम संदमकों (Inhibitors) का वर्णन करेंगे जो एंजाइमी अभिक्रियाओं की दर को क्रम करते हैं।

### 6.5.5 एंजाइम संदमन

एंजाइम की सक्रियता कई कारकों, जैसे-प्रतिकूल pH परिस्थितियां, तापमान में बढ़ोतरी (कभी-कभी कमी) अथवा ऐल्कोहॉल, ऐसीटोन तथा ट्राइक्लोरोऐसीटिक अम्ल जैसे प्रोटीन अवक्षेपकों की उपस्थिति द्वारा संदमित होती है। इनके द्वारा की गई संदमन क्रिया की प्रकृति सामान्य तथा अविशिष्ट होती है। एंजाइमों की संरचना तथा प्रकार्य के रूप में वह संदमक अधिक महत्वपूर्ण होते हैं जिन्हें प्रतिस्पर्धात्मक (competitive) तथा अप्रतिस्पर्धात्मक संदमक (noncompetitive inhibitors) कहते हैं।

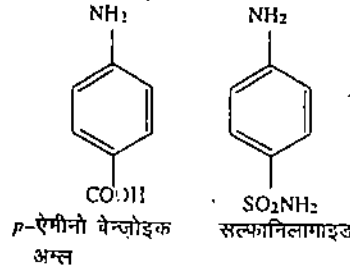
**प्रतिस्पर्धात्मक संदमक :** इनकी संरचना क्रियाधार की संरचना से मिलती है। क्रियाधार व संदमक की संरचना में समानता के कारण इन दोनों के बीच एंजाइम के सक्रिय स्थान से आवंधन करने की होड़ रहती है। इसके कारण क्रियाधार का एन्जाइम के सक्रिय स्थान से आवंधित हो कर ES संकुल बनाना कम हो जाता है। चूंकि एंजाइमों के क्रियाधार सामान्यतः उत्पापचयन (metabolites) होते हैं इसलिए प्रतिस्पर्धात्मक संदमकों को प्रतिउत्पापचयन (antimetabolites) कहते हैं। जैसे-मिनिलामाइड प्रतिस्पर्धात्मक संदमकों का सर्वोत्तम उदाहरण है। यह *p*-ऐमीनो बेन्जोएट का प्रतिस्पर्धात्मक संदमक है। *p*-ऐमीनो बेन्जोएट, एकल कार्बन हिस्सों के स्थानांतरण के लिए उपयोगी फोलिक अम्ल सहएंजाइम के संश्लेषण के लिए आवश्यक होता है। इस

अधिकतर एंजाइमों के लिए इष्टतम तापमान, जिन कोशिकाओं में वह मिलते हैं, उनके तापमान के बराबर अथवा उनसे अधिक होता है।

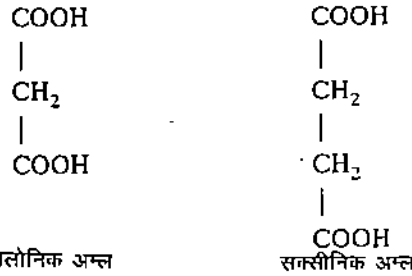
सामान्यतः अधिकतर एंजाइमों की सक्रियता ऊष्म द्वारा नाश हो जाती है। यद्यपि  $60-80^\circ C$  के तापों वाले गर्म स्रोतों में रह रहे रेक्टोरिया के एंजाइम इसके कुछ अपवाद हैं।



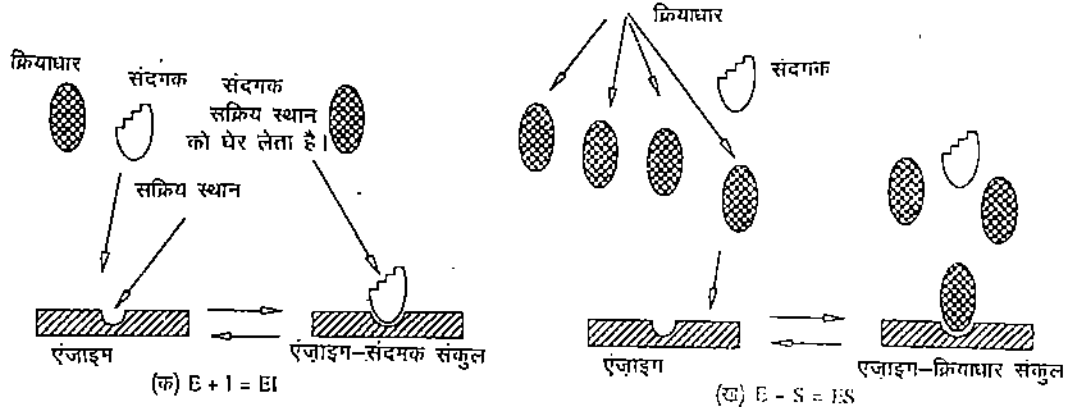
उदाहरण हैं। यह *p*-ऐमीनो बेन्जोएट का प्रतिस्पर्धात्मक संदमक है। *p*-ऐमीनो बेन्जोएट, एकल कार्बन हिस्सों के स्थानांतरण के लिए उपयोगी फोलिक अम्ल सहएंजाइम के संश्लेषण के लिए आवश्यक होता है। इस प्रकार यह समझना आसान हो जाता है कि सल्फानिलामाइड किस प्रकार, बैक्टीरिया की वृद्धि को रोकने वाली दवा के रूप में कार्य करता है। वास्तव में कई दवाएं भी प्रतिस्पर्धात्मक संदमक के रूप में कार्य करती हैं। यह कई बैक्टीरियाओं की वृद्धि व अतिजीविता के लिए आवश्यक एंजाइमी अभिक्रियाओं का संदमन करती हैं।



मैलोनिक अम्ल एक अन्य प्रसिद्ध प्रतिस्पर्धात्मक संदमक है। यह सकसीनिक डिहाइड्रोजेनेस द्वारा सकसीनिक अम्ल के फूमरिक अम्ल में उपचयन का संदमन करता है। मैलोनिक अम्ल व सकसीनिक अम्ल के बीच प्रतिस्पर्धात्मक क्रिया भी उनकी संरचनाओं में समानता के कारण है।

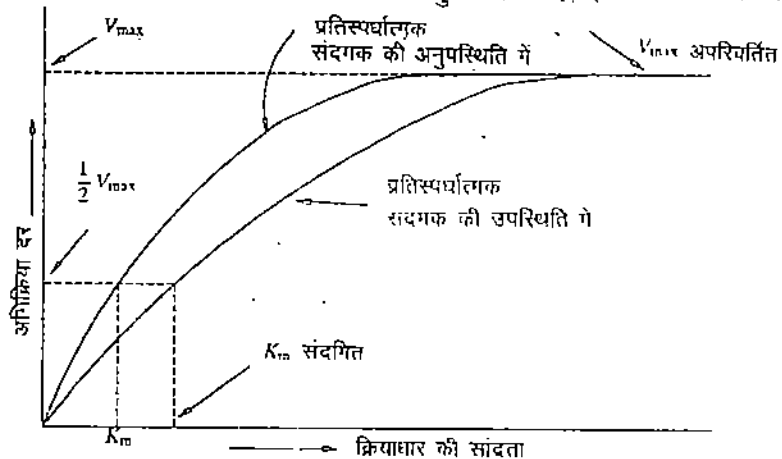


यह संभव है कि एंजाइम का सक्रिय स्थान गतती से सकसीनिक अम्ल के स्थान पर मैलोनिक अम्ल को क्रियाधार के रूप में आबंधित कर ले जिससे प्रतिस्पर्धात्मक संदमन हो जाता है। आप चित्र 6.12 में प्रतिस्पर्धात्मक संदमन का चित्रात्मक निरूपण देख सकते हैं।



चित्र 6.12 : (क) एंजाइम संदमक संकुल का बनना। (ख) क्रियाधार की सांद्रता बढ़ाने से  $ES$  की सांद्रता बढ़ जाती है, तथा  $EI$  की सांद्रता कम हो जाती है जिससे संदमक का प्रभाव कम हो जाता है।

प्रतिस्पर्धात्मक संदमन का एक विशिष्ट लक्षण यह है कि क्रियाधार की सांद्रता बढ़ाकर इसे उत्क्रमित किया जा सकता है। प्रतिस्पर्धात्मक संदमक की उपस्थिति व अनुपस्थिति में एंजाइमी अभिक्रिया की दर के अध्ययन द्वारा



चित्र 6.13 : प्रतिस्पर्धात्मक संदमक की उपस्थिति में  $V_{max}$  अपरिवर्तनीय रहता है लेकिन  $K_m$  बढ़ जाता है।

प्रतिस्पर्धात्मक संदमन का निर्धारण किया जा सकता है। चित्र 6.13 से आप यह देख सकते हैं कि प्रतिस्पर्धात्मक संदमक की उपस्थिति में  $V_{max}$  का मान अपरिवर्तित रहता है जबकि  $K_m$  बढ़ जाता है क्योंकि संदमक से प्रतिस्पर्धा करते हुए एंजाइम के आधे अणुओं को संतृप्त करने के लिए क्रियाधार की उच्च सांद्रता की आवश्यकता होती है।

**अप्रतिस्पर्धात्मक संदमक :** एंजाइम की सक्रियता के लिए अनिवार्य समूहों से आबंधन द्वारा अथवा एंजाइमी सक्रियता में भाग लेने वाले धात्विक आयनों को कम करके, क्रिया करते हैं। यह यौगिक एंजाइम को निष्क्रिय अथवा कम सक्रिय कर देते हैं। चूंकि इन संदमकों को क्रियाधार की अति सांद्रता द्वारा प्रतिस्थापित नहीं किया जा सकता, इसलिए इन्हें अप्रतिस्पर्धात्मक संदमक कहते हैं। चूंकि इनकी क्रिया में क्रियाधार का विस्थापन नहीं होता इसलिए वह क्रियाधार के  $K_m$  को प्रभावित नहीं करते। यद्यपि, चूंकि यह संदमक एंजाइम को कम सक्रिय करते हैं इसलिए  $V_{max}$  प्रभावित हो जाता है।

**बोध प्रश्न 4**

सही कथन को [✓] द्वारा चिह्नित कीजिए।

एंजाइमी अभिक्रिया का तापमान बढ़ाने से एंजाइम की सक्रियता

- (क) अप्रभावित रहती है [ ]
- (ख) लगातार बढ़ती है [ ]
- (ग) लगातार कम होती है [ ]
- (घ) पहले बढ़ती है फिर कम होती है [ ]

**बोध प्रश्न 5**

उपरोक्त कथन को [✓] द्वारा चिह्नित करें :

एंजाइम का प्रतिस्पर्धात्मक संदमक, क्रिया करता है--

- (क) एंजाइम के एक ऐमीनो अम्ल अवशिष्ट को रूपांतरित करके [ ]
- (ख) क्रियाधार की संरचना को रूपांतरित करके [ ]
- (ग) एंजाइम के सक्रिय स्थान पर आबंधन के लिए क्रियाधार से प्रतिस्पर्धा करके [ ]
- (घ) अभिक्रिया मिश्रण का तापमान बढ़ाकर [ ]

अब तक आपने एंजाइमी अभिक्रिया की दर को बढ़ाने वाले कारकों व एंजाइमी संदमकों के बारे में पढ़ा है। आपको ध्यान होगा कि एंजाइम जैव रासायनिक अभिक्रियाओं की दरों में अत्यधिक परिवर्तन करते हैं, जिससे जीवों का जीवन संभव हो पाता है। यद्यपि उनका महत्व केवल जैव रासायनिक अभिक्रियाओं की दर में परिवर्तन तक ही सीमित नहीं है इससे अधिक महत्वपूर्ण है कि इनकी सक्रियता को नियंत्रित अथवा नियमित किया जा सकता है। यह जीवित निकायों के लिए अत्यधिक महत्वपूर्ण है क्योंकि विभिन्न जैव उत्प्रेरी अभिक्रियाओं की दरों को नियंत्रित करके उन्हें विभिन्न उपापचयी पथों में इकट्ठा किया जा सकता है। इन व्यष्टिगत उपापचयी पथों को जीव के एक संपूर्ण उपापचयी निकाय के रूप में समन्वित किया जा सकता है। आइए अगले भाग में हम एंजाइमी सक्रियता के नियमन की ओर चर्चा करें।

**6.6 एंजाइमी सक्रियता का नियमन**

लेहनिन्जर ने जीवित कोशिका को अणुओं के स्वसंयोजी (self assembling), स्वसमायोजनी (self adjusting) तथा स्वशाश्वती (self perpetuating) समतापी निकाय के रूप में परिभाषित किया है जो अपने आसपास के वातावरण से द्रव्य तथा ऊर्जा का विनिमय करता है। कोशिका, ऐसा उपापचय नामक प्रक्रिया से करती है जिसमें कई क्रमागत रासायनिक अभिक्रियाएं उपापचयी पथों में संगठित होती हैं। आपको ध्यान होगा कि उपापचय में उपचयी व अपचयी अभिक्रियाएं होती हैं। उपचय (anabolism) में कम आण्विक द्रव्यमान वाले अणु, कार्बोहाइड्रेट, लिपिड, न्यूक्लीक अम्ल तथा प्रोटीनों जैसे जटिल पदार्थों में परिवर्तित होते हैं, जिनसे नए कोशिकीय अवयवों का संश्लेषण व कोशिका वृद्धि होती है। दूसरी ओर अपचय (catabolism) प्रक्रिया में सरल व जटिल पदार्थों के टूटने से ऊर्जा प्राप्त होती है। यह ऊर्जा ऊष्मा अथवा उच्च ऊर्जा आवंधों के रूप में प्राप्त होती है। उपचय व अपचय पथ आपस में जुड़े होते हैं।

यह सुस्पष्ट है कि जैव रासायनिक रूपांतरणों के इस जटिल निकाय का इस प्रकार नियमन होना चाहिए कि कुछ मुख्य उपापचयों की सांद्रता समय तथा स्थान के अनुरूप नियंत्रित रहे, ताकि उपापचय को इच्छित दिशा में निर्देशित किया जा सके, जिससे यह केवल वायु उपापचय के अंतिम उत्पादों,  $CO_2$  तथा  $H_2O$  में ही परिवर्तित न होता रहे। चूंकि उपापचय एंजाइमों की सहायता से होता है, इसलिए उपापचय के नियमन के लिए एंजाइमों का नियमन आवश्यक हो जाता है। अब हम एंजाइम सक्रियता के नियमन की मुख्य क्रियाविधियों का वर्णन करेंगे।

### 6.6.1 क्रियाधार अथवा उत्पाद द्वारा नियमन

क्रियाधार की अंतराकोशिकीय सांद्रता, कभी-कभी संगत एंजाइम की सक्रियता को नियमित कर सकती है। ऐसा नियमन तब संभव है जब एंजाइम का  $K_m$  मान क्रियाधार की अंतराकोशिकीय सांद्रता से कहीं अधिक हो जिससे क्रियाधार की सांद्रता के प्रति एंजाइम सक्रियता की कोटि एक हो।

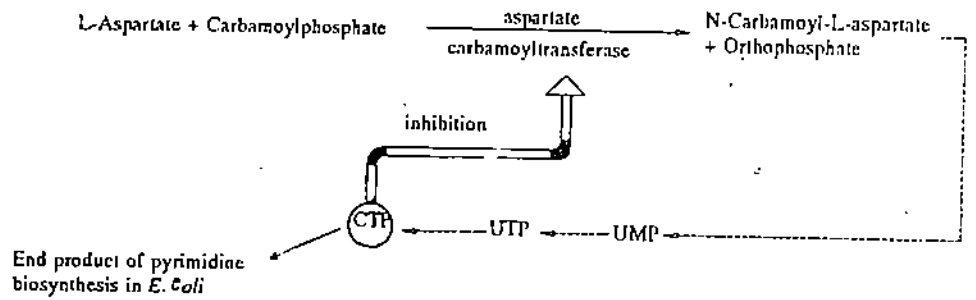
एंजाइमी अभिक्रिया के उत्पाद की संरचना क्रियाधार से मिलती-जुलती हो सकती है तथा पर्याप्त सांद्रता में होने पर यह अभिक्रिया के संदमक के रूप में कार्य भी कर सकता है। यद्यपि इस प्रकार का उत्पाद संदमन बहुत महत्वपूर्ण नहीं होता है क्योंकि सार्थक संदमन के लिए उत्पाद की उच्च सांद्रता में इकट्ठा होना आवश्यक है। इसके अलावा किसी विशेष एंजाइम के उत्पाद द्वारा, पूर्ण पथ की आवश्यकताओं से अलग, स्वतंत्र रूप में एंजाइम की संदमन कर सकने की कल्पना कर पाना कठिन है।

एंजाइमी सक्रियता को नियंत्रित करने वाली एक महत्वपूर्ण जैविक क्रियाविधि ऐलोस्टेरिक नियमन (allosteric regulation) कहलाती है। यह अन्योन्यक्रिया प्रमुख एंजाइमों की सक्रियता में परिवर्तन द्वारा सक्रियता का संदमन अथवा सक्रियण कर सकती है। ऐसा तब संभव है जब एंजाइम कोशिका में उत्पन्न अणुओं से क्रिया करते हैं। आइए हम इस प्रकार के नियमन की ओर व्याख्या करें।

### 6.6.2 ऐलोस्टेरिक नियमन

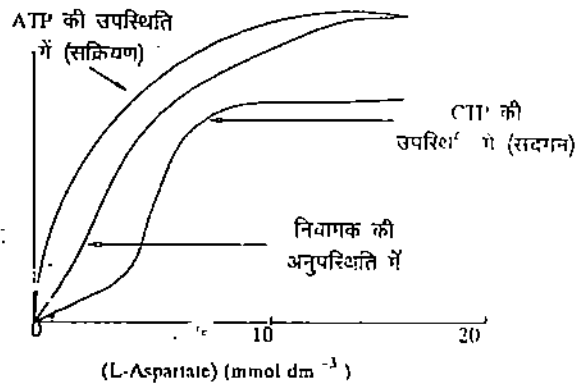
कुछ जैव संश्लेषी पथों का नियमन इस विधि द्वारा होता है। ऐसे में जैव संश्लेषी पथ के पहले एंजाइम का उसा पथ के अंत उत्पाद से प्रबल संदमन होता है इसे पुनर्भरण संदमन (feed back inhibition) भी कहते हैं।

उदाहरण के लिए, *E. coli* में पिरिमिडीन के जैव संश्लेषण के प्रथम चरण को उत्प्रेरित करने वाले एंजाइम, ऐस्पार्टेट कार्बामॉइल ट्रांसफेरेस का इस पथ के उत्पाद, एक पिरिमिडीन न्यूक्लिओटाइड, CTP, द्वारा संदमन होता है (चित्र 6.14)।



चित्र 6.14 : पथ के अंत उत्पाद द्वारा प्रथम एंजाइम का संदमन

एक प्यूरिन न्यूक्लिओटाइड, ATP, द्वारा इस एंजाइम को सक्रियित किया जाना लक्ष्यपूर्ण है (चित्र 6.15)।



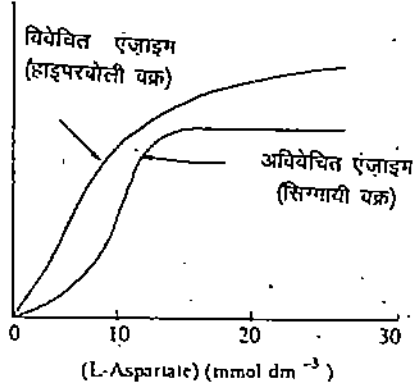
चित्र 6.15 : *E. coli* के ऐस्पार्टेट कार्बामॉइल ट्रांसफेरेस एंजाइम की बलगतिकी पर CTP तथा ATP नियमकों के अणुओं का प्रभाव।

इस प्रकार इन दो प्रकार के न्यूक्लिओटाइडों की विपरीत क्रिया के परिणामस्वरूप न्यूनतमिक अणुओं के संश्लेषण के लिए प्यूरिन व पिरिमिडीन न्यूक्लिओटाइडों का बनना संतुलित मात्रा में होता है। कई अन्य पथों के अध्ययन के आधार पर, इस प्रकार के नियमन के बारे में निम्नलिखित सामान्य निष्कर्ष निकाले गए हैं।

- पथ के अंतिम उत्पाद द्वारा पुनर्भरण नियमन में जैवसंश्लेषी पथ के केवल पहले एंजाइम की सक्रियता ही प्रभावित होती है।
- उपापचयी पथ के इस अंतिम उत्पाद व प्रथम एंजाइम के क्रियाधार के बीच कोई संरचनात्मक समानता नहीं होती इस प्रकार यह क्रियाधार अथवा उत्पाद द्वारा नियमन से अलग एंजाइम नियमन की एक स्वतंत्र विधि है (उपभाग 6.6.1 भी देखिए)।

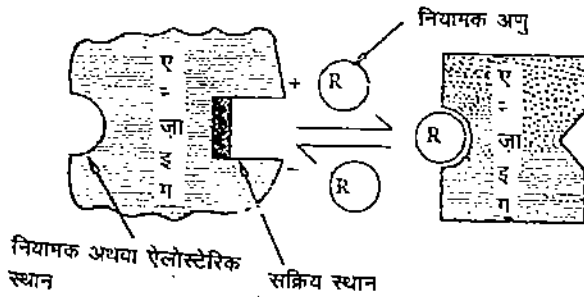
● नियामक अणु, जिन्हें कार्यकर (effector) भी कहते हैं प्रथम एंजाइम के सक्रिय स्थान से आबंधन नहीं करते, क्योंकि वह प्रथम अभिक्रिया के अधिकारक तथा उत्पाद से संरचनात्मक रूप में भिन्न होते हैं। यह अपनी नियमन क्रिया एंजाइम के किसी दूसरे हिस्से से आबंधित होकर करते हैं। इन्हें ऐलोस्टेरिक स्थान कहते हैं। यह आबंधन व्युत्क्रमणीय होता है। इस प्रकार से नियमित एंजाइमों को ऐलोस्टेरिक एंजाइम कहते हैं।

● ऐलोस्टेरिक एंजाइम सामान्य माइकेलिस मेन्टन अथवा हाइपरबोली बलगतिकी नहीं दर्शाते। इनमें क्रियाधार की सांद्रता व अभिक्रिया दर के बीच का आरेख सिग्मोयी (sigmoidal) व्यवहार दर्शाता है (चित्र 6.15 तथा 6.16)। इस व्यवहार के अनुसार क्रियाधार की किसी विशेष सांद्रता पर क्रियाधार की सांद्रता बढ़ाने से एंजाइम की सक्रियता, सामान्य बलगतिकी व्यवहार दर्शाते एंजाइम की अपेक्षा, कहीं अधिक प्रभावित होती है। एंजाइम के भौतिक अथवा रासायनिक विवेचन (treatment) द्वारा उसकी सिग्मोयी बलगतिकी को हाइपरबोली बलगतिकी में परिवर्तित किया जा सकता है (चित्र 6.16)।



चित्र 6.16 : E. coli के नियामक विवेचित तथा अविवेचित एंजाइम ऐस्पार्टेट कार्बामॉइल ट्रंसफेरेस की बलगतिकी की तुलना

● नियामक एंजाइमों की संरचना सामान्यतः अल्पभागी (oligomeric) होती है जैसी कि रक्त की ऑक्सीजन वहन प्रोटीन, हीमोग्लोबिन की होती है। इन एंजाइमों की अल्पभागी संरचनाओं को बनाने वाली उपइकाइयां दुर्बल असहसंयोजक बलों द्वारा जुड़ी होती हैं। ऐसे एंजाइम के ऐलोस्टेरिक स्थान पर नियामक अणु के आबंधन के परिणामस्वरूप एंजाइम के अभिविन्यास में व्युत्क्रमणीय परिवर्तन होता है अर्थात्, एंजाइम की उपइकाई के आकार में परिवर्तन होता है जिसके कारण सक्रिय स्थान की संरचना में परिवर्तन हो जाता है (चित्र 6.17)।



चित्र 6.17 : नियामक अणु द्वारा नियमित एंजाइम में व्युत्क्रमणीय संरचनात्मक परिवर्तन का चित्रात्मक निरूपण

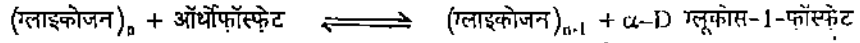
आपको ध्यान होगा कि हीमोग्लोबिन के लिए प्रतिशत ऑक्सीजन संतृप्त तथा ऑक्सीजन दाब के बीच आरेख की सिग्मोयी प्रकृति होती है (चित्र 5.9)। नियामक एंजाइमों की बलगतिकी की सिग्मोयी प्रकृति यह दर्शाती है कि उसकी उपइकाइयों के बीच अन्योन्यक्रिया होती है जिससे एक उपइकाई के सक्रिय स्थान में परिवर्तन से दूसरी उपइकाइयों के सक्रिय स्थान की संरचना प्रभावित होती है। ऐसा असहसंयोजक अन्योन्यक्रियाओं के पुनर्विन्यास द्वारा होता है। ऐलोस्टेरिक एंजाइम से नियामक अणु के आबंधन पर विभिन्न उपइकाइयों में होने वाली इन अन्योन्यक्रियाओं को सहकारी अन्योन्यक्रियाएं (cooperative interaction) कहते हैं।

एंजाइम के ऐलोस्टेरिक स्थान पर नियामक के आबंधन से प्रेरित संरूपीय परिवर्तनों द्वारा एंजाइमों की सक्रियता का नियमन संभवतः उपापचयी नियमन अथवा नियंत्रण का सबसे उत्तम तरीका है। एंजाइम सक्रियता के नियमन की एक अन्य विधि में एंजाइम का व्युत्क्रमी सहसंयोजक रूपांतरण होता है। आइए आगे के अध्याय में हम इस विधि को समझें।

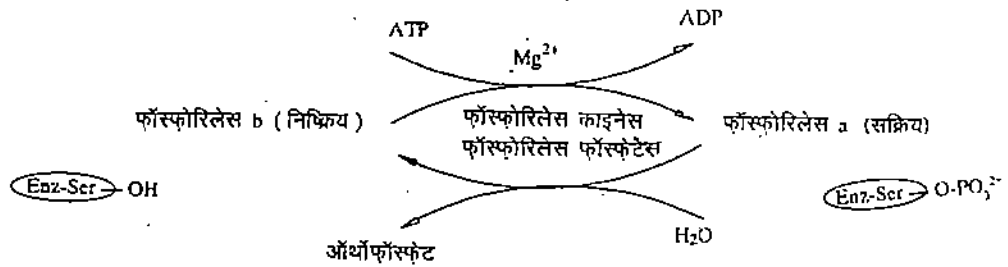
### 6.6.3 एंजाइम के व्युत्क्रमी सहसंयोजक रूपांतरण द्वारा नियमन

जैव संश्लेषी तथा निम्नकारी पथों के कई महत्वपूर्ण एंजाइमों का नियमन उनकी पार्श्व शृंखलाओं के व्युत्क्रमी सहसंयोजक रूपांतरण द्वारा होता है। यह एंजाइम दो अलग-अलग रूपों में उपस्थित होते हैं व उनकी उत्प्रेरी क्षमता भी भिन्न होती है। इन दो रूपों के बीच अन्य एंजाइमों की मदद से अंतरारूपांतरण संभव है। इनमें से कुछ एंजाइम पार्श्व शृंखलाओं के रूपांतरण को उत्प्रेरित करते हैं जबकि अन्य इस रूपांतरण के व्युत्क्रम को उत्प्रेरित करते हैं।

हम दो एंजाइमों, फॉस्फोरिलेस तथा ग्लाइकोजन सिंथेस के उदाहरणों द्वारा इसे समझेंगे। यह एंजाइम क्रमशः ग्लाइकोजन के निम्नीकरण तथा जैव संश्लेषण में भाग लेते हैं। फॉस्फोरिलेस एंजाइम निम्न अभिक्रिया को उत्प्रेरित करता है।



एंजाइम, फॉस्फोरिलेस के दो रूप होते हैं, सक्रिय रूप (a) व निष्क्रिय रूप (b)। इन दोनों की संरचनाओं में केवल इतना अंतर है कि a रूप में एंजाइम के ऐमीनो अम्ल अनुक्रम में संख्या 14 पर उपस्थित सेरीन की पार्श्व शृंखला का फॉस्फेटीकरण होता है जबकि b रूप में ऐसा नहीं होता। एंजाइम का फॉस्फेटीकरण ATP तथा  $\text{Mg}^{2+}$  आयनों की उपस्थिति में एंजाइम फॉस्फोरिलेस काइनेस द्वारा उत्प्रेरित होता है। इस प्रक्रिया का विलोम अर्थात् फॉस्फोरिलेस a का फॉस्फोरिलेस b में परिवर्तन एक अन्य एंजाइम फॉस्फोरिलेस फॉस्फेटेस द्वारा होता है। यह एंजाइम फॉस्फोरिल समूह के निकलने को उत्प्रेरित करता है। इन अभिक्रियाओं का व्यवस्थात्मक निरूपण चित्र 6.18 में किया गया है।



चित्र 6.18 : फॉस्फोरिलेस a तथा फॉस्फोरिलेस b के अंतरा रूपांतरण का व्यवस्थात्मक निरूपण

इसी प्रकार, ग्लाइकोजन के संश्लेषण को उत्प्रेरित करने वाले एंजाइम ग्लाइकोजन सिंथेस के भी दो रूप हैं। इस एंजाइम के फॉस्फेटीकरण से एंजाइम का निष्क्रिय रूप प्राप्त होता है तथा इस प्रक्रिया में फॉस्फोरिलेस का सक्रियण हो जाता है। इस प्रकार यह स्पष्ट है कि फॉस्फोरिलेस का सक्रियण तथा ग्लाइकोजन सिंथेस का निष्क्रियण एक साथ तथा व्युत्क्रमी तरीके से होने वाली पूरक प्रक्रियाएं हैं जो ग्लाइकोजन उपापचय का समायोजित नियंत्रण करती हैं।

सक्रिय से निष्क्रिय रूप में व्युत्क्रमी रूपांतरण एंजाइम नियमन की एक अच्छी विधि है। एंजाइम के सक्रिय तथा निष्क्रिय रूपों की सांद्रता तीव्रता से घटती अथवा बढ़ती है क्योंकि उनका अंतरा रूपांतरण एंजाइम उत्प्रेरित होता है। इसके परिणामस्वरूप आरंभिक संकेत का उच्च प्रवर्धन (amplification) हो जाता है। इसमें रूपांतरी एंजाइमों की श्रेणी एक के बाद एक क्रिया करके अंतिम उपापचयी प्रक्रिया को पूर्ण करती है। एंजाइम का लगातार सक्रियण तथा निष्क्रियण भी एंजाइमी निकास को उपापचयी आवश्यकताओं के प्रति अधिक संवेदनशील बनाना है।

#### बोध प्रश्न 6

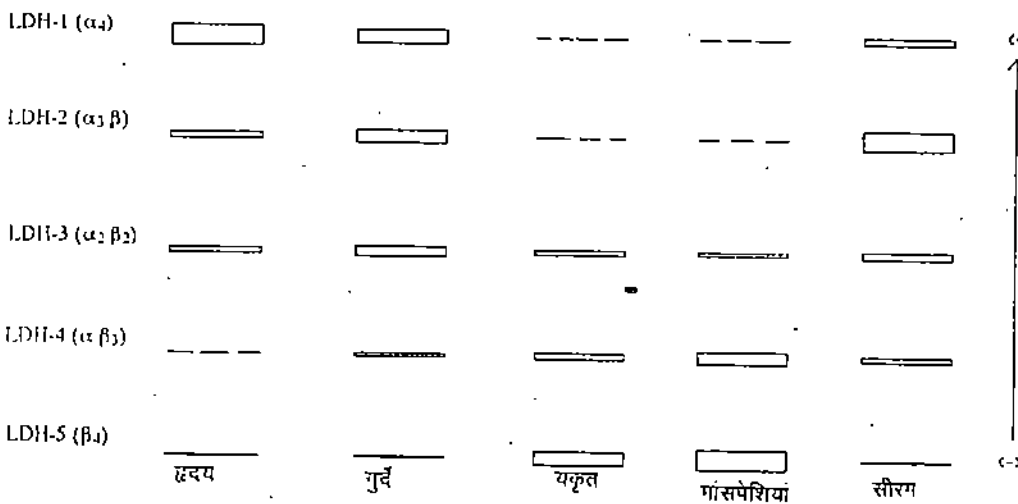
निम्नलिखित में से उपयुक्त उत्तर को [✓] द्वारा चिह्नित कीजिए।

- (क) ऐंनोस्टेरिक कार्यकर सक्रिय स्थान की अपेक्षा किसी एंजाइम के किसी दूसरे स्थान पर आबंधन करके कार्य करते हैं। [सही/गलत]
- (ख) एंजाइम के फॉस्फेटीकरण द्वारा अधिक अथवा कम सक्रिय एंजाइम प्राप्त होते हैं। [सही/गलत]
- (ग) एंजाइमी नियमन की पुनर्भरण विधि में उपापचयी पथ का अंतिम उत्पाद पथ के पहले एंजाइम का संदमन नहीं करता है। [सही/गलत]
- (घ) सक्रिय एंजाइम के निष्क्रिय रूप में व्युत्क्रमी अंतरारूपांतरण द्वारा एंजाइम की सक्रियता का नियमन नहीं होता है। [सही/गलत]

अब आप सीखेंगे कि कुछ एंजाइम एक से अधिक रूपों में रह सकते हैं जो अपने नियामक गुणों व बलगतिकी में एक दूसरे से भिन्न होते हैं। इन अलग-अलग रूपों के लिए आनुवंशिक कारक उत्तरदायी होते हैं तथा इनमें से प्रत्येक रूप विशिष्ट उतक में कार्य करता है।

### 6.7 समएंजाइम

कई बार जीवों में एक ही अभिक्रिया को उत्प्रेरित करने के लिए एक ही एंजाइम के विभिन्न रूप पाये जाते हैं। इन्हें समएंजाइम (isoenzyme) कहते हैं। यह एक ही ऐमीनो अम्ल अनुक्रम के छोड़े से रूपांतरण से प्राप्त हो सकते हैं अथवा इनका ऐमीनो अम्ल अनुक्रम अलग भी हो सकता है। इन परिवर्तनों का आनुवंशिकीय निर्धारण होता है। समएंजाइम पद, एंजाइम के उन रूपों के लिए आरक्षित है जो एक ही अभिक्रिया को उत्प्रेरित करते हैं तथा जिनका पृथक्करण भी एक ही स्पीशीज़ से होता है तथा वह आनुवंशिक कारकों से ऐमीनो अम्ल अनुक्रम में भिन्न होते हैं। समएंजाइम सामान्यतः अपने बलगतिकी तथा नियामक गुणों में भिन्न होते हैं तथा उनका वितरण उतक विशिष्ट होता है। इसके माने यह है कि किसी विशिष्ट समएंजाइम के नियामक गुणों को उन विशिष्ट उतकों की उपापचयी आवश्यकताओं के अनुरूप ढाला जाता है जिनमें उनकी सांद्रता अधिक होती है। समएंजाइमों का नामांकन उनकी ऐनोड के प्रति वैद्युतकण संचलन गतिशीलता पर आधारित होता है। इस प्रकार हैक्सोकाइनेस के समएंजाइमों को I-IV की संख्या दी गई है जिनमें समएंजाइम I की गतिशीलता न्यूनतम होती है। लैक्टेट डिहाइड्रोजेनेस के समएंजाइम, समएंजाइमों की उत्पत्ति का एक दिलचस्प उदाहरण हैं। इस समएंजाइम के सभी समएंजाइमी रूपों में चार उपइकाइयां होती हैं। यह उपइकाइयां  $\alpha$  व  $\beta$ , दो प्रकार की होती हैं। यह पांच अलग-अलग तरह से संयोजित होकर  $\alpha_4$ ,  $\alpha_3\beta$ ,  $\alpha_2\beta_2$ ,  $\alpha\beta_3$  तथा  $\beta_4$  पांच अलग समएंजाइम बनाती हैं। इन्हें LDH-I से LDH-5 तक नामांकित किया जाता है (चित्र 6.19)। LDH-I की ऐनोड की ओर, वैद्युतकण संचलन (electrophoresis) गतिशीलता सर्वाधिक होती है। LDH-I मुख्यतः हृदय में तथा LDH-5 मुख्यतः मांसपेशियों तथा यकृत में पाया जाता है। यह समएंजाइम, ऊष्मा चंचलता (heat lability) तथा क्रियाधार की अति सांद्रता द्वारा संदमन के प्रति संवेदनशीलता में भिन्न होते हैं।



चित्र 6.19 : लैक्टेट डिहाइड्रोजेनेस के समएंजाइमों की वैद्युतकण संचलन गतिशीलता

एल्कलाइन फॉस्फेटेस, हैक्सोकाइनेस, ऐमाइलेस तथा ग्लूकोस-6-फॉस्फेट डिहाइड्रोजेनेस इत्यादि कई एंजाइम समएंजाइमी रूपों में मिलते हैं। यद्यपि इनका इतना विस्तृत अध्ययन नहीं हुआ है जितना लैक्टेट डिहाइड्रोजेनेस का।

सबसे उपयुक्त कथन को [✓] द्वारा चिह्नित कीजिए।

समएंजाइम

- (अ) एक ही एंजाइम के विविध वैद्युतकण संचलनीय रूप होते हैं। [ ]
- (ब) भासर्व शृंखलाओं के रूपांतरण से प्राप्त विविध वैद्युतकण संचलनीय रूप होते हैं। [ ]
- (ग) आनुवंशिकीय तरह से निर्धारित विविध वैद्युतकण संचलनीय रूप होते हैं। [ ]
- (घ) एक समान क्रियाधार पर क्रिया करने वाले अलग-अलग एंजाइम होते हैं। [ ]

इस इकाई में हमने मुख्यतः एंजाइमों के जैव उत्प्रेरी रूप की चर्चा की है जो जीव के विभिन्न उपापचयी पथों का नियामन करते हैं। यद्यपि, आपको ध्यान होगा कि हमने भाग 6.2 में बताया था कि एंजाइमों के व्यावसायिक तथा चिकित्सात्मक उपयोग भी होते हैं। अब हम चिकित्सा के क्षेत्र में एंजाइमों के महत्व की चर्चा करेंगे।

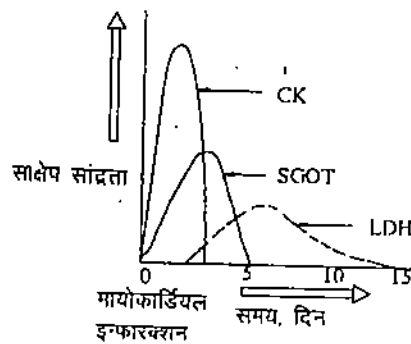
## 6.8 स्वास्थ्य विज्ञान में एंजाइम

आजकल एंजाइमों का उपयोग रोगों के निदान व उपचार में किया जाता है। एंजाइमिकी, आधुनिक चिकित्सातथ्यों की रोजमर्रा की चर्चा का एक अनिवार्य अंग है। रक्त प्लाज्मा तथा अन्य ऊत्तकों की कोशिकाओं में कुछ एंजाइमों के विभेदी वितरण के कारण इन एंजाइमों का उपयोग रोग के निर्धारण में किया जाता है। उदाहरण के लिए रक्त स्कन्दन में भाग लेने वाले एंजाइम केवल रक्त प्लाज्मा में ही पाए जाते हैं। दूसरी ओर कई ऐसे एंजाइम हैं जिनकी सांद्रता उत्तक कोशिकाओं में रक्त प्लाज्मा की अपेक्षा कहीं अधिक होती है। कोशिकाओं के नियमित विनाश के समय यह रक्त अथवा अन्य जैविक तरलों में विसर्जित होते हैं। प्लाज्मा में इनका सामान्य स्तर नगण्य होता है क्योंकि इनकी सांद्रता कोशिकाओं की अपेक्षा लगभग 10 लाख गुणा कम होती है। हृदय क्षति अथवा कैंसर कोशिकाओं की अनियमित वृद्धि के कारण कोशिका विनाश से प्लाज्मा में इन कोशिकीय एंजाइमों का स्तर बहुत बढ़ जाता है। चिकित्सक, प्लाज्मा में इन विशिष्ट एंजाइमों की सांद्रता में परिवर्तन का आकलन करते हैं तथा इसके द्वारा न केवल कोशिका क्षति को संसूचित किया जा सकता है अपितु क्षति के स्थान का निर्धारण भी संभव होता है। इन एंजाइमों की प्लाज्मा में सांद्रता के स्तर में बढ़ोत्तरी की मात्रा से कोशिकीय क्षति की मात्रा के बारे में जानकारी प्राप्त होती है। एंजाइमों के यह आमापन (assay) हृदय, यकृत, अग्न्याशय, कंकाल पेशियों, हड्डियों के रोगों तथा दुर्दम (malignant) रोगों के निदान के महत्वपूर्ण साधन बन गए हैं। सारणी 6.4 में आप कुछ एंजाइमों की सूची पायेंगे जिनके आमापन से विशिष्ट रोगों के निदान में सहायता मिलती है।

सारणी 6.4 : चिकित्सात्मक निदान में एंजाइमी आमापन

एंजाइम	निम्नलिखित के निर्धारण में सहायक
लैक्टेट डिहाइड्रोजेनेस (LDH)	हृदय अथवा कंकाल पेशियों में क्षति
ऐस्कालाइन फॉस्फेटेस	यकृत तथा हड्डी के रोग
सीरम ग्लूटामेट ऑक्सेलोऐसीटेट ट्रांस ऐमीनेस (SGOT)	हृदय तथा यकृत के रोग
क्रिएटाइन फॉस्फोकाइनेस (CK)	मांसपेशियों के रोग तथा मायोकार्डियल इन्फारक्शन
ऐसिड फॉस्फेटेस	प्रास्टेट के कैंसर
$\alpha$ - ऐमाइलेस	पेन्क्रिएटाइटिस

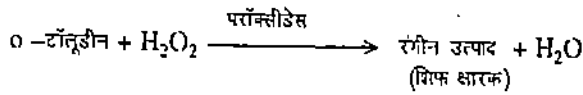
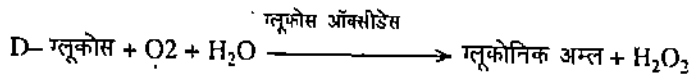
मायोकार्डियल इन्फारक्शन, जिसे सरल भाषा में हृदय रोध कहते हैं, के उदाहरण द्वारा हम एंजाइमी आमापन के उपयोग को समझने की चेष्टा करेंगे। इस अवस्था में हृदय की मांसपेशियों में रक्त का संभरण रुक जाता है तथा हृदय की कुछ कोशिकाएं मृत हो जाती हैं जिससे उनके एंजाइम अत्यधिक मात्रा में रक्त में आ जाते हैं। रक्त में तीन एंजाइमों—CK, SGOT तथा LDH की सांद्रता के आकलन से चिकित्सक को हृदय रोध तथा इसकी प्रवृत्तता को पहचानने में सहायता मिलती है। हृदय रोध के बाद रक्त में इन एंजाइमों की सांद्रता का आरेख चित्र 6.20 में दिया गया है।



चित्र 6.20 : हृदय रोध के बाद CK की सांद्रता तीव्रता से बढ़ जाती है तथा फिर इसका स्तर नीचे आता है। इसी प्रकार SGOT का स्तर भी पहले बढ़ता और फिर घटता है। आक्रमण के एक या दो दिन के बाद LDH की सांद्रता बढ़नी शुरू होती है तथा अस्थिर-अस्थिर तीन चार दिन तक बढ़ती रहती है इसके बाद अगले सात से दस दिनों में यह कम हो जाती है।

एंजाइमों का उपयोग प्रयोगशाला अभिकर्मकों के रूप में भी होता है। एंजाइमों के उपयोग से किया जाने वाला एक सामान्य परीक्षण है शर्करा के रोगी के मूत्र में ग्लूकोस की सांद्रता का मापन। इस परीक्षण में ग्लूकोस ऑक्सीडेस तथा परॉक्सीडेस नामक दो एंजाइमों का उपयोग होता है। यह एंजाइम एक परीक्षण पट्टिका में

होते हैं जिसे क्षण भर के लिए मूत्र के नमूने में डुबाया जाता है। कुछ समय पश्चात् पट्टिका में वर्ण परिवर्तन हो जाता है। सांद्रता मापने के लिए इस वर्ण की तुलना वर्ण स्केल से की जाती है। इस परीक्षण में ग्लूकोस ऑक्सीडिस ग्लूकोस के ग्लूकोनिक अम्ल तथा हाइड्रोजन परॉक्साइड में परिवर्तन को उत्प्रेरित करता है। इसके बाद परॉक्सीडिस हाइड्रोजन परॉक्साइड तथा टॉलूडीन के बीच अभिक्रिया को उत्प्रेरित करता है जिससे रंगीन उत्पाद प्राप्त होता है इस वर्ण की तीव्रता ग्लूकोस की सांद्रता दर्शाती है।



एंजाइमों का उपयोग कई बीमारियों के उपचार में किया जाता है। उदाहरण के लिए ट्रिप्सिन तथा काइमोट्रिप्सिन का उपयोग तीव्र दाहों (burns) के उपचार के लिए किया जाता है। क्योंकि यह स्कन्धित रक्त, पस तथा मृत त्वचा की प्रोटीनों का अपघटन करते हैं। इसी तरह संकुलता (congestion) को साफ करने के लिए कई नसिका फुहारों (nasal sprays) में एंजाइमों का उपयोग होता है और कभी-कभी आप अधिक भोजन करने के बाद पाचक एंजाइमों का उपयोग करते हैं, यह आपकी पाचन क्रिया में सहायता पहुंचाते हैं।

## 6.9 सारांश

इस इकाई में आपने पढ़ा कि :

- एंजाइम, जैव उत्प्रेरक होते हैं जो अभिक्रिया दर को अत्यधिक बढ़ा देते हैं। यह जीवों में होने वाली अधिकतर रासायनिक अभिक्रियाओं के लिए उत्तरदायी होते हैं।
- एंजाइमों की प्रोटीन प्रकृति होती है जिसमें बहुत अधिक संरचनात्मक विविधता होती है। कुछ एंजाइम सरल प्रोटीन होते हैं जबकि कई संयुग्मित प्रोटीन होते हैं।
- कई एंजाइमों (संयुग्मित प्रोटीनों) को एक अप्रोटीन हिस्से की आवश्यकता होती है जिसके बिना वह कार्य नहीं कर सकते। इन अप्रोटीन हिस्सों को सहकारक कहते हैं तथा यह सामान्यतः धात्विक आयन अथवा कम आण्विक द्रव्यमान वाले कार्बनिक अणु होते हैं। कार्बनिक सहकारक अधिकतर 'B' समूह के विटामिनों से व्युत्पन्न होते हैं। कार्बनिक सहकारक, सामान्यतः सहएंजाइम के रूप में जाने जाते हैं।
- एंजाइमों में एक सक्रिय स्थान होता है जहां पर क्रियाधार (अभिकारक) आवंधित होकर उत्पाद में रूपांतरित हो जाता है जो बाद में मुक्त होता है। सक्रिय स्थान में ऐमीनो अम्ल पार्श्व शृंखलाएं होती हैं जिनमें से कुछ आबंधन समूहों की तरह कार्य करती हैं जबकि अन्य उत्प्रेरी समूहों के रूप में कार्य करती हैं। उत्प्रेरी समूह की ऐमीनो अम्ल पार्श्व शृंखलाएं केवल ध्रुवीय प्रकार की होती हैं।
- एंजाइमों में उच्च उत्प्रेरी दक्षता, असाधारण विशिष्टता व नियामक गुण होते हैं। एंजाइम अभिक्रिया दर को करोड़ों गुण बढ़ा सकते हैं जिसके कारण जैव रासायनिक अभिक्रियाएं शरीरक्रियात्मक अवस्था में संभव हो पाती हैं। यह क्रियाधार व अभिक्रिया के प्रकार के प्रति अतिविशिष्टता दर्शाते हैं। विशिष्टता का स्तर विभिन्न एंजाइमों के लिए अलग-अलग होता है। बदलती शरीरक्रियात्मक परिस्थितियों में एंजाइमों के नियामक गुण एंजाइम सक्रियता को कोशिका की आवश्यकताओं के अनुसार बदल देते हैं।
- एंजाइमों को उनके द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रियाओं की प्रकृति के आधार पर छह प्रमुख वर्गों में बांटा गया है। यह वर्ग हैं— ऑक्सीडोरिक्टिस, ट्रांसफेरिस, हाइड्रोलेस, लाइऐस, आइसोमेरेस तथा लाइगेस। प्रत्येक एंजाइम को एक चार अंकीय सांकेतिक संख्या दी गई है जो प्रमुख वर्ग, क्रियाधार अथवा विदलित आबंध के प्रकार, उत्प्रेरित वास्तविक अभिक्रिया तथा उपउपवर्ग में एंजाइम का अनुक्रमांक दर्शाती है।
- एंजाइम अभिक्रिया की सक्रियण ऊर्जा को कम करके अभिक्रिया दर को अत्यधिक बढ़ा देते हैं। ऐसा अभिकारकों को एक दूसरे के निकट व अभिक्रिया के लिए उपयुक्त अभिविन्यास में लाकर किया जाता है। एंजाइम के सक्रिय स्थान पर क्रियाधार में तनाव उत्पन्न होता है जिसके परिणामस्वरूप आबंधों का टूटना व नए आबंधों का बनना होता है। इसके लिए सक्रिय स्थान पर एंजाइम व क्रियाधार के बीच अनुकूल अन्योन्यक्रियाओं से उत्पन्न ऊर्जा का उपयोग होता है।
- एंजाइमी अभिक्रियाओं की दर को कई कारक निर्धारित करते हैं। अभिक्रिया की दर व क्रियाधार की सांद्रता के बीच आरेख में उच्च क्रियाधार सांद्रता पर एक प्लेटो (plateau) होता है। यह दर्शाता है कि अभिक्रिया की दर सर्वाधिक मान पर पहुंचने के बाद क्रियाधार की सांद्रता में और बढ़ोत्तरी पर निर्भर नहीं करती।



- सर्वाधिक दर ( $V_{max}$ ) की आधी दर को प्राप्त करने के लिए आवश्यक क्रियाधार की सांद्रता को माइकेलिस स्थिरांक ( $K_m$ ) कहते हैं। शरीरक्रियात्मक परिस्थितियों में किसी एंजाइम की उत्प्रेरी क्षमता के अभिनिर्धारण के लिए यह उपयोगी होता है। इसके साथ-साथ यह एंजाइम की क्रियाधार के प्रति बंधुता की जानकारी भी देता है।
- एंजाइम सक्रियता इसकी सांद्रता के समानुपाती होती है तथा माध्यम के pH तथा तापमान पर निर्भर करती है।
- एंजाइम के सक्रिय स्थान पर आबंधन के लिए क्रियाधार से स्पर्धा करने वाले अभिकर्मक एंजाइमों का संदमन करते हैं। इन पदार्थों को प्रतिस्पर्धात्मक संदमक कहते हैं। एक अन्य प्रकार के पदार्थ एंजाइम के निष्क्रियण द्वारा उसका संदमन करते हैं। इन्हें अप्रतिस्पर्धात्मक संदमक कहते हैं।
- कुछ एंजाइम जैव संश्लेषी पथ के अंतिम उत्पाद द्वारा नियमित होते हैं। पथ का अंतिम उत्पाद पथ की पहली अभिक्रिया को उत्प्रेरित करने वाले एंजाइम के ऐलोस्टेरिक स्थान से आबंधन द्वारा उसका संदमन करता है। यह ऐलोस्टेरिक स्थान, सक्रिय स्थान से भिन्न होता है। यह संदमन एंजाइम की अल्पभागी संरचना में संरूपीय परिवर्तन के कारण होता है।
- एक अन्य प्रकार के नियमन में एंजाइम की ऐमीनो अम्ल पार्श्व शृंखलाओं का व्युत्क्रमी रूपांतरण होता है। ऐसा मुख्यतः फॉस्फेटीकरण अथवा विफॉस्फेटीकरण द्वारा होता है। इसके द्वारा एंजाइम का सक्रिय अथवा निष्क्रिय रूप प्राप्त होता है।
- कभी-कभी एंजाइम एक ही स्पीशीज के विभिन्न उत्तकों में अलग-अलग वैद्युतकण संचलनी रूपों में पाया जाता है। अलग-अलग रूपों में यह एक समान अभिक्रिया को ही उत्प्रेरित करते हैं। आनुवंशिकीय कारणों से बनने वाले एंजाइम के इन विभिन्न रूपों को समएंजाइम कहते हैं। लैक्टेट डिहाइड्रोजेनेस समएंजाइमों का एक दिलचस्प उदाहरण है।
- एंजाइम चिकित्सा विज्ञान में रोगों के निदान के लिए उपयोगी होते हैं। मानव शरीर के विभिन्न एंजाइमों के आमाप द्वारा रोग के निदान, रोग के स्थान तथा रोग की तीव्रता के बारे में जानकारी प्राप्त होती है। एंजाइमों का उपयोग प्रयोगशाला अभिकर्मकों के रूप में तथा विभिन्न रोगों के उपचार में भी होता है।

## 6.10 अंत में कुछ प्रश्न

1. ऑक्सीडोरिडक्टेस, ट्रांसफेरस से किस प्रकार भिन्न है ? अपने उत्तर की उदाहरण सहित व्याख्या कीजिए।
2. एंजाइमों के प्रतिस्पर्धात्मक संदमन के नियम द्वारा वैन्टीरिया द्वारा उत्पन्न रोगों के उपचार के लिए औषधी बनाने में किस प्रकार की सहायता मिलती है ?
3. एंजाइम के सक्रिय स्थान का वर्णन कीजिए।
4. एंजाइमी क्रिया के नियमन की आवश्यकता की चर्चा कीजिए।
5. ऐलोस्टेरिक नियमन के विशिष्ट लक्षणों का संक्षिप्त वर्णन कीजिए।
6. अभिक्रिया की संक्रमण अवस्था की व्याख्या कीजिए।
7. एंजाइम किसी अभिक्रिया की सक्रियण ऊर्जा को कम करने में किस प्रकार योगदान देते हैं ?
8. लैक्टेट डिहाइड्रोजेनेस में समएंजाइमों की उत्पत्ति का वर्णन कीजिए।
9.  $K_m$  क्या है तथा  $K_m$  के कम मान का क्या महत्व है ?

## 6.11 उत्तर

### बोध प्रश्न

1. (ख) तथा (ग)
2. (क) तथा (घ)
3. (क) बढ़ते (ख) कम (ग) सामीप्य तथा अगिबिन्वास (घ) संक्रमण
4. (घ)
5. (ग)
6. (क) सही (ख) सही (ग) गलत (घ) गलत
7. (ग)

1. ऑक्सीडोरिडक्टस शरीरक्रियात्मक अपोपचय प्रक्रियाओं में भाग लेता है जबकि ट्रांसफेरस एक क्रियाधार से दूसरे क्रियाधार पर रासायनिक समूह के स्थानांतरण को उत्प्रेरित करता है। लैक्टेट डिहाइड्रोजेनेस, ऑक्सीडोरिडक्टस का तथा हैक्सोकाइनेस, ट्रांसफेरस का उदाहरण है।
2. रोग पैदा करने वाले बैक्टीरिया अपने जीवन तथा विकास के लिए कई बार किसी विशिष्ट एंजाइमी अभिक्रिया पर निर्भर करते हैं। इन विशिष्ट एंजाइमी अभिक्रिया को प्रतिस्पर्धी संदमक द्वारा संदमित करके ऐसे बैक्टीरिया को मारा जा सकता है। ऐसे संदमक इस प्रकार डिजाइन किये जाते हैं कि वह आंशिक रूप में क्रियाधार के समान हों। यह प्रतिस्पर्धी संदमक अथवा दवा, वास्तविक क्रियाधार को सक्रिय स्थान से विधोहित करके एंजाइम की सक्रियता को संदमित करते हैं।
3. एंजाइम का वह भाग जो क्रियाधार से आवंधन करके उसके रूपांतरण को उत्प्रेरित करता है एंजाइम का सक्रिय स्थान कहलाता है। सक्रिय स्थान में जलविरोधी तथा जलस्नेही ऐमीनो अम्ल होते हैं जो जलविरोधी, स्थिर वैद्युत तथा हाइड्रोजन आवंधन अन्योन्यक्रियाओं द्वारा क्रियाधार से बंधित होते हैं। कुछ आवेशित अथवा अनावेशित जलस्नेही ऐमीनो अम्ल आवंधन के बनने व टूटने की प्रक्रियाओं में भी हिस्सा लेते हैं।
4. कोशिका की उपापचयी क्रियाओं से कोशिकीय अवयवों का जैवसंश्लेषण होता है तथा जीवन को बनाए रखने के लिए आवश्यक ऊर्जा उत्पन्न होती है। जैवरासायनिक रूपांतरणों के इस जटिल निकाय का नियमन प्रमुख उपापचयजों को उपयुक्त दिशा में निर्देशित करने के लिए आवश्यक है। इसके द्वारा उनका अंततः वायु उपापचय के अंतोत्पादों  $CO_2$  तथा  $H_2O$  में परिवर्तित हो जाने को रोका जा सकता है। चूंकि उपापचय एंजाइमों द्वारा होता है इसलिए उपाचय का नियमन अनिवार्यतः एंजाइम क्रिया का नियमन होता है।
5. ऐलोस्टेरिक नियमन का मुख्य लक्षण यह है कि पथ का अंत उत्पाद उस पथ के पहले एंजाइम का संदमन करता है। इसके लिए वह एंजाइम के सक्रिय स्थान से अलग एक ऐलोस्टेरिक स्थान पर आवंधन करता है। पहले एंजाइम की अल्पभागी संरचना में रूपांतरणीय परिवर्तन द्वारा एंजाइम का संदमन होता है। ऐसे ऐलोस्टेरिक एंजाइम सामान्य बलगतिकी व्यवहार नहीं दर्शाते हैं। इनमें अभिक्रिया दर तथा क्रियाधार की सांद्रता के बीच का आरेख हाइपरबोली की अपेक्षा सिग्मायी होता है। सिग्मायी बलगतिकी के माने यह है कि क्रियाधार के एक सक्रिय स्थान पर अन्योन्यक्रिया, अल्पभागी संरचना में अंतर उपस्कार्य संबंधों के द्वारा किसी अन्य सक्रिय स्थान को प्रभावित करती है।
6. अभिक्रिया का ऊर्जा आरेख यह दर्शाता है कि अभिकारकों के उत्पादों में परिवर्तित होने के लिए उनका एक ऊर्जारोधिका को पार करना आवश्यक होता है। इस ऊर्जारोधिका के सर्वोच्च स्थान के संगत, अभिकारकों की संरचना तथा संरूपण उसकी संक्रमण अवस्था कहलाती है। यह अवस्था अणुओं को उनकी सर्वाधिक ऊर्जा वाले रूप में दर्शाती है, जहां पर आवंधन टूटने व बनने की प्रक्रिया में होते हैं।
7. एंजाइम, अभिकारकों को समीप तथा एक दूसरे के प्रति उपयुक्त अवस्था में लाकर अभिक्रिया की सक्रियण ऊर्जा को कम करते हैं। इस प्रकार वह क्रियाधारों की प्रभावी सांद्रता को कई गुणा बढ़ा देते हैं। इस प्रकार रासायनिक अभिक्रियाओं की प्रतिकूल एन्ट्रॉपी अवस्था को एंजाइमों द्वारा पार पाया जा सकता है। इस प्रक्रिया के लिए ऊर्जा, सक्रिय स्थान पर अनुकूल एंजाइम-क्रियाधार अन्योन्यक्रियाओं द्वारा प्राप्त होती है। इन्हीं अन्योन्यक्रियाओं से प्राप्त ऊर्जा से क्रियाधार में तनाव उत्पन्न होता है जिससे आवंधनों के टूटने व बनने की प्रक्रिया आसान हो जाती है।
8. लैक्टेट डिहाइड्रोजेनेस समएंजाइम दो प्रकार की चार उपस्कारियों का बना होता है। यह दो प्रकार की उपस्कारियां  $\alpha$  तथा  $\beta$  दो अलग-अलग जीनों द्वारा कोडित होती है। यह उपस्कारियां पांच अलग-अलग तरीकों से मिलकर,  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \alpha\beta_1, \alpha\beta_2$  तथा पांच समएंजाइम देती है।
9. एंजाइम अभिक्रिया की सर्वाधिक संभव दर से आधी दर को प्राप्त करने के लिए आवश्यक क्रियाधार की सांद्रता को  $K_m$  कहते हैं। इसे मोल प्रति लिटर के रूप में व्यक्त किया जाता है।  $K_m$  का कम मान एंजाइम की क्रियाधार के प्रति उच्च बंधुता दर्शाता है।

## इकाई 7 विटामिन, सहएन्जाइम तथा खनिज

### रूपरेखा

- 7.1 प्रस्तावना  
उद्देश्य
- 7.2 विटामिनों का जैविक महत्व तथा वर्गीकरण
- 7.3 जल विलेय विटामिन  
विटामिन 'बी'  
विटामिन 'सी'
- 7.4 वसा विलेय विटामिन
- 7.5 खनिज तथा लेश-तत्व  
बृहत् खनिज  
लेश-तत्व
- 7.6 सारांश
- 7.7 अंत में कुछ प्रश्न
- 7.8 उत्तर

### 7.1 प्रस्तावना

आपने पिछली इकाइयों में सीखा है कि प्रोटीनें, कार्बोहाइड्रेट, वसाएं तथा न्यूक्लीक अम्ल जीवित कोशिकाओं के मुख्य अवयव होते हैं। इकाई 6 में हमने प्रोटीनों के एक विशेष वर्ग, एन्जाइमों का अध्ययन किया था। अब तक आप जान चुके हैं कि एन्जाइम जैव उत्प्रेरकों के रूप में कार्य करते हैं तथा एन्जाइमों के नियमन द्वारा जीवों में उपापचय का नियमन होता है। जैसा हम पहले भी कह चुके हैं कि इन अमूल्य अणुओं के बिना जीवन संभव नहीं है। यद्यपि, आपको ध्यान होगा कि कई एन्जाइमों की क्रिया के लिए सहकारकों की आवश्यकता होती है। यह सहकारक छोटे कार्बनिक अणु (सहएन्जाइम) अथवा साधारण धात्विक आयन हो सकते हैं। इस इकाई में आप विटामिनों तथा खनिजों का अध्ययन करेंगे क्योंकि इनमें से कई अणु सहकारक का कार्य करते हैं। यद्यपि, सामान्यतः विटामिनों व खनिजों की भूमिका केवल एन्जाइमों के सहकारकों तक ही सीमित नहीं है। यह उनके कार्य का केवल एक हिस्सा है। कोशिका के उचित रूप में कार्य करने के लिए बहुत थोड़ी मात्रा में विटामिनों व कुछ अन्य तत्वों की भी आवश्यकता होती है। यह अणु मानव शरीर की सामान्य वृद्धि, तथा कार्य-कुशलता के लिए अनिवार्य होते हैं। इस इकाई में हम विटामिनों, उनके अपूर्णता लक्षणों (deficiency symptoms) तथा आहारी उद्गमों (dietary sources), सहएन्जाइमों से संबंध तथा जैव रासायनिक कार्य का संक्षिप्त वर्णन करेंगे। हम मानव शरीरक्रिया (physiology) तथा जैव रसायन में खनिजों तथा लेश तत्वों के महत्व की भी चर्चा करेंगे। कार्बोहाइड्रेटों, लिपिडों तथा प्रोटीनों जैसे जैव अणुओं के अध्ययन के बाद आपका जैव और्जिकी (bioenergetics) तथा उपापचय (metabolism) के बारे में सीखना आसान हो जाएगा। इसका वर्णन हम खंड 3 में करेंगे जहां आप सीखेंगे कि शरीर में भोजन किस प्रकार ऊर्जा में परिवर्तित होता है। खंड 3 के अध्ययन के बाद आप उपापचय में एन्जाइमों, सहएन्जाइमों तथा अन्य लेश-तत्वों की भूमिका के बीच संबंध स्थापित कर सकेंगे।

### उद्देश्य

- इस इकाई के अध्ययन के बाद आप :
- विटामिनों को परिभाषित कर सकेंगे तथा उनके जैविक महत्व की व्याख्या कर सकेंगे,
- विटामिनों को जल विलेय तथा वसा विलेय में वर्गीकृत कर सकेंगे,
- जल विलेय विटामिनों के जैव रासायनिक प्रकारों तथा मध्यस्थ उपापचय में उनके सहएन्जाइमों के समान कार्य करने का वर्णन कर सकेंगे,
- वसा विलेय विटामिनों की भूमिका का वर्णन कर सकेंगे, तथा
- मानव शरीर में खनिजों तथा लेश-तत्वों के महत्व की व्याख्या कर सकेंगे।

विटामिन छोटे कार्बनिक अणु होते हैं जो लेसा-मात्रा (trace amounts) में शरीर में कार्य करते हैं। इनकी आवश्यकता कोशिका के उचित कार्य करने, सामान्य वृद्धि तथा प्रजनन (reproduction) के लिए होती है। कई जीवों तथा इनका संश्लेषण न कर पाने के कारण इन कार्बनिक यौगिकों का महत्व स्पष्ट हो जाता है। उन्हें यह विटामिन खाद्य पदार्थों से प्राप्त करने पड़ते हैं। ऐसा आदिकाल से ज्ञात है कि भोजन में इनकी अनुपस्थिति से रोग हो जाते हैं। नींबू के रस के सेवन द्वारा स्कर्वी नामक रोग से बचा जा सकता है। मसूड़ों का फूलना, जोड़ों में दर्द, वजन का कम होना, त्वचा के नीचे रक्त खाव तथा मांसपेशियों में कमजोरी इस रोग के लक्षण हैं। नींबू के रस में उपस्थित विटामिन 'सी' द्वारा इन परिस्थितियों से बचा जा सकता है। इस विटामिन का वियोजन पहले पहल सन् 1930 में हुआ था। इसी प्रकार बेरी-बेरी नाम रोग के लक्षणों का अपशमन (alleviated) चावल की पॉलिश में उपस्थित एक यौगिक के सेवन द्वारा किया जा सकता है तथा यकृत (liver) के सेवन से रतौंधी (night blindness) नामक रोग से बचा जा सकता है। इन खाद्य पदार्थों में उपस्थित यौगिक जो भोजन से संबंधित रोगों के उपचार के लिए उत्तरदायी होते हैं, उन्हें विटामिन कहते हैं। यह नाम "वाइटल ऐमीन" (vital amines) से व्युत्पन्न हुआ है क्योंकि बेरी-बेरी रोग के निवारण के लिए थायमीन (thiamine) नामक यौगिक की खोज हुई जिसे एक ऐमीन के रूप में पहचाना गया। यद्यपि आप देखेंगे कि सभी विटामिन ऐमीन नहीं होते हैं।

नींबू का रस पीने के कारण ब्रिटेन के नाविकों को "Limeys" का नाम प्राप्त हुआ। इस रस का सेवन वे स्कर्वी से बचने के लिए तब किया करते थे जब उनको समुद्र में लम्बे समय तक रहना पड़ता था।

सन् 1930 से 1940 तक विटामिनों के बारे में हमारी समझ में बहुत वृद्धि हुई, जब इन यौगिकों का बड़ी मात्रा में वियोजन हुआ तथा इनकी आण्विक संरचना का निर्धारण हुआ। यह पाया गया कि कई विटामिन अथवा उनके व्युत्पन्न सहएन्जाइमों के प्रमुख अवयव होते हैं। आप भाग 6.2 से पुनः स्मरण करेंगे कि सहएन्जाइम, कम आण्विक भार वाले अप्रोटोनीय, कार्बनिक यौगिक होते हैं जो एन्जाइम के प्रोटोनीय भाग से जुड़े होते हैं तथा एन्जाइम की क्रिया के लिए अनिवार्य होते हैं। इन एन्जाइमों को संयुग्मित प्रोटीनों के रूप में देखा जा सकता है जिनमें एक निष्क्रिय प्रोटोनीय हिस्सा होता है जिसे एपोएन्जाइम (apoenzyme) कहते हैं तथा जो सहएन्जाइम से संकुलित होता है। यदि सहएन्जाइम प्रबल आवंध बनाता है, तब उसे प्रॉसथेटिक समूह (prosthetic group) कहते हैं। यह स्थापित किया गया है कि कई विटामिन अथवा उनके व्युत्पन्न मध्यस्थ उपापचय की विभिन्न अभिक्रियाओं में हिस्सा लेने वाले एन्जाइमों के सहएन्जाइमों अथवा प्रॉसथेटिक समूहों के रूप में कार्य करते हैं। अब हम विटामिनों के वर्गीकरण की चर्चा करेंगे, जो उनकी विलेयता पर आधारित है।

### विटामिनों का वर्गीकरण

सभी ज्ञात विटामिनों को उनकी विलेयता के आधार पर दो समूहों में बांटा जा सकता है। ये हैं - जल विलेय विटामिन (water soluble vitamin) तथा वसा विलेय विटामिन (fat soluble vitamin)। विटामिन 'बी' व विटामिन 'सी' जल विलेय विटामिन हैं जबकि विटामिन 'ए', 'डी', 'ई' तथा 'के' वसा विलेय विटामिनों के समूह से संबंधित हैं। अधिकतर जल विलेय विटामिनों का सहएन्जाइम के रूप में कार्य स्पष्ट रूप से प्रीरित है। यद्यपि, विटामिन 'सी' का सहएन्जाइम के रूप में कार्य स्पष्ट नहीं है। परंतु फिर भी आप उपभाग 2.5.3 से पुनः स्मरण करेंगे कि विटामिनों में उपचयन-अपचयन अभिक्रियाएँ होती हैं तथा जैविक अपोपचय (redox) अभिक्रियाओं में यह सहकारक के रूप में हिस्सा लेते हैं। दूसरी ओर वसा विलेय विटामिनों में सहएन्जाइमी गुण नहीं होते हैं। हम विटामिनों के इन दो समूहों की अलग-अलग चर्चा करेंगे। आइए, पहले जल विलेय विटामिनों को लें।

## 7.3 जल विलेय विटामिन

जैसा पहले बताया है इस समूह में विटामिन 'बी' तथा विटामिन 'सी' आते हैं। जल में विलेय होने के कारण इन विटामिनों का नियमित रूप में मूत्र के द्वारा शरीर से निराकरण (elimination) होता है। इसलिए शरीर में इनके पुनर्भरण की आवश्यकता होती है। इसी कारणवश हमारे प्रतिदिन के भोजन में इनकी उपस्थिति आवश्यक है। फल व सब्जियों जल विलेय विटामिनों के अच्छे स्रोत हैं। अधिक देर तक गर्म करने पर यह विटामिन नष्ट हो जाते हैं। इसके माने यह है कि खाना पकाते हुए विटामिनों की सक्रियता का ह्रास होता है।

अब आप 'बी' समूह के विटामिनों की रासायनिक संरचना के बारे में सीखेंगे। इसके अलावा आप इनके स्रोत तथा शरीरक्रियात्मक कार्यों के बारे में भी सीखेंगे। हम इनमें से कुछ विटामिनों की, सहएन्जाइम के रूप में, जैव रासायनिक भूमिका की भी संक्षिप्त चर्चा करेंगे।

### 7.3.1 विटामिन 'बी'

'बी' विटामिनों में थायमीन, राइबोफ्लेविन, नियासिन, पेन्टोथैनिक अम्ल, पिरिडॉक्सिन, बायोटिन, फोलिक अम्ल तथा सायनो-कोबालेमिन होते हैं। इन सभी विटामिनों को 'बी' समूह में रखा गया है क्योंकि इस सदी के शुरू में गलती से यह समझा गया था कि 'बी' समूह में केवल एक ही विटामिन है। आइए, 'बी' समूह के विभिन्न सदस्यों का अध्ययन करें।

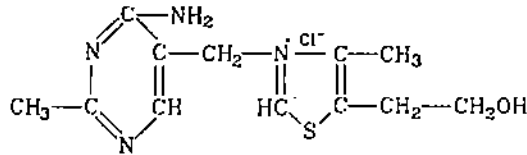
विटामिन 'बी' के अभाव को छोड़कर सभी विलेय विटामिन, वनस्पतियों द्वारा संश्लेषित किए जा सकते हैं। इसलिए हमी पक्षेदार सब्जियाँ, सायनो अनाज, फलियाँ तथा खमीर इन विटामिनो के अच्छे स्रोत हैं।

आपको ध्यान होगा कि लत विलेय विटामिन मूत्र के द्वारा शरीर से विलुप्त होते रहते हैं तथा इनका लगातार पुनर्भरण करना पड़ता है।

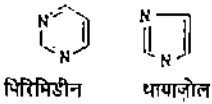
**विटामिन 'बी<sub>1</sub>' (थायमीन)**

थायमीन अथवा विटामिन 'बी<sub>1</sub>' अधिकतर कशेरुकियों (vertebrates) तथा कुछ सूक्ष्मजीवों के आहार का अनिवार्य अंग है। आहार में इसकी अनुपस्थिति से मनुष्य में बेरी-बेरी तथा जंतुओं में पॉलिन्यूराइटिस नामक रोग हो जाता है। इन रोगों में परिधीय तंत्रिकाएं (peripheral nerves) प्रभावित होती हैं तथा इनसे मांसपेशियों में ऐंठन, तंत्रिकाओं में दर्द, अत्यधिक सुन्नता (numbness) तथा परिसंचारी विकार (circulatory disorders) उत्पन्न हो जाते हैं। इसके साथ-साथ भूख में भी कमी आ जाती है। विटामिन 'बी<sub>1</sub>', खमीर, साबुत अनाजों, दालों, अंडों तथा शूअर के गोषत में पाया जाता है। इस विटामिन को कई लाख पदार्थों से प्राप्त करना पड़ता है क्योंकि किसी भी खाद्य स्रोत में अकेले विटामिन 'बी<sub>1</sub>' की इतनी मात्रा नहीं होती कि वह हमारी प्रतिदिन की आवश्यकताओं को पूरा कर सके।

विटामिन 'बी<sub>1</sub>' अथवा थायमीन, प्रतिस्थापित परिमिडीनों का बना होता है जो एक मेथिलीन सेतु द्वारा प्रतिस्थापित थायाज़ोल से जुड़ा होता है जैसा नीचे दर्शाया गया है :



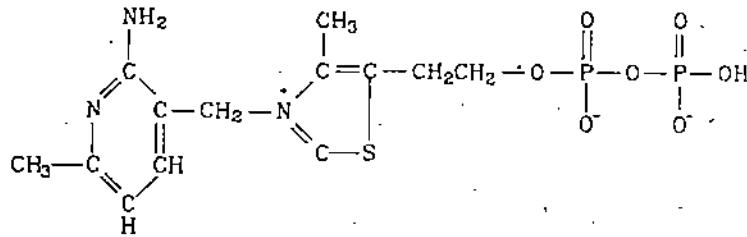
थायमीन क्लोराइड



पिर्मिडीन

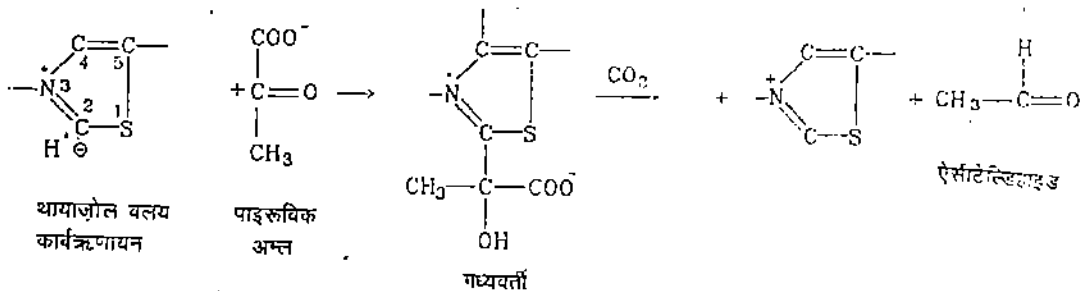
थायाज़ोल

थायमीन पायरोफॉस्फेट अथवा TPP इस विटामिन का कोशिकाओं में मिलने वाला सक्रिय सहएन्जाइमी रूप है। इस सहएन्जाइमी रूप को कोकार्बोक्सिलेस भी कहते हैं।



थायमीन पायरोफॉस्फेट (कोकार्बोक्सिलेस)

जैव रासायनिक तौर पर यह कार्बोक्सिलेस, पाइरुविक अम्ल जैसे α - कीटो अम्लों के विकार्वोक्सिलीकरण में हिस्सा लेता है। यह ग्लाइकोलिसिस पथ की एक महत्वपूर्ण अभिक्रिया है। इस अभिक्रिया के दौरान इस सहएन्जाइम की क्रिया का मुख्य स्थान, थायाज़ोल वलय, कार्बन परमाणु संख्या दो से प्रोटॉन के वियोजन द्वारा कार्वरूपायन बनाता है। पाइरुविक अम्ल इस कार्वरूपायन से अभिक्रिया करके एक मध्यवर्ती बनाता है जो CO<sub>2</sub> तथा ऐसीटैलिडहाइड को निकाल कर पुनः थायाज़ोल वलय बना देता है। यह अभिक्रिया नीचे दर्शाई गई है :



थायाज़ोल वलय कार्वरूपायन

पाइरुविक अम्ल

मध्यवर्ती

ऐसीटैलिडहाइड

थायमीन की कमी से उत्पन्न शारीरक्रियात्मक लक्षण इस अभिक्रिया के न हो पाने के कारण होते हैं जिसमें पाइरुविक अम्ल का ऐसीटैलिडहाइड में परिवर्तन होता है।

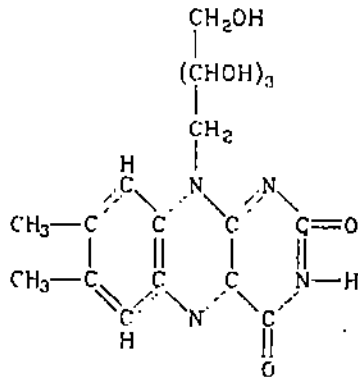
**विटामिन 'बी<sub>2</sub>' (राइबोफ्लेविन)**

राइबोफ्लेविन विटामिन 'बी' परिवार का एक महत्वपूर्ण सदस्य है। यह ताप के प्रति स्थिर परंतु प्रकाश के प्रति संवेदनशील है। भोजन में इस विटामिन की कमी से प्राणियों में अपर्याप्त वृद्धि, बालों का गिरना तथा

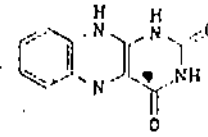
आंशों में केटेरैक्ट का बनना पाया जाता है। मनुष्यों में इस विटामिन को कम मात्रा में लेने से असामान्य दृष्टि तथा कॉर्निया-शोथ (conical inflammation) हो जाते हैं। खमीर, दुग्ध, यकृत, अंडे, तथा पत्तेदार सब्जियाँ इस विटामिन के अच्छे स्रोत हैं। यह अनाजों में भी पाया जाता है। अनाजों की पॉलिश करने से इसकी तथा विटामिन 'बी<sub>1</sub>' की हानि होती है।

विटामिन, सहएन्जाइम  
तथा खनिज

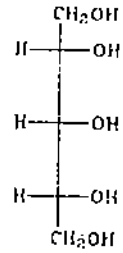
राइबोफ्लेविन एक पीले वर्णक (pigment) जिसे फ्लेविन कहते हैं तथा एक पेन्टोस ऐल्कोहॉल जिसे 'राइबिटॉल' कहते हैं, का बना होता है।



राइबोफ्लेविन

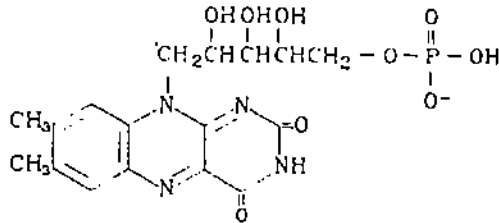


फ्लेविन  
(आइसोऐलोक्सेजिन)

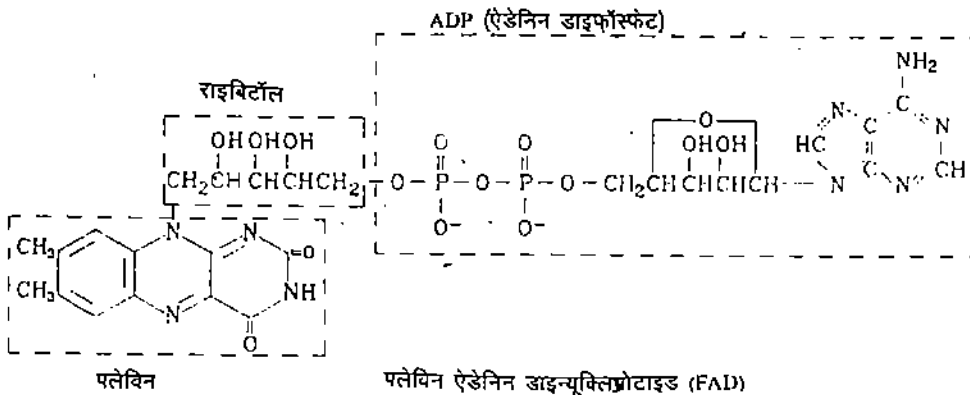


राइबिटॉल

फ्लेविन मोनोन्यूक्लिओटाइड (FMN) तथा फ्लेविन ऐडेनिन डाइन्यूक्लिओटाइड (FAD) इस विटामिन के सहएन्जाइमी रूप हैं। यह कुछ लाय पदार्थों में भी पाये जाते हैं। इनकी संरचनाएं चित्र 7.1 में दर्शाई गई हैं।



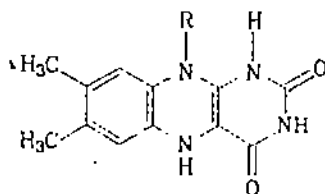
फ्लेविन मोनोन्यूक्लिओटाइड (FMN)



फ्लेविन ऐडेनिन डाइन्यूक्लिओटाइड (FAD)

चित्र 7.1 : विटामिन 'बी<sub>2</sub>' के सहएन्जाइमी रूप

जैव रासायनिक तौर पर यह फ्लेविन न्यूक्लिओटाइड फ्लेवोएन्जाइम नामक अपचयन-उपचयन एन्जाइमों के सहएन्जाइम के रूप में कार्य करते हैं। सक्सीनिक डिहाइड्रोजेनेस, D-ऐमीनो ऐसिड ऑक्सीडेस तथा इलेक्ट्रॉन वहन श्रृंखला से संबद्ध कुछ एन्जाइम फ्लेवोएन्जाइमों के उदाहरण हैं। अपचयन-उपचयन अभिक्रिया अणु के फ्लेविन हिस्से में होती है तथा इसमें अपचयित फ्लेविन न्यूक्लिओटाइड मध्यवर्ती होता है।



चित्र 7.2 : फ्लेविन न्यूक्लिओटाइडों के फ्लेविन वलय का अपचयित रूप। R सहएन्जाइम अणु के बाकी हिस्से को दर्शाता है।

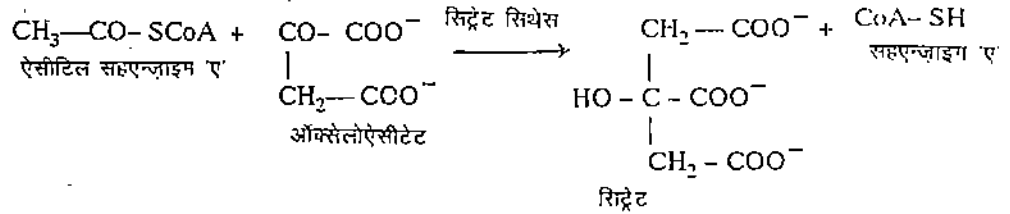






केब चक्र का अध्ययन आप इस पाठ्यक्रम की स्क्रीन 10 में करेंगे।

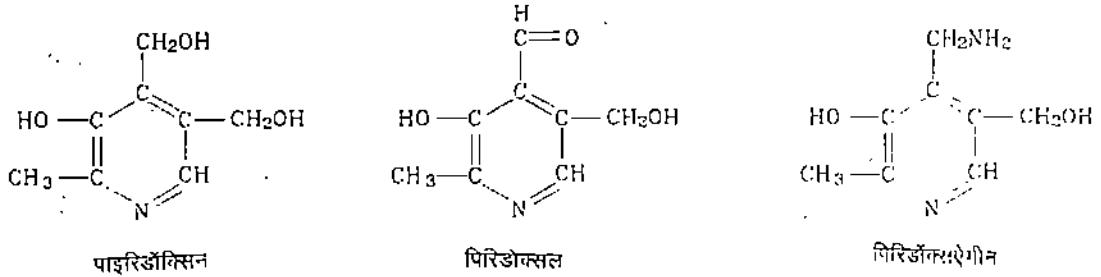
यह पेन्टोथेनिक अम्ल से फॉस्फेट एस्टर-आबंध द्वारा जुड़े ऐडिनोसिन डाइफॉस्फेट हिस्से का बना होता है। इसका पेन्टोथेनिक अम्ल वाला हिस्सा  $\beta$ -मरकैप्टोएथिलऐमीन से ऐमाइड बंध द्वारा जुड़ा होता है। इस सहएन्जाइमी रूप को सहएन्जाइम 'ए' (coenzyme A) कहते हैं। इस नाम में 'ए' यह दर्शाता है कि यह सहएन्जाइम वसा अम्ल संश्लेषण व उपचयन तथा अन्य उपापचयी रूपांतरणों में होने वाली एन्जाइमी अभिक्रियाओं में सहायता करता है। सहएन्जाइम का थाइओल समूह इसके सक्रिय स्थान के रूप में कार्य करता है तथा एक ऐसीटिल समूह द्वारा एस्टरीकृत हो कर एक थायोएस्टर, ऐसीटिल सहएन्जाइम 'ए' (acetyl coenzyme A) बन जाता है जो अपने ऐसीटिल समूह को ग्राही यौगिकों पर स्थानांतरित कर देता है। उदाहरण के लिए केब चक्र में यह अभिक्रिया से ऐसीटिल सहएन्जाइम 'ए' ऑक्सेलोऐसीटेट से अभिक्रिया करके सिट्रेट बनाता है।



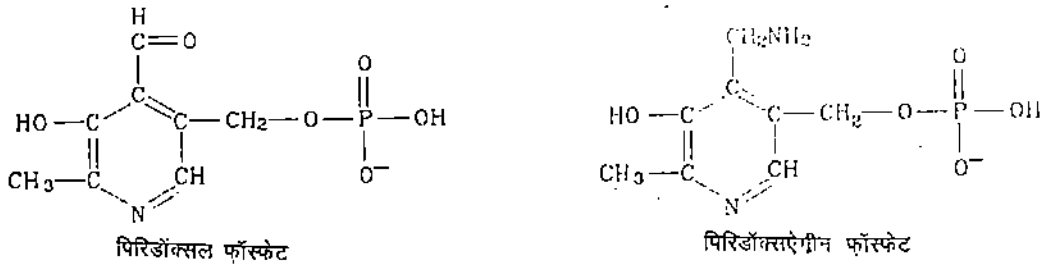
**विटामिन 'बी'<sub>6</sub> (पाइरिडॉक्सिन)**

युवा चूहों के आहार में इस विटामिन की कमी से उर्मेटाइटिस (त्वक्शोथ) जिसे ऐक्रोडिनिआ कहते हैं, हो जाता है। इस रोग में कान, नाक तथा पंजों में सूजन तथा ऐडेमा हो जाता है। गाय तथा श्वान जैसे अन्य प्राणियों में अपर्याप्त पाइरिडॉक्सिन वाले आहार के सेवन पर केन्द्रीय तंत्रिका तंत्र (central nervous system) में विकार उत्पन्न हो जाते हैं। मनुष्यों में इस विटामिन की कमी से ऐंठन, (convulsion) अत्यधिक रक्ताल्पता (anemia) तथा परिधीय तंत्रिका विकृति संबंधी रोग उत्पन्न हो जाते हैं। यह विटामिन अंडों, यकृत, खमीर, अनाजों, फलियों तथा दूध में पाया जाता है। यद्यपि पाइरिडॉक्सिन, विटामिन 'बी'<sub>6</sub> के गुण दर्शाने वाला पहला यौगिक पाया गया था, इससे संबंधित दो अन्य यौगिक पिरिडॉक्सल तथा पिरिडॉक्सऐमीन भी इसी प्रकार के गुण दर्शाते हैं। यह तीनों यौगिक पिरिडीन के व्युत्पन्न हैं जो प्राकृतिक तौर पर मिलते हैं।

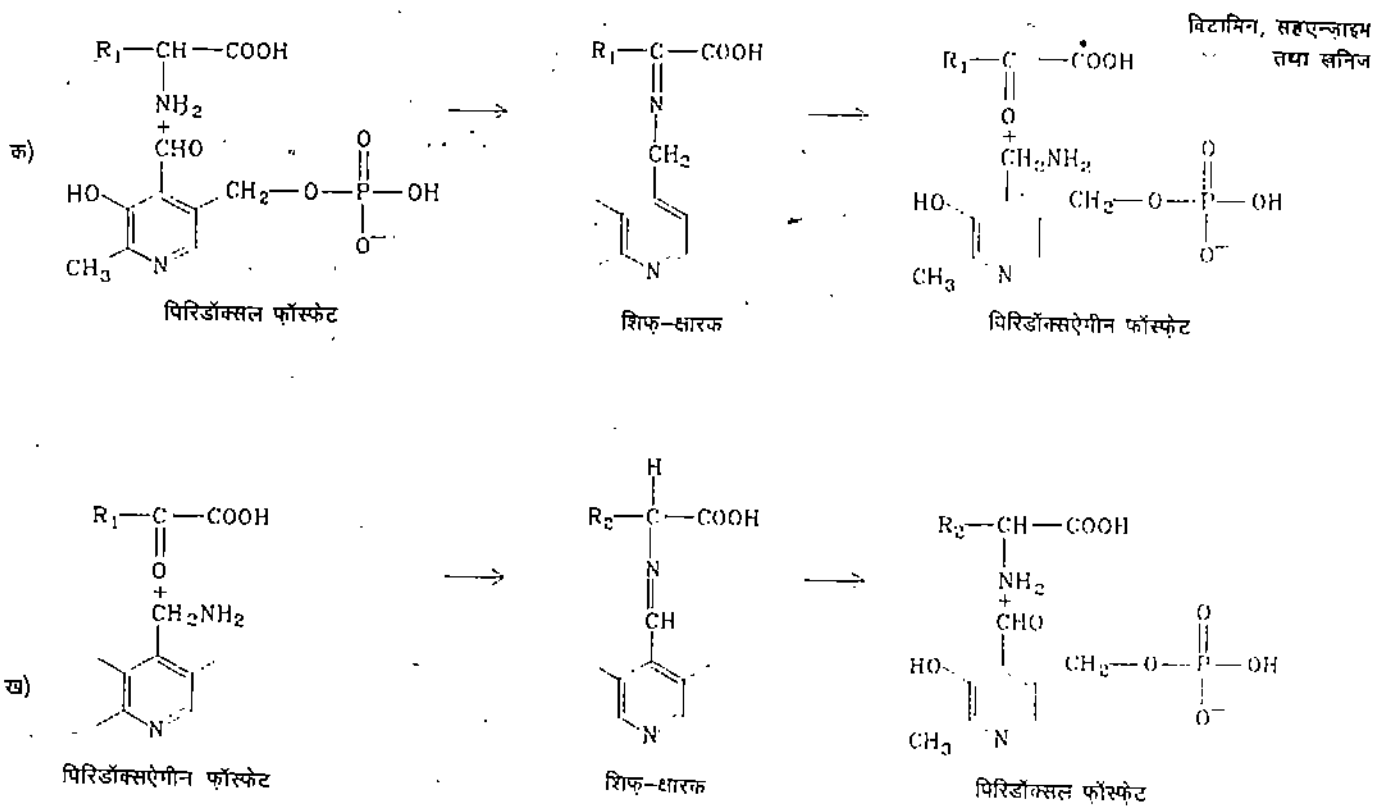
N  
पिरिडीन



इस विटामिन के सहएन्जाइमी रूप हैं - पिरिडॉक्सल फॉस्फेट तथा पिरिडॉक्सऐमीन फॉस्फेट।



यह ऐमीनो अम्ल उपापचय में भाग लेने वाले कई एन्जाइमों के लिए सहएन्जाइम का कार्य करते हैं। यह एन्जाइम ऐमीनो समूह के स्थानांतरण अथवा रूपांतरण को उत्प्रेरित करते हैं। ट्रांसऐमीनीकरण अभिक्रियाओं में ऐमीनो अम्ल का  $\alpha$ -ऐमीनो समूह एक  $\alpha$ -कीटो अम्ल के  $\alpha$ -कार्बन परमाणु पर स्थानांतरित होता है। पिरिडॉक्सल फॉस्फेट में ऐलिडहाइड समूह सहएन्जाइम का सक्रिय हिस्सा होता है। यह ऐमीनो अम्ल क्रियाधार के  $\alpha$ -ऐमीनो समूह से क्रिया करके शिफ-आधारक (Schiff-base) बनाता है। इसके बाद ऐमीनो अम्ल से ऐमीनो समूह का स्थानांतरण सहएन्जाइम पर होता है तथा  $\alpha$ -कीटो अम्ल बनता है जो मुक्त हो जाता है। पिरिडॉक्सऐमीन फॉस्फेट, एन्जाइम से जुड़ा रहता है (चित्र 7.5 क)। इसके बाद एक दूसरा  $\alpha$ -कीटो अम्ल एन्जाइम से बंधित होता है तथा पिरिडॉक्सऐमीन से ऐमीनो समूह को ग्रहण करता है जो एक अलग  $\alpha$ -ऐमीनो अम्ल बनाता है। इस प्रक्रिया में पिरिडॉक्सल फॉस्फेट इन अभिक्रियाओं के आगे चक्र के लिए पुनः प्राप्त हो जाता है (चित्र 7.5 ख)।

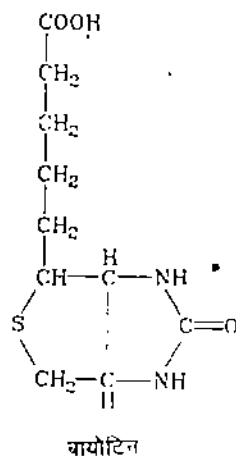


चित्र 7.5 : ट्रांसऐमीनीकरण की सामान्य अभिक्रिया में पिरिडॉक्सल सहएन्जाइमों की भूमिका

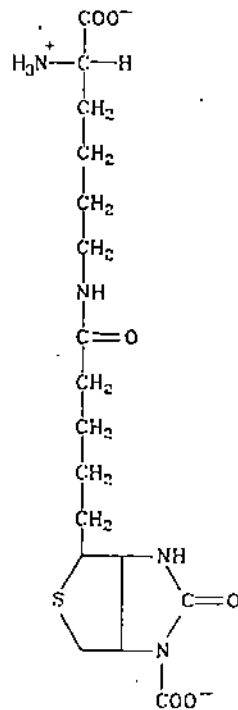
### बायोटिन

इस विटामिन की कमी से डर्मेटाइटिस (त्वक्शोथ), भितली (nausea) तथा अवनमन (depression) हो जाते हैं। प्राणियों में यह विटामिन अंडे के सफेद हिस्से के कच्चे सेवन से उत्पन्न विथैलेपन से सुरक्षा प्रदान करता है। अंडे के इस हिस्से में ऐविडिन नामक प्रोटीन होती है जो बायोटिन से प्रबल बंध बनाती है। इसलिए इसके सेवन से बायोटिन की उपलब्धता कम हो जाती है तथा विटामिन की कमी से होने वाले लक्षण पैदा हो जाते हैं। यकृत इस विटामिन का एक अच्छा स्रोत है। खमीर, गुर्दे, गिरीदार फल, टमाटर तथा अंडे का पीला भाग इस विटामिन के अन्य स्रोत हैं। आंतों में मिलने वाले बैक्टीरिया भी इस विटामिन को बनाते हैं इसलिए इस विटामिन की कमी आसानी से नहीं होती है।

बायोटिन इमिडैजोल का एक व्युत्पन्न है। इसकी संरचना नीचे दर्शाई गई है।



प्रतिस्थापित ऐमाइड के रूप में यह सहएन्जाइम का कार्य करता है। ऐपोएन्जाइम के एक विशेष लाइसिन अवशिष्ट के  $\epsilon$ -ऐमीनो समूह से यह ऐमाइड बनाता है। इस प्रकार आवंधित बायोटिन बायोटिनिललाइसीन कहलाता है।



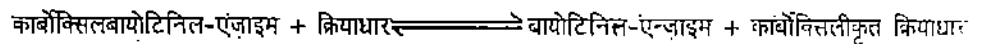
N-कार्बोक्सिबायोटिनिललाइसीन

चित्र 7.6 : कार्बनडाइऑक्साइड के अणु से उत्पन्न कार्बोक्सिल समूह के मध्यवर्ती वाहक के रूप में N-कार्बोक्सिबायोटिनिललाइसीन

यह सहएन्जाइम कार्बन डाइऑक्साइड के कार्बोक्सिल समूह के रूप में स्थानांतरण अथवा समावेशन में कार्य करता है। यह अभिक्रिया प्रोपियोनिल CoA कार्बोक्सिलेस जैसे एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है। इस अभिक्रिया में परिवर्ती (labile) कार्बोक्सिबायोटिन व्युत्पन्न मध्यवर्ती का कार्य करता है। अभिक्रिया को निम्नलिखित समीकरणों द्वारा निरूपित किया जा सकता है :



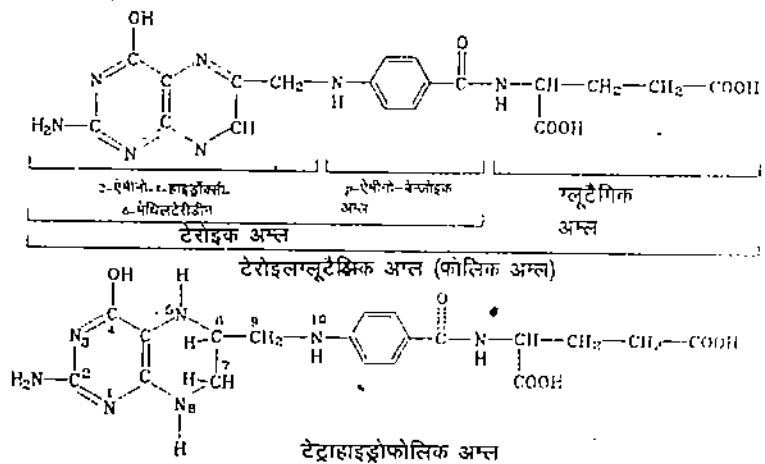
इस अभिक्रिया में  $P_i$  अकार्बनिक ऑर्थोफॉस्फेट दर्शाता है।



**फोलिक अम्ल (टेरोइलंग्लूटैमिक अम्ल)**

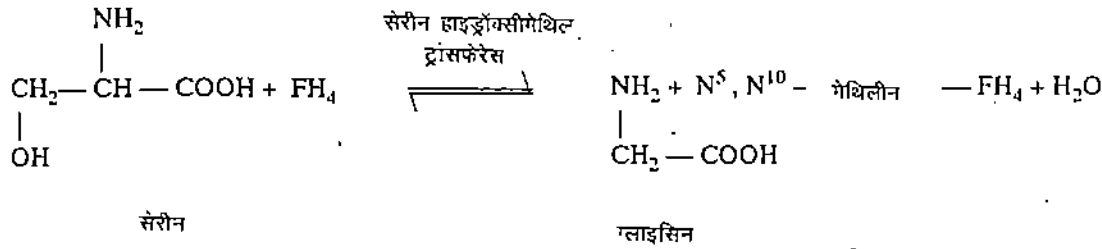
फोलिक अम्ल की कमी से रक्ताल्पता तथा विकास में कमी हो जाती है। फोलिक अम्ल से उपचार करने पर स्थूलाणुक रक्ताल्पता के लक्षण समाप्त हो जाते हैं। फोलिक अम्ल कई वनस्पतीय उत्तकों, विशेषकर पत्तियों में पाया जाता है। उदाहरण के लिए, पालक इस विटामिन का एक अच्छा स्रोत है। यह खमीर, सोया की फलियों, यकृत, गुर्दे, अंडे, गेहूँ तथा खुम्बी (mushrooms) इत्यादि में भी पाया जाता है।

फोलिक अम्ल के तीन मुख्य अवयव होते हैं। ये हैं - प्रतिस्थापित टेरीडीन, *p*-ऐमीनो बेन्जोइक अम्ल तथा ग्लूटैमिक अम्ल। इसलिए इसे टेरोइलंग्लूटैमिक अम्ल भी कहते हैं (चित्र 7.7)।



चित्र 7.7 : फोलिक अम्ल तथा टेट्राहाइड्रोफोलिक अम्ल की संरचना

इस यौगिक का अपचित रूप, 5, 6, 7, 8 -टेट्राहाइड्रोफोलिक अम्ल (FH<sub>4</sub>) फोलिक अम्ल का सहएन्जाइमी रूप होता है। जैवरासायनिक तौर पर यह सहएन्जाइमी प्यूरिनों, पिरिमिडीनों, सेरीन, ग्लाइसिन तथा मेथिल समूहों के जैव संश्लेषण में एक कार्बन वाले खंडों के वहन का कार्य करता है। एक कार्बन वाले खंड, हाइड्रॉक्सीमेथिल, फॉर्मिल अथवा मेथिल समूह होते हैं, जो एक यौगिक से दूसरे यौगिक पर स्थानांतरित होते हैं अथवा एक-दूसरे में परिवर्तित होते हैं। FH<sub>4</sub> के अणु के स्थान संख्या 5 व 10 के नाइट्रोजन परमाणु अर्थात्, N<sup>5</sup> तथा N<sup>10</sup> एक कार्बन के समूहों की अदला-बदली में हिस्सा लेते हैं। निम्नलिखित अभिक्रिया FH<sub>4</sub> के सहएन्जाइमी रूप में कार्य को दर्शाती है जिसमें सेरीन का हाइड्रॉक्सीमेथिल समूह एन्जाइम द्वारा FH<sub>4</sub> पर स्थानांतरित होकर N<sup>5</sup>, N<sup>10</sup> मेथिलिन -FH<sub>4</sub> तथा ग्लाइसिन बनाता है।



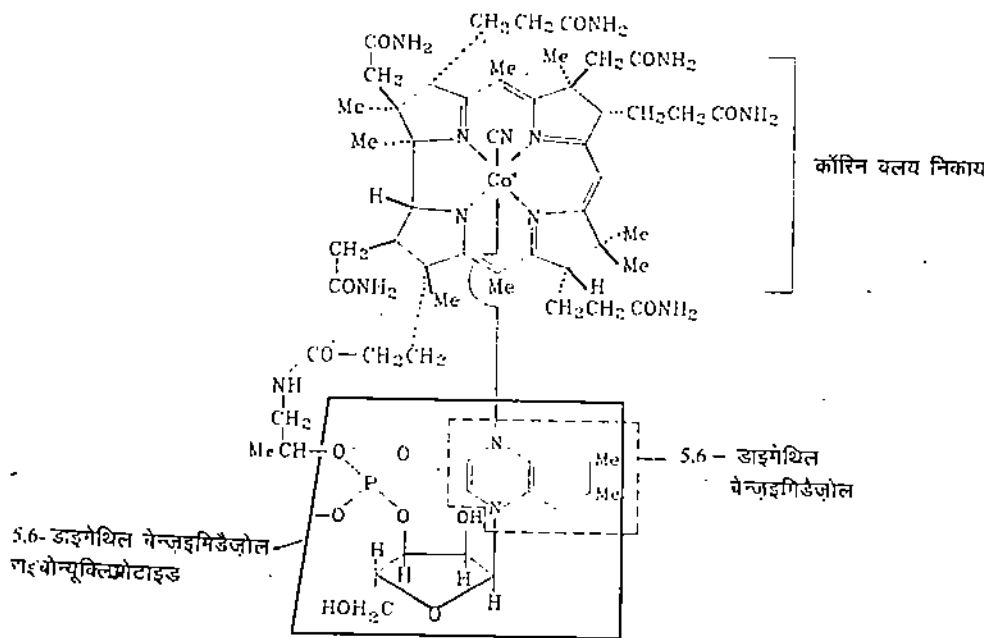
**विटामिन 'बी<sub>12</sub>' (सायनोकोबालेमिन)**

सायनोकोबालेमिन ऊष्मा के प्रति स्थायी होता है। इसकी कमी से प्रणाली रक्ताल्पता (pernicious anemia) हो जाती है। विटामिन 'बी<sub>12</sub>' के सेवन से यह रोग दूर हो जाता है। यकृत विटामिन 'बी<sub>12</sub>' का सर्वोत्तम स्रोत है। यह सीपों, सामन (salmon) तथा गुर्दों में भी पाया जाता है। विटामिन 'बी<sub>12</sub>' की कमी से माइलिन (myelin) का बनना प्रभावित होता है तथा इससे तंत्रिकाओं, मेरू रज्जु (spiral cord) तथा मस्तिष्क का निम्नीकरण होता है।

विटामिन 'बी<sub>12</sub>' की संरचना बहुत जटिल होती है। इसमें कोबाल्ट (III) का एक अणु कॉरिन बलय (corrin ring) के चार नाइट्रोजन परमाणुओं, एक सायनाइड समूह तथा 5,6-डाइमेथिल वेन्जइमिडैज़ोल के एक नाइट्रोजन परमाणु से जुड़ा होता है (चित्र 7.8)।

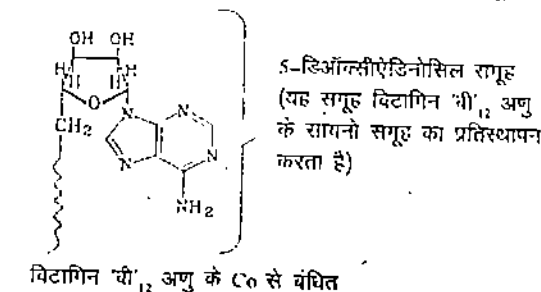
... रक्ताल्पता के कारण कल्पवृक्षी रोग फैलने में जाती है। ऐसा करने अधिक कार्बोहाइड्रेट्स की कमी से होता है। हीमोग्लोबिन की कमी से नहीं। ध्यान रहे कि सेरियोसाइट्स में हीमोग्लोबिन के अणु मोरो से जो कोशिकाओं में ऑक्सीजन का वहन करते हैं।

माइलिन परत तंत्रिकाओं के आसपास एक सरसकत आवरण होती है।



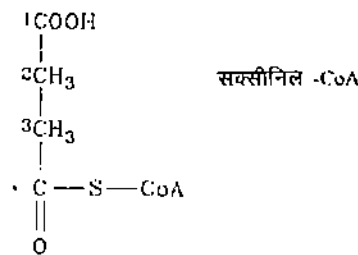
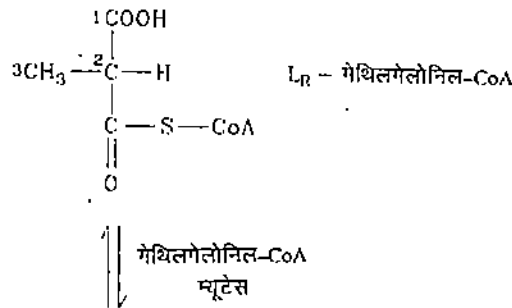
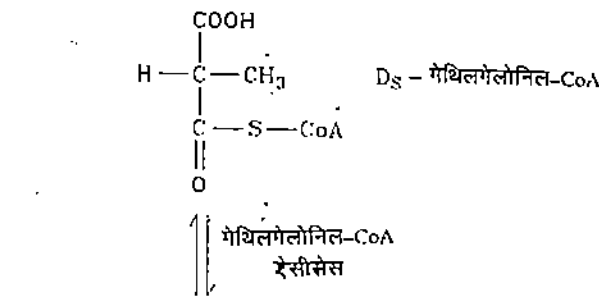
चित्र 7.8 : विटामिन 'बी<sub>12</sub>' (सायनोकोबालेमिन)

इस विटामिन के एक सहएन्जाइमी रूप में सायनाइड समूह 5-डिऑक्सीएडिनोसिल समूह द्वारा प्रतिस्थापित होता है (चित्र 7.9)।



चित्र 7.9 : विटामिन 'बी<sub>12</sub>' का सहएन्जाइमी रूप

जैव रासायनिक तौर पर 'बी'<sub>12</sub> सहएन्जाइम, मेथिलमेलोनिल-CoA म्यूटेस, ग्लूटामेट म्यूटेस डाइऑलडिहाइड्रेस नामक एन्जाइमों से संबंधित होता है। मेथिलमेलोनिल-CoA म्यूटेस, मेथिल मेलोनिल-CoA के सक्सीनिल-CoA में समावयवीकरण को उत्प्रेरित करता है। इस समावयवीकरण में



सामान्यतः यह सहएन्जाइम एक कार्बन परमाणु से एक हाइड्रोजन परमाणु को निकट के कार्बन परमाणु पर एन्जाइमी अभिगमन करता है व इसके साथ-साथ निकटवर्ती कार्बन परमाणु से X समूह को पहले वाले कार्बन परमाणु पर ले आता है।

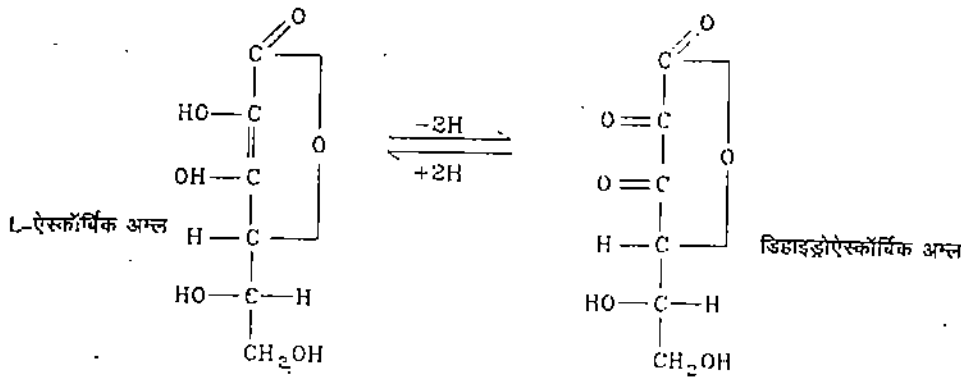


अब हम सबसे कम स्थायी जल विलेय विटामिन का वर्णन करेंगे। यह विटामिन है - ऐस्कॉर्विक अम्ल।

### 7.3.2 विटामिन 'सी'

विटामिन 'सी' गर्म करने के प्रति सबसे कम स्थायी होता है विशेषकर तापे जैसे धातु की उपस्थिति में। भोजन में इस विटामिन की कमी से स्कर्वी नामक रोग हो जाता है। रक्ताल्पता, भार में कमी, धकान, मसूड़ों में सूजन व रक्त का आना तथा श्लेष्मल झिल्ली (mucous membrane) में रक्त खाव इत्यादि इस रोग के लक्षण हैं। केवल मनुष्य, बंदर तथा गिनिपिग ही वे प्राणी हैं जो इस विटामिन की कमी से प्रभावित होते हैं क्योंकि इनमें इस विटामिन का जैव संश्लेषण नहीं होता है। अन्य प्राणी इस विटामिन को संश्लेषित कर सकते हैं तथा इसलिए इस कमी से प्रभावित नहीं होते हैं। सिद्रूस फलों, हरी पत्तेदार सब्जियों तथा टमाटरों में यह विटामिन अच्छी मात्रा में पाया जाता है। भोजन को पकाने पर इस विटामिन की सक्रियता समाप्त हो जाती है।

ऐस्कॉर्विक अम्ल अथवा विटामिन 'सी' की संरचना बहुत सरल होती है। यह कुछ-कुछ गोनीसेकराड के समान होती है। यह एक हेक्सोस शर्करा अम्ल का ईनडाइऑल होता है। यह प्राकृतिक रूप में मिलने वाला एक लेक्टोन है। यह विटामिन का अपचित रूप होता है जिसका उपचित रूप, डिहाइड्रोऐस्कॉर्विक अम्ल होता है।



विटामिन 'सी' वायु में आसानी से उपचित हो जाता है विशेषकर  $\text{Cu}^{++}$  अथवा  $\text{Fe}^{+++}$  आयनों की उपस्थिति में। डिहाइड्रोएस्कॉर्बिक अम्ल का एस्कॉर्बिक अम्ल में परिवर्तन सरल होने के कारण विटामिन 'सी' दोनों रूपों में जैविक तौर पर सक्रिय होता है तथा ये दोनों रूप शरीर के विभिन्न तरलों में पाये जाते हैं।

विटामिन 'सी' का सहएन्जाइमी स्वरूप ज्ञात नहीं है तथा इसकी विशेष जैव रासायनिक क्रियाएँ भी स्पष्ट नहीं है। प्रबल उपचायक होने के कारण यह शरीर में होने वाली उपचयन-अपचयन प्रक्रियाओं में हिस्सा ले सकता है। यह हाइड्रॉक्सिलीकरण अभिक्रियाओं में भी हिस्सा लेता है जैसे कि प्रोलीन के हाइड्रॉक्सीप्रोलीन में हाइड्रॉक्सिलीकरण अभिक्रिया में। हाइड्रॉक्सीप्रोलीन केवल कोलेजन में ही पाया जाता है। यद्यपि इन अभिक्रियाओं के लिए विटामिन 'सी' की आवश्यकता "विशिष्ट" नहीं होती क्योंकि कई अन्य उपचायक भी इन अभिक्रियाओं में कार्य कर सकते हैं परंतु वह स्क्वी के प्रति क्रिया नहीं करते। पिछले दो दशकों में पाया गया है कि विटामिन 'सी' सर्दी, जुकाम, हृदय रोगों तथा कैंसर में लाभदायक होता है। यद्यपि इसके ठोस सबूत अभी उपलब्ध नहीं है।

#### बोध प्रश्न 1

जल विलेय विटामिनों की सूची बनाइए। इनमें से कौन-सा विटामिन सहएन्जाइम का कार्य नहीं करता है।

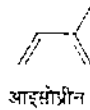
अब हम वसा विलेय विटामिनों का वर्णन करेंगे।

## 7.4 वसा विलेय विटामिन

कई दशक पहले यह देखा गया कि जब युवा चूहों को शुद्धिकृत भोजन पर रखा गया तो उनमें अपेक्षाकृत वृद्धि नहीं हो पाई। यद्यपि इस भोजन में मक्खन तथा कॉड लिवर आयल जैसे प्राणी वसा मिला देने से फिर से सामान्य वृद्धि दर प्राप्त हो गई। इन वसाओं में वृद्धि बढ़ाने वाले कारकों में 'ए', 'डी', 'ई' तथा 'के' विटामिन होते हैं। इन्हें सामूहिक रूप में वसा विलेय विटामिन (fat soluble vitamins) कहा जात है। यह विटामिन अधुवीय, जलविरोधी अणु होते हैं अर्थात्, यह जल में अविलेय होते हैं। वसा विलेय विटामिन पर्याप्त स्थायी होते हैं तथा ऊष्मा द्वारा नष्ट नहीं होते हैं।

वसा विलेय विटामिन आइसोप्रीन के व्युत्पन्न होते हैं तथा इनके अवशोषण के लिए मनुष्यों को वसा की सामान्य मात्रा लेने की आवश्यकता होती है। चूंकि यह सामान्य जैव रासायनिक विलायक, जल में घुलनशील नहीं होते, इसलिए रक्त में इनका वहन घुलनशील लिपोप्रोटीनों अथवा विशिष्ट बंधन प्रोटीनों द्वारा होता है। वसा विलेय विटामिनों के आधिक्य का यकृत में भंडारण किया जा सकता है परंतु इन विटामिनों की अत्यधिक मात्रा विषाक्त होती है। यहां हम यह बताना चाहेंगे कि वसा विलेय विटामिन सहएन्जाइमी रूप में कार्य नहीं करते हैं।

हम इन विटामिनों की संरचनाओं, उनके जैव रासायनिक कार्यों तथा स्वास्थ्य में इनके महत्व का वर्णन करेंगे।



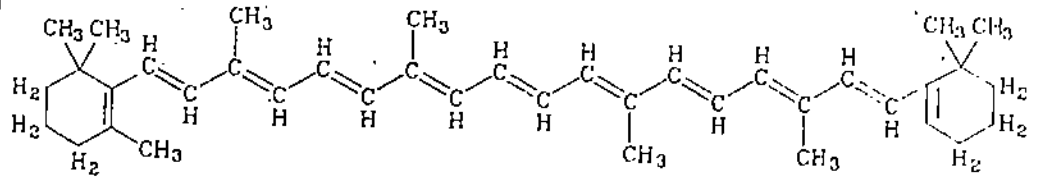
**विटामिन 'ए' (रिटिनॉल)**

भोजन में इस विटामिन की कमी से सामान्य वृद्धि कम हो जाती है तथा हड्डियों तथा तंत्रिका तंत्र का विकास भी प्रभावित होता है। विभिन्न श्लेष्मल झिल्लियों कठोर होकर सूख जाती हैं जिसके परिणामस्वरूप गुर्दे खराब हो सकते हैं तथा वांछपन उत्पन्न हो सकता है। विटामिन 'ए' की कमी से आँखों में सूखापन अथवा **जीरोफ्थैल्मिया (xerophthalmia)** हो जाता है जिससे अंततः अंधापन हो सकता है। व्यस्कों में **रतींधी (night blindness)** के होने से विटामिन 'ए' की कमी का पता चलता है। इसमें आँखें अपने को अंधेरे के अनुरूप ढालने की क्षमता खो देती हैं।

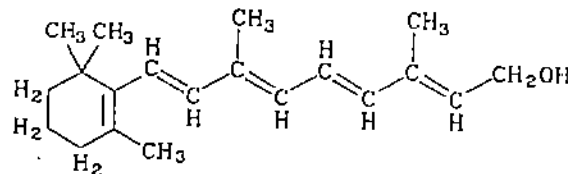
मत्स्य यकृत तेल (fish liver oil) विटामिन 'ए' का सर्वोत्तम स्रोत है। पालक, सलाद, गाजर तथा टमाटर जैसी हरी व पीली सब्जियाँ भी इस विटामिन के अच्छे स्रोतों में हैं।

संरचनात्मक रूप से विटामिन 'ए' आइसोप्रीन का व्युत्पन्न है जो पौधों में मिलने वाले  $\alpha$ ,  $\beta$  व  $\gamma$  कैरोटीन नामक कैरोटीनाम वर्णकों (carotenoid pigments) से संबंधित हैं। यह कैरोटीनाम वर्णक विटामिन 'ए' के पूर्ववर्ती (precursors) होते हैं तथा प्रोविटामिन 'ए' कहलाते हैं। विटामिन 'ए' में एक छह सदस्यीय कार्बोसाइक्लिक वलय तथा ग्यारह कार्बनों वाली बहुअसंतृप्त शृंखला होती है।

यहाँ दर्शाई गई संरचना को पूर्ण-ट्रांस कहते हैं क्योंकि इस ऐलिकेटिक शृंखला में प्रत्येक  $-CH_2-$  समूह निकटवर्ती कार्बन के हाइड्रोजन परमाणु से ट्रांस रूप से ही संबंधित होता है।



$\beta$ -कैरोटीन (पूर्ण-ट्रांस)

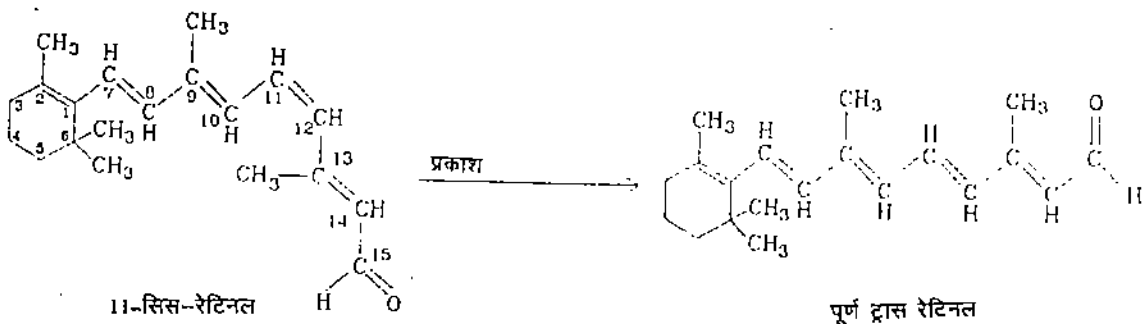


विटामिन 'ए' (पूर्ण-ट्रांस) (रिटिनॉल)

ऊपर दी गई संरचना से आप देखेंगे कि  $\beta$ -कैरोटीन की एक सममित संरचना होती है। इससे विटामिन 'ए' के दो अणु प्राप्त हो सकते हैं। इस प्रक्रिया में  $\beta$ -कैरोटीन के अणु का सममित ऑक्सीकारक विदलन होता है। यह प्रक्रिया एन्जाइम की उपस्थिति में होती है।

विटामिन 'ए' का सामान्य जैव रासायनिक कार्य स्पष्ट नहीं है, परंतु चाक्षुष (visual) प्रक्रिया में इसकी भूमिका अच्छी तरह से ज्ञात है व इसकी व्याख्या इस प्रकार की जा सकती है:

स्तनधारी प्राणियों की आँखों के दृष्टिपटल (retina) में दो प्रकार की प्रकाश ग्राही कोशिकाएँ होती हैं। कम प्रकाश में देखने के लिए शलाका कोशिकाएँ (rod cells) व तेज प्रकाश में देखने के लिए शंकु (cone) कोशिकाएँ। शलाका कोशिकाओं में, जो रात में देखने की प्रक्रिया में हिस्सा लेती हैं, एक प्रकाश अवशोषी संपुग्मित प्रोटीन होती है जिसे **रोडोप्सिन (rhodopsin)** कहते हैं। इसमें **ऑप्सिन (opsin)** नामक प्रोटीन हिस्सा होता है जो विटामिन 'ए' के ऐल्डिहाइड, **11-सिस-रेटिनल**, से दृढ़तापूर्वक जुड़ा होता है। प्रकाश की उपस्थिति में यह **11-सिस-रेटिनल**, पूर्ण ट्रांस-रेटिनल में समावयवीकृत हो जाता है।



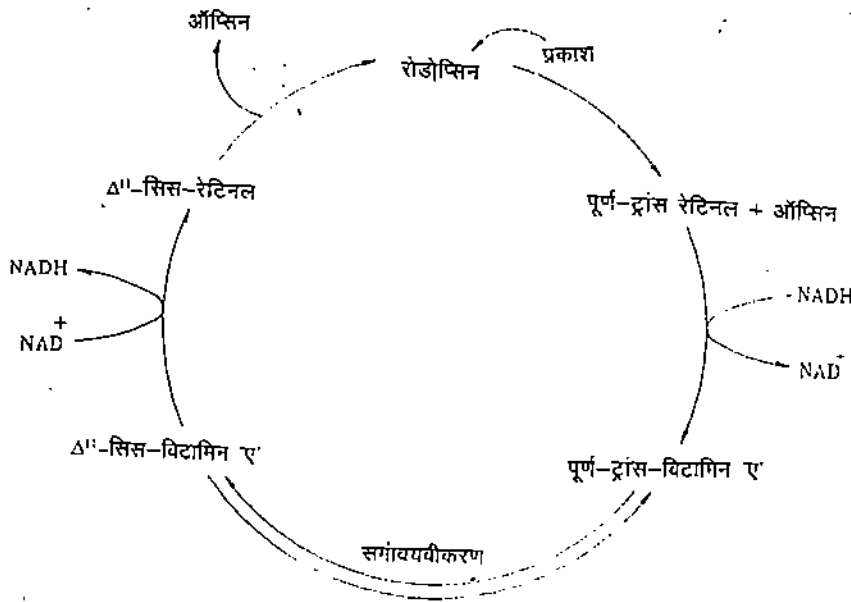
11-सिस-रेटिनल

पूर्ण ट्रांस रेटिनल

इस समावयवीकरण के परिणामस्वरूप पूर्ण ट्रांस-रेटिनल का वियोजन हो जाता है जिससे एक तंत्रिका आवेग (nerve impulse) उत्पन्न होता है। रोडोप्सिन की पुनर्रचना प्रक्रिया में पूर्ण-ट्रांस रेटिनल, एन्जाइम द्वारा

पूर्ण ट्रांस विटामिन 'ए' में परिवर्तित हो जाता है जो एक अन्य एन्जाइमी अभिक्रिया में समावयवीकृत होकर 11-सिस विटामिन 'ए' बनाता है। इस यौगिक का एक अन्य एन्जाइम की उपस्थिति में अपचयन होता है व इसके 11-सिस-रेटिनल प्राप्त होता है तथा यह 11-सिस-रेटिनल, ऑप्सिन से जुड़कर पुनः रोडोप्सिन उत्पन्न करता है। इस प्रकार दृष्टि का यह चक्र पूरा होता है। चित्र 7.10 में हमने इस चाक्षुष चक्र को चित्र द्वारा दर्शाया है।

विटामिन, सहएन्जाइम  
तथा खनिज



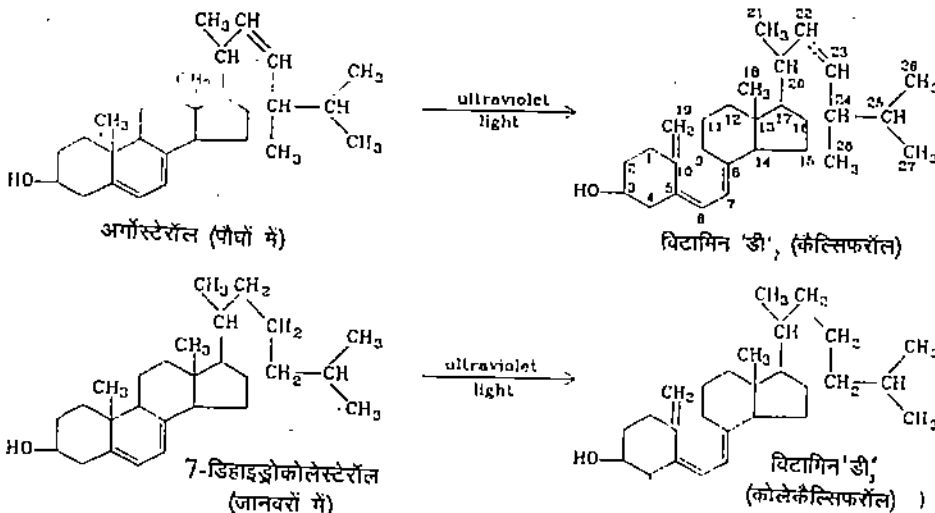
चित्र 7.10 : शलाका कोशिकाओं में चाक्षुष चक्र

### विटामिन 'डी'

इस विटामिन की आवश्यकता स्वस्थ हड्डियों के निर्माण के लिए होती है। आहार में इस विटामिन की कमी से रिकेट्स (rickets) अथवा हड्डियों का असामान्य होना, हो जाता है। यह विटामिन दांतों के बनने की प्रक्रिया में भी हिस्सा लेता है। मत्स्य यकृत तेल इस विटामिन का अद्भुत स्रोत है। 'डी' विटामिन वास्तव में स्टेरॉल यौगिक होते हैं जो प्राणियों तथा वनस्पतियों में पाये जाते हैं। सामान्यतः भोजन में बने बनाए विटामिन 'डी' की आवश्यकता नहीं होती। केवल उन लोगों के भोजन में इस विटामिन की आवश्यकता होती है जो सूर्य के प्रकाश से वंचित रहते हैं। सामान्यतः त्वचा पर सूर्य के प्रकाश के पड़ने से अर्गोस्टेरोल (एक वनस्पति स्टेरॉल) तथा 7-डिहाइड्रोकोलेस्टेरोल (एक प्राणि स्टेरॉल) नामक प्रोविटामिनो से इस विटामिन का निर्माण होता है। कैल्सिफेरॉल तथा कोलेकैल्सिफेरॉल दो प्रमुख यौगिक हैं जो विटामिन 'डी' की सक्रियता दर्शाते हैं।

कैल्सिफेरॉल अथवा विटामिन 'डी'<sub>2</sub> खमीर तथा फफूंदी में उपस्थित अर्गोस्टेरोल के UV किरणन द्वारा बनता है।

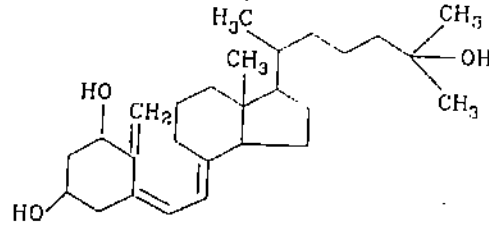
कोलेकैल्सिफेरॉल अथवा विटामिन 'डी'<sub>3</sub>, त्वचा में उपस्थित 7-डिहाइड्रोकोलेस्टेरोल के UV किरणन द्वारा प्राप्त होता है। चित्र 7.11 में इन परिवर्तनों तथा विटामिन 'डी'<sub>2</sub> व 'डी'<sub>3</sub> की संरचनाओं को दर्शाया गया है।



चित्र 7.11 : अर्गोस्टेरोल व 7-डिहाइड्रोकोलेस्टेरोल के क्रमशः विटामिन 'डी'<sub>2</sub> व विटामिन 'डी'<sub>3</sub> में UV प्रेरित परिवर्तन



प्रोविटामिन 'डी' के इन UV प्रेरित परिवर्तनों के लिए ही मनुष्यों का कुछ समय के लिए सूर्य की किरणों को ग्रहण करना आवश्यक होता है। इससे उनकी विटामिन 'डी' की आवश्यकताओं की पूर्ति होती है। मनुष्यों के यकृत तथा गुर्दे में कोलेकैल्सिफेरॉल (विटामिन 'डी'<sub>3</sub>) के अणु में दो हाइड्रॉक्सिल समूह और आ जाते हैं जिसे 1,25-डाइहाइड्रॉक्सीकोलेकैल्सिफेरॉल प्राप्त होता है। इसे कैल्सिट्राइऑल भी कहते हैं तथा यह विटामिन 'डी' का जैविक रूप से सक्रिय रूप होता है। चूंकि कैल्सिट्राइऑल शरीर में ही बनता है, इसलिए इसे कई बार हार्मोन भी कहा जाता है।



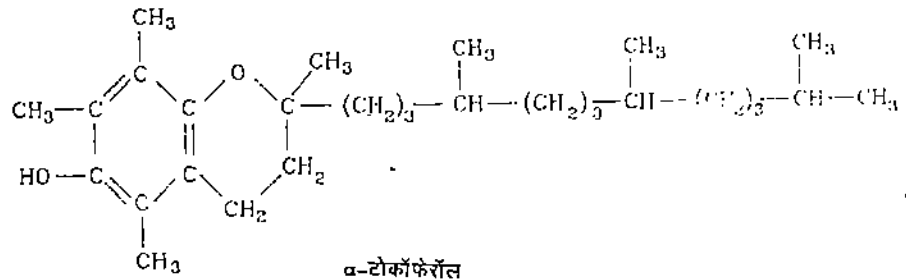
1, 25-डाइहाइड्रॉक्सीकोलेकैल्सिफेरॉल  
(कैल्सिट्राइऑल)

जैव रासायनिक रूप में विटामिन 'डी' सामान्य हड्डियों तथा दांतों के बनने के लिए कैल्सियम तथा फॉस्फोरस का उपयोग करने का कार्य करता है। यह आंतों में से कैल्सियम तथा फॉस्फोरस के अवशोषण को प्रेरित करता है।

### विटामिन 'ई' (टोकोफेरॉल)

इस विटामिन की कमी वाले आहार का सेवन करने वाले प्राणियों में बांझपन होने की संभावना होती है। इस विटामिन की कमी से उत्पन्न होने वाले कुछ अन्य लक्षण हैं -- गुर्दों का हास, मांसपेशियों का कमजोर होना, यकृत के उत्तकों का क्षय होना, इत्यादि। अंकुरित गेहूँ का तेल विटामिन 'ई' का एक अच्छा स्रोत है। मक्का, हरी पत्तेदार सब्जियाँ, भौंस, अंडे की जरदी, तथा विनोले का तेल (cotton seed oil) इत्यादि इस विटामिन के कुछ अन्य स्रोत हैं।

विटामिन 'ई', यौगिकों के एक समूह, जिसे टोकोफेरॉल कहते हैं, से संबंधित है। उपलब्धता तथा प्रभाव के तौर पर  $\alpha$  - टोकोफेरॉल इनमें सबसे महत्वपूर्ण है।



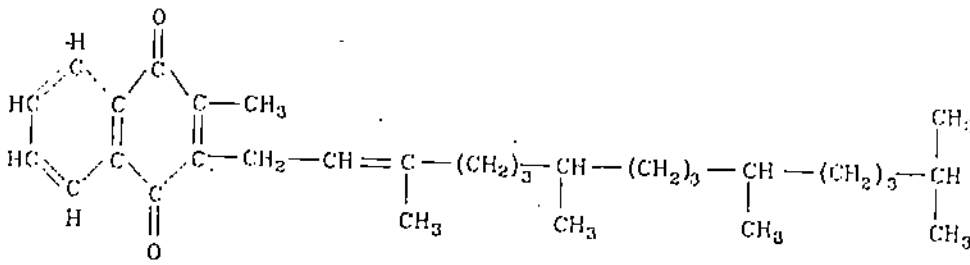
$\alpha$ -टोकोफेरॉल

टोकोफेरॉल प्रबल प्रतिऑक्सीकारक होते हैं तथा संभवतः उनका एक प्रमुख कार्य जैविक झिल्लियों में उपस्थित अत्यधिक असंतृप्त वसा अम्लों की ऑक्सीकरण के प्रति सुरक्षा प्रदान करना है। यह विटामिन 'ए' को भी ऑक्सीकरण के प्रति सुरक्षा प्रदान करता है। ऑक्सीकारकों व UV प्रकाश की उपस्थिति में विटामिन 'ई' नष्ट हो जाता है परन्तु यह ताप के प्रति (लगभग 200°C तक) प्रतिरोधकता दर्शाता है।

### विटामिन 'के'

आहार में इस विटामिन की कमी से रक्त का घक्का बनने के लिए आवश्यक समय में बढोत्तरी हो जाती है जिसके परिणामस्वरूप रक्तस्राव होता है। पालक, पत्ता गोभी तथा ऐल्फैल्फा इस विटामिन के अच्छे स्रोत हैं। आंत्रों में उपस्थित बैक्टीरिया भी इस विटामिन का संश्लेषण करते हैं, इसलिए स्तनधारी प्राणियों में तन्माच्छत इसकी कमी नहीं होती।

चारों वसा विलेय विटामिनों में विटामिन 'के' सबसे अंत में खोजा गया विटामिन है। यह, 1,4-नैफथॉक्पूनोन का व्युत्पन्न होता है। इसकी संरचना को नीचे दर्शाया गया है।



विटामिन 'के'

रक्त स्कन्दन (blood clotting) की प्रक्रिया में इस विटामिन का महत्व, यकृत में इसके भाग लेने के कारण है। चूंकि इसका आसानी से व्युत्क्रमणीय अपचयन हो सकता है, इसलिए इलेक्ट्रॉन अभिगमन श्रृंखला (electron transport chain) में भी विटामिन 'के' की भूमिका होना संभव है।

## बोध प्रश्न 2

निम्नलिखित कथनों में सही अथवा गलत को [✓] द्वारा चिह्नित कीजिए।

- (क) रोडॉप्सिन अपनी पुनरावृत्ति के लिए विटामिन 'ए' पर निर्भर करता है। [सही/गलत]
- (ख) टोकोफेरॉल प्रति-ऑक्सीकरण क्रिया से संबंधित होते हैं। [सही/गलत]
- (ग) रक्त स्कन्दन के लिए विटामिन 'के' की आवश्यकता होती है। [सही/गलत]
- (घ) विटामिन 'डी', त्वचा में उपस्थित 7-डिहाइड्रोकोलेस्टेरोल के UV किरण द्वारा प्राप्त होता है। [सही/गलत]

पिछले उपभागों में हमने विटामिनो के जैव रासायनिक महत्व का वर्णन किया था। अब आप खनिजों तथा लेश-तत्वों के बारे में सीखेंगे। यह जीवों के सामान्य कार्य करने के लिए अनिवार्य होते हैं।

## 7.5 खनिज तथा लेश-तत्व

अब तक आप प्रोटीनों, वसाओं, तथा कार्बोहाइड्रेटों जैसे स्थूल अवयवों की पोषण में भूमिका से अवगत हो चुके हैं। जीवों की शरीरक्रिया तथा जैव रसायन में विटामिनो द्वारा किए जाने वाले कार्यों की चर्चा हम भाग 7.3 तथा 7.4 में कर चुके हैं। यद्यपि जीव के सामान्य क्रिया करने के लिए आहार में उपस्थित यही अवयव ही महत्वपूर्ण नहीं हैं। कैल्शियम तथा फॉस्फोरस जैसे खनिज भी शरीर में अत्यधिक मात्रा में उपस्थित होते हैं तथा शरीर के विभिन्न उत्तकों के बनने के लिए आवश्यक होते हैं। इसी प्रकार जिंक, तांबा, मैंगनीज तथा मॉलिब्डेनम जैसे लेश-तत्व भी विटामिनो के विभिन्न व्युत्पन्नो की तरह कई एन्जाइमो के महकारको का कार्य करते हैं। आपको कार्बोहाइड्रेटो, प्रोटीनो, लिपिडो तथा न्यूक्लीक अम्लो के अध्ययन से ध्यान होगा कि कार्बन, हाइड्रोजन, ऑक्सीजन तथा नाइट्रोजन हमारे शरीर में उपस्थित परमाणुओ का प्रमुख हिस्सा बनाते हैं। वास्तव में यह हमारे शरीर में उपस्थित सभी परमाणुओ का 99.3 प्रतिशत भाग बनाते हैं। बाकी का 0.7 प्रतिशत लगभग इक्कीस तत्वो का बना होता है। यह कई महत्वपूर्ण कार्य करते हैं व जीवन के लिए अनिवार्य होते हैं। इन अनिवार्य तत्वो को दो वर्गो में बांटा जा सकता है। ये हैं—बृहत् खनिज (macrominerals) तथा लेश-तत्व (trace elements), बृहत् खनिज शरीर में उच्च मात्रा में मिलते हैं जबकि लेश-तत्व अत्यधिक क्षीण सांद्रता में पाये जाते हैं। (ppm या ppb). यह दोनों समूह जीवित निकायो में पोषण की महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं तथा आयनो के रूप में अथवा कार्बनिक यौगिको से सहसंयोजक रूप से आबंधित अवस्था में पाए जाते हैं। सोडियम तथा पोटेशियम को छोड़कर इनमें से अधिकतर खनिज आसानी से अवशोषित नहीं होते हैं तथा सामान्यतः मल के रूप में विसर्जित हो जाते हैं। गुर्दे भी कई अवशोषित खनिजो का विसर्जन करते हैं।

अब आप पोषण में इन खनिजो तथा लेश-तत्वो के महत्व का अध्ययन करेंगे। हम भोजन में उनके स्रोतों व उनके जैव रासायनिक कार्यों की भी चर्चा करेंगे। आइए, पहले हम बृहत् खनिजो के विभिन्न सदस्यो का वर्णन करें।

### 7.5.1 बृहत् खनिज

खनिजो के इस समूह में कैल्शियम, फॉस्फोरस, सोडियम, पोटेशियम, मैंगनीशियम, सल्फर तथा क्लोरीन आते हैं।

#### कैल्शियम

यह शरीर में सबसे अधिक मिलने वाले तथा सबसे अधिक अनिवार्य तत्वो में से एक है तथा स्थायी  $Ca^{2+}$  आयन के रूप में पाया जाता है। कैल्शियम की आवश्यकता, शरीर के ढांचे के विकास व इसे बनाए रखने, दांतों के बनने, मांसपेशी संकुचन, मस्तिष्क सक्रियता तथा रक्त स्कन्दन जैसी महत्वपूर्ण शारीरिक प्रक्रियाओ के लिए होती है।

कैल्सियम हमारी हड्डियों तथा दांतों का प्रमुख खनिज अवयव है। हमारे शरीर में उपस्थित कैल्सियम का लगभग 99 प्रतिशत केवल हड्डियों तथा दांतों में ही होता है। अंतर्ग्रथनी झिल्लियों (synaptic membranes) के आरपार मुक्त  $Ca^{2+}$  आयन, संकेत संचारण में हिस्सा लेते हैं। कैल्सियम रक्त स्रवण की प्रक्रिया में भी हिस्सा लेता है। यह कोशिका के आरपार अन्य खनिज आयनों के प्रवाह को भी नियमित करता है।

दुग्ध व दुग्ध उत्पाद जैसे भूखन, मखनिया दूध, पनीर तथा हरी पत्तेदार सब्जियाँ कैल्सियम के अच्छे स्रोतों में से हैं। पत्तेदार सब्जियों में चोब (drumstick) तथा ऐमॉरन्थ की पत्तियाँ महत्वपूर्ण हैं। व्यस्कों की ओढ़ा वच्चों में कैल्सियम की अधिक आवश्यकता होती है। गर्भवती व दूध पिलाने वाली औरतों को भी कैल्सियम की अधिक आवश्यकता होती है। इसके द्वारा वह गर्भ की आवश्यकताओं की पूर्ति करती है तथा दूध के रूप में निकले कैल्सियम की आपूर्ति करती है।

### फॉस्फोरस

यह तत्व हड्डियों तथा दांतों में क्षारकीय कैल्सियम फॉस्फेट के रूप में पाया जाता है। फॉस्फोडाइएस्टर बंध के रूप में यह न्यूक्लीक अम्लों का एक महत्वपूर्ण अवयव बनाता है। ATP तथा ADP जैसे न्यूक्लिओटाइडों के रूप में यह कई महत्वपूर्ण जैव रासायनिक अभिक्रियाओं जैसे, ऊर्जा उपापचय इत्यादि में हिस्सा लेता है। न्यूक्लिओटाइडों के रूप में ही यह कुछ सहएन्जाइमों का भी हिस्सा होता है। डाइहाइड्रोजन फॉस्फेट ( $H_2PO_4^-$ ) तथा मोनो हाइड्रोजन फॉस्फेट ( $HPO_4^{2-}$ ) आयनों के रूप में यह उभयप्रतिरोधी (buffer) का कार्य करता है तथा जैविक तरलों के pH को बनाए रखने में सहायता करता है। दूध फल (nuts), दालें तथा अनाज फॉस्फोरस के अच्छे स्रोत हैं।

### बोध प्रश्न 3

उपयुक्त उत्तर को (✓) चिह्न द्वारा चिह्नित कीजिए।

हड्डियों के बनने में कैल्सियम तथा फॉस्फोरस का उपयोग निम्नलिखित पर निर्भर करता है।

- |     |                    |     |
|-----|--------------------|-----|
| (क) | पिरिडॉक्सल फॉस्फेट | [ ] |
| (ख) | कार्बोक्सीवायोटिन  | [ ] |
| (ग) | पेन्टोथैनिक अम्ल   | [ ] |
| (घ) | विटामिन 'डी'       | [ ] |

### सोडियम, पोटैशियम तथा क्लोरीन

सोडियम तथा पोटैशियम अंतराकोशिकीय तथा अंतः कोशिकीय तरलों में उच्च सांद्रता में पाए जाते हैं तथा कोशिका के आयतन व परासरण दाब (osmotic pressure) को बनाए रखने का कार्य करते हैं। सोडियम व पोटैशियम झिल्ली विभव को बनाए रखने में भी कुछ सीमा तक योगदान देते हैं तथा तंत्रिका-कोशिकीय चालन (neuronal conduction) में हिस्सा लेते हैं। तंत्रि स्मृति की क्रियाविधि में भी पोटैशियम आयन की भूमिका प्रतिपादित की गई है। सोडियम आयन शर्कराओं तथा ऐमीनो अम्लों के सक्रिय अभिगमन में भी हिस्सा लेते हैं। सोडियम तथा पोटैशियम आयन शरीर में सामान्यतः क्लोराइड लवणों के रूप में उपस्थित होते हैं।  $Na^+$ ,  $K^+$  तथा  $Cl^-$  आयन पाचन रसों के बनने तथा प्रकाश के प्रति आँखों की सामान्य दृष्टि के लिए भी आवश्यक होते हैं।

सभी खाद्य पदार्थों में सोडियम तथा पोटैशियम होते हैं। फल तथा सब्जियाँ इन खनिजों के अच्छे स्रोत होते हैं। हमारा प्रतिदिन का शाकाहारी भोजन शरीर की पोटैशियम की आवश्यकताओं को पूरा करने में सक्षम होता है। यद्यपि प्राकृतिक खाने में उपस्थित सोडियम की मात्रा शरीर की आवश्यकताओं को पूरा करने के लिए पर्याप्त नहीं होती, इसलिए भोजन में साधारण नमक मिलाया जाता है। बड़ी मात्रा में सोडियम, मूत्र व पसीने के रूप में शरीर से निकल जाता है तथा इस हानि की आपूर्ति बाहर से नमक लेकर की जाती है।

### मैग्नीशियम

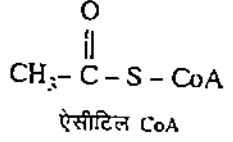
कैल्सियम तथा फॉस्फोरस के साथ मैग्नीशियम भी हड्डियों का एक अवयव होता है। कई एन्जाइमी अभिक्रियाओं में यह सहकारक का कार्य करता है तथा यह उपापचय के लिए महत्वपूर्ण होता है।  $Mg^{2+}$  आयन तंत्रिका आवेग संचार (nerve impulse transmission) तथा पेशीय संकुचन के लिए भी अनिवार्य होते हैं। यह वनस्पतियों में मिलने वाले क्लोरोफिल के अणुओं का एक हिस्सा होते हैं। मैग्नीशियम अनाजों, दालों, दूधफल तथा हरी पत्तेदार सब्जियों में पाया जाता है। इस धातु की आपूर्ति के लिए सामान्य आहार पर्याप्त होता है।

### सल्फर (गंधक)

यह बृहत् खनिज कुछ ऐमीनो अम्लों, जो प्रोटीनों की मूल इकाई है, के अवयव के रूप में पाया जाता है। उदाहरण के लिए, ऐमीनो अम्ल, सिस्टीन में सल्फाइल समूह ( $-SH$ ) तथा मेथियोनिन में थायोएथर समूह

(CH<sub>2</sub>-S-CH<sub>2</sub>-) के रूप में पाया जाता है। सहएन्जाइम 'ए' शरीर में उपस्थित एक अन्य महत्वपूर्ण सल्फर योगिक होता है। इसे संक्षेप में CoA-SH लिखा जाता है जो सल्फाइल समूह की उपस्थिति को दर्शाता है। सहएन्जाइम 'ए' एस्टरीकृत होकर ऐसीटिल CoA बनाता है जिसमें थायोएस्टर समूह होता है।

विटामिन, सहएन्जाइम  
तथा सजिन



ऐसीटिल CoA, कार्बोहाइड्रेटों, लिपिडों तथा प्रोटीनों के उपापचय में एक महत्वपूर्ण मध्यवर्ती होता है। आप ध्यान देंगे कि शरीर में सल्फर आबंधित अवस्था में होता है।

अब हम लेश-तत्वों का संक्षिप्त वर्णन करेंगे।

### 7.5.2 लेश-तत्व

ऊपर दिए गए तत्वों के अलावा चौदह अन्य तत्व भी स्वस्थ शरीर के लिए आवश्यक होते हैं। इनकी आवश्यकता लेश मात्रा में ही होती है। ये हैं— आयरन, जिंक, कॉपर, मैंगनीज, मॉलिब्डेनम, प्लूओराइड, आयोडीन, कोबाल्ट, क्रोमियम, सेलेनियम, आर्सेनिक, निकल, सिलिकॉन तथा बोरॉन। हम इनमें से कुछ तत्वों का वर्णन करेंगे।

#### आयरन

शरीर में आयरन मुख्यतः ऐरिथ्रोसाइटों के लाल वर्णक, हीमोग्लोबिन में पाया जाता है। यह हीमोग्लोबिन अणु के हीम हिस्से के केन्द्रीय परमाणु के रूप में पाया जाता है। हीम के हिस्से के रूप में यह ऑक्सीजन के वहन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। साइटोक्रोमों के हीम हिस्से के रूप में यह इलेक्ट्रॉन अभिगमन श्रृंखला का हिस्सा बनता है तथा विभिन्न अपयोपचय अभिक्रियाओं में हिस्सा लेता है। तिल्ली (spleen) में आयरन का भंडारण होता है।

अनाज, ज्वार, बाजरा, दालें तथा हरी पत्तेदार सब्जियाँ आयरन के प्रमुख स्रोत हैं। यद्यपि हमारे शरीर की आहार में से आयरन को अवशोषित करने की सीमित क्षमता होने के कारण भोजन में शरीर के लिए आवश्यक आयरन का लगभग 10-25 गुणा आयरन होना चाहिए। आहार से आयरन की उपलब्धता अलग-अलग खाद्य पदार्थों में उपस्थित आयरन की मात्रा के विपरीत आहार के संयोजन पर निर्भर करती है। आयरन के स्तर में थोड़ी-सी कमी से भी रक्ताल्पता हो जाती है। आयरन की कमी से हृदय गति तथा श्वसन की दर बढ़ जाती है।

#### जिंक

जिंक की कमी से शरीर का विकास सामान्य से कम होता है तथा जनन ग्रंथियों के कार्य में कमी आ जाती है। यह दालों व अनाजों में पर्याप्त मात्रा में पाया जाता है। इसके अलावा पत्तेदार सब्जियों, कंद, मूलों तथा फलों में भी जिंक पाया जाता है। कुछ दृढ़फलों तथा मसालों में भी इस धातु की उच्च सान्द्रता पाई जाती है।

जैव-रासायनिक स्तर पर जिंक, कार्बोनिक् ऐन्हाइड्रेस, कार्बोक्सी-पेप्टिडेस तथा ऐल्कोहॉल डिहाइड्रोजेनेस का हिस्सा अथवा सहकारक होता है। यह क्रम विशिष्ट DNA से आबंधन करने वाली प्रोटीनों की संरचना को बनाए रखने के लिए भी महत्वपूर्ण होता है।

#### कॉपर

इस धातु की कमी से अधिक संयोजी उत्तकों वाले अंग विकृत हो जाते हैं। इसके अलावा माइलिन का कम होना तथा तंत्रिकाप्रेषियों (neurotransmitter) व कैटिकोलैमीन के उपापचय में विकार होना इसके अन्य लक्षण हैं। इसके कारण केन्द्रीय तंत्रिका तंत्र बिगड़ जाता है।

कॉपर अनाजों, दालों, पत्तेदार सब्जियों, दृढ़फलों, मसालों तथा फलों इत्यादि में मिलता है। जैव रासायनिक तौर पर कॉपर, आयरन के अवशोषण में हिस्सा लेता है। यह तंत्रिकाप्रेषियों व कैटिकोलैमीन के उपापचय तथा संयोजी उत्तकों के बनने में भी हिस्सा लेता है। यह ऑक्सीकारक एन्जाइमों, जैसे, साइटोक्रोम ऑक्सीडेस, का एक महत्वपूर्ण अवयव होता है। कॉपर प्लाज्मा में सीरुलोप्लासमिन के रूप में रहता है। वनस्पतियों में यह प्लास्टोसायैनीन की संरचना का हिस्सा होता है। प्लास्टोसायैनीन, प्रकाश संश्लेषण (photosynthesis) की प्रक्रिया में इलेक्ट्रॉनों के स्थानांतरण में भाग लेता है।

#### मैंगनीज

इस धातु की अपर्याप्त मात्रा के सेवन से हड्डियों के खनिजीकरण में विकार उत्पन्न हो जाता है। मैंगनीज लगभग हर प्रकार के खाद्य पदार्थों में उपस्थित होता है तथा दृढ़फलों, अनाजों, फलों व सब्जियों में यह प्रचुर

मात्रा में होता है। जैव रासायनिक स्तर पर मैगनीज़ फॉस्फोटांसफेरस तथा आर्जिनेस जैसे एन्जाइमों के सहकारक का कार्य करता है। यह वनस्पतियों के प्रकाश संश्लेषी उपकरण के जल-वियोगी (water-splitting) एन्जाइमों के सक्रिय स्थान पर उपस्थित होता है।

#### मॉलिब्डेनम

यह धातु जैन्थाइन तथा ऐलिडहाइड ऑक्सीडेस नामक एन्जाइमों का सहकारक होता है व यूरिक अम्ल के उपापचय में भाग लेता है। यह नाइट्रोजन यौगिककरण (fixing) निकायों का भी अवयव होता है। चूंकि इसकी कमी से उत्पन्न होने वाले लक्षण मनुष्यों में सामान्यतः नहीं पाए जाते, इसके माने हे कि आहार के रूप में ली जाने वाली मॉलिब्डेनम की मात्रा पर्याप्त होती है। यह मटरों, अनाजों, मांस तथा खमीर में पाया जाता है।

#### फ्लुओराइड

यह दांतों की क्षय से सुरक्षा के लिए महत्वपूर्ण अयन है। यद्यपि, जल द्वारा अधिक मात्रा में इसके सेवन से फ्लुओरोसिस नामक रोग हो जाता है जिसमें हड्डियां कठोर हो जाती हैं।

#### आयोडीन

भोजन अथवा जल द्वारा इसकी अपर्याप्त मात्रा के सेवन से गलगण्ड (goitre) नामक रोग हो जाता है जिसमें गले में उपस्थित थाइरॉइड ग्रंथि में सूजन आ जाती है। प्रसवपूर्व अवस्था में आयोडीन की कमी से मानसिक मंदता हो सकती है। जीवन की अन्य अवस्थाओं में आयोडीन के अपर्याप्त सेवन से विकास पर प्रभाव पड़ता है।

आयोडीन की जैव रासायनिक भूमिका थाइरॉइड ग्रंथि द्वारा बनाए जाने वाले थाइरॉक्सिन नामक हारमोन में आयोडीन की उपस्थिति के कारण होती है। यह हारमोन शरीर की रासायनिक क्रियाओं का नियमन करता है तथा शरीर के सामान्य विकास के लिए महत्वपूर्ण होता है। पर्याप्त आयोडीन की अनुपस्थिति में थाइरॉइड ग्रंथि उचित मात्रा में थाइरॉक्सिन का संश्लेषण नहीं कर पाती तथा अपने आकार को बढ़ाकर इस कमी को पूरा करती है।

#### कोबाल्ट

इस तत्व की कमी से प्रगाथी रक्ताल्पता (pernicious anemia) हो जाती है। कोबाल्ट विटामिन 'बी'<sub>12</sub> का भी एक हिस्सा होता है। डेरी उत्पाद तथा मांस कोबाल्ट के अच्छे स्रोत हैं।

#### कोभियम

यह तत्व शरीर में रक्त शर्करा के स्तर को कम करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। मनुष्यों में यह कुल सीरम कोलेस्टेरॉल को भी कम करता है। निसवन खमीर (brewers yeast) साबुत अनाज तथा यकृत इसके अच्छे स्रोत हैं।

सेलेनियम, आर्सेनिक, निकल, सिलिकॉन तथा दोरॉन जैसे अन्य लेश-तत्व भी प्राणियों के लिए अनिवार्य होते हैं परंतु मनुष्यों में उनकी भूमिका अभी तक स्पष्ट नहीं है।

#### बोध प्रश्न 4

निम्नलिखित कथन सत्य हैं अथवा असत्य, (✓) द्वारा चिह्नित कीजिए।

- |     |  |              |
|-----|--|--------------|
| (क) | कोबाल्ट विटामिन 'बी' <sub>12</sub> से संबंधित है।                            | [सत्य/असत्य] |
| (ख) | आयरन हीमोग्लोबिन के बनने में भाग लेता है।                                    | [सत्य/असत्य] |
| (ग) | कोशिका का आयतन व परातरण दाय सोडियम तथा पोटैशियम आयनों पर निर्भर करता है।     | [सत्य/असत्य] |
| (घ) | मैग्नीशियम कई एन्जाइमी अभिक्रियाओं में सहकारक के रूप में महत्वपूर्ण होता है। | [सत्य/असत्य] |

### 7.6 सारांश

- किसी जीव के उपयुक्त रूप से कार्य करने के लिए केवल प्रोटीन, वसायें, कार्बोहाइड्रेट तथा न्यूक्लिक अम्ल ही आवश्यक नहीं हैं अपितु इनके अलावा कुछ अन्य कार्बनिक यौगिक, जिन्हें विटामिन कहते हैं, भी आवश्यक होते हैं।
- विटामिनों की आवश्यकता लेश-मात्रा में ही होती है। इनकी आपूर्ति भोजन द्वारा होती है क्योंकि मनुष्यों समेत कई जीव इन्हें संश्लेषित नहीं कर पाते।

- विटामिनों की कमी से कई प्रकार के रोग हो जाते हैं।
- विलेयता के आधार पर विटामिनों को जल विलेय तथा वसा विलेय नामक दो वर्गों में बांटा गया है। जल विलेय विटामिनों में विटामिन 'बी' समूह तथा विटामिन 'सी' आते हैं जबकि विटामिन 'ए', 'डी', 'ई' तथा 'के' वसा विलेय विटामिनों के समूह में आते हैं।
- 'बी' समूह के विटामिन सहएन्ज़ाइमी रूपों में भी रहते हैं जो मध्यवर्ती उपापचय की विभिन्न अभिक्रियाओं में हिस्सा लेते हैं।
- विटामिन 'बी' समूह के थायेमीन, राइबोफ्लेविन, नियासिन, पेंटोथेनिक अम्ल, पाइरिडॉक्सिन, बायोटिन, फोलिक अम्ल तथा सायनोकोबालेमिन नामक विटामिनों की कमी से बेरी-बेरी, पैलग्रा, अपर्याप्त विकास, मोतियाबिंद, उर्मेटाइटिस इत्यादि रोग हो जाते हैं।
- विटामिन 'सी' की आवश्यकता स्कर्वी नामक रोग से बचने के लिए होती है। इस विटामिन का कोई सहएन्ज़ाइमी रूप ज्ञात नहीं है। यद्यपि यह शरीर में अपचयन-उपचयन अभिक्रियाओं में भाग लेता है।
- वसा विलेय विटामिन सहएन्ज़ाइमी कार्य नहीं करते परंतु यह शरीरक्रियात्मक कार्यों में महत्वपूर्ण होते हैं। उदाहरण के लिए, विटामिन 'ए' का एक व्युत्पन्न भंद प्रकाश में देखने में सहायक होता है, विटामिन 'डी' हड्डियों तथा दांतों के सामान्य रूप से बनने के लिए कैल्सियम तथा फॉस्फोरस के उपयोग में हिस्सा लेता है, विटामिन 'ई' प्रबल प्रति ऑक्सीकारक के रूप में जैविक क्षिप्तियों के अपचयन से होने वाली हानि से बचाता है तथा विटामिन 'के' रक्त स्कन्दन की प्रक्रिया में हिस्सा लेता है।
- उपयुक्त रूप से कार्य करने के लिए जीवों को विटामिनों से साथ-साथ कुछ खनिजों व लेश-तत्वों की भी आवश्यकता होती है। आहार में इनकी अनुपस्थिति से भी कई प्रकार के रोग हो सकते हैं।
- आयनों के रूप में कई तत्व विभिन्न एन्ज़ाइमी अभिक्रियाओं में सहकारक का कार्य करते हैं।
- कैल्सियम तथा फॉस्फोरस जैसे खनिजों की अधिक मात्रा में आवश्यकता होती है तथा इन्हें बृहत् खनिज कहते हैं जबकि किंक तथा कॉपर जैसे तत्वों की कम मात्रा में आवश्यकता होती है तथा इन्हें लेश-तत्व कहते हैं।
- बृहत् खनिज तथा लेश-तत्व दोनों जीवों में महत्वपूर्ण कार्य करते हैं।

## 7.7 अंत में कुछ प्रश्न

1. निम्नलिखित विटामिनों से संबंधित जैव रासायनिक अभिक्रियाएं बताइए :  
नियासिन, फोलिक अम्ल, राइबोफ्लेविन, बायोटिन तथा पेंटोथेनिक अम्ल।
2. विटामिन 'बी'<sub>12</sub> किस अभिक्रिया में सहएन्ज़ाइम के रूप में कार्य करता है ?
3. सहएन्ज़ाइम 'ए' तथा फोलिक अम्ल के विभिन्न अवयव बताइए।
4. कैल्सियम की शरीरक्रियात्मक भूमिका क्या होती है ?
5. विटामिन 'ए' तथा दृष्टि में क्या संबंध है ?
6. निम्नलिखित विटामिनों में से प्रत्येक का एक मुख्य स्रोत बताइए :  
विटामिन 'ए', विटामिन 'बी', विटामिन 'सी', विटामिन 'बी'<sub>12</sub> तथा विटामिन 'ई'।

## 7.8 उत्तर

### बोध प्रश्न

1. विटामिन 'सी' तथा 'बी' समूह के विटामिन जल विलेय होते हैं। 'बी' समूह में विटामिन 'बी'<sub>1</sub>, अथवा थायेमीन, विटामिन 'बी'<sub>2</sub> अथवा राइबोफ्लेविन, नियासिन, विटामिन 'बी'<sub>3</sub> अथवा पेंटोथेनिक अम्ल, विटामिन 'बी'<sub>6</sub> अथवा पाइरिडॉक्सिन, बायोटिन, फोलिक अम्ल तथा विटामिन 'बी'<sub>12</sub> अथवा सायनोकोबालेमिन आते हैं।

विटामिन 'सी' अथवा ऐस्कॉर्बिक अम्ल का सहएन्ज़ाइमी प्रकार्य ज्ञात नहीं है।

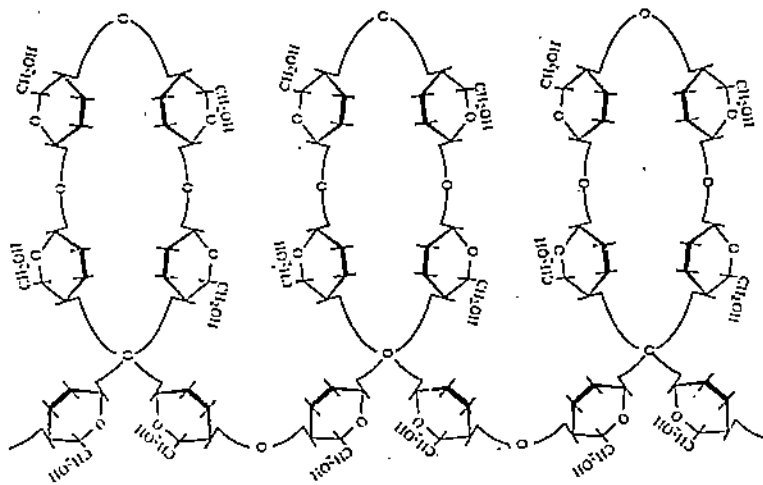
2. क) सत्य                      ख) सत्य                      ग) सत्य                      घ) सत्य

3. घ)

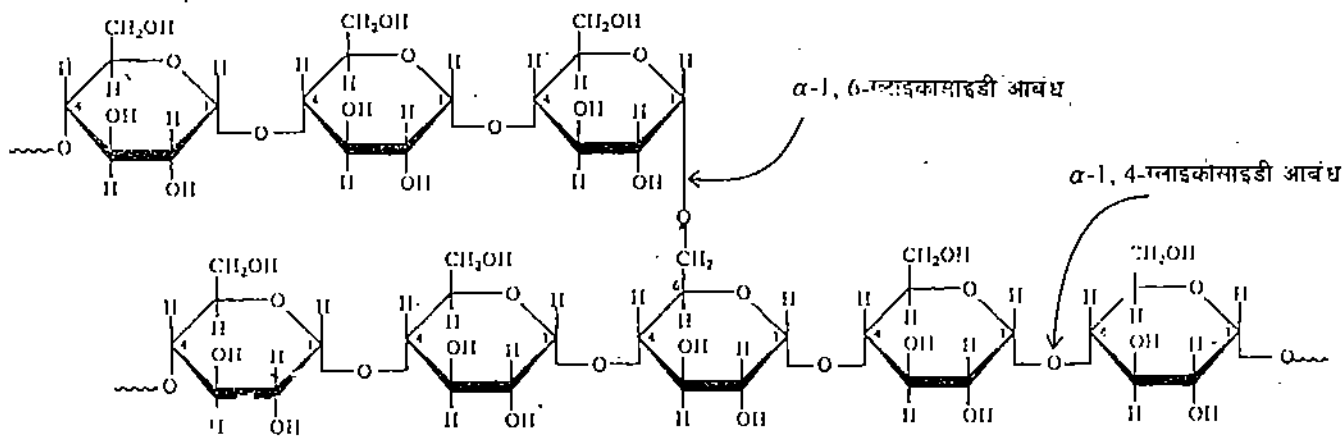
4. (क) सत्य (ख) सत्य (ग) सत्य (घ) सत्य

अंत में कुछ प्रश्न

1. नियासिन अपचयन-उपचयन अभिक्रियाओं से संबंधित है। फॉलिक अम्ल एक कार्बन खंडों के स्थानांतरण वाली अभिक्रियाओं से संबंधित है। राइबोफ्लेविन भी अपचयन-उपचयन अभिक्रियाओं में हिस्सा लेता है। वायोटिन कार्बोक्सिलीकरण अभिक्रियाओं से संबंधित है जबकि पेंटोथेनिक अम्ल वसा अम्लों के संग्रहण में होने वाली ऐसीटिलीकरण अभिक्रियाओं से संबंधित है।
2. किसी कार्बन परमाणु से एक हाइड्रोजन परमाणु के निकट के कार्बन परमाणु पर अभिगमन तथा वहाँ से X समूह के पहले वाले कार्बन पर अभिगमन वाली एन्जाइमी अभिक्रिया में विटामिन 'बी'<sub>12</sub> सहएन्जाइम का कार्य करता है।
3. ऐडेनोसिन डाइफॉस्फेट, पेंटोथेनिक अम्ल तथा नूरकैप्टोएथिलऐमीन सहएन्जाइम 'ए' के अवयव हैं जबकि टेरीडीन, p-ऐमीनो बेन्ज़ोइक अम्ल तथा ग्लूटैमिक अम्ल फोलिक अम्ल के अवयव हैं।
4. कैल्सियम के विभिन्न शारीरिक्यात्मक कार्य हैं-
  - (क) हड्डियों के ढांचे व दांतों के विकास व उनको बनाए रखना
  - (ख) पेशी संकुचन
  - (ग) तंत्रिका संकेतन, तथा
  - (घ) रक्त स्कन्दन।
5. मंद प्रकाश में दृष्टि की प्रक्रिया में हिस्सा लेने वाले दृष्टिपटल की शलाका कोशिकाओं में एक प्रकाश अवशोषी प्रोटीन होती है जिसे रोडोप्सिन कहते हैं। इसमें ऑप्सिन नामक एक प्रोटीन हिस्सा होता है जो विटामिन 'ए' के ऐल्डिहाइड 11-सिस-रेटिनल से दृढ़ता से जुड़ा होता है। प्रकाश की उपस्थिति में रोडोप्सिन में होने वाले परिवर्तन दृष्टि का जैव रासायनिक आधार बनाते हैं।
6. मत्स्य यकृत तेल विटामिन 'ए' तथा 'डी' के अच्छे स्रोत हैं। सिट्रस फल विटामिन 'सी' के अच्छे स्रोत हैं। तथा यकृत में विटामिन 'बी'<sub>12</sub> अच्छी मात्रा में पाया जाता है। अंकुरित गेहूँ का तेल विटामिन 'ई' का अच्छा स्रोत है।



ऐमिलोस—कुंडलाकार संरचना



ऐमिलोपेक्टिन का अणु

तार और अग्न्याशयी रस में मौजूद ऐमिलेस नामक एन्जाइम द्वारा ऐमिलोस के जल-अपघटन से माल्टोस और ग्लूकोस का मिश्रण प्राप्त होता है।  $\beta$ -ऐमिलेस द्वारा ऐमिलोस का जल-अपघटन अनपचायक सिरे से होता है जिससे केवल माल्टोस के यूनिट प्राप्त होते हैं।  $\alpha$  और  $\beta$  ऐमिलेस द्वारा ऐमिलोपेक्टिन के शाखा-बिन्दुओं और  $\alpha$ -1,6-आबंधों पर जल-अपघटन नहीं होता है जिसमें पाचन के एक उत्पाद के रूप में ऐमिलोपेक्टिन का अत्यंत शाखित क्लोड (branched core) प्राप्त होता है जिसे सी लिमिट डेक्सट्रिन (limit dextrin) कहते हैं।

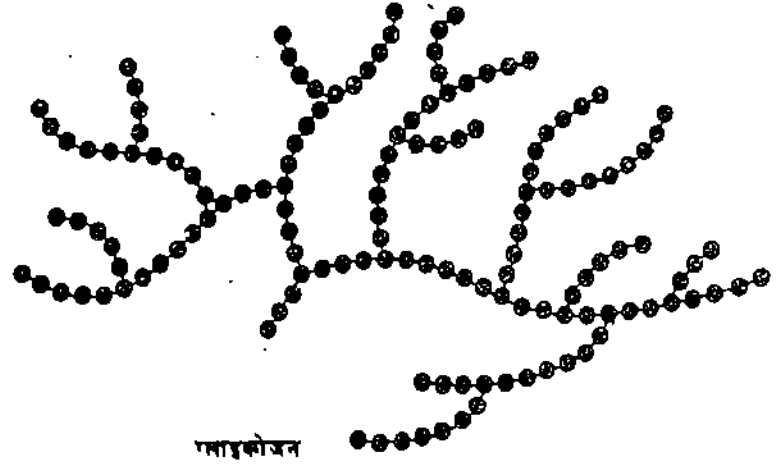
प्रयोगों में ग्लाइकोजन, ग्लूकोस का संचायक रूप में जो पादपों में स्टार्च के तुल्य है। वह मुख्य रूप से प्रकृत और मांसपेशियों में पाया जाता है। सुपोषित शरीर में ग्लाइकोजन के रूप में ग्लूकोस की पर्याप्त मात्रा रहती है जो 18 घंटे ऊर्जा प्रदान कर सकता है। ग्लाइकोजन की संरचना ऐमिलोपेक्टिन के समान ही होती है केवल शाखित अधिक शीघ्रता से, प्रत्येक 8-10 ग्लूकोस इकाइयों के बाद होता है। अधिकांश ग्लाइकोजन अणुओं का अणुभार 10 लाख से अधिक होता है।

स्टार्च की उपस्थिति जात करने के लिए आयोडीन और KI विलयन का उपयोग किया जाता है। उसमें यह भी पता लगता है कि उसका कितनी मात्रा में जल-अपघटन हुआ है। स्टार्च-आयोडीन संकुनों का रंग नीले-काले से लाल तक होता है। आयोडीन के साथ ऐमिलोस, नीला-काले रंग उत्पन्न करता है और ऐमिलोपेक्टिन लाल रंग उत्पन्न करता है।

अणुओं, एन्जाइमों अथवा शूष्क तापन द्वारा स्टार्च के आंशिक अपघटन से पॉलिसेकेराइड प्राप्त होते हैं जिन्हें डेक्सट्रिन कहते हैं आर्ब डेक्सट्रिन विपरिपे होते हैं इसलिए उनका उपयोग आसजकों के रूप में किया जाता है। बेड की पपड़ी का लाल रंग डेक्सट्रिन के बनने के कारण उत्पन्न होता है।

$\alpha$  और  $\beta$  ऐमिलेस द्वारा ग्लाइकोजन के जल-अपघटन में भी ग्लूकोस, माल्टोस और सीमा डेक्सट्रिन प्राप्त होते हैं।





उपर्युक्त शृंखला में प्रत्येक वृत्त D-ग्लूकोस इकाई को व्यक्त करता है जो मुख्य शृंखला में  $\alpha$ -1, 4-आबंधों द्वारा और शाखाओं में  $\alpha$ -1, 6 आबंधों द्वारा बद्ध रहता है।

शरीर में उपापचयन के लिए आवश्यकता होने पर ग्लूकोस इकाईया ग्लाइकोजन, फॉस्फोरिलेस नामक एन्जाइम की उपस्थिति में, फॉस्फेटीकरण प्रक्रम द्वारा, ग्लाइकोजन से एक-एक करके पृथक होती हैं जिससे ग्लूकोस-1-फॉस्फेट प्राप्त होता है। फॉस्फेटीकरण प्रक्रम में आबंध सविदारण (bond rupture) के साथ-साथ फॉस्फोरिक अम्ल के एक अणु का संकलन होता है। उपापचयन का उपयोगी शरीर की उपापचयी आवश्यकताओं की पूर्ति के लिए होता है।

### बोध प्रश्न 9

सही कथन पर ( $\checkmark$ ) का निशान लगाइये।

सीमा डेक्स्ट्रिन होता है :

- क) ऐमिलेस द्वारा स्टार्च के पाचन के बाद बचा उत्पाद ( )
- ख) ऐमिलोस का अत्यंत शाखित भाग ( )
- ग) ऐमिलोपेक्टिन का अनपचायक सिरा ( )

### बोध प्रश्न 10

पॉलिसैकेराइडों का परिवर्ती ध्रुवण घूर्णन नहीं होता है, क्यों?

.....

.....

.....

.....

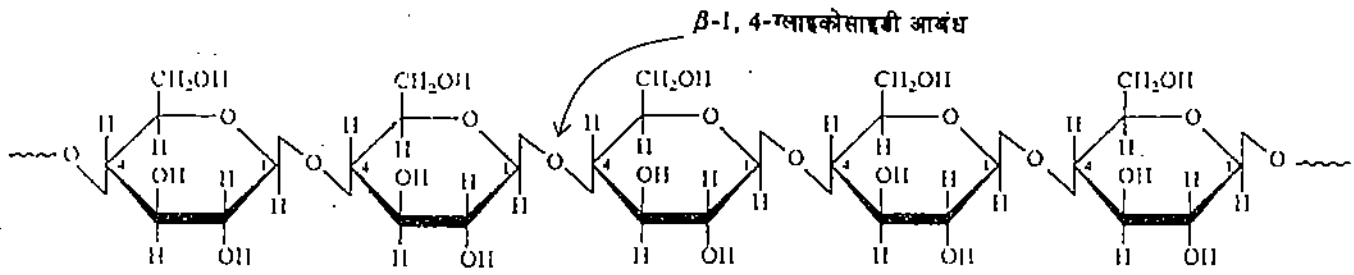
अब साधारण संरचनात्मक पॉलिसैकेराइड का उल्लेख किया जाएगा।

### 2.5.2 सेलुलोस: एक संरचनात्मक पॉलिसैकेराइड

ऐमिलोस और सेलुलोस में यह अंतर है कि उनमें ग्लूकोस इकाइयों को परस्पर जोड़ने वाले ग्लाइकोसाइडी आबंध अलग-अलग प्रकार के होते हैं। ऐमिलोस में  $\alpha$ -1, 4 आबंध होता है जबकि सेलुलोस में  $\beta$ -1, 4-आबंध होता है।

सेलुलोस एक संरचनात्मक पॉलिसैकेराइड है तथा पादपों की सख्त कोशिका-भित्ति मुख्यतः इसी की बनी होती है। जैव मंडल में कार्बन का लगभग आधा भाग इसी से प्राप्त होता है। सेलुलोस लगभग शुद्ध अवस्था में कपास (98%) में पाया जाता है। तथा कुछ कम शुद्ध अवस्था में जूट (50-70%) और लकड़ी (40-50%) में पाया जाता है। अपने आमाप और संरचना के कारण सेलुलोस अणु जल में अविलेय होते हैं।

सेलुलोस, D-ग्लूकोस इकाइयों का रैखिक बहुलक है। D-ग्लूकोस इकाइयां  $\beta$ -1, 4-बंधों द्वारा आबंध रहती हैं जैसाकि नीचे दिखाया गया है। उसका अणु सूत्र  $(C_6H_{10}O_5)_n$  है जिसमें  $n = 500$  से 5000 होता है, जो सौत, निष्कर्षण और उपचार की विधि पर निर्भर करता है।



सेलुलोज मूलका का बंध

स्टार्च के विपरीत यह एन्जाइमी और अम्लीय जल-अपघटन के प्रति अत्यंत प्रतिरोधी होता है। किन्तु घास चरने वाले जानवरों में पाए जाने वाले रूमेन जीवाणु में और दीमक में सेलुलेस नामक एन्जाइम होता है जो सेलुलोज का ग्लूकोस में जल-अपघटन कर देता है। मनुष्य सहित अन्य प्राणियों में यह एन्जाइम नहीं पाया जाता है जिससे वे सेलुलोज का ऊर्जा-स्रोत के रूप में उपयोग नहीं कर सकते हैं। इसलिए हम जो भी सेलुलोज खाते हैं, वह बिना पचे पाचन-क्षेत्र से निकल जाता है और समुचित निष्कासन के लिए आवश्यक रूक्ष-अंश (roughage) प्रदान करता है।

सेलुलोज व्यापारिक महत्व का यौगिक है। रुई के रूप में उसका उपयोग वस्त्र-निर्माण में किया जाता है। सेलुलोज के रासायनिक उपचार से अनेक उत्पाद प्राप्त होते हैं जिनमें सेलुलाइड, रेयॉन, गनकोटन (विस्फोटक), सेलुलोज ऐसीटेट, मेथिल और एथिल सेलुलोज प्रमुख हैं। ये व्युत्पन्न, उपयोगी प्लास्टिक होते हैं जिनके रेशों अथवा फिल्मों में परिवर्तित किया जा सकता है। लकड़ी में पाए जाने वाले सेलुलोज का उपयोग कागज और कागज के उत्पादों को बनाने के लिए किया जाता है।

## 2.6 संकुल पॉलिसैकेराइड

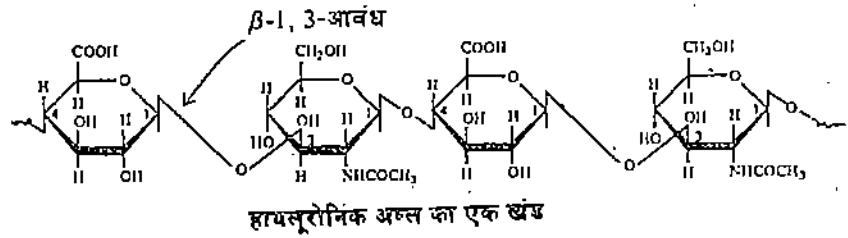
पिछले भागों में उन पॉलिसैकेराइडों का वर्णन किया गया है, जो मुख्यतः हेक्सोस एकलक यूनितों के बने होते हैं। उनके अतिरिक्त अनेक संकुल कार्बोहाइड्रेटों (complex polysaccharides) अणु होते हैं जिनमें ऐमीनों नाइट्रोजन होता है जो या तो ऐसीटिलीकृत होता है अथवा सल्फ्यूरिक अथवा फॉस्फोरिक अम्ल के साथ संयुक्त रहता है। ये संकुल पॉलिसैकेराइड अंतरा कोशिकीय पदार्थों के रूप में महत्वपूर्ण होते हैं तथा वे या तो मुक्त अवस्था में अथवा प्रोटीनों और लिपिडों के साथ संयुक्त अवस्था में पाए जाते हैं।

आइए, इनमें से कुछ महत्वपूर्ण संकुल अणुओं की संरचना और भूमिका का वर्णन करें।

### 2.6.1 ग्लाइकोसैमीनोग्लाइकन

कोशिका बाह्य स्थान, विशेष रूप से जगस्थि, टेनडॉन (tendon), त्वचा और रुधिर वाहिकाओं की भित्तियों आदि संयोजी ऊतकों के कोशिका बाह्य स्थान कोलेजन और इलैस्टिन नामक प्रोटीनों के बने होते हैं। ये प्रोटीन जेल के समान मैट्रिक्स में अंतः स्थापित रहते हैं जिसे आधार पदार्थ कहते हैं। यह आधार पदार्थ प्रायः संकुल पॉलिसैकेराइडों का बना होता है जिन्हें ग्लाइकोसैमीनोग्लाइकन (glycosaminoglycans) अथवा म्यूकोपॉलिसैकेराइड (mucopolysaccharides) कहते हैं। इन संकुल अणुओं की अवर्षकिल श्लेष्मा के समान समांगता होती है जिसके कारण वे अत्यंत श्यान (viscous) और प्रत्यास्थ होते हैं।

ग्लाइकोसैमीनोग्लाइकन एकान्तरतः ग्लूकोरॉनिक अम्ल और हैक्सोसैमीन अवशिष्टों के बने होते हैं। हायलूरोनिक अम्ल, ग्लाइकोसैमीनोग्लाइकन का उदाहरण है। यह जोड़ों के साइनोविएल तरल में और आंखों के काचाभ द्रव में विद्यमान आधार पदार्थ का महत्वपूर्ण घटक होता है। इसमें  $\beta$ -D-ग्लूकोरॉनिक अम्ल और N-ऐसीटिल- $\beta$ -D-ग्लूकोसैमीन के 250-25,000 तक पुनरावर्ती यूनिट होते हैं जो  $\beta$ -1, 3-आबंधों द्वारा जुड़े रहते हैं। पुनरावृत्ति यूनिट स्वयं  $\beta$ -1, 4-आबंधों द्वारा जुड़े रहते हैं जैसाकि नीचे दिखाया गया है:



हायलुरोनिक अम्ल,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  और  $\text{Ca}^{2+}$  जैसे आयनों को मजबूती के साथ आबद्ध करता है। वह दृढ़ और अत्यंत जलयोजित अणु होता है। वह शुष्क-अवस्था की अपेक्षा विलयन में 1000 गुना स्थान घेरता है। इन गुणधर्मों के कारण वह जोड़ों में उत्तम जैव प्रघात-सह के रूप में और स्नेहक के रूप में प्रयुक्त होता है। दूसरे महत्वपूर्ण ग्लाइकोसैमीनो-ग्लाइकन का नाम कॉन्ड्रोइटिन-4-सल्फेट है जो उपास्थि और अन्य संयोजी ऊतकों का प्रमुख घटक होता है। इसकी संरचना हायलुरोनिक अम्ल के समान होती है केवल अंतर यह होता है कि N-ऐसीटिल-D-ग्लूकोसैमीन के स्थान पर N-ऐसीटिल-D-ग्लूकोसैमीन-4-सल्फेट होता है।

त्वचा ऊतक में विद्यमान डर्मेटन सल्फेट, नाखूनों और खुरों के केराटिन में पाया जाने वाला क्लिरेटिन सल्फेट तथा हेपैरिन संकुल पॉलिसैकेराइडों के अन्य उदाहरण हैं। हेपैरिन असमान रूप से सल्फेटित ग्लाइकोसैमीनो-कन होता है जिसमें N पर और C-6 पर सल्फेटित एकांतरतः D-ग्लूकोरोनो-2-सल्फेट और D-ग्लूकोसैमीन के 1, 4 संबद्ध अवशिष्ट होते हैं। यदि केवल धमनियों की भित्तियों पर होता है और रुधिर-स्कंदन (blood clotting) को रोकता है। इसलिए उसका शक्तिशाली रुधिर प्रतिस्कंदक के रूप में बहुत उपयोग होता है।

### 2.6.2. ग्लाइकोप्रोटीन

कोशिकाओं में विद्यमान अनेक प्रोटीन सहसंयोजकतः कार्बोहाइड्रेट अणुओं के साथ सहयोजित रहते हैं जिससे एक प्रकार का जैव अणु बनता है जिसे ग्लाइकोप्रोटीन (glycoproteins) कहते हैं। इन ग्लाइकोप्रोटीनों में कार्बोहाइड्रेट की मात्रा 1% (उदाहरण के लिए प्रतिक्षीग्लोब्युलिन में) से 85% (उदाहरण के लिए, रुधिर-वर्ग पदार्थों में) तक होती है। ये अणु, सभी प्रकार के जीवों में पाए जाते हैं और इनमें अधिकांश प्लाज्मा प्रोटीन एन्जाइम, हार्मोन आदि शामिल रहते हैं। क्षिल्लियों में पाए जाने वाले अधिकांश प्रोटीन, उदाहरण के लिए, लिपिड-द्विपरत, ग्लाइकोप्रोटीन होते हैं। सामान्य रूप से ग्लाइकोप्रोटीनों में एक क्रोड प्रोटीन होता है जिसके साथ ग्लाइकोसैमीनो-ग्लाइकन जैसे कार्बोहाइड्रेट अथवा N-ऐसीटिल ऐमीनों शर्कराएं सहसंयोजक रूप से संबद्ध रहते हैं।

ग्लाइकोप्रोटीन विविध कार्य करते हैं किन्तु साधारण रूप से वे विभिन्न जैव अन्योन्यक्रियाओं के लिए पहचान स्थल का काम करते हैं। प्रतिरक्षीग्लोब्युलिनों (immunoglobulins) की भांती ग्लाइकोप्रोटीन प्रतिरक्षी का काम करते हैं:  $\gamma$ -ग्लोब्युलिन संक्रामक रोगों से लड़ता है और लार तथा आम-शय रस में मौजूद म्यूसिन, पाचन क्रिया में सहायता करते हैं। इंटरफेरोन नामक अन्य ग्लाइकोप्रोटीन, विषाणु संक्रमण (viral infection) के प्रतिक्रिया में कोशिकाओं द्वारा उत्पन्न किया जाता है। दक्षिण ध्रुव में पाई जाने वाली मछलियों में विद्यमान कुछ ग्लाइकोप्रोटीन उन्हें जमने से बचाती हैं।

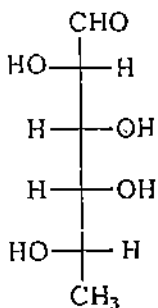
### 2.6.3 रुधिर वर्ग पदार्थ

जन्तु-कोशिकाओं का प्लाज्मा क्षिल्लियां अनेक कार्बोहाइड्रेटों से संबद्ध रहती हैं और शर्करा लेपित लगती हैं। ये कार्बोहाइड्रेट, जो मूलतः ग्लाइकोप्रोटीन और ग्लाइकोलिपिडों के घटक होते हैं, उस क्रियाविधि के अंग होते हैं, जिसके द्वारा विभिन्न प्रकार की कोशिकाएं एक-दूसरे का निर्धारण करती हैं और जैव रासायनिक चिह्नक (प्रतिजनी निर्धारण) का काम करते हैं। इन क्षिल्लियों के आबद्ध कार्बोहाइड्रेटों में 4 से 20 मोनोसैकेराइड यूनिट होते हैं जिनमें D-गैलेक्टोस, L-फ्यूकोस, N-ऐसीटिल-D-ग्लूकोसैमीन और N-ऐसीटिल D-गैलेक्टोसैमीन प्रमुख हैं।

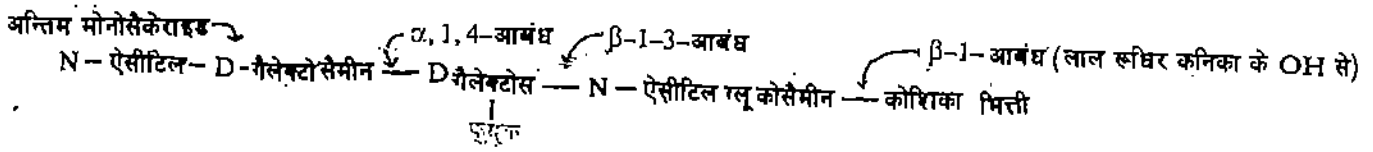
सभी क्षिल्ली आबद्ध कार्बोहाइड्रेटों में रुधिर-वर्ग के पदार्थों का सबसे पहले आविष्कार कर उनका अध्ययन किया गया था। मुख्य रूप से वे लाल रुधिर कणिकाओं के पृष्ठ पर पाए जाते हैं किन्तु शरीर के अन्य अंगों में विद्यमान प्रोटीनों और लिपिडों में भी पाए जाते हैं। सन् 1900 में कार्ल लैंडस्टाइनर द्वारा प्रस्तुत ABO वर्ग पद्धति में चार रुधिर वर्गों का

ऐन्टिजन, बाहरी पदार्थ होते हैं, जो शरीर पर आक्रमण करते हैं और प्रतिरक्षी वे पदार्थ हैं, जो उनका प्रतिरोध करते हैं।

L-फ्यूकोस असामान्य कार्बोहाइड्रेट है जिसमें  $-\text{CH}_2\text{OH}$  समूह  $-\text{CH}_3$  समूह द्वारा प्रतिस्थापित होता है।



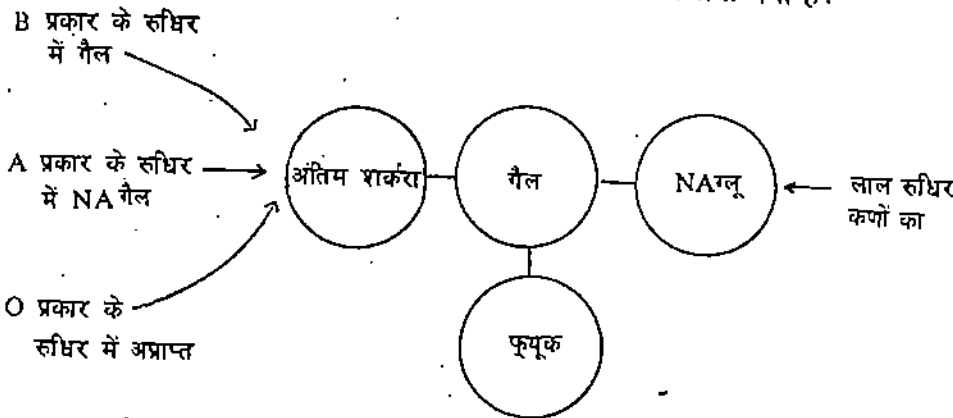
निर्धारण किया गया है। ये वर्ग हैं- A, B, AB और O। इस वर्गीकरण का रासायनिक आधार अपेक्षाकृत छोटा, मिल्ली आबद्ध कार्बोहाइड्रेट है। A, B, AB और O रुधिर वर्गों की लाल रुधिर कणिकाओं पर मौजूद कार्बोहाइड्रेट संघटन को चित्र 2.6 और चित्र 2.7 में दिखाया गया है।



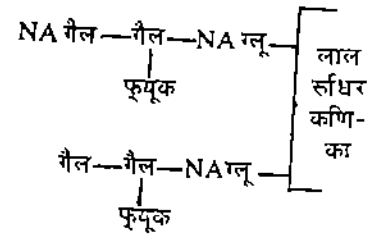
चित्र : 2.6

चित्र 2.6: (A प्रकार के रुधिर की) रक्त रुधिर कणिकाओं का कार्बोहाइड्रेट संघटन

इस कार्बोहाइड्रेट शृंखला में अनपचायक सिरे पर मौजूद अंतिम मोनोसैकेराइड, ABO वर्गीकरण का निर्धारण करता है। A प्रकार में शृंखला का N-ऐसीटिल-D-गैलेक्टोस में समापन होता है। B प्रकार में उसका समापन D-गैलेक्टोस में होता है। O प्रकार में अंतिम शर्करा नहीं होता है जबकि AB प्रकार में अंतस्थ शर्कराओं के रूप में N-ऐसीटिल गैलेक्टोसैमीन और D-गैलेक्टोस दोनों होते हैं जैसाकि नीचे दिखाया गया है:



रक्तधान में ABO वर्ग बहुत महत्वपूर्ण होता है। एक ही प्रकार के व्यक्तियों के रुधिर को लाल रुधिर कणिकाओं के संयुजन (संयुजन) के बिना मिलाया जा सकता है। किन्तु यदि A प्रकार के रुधिर के सीरम को B प्रकार के रुधिर के साथ मिलाया जाए अथवा विलोमतः किया जाए तो लाल रुधिर कणिकाओं का संयुजन हो जाएगा। निम्नलिखित रक्तधान संभावनाएं हो सकती हैं।



चित्र (2.7)

AB प्रकार में अंतिम शर्करा NA गैल और गैल हैं जैसाकि चित्र 2.7 में दिखाया गया है:

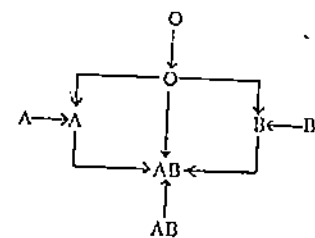
**बोध प्रश्न. 11**

A प्रकार का रुधिर O प्रकार के रुधिर से किस प्रकार भिन्न होता है?

**2.7 सारांश**

- कार्बोहाइड्रेट पॉलिग्लूकोसी ऐलिडहाइड्रॉस अथवा कीटोन होते हैं, जिनका लगभग संघटन  $C_x(H_{2x})_n$  होता है।
- राइबोस, फ्रक्टोस, ग्लूकोस और मैनोस आदि विभिन्न मोनोसैकेराइड में अंतर का कारण रक्तमं कार्बन परमाणुओं की संख्या, कार्बोनिल समूह की स्थिति तथा अप्रतिबिंबी त्रिविध संभाव्य विन्यास है।
- शर्कराओं के अंतःअणुक चक्रीकरण से हेमीऐसीटैल हेमीकीटैल प्राप्त होते हैं और वे ऐगामरी रूपों में पाए जाते हैं। इस प्रकार बनने वाले पांच सदस्यों वाले वलयों और छः सदस्यों वाले वलयों को क्रमशः फ्यूरेनोस और पाइरेनोस कहते हैं।
- शर्कराओं के ऑक्सीकरण से यूरोनिक अम्ल और ऐन्डोनिक अम्ल प्राप्त होते हैं और अपचयन से ऐलिडाल प्राप्त होते हैं। शर्कराएँ, ऐसीटिल और ऐमीनों व्युत्पन्न भी बनाते हैं।

सार्वजनिक दाता



सार्वभिक ग्राही

- डाइसैकेराइडों और पॉलिसैकेराइडों में ग्लाइकोसाइडी आबंध होते हैं जो मोनोसैकेराइड यूनिटों को परस्पर संयुक्त रखते हैं।
- विभिन्न डाइसैकेराइडों में भेद, उनमें विद्यमान शर्कराओं के स्वभाव द्वारा और ग्लाइकोसाइडी आबंध की स्थिति और अभिविन्यास द्वारा, किया जा सकता है।
- स्टार्च और ग्लाइकोजन दो प्रमुख संचायक पॉलिसैकेराइड हैं। ये शक्ति ग्लूकोस बहुलक होते हैं जिनमें शृंखलाओं में  $\alpha$ -1, 4 बंध और शाखा बिन्दुओं पर  $\alpha$ -1, 6 बंध होते हैं।
- सेलुलोस, पादपों का सबसे महत्वपूर्ण संरचना पॉलिसैकेराइड है। वह D-ग्लूकोस का रैखिक बहुलक जिसमें  $\beta$ -1, 4 बंध होते हैं।
- स्टार्च और ग्लाइकोजन, अम्लों और एन्जाइमों द्वारा आसानी से जल-अपघटन होते हैं जबकि सेलुलोस अम्लरोधी होते हैं और केवल सेलुलोस द्वारा जल-अपघटित होते हैं।
- संकुल पॉलिसैकेराइड, अंतराकोशिका आधारी पदार्थों के महत्वपूर्ण घटक होते हैं। वे मुक्त रूप में अथवा प्रोटीनों के साथ संकुलित रूप में पाए जाते हैं।
- हायलूरोनिल अम्ल, कॉन्ड्रोइटिन सल्फेट, किरेटिन सल्फेट और हेपेरिन आदि ग्लाइकोसैमीनोग्लाइकन उच्च अणुभार वाले बहुलक होते हैं जो यूरोनिक अम्लों और सल्फेटित अथवा ऐमीनो प्रतिस्थापित ऐसीटिल शर्कराओं के बने होते हैं।
- ग्लाइकोसैमीनोग्लाइकन, ऊतकों में उत्तम प्रघातसह और स्नेहक यौगिक होते हैं।
- लाल रूधिर कणिका झिल्लियों के बाहरी पृष्ठ पर विद्यमान ग्लाइकोप्रोटीन, महत्वपूर्ण रूधिर वर्ग प्रतिजन होते हैं।

## 2.8 अंत में कुछ प्रश्न

- 1) कार्बोहाइड्रेटों से विशिष्ट उदाहरण देते हुए, एनैन्टोमर, अप्रतिबिंबी त्रिविम समावयव, ऐनोमर और परिवर्ती ध्रुवन घूर्णन शब्दों की परिभाषा दीजिए।
- 2) प्रकृति में पाए जाने वाले एक (क) शर्करा ऐल्कोहॉल (ख) ऐमीनो शर्करा (ग) शर्करा फ़ास्फेट (घ) डीऑक्सी शर्करा का उदाहरण दीजिए और संरचना बताइए।
- 3) प्राणियों और पादपों में विद्यमान संचायक पॉलिसैकेराइड का नाम बताइए। उनमें संरचना संबंधी अंतर बताइये।
- 4) माल्टोस अपचायक शर्करा है जबकि सूक्रोस अनपचायक शर्करा है। क्यों?
- 5) सेलुलोस जल में अविलेय क्यों होता है और मनुष्य उसका ऊर्जा स्रोत के रूप में उपयोग क्यों नहीं कर सकते हैं?
- 6) सूक्रोस, लैक्टोस और माल्टोस की संरचनाएं बताइए। इन सामान्य डाइसैकेराइडों के कौन कौन कौन कौन हैं?
- 7) पॉलिसैकेराइडों के वर्गीकरण का उनके संघटन और कार्य से क्या संबंध है?

## 2.9 उत्तर

### बोद्य प्रश्न

- 1) (क) सही (ख) सही (ग) गलत (घ) गलत
- 2) (क) D-मैनोस (ख) L, D (ग) त्रिविम समावयव (घ) D-ग्लूकोस
- 3) (क) गलत (ख) सही (ग) गलत (घ) सही
- 4) शर्कराओं में D और L चिहनों का प्रयोग कार्बोनिल समूह से सबसे दूर स्थित किरेल कार्बन पर विन्यास को व्यक्त करने के लिए किया जाता है। कोई शर्करा D-एनैन्टोमर है अथवा L-एनैन्टोमर यह ज्ञात करने के लिए ग्लिसरैलिडहाइड



संघनित रहता है। इसमें किसी भी यूनिट में ऐनोमरी हाइड्रॉक्सिल नहीं होता है और बलय के खुलने से ऐलिहहाइड प्राप्त नहीं होता है। अतः शर्करा अनपचायक होता है।

- 5) अपने नामांप और संरचना के कारण सेलुलोज अणु जल में अविलेय होते हैं। सेलुलोज में ग्लूकोस यूनिट परस्पर  $\beta$ -1, 4 बंधों द्वारा जुड़े रहते हैं जिससे वृहत् रैखिक बहुलक प्राप्त होते हैं। मनुष्यों में इस आबंध को जल-अपघटित करने के लिए आवश्यक एन्जाइम नहीं होते हैं। मनुष्य की लार और अग्न्याशयी रस में विद्यमान ऐमिलेस केवल  $\alpha$ -1, 4 ग्लाइकोसाइडी आबंधों के जल-अपघटन के लिए उपयुक्त होते हैं। इसलिए सेलुलोज में मौजूद ग्लूकोस मनुष्यों को ऊर्जा स्रोत के रूप में उपलब्ध नहीं रहता है।
- 6) माल्टोज, लैक्टोज और सुक्रोज की संरचनाएं भाग 2.4 में दी गई हैं। सुक्रोज, गन्ने में पाया जाने वाला प्रमुख डाइसेकेराइड है। लैक्टोज, दूध में पाया जाता है। माल्टोज, स्टार्च, ग्लाइकोजन अथवा डेक्सट्रिनों के अपूर्ण (एन्जाइमी) जल-अपघटन के दौरान उत्पाद के रूप में प्राप्त होता है। यह प्रकृति में जौ के माल्ट में पाया जाता है।
- 7) पॉलिसैकेराइडों को उनके संघटन के आधार पर समपॉलिसैकेराइडों (स्टार्च) और विषमपॉलिसैकेराइडों (कोशिका भित्ति के पेप्टिडोग्लाइकन) में वर्गीकृत किया जा सकता है। कार्य की दृष्टि से पॉलिसैकेराइड दो प्रकार के होते हैं अर्थात् संचय पॉलिसैकेराइड, जैसे स्टार्च और ग्लाइकोजन तथा संरचनात्मक पॉलिसैकेराइड, जैसे सेलुलोज और काइटिन।

## इकाई 3 लिपिड

### इकाई की रूपरेखा

- 3.1 प्रस्तावना  
उद्देश्य
- 3.2 लिपिडों का जैव महत्व
- 3.3 लिपिडों का वर्गीकरण :  
वसा अम्ल  
एंमिलग्लिसराॉल  
मांस  
फॉस्फोलिपिड  
ग्लाइकोलिपिड  
लाइपोप्रोटीन  
टर्पिनॉइड  
प्रोस्टेग्लैडिन  
कीटोन
- 3.4 लिपिड और जैव झिल्लियां  
जैव झिल्लियों का संघटन  
झिल्ली संरचना  
जैव झिल्लियों के कार्य
- 3.5 सारांश
- 3.6 अंत में कुछ प्रश्न
- 3.7 उत्तर

### 3.1 प्रस्तावना

इकाई 2 में कार्बोहाइड्रेटों का उल्लेख किया गया था जो जैव अणुओं का महत्वपूर्ण वर्ग है। ये जैव अणु कोशिकाओं के ऊर्जा-स्रोत होते हैं तथा कोशिकाओं की संरचना के भाग भी होते हैं।

जैव अणुओं के दूसरे वर्ग में लिपिड (lipid) आते हैं, जो सभी जीवित कोशिकाओं का अनिवार्य घटक होते हैं। वे अत्यंत जल-विरोधी होते हैं। आपको याद होगा कि इकाई 1 में झिल्लियों की संरचना के बारे में संक्षेप में बताया गया था। आपने पढ़ा कि लिपिड, कोशिका झिल्लियों की संरचना का भाग होते हैं। इन अणुओं में कोशिका के लिए ऊर्जा संचित रहती है। इसके अतिरिक्त वे कुछ अन्य कार्य भी करते हैं। इकाई 3 में लिपिडों के जैव महत्व का उल्लेख किया जाएगा और उन्हें विभिन्न वर्गों में वर्गीकृत किया जाएगा। उनके रासायनिक संघटन को भी स्पष्ट किया जाएगा। इसके अलावा आप जैव झिल्लियों की संरचना और कार्यों के बारे में भी अधिक जानकारी प्राप्त करेंगे। अगली इकाई में न्यूक्लीक अम्लों का वर्णन किया जाएगा। कार्बोहाइड्रेटों की भांति न्यूक्लीक अम्ल भी जैव बहुलक होते हैं और कोशिका का महत्वपूर्ण घटक भी होते हैं।

#### उद्देश्य

इस इकाई के अध्ययन के बाद आप :

- प्राणियों में लिपिडों के मुख्य कार्यों का उल्लेख कर सकेंगे,
- लिपिडों का विभिन्न वर्गों में वर्गीकरण कर सकेंगे,
- लिपिडों के विभिन्न वर्गों के आवश्यक संरचनात्मक लक्षणों और प्रमुख अभिलक्षकीय भूमिकाओं का उल्लेख कर सकेंगे, और
- जैव झिल्लियों के बनने और कार्य करने में लिपिडों की भूमिका का उल्लेख कर सकेंगे।



### 3.2 लिपिडों का जैव महत्व

लिपिड जैव यौगिकों का अत्यंत विषमांगी वर्ग है। वे जल में अल्प विलेय किन्तु कार्बनिक (वसास्नेही) विलयनों, जैसे-ईथर, क्लोरोफार्म और बेन्ज़ीन में सुविलेय होते हैं। उनके अंतर्गत वसा अम्ल, ऐसिलग्लिसरॉल, फास्फोग्लिसराइड, स्टेराइड टर्पीन और प्रोस्टेग्लैन्डिन जैसे विविध यौगिक आते हैं। ट्राइऐसिलग्लिसराइड, प्राकृतिक लिपिडों के सबसे प्रमुख रूप होते हैं। वे महत्वपूर्ण आहारी पदार्थ हैं क्योंकि उनके कैलोरी मान ( $9.3 \text{ kcal g}^{-1}$  अथवा  $38.8 \text{ kJ g}^{-1}$ ), प्रोटीनों और कार्बोहाइड्रेटों के कैलोरी मान ( $4.1 \text{ kcal/gm}^{-1}$ ) अथवा  $17.1 \text{ kJ g}^{-1}$ ) से अधिक होते हैं। फास्फोलिपिड सभी जैव झिल्लियों के आवश्यक संरचना-घटक होते हैं और कोशिका को कोष्ठों में विभाजित करते हैं। कुछ लिपिड, हार्मोनों और विटामिनों के पूर्ववर्ती (precursor) होते हैं। कोशिकाएं, लिपिड अणुओं से प्रोस्टेग्लैन्डिन, कोशिका में होने वाले अनेक प्रकार के परिवर्तनों के प्रति रक्षा प्रदान करते हैं।

अब हम लिपिडों के सामान्य वर्गीकरण के बारे में पढ़ेंगे और उसके बाद विभिन्न प्रकार के लिपिडों का विस्तृत अध्ययन किया जाएगा।

### 3.3 लिपिडों का वर्गीकरण

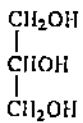
लिपिडों का तीन प्रमुख वर्गों में वर्गीकरण किया जा सकता है। ये हैं-सरल (simple) लिपिड, संकुल (complex) लिपिड और व्युत्पन्न (derived) लिपिड।

**सरल लिपिड** ऐल्कोहॉलों जैसे-ग्लिसरॉल के साथ वसा अम्लों के एस्टर होते हैं। तेल और वसा इस वर्ग के सामान्य उदाहरण हैं। वसा, ग्लिसरॉल और वसा अम्लों के एस्टर होते हैं और द्रव अवस्था में वसा को तेल कहते हैं। मोम भी सरल लिपिड होते हैं और वे उच्च अणुभार वाले मोनोहाइड्रिक ऐल्कोहॉलों के साथ वसा अम्लों के एस्टर होते हैं।

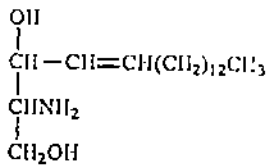
**संकुल लिपिड** भी ऐल्कोहॉल और वसा अम्लों के एस्टर होते हैं। किन्तु इसके अतिरिक्त उनमें फास्फेट समूह, कार्बोहाइड्रेट मॉडिफाईड आदि भी होते हैं। इस वर्ग में निम्न प्रकार के लिपिड आते हैं।

(क) **फास्फोलिपिड** इन संकुल लिपिडों में वसा अम्लों और ऐल्कोहॉल के अलावा फॉस्फेट समूह भी होता है। बहुधा उनमें नाइट्रोजन युक्त क्षारक और अन्य प्रतिस्थापी भी होते हैं। जिन फास्फोलिपिडों में ऐल्कोहॉल के रूप में ग्लिसरॉल होता है उन्हें ग्लिसरोफास्फोलिपिड कहते हैं और जिनमें ऐल्कोहॉल के रूप में स्फिन्गोसीन होता है उन्हें स्फिन्गोफास्फोलिपिड कहते हैं।

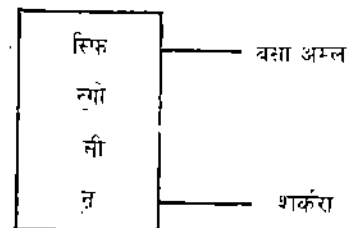
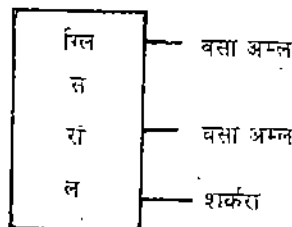
(ख) **ग्लाइकोलिपिड** इन लिपिडों में वसा अम्ल और ऐल्कोहॉल के अतिरिक्त कार्बोहाइड्रेट समूह भी होता है। यह ध्यान देने की बात है कि फास्फोलिपिड और ग्लाइकोलिपिड में मुख्य अंतर यह है कि फास्फोलिपिड में फॉस्फेट समूह होता है जबकि ग्लाइकोलिपिड में उसके स्थान पर शर्करा समूह होता है। ग्लाइकोलिपिडों में शर्करा समूह सामान्यतया गैलेक्टोस होता है। इन लिपिडों में ग्लूकोस प्रायः कम होता है। ऐल्कोहॉल के रूप में या तो स्फिन्गोसीन अथवा ग्लिसरॉल होता है।



ग्लिसरॉल



स्फिन्गोसीन



ग्लाइकोलिपिड

(ग) अन्य संकुल लिपिड इस वर्ग में सल्फोलिपिड, ऐमीनोलिपिड और लाइपोप्रोटीन आते हैं।

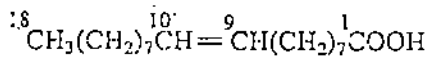
लिपिडों का तीसरा प्रमुख वर्ग व्युत्पन्न लिपिड है। इन्हें उपर्युक्त समूहों के जल-अपघटन द्वारा प्राप्त किया जाता है। इनके अंतर्गत वसा अम्ल (संतृप्त और असंतृप्त) ग्लिसरॉल, स्टेरॉइड, लिपिड विलेय विटामिन और प्रोस्टेग्लैन्डिन आते हैं। अब हम कुछ महत्वपूर्ण लिपिडों का उल्लेख करते हुए उनके संरचनात्मक लक्षणों और महत्व का अध्ययन करेंगे।

### 3.3.1 वसा अम्ल

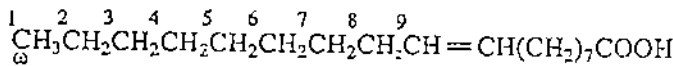
वसा अम्ल लंबी शृंखला वाले हाइड्रोकार्बन होते हैं जिनके अंत में कार्बोक्सिलिक समूह होता है। वे वसाओं के जल-अपघटन से प्राप्त होते हैं। अधिकांश वसा-अम्लों में, विशेष रूप से प्राकृतिक वसाओं में पाए जाने वाले वसा-अम्लों में कार्बन परमाणुओं की सम-संख्या (प्रायः 14-परमाणुओं से अधिक) होती है; साधारणतया ये ऋजु शृंखला यौगिक होते हैं जिनकी शृंखला संतृप्त, अर्थात् बिना किसी द्वि-आबंध के, अथवा असंतृप्त, अर्थात् एक अथवा अधिक द्वि-आबंधों के साथ, हो सकती है। वसा-अम्ल प्रायः प्राकृतिक वसाओं और तेलों में अपने एस्टरों के रूप में पाए जाते हैं। किन्तु वे प्लाज्मा में मुक्त वसा अम्लों के रूप में कुछ प्रोटीनों के साथ आवद्ध पाए जाते हैं।

सामान्यतया वसा अम्लों का नाम जनक हाइड्रोकार्बन के नाम पर रखा जाता है जबकि हाइड्रोकार्बन के नाम के अंत में "अ" के स्थान पर "ओइक" जोड़ दिया जाता है। इस प्रकार संतृप्त वसा अम्लों के नाम के अंत में एनोइक अम्ल होता है, जैसे ऑक्टानोइक अम्ल  $[CH_3(CH_2)_6COOH]$ । इसी प्रकार द्वि-आबंधों वाले असंतृप्त वसा अम्लों के नाम के अंत में इनोइक अम्ल होता है, जैसे ऑक्टाडेसेनोइक अम्ल  $[CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH]$ , ओलीक अम्ल। कार्बन परमाणुओं की संख्यांकन कार्बोक्सिल कार्बन से किया जाता है और उसे कार्बन परमाणु संख्या 1 दी जाती है। कार्बोक्सिल कार्बन से संलग्न कार्बन परमाणु को कार्बन संख्या 2 अथवा  $\alpha$ -कार्बन कहते हैं। इसी प्रकार कार्बन संख्या 3 को  $\beta$ -कार्बन कहते हैं। अंतिम मेथिल कार्बन को  $\omega$ -कार्बन परमाणु अथवा  $n$ -कार्बन परमाणु कहते हैं। असंतृप्त वसा अम्लों में द्वि-आबंधों की संख्या और स्थिति व्यक्त करने की अनेक परिपाटियां प्रचलित हैं। उदाहरण के लिए  $\Delta^9$  हाइड्रोकार्बन शृंखला में कार्बन परमाणु 9 और 10 के बीच द्वि-आबंध को व्यक्त करता है। इसी प्रकार  $\omega-9$ ,  $\omega$ -कार्बन से गिनते हुए नौवें कार्बन परमाणु पर द्वि-आबंध को व्यक्त करता है।

ओलीक अम्ल का उदाहरण देकर इसे स्पष्ट किया जाएगा। 18:1,  $\omega-9$  अथवा 18:1,  $\Delta^9$ , 18-कार्बन शृंखला को व्यक्त करता है जिसमें C-9 पर द्वि-आबंध है जबकि गिनती कार्बोक्सिल कार्बन से की जाती है।



ओलीक अम्ल अणु को भी  $\omega-9$ , C 18: 1 अथवा  $\Delta-9$ , 18:1 द्वारा व्यक्त किया जाता है।



इस मामले में कार्बन संख्या 9,  $\omega$ -कार्बन से गिनी जाती है। दोनों उदाहरणों में 18 के बाद अंक 1, अणु में एक असंतृप्त आबंध को व्यक्त करता है। सारणी 3.1 और 3.2 में क्रमशः बहुधा पाए जाने वाले संतृप्त और असंतृप्त वसा अम्लों के क्रमबद्ध नाम, सामान्य नाम (रूढ़ नाम) संरचना और स्रोतों के नाम दिए गए हैं।

सारणी 3.1: आमतौर पर पाए जाने वाले संतृप्त वसा-अम्ल

सामान्य नाम	क्रमबद्ध नाम	संरचना	स्रोत
ब्यूटिरिक अम्ल	टेट्रानोइक अम्ल	$CH_3(CH_2)_2COOH$	मक्खन वसा
कार्बिक अम्ल	डोडेकानोइक अम्ल	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	ताड़मगुठली और नारियल तेल
मिरिस्टिल अम्ल	टेट्राडेकानोइक अम्ल	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	नारियल, जायफल और ताड़-गुठली तेल
पामिटिक अम्ल	हेक्साडेकानोइक अम्ल	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	जंतुओं और पादपों की
स्टैरिक अम्ल	ऑक्टाडेकानोइक अम्ल	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	वसा
एराकानोइक अम्ल	आइकोकानोइक अम्ल	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	मूंगफली तेल

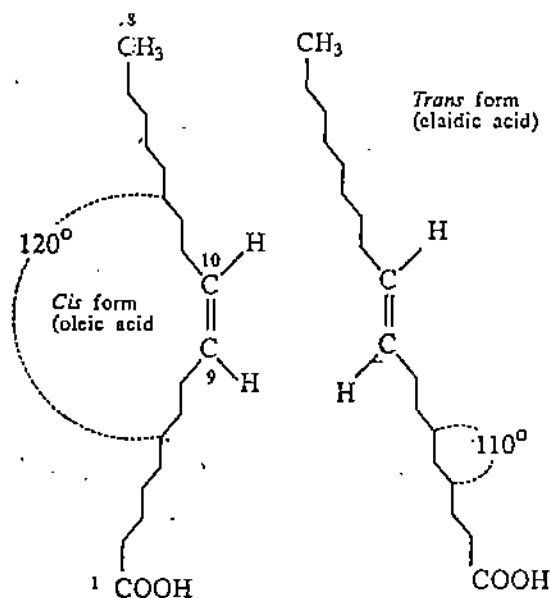
सारणी 3.2: जैव महत्व के असंतृप्त वसा-अम्ल

सामान्य नाम	क्रमबद्ध नाम	संरचना	स्रोत
पामिटोसीक अम्ल	9-हेक्साडेकेनोइक अम्ल	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH} = \text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	सब वसाएं
ओलीक अम्ल	9-ऑक्टाडेकेनोइक अम्ल	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH} = \text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	सब वसाएं
लिनोलीक अम्ल	9, 12-ऑक्टाडेकाडाई नोइक अम्ल	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH} = \text{CHCH}_2\text{CH} = \text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	मक्का, मूंगफली सोयाबीन तेल
लिनोलेनिक अम्ल	9, 12, 15-ऑक्टडेका ट्राइनोइक अम्ल	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH} = \text{CHCH}_2\text{CH} = \text{CHCH}_2\text{CH} = \text{H}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	लिनोलीक अम्ल के साथ
ऐराकिडोनिक	5, 8, 11, 14-आइक्सेस टेट्राइनोइक अम्ल	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH} = \text{CHCH}_2\text{CH} = \text{CHCH}_2\text{CH} = \text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	मूंगफली तेल

अधिकांश वसा अम्लों में 16, 18 अथवा 20 कार्बन परमाणु होते हैं। जिन वसा अम्लों में कार्बन परमाणुओं की संख्या कम (4-8) होती है, वे दुग्ध-वसा में पाए जाते हैं जबकि मध्यवर्ती शृंखला लंबाई वाले वसा-अम्ल (10-14 कार्बन परमाणु वाले वसा अम्ल तथा 16-20 कार्बन परमाणु वाले वसा-अम्ल) अधिकांश जन्तु और वनस्पति वसाओं में पाए जाते हैं।

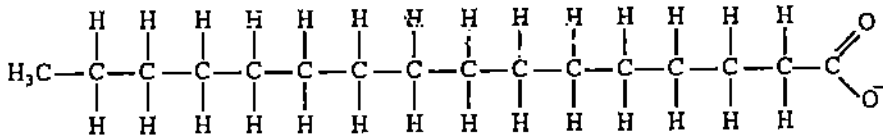
संतृप्त वसा अम्लों में द्वि-आबंध नहीं होते। जिन असंतृप्त वसा अम्लों में एक द्वि-आबंध होता है, वे एक-असंतृप्त वसा अम्ल (monounsaturated fatty acids) कहलाते हैं। जिन असंतृप्त वसा अम्लों में दो अथवा अधिक द्वि-आबंध होते हैं, वे बहु-असंतृप्त वसा अम्ल (polyunsaturated fatty acids (PUFA) कहलाते हैं। कुछ बहु-असंतृप्त वसा अम्ल, जैसे-लिनोलेनिक वसा अम्ल, लिनोलीक वसा अम्ल ऐराकिडोनिक वसा अम्ल का विकसित जन्तुओं (higher animals) अथवा मनुष्यों द्वारा संश्लेषण नहीं हो सकता है। जीवों को इन्हें आहार द्वारा दिया जाता है क्योंकि वे स्वास्थ्य के लिए आवश्यक होते हैं। अतः इन वसा-अम्लों को आवश्यक वसा अम्ल (essential fatty acids (EFA) कहते हैं।

संतृप्त वसा अम्ल की कार्बन शृंखला यदि विस्तृत हो तो वह टेढ़ी-मेढ़ी होती है। असंतृप्त वसा अम्लों में समपक्ष-विपक्ष ज्यामितीय समावयवता (cis-trans geometric isomerism) पाई जाती है जो द्वि-आबन्ध के अक्ष के चारों ओर परमाणुओं और समूहों के अभिविन्यास पर निर्भर करती है। यदि ऐसिल और ऐल्किल समूह द्विआबंध के एक ही पार्श्व में हों तो समपक्ष अभिविन्यास कहलाता है जैसाकि अधिकांश बहु असंतृप्त वसा अम्लों में होता है। यदि ऐसिल और ऐल्किल समूह विपरीत पार्श्वों में हों, तो विपक्ष अभिविन्यास कहलाता है। समपक्ष और विपक्ष अभिविन्यासों को ओलीक और इलेइडिक अम्लों के लिए नीचे दिया गया है:



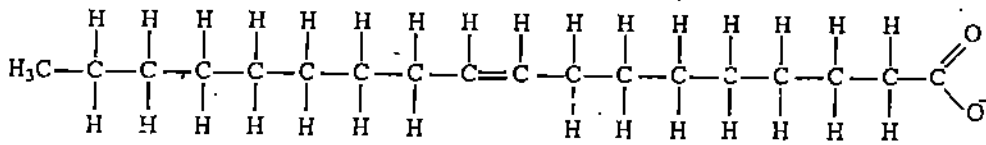
18:1 वसा अम्लों (ओलीक और इलेइडिक अम्ल) में ज्यामितीय समावयवता

उपर्युक्त संरचनाओं से आप देखेंगे कि समपक्ष द्वि-आबंध से अणु में बंक (मोड़) उत्पन्न होता है जो असंतृप्ति में वृद्धि के साथ अधिक स्पष्ट होता है। इसलिए असंतृप्त वसा अम्लों को चित्र में स्थूल समूहों के रूप में दिखाना चाहिए क्योंकि वे हाइड्रोकार्बन शृंखलाओं में बंक के कारण अधिक स्थान घेरते हैं। चित्र 3.1 में पामिटेड संतृप्त वसा अम्ल का स्थान घेरने वाला मॉडल और ओलिएट असंतृप्त वसा अम्ल का मॉडल दिखाया गया है। ओलिएट में बंक का कारण अणु में असंतृप्ति का होना है।



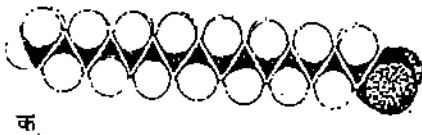
पामिटेड  
(पामिटिक अम्ल का आयनित रूप)

(क)

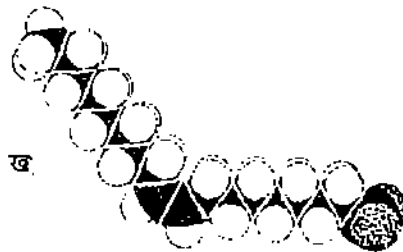


ओलिएट  
(ओलीक अम्ल का आयनित रूप)

(ख)



क



ख

चित्र 3.1: (क) पामिटेड ( $C_{18}$  संतृप्त) और (ख) ओलिएट ( $C_{18}$  असंतृप्त) के स्थान घेरने वाले मॉडल। ओलिएट में समपक्ष द्वि-आबंध, हाइड्रोकार्बन शृंखला में बंक उत्पन्न करता है।

प्रकृति में पाए जाने वाले असंतृप्त वसा अम्ल का सदैव समपक्ष विन्यास होता है और अणु द्वि-आबंध पर  $120^\circ$  पर झुके रहते हैं। वसा अम्ल में द्वि-आबंधों की संख्या में वृद्धि में अणु में अनेक आकाशी विन्यास उत्पन्न होते हैं। उदाहरण के लिए ऐराकिडोनिक अम्ल जिसमें चार द्वि-आबंध होते हैं, लगभग U-आकार का हो जाता है।

सम कार्बन वसा अम्लों में कार्बन शृंखला की लंबाई में वृद्धि के साथ उनके गलनांकों में भी वृद्धि होती है जबकि असंतृप्ति में वृद्धि के साथ गलनांक कम हो जाते हैं। उदाहरण के लिए, ट्राइऐसिलग्लिसरोल में 12 अथवा अधिक कार्बनों के संतृप्त वसा अम्ल होते हैं और वे सामान्य शरीर ताप पर ठोस होते हैं। किन्तु यदि उनमें वसा अम्ल 18:2 हों, अर्थात् 18 कार्बन परमाणुओं की शृंखला में दो द्वि-आबंध हों तो वे के नीचे द्रव होते हैं। प्रकृति में पाए जाने वाले ट्राइऐसिलग्लिसरोलों में वसा अम्लों का मिश्रण होता है, जो उनकी अभिलक्षकीय भूमिका अदा करते हैं। उदाहरण के लिए, झिल्लियों में पाए जाने वाले लिपिड, संचयी लिपिडों की अपेक्षा अधिक असंतृप्त होते हैं।

**बोध प्रश्न 1**

निम्नलिखित कथनों में सही अथवा गलत के सामने (✓/ ( गिज्ञान लगाइए।

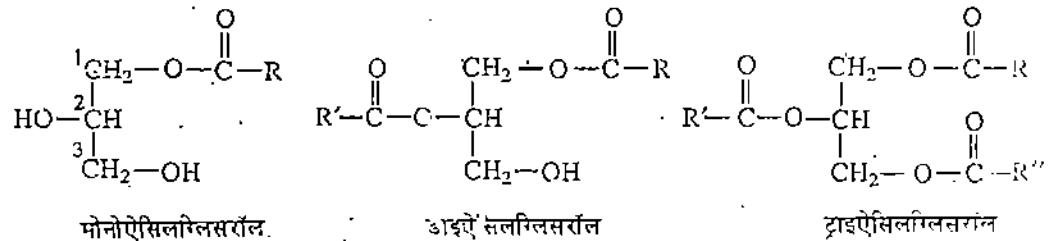
- क) प्रकृति में पाए जाने वाले अधिकांश वसा अम्लों में कार्बन परमाणुओं की विषम संख्या होती है। (सही/गलत)
- ख) ग्लाइकोलिपिडों में फॉस्फेट समूह नहीं होता है और उसके स्थान पर शर्करा समूह होता है। (सही/गलत)
- ग) प्रकृति में पाए जाने वाले असंतृप्त वसा अम्लों के द्वि-आबंधों में समपक्ष विन्यास होता है। (सही/गलत)
- घ) जिस ट्राइऐसिलग्लिसरॉल में तीनों वसा अम्ल 18:2 के रूप में होते हैं, वह सामान्य शरीर ताप पर ठोस होता है। (सही/गलत)

पूववर्ती पंक्तियों में ट्राइऐसिलग्लिसरॉलों का उल्लेख किया गया है। अब इन अणुओं का आगामी अपभाग में वर्णन किया जाएगा।

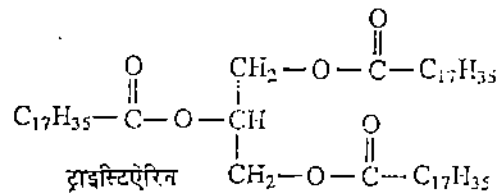
**3.3.2 ऐसिलग्लिसरॉल**

प्रकृति में पाए जाने वाले लिपिडों में ऐसिलग्लिसरॉल (acylglycerol) सबसे प्रचुरता में मिलने वाला वर्ग है। वे ट्राइहाइड्रॉक्सी ऐल्कोहॉल (ग्लिसरॉल) के साथ वसा-अम्लों के एस्टर होते हैं। ग्लिसरॉल के एक, दो अथवा तीनों हाइड्रॉक्सिल समूहों का एस्टरीकरण हो सकता है जिससे क्रमशः मोनो-, डाइ-, और ट्राइऐसिलग्लिसरॉल प्राप्त होते हैं। ट्राइऐसिलग्लिसरॉलों को ट्राइग्लिसराइड भी कहते हैं। वे उदासीन वसाएँ भी कहलाती हैं क्योंकि उनमें कोई आवेश नहीं होता है।

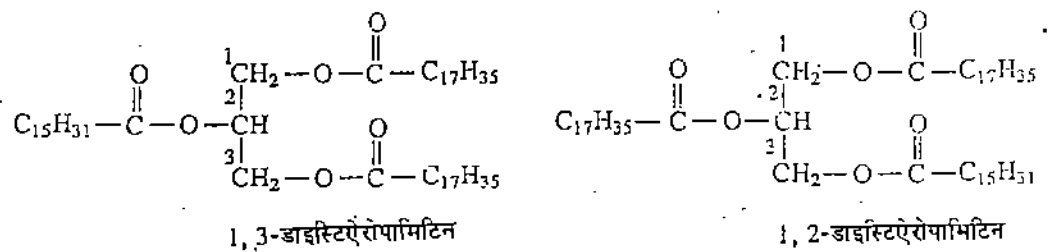
नीचे तीन ऐसिलग्लिसरॉलों की सामान्य संरचनाएँ दी गई हैं जिनमें R, R' और R'' वसा अम्ल अवशेषों को प्रदर्शित करते हैं।



प्रकृति में पाए जाने वाले अधिकांश लिपिड ट्राइऐसिल ग्लिसरॉल होते हैं। मोनो और डाइऐसिलग्लिसरॉल, लिपिडों के उपापचयन में मध्यवर्तियों के रूप में प्राप्त होते हैं। साधारणतया ट्राइऐसिलग्लिसरॉलों में तीन एस्टरों के स्थानों पर भिन्न वसा अम्ल होते हैं, अर्थात् वे मिश्रित ऐसिल-ग्लिसरॉल होते हैं। अब हम कुछ ट्राइऐसिल ग्लिसरॉलों की संरचना और नामपद्धति के उदाहरण देकर स्पष्ट करेंगे।



उपर्युक्त वसा अणु को ट्राइस्टिऐरिन कहते हैं क्योंकि उसमें तीन स्टीरिक अम्ल अवशेष होते हैं, जो ग्लिसरॉल द्वारा एस्टरीकृत हो जाते हैं।

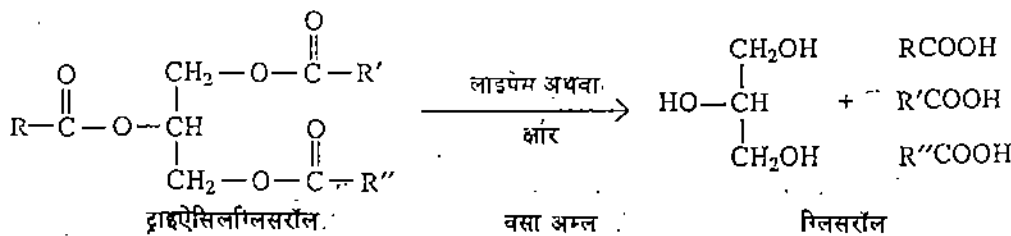


उपर्युक्त दो अणु मिश्रित ऐसिलग्लिसरॉलों के उदाहरण हैं क्योंकि उनमें दो स्टिऍरिक अम्ल और एक पामिटिक अम्ल अवशेष होते हैं, जो ग्लिसरॉल द्वारा एस्टरीकृत रहते हैं।

अब हम ऐसिलग्लिसरॉलों के कुछ गुणधर्मों की संक्षेप में चर्चा करेंगे। जन्तुओं से प्राप्त होने वाले ट्राइऐसिलग्लिसरॉलों में संतृप्त वसा अम्लों की प्रतिशत मात्रा अधिक होती है और सामान्य ताप पर ठोस होते हैं। उन्हें प्रायः वसा (fat) कहा जाता है। वनस्पति स्रोत से प्राप्त होने वाले ट्राइऐसिलग्लिसरॉलों में असंतृप्त वसा अम्लों की मात्रा अधिक होती है और वे प्रायः सामान्य ताप पर द्रव होते हैं। उन्हें प्रायः तेल (oil) कहा जाता है। शुद्ध अवस्था में बसाएँ और तेल रंगहीन, गंधहीन और स्वादहीन होते हैं। वे जल में अविलेय होते हैं किन्तु साबुनों और पित्त लवणों (bile salts) आदि पायसीकारकों (emulsifying agents) की उपस्थिति में पायस (emulsion) बनाते हैं। पायसीकरण की यह प्रक्रिया प्रायः क्षुब्ध (small intestine) में वसाओं और तेलों के पाचन के समय होती है जिसमें पित्त-लवण, पायसीकरण प्रक्रिया में सहायता करते हैं। आइए, अब ऐसिल ग्लिसरॉलों पर जल-अपघटन के प्रभाव की जांच करें।

### ऐसिलग्लिसरॉलों का जल-अपघटन (hydrolysis of Acylglycerols)

जब ट्राइऐसिलग्लिसरॉल का जल-अपघटन किया जाता है तो एस्टर आबंध जल-अपघटित होते हैं जिसके फलस्वरूप वसा अम्लों के तीन अणु और ग्लिसरॉल का एक अणु प्राप्त होता है। इस अभिक्रिया को अम्ल, क्षार और एन्जाइम (लाइपेस) उत्प्रेरित कहते हैं।



जन्तुओं में लाइपेसों का स्रवण, पाचक रसों के साथ होता है और वे उदर में वसाओं के पाचन के लिए उत्तरदायी होते हैं। वसाओं के क्षारीय अपघटन को साबुनीकरण (saponification) भी कहते हैं क्योंकि मुक्त वसा अम्ल अपने लवणों अर्थात् साबुनों के रूप में होंगे। किसी तेल अथवा वसा का विशिष्ट साबुनीकरण मान (saponification number) होता है। यह एक ग्राम वसा अथवा तेल के पूर्ण साबुनीकरण के लिए आवश्यक KOH का मिलीग्राम में भार होता है। वह वसा में वसा अम्ल घटक का माप होता है। उच्च मान बहुधा लघु शृंखला वसा-अम्लों की उपस्थिति बतलाता है।

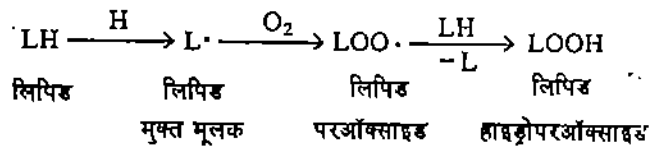
अब वसाओं और तेलों में असंतृप्त के महत्व पर प्रकाश डाला जाएगा।

### तेलों और वसाओं में असंतृप्त (Unsaturation in Oils and Fats)

किसी तेल अथवा वसा में मौजूद असंतृप्त वसा अम्लों का हाइड्रोजन की उपस्थिति में उत्प्रेरकीय अपचयन किया जा सकता है (हाइड्रोजनकरण)। उनका ब्रोमीन अथवा आयोडीन द्वारा हैलोजनीकरण भी किया जा सकता है। इस हैलोजन संकलन [आयोडीन संख्या (iodine number)] का उपयोग तेल अथवा वसा में असंतृप्त के निर्धारण के लिए किया जाता है। किसी वसा की आयोडीन संख्या, आयोडीन का ग्रामों में वह भार होता है, जिसका उपयोग 100 ग्राम वसा अथवा तेल द्वारा उपयोग किया जाता है। आयोडीन मान जितना अधिक होगा, वसा में असंतृप्त की मात्रा उतनी ही अधिक होगी। इस प्रकार अधिक आयोडीन संख्या वाले तेलों को प्राथमिकता दी जाती है क्योंकि उनका पोषण-मान अधिक होता है। नारियल के तेल का आयोडीन मान 8 है जबकि मक्खन वसा का लगभग 36 होता है। इनकी तुलना में जैतून तेल का 81, मूंगफली तेल का 93 और कुसुम (Safflower) तेल का 145 होता है।

असंतृप्त वसाओं का अन्य गुणधर्म उनका आसानी से ऑक्सीकृत होना है। अनेक तेल और वसाएँ हवा में रख दिए जाएँ तो वे विकृतगंधी हो जाते हैं और उनसे बदबू आने लगती है। इसका कारण द्वि-आबंधों का ऑक्सीकरण है जिससे लघु शृंखला वाले ऐलिडहाइड और कीटो अम्ल प्राप्त होते हैं। तेलों और वसाओं की इस उपचायी गंधिता को विटामिन E जैसे प्रतिऑक्सीकारकों को मिलाकर रोका जा सकता है। वसाओं में विकृतगंधिता, एस्टर बंध के

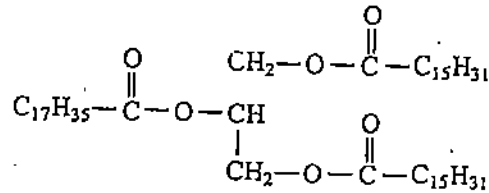
आंशिक जल-अपघटन से भी उत्पन्न हो सकती है जिसके फलस्वरूप मुक्त वसा अम्ल प्राप्त होते हैं। शरीर में उपापचयन के दौरान उत्पन्न मुक्त मूलकों के कारण भी स्वतः ऑक्सीकरण होता है जिसे परऑक्सीकरण कहते हैं। लिपिड परऑक्सीकरण एक शृंखला अभिक्रिया होती है जिसके कारण आगे परऑक्सीकरण हो जाता है।



झिल्लियों में अंतुप्त वसा अम्ल शृंखलाओं का ऑक्सीकरण कोशिका झिल्लियों की संपूर्णता (integrity) के लिए हानिकारक होता है और झिल्ली को हानी भी पहुंचाता है।

**बोध प्रश्न 2**

उस नाम पर (✓) का निशान लगाइए जो नीचे सूत्र में दिए गए ग्लिसरॉल को ठीक व्यक्त करता है:



- क) मोनोस्टिऐरोडाइपामिटिन ( )
- ख) 1, 3 डाइस्टिऐरोपामिटिन ( )
- ग) डाइपामिटोमोनोस्टिऐरिन ( )
- घ) स्टिऐरोडाइपामिटिन ( )

पिछले भाग में आपने ट्राइहाइड्रिक ऐल्कोहॉल के साथ वसा अम्लों के एस्टरीकरण से प्राप्त लिपिडों के बारे में पढ़ा। आइए, अब मोनोहाइड्रिक ऐल्कोहॉलों के साथ एस्टरीकरण का अध्ययन करें और जात करें कि उसके फलस्वरूप किस प्रकार के अणु प्राप्त होते हैं।

**3.3.3 मोम**

जब उच्च अणुभार वाले मोनोहाइड्रिक ऐल्कोहॉलों के साथ वसा अम्ल का एस्टरीकरण होता है तो मोम (waxes) प्राप्त होते हैं। सामान्यतया मोम लंबी शृंखला वाले मोनोहाइड्रिक ऐल्कोहॉलों (जैसे सेटिल ऐल्कोहॉल, CH<sub>15</sub>H<sub>31</sub>CH<sub>2</sub>OH और मिरीसिल-ऐल्कोहॉल, C<sub>13</sub>H<sub>29</sub>CH<sub>2</sub>OH) के साथ लंबी शृंखला वाले वसा अम्लों (जैसे पामिटिक अम्ल, CH<sub>15</sub>H<sub>31</sub>COOH) के एस्टरों का संकुल मिश्रण होता है। वे प्रकृति में बहुतायत में पाए जाते हैं और उनमें से अनेक फलों और पत्तियों के पृष्ठ की रक्षा प्रदान करते हैं। वे जल में अत्यंत अविलेय होने और उनकी हाइड्रोकार्बन शृंखलाओं में द्वि-आबन्ध न होने के कारण वे रासायनिक दृष्टि से अक्रिय होते हैं और पत्तियों की जल-हानि से रक्षा करते हैं।

**बोध प्रश्न 3**

रिक्त स्थानों में उपयुक्त शब्द लिखिए:

- क) पित्त लवण ट्राइऐसिलग्लिसरॉल और अन्य वसाओं का ..... करते हैं।
- ख) पाचक रसों में विद्यमान ..... द्वारा ट्राइऐसिलग्लिसरॉलों का जल-अपघटन होता है।
- ग) वसा की आयोडीन संख्या का उपयोग उसमें विद्यमान ..... की मात्रा के निर्धारण के लिए किया जाता है।
- घ) लिपिड ..... शृंखला अभिक्रिया हो सकती है।

आइए, अब फ़ास्फोलिपिडों का वर्णन करें जो लिपिडों का एक महत्वपूर्ण वर्ग है।

ग) हिस्टोन

3) राइबोसोम

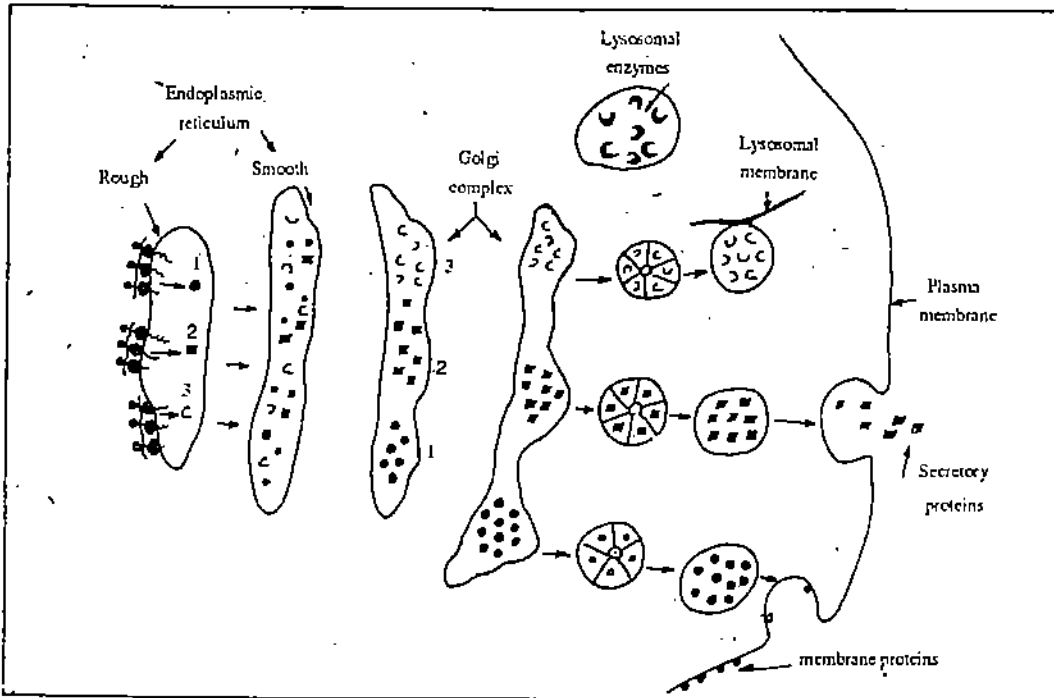
घ) प्रोटीन संश्लेषण

4) तरल मोजक मॉडल

उपभाग 1.5.3 में हमने बताया कि रुक्ष अंतर्द्रव्यी जालिका पर उपस्थित राइबोसोम मुख्यतः प्रोटीन संश्लेषण के लिए उत्तरदायी होते हैं। परंतु कोशिकाओं में इन प्रोटीनों को पहचाना कैसे जाता है, जिनसे इन्हें आवश्यकता वाले स्थान पर भेजा जा सके। यह कार्य गॉल्जी काय करता है। इसलिए आइए, इस महत्वपूर्ण कोशिकांग के बारे में और जानकारी प्राप्त करें।

### 1.5.4 गॉल्जी काय

यूकैरियोटिक कोशिकाओं में साइटोप्लाज़्म के बीच झिल्ली से घिरी पटिकाओं का झंड जटिल रूप से संगठित होता है, इन्हें गॉल्जी काय (Golgi bodies) कहते हैं। इनका नाम इनकी खोज करने वाले इटली के कोशिका विज्ञानी कैमकलियो गॉल्जी के नाम पर आधारित है। कोशिका के बीच गॉल्जी काय पिचकी हुई पटिकाओं के स्तंभ के रूप में दिखाई देते हैं। कोशिका द्वारा संश्लेषित प्रोटीनों को अपने गंतव्य जैसे झिल्लियों, लाइसोसोम तथा अन्य कोशिकांग इत्यादि पर पहुंचना होता है अथवा इन्हें कोशिका से बाहर जाना होता है, जैसाकि हारमोनों के लिए होता है। यह सच में अचम्भे की बात है कि आखिर कोशिका इस कार्य को करती किस प्रकार है। कोशिका में यह कार्य गॉल्जी काय करती है। यह रुक्ष अंतर्द्रव्यी जालिका द्वारा संश्लेषित प्रोटीनों को प्राप्त करके उन पर सांकेतिक चिह्न लगा देती है, जैसे हम पते में पिन कोड लिखते हैं। गॉल्जी काय इस प्रक्रिया में प्रोटीनों पर कुछ कार्बोहाइड्रेट अवशिष्ट समूहों को लगाकर उनमें विशिष्ट व अलग रासायनिक संकेत बना देती है। इस प्रक्रिया को ग्लाइकोसाइलेशन (glycosylation) कहते हैं। इस प्रकार से ग्लाइकोसिडलेटिड प्रोटीन कोशिका के बीच विभिन्न स्थानों पर पहचानी जाती हैं। इस प्रकार गॉल्जी काय नव संश्लेषित प्रोटीनों के रासायनिक रूपांतरण का तथा उन्हें अलग करके उपयुक्त गंतव्य पर पहुंचाने के कार्य में मुख्य भूमिका है। चित्र 1.7 में यह दर्शाया गया है कि गॉल्जी काय किस प्रकार, अंतर्द्रव्यी जालिका द्वारा बनाई गई तीन अलग-अलग प्रोटीनों को प्राप्त करके उन्हें अलग-अलग करती है तथा उन्हें लाइसोसोम एन्जाइम का हिस्सा बनने अथवा कोशिका से बाहर जाने अथवा प्लाज़्मा झिल्ली का हिस्सा बनाने में सहायता करती है।



चित्र 7: प्रोटीन प्रक्रमण में गॉल्जी काय की भूमिका



## बोध प्रश्न 4

निम्नलिखित में से सही कथन को (✓) द्वारा चिन्हित कीजिए।

गॉल्जी काँय कोशिकांग होते हैं:

- क) प्रोटीनों को अलग करने व उनके गतव्य पर पहुँचाने वाले ( )  
 ख) गॉल्जी प्रोटीनों को रखने वाले ( )  
 ग) लिपिड संश्लेषण करने वाले ( )  
 घ) हाइड्रोलिरिक एन्जाइमों को रखने वाले ( )

अब हम कोशिका में प्रोटीनों, न्यूक्लीक अम्लों तथा कार्बोहाइड्रेटों जैसे जैव अणुओं के वरणात्मक एवं नियंत्रित विघटन के लिए उत्तरदायी कोशिकांग का वर्णन करेंगे।

## 1.5.5 लाइसोसोम

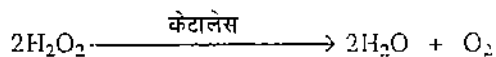
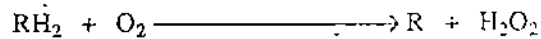
कोशिका के सायटोप्लाज़्म में कई जल अपघटनी एन्जाइम होते हैं जो प्रोटीनों, न्यूक्लीक अम्लों तथा कार्बोहाइड्रेटों के जल अपघटन में सक्षम होते हैं। यह झिल्लियों से बंधी विशिष्ट पटिकाओं, जिन्हें लाइसोसोम (lysosomes) कहते हैं, में पाए जाते हैं। लाइसोसोमों में उपस्थित लगभग चालीस एन्जाइमों की जानकारी प्राप्त है। एसिड फॉस्फेटेस, कैथेप्सिन तथा न्यूक्लियेस इनके कुछ उदाहरण हैं। लाइसोसोम वास्तव में गॉल्जी काय से मूकूलन (budding) द्वारा बनते हैं। सायटोप्लाज़्म में उपस्थित वृहत् अणुओं का वरणात्मक विघटन उनका मुख्य कार्य होता है। इस प्रकार लाइटिक एन्जाइम (lytic enzymes) बैंग रूपी इन विशेष संरचनाओं में रहते हैं, ताकि विभिन्न पदार्थों के अनियंत्रित जल अपघटन को रोका जा सके।

लाइसोसोम श्वेताणुओं (श्वेत रुधिर कणिकाओं) में प्रचुर मात्रा में पाये जाते हैं। श्वेताणु, जीव पर रक्षात्मक करने वाले सूक्ष्मजीवों को अंतर्ग्रहित करते हैं। लाइसोसोमी एन्जाइम बूढ़ी तथा क्षतिपूर्ण कोशिकाओं की सफाई का कार्य भी करते हैं। कई रोगों में अथवा विषाक्त रासायनों के आक्रमण से लाइसोसोमों की झिल्ली क्षतिग्रस्त हो जाती है व इसके परिणामस्वरूप लाइसोसोमी एन्जाइम लीक हो जाते हैं। कई आनुवंशिक विकारों जैसे कि हरलर का रोग ग्लाइकोजन भंडारण संबंधी विकार इत्यादि में म्यूकोपॉलीसैकराइडों व ग्लाइकोजन के विघटन से संबंधित लाइसोसोमी एन्जाइम या तो होते नहीं अथवा कम मात्रा में होते हैं। इससे कोशिका में यह फॉलीसेकराइड एकत्र हो जाते हैं, जिनके दूष्परिणाम होते हैं। कई बार लाइसोसोमी एन्जाइमों की कमी से उत्पन्न विकार अंततः मानसिक विकारों में बदल जाते हैं।

अगले उपभाग में आप अपचयनी अभिक्रियाओं के विषय में सह उत्पादों को निकालने के लिए उत्तरदायी कोशिकांग का अध्ययन करेंगे।

## 1.5.6 परऑक्सीसोम तथा ग्लाइऑक्सीसोम

ऐमीनों अम्लों तथा लिपिडों के अपचयन जैसी कई उपापचयी अभिक्रियाओं में हाइड्रोजन परॉक्साइड उत्पन्न होता है। चूंकि हाइड्रोजन परॉक्साइड कोशिका के लिए अत्यंत विषैला होता है, इसलिए ऐसी ऑक्सीकरण अभिक्रियाएँ कोशिका में उपस्थित एक छोटे से कोशिकांग, परॉक्सीसोम (peroxisomes) में होती हैं, जो झिल्ली द्वारा घिरा होता है। वनस्पतियों में इसके संगत कोशिकांगों को ग्लाइऑक्सीसोम (glyoxisomes) कहते हैं।



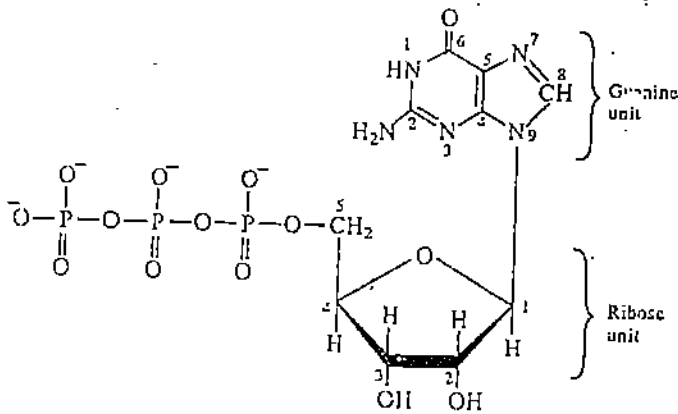
परॉक्सीसोम मूकूलन की प्रक्रिया से चिकनी अंतर्द्रव्यी जालिका से बनते हैं। गर्द व यकृत की कोशिकाओं में पाए जाने वाले परॉक्सीसोम, जीव द्वारा अंतर्ग्रहित विषैले रासायनों के अपचयन में महत्वपूर्ण होते हैं। इस प्रकार कोशिका में होने वाली वे सभी अभिक्रियाएँ, जिनमें हाइड्रोजन परॉक्साइड उत्पाद के रूप में बनता है, परॉक्सीसोमों में ही होती हैं ताकि इन्हीं कोशिकांगों में उसका (हाइड्रोजन परऑक्साइड) विघटन हो सके।

पिछले कुछ भागों में हमने यूकैरियोटिक कोशिका के कुछ कोशिकांगों का वर्णन किया तथा

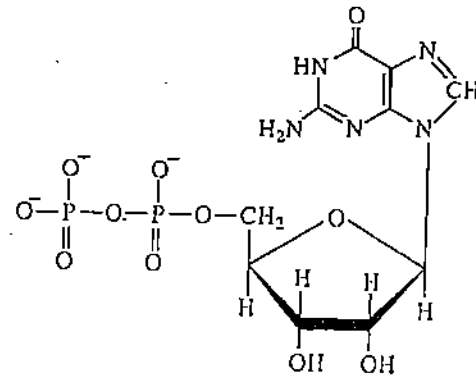
उनके द्वारा किए जाने वाले विशिष्ट कार्यों की जानकारी भी दी। अब हम कोशिका द्वारा अपने आकार व विभिन्न कोशिकांगों के स्थान को बनाए रखने की प्रक्रिया की व्याख्या करेंगे।

### 1.5.7 साइटोपंजर

सभी यूकैरियोटिक कोशिकाओं का अपना एक आकार होता है तथा वह अपना आकार बदलने में भी सक्षम होती हैं। कोशिका के कोशिकांग भी, सधे हुए तरीके से एक स्थान से दूसरे स्थान पर अभिगमन करने में सक्षम होते हैं। इस प्रकार कोशिका के पास ऐसी कोई प्रक्रिया होनी चाहिए जिससे कि वह अपनी आंतरिक संरचना (कोशिकांगों) के स्थान को बनाए रखे व उनके अभिगमन को भी नियंत्रित कर सके। कोशिका यह कार्य अपने एक निकाय, साइटोपंजर (cytoskeleton) की सहायता से संपन्न करती है। वास्तव में, साइटोपंजर को कोशिका की "हड्डी व पेशी" कहा जाता है। यह दो मुख्य प्रकार के प्रोटीनीय तंतुओं के नेटवर्क का बना होता है। इन तंतुओं को सूक्ष्म तंतु (microfilaments) व सूक्ष्म नलिकाएं (micro tubules) कहते हैं। साइटोपंजर कोशिका को केवल एक दृढ़ ढांचा ही नहीं प्रदान करता अपितु कोशिका के बीच में उपस्थित विभिन्न कोशिकांगों के जुड़ने का स्थान भी उपलब्ध कराना है। सूक्ष्म तंतु एक्टिन तथा मायोसिन नामक प्रोटीनों के बने होते हैं। यह वही संकुचनशील प्रोटीन हैं, जो कंकाल पेशी कोशिकाओं में पाई जाती हैं। चूंकि सूक्ष्म तंतु संकुचनशील प्रोटीनों के बने होते हैं, इसलिए इन तंतुओं से संबंधित विभिन्न कोशिकांग व संरचनाएं, संकुचनशील प्रोटीनों में परिवर्तन द्वारा अंतः कोशिकीय गति दर्शाते हैं। इन प्रोटीनों में परिवर्तन कैल्सियम आयनों तथा दो उच्च ऊर्जा वाले यौगिकों GTP व GDP द्वारा प्रेरित होते हैं।



ग्वानोसीन ट्राइफॉस्फेट (GTP)



ग्वानोसीन डाइफॉस्फेट (GDP)

सूक्ष्मनलिकाएं, एल्फा ( $\alpha$ ) व बीटा ( $\beta$ ) ट्यूब्यूलिन नामक दो प्रोटीनों के विशिष्ट विन्यास से उत्पन्न खांखली रूपी संरचनाएं होती हैं। सूक्ष्मनलिकाएं कोशिका विभाजन में विशेष भूमिका निभाती हैं। सूक्ष्मनलिकीय रेशों से बने, समसूत्री तर्क (mitotic spindle) से जुड़े क्रोमोसोम सूक्ष्मनलिकीय प्रोटीनों के संकुचन द्वारा एक-दूसरे से दूर जाते हैं। यूकैरियोटिक कोशिकाओं की तेशीलता, कशाभ (flagella) व पक्ष्मभ (cilia) की गति, आंत्र के सूक्ष्मांकुर (microvillia) की गति इत्यादि, सभी सूक्ष्मनलिकाओं से संबंधित हैं। रक्त में श्वेताणुओं की गति व तंत्रिकाक्षी (axonal) तंतुओं के साथ-साथ अणुओं का अभिगमन भी सूक्ष्मनलिकाओं को बनाने वाली प्रोटीनों के संकुचन द्वारा ही होता है। इस प्रकार साइटोपंजर कोशिका का एक महत्वपूर्ण संरचनात्मक अंग है, जो कोशिका व उसके कोशिकांगों के संबंधित विभिन्न प्रकार की गतियों के लिए अनिवार्य होता है। साइटोपंजर को बनाने वाली प्रोटीनें बहुलीकरण व विचुलीकरण की प्रक्रिया द्वारा अपने आकार में परिवर्तन करती है, जिससे अंततः विभिन्न प्रकार की गतियां प्राप्त होती हैं।

कोशिका के बारे में अपनी समझ को परखने के लिए निम्नलिखित बोध प्रश्न को हल कीजिए:

#### बोध प्रश्न 5

निम्नलिखित में रिक्त स्थान भरिए:

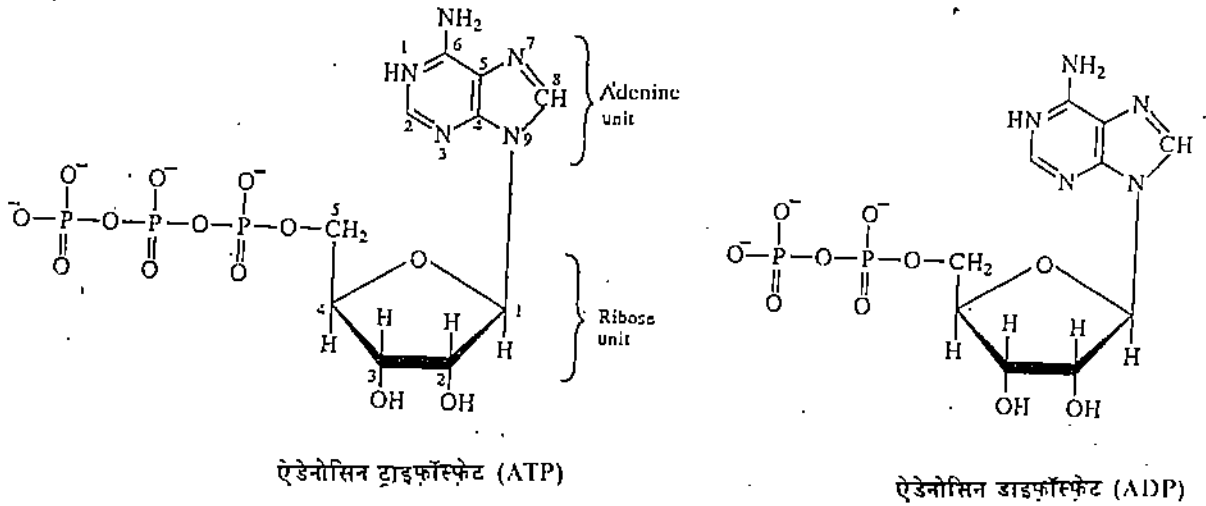
क) लइसोसोम वे कोशिकांग होते हैं, जिनमें ..... एन्ज़ाम होते हैं।

- ख) हाइड्रोजन परॉक्साइड का अपघटन ..... नामक एन्जाइम द्वारा होता है।  
 ग) सूक्ष्मतंतुओं में ..... व ..... प्रोटीनें पाई जाती हैं।  
 घ) समसूत्री तर्क  $\alpha$  व  $\beta$  ट्यूब्यूलिन नामक ..... का बना होता है।

अगले उपभाग में हम उस कोशिकांग, जिसे कोशिका का "बिजली घर" कहते हैं तथा उन यौगिकों का, जिनमें ऊर्जा का संभरण होता है, का वर्णन करेंगे।

### 1.5.8 माइटोकॉन्ड्रिया

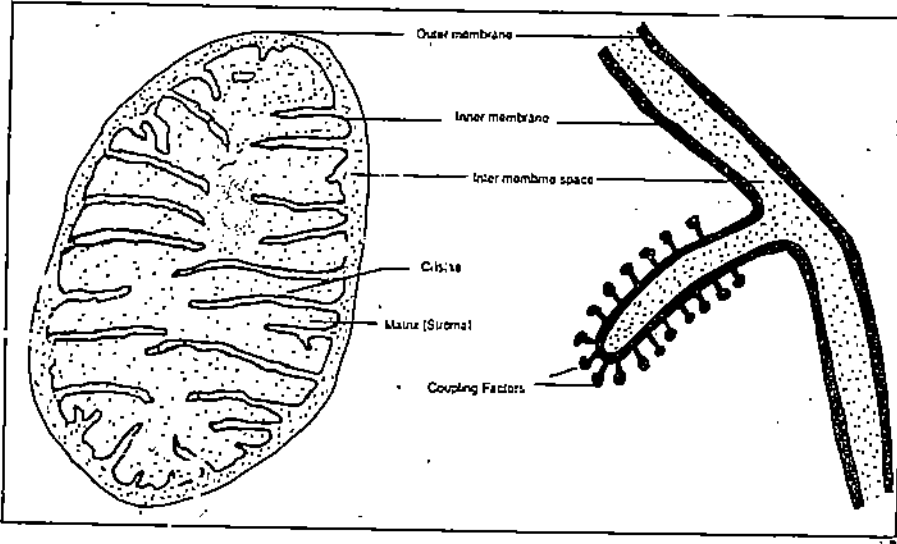
कार्बोहाइड्रेट व वसा जैसे ऑक्सीकृत हो सकने योग्य विभिन्न पोषक तत्वों से ऊर्जा उत्पन्न करना कोशिका का एक महत्वपूर्ण कार्य होता है। कोशिका, उपापचय के दौरान इन पोषक तत्वों का अपचयन करके वह कार्य करती है। इन अपचयनों से प्राप्त होने वाली ऊर्जा को "उच्च ऊर्जा यौगिकों" (high energy compounds) के रूप में परिवर्तित करके भंडारित कर लिया जाता है। ATP व GTP ऐसे यौगिकों के उदाहरण हैं। इन्हें कोशिका की ऊर्जा मुद्रा कहते हैं।



माइटोकॉन्ड्रिया mitochondria यूकैरियोटिक कोशिकाओं के अति विशिष्ट कोशिकांग होते हैं। यह ऊर्जा पारक्रमण (energy transducing) प्रक्रिया को करते हैं तथा इन्हें अक्सर कोशिका के "बिजली घर" के रूप में जाना जाता है। माइटोकॉन्ड्रिया कोशिका का सबसे बड़ा कोशिकांग होता है, जिसका व्यास लगभग 0.5 से 1  $\mu\text{m}$  तक होता है। विभिन्न कोशिकाओं में इनकी संख्या अलग-अलग होती है। उदाहरण के लिए चूहे के यकृत की कोशिका में लगभग 800 माइटोकॉन्ड्रिया होते हैं, जो कोशिका के कुल आयतन का लगभग 5 प्रतिशत घेरते हैं। माइटोकॉन्ड्रिया विभिन्न आकारों के होते हैं। उदाहरण के लिए, यकृत की कोशिकाओं में यह गोलाकार व गुर्दे की कोशिकाओं में यह वेलनाकार होते हैं, जबकि फाइब्रोब्लास्ट कोशिकाओं में यह धागेनुमा होते हैं व खमीर जैसी कुछ कोशिकाओं में यह अत्यधिक श्रृंखलित होते हैं। कोशिका के बीच माइटोकॉन्ड्रिया अधिकतर वहां पर होते हैं, जहाँ ATP की अधिक मांग होती है।

कोशिकाएं वे गजिक जीवित इकाइयां होती हैं, जो अपने परिवेश से केवल ऊर्जा के व्यय द्वारा ही संतुलन बनाए रखती हैं। ऊर्जा के स्रोत में रुकावट आने से कोशिका मृत हो जाती है।

इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी की सहायता से माइटोकॉन्ड्रिया की संरचना का विस्तृत अध्ययन किया गया है तथा अब माइटोकॉन्ड्रिया के संगठन का विस्तृत वर्णन करना संभव है। चित्र 1.18 में माइटोकॉन्ड्रिया व उसकी झिल्ली की संरचना का चित्रात्मक निरूपण किया गया है। माइटोकॉन्ड्रिया में विशिष्ट द्विझिल्ली निकाय होता है, जिसमें बाह्य झिल्ली एक अंतः झिल्ली को घेरे होती है। दो झिल्लियों के बीच एक अंतरझिल्ली स्थान होता है, जो दोनों झिल्लियों को अलग करता है। अंतः झिल्ली में से कई अंतर्वलन (invaginations) होती हैं, जो माइटोकॉन्ड्रिया के आधारी स्थान से प्रक्षेपित होती हैं। इन अंतर्वलनों को क्रिस्टे (cristae) कहते हैं तथा यह अंतः झिल्ली का कुल पृष्ठ क्षेत्रफल बढ़ाने में सहायता करते हैं। इन क्रिस्टों के अंतः पृष्ठ पर दरवाजे की घुंडीनुमा संरचनाएं होती हैं, जिन्हें युग्मन कारक (coupling factor) कहते हैं। यह युग्मन कारक ATP के संश्लेषण के लिए उत्तरदायी होते हैं।



चित्र 1.8: माइटोकॉन्ड्रिया व उसकी झिल्ली के एक भाग का चित्र

माइटोकॉन्ड्रिया की दो झिल्लियों का वियोजन बिल्कुल अलग होता है। बाह्य झिल्ली, लिपिडों में समृद्ध होती है तथा इसमें लगभग 50 प्रतिशत लिपिड होते हैं। दूसरी ओर अंतः झिल्ली में प्रोटीनों की मात्रा (80 प्रतिशत) अधिक होती है तथा इसमें केवल 20 प्रतिशत के करीब लिपिड होते हैं। माइटोकॉन्ड्रिया की बाह्य झिल्ली, ATP, ADP, NAD तथा अन्य उपापचयनों जैसे छोटे आणुओं के लिए पारगम्य (permeable) होती है। यद्यपि, माइटोकॉन्ड्रिया की अंतः झिल्ली अधिकतर उपापचयनों के लिए अपारगम्य होती है तथा माइटोकॉन्ड्रिया के आर-पार इन उपापचयनों का परिगमन विशिष्ट प्रोटीनीय वहन निकायों द्वारा होता है, इन्हें परिगमन निकाय कहते हैं।

माइटोकॉन्ड्रिया की अंतः झिल्ली से लगभग 60 अलग-अलग प्रोटीनें संबंधित हैं। बाह्य झिल्ली कुछ एन्जाइमों से संबंधित होती है। माइटोकॉन्ड्रिया के आधात्री में TCA चक्र व वसा अम्लों के अपचयन से संबंधित सभी एन्जाइम उपलब्ध होते हैं। इसमें DNA, RNA तथा राइबोसोम भी होते हैं। कोशिका में माइटोकॉन्ड्रिया अपने को स्वयं प्रतिकृत (replicate) करते हैं तथा अपनी ही कुछ प्रोटीनों को बनाने में भी सक्षम होते हैं।

युग्मन कारक जिन्हें  $F_1$  AT Pase भी कहते हैं, माइटोकॉन्ड्रिया की अंतः झिल्ली पर स्थित होते हैं व आधात्री की ओर मुखित होते हैं। इनमें प्रोटीनों की एक बड़ी संख्या जटिल रूप से सम्मिलित होती है। इलेक्ट्रॉन वहन के दौरान उत्पन्न होने वाले ऊर्जा प्रवणता के उपयोग द्वारा यह कारक ADP का फॉस्फेट फॉस्फोरिलीकरण करके ATP बनाता है। माइटोकॉन्ड्रिया के कार्यात्मक पहलू का और वर्णन हम इस पाठ्यक्रम के खंड 3 में करेंगे।

### बोध प्रश्न 6

नीचे दिए गए समूह 'अ' का समूह 'ब' से जोड़ा बनाइये

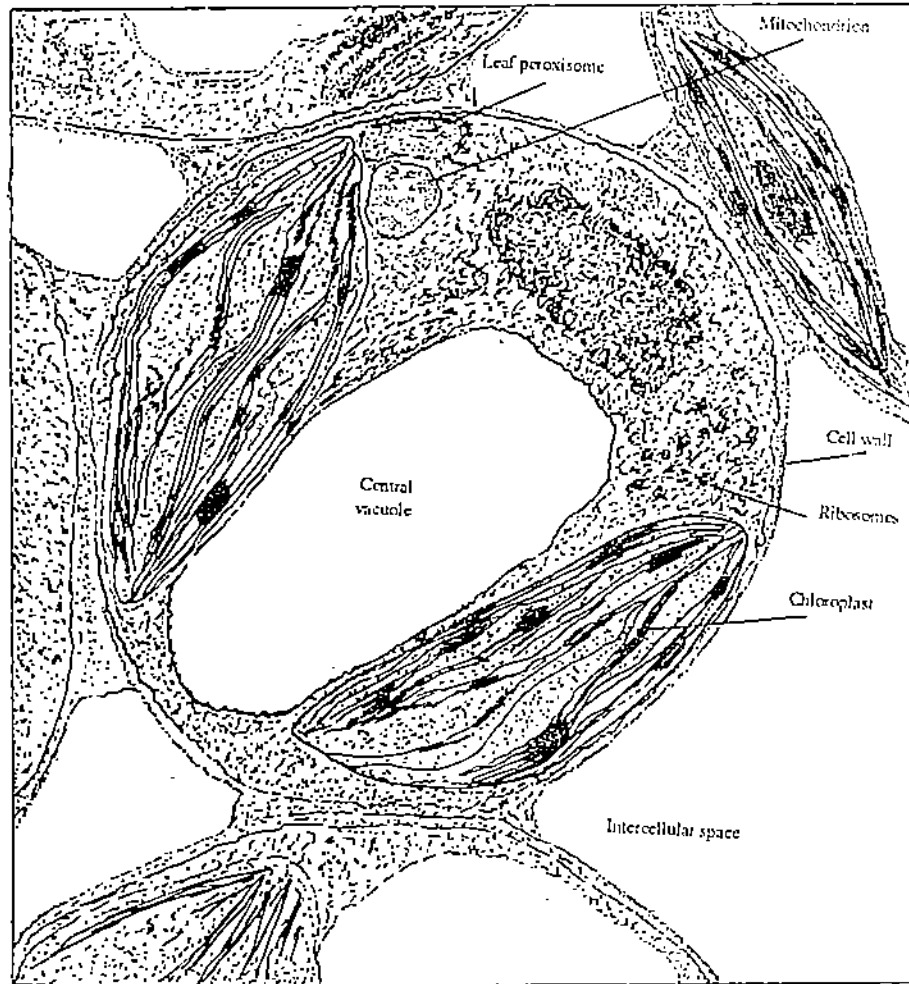
- | अ                  | ब                         |
|--------------------|---------------------------|
| क) युग्मन कारक     | i) उच्च प्रोटीन           |
| ख) अंतः झिल्ली     | ii) उच्च लिपिड            |
| ग) बाह्य झिल्ली    | iii) कोशिका के "बिजली घर" |
| घ) माइटोकॉन्ड्रिया | iv) ATP संश्लेषण          |

उपभाग 1.5.9 व 1.5.10 में हम उन दो कोशिकांगों का वर्णन करेंगे जो केवल यूकैरियोट वनस्पति कोशिका में ही उपस्थित होते हैं। आइए इनकी भूमिका की व्याख्या करें।

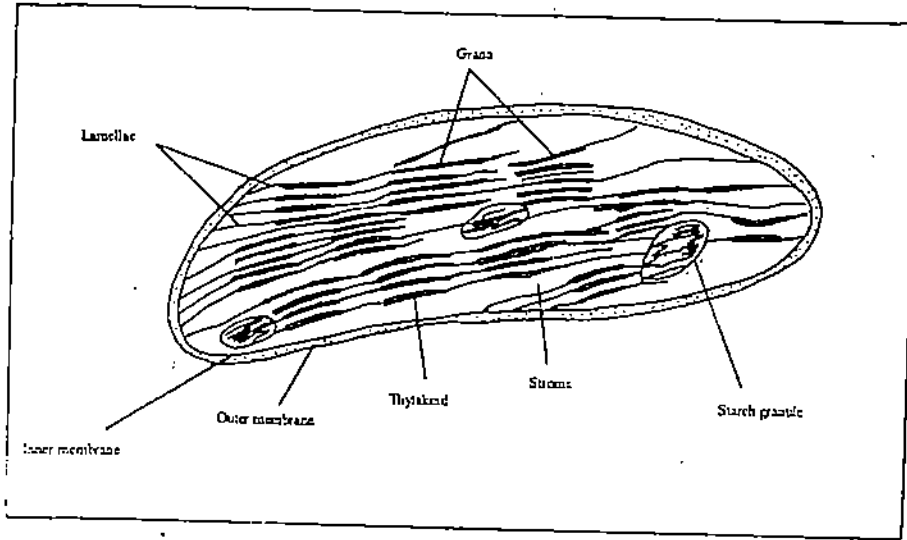
### 1.5.9 क्लोरोप्लास्ट

सभी यूकैरियोट वनस्पति कोशिकाओं का एक विशिष्ट लक्षण यह है कि इनमें

माइटोकॉन्ड्रिया के साथ-साथ प्रकाश का सस्य (harvest) करने वाले विशिष्ट कोशिकांग भी होते हैं, जिन्हें क्लोरोप्लास्ट (chloroplast) कहते हैं। यह वनस्पति की कोशिका के सबसे बड़े कोशिकांग होते हैं तथा यह लगभग  $10\mu\text{m}$  लंबे व  $2-3\mu\text{m}$  मोटे होते हैं (चित्र 1.9 व 1.10) क्लोरोप्लास्ट के शष्क भार का लगभग 50 प्रतिशत भाग प्रोटीन होता है और बाकी अधिकतर लिपिड होते हैं। क्लोरोप्लास्ट के लिपिड भाग में क्लोरोफिल, कैरोटिनाइड व फॉस्फोलिपिड होते हैं। माइटोकॉन्ड्रिया की तरह क्लोरोप्लास्ट में भी द्विपरतीय झिल्ली होती है। अंतः झिल्ली वलित होकर घने यह पटलियाएँ नियमित अंतर पर चपटी होकर थाइलेकोआइड नामक संरचनाएँ बनाती हैं। जो स्तम्भ के रूप में एक-दूसरे के ऊपर इकट्ठी होकर ग्रैना (grana) बनाती हैं। थाइलेकोआइडों के बीच के आधात्री को पाठिका (stroma) कहते हैं तथा इसमें  $\text{CO}_2$  के प्रकाशसंश्लेषी स्थिरीकरण से संबंधित सभी प्रोटीनें व अन्य कारक उपस्थित होते हैं।



चित्र 1.9 आंतरिक रसधानी (vacuole) व क्लोरोप्लास्ट वशात्ता पत्ती की कोशिका का इलेक्ट्रॉन माइक्रोग्राफ



चित्र 1.10 क्लोरोप्लास्ट का व्यवस्थात्मक चित्र

पीठिका में DNA भी होता है तथा क्लोरोप्लास्ट का कुछ DNA कोशिकांग में ही संश्लेषित होता है। थाइलेकोआइड झिल्ली में, NADPH तथा ATP उत्पन्न करने वाले प्रकाशसंश्लेषी इलेक्ट्रॉन अभिगमन से संबंधित सभी कारक, उपस्थित होते हैं। इनका उपयोग  $\text{CO}_2$  के उपचयन द्वारा शर्कराएँ व स्टार्च बनाने में होता है। थाइलेकोआइड प्रकाश सस्य करने वाले प्रकाश निकायों वाले क्लोरोफिल, प्लास्टोक्वूनोन, प्लास्टोसायेनिन, फेरीडॉक्सिन तथा सायटोक्रोम  $b_6$  इत्यादि थाइलेकोआइड झिल्ली की कुछ प्रमुख इलेक्ट्रॉन वहन प्रोटीनें हैं। थाइलेकोआइड झिल्ली के क्लोरोफिल वर्णक दो अलग-अलग प्रकाश निकायों में संगठित होते हैं। इन्हें प्रकाश निकाय I व प्रकाश निकाय II कहते हैं। यह दो प्रकाश सस्य करने वाले निकाय दृश्य प्रकाश स्पेक्ट्रम के दो अलग-अलग हिस्सों के प्रति क्रिया करते हैं। प्रकाश निकाय I सुदूर लाल प्रकाश के प्रति संवेदनशील है, जबकि प्रकाश निकाय II सुदूर व निकट लाल प्रकाश दोनों के प्रति संवेदनशील होता है। दोनों निकाय समन्वित तरह से कार्य करके ATP तथा NADPH उत्पन्न करते हैं। समुद्रीय बैक्टीरियों तथा शैवालों में क्लोरोफिल अलग कोशिकांगों में नहीं होते अपितु वह कोशिका झिल्ली के साथ ही जुड़े होते हैं। पादप क्लोरोप्लास्टों में स्टार्च के दोनों की बड़ी संख्या भी होती है। क्लोरोप्लास्ट झिल्लियां कई मानों में क्रियात्मक रूप से माइटोकॉन्ड्रिया के समान ही होती हैं। मूलतः दोनों ही ऊर्जा पारक्रमण करने वाली झिल्लियां होती हैं।

### बोध प्रश्न -

निम्नलिखित कथन सत्य हैं, अथवा असत्य? (✓) द्वारा चिन्हित कीजिए।

- प्रकाश निकाय माइटोकॉन्ड्रिया की अंतः झिल्ली पर स्थित होते हैं। (सत्य/असत्य)
- क्लोरोफिल प्रकाश निकाय I व II के भाग होते हैं। (सत्य/असत्य)
- थाइलेकोआइड में इलेक्ट्रॉन अभिगमन के लिए प्रकाश ऊर्जा की आवश्यकता होती है। (सत्य/असत्य)
- क्लोरोप्लास्ट व माइटोकॉन्ड्रिया की झिल्लियां क्रियात्मक रूप से एक समान होती हैं। (सत्य/असत्य)

### 1.5.10 धानी

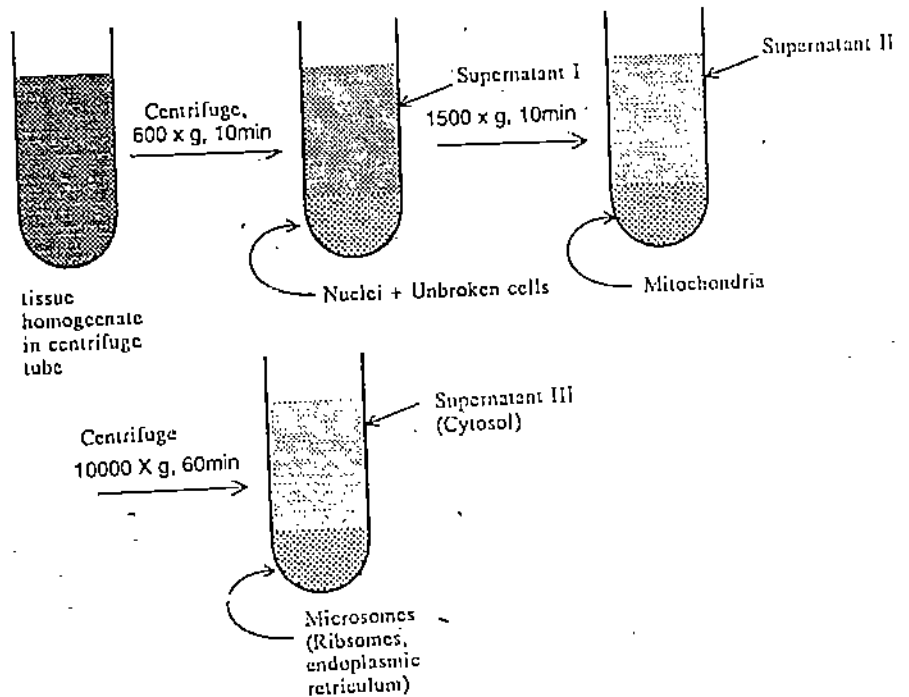
एक या एक से अधिक बड़ी पुटिकाओं (vesicles) की उपस्थिति अधिकतर पादप कोशिकाओं का एक स्पष्ट लक्षण होता है। इन्हें धानी (vacuole) कहते हैं तथा यह बाकी साइटोप्लाज़्म से एक पतली झिल्ली द्वारा अलग होती है। इस झिल्ली को टोनोप्लास्ट (tonoplast) कहते हैं। युवा कोशिकाओं में धानी छोटी होती है, परंतु जैसे-जैसे कोशिका की आयु बढ़ती है, इनका आकार बढ़ता है तथा इनका आकार कोशिका के आयतन के

लगभग 50 प्रतिशत तक हो सकता है। धानी कोशिका रस से भरी होती है। इसका उपयोग पोषक तत्वों, उपापचयनों तथा अपशिष्ट उत्पादों के भंडारण व अभिगमन में होता है। कई वनस्पतियों में धानियां रबर, ऐल्केलाइड कार्बनिक अम्लों तथा अन्य उपापचयनों के भंडारण का विशिष्ट कार्य भी करती हैं।

प्राणि कोशिकाओं तथा कई प्रकार के एकल-कोशिकीय यूकैरियोट जीवों में तारक केन्द्र (centrioles) होते हैं। इनकी संरचना बेलनाकार होती है। इनका व्यास लगभग  $0.15 \mu\text{m}$  होता है व यह  $0.3$  से  $0.5 \mu\text{m}$  लंबे होते हैं। यह मुख्यतः सूक्ष्म नलिकाओं के बने होते हैं तथा युग्मों में पाए जाते हैं। ऐसा माना जाता है कि यह कोशिका विभाजन (समसूत्री) में भूमिका अदा करते हैं। यद्यपि उनका महत्व अभी तक स्पष्ट नहीं है।

## 1.6 उपकोशिकीय कोशिकांगों के प्रभाजन की विधि

किसी कोशिका के विभिन्न उपकोशिकीय कोशिकांगों के संयोजन व उनकी उपापचयन भूमिका के अध्ययन के लिए यह आवश्यक है कि इनमें से प्रत्येक कोशिकांग को कोशिका से पृथक किया जाए। वास्तव में कोशिका से विभिन्न कोशिकांगों का पृथक्करण उपापचयन अध्ययनों का पहला चरण होता है। विभिन्न कोशिकांगों के घनत्व का अंतर उनको एक-दूसरे से अलग करने में सहायक होता है। इस प्रकार विभेदक अपकेन्द्रण (differential centrifugation) की प्रक्रिया द्वारा कोशिका के विभिन्न कोशिकांगों को एक-दूसरे से अलग किया जा सकता है। यकृत की कोशिकाओं के लिए उपयोग में लाई जाने वाली प्रक्रिया को चित्र 1.11 में दर्शाया गया है। इस विधि में किसी एक प्रकार के ऊतक, उदाहरण के लिए, चूहे के यकृत के ऊतकों को उपयुक्त माध्यम जैसे  $277 \text{ K}$  पर समपरासारी सर्करा ( $0.25 \text{ M}$ ) में समांगक (homogeniser) द्वारा समांगीकृत किया जाता है। इस समांगीकृत ऊतक को अलग-अलग गतियों पर ज्ञात समयों के लिए उपकेन्द्रित किया जाता है। इससे समांगीकृत ऊतक पर बढ़ता हुआ गुरुत्वाकर्षण बल लगता है, जिससे कोशिकांग आकार व भार के आधार पर अलग हो जाते हैं। इस प्रकार सबसे पहले ( $600 \times g$  पर) केन्द्रक अलग हो जाता है, क्योंकि यह सबसे भारी कोशिकांग होता है। उससे कम घनत्व वाले माइटोकॉन्ड्रिया  $15,000 \times g$  पर अलग होते हैं। राइबोसोमों तथा अंतर्द्रव्यी जालिका वाले माइक्रोसोमी अंश  $100,000 \times g$  के संगत गति पर अलग होते हैं। इस प्रकार प्राप्त होने वाले उपकोशिकीय अंश उपापचयजी रूप में सक्रिय होते हैं। उदाहरण के लिए, इस प्रकार पृथक्कृत माइटोकॉन्ड्रिया द्वारा ऑक्सिकारक फॉस्फोरिलेशन को आसानी से प्रदर्शित किया जा सकता है।



चित्र 1.11: विभेदक उपकेन्द्रण की प्रक्रिया द्वारा यकृत की कोशिकाओं में कोशिकांगों का पृथक्करण

कोष्ठक में दिए गए शब्दों व अंकों में से उपयुक्त शब्द अथवा अंक लेकर निम्नलिखित को पूरा कीजिए :

- (क) माइटोकॉन्ड्रिया ..... × g पर निक्षेपित होते हैं।  
(5,000, 15,000, 100,000)
- (ख) प्रकाश निकाय I ..... प्रकाश के प्रति संवेदनशील होता है।  
(सुदूर लाल, निकट लाल, uv)
- (ग) गॉल्जी काय प्रोटीनों को ..... द्वारा परिवर्तित करते हैं।  
(जल अपघटन, ग्लाइकोसेलेशन, संलगन)
- (घ) पेन्टापेप्टाइड क्रॉस बंध ..... में पाए जाते हैं।  
(प्रोटीनों, DNA, बैक्टीरिया कोशिका भित्ति)

## 1.7 सारांश

- लिपिड, प्रोटीन, न्यूक्लीक अम्ल तथा कार्बोहाइड्रेट सभी जीवों में पाए जाने वाले कार्बन यौगिकों के चार प्रमुख वर्ग बनाते हैं तथा कोशिका जीवों की मूलभूत संरचनात्मक इकाई होती है।
- जीवों को उनकी कोशिकाओं के आधार पर प्रोकैरियोट या असीमकेन्द्रकी अथवा यूकैरियोट या ससीमकेन्द्रकी, वर्गों में बांटा जाता है। प्रोकैरियोटिक कोशिका का संरचनात्मक संगठन अत्यंत सरल होता है जबकि यूकैरियोटिक कोशिका की संरचना जटिल होती है व उसमें कई अंतः कोशिकीय कोशिकांग होते हैं।
- यूकैरियोटिक कोशिकाओं में DNA स्पष्ट केन्द्रक के बीच उपस्थित कई क्रोमोसोमों में संगठित होता है। जबकि प्रोकैरियोटिक कोशिकाओं के साइटोप्लाज़्म में वृत्तीय DNA का एक अणु होता है।
- कोशिका की संरचना इस प्रकार होती है, जिससे विभिन्न कोशिकीय कार्यों के अलग-अलग संरचनात्मक तत्वों में सुगमता से बांटा जा सके। कोशिका भित्ति, कोशिका की उसके परिवेश से सुरक्षा करती है तथा अपने बीच से विभिन्न अणुओं के वर्णात्मक आवागमन का कार्य करती है। पादपों व कुछ बैक्टीरिया की कोशिकाओं में कोशिका भित्ति के साथ-साथ कोशिका झिल्ली भी होती है।
- कोशिका में उपस्थित विभिन्न कोशिकांगों की अपनी पहचान होती है तथा वह स्पष्ट रूप से अलग कार्य करते हैं। अंतर्द्रव्यी जालिका से संबंधित राइबोसोम कोशिका में प्रोटीन संश्लेषण के प्रमुख स्थान होते हैं। गॉल्जी काय नव संश्लेषित प्रोटीनों को अलग करके उनके गतव्य तक भेजने से संबंधित होते हैं।
- कोशिकाओं की कुछ एन्जाइमी अभिक्रियाएं लाइसोसोमों तथा परॉक्सीसोमों जैसी विशिष्ट संरचनाओं में होती हैं।
- कोशिका साइटोपंजर के संरचनात्मक हिस्से, सूक्ष्म तंतु व सूक्ष्म नलिकाएं कोशिका को दृढ़ ढांचा प्रदान करती हैं तथा कोशिका में विभिन्न कोशिकांगों व पोषक तत्वों की गति के लिए उत्तरदायी होती हैं।
- माइटोकॉन्ड्रिया तथा क्लोरोप्लास्ट यूकैरियोटिक कोशिकाओं के महत्वपूर्ण ऊर्जा पारक्रमी कोशिकांग होते हैं। यह क्रमशः क्रियाधारों के अपचयन व प्रकाश ऊर्जा ग्रहण द्वारा ATP उत्पन्न करते हैं।
- प्राणि कोशिकाओं में क्लोरोप्लास्ट व धानियाँ नहीं होती हैं।
- कोशिका के विभिन्न कोशिकांगों को पृथक्करण अपकेन्द्रण द्वारा किया जा सकता है।



## 1.8 अंत में कुछ प्रश्न

1. कोशिकांग को परिभाषित कीजिए।
2. यूकैरियोटिक कोशिका में कोशिका झिल्ली क्या कार्य करती हैं?
3. यदि कोशिकाओं में परॉक्सीसोम न होते तो क्या होता?
4. लाइसोसोम क्या होते हैं व इनका कार्य क्या होता है?
5. प्रोकैरियोटिक तथा यूकैरियोटिक कोशिकाओं में DNA किस प्रकार संगठित होता है?
6. झिल्ली की प्रोटीनों के बनने में गॉल्जी काय की क्या भूमिका होती है?
7. सूक्ष्म तंतुओं तथा सूक्ष्म नलिकाओं में क्या अंतर होता है?
8. थाइलेकाइड तथा माइटोकॉन्ड्रिया झिल्ली की तुलना करें?
9. आप यकृत कोशिका के माइटोकॉन्ड्रिया को किस प्रकार अलग करेंगे?

## 1.9 उत्तर

### बोध प्रश्न

1. क) असत्य    ख) सत्य    ग) सत्य    घ) असत्य
2. क) कोशिका    ख) प्लास्मिड  
ग) प्रोकैरियोट    घ) पेण्टीडोग्लाइकोन
3. क) 4    ख) 1,    ग) 2,    घ) 3
4. क)
5. क) जल अपघटनी    ख) केटालेस  
ग) एफिटिन, मायोसिन    घ) सूक्ष्म नलिकाएं
6. क) 4    ख) 1,    ग) 2,    घ) 3
7. क) असत्य    ख) सत्य    ग) सत्य    घ) असत्य
8. क)  $15,000 \times g$     ख) सुदूर लाल  
ग) ग्लाइकोसिलेशन    घ) बैक्टीरिया कोशिका भित्ति

### अंत में कुछ प्रश्न

1. कोशिकांग, सुस्पष्ट कार्य करने वाली व झिल्ली से घिरी अंतः कोशिकीय संरचना होती है।
2. कोशिका झिल्ली कोशिका की उसके परिवेश से सुरक्षा करती है, अणुओं के वर्णात्मक अभिगमन के लिए रंघक का कार्य करती है तथा कोशिका अभिज्ञान, कोशिका-कोशिका संचार, कोशिका की संवेदनशीलता व गतिशीलता में भाग लेती है।
3. कोशिका की कई अपचयनी अभिक्रियाओं में हाइड्रोजन परॉक्साइड बनता है, जो अत्यंत विषैला होता है। यह परॉक्सीसोमों में उत्पन्न होता है और वहीं पर नष्ट हो जाता है। परॉक्सीसोमों की अनुपस्थिति में यह हाइड्रोजन परॉक्साइड कोशिका के लिए घातक सिद्ध होगा।
4. कोशिका में प्रोटीनों, न्यूक्लिक अम्लों तथा लिपिडों जैसे वृहत् अणुओं का निम्नीकरण अनियमित तरह से नहीं हो सकता, इसलिए ऐसी जल अपघटनी एन्जाइमी अभिक्रियाएं लाइसोसोमों में होती हैं क्योंकि अपघटनी एन्जाइम विशिष्ट रूप से उनमें ही उपस्थित होते हैं।
5. प्रोकैरियोट जीवों में DNA साइटोप्लाज्म में एक वृत्तीय अणु रूप में उपस्थित होता है। जबकि यूकैरियोट जीवों में यह झिल्ली से घिरे केन्द्रक में क्रोमोसोमों में संगठित होता है।
6. कोशिका झिल्ली का भाग बनने वाली प्रोटीनों रुख अंतर्द्वयी जालिका के राइबोसोमों

पर संश्लेषित होती हैं तथा गॉल्जी कौओं में इनका ग्लाइकोसाइलेशन होता है। फिर यह अंकित प्रोटीनें झिल्ली पर स्थानांतरित हो जाती हैं।

7. साइटोपंजर के दो अवयव यद्यपि संकुचनशील प्रोटीनों के ही बने होते हैं, परंतु इनमें प्रोटीनों की प्रकृति अलग होती है। सूक्ष्म तंतु एक्टिन तथा मायोसिन नामक प्रोटीनों के बने होते हैं, जबकि सूक्ष्म नलिकाएं एल्फा तथा बीटा ट्यूब्यूलिनों की बनी होती हैं।
8. क्लोरोप्लास्ट की थाइलेकाइड झिल्ली प्रकाश की ऊर्जा का सस्य करती है तथा इससे ATP के संश्लेषण को प्रेरित करके NADPH उत्पन्न करती है। यद्यपि माइटोकॉन्ड्रिया की झिल्ली क्रियाधार के अपचयन में उत्पन्न NADH का उपयोग करके ATP उत्पन्न करती है। थाइलेकाइड झिल्ली में क्लोरोफिल तथा इलेक्ट्रॉन वहन प्रोटीनें, दोनों होती हैं, जबकि माइटोकॉन्ड्रिया की झिल्ली में केवल इलेक्ट्रॉन वहन प्रोटीनें ही होती हैं।
9. यकृत के समांगीकृत ऊतकों को  $600 \times g$  के संगत गति पर अपकेन्द्रित किया जाता है तथा इसके अधिप्लवी (supernatant) को  $15,000 \times g$  पर फिर से अपकेन्द्रित किया जाता है। इससे प्राप्त निक्षेप में मुख्यतः माइटोकॉन्ड्रिया होते हैं।

## इकाई 2 कार्बोहाइड्रेट

### इकाई की रूपरेखा

- 2.1 प्रस्तावना  
उद्देश्य
- 2.2 वर्गीकरण  
मोनोसैकराइडों का त्रिविम रसायन  
ग्लूकोस (डेक्सट्रोस): एक ऐल्डोहेक्सोस  
मोनोसैकराइडों की वलय-संरचनाएं  
फ्रक्टोस और अन्य मोनोसैकराइड  
मोनोसैकराइडों की अभिक्रियाएं
- 2.3 डाइसैकराइड  
माल्टोस  
लैक्टोस  
सुक्रोस
- 2.4 पॉलिसैकराइड  
संचय-पॉलिसैकराइड  
सेल्यूलोस: एक संरचनात्मक पॉलिसैकराइड
- 2.5 संकुल पॉलिसैकराइड  
ग्लाइकोसैमीनोग्लाइकन  
ग्लाइकोप्रोटीन  
रुधिर वर्ग पदार्थ
- 2.6 सारांश
- 2.7 अंत में कुछ प्रश्न
- 2.8 उत्तर

### 2.1 प्रस्तावना

इकाई 1 में एक प्ररूपी कोशिका की संरचना का वर्णन किया गया था और साथ ही उसके विभिन्न अंगों के कार्यों का उल्लेख भी किया गया था। कोशिका के औसत रासायनिक संघटन की रूपरेखा भी प्रस्तुत की गई थी। आपको याद होगा कि कोशिका का शुष्क भार मुख्यतः प्रोटीनों, लिपिडों, न्यूक्लीक अम्लों और कार्बोहाइड्रेटों के कारण होता है। ये सभी महत्वपूर्ण जीव-अणु हैं जिनकी जीव के पोषण के लिए आवश्यकता होती है। इकाई 2 में आपको कार्बोहाइड्रेटों के बारे में बताया जाएगा। ये महत्वपूर्ण अणु जहां कोशिका की संरचना का भाग होते हैं, वहां कार्य करने के लिए उसे ऊर्जा प्रदान भी करते हैं। कार्बोहाइड्रेटों का विभिन्न प्रकारों में वर्गीकरण किया जाएगा और उनकी रासायनिक संरचनाओं का वर्णन भी किया जाएगा। आप संक्षेप में शर्कराओं के त्रिविम रसायन के बारे में पढ़ेंगे और इस बात की जानकारी भी प्राप्त करेंगे कि कार्बोहाइड्रेट किस प्रकार की भूमिका अदा करते हैं। इकाई 3 में आप एक अन्य महत्वपूर्ण जीव-अणु का अध्ययन करेंगे जिसे लिपिड कहते हैं। ये अणु झिल्लियों की संरचना का भाग होते हैं, कोशिका के लिए ऊर्जा का संचय करते हैं और इनके अलावा अन्य कार्य भी करते हैं।

### उद्देश्य

इस इकाई के अध्ययन के बाद आप,

- मोनोसैकराइडों, ओलिगोसैकराइडों और पॉलिसैकराइडों की परिभाषा दे सकेंगे,
- मोनोसैकराइडों का ऐल्डोस अथवा कीटोस के रूप में निर्धारण कर सकेंगे,
- शर्कराओं के त्रिविम रसायन और ऐनोमरी रूपों का उल्लेख कर सकेंगे,

- शर्कराओं की ऋजु श्रृंखला (फिशर प्रक्षेप) और वलय संरचना (हावर्थ सूत्र) को आरेखित कर सकेंगे,
- कार्बोहाइड्रेटों के रासायनिक स्वभाव/गुणधर्मों और उनकी जैव भूमिका का उल्लेख कर सकेंगे,
- संचयात्मक और संरचनात्मक पॉलिसैकराइडों का वर्णन कर सकेंगे, और
- कुछ संकुल पॉलिसैकराइडों और उनके जैविक महत्व के बारे में बता सकेंगे।

## 2.2 वर्गीकरण

कार्बोहाइड्रेटों के वर्गीकरण का उल्लेख करने से पहले, आइए इन जैव अणुओं के सामान्य स्वभाव और कार्यों के बारे में और अधिक जानकारी प्राप्त करें। कार्बोहाइड्रेट, अन्य सभी प्रकार के जैव अणुओं में सबसे अधिक प्रचुर मात्रा में पाए जाते हैं। ये पॉलिहाइड्रॉक्सी ऐलिहाइड, पॉलिहाइड्रॉक्सी कीटोन और उनके व्युत्पन्न होते हैं। इन व्युत्पन्नों के जल-अपघटन से पॉलिहाइड्रॉक्सी ऐलिहाइड और पॉलिहाइड्रॉक्सी कीटोन प्राप्त हो सकते हैं। कार्बोहाइड्रेटों के अंतर्गत सैकराइड अथवा शर्कराएँ, ग्लाइकोजन, स्टार्च, सेल्यूलोस, डेक्सट्रिन आदि आते हैं। इनके अलावा कार्बोहाइड्रेट अन्य अणुओं के साथ मिलकर ग्लाइकोसैमीनोग्लाइकन, लिपोपॉलिसैकराइड, ग्लाइकोप्रोटीन और ग्लाइकोलिपिडों के रूप में पाए जाते हैं। वसाओं और प्रोटीनों के साथ मिलकर कार्बोहाइड्रेट हमारे भोजन के तीन प्रमुख घटक बनाते हैं।

कार्बोहाइड्रेट जीवों के लिए सामान्यतया ऊर्जा-स्रोत का काम करते हैं। पादपों में ये अणु (उदाहरण के लिए सेल्यूलोस) आधार-ऊतक के घटक भी होते हैं (जैसे वृक्षों में लकड़ी)। कुछ कार्बोहाइड्रेट जैसे न्यूक्लीक अम्लों में राइबोस, सेरेब्रोसाइडों में डेलैक्टोस, दूध में लैक्टोस और कोशिका पृष्ठ कार्बोहाइड्रेट अत्यंत विशिष्ट कार्यों के लिए उत्तरदायी होते हैं। मोनोसैकेराइड, सरलतम शर्कराएँ हैं। वे अधिक संकुल शर्कराओं के लिए इमारती खंडों का काम करते हैं और कोशिकाओं के लिए आसानी से उपलब्ध ऊर्जा-स्रोत का काम करते हैं। अधिक संकुल कार्बोहाइड्रेटों (जैसे पादपों में स्टार्च और जंतुओं में ग्लाइकोजन) में ऊर्जा की बहुत अधिक मात्रा संग्रहित रहती है। जैव-तंत्र में इस ऊर्जा का उपयोग संकुल अणुओं को सरल अणुओं में विखंडित करने में किया जाता है। पादप कार्बोहाइड्रेटों का संश्लेषण प्रकाश-संश्लेषण द्वारा करते हैं किन्तु प्राणी नहीं कर सकते। वे कार्बोहाइड्रेटों को पादपों से प्राप्त करते हैं जो उनकी ऊर्जा संबंधी आवश्यकताओं की पूर्ति करते हैं। कार्बोहाइड्रेट और वसा अम्ल प्राणियों की कोशिकाओं में सर्वाधिक महत्वपूर्ण उपापचयी ईंधन हैं।

आइए, अब कार्बोहाइड्रेटों के वर्गीकरण के बारे में जानकारी प्राप्त करें। अणु के आमाप के अनुसार उन्हें मोनोसैकेराइडों, ओलिगोसैकेराइडों और पॉलिसैकेराइडों में वर्गीकृत किया जा सकता है। मोनोसैकेराइड (monosaccharides) वे कार्बोहाइड्रेट होते हैं, जिन्हें जल अपघटन द्वारा छोटी इकाइयों में विभक्त नहीं किया जा सकता है। उदाहरण के लिए, ग्लूकोस। ओलिगोसैकेराइडों के जल अपघटन से 2-6 मोनोसैकेराइड इकाइयाँ प्राप्त होती हैं और प्राप्त होने वाली मोनोसैकेराइड इकाइयों की संख्या के अनुसार उन्हें डाइसैकेराइड (disaccharides) ट्राइसैकेराइड (trisaccharides) आदि नामों से जाना जाता है। पॉलिसैकेराइडों (polysaccharides) के जल-अपघटन से छः से अधिक मोनोसैकेराइड इकाइयाँ प्राप्त होती हैं। उनमें 3,000 तक मोनोसैकेराइड इकाइयाँ होती हैं।

मोनोसैकेराइडों को सरल शर्कराएँ भी कहा जाता है। उन्हें अणु में विद्यमान कार्बन संख्या के आधार पर आगे वर्गीकृत किया जाता है अर्थात् तीन कार्बन वाले मोनोसैकेराइड को ट्राइओस (triose) कहते हैं और चार पांच तथा छः कार्बन वाले मोनोसैकेराइडों को क्रमशः टेट्रोस (tetrose), पेन्टोस (pentose), हेक्सोस (hexose) कहते हैं, आदि। कार्बोनिल अभिलक्षक के स्वभाव के आधार पर मोनोसैकेराइड को आगे ऐल्डोस (aldose) (जिसमें ऐलिहाइड अभिलक्षक समूह होता है, और कीटोस (ketose) (जिसमें कीटोन अभिलक्षक समूह होता है) वर्गीकृत किया जाता है। उदाहरण के लिए, राइबोस एक ऐल्डोपेन्टोस (5-कार्बन वाला शर्करा अणु जिसमें ऐलिहाइड समूह होता है), ग्लूकोस एक ऐल्डोहेक्सोस (6-कार्बन वाला शर्करा अणु जिसमें ऐलिहाइड समूह होता है) तथा फ्रक्टोस एक कीटोहेक्सोस (6-कार्बन वाला शर्करा अणु जिसमें कीटोन समूह होता है) है।

मोनो (mono)—एक (one)

ओलिगो (oligo)—कुछ (few)

पॉलि (poly)—बहुत (many)

-ओस (-ose) प्रत्यय का उपयोग शर्कराओं को व्यक्त करने के लिए किया जाता है।

## 2.3 मोनोसैकेराइड

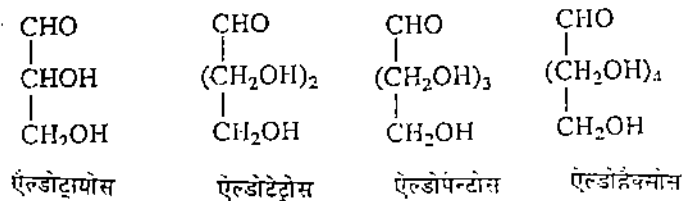
अधिकांश डाइसैकेराइड अपचयक होते हैं। सूक्रोस (चीनी) इसका अपवाद है क्योंकि वह अपनपचयक (nonreducing) शर्करा है।

जैसाकि ऊपर बताया गया है, मोनोसैकेराइडों में सामान्यतया 3-6 कार्बन परमाणुओं की शृंखला होती है और साथ ही एक ऐलिडहाइड अथवा कोटोन समूह होता है। ये सरल शर्कराएँ सफेद क्रिस्टलीय ठोस होते हैं। ध्रुवीय हाइड्रॉक्सिल समूहों की उपास्थिति के कारण वे जल में अत्यंत विलेय होते हैं। इसका यह अर्थ हुआ कि अधुवीय विलयकों में इन शर्कराओं की विलयता कम होती है। अधिकांश मोनोसैकेराइडों का मीठा स्वाद होता है। सभी मोनोसैकेराइड, चाहे ऐल्डोस हो अथवा कीटोस, अपचयक शर्कराएँ (reducing sugars) होते हैं क्योंकि वे फेलिंग विलयन, बेंनेडिक्ट विलयन और टॉलेन अभिकर्मक का अपचयन करते हैं।

पृथक मोनोसैकेराइडों का अध्ययन करने से पहले आइए, उनके त्रिविम रासायन पर प्रकाश डालें।

### 2.3.1 मोनोसैकेराइड का त्रिविम रासायन

नीचे दिए गए कुछ मोनोसैकेराइडों की संरचनाओं का अध्ययन कीजिए



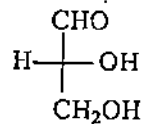
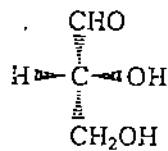
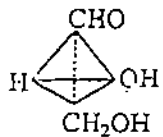
किरेल (chiral) कार्बन उस चतुष्फलकीय कार्बन को कहते हैं जिस पर चार भिन्न परमाणु अथवा परमाणुओं के समूह संलग्न रहते हैं। साधारण रूप से उसे तारक (\*) द्वारा दिखाया जाता है।

एनैन्टियोमर (enantiomers) उन त्रिविम समावयनों को कहते हैं, जो एक-दूसरे के अनध्यारोपी दर्पण प्रतिबिम्ब (mirror images) होते हैं।

जो त्रिविम समावयव एक-दूसरे के दर्पण प्रतिबिम्ब (mirror images) नहीं होते हैं, अप्रतिबिंबी त्रिविम समावयव (diastereomers) कहलाते हैं।

आप देखेंगे कि ऐल्डोट्रायोस (ग्लिसरैलिडहाइड) में एक किरेल (chiral) कार्बन परमाणु होता है। इसलिए वह दो एनैन्टियोमरी रूपों (enantiomeric forms) में पाया जाता है जिनकी विपरीत चिहनों वाली ध्रुवण धूर्णकता (optical activity) होती है अर्थात् वे दक्षिण ध्रुवण धूर्णक (dextrorotatory) और वाम ध्रुवण घूर्णक (levorotatory) ग्लिसरैलिडहाइड कहलाते हैं। उच्च शर्कराओं में दो या अधिक किरेल कार्बन परमाणु होते हैं, इसलिए उनके त्रिविम समावयवों (stereoisomers) की संख्या अधिक होती है त्रिविम समावयवों की संख्या  $2^n$  होती है जिसमें  $n$  किरेल कार्बन परमाणुओं की संख्या को व्यक्त करता है। जिन ऐल्डोसों की संबंध दक्षिण ध्रुवण घूर्णक ग्लिसरैलिडहाइडों (जिन्हें D- (+)-ग्लिसरैलिडहाइड भी कहते हैं) अर्थात् वे ऐल्डोस जिनका इस यौगिक से संश्लेषण किया जा सकता है अथवा जिनका इस यौगिक में रासायनतः निम्नीकरण किया जा सकता है, वे शर्कराओं की-श्रेणी से संबंधित होते हैं। उसी प्रकार L-श्रेणी की शर्कराओं का संबंध वाम ध्रुवण घूर्णक ग्लिसरैलिडहाइड (जिसे L-(-)-ग्लिसरैलिडहाइड भी कहते हैं) से होता है। यह ध्यान देने योग्य है कि उच्च शर्कराओं के साथ प्रयुक्त किए जाने वाले बड़े अक्षर D और L ध्रुवण धूर्णकता के वास्तविक चिह्न को व्यक्त नहीं करते हैं। वे D-अथवा L-ग्लिसरैलिडहाइड के साथ केवल उनके संरचनात्मक संबंध को व्यक्त करते हैं। आप बाद में पढ़ेंगे कि D और L संकेत  $\text{CH}_2\text{OH}$  समूह से अगले किरेल कार्बन के चारों ओर विन्यास को भी व्यक्त करते हैं जो ऐलिडहाइड समूह से सबसे दूर स्थित किरेल कार्बन भी होता है। ऐल्डोसों के कार्बन परमाणुओं का संख्यांकन ऐलिडहाइड कार्बन से आरंभ किया जाता है, अतः सबसे बड़ी संख्या वाले किरेल कार्बन के चारों ओर का विन्यास यह निर्धारित करता है कि शर्करा D श्रेणी की है अथवा L श्रेणी की।

एमिल फिशर ने ग्लूकोस और कुछ अन्य शर्कराओं के सभी किरेल कार्बन परमाणुओं के चारों ओर विन्यास का निर्धारण किया और कार्बोहाइड्रेटों के विन्यास के निरूपण की एक विधि प्रस्तुत की जिसे फिशर प्रक्षेप-सूत्र कहते हैं। उसे D-ग्लिसरैलिडहाइड के लिए नीचे दिया गया है:

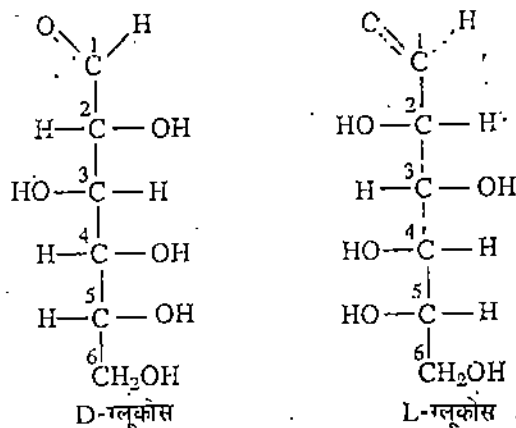


D-ग्लिसरेल्डिहाइड प्रक्षेप सूत्र ज्ञात करने के लिए जिस चतुष्फलक के केन्द्र में किरेल कार्बन होता है (जिसे सबसे बाईं ओर के आरेख में नहीं दिखाया गया है) उसे इस प्रकार रखा जाता है कि CHO समूह सबसे ऊपर और CH<sub>2</sub>OH समूह सबसे नीचे स्थित हो और उन्हें जोड़ने वाली रेखा (अर्थात् चतुष्फलक का कोर कागज के तल के नीचे हो। H और OH दर्शाक की ओर संकेत करते हैं।

फिशर का प्रक्षेप-सूत्र, अणु का द्विविम प्रक्षेप (कागज पर) होता है जबकि अणु को इस प्रकार रखा जाता है जैसे साथ के आरेख में दिखाया गया है। इस तरह क्षैतिज रेखाएँ कागज के तल के ऊपर के और उर्ध्व रेखाएँ कागज के तल के नीचे के आबंधों को निरूपित करती हैं।

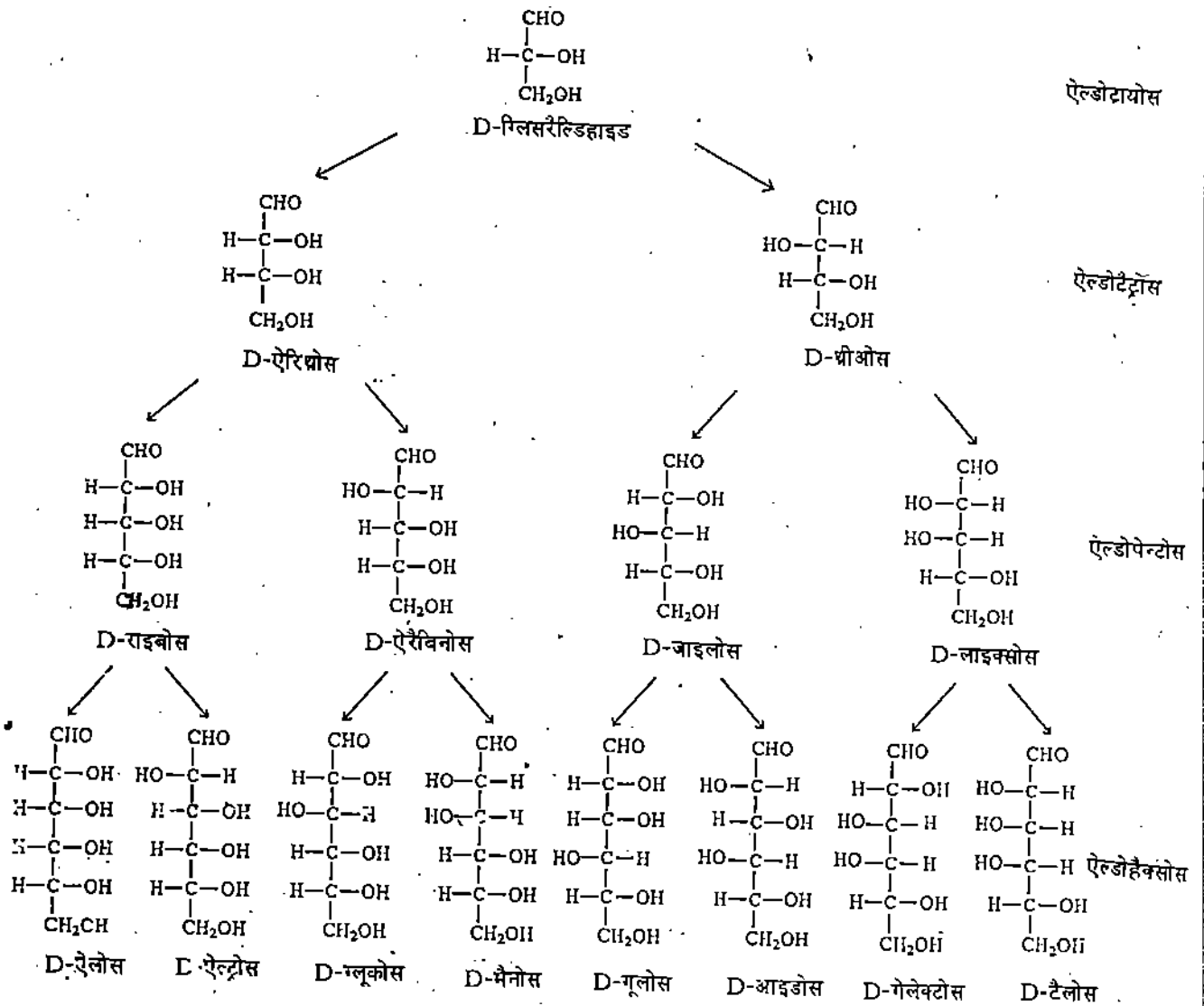
फिशर प्रक्षेप सूत्र विशेष रूप से उच्च शर्कराओं के विन्यास के निरूपण के लिए सहायक होते हैं, जिनमें अनेक किरेल कार्बन परमाणु होते हैं। वह अणु का द्विविम प्रक्षेप होता है, जबकि अणु को इस प्रकार रखा जाता है कि CHO समूह सबसे ऊपर और CH<sub>2</sub>OH सबसे नीचे होता है और सभी कार्बन-कार्बन आबंध कागज के तल से नीचे होते हैं तथा सभी किरेल कार्बन परमाणुओं के H और OH दर्शाक की ओर संकेत करते हैं।

फिशर प्रक्षेप सूत्र के आधार पर विभिन्न D-एल्डोसों का पारस्परिक संबंध चित्र 2.1 में दिखाया गया है। L-एल्डोस अपने D प्रतिरूपों के दर्पण प्रतिबिंब होते हैं, जैसाकि नीचे D- और L-ग्लूकोसों के लिए दिखाया गया है। प्रकृति में D-शर्कराओं की तुलना में L-शर्कराएँ बहुत कम मात्रा में पाई जाती हैं।



D-और L-शर्कराओं को एनैन्टियोमर कहते हैं। यह देखा जा सकता है कि समावयवी एल्डोसों के अनेक ऐसे युग्म होते हैं, जो अनेक किरेल कार्बन परमाणुओं में से केवल एक पर एक-दूसरे से भिन्नता प्रदर्शित करते हैं। उदाहरण के लिए ग्लूकोस और मैनोस (केवल C-2 पर भिन्नता होती है) तथा ग्लूकोस और गैलेक्टोस (केवल C-4 पर भिन्नता होती है) ऐसे समावयवों को एपीमर (epimers) कहते हैं। ध्यान देने की बात है कि मैनोस और गैलेक्टोस एक-दूसरे के एपीमर नहीं हैं।

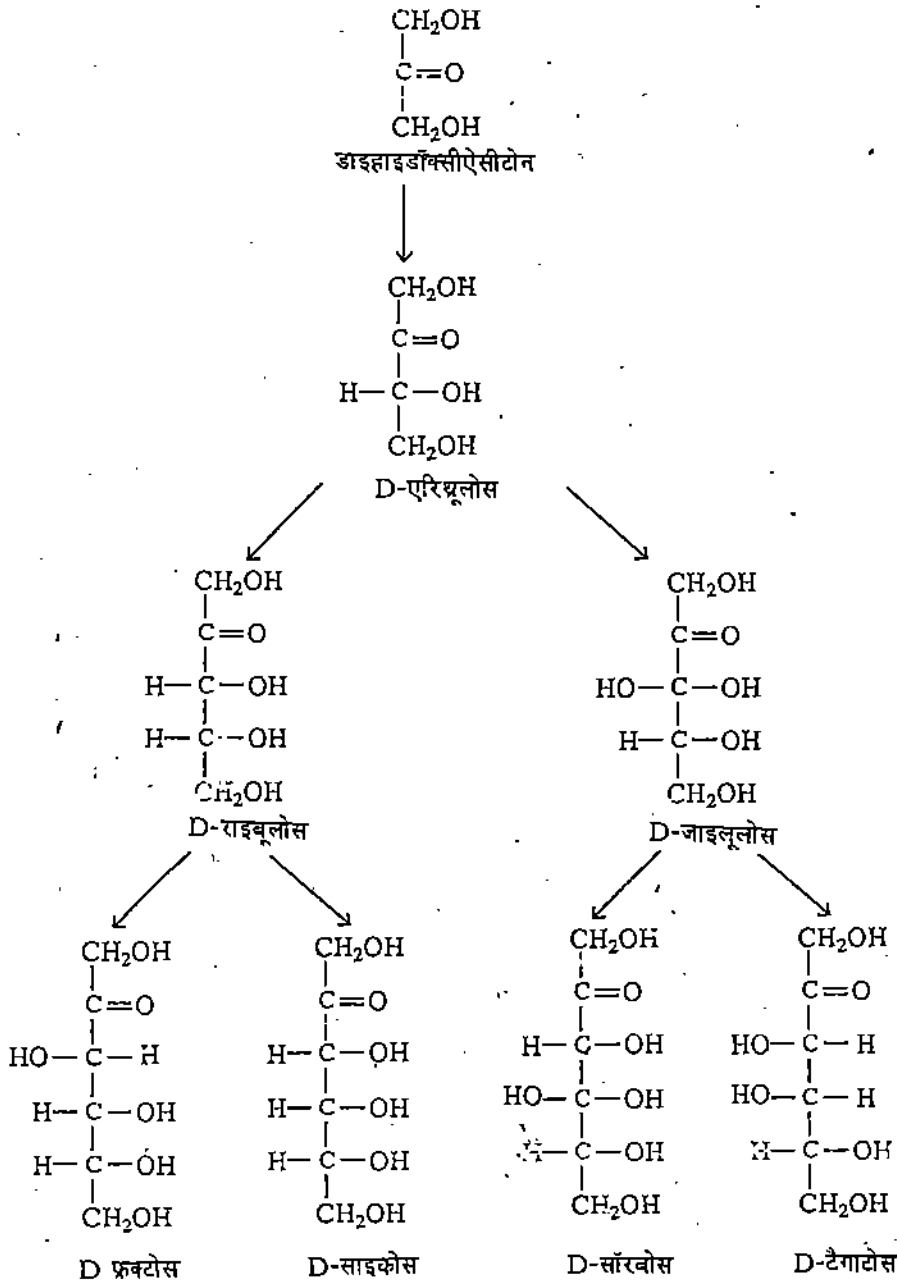
इसी प्रकार कीटोसों का संबंध डाइहाइड्रॉक्सी ऐसीटोन (कीटोट्रायोस) के साथ होता है। उनमें भी बड़े अक्षरों D और L का उपयोग उस किरेल कार्बन के चारों ओर विन्यास को व्यक्त करने के लिए किया जाता है, जो कीटों समूह से सबसे दूर हो अर्थात् जिसका स्थिति संख्यांक सबसे अधिक हो, क्योंकि संख्यांकन उस सिरे से किया जाता है, जो कीटों समूह के निकट है। विभिन्न कीटो शर्कराओं का पारस्परिक संबंध चित्र 2.2 में दिखाया गया है। आगे देखेंगे कि समान शृंखला लंबाई के लिए एल्डोसों की अपेक्षा कीटोसों में एक किरेल कार्बन कम होता है। उदाहरण के लिए एल्डोहेक्सोस में चार किरेल कार्बन होते हैं और कीटोहेक्सोस में केवल तीन किरेल कार्बन होते हैं। इसलिए कीटोसों के त्रिविम समावयवों की संख्या, संगत एल्डोसों के समावयवों की संख्या की आधी होगी।



चित्र 2.1: 3 से 6 कार्बन परमाणु वाले D-ऐल्डोसों के परस्पर त्रिविम रासायनिक संबंध

D-और L-विन्यास संकेत-पद्धति का शर्करा-रसायन में भी प्रयोग किया जाता है। अन्य कार्बनिक यौगिकों में उनके स्थान पर अधिक सुविधाजनक और स्पष्ट संकेत पद्धति R (रेक्टस) तथा S (सिनिस्टर) का उपयोग किया जाता है। बाद वाली पद्धति में प्रत्येक किरल कार्बन परमाणु के लिए विन्यास संकेत देना आवश्यक होता है। यह दिखाया जा सकता है कि D-और L- ग्लिसरेल्डिहाइड क्रमशः R-और S-ग्लिसरेल्डिहाइड होते हैं। जैसा कि ऊपर बताया जा चुका है, बड़े अक्षर D और L ध्रुवण घूर्णकता की दिशा के बारे में कोई सूचना नहीं देते हैं। जहां आवश्यक हो, उसे (+) और (-) द्वारा प्रदर्शित किया जाता है जो क्रमशः दक्षिण और वाम ध्रुवण घूर्णन को व्यक्त करते हैं। उदाहरण के लिए D-(-)-ग्लूकोस और D-(+)-फ्रुक्टोस।

D और L समावयवों के परस्पर परमाणुओं के विन्यास में अंतर बहुत कम होता है और महत्वहीन लगता है। किन्तु यह हमारे शरीर और उसकी कोशिकाओं के अत्यंत महत्वपूर्ण होता है। कोशिकाएं इस सूक्ष्म अंतर को भी पहचान लेती हैं। उदाहरण के लिए, यीस्ट द्वारा D-ग्लूकोस के किण्वन से ऐल्कोहॉल प्राप्त होता है किन्तु वह L-ग्लूकोस का किण्वन नहीं कर सकता है।



चित्र 2.2: 3 से 6 कार्बन परमाणु वाले D-कीटोसों के परस्पर त्रिविम रासायनिक संबंध।

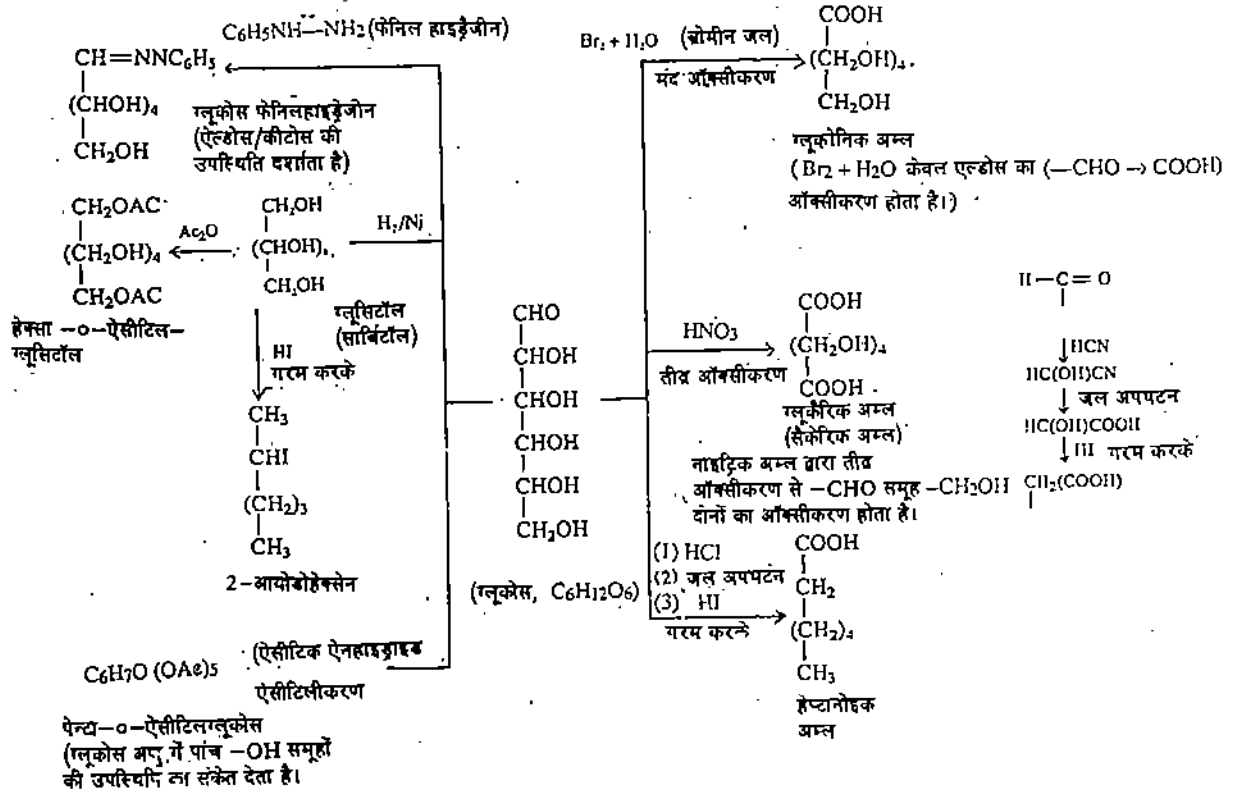
आइए, पहले ग्लूकोस का वर्णन करें क्योंकि वह आम पाए जाने वाला ऐल्डोहैक्सोस है।

### 2.3.2 ग्लूकोस (डेक्सट्रोस): एक ऐल्डोहैक्सोस

ग्लूकोस को रुधिर शर्करा और द्राक्ष शर्करा भी कहते हैं। यह सबसे अधिक पाया जाने वाला हैक्सोस है और फलों के रस में, विशेष रूप से द्राक्ष रस में, पादपों के रस में तथा प्राणियों के रुधिर और ऊतकों में पाया जाता है। जैसाकि पहले बताया जा चुका है, ग्लूकोस प्राणियों में सभी उपापचयी अभिक्रियाओं के लिए ऊर्जा का तात्कालिक स्रोत है। वयस्क मानव शरीर के रुधिर में लगभग एक चाय की चम्मच (5-6 ग्राम) ग्लूकोस होता है जो करीब पन्द्रह मिनट तक शरीर ऊर्जा आवश्यकताओं की पूर्ति करता है। रुधिर में ग्लूकोस की यकृत में संग्रहित ग्लाइकोजन द्वारा पूर्ति होती है।



D-ग्लूकोस, अनेक ओलिगो/पॉलिसैकेराइडों का भाग होता है। बहुत सी जैव कोशिकाओं में D-ग्लूकोस पाया जाता है, अतः उसका रसायन बहुत महत्वपूर्ण है। ग्लूकोस के अध्ययन से दूसरे मोनोसैकेराइडों के अध्ययन में भी सहायता मिलती है। तत्व-विश्लेषण और अणुभार निर्धारण से ज्ञात होता है कि ग्लूकोस का अणुभार  $C_6H_{12}O_6$  है। उसका रासायनिक व्यवहार भी उसमें छः कार्बन परमाणु युक्त पेन्टाहाइड्रॉक्सी ऐलिडहाइड संरचना की पुष्टि करता है। ऐलडोहेक्सोस संरचना की पुष्टि करने वाली रासायनिक अभिक्रियाओं को संक्षेप में चित्र 2.3 में दिया गया है।



चित्र 2.3 : ग्लूकोस की कुछ रासायनिक अभिक्रियाएं।

चित्र 2.3: ऐलडोहेक्सोस संरचना की पुष्टि करने वाली रासायनिक अभिक्रियाएं

अब तक ग्लूकोस की जिस विवृत शृंखला संरचना का उल्लेख किया गया है, वह उसके अनेक गुणधर्मों की व्याख्या नहीं करती है। इसीलिए आइए, उसकी कुछ अन्य संभावित संरचनाओं पर विचार करें। किन्तु उससे पहले निम्नलिखित बोध प्रश्नों का उत्तर दीजिए:

### बोध प्रश्न 1

निम्नलिखित कथनों पर सही अथवा गलत पर ( $\checkmark$ ) निशान लगाइए:

- क) सभी ऐलडोस शर्कराएं ग्लिसरैलिडहाइड से प्राप्त होती हैं। (सही/गलत)
- ख) D-राइबोस एक ऐलडोस है। (सही/गलत)
- ग) मोनोसैकेराइड जल में विलेय होते हैं। (सही/गलत)
- घ) पॉलिसैकेराइडों के जल अपघटन से 2-6 मोनोसैकेराइड यूनिट प्राप्त होते हैं। (सही/गलत)

### बोध प्रश्न 2

रिक्त स्थानों में उपयुक्त शब्द लिखिए।

- क) D-ग्लूकोस ..... का एंटीमर है।

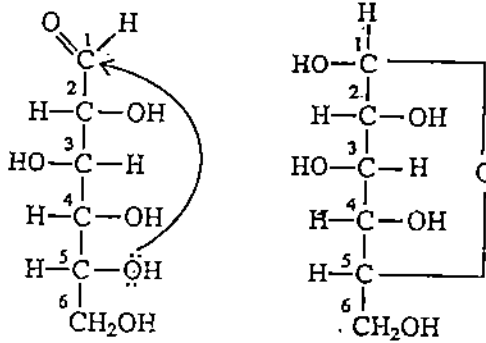
ख) ..... शर्कराओं की अपेक्षा ..... शर्कराएं कम बहुलता में मिलती हैं।

ग) ऐल्डोसों की अपेक्षा कीटोसों में ..... की संख्या कम होती है।

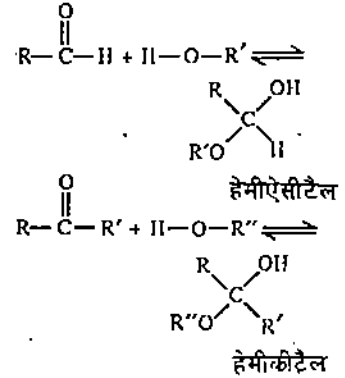
घ) ..... अनेक ऑलिगो/पॉलिसैकेराइडों का भाग होता है।

### 2.3.3 मोनोसैकेराइडों की वलय संरचनाएं

वास्तव में जलीय विलयन में ग्लूकोस तीन रूपों में पाया जाता है जो साम्यावस्था में रहते हैं और शीघ्र एक-दूसरे में परिवर्तित हो जाते हैं। ऋजु शृंखला में ग्लूकोस के केवल 0.02% अणु पाए जाते हैं। शेष अणु दो वलय रूपों में पाए जाते हैं जो आंतरिक (अंतः अणुक) हेमीऐसीटैल के बनने से प्राप्त होते हैं। मोनोसैकेराइडों (ऐल्डोसों और कीटोसों) में एक ही अणु में कार्बोनिल और ऐल्कोहॉली दोनों अभिलक्षक होते हैं। अतः ये दो समूह अंतः अणुकतः संयुक्त होकर चक्रीय हेमीऐसीटैल/हेमीकीटैल बनाते हैं। ग्लूकोस में हेमीऐसीटैल, C-1 के ऐलिडहाइड समूह और C-5 के ऐल्कोहॉल समूह की बीच बनता है।



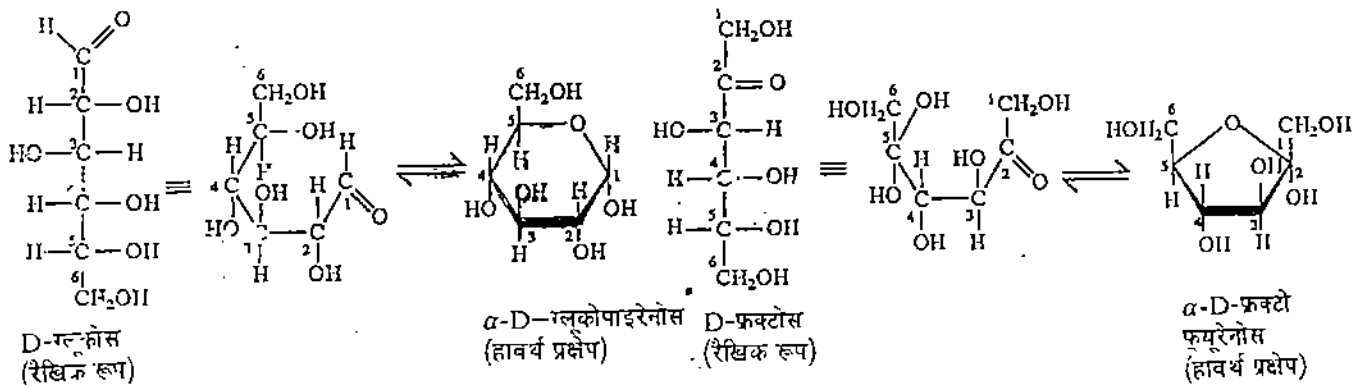
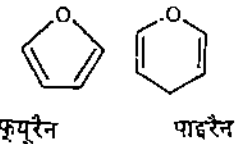
ऐल्कोहॉल के साथ कार्बोनिल समूह (ऐलिडहाइड अथवा कीटोन) की सामान्य अभिक्रिया के फलस्वरूप हेमीऐसीटैल अथवा हेमीकीटैल प्राप्त होते हैं।



प्राप्त हेमीऐसीटैल/हेमीकीटैल ऐलिडहाइड/कीटोन के साथ साम्यावस्था में रहते हैं।

शर्कराओं के लिए फिशर प्रक्षेप सूत्र के अतिरिक्त प्रत्येक कार्बन परमाणु पर पतिस्थापियों के विन्यास को हावर्थ प्रक्षेप सूत्र द्वारा आसानी से निरूपित किया जा सकता है। इन सूत्रों का उपयोग ऊपर वर्णित शर्कराओं की वलय संरचनाओं के आरेख को सरल बनाने के लिए किया जाता है। इस परिपाटी के अनुसार जिस शर्करा में छः सदस्यों वाला वलय होता है, वह पाइरैनोस और जिसमें 5-सदस्यों वाला वलय होता है, वह फ्यूरेनोस होता है। दोनों की वलय-संरचना क्रमशः पाइरैन और फ्यूरेन के समान होती है।

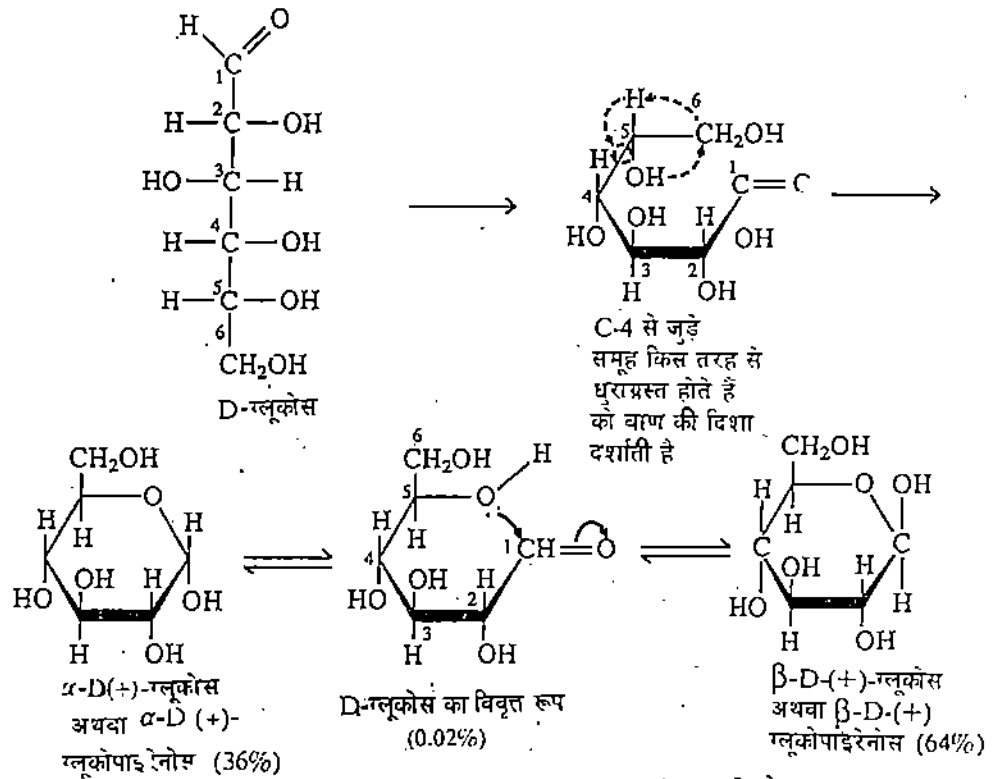
हावर्थ प्रक्षेपों में (आंतरिक हेमीऐसीटैल/हेमीकीटैल विरचन के बाद) शर्करा अणु द्वारा बनाया गया वलय इस प्रकार दिखाया गया है मानो उसे (वलय को) ऊपर से नीचे की ओर देखने के बजाय पार्श्व से देखा जा रहा हो। जो भुजा हमसे निकट है, उसे मोटी रेखाओं द्वारा दिखाया जाता है तथा प्रत्येक कार्बन परमाणु से संलग्न समूह वलय के तल के ऊपर अथवा नीचे दिखाए जाते हैं। हावर्थ प्रक्षेपों द्वारा निरूपित ग्लूकोस और फ्रक्टोस के चक्रीय रूप क्रमशः ग्लूकोपाइरैनोस और फ्रक्टोफ्यूरेनोस कहलाते हैं।



### शर्कराओं के ऐनोमरी रूप

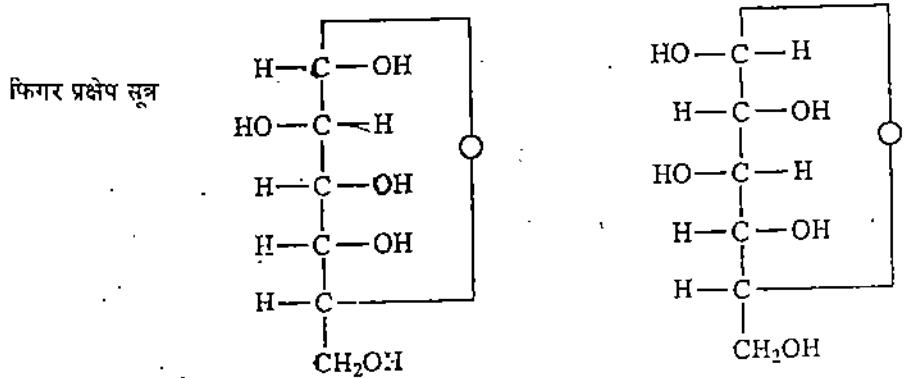
मोनोसैकेराइड का कार्बोनिल कार्बन, जिसकी कोई किरैलता नहीं होती है, चक्रीकरण के फलस्वरूप असममित हो जाता है और प्राप्त अप्रतिबिंबी त्रिविम समावयवों को ऐनोमर कहते हैं अर्थात्  $\alpha$ -ऐनोमर और  $\beta$ -ऐनोमर। इन वलय रूपों में हेमीऐसीटैल (C-1) अथवा हेमीकीटैल (C-2) कार्बन को ऐनोमरी कार्बन कहते हैं। दो ऐनोमरी वलय रूप, ऐनोमरी

कार्बन पर हाइड्रोजन और हाइड्रॉक्सिल समूह की स्थिति पर निर्भर करते हैं। यदि -OH समूह वलय-तल के नीचे हो तो समपक्ष रूप अथवा  $\alpha$ -रूप प्राप्त होता है और यदि वह वलय-तत्व के ऊपर हो, तो विपक्ष रूप अथवा  $\beta$ -रूप प्राप्त होता है।

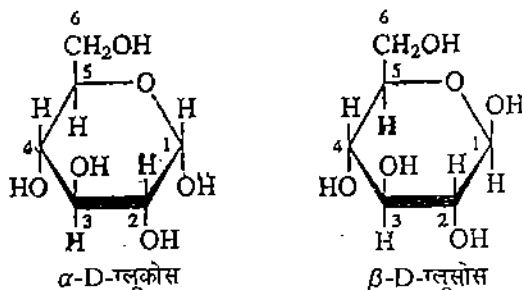


D-ग्लूकोस के हेमीऐसीटैल रूप के निर्माण को प्रदर्शित करती योजना

ग्लूकोस के लिए वलय-निर्माण का प्रक्रम नीचे दिया गया है जो बतलाता है कि हेमीऐसीटैल दो ऐनोमरी रूपों में क्यों पाया जाता है। C-4 और C-5 के बीच मौजूद आबंध का वामावर्त दिशा में साधारण घूर्णन से C-5 ऐसी स्थिति में आ जाता है कि वह कार्बोनिल समूह के साथ क्रिया कर सकता है। इस प्रकार -CH<sub>2</sub>OH समूह वह स्थिति ग्रहण कर लेगा जो C-5 पर हाइड्रोजन की थी। हेमीऐसीटैल में C-1 असममित कार्बन (asymmetric carbon) हो जाता है अतः दो अप्रतिबिंबी त्रिविम समावयवी (diastereomeric) यौगिक रूप संभव हैं।  $\alpha$ -ऐनोमर में ऐनोमरी हाइड्रॉक्सिल समूह वलय के तल के नीचे होता है।  $\beta$ -ऐनोमर में हेमीऐसीटैल हाइड्रॉक्सिल समूह वलय के तल के ऊपर होता है। फिशर और हावर्थ प्रक्षेपों में D-ग्लूकोस के दो ऐनोमरों की संरचनाएं नीचे दी गई हैं।



हावर्थ सूत्र

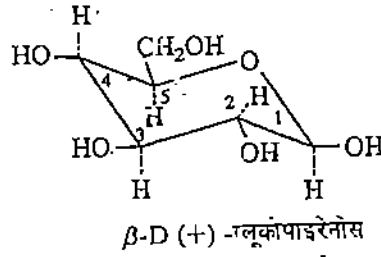
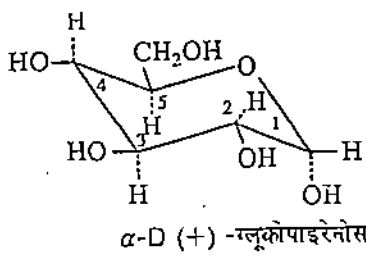


आप पूछ सकते हैं कि वलय में केवल एक हाइड्रॉक्सिल समूह की स्थिति से क्या अंतर हो सकता है। सच तो यह है कि इसी सूक्ष्म अंतर से यह निर्धारित होता है कि कोशिका, जीव के उपापचयी प्रक्रम में अणु को उपयोगी कर सकती है अथवा नहीं। उदाहरण के लिए स्टार्च ( $\alpha$ -ग्लूकोपाइरेनोस यूनितों से बना पॉलिसैकेराइड) और सेलुलोज ( $\beta$ -ग्लूकोपाइरेनोस यूनितों का बना पॉलिसैकेराइड) में ग्लूकोस यूनितों के C-1 पर हाइड्रॉक्सिल समूह की स्थिति ही उनके गुणधर्मों में पाए जाने वाले अत्यधिक अंतर के लिए उत्तरदायी होती है। मनुष्य स्टार्च का पाचन कर सकते हैं किन्तु सेलुलोज का नहीं कर सकते।

D-ग्लूकोस के  $\alpha$  और  $\beta$  एनोमरों के भिन्न गुणधर्म होते हैं।  $\alpha$ -D-ग्लूकोस का गलनांक 419K है और उसका विशिष्ट ध्रुवण घूर्णन + 112.2° है।  $\beta$ -D-ग्लूकोस का गलनांक 423K है और विशिष्ट ध्रुवण घूर्णन + 18.7° है। यदि  $\alpha$ -D-ग्लूकोस अथवा  $\beta$ -D-ग्लूकोस को जल में घोला जाए तो विशिष्ट ध्रुवण घूर्णन में धीरे-धीरे परिवर्तन होता जाता है और अंततः साम्यावस्था मान, + 52.7° पर स्थिर हो जाता है। + 112.2° अथवा + 18.7° से + 52.7° तक विशिष्ट ध्रुवण घूर्णन में होने वाले इस मंद परिवर्तन को परिवर्ती ध्रुवण घूर्णन (mutarotation) कहते हैं, जो  $\alpha$ -और  $\beta$ -ग्लूकोस के अंतरा रूपांतरण से प्राप्त होता है और साम्य-मिश्रण में 36%  $\alpha$ -एनोमर और 64%  $\beta$ -एनोमर होता है। दोनों रूपों का अंतरा रूपांतरण ग्लूकोस के चिबृत रूप (0.02%) के द्वारा होता है।

मोनोसैकेराइडों की संरचना का दूसरा महत्वपूर्ण पहलू उनके संरूपण से संबंधित है। हेमीऐसीटैल वलय में C—O—C आबंध कोण 111° होता है और वह साइक्लोहेक्सेन वलय के C—C—C वलय-कोण (109°) के लगभग बराबर ही होता है। ग्लूकोस का पाइरेनोस वलय वास्तविक समतलीय वलय होने के बजाय उसी प्रकार प्रकींचित (puckered) रहता है जिस प्रकार साइक्लोहेक्सेन वलय, जो कुर्सी और नौका रूपों में पाया जाता है। ग्लूकोस का कुर्सी-संरूपण, वलय विकृति को कम कर देता है और इसलिए उसी वलय रूप को प्रमुखता मिलती है:

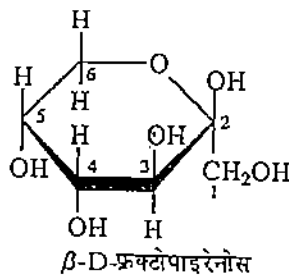
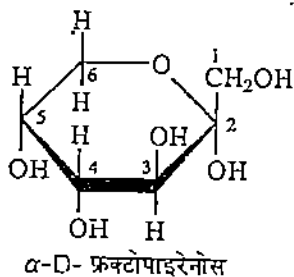
किसी अणु में परमाणुओं के विशिष्ट अभिविन्यास को संरूपण कहते हैं। वह अन्य संभावित अभिविन्यासों से इस दृष्टि से भिन्न है कि उसमें घूर्णन एकल आबंध के चारों ओर होता है।

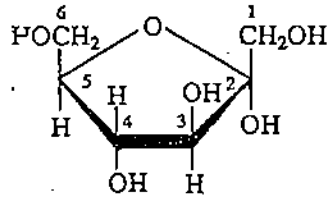


आपने देखा होगा कि यद्यपि हावर्थ प्रक्षेपों का आरेखण आसान है किन्तु वे शर्करा वलय के वास्तविक आकार को निरूपित नहीं करते हैं। किन्तु शर्करा वलय के आसान और सरल निरूपण के लिए हम इस इकाई में उनका उपयोग करते रहेंगे। D और L समावयवों तथा  $\alpha$  और  $\beta$  एनोमरों के बारे में प्राप्त जानकारी से आपको अन्य कार्बोहाइड्रेटों को समझने में आसानी होगी। अतः, अब संक्षेप में कुछ अन्य महत्वपूर्ण मोनोसैकेराइडों का वर्णन करें।

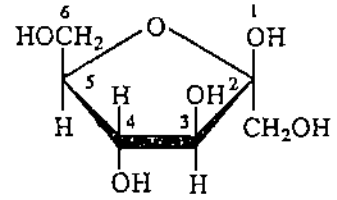
### 2.3.4 फ्रक्टोस और अन्य मोनोसैकेराइड

फ्रक्टोस को लेवुलोस अथवा फल-शर्करा भी कहते हैं (अणुसूत्र  $C_6H_{12}O_6$ )। यह अनेक फलों के रस में तथा शहद में पाया जाता है। यह कीटोहेक्सोस होता है तथा ज्ञात शर्कराओं में सबसे अधिक मीठा होता है। यह सुक्रोस से अधिक मीठा होता है जिसे इक्षु शर्करा (cane-sugar) अथवा चीनी भी कहते हैं। यह सुक्रोस का एक घटक भी होता है। तथा पॉलिसैकेराइड इनुलिन के जल-अपघटन से उत्पन्न होता है। फ्रक्टोस अणु आंतरिक हेमीकीटैल भी बनाते हैं और 5 सदस्य वाले फ्यूरेनोस वलय संरचनाओं में पाए जाते हैं (चित्र 2.4)। यद्यपि उसकी संरचना को फ्रक्टोपाइरेनोस और फ्रक्टोफ्यूरेनोस दोनों रूपों में निरूपित किया जा सकता है, किन्तु विलयन में सामान्यतया फ्यूरेनोस रूप पाया जाता है।



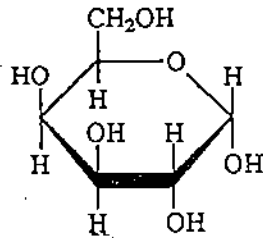


$\alpha$ -D-फ्रक्टोफ्यूरानोस

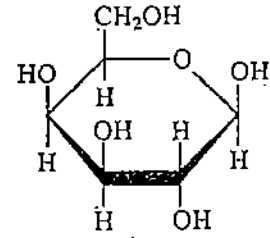


$\beta$ -D-फ्रक्टोफ्यूरानोस

**गैलेक्टोस (अणुसूत्र  $C_6H_{12}O_6$ ):** यह मुक्त सैकेराइड के रूप में नहीं पाया जाता है। यह ऐल्डोहैक्सोस अपेक्षाकृत बड़े कार्बोहाइड्रेटों के जल-अपघटन से प्राप्त होता है। यह दुग्ध शर्करा, लैक्टोस का घटक होता है।

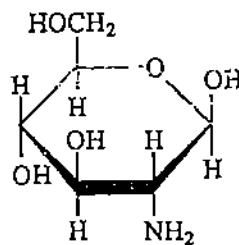


$\alpha$ -गैलेक्टोस अथवा  
 $\alpha$ -गैलेक्टोपाइरानोस

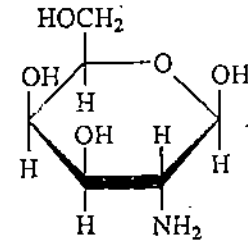


$\beta$ -गैलेक्टोस अथवा  
 $\beta$ -गैलेक्टोपाइरानोस

ग्लाइकोलिपिडों में भी जो मस्तिष्क और तंत्रिका तंत्र के घटक होते हैं, गैलेक्टोस पाया जाता है। D-गैलेक्टोस और D-ग्लूकोस प्रकृति में अपने 2-एमीनों व्युत्पन्नों के रूप में पाए जाते हैं जिन्हें साधारणतया ऐमीनों शर्करा कहते हैं।  $\beta$ -D-ग्लूकोसैमीन, काइटिन का घटक है, जो कीटों और परुषकवचियों (crustaceans) का प्रमुख घटक होता है। D-गैलेक्टोसैमीन, उपास्थि (cartilage) का महत्वपूर्ण घटक होता है।



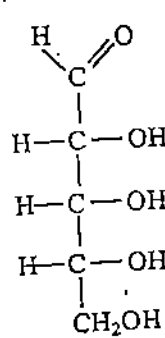
2-डिऑक्सी-2-ऐमीन- $\beta$ -D-ग्लूकोपाइरानोस  
( $\beta$ -D-ग्लूकोसैमीन)



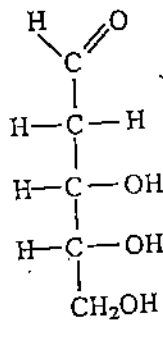
2-डिऑक्सी-2-ऐमीन- $\beta$ -D-गैलेक्टोपाइरानोस  
( $\beta$ -D-गैलेक्टोसैमीन)

जिन शर्कराओं में -OH समूह हाइड्रोजन द्वारा प्रतिस्थापित किया जाता है, उन्हें डिऑक्सीशर्करा कहते हैं। जिस कार्बन पर यह प्रतिस्थापन होता है, उसे डिऑक्सी शर्करा में, उस कार्बन की संख्या द्वारा व्यक्त किया जाता है।

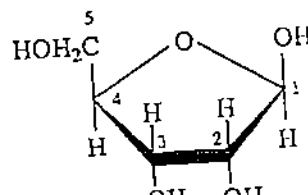
मानव उपापचयन में प्रमुख भूमिका अदा करने वाले पेन्टोस शर्कराओं में D-राइबोस और डिऑक्सीराइबोस हैं। D-राइबोस, जो फ्यूरानोस के रूप में पाया जाता है, RNA का घटक होता है जबकि 2-डिऑक्सीराइबोस DNA का घटक होता है।



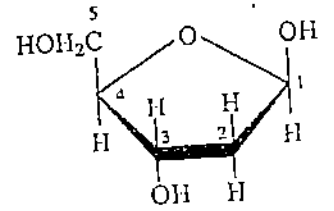
D-राइबोस



2-डिऑक्सी-D-राइबोस



$\beta$ -D-राइबोस  
( $\beta$ -D-राइबोफ्यूरानोस)



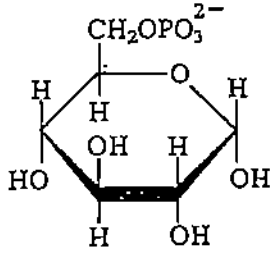
2-डिऑक्सी- $\beta$ -D-राइबोस

रुशर प्रक्षेप

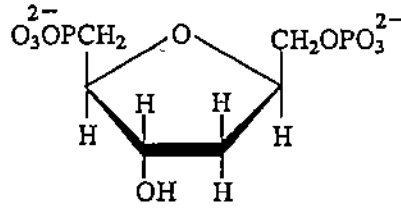
हाबथ प्रक्षेप

राइबोस के  $\alpha$  और  $\beta$  दोनों रूप विलयन में पाए जाते हैं किन्तु न्यूक्लीक अम्लों और अन्य उपापचयी सक्रिय यौगिकों में केवल  $\beta$ -रूप पाया जाता है।

उपापचय की दृष्टि से शर्कराओं के कुछ सक्रिय रूप प्राथमिक ऐल्कोहॉल समूह के फ़ॉस्फ़ेट एस्टरों के रूप में उपस्थित रहते हैं। उदाहरण के लिए ग्लूकोस 6-फ़ॉस्फ़ेट और फ्रक्टोस डाइफ़ॉस्फ़ेट कुछ महत्वपूर्ण शर्करा फ़ॉस्फ़ेट हैं।



$\alpha$ -D-ग्लूकोस-6-फ़ॉस्फ़ेट  
(G6P)



फ्रक्टोस 1,6-डाइफ़ॉस्फ़ेट  
(FDP)

### बोध प्रश्न 3

निम्नलिखित कथनों में सही अथवा गलत पर ( $\checkmark$ ) निशान लगाइए।

- क) ग्लूकोस के ताजे विलयन का विशिष्ट ध्रुवण घूर्णन  $52.7^\circ$  होता है। (सही/गलत)
- ख) फ्रक्टोस प्रायः फ्रूरेनोस के रूप में पाया जाता है (सही/गलत)
- ग) राइबोस एक कीटोपेन्टोस होता है (सही/गलत)
- घ) हावर्थ प्रक्षेप द्वारा निरूपित ग्लूकोस के साधारण रूप को ग्लूकोपाइरेनोस कहते हैं। (सही/गलत)

### बोध प्रश्न 4

शर्कराओं में D और L संकेतों का किस संदर्भ में उपयोग किया जाता है। D और L ग्लूकोस फिशर प्रक्षेप आरेखित कीजिए।

.....

.....

.....

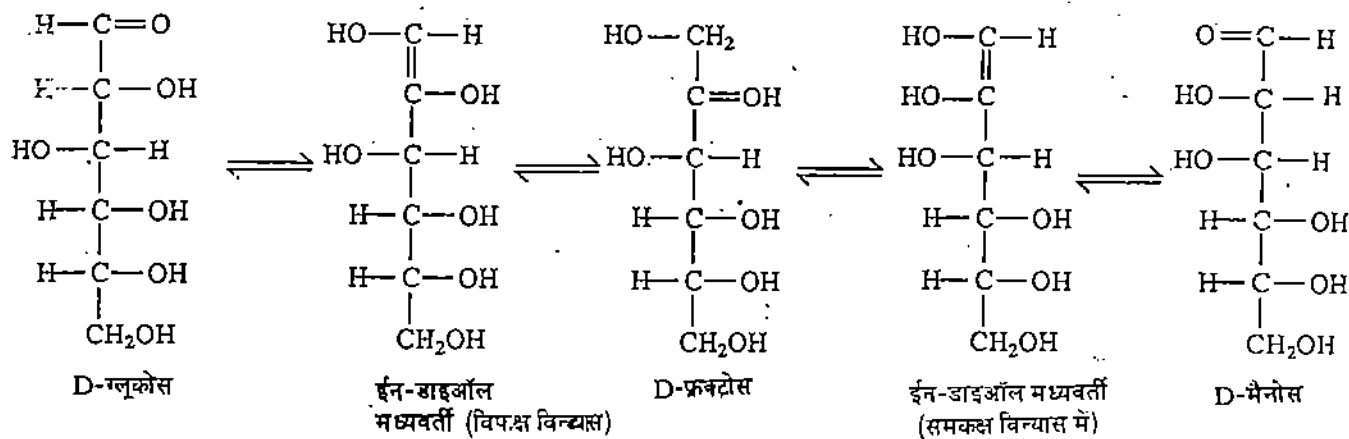
.....

अब मोनोसैकेराइडों की कुछ अभिक्रियाओं का अध्ययन किया जाएगा।

### 2.3.5 मोनोसैकेराइडों की अभिक्रियाएं

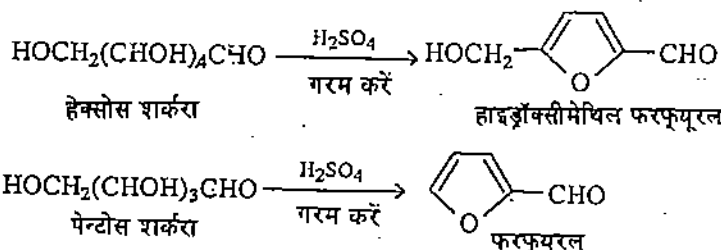
शर्करा अणुओं में बहुत अभिलक्षणीय समूहों के उपस्थित होने से वे विविध रासायनिक अभिक्रियाएं करते हैं। उनमें से कुछ अभिक्रियाओं का उल्लेख चित्र 2.3 में ग्लूकोस के संदर्भ में किया गया था। इस उपभाग में मोनोसैकेराइडों की कुछ सामान्य अभिक्रियाओं का उल्लेख किया जाएगा।

मोनोसैकेराइडों का अनेक घंटों तक तनु क्षार के साथ उपचार करने से, समावयवीकरण हो जाता है। उदाहरण के लिए, D-ग्लूकोस को समावयवीकरण से D-फ्रक्टोस और D-मैनोस प्राप्त होते हैं।



तनु क्षार में D-ग्लूकोस का समावयवीकरण

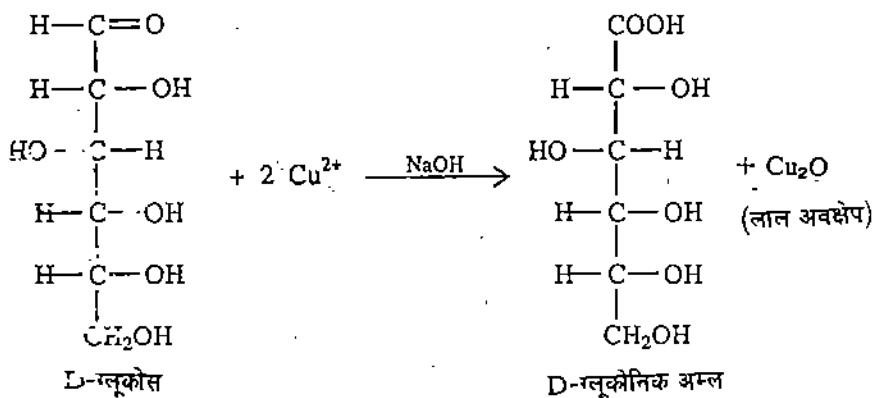
मोनोसैकेराइड तनु खनिज अम्लों के प्रति अधिक स्थायी होते हैं। किन्तु ऐल्डोस शर्कराओं, उदाहरण के लिए, ग्लूकोस को जब प्रबल खनिज अम्लों में गरम किया जाता है, तो उनके निर्जलीकरण से हाइड्रॉक्सिमैथिल फरफ्यूरल प्राप्त होता है:



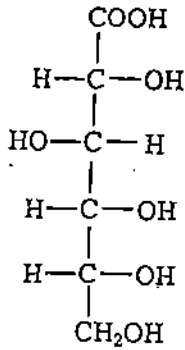
मोलिश परीक्षण (Molisch test)—एक परखनली में कार्बोहाइड्रेट विलयन लेकर उसमें  $\alpha$ -नैफ्थॉल का ऐल्कोहॉली विलयन मिलाया जाता है। फिर उसमें परखनली के पार्श्व से ठंडा सान्द्र सल्फ्यूरिक अम्ल मिलाया जाता है। दो विलयनों के संधि-स्थल पर लाल-वैंगनी रंग का बलय बन जाता है।

यह अभिक्रिया शर्कराओं के गुणात्मक परीक्षण (मोलिश परीक्षण) का आधार है क्योंकि उसके व्युत्पन्न  $\alpha$ -नैफ्थॉल के साथ अभिक्रिया कर रंगीन उत्पाद बनाते हैं।

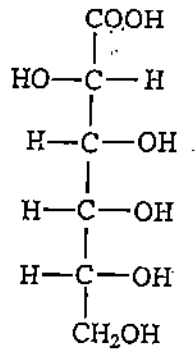
जिन शर्कराओं में मुक्त ऐलिडहाइड अथवा कीटोन समूह होता है, वे  $\text{Cu}^{2+}$  (बेनेडिक्ट विलयन, फेलिंग विलयन) अथवा  $\text{Ag}^+$  (टॉलेन्स विलयन) जैसे मृदु ऑक्सीकारकों के विलयन का अपचयन कर देते हैं। बेनेडिक्ट विलयन  $\text{CuSO}_4$  का क्षारीय विलयन होता है, जिसका अपचायक शर्कराओं की पहचान करने के लिए विस्तृत उपयोग किया जाता है। मूत्र के नमूनों में ग्लूकोस की नैदानिक (clinical) जाँच का यही आधार है जबकि अपस्थित ग्लूकोस  $\text{Cu}^{2+}$  आयनों को  $\text{Cu}^+$  आयनों में अपचित कर देता है और क्यूप्रस ऑक्साइड का ईंट के समान लाल अवक्षेप प्राप्त होता है:



माधारण तौर पर मृदु ऑक्सीकारक और कुछ एन्जाइम, शर्कराओं को मोनोकार्बोक्सिलिक अम्लों में परिवर्तित कर देते हैं जिन्हें ऐल्डोनिक अम्ल कहते हैं। उदाहरण के लिए, D-ग्लूकोनिक अम्ल, D-गैलेक्टोनिक अम्ल और D-मैनोनिक अम्ल क्रमशः ग्लूकोस, गैलेक्टोस और मैनोस के मृदु ऑक्सीकरण से प्राप्त उत्पाद हैं।



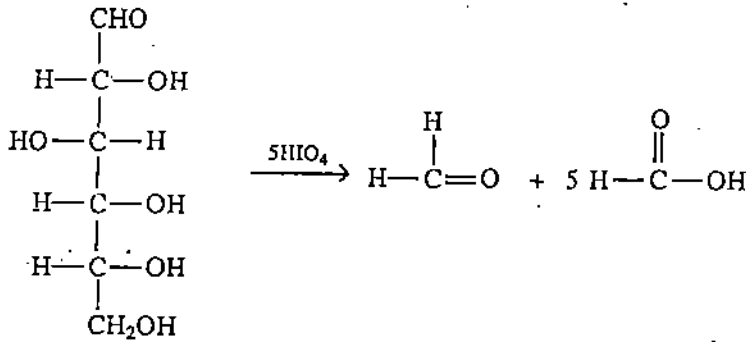
D-गैलोज़टोनिक  
अम्ल



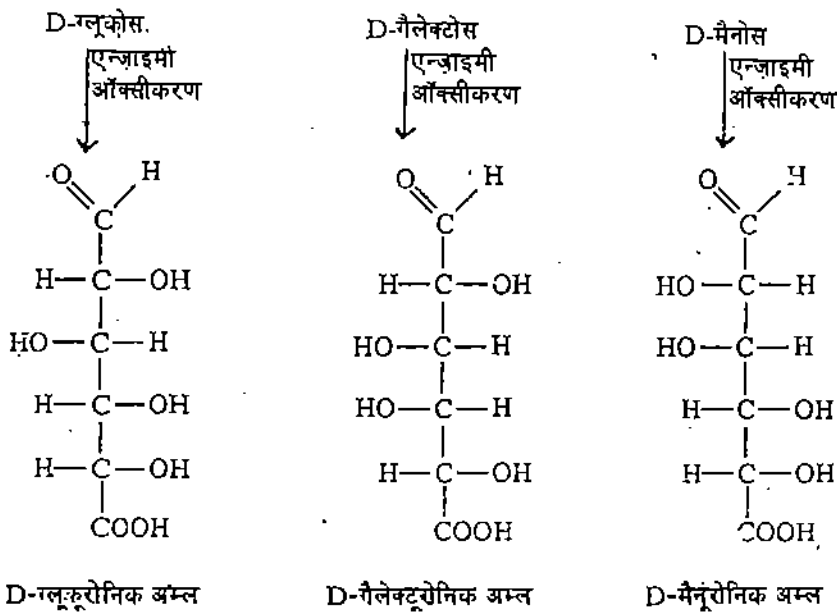
D-मैनोनिक  
अम्ल

चित्र 2.3 से आपको याद होगा कि ब्रोमीन जल भी ऐलिडहाइड अभिलक्षक को कार्बोक्सिलिक अभिलक्षक में परिवर्तित कर देता है किंतु कीटोस का ऑक्सीकरण नहीं करता है। अतः उसका उपयोग ऐल्डोस और कीटोस में भेद करने के लिए किया जाता है।

जिन यौगिकों के संलग्न कार्बन परमाणुओं पर दो या अधिक हाइड्रॉक्सिल अथवा कीटो समूह होते हैं, उनका परआयोडिक अम्ल (HIO<sub>4</sub>) के साथ ऑक्सीकारक विदलन होता है। उसी प्रकार HIO<sub>4</sub> के साथ कार्बोहाइड्रेटों का भी ऑक्सीकारक विदलन होता है। इस अभिक्रिया को 1928 में मैलाप्रेड (Malaprade) ने प्रस्तुत किया था और यह कार्बोहाइड्रेटों के संरचना-निर्धारण में बहुत उपयोगी है।



एन्जाइमों के साथ प्राथमिक ऐल्कोहॉली अभिलक्षक के विशिष्ट ऑक्सीकरण से यूरोनिक अम्ल प्राप्त होते हैं जिनमें से कुछ अनेक पॉलिसैकेराइडों के प्रमुख घटक होते हैं:



ग्लूकूरोनिक अम्ल प्रमुख वाहक का काम करता है जिसकी सहायता से हमारे शरीर से उत्पादबयलों और आविषों का उत्सर्जन होता है। सामान्यतया अधुवी आविष, ग्लूकूरोनिक अम्ल के साथ धुवीय संकुल बनाकर मूत्र द्वारा उत्सर्जित हो जाते हैं।

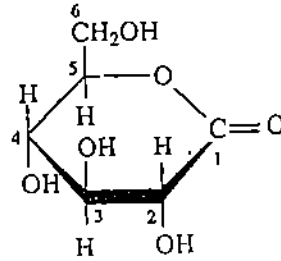


**बोध प्रश्न 5**

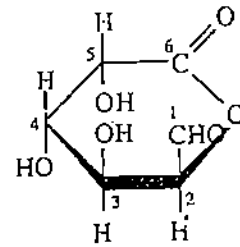
रिक्त स्थानों की पूर्ति कीजिए :

- क) D-राइबोस को HCl के साथ गरम करने पर ..... प्राप्त होता है।
- ख) ग्लूकोस के क्षारीय विलयन में समावयवीकरण उत्पादों के रूप में ..... और ..... रहते हैं।
- ग) ग्लूकोस के मृदु ऑक्सीकरण से ..... प्राप्त होता है।
- घ) शर्कराओं के प्राथमिक ऐल्कोहॉली समूह के एन्जाइमी ऑक्सीकरण से ..... प्राप्त होता है।

ऐल्डोनिक अम्ल और यूरोनिक अम्ल दोनों के चक्रीकरण से 5 और 6 सदस्यों वाले लैक्टोन प्राप्त होते हैं।



D-ग्लूकोनो- $\delta$  लैक्टोन

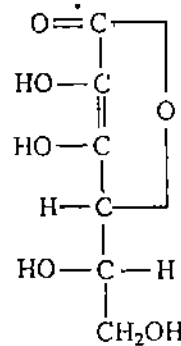


D-ग्लूकोरोनो- $\delta$  लैक्टोन

लैक्टोन अंतर्गत एस्टर यौगिक होते हैं, जो एक ही अणु में विद्यमान एक -OH समूह और एक -COOH से जल के निष्कासन से बनता है।

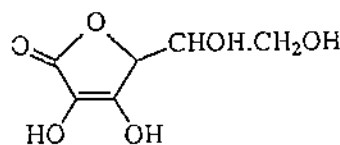
D-ग्लूकोनो- $\delta$ - लैक्टोन और D-ग्लूकोरोनो- $\delta$ -लैक्टोन क्रमशः D-ग्लूकोनिक अम्ल और D-ग्लूकोरोनिक अम्ल के लैक्टोन हैं। ऐस्कार्बिक अम्ल अथवा विटामिन C प्रकृति में पाया जाने वाला महत्वपूर्ण लैक्टोन है। वह  $\delta$ -लैक्टोन होता है जिसका सभी पादपों और अनेक प्राणी संश्लेषण करते हैं।

ऐस्कार्बिक अम्ल कार्बोहाइड्रेट उपापचयक है। मनुष्य उसका संश्लेषण नहीं कर सकते हैं। वे उसे विटामिन C युक्त भोजन, जैसे-सब्जियों से प्राप्त करते हैं। दूसरी ओर विल्ली आदि मांसाहारी पशु विटामिन C का संश्लेषण कर सकते हैं। खुराक में लम्बे समय तक विटामिन C की कमी से स्कर्वी रोग हो जाता है।

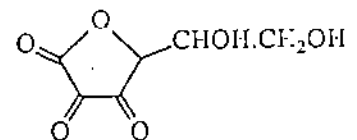


L-ऐस्कार्बिक अम्ल

अनेक प्राणियों में मौजूद एन्जाइम-तंत्र, ग्लूकोस को ऐस्कार्बिक अम्ल में रूपांतरित कर देता है। इसका ऑक्सीकरण और अपचयन आसानी से हो जाता है इसलिए वह जैव रैडॉक्स अभिक्रियाओं में सहकारक के रूप में भाग लेता है।

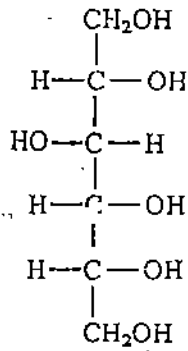


L-ऐस्कार्बिक अम्ल (अपरिचर रूप)

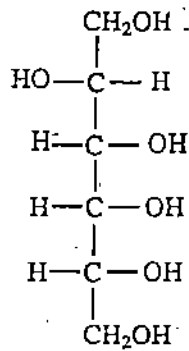


डिहाइड्रो-L-ऐस्कार्बिक अम्ल

सोर्गियम बोरोहाइड्राइड द्वारा ऐल्डिहाइड और कीटोन अभिलक्षक समूह का संगत शर्करा ऐल्कोहॉलों में अपचयन हो जाता है। D-सॉर्बिटॉल और D-मैनिटॉल दो प्रकृति में पाए जाने वाले महत्वपूर्ण शर्करा ऐल्कोहॉल हैं।

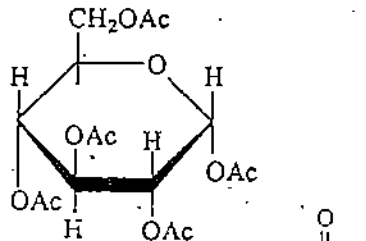


D-सॉर्बिटॉल



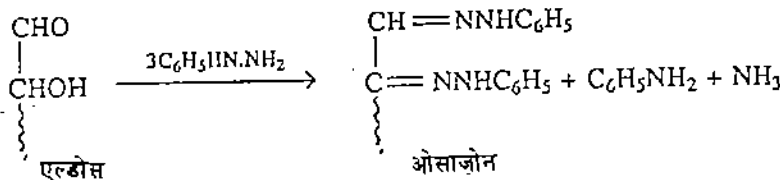
D-मैनिटॉल

शर्कराओं के सभी हाइड्राक्सिल समूहों का ऐसीटिलीकरण किया जा सकता है। उदाहरण के लिए, ऐसीटिक ऐनहाइड्राइड के साथ D-ग्लूकोस की अभिक्रिया से पेन्टा ऐसीटिल व्युत्पन्न प्राप्त होता है।



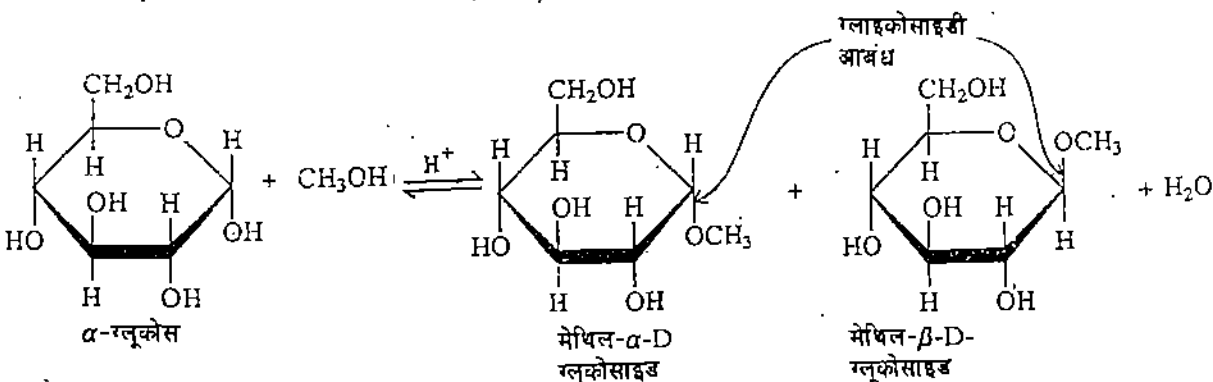
पेन्टा-D-ऐसीटिल- $\alpha$ -D-ग्लूकोस (Ac =  $\text{CH}_3\text{C}(=\text{O})-$ )

ऐल्डोसों में ऐल्डिहाइड समूह की फेनिल हाइड्रैजीन के साथ अभिक्रिया से फेनिलहाइड्रैजीन प्राप्त होता है (चित्र 2.3)। किन्तु फेनिल हाइड्रैजीन के आधिक्य में क्रिस्टलीय ओसाजोन बनते हैं:



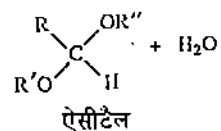
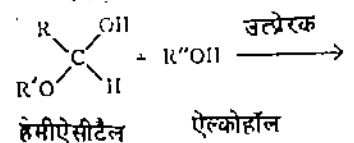
वे सभी कार्बोहाइड्रेट जिनमें हाइड्रॉक्सी ऐल्डिहाइड अथवा  $\alpha$ -हाइड्रॉक्सी कीटोन अभिलक्षक होता है, ओसाजोन बनाते हैं।

मोनोसैकेराइडों की एक अत्यंत महत्वपूर्ण अभिक्रिया ऐसीटैलों का बनना है जिसे सामान्य रूप से ग्लाइकोसाइड विरचन, कहा जाता है। उदाहरण के लिए अम्ल की उपस्थिति में D-ग्लूकोस (जो एक हेमीऐसीटैल है) मेथेनॉल के एक अणु के साथ संयुक्त होकर ऐसीटैल बनाता है। इस उत्क्रमणीय अभिक्रिया में ऐनोमरी हाइड्रॉक्सिल समूह (C-1, -OH) ऐल्कोहॉल के साथ संघनित होकर  $\alpha$  और  $\beta$  ग्लाइकोसाइड बनाता है। जो आबंध ऐनोमरी कार्बन को ऐसीटैल ऑक्सीजन के साथ जोड़ता है, ग्लाइकोसाइडी आबंध कहलाता है।



शर्कराओं के अध्ययन में फेनिल हाइड्रैजीन एक महत्वपूर्ण अभिकर्मक है। प्राप्त होने वाले ओसाजनों के अभिलाक्षणिक क्रिस्टलीय रूपों और गलनांकों की सहायता से विभिन्न शर्कराओं का अभिनिर्धारण आसानी से किया जा सकता है। इससे भी अधिक महत्वपूर्ण बात यह है कि प्राप्त ओसाजनों के द्वारा विभिन्न शर्कराओं का न्यास का संकेत भी मिलता है। उदाहरण के लिए, (+)-ग्लूकोस आर (+)-मैनीस से एक ही ओसाजोन प्राप्त होता है जिसका अर्थ हुआ कि वे C-2 पर ऐपीमरी होते हैं क्योंकि ओसाजोन के बनने से ऐल्डोस के केवल C-2 पर किरैलिटी नष्ट होती है। (-)-फ्रक्टोस से प्राप्त ओसाजोन भी वैसा ही होता है, जैसा (+)-ग्लूकोस से, जिसका यह अर्थ निकला कि C-3, C-4 और C-5 पर (-)-फ्रक्टोस और (+)-ग्लूकोस का विन्यास एक समान होता है।

हेमीऐसीटैल/हेमीकीटैल के बारे में आपको याद होगा कि वे कैसे बनते हैं। वे मूलतः बहुत स्थायी नहीं होते हैं और ऐल्कोहॉल के एक अन्य अणु के साथ अभिक्रिया कर स्थायी ऐसीटैल/कीटैल बनाते हैं जिसमें एक जल अणु निष्कासित हो जाता है।

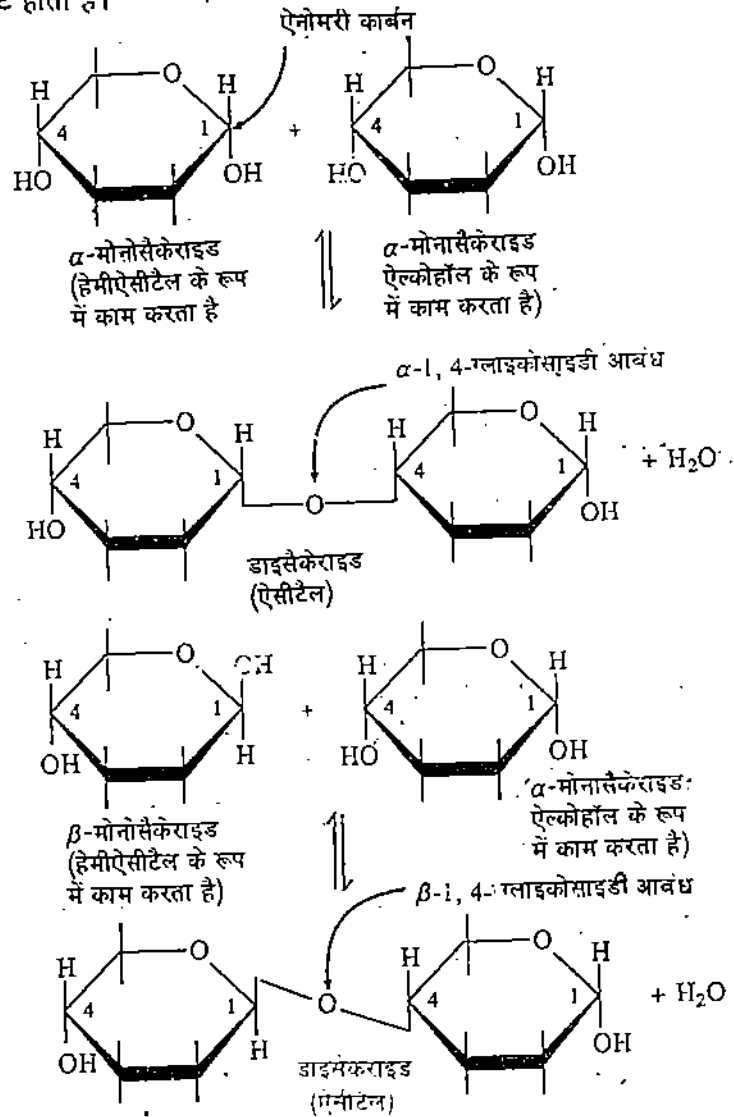


मेथेनॉल के साथ  $\alpha$ -D-ग्लूकोस के संघनन से मेथिल-D-ग्लूकोसाइडों का एनोमरी युग्म प्राप्त होता है। इस अभिक्रिया को अम्ल उत्प्रेरित करता है। D-ग्लूकोस का विलयन  $\alpha$ ,  $\beta$  और रैखिक संरचनाओं का मिश्रण होता है।

इन आबंधों को  $\alpha$  और  $\beta$  चिहनों द्वारा दिखाया जाता है जो इस बात पर निर्भर करता है कि ऐसीटैल (ग्लाइकोसाइड) में ऑक्सीजन परमाणु शर्करा वलय के तल के ऊपर है अथवा नीचे। ग्लाइकोसाइडों को तनु अम्लों अथवा एन्जाइमों द्वारा मोनोसैकेराइडों में अपघटित किया जा सकता है। ग्लूकोसाइडों का परिवर्ती घूर्णन नहीं होता है और न उनका शीघ्र ऑक्सीकरण होता है। इन दोनों गुणधर्मों के लिए एनोमरी कार्बन पर मुक्त -OH समूह की आवश्यकता होती है।

जब ऐसीटैल निर्माण में हेमीऐसीटैल के रूप ग्लूकोस होता है तो प्राप्त ऐसीटैल बंध को ग्लूकोसाइडी आबंध कहते हैं जिसका अर्थ है ग्लूकोस के साथ इस आबंध को ग्लाइकोसाइडी आबंध जिसका तात्पर्य केवल ग्लूकोस से नहीं बल्कि किसी भी कार्बोहाइड्रेट में ऐसीटैल आबंध है।

ऐसीटैल/कीटैल (अथवा ग्लाइकोसाइड) का बनना महत्वपूर्ण अभिक्रिया है क्योंकि उससे ओलिगो और पॉलिसैकेराइडों की संरचना को ज्ञात करने में सहायता मिलती है जिनमें घटक मोनोसैकेराइड इकाइयां ग्लाइकोसाइडी आबंधों द्वारा परस्पर संबद्ध रहती हैं। सामान्यतया एक मोनोसैकेराइड का C-1 (एनोमरी कार्बन) दूसरे मोनोसैकेराइड अणु को C-4 अथवा C-6 पर स्थित -OH के साथ अभिक्रिया करता है। यह चित्र 2.5 में दिए गए निरूपणों से स्पष्ट होता है।



चित्र 2.5: सुविधा और स्पष्टता के लिए शर्करा वलयों में अन्य समूह नहीं दिखाए गए हैं।

जैसाकि चित्र 2.5 की अभिक्रियाओं से स्पष्ट है ऐसीटैल बंध, C-1 और C-4 आबंध होता है और उसे  $\alpha$ -1, 4-ग्लाइकोसाइडी अथवा  $\beta$ -1, 4 ग्लाइकोसाइडी आबंध कहा जाता है जो इस बात पर निर्भर करता है कि आरंभी हेमीऐसीटैल में  $\alpha$ , -OH समूह है अथवा  $\beta$ , -OH समूह। इसके अलावा आप देखेंगे कि प्राप्त होने वाला डाइसैकेराइड (अथवा पॉलिसैकेराइड जैसी भी स्थिति हो) में केवल एक एनोमरी कार्बन (C-1) साबुत बचता है, इसलिए डाइसैकेराइड पॉलिसैकेराइड  $\alpha$  अथवा  $\beta$  एनोमरी रूप में पाया जाता है।

अब निम्नलिखित बोध प्रश्न का उत्तर दीजिए। उसके बाद अन्य कार्बोहाइड्रेटों का उल्लेख किया जाएगा।

**बोध प्रश्न 6**

नीचे "क" में दिए गए कथनों का "ख" में दिए गए कथनों से मिलान कीजिए।

- |                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| "क"                  | "ख"                |
| 1) D-सॉर्बिटॉल       | अ) एनोमरी कार्बन   |
| 2) L-ऐस्कॉर्बिक अम्ल | ब) डाइसैकेराइड     |
| 3) ग्लाइकोसाइड       | स) शर्करा लैक्टोन  |
| 4) ग्लूकोस का C-1    | द) शर्करा ऐल्कोहॉल |

**बोध प्रश्न 7**

डाइसैकेराइड में मोनोसैकेराइड इकाइयाँ किस प्रकार परस्पर संबद्ध रहती हैं? क्या डाइसैकेराइड,  $\alpha$  और  $\beta$  एनोमरी रूपों में पाया जाता है?

.....

.....

.....

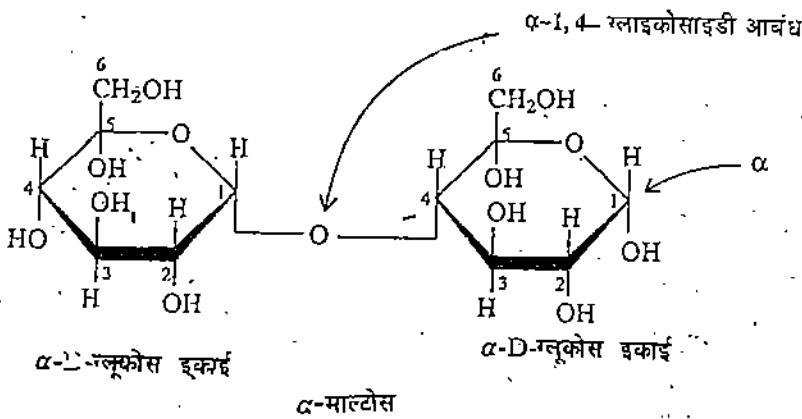
.....

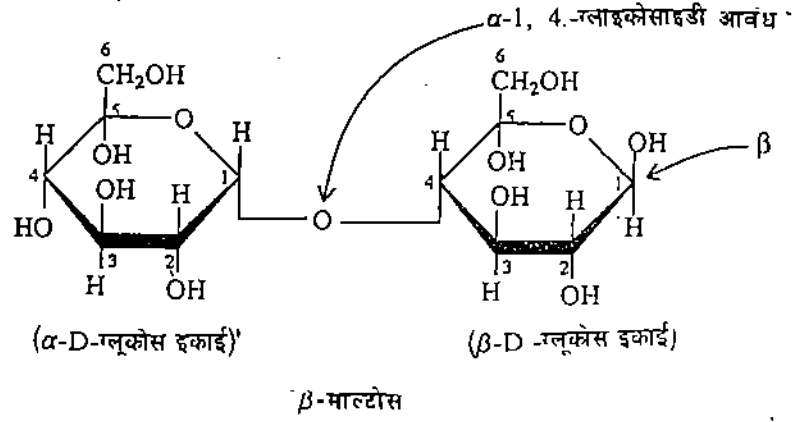
**2.4 डाइसैकेराइड**

डाइसैकेराइड प्रकृति में सबसे अधिक पाए जाने वाले ओलिगोसैकेराइड हैं और उनके जल-अपघटन से दो मोनोसैकेराइड अणु प्राप्त होते हैं। माल्टोस, लैक्टोस और सुक्रोस, तीन सबसे अधिक पाए जाने वाले डाइसैकेराइड हैं और प्रत्येक का अणु-सूत्र  $C_{12}H_{22}O_{11}$  है। आइए इन सैकेराइडों का संक्षेप में अध्ययन करें। मुख्य रूप से उनके स्वभाव का और उन्हें परस्पर बांधने वाले बंधों का वर्णन किया जाएगा।

**2.4.1 माल्टोस**

माल्टोस अथवा माल्ट शर्करा प्रकृति में अल्प मात्रा में पाया जाता है। वह मुख्यतः स्टार्च, ग्लाइकोजन अथवा डेक्सट्रिनों के अपूर्ण जल-अपघटन से प्राप्त होता है। माल्टोस, दो ग्लूकोस इकाइयों (अथवा अवशिष्टों) का बना होता है, जो  $\alpha$ , 1,4-ग्लाइकोसाइडी आबंध द्वारा  $\alpha$ -रूप में एक अवशिष्ट के C-1 हाइड्रॉक्सिल और दूसरे अवशिष्ट के C-4 हाइड्रॉक्सिल द्वारा परस्पर जुड़ी रहती हैं। माल्टोस का परिवर्ती ध्रुवण घूर्णन होता है, और उसका विलयन  $\alpha$  और  $\beta$  माल्टोस का साम्य-मिश्रण होता है। उसमें माल्टोस के ऐलिडहाइड रूप की अल्प मात्रा भी होती है। वह एक अपचायक शर्करा है।

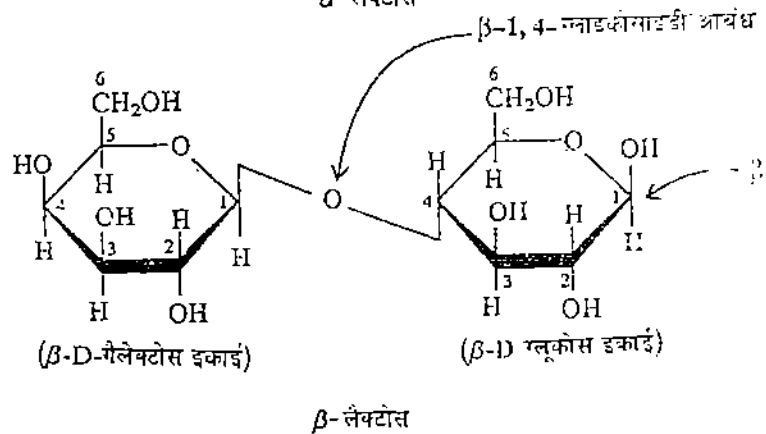
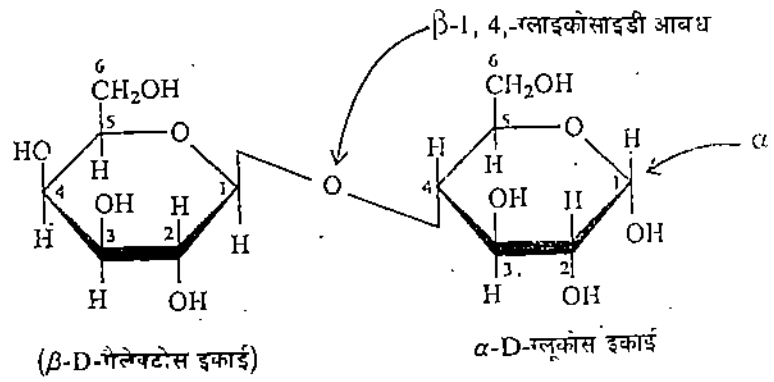




### 2.4.2 लैक्टोस

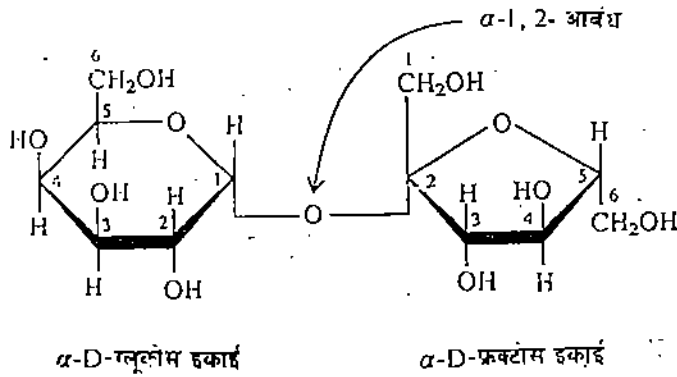
लैक्टोस अथवा दूध शर्करा स्तनधारियों के दूध में पाया जाने वाला डाइसैकेराइड है जिसका शिशु-जन्म के बाद स्तन-प्राथमिक हार्मोन-संश्लेषण होता है। गाय के दूध में औसतन 4% लैक्टोस होता है जबकि मानव दूध में 6-8% लैक्टोस होता है। वह लगभग स्वादहीन सफेद चूर्ण होता है। इसलिए उसका उपयोग विशिष्ट उच्च कैलोरी आहार में किया जाता है।

लैक्टोस, β-1, 4-ग्लाइकोसाइडी आबंध द्वारा β-गैलेक्टोस के एनोमरी हाइड्रॉक्सिल और ग्लूकोस के C-4 हाइड्रॉक्सिल के बीच संघनन-प्रतिक्रिया से बनता है। लैक्टोस का भी परिवर्ती ध्रुवण घूर्णन होता है और एक अपचायक शर्करा है।



### 2.4.3 सूक्रोस

सूक्रोस (चीनी, इक्षु शर्करा, चुकन्दर शर्करा) सर्वाधिक प्रयुक्त मधुरक (sweetening agent) है और उच्च पादपों (जैसे फलों और शाकों के रस) में और शहद में पाया जाता है। उसे व्यापारिक मात्रा में गन्ने और चुकन्दर से प्राप्त किया जाता है। सूक्रोस के जल-अपघटन से ग्लूकोस और फ्रक्टोस की एक-एक अणु प्राप्त होता है। माल्टोस और लैक्टोस की तुलना में सूक्रोस के अद्वितीय गुणधर्म होते हैं। उसका परिवर्ती ध्रुवण घूर्णन नहीं होता है और अपचायक शर्करा नहीं है जिसका कारण यह है कि  $\alpha$ -ग्लूकोस और  $\alpha$ -फ्रक्टोस अधिक सामान्य 1, 4-ग्लूकोसाइडी आबंध की अपेक्षा  $\alpha$ -1, 2-ग्लाइकोसाइडी आबंध द्वारा जुड़े रहते हैं। फलस्वरूप दोनों घटक शर्कराओं के ऐनोमरी कार्बन बंध निर्माण में शामिल रहते हैं। इसलिए उनमें कोई भी परिवर्ती ध्रुवण अथवा ऑक्सीकरण अभिक्रिया करने के लिए उपलब्ध नहीं रहते हैं।



शर्कराओं की मधुरता को सूक्रोस की मधुरता के सापेक्ष मापा जाता है क्योंकि सूक्रोस की मधुरता का मान 100 माना जाता है। सूक्रोस के सापेक्ष अन्य शर्कराओं की मधुरता नीचे दी गई है:

सापेक्ष मधुरता मान	
लैक्टोस	16
गैलेक्टोस	32
माल्टोस	33
ग्लूकोस	74
सूक्रोस	100
फ्रक्टोस	173

आंतों और यीस्ट में प्राप्त अम्लों अथवा एन्जाइमों द्वारा सूक्रोस के जल-अपघटन से फ्रक्टोस और ग्लूकोस का मिश्रण प्राप्त होता है। इस मिश्रण को प्रतीप शर्करा (invert sugar) कहते हैं।

#### बोध प्रश्न 8

निम्न में से कौन सा सूक्रोस से सही म बना को व्यक्त करता है? उत्तर पर (✓) का निशान लगाइए।

- क) 1- $\alpha$ -D-ग्लूकोसिल-1-फ्रक्टोस                      {                      }
- ख) 1- $\alpha$ -D-ग्लूकोसिल-2-फ्रक्टोस                      {                      }
- ग) 1- $\alpha$ -D-ग्लूकोसिल-1-2-फ्रक्टोस                      {                      }

### 2.5 पॉलिसैकराइड

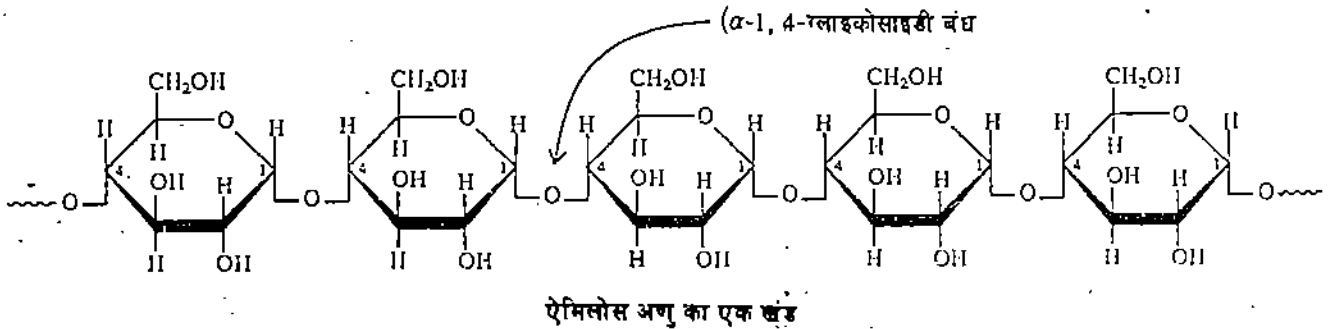
भाग 2.3 और 2.4 में मोनोसैकराइडों और डाइसैकराइडों का वर्णन किया जा चुका है। आपको ग्लाइकोसाइडी आबंध के निर्माण सहित मोनोसैकराइडों की कुछ सामान्य अभिक्रियाओं के बारे में भी बताया जा चुका है। इससे आपको डाइसैकराइडों के निर्माण को समझने में भी सहायता मिली। आइए, अब पॉलिसैकराइडों के वर्णन में विशेष रूप से उन बंधों का अध्ययन करें जो उनमें मौजूद मोनोसैकराइड इकाइयों को परस्पर संबद्ध रखते हैं। पॉलिसैकराइड, जिन्हें ग्लाइकन भी कहते हैं, सैक्रों अथवा हजारों मोनोसैकराइड इकाइयों के बने बृहत पॉलिमर होते हैं। ये इकाइयाँ परस्पर ग्लाइकोसाइडी संबंधों द्वारा जुड़ी रहती हैं। पॉलिसैकराइड शृंखलाएं रैखिक अथवा शाखित होती हैं तथा वे एक ही प्रकार के

मोनोसैकेराइड (समपॉलिसैकेराइड, जैसे-स्टार्च) अथवा दो या अधिक प्रकार के मोनोसैकेराइडों (विषमपॉलिसैकेराइड, जैसे-कोशिका भित्ति से बने होते हैं। प्रकृति में पॉलिसैकेराइडों का इस्तेमाल संरचना ऊतकों के अवयव के रूप में (संरचना-पॉलिसैकेराइड) अथवा ऊर्जा के संचय के लिए (संचय-पॉलिसैकेराइड) के लिए किया जाता है। पॉलिसैकेराइडों का स्वाद, मीठा नहीं होता है और उनका परिवर्ती ध्रुवण घूर्णन नहीं होना है। प्रायः वे अभिक्रियाशील नहीं होते हैं और क्योंकि उनके अधिकांश हेमीरेमीटल समूह ग्लाइकोसाइडी आबंधों में आवद्ध नहीं रहते हैं। अब हम कुछ संचय पॉलिसैकेराइडों का वर्णन करेंगे।

### 2.5.1 संचय- पॉलिसैकेराइड

पादपों में स्टार्च प्रमुख संचय पॉलिसैकेराइड (storage poly saccharide) होता है। वह पादपों में मिश्रित भोजन का ही काम नहीं करता बल्कि मनुष्यों के लिए कार्बोहाइड्रेटों का प्रमुख स्रोत है। यह ग्लूकोस पॉलिमर होता है और जब पादप कोशिका में अधिक ग्लूकोस प्रविष्ट करता है तो यह एन्जाइम द्वारा स्टार्च अणुओं के सिरों पर जुड़ जाता है। जब कोशिका में ग्लूकोस की कमी होती है उसमें विद्यमान स्टार्च के जल-अपघटन से ग्लूकोस मुक्त होता है। आहार के स्टार्च आलू, चावल गेहूँ, मक्का और अनेक अन्य पादपों में मिलते हैं।

प्राकृतिक स्टार्च  $(C_6H_{10}O_5)_n$  दो घटकों का मिश्रण होता है, अर्थात् ऐमिलोस और ऐमिलोपेक्टिन। भिन्न स्रोतों से प्राप्त स्टार्चों में ऐमिलोस और ऐमिलोपेक्टिन का अनुपात भिन्न होता है। किन्तु सामान्य रूप से 25% ऐमिलोस और 75% ऐमिलोपेक्टिन होता है। ऐमिलोस (अणुभार 50,000 - 60,000) में D-ग्लूकोस यूनिट  $\alpha$ -1, 4-ग्लाइकोसाइडी आबंधों द्वारा रेखीयतः जुड़े रहते हैं।



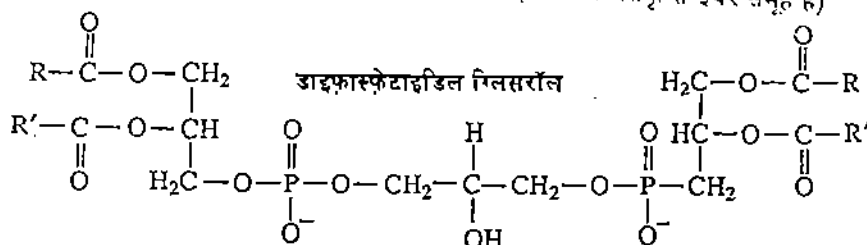
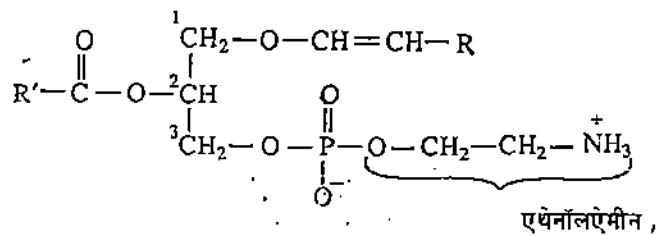
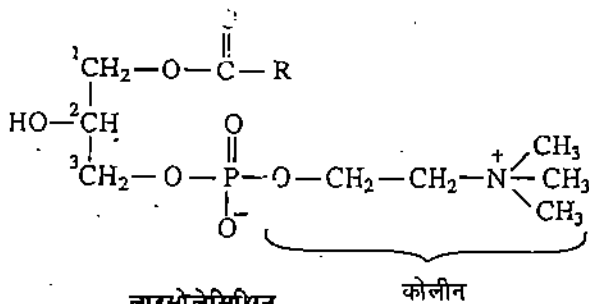
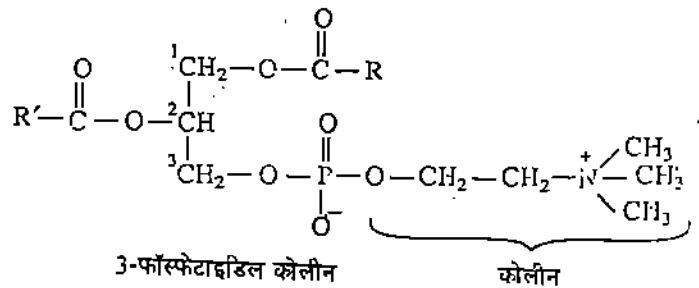
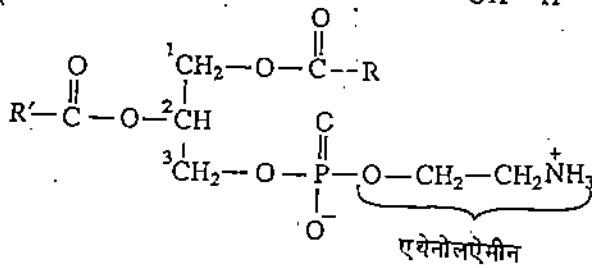
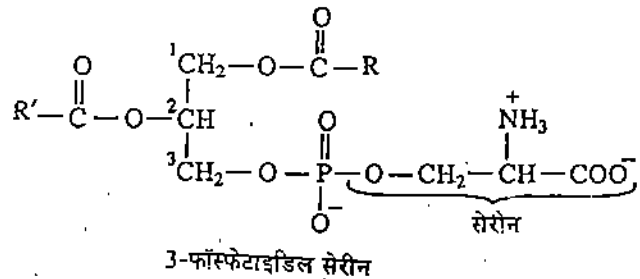
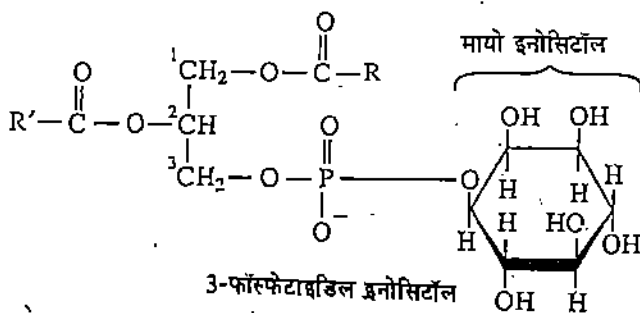
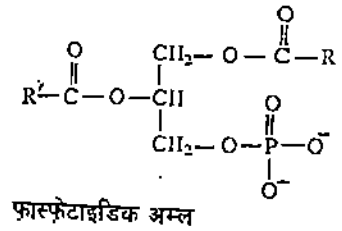
शुखला की औसत लंबाई 300-350 ग्लूकोस यूनिट होती है। आप देखेंगे कि  $\alpha$ -1, 4-आबंध के कारण ऐमिलोस का एक अनपचायक और एक अपचायक सिरा होता है। विलयन में ऐमिलोस की कंडलाकार संरचना हो जाती है जैसाकि नीचे दिखाया गया है। वह गर्म जल में विलेय होता है जिसका कारण कोलॉयडीय निलंबन का बनना है।

ऐमिलोपेक्टिन (अणुभार 500,000 से अधिक) अत्यंत शाखित ग्लूकोस बहुलक है। रेखिक शुखलाओं में ग्लूकोस अणु,  $\alpha$ -1, 4-ग्लाइकोसाइडी आबंधों द्वारा आवद्ध रहते हैं। औसतन प्रत्येक 20-24 ग्लूकोस इकाइयों के बाद शाखन होता है जो ग्लूकोस यूनिटों के बीच  $\alpha$ -1, 6-आबंधों के फलस्वरूप उत्पन्न होता है। ऐमिलोस अणुओं की अपेक्षा ऐमिलोपेक्टिन अणु बहुत बड़े होते हैं और गर्म जल में अविलेय होते हैं।

### 3.3.4 फास्फोलिपिड

फास्फोलिपिड (phospholipids) सभी जैव झिल्लियों के प्रमुख लिपिड घटक होते हैं जिसके बारे में अधिक जानकारी भाग 3.4 में दी जाएगी। फास्फोलिपिड नाम इसलिए दिया गया है कि उनमें फास्फेट समूह होता है। इसके अतिरिक्त ग्लिसरॉल, बसा अम्ल और नाइट्रोजनी धारक इन अणुओं के मुख्य घटक होते हैं। फास्फोलिपिडों को उभयस्नेही अणु कहा जाता है क्योंकि उनमें ध्रुवीय फास्फेट समूह (शीर्ष) और अध्रुवीय हाइड्रोकार्बन समूह (पुच्छ) दोनों होते हैं। आपने इकाई 1 (भाग 1.5.1, चित्र 1.6) में फास्फोलिपिड का आरेखी निरूपण देखा होगा।

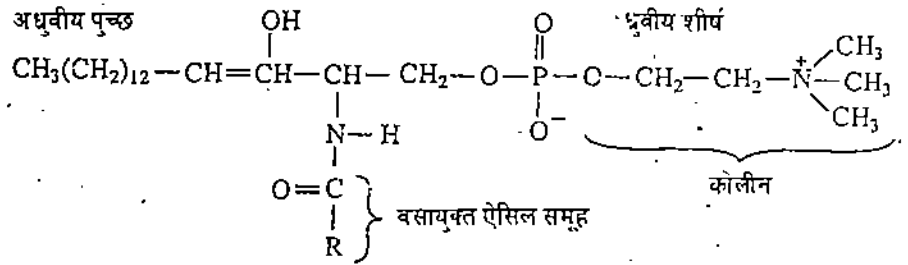
फास्फोलिपिडों का वर्गीकरण अणु में फास्फेट समूह के अतिरिक्त दूसरे ध्रुवीय समूह के स्वभाव के अनुसार किया जाता है। उनमें (क) फास्फेटाइडिक अम्ल और फास्फेटाइडिल ग्लिसरॉल (ख) फास्फेटाइडिल कोलीन (ग) फास्फेटाइडिल एथेनॉलऐमीन (घ) फास्फेटाइडिल इनोसिटॉल (ङ) फास्फेटाइडिल सेरीन (च) लाइसोफास्फोलिपिड (छ) प्लाज्मालोजेन और (ज) स्फिंगोमाइलिन आते हैं। स्फिंगोमाइलिन को छोड़कर ये सब अणु फास्फोग्लिसराइड हैं। स्फिंगोमाइलिन में ग्लिसरॉल नहीं होता है बल्कि स्फिंगोसीन नामक संकुल ऐमीनो ऐल्कोहॉल होता है। सभी फास्फोग्लिसराइडों को फास्फेटाइडिक अम्ल का व्युत्पन्न माना जा सकता है जिसमें फास्फेट समूह का किसी उपयुक्त ऐल्कोहॉल हाइड्रॉक्सिल के साथ एस्टरीकरण किया गया हो। कुछ फास्फोलिपिडों की संरचनाएं नीचे दी गई हैं:





डाइफास्फेटाइडिलग्लिसरॉल अथवा कार्डियोलिपिन, माइटोकॉन्ड्रिया झिल्लियों में पाया जाने वाला एक प्रमुख फास्फोलिपिड है। फॉस्फेटाइडिलकोलीन अथवा लेसिथिन, कोशिका झिल्लियों में प्रचुर मात्रा में पाया जाने वाला फास्फोलिपिड है और शरीर में कोलीन संचय का बहुत बड़ा भाग होता है जो तंत्रिका स्पंदों के संचरण में महत्वपूर्ण कार्य करता है। फॉस्फेटाइडिल इनोसिटॉल भी कोशिका झिल्लियों का महत्वपूर्ण घटक है और उसका 4, 5 द्विफॉस्फेट (bisphosphate), दूसरे संदेशवाहक का काम करता है और कोशिका संकेतन क्रिया में महत्वपूर्ण कार्य करता है। प्लाज्मालोजन, फास्फोलिपिड होते हैं जिनमें ग्लिसरॉल 3-फास्फेट के C-1 पर एस्टर बंध में बसा अम्ल के बजाय ईथर बंध में  $\alpha, \beta$  असंतृप्त ऐल्कोहॉल होता है। प्लाज्मालोजनों में या तो ऐथेनॉलऐमीन, कोलीन अथवा सेरीर होता है जो मस्तिष्क और मांसपेशियों में फास्फोलिपिडों का 10% होता है।

स्फिन्गोमाइलिन वे फास्फोलिपिड हैं जिनमें ग्लिसरॉल नहीं होता बल्कि उसके स्थान पर स्फिन्गोसीन नामक संकुल ऐमीनो ऐल्कोहॉल होता है। स्फिन्गोमाइलिन की संरचना नीचे दी गई है:

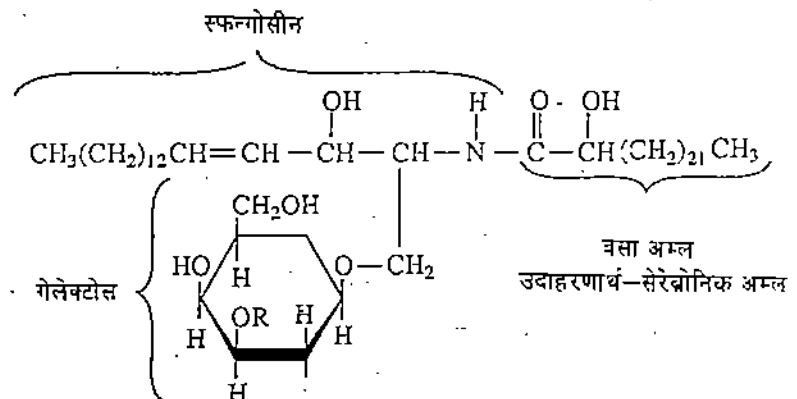


स्फिन्गोमाइलिन

स्फिन्गोमाइलिन, पर्याप्त मात्रा में मस्तिष्क और तंत्रिका में पाए जाते हैं। अनेक तंत्रिका कोशिका ऐक्सॉनों को घेरने वाले और विद्युत् रोधी, झिल्ली-आच्छद में भी स्फिन्गोमाइलिन की पर्याप्त मात्रा होती है। स्फिन्गोमाइलिन के जल-अपघटन से बसा अम्ल, फॉस्फोरिक अम्ल, कोलीन और स्फिन्गोसीन बनते हैं। स्फिन्गोसीन और बसा अम्ल के संयुक्त रूप को सिरमाइड कहते हैं। यह संरचना ग्लाइकोलिपिडों में भी पाई जाती है।

### 3.3.5 ग्लाइकोलिपिड

ग्लाइकोलिपिड शरीर के अधिकांश ऊतकों में और विशेष रूप से मस्तिष्क आदि तंत्रिका ऊतकों में पाए जाते हैं। प्लाज्मा झिल्ली में वे कोशिका पृष्ठ कार्बोहाइड्रेट देते हैं जो कोशिका झिल्ली ग्राही का काम करते हैं और उनका संबंध अभिज्ञान की क्रिया से होता है। जन्तु ऊतकों के प्रमुख ग्लाइकोलिपिडों का नाम ग्लाइकोस्फिन्गोलिपिड है। उनमें सेरेमाइड और एक या दो शर्कराएं होती हैं। इसके दो सामान्य उदाहरण हैं—गैलेक्टोसिलसेरेमाइड और ग्लूकोसिल सेरेमाइड। गैलेक्टोसिलसेरेमाइड की संरचना नीचे दी गई है:



गैलेक्टोसिलसेरेमाइड (गैलेक्टोसेरेनॉसाइड, R = H) और सल्फोगैलेक्टोसिलसेरेमाइड (सल्फेटाइड, R = SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) की संरचना

गैलेक्टोसिलसेरेमाइड में घटक के रूप में लाक्षणिक 24 कार्बन वाला वसा अम्ल होता है। उपर्युक्त संरचना से आप देखेंगे कि कुछ मामलों में शर्करा अणु सल्फेटीकरण किया जा सकता है। इन सल्फेटित ग्लाइकोलिपिडों को सल्फेटाइड कहते हैं। कुछ अत्यंत संकल ग्लाइकोस्फिंगोलिपिडों को ग्लकोसिलसेरेमाइड से प्राप्त किया जाता है जिन्हें गैग्लिओसाइड कहते हैं। वे तंत्रिका ऊतकों में विद्यमान रहते हैं।

अब हम अन्य संकल लिपिड वर्ग से एक महत्वपूर्ण सदस्य का उल्लेख करेंगे जिसका नाम लाइपोप्रोटीन है।

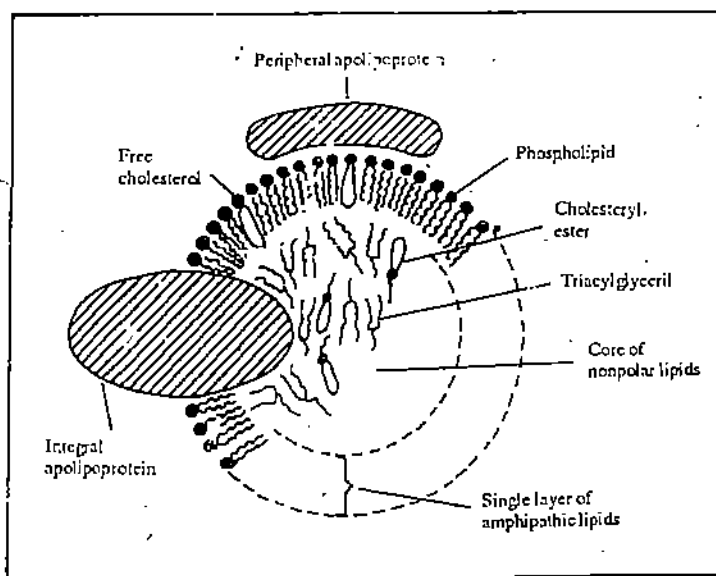
### 3.3.6 लाइपोप्रोटीन

जल में अविलेय होने के कारण लिपिडों का मुक्त रूप में परिसंचारी रुधिर प्लाज़ा में वहन नहीं हो सकता है। इसलिए उनका वहन प्रोटीनों के साथ किया जाता है। ऐसे प्रोटीन संकुलों को लाइपोप्रोटीन कहते हैं। लाइपोप्रोटीन जल में मिश्रणीय होते हैं। वे मुख्यतः ट्राइऐसिलग्लिसरॉल, फॉस्फोलिपिडों के बने होते हैं। उनके कई प्रकार होते हैं, जैसे—काइलोमाइक्रॉन, अत्यल्प घनत्व लाइपोप्रोटीन (वी.एल.डी.एल.) अल्प घनत्व लाइपोप्रोटीन (एल.डी.एल.) और उच्च घनत्व लाइपोप्रोटीन (एच.डी.एन.)। इनमें से कुछ लाइपोप्रोटीनों का संघटन सारणी 3.3 में दिया गया है।

सारणी 3.3: कुछ लाइपोप्रोटीनों का स्रोत और संघटन

स्रोत	लाइपोप्रोटीन	अणुभार	घटकों का प्रतिशत (%)			
			प्रोटीन	फॉस्फोलिपिड	कोलेस्टेरॉल	ट्राइऐसिल ग्लिसरॉल (मुक्त + एस्टर)
रुधिर	काइलोमाइक्रॉन	$10^9-10^{10}$	2	7.5	10	80
सीरम	अत्यल्प घनत्व	$(5 \times 10) \times 10^6$	8	19	18	55
	अल्प घनत्व	$2 \times 10^6$	21	28	41	10
	उच्च घनत्व	$(1-4) \times 10^5$	58	25	12	6
	अंडा-पीतक	$\beta$ -लाइपो-विटेलिन	$4 \times 10^5$	78	12	1
दूध	अल्प घनत्व	$4 \times 10^5$	13	52	0	35

एच.डी.एल. का एपोलाइपोप्रोटीन की मात्रा 60% होती है जबकि काइलोमाइक्रॉन में उसकी मात्रा 2% होती है। एक विशिष्ट लाइपोप्रोटीन की सामान्य संरचना चित्र 3.2 में दी गई है।



चित्र 3.2: लाइपोप्रोटीन की सामान्य संरचना

काइलोमाइक्रॉन और वी.एल.डी.एल. का लिपिड क्रोड मुख्यतः अध्वीय ट्राइएसिल ग्लिसरॉल और कोलेस्टेरिल एस्टर का बना होता है जिसके चारों ओर फॉस्फोलिपिडों और कोलेस्टेरॉल अणुओं की एकल परत होती है। ऐमोलाइपोप्रोटीन या तो लिपिड क्रोड के पृष्ठ पर अथवा वह संकुल का अनिवार्य अंग होता है। लाइपोप्रोटीन लाइपेस नामक एन्जाइम की क्रिया द्वारा लाइपोप्रोटीनों से ऊतकों में मुक्त वसा अम्ल प्राप्त होते हैं। क्षुद्रांत में आहार वाले ट्राइग्लिसरॉल प्राप्त होते हैं जो मुक्त वसा अम्लों के साथ पायसीकृत रूप में अवशोषित होते हैं। ये ट्राइएसिलग्लिसरॉलों में पुनः परिवर्तित होकर काइलोमाइक्रॉन के अंग के रूप में यकृत में चले जाते हैं। यकृत में वे उच्च घनत्व वाले लाइपोप्रोटीनों में परिवर्तित हो जाते हैं। उसके बाद वे अतिरिक्त यकृत ऊतकों की कोशिकाओं में पाए जाने वाले विशिष्ट ग्राहियों द्वारा पहचाना जाता है। लाइपोप्रोटीनों के उत्पादन और उपयोगिता स्थूलों पर लिपिड उपापचयन संबंधी अनेक असामान्यताएं उत्पन्न होती है जिससे अनेक हाइपो अथवा हाइपरालाइपोप्रोटीनताएं (hyperlipoproteinomics) उत्पन्न हो जाती हैं। हाइपरकोलेस्टेरॉलता और ऐथिरोस्क्लेरोसिस दो ऐसे विकार हैं जो मनुष्यों में मिलते हैं।

**बोध प्रश्न 4**

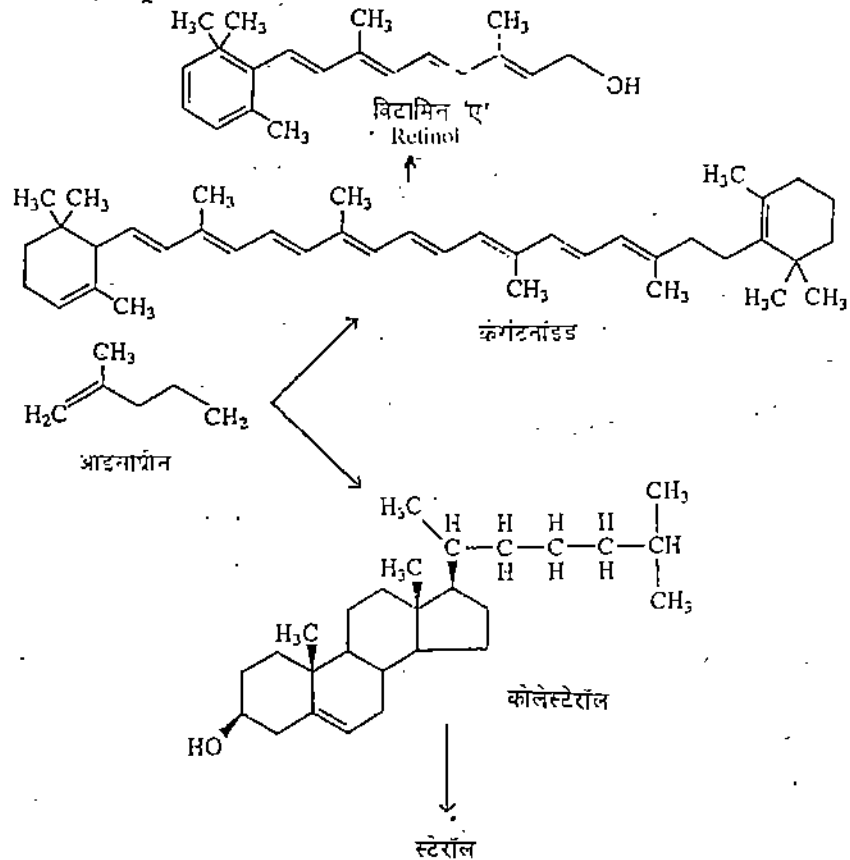
उस कथन पर (✓) चिह्न लगाइए जो लाइपोप्रोटीनों के कार्य को सही व्यक्त करता है।

- क) लिपिड विलयनीकरण ( )
- ख) लाइपोप्रोटीनों के घनत्व में वृद्धि ( )
- ग) लिपिडों का स्थायित्व ( )
- व) लिपिडों का वाहक ( )

अब हम व्युत्पन्न लिपिड वर्ग के कुछ सदस्यों का वर्णन करेंगे।

**3.3.7 टर्पिनॉइड**

टर्पिनॉइड (terpanoids) लिपिडों का अन्य बड़ा वर्ग है जो आइसोप्रेनॉइड इकाइयों (isoprenoid units) की पुनरावृत्ति से प्राप्त होते हैं। ये अणु आइसोप्रीन इकाइयों के संघनन से प्राप्त किए जाते हैं जिसे कैरोटिनॉइड (जिससे विटामिन-A से प्राप्त किया जाता है) और कोलेस्टेरॉल (जिससे अनेक स्टेरॉइड हार्मोन, पित्त अम्ल और विटामिन D प्राप्त होते हैं) आदि महत्वपूर्ण यौगिक उत्पन्न होते हैं।

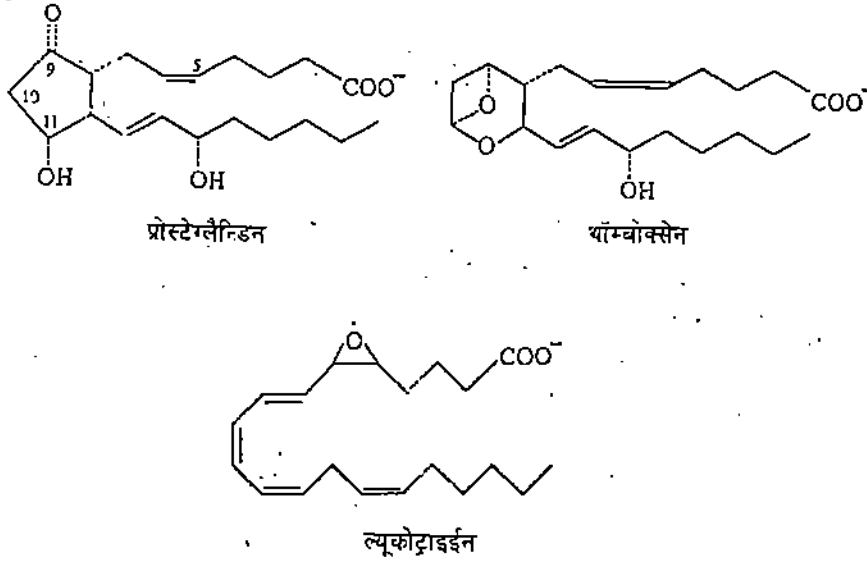


कोलेस्टेरॉल, शरीर की कोशिकाओं में पर्याप्त मात्रा में मिलता है और प्लाज्मा झिल्ली और प्लाज्मा लाइपोप्रोटीनों का प्रमुख घटक होता है।

जैसा कि पहले बताया जा चुका है, प्रोस्टेग्लैन्डिन व्युत्पन्न लिपिडों का एक वर्ग है। वे शरीर में होने वाले अनेक परिवर्तनों से रक्षा करते हैं। आइए, इन अणुओं का और अध्ययन करें।

### 3.3.8 प्रोस्टेग्लैन्डिन

पी.यू.एफ.ए. जिनका उपभाग 3.3.1 में वर्णन किया गया है, जन्तु और मानव पोषण के लिए आवश्यक होते हैं क्योंकि वे आइकोसेनॉइडों (eicosanoids) के पूर्ववर्ती होते हैं। इनके अंतर्गत प्रोस्टेग्लैन्डिन (prostaglandin) थ्रोम्बोक्सेन (thromboxanes) और ल्यूकोट्राईन (leukotriene) आते हैं। वे एंरिकडोनिक अम्ल से प्राप्त किए जाते हैं जिसमें चार द्वि-आबंध होते हैं। इन तीन आइकोसेनॉइडों की संरचनाएं नीचे दी गई हैं:



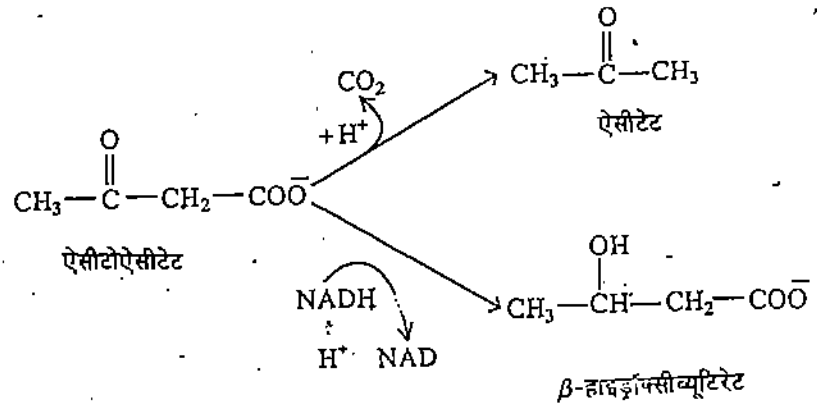
#### आइकोसेनॉइडों की संरचनाएं

प्रोस्टेग्लैन्डिनों का साइक्लोपेन्टेन वलय होता है। उन्हें यह नाम इसलिए दिया गया है कि उन्हें सबसे पहले प्रोस्टेट ग्रंथि के स्राव से प्राप्त किया गया था। वे सभी ऊतकों में पाए जाते हैं और स्थानीय हार्मोन की भांति कार्य करते हैं और महत्वपूर्ण शरीर क्रियात्मक और औषध (pharmacological) संबंधी प्रभाव डालते हैं। प्रोस्टेग्लैन्डिनों के कुछ महत्वपूर्ण कार्य हैं: रक्त चाप, रूधिर स्कंदन, जठर स्राव, गर्भाशय पेशियों के सकुलन और जनन आदि पर उनका प्रभाव। थ्रोम्बोक्सेनों को सबसे पहले पेट्टिकाणु (platelets) में खोजा गया था। उनमें छः सदस्यों वाला ईथर वलय होता है जिसे ऑक्सेन वलय कहते हैं। उन्हें प्रोस्टेग्लैन्डिनों से प्राप्त किया जाता है। उनका रूधिर वाहिकाओं की धमनी-भित्तियों पर शक्तिशाली प्रभाव पड़ता है और वे अनेक हृद्वाहिका विकारों में शामिल रहते हैं। ल्यूकोट्राईन, आइकोसेनॉइडों का तीसरा वर्ग है जिन्हें सबसे पहले ल्यूकोसाइडों में प्राप्त किया गया था। उनकी विशेषता यह है कि उनमें तीन संयुग्मित द्वि-आबंध होते हैं। ल्यूकोट्राईनों से संवहन पारगम्यता उत्पन्न हो जाती है। वे ल्यूकोसाइडों को आकर्षित और सक्रियित करते हैं और दमा आदि शोथ (Inflammatory) अभिक्रियाओं से संबंधित अनेक रोगों के लिए महत्वपूर्ण नियामक का काम करते हैं।

अंत में व्युत्पन्न लिपिडों के एक वर्ग का उल्लेख किया जाएगा जिन्हें कीटोन पदार्थ कहते हैं।

### 3.3.9 कीटोन पदार्थ

वसा अम्ल ऑक्सीकरण की उच्च दर से संबंधित भूख जैसी कुछ उपापचयी अवस्थाओं में यकृत द्वारा ऐसीटोऐसीटेट और  $\beta$ -हाइड्रॉक्सीब्यूटिरेट की पर्याप्त मात्रा उत्पन्न की जाती है। ऐसीटोऐसीटेट के विकाबॉक्सिलीकरण से ऐसीटोन प्राप्त होता है। इन पदार्थों का सामूहिक नाम कीटोन पदार्थ (ketone bodies) है।



### कीटोन पदार्थों का उत्पादन

कीटोन पदार्थों का उत्पादन भूख और मधुमेह का अभिलाक्षणिक होता है। रुधिर और मूत्र में कीटोन पदार्थों की सामान्य से अधिक मात्राओं की उपस्थिति से क्रमशः कीटोनरक्तता और कीटोनमेह रोग हो जाते हैं और इस संपूर्ण स्थिति की कीटोनमयता कहते हैं।

पिछले भाग में आपने विभिन्न प्रकार के लिपिडों के बारे में पढ़ा। अब जैव झिल्लियों के निर्माण में कुछ लिपिडों की भूमिका का अध्ययन किया जाएगा। इकाई 1 से आपको याद होगा कि झिल्लियां जिस स्थान को घेरती हैं, उसके रासायनिक पर्यावरण को नियंत्रित करती हैं। इस क्रिया में कुछ यौगिकों को बाहर रखती है और विशेष अणुओं का ही उससे होकर अभिगमन हो सकता है। झिल्लियों के रासायनिक संघटन से ही एक कोशिका और दूसरी कोशिका में भेद हो सकता है। इसके अलावा झिल्लियों अनेक हार्मोनों के लिए प्राप्ति होते हैं। आइए, अब झिल्लियों के बारे में अधिक जानकारी प्राप्त करें।

### बोध प्रश्न 5

I में दिए गए लिपिड कार्यों का II में दिए गए लिपिडों से मिलान कीजिए।

- | I                | II                   |
|------------------|----------------------|
| क) सुरक्षा       | क) आइसोप्रेनॉइड      |
| ख) पेशी संकुलन   | ख) ल्यूकोट्राईन      |
| ग) पूर्ववर्ती    | ग) प्रोस्टेग्लैन्डिन |
| घ) शोध-अनुक्रिया | घ) मोम               |

## 3.4 लिपिड और जैव झिल्लियां

इकाई 1 (भाग 1.5) से आपको स्मरण होगा कि सभी जीवित कोशिकाएं, प्लाज्मा झिल्ली के पृष्ठ से आवृत्त रहती हैं, जो मुख्यतः लिपिडों और प्रोटीनों के बने होते हैं। अपने विविध कार्यों के कारण प्लाज्मा झिल्ली, कोशिकायुक्त जैविकी में महत्वपूर्ण भूमिका अदा करती है। यहां तक कि माइटोकॉन्ड्रिया, केन्द्रक लाइसोसोम और क्लोरोप्लास्ट आदि कोशिकाएं भी झिल्लियों द्वारा घिरे रहते हैं। इस प्रकार झिल्लियां कोशिकाओं को पृथक्ता प्रदान करती हैं और उन्हें पर्यावरण से पृथक् करती हैं और कोशिका कार्यों का कोष्ठीकरण (compartimentalisation) करती है। आप झिल्लियों के संघटन, संरचना और कार्यों के बारे में अगले उपभाग में पढ़ेंगे।

### 3.4.1 जैव झिल्लियों का संघटन

जैसाकि पहले बताया जा चुका है, झिल्लियां मुख्यतः लिपिडों और प्रोटीनों की बनी होती हैं। यद्यपि अधिकांश झिल्लियों में प्रोटीनों और लिपिडों की मात्राएं बराबर होती हैं, किन्तु उनका अनुपात परिवर्तनीय होता है जो ऊतक और कोशिकांग पर निर्भर करता है। अनेक झिल्लियों के प्रोटीन और लिपिड संघटन सारणी 3.4 में दिए गए हैं।

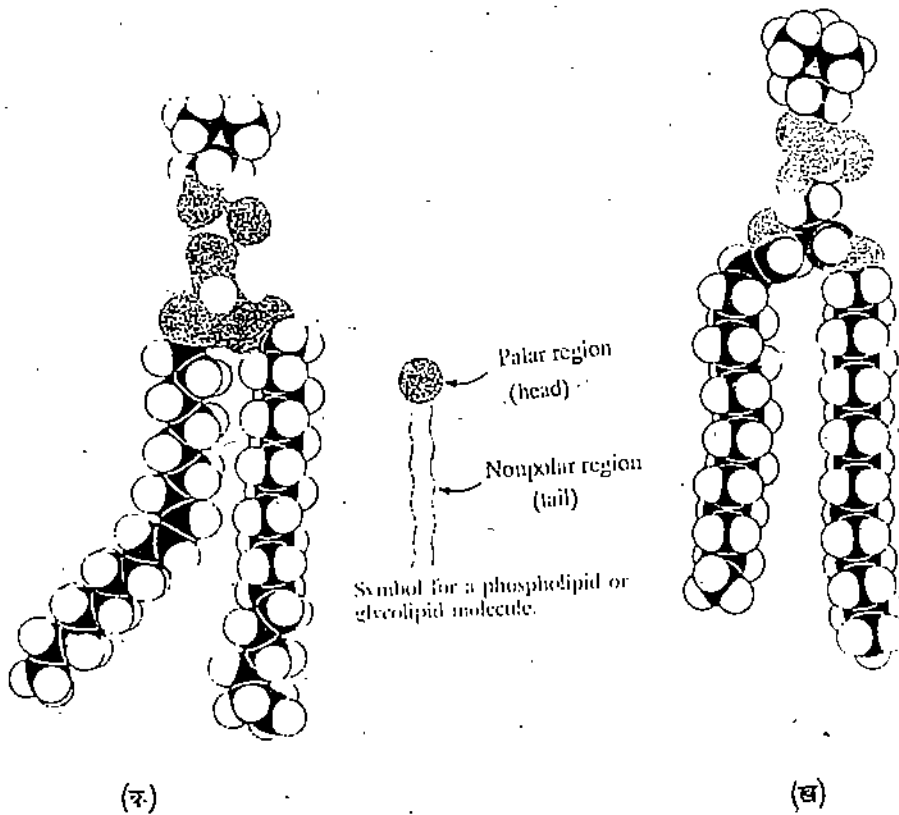
झिल्ली	% शुष्क भार प्रोटीन	लिपिड
माइलिन	18	79
मानव आर.बी.सी.	49	43
दृष्टि पटल छड़	51	49
माइटोकॉन्ड्रिया (बाह्य)	52	48
माइटोकॉन्ड्रिया (आंतरिक)	76	24
प्रेम घ्राही जीवाणु	76	25

ऐरिथ्रोसाइट और दृष्टिपटल छड़ झिल्लियों में प्रोटीन और लिपिड का अनुपात 1:1 है जबकि माइलिन पेशी कोशिकाओं के माइलिन झिल्लियों में 1:4 का अनुपात और आंतरिक माइटोकॉन्ड्रिया झिल्ली में 3:1 का अनुपात होता है। फास्फोलिपिड झिल्लियों में सबसे अधिक पाए जाने वाले लिपिड पदार्थ हैं। इनके अलावा उनमें कोलेस्टेरॉल और ग्लाइकोलिपिडों की सूक्ष्म संरचनाएं भी पाई जाती हैं। झिल्लियों के प्रमुख फास्फोलिपिडों के नाम हैं:

फास्फेटाइडिल कोलीन, फास्फेटाइडिल एथेनॉलएमीन, फास्फेटाइडिल सेरीन और स्फिंगोमाइलिन। कोलेस्टेरॉल केवल यूकैरियोटिक झिल्लियों में पाया जाता है और जीवाणु झिल्लियों में नहीं पाया जाता है। जहां झिल्लियों में अपेक्षाकृत लिपिडों के कम प्रकार पाए जाते हैं वहां अनेक भिन्न प्रकार के प्रोटीन उपस्थित रहते हैं। ये प्रोटीन मुख्यतः एंजाइमी, वहन, घ्राही और अन्य विशिष्ट कोशिका कार्यों में शामिल रहते हैं।

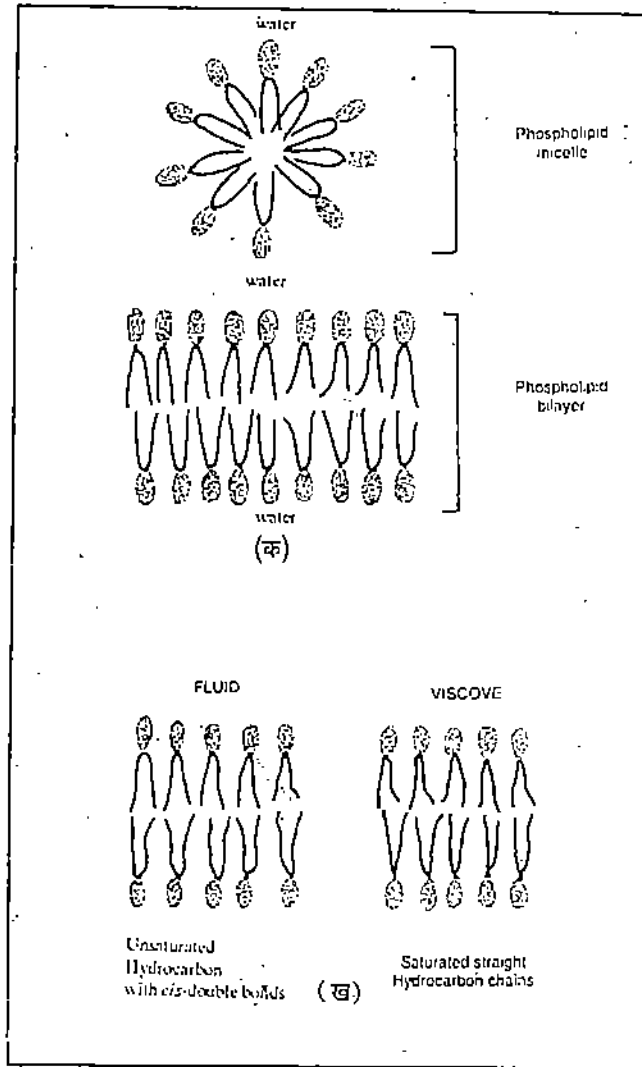
### 3.4.2 झिल्ली संरचना

इकाई 1 में झिल्ली संरचना (membrane structure) का संक्षिप्त उल्लेख किया गया है। इस उपभाग में आप झिल्ली संरचना के बारे में कुछ विस्तार से पढ़ेंगे। झिल्ली की संरचना का फास्फोलिपिडों के उभय संवेदी स्वभाव (amphipathic nature) के साथ घनिष्ठ संबंध होता है जो झिल्ली का प्रमुख घटक होते हैं। उभय संवेदी स्वभाव के कारण झिल्ली लिपिड जल-प्रावस्था में स्थायी संरचनाओं में संगठित हो जाते हैं।



चित्र 3.3 (क) फास्फेटाइडिल कोलीन अणु का स्थान प्ररक मॉडल  
(ख) स्फिंगोमाइलिन अणु का स्थान प्ररक मॉडल

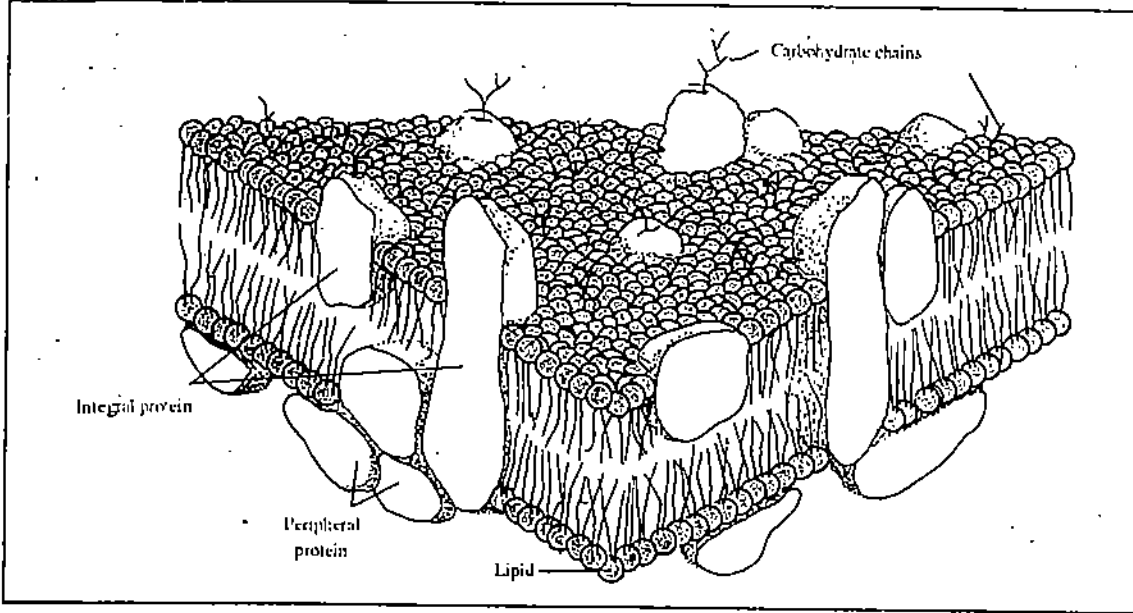
ध्रुवीय शीर्ष समूहों और अध्रुवीय पूंछों को ऊपर चित्र 3.3 की भांति निरूपित कर सकते हैं और इस लक्षण के कारण वे विशेष रूप से जमा होते हैं जैसाकि चित्र 3.4 में दिखाया गया है।



चित्र 3.4: (क) फास्फोलिपिड मिसेल और फास्फोलिपिड द्विपरत जिसे अनुप्रस्थ काट में दिखाया गया है फास्फोलिपिड अणु इस प्रकार की संरचनाएं जल में स्वतः बनाते हैं।

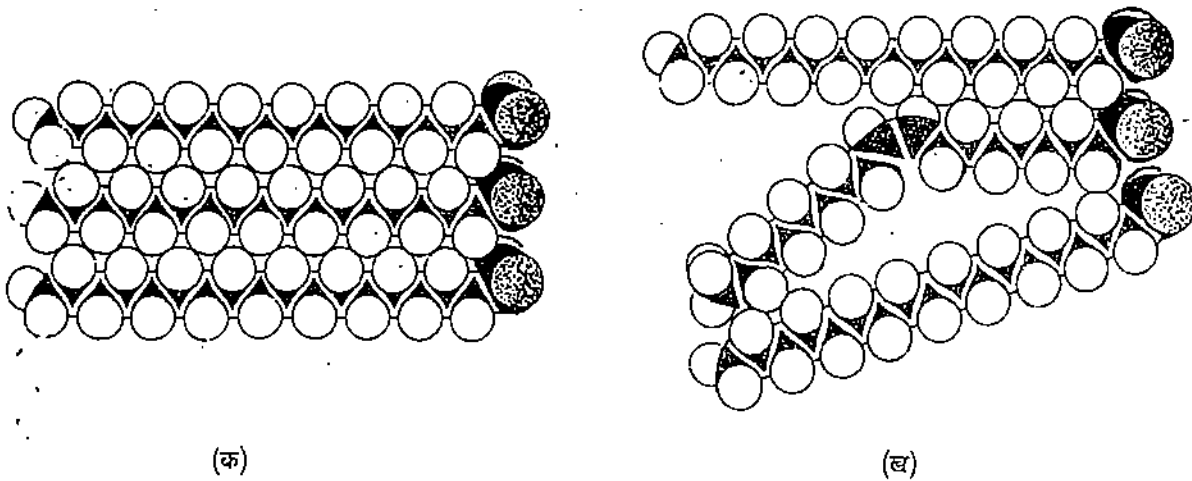
(ख) असंतुप्त हाइड्रोकार्बन शृंखलाओं में द्विआबंध, फास्फोलिपिड द्विपरत की तरलता को बढ़ा देते हैं क्योंकि ऐसे द्विआबंध शृंखलाओं के एक साथ पैक होने में कठिनाई उत्पन्न करते हैं।

मिसेल वह संरचना है जिसमें जल-विरोधी क्षेत्र जल से परिरक्षित रहते हैं जबकि जल-स्नेही ध्रुवीय समूह जलीय पर्यावरण में उद्भाषित (expose) रहते हैं। फास्फोलिपिड प्रायः "लिपिड द्विपरत बनाते हैं और जलीय पर्यावरण में उभय संवेदी आणुओं जन्मागतिक आवश्यकताओं को संतुष्ट करते हैं। गोरटर और गेन्डेल द्वारा लगभग 60 वर्ष पूर्व ज्ञात लिपिड द्विपरत, शीट के रूप में विद्यमान है जिसमें फास्फोलिपिडों के जल-विरोधी क्षेत्र की जलीय पर्यावरण से रक्षा की जाती है। जबकि जलरागी क्षेत्रों को जल में उद्भाषित किया जाता है। लिपिड द्विपरत झिल्ली में आवश्यक गुणधर्म उत्पन्न करती है जिसके कारण जल-विलेय अणुओं के प्रवेश में बाधा उत्पन्न होती है, क्योंकि वे द्विपरत के जल विरोधी क्रोड में अविलेय होते हैं। भाग 1.5 से आपको याद होगा कि झिल्ली के सबसे अधिक मान्य मॉडल को 1972 में एस.जे. सिंगर और जी.एल. निकलसन से प्रस्तुत किया था जिसे "तरल मोजेक मॉडल" कहते हैं। इस मॉडल के अनुसार झिल्लियां, अभिविन्यस्त प्रोटीनों और लिपिडों के द्विविम विलयन होते हैं। झिल्ली फास्फोलिपिड, द्विपरत में व्यवस्थित रहते हैं जिसमें प्रोटीन परिक्षिप्त रहते हैं। चित्र 1.5 (इकाई 1) और चित्र 3.5 में झिल्ली के मॉडल का आरेखी निरूपण दिखाया गया है।



चित्र 3.5: जीव झिल्लियों का तरल मोज़क मॉडल

झिल्ली, अर्धतरल संरचना होती है और भिन्न घटक केवल असहसंयोजी अन्योन्यक्रियाओं द्वारा संबद्ध रहते हैं। लिपिड और प्रोटीन अणु, संपूर्ण द्विपरत में पार्श्व गति उत्पन्न करने में मुक्त होते हैं। झिल्ली की तरलता का नियमन फ़ॉस्फोलिपिडों में मौजूद कोलेस्टेरॉल की मात्रा और असंतृप्त वसा अम्ल की मात्रा द्वारा होता है। असंतृप्त वसा अम्ल अवशोष, वसा अम्ल शृंखला के अत्यंत व्यवस्थित पैकिंग को भंग कर देते हैं जिससे उनकी तरलता बढ़ जाती है। इसे चित्र 3.6 में  $C_{18}$  संतृप्त और असंतृप्त वसा अम्लों के स्थान पूरक मॉडलों में स्पष्ट किया गया है।



चित्र 3.6: वसा अम्ल शृंखलाओं का अत्यंत व्यवस्थित पैकिंग, समपक्ष द्वि-आयनों की उपस्थिति से भंग हो जाता है। ये स्थान पूरक मॉडल (क) स्टिरेट ( $C_{18}$ , संतृप्त) के तीन अणुओं और (ख) स्टिरेट के दो अणुओं के बीच ओलिफेट के एक अणु ( $C_{18}$  असंतृप्त) की पैकिंग, प्रदर्शित करते हैं।



### 3.4.3 जैव झिल्लियों के कार्य

कोशिका झिल्ली, कोशिका से संबंधित अनेक कार्यों के लिए उत्तरदायी होती है। कुछ प्रमुख कार्य इस प्रकार हैं:

- क) कोशिका झिल्ली, कोशिकाओं और उनके पर्यावरण के बीच वरणात्मक रोध (selective barrier) बनाता है और कोशिका झिल्ली के आर-पार पदार्थ के प्रवेश और निर्गम को नियमित करता है। इस प्रकार वह आंतरिक पर्यावरण के रखरखाव के लिए उत्तरदायी होता है जिसका संघटन, बाहर से बिल्कुल भिन्न होता है। यह कार्य विशिष्ट वाहक प्रोटीनों और वाहक चैनलों द्वारा संपन्न होता है जो अणुओं के प्रवेश और निर्गम के लिए वरणात्मक द्वारों का काम करते हैं। कुछ पदार्थ निष्क्रिय विसरण (passive diffusion) द्वारा गमन करते हैं जबकि ग्लूकोस के समान अन्य अणु सरल विसरण द्वारा गमन करते हैं। इन क्रियाओं के लिए ऊर्जा की आवश्यकता नहीं होती है। अधिकांश जैव अणुओं का सान्द्रण प्रवणता के विरुद्ध सक्रिय संवहन द्वारा गमन होता है जैसाकि आंतों द्वारा ऐमीनो अम्लों के अवशोषण में होता है। इस क्रिया में ऊर्जा की आवश्यकता होती है।
- ख) कोशिका झिल्ली, कोशिका-कोशिका संचार और अभिज्ञान के लिए भी उत्तरदायी होती है। कोशिकापृष्ठ प्रोटीन ग्रहियों की भांति कार्य करते हैं जो हॉर्मोन आदि विशिष्ट अणुओं और अन्य द्वितीय प्रेषकों की पहचान करते हैं।
- ग) झिल्लियों विशिष्ट कार्य भी करती हैं। उदाहरण के लिए, माइटोकॉन्ड्रिया और क्लोरोप्लाट की झिल्लियां, ऊर्जापारक्रमण का काम करती हैं और दृष्टि पटल छड़ कोशिका झिल्ली प्रोटीन, प्रकाशग्राही का काम करते हैं।

#### बोध प्रश्न 6

निम्नलिखित कथनों में उपयुक्त संशोधन कीजिए और दिए गए स्थान में सही कथन लिखिए:

- क) लिपिड द्विपर में प्रोटीन मुक्त गतिशीलता प्रदर्शित करते हैं।

- ख) जल में मुक्त वसा अम्लों द्वारा लिपिड द्विपरत और मिसेल प्राप्त होते हैं।

- ग) अणुओं के अभिगमन के लिए झिल्लियों में विशिष्ट रंध होते हैं।

- घ) कोलेस्टेरॉल केवल जीवाणु-झिल्लियों में पाए जाते हैं।

### 3.5. सारांश

- लिपिड जलविरोधी जैव अणु हैं, जो जल में अविलेय और विभिन्न कार्बनिक विलायकों में विलेय होते हैं। उनके अंतर्गत वसा अम्ल, ऐसिलग्लिसरॉल, फ़ास्फोग्लिसराइड आइकोसेनॉइड और स्टेरॉल आते हैं।
- लिपिड महत्वपूर्ण आहार अवयव हैं और ऊर्जा के प्रमुख संचय रूप होते हैं क्योंकि उनका उच्च कैलोरी मान होता है। लिपिड सभी जैव झिल्लियों के प्रमुख और अनिवार्य घटक होते हैं।
- वसा अम्ल अधिकांश लिपिडों के अनिवार्य संरचना अवयव होते हैं और वे संतृप्त अथवा असंतृप्त होते हैं। अधिकांश वसाओं में सामान्यतया वसा अम्ल होते हैं जिनमें

कार्बन परमाणुओं की सम संख्या होती है। असंतृप्त वसा अम्लों का सदैव समपक्ष निर्यास होता है। बहु-असंतृप्त वसा अम्ल पोषण की दृष्टि से मनुष्यों और जन्तुओं के लिए अनिवार्य होते हैं। क्योंकि वे आइकोसेनॉइडों के पूर्ववर्ती होते हैं जो उच्च सक्रियता के जैव अणुओं का वर्ग है। प्रोस्टेग्लैन्डिनो, थ्राम्बोक्सेनो और ल्यूकोट्राईनों द्वारा निरूपित आइकोसेनॉइडों का विभिन्न ऊतकों पर बहुत प्रभाव पड़ता है।

- प्रकृति में पाए जाने वाले अधिकांश वसाएं और तेल भिन्न घटक वसा अम्लों वाले ट्राइऐसिलग्लिसरॉल होते हैं। लाइपेस द्वारा उनका ग्लिसरॉल और मुक्त वसा अम्लों में जल-अपघटन हो जाता है। झिल्लियों में पाए जाने वाले बहु-असंतृप्त वसा अम्ल (पी.यू.एफ.ए.) की लिपिड पर-ऑक्सीकरण की प्रवृत्ति होती है जिससे झिल्ली को क्षति हो जाती है।
- लिपिडों का प्लाज्मा में लाइपोप्रोटीनों के रूप में अभिगमन होता है जो प्रोटीन-लिपिड संकुल होते हैं। लाइपोप्रोटीनों का आमाप और संघटन भिन्न-भिन्न होता है और उनका वर्गीकरण चार भिन्न वर्गों में किया जाता है। संश्लेषण में खराबी से और विभिन्न लाइपोप्रोटीनों की उपयोगिता से ऐथिरोस्क्लेरोसिस और हाइपो अथवा हाइपर लाइपोप्रोटीन जैसे दोष उत्पन्न हो जाते हैं।
- फ़ास्फोलिपिड जैव झिल्लियों के सबसे अधिक महत्वपूर्ण लिपिड घटक होते हैं और उनके अभय संवेदी गुणों के कारण झिल्लियों के अधिकांश गुणधर्म उत्पन्न होते हैं। झिल्लियों का प्रोटीन घटक उन्हें पृथक्ता प्रदान करता है। अभिज्ञान क्रिया में वे महत्वपूर्ण कार्य करते हैं और विशिष्ट अभिगमन कार्य करते हैं। फ़ास्फोलिपिड मस्तिष्क आदि तंत्रिका ऊतकों में पर्याप्त मात्रा में पाए जाते हैं।
- कैरोटिनाइड, कोलेस्टेरॉल आदि व्युत्पन्न लिपिड, विटामिन और हॉर्मोन जैसे अनेक शरीरक्रियात्मकतः महत्वपूर्ण जैव अणुओं के प्रमुख पूर्ववर्ती होते हैं।

### 3.6 - अंत में कुछ प्रश्न

- 1) वसा की आयोडीन संख्या कम और साबुनीकरण संख्या अधिक होती है। इससे आप क्या निष्कर्ष निकालते हैं?
- 2) प्रकृति में पाए जाने वाले विभिन्न प्रकार के वसा अम्ल कौन से हैं?
- 3) प्लाज्मा में पाए जाने वाले विभिन्न प्रकार के लाइपोप्रोटीनों के नाम बताइए। उनकी क्रियात्मक भूमिका क्या है?
- 4) आइकोसेनॉइड क्या होते हैं और उनके शरीरक्रियात्मक क्रियाएं कौन-सी होती हैं?
- 5) स्फिन्गोलिपिड और फ़ास्फोलिपिड में अंतर बताइए।
- 6) तरल मोज़ेक मॉडल क्या है और वह झिल्ली पारगम्यता की व्याख्या कैसे करता है?
- 7) अनिवार्य वसा अम्ल कौन से हैं और वे अनिवार्य क्यों होते हैं?
- 8) वे कौन से अभिलक्षण हैं, जो झिल्ली की तरलता को प्रभावित करते हैं?
- 9) झिल्ली-प्रोटीनों के कुछ महत्वपूर्ण कार्य बताइए।

### 3.7 उत्तर

#### बोध प्रश्न

- 1) क) गलत      ख) सही      ग) सही      घ) गलत
- 2) ख)
- 3) क) पायसीकरण      ख) लाइपेस      ग) असंतृप्ति  
घ) परऑक्सीकरण
- 4) घ)

- 5) क) घ, ख) ग, ग) क, घ) ख  
 6) क) प्रोटीन, लिपिड-द्विपरत में पार्श्व गतिशीलता उत्पन्न करते हैं  
 ख) लिपिड-द्विपरत और मिसेल, फास्फोलिपिडों द्वारा बनते हैं।  
 ग) अणुओं के अभिगमन के लिए झिल्लियों में विशिष्ट वाहक प्रोटीन होते हैं।  
 घ) कोलेस्टेरॉल केवल यूकैरियोटिक झिल्लियों में पाया जाता है।

**अत में कुछ प्रश्न**

- 1) वसा की आयोडीन संख्या उसमें असंतृप्त की मात्रा बतलाती है। वसा की कम आयोडीन संख्या बतलाती है कि वसा में असंतृप्त वसा अम्ल की मात्रा कम है। उच्च साबुनीकरण संख्या यह बतलाती है कि वसा लघु शृंखला वसा अम्लों (कम अणुभार) का बना होता है। इस प्रकार वसा में प्रायः लघु शृंखला वसा अम्ल होते हैं जिसमें असंतृप्त की मात्रा कम होती है।
- 2) वसा अम्ल दो प्रकार के होते हैं—संतृप्त और असंतृप्त। प्रकृति में पाए जाने वाले अधिकांश वसा अम्लों में कार्बन परमाणुओं की संख्या 16—20 होती है किन्तु कभी-कभी लघु शृंखला वसा अम्ल भी पाए जाते हैं। प्रकृति में पाए जाने वाले असंतृप्त वसा अम्लों का सदैव समपक्ष विन्यास होता है और पी.यू.एफ.ए. प्रायः वनस्पति वसा में पाए जाते हैं। संतृप्त वसा अम्ल बहुधा जन्तु वसा में पाए जाते हैं।
- 3) प्लाज्मा लाइपोप्रोटीनों को उनके संघटन और घनत्व के आधार पर चार रूपों में पृथक किया जाता है। वे हैं—काइलोमाइक्रॉन, वी.एल.डी.एल., एल.डी.एल., और एच.डी.एल.। लाइपोप्रोटीन प्रमुख रूप है जिसमें लिपिडों का प्लाज्मा द्वारा ऊतकों में अभिगमन होता है। संकुल के प्रोटीन भाग (ऐपोलाइपोप्रोटीन) को ऊतक विशिष्ट ग्राहियों द्वारा पहचाना जाता है जिनमें उनका आगे उपयोग किया जाता है।
- 4) आइकोसेनाइड 20 कार्बन परमाणु वाले लिपिड होते हैं जो टेट्राइनाइक अम्ल और एरैकडोनिक अम्ल प्राप्त किए जाते हैं। उनमें प्रोस्टेग्लैन्डिन, थ्रॉम्बोक्सेन और ल्यूकोट्राईन आते हैं। उनका अनेक प्रकार से प्रभाव पड़ता है, जैसे—सरल पेशी संकुचन, हॉर्मोन प्रभावों की मध्यस्थता, रक्तचाप में वृद्धि, रूधिर स्कंदन और उत्तेजक अनुक्रिया आदि।
- 5) स्फिंगोलिपिड भी फास्फोलिपिड होते हैं केवल अंतर यह है कि स्फिंगोलिपिड में ऐल्कोहॉल के रूप में C<sub>18</sub> ऐमीनो ऐल्कोहॉल स्फिंगोसीन होता है जबकि फास्फोलिपिडों में ट्राइहाइड्रॉक्सी ऐल्कोहॉल ग्लिसरॉल से प्राप्त फास्फोग्लिसराइड भी शामिल रहते हैं। दोनों लिपिडों में फॉस्फेट समूह प्राथमिक ऐल्कोहॉल समूह में होता है। फास्फोलिपिडों में वसा अम्ल, ग्लिसरॉल के दो ऐल्कोहॉल समूहों में एस्टरीकृत होते हैं जबकि स्फिंगोलिपिडों में वे ऐमीनों आबंधों द्वारा स्फिंगोसीन के ऐमीनो समूह के साथ संलग्न रहते हैं।
- 6) जैव झिल्लियों का सिंगर और निकलसन मॉडल बतलाता है कि प्रोटीन फास्फोलिपिड द्विपरत में मौजूद के रूप में परिक्षिप्त रहते हैं। द्विपरत शीट का बाहरी भाग जलस्नेही होता है जबकि आंतरिक भाग जल विरोधी होता है जिससे जल विलेय अणु द्विपरत से मुक्त रूप से प्रवेश नहीं कर सकते हैं। लिपिड और प्रोटीन अणु, द्विपरत के तल में पार्श्व गति कर सकते हैं। झिल्ली में मौजूद विभिन्न प्रोटीन, अणुओं का सक्रिय और निष्क्रिय (सरलीकृत) दोनों प्रकार के अभिगमन कर सकते हैं।
- 7) अनिवार्य वसा अम्ल उन वसा अम्लों को कहते हैं, जिनमें एक अधिक द्वि-आबंध होते हैं और शरीर में उनका संश्लेषण नहीं सकता है। ऐरैकडोनिक अम्ल, लिनोलेनिक अम्ल और लिनोलीक अम्ल महत्वपूर्ण पॉलि असंतृप्त वसा अम्ल हैं जिनकी मनुष्यों और जन्तुओं को समुचित पोषण के लिए आवश्यकता होती है। वे आइकोसेनाइडों के पूर्ववर्ती होते हैं जो लिपिडों का महत्वपूर्ण वर्ग है।
- 8) झिल्ली तरलता पर लिपिड संघटन का और मुख्य रूप से झिल्लियों में मौजूद कोलेस्टेरॉल और असंतृप्त वसा अम्ल की मात्रा का प्रभाव पड़ता है। असंतृप्त वसा अम्लों में समपक्ष द्वि-आबंधों के कारण अणु में बंक उत्पन्न हो जाता है और द्विपरत में वसा अम्लों का अत्यंत व्यवस्थित पैकिंग बिगड़ जाता है जिससे तरलता बढ़ जाती है।
- 9) झिल्ली प्रोटीन परिधीय भी हो सकते हैं और समग्र भी। ये प्रोटीन, एन्जाइमी, ग्राही, अभिगमन, कोशिका संचार और ऊर्जा पारक्रमण आदि अनेक कार्य करते हैं।

## इकाई 4 न्यूक्लीइक अम्ल

### इकाई की रूपरेखा

- 4.1 प्रस्तावना  
उद्देश्य
- 4.2 न्यूक्लीइक अम्लों की जैविक भूमिका
- 4.3 न्यूक्लीइक अम्लों की संरचना  
न्यूक्लियोसाइड और न्यूक्लियोटाइड
- 4.4 राइबोन्यूक्लीइक अम्ल (RNA)  
राइबोसोमी (RNA (rRNA).  
दूत RNA (mRNA)  
अंतरण RNA (tRNA)
- 4.5 डिऑक्सीराइबोन्यूक्लीइक अम्ल (DNA)  
क्या है जो द्विकंडलिनी को आपस में बांधे रखता है?  
DNA विकृतीकरण गुणनाशन  
DNA का प्रतिकृति
- 4.6 RNA का संश्लेषण (अनुलेखन)
- 4.7 अनुवंशिक दोष
- 4.8 सारांश
- 4.9 अंत में कुछ प्रश्न
- 4.10 उत्तर

### 4.1 प्रस्तावना

हमने इकाई 3 में लिपिडों का वर्णन किया था ये जैव अणुओं (biomolecules) का वर्ग (class) है जिनके समूह मुख्य रूप से सामान्य विलेयता गुणों (solubility properties) के आधार पर बनाए गए हैं। उस इकाई में आपने लिपिडों की संरचना (structure) के बारे में भी सीखा। इस इकाई में हम एक और तरह के आवश्यक जैव-अणु का अध्ययन करेंगे जिसे न्यूक्लीइक अम्ल कहते हैं। पॉलिसैकेराइड की तरह ये अणु भी जैव बहुलक (biopolymers) हैं और जीवधारियों के महत्वपूर्ण घटक (components) हैं। इस इकाई में आपको न्यूक्लीइक अम्लों के जैविक (biological) महत्व के बारे में जानकारी मिलेगी। इसके अलावा आप न्यूक्लीइक अम्लों की किस्मों और DNA की कंडलिनीय (helical) संरचना के बारे में सीखेंगे। प्रोटीनों और पॉलिपेप्टाइडों के जैव संश्लेषण (biosynthesis) में न्यूक्लीइक अम्ल (RNA) एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। इकाई 5 में प्रोटीनों के अध्ययन के बारे में बताया जाएगा। ये जटिल जैव अणु हैं। कोशिका के ठोस द्रव्यमान (mass) का आधा भाग इन्हीं से बना है। पहले हम इनके संरचनात्मक संगठन का वर्णन करेंगे और उसके बाद आप जैव-उत्प्रेरकों (biocatalysts) के रूप में उनकी भूमिका के बारे में इकाई 6 में पढ़ेंगे।

### उद्देश्य

इस इकाई के अध्ययन के बाद आप:

- न्यूक्लीइक अम्लों के प्रकारों (functions) की व्याख्या कर सकेंगे,
- न्यूक्लीइक अम्लों की संरचना का वर्णन कर सकेंगे,

- राइबोन्यूक्लीइक अम्लों और डिऑक्सीराइबोन्यूक्लीइक अम्लों के बीच अंतर जान सकेंगे,
- विभिन्न प्रकार के RNAs की भूमिका का वर्णन कर सकेंगे, और
- DNA की द्विकंडलिनी (double helix) संरचना की व्याख्या कर सकेंगे।

## 4.2 न्यूक्लीइक अम्लों की जैविक भूमिका

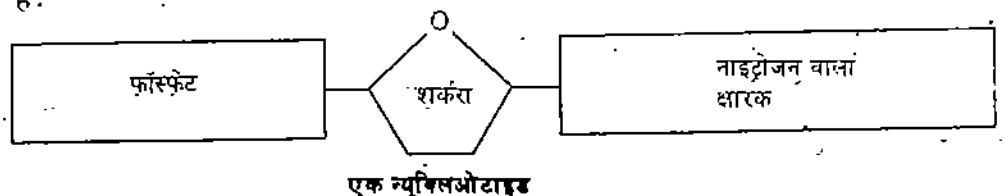
न्यूक्लीइक अम्ल बृहदणु (macromolecule) हैं जो जीवधारियों में या तो मुक्त अवस्था में अथवा प्रोटीनों के साथ मिलकर न्यूक्लिओप्रोटीनों के रूप में होते हैं। आपको इकाई 1 की यह बात याद होगी कि कोशिका के शुष्क भार का लगभग 7% इन न्यूक्लीइक अम्लों का बना होता है। आप कभी-कभी आश्चर्य करते होंगे कि मानव से मानव ही क्यों पैदा होता है या फिर छोड़े से घोड़ा ही क्योंकि जन्म लेता है और कोलाई से केवल ई. कोलाई ही क्यों बनते हैं? यह एक आम प्रश्न है कि अनुवांशिकता (heredity) के पीछे कौन से कारक (factors) हैं? इन सभी प्रश्नों की कुंजी एक प्रकार का न्यूक्लीइक अम्ल है जिसे डिऑक्सीराइबोन्यूक्लीइक अम्ल (DNA) कहते हैं। आपको स्मरण होगा कि DNA क्रोमोसोम (chromosomes) में मौजूद होता है और एक पीढ़ी से दूसरी पीढ़ी में जाता है। इसमें प्रत्येक पौधे या प्राणी के बारे में विशिष्ट जानकारी होती है और वस्तुतः यह जानकारी भी होती है कि जीवधारियों में हर कोशिका क्या कर सकती है। यही वजह है कि इसे कभी-कभी "जीवन की डोर" कहा जाता है।

हमें इस बात का भी आश्चर्य हो सकता है कि जीव (organism) में प्रोटीन अणु परिशुद्ध (precise) ऐमीनों अम्ल अनुक्रम (sequence) किस तरह बनता है जिससे कि यह शरीरक्रियात्मक रूप से (physiologically) सक्रिय बन सके। प्रत्येक जीव को प्रोटीनों की जरूरत पड़ती है और जीवधारियों में लगभग प्रत्येक अभिक्रिया (reaction) एन्जाइम से उत्प्रेरित (catalysed) होती है। एन्जाइम भी एक प्रोटीन है। एन्जाइम अपनी क्रिया में अत्यधिक विशिष्ट (specific) होती है, जनन (reproduction) के दौरान हर जीव अपनी संतति में एन्जाइमों के विशिष्ट समूचय (sets) पैदा करने की क्षमता का पारगमन (transmit) करता है। ये एन्जाइम उस जीव के लिए अद्वितीय यानी बेजोड़ होती है। यह जानकारी निर्मित एन्जाइमों के रूप में नहीं दी जाती बल्कि न्यूक्लीइक अम्लों पर जानकारी के रूप में कोडित (coded) होती है। ये अपनी चारी में ऐमीनों अम्लों से विभिन्न प्रोटीनों के संश्लेषण को प्रभावित और नियंत्रित करते हैं।

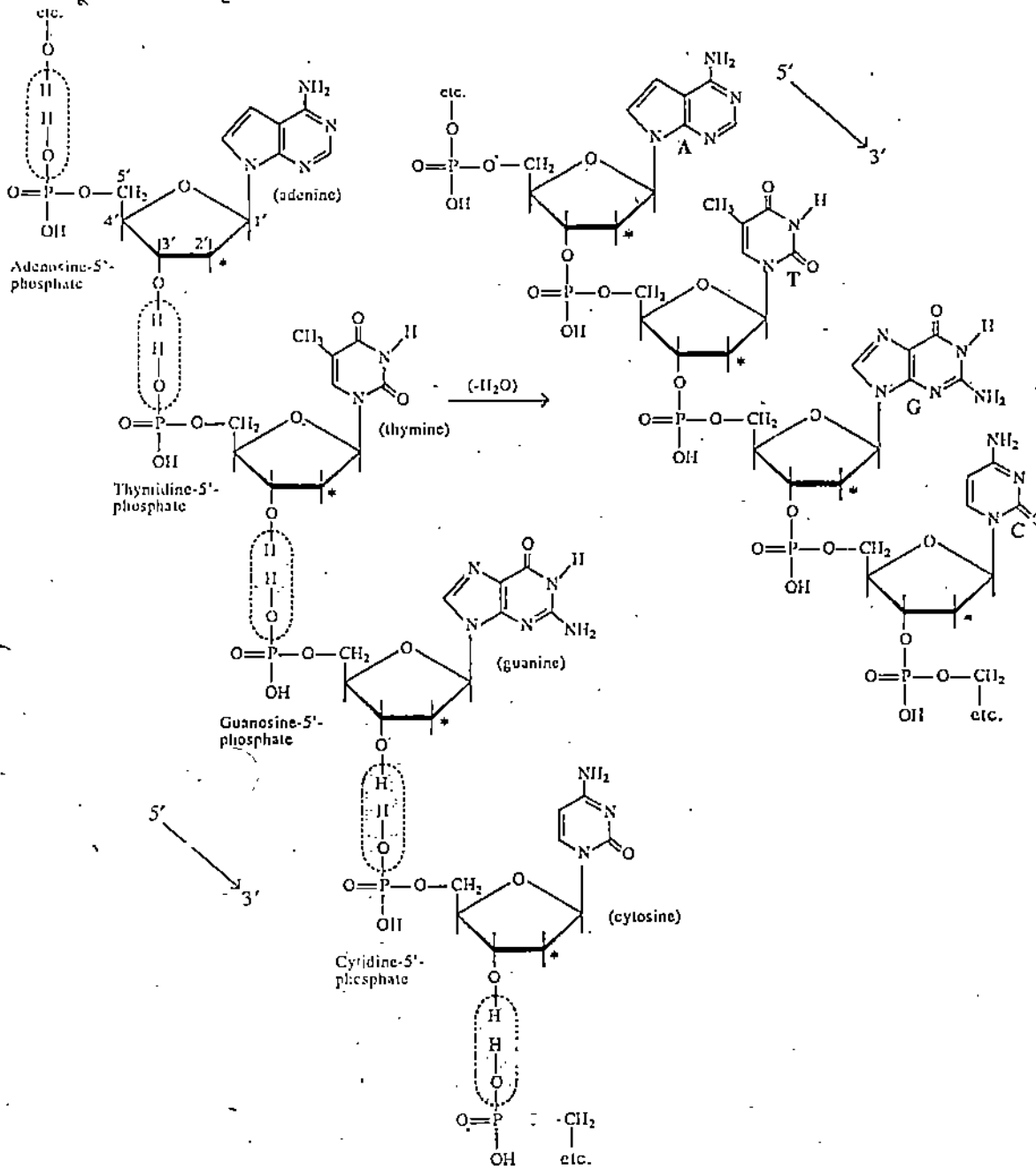
जैसा कि हमने पहले उल्लेख किया है, जीवधारियों में हर कोशिका में न्यूक्लीइक अम्ल होते हैं। कोशिका में ये मुख्यतः राइबोसोम और केन्द्रक (nucleus) में होते हैं। अगले भाग में हम इन महत्वपूर्ण जैव अणुओं की संरचना का वर्णन करेंगे। आप इन अणुओं में मौजूद विभिन्न संरचनात्मक यूनिटों के बारे में अध्ययन करेंगे। आप यह भी अध्ययन करेंगे कि किस तरह की बंधताएं (linkages) इन यूनिटों को आपस में बांध रखती हैं।

## 4.3 न्यूक्लीइक अम्लों की संरचना

न्यूक्लीइक अम्ल पॉलिन्यूक्लिओटाइड होते हैं अर्थात् वे न्यूक्लिओटाइडों की बहुलकित (polymerised) शृंखलाएं होते हैं। ये एक न्यूक्लिओटाइड की 5' स्थिति से लेकर संलग्न (adjacent) न्यूक्लिओटाइड की 3' स्थिति तक फॉस्फोडाइएस्टर बंधताओं द्वारा जुड़े रहते हैं। इस तरह न्यूक्लीइक अम्लों में पुनरावृत्त (repeated) 5' → 3' फॉस्फोडाइएस्टर आबंध (bonds) होते हैं जो अनेक एकलक (monomer) न्यूक्लिओटाइड यूनिटों को जोड़ते हैं। न्यूक्लिओटाइड, फॉस्फेट की एक, शर्करा की एक और विषमनक्रीय क्षारक (heterocyclic base) की एक एक यूनिट के बने होते हैं जैसा कि नीचे चित्रित किया गया है:

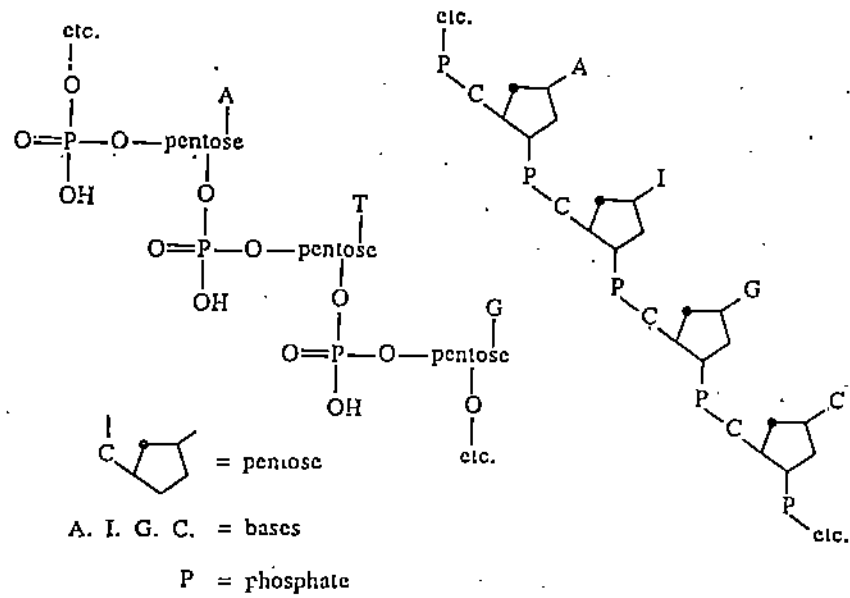


न्यूक्लिओटाइडों के बारे में आप उपभाग 4.3.1 में अध्ययन करेंगे। हमने चित्र 4.1 में एक पॉलिन्यूक्लिओटाइड श्रृंखला दर्शाई है।



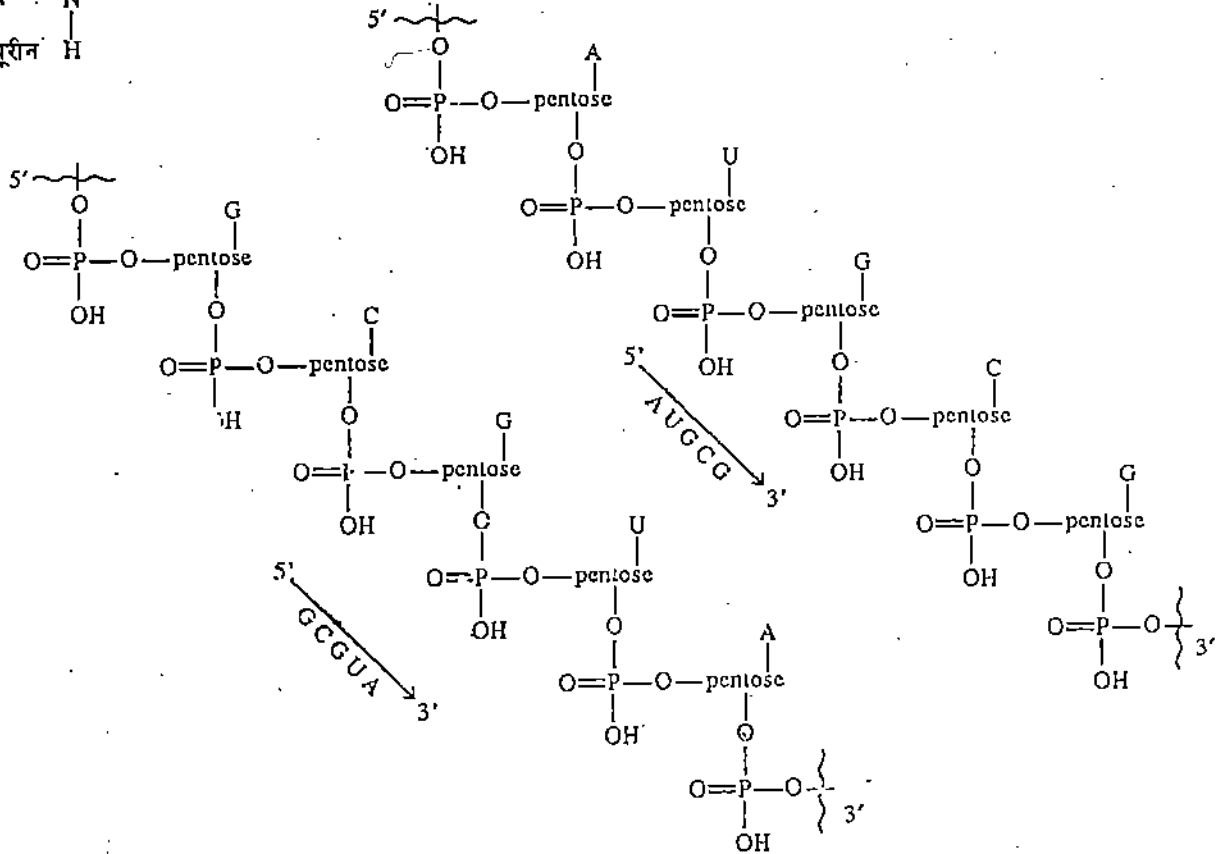
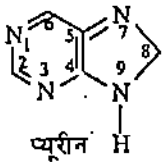
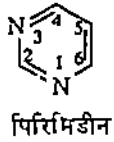
चित्र 4.1 एक न्यूक्लीडिक अम्ल श्रृंखला का अपने न्यूक्लिओटाइड एकलक से सम्बन्ध। बाहरी तरफ DNA रज्जुक (DNA strand) का एक छोटा भाग है। बाईं ओर इसके संघटन (constituent) न्यूक्लिओटाइड एकलक हैं। पेन्टोस यूनिटों पर तारक (asterisks) इन बलयों (rings) की 2' स्थिति को बताते हैं जहां अगर न्यूक्लीडिक अम्ल RNA हो तो दूसरा OH समूह भी होगा (यह मानते हुए कि यूरेसिल, थायमीन को भी प्रतिस्थापित कर देता है)। निर्देश 5' → 3' का यह अर्थ है कि पूर्ण रज्जुक में पहली पेन्टोस यूनिट के C-5' पर एक फॉस्फेट एस्टर समूह और दूसरे सिरे पर एक अ-एस्टरिफ़िकृत (unesterified) C-3' OH होगा। इसके अलावा क्षारकों का अनुक्रम 5' सिरे से 3' सिरे की ओर लिखा जाता है। इस तरह ऊपर दर्शाया गया अनुक्रम ATGC होगा न कि CGTA।

एकलक यूनिटों यानी न्यूक्लिओटाइडों के विन्यास के अध्ययन के बाद आप देखेंगे कि न्यूक्लीडिक अम्लों के रीढ़ (backbone) का पैटर्न एक के बाद एक फॉस्फेट और शर्करा यूनिटों है; यहां पर शर्करा पेन्टोस अणु है। यही पेन्टोस शर्करा है जो भिन्न नाइट्रोजनी (nitrogenous) क्षारकों से संलग्न रहती है। न्यूक्लीडिक अम्लों की विशिष्टता क्षारकों के अनुक्रम और रीढ़ की लम्बाई में होती है। रीढ़ तंत्र (system) को आपस में बांधे रखता है जबकि क्षारकों का अनुक्रम आनुवंशिक जानकारी ले जाता है। आपके लिए न्यूक्लीडिक अम्लों के अध्ययन को आसान और स्पष्ट बनाने के लिए हमने नीचे न्यूक्लीडिक अम्ल का एक खंड को सरल ढंग से निरूपित (represent) किया है।



न्यूक्लीइक अम्लों की संक्षिप्त (compact) संरचनाएं

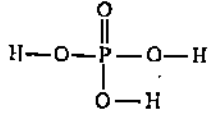
अब तक आप यह समझ ही गए होंगे कि एक बड़े और जटिल लगने वाले न्यूक्लीइक अणु को पॉलिन्यूक्लिओटाइड माना जा सकता है जहां एक न्यूक्लिओटाइड की 5' स्थिति और संलग्न न्यूक्लिओटाइड की 3' स्थिति के बीच एक फॉस्फोडाइएस्टर बंध बन जाता है। परम्परागत ढंग से न्यूक्लीइक अम्ल के अनुक्रम को लिखने की दिशा 5'—3' है जिसमें 5' टर्मिनस हमेशा ही बाईं ओर होता है। इस तरह पेन्टाराइबोन्यूक्लिओटाइड AUGCG का अर्थ यह है कि ऐडेनोसीन (A) 5' टर्मिनल है और ग्वानोसीन (G) 3' टर्मिनल है। यह स्पष्ट रूप से GCGUA से भिन्न है जैसा कि नीचे दिखाया गया है :



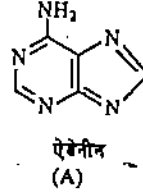
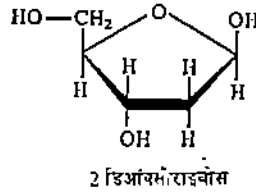
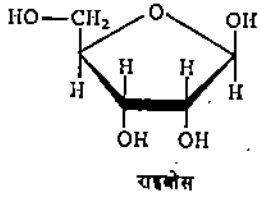
न्यूक्लीइक अम्ल रंगहीन खेस पदार्थ है। ये दो प्रकार के होते हैं: राइबोन्यूक्लीइक अम्ल (RNA) और डिऑक्सीराइबोन्यूक्लीइक अम्ल (DNA)। दोनों जैव बहुलकों (biopolymers) में पुनरावर्ती एकलक न्यूक्लिओटाइड यूनिट होती हैं, RNA और DNA में दोनों में ही एकलक यूनिटें पेन्टोस शर्करा, नाइट्रोजनी क्षारक यानी पिरीमिडीन या प्यूरिन और एक फॉस्फेट समूह की बनी होती हैं :

↓ H<sub>2</sub>O, उत्प्रेरक  
न्यूक्लिओटाइड (न्यूक्लीड अम्ल की एकलक यूनिटें)  
↓ H<sub>2</sub>O, उत्प्रेरक

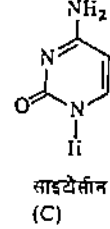
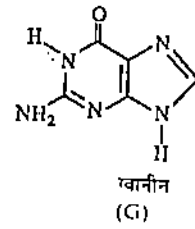
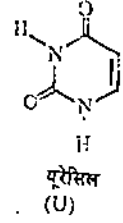
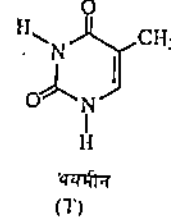
फॉस्फोरिक अम्ल



पेन्टोस शर्करा



नाइट्रोजनी क्षारक  
(विषमचक्रीय ऐमीन)



न्यूक्लीड अम्लों के संघटन

आप देखेंगे कि RNA और DNA में कुछ साझा संघटन है। ये हैं फॉस्फेट समूह, प्यूरिन क्षारक, जैसे कि ऐडेनीन (A) और ग्वानीन (G), और पिरिमिडीन क्षारक साइटोसीन (C)। फिर भी, RNA और DNA के बीच प्रमुख अंतर यह है कि RNA में पेन्टोस शर्करा, राइबोस होती है जबकि DNA में पेन्टोस शर्करा के रूप में 2-डिऑक्सीराइबोस होता है। इसके अतिरिक्त क्षारक यूरेसिल (U) केवल RNA में पाया जाता है और क्षारक थायमीन (T) केवल DNA में मौजूद होता है। RNA और DNA का वर्णन हम उपभाग 4.4 और 4.5 में विस्तारपूर्वक करेंगे। आइए पहले हम न्यूक्लिओटाइडों के बारे में और अध्ययन करते हैं।

परम्परा के रूप से पेन्टोसों के परमाणुओं (atoms) को नाइट्रोजनी क्षारक बनाने वाले परमाणुओं से पहचानने के लिए हैश या प्राइम से संख्यांकित किया जाता है।

### बोध प्रश्न 1

उपयुक्त कथन पर सही (✓) का निशान लगाइए: न्यूक्लीड अम्ल इसलिए महत्वपूर्ण होते हैं क्योंकि वे

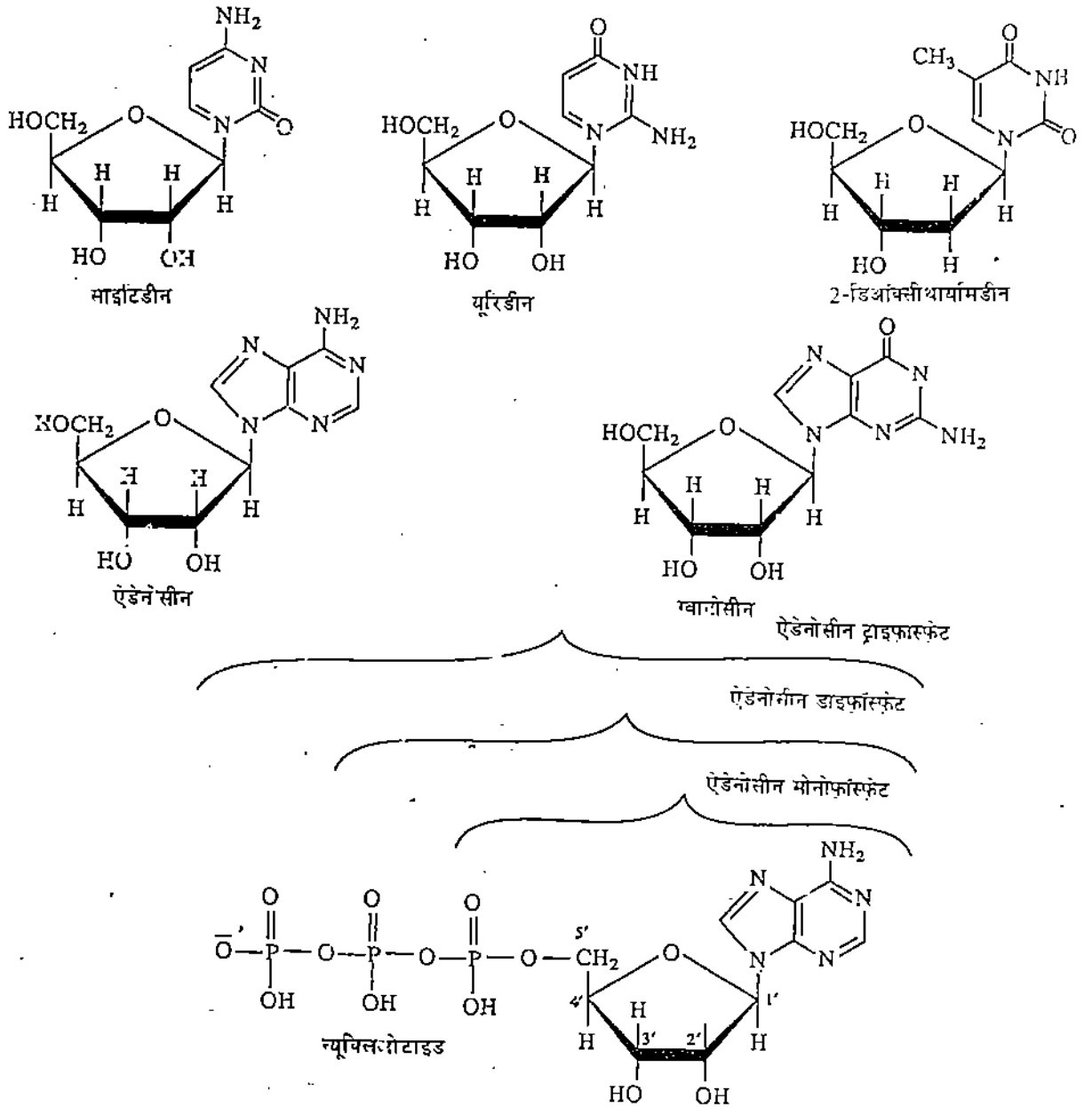
- क) जटिल और बड़े अणु हैं ( )  
ख) आयन विनिमय (ion exchange) में हिस्सा लेते हैं ( )  
ग) कोशिका को स्थायित्व देते हैं ( )  
घ) आनुवंशिक पदार्थ होते हैं ( )

### 4.3.1 न्यूक्लिओसाइड और न्यूक्लिओटाइड

जब किसी नाइट्रोजनी क्षारक को, भले ही वह प्यूरिन हो या पिरिमिडीन हो, किसी पेन्टोस शर्करा (राइबोस या डिऑक्सीराइबोस), से सहसंयोजकता (covalent) बंध कर दिया जाता है तो बनने वाला अणु न्यूक्लिओसाइड कहलाता है। न्यूक्लिओसाइड में बनने वाला आवंध C-1 यानी पेन्टोस शर्करा के 1 और या तो पिरिमिडीन क्षारक के N-1 अथवा प्यूरिन क्षारक के N-9 के बीच होता है। जो न्यूक्लिओसाइड बनता है उसका नाम प्रक्रिया में शामिल होने वाले पेन्टोस पर निर्भर करता है। यदि पेन्टोस राइबोस है तो बनने वाला न्यूक्लिओसाइड राइबोन्यूक्लिओसाइड कहलाता है और अगर डिऑक्सीराइबोस है डिऑक्सीराइबोन्यूक्लिओसाइड कहलाता है। ऐडेनोसीन, ग्वानोसीन, साइटोसीन और यूरैसीन सामान्य राइबोन्यूक्लिओसाइड हैं। इसी तरह डिऑक्सीराइबोन्यूक्लिओसाइडों के नाम हैं डिऑक्सीऐडेनोसीन (dA) डिऑक्सीथायमिडीन (dT) आदि।

जब फॉस्फेट समूह न्यूक्लिओसाइड से संलग्न हो जाता है तो बनने वाले अणु को न्यूक्लिओटाइड कहते हैं। फॉस्फोएस्टर बंधता बनने के लिए सबसे सामान्य स्थल (site) राइबोस या डिऑक्सीराइबोस अणु की 5' स्थिति (position) है।





GTP की रासायनिक संरचना आपको उपभाग 1.5.7 में देखने को मिलेगी।

पेन्टोस की C-5' स्थिति से एक या अधिकतम तीन फॉस्फेट समूह संलग्न किए जा सकते हैं जिसके फलस्वरूप मोनो-, डाइ-और ट्राइफॉस्फोन्यूक्लिओटाइड बन जाते हैं। पहला फॉस्फेट समूह एक एस्टर बंधता से संलग्न होता है लेकिन अगले दो फॉस्फेट समूह फॉस्फोएनहाइड्राइड (यानी पाइरोफॉस्फेट) बंधताओं द्वारा संलग्न रहते हैं। परिभाषा के अनुसार हालांकि न्यूक्लिओटाइड, न्यूक्लिओसाइड फॉस्फेट हैं लेकिन सामान्यतया कुछ दूसरे फॉस्फेट जैसे कि पाइरोफॉस्फेट, पॉलिफॉस्फेट और विषमचक्रीय क्षारकों के N-ग्लाइकोसाइडों के फॉस्फेट भी न्यूक्लिओटाइडों की परिभाषा में शामिल किए जाते हैं। न्यूक्लिओसाइड के पेन्टोस से फॉस्फोरिक अम्ल की संलग्नता राइबोस अणु में 2', 3' या 5' पर और डिऑक्सिराइबोस अणु में 3' या 5' पर हो सकती है। न्यूक्लीइक अम्लों के एन्जाइमी जल-अपघटन (enzymatic hydrolysis) से 3' या 5'-फॉस्फेट बनते हैं जो यह संकेत करता है कि इन यौगिकों (compounds) में फॉस्फेट बंध (link) निश्चय ही 3' और 5' स्थितियों पर होना चाहिए।

कोशिका में अनेक न्यूक्लिओटाइड मुक्त रूप में पाए जाते हैं। वे विविध प्रकार्य करते हैं। न्यूक्लीइक अम्लों की आधारभूत युनिटों की भूमिका के अलावा वे सह-एन्जाइम (coenzymes) के रूप में भी कार्य करते हैं। वे जैवसंश्लेषण अभिक्रियाओं (biosynthetic reactions) में भाग लेते हैं और ऊर्जा उनमोची (energy releasing) अभिक्रियाओं से ऊर्जा चाहने वाली अभिक्रियाओं को ऊर्जा ले जाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। एडेनोसीन ट्राइफॉस्फेट (ATP), ग्वानोसीन ट्राइफॉस्फेट (GTP) और यूरिडीन ट्राइफॉस्फेट (UTP) कुछ ऐसे न्यूक्लिओटाइड हैं जो ऊर्जा का वहन करते हैं।

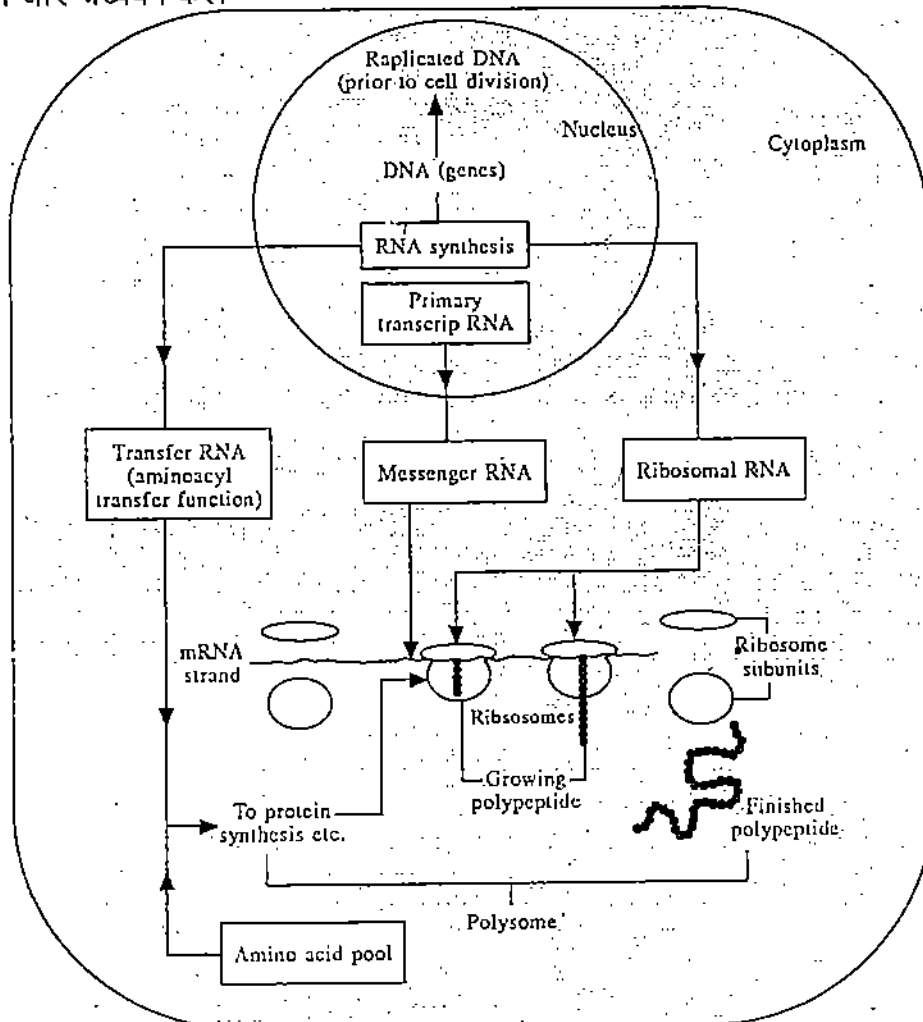
जो यौगिक न्यूक्लीडक अम्ल का संघटन नहीं है उस पर सही (✓) का निशान लगाइए।

- क) राइबोस ( )
- ख) नाइट्रोजनी क्षारक ( )
- ग) फॉस्फेट अवशिष्ट (residul) ( )
- घ) ऐमीनों अम्ल ( )

न्यूक्लियोटाइडों का वर्णन करने के बाद आइए अब हम RNA और DNA नाम दो न्यूक्लीडक अम्लों के बारे में विस्तार से चर्चा करें।

### 4.4 राइबोन्यूक्लीडक अम्ल (RNA)

जैसा कि हमने पहले बताया RNAs 5' → 3' फॉस्फोडाइएस्टर बंध वाले राइबोन्यूक्लियोटाइडों के बहुलक हैं। RNAs की संरचना लगभग हमेशा रेखीय (linear) होती है। RNA में मौजूद विषमचक्रीय नाइट्रोजनी क्षारकों के मोलीय अनुपात (molar proportion) यानी ऐडेनीन, ग्वानीन, यूरेसिल और सिस्टोसीन पर्याप्त रूप से विभिन्न होते हैं और जैसा कि पहले समझा गया था ये समोलीय (equimolar) नहीं हैं। कुछेक विषाणु (viral) RNA अणुओं को छोड़कर RNA में न्यूक्लीडक अम्ल का एक ही रज्जुक होता है। जीवित कोशिका में प्रोटीनों और पॉलिपेप्टाइडों का नियंत्रण DNA और RNA द्वारा होता है (चित्र 4.2) वस्तुतः RNAs सूचनात्मक अंतरण (informational transfer) के "विचोलिए" हैं। RNAs को तीन मुख्य श्रेणियों में बांटा गया है जो प्रोटीनों और पॉलिपेप्टाइडों के जैवसंश्लेषण में उनकी भूमिका पर निर्भर करता है। ये हैं राइबोसोमी (ribosomal) RNA (rRNA), दूत (messenger) RNA (mRNA) और अंतरण (transfer) RNA (tRNA)। आइए इन तीन तरह के राइबोन्यूक्लीडक अम्लों के बारे में और अध्ययन करें।



प्रोटीन संश्लेषण के बारे में आप इकाई 14 में अध्ययन करेंगे।

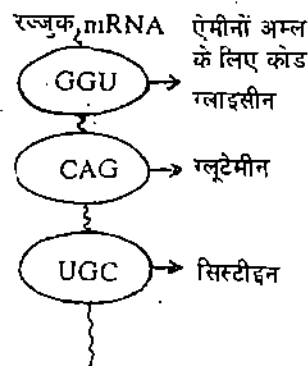
चित्र 4.2: केन्द्रीय (nuclear) DNA का विभिन्न RNAs से और पॉलिपेप्टाइडों के संश्लेषण से सम्बन्ध का आरेखीय निरूपण (diagrammatic representation)

### 4.4.1 राइबोसोमी RNA (rRNA)

RNAs में राइबोसोमी PNA सबसे ज्यादा पाए जाते हैं और कोशिका में राइबोसोमों में मौजूद होते हैं। कुल RNA का 66% राइबोसोमी RNA होते हैं जो उनकी महत्वपूर्ण संरचनात्मक भूमिका को उजागर करता है। ये राइबोसोम के अनिवार्य अंश हैं और राइबोसोमी प्रकार्य को छिन्न-भिन्न किए बिना इन्हें अलग नहीं किया जा सकता। rRNAs एकल रज्जुक (single strand) वाले होते हैं। G से C और A से U अनुपात असमान होता है जबकि DNAs में ऐसा नहीं है। उनमें क्षारक युग्म A: T और G: C बराबर अनुपात में होते हैं। फिर भी, क्षारक युग्मों के बीच हाइड्रोजन आबंध बनने के फलस्वरूप हेयर पिन किस्म के मोड़ बन जाते हैं (जैसाकि tRNAs में भी पाए जाते हैं) हाइड्रोजन आबंधन (hydrogen bonding) और rRNA की एकल रज्जुक प्रकृति का सामूहिक नतीजा यह होता है कि इसका अकार विशिष्ट/अनियमित त्रि-विम (three dimensional) हो जाता है। यही वह सही-सही कारण है जिसकी वजह से rRNA के मामले में X-किरण संरचना विश्लेषण और भी ज्यादा विकृत होता है। क्षारक अनुक्रमण (base sequencing) ही एकमात्र ऐसा तरीका है जिससे इसकी संरचना को खोजा जा सकता है। लेकिन बहुत लम्बी शृंखला (1520-3000 न्यूक्लिओटाइड) के कारण यह प्रक्रम (process) व्यवहार में लाया जाने वाला नहीं रहता। इन सब तथ्यों के बावजूद सूक्ष्मजीवविज्ञानी (microbiologist) rRNA संरचना के रहस्य के सुलझाने का प्रयास करते रहे हैं और कुछ एन्टामीबा कोलाई RNA शृंखलाओं के लिए अंतिम अनुक्रम ज्ञात हैं। लेकिन हमारे पास भी rRNA त्रिविम संरचना की कोई ठोस धारणा (idea) नहीं है। rRNA की सही-सही भूमिका मालूम नहीं है लेकिन पॉलिपेप्टाइड संश्लेषण के स्थल हैं और दूत RNA के साथ कामप्लेक्स बनाते हैं।

### 4.4.2 दूत RNA (mRNA)

प्रत्येक ऐमीनो अम्ल को कोड करने के लिए एक तीन क्षारक अनुक्रम की आवश्यकता है। mRNA पर यह तीन क्षारक अनुक्रम कोडॉन कहलाता है:

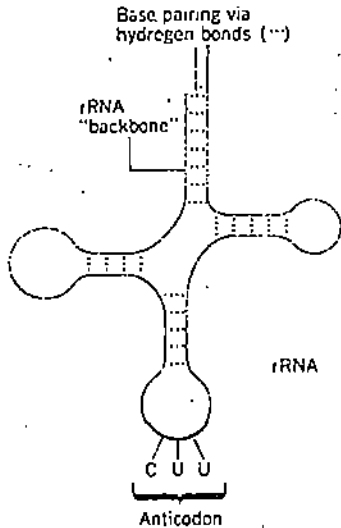


प्रत्येक tRNA एक ओरतीम तीन क्षारक अनुक्रम भी ले जाता है जो mRNA पर कोडॉन का पूरक होता है और प्रति कोडॉन (anticodon) के नाम से जाना जाता है।

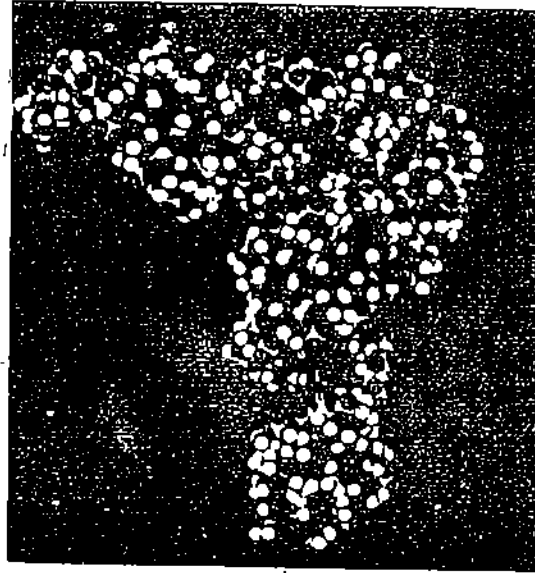
राइबोसोमी RNA की अपेक्षा दूत RNAs कहीं ज्यादा छोटे होते हैं और पॉलिपेप्टाइड संश्लेषण में सक्रिय RNA ये ही हैं। कोडित DNA से "संदेश" ले जाने के कारण इनका नाम दूत RNA पड़ा और ये पॉलिपेप्टाइडों के संश्लेषण का निर्देशन करते हैं; दूत RNA जीन का पूरक (complementary) है और इसमें क्षारकों का त्रिक (triplet) एक विशेष ऐमीनों अम्ल के लिए कोड है और काडॉन कहलाता है। mRNA की रीढ़ पर कोडॉन का अनुक्रम विशेष पॉलिपेप्टाइड के संश्लेषण का निर्देशन करता है; दूत RNAs की शृंखला-लम्बाई और आप्तिवक भार (molecular weight) में अत्यधिक अंतर होता है जैसा कि विभिन्न लम्बाई के विभिन्न पॉलिपेप्टाइडों की संख्या से और कोशिका द्वारा संश्लेषित आप्तिवक भार से पता चलता है। इन विभिन्नताओं (variations) का कारण अनुक्रम की असमान लम्बाई भी है जो किसी भी ऐमीनो अम्ल के लिए कोड नहीं करती लेकिन विशिष्ट प्रोटीनों के संश्लेषण का नियंत्रण करती हैं। अग्र अनुक्रम (leader sequences) वाले ये क्षारक अनुक्रम mRNA के 5' सिरे पर होते हैं। दूत RNA कोशिका में तेजी से निम्नीकृत (degraded) हो जाता है इसलिए जैसी भी और जब भी आवश्यकता पड़े ताजा आपूर्ति होनी जरूरी है। दूत RNA का संश्लेषण RNA पॉलिमरेस कहलाने वाली एन्जाइम द्वारा DNA से होता है और जीन (DNA अणु) से आनुवंशिक कोड (genetic code) mRNA पर अनुलेखित (transcribed) होता है। mRNA के संश्लेषण का यह प्रक्रम अनुलेखन (transcription) कहलाता है। हम भाग 4.6 में इसके बारे में संक्षिप्त चर्चा करेंगे।

### 4.4.3 अंतरण RNA (tRNA)

अंतरण RNA कोशिका में ऐमीनों अम्ल परिवहन तंत्र में भाग लेता है। यह तंत्र व्यक्ति (individual) ऐमीनो अम्ल को प्रोटीनों (पॉलिपेप्टाइडों) के संश्लेषण स्थल तक ले जाता है। ये छोटे अणु होते हैं। प्रत्येक अणु में 60-95 न्यूक्लिओटाइड होते हैं। ये एकल रज्जुक वाले होते हैं लेकिन tRNA में पूरक क्षारक युग्मन ऐडेनीन: यूरेसिल और ग्वानीन: साइटोसीन, इतना व्यापक होता है कि यह एक अद्वितीय क्लोवर-पत्ती जैसी संरचना बन जाती है (चित्र 4.3)

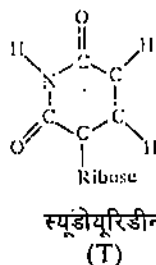
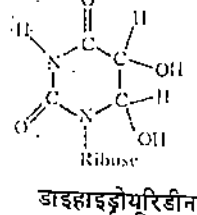
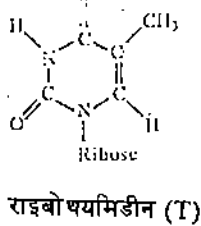
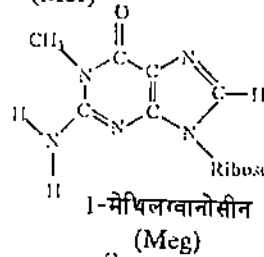
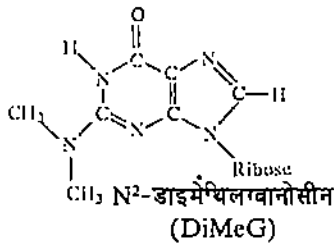
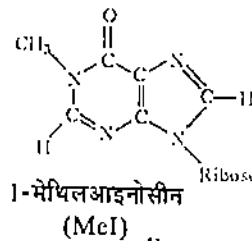
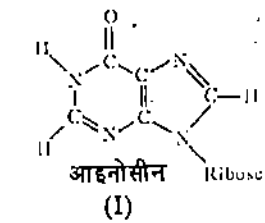


(क)



(ख)

चित्र 4.3: अंतरण RNA (tRNA) (क) एक अत्यधिक व्यवस्थात्मक निरूपण (schematic representation) है ताकि व्यापक क्षारक युग्मन के कारण द्वि-रज्जुक क्षेत्र की मौजूदगी स्पष्ट हो सके, (ख) फेनिल-एलानिन के लिए tRNA का मॉडल। इसका प्रतिकोडॉन क्षारक के सिरे पर होता है और स्थान जहाँ फेनिलएलानिल अवशिष्ट संलग्न हो सकता है वह है ऊपरी बायां स्थल ग्रह देखा गया कि सभी tRNA अणुओं के लिए आधारभूत त्रिविम विन्यास एक ही जैसा होता है। tRNA क्षारक अनुक्रम का सबसे असाधारण लक्षण असामान्य क्षारकों का होना है। असामान्य क्षारकों का अर्थ है A, G, C या U को छोड़कर अन्य क्षारक। ये असामान्य क्षारक नीचे दिखाए गए हैं।



ये असामान्य क्षारक वर्तमान पॉलिन्यूक्लिओटाइडों के एन्ज़ाइमी रूपांतरणों (modification) से बनते हैं। इन असामान्य क्षारकों की भूमिका को अभी तक पूरी तरह नहीं समझा गया है। इनमें से अनेक क्षारकों में, क्षारक पूरक क्षारक युग्म बनाने की क्षमता होती है। और ये tRNA की त्रिविम संरचना में विघटन पैदा कर सकते हैं। इस तरह वे कीटों (keto) और ऐमीनों समूहों को प्रकट कर देते हैं जोकि mRNA, राइबोसोमों या एन्ज़ाइमों से द्वितीयक (secondary) आबंध बनाते हैं।

किसी भी व्यक्ति को यह आश्चर्य हो सकता है कि tRNA किस प्रकार किसी विशेष ऐमीनों अम्ल को पॉलिपेप्टाइड संश्लेषण स्थल तक ला पाता है। वस्तुतः यह एक दुभाषिए के रूप में काम करता है जैसा कि अलग-अलग भाषा बोलने वाले दो व्यक्तियों के बीच एक दुभाषिए की आवश्यकता पड़ती है। दुभाषिया दोनों के बीच संप्रेषण (communicate) करता है और इस प्रकार उन्हें एक दूसरे को समझने योग्य बनाता है। tRNA दो "भाषाओं" से निबट सकता है ये हैं आनुवंशिक कोड और पॉलिपेप्टाइड में आनुवंशिक भाषा कोडॉन में अभिव्यक्त की जाती है और tRNA में क्षारकों का पूरक त्रिक होता है जिसे प्रतिकोडॉन कहते हैं (चित्र 4.3)। इसी की वजह से यह कोडॉन को पहचान सकता है। 3' छोर राइबोस यूनिट पर OH समूह वाले tRNA अणु का दूसरा भाग विशेष ऐमीनोएसिल यूनिट को एस्टर आबंध द्वारा संलग्न कर सकता है। इस तरह एक खास ऐमीनो अम्ल वाले अणु का पॉलिपेप्टाइड संश्लेषण स्थल पर mRNA के कोडॉन के साथ संरेखण (alignment) कर दिया जाता है। उस खास ऐमीनों अम्ल का निश्चय प्रतिकोडॉन करते हैं। यह सारा प्रक्रम स्थानांतरण (translation) कहलाता है। आपको इस बात का ध्यान रखना चाहिए कि कोडॉनों की अद्वितीय श्रेणियाँ (unique series) पॉलिपेप्टाइड शृंखला को ऐमीनो अम्ल अवशिष्ट के केवल उतने ही अद्वितीय अनुक्रम के साथ बढ़ने देती हैं क्योंकि कोडॉनों और प्रतिकोडॉनों के बीच होने वाला युग्मन केवल एक ही अनुक्रम होने दे सकता है।

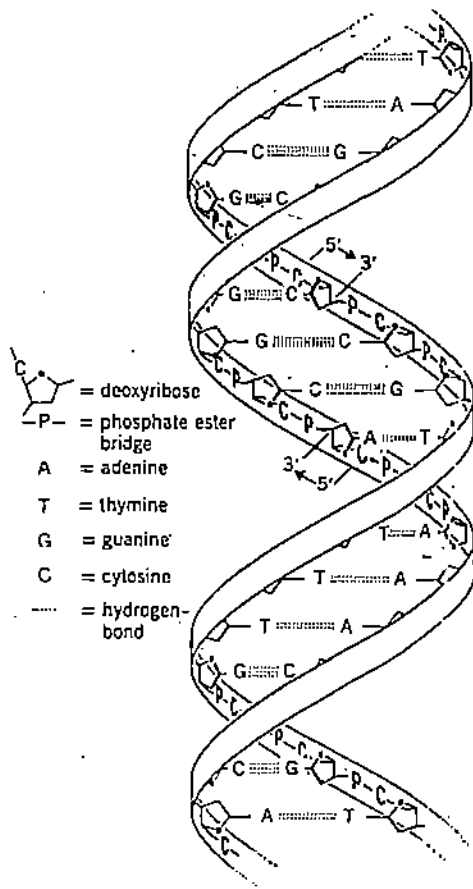
आइए अब हम DNA अणु का विस्तार से वर्णन करें।

## 4.5 डिऑक्सीराइबोन्यूक्लीडिक अम्ल (DNA)

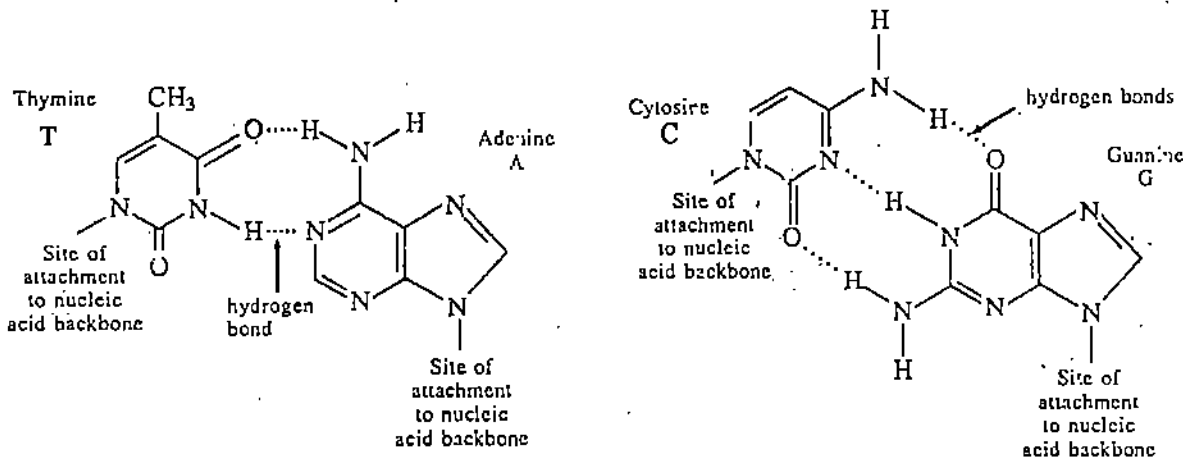
DNA क्या है? जैसा कि पहले बताया गया है, यह डिऑक्सीराइबोन्यूक्लिओटाइड का बहुलक है। इसकी संरचना RNA से मिलती जुलती है। अंतर यह है कि RNAs में फ्यूरेनोराइबोस की तुलना में पेन्टोस यूनिट 2'-डिऑक्सीफ्यूरेनोराइबोस है और चार नाइट्रोजनी क्षारक हैं ऐडेनीन (A), थायमीन (T), ग्वानीन (G) और साइटोसीन (C)। DNA में यूरैसिल की जगह थायमीन ले लेता है। DNA अनुवंशिकता की मूल यूनिट है।

DNA की सुस्पष्ट द्वितीयक संरचना होती है जिसमें दो स्वतंत्र पॉलि-डिऑक्सीराइबो-न्यूक्लिओटाइड रज्जुक होते हैं। ये दोनों एक साझा अक्ष (axis) के चारों ओर कुंडलित रहते हैं और हाइड्रोजन आबंधों से आपस में सम्बद्ध रहते हैं। DNA की यह संरचना 1953 में फ्रान्सिस क्रिक और जान्सन वाटसन ने प्रस्तावित की थी (क्रिक और वाटसन मॉडल के नाम से जानी जाती है)। इसमें दक्षिणावर्ती कुंडलिनी (right handed helix) में व्यावर्तित (twisted) दो पूरक tRNA रज्जुक होते हैं। प्यूरिन और पिरिमिडीन क्षारक तो कुंडलिनी की भीतरी और जबकि फॉस्फेट और डिऑक्सीराइबोस अर्धांश (moieties) बाहरी ओर होते हैं (चित्र 4.4)।

इस ओर ध्यान दीजिए कि सभी क्षारक विषमचक्रीय बलय हैं और उनकी तलीय (planar) संरचना है। उनके तल (planes) कुंडलिनी के अक्ष से लंब (perpendicular) होते हैं और डिऑक्सीराइबोस अणुओं के तल क्षारकों के तलों से लगभग समकोण (right angle) होते हैं। यह तंत्र एक सर्पिल सीढ़ी (spiral staircase) की तरह है जिसमें सर्पिल के लम्बे अक्ष से लंब स्टेप (steps) में हाइड्रोजन आबंधित (bonded) क्षारक युग्म होते हैं। युग्मों के बीच हाइड्रोजन आबंध लम्बे अक्ष के आस-पास केन्द्रित रहते हैं। पूरक रज्जुक का विचार इस खोज से अन्मा कि क्षारकों के युग्म जैसे कि A और T तथा G और C हमेशा ही 1:1 मोलीय अनुपात में होते हैं। इससे यह सुझाव मिला कि रज्जुकों के बीच A, T से युग्मित होता है और G, C से युग्मित होता है जैसा कि नीचे दिखाया गया है (चित्र 4.5):



चित्र 4.4: DNA द्वि कुंडलिनी का व्यवस्थात्मक निरूपण, सामान्य अक्ष के चारों ओर कुंडलित दो सर्पिल रज्जुक विपरीत या कहिए सम्मुख रज्जुकों पर क्षारकों के बीच हाइड्रोजन आबंधों द्वारा आपस में बंधे रहते हैं।



चित्र 4.5: क्षारक युग्मों के बीच हाइड्रोजन आबंधन (क) थयमीन (T) और ऐडेनीन (A) दो हाइड्रोजन आबंध से एक क्षारक युग्म बनाते हैं, (ख) साइटोसीन (C) और ग्वानीन (G) तीन हाइड्रोजन आबंधों से दूसरा क्षारक युग्म बनाते हैं, ऐडेनीन किस तरह थयमीन से क्षारक युग्म बनाती है उसी तरह से यूरेसिल (U) से भी बना सकती है

कुंडलिनी का व्यास 1.8 nm (या 18 Å) होता है। संलग्न क्षारक कुंडलिनी के साथ-साथ 0.34 nm (3.4 Å) द्वारा अलग कर दिए जाते हैं और 36 घूर्णित (rotated) हो जाते हैं। इस तरह कुंडलिनी संरचना प्रत्येक शृंखला या हर 3.4 nm (34 Å) पर दस न्यूक्लियोटाइड के बाद पुनरावृत्त होती है या कहिए दोहराई जाती है। DNA के एक्स-किरण विवर्तन (diffraction) आंकड़े दूसरे मॉडल से समझाए जा सकते हैं जिसमें संलग्न क्षारक युग्मों के बीच घूर्णन-कोण (angle of rotation) में थोड़े से समायोजन (adjustment) की जरूरत होती है। यह सिद्ध किया जा चुका है कि क्षारक युग्मों की संख्या प्रति वर्तन (turn) 10.4 होती है न कि 10 जैसा कि चिरसम्मत (classical)

B-मॉडल (वाटसन और क्रिक मॉडल) द्वारा बताया गया था। इस प्रेक्षण (observation) के कारण DNA द्वि-कुंडलिनी के लिए एकल संरचना का स्थान संरचनाओं के ऐसे कुलों (families) द्वारा ले लिया गया है जो प्रति वर्तन न्यूक्लियोसाइडों की संख्या में और संलग्न पुनरावर्ती यूनितों के बीच दूरी में कुछ विभिन्नताएं दर्शाते हैं।

तीन प्रकार के DNA अणुओं का पता है। ये हैं A, B और C रूप (सारणी 4.1)

सारणी 4.1: द्विकुंडलिनी के विभिन्न रूपों के अभिलक्षण

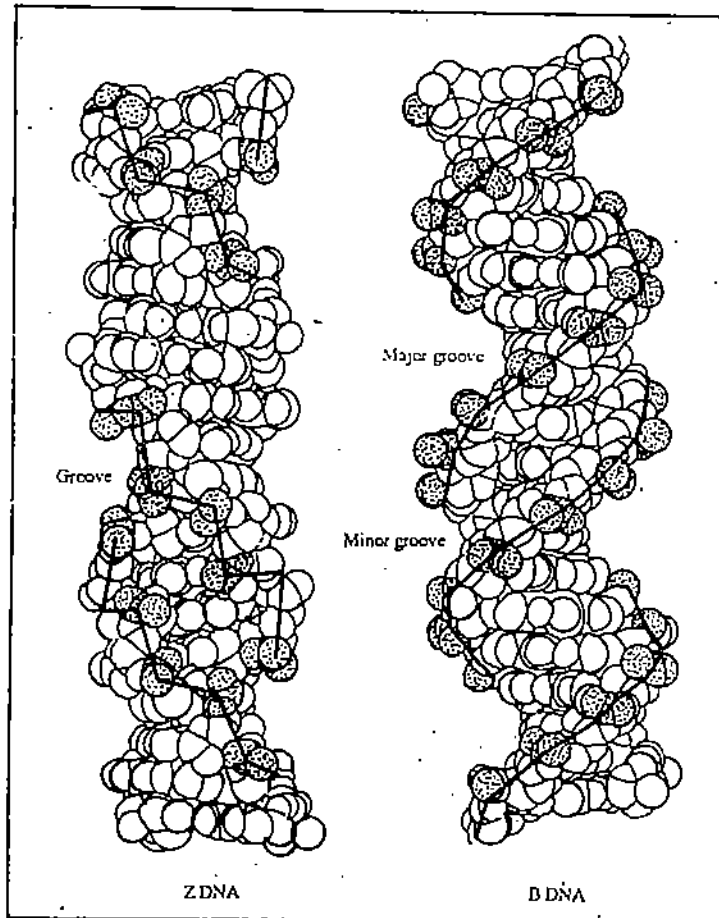
कुंडलिनी की किस्म	प्रति वर्तन क्षार युग्म	प्रति क्षारक युग्म घूर्णन (अंश)	प्रति क्षारक युग्म उर्ध्वाधर (vertical) लम्बाई (nm)	कुंडलिनी व्यास (diameter) (nm)
A	11	+ 32.7	0.256	2.3
B	10	+ 36.0	0.338	1.9
C	-9.33	+ 38.6	0.332	1.9
D	12	-30.0*	0.371	1.8

\* वामावर्त (left handed) कुंडलिनी के लिए ऋणात्मक (negative) घूर्णन

A-रूप में औसत से अधिक यानी 11 क्षारक युग्म होते हैं। क्षारक कुंडलिनीय अक्षों के लंब नहीं होते बल्कि नत यानी झुके हुए होते हैं। A-रूप संरूपण (conformation) में DNA-RNA संकर (hybrid) से मिलता जुलता है। यह रूप 75% आपेक्षिक आद्रता (relative humidity) पर दिखाई देता है और इसके लिए सोडियम, पोटेशियम या सीज़ियम (cesium) आयनों उपस्थित होनी चाहिए।

B-रूप प्रसिद्ध वाटसन और क्रिक मॉडल है। ऐसा समझा जाता है कि यही रूप जीवित कोशिकाओं में व्याप्त रहता है। इसे उच्च आपेक्षिक आद्रता (92%) और निम्न आयनी सांद्रण (strength) वाले विलयनों की जरूरत होती है।

C-रूप में B-DNA की अपेक्षा क्षारक युग्मों की संख्या कम होती है। यह 66% आपेक्षित आद्रता और लीथियम आयनों की उपस्थिति में पाया जाता है।



चित्र 4.6: B-DNA और Z-DNA, DNA विभिन्न विभिन्न द्विकुंडलिनी संरचनाएं प्रस्तुत करता है।

अन्य रूप भी पाए जाते हैं जैसे कि D-रूप और E-रूप जिनमें प्रति वर्तन क्रमशः 8 और 7.5 क्षारक युग्म होते हैं और ग्वानीन का अभाव होता है। Z-रूप सबसे ज्यादा दिलचस्प है क्योंकि केवल यही ऐसा रूप है जो कि दूसरों की तुलना में वामावर्त कुंडलिनी है। इसमें क्षारक युग्मों की संख्या प्रति वर्तन सबसे अधिक है। इसकी संरचना सबसे कम व्यावर्तित या कहिए कुंडलित होती है। यह रूप बहुत पतला होता है और शर्कराफॉस्फेट रीढ़ कुंडलिनी के साथ-साथ टेढ़े-मेढ़े रास्ते से चलता है (इसलिए इसका नाम Z-रूप पड़ा है) जबकि दूसरे DNA द्वि-कुंडलिनी रूपों में निष्कोण वक्र (smooth curve) होता है (चित्र 4.6)

द्विकुंडलिनी में दो खांचे (grooves) होते हैं—एक प्रमुख और एक गौण (चित्र 4.4 और 4.5)। ये प्रोटीनों के लिए बंधनी स्थल (binding sites) हैं, ये खांचे कुछ औषधों (drugs), प्रतिजैविकों (antibiotics), कैंसरजनो (carcinogens) और विषों के प्रारंभिक आण्विक पारस्परिक क्रियाओं (interactions) के स्थल भी हैं।

द्विकुंडलिनी के महत्वपूर्ण लक्षण निम्नलिखित हैं:

- दोनों शृंखलाएं विपरीत दिशाओं में चलती हैं यानी वे प्रतिसमांतर (antiparallel) होती हैं।
- क्षारक युग्मन की आवश्यकताओं के अनुसार कुंडलिनी के दोनों रज्जुक पूरक होते हैं। इस तरह, दोनों रज्जुकों के भिन्न-भिन्न क्षारक अनुक्रम हो सकते हैं लेकिन क्षारक युग्मन की विशिष्टता (specificity) के कारण एक का क्षारक अनुक्रम दूसरे रज्जुक के अनुक्रम को सही-सही निर्धारित करता है।
- ऐडेनीन हमेशा ग्वानीन से और ग्वानीन साइटोसीन से युग्मन करती है।

### बोध प्रश्न 3

निम्नलिखित कथन में दी गई खाली जगहों को उपयुक्त शब्दों से भरिए:

न्यूक्लीइक अम्ल जिन क्षारकों से बनता है उनकी संख्या ..... है और RNA का क्षारक अभिलक्षण जो DNA में नहीं पाया जाता वह है .....

### 4.5.1 क्या है जो द्विकुंडलिनी को आपस में बांधे रखता है?

द्विकुंडलिनी के दो रज्जुकों के क्षारक अनुक्रमों के बीच अद्वितीय सम्बन्ध के लिए क्षारक युग्म A:T और G:C के बीच विशिष्ट हाइड्रोजन आबंधन उत्तरदायी है। लेकिन द्विकुंडलिनीय संरचना के स्थायित्व (stability) में इसका योगदान मामूली होता है। इसका प्रमुख कारण कुंडलिनी के अन्तर्गत (interior) में क्षारकों को एक के ऊपर एक ढरके रखे जाने पर उनकी पारस्परिक क्रिया है। ध्यान दीजिए कि ये सभी क्षारक ऐरोमैटिक विषमचक्रीय यौगिक होते हैं। जल में इनकी सीमित विलेयता (solubility) यानी घुलनशीलता होती है और इनकी एक दूसरे से पारस्परिक क्रिया करने की प्रबल प्रवृत्ति होती है। DNA द्विकुंडलिनीय संरचना में ये क्षारक एक दूसरे की चोटी पर राशिकृत (stacked) होते हैं। इनको आपस में बांधे रखने वाले बलों को कभी-कभी जलविरागी (hydrophobic) पारस्परिक क्रियाएँ (interactions) कहा जाता है। ये अभिक्रियाएँ जैवकला (biomembrane) लिपिड द्विपरतों (bilayers) के स्वतः निर्माण (इकाई 3, उपभाग 3.4.2) और प्रोटीनों को अद्वितीय संरचनाएँ प्रदान करने के लिए (इकाई 5, उपभाग 5.4.3) उत्तरदायी जलविरागी पारस्परिकक्रियाओं के समान तो हो सकती है लेकिन पूरी तरह से समरूप (identical) नहीं होते। इसलिए इन्हें "चितिकरण पारस्परिकक्रियाओं" ("stacking interactions") के नाम से पुकारना अधिक सामान्य है।

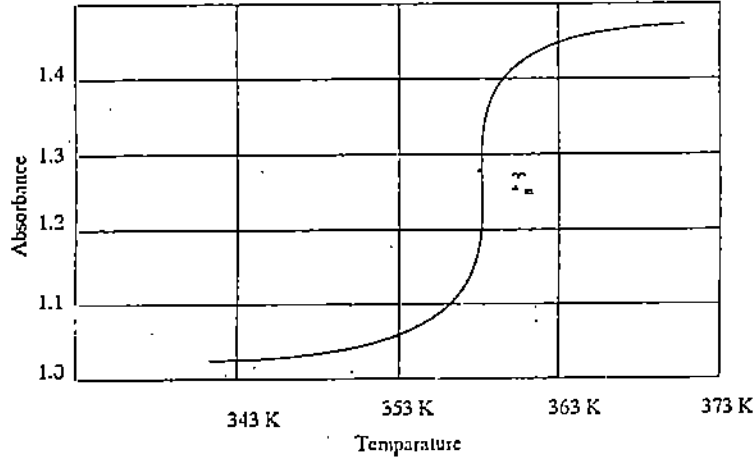
प्रोटीनों की तरह DNA की द्वितीयक संरचना (द्विकुंडलिनी) गरम किए जाने पर विघटित हो जाती है। आइए अब इस संरचना पर ताप के प्रभाव का अध्ययन करते हैं।

### 4.5.2 DNA विकृतिकरण गुणाशन

एक विशिष्ट ताप (temperature) से ज्यादा गरम करने पर DNA की द्विकुंडलिनीय संरचना समाप्त हो जाती है दोनों रज्जुक अलग हो जाते हैं (विकृतिकरण—denaturation)। इसके बाद अनेक भौतिक गुणों (physical properties) में परिवर्तन होते हैं जैसे कि श्यानता (viscosity) में तेजी से कमी और पराबैंगनी क्षेत्र

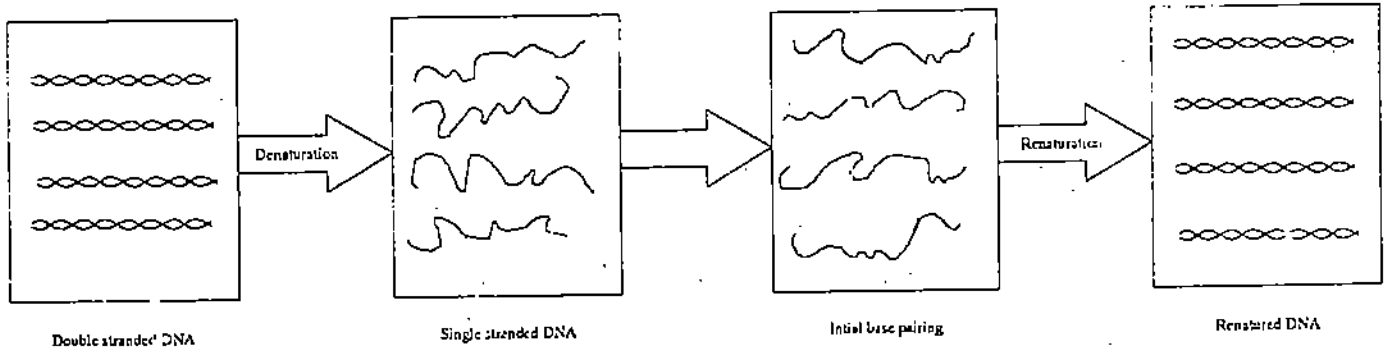


(ultraviolet region) में प्रकाश अवशोषणांक (light absorbance) में बढ़ोत्तरी होती है। विकृतीकरण की प्रगति को इन गुणों में से किसी की भी सहायता से मॉनिटर किया जा सकता है। इस काम के लिए UV अवशोषणांक में वृद्धि (हाइपरक्रोमिसिटी) सबसे ज्यादा प्रयोग में लाई जाती है। DNA निर्मित (preparation) के अवशोषणांक पर ताप का प्रभाव चित्र 4.7 में दिखाया गया है। ताप परिसर (range) के मध्य-बिन्दु (mid-point) जिस पर परिवर्तन होता है गलन ताप (melting temperature) कहलाता है और  $T_m$  द्वारा दर्शाया जाता है।



चित्र 4.7: DNA का विकृतीकरण, जिसके बाद प्रकाशित घनत्व (optical density) में वृद्धि होती है,  $T_m$  द्वारा वर्णित किया जाता है

अगर विलयन को बहुत शीघ्रता से ठंडा किया जाए तो दोनों रज्जुक अलग ही रहते हैं। लेकिन अगर धीरे-धीरे ठंडा किया जाता है तो दो रज्जुक प्रायः संयुक्त होकर मूल द्विकुंडलिनी संरचना बनाते हैं। यह प्रक्रम पुनः प्रकृतीकरण (renaturation) कहलाता है (चित्र 4.8)। कभी-कभी बहुत ज्यादा pH से भी विकृतीकरण हो जाता है।



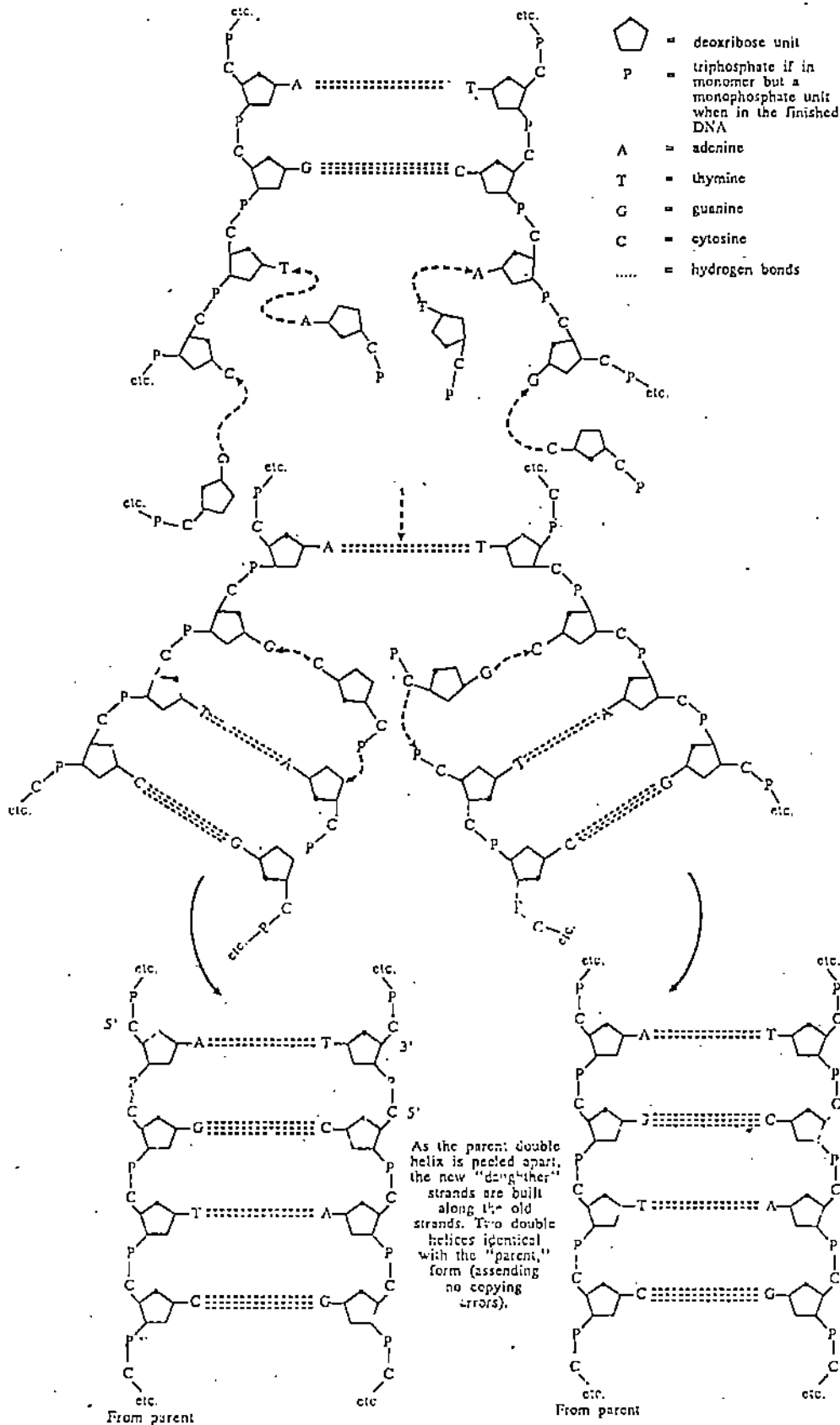
चित्र 4.8: DNA के विकृतिकृत एकल रज्जुक, द्विरज्जुक रूप में पुनःप्रकृतिकृत हो सकते हैं

अगले उपभाग में हम DNA अणुओं के प्रतिकृतीकरण (replication) का संक्षेप में अध्ययन करेंगे।

### 4.5.3 DNA का प्रतिकृति

जीव के पूरे जीवन काल में कोशिका विभाजन होता रहता है। कोशिका विभाजन के दौरान नई सतित कोशिकाएं (daughter cells) बनती रहती हैं जिनमें DNA का पूरक होता है। यह पूरक मात्रा (amount) और संरचना में, विशेषतया क्षारक अनुक्रम क्षारक अनुक्रम के संदर्भ में पैतृक कोशिका (parent cell) के समरूप होता है। इसलिए सदा बनते रहने वाली नई कोशिकाओं की मांग पूरा करने के लिए DNA का बनना एक सतत प्रक्रम है।

इस आवश्यकता की पूर्ति DNA प्रतिकृति (DNA replication) नामक प्रक्रम से होती है। इस प्रक्रम में प्रारंभन DNA के अस्थायीकरण (destabilisation) से होता है जिसके बाद द्विकुंडलिनी के अनुदैर्घ्यतः (longitudinally) विकुंडलन (unwinding) या कहिए खुलने से होता है। उसके बाद विपाटित (split) रज्जुक DNA पॉलिमरेस एन्जाइम के लिए टेम्प्लेटों के रूप में काम करते हैं जो डिऑक्सीराइबोन्यूक्लिओटाइड-5'-ट्राइफॉस्फेट (dATP, dCTP, dGTP और dTTP) को साथ-साथ संघनित (condense) करते हैं।



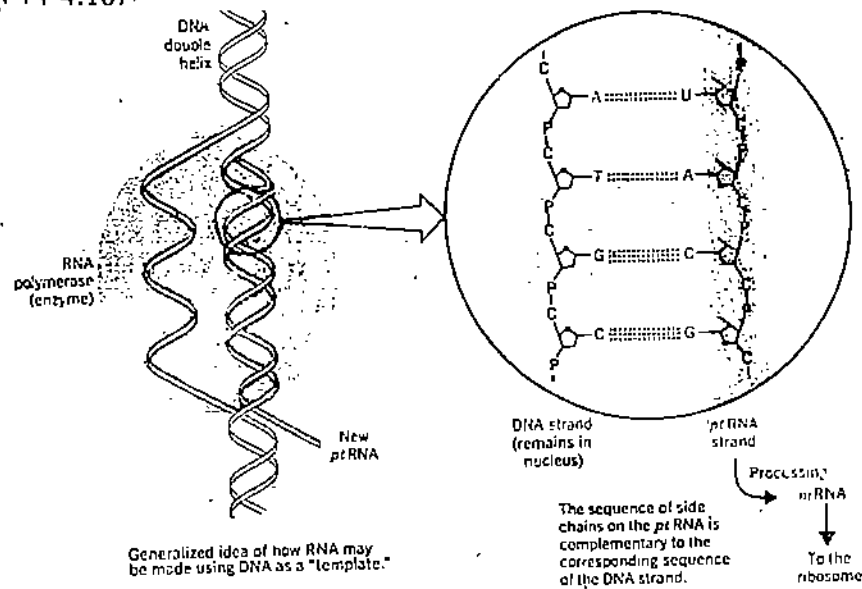
चित्र 4.9: DNA का प्रतिकृति सबसे नीचे दिखाए गए दो नए रज्जुक, शीर्ष पर दिखाए गए मूल रज्जुक की प्रतिकृतियां (replicas) हैं।

धारक 5' → 3' दिशा में निविष्ट (inserted) कर दिए जाते हैं जाते हैं, दो उच्च ऊर्जा फास्फोडाइएस्टर आबंध काम में ले लिए जाते हैं और फास्फोट विलोपित (eliminated) कर दिए जाते हैं। "संतति" कहलाने वाला जो नया DNA बनता है वह टेम्प्लेट DNA अर्थात् पैतृक DNA के रज्जुक, से धारक अनुक्रम में पूरक होता है। A:T और G:C के बीच धारक युग्मन होता है। दोनों DNA रज्जुक प्रतिकृत (replicated) होते हैं और नई द्विकंडलिनी में एक टेम्प्लेट यानी पैतृक रज्जुक (parental strand) और दूसरा एक नया "संतति" रज्जुक होता है। टेम्प्लेट DNA एक लम्बे अखंड DNA रज्जुक के रूप में प्रतिकृत नहीं होता बल्कि DNA प्रतिकृति एक असंतत प्रक्रम (discontinuous process) है। DNA के प्रतिकृत छोटे खंड जो केवल कुछ सांख्यिकलओटाइड लम्बे होते हैं, DNA लिगैस (ligase) नामक एन्जाइम से आपस में जुड़े रहते हैं।

इस प्रक्रम के लिए ऊर्जा जीवाणुओं (bacteria) में NAD<sup>+</sup> के सहगामी भंजन (concomitant breakdown) द्वारा दी जाती है जबकि विषाणुओं (viruses) और यूकैरियोटों में ATP इस कार्य को सम्पन्न करती है। प्रक्रम में DNA लिगैस का सक्रियित (activated) या उच्च ऊर्जा रूप शामिल है भले ही ऊर्जा स्रोत कुछ भी हो यानी ATP या NAD<sup>+</sup> हो। प्रक्रम में अनेक एन्जाइमों और नियंत्रणकारी कारकों की सम्मिलित सक्रियताओं की जरूरत होती है। आइए अब हम RNA अणुओं के संश्लेषण का भी संक्षिप्त वर्णन करें।

#### 4.6 RNA का संश्लेषण (अनुलेखन)

कोशिका में RNA का संश्लेषण एक एन्जाइम करती है जिसे RNA पॉलिमरेस कहते हैं। RNA संश्लेषण का प्रक्रम अनुलेखन (transcription) कहलाता है और DNA प्रतिकृति के समान हैं लेकिन कुछ महत्वपूर्ण अंतर भी है। जैसा कि DNA प्रतिकृति में होता है, DNA संश्लेषण से पहले भी पैतृक DNA का विकंडलन या अस्थायीकरण होता है, लेकिन, DNA का केवल एक ही रज्जुक अनुलेखन के लिए टेम्प्लेट के रूप में काम करता है। इसके अलावा, यह जरूरी नहीं है कि सभी सक्रिय या अभिव्यक्त जीन (expressed gene) उसी DNA रज्जुक पर हों, इसलिए RNA-पॉलिमरेस असाधारण यथार्थता (accuracy) से, उपयुक्त अनुलेखी रज्जुकों को निर्दिशित कर सकता है। यह एन्जाइम राइबोन्यूक्लिओटाइड-5'-ट्राइफॉस्फेट (ATP, GTP, CTP और UTP) के चरणबद्ध संघनन (condensation) को उत्प्रेरित करता है। धारक युग्मन की विशिष्टता के कारण RNA में धारकों का अनुक्रम टेम्प्लेट DNA के धारक अनुक्रम द्वारा लिखवाया (dictate) जाता है। नया बना RNA, DNA टेम्प्लेट और संतति RNA के बीच धारक के युग्मन (dC: G, dG: C, dT: A और dA: U) के कारण DNA टेम्प्लेट का पूरक होता है (चित्र 4.10)



चित्र 4.10: उच्चकोटि जीव (higher organism) में कोशिका के केन्द्रक में pt RNA (primary transcript RNA) का DNA निर्दिशित संश्लेषण, इस चरण को उत्प्रेरित करने वाली एन्जाइमों छायांकित क्षेत्र द्वारा निरूपित की गई हैं

अनुलेखन एक सतत प्रक्रम है जिसमें RNA बिना किसी कम भंग के 5'→3' दिशा में अनुलेखित होता है। बनने वाले RNAs बहुत लम्बे रज्जुक होते हैं जिसमें हजारों न्यूक्लिओटाइड होते हैं। DNA टेम्प्लेट संरक्षित (conserved) रहता है और परिणामी RNA (resultant RNA) में कोई रज्जुक प्रकट नहीं होता। यथार्थ (accurate) अनुलेखन के लिए टेम्प्लेट में दोनों DNA रज्जुक आवश्यक हैं लेकिन निष्क्रिय (inactive) रज्जुक द्वारा निभाई जाने वाली भूमिका स्पष्ट नहीं है।

#### बोध प्रश्न 4

निम्नलिखित कथन सही हैं या गलत इस पर सही का निशान लगाइए :

- क) न्यूक्लीइक अम्ल में फास्फोडाइएस्टर बंधता पड़ोसी न्यूक्लिओटाइडों की 5' और 3' स्थितियों तक फैली होती है। (सही/गलत)
- ख) DNA में क्षारक युग्मन ऐडेनीन, थायमीन और ग्वानीन : साइटोसीन के बीच होता है। (सही/गलत)
- ग) DNA का प्रतिकृति DNA पॉलिमरेस द्वारा उत्प्रेरित होता है। (सही/गलत)
- घ) DNA में G : C और A : T अनुपात यूनित हैं। (सही/गलत)

आइए अब हम जीवधारियों में सदोषजीनों (defective genes) के प्रभाव का संक्षेप में वर्णन करते हैं।

## 4.7 आनुवंशिक दोष

आधुनिक युग में आयुर्विज्ञान के जिन क्षेत्रों में सर्वाधिक तेज गति से विकास हो रहा है वह है रोगलक्षण आनुवंशिकी (clinical genetics) और इसके अनेक कारण हैं। मुख्य कारण आधारभूत आनुवंशिकी में जाने के विपुल भंडार का खुल पड़ना है। ऐसा कहा जा सकता है कि सदोष जीन से सदोष एन्जाइम बनता है। मानवों में लगभग 2500 रोग ऐसे हैं जो प्रत्यक्ष रूप से या अप्रत्यक्ष रूप से दोषपूर्ण जीन के कारण होते हैं। पुटीय तंतुमयता (cystic fibrosis), मधुमेह (डायबिटीज मैलिटस), अतिरक्तदाब (hypertension) आदि ऐसे रोगों के उदाहरण हैं जो दोषपूर्ण जीन के कारण होते हैं।

मानव आनुवंशिक रोगों की असली प्रकृति को समझने के लिए विश्लेषण की मौजूदा तकनीकों की ओर भी गहरी समझ के साथ-साथ मानव जीनों की संरचना और प्रकारों का अधिक विस्तृत ज्ञान होना आवश्यक है। अनेकों तंत्रिकीय विकारों (neurological disorders) के लिए सदोष जीनों को धारण करने वाले गणसूत्रों का रस्ता लगाने के लिए आनुवंशिक इंजीनियरी की तकनीक पहले से ही काम में लाई जा रही है। यू एस ए में पूरे से पूरे मानव जीनोम (genome) के अभिलक्षण निर्धारित करने का महत्वाकांक्षी कार्यक्रम चालू है। अगर यह काम सफलतापूर्वक सम्पन्न हो सके है तो यह ज्ञान जीन चिकित्सा (therapy) का कार्यक्रम आयोजित करने में सहायकी होगा और एक दिन आएगा जब मनुष्य आनुवंशिक विकारों को ठीक कर सकेगा।

क्या DNA रूपांतरित किया जा सकता है?

आज पुनर्गणन DNA टेक्नोलॉजी (recombinant DNA technology) का एक नया सुभावना क्षेत्र सामने आया है। इसने अनेक बुद्धिजीवियों का ध्यान खींचा है। इस टेक्नोलॉजी के केन्द्र में एक जीव के DNA अनुक्रम को दूसरे में समाविष्ट कर सकने की क्षमता निहित है। यह प्रक्रिया (operation) "क्लॉनिंग" (cloning) कहलाती है। एक बार DNA का कोई टुकड़ा क्लोन कर दिया जाता है तो इसके गुण और आसानी से अभिलक्षित (characterized) किए जा सकते हैं। प्रोइन्सुलिन पहली प्रोटीन थी जिसका जीन अनुक्रम निर्धारित किया गया था। इसका महत्व परपोषी (host) जीव (क्लॉनिंग जीन धारण वाला) द्वारा इन्सुलिन के निर्माण की चालू कर सकने की क्षमता में छुपा है। इसे मधुमेह के रोगियों में दिया जा सकता है। ऊतक प्लाज्मिनोजन सक्रियक (tissue plasminogen activator or tPA) नामक एक थक्का (clot) घोल देने वाली एन्जाइम को आनुवंशिकतः इंजीनियर किया गया है। इसे अचानक दिल का दौरा पड़ने के बाद हृदय ऊतक को पहुंचने वाली क्षति को कम करने के लिए काम में लाया जाता है। चेचक के टीके

(smallpox vaccine) को नया रूप दिया जा रहा है ताकि ऐसा बदला हुआ रूप बन सके जो अनेक दूसरे रोगों से प्रतिरक्षा (immunity) दे सके। ये रोग मलेरिया से लेकर इन्फ्लूएन्जा तक हैं। स्वास्थ्य सम्बन्धी समस्याओं की आनुवंशिक इंजीनियरी के सम्भाव्य अनुप्रयोग (potential application) की सूची साल दर साल बढ़ती जा रही है। आनुवंशिक इंजीनियरी के बारे में आप इकाई 15 में और अधिक अध्ययन करेंगे।

इस प्रकार न्यूक्लीइक अम्लों का महत्व न केवल जीवन के रहस्य को समझने में है बल्कि इस ज्ञान को अधिक अच्छे जीवन और अधिक अच्छी दुनिया के लिए काम में लाने में भी है।

## 4.9 सारांश

- न्यूक्लीइक अम्ल बड़े और जटिल (कम्प्लेक्स) जैव अणु हैं। वे जीवित कोशिका के केन्द्रक और कोशिका द्रव्य (cytoplasm) में राइबोसोमों पर पाए जाते हैं। वे आनुवंशिकता के लिए उत्तरदायी हैं और जीवन के बारे में अनेकों प्रश्नों का उत्तर इनमें मिल जाता है।
- न्यूक्लीइक अम्ल दो प्रकार के होते हैं—डिऑक्सीराइबोन्यूक्लीइक अम्ल (DNA) और राइबोन्यूक्लीइक अम्ल (RNA)
- न्यूक्लीइक अम्ल पॉलिन्यूक्लिओटाइड होते हैं और व्यष्टि (individual) न्यूक्लिओटाइड एकलक एक दूसरे से 5' → 3' फास्फोडाइएस्टर बंधता द्वारा जुड़े रहते हैं। न्यूक्लिओटाइड अपने आप में एक नाइट्रोजनी क्षारक, एक पेन्टोस शर्करा (फ्यूरेनोस रूप में) और एक फास्फेट ग्रुप से बनते हैं। पेन्टोस शर्करा और नाइट्रोजनी क्षारक का संयोजन (combination) न्यूक्लिओसाइड कहलाता है। इस प्रकार न्यूक्लिओटाइड आमतौर पर शर्करा की 5' स्थिति पर न्यूक्लिओसाइडों के फास्फेट एस्टर होते हैं।
- DNA एक सार्वभौमिक आनुवंशिक पदार्थ है। हमारे पृथ्वी पर सब प्रकार के जीवों की उत्पत्ति उन्हीं से हुई है और उन्हीं के कारण सबका अस्तित्व भी है। DNAs में चार नाइट्रोजनी क्षारक होते हैं—दो, प्यूरीन जिनके नाम हैं ऐडेनीन (A) और ग्वानीन (G) तथा दो पिरीमिडीन जिनके नाम साइटोसीन (C) और थायमीन (T) हैं। DNA में डिऑक्सीराइबोस नामक पेन्टोस शर्करा होती है।
- इस प्रकार DNA अणु का आण्विक रीढ़ फास्फोडाइएस्टर आबंधों से आपस में जुड़ी हुई डिऑक्सीराइबोस यूनिटों की एक श्रेणी है। क्षारक इन रीढ़ में प्रक्षेपित होते हैं।
- प्रत्येक DNA की विशिष्टता क्षारकों के अनुक्रम और आण्विक रीढ़ की लम्बाई से बनती है। आनुवंशिक जानकारी सामान्यतया समीपस्थ (contiguous) क्षारकों के त्रिक के रूप में कोडित होती है।
- कोशिका केन्द्रकों में DNAs दक्षिणावर्ती द्विकुंडलिनियों के रूप में होते हैं जिसमें क्षारक अभ्यंतर में प्रक्षेपित रहते हैं और एक रज्जुक पर स्थित क्षारक से दूसरे रज्जुक के क्षारक के बीच हाइड्रोजन आबंध स्थापित हो जाते हैं। क्षारक युग्मन हमेशा ही A और T तथा C और G के बीच होता है। ऐडेनीन और ग्वानीन आपस में दो हाइड्रोजन आबंधों से जुड़े रहते हैं जबकि ग्वानीन और साइटोसीन तीन हाइड्रोजन आबंधों से जुड़े रहते हैं। दूसरी अभिक्रियाएं भी हैं जो जलविरागी और चितिकरण अभिक्रियाएं कहलाती हैं। ये दोनों ही प्रमुख रूप से द्विकुंडलिनी के स्थायित्व के लिए उत्तरदायी हैं।
- DNA प्रतिकृति कहलाने वाले प्रक्रम द्वारा DNAs नया, एकदम अपने जैसा DNA अणु उत्पन्न करने में मदद दे सकते हैं जहां पैतृक DNA पर प्रत्येक रज्जुक प्रतिकृत (replicated) होता है। नए-नए बनने वाले रज्जुक पैतृक DNA रज्जुकों के लिए और एक दूसरे के लिए पूरक होते हैं। अनुलेखन कहलाने वाले प्रक्रम द्वारा DNA, राइबोन्यूक्लीइक अम्ल के संश्लेषण में भी सहायता देते हैं। यह प्रक्रम प्रतिकृति जैसा है।
- राइबोन्यूक्लीइक अम्ल दूसरे न्यूक्लीइक अम्ल हैं जिनमें नाइट्रोजनी क्षारक—ऐडेनीन, ग्वानीन, साइटोसीन और यूरेसिल होते हैं। RNA क्षारक में, यूरेसिल थायमीन को

प्रतिस्थापित करती है यानी उसकी जगह ले लेती है जो केवल RNA में होती है। इसके अलावा RNA में पेन्टोस शर्करा डिऑक्सीराइबोस की बजाय राइबोस होती है। इस प्रकार RNAs में पॉलिराइबोन्यूक्लिओटाइड होते हैं जिनमें मॉनोन्यूक्लिओटाइड एच दूसरे से 5' → 3' फास्फोडाइएस्टर आबंधों द्वारा संलग्न रहते हैं।

- पॉलिपेप्टाइड संश्लेषण में RNAs द्वारा निभाई जाने वाली भूमिका के आधार पर तीन प्रकार के RNAs होते हैं। ये हैं—राइबोसोमी RNA (rRNA), दूत RNA (mRNA) और अंतरण RNA (tRNA)। RNAs सामान्यतया एकल रैखीय (single linear) रज्जुक के रूप में होते हैं। rRNAs राइबोसोम में मौजूद होते हैं और पॉलिपेप्टाइड संश्लेषण के स्थल हैं। mRNA आनुवंशिक जानकारी को कोशिका केन्द्रक में DNA से पॉलिपेप्टाइड संश्लेषण स्थल तक कॉडोनों के रूप में ले जाते हैं। मगर RNAs में tRNAs सबसे छोटे हैं। उनका प्रकार्य ऐमीनोएसिल यूनिटों (सक्रियत ऐमीनों अम्लों) को पॉलिपेप्टाइड के संश्लेषण स्थल तक ले जाता है।
- मानवों में अनेक रोग सदोष जीनों के कारण होते हैं। DNA अनुक्रम को रूपांतरित करने के प्रयास किए जा रहे हैं ताकि मनुष्य इन रोगों से जूझ सके।

## 4.9 अंत में कुछ प्रश्न

- 1) न्यूक्लीडक अम्लों के प्रमुख संघटन कौन से हैं?
- 2) न्यूक्लिओसाइड और न्यूक्लिओटाइड क्या हैं?
- 3) RNA और DNA के बीच प्रमुख अंतर कौन से हैं?
- 4) DNA द्विकंडलिनीय संरचना का संक्षिप्त वर्णन कीजिए। द्विकंडलिनी के स्थायित्व के लिए कौन से बल उत्तरदायी हैं?
- 5) विभिन्न प्रकार के RNAs के नाम बताइए और उनके प्रकार्यों का संक्षिप्त वर्णन कीजिए।

## 4.10 उत्तर

बोध प्रश्न

- 1) घ
- 2) घ
- 3) चार, यूरेसिल
- 4) क) सही, ख) सही, ग) सही, घ) सही

अंत में दिए गए प्रश्न

- 1) न्यूक्लीडक अम्ल नाइट्रोजनी क्षारकों, पेन्टोस शर्करा और फास्फेट समूहों से बने होते हैं। ये तीन समूह न्यूक्लिओटाइड में संघटित होते हैं जो पुनः 5' → 3' फास्फोडाइएस्टर बंधों (links) द्वारा पॉलिन्यूक्लिओटाइड शृंखला में जुड़े रहते हैं। न्यूक्लीडक अम्लों में उपस्थित नाइट्रोजनी क्षारकों के नाम हैं—ऐडेनीन, ग्वानीन, थायमीन, साइटोसीन और यूरेसिल। न्यूक्लीडक अम्लों में पाई जाने वाली पेन्टोस शर्कराओं के नाम राइबोस और 2-डिऑक्सीराइबोस हैं।
- 2) नाइट्रोजनी क्षारक के साथ पेन्टोस शर्करा के संयोजन (combination) द्वारा बनने वाला यौगिक न्यूक्लिओसाइड कहलाता है। ऐसा शर्करा के C-1 और पिरिमिडीन क्षारक के N-1 या प्युरीन क्षारक के N-9 के बीच सहसंयोजक आबंध द्वारा होता है। नाइट्रोजनी क्षारक प्युरीन या पिरिमिडीन कोई भी हो सकता है। पेन्टोस शर्करा या तो राइबोस अथवा डिऑक्सीराइबोस हो सकती है। इसी के अनुसार न्यूक्लिओसाइड को राइबोन्यूक्लिओसाइड या डिऑक्सीराइबोन्यूक्लिओसाइड कहते हैं। न्यूक्लिओटाइड न्यूक्लिओसाइड फास्फेट होते हैं यानी कि पेन्टोसों के फास्फेट एस्टर होते हैं जिनसे

नाइट्रोजनी क्षारक संलग्न रहते हैं। फ़ास्फेट बंध आन्तोर पर 3'/5' स्थितियों पर होते हैं।

- 3) पेन्टोस शर्करा RNA में राइबोस होती है जबकि DNA में डिऑक्सीराइबोस होती है: इसके अलावा, RNAs में थायमीन नहीं होती और DNAs में यूरेसिल नहीं होती। इसके साथ-साथ, DNA में द्विकुंडलिनी होती है जो दो पूरक न्यूक्लीइक अम्ल रज्जुकों की बनी होती है। लेकिन RNA सामान्यतया न्यूक्लीइक अम्ल के एकल रज्जुक का बना होता है।
- 4) क्रिक और वाटसन द्वारा प्रस्तावित DNA की द्विकुंडलिनीय संरचना में दो पूरक न्यूक्लीइक रज्जुक होते हैं। ये रज्जुक एक दक्षिणावर्ती कुंडलिनी में व्यावर्तित हुए होते हैं। नाइट्रोजनी क्षारक कुंडलिनी के भीतरी ओर होते हैं जबकि फ़ास्फेट और शर्करा समूह कुंडलिनी के बाहरी ओर होते हैं (इसे चित्र 4.4 में दर्शाया गया है)। इस मॉडल की तुलना एक सर्पिल सीढ़ी से की जा सकती है जिसमें स्टेप कुंडलिनी के अक्ष के लंब होते हैं। ऊपर के मॉडल में, नाइट्रोजनी क्षारकों के तल भी कुंडलिनी अक्ष के लम्ब होते हैं। द्विकुंडलिनी में हाइड्रोजन आबंधन दो पूरक रज्जुकों के ऐडेनीन: थायमीन और ग्वानीन: साइटोसीन के बीच होता है। द्विकुंडलिनी के स्थायित्व के लिए क्षारकों के बीच होने वाली जलविरागी चित्तिकरण अभिक्रियाएं उत्तरदायी हैं।
- 5) RNAs तीन प्रकार के होते हैं। इनके नाम हैं—राइबोसोमी RNA (rRNA), दूत RNA (mRNA) और अंतरण RNA (tRNA)। आवश्यकता पड़ने पर कोशिका केन्द्रक में संश्लेषित होने वाले mRNA राइबोसोमों पर चले जाते हैं और प्रोटीन संश्लेषण में ऐमीनों अम्लों के अनुक्रमण के लिए को जानकारी देते हैं। rRNAs जो कि राइबोसोमों के अनिवार्य अंश हैं, mRNA से संयोजित होकर पॉलिपेप्टाइड संश्लेषण के स्थल बनाते हैं। tRNA जो कि कोशिका के भीतर ही आसानी से चलने की क्षमता वाले सबसे छोटे RNA अणु हैं, ऐमीनों अम्ल अणुओं को प्रोटीन संश्लेषण के लिए राइबोसोमों तक ले जाते हैं।