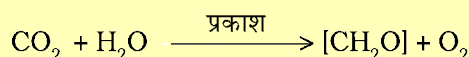


इससे यह पता लगा कि पौधों की इस प्रक्रिया में सूर्य का प्रकाश अनिवार्य है। यह जलती हुई मोमबत्ती या सांस लेने वाले प्राणियों द्वारा खराब हुई वायु को शुद्ध बनाता है। इंजेनहाउज ने अपने एक परिष्कृत प्रयोग में एक जलीय पौधे के साथ यह दिखाया कि तेज धूप में पौधे के हरे भाग के आस-पास छोटे-छोटे बुलबुले बन गए थे, जबकि अंधेरे में रखे गए पौधे के आस-पास बुलबुले नहीं बने थे। बाद में उसने इन बुलबुलों की पहचान ऑक्सीजन के रूप में की थी। अतः उसने यह दिखा दिया कि पौधे का केवल हरा भाग ही ऑक्सीजन को छोड़ सकता है।

1854 से पहले तक इसकी जानकारी नहीं थी, किंतु जूलियस वोन सैचस् ने यह प्रमाण दिया कि जब पौधा वृद्धि करता है तब ग्लूकोज (शर्करा) बनती है। ग्लूकोज प्रायः स्टार्च के रूप में संचित होता है। उसके बाद के अध्ययनों से यह पता लगा कि पौधे का हरा पदार्थ-जिसे क्लोरोफिल कहते हैं। पौधों की कोशिकाओं में स्थित विशिष्ट भाग (जिसे क्लोरोप्लास्क कहते हैं) में होता है। उसने बताया कि पौधों के हरे भाग में ग्लूकोज बनाता है और ग्लूकोज प्रायः स्टार्च के रूप में संचित होता है।

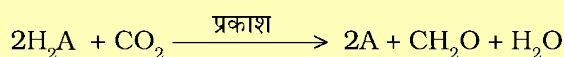
अब आप टी.डब्ल्यू एंजिलमैन (1843-1909) द्वारा किए गए रोचक प्रयोग पर ध्यान दें। उसने प्रिज्म की सहायता से प्रकाश को स्पेक्ट्रमी घटकों में अलग किया और फिर एक हरे शैवाल *क्लैडोफोरा* को जिसे ऑक्सी बैक्टीरिया के निलंबन में रखा गया था, को प्रदीप्त किया गया। बैक्टीरिया का उपयोग ऑक्सीजन निकलने का केंद्र पता लगाने के लिए था। उसने पाया कि बैक्टीरिया प्रमुखतः लाल एवं नीले प्रकाश क्षेत्रों में एकत्र हो गए थे। इस तरह से प्रकाश-संश्लेषण का पहला सक्रिय स्पेक्ट्रम (एक्शन स्पेक्ट्रम) वर्णित किया गया। यह मोटे तौर पर क्लोरोफिल 'a' एवं 'b' के अवशोषण स्पेक्ट्रा से मेल खाता है (13.4 खंड में इसका वर्णन किया गया है)।

उन्नीसवीं सदी के मध्य तक पादप प्रकाश-संश्लेषण की सभी मुख्य विशिष्टताओं के बारे में पता चल चुका था। जैसे कि, पौधे CO_2 तथा पानी से प्रकाश ऊर्जा का उपयोग कर कार्बोहाइड्रेट्स बनाते हैं। ऑक्सीजन उत्पन्न करने वाले जीवों में प्रकाश-संश्लेषण की कुल प्रतिक्रिया को आनुभविक समीकरण द्वारा प्रस्तुत किया गया।



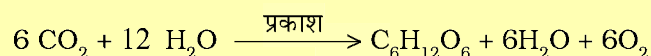
जहाँ पर (CH_2O) एक कार्बोहाइड्रेट (जैसे ग्लूकोज- एक छह (6) कार्बन शुगर) का प्रतिनिधित्व करता है।

एक सूक्ष्मजीव विज्ञानी कोर्नेलियस वैन नील (1897-1985) के प्रयोग ने प्रकाश-संश्लेषण को समझने में मील के पत्थर का काम किया। उसका अध्ययन बैंगनी (पर्पल) एवं हरे बैक्टीरिया पर आधारित था। उन्होंने बताया कि प्रकाश-संश्लेषण एक प्रकाश आधारित प्रतिक्रिया है जिसमें ऑक्सीकरणीय यौगिक से प्राप्त हाइड्रोजन कार्बनडाइऑक्साइड को अपचयित करके कार्बोहाइड्रेट बनाते हैं। इसे निम्नलिखित रूप से व्यक्त किया जा सकता है:



हरे पौधों में H_2O हाइड्रोजन दाता है और ऑक्सीकृत होकर O_2 देता है। कुछ जीव प्रकाश-संश्लेषण के दौरान O_2 मुक्त नहीं करते हैं जब H_2S बैंगनी एवं हरे बैक्टीरिया

के लिए हाइड्रोजन दाता होता है तो 'ऑक्सीकरण' उत्पाद जीवों के अनुसार सल्फर अथवा सल्फेट होता है न कि ऑक्सीजन। इससे उन्होंने निष्कर्ष निकाला कि हरे पौधों द्वारा निकाली गई ऑक्सीजन H_2O से आती है, न कि कार्बनडाइऑक्साइड से। बाद में यह बात रेडियो आइसोटोपिक तकनीक के उपयोग से सही प्रमाणित हुई। इसलिए कुल प्रकाश-संश्लेषण को प्रस्तुत करने वाला सही समीकरण निम्न है:

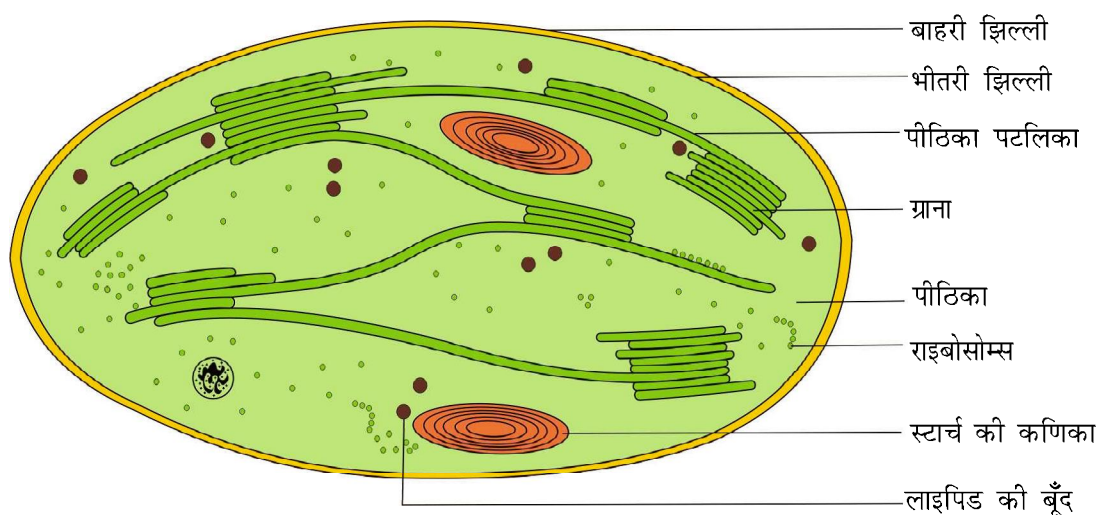


यहाँ पर $C_6H_{12}O_6$ ग्लूकोज का प्रतिनिधित्व करता है। जल से निकलने वाली O_2 को रेडियो आइसोटोपिक तकनीक से सिद्ध किया जा चुका है। यह एक एकल क्रिया नहीं है, बल्कि बहुचरणी प्रक्रम का वर्णन है जिसे प्रकाश-संश्लेषण कहते हैं। क्या आप यह वर्णन करेंगे कि उपरोक्त समीकरण में जल के 12 अणुओं का क्रियाधार के रूप में क्यों प्रयोग किया गया है?

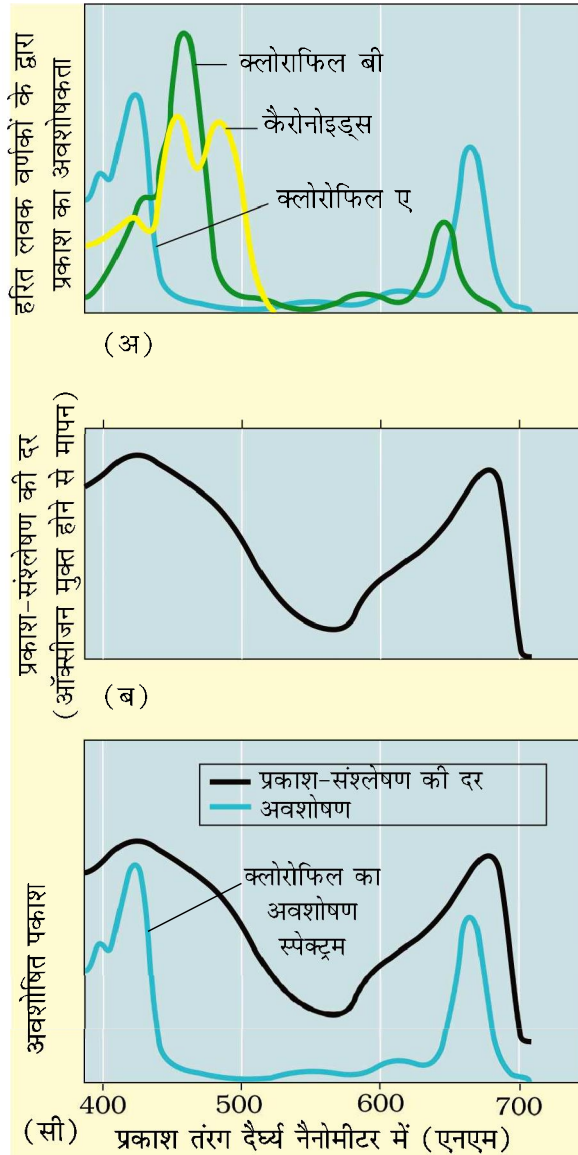
13.3 प्रकाश-संश्लेषण कहाँ संपन्न होता है?

अध्याय 8 में पढ़ने के बाद निश्चित ही आपका उत्तर होगा: हरी पत्तियों में अथवा आप कह सकते हैं क्लोरोप्लास्ट में, निश्चित ही आपका उत्तर सही है। प्रकाश-संश्लेषण क्रिया हरी पत्तियों में तो संपादित होती ही है लेकिन यह पौधों के अन्य सभी हरे भागों में भी होती है। क्या आप पौधों के कुछ अन्य भागों के नाम बता सकते हैं, जहाँ प्रकाश-संश्लेषण संपादित हो सकता है?

आपने पिछली इकाई में पढ़ा होगा कि पत्तियों में मेसोफिल कोशिकाएं होती हैं। जिनमें अत्यधिक मात्रा में क्लोरोप्लास्ट होते हैं। सामान्यतः क्लोरोप्लास्ट मेसोफिल कोशिकाओं की भित्ति के साथ पंक्तिबद्ध होता है जिससे कि वे ईष्टतम मात्रा में आपतित प्रकाश प्राप्त कर सकें। आपके विचार से हरित लवक कब अपने सपाट पटल भित्ति के समानांतर



चित्र 13.2 इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी के द्वारा दिखाया गया हरित लवक की काट का आरेख प्रस्तुतीकरण



चित्र 13.3.अ क्लोरोफिल ए, बी तथा कैरोटोइड्स का अवशोषित वर्णक्रम प्रदर्शित करता हुआ ग्राफ

चित्र 13.3.ब प्रकाश-संश्लेषण क्रियात्मक वर्णक्रम प्रदर्शित करता हुआ ग्राफ

चित्र 13.3.स क्लोरोफिल ए के अवशोषित वर्णक्रम पर प्रकाश-संश्लेषण के क्रियात्मक वर्णक्रम का अध्यारोपित दृश्य का ग्राफ

पंकितबद्ध होते हैं? वे आपतित सूर्य के प्रकाश से कब लंबित होते होंगे?

आपने अध्याय 8 में क्लोरोप्लास्ट की संरचना के बारे में पढ़ा है। क्लोरोप्लास्ट में एक झिल्ली तंत्र होता है जिसमें ग्रैना, स्ट्रोमा लैमेले और स्ट्रोमा तरल होता है (चित्र 13.2)। क्लोरोप्लास्ट में सुस्पष्ट श्रम विभाजन होता है। झिल्ली तंत्र प्रकाश-ऊर्जा को ग्रहण करता है और एटीपी एवं एनएडीपीएच का संश्लेषण करता है। स्ट्रोमा में एंजाइमेटिक प्रतिक्रिया होती है जो CO_2 से शर्करा का संश्लेषण करता है जो बाद में स्टार्च में परिवर्तित हो जाता है। पहली वाली प्रतिक्रिया को **प्रकाश अभिक्रिया** कहा जाता है, चूँकि यह पूर्णतः प्रकाश पर आधारित है। दूसरी प्रतिक्रिया प्रकाश अभिक्रिया के उत्पाद पर निर्भर होती है अर्थात् एटीपी तथा एनएडीपीएच, जो सैद्धांतिक रूप में अंधेरे में संपन्न होती हैं अतः इसे **अप्रकाशी अभिक्रिया** कहते हैं। (इसके विषय का विस्तृत अध्ययन बाद में इसी अध्याय में किया जाएगा)

13.4 प्रकाश-संश्लेषण में कितने वर्णक भाग लेते हैं?

जब आप किसी पौधे को देख रहे होते हैं तो क्या कभी आश्चर्य हुआ है कि उसी पौधे में पत्तियों के हरे रंग में सूक्ष्म अंतर क्यों और कैसे है? हम इस प्रश्न का उत्तर देने के लिए किसी भी हरे पादप के पर्णवर्णकों को पेपर क्रोमेटोग्राफी (कागज वर्णलेखिकी) द्वारा अलग कर सकते हैं। क्रोमेटोग्राफी से पता लगता है कि पत्तियों में स्थित वर्णक के कारण जो हरापन दिखाई देता है, वह किसी एक वर्णक के कारण नहीं, बल्कि चार वर्णकों: **क्लोरोफिल ए** (क्रोमेटोग्राफी में चमकीला अथवा नीला हरा), **क्लोरोफिल बी** (पीला हरा), **जैन्थोफिल** (पीला) तथा **कारटीनोएड** (पीले से नारंगी पीले) के कारण होता है। आइए, अब देखें कि प्रकाश-संश्लेषण में विभिन्न वर्णकों की क्या भूमिका है।

वर्णक वे पदार्थ हैं जिनमें प्रकाश की विशिष्ट तरंगदैर्घ्यों को अवशोषित करने की क्षमता होती है। क्या आप अनुमान लगा सकते हैं कि विश्व में कौन सा पादप वर्णक सर्वाधिक है? आइए, अब क्लोरोफिल ए वर्णक को ग्राफ में विभिन्न तरंगदैर्घ्यता में प्रकाश अवशोषण का अध्ययन

करें (चित्र 13.3. अ)। आप स्पष्टतः प्रकाश के दृश्य स्पेक्ट्रम की तरंगदैर्घ्यता एवं विबग्योर (**vibgyor**) से परिचित हैं।

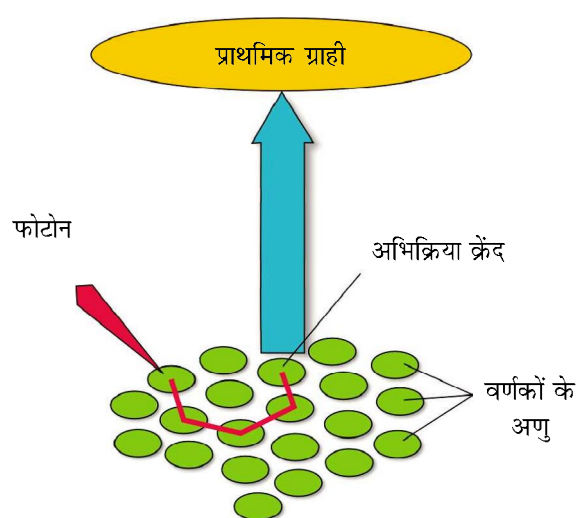
चित्र 13.3 अ को देखकर क्या आप बता सकते हैं कि किस तरंगदैर्घ्य पर क्लोरोफिल 'ए' अधिकतम अवशोषण करेगा? क्या यह किसी अन्य तरंगदैर्घ्यता पर कोई अन्य अवशोषण चोटी दिखाते हैं? यदि हाँ तो वे कौन हैं?

अब आप चित्र 13.3 (ब) को देखें जिसमें उन तरंगदैर्घ्यों को दिखाया गया है, जहाँ पर पादप में अधिकतम प्रकाश-संश्लेषण होता है। क्या आप देख रहे हैं कि तरंगदैर्घ्य क्लोरोफिल 'ए' अर्थात् नीला तथा लाल क्षेत्र में अवशोषण करता है, उस क्षेत्र में प्रकाश-संश्लेषण की दर भी अधिकतम है। अतः हम कह सकते हैं कि क्लोरोफिल 'ए' प्रकाश-संश्लेषण के लिए एक प्रमुख वर्णक है लेकिन चित्र 13.3(स) देखने पर क्या आप कह सकते हैं कि क्लोरोफिल 'ए' के अवशोषण स्पेक्ट्रम तथा प्रकाश-संश्लेषण के क्रियात्मक स्पेक्ट्रम के बीच पूर्णतः परस्पर व्यापन है?

ये ग्राफ, एक साथ यह बता रहे हैं कि अधिकतम प्रकाश-संश्लेषण स्पेक्ट्रम के नीले एवं लाल क्षेत्र में संपन्न होती है, और कुछ प्रकाश-संश्लेषण स्पेक्ट्रम की अन्य तरंगदैर्घ्यों पर भी संपन्न होती है। आइए, देखें कि यह कैसे होता है। यद्यपि क्लोरोफिल 'ए' प्रकाश को अवशोषित करने का मुख्य वर्णक है, फिर भी अन्य थाइलेकोइड में वर्णक जैसे क्लोरोफिल बी, जैन्थोफिल तथा केरोटिन, जिन्हें सहायक वर्णक कहते हैं, वे प्रकाश को अवशोषित करते हैं तथा अवशोषित ऊर्जा को क्लोरोफिल ए में स्थानांतरित कर देते हैं। वास्तव में ये वर्णक न केवल प्रकाश-संश्लेषण को प्रेरित करने वाली उपयोगी तरंगदैर्घ्य के क्षेत्र को बढ़ाते हैं बल्कि ये क्लोरोफिल 'ए' को फोटोऑक्सीडेसन से भी बचाते हैं।

13.5 प्रकाश अभिक्रिया क्या है?

प्रकाश अभिक्रिया अथवा 'प्रकाशरसायन' चरण में प्रकाश अवशोषण, जल विघटन, ऑक्सीजन निष्कर्षण तथा उच्च-ऊर्जा रसायन माध्यमिकों, जैसे एटीपी तथा एनएडीपीएच का निर्माण शामिल है। इस प्रक्रिया में अनेक कॉम्प्लेक्स सम्मिलित होते हैं। यहाँ वर्णक दो सुस्पष्ट प्रकाश रसायन लाइट हार्वेस्टिंग कॉम्प्लेक्स (एलएचसी) जिन्हें फोटोसिस्टम I (पीएस I) तथा फोटोसिस्टम II (पीएस II) कहते हैं - में गठित होता है। इन्हें खोज के क्रम में ये नाम दिए गए हैं न कि प्रकाश अभिक्रिया के दौरान उनके काम करने के अनुक्रम में। एलएचसी प्रोटीन से आबद्ध हजारों वर्णक अणुओं से बने होते हैं। प्रत्येक फोटोसिस्टम में सभी वर्णक होते हैं, (सिवाय क्लोरोफिल 'ए' के एक अणु के) तथा एलएचसी का निर्माण करते हैं जिन्हें ऐन्टेनी कहते हैं (चित्र 13.4)। ये वर्णक विभिन्न तरंगदैर्घ्यों के प्रकाश को अवशोषित कर प्रकाश-संश्लेषण को अधिक दक्ष बनाते हैं। क्लोरोफिल

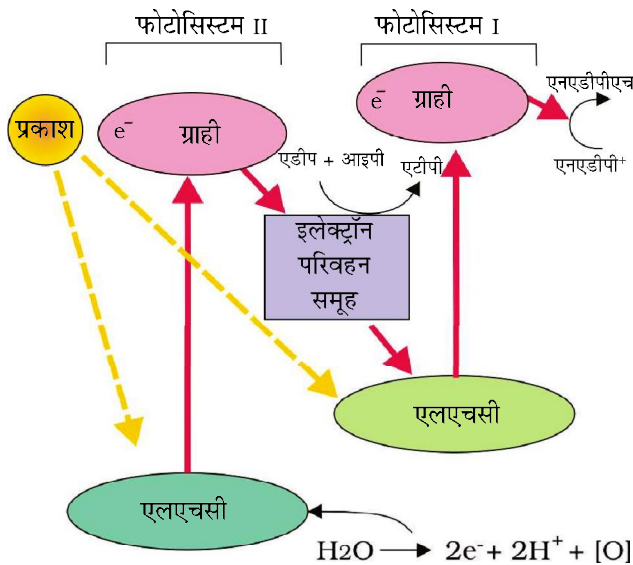


चित्र 13.4 प्रकाश संग्रहण तंतुजाल

‘ए’ का एक अकेला अणु **अभिक्रिया केंद्र** बनाना है। दोनों फोटोसिस्टम में प्रतिक्रिया केंद्र पृथक् होते हैं। पीएस I में अभिक्रिया केंद्र क्लोरोफिल ‘ए’ का अवशोषण शीर्ष 700 एनएम (nm) पर होता है अतः इसे **पी 700** कहते हैं। पीएस II में अवशोषण शीर्ष 680 एनएम (nm) पर होता है अतः इसे **पी 680** कहते हैं।

13.6 इलेक्ट्रॉन परिवहन

फोटोसिस्टम II में अभिक्रिया केंद्र में मौजूद क्लोरोफिल ‘ए’ 680 एनएम वाले लाल प्रकाश को अवशोषित करता है, जिससे इलेक्ट्रॉन उत्तेजित होकर परमाणु नाभिक से दूर चला जाता है। इसे इलेक्ट्रॉन को एक इलेक्ट्रॉन ग्राही ले लेता है और इन्हें **इलेक्ट्रॉन्स ट्रांसपोर्ट सिस्टम** जिसमें साइटोक्रोम होते हैं, पहुँचा दिया जाता है (चित्र 13.5)। इलेक्ट्रॉन की यह गतिविधि अधोगामी है जो अपचयोपचय विभव मापन (रिडैक्स पोटेन्शियल स्केल) के रूप में है। जब इलेक्ट्रॉन्स परिवहन शृंखला से इलेक्ट्रॉन्स गुजरते हैं तब उनका उपयोग नहीं होता बल्कि उन्हें फोटोसिस्टम पीएस I के वर्णकों को दे दिया जाता है।

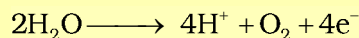


चित्र 13.5 प्रकाश अभिक्रिया की Z-स्कीम

इसके साथ ही साथ, पीएस I का अभिक्रिया केंद्र के इलेक्ट्रॉन भी लाल प्रकाश की 700 एनएम तरंगदैर्घ्य को अवशोषित कर उत्तेजित होता है और यह अन्य ग्राही अणु में जिसका अपचयोपचय (रिडॉक्स) विभव अधिक हो, स्थानांतरित होता है। ये इलेक्ट्रॉन्स पुनः अधोगामी गति करते हैं, परंतु इस बार वे ऊर्जा से प्रचुर एनएडीपी⁺ अणु की ओर जाते हैं। ये इलेक्ट्रॉन्स एनएडीपी⁺ को अपचयित कर एनएडीपीएच⁺ H⁺ को बनाते हैं। इलेक्ट्रॉन के स्थानांतरण की यह सारी योजना पीएस II से शुरू होकर शिखरोपरिग्राही की ओर, इलेक्ट्रॉन परिवहन शृंखला से होते हुए पीएस I तक, इलेक्ट्रॉन की उत्तेजना, अन्य ग्राही में स्थानांतरण और अंतः में अधोगामी होकर एनएडीपी⁺ को अपचयित कर एनएडीपीएच⁺ H⁺ के बनने तक होती है। यह सारी योजना Z के आकार की होती है, इसलिए इसे **Z स्कीम** कहते हैं (चित्र 13.5)। यह आकृति तब बनती है जब सभी वाहक क्रमानुसार एक अपचयोपचय विभव माप पर हों।

13.6.1 जल का विघटन

अब आप पूछेंगे कि पीएस II कैसे इलेक्ट्रॉन की आपूर्ति निरंतर करता है? वे इलेक्ट्रॉन जो फोटोसिस्टम II में निकलते हैं, उनकी जगह निश्चित ही दूसरों को लेनी चाहिए। जल विघटन का संबंध पीएस II से है। जल H⁺, [O] तथा इलेक्ट्रॉन में विघटित होता है। इससे ऑक्सीजन उत्पन्न होती है, जो प्रकाश-संश्लेषण का एक शुद्ध उत्पाद है। फोटोसिस्टम I से निकलने वाले इलेक्ट्रॉन, फोटोसिस्टम II से उपलब्ध कराए जाते हैं।

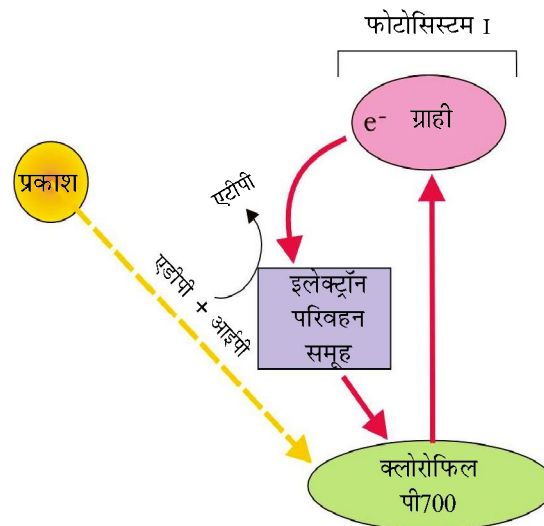


हमें यह अच्छी प्रकार जान लेना चाहिए कि जल विघटन पीएस II से संबंधित है जो थाइलेकोइड की झिल्ली की भीतरी ओर होता है। तब इस दौरान बनने वाले प्रोटोन्स एवं O_2 कहां मुक्त होते हैं- अवकाशिका (ल्यूमेन) में अथवा झिल्लिका के बाहर की ओर?

13.6.2 चक्रीय एवं अचक्रीय फोटो-फोस्फोरीलेशन

जीवों में ऑक्सीकरणीय पदार्थों से ऊर्जा निकालने तथा उसे बंध-ऊर्जा के रूप में संचय करने की क्षमता होती है। विशेष पदार्थ जैसे एटीपी, इस ऊर्जा को अपने रासायनिक बंध में संजोये रखती हैं। कोशिकाओं द्वारा (माइटोकॉण्ड्रिया तथा क्लोरोप्लास्ट में) एटीपी के संश्लेषण की प्रक्रिया को फोस्फोरीलेशन कहते हैं। फोटो-फोस्फोरीलेशन वह प्रक्रिया है जिसमें प्रकाश की उपस्थिति में एडीपी तथा अकार्बनिक फोस्फेट से एटीपी का संश्लेषण होता है। जब दो फोटोसिस्टम क्रमिक कार्य करते हैं जिसमें पीएस II पहले और पीएस I दूसरे क्रम में कार्य करें तो इस प्रक्रिया को अचक्रीय फोटो-फोस्फोरीलेशन कहते हैं। ये दोनों फोटोसिस्टम एक इलेक्ट्रॉन परिवहन शृंखला से जुड़े होते हैं जैसे कि पहले Z स्कीम में देख चुके हैं। एटीपी तथा एनएडीपीएच + H^+ दोनों ही इस प्रकार के इलेक्ट्रॉन प्रवाह द्वारा संश्लेषित होते हैं (चित्र 13.5)।

जब केवल पीएस I क्रियाशील होता है, तब इलेक्ट्रॉन फोटोसिस्टम में ही घूमता रहता है और फोस्फोरीलेशन इलेक्ट्रॉन चक्रीय प्रवाह के कारण होता है (चित्र 13.6)। यह प्रवाह संभवतः स्ट्रोमा लैमिली में होती है। ग्राना की झिल्ली अथवा लैमिला में पीएस I एवं पीएस II, दोनों ही होते हैं, जबकि स्ट्रोमा लैमिली झिल्लियों में पीएस II एवं एनएडीपी रिडक्टेस एंजाइम नहीं होते हैं। उत्तेजित इलेक्ट्रॉन एनएडीपी+ में पारित नहीं होता, बल्कि वापस पीएस I कॉम्प्लेक्स में इलेक्ट्रॉन प्रवाह शृंखला द्वारा चक्रित होता रहता है (चित्र 13.6)। अतः चक्रीय प्रवाह में केवल एटीपी का संश्लेषण होता है न कि एनएडीपीएच + H^+ का। चक्रीय फोटो-फोस्फोरीलेशन तभी होता है जब उत्तेजना के लिए प्रकाश का तरंगदैर्घ्य 680nm से अधिक हो।



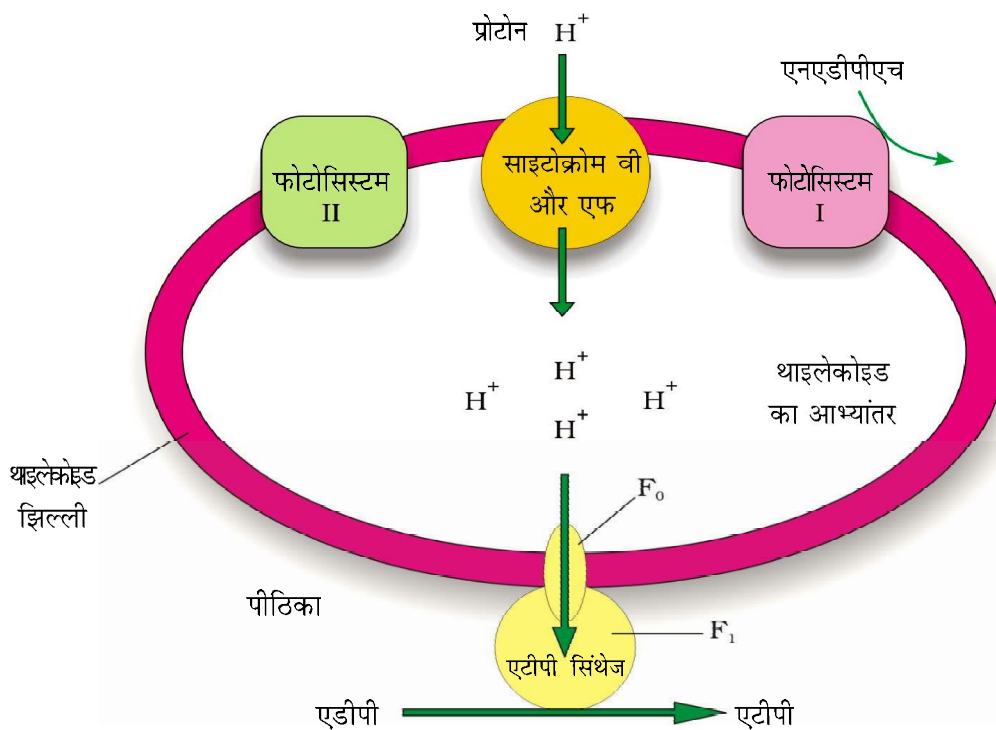
चित्र 13.6 प्रकाश अभिक्रिया की Z- स्कीम

13.6.3 रसोपरासरणी परिकल्पना (केमिओस्मोटिक हाइपोथेसिस)

आइए, अब हम यह समझने का प्रयत्न करें कि क्लोरोप्लास्ट में एटीपी कैसे संश्लेषित होता है? इस प्रक्रम का वर्णन रसोपरासरणी परिकल्पना द्वारा कर सकते हैं। श्वसन की भाँति ही प्रकाश-संश्लेषण में भी, एटीपी का संश्लेषण एक झिल्लिका के आर-पार प्रोटोन प्रवणता के कारण होता है। यहाँ पर ये झिल्लिकाएं थाइलेकोइड की होती हैं। यहाँ पर एक अंतर यह है कि प्रोटोन झिल्लिका के अंदर की ओर अर्थात् अवकाशिका (ल्यूमेन) में संचित होता है। श्वसन में प्रोटोन माइटोकॉण्ड्रिया की अंतरा झिल्ली अवकाशिका में संचित होती है, जब इलेक्ट्रॉन इटीएस (अध्याय 14) से गुजरते हैं।

आइए, यह समझें कि किन कारणों से प्रोटोन प्रवणता झिल्लिका के आर-पार होती है? हमें पुनः उन प्रक्रियाओं पर ध्यान देना होगा जो इलेक्ट्रॉन के सक्रियता और उनके परिवहन के समय संपन्न होता है, ताकि उन चरणों को सुनिश्चित किया जा सके जिनके कारण प्रोटोन प्रवणता का विकास होता (चित्र 13.7) है।

- (अ) चूँकि जल के अणु का विघटन झिल्लिका के अंदर की तरफ होता है अतः जल के विघटन से उत्पन्न हाइड्रोजन आयन अथवा प्रोटोन थाइलाकोइड अवकाशिका (ल्यूमेन) में संचित होते हैं।
- (ब) जैसे ही इलेक्ट्रॉन्स फोटोसिस्टम के माध्यम से गति करते हैं, प्रोटोन झिल्लिका के पार चला जाता है। ऐसा इसलिए होता है, क्योंकि इलेक्ट्रॉन का प्राथमिक ग्राही, जो कि झिल्लिका के बाहर की ओर स्थित होता है, यह अपने इलेक्ट्रॉन को एक इलेक्ट्रॉन वाहक को स्थानांतरित नहीं करता, बल्कि एक हाइड्रोजन वाहक को करता है। अतः इलेक्ट्रॉन प्रवाह के समय यह अणु स्ट्रोमा से एक प्रोटोन को ले लेता है, जब यह अणु अपने इलेक्ट्रॉन को झिल्ली के भीतरी ओर स्थित इलेक्ट्रॉन वाहक को देता है, तब प्रोटोन के अंदर ओर अथवा झिल्ली की अवकाशिका की ओर मुक्त होता है।
- (स) एनएडीपी रिडक्टेस एंजाइम झिल्ली के स्ट्रोमा की ओर होता है। पीएस I के इलेक्ट्रॉन ग्राही से आने वाले इलेक्ट्रॉन्स के साथ-साथ प्रोटोन एनएडीपी⁺ को एनएडीपी एच + एच⁺ में अपचयित करने के लिए आवश्यक होता है। ये प्रोटोन स्ट्रोमा पीठिका से ही आते हैं।



चित्र 13.7 रस परासरण के द्वारा एटीपी का निर्माण

अतः क्लोरोप्लास्ट में स्थित स्ट्रोमा में प्रोटोन की संख्या घटती है, जबकि ल्यूमेन (अवकाशिका) में प्रोटोन का संचयन होता है। इस प्रकार यह थाइलाकोइड झिल्ली के आर-पार एक प्रोटोन प्रवणता उत्पन्न होती है और साथ ही साथ ल्यूमेन में पी एच (pH) भी कम हो जाता है।

हमारे लिए प्रोटोन प्रवणता इतना महत्वपूर्ण क्यों है? प्रोटोन प्रवणता इसलिए महत्वपूर्ण है; चूँकि प्रवणता टूटने पर ऊर्जा मुक्त होती है। यह प्रवणता इसलिए भंग होती है; क्योंकि प्रोटोन झिल्लिका में मौजूद एटीपीएज के पारगमन वाहिका (F_0) के माध्यम से स्ट्रोमा में गतिशील होता है। आपने अध्याय 12 में एटीपी तथा एटीपीएज एंजाइम के बारे में पढ़ा है। आपको याद होगा कि एटीपीएज एंजाइम में दो भाग होते हैं: इसमें एक एफ शैव्य (F_0) कहलाता है, जो झिल्लिका में अतः स्थापित होता है तथा एक पारगमन झिल्लिका चैनल की रचना करता है जो कि झिल्लिका के आर-पार प्रोटोन के विसरण को आगे बढ़ाता है। इसका दूसरा भाग एफ वन (F_1) कहलाता है और थाइलेकोइड की बाहरी सतह जो स्ट्रोमा की ओर होती है पर उद्धर्व के रूप में होता है प्रवणता का भंजन पर्याप्त ऊर्जा प्रदान करता है, जिसके कारण एटीपीएज के कण एफ वन (F_1) में संरूपण परिवर्तन आता है। जिससे कि एंजाइम ऊर्जा से प्रचूर एटीपी का संश्लेषण कर सके।

रसोपरासरण (केमिओस्मोसिस) के लिए एक झिल्लिका, एक प्रोटोन पंप, एक प्रोटोन प्रवणता तथा एटीपीएज की आवश्यकता होती है। प्रोटोन को एक झिल्लिका के आर-पार पंप करने के लिए ऊर्जा का उपयोग होता है, ताकि थाइलेकोइड ल्यूमेन में एक प्रवणता अथवा प्रोटोन की उच्च सांद्रता पैदा हो सके। एटीपीएज के पास एक चैनल अथवा नलिका होता है, जो झिल्लिका के आर-पार प्रोटोन को विसरण का अवसर देता है। यह एटीपीएज एंजाइम को सक्रिय करने के लिए पर्याप्त ऊर्जा छोड़ता है जो एटीपी संश्लेषण को उत्प्रेरित करता है।

इलेक्ट्रॉन की गतिशीलता से उत्पादित एनएडीपीएच के साथ एटीपी भी स्ट्रोमा (पीठिका) में संपन्न होने वाले जैव संश्लेषण में तुरंत उपयोग कर लिए जाएंगे, जो CO_2 के स्थिरण एवं शर्करा के संश्लेषण के लिए आवश्यक है।

13.7 एटीपी तथा एनएडीपीएच कहाँ उपयोग होते हैं?

हमने पढ़ा है कि प्रकाश अभिक्रिया के उत्पाद एटीपी, एनएडीपीएच तथा O_2 हैं। इनमें से O_2 क्लोरोप्लास्ट के बाहर विसरित होती है; जबकि एटीपी तथा एनएडीपीएच का उपयोग आहार अथवा शर्करा को संश्लेषित करने वाली प्रक्रिया में होता है। यह प्रकाश-संश्लेषण का **जैव संश्लेषण चरण** होता है। यह प्रक्रिया परोक्ष रूप से प्रकाश पर निर्भर नहीं होती; बल्कि यह प्रकाश के प्रक्रियाओं के उत्पादों अर्थात् एटीपी तथा एनएडीपीएच के अतिरिक्त CO_2 तथा H_2O (जल) पर निर्भर होती है। आप शायद यह आश्चर्य कर सकते हैं कि इसकी सत्यता की जाँच कैसे की जा सकती है? यह बहुत ही सरल है। प्रकाश उपलब्ध न होने के तुरंत बाद कुछ समय तक के लिए जैव संश्लेषण प्रक्रिया जारी रहती है और इसके बाद बंद हो जाती है। यदि इसके बाद पुनः प्रकाश उपलब्ध होता है तो संश्लेषण पुनः आरंभ हो जाता है।

अतः जैव संश्लेषण चरण को **अप्रकाशी अभिक्रिया** (डार्क रिएक्शन) कहना क्या एक मिथ्या है? अपने साथियों के बीच इसकी चर्चा करें।

आइए अब देखें कि जैव संश्लेषण चरण में एटीपी तथा एनएडीपीएच का उपयोग कैसे होता है? हम पहले देख चुके हैं कि H_2O के साथ CO_2 के मिलने से $(CH_2O)_n$ अथवा शर्करा उत्पादित होती है। यह वैज्ञानिकों की रुचि थी कि उन्होंने यह खोजा कि यह प्रतिक्रिया कैसे संपन्न होती है अथवा यह जाना कि CO_2 के प्रतिक्रिया में आने से अथवा यौगिकीकृत होने से कौन सा पहला उत्पाद बनता है। द्वितीय विश्व युद्ध के ठीक बाद, लाभदायी उपयोग हेतु रेडियो आइसोटोपिक का उपयोग किया गया। इस उपयोग में मेल्विन कैल्विन का कार्य सराहनीय था। उन्होंने शैवाल में रेडियो एक्टिव ^{14}C का उपयोग प्रकाश-संश्लेषण अध्ययन में किया, जिससे पता लगा कि CO_2 यौगिकीकरण (फिक्सेशन) पहला उत्पाद एक 3 कार्बन वाला कार्बनिक अम्ल था। इसके साथ ही उसने संपूर्ण जैव संश्लेषण पथ की खोज की अतः इसे **कैल्विन चक्र** कहते हैं। इस पहले उत्पाद का नाम **3-फोस्फोग्लिसेरिक** अम्ल अथवा संक्षेप में **पीजीए** है। इसमें कितने कार्बन परमाणु होते हैं?

वैज्ञानिकों ने जानने का यह भी प्रयत्न किया कि क्या सभी पौधे CO_2 यौगिकीकरण (स्थिरीकरण) के बाद पहला उत्पाद पीजीए ही बनाते हैं अथवा फिर अन्य पौधों में कोई अन्य उत्पाद है। बहुत सारे पौधों में व्यापक शोध किए गए, जहाँ पर CO_2 के यौगिकीकरण का पहला स्थायी उत्पाद पुनः एक कार्बनिक अम्ल था, जिसमें कार्बन के चार परमाणु थे। यह अम्ल **ओक्सैलोएसिटिक अम्ल** अथवा ओएए था। तब से प्रकाश-संश्लेषण के दौरान CO_2 के स्वांगीकरण (एसिमिलेशन) को दो मुख्य विधियों से बताया गया। जिन पौधों में, CO_2 यौगिकीकरण का पहला उत्पाद C_3 अम्ल (PGA) था उसे **C_3 पथ** और जिनका पहला उत्पाद C_4 अम्ल (ओएए) था, उसे **C_4 पथ** कहते हैं। इन दोनों समूह के पौधों में कुछ अन्य अभिलक्षण भी होते हैं, जिनकी चर्चा हम बाद में करेंगे।

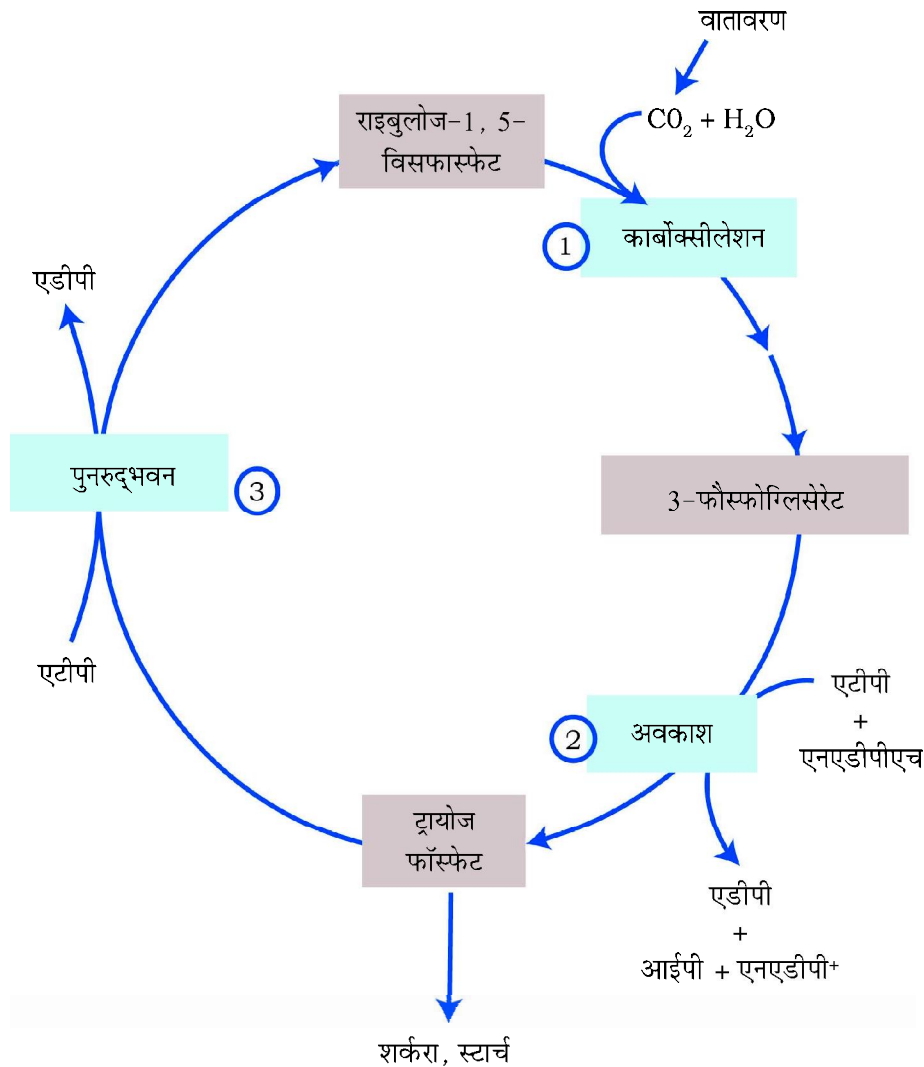
13.7.1 CO_2 के प्राथमिकग्राही

आइए, अब हम अपने आप से एक प्रश्न पूछें, जिसे कि उन वैज्ञानिकों द्वारा पूछा गया था जो अप्रकाशी अभिक्रिया को समझने के लिए संघर्ष कर रहे थे। उस अणु में कितने कार्बन परमाणु हैं जो CO_2 को ग्राह्य करने के बाद तीन कार्बन यौगिक (अर्थात् पीजीए) बनाते हैं?

अध्ययनों से पता लगा कि ग्राही अणु एक पाँच कार्बन वाला कीटोज शुगर (शर्करा) था, यह रिब्यूलोज 1-5 बिसफोस्फेट (RuBP) था। क्या आपमें से किसी ने इस संभावना के बारे में सोचा था? परेशान मत होइए; वैज्ञानिकों को भी इसे जानने में बहुत समय लगा और किसी निष्कर्ष पर पहुँचने से पहले बहुत सारे प्रयोग किए गए थे। उन्हें यह भी यकीन था कि, चूँकि पहला उत्पाद C_3 अम्ल था, अतः प्राथमिकग्राही 2 कार्बन कंपाउंड (यौगिक) होगा। उन्होंने पहले 2 कार्बन कम्पाउंड को पहचानने के लिए कई वर्ष तक प्रयत्न किए। अंततः उन्होंने पाँच कार्बन वाले RuBP की खोज करने में सफलता प्राप्त की।

13.7.2 केल्विन चक्र

केल्विन तथा उसके सहकर्मियों ने संपूर्ण पथ का पता लगाया और बताया कि यह पथ एक चक्रीय क्रम में संचालित होता है; जिसमें RuBP पुनः उत्पादित होता है। आइए, अब यह देखें कि केल्विन पथ कैसे संचालित होता है और शर्करा कहाँ पर संश्लेषित होती है। आइए, शुरू में ही हम स्पष्ट रूप से समझ लें कि केल्विन चक्र उन सभी पौधों में होता है जो प्रकाश-संश्लेषण करते हैं। इससे कोई फर्क नहीं पड़ता कि उनमें चाहे पथ C_3 अथवा C_4 (अथवा कोई अन्य) हो (चित्र 13.8)।



चित्र 13.8 केल्विन चक्र तीन भागों में बांटा जा सकता है। (1) कार्बोक्सीलेशन जिसमें CO_2 राइबुलोज-1, 5 विसफास्फेट से योग करता है (2) अवकरण, जिसमें कार्बोहाइड्रेट का निर्माण प्रकाश रासायनिक ग्राही तथा एनएडीपीएच की मदद से होता है तथा (3) पुनरुद्भवन जिसमें CO_2 ग्राही राइबुलोज-1, 5 विसफास्फेट का फिर से निर्माण होता है तथा चक्र चलता रहता है।

केल्विन चक्र को आसानी से समझने के लिए इसको तीन चरणों - कार्बोक्सिलीकरण (कार्बोक्सीलेशन), रिडक्शन तथा रिजेनरेशन में वर्णन करते हैं।

1. **कार्बोक्सिलीकरण**- CO_2 के यौगिकीकरण से एक स्थिर कार्बनिक मध्यस्थ बनता है। केल्विन चक्र में कार्बोक्सिलीकरण एक अत्यधिक निर्णायक चरण है जहाँ RuBP के कार्बोक्सिलीकरण के लिए CO_2 का उपयोग किया जाता है। यह प्रतिक्रिया एंजाइम RuBP कार्बोक्सिलेस के द्वारा उत्प्रेरित होती है, जिसके परिणामस्वरूप 3-P GA के दो अणु बनते हैं। चूँकि इस एंजाइम में एक ऑक्सीजिनेशन (ऑक्सीकरण) क्षमता भी होती है, अतः यह ज्यादा उचित होगा कि हम इस एंजाइम को RuBP कार्बोक्सीलेस-ऑक्सीजिनेस अथवा **रुबिस्को** कहें।
2. **रिडक्शन (अपचयन)** यह प्रतिक्रियाओं की एक शृंखला है जिसमें ग्लूकोज बनता है। इस चरण में प्रत्येक CO_2 अणु के स्थिरण हेतु एटीपी के 2 अणुओं का उपयोग फॉस्फोरिलेशन के लिए तथा एनएडीपीएच के दो अणुओं का उपयोग अपचयन हेतु होता है। पथ से ग्लूकोज के एक अणु को बनाने के लिए CO_2 के 6 अणुओं के यौगिकीकरण तथा चक्करों की आवश्यकता होती है।
3. **रिजेनरेशन (पुनरुद्भवन)** यदि चक्र को बिना बाधा के जारी रहना है तो CO_2 ग्राही अणु RuBP का पुनरुद्भवन बहुत ही आवश्यक होता है। पुनरुद्भवन के चरण में RuBP गठन हेतु फॉस्फोरिलेशन के लिए एक एटीपी की आवश्यकता होती है।

इसलिए, केल्विन चक्र में CO_2 के प्रत्येक अणु को प्रवेश के लिए एटीपी के 3 अणु तथा एनएडीपीएच के 2 अणुओं की आवश्यकता होती है। अप्रकाश अभिक्रिया में उपयोग होने वाले एटीपी और एनएडीपीएच की संख्याओं में यह अंतर ही चक्रीय फॉस्फोरिलेशन को संपन्न कराने का कारण है।

ग्लूकोस के एक अणु की रचना के लिए इस चक्र के 6 चक्करों की आवश्यकता होती है। यह पता करें कि केल्विन पथ के माध्यम से ग्लूकोस के एक अणु की रचना के लिए कितने एटीपी तथा एनएडीपीएच के अणुओं की आवश्यकता होती है। आपको यह बात शायद समझने में मदद करेगी कि केल्विन चक्र में क्या अंदर जाता है और क्या बाहर निकलता है।

अंदर	बाहर
6 CO_2	एक ग्लूकोज
18 एटीपी	18 एडीपी
12 एनएडीपीएच	12 एनएडीपी

13.8 पथ C_4

C_4 पथ जैसा कि पहले बताया गया है कि पौधे जो शुष्क उष्णकटिबंधी क्षेत्र में पाए जाते हैं उनमें C_4 पथ होता है। इन पौधों में CO_2 को यौगिकीकरण का पहला उत्पाद यद्यपि C_4 औक्जेलोएसिटिक अम्ल होता है फिर भी इनके मुख्य जैव संश्लेषण पथ में C_3 पथ

अथवा केल्विन चक्र ही होता है। तब फिर से C_3 पौधों से किस प्रकार में भिन्न हैं? यह एक प्रश्न है जिसे आप पूछ सकते हैं।

C_4 पौधे विशिष्ट हैं: इनकी पत्तियों में एक विशेष प्रकार की शारीरिकी होती है। ये उच्च ताप को सह सकते हैं। ये उच्च प्रकाश तीव्रता के प्रति अनुक्रिया करते हैं। उनमें प्रकाश श्वसन प्रक्रिया नहीं होती और उनमें जैव भार अधिक उत्पन्न होता है। आइए, इन्हें एक-एक करके समझें।

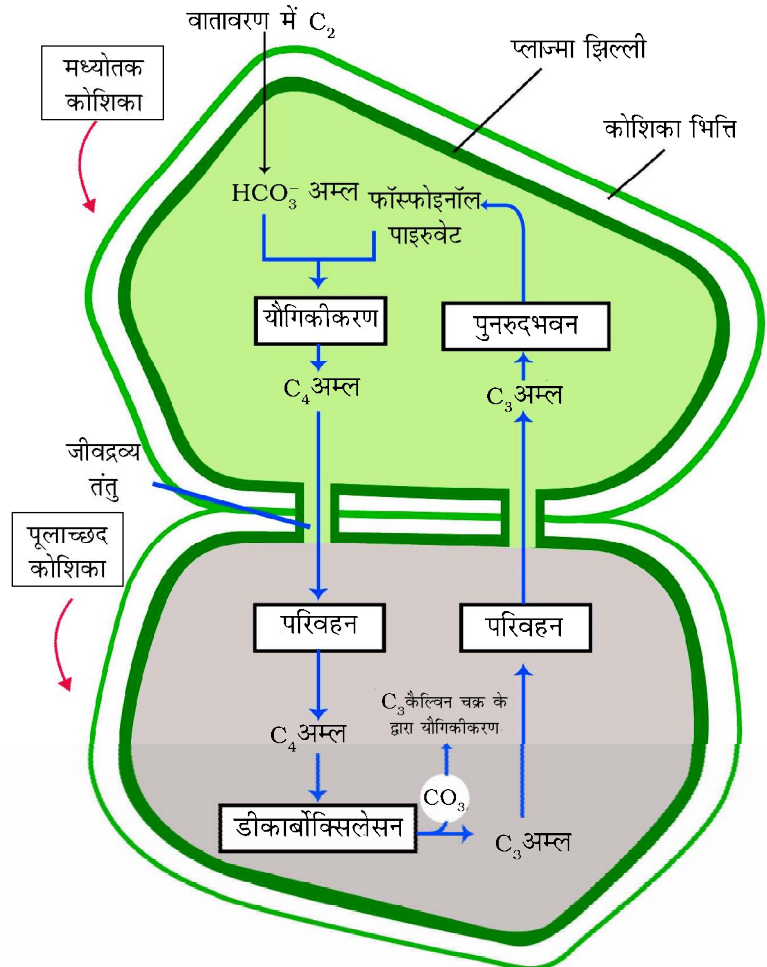
आओ, C_3 तथा C_4 पत्तियों की खड़ी काट का अध्ययन करें। क्या आपने इन दोनों में कोई अंतर देखा है? क्या दोनों में एक ही प्रकार के पर्णमध्योतक हैं? क्या इनके संवहनी पूलाच्छद के आस-पास एक ही प्रकार की कोशिकाएं हैं?

C_4 पथ पौधों की संवहन बंडल के चारों ओर स्थित बृहद् कोशिकाएं पूलाच्छद (बंडल शीथ) कोशिकाएं कहलाती हैं और पत्तियाँ जिनमें ऐसी शारीर होती है, उन्हें क्रैंजी शारीर वाली पत्तियाँ कहते हैं। यहाँ, क्रैंज का अर्थ है छल्ला अथवा घेरा, चूँकि कोशिकाओं की व्यवस्था एक छल्ले के रूप में होती है। संवहन बंडल के आस-पास पूलाच्छद कोशिकाओं की अनेकों परतें होती हैं, इनमें बहुत अधिक संख्या में क्लोरोप्लास्ट होते हैं, इसकी मोटी भित्तियाँ गैस से अप्रवेश्य होती हैं और इनमें अंतरकोशीय स्थान नहीं होता। आप C_4 पौधों जैसे मक्का अथवा ज्वार की पत्तियों का एक भाग काटो, ताकि क्रैंज शारीर एवं पर्णमध्योतक देख सकें।

अपने आस-पास के विभिन्न स्पेशीज के पेड़ों की पत्तियाँ एकत्र करें और उनकी पत्तियों की खड़ी काट लें। सूक्ष्मदर्शी से इसके संवहन बंडल पूल के आस-पास पूलाच्छद को देखें। पूलाच्छद की उपस्थिति C_4 पौधों को पहचानने में आपकी सहायता करेगा।

अब चित्र 13.9 में दिखाए गए पथ का अध्ययन करें। इस पथ को हैच एवं स्लैक पथ कहते हैं। यह भी एक चक्रीय प्रक्रिया है। आइए, हम चरणों को समझते हुए पथ का अध्ययन करें।

CO_2 का प्राथमिक ग्राही एक 3 कार्बन अणु फोस्फोइनोल पाइरुवेट (PEP) है और वह पर्णमध्योतक कोशिका में स्थित होता है। इस यौगिकीकरण को पेप कार्बोक्सीलेस अथवा पेप केस (PEP) नामक एंजाइम संपन्न करता है। पर्णमध्योतक कोशिकाओं में रुबिस्को एंजाइम नहीं होता है। C_4 अम्ल ओएए पर्णमध्योतक कोशिका में निर्मित होता है।



चित्र 13.9 हैच एवं स्लैक पाथवे

इसके बाद ये पर्णमध्योतक कोशिका में अन्य 4-कार्बन वाले अम्ल जैसे मैलिक अम्ल और एस्पार्टिक अम्ल बनते हैं, जोकि पूलाच्छद कोशिका में चले जाते हैं। पूलाच्छद कोशिका में यह C_4 अम्ल विघटित हो जाता है जिससे CO_2 तथा एक 3-कार्बन अणु मुक्त होते हैं।

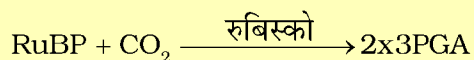
3-कार्बन अणु पुनः पर्णमध्योतक में वापस आ जाता है, जहाँ यह पुनः पेप में बदला जाता है और इस तरह से यह चक्र पूरा होता है।

पूलाच्छद कोशिका से निकली CO_2 केल्विन पथ अथवा C_3 में प्रवेश करती है केल्विन एक ऐसा पथ जो सभी पौधों में समान रूप से होता है। पूलाच्छद कोशिका रुबिस्को से भरपूर होती है, परंतु पेप केस से रहित होती है। अतः मौलिक पथ केल्विन पथ जिसके परिणामस्वरूप शर्करा बनती है, वह C_3 एवं C_4 पौधों में सामान्य रूप से होता है।

क्या आपने ध्यान दिया है कि केल्विन पथ सभी C_3 पौधों की पर्णमध्योतक कोशिकाओं में पाया जाता है? C_4 पौधों में पर्णमध्योतक कोशिकाओं में यह संपन्न नहीं होता है, किंतु पूलाच्छद कोशिकाओं में केवल कारगर होता है।

13.9 प्रकाश श्वसन (फोटोरेस्पिरेशन)

आइए, हम एक और प्रक्रिया- प्रकाश श्वसन को जानने का प्रयत्न करते हैं, जो C_3 एवं C_4 पौधों में महत्वपूर्ण अंतर करती है। प्रकाश श्वसन समझने के लिए, हमें केल्विन पथ के प्रथम चरण अर्थात् CO_2 स्थिरीकरण के पहले चरण के विषय में कुछ अधिक जानकारी करनी होगी। यह वह अभिक्रिया है जहाँ RuBP कार्बन डाईऑक्साइड से संयोजित कर 3 पीजीए के 2 अणुओं का गठन करता है और एक एंजाइम रिबूलोज विसफोस्फेट कार्बोक्सीलेस ऑक्सीजिनेस ($RuBisCO$) के द्वारा उत्प्रेरित होता है।



रुबिस्को नामक एंजाइम विश्व में सबसे ज्यादा प्रचुर है (आपको आश्चर्य होता है क्यों?) और इसका यह गुण है कि इसकी सक्रिय जगह CO_2 एवं O_2 दोनों से बंधित हो सकता है। इसलिए इसे रुबिस्को कहते हैं। क्या आप सोच सकते हैं कि यह कैसे संभव है? रुबिस्को में O_2 की अपेक्षा CO_2 के लिए अधिक बंधुता है। कल्पना कीजिए कि यदि ऐसा नहीं होता तो क्या होता! यह आबंधता प्रतियोगितात्मक है। O_2 अथवा CO_2 इनमें से कौन आबंध होगा, यह उनकी सापेक्ष सांद्रता पर निर्भर करता है।

C_3 पौधों में कुछ O_2 रुबिस्को से बंधित होती है अतः CO_2 का यौगिकीकरण कम हो जाता है। यहाँ पर आरयुबीपी 3-PGA के अणुओं में पतिवर्तित होने की बजाय ऑक्सीजन से संयोजित होकर चक्र में एक फास्फोग्लिसरेट अणु तथा फॉस्फोग्लाइकोलेट का एक अणु बनाते हैं जिसे प्रकाश श्वसन कहते हैं। प्रकाश श्वसन पथ में शर्करा और एटीपी का संश्लेषण नहीं होता; बल्कि इसमें एटीपी के उपयोग के साथ CO_2 भी निकलती है। प्रकाश श्वसन पथ में एटीपी अथवा एनएडीपीएच का संश्लेषण नहीं होता। अतः प्रकाश श्वसन एक निरर्थक प्रक्रिया है।

तालिका 13.1 C_3 एवं C_4 पौधों के बीच अंतर करने के लिए इस तालिका के कालम 2 और 3 को भरो।

विशिष्टताएं	C_3 पौधे	C_4 पौधे	इनमें से चुनिए
वह कोशिका प्रकार जिसमें केल्विन चक्र संपन्न होता है			पर्णमध्योतक/पूलाच्छद/दोनों
वह कोशिका प्रकार जिसमें प्रारंभिक कार्बोक्सिलेशन प्रतिक्रिया घटित होता है।			पर्णमध्योतक/पूलाच्छद/दोनों
एक पत्ती में कितने प्रकार की कोशिकाएं होती हैं जो CO_2 का यौगिकीकरण करती हैं।			एक: पर्णमध्योतक, दो: पूलाच्छद एवं पर्णमध्योतक तीन: पूलाच्छद, पैलिसेड (खंभ), स्पंजी पर्णमध्योतक
CO_2 का प्राथमिक ग्राही कौन सा है?			आरयुबीपी/पीईपी/पीजीए
प्राथमिक CO_2 ग्राही में कितनी संख्या में कार्बन होते हैं?			5/4/3
CO_2 स्थिरीकरण का प्राथमिक उत्पाद कौन सा है?			पीजीए/ओएए/आरयुबीपी
CO_2 स्थिरीकरण के प्राथमिक उत्पाद में कितने कार्बन हैं?			3/4/5
क्या पौधे में रुबिस्को (RuBisCO) होता है?			हाँ/नहीं/सदैव नहीं
क्या पौधे में पेपकेस (PEPCase) होता है?			हाँ/नहीं/सदैव नहीं
पौधे में किन कोशिकाओं में रुबिस्को (Rubisco) होता है?			पर्णमध्योतक/पूलाच्छद कोई नहीं
उच्च प्रकाश स्थिति में CO_2 के यौगिकीकरण की दर			निम्न/उच्च/मध्यम
क्या निम्न प्रकाश तीव्रता में प्रकाश श्वसन होता है?			उच्च/नगण्य/कभी-कभी
क्या उच्च प्रकाश तीव्रता में प्रकाश श्वसन होता है?			उच्च/नगण्य/कभी-कभी
क्या निम्न CO_2 सांद्रता में प्रकाश श्वसन होगा?			उच्च/नगण्य/कभी-कभी
क्या उच्च CO_2 सांद्रता में प्रकाश श्वसन होगा?			उच्च/नगण्य/कभी-कभी
अनुकूलतम तापमान			30-40°C / 20-25°C 40°C से ऊपर
उदाहरण			विभिन्न पौधों की पत्तियों के खड़े सेक्सन काटें तथा सूक्ष्मदर्शी के नीचे रखकर क्रैज शरीर देखें तथा उन्हें उपयुक्त खाने (कॉलम) में भरें।

C₄ पौधे में प्रकाश श्वसन नहीं होता है। इसका कारण यह है कि इनमें एक ऐसी प्रणाली होती है जो एंजाइम स्थल पर CO₂ की सांद्रता बढ़ा देती है। ऐसा तब होता है जब पर्णमध्योतक का C₄ अम्ल पूलाच्छद में टूटकर CO₂ को मुक्त करता है, जिसके परिणामस्वरूप CO₂ की अंतरकोशिकीय सांद्रता बढ़ जाती है। इससे यह सुनिश्चित हो जाता है कि रुबिस्को कार्बोक्सीलेस के रूप में कार्य करता है, जिससे इसकी ऑक्सीजिनेस के रूप में कार्य करने की क्षमता कम हो जाती है।

अब, आप जानते हैं कि C₄ पौधों में प्रकाश श्वसन नहीं होता। अब संभवतः आप समझ गए होंगे कि इन पौधों में उत्पादकता एवं उत्पादन क्यों अच्छा होता है। इसके अतिरिक्त ये पौधे उच्च ताप को भी सहन कर सकते हैं।

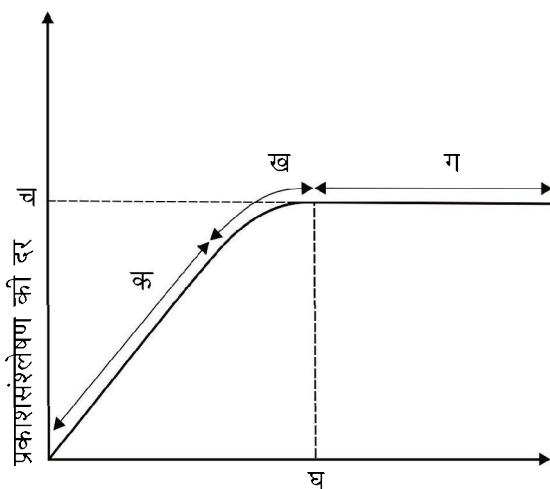
उपर्युक्त परिचर्चा के आधार पर क्या आप उन पौधों की तुलना कर सकते हो जिसमें C₃ तथा C₄ पथ होता है। आप दी गई तालिका का उपयोग कर आवश्यक सूचनाओं को भरें।

13.10 प्रकाश-संश्लेषण को प्रभावित करने वाले कारक

प्रकाश-संश्लेषण को प्रभावित करने वाले कारकों के विषय में जानना आवश्यक है। प्रकाश-संश्लेषण की दर पौधों एवं फसली पादपों के उत्पादन जानने में अत्यंत ही महत्वपूर्ण है। प्रकाश-संश्लेषण कई कारकों से प्रभावित होता है जो बाह्य तथा आंतरिक दोनों ही हो सकते हैं। पादप कारकों में संख्या, आकृति, आयु तथा पत्तियों का विन्यास, पर्णमध्योतक कोशिकाएं तथा क्लोरोप्लास्ट आंतरिक CO₂ की सांद्रता और क्लोरोफिल की मात्रा आदि हैं। पादप अथवा आंतरिक कारक पौधे की वृद्धि तथा आनुवंशिक पूर्वानुकूलता पर निर्भर करते हैं।

बाह्य कारक हैं सूर्य का प्रकाश, ताप, CO₂ की सांद्रता तथा जल। पादप की प्रकाश-संश्लेषण प्रक्रिया में ये सभी कारक एक समय में साथ-साथ ही प्रभाव डालते हैं। यद्यपि, बहुत सारे कारक परस्पर क्रिया करते हैं तथा साथ-साथ प्रकाश-संश्लेषण अथवा CO₂ के यौगिकीकरण को प्रभावित करते हैं, फिर भी प्रायः इनमें से कोई भी एक कारक इस की दर को प्रभावित अथवा सीमित करने का मुख्य कारण बन जाता है। अतः किसी भी समय पर उपानुकूलतम स्तर पर उपलब्ध कारक द्वारा प्रकाश-संश्लेषण की दर का निर्धारण होगा।

जब अनेक कारक किसी (जैव) रासायनिक प्रक्रिया को प्रभावित करते हैं तो ब्लैकमैन का (1905) लॉ ऑफ लिमिटिंग फैक्टर्स प्रभाव में आता है। इसके अनुसार: यदि कोई रासायनिक प्रक्रिया एक से अधिक कारकों द्वारा प्रभावित होती है तो इसकी दर का निर्धारण उस समीपस्थ कारक द्वारा होगा जो कि न्यूनतम मान (मूल्य) वाला हो।



चित्र 13.10 प्रकाश की तीव्रता का प्रकाशसंश्लेषण के प्रति दर पर प्रभाव का ग्राफ

अगर उस कारक की मात्रा बदल दी जाए तो कारक प्रक्रिया को सीधे प्रभावित करता है।

उदाहरण के लिए एक हरी पत्ती, अधिकतम अनुकूल प्रकाश तथा CO_2 की उपस्थिति के बावजूद, यदि ताप बहुत कम हो तो प्रकाश-संश्लेषण नहीं करेगी। इस पत्ती में प्रकाश-संश्लेषण तभी शुरू होगा, यदि उसे ईष्टतम ताप प्रदान किया जाए।

13.10.1 प्रकाश

जब हम प्रकाश को प्रकाश-संश्लेषण को प्रभावित करने वाले कारक के रूप में लेते हैं तो हमें प्रकाश की गुणवत्ता, प्रकाश की तीव्रता तथा दीप्तिकाल के बीच अंतर करने की आवश्यकता है। यहाँ कम प्रकाश तीव्रता पर आपतित प्रकाश तथा CO_2 के यौगिकीकरण की दर के बीच एक रैखीय संबंध है। उच्च प्रकाश तीव्रता होने पर, इस दर में कोई वृद्धि नहीं होती है, अन्य कारक सीमित हो जाते हैं (चित्र 13.10)। इसमें ध्यान देने वाली रोचक बात यह है कि प्रकाश संतृप्ति पूर्ण प्रकाश के 10 प्रतिशत पर होती है। छाया अथवा सघन जंगलों में उगने वाले पौधों को छोड़कर प्रकाश शायद ही प्रकृति में सीमाकारी कारक हो। एक सीमा के बाद आपतित प्रकाश क्लोरोफिल के विघटन का कारण होती है, जिससे प्रकाश-संश्लेषण की दर कम हो जाती है।

13.10.2 कार्बन डाइऑक्साइड की सांद्रता

प्रकाशसंश्लेषण में कार्बन डाइऑक्साइड एक प्रमुख सीमाकारी कारक है। वायुमंडल में CO_2 की सांद्रता बहुत ही कम है (0.03 और 0.04 प्रतिशत के बीच)। CO_2 की सांद्रता में 0.05 प्रतिशत तक वृद्धि के कारण CO_2 की यौगिकीकरण दर में वृद्धि हो सकती है, लेकिन इससे अधिक की मात्रा लंबे समय तक के लिए क्षतिकारक बन सकता है। C_3 एवं C_4 पौधे CO_2 की सांद्रता में भिन्न अनुक्रिया करते हैं। निम्न प्रकाश स्थितियों में दोनों में से कोई भी समूह उच्च CO_2 सांद्रता के प्रति अनुक्रिया नहीं करते हैं। उच्च प्रकाश तीव्रता में C_3 तथा C_4 दोनों ही तरह के पादपों में प्रकाश-संश्लेषण की बढ़ी दर अधिक हो जाती है। यहाँ पर यह ध्यान देना महत्वपूर्ण है कि C_4 पौधे लगभग $360 \mu\text{L}^{-1}$ पर संतृप्त हो जाते हैं जबकि C_3 बढ़ी हुई CO_2 सांद्रता पर अनुक्रिया करता है तथा संतृप्ति केवल $450 \mu\text{L}^{-1}$ के बाद ही दिखाती है। अतः उपलब्ध CO_2 का स्तर C_3 पादपों के लिए सीमाकारी है।

सच यह है कि C_3 पौधे उच्चतर CO_2 सांद्रता में अनुक्रिया करते हैं और इससे प्रकाश-संश्लेषण की दर में वृद्धि होती है, जिसके फलस्वरूप उत्पादन अधिक होता है और सिद्धांत का उपयोग ग्रीन हाउस फसलों, जैसे टमाटर एवं बेल मिर्च में किया गया है। इन्हें कार्बन-डाइऑक्साइड से भरपूर वातावरण में बढ़ने का अवसर दिया जाता है ताकि उच्च पैदावार प्राप्त हो।

13.10.3 ताप

अप्रकाशी अभिक्रिया एंजाइम पर निर्भर करती है, इसलिए ताप द्वारा नियंत्रित होती है। यद्यपि प्रकाश अभिक्रिया भी ताप संवेदी होती है, लेकिन उस पर ताप का काफी कम

प्रभाव होता है। C_4 पौधे उच्च ताप पर अनुक्रिया करते हैं तथा उनमें प्रकाश-संश्लेषण की दर भी ऊँची होती है, जबकि C_3 पौधे के लिए ईष्टतम ताप कम होता है।

विभिन्न पौधों के प्रकाश-संश्लेषण लिए ईष्टतम ताप उनके अनुकूलित आवास पर निर्भर करता है। उष्णकटिबंधी पौधों के लिए ईष्टतम ताप उच्च होता है। समशीतोष्ण जलवायु में उगने वाले पौधों के लिए एक अपेक्षाकृत कम ताप की आवश्यकता होती है।

13.10.4 जल

यद्यपि प्रकाश अभिक्रिया में जल एक महत्वपूर्ण प्रतिक्रिया अभिकारक है, तथापि, कारक के रूप में जल का प्रभाव पूरे पादप पर पड़ता है, न कि सीधे प्रकाश-संश्लेषण पर। जल तनाव रंध्र को बंद कर देता है अतः CO_2 की उपलब्धता घट जाती है। इसके साथ ही, जल तनाव से पत्तियाँ मुरझा जाती हैं, जिससे पत्ती का क्षेत्रफल कम हो जाता है और इसके साथ ही साथ उपापचयी क्रियाएँ भी कम हो जाती हैं।

सारांश

पौधे अपने भोजन को प्रकाश-संश्लेषण द्वारा स्वयं तैयार करते हैं। इस प्रक्रिया के दौरान वायुमंडल में उपलब्ध कार्बनडाइऑक्साइड पत्तियों के रंध्रों द्वारा ली जाती है और कार्बोहाइड्रेट्स- मुख्यतः ग्लूकोज (शर्करा) एवं स्टार्च बनाने में उपयोग की जाती है। प्रकाश-संश्लेषण की क्रिया पौधों के हरे भागों, मुख्यतः पत्तियों में संपन्न होती है। पत्तियों के अंतर्गत पर्णमध्योत्तक कोशिकाओं में भारी मात्रा में क्लोरोप्लास्ट होता है जोकि CO_2 के यौगिकीकरण (फिक्सेशन) के लिए उत्तरदायी होता है। क्लोरोप्लास्ट के अंतर्गत, प्रकाश अभिक्रिया के लिए झिल्लिकाएँ वह स्थल होती हैं, जबकि केमोसिंथेटिक पथ स्ट्रोमा में स्थित होता है। प्रकाश-संश्लेषण में दो चरण होते हैं: प्रकाश अभिक्रिया तथा कार्बन फिक्सिंग रिएक्शन (कार्बन यौगिकीकरण अभिक्रिया)। प्रकाश अभिक्रिया में प्रकाश ऊर्जा एंटेना में मौजूद वर्णकों द्वारा अवशोषित किए जाते हैं तथा अभिक्रिया केंद्र में मौजूद क्लोरोफिल ए के अणुओं को भेज दिए जाते हैं। यहाँ पर दो फोटोसिस्टम (प्रकाश प्रणाली) पीएस I तथा पीएस II होते हैं। पीएस I के अभिक्रिया केंद्र में क्लोरोफिल ए पी 700 के अणु जो प्रकाश तरंगदैर्घ्य 700 एनएम को अवशोषित करते हैं, जबकि पीएस II में एक पी 680 अभिक्रिया केंद्र होता है जो लाल प्रकाश को 680 एनएम पर अवशोषित करता है। प्रकाश अवशोषण के बाद इलेक्ट्रॉन उत्तेजित होते हैं और PS II तथा PS I से स्थानांतरित होते हुए अंत में एनएडीपी (NADP) में पहुँच एनएडीपीएच (NADPH) की रचना करते हैं। इस प्रक्रिया के दौरान एक प्रोटोन प्रवणता थाइलेकोइड की झिल्लिका के आर-पार पैदा की जाती है। एटीपी एंजाइम के हिस्से F_0 से प्रोटोन की गति के कारण प्रवणता भंग हो जाती है तथा एटीपी के संश्लेषण हेतु पर्याप्त ऊर्जा मुक्त की जाती है। पानी के अणु का विघटन PS II के साथ जुड़ा होता है, परिणामतः O_2 , और प्रोटोन की रिहाई होती है और PS II में इलेक्ट्रॉन का स्थानांतरण होता है।

कार्बन यौगिकीकरण में, एंजाइम रुबिस्को द्वारा CO_2 एक 5 कार्बन यौगिक RuBP से जोड़ा जाता है तथा 3 कार्बन पीजीए के 2 अणु में बदलता है। इसके बाद केल्विन चक्र द्वारा यह शर्करा में परिवर्तित होता है और RuBP पुनरुद्भवित होता है। इस प्रक्रिया के दौरान प्रकाश अभिक्रिया द्वारा संश्लेषित एटीपी एवं एनएडीपीएच इस्तेमाल होता है। इसके साथ ही C_3 पौधों में रुबिस्को एक निरर्थक ऑक्सीजिनेशन प्रतिक्रिया: प्रकाश श्वसन को उत्प्रेरित करता है।

कुछ उष्णकटिबंधीय पौधे विशेष प्रकार का प्रकाश-संश्लेषण करते हैं जिसे C_4 कहते हैं। इन पौधों के पर्णमध्योत्तक में संपन्न होने वाले CO_2 यौगिकीकरण के उत्पाद एक 4 कार्बन यौगिक हैं। पूलाच्छद कोशिका में केल्विन पथ चलाया जाता है, जिससे कार्बोहाइड्रेट्स का संश्लेषण होता है।

अभ्यास

1. एक पौधे को बाहर से देखकर क्या आप बता सकते हैं कि वह C_3 है अथवा C_4 ? कैसे और क्यों?
2. एक पौधे की आंतरिक संरचना को देखकर क्या आप बता सकते हैं कि वह C_3 है अथवा C_4 ? वर्णन करें?
3. हालांकि C_4 पौधे में बहुत कम कोशिकाएं जैव-संश्लेषण - केल्विन पथ को वहन करते हैं, फिर भी वे उच्च उत्पादकता वाले होते हैं। क्या इस पर चर्चा कर सकते हो कि ऐसा क्यों है?
4. रुबिस्को (RuBisCO) एक एंजाइम है जो कार्बोक्सिलेस और ऑक्सीजिनेस के रूप में काम करता है। आप ऐसा क्यों मानते हैं कि C_4 पौधों में, रुबिस्को अधिक मात्रा में कार्बोक्सिलेशन करता है?
5. मान लीजिए, यहाँ पर क्लोरोफिल बी की उच्च सांद्रता युक्त, मगर क्लोरोफिल ए की कमी वाले पेड़ थे। क्या ये प्रकाश-संश्लेषण करते होंगे? तब पौधों में क्लोरोफिल बी क्यों होता है? और फिर दूसरे गौण वर्णकों की क्या जरूरत है?
6. यदि पत्ती को अंधेरे में रख दिया गया हो तो उसका रंग क्रमशः पीला एवं हरा पीला हो जाता है? कौन से वर्णक आपकी सोच में अधिक स्थायी हैं?
7. एक ही पौधे की पत्ती का छाया वाला (उल्टा) भाग देखें और उसके चमक वाले (सीधे) भाग से तुलना करें अथवा गमले में लगे धूप में रखे हुए तथा छाया में रखे हुए पौधों के बीच तुलना करें। कौन सा गहरे हरे रंग का होता है, और क्यों?
8. प्रकाश-संश्लेषण की दर पर प्रकाश का प्रभाव पड़ता है (चित्र 13.10)। ग्राफ के आधार पर निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दें:
(अ) वक्र के किस बिंदु अथवा बिंदुओं पर (क, ख, अथवा ग) प्रकाश एक नियामक कारक है?
(ब) क बिंदु पर नियामक कारक कौन से हैं?
(स) वक्र में ग और घ क्या निरूपित करता है?
9. निम्नांकित में तुलना करें-
(अ) C_3 एवं C_4 पथ
(ब) चक्रिय एवं अचक्रिय फोटोफॉस्फोरिलेसन
(स) C_3 एवं C_4 पादपों की पत्ती की शारीरिकी

अध्याय 14

पादप में श्वसन

- 14.1 क्या पादप साँस लेते हैं? हम सभी जीवित रहने के लिए साँस लेते हैं, लेकिन जीवन के लिए साँस लेना इतना आवश्यक क्यों है? जब हम साँस लेते हैं, तब क्या होता है। क्या सभी जीवधारी, चाहे पादप हों या सूक्ष्म जीव साँस लेते हैं? यदि ऐसा है तो कैसे?
- 14.2 ग्लाइकोलिसिस सभी जीवधारियों को अपने दैनिक जीवन में अवशोषण, परिवहन, गति, प्रजनन जैसे कार्य करने हेतु और यहाँ तक की साँस लेने हेतु भी ऊर्जा की आवश्यकता होती है। यह सभी ऊर्जा कहाँ से आती है? हम जानते हैं कि ऊर्जा के लिए हम भोजन करते हैं, लेकिन ये ऊर्जा भोजन से कैसे प्राप्त होती है? यह ऊर्जा कैसे उपयोग में आती है? क्या सभी
- 14.3 किण्वन प्रकार के खाद्य पदार्थों से समान प्रकार की ऊर्जा मिलती है? क्या पादप भोजन करते हैं? पादप यह ऊर्जा कहाँ से प्राप्त करते हैं? और सूक्ष्मजीव इस ऊर्जा की आवश्यकता के लिए क्या भोजन करते हैं?
- 14.4 ऑक्सी श्वसन उपरोक्त किए गए अनेक प्रश्नों से आपको आश्चर्य हो रहा होगा कि इनमें बहुत अधिक सामंजस्य नहीं है। लेकिन वास्तव में साँस लेने की प्रक्रिया व खाद्य पदार्थ से मुक्त होने वाली ऊर्जा की प्रक्रिया में बहुत अधिक संबद्धता होती है। हम यह समझने का प्रयास करें कि यह कैसे होता है?
- 14.5 श्वसनीय संतुलन चार्ट जीवन विधि के लिए आवश्यक सभी ऊर्जा कुछ वृहत् अणुओं के ऑक्सीकरण से प्राप्त होती है, जिसे खाद्य पदार्थ कहते हैं। केवल हरे पादप व नीले हरित जीवाणु अपना भोजन स्वयं बना सकते हैं। ये प्रकाश-संश्लेषण विधि, द्वारा प्रकाशीय ऊर्जा को रसायनिक ऊर्जा में परिवर्तित कर कार्बोहाइड्रेट-ग्लूकोज, सुक्रोज व स्टार्च के रूप में संचित करते हैं। हमें यह याद रखना चाहिए कि हरे पादपों में भी सभी कोशिकाओं, ऊतकों, अंगों में प्रकाश-संश्लेषण नहीं होता है, केवल वे कोशिकाएं, जिनमें क्लोरोप्लास्ट होता है, वे ही
- 14.6 ऐंफीबोलिक पाथ क्रम
- 14.7 साँस गुणांक

प्रकाश-संश्लेषण करती हैं। चूंकि हरे पादपों में सभी अंग, ऊतक व कोशिकाएं हरी नहीं होती हैं, इसलिए इनमें ऑक्सीकरण के लिए खाद्य पदार्थ की आवश्यकता होती है। इसलिए खाद्य पदार्थ का अहरित भागों में परिवहन होता है। प्राणी परपोषित होते हैं, इसलिए वे अपना भोजन पादपों से परोक्ष (शाकाहारी), या अपरोक्ष (माँसाहारी) रूप में प्राप्त करते हैं। मृतजीवी जैसे कवक, मृत या सड़े गले पदार्थों पर निर्भर रहते हैं। यह जान लेना अति महत्वपूर्ण है कि जीवन में साँस हेतु आवश्यक सभी खाद्य पदार्थ प्रकाश-संश्लेषण द्वारा प्राप्त होते हैं। इस अध्याय में **कोशिकीय साँस** अथवा कोशिका में खाद्य पदार्थों के टूटने से निकलने वाली ऊर्जा की क्रियाविधि तथा एटीपी के संश्लेषण को समझाया गया है।

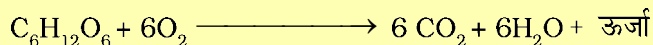
निसंदेह, प्रकाश-संश्लेषण क्लोरोप्लास्ट में संपन्न होता है (यूकैरियोट में), जबकि ऊर्जा प्राप्त करने के लिए कॉम्प्लेक्स अणुओं का विघटन से कोशिका द्रव्य तथा माइटोकॉन्ड्रिया में होता है (वह भी केवल यूकैरियोट में) जबकि कोशिकाओं में कॉम्प्लेक्स अणुओं के **C-C** (कार्बन-कार्बन) आबंध के, ऑक्सीकरण होने पर पर्याप्त मात्रा में ऊर्जा का मुक्त होना **साँस** कहलाता है। इस प्रक्रिया में जिस यौगिक का ऑक्सीकरण होता है उसे **श्वसनी क्रियाधार** कहते हैं। प्रायः कार्बोहाइड्रेट के ऑक्सीकरण से ऊर्जा मुक्त होती है, किंतु कुछ पादपों में विशेष परिस्थितियों में प्रोटीन, वसा तथा यहाँ तक कि कार्बनिक अम्ल भी श्वसनी क्रियाधार के रूप में प्रयोग में आ सकते हैं। कोशिका के अंदर ऑक्सीकरण के दौरान श्वसनी क्रियाधार में स्थित संपूर्ण ऊर्जा कोशिका में एक साथ मुक्त नहीं होती है। यह एंजाइम द्वारा नियंत्रित चरणबद्ध धीमी अभिक्रियाओं के रूप में मुक्त होती है, जो रासायनिक ऊर्जा एटीपी के रूप में एकत्रित हो जाती है। यहाँ यह समझ लेना आवश्यक है कि साँस में ऑक्सीकरण द्वारा निकलने वाली ऊर्जा सीधे उपयोग में नहीं आती (या संभवतया नहीं भी हो सकती) किंतु यह एटीपी के संश्लेषण के उपयोग में आती है तथा इस ऊर्जा की जब भी (तथा जहाँ भी) आवश्यकता होती है, ये टूट जाती हैं इस कारण से एटीपी कोशिका के लिए ऊर्जा मुद्रा का कार्य करती है। एटीपी में संचित ऊर्जा, जीवधारियों की विभिन्न ऊर्जा आवश्यक प्रक्रियाओं में उपयोग में आती है। साँस के दौरान निर्मित कार्बनिक पदार्थ कोशिका में दूसरे अणुओं के संश्लेषण के लिए पूर्वगामी के रूप काम आते हैं।

14.1 क्या पादप साँस लेते हैं?

इस प्रश्न का कोई परोक्ष उत्तर नहीं है। हाँ पादपों में साँस हेतु ऑक्सीजन (O_2) की आवश्यकता होती है और वे कार्बन-डाइऑक्साइड (CO_2) को मुक्त करते हैं। इस कारण से पादपों में ऐसी व्यवस्था है, जिससे ऑक्सीजन (O_2) की उपलब्धता सुनिश्चित होती है। पादपों में प्राणियों की तरह गैसीय आदान-प्रदान हेतु विशिष्ट अंग नहीं होते, बल्कि उनमें इस उद्देश्य हेतु रंध्र व वातरंध्र मिलते हैं। पौधे बिना श्वसन अंग के कैसे श्वसन करते हैं, इसके कई कारण हो सकते हैं। प्रथम कारण यह है कि पादपों का प्रत्येक भाग अपनी गैसीय आदान-प्रदान की आवश्यकता का ध्यान रखता है। पादपों के एक भाग से दूसरे भाग में गैसों का परिवहन बहुत कम होता है। दूसरा कारण यह है कि पादपों में गैसों के

आदान-प्रदान की बहुत अधिक मांग नहीं होती। मूल, तना व पत्ती में श्वसन, जंतुओं की अपेक्षा बहुत ही धीमी दर से होता है। केवल प्रकाश-संश्लेषण के दौरान गैसों का अत्यधिक आदान-प्रदान होता है तथा प्रत्येक पत्ती, पूर्णतया इस प्रकार से अनुकूलित होती है कि इस अवधि के दौरान अपनी आवश्यकता का ध्यान रखती है। जब कोशिका श्वसन करती है। ऑक्सीजन की उपलब्धता की कोई समस्या नहीं होती है, क्योंकि कोशिका में प्रकाश-संश्लेषण के दौरान ऑक्सीजन निकलती है। तृतीय कारण यह है कि बड़े, स्थूल पादपों में गैसों अधिक दूरी तक विसरित नहीं होती हैं। पादपों में प्रत्येक सजीव कोशिका पादपों की सतह के बिल्कुल पास स्थित होती है। यह 'पत्ती के लिए सत्य कथन' है। आप यह पूछ सकते हैं कि मोटे, काष्ठीय तनों और मूल के लिए क्या होता है? तना में सजीव कोशिकाएं छाल व छाल के नीचे पतली सतह के रूप में व्यवस्थित रहती हैं। इनमें भी छिद्र होते हैं, जिन्हें वातरंध्र कहते हैं। भीतर की कोशिकाएं मृत होती हैं तथा यांत्रिक सहायता प्रदान करती हैं। अतः पादपों की अधिकांश कोशिकाओं की सतह हवा के संपर्क में होती है। यह पैरेंकाइमा कोशिकाओं के द्वारा इस कार्य को आगे बढ़ाते हैं जो कि वायु रिक्तिकाओं के आपस में जुड़े हुए जालरूपी रचना के कारण संभव होता है।

ग्लूकोज के संपूर्ण दहन से अंतिम उत्पाद के रूप में कार्बनडाइऑक्साइड (CO_2), तथा जल (H_2O) के साथ ऊर्जा निकलती है जिसका सर्वाधिक भाग ऊष्मा के रूप में निकल जाता है। यदि यह ऊर्जा कोशिका के लिए आवश्यक है तो इसका उपयोग कोशिका में दूसरे अणुओं के संश्लेषण में होना चाहिए।



पादप कोशिकाएं इस तरह से भोजन बनाती हैं कि ग्लूकोज अणु के अपचय से निकलने वाली संपूर्ण ऊर्जा मुक्त उष्मा के रूप में न निकल जाए। मुख्य बात यह है कि ग्लूकोज का ऑक्सीकरण एक चरण में न होकर छोटे-छोटे अनेक चरणों में होता है, जिनमें कुछ चरण इतने बड़े होते हैं कि इनसे निकलने वाली पर्याप्त ऊर्जा एटीपी के संश्लेषण में उपयोग में आ जाती है। यह कैसे होता है, वास्तव में यही साँस का इतिहास है! साँस की क्रियाविधि के दौरान ऑक्सीजन का उपयोग होता है तथा कार्बनडाइऑक्साइड, जल तथा ऊर्जा उत्पाद के रूप में निकलती है। दहन अभिक्रिया के लिए ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है। परंतु कुछ कोशिकाएं ऑक्सीजन की उपस्थिति और अनुपस्थिति में भी जीवित रहती हैं। क्या आप ऐसी परिस्थितियों के बारे (और जीवों) में सोच सकते हैं जहाँ ऑक्सीजन उपलब्ध नहीं होती है। विश्वास करने के लिए पर्याप्त कारण है कि प्रथम कोशिका इस ग्रह पर ऐसे वातावरण में मिली थी, जहाँ ऑक्सीजन उपलब्ध नहीं थी। आज भी उपलब्ध सजीवों में हम जानते हैं कि कुछ अनाक्सी (ऑक्सीजन रहित) वातावरण हेतु अपने को अनुकूलित कर चुके हैं। इनमें से कुछ विकल्पीय अनाक्सी हैं जबकि कुछ के लिए अनाक्सी स्थिति की आवश्यकता अविकल्पीय होती है। हर स्थिति में सभी जीवों में एंजाइम तंत्र होता है जो ग्लूकोज को बिना ऑक्सीजन की सहायता से आंशिक रूप से ऑक्सीकृत करता है। इस प्रकार ग्लूकोज का पाइरुविक अम्ल में विघटन ग्लाइकोलिसिस कहलाता है।

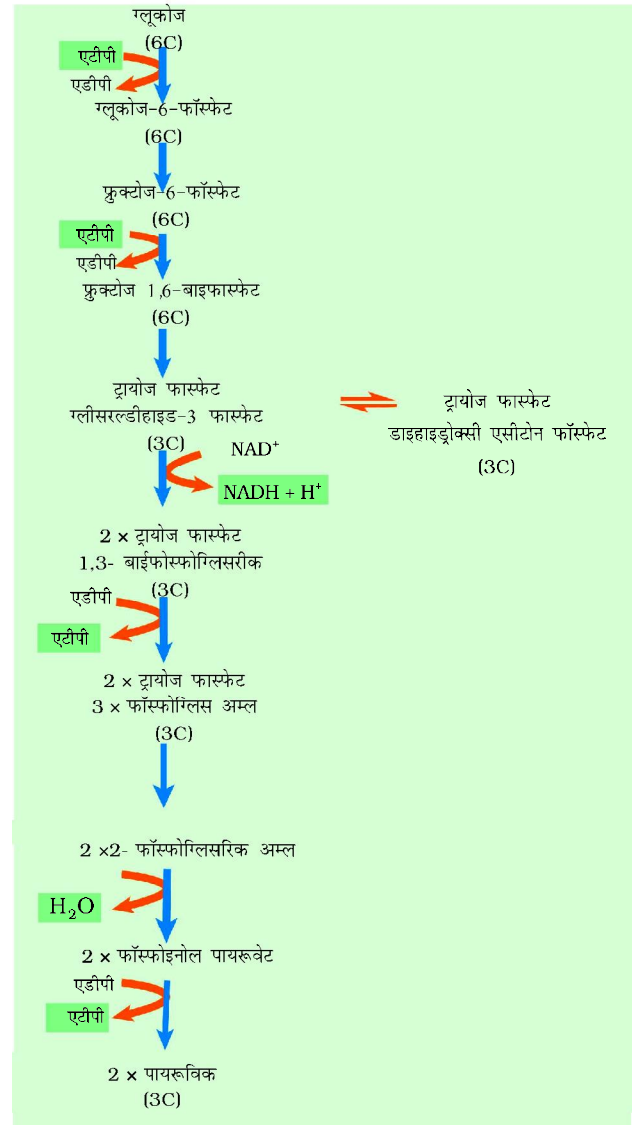
14.2 ग्लाइकोलिसिस

ग्लाइकोलिसिस शब्द की उत्पत्ति ग्रीक शब्द ग्लाइकोस अर्थात् शर्करा एवं लाइसिस अर्थात् टूटना से हुआ है। ग्लाइकोलिसिस की प्रक्रिया गुस्ताव इंबेडेन, ओटो मेयर हॉफ तथा जे पारानास द्वारा दिया गया तथा इसे सामान्यतः इएमपी पाथ कहते हैं। अनाक्सी जीवों में साँस की केवल यही प्रक्रिया है। ग्लाइकोलिसिस कोशिका द्रव्य में संपन्न होता है और यह सभी सजीवों में मिलता है। इस प्रक्रिया में ग्लूकोज आंशिक ऑक्सीकरण द्वारा पाइरुविक अम्ल के दो अणुओं में बदल जाता है। पादपों में यह ग्लूकोज सुक्रोज से प्राप्त होता है जो कि प्रकाश संश्लेषित कार्बन अभिक्रियाओं का अंतिम उत्पाद है या संचयित कार्बोहाइड्रेट से प्राप्त होता है। सुक्रोज इन्वर्टेस नामक एंजाइम की सहायता से ग्लूकोज तथा फ्रुक्टोज में परिवर्तित हो जाता है। ये दोनों मोनोसैकेराइड्स सरलता से ग्लाइकोलाइटिक चक्र में प्रवेश कर जाते हैं।

ग्लूकोज एवं फ्रुक्टोज, हेक्सोकाइनेज एंजाइम द्वारा फॉस्फोरिकृत होकर ग्लूकोज-6 फॉस्फेट बनाते हैं। ग्लूकोज का फॉस्फोरिकृत रूप समायवीकरण द्वारा फ्रुक्टोज-6 फॉस्फेट में परिवर्तित हो जाता है। ग्लूकोज एवं फ्रुक्टोज के उपापचय के बाद के क्रम एक समान होते हैं। ग्लाइकोलिसिस के विभिन्न चरण चित्र 14.1 में दर्शाए गए हैं। ग्लाइकोलिसिस में दस शृंखलाबद्ध अभिक्रियाओं में विभिन्न एंजाइम द्वारा ग्लूकोज से पाइरुवेट का निर्माण होता है। ग्लाइकोलिसिस के विभिन्न चरणों के अध्ययन के दौरान उन चरणों पर ध्यान दें जिसमें एटीपी का उपयोग (एटीपी ऊर्जा) अथवा संश्लेषण (इस मामले में $\text{NADH} + \text{H}^+$) होता है।

एटीपी का उपयोग दो चरणों में होता है: पहले चरण में जब ग्लूकोज-6 फॉस्फेट में परिवर्तन होता है तथा दूसरे चरण में व दूसरे फ्रुक्टोज-6 फॉस्फेट का फ्रुक्टोज 1, 6, बिसफॉस्फेट में परिवर्तन होता है।

फ्रुक्टोज 1, 6 बिसफॉस्फेट टूटकर डाइहाइड्रॉक्सीएसीटोन फॉस्फेट तथा 3-फॉस्फोग्लिसराल्डिहाइड (पीजीएएल) बनाता है। जब 3-फॉस्फोग्लिसराल्डिहाइड (पीजीएएल) का 1, 3-बाई फॉस्फोग्लिसरेट (बीपीजीए) में परिवर्तन होता है तो NAD^+ से $\text{NADH} + \text{H}^+$ का निर्माण होता है। पीजीएएल से दो समान अपचयोपचय (रिडॉक्स) दो हाइड्रोजन अणु



चित्र 14.1 ग्लाइकोलिसिस के चरण

पृथक् होकर NAD के एक अणु की ओर स्थानांतरित होता है। पीजीएल ऑक्सीकृत होकर अकार्बनिक फॉस्फेट से मिलकर बीपीजीए में परिवर्तित हो जाता है। डीपीजीए का 3- फॉस्फोग्लिसरीक अम्ल में परिवर्तन ऊर्जा उत्पादन करने वाली प्रक्रिया है। इस ऊर्जा का उपयोग एटीपी (ATP) निर्माण में होता है। पीईपी (P.E.P.) का पायरुविक अम्ल में परिवर्तन के दौरान भी एटीपी का निर्माण होता है। क्या तुम यह गणना कर सकते हो कि एक अणु से कितने एटीपी के अणुओं का प्रत्यक्ष रूप से संश्लेषण होता है?

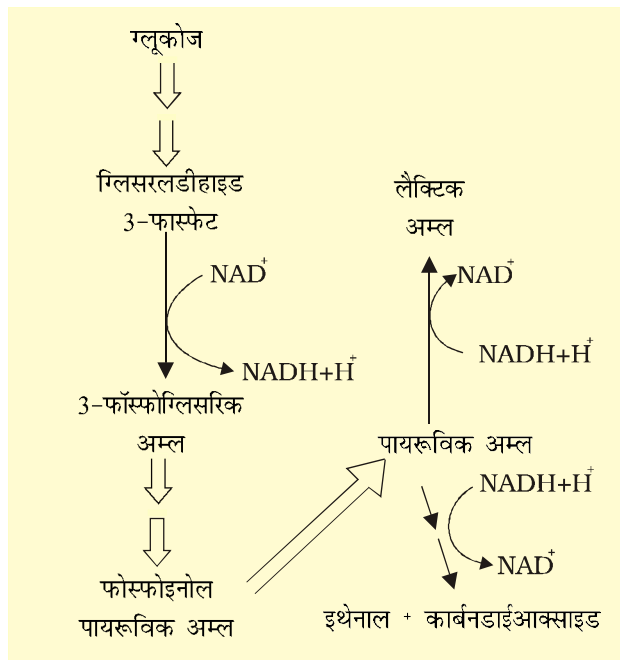
पायरुविक अम्ल ग्लाइकोलिसिस का मुख्य उत्पाद है। पायरुवेट का उपापचयी भविष्य क्या है? यह कोशिकीय आवश्यकता पर निर्भर है। यहाँ तीन प्रमुख तरीके हैं—जिसमें विभिन्न कोशिकाएं ग्लाइकोलिसिस द्वारा उत्पन्न पायरुविक अम्ल का उपयोग करती हैं। ये लैक्टिक अम्ल किण्वन, एल्कोहलिक किण्वन और ऑक्सी साँस है। अधिकांश प्रोकैरियोट तथा एक कोशिका यूकैरियोट में किण्वन अनावसी परिस्थितियों में होता है। ग्लूकोज के पूर्ण ऑक्सीकरण के फलस्वरूप कार्बनडाइऑक्साइड तथा जल बनने हेतु जीवधारियों में क्रेब्स चक्र के द्वारा होता है, जिसे **ऑक्सी श्वसन** या साँस कहते हैं, जिसमें ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है।

14.3 किण्वन

किण्वन में यीस्ट द्वारा ग्लूकोज का अनावसी परिस्थितियों में अपूर्ण ऑक्सीकरण होता है। जिसमें अभिक्रियाओं के विभिन्न चरणों द्वारा पायरुविक अम्ल, कार्बनडाइऑक्साइड तथा इथेनोल में परिवर्तित हो जाता है। एंजाइम पायरुविक अम्ल डिकारबोक्सिलेज एवं एल्कोहल डिहाइड्रोजिनेस इस अभिक्रिया को उत्प्रेरित करता है। दूसरे जीव जैसे कुछ बैक्टीरिया

पायरुविक अम्ल से लैक्टिक अम्ल का निर्माण करते हैं। ये चरण चित्र 14.2 में दर्शाए गए हैं। प्राणी की मांसपेशियों की कोशिकाओं में शारीरिक अभ्यास के दौरान जब कोशिकीय साँस के लिए अपर्याप्त ऑक्सीजन होती है तब पायरुविक अम्ल लैक्टिक डिहाइड्रोजिनेस द्वारा लैक्टिक अम्ल में अपचयित हो जाता है। अपचयीकारक $\text{NADH} + \text{H}^+$ होता है जो पुनः दोनों प्रक्रियाओं में NAD^+ में ऑक्सीकृत हो जाता है।

दोनों लैक्टिक अम्ल तथा एल्कोहल किण्वन में पर्याप्त ऊर्जा मुक्त नहीं होती है। ग्लूकोज से 7 प्रतिशत से कम ऊर्जा मुक्त होती है और इसकी संपूर्ण ऊर्जा का उपयोग उच्च ऊर्जा बंध वाले एटीपी (ATP) के निर्माण में नहीं होता है। अम्ल व एल्कोहल बनने वाली उत्पाद की प्रक्रिया खतरनाक होती है। ग्लूकोज के एक अणु से किण्वन के बाद एल्कोहल या लैक्टिक अम्ल बनने के दौरान कितने शुद्ध एटीपी का संश्लेषण होता है। (अर्थात् ग्लाइकोलिसिस



चित्र 14.2 श्वसन के प्रमुख पथ

के दौरान उपयोग में आने वाले एटीपी (ATP) की संख्या घटाकर गणना करें कि कितने एटीपी (ATP) का संश्लेषण होता है। जब एल्कोहल की मात्रा 13 प्रतिशत या अधिक होती है, तो यीस्ट के लिए यह विषाक्तता व मृत्यु का कारण बनती है। *प्राकृतिक किण्वित पेय में एल्कोहल की अधिकतम सांद्रता कितनी होगी? क्या आप सोच सकते हैं कि मादक पेय में एल्कोहल की मात्रा इसमें स्थित एल्कोहल की सांद्रता से अधिक कैसे प्राप्त की जा सकती है?*

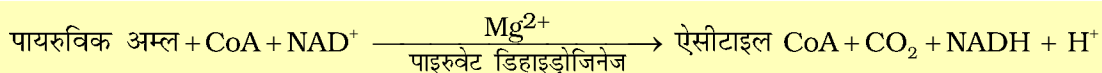
वह क्या प्रक्रिया है जिसके द्वारा जीव में ग्लूकोज का पूर्ण ऑक्सीकरण होता है, और इस दौरान मुक्त ऊर्जा कोशिकीय उपापचय की आवश्यकता के अनुसार बहुत से एटीपी अणुओं का संश्लेषण करती है। यूकैरियोट में ये सभी चरण माइटोकॉन्ड्रिया में संपन्न होते हैं। जिसके लिए ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है। **ऑक्सी साँस** वह प्रक्रिया है जिसके द्वारा रासायनिक पदार्थों का ऑक्सीजन की उपस्थिति में पूर्ण ऑक्सीकरण होता है तथा जिसके पश्चात् कार्बनडाइऑक्साइड, जल तथा ऊर्जा निकलती है। इस प्रकार का साँस सामान्यतया उच्च जीवों में मिलता है। हम इन प्रक्रियाओं को अगले खंड में पढ़ेंगे।

14.4 ऑक्सी श्वसन (साँस)

माइटोकॉन्ड्रिया में होने वाले ऑक्सी श्वसन के दौरान ग्लाइकोलिसिस का अंतिम उत्पाद पायरुवेट कोशिका द्रव्य से माइटोकॉन्ड्रिया में परिवहन किया जाता है। ऑक्सी श्वसन की मुख्य घटनाएं निम्नलिखित हैं—

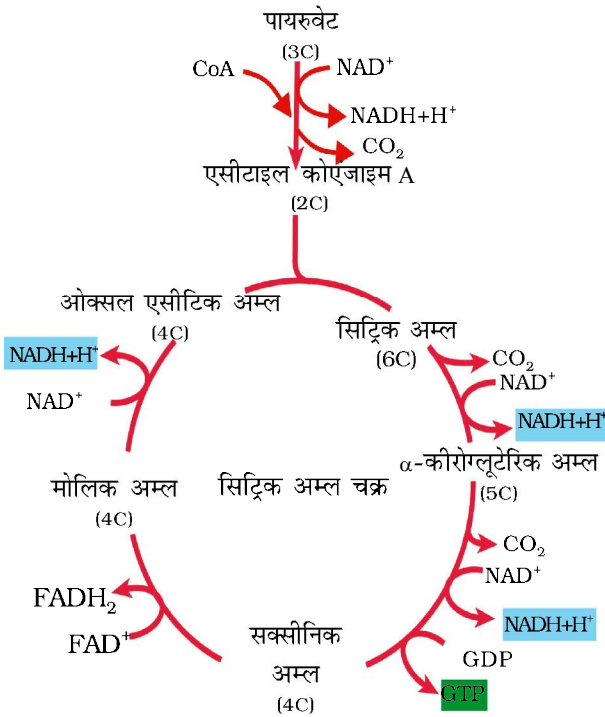
- पायरुवेट का चरणबद्ध क्रम में पूर्ण ऑक्सीकरण के उपरान्त सभी हाइड्रोजन परमाणु पृथक् होते हैं जिससे 3 कार्बनडाइऑक्साइड के अणु भी मुक्त होते हैं।
- हाइड्रोजन परमाणुओं से पृथक् हुए इलेक्ट्रॉन ऑक्सीजन अणु की ओर जाते हैं। जिसके परिणामस्वरूप एटीपी का संश्लेषण होता है।

सबसे अधिक रोचक बात यह है कि इसकी पहली प्रक्रिया माइटोकॉन्ड्रिया के आधात्री में संपन्न होती है जब कि द्वितीय प्रक्रिया माइटोकॉन्ड्रिया की भीतरी झिल्ली पर संपन्न होती है। कोशिका द्रव्य में उपस्थित कार्बोहाइड्रेट के ग्लाइकोलिटिक अपचय द्वारा बनने वाले पायरुवेट माइटोकॉन्ड्रिया की आधात्री में प्रवेश करता है जो ऑक्सीकृत कार्बोक्सीलिककरण की कॉम्प्लेक्स सामूहिक क्रिया द्वारा पायरुवेट डिहाइड्रोजिनेस एंजाइम द्वारा उत्प्रेरित होता है। पायरुविक डिहाइड्रोजिनेस अभिक्रियाओं में कई सह एंजाइम भाग लेते हैं। जैसे NAD^+ तथा A सहएंजाइम।



इस प्रक्रिया के दौरान पायरुविक अम्ल के दो अणुओं के उपापचय से NADH के दो अणुओं का निर्माण होता है। (ग्लाइकोलिसिस के दौरान ग्लूकोज के एक अणु से निर्मित होते हैं)

ऐसीटाइल CoA चक्रीय पथ, ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र में प्रवेश करता है। जिसे साधारणतया वैज्ञानिक हैन्स क्रेब की खोज के कारण क्रेब्स चक्र कहते हैं।

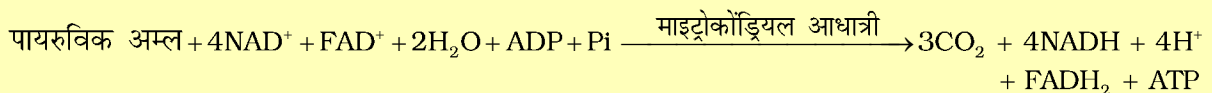


चित्र 14.3 सिट्रिक अम्ल चक्र

14.4.1 ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र (टीसीए)

TCA चक्र का प्रारंभ एसिटोइल समूह के ओक्सेलो एसिटिक अम्ल (OAA) तथा जल के साथ संघनन से होता है और सिट्रिक अम्ल का निर्माण होता है (चित्र 14.3) यह अभिक्रिया सिट्रेट सिंथेजेज एंजाइम द्वारा होती है तथा CoA का एक अणु मुक्त होता है। तब सिट्रेट, आइसोसिट्रेट में समावित हो जाता है। यह ट्राइकार्बोक्सिलिककरण के दो लगातार चरणों के रूप में होता है। इसके उपरांत एल्फाकीटो ग्लूटेरिक अम्ल, तत्पश्चात् सक्सिनाइल CoA का निर्माण होता है। सिट्रिक अम्ल के बचे हुए चरणों में सक्सिनाइल CoA, OAA (ओक्सेलोएसिटिक अम्ल) में ऑक्सीकृत होकर चक्र को आगे बढ़ाने में सहायक होता है। सक्सिनाइल (CoA) से सक्सिनीक अम्ल के रूपांतरण के दौरान जीटीपी के एक अणु का निर्माण होता है। इसे क्रियाधार स्तरीय फॉस्फोरिलिकरण कहते हैं। इन युग्मित अभिक्रियाओं में जीटीपी, जीडीपी में रूपांतरित हो जाता है तथा एडीपी से एटीपी का निर्माण होता है। चक्र में तीन स्थान ऐसे होते हैं जिसमें NAD^+ का $\text{NADH} + \text{H}^+$ में अपचयन होता है और एक स्थान पर FAD^+ का FADH_2 में अपचयन होता है।

टीसीए चक्र द्वारा एसिटिल CoA को एंजाइमस अम्ल के निरंतर ऑक्सीकरण हेतु ऑक्सेलोएसिटेट अम्ल के पुनर्निर्माण की आवश्यकता होती है, जो चक्र का प्रथम सदस्य है। इसके साथ-साथ NAD^+ तथा FAD^+ का NADH व FADH_2 से क्रमशः पुनः उत्पादन होता है। अतः साँस की इस अवस्था के समीकरण को संक्षेप में निम्नवत लिखा जा सकता है:



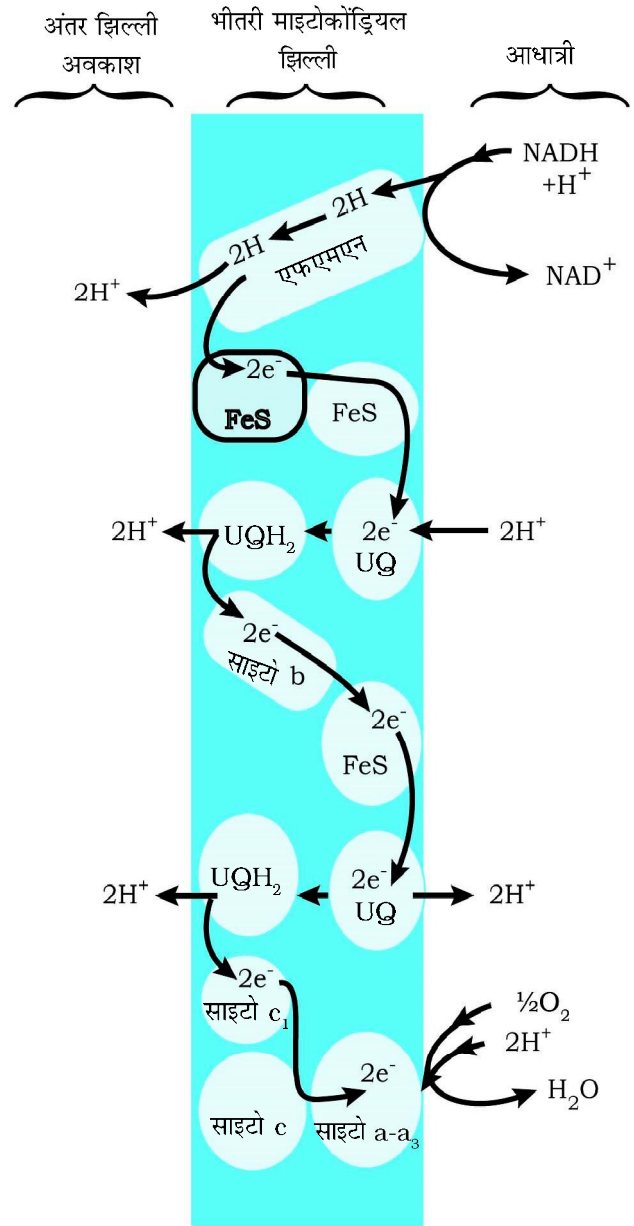
अब तक हम देख चुके हैं कि TCA चक्र में ग्लूकोज के विखंडन से कार्बनडाइऑक्साइड (CO_2) निकलती है, $\text{NADH} + \text{H}^+$ के आठ अणु, FADH_2 के दो अणु तथा दो एटीपी अणुओं का निर्माण होता है। आपको आश्चर्य हो रहा होगा कि अभी तक साँस की चर्चा के दौरान न ही कहीं पर ऑक्सीजन का तथा न ही कहीं पर एटीपी के बहुत सारे अणुओं के निर्माण की चर्चा हुई है। अब संश्लेषित $\text{NADH} + \text{H}^+$ तथा FADH_2 की क्या भूमिका होगी। हमें अब समझना होगा कि साँस में ऑक्सीजन की भूमिका तथा एटीपी का निर्माण कैसे होता है?

14.4.2 इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र अथवा ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलिकरण

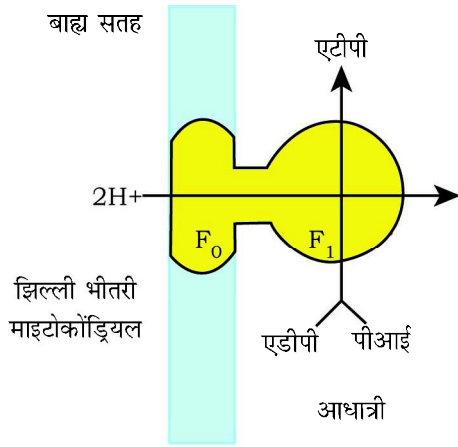
साँस प्रक्रिया के अगले चरण में $\text{NADH} + \text{H}^+$ तथा FADH_2 में संचित ऊर्जा मुक्त व उपयोग में लाना है। यह तब संपादित होता है। जब उनका ऑक्सीकरण इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र द्वारा होता है तथा इलेक्ट्रॉन ऑक्सीजन पर चला जाता है तथा पानी का निर्माण होता

है। उपापचयी पथ जिसके द्वारा इलेक्ट्रॉन एक वाहक से अन्य वाहक की ओर गुजरता है इसे **इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र (ETS)** कहते हैं, (चित्र 14.4) जो माइटोकॉण्ड्रिया के भीतरी झिल्ली पर संपन्न होता है। माइटोकॉण्ड्रिया के आधात्री में टीसीए चक्र के दौरान NADH से बनने वाले इलेक्ट्रॉन, एंजाइम NADH डिहाइड्रोजिनेज द्वारा ऑक्सीकृत होता है (कॉम्प्लेक्स-I), तत्पश्चात् इलेक्ट्रॉन भीतरी झिल्ली में उपस्थित यूबीक्विनोन की ओर स्थानांतरित होता है। यूबीक्विनोन अपचयी समतुल्य FADH_2 द्वारा प्राप्त करता है (कॉम्प्लेक्स-II) जो सिट्रिक अम्ल चक्र में सक्सिन के ऑक्सीकरण के दौरान उत्पन्न होते हैं। अपचयित यूबिक्विनोन (यूबिक्विनोल) इलेक्ट्रॉन को साइटोक्रोम bc_1 साइटोक्रोम C की ओर स्थानांतरित कर ऑक्सीकृत हो जाता है (कॉम्प्लेक्स-III)। साइटोक्रोम C एक छोटा प्रोटीन है जो, भीतरी: झिल्ली की बाह्य सतह पर चिपका होता है जो इलेक्ट्रॉन को कॉम्प्लेक्स-III तथा कॉम्प्लेक्स-IV के बीच स्थानांतरण का कार्य गतिशील वाहक के रूप में करता है। कॉम्प्लेक्स-IV साइटोक्रोम C ऑक्सीडेज कॉम्प्लेक्स है, जिसमें साइटोक्रोम a , a_3 तथा दो तांबा केंद्र मिलते हैं।

जब इलेक्ट्रॉन, इलेक्ट्रॉन परिवहन शृंखला में एक वाहक से दूसरे वाहक तक कॉम्प्लेक्स-I से कॉम्प्लेक्स-IV द्वारा गुजरते हैं, तब वे एटीपी सिंथेज (कॉम्प्लेक्स-V) से युग्मित होकर एटीपी व अकार्बनिक फॉस्फेट से एटीपी का निर्माण करते हैं। इस दौरान संश्लेषित होने वाली एटीपी अणुओं की संख्या इलेक्ट्रॉन दाता पर निर्भर है। NADH के एक अणु के ऑक्सीकरण से एटीपी के तीन अणुओं का निर्माण होता है जबकि FADH_2 का एक अणु से एटीपी का दो अणु बनता है जबकि साँस की ऑक्सी प्रक्रिया ऑक्सीजन की उपस्थिति में ही संपन्न होती है। प्रक्रिया के अंतिम चरण में ऑक्सीजन की भूमिका सीमित होती है। यद्यपि ऑक्सीजन की उपस्थिति अत्यावश्यक है; क्योंकि यह पूरे तंत्र से H_2 (हाइड्रोजन) को मुक्त कर पूरी प्रक्रिया को संचालित करती है। ऑक्सीजन अंतिम हाइड्रोजन ग्राही के रूप में कार्य करता है। प्रकाश फॉस्फोरिलकरण के विपरीत, जहाँ प्रोटीन प्रवणता के निर्माण में प्रकाश ऊर्जा का उपयोग फॉस्फोरिलकरण के लिए होता है, साँस में इसी प्रकार की प्रक्रिया में ऑक्सीकरण अपचयन द्वारा ऊर्जा की पूर्ति होती है। फलस्वरूप इस कारण से हुई क्रियाविधि को ऑक्सीकारी-फॉस्फोरिलकरण कहते हैं।



चित्र 14.4 इलेक्ट्रॉन तंत्र



चित्र 14.5 माइटोकॉण्ड्रिया में एटीपी संश्लेषण का चित्रात्मक प्रदर्शन

झिल्ली से जुड़े एटीपी संश्लेषण की क्रियाविधि के बारे में आप पहले ही पढ़ चुके हैं जिसे पिछले अध्याय में रसोपरासरण परिकल्पना (केमियोओस्मोटिक हाइपोथिसिस) के आधार पर बताया गया है। जैसा कि पहले वर्णित है कि इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र के दौरान मुक्त ऊर्जा का उपयोग एटीपी सिंथेज (कॉम्प्लेक्स-V) की सहायता से एटीपी के संश्लेषण में होता है। यह कॉम्प्लेक्स, दो प्रमुख घटकों F_0 व F_1 से बनते हैं (चित्र 14.5) F_1 शीर्ष परिधीय झिल्ली प्रोटीन कॉम्प्लेक्स है, जहाँ पर अकार्बनिक फास्फेट तथा एडीपी से एटीपी का संश्लेषण होता है। वैद्युत रसायन प्रोटोन प्रवणता के फलस्वरूप $2H^+$ आयन अंतर झिल्ली अवकाश से F_0 में होकर आधात्री की ओर गति करता है जिससे एक एटीपी का संश्लेषण होता है।

14.5 श्वसनीय संतुलन चार्ट

प्रत्येक ऑक्सीकृत ग्लूकोज अणु से बनने वाले प्राप्त शुद्ध एटीपी की गणना करना अब संभव है, किंतु वास्तविकता में यह एक सैद्धांतिक अभ्यास ही रह गया है। यह गणना कुछ निश्चित कल्पनाओं के आधार पर ही की जा सकती हैं।

- यह एक क्रमिक, सुव्यवस्थित, क्रियात्मक पाथ है जिसमें एक क्रियाधार से दूसरे क्रियाधार का निर्माण होता है जिसमें ग्लाइकोलिसिस से शुरू होकर टीसीए चक्र तथा पथ (ETS) एक के बाद एक आती है।
- ग्लाइकोलिसिस में संश्लेषित NADH माइटोकॉण्ड्रिया में आता है, जहाँ उसका फॉस्फोरिलीकरण होता है।
- पथ का कोई भी मध्यवर्ती दूसरे यौगिक के निर्माण के उपयोग में नहीं आते हैं।
- श्वसन में केवल ग्लूकोज का ही उपयोग होता है— कोई दूसरा वैकल्पिक क्रियाधार पथ के किसी भी मध्यवर्ती चरण में प्रवेश नहीं करता है।

हालांकि इस प्रकार की कल्पना सजीव तंत्र में वास्तव में तर्कसंगत नहीं होती है; सभी पथ एक के बाद एक नहीं, बल्कि एक साथ कार्य करते हैं। पथ में क्रियाधार आवश्यकता अनुसार बाहर तथा अंदर आ जा सकते हैं; आवश्यकतानुसार एटीपी का उपयोग हो सकता है; एंजाइम की क्रिया की दर को अनेकों विधियों द्वारा नियंत्रित किया जाता है। फिर भी यह क्रिया करना उपयोगी है; क्योंकि सजीव तंत्र में ऊर्जा का निष्कर्षण एवं संग्रहण हेतु इसकी दक्षता सराहनीय है। अतः ऑक्सी श्वसन के दौरान ग्लूकोज के एक अणु से एटीपी के 36 अणुओं की शुद्ध प्राप्ति होती है।

अब हम किण्वन तथा ऑक्सी श्वसन की तुलना करें।

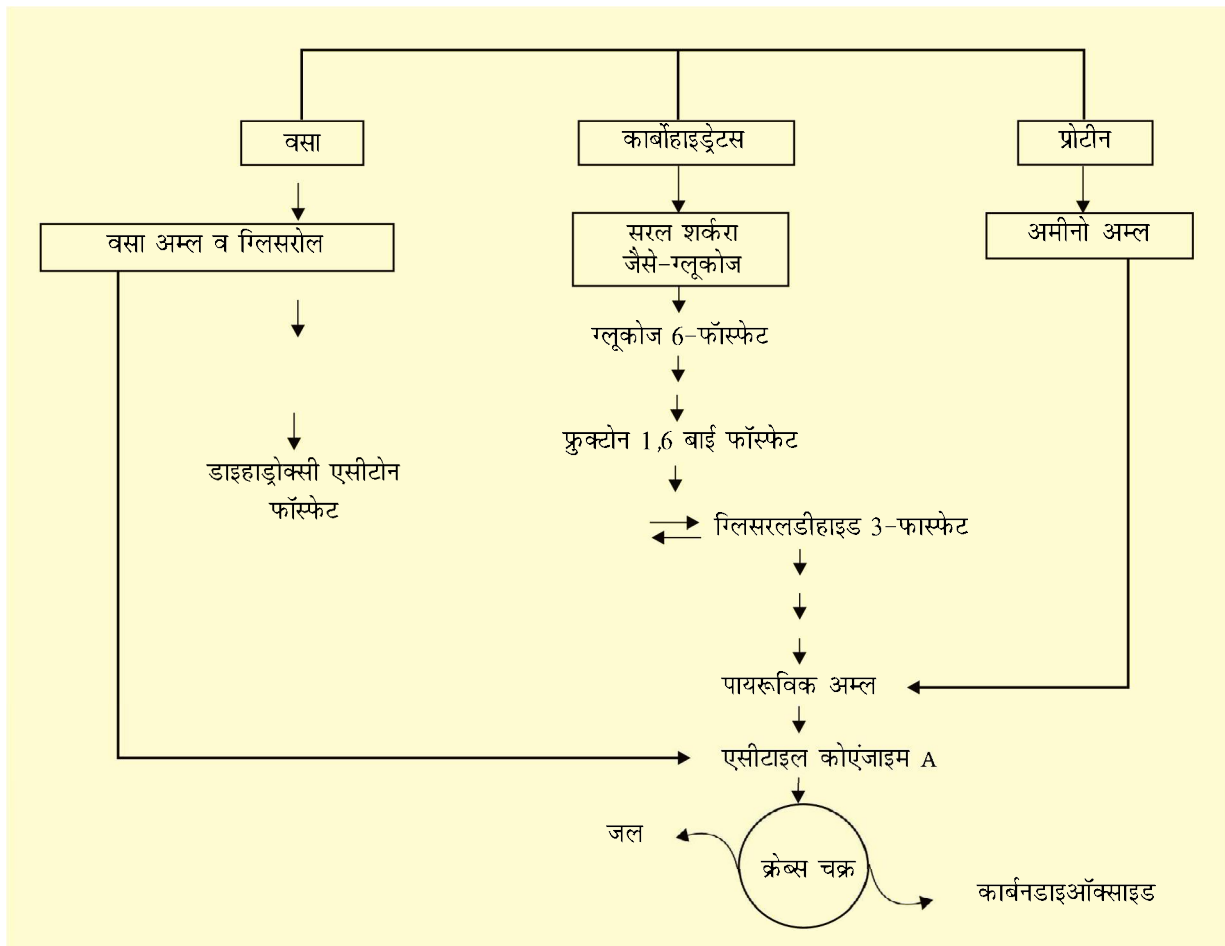
- किण्वन में ग्लूकोज का आंशिक विघटन होता है जबकि ऑक्सी श्वसन में पूर्ण विघटन होता है तथा कार्बनडाइऑक्साइड एवं जल बनते हैं।
- किण्वन में ग्लूकोज के एक अणु से पायरुविक अम्ल बनने के दौरान एटीपी के

शुद्ध 2 अणुओं की प्राप्ति होती है, जबकि ऑक्सी श्वसन में बहुत अधिक एटीपी के अणु बनते हैं।

- किण्वन में NADH का NAD⁺ में ऑक्सीकरण मंद गति से होता है, जबकि ऑक्सी श्वसन में यह अभिक्रिया तीव्र गति से होती है।

14.6 ऐंफीबोलिक पथ

साँस के लिए ग्लूकोज अनुकूल क्रियाधार है श्वसन में सभी कार्बोहाइड्रेट उपयोग में लाने से पहले ग्लूकोज में परिवर्तित होते हैं। जैसे कि पहले बताया जा चुका है कि दूसरे क्रियाधार भी साँस में प्रयोग किए जा सकते हैं। किंतु तब वे साँस के पहले चरण में उपयोग में नहीं आते हैं। चित्र 14.6 को देखिए कि विभिन्न क्रियाधार श्वसन पथ में कहाँ उपयोग करते हैं। वसा सबसे पहले ग्लिसरेल तथा वसीय अम्ल में विघटित होता है। यदि



चित्र 14.6 श्वसन मध्यस्थता के दौरान विभिन्न कार्बनिक अणुओं का व जल में विखंडन को दर्शाने वाला उपापचय पाथक्रम के आपसी संबंध का प्रदर्शन

वसीय अम्ल साँस के उपयोग में आता है तो वह पहले एसीटाइल सह-एंजाइम बनकर पथ में प्रवेश करता है। ग्लिसरेल पहले पीजीएएल (PGAL) में परिवर्तित होकर श्वसन पथ में प्रवेश करता है। प्रोटीन प्रोटिएज एंजाइम द्वारा विघटित होकर अमीनो अम्ल बनाता है। प्रत्येक अमीनो अम्ल (विऐमीनीकरण के बाद) अपनी संरचना के आधार पर क्रोब्स चक्र के अंदर विभिन्न चरणों में प्रवेश करता है।

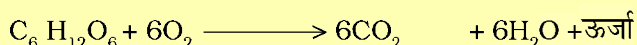
चूँकि साँस के दौरान क्रियाधारक टूटते हैं, अतः साँस प्रक्रिया परंपरागत अपचयी प्रक्रिया है और श्वसन पथ श्वसनीय अपचयी पथ है। किंतु आप क्या इसे ठीक समझते हैं? ऊपर वर्णित है कि विभिन्न क्रियाधार ऊर्जा हेतु श्वसन पथ में कहाँ प्रवेश करते हैं। यह जानना महत्वपूर्ण है कि ये यौगिक उपरोक्त क्रियाधार बनाने के लिए श्वसनीय पथ से अलग होंगे। अतः पथ में प्रवेश करने से पहले वसा अम्ल जब क्रियाधार के रूप में उपयोग में आते हैं तो श्वसनीय पथ में उपयोग में आने से पूर्व एसीटाइल CoA में विखंडित हो जाता है। जब जीवधारी को वसा अम्ल का संश्लेषण करना होता है तो श्वसनी पथ एसीटाइल CoA अलग हो जाता है। इसलिए वसा अम्ल के संश्लेषण तथा विखंडन के दौरान श्वसनीय पथ का उपयोग होता है। इसी प्रकार से प्रोटीन के संश्लेषण व विखंडन के दौरान भी होता है। इस प्रकार विघटन की प्रक्रिया कम करता है। सजीवों में अपचय कहलाती है तथा संश्लेषण उपचय कहलाती है; चूँकि श्वसनी पथ में अपचय तथा उपचय दोनों ही होते हैं। इसलिए श्वसनी पथ को **ऐंफीबोलिक पथ** कहना उचित होगा न कि उपचय पथ; क्योंकि यह अपचयी व उपचयी दोनों में भाग लेती है।

14.7 साँस गुणांक

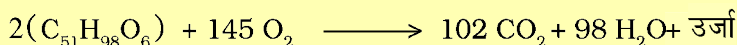
अब साँस के दूसरे पक्ष को देखते हैं। जैसा कि आप जानते हैं कि ऑक्सी श्वसन के दौरान ऑक्सीजन का उपयोग होता है और कार्बनडाइऑक्साइड निकलती है। साँस के दौरान मुक्त हुई कार्बनडाइऑक्साइड तथा उपयोग में लाई गई ऑक्सीजन का अनुपात को **साँस गुणांक (R.Q.)** या **श्वसनीय अनुपात** कहते हैं।

$$\text{साँस गुणांक} = \frac{\text{मुक्त हुई CO}_2 \text{ का आयतन}}{\text{उपयोग में लाई गई O}_2 \text{ का आयतन}}$$

साँस गुणांक, साँस के दौरान उपयोग में आने वाले श्वसनी क्रियाधार पर निर्भर करता है। जब कार्बोहाइड्रेड क्रियाधार के रूप में आकर पूर्ण ऑक्सीकृत हो जाते हैं तो साँस गुणांक 1 होगा; क्योंकि समान मात्रा में CO₂ व O₂ क्रमशः मुक्त होती हैं एवं उपयोग में लाई जाती हैं, जैसा कि समीकरण से स्पष्ट है:



$$\text{साँस गुणांक (R.Q.)} = \frac{6 \text{ CO}_2}{6 \text{ O}_2} = 1.0$$



$$\text{साँस गुणांक (R.Q.)} = \frac{102 \text{CO}_2}{145 \text{O}_2} = 0.7$$

जब वसा साँस में प्रयुक्त होती है तो साँस गुणांक 1.00 से कम होता है। वसा अम्ल ट्राइपामाटिन के रूप में उपयोग में आता है तब इसकी गणना निम्नवत होगी:

जब प्रोटीन श्वसनी क्रियाधार के रूप में प्रयुक्त होता है तब अनुपात 0.9 के लगभग होते हैं।

यहाँ, यह जानना अतिमहत्वपूर्ण है कि सजीवों में श्वसनीय क्रियाधार अक्सर एक से अधिक होते हैं; किंतु शुद्ध प्रोटीन व वसा श्वसनी क्रियाधारों के रूप में प्रयुक्त नहीं होते हैं।

सारांश

प्राणियों की तरह पादपों में श्वसन या गैसीय आदान प्रदान हेतु कोई विशिष्ट तंत्र नहीं होता है। रंध्र व वातरंध्र द्वारा विसरण से गैसों का आदान प्रदान होता है। पौधों में लगभग सभी सजीव कोशिकाएं वायु के संपर्क में होती हैं।

जटिल कार्बनिक अणुओं के ऑक्सीकरण द्वारा C-C आबंधों के टूटने के उपरांत जब कोशिका से ऊर्जा की अत्यधिक मात्रा निकलती है तो उसे कोशिकीय साँस कहते हैं। साँस के लिए ग्लूकोज सर्वाधिक उपयोगी क्रियाधार है। वसा एवं प्रोटीन के टूटने के बाद भी ऊर्जा निकलती है। कोशिकीय साँस की प्रारंभिक प्रक्रिया कोशिका द्रव्य में संपन्न होती है। प्रत्येक ग्लूकोज का अणु एंजाइम उत्प्रेरित शृंखलाओं की अभिक्रियाओं द्वारा पायरुविक अम्ल के 2 अणुओं में टूट जाता है, इस प्रक्रिया को ग्लाइकोलिसिस कहते हैं। पायरुवेट का भविष्य O_2 की उपलब्धता तथा जीव पर निर्भर करता है। अनाेक्सी परिस्थितियों में किण्वन द्वारा लैक्टिक अम्ल या एल्कोहल बनते हैं। किण्वन बहुत सारे प्रोकैरियोटिक, एक कोशिक यूकैरियोट व अंकुरित बीजों में अनाेक्सी परिस्थितियों में संपन्न होता है। यूकैरियोट जीवों में O_2 की उपस्थिति में ऑक्सी साँस होता है। पायरुविक अम्ल का माइटोकॉण्ड्रिया में परिवहन के बाद एसीटाइल CoA में रूपांतरण होता है साथ ही CO_2 निकलती है। तत्पश्चात एसीटाइल CoA टीसीए पथ अथवा क्रेब्स चक्र में प्रवेश करता है जो माइटोकॉण्ड्रिया के आधारी में होता है। क्रेब्स चक्र में $\text{NADH} + \text{H}^+$ तथा NADH_2 बनते हैं। इन अणुओं व $\text{NADH} + \text{H}^+$ जो ग्लाइकोलिसिस के दौरान बनता है। इनकी ऊर्जा का उपयोग एटीपी के संश्लेषण में होता है। यह सूक्ष्मकणिका के अंतः झिल्ली पर स्थित वाहकों के तंत्र, जिसे इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र कहते हैं, के द्वारा संपन्न होती है जब इलेक्ट्रॉन इस तंत्र से होकर गति करता है, तो निकलने वाली पर्याप्त ऊर्जा एटीपी का संश्लेषण होता है, इसे ऑक्सीकारी फॉस्फोरिलीकरण कहते हैं, इस प्रक्रिया में अंततः अंतिम इलेक्ट्रॉन ग्राही O_2 होता है, जो पानी में अपचयित हो जाता है।

श्वसनी पथ में उपचयी अथवा अपचयी दोनों भाग लेते हैं, इसलिए इसे ऐंफीबेलिक पथ कहते हैं। साँस गुणांक साँस के दौरान में आने वाले श्वसनी क्रियाधार पर निर्भर करता है।

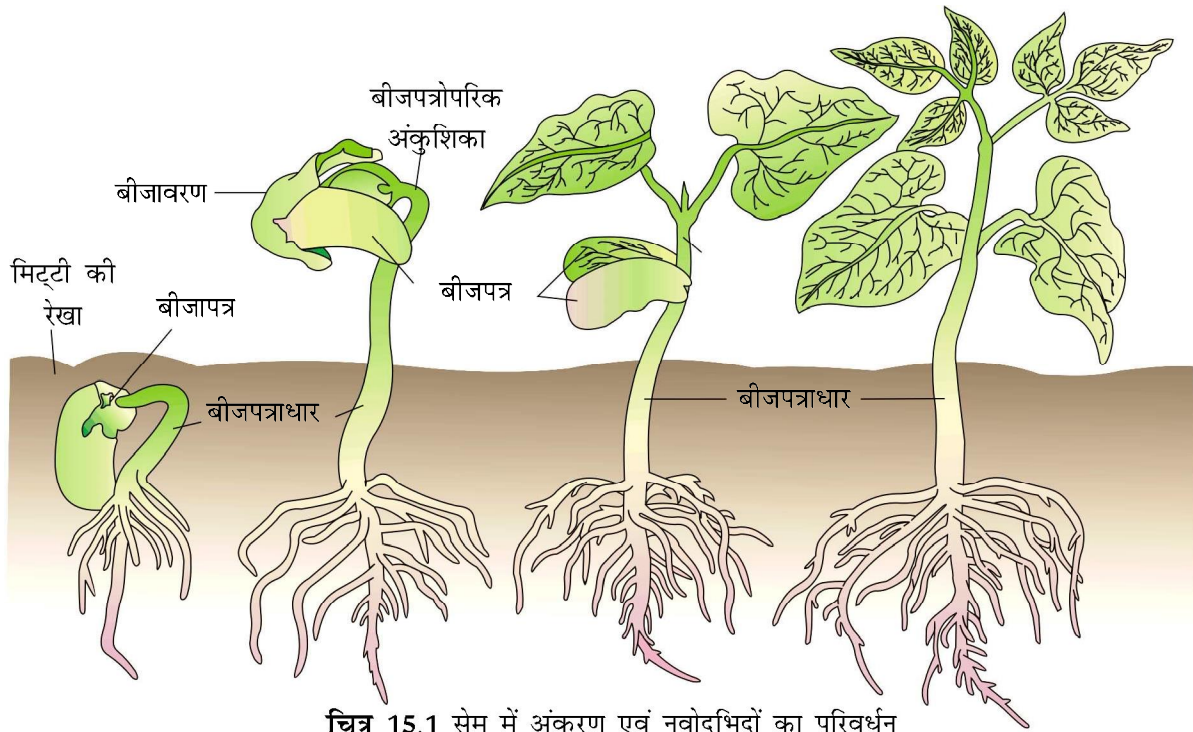
अभ्यास

1. इनमें अंतर करिए?
 (अ) साँस (श्वसन) और दहन
 (ब) ग्लाइकोलिसिस तथा क्रेब्स चक्र
 (स) ऑक्सी श्वसन तथा किण्वन
2. श्वसनीय क्रियाधार क्या है? सर्वाधिक साधारण क्रियाधार का नाम बताइए?
3. ग्लाइकोलिसिस को रेखा द्वारा बनाइए?
4. ऑक्सी श्वसन के मुख्य चरण कौन-कौन से हैं? यह कहाँ संपन्न होती है?
5. क्रेब्स चक्र का समग्र रेखा चित्र बनाइए?
6. इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र का वर्णन कीजिए?
7. निम्न के मध्य अंतर कीजिए?
 (अ) ऑक्सी श्वसन तथा अनॉक्सी श्वसन
 (ब) ग्लाइकोलिसिस तथा किण्वन
 (स) ग्लाइकोलिसिस तथा सिट्रिक अम्ल चक्र
8. शुद्ध एटीपी के अणुओं की प्राप्ति की गणना के दौरान आप क्या कल्पनाएं करते हैं?
9. 'श्वसनीय पथ एक ऐंफीबोलिक पथ होता है', इसकी चर्चा करें।
10. साँस गुणांक को परिभाषित कीजिए, वसा के लिए इसका क्या मान है?
11. ऑक्सीकारी फॉस्फोरिलीकरण क्या है?
12. साँस के प्रत्येक चरण में मुक्त होने वाली ऊर्जा का क्या महत्व है?

अध्याय 15

पादप वृद्धि एवं परिवर्धन

- 15.1 वृद्धि आपने पहले ही इस इकाई के अध्याय 5 के अंतर्गत फूल वाले पौधे के संगठन के बारे में अध्ययन किया है। क्या आपने कभी सोचा है कि मूल, तना, पत्तियां, फूल तथा बीज जैसी संरचनाएं कहाँ और कैसे पैदा होती हैं और वह भी एक क्रमबद्ध तरीके से? अब आप बीज, पौध (नव अंकुरित पौधा), पादपक (छोटा पौधा) तथा परिपक्व पौधे जैसे शब्दों से परिचित हो गए हैं। आपने यह भी देखा है कि सभी पेड़ समय के अंतराल में ऊंचाई एवं गोलाई (चौड़ाई) में लगातार वृद्धि करते हैं। हालाँकि उसी वृक्ष की पत्तियां, फूल एवं फल आदि न केवल एक सीमित लंबाई-चौड़ाई के होते हैं, बल्कि समयानुकूल वृक्ष से निकलते एवं गिर जाते हैं। यही प्रक्रिया लगातार दोहराई जाती है। एक पौधे में फूल आने की प्रक्रिया कायिक वृद्धि के बाद क्यों होती है? सभी पौधों के अंग विभिन्न तरह के ऊतकों से बने होते हैं। क्या एक कोशिका/ऊतक/अंग की संरचना और उसके द्वारा संपन्न जाने वाली क्रियाकलाप के बीच कोई संबंध है? पौधे की सभी कोशिकाएं युग्मज की संतति या वंशज होती है। तब सवाल यह उठता है कि क्यों और कैसे उनमें भिन्न-भिन्न संरचनात्मक एवं क्रियात्मक विशेषताएं होती हैं? परिवर्धन दो प्रक्रियाओं का योग है: वृद्धि एवं विभेदन। शुरुआत में यह जानना अनिवार्य है कि एक परिपक्व वृक्ष का परिवर्धन एक युग्मक (एक निषेचित अंडा) से शुरू होकर एक सुनिश्चित एवं उच्च नियमित वंशानुक्रम की घटना है। इस प्रक्रिया के दौरान एक जटिल शरीर संरचना का गठन होता है जो जड़ों, पत्तियों, शाखाओं, फूलों, फलों एवं बीजों को उत्पादित करता है और अंततः वे मर जाते हैं। (चित्र 15.1)⁴
- इस अध्याय में; आप कुछ उन कारकों के बारे में पढ़ेंगे जो कि इस परिवर्धन प्रक्रिया को संचालित एवं नियंत्रित करते हैं। ये कारक एक पौधे के लिए आंतरिक एवं बाहरी होते हैं।
- 15.2 विभेदन, निर्विभेदन तथा पुनर्विभेदन
- 15.3 परिवर्धन
- 15.4 पादप वृद्धि नियामक
- 15.5 दीप्तिकालिता
- 15.6 वसंतीकरण



चित्र 15.1 सेम में अंकुरण एवं नवोद्भिदों का परिवर्धन

15.1 वृद्धि

एक जीवित वस्तु के लिए वृद्धि को सर्वाधिक आधारभूत एवं सुस्पष्ट विशिष्टता के रूप में जाना जाता है। वृद्धि क्या है? वृद्धि को एक अवयव या अंग या इसके किसी भाग या यहाँ तक कि एक कोशिका के आधार में अनिवर्त्य (अनपलट) स्थाई बढ़त के रूप में परिभाषित किया जा सकता है। सामान्यतः वृद्धि उपापचयी प्रक्रियाओं (उपचय एवं अपचय दोनों से) से जुड़ा होता है जो ऊर्जा के व्यय पर आधारित होता है। इसलिए एक पत्ती का विस्तार वृद्धि है। आप एक लकड़ी के टुकड़े को पानी में डालने से हुए फैलाव या विस्तार का वर्णन कैसे करेंगे?

15.1.1 पादप वृद्धि प्रायः अपरिमित है

पादप वृद्धि अनूठे ढंग से होती है; क्योंकि पौधे जीवन भर असीमित वृद्धि की क्षमता को अर्जित किए होते हैं। इस क्षमता का कारण उनके शरीर में कुछ खास जगहों पर विभज्योतक (मेरिस्टेम) ऊतकों की उपस्थिति है। ऐसे विभज्योतकों की कोशिकाओं में विभाजन एवं स्वशाश्वतता (निरंतरता) की क्षमता होती है। हालाँकि यह उत्पाद जल्द ही विभाजन की क्षमता खो देते हैं और ऐसी कोशिकाएं जो विभाजन की क्षमता खो देती हैं, वे पादप शरीर की रचना करती हैं। इस प्रकार की वृद्धि जहाँ पर विभज्योतक की क्रियात्मकता से पौधे के शरीर में सदैव नई कोशिकाओं को जोड़ा जाता है, उसे वृद्धि का खुला स्वरूप कहा जाता है। क्या होगा जब विभज्योतक का विभाजन बंद हो जाए? क्या कभी ऐसा होता है?

आपने अध्याय 6 में मूल शिखाग्र विभज्योतक तथा प्ररोह शिखाग्र विभज्योतक के स्तर पर विभज्योतक के बारे में पढ़ा है। ये पौधों की प्राथमिक वृद्धि के लिए जिम्मेदार होते हैं और मुख्यतया पौधे के अक्ष के समानांतर दीर्घीकरण में भागीदारी करते हैं। द्विबीज पत्ती तथा नग्नबीजी पौधों में पार्श्व विभज्योतक, संवहनी कैंबियम तथा कार्क कैंबियम जीवन में बाद में प्रकट होते हैं। ये विभज्योतक उन अंग की चौड़ाई को बढ़ाते हैं, जहाँ ये क्रियाशील होते हैं। इसे द्वितीयक वृद्धि के नाम से जाना जाता है (चित्र-15.2 देखें)।

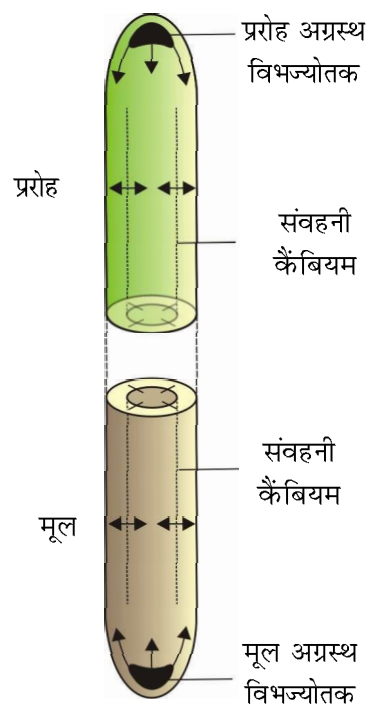
15.1.2 वृद्धि माप योग्य है

कोशिकीय स्तर पर वृद्धि मुख्यतः जीवद्रव्य मात्रा में वृद्धि का परिणाम है। चूँकि जीवद्रव्य की वृद्धि को सीधे मापना कठिन है; अतः कुछ दूसरी मात्राओं को मापा जाता है जो कम या ज्यादा इसी के अनुपात में होता है। इसलिए, वृद्धि को विभिन्न मापदंडों द्वारा मापा जाता है। कुछेक मापदंड ये हैं: ताजी भार वृद्धि, शुष्क भार, लंबाई क्षेत्रफल, आयतन तथा कोशिकाओं की संख्या आदि। आपको यह जानकर आश्चर्य होगा कि एक मक्के की मूल शिखाग्र विभज्योतक में प्रति घंटे 17, 500 या अधिक नई कोशिकाएं पैदा हो सकती हैं, जबकि एक तरबूज में कोशिकाओं की आकार में वृद्धि 3, 50, 000 गुना तक हो सकती है। पहले वाले उदाहरण में वृद्धि को कोशिकाओं की संख्या में वृद्धि के रूप व्यक्त किया गया है, जबकि बाद वाले में वृद्धि को कोशिका के आकार में बढ़ोत्तरी के रूप में किया गया है। एक पराग नलिका की वृद्धि, लंबाई में बढ़त का एक अच्छा मापदंड है, जबकि पृष्ठाधार पत्ती की वृद्धि को उसके पृष्ठीय क्षेत्रफल की बढ़त के रूप में मापा जा सकता है।

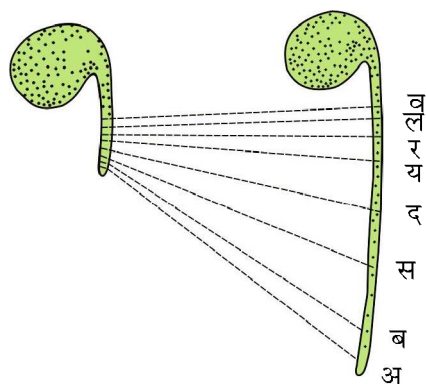
15.1.3 वृद्धि के चरण

वृद्धि की अवधि को मुख्यतः तीन चरणों में बाँटा गया है; विभज्योतकीय, दीर्घीकरण एवं परिपक्वता (चित्र-15.3)। आओ, हम इसे मूलाग्र को देख कर समझें।

विभज्योतकीय चरण में कोशिकाएं मूल शिखाग्र तथा प्ररोह शिखाग्र दोनों में लगातार विभाजित होती हैं। इन क्षेत्रों की कोशिकाएं जीवद्रव्य से भरपूर होती हैं और व्यापक संलक्ष्य केंद्रक को अधिकृत किए होती हैं। उनकी कोशिका भित्ति प्राथमिक, पतली तथा प्रचुर जीवद्रव्य तंतु संयोजन के साथ सेलुलाजिक होती है। विभज्योतक क्षेत्र के समीपस्थ (ठीक



चित्र 15.2 मूल अग्रस्थ विभज्योतक, प्ररोह अग्रस्थ विभज्योतक तथा संवहनी कैंबियम का आरेख निरूपण। कोशिका और वृद्धि की दिशा को दिखाते हुए तीर।

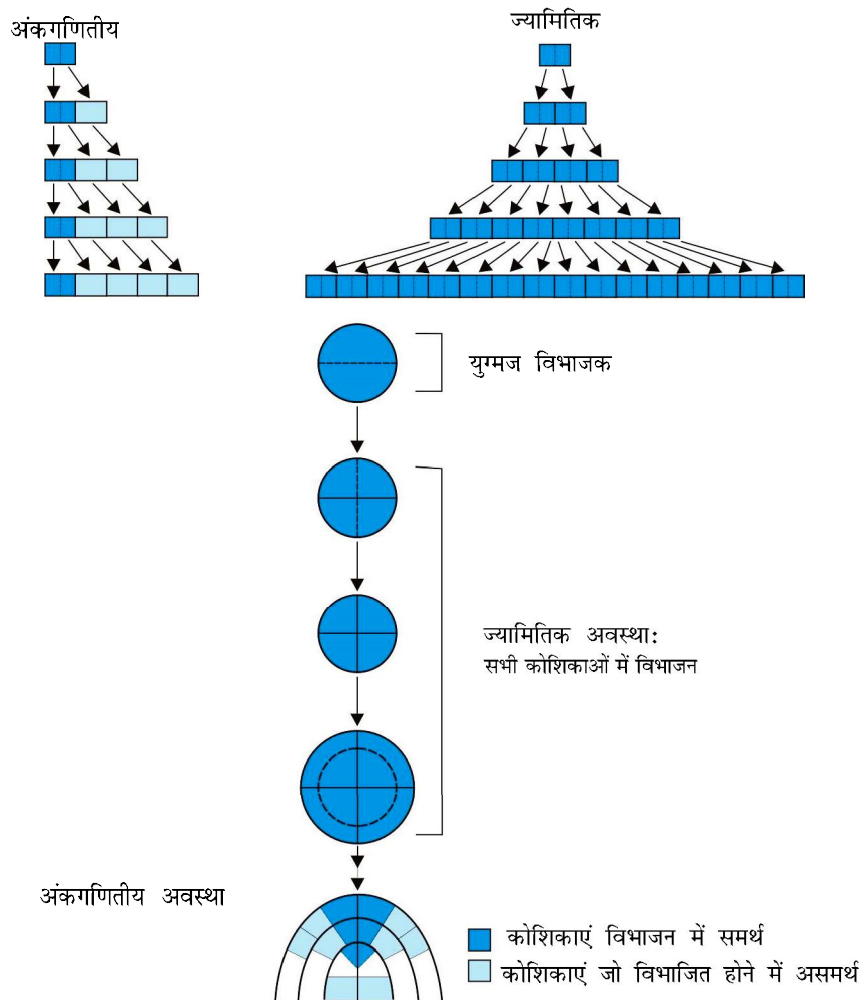


चित्र 15.3 दीर्घीकरण क्षेत्र का पहचान समानांतर रेखा तकनीक द्वारा। क्षेत्र अ, ब, स, द जो शीर्ष के पीछे हैं सबसे ज्यादा दीर्घीकृत हुए हैं।

अगला, नोक से दूर) कोशिका दीर्घीकरण के चरण का प्रतिनिधित्व करता है। इस चरण में कोशिकाओं का बड़ा हुआ रसधानी भवन, कोशिका विशालीकरण तथा नव कोशिका भित्ति निक्षेपण आदि विशिष्टताएं हैं। पुनः शिखाग्र से आगे अर्थात् दीर्घीकरण के अधिक समीपस्थ अक्ष का वह भाग स्थित होता है जो कि परिपक्वता के चरण में जा रहा होता है। इस परिक्षेत्र में स्थित होने वाली कोशिकाएं अपने अंतिम आकार को प्राप्त किए होती हैं तथा उनकी भित्ति की मोटाई एवं रसधानी चरम पर होता है। अध्याय 6 में आपने अधिकतर जिन ऊतकों/कोशिकाओं के प्रकार का अध्ययन किया; वे इसी चरण का प्रतिनिधित्व करती हैं।

15.1.4 वृद्धि दर

समय की प्रति इकाई के दौरान बढ़ी हुई वृद्धि को वृद्धि दर कहा जाता है। अतः वृद्धि की दर को गणितीय ढंग से (चित्र 15.4) व्यक्त किया जा सकता है। एक जीव या उसके अंग कई तरीकों से अधिक कोशिकाएं पैदा कर सकता है।



चित्र 15.4 (अ) अंकगणितीय और (ब) ज्यामितिक वृद्धि

वृद्धि दर अंकगणितीय या ज्यामितीय (रेखागणितीय) संवर्धन हो सकती है। अंकगणितीय वृद्धि में, समसूत्री विभाजन के बाद केवल एक पुत्री कोशिका लगातार विभाजित होती रहती है तो जब कि दूसरी विभेदित एवं परिपक्व होती रहती हैं। अंकगणितीय वृद्धि एक सरलतम अभिव्यक्ति है जिसे हम निश्चित दर पर दीर्घीकृत होते मूल में देख सकते हैं। (चित्र 15.5) को देखें जिसमें अंग की लंबाई समय के विरुद्ध अलिखित की गई है जिसके फलस्वरूप रेखीय वक्र पाया गया है। इसे हम गणितीय रूप में इस प्रकार चक्र कर सकते हैं—

$$L_t = L_0 + rt$$

L_t = टाइम टी के समय लंबाई

L_0 = टाइम शून्य के समय लंबाई

r = वृद्धि दर दीर्घीकरण प्रति इकाई समय

आइए, अब देखें, ज्यामितीय वृद्धि में क्या होती है। हालाँकि अधिकतर प्रणालियों में प्रारंभिक वृद्धि (लैगफेस) धीमी होती है और यह इसके बाद तीव्र गति से एक चरघातांकी दर (लॉग या चरघातांकी चरण) में बढ़ती है। यहाँ पर दोनों संतति कोशिकाएं एक समसूत्री कोशिका के विभाजन का अनुकरण करती हैं तथा विभाजित होने पर लगातार ऐसा करते रहने के काबिलियत बनाए रखती हैं। हालाँकि, सीमित पोषण आपूर्ति के साथ वृद्धि धीमी पड़ती हुई स्थिर चरण की ओर बढ़ जाती है। यदि हम समय के प्रति वृद्धि के मापदंड को नियोजित करते हैं तो हम एक विशिष्ट सिगमोइड या एस-वक्र पाते हैं (चित्र 15.6)। एस वक्र सभी जीवित प्राणियों की विशिष्टता है जो स्वाभाविक पर्यावरण में बढ़ रहे होते हैं। यह सभी कोशिकाओं, ऊतकों एवं एक पौधों के विशेष अंगों के लिए आदर्श है। क्या आप अन्य ऐसे ही अधिक उदाहरणों के बारे में सोच सकते हैं? मौसमी क्रियाकलाप प्रकट करने वाले एक वृक्ष से आप किस तरह के वक्र की अपेक्षा कर सकते हैं? चरघातांकी वृद्धि को इस प्रकार प्रकट किया जा सकता है:

$$W_1 = W_0 e^{rt}$$

W_1 = अंतिम आकार (भार, ऊंचाई, संख्या आदि)

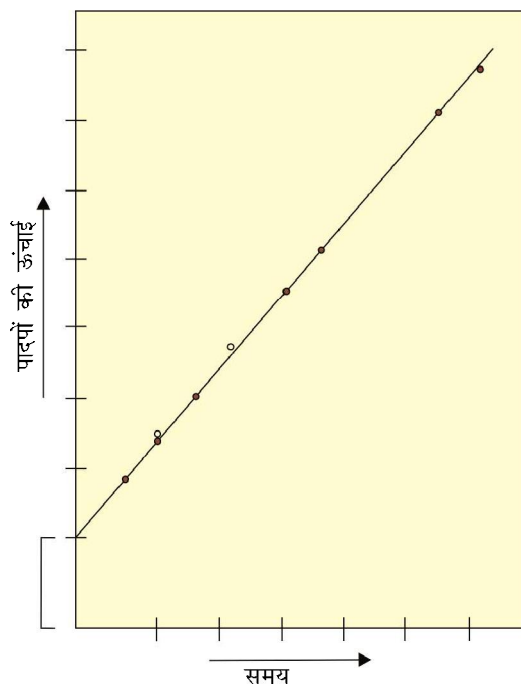
W_0 = प्रथम आकार प्रारंभिक समय में

r = वृद्धि दर

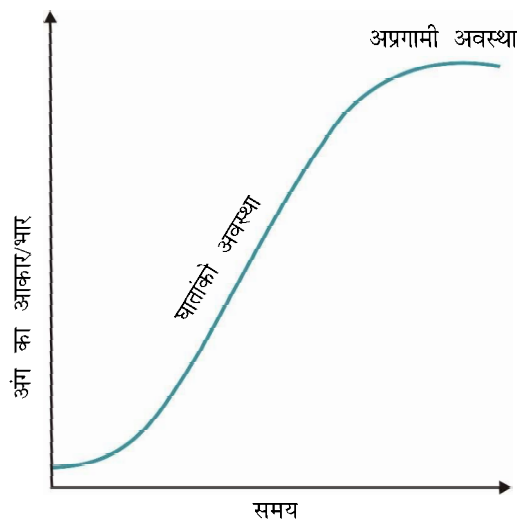
t = समय में वृद्धि

e = स्वाभाविक लघुगणिक का आधार

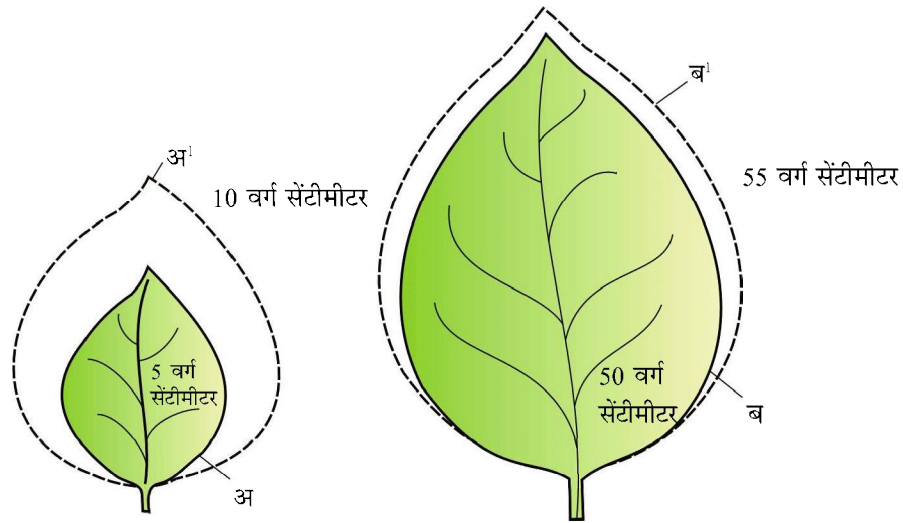
यहाँ r = एक सापेक्ष वृद्धि दर है, तथा साथ ही पौधे द्वारा नई पादप सामग्री को पैदा करने की क्षमता को मापने के लिए है,



चित्र 15.5 नियत रेखीय वृद्धि, लंबाई और समय के विरुद्ध आलेख



चित्र 15.6 एक आदर्श सिग्मायड वृद्धि वक्र, संवर्धित कोशिकाओं एवं उच्च पादपों और पादप अंगों के लिए प्रारूपिक



चित्र 15.7 निरपेक्ष और सापेक्ष वृद्धि दर (अ और ब पंक्तियों को देखें)। दोनों ने अपने क्षेत्रफल दिए हुए समय में अ 'अ' 'ब' ब पंक्तियाँ बनाने के लिए 5 से.मी.⁻² बढ़ा लिए हैं।

जिसे एक दक्षता सूचकांक के रूप में संदर्भित किया जाता है। अतः W_1 का अंतिम आकार, W_0 के प्रारंभिक आकार पर निर्भर करता है।

जीवित प्रणाली की वृद्धि के बीच मात्रात्मक तुलना भी दो तरीकों से की जा सकती है: (I) मापन और प्रति यूनिट टाइम की कुल वृद्धि की तुलना, जिसे परम वृद्धि दर कहते हैं। (II) दी गई प्रणाली की प्रति यूनिट समय पर वृद्धि को सामान्य आधार पर प्रकट करना, उदाहरणार्थ- प्रति यूनिट प्रारंभिक मापदंड या पैमाइश को सापेक्षिक वृद्धि दर कहते हैं। देखें चित्र 15.7 जहाँ दो पत्तियाँ 'अ' और 'ब' विभिन्न आकारों की दिखाई गई हैं लेकिन एक दिए गए समय में उनके संपूर्ण क्षेत्रफल में वृद्धि समान है। फिर भी उनमें से एक की सापेक्षिक वृद्धि दर ज्यादा है। यह कौन सी है और क्यों?

15.1.5 वृद्धि के लिए दशाएं

आप यह लिखने की कोशिश क्यों नहीं करते कि पौधों की वृद्धि के लिए जरूरी चीजें क्या हैं? इस सूची में जल, ऑक्सीजन तथा पोषक तत्व अवश्य होने चाहिए जो वृद्धि के लिए अनिवार्य हैं। पौधों की कोशिकाएं अपने आकार में बड़ी होकर वृद्धि करती हैं जिसके लिए जल की आवश्यकता होती है। इसलिए एक पादप की वृद्धि और उसका परिवर्धन उसमें पानी की स्थिति या उपलब्धता से जुड़ी है। वृद्धि के लिए आवश्यक एंजाइमों की क्रियाशीलता के लिए जल एक माध्यम उपलब्ध करता है तथा ऑक्सीजन उपाचयी ऊर्जा को मुक्त करने में मदद करती है। पौधों द्वारा पोषकों (स्थूल एवं सूक्ष्म आवश्यक तत्व) की आवश्यकता जीवद्रव्य के संश्लेषण तथा ऊर्जा के स्रोत के रूप में काम करने के लिए होती है।

इसके अतिरिक्त प्रत्येक पादप जीव के लिए इष्टतम ताप परिसर होता है, जो उसकी वृद्धि के लिए अत्यंत ही अनुकूल होता है। इस ताप के दायरे से किसी प्रकार का

विलगाव उसकी उत्तरजीविता के लिए हानिकारक हो सकता है। इसके साथ ही पर्यावरणीय संकेत जैसे कि प्रकाश एवं गुरुत्वाकर्षण भी वृद्धि की कुछ अवस्थाओं या चरणों को प्रभावित करता है।

15.2 विभेदन, निर्विभेदन तथा पुनर्विभेदन

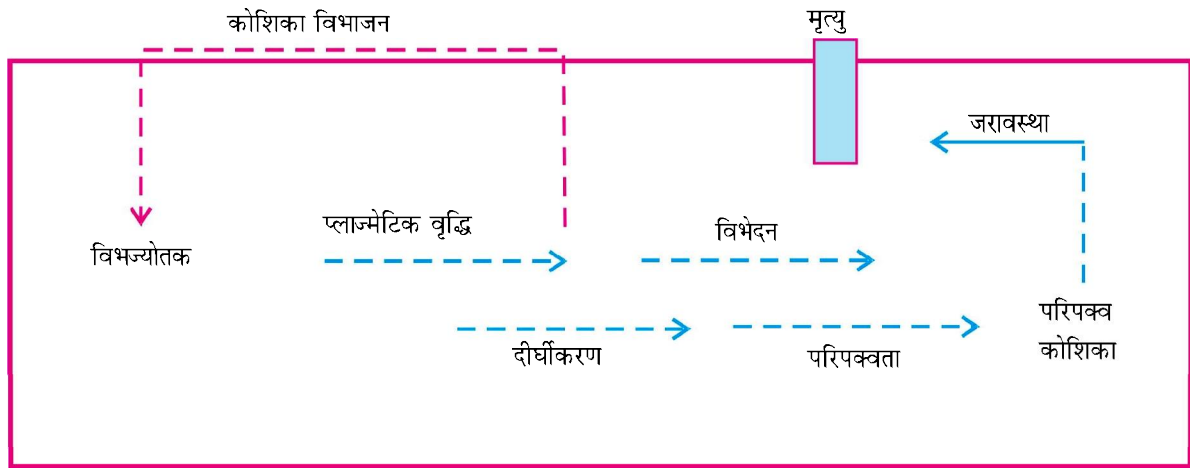
मूल शिखाग्र विभज्योतक तथा प्ररोह शिखाग्र विभज्योतक से आने वाली कोशिकाएं और कैंबियम विभेदित होती है। तथा विशिष्ट क्रियाकलाप को संपन्न करने के लिए परिपक्व होती है। यह परिपक्वता की ओर अग्रसर होने वाली कार्यवाही **विभेदन** कहलाती है। वे अपनी कोशिकाभित्ति एवं जीवद्रव्य दोनों में ही या कुछ व्यापक संरचनात्मक बदलावों से गुजरती है। उदाहरणस्वरूप एक वाहिकीय तत्व के बनने में कोशिका अपने जीव द्रव्य को खो देती है और बाद में एक बहुत सुदृढ़ तन्यतापूर्ण लिग्नोसेल्युलोजिक (काष्ठ कोशिका सधानी) द्वितीय कोशिका भित्ति विकसित होती है, जो लंबी दूरी तक सर्वोच्च तनाव में भी जल को वहन करने के लिए उपर्युक्त होता है। आप पौधों के शरीर की विभिन्न रचनात्मक विशिष्टताओं एवं उसकी संबंधित क्रियाशीलता से संबंध स्थापित करने की कोशिश करें।

पौधे अन्य रोचक तथ्य दिखाते हैं। जीवित विभेदित कोशिकाएं कुछ खास परिस्थितियों में विभाजन की क्षमता पुनः प्राप्त कर सकती हैं। इस क्षमता को **निर्विभेदन** कहते हैं। उदाहरण के तौर पर अंतरापूलय वाहिकी कैंबियम, एवं कार्क कैंबियम। निर्विभेदित कोशिकाओं/ऊतकों के द्वारा उत्पादित कोशिका बाद में फिर से विभाजन की क्षमता खो देती है ताकि विशिष्ट कार्यों को संपादित किया जा सके अर्थात् **पुनर्विभेदित** हो जाती है। एक काष्ठीय द्विबीजपत्ती पादप के कुछ ऊतकों की सूची बनाएं जो पुनर्विभेदन के उत्पाद हों। आप अर्बुद का कैसे वर्णन करेंगे? आप उस मृदूतक कोशिका को जिसे प्रयोगशाला के नियंत्रित क्षेत्र में पादप ऊतक संवर्धन के दौरान विभाजित कराया जा रहा हो, उसे क्या कहेंगे?

अनुभाग 15.1.1 को याद कीजिए; हमने बताया था कि पौधों में वृद्धि उन्मुक्त होती है अर्थात् यह परिमित या अपरिमित हो सकता है। अब, हम कह सकते हैं कि पादपों में विभेदन भी उन्मुक्त होता है; क्योंकि ठीक उसी विभज्योतक से पैदा हुए ऊतक/कोशिकाएं परिपक्व होने पर भिन्न संरचनाएं तैयार करती हैं। कोशिका/ऊतक की परिपक्वता के समय अंतिम संरचना कोशिका के आंतरिक स्थान पर भी निर्भर करता है। उदाहरण के लिए शिखाग्र विभज्योतक से दूरस्थ कोशिकाएं मूल गोप कोशिका के रूप में विभेदित होती हैं जबकि जिन्हें बाहरी वलय की ओर ढकेल दिया जाता है। बाह्य त्वचा के रूप में परिपक्व होती हैं। क्या आप उन्मुक्त विभेदन का कुछ और उदाहरण जोड़ना चाहेंगे जो कोशिकीय स्थिति तथा पादप अंगों में उनके स्थान के संबंधों को दर्शाता हो?

15.3 परिवर्धन

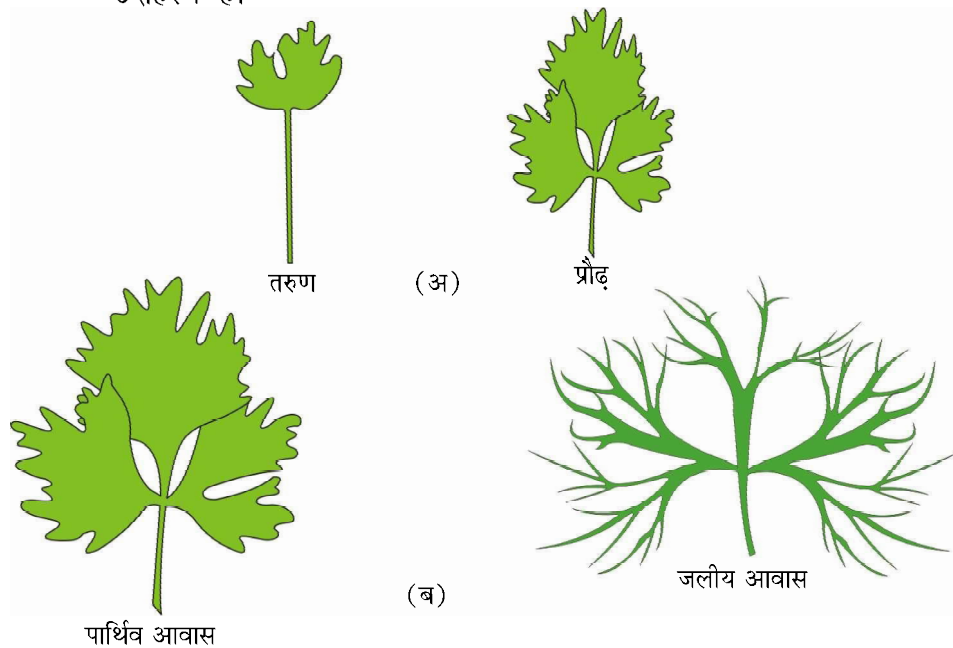
परिवर्धन वह शब्द है जिसके अंतर्गत एक जीव के जीवन चक्र में आने वाले वे सारे बदलाव शामिल हैं, जो बीजांकुरण एवं जरावस्था के बीच आते हैं। चित्र 15.8 में उच्च



चित्र 15.8 एक पादप कोशिका के विकासात्मक प्रक्रम का अनुक्रम

पादप की कोशिकाओं में होने वाले परिवर्धन की क्रमिक प्रतिक्रियाओं को रेखा चित्र के द्वारा प्रस्तुत किया गया है। यह ऊतकों/अवयवों (अंगों) पर भी लागू होता है।

पौधे पर्यावरण के प्रभाव के कारण या जीवन के विभिन्न चरणों में भिन्न पथों का अनुसरण करते हैं, ताकि विभिन्न तरह की संरचनाओं का गठन कर सकें। इस क्षमता को **प्लास्टिसिटी** कहते हैं। उदाहरण के तौर पर कपास, धनिया एवं लार्कस्पर में विभिन्न आकार की पत्तियाँ इन पौधों में पत्तियों का आकार किशोरावस्था एवं परिपक्व अवस्था में भिन्न होते हैं। दूसरी तरफ बटरकप में पत्तियों का आकार वायवीय भागों में अलग होता है (चित्र 15.9)। विषमपर्णता का यह दृश्य प्लास्टिकता या सुघट्यता का एक उदाहरण है।



चित्र 15.9 लार्कस्पर (अ) एवं (ब) बटरकप में विषमपर्णता

अतः एक पौधे के जीवन में वृद्धि, विभेदन और परिवर्धन बहुत ही निकट संबंध रखने वाली घटनाएं हैं। व्यापक तौर पर परिवर्धन को वृद्धि एवं विभेदन के योग के रूप में माना जाता है। पौधों में परिवर्धन अर्थात् वृद्धि एवं विभेदन दोनों आंतरिक एवं बाह्य कारकों से नियंत्रित है। आंतरिक कारकों में अंतरकोशिकीय आनुवंशिक तथा अंतर कोशिकी कारक (जैसे की पादप वृद्धि नियामक रसायन) शामिल होते हैं, जबकि बाह्य कारकों के अंतर्गत प्रकाश, तापक्रम, जल, ऑक्सीजन तथा पोषक आदि शामिल होते हैं।

15.4 पादप वृद्धि नियामक

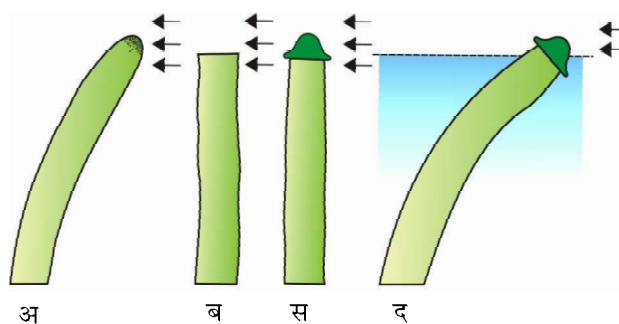
15.4.1 विशिष्टताएं

पादप वृद्धि नियामक विविध रासायनिक संघटनों वाले साधारण तथा लघु अणु होते हैं। ये इंडोल समिश्रण (इंडोल-3 एसिटिक अम्ल, आई ए ए); ऐडनीन व्युत्पन्न फेरफ्युराइल ऐमिनो प्युरीन काइनटिन) केराटिनोयड तथा वसा अम्लों के व्युत्पन्नक (एसीसिक एसिड, ए बी ए), टर्पीन (जिबेरेलिक एसिड, जी ए) या गैसेस (एथीलिन C_2H_4) आदि हो सकते हैं। पादप वृद्धि नियामक को पाठ्य सामग्री में, पादप वृद्धि तत्व, पादप हार्मोन तथा फाइटोहार्मोन के नाम से वर्णित किया गया है।

पादप वृद्धि नियामक (पी जी आर) को व्यापक रूप से एक जीवित पौधे में उनकी कार्यशीलता के आधार पर दो समूहों में बाँटा जा सकता है। पीजीआर का एक समूह वृद्धि उन्नयन क्रियाकलापों में लगा होता है जैसे कि कोशिका विभाजन, कोशिका प्रसार, प्रतिमान संरचना, ट्रापिक (अनुवर्तनी) वृद्धि, पुष्पन, फलीकरण तथा बीज संरचना आदि। इन्हें पादप वृद्धि नियामक भी कहा जाता है जैसे कि ऑक्सिस, जिबेरेलिस तथा साइटोकिनिंस। उनके समूह के दूसरे पीजीआर तथा दबाव के प्रति पादपों की अनुक्रिया समूह के दूसरे पीजीआर में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। इसके साथ ही वे विभिन्न वृद्धि वाधक क्रियाकलापों जैसे प्रसुप्ति एवं विलगन में भी शामिल होते हैं। एबसीसिक एसिड पीजीआर इसी समूह का सदस्य है। गैसीय पी जी आर, एथीलिन किसी भी समूह के साथ बैठ जाता है लेकिन व्यापक तौर पर यह एक वृद्धि बाधक क्रिया कलापों में आता है।

15.4.2 पादप वृद्धि नियामकों की खोज

रोचक बात यह है कि पीजीआर के पाँच प्रमुख समूहों में प्रत्येक की खोज मात्र एक संयोग है। इसकी शुरुआत चार्ल्स डार्विन और उनके पुत्र फ्रांसिस डार्विन के अवलोकन से हुई जब उन्होंने देखा कि कनारी घास का प्रांकुर चोल (कोलियोपटाइल) एकपाश्वर्ी प्रदीपन के प्रति अनुक्रिया करता है और प्रकाश के उद्गम की तरफ वृद्धि (प्रकाशानुवर्तन) करता है। प्रयोगों की एक लंबी शृंखला के पश्चात, यह निष्कर्ष निकाला गया कि प्रांकुर चोल की नोक संचारणीय प्रवाह की जगह है जो संपूर्ण प्रांकुर चोल के मुड़ने का कारण है (चित्र 15.10)। ऑक्सिस की



चित्र 15.10

प्रांकुर चोल का अग्रभाग पादप वृद्धि नियामक ऑक्सीजन का उद्गम

खोज एफ डवल्यू वेंट (F.W. Went) के द्वारा जई के अंकुर के प्रांकुरचोल शिखर से की गई है।

‘बैकेन’ (फूलिश सीडलिंग) धान के पौध (नवोद्भिद्) की बीमारी है जो रोगजनक कवक जिबेरेला फूजीकोराइ के द्वारा होती है। ई. कुरोसोवा (जापानी वैज्ञानिक) ने रोगरहित धान की पौध में रोग लक्षण को बताया, जब उन्हें कवक के जीवाणुहीन निस्स्यंदों (फिल्ट्रेट) के साथ उपचारित किया। सक्रिय तत्व की पहचान बाद में जिबेरेलिक अम्ल के रूप में हुई।

एफ स्कूग (F. Skoog) तथा उनके सहकर्मियों ने देखा कि तंबाकू के तने के अंतरपर्व (इंट्रानोडल) खंड से (अविभेदित कोशिकाओं का समूह) तभी प्रचुरित हुआ जब ऑक्सिस के अलावा मीडियम में, वाहिका ऊतकों के सत्व या यीस्ट सत्व या नारियल दूध या डीएनए पूरक रूप में दिया गया। स्कूग और मिलर ने साइटोकाइनेसिस को बढ़ावा देने वाले इस तत्व को पहचाना और इसका क्रिस्टलीकरण किया तथा काइनेटिन नाम दिया।

1960 के मध्य में तीन अलग-अलग वैज्ञानिकों ने स्वतंत्र रूप से तीन तरह के निरोधक का शुद्धिकरण एवं उसका रासायनिक स्वरूप प्रस्तुत किया। वे निरोधक बी, बिलगन II एवं डोरमिन हैं। बाद में ये तीनों रासायनिक रूप से समान पाए गए। इसका नामकरण एबसिसिक अम्ल के रूप में किया गया।

कौसइंस ने यह सुनिश्चित किया कि पके हुए संतरों से निकला हुआ एक वाष्पशील तत्व पास में रखे बिना पके हुए केलों को शीघ्रता में पकाता है। बाद में यह वाष्पशील तत्व एथीलिन के नाम से जाना गया जो एक गैसीय पीजीआर है। आइए, अब हम इन पाँच तरह के पीजीआर के कार्याकीय प्रभाव का अगले भाग में अध्ययन करते हैं।

15.4.3 पादप वृद्धि नियामकों का कार्याकीय शरीरक्रियात्मक प्रभाव

15.4.3.1 ऑक्सिस

(ग्रीक शब्द *आक्सेन* : बढ़ना) सर्वप्रथम मनुष्य के मूत्र से निकाला गया। शब्द ऑक्सिस इनडोल-3 एसेटिक अम्ल (आई ए ए) तथा अन्य प्राकृतिक एवं कृत्रिम यौगिक, जिसमें वृद्धि करने की क्षमता हो, के लिए प्रयोग किया जाता है। ये प्रायः तने एवं मूल के बढ़ते हुए शिखर पर बनते हैं तथा वहाँ से क्रियाशीलता वाले भाग में जाता हैं। ऑक्सिस जैसे आईएए एवं इनडोल ब्यूटेरिक अम्ल पौधे से निकाला गया है। एनएए (नैफथेलिन एसेटिक अम्ल) तथा 2, 4 डी (2,4 डाईक्लोरो फिनोक्सी एसेटिक अम्ल) कृत्रिम ऑक्सिस हैं। ऑक्सिस के उपयोग का एक विस्तृत दायरा है और ये बागवानी एवं खेती में प्रयोग किए गए हैं। ये तनों की कटिंग (कलमों) में जड़ फूटने (रूटिंग) में सहायता करती है जो पादप प्रवर्धन में व्यापकता से इस्तेमाल होती है। ऑक्सिस पुष्पन को बढ़ा देती है; जैसे अनानास में। ये पौधों के पत्तों एवं फलों को शुरूआती अवस्था में गिरने से बचाते हैं तथा पुरानी एवं परिपक्व पत्तियों एवं फलों के विलगन को बढ़ावा देते हैं। उच्च पादपों में वृद्धि करती अग्रस्थ कलिका पार्श्व (कक्षस्थ) कलियों की वृद्धि को अवरोधित करते हैं। जिसे **शिखाग्र प्रधान्यता** (apical dominance) कहते हैं। प्ररोह सिरों को हटाने (शिरच्छेदन)

से प्रायः पार्श्व कलियों की वृद्धि होती है (देखें चित्र 15.11)। यह बात व्यापक रूप से चाय रोपण एवं बाड़ बनाने (हेज मेकिंग) में लागू होती है। क्या आप बता सकते हैं, क्यों?

इसके साथ ही आक्सिस अनिषेकफलन को प्रेरित करता है जैसे कि टमाटर में। इन्हें व्यापक रूप से शाकनाशी के रूप में उपयोग किया जाता है। 2, 4-डी, व्यापक रूप से द्विबीजपत्ती खरपतवारों का नाश कर देता है; लेकिन एकबीजपत्ती परिपक्व पौधों को प्रभावित नहीं करता है। इसका उपयोग मालियों के द्वारा लॉन को तैयार करने में किया जाता है। इसके साथ ही ऑक्सिस जाइलम विभेदन को नियंत्रित करने तथा कोशिका के विभाजन में मदद करता है।

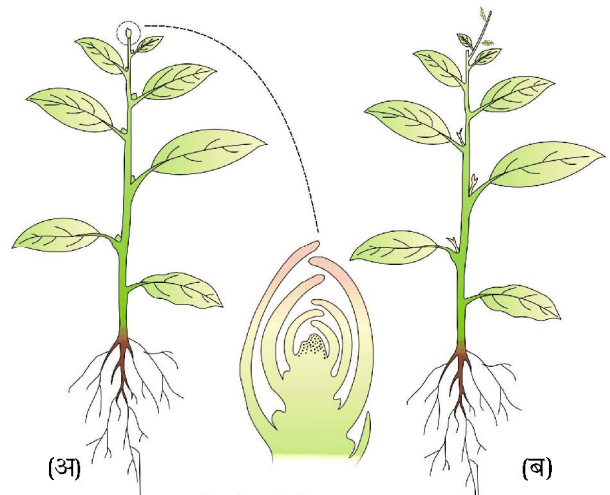
15.4.3.2 जिब्वेरेलिन

जिब्वेरेलिन एक अन्य प्रकार का प्रोत्साहक पी जी आर है। सौ से अधिक जिब्वेरेलिन की सूचना विभिन्न जीवों से आ चुकी है जैसे कि कवकों और उच्च पादपों से।

इन्हें जी ए₁ (GA₁) जी ए₂ (GA₂) जी ए₃ (GA₃) और इसी तरह से नामित किया गया है। हालांकि जी ए₃ वह जिब्वेरेलिन है जिसकी सबसे पहले खोज की गई थी और अभी भी सभी से अधिक सघनता से अध्ययन किया जाने वाला स्वरूप है। सभी जी ए एस (GAs) अम्लीय होते हैं। ये पौधों में एक व्यापक दायरे की कार्यात्मक अनुक्रिया देते हैं। ये अक्ष की लंबाई बढ़ाने की क्षमता रखते हैं, अतः अंगूर के डंठल की लंबाई बढ़ाने में प्रयोग किये जाते हैं। जिब्वेरेलिन सेव जैसे फलों को लंबा बनाते हैं ताकि वे उचित रूप ले सकें। ये जरावस्था को भी रोकते हैं, ताकि फल पेड़ पर अधिक समय तक लगे रह सकें और बाजार में मिल सकें। जी ए₃ (GA₃) को आसव (शराब) उद्योग में माल्टिंग की गति बढ़ाने के लिए उपयोग किया जाता है। गन्ने के तने में कार्बोहाइड्रेट्स चीनी या शर्करा के रूप में एकत्र रहता है। गन्ने की खेती में जिब्वेरेलिन छिड़कने पर तनों की लंबाई बढ़ती है। इससे 20 टन प्रति एकड़ ज्यादा उपज बढ़ जाती है। जी ए छिड़कने पर किशोर शंकुवृक्षों में परिपक्वता तीव्र गति से होती है अतः बीज जल्दी ही तैयार हो जाता है। जिब्वेरेलिन चुकंदर, पत्तागोभी एवं अन्य रोजेटी स्वभाव वाले पादपों में वोल्टिंग (पुष्पन से पहले अंतःपर्व का दीर्घीकरण) को बढ़ा देता है।

15.4.3.3 साइटोकिनिंस

साइटोकिनिंस अपना विशेष प्रभाव साइटोकिनेसिस (कोशिकाद्रव्य विभाजन) में डालता है और इसे काइनेटिन (एडेनिन का रूपांतरित रूप एक प्युरीन) के रूप में आटोक्लेबड़ हेरिंग के शुक्राणु से खोजा गया था। काइनेटिन पौधों में प्राकृतिक रूप से नहीं पाया जाता है। साइटोकिनिन जैसे पदार्थों की खोज के क्रम में मक्का की अष्टि तथा नारियल दूध से



चित्र 15.11 पादपों में शीर्षस्थ प्रभाविता (अ) अग्रस्थ कलिका की उपस्थिति कक्षस्थ कलिका में वृद्धि को रोकती है (ब) अग्रस्थ कलिका का लंबवत काट, कक्षस्थ कलिका से छत्रक हटाने के बाद शाखाओं के रूप में वृद्धि

जियाटीन अलग किया जा सका। जियाटीन के खोज के बाद अनेकों प्राकृतिक रूप से प्राप्त साइटोकिनिंस तथा कोशिका विभाजन प्रोत्साहक पहचाने गए। प्राकृतिक साइटोकिनिंस उन क्षेत्रों में संश्लेषित होता है, जहाँ तीव्र कोशिका विभाजन संपन्न होता है, उदाहरण के लिए मूल शिखाग्र, विकासशील प्ररोह कलिकाएं तथा तरुणफल आदि। यह नई पत्तियों में हरितलवक पार्श्व प्ररोह वृद्धि तथा आपस्थानिक प्ररोह संरचना में मदद करता है। साइटोकिनिंस शिखाग्र प्राधान्यता से छुटकारा दिलाता है। वे पोषकों के संचारण को बढ़ावा देते हैं जिससे पत्तियों की जरावस्था को देरी करने में मदद मिलती है।

15.4.3.4 एथीलिन

एथीलिन एक साधारण गैसीय पी जी आर है यह जरावस्था को प्राप्त होते ऊतकों तथा पकते हुए फलों के द्वारा भारी मात्रा में संश्लेषित की जाती है। एथीलिन पौधों की अनुप्रस्थ (क्षैतिज) वृद्धि, अक्षों में फुलाव एवं द्विबीजी निवेद्भिदों में अंकुश संरचना को प्रभावित करती है। एथीलिन जरावस्था एवं विलगन को मुख्यतः पत्तियों एवं फूलों में बढ़ाती है। यह फलों को पकाने में बहुत प्रभावी है। फलों के पकने के दौरान यह श्वसन की गति को वृद्धि करता है। श्वसन वृद्धि में गति की इस बढ़त को क्लाइमैक्टिक श्वसन कहते हैं।

एथीलिन बीज तथा कलिका प्रसुप्ति को तोड़ती है, मूंगफली के बीज में अंकुरण को शुरू करती है तथा आलू के कंदों को अंकुरित करती है। एथीलिन गहरे पानी के धान के पौधों में पर्णवृत्त को तीव्र दीर्घीकरण के लिए प्रोत्साहित करता है। यह पत्तियों तथा प्ररोह के ऊपरी भाग को पानी से ऊपर रखने में मदद करता है। इसके साथ ही एथीलिन मूल वृद्धि तथा मूल रोमों को प्रोत्साहित करती है; अतः पौधे को अधिक अवशोषण क्षेत्र प्रदान करने में मदद करती है।

एथीलिन अनानास को फूलने तथा फल समकालिकता में सहायता करता है। इसके साथ ही आम को पुष्पित होने में प्रेरित करता है। एथीलिन अनेकानेक कार्यात्मक प्रक्रियाओं को नियमित करता है, अतः यह कृषि में सर्वाधिक इस्तेमाल होने वाली पी जी आर है। सर्वाधिक व्यापक तौर पर इस्तेमाल होने वाला यौगिक एथिफॉन है। एथिफॉन जलीय घोल में आसानी से अवशोषित तथा पौधे के अंतर्गत संचारित होता है तथा धीरे-धीरे एथीलिन मुक्त करता है। एथिफॉन टमाटर एवं सेव के फलों के पकाने की गति को बढ़ाता है तथा फूलों एवं फलों में विलगन को तीव्रता प्रदान करता है (कपास, चेरी तथा अखरोट में विरलन)। यह खीरों में मादा पुष्पों का बढ़ाता है जिससे फसल की पैदावार में वृद्धि होती है।

15.4.3.5 एबसिसिक एसिड

जैसा कि पहले बताया जा चुका है कि एबसिसिक एसिड (ABA); की खोज विलगन एवं प्रसुप्ति को नियामित करने में उसकी भूमिका के लिए हुई थी। लेकिन अन्य दूसरे पी जी आर की भांति यह भी पादप वृद्धि एवं परिवर्धन में व्यापक दायरे में प्रभाव डालता है। यह एक सामान्य पादप वृद्धि तथा पादप उपापचय के निरोधक का काम करता है।

ए बी ए बीज के अंकुरण का निरोध करता है। यह बाह्यत्वचीय पट्टिकाओं में रंध्रों के बंद होने को प्रोत्साहित करता है तथा पौधों को विभिन्न प्रकार के तनावों को सहने हेतु क्षमता प्रदान करता है। इसी कारण इसे तनाव हार्मोन भी कहा जाता है। ए बी ए बीज के विकास, परिपक्वता, प्रसुप्ति आदि में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। प्रसुप्ति को प्रेरित करने के द्वारा ए बी ए बीज को जल शुष्कन तथा वृद्धि के लिए अन्य प्रतिकूल परिस्थिति से बचाव देता है। बहुत सारी परिस्थितियों में, एबीए, जीएएस (GAs) के लिए एक विरोधक की भूमिका निभाता है।

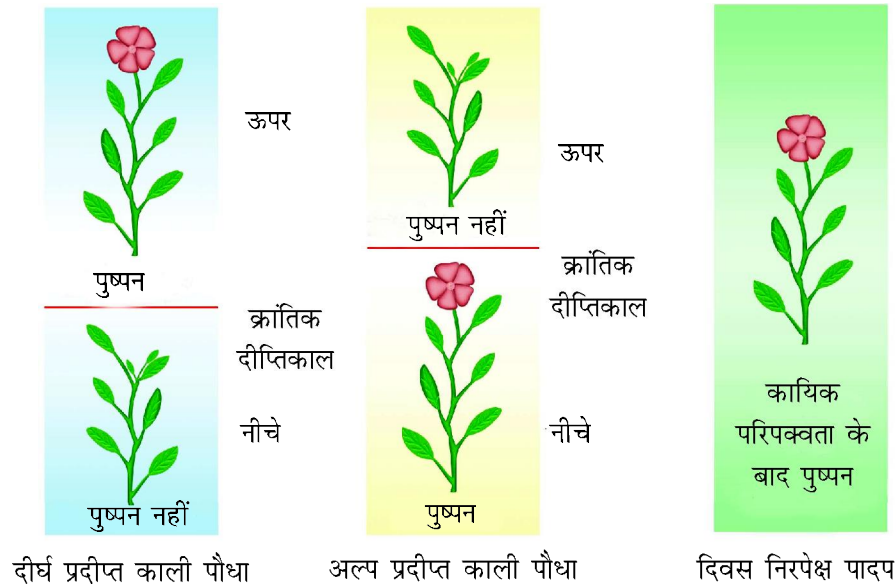
हम संक्षेप में कह सकते हैं कि पादपों की वृद्धि, विभेदन तथा परिवर्धन के लिए एक या कई अन्य पी जी आर कुछ न कुछ भूमिका निभाते हैं। यह भूमिकाएं संपूरक की या फिर विरोधक की भी हो सकती हैं। ये भूमिकाएं वैयक्तिक (निजी) या योगवाही हो सकती हैं। इसी तरह पौधे के जीवन में कई घटनाएं होती हैं जहाँ एक से ज्यादा पीजीआर मिलकर घटनाओं को प्रभावित करती हैं, उदाहरण के तौर पर बीज या कली का प्रसुप्तीकरण, विलगन, जरावस्था, शिखर प्रभुत्व आदि।

पीजीआर की भूमिका एक तरह के आंतरिक नियंत्रण में है। याद करें, जीनोमिक नियंत्रण एवं बाह्य कारक के साथ ये पौधे की वृद्धि एवं परिवर्धन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। बहुत सारे बाह्य कारक जैसे कि तापक्रम एवं प्रकाश पौधे की वृद्धि एवं परिवर्धन को पीजीआर के माध्यम से नियंत्रण करते हैं। ऐसी कुछ घटनाओं का उदाहरण हैं: वसंतीकरण पुष्पन, प्रसुप्तीकरण, बीज अंकुरण, पौधों में गति आदि।

हम लोग संक्षेप में प्रकाश और ताप (दोनों बाह्य कारक हैं) के पुष्पन आरंभ करने की भूमिका को पढ़ेंगे।

15.5 दीप्तिकालिता

ऐसा देखा गया है कि कुछ पौधों में पुष्पन को प्रेरित/प्रवृत्त करने में प्रकाश की नियतकालिकता की आवश्यकता होती है। ऐसे पौधे प्रकाश की नियतकालिकता की अवधि को माप सकते हैं, उदाहरण स्वरूप : कुछ पौधों में क्रांतिक अवधि से ज्यादा प्रकाश की अवधि चाहिए, जबकि दूसरे पौधों में प्रकाश की अवधि संकट क्रांतिक अवधि से कम चाहिए, जिससे कि दोनों तरह के पौधों में पुष्पन की शुरुआत हो सके। प्रथम तरह के पौधों के समूह को **अल्प प्रदीप्तकाली पौधा** कहते हैं तथा बाद वाले पौधों को **दीर्घ प्रदीप्तकाली पौधा** कहते हैं। बहुत सारे ऐसे पौधे होते हैं, जिसमें प्रकाश की अवधि एवं पुष्पन प्रेरित करने में कोई संबंध नहीं होता है। ऐसे पौधों को **तटस्थ प्रदीप्तकाली पौधा** कहते हैं (चित्र 15.12)। यह भी ज्ञातव्य है कि सिर्फ प्रकाश की अवधि ही नहीं; बल्कि अंधकार की अवधि भी महत्वपूर्ण है। अतः कुछ पौधों में पुष्पन सिर्फ प्रकाश और अंधकार के अवधि पर ही निर्भर नहीं करता, बल्कि उसकी सापेक्षित अवधि पर निर्भर करता है। इस घटना को **दीप्तिकालिता** कहते हैं। यह भी बहुत मजेदार बात है कि तने की शीर्षस्थ कलिका पुष्पन के पहले पुष्पन शीर्षस्थ कलिका में बदलती है, परंतु वे (तने की शीर्षस्थ कलिका) खुद से प्रकाश काल को नहीं महसूस कर पाती है। प्रकाश/अंधकार



चित्र 15.12 दीप्तिकालिता - दीर्घ प्रदीप्त काली, अल्प प्रदीप्त काली एवं दिवस निरपेक्ष पादप

काल का अनुभव पत्तियां करती हैं। परिकल्पना यह है कि हार्मोनल तत्व (फ्लोरिजन) पुष्पन के लिए जिम्मेदार है। फ्लोरिजन पत्ती से तना कलिका में पुष्पन प्रेरित करने के लिए तभी जाती है जब पौधे आवश्यक प्रेरित दीप्तिकाल में अनावृत होते हैं।

15.6 वसंतीकरण

कुछ पौधों में पुष्पन गुणात्मक या मात्रात्मक तौर पर कम तापक्रम में अनावृत होने पर निर्भर करता है। इसे ही **वसंतीकरण** कहा जाता है। यह अकालिक प्रजनन परिवर्धन को वृद्धि के मौसम में तब तक रोकता है जब तक पौधे परिपक्व न हो जाएं। वसंतीकरण कम ताप काल में पुष्पन के प्रोत्साहन को कहते हैं। उदाहरण के तौर पर भोजन वाले पौधे गेहूँ, जौ, तथा राई की दो किस्में होती हैं: जाड़े तथा वसंत की किस्में। वसंत की किस्में साधारणतया वसंत में बोई जाती है, जो बढ़ते मौसम की समाप्ति के पहले फूलती एवं फलती हैं। जाड़े की किस्में यदि वसंत में बोई जाती हैं तो वह मौसम के पहले न तो पुष्पित होती हैं और न फलती हैं। इसीलिए वह शरदकाल में बोई जाती हैं। ये अंकुरित होते हैं और नवोद्भिदों के रूप में जाड़े को बिताते हैं, फिर बसंत में फूलते एवं फलते हैं तथा मध्य ग्रीष्म के दौरान काट लिए जाते हैं।

वसंतीकरण के कुछ उदाहरण द्विवर्षी पौधों में भी पाए जाते हैं। द्विवर्षी पौधे एक सकृत्फली पौधे होते हैं जो साधारणतया दूसरे मौसम/ऋतु में फूलते एवं मरते हैं। चुकंदर, पत्ता गोभी, गाजर कुछ द्विवर्षी पौधे हैं। एक द्विवर्षी पौधे को कम तापक्रम में अनावृत कर दिए जाने पर; पादपों में बाद में दीप्तिकालिता के कारण पुष्पन की अनुक्रिया बढ़ जाती है।⁶

सारांश

किसी भी जीवित प्राणी के लिए वृद्धि एक अत्यंत उत्कृष्ट घटना है। यह एक अनपलट, बढ़तयुक्त तथा मापदंड में प्रकट होने वाली है जैसे कि आकार, क्षेत्रफल, लंबाई, ऊंचाई, आयतन, कोशिका संख्या आदि। इसमें बढ़ा हुआ जीव द्रव्य पदार्थ शामिल है। पौधों में विभज्योतक/मेरिस्टेम वृद्धि की जगहें होती हैं। मूलशिखाग्र विभज्योतक तथा प्ररोह शिखाग्र विभज्योतक के साथ-साथ कई बार, अंतरवाहिका विभज्योतक पौधे के अक्ष की दीर्घगामी वृद्धि में भागीदारी करते हैं। उच्च पेड़ों में वृद्धि अनियत होती है। मूल शिखाग्र एवं प्ररोह शिखाग्र में कोशिका विभाजन का अनुपालन करते हुए वृद्धि अंकगणितीय या ज्यामितीय हो सकती है। कोशिका/ऊतक/अंग जीवों में वृद्धि दर सामान्यतः पूरे जीवन काल में उच्च दर पर नहीं टिकी रहती है। वृद्धि को तीन प्रमुख चरणों, लैग, लॉग तथा जरावस्था में बाँटा जा सकता है। जब कोशिका अपनी विभाजन क्षमता खो देती है तो यह विभेदन की ओर बढ़ जाती है। विभेदन संरचनाएं प्रदान करता है जो उत्पाद की क्रियात्मकता के साथ जुड़ी होती है। कोशिकाओं, ऊतकों तथा संबंधी अंगों के लिए विभेदन के लिए सामान्य नियम एक समान होते हैं। एक विभेदित कोशिका फिर विभेदित हो सकती है या फिर पुनः विभेदित हो सकती है। पादपों में विभेदन चौँकि खुला होता है, अतः परिवर्धन लचीला हो सकता है। दूसरे शब्दों में है परिवर्धन वृद्धि एवं विभेदन का योग है।

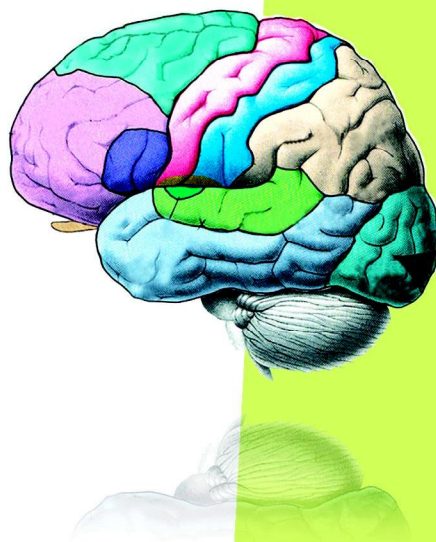
पादप वृद्धि एवं परिवर्धन बाह्य एवं आंतरिक दोनों कारकों द्वारा नियंत्रित होते हैं। अंतरकोशीय आंतरिक कारक रासायनिक तत्व होते हैं जिन्हें पादप वृद्धि नियामक (पीजीआर) कहा जाता है। पौधों में पीजीआर के विभिन्न समूह होते हैं, जो मुख्यतः पाँच समूह के नाम से जाने जाते हैं: आक्सिन, जिबबेरेलिन, साइटोकिनिन, एबसीसिक एसिड तथा एथिलिन। ये पीजीआर पौधे के विभिन्न हिस्सों में उत्पादित किए जाते हैं। ये विभिन्न विभेदन एवं परिवर्धन की घटनाओं को नियंत्रित करते हैं। कोई भी पीजीआर पादपों के कार्यिकी पर प्रभाव डाल सकता है। ठीक इसी प्रकार से ये प्रभाव विविध प्रकार की पीजीआर से प्रकट होते हैं। ये पीजीआर सहक्रियाशील योगवाही अथवा प्रतिरोधात्मक के रूप में कार्य कर सकते हैं। इसके साथ पादप वृद्धि एवं परिवर्धन प्रकाश, तापक्रम, ऑक्सीजन स्तर, गुरुत्व तथा अन्य ऐसे ही बाहरी घटकों द्वारा भी प्रभावित होते हैं।

कुछ पादपों में पुष्पन दीप्तिकालिता पर निर्भर करता है। दीप्तिकालिता के आधार पर पौधों को तीन भागों में बाँटा गया है— अल्प प्रदीप्तकाली पौधे, दीर्घ प्रदीप्तकाली पौधे एवं तटस्थप्रदीप्त काली पौधे। कुछ पौधों को कम ताप से अनावृत करने की जरूरत होती है, ताकि वे जीवन के अंत में पुष्पन कर सकें। इसे ही वसंतीकरण कहते हैं।

अभ्यास

1. वृद्धि, विभेदन, परिवर्धन, निर्विभेदन, पुनर्विभेदन, सीमित वृद्धि, मेरिस्टेम तथा वृद्धि दर की परिभाषा दें।
2. पुष्पित पौधों के जीवन में किसी एक प्राचालिक (Parameter) से वृद्धि को वर्णित नहीं किया जा सकता है, क्यों?

3. संक्षिप्त वर्णित करें—
 - (अ) अंकगणितीय वृद्धि
 - (ब) ज्यामितीय वृद्धि
 - (स) सिग्माइड वृद्धि वक्र
 - (द) संपूर्ण एवं सापेक्ष वृद्धि दर
4. प्राकृतिक पादप वृद्धि नियामकों के पाँच मुख्य समूहों के बारे में लिखें। इनके आविष्कार, कार्यिकी प्रभाव तथा कृषि/बागवानी में इनका प्रयोग के बारे में लिखें।
5. दीप्तिकालिता तथा वसंतीकरण क्या हैं? इनके महत्व का वर्णन करें।
6. एबसिसिक एसिड को तनाव हार्मोन कहते हैं, क्यों?
7. उच्च पादपों में वृद्धि एवं विभेदन खुला होता है, टिप्पणी करें?
8. अल्प प्रदीप्तकाली पौधे और दीर्घ प्रदीप्तकाली पौधे किसी एक स्थान पर साथ-साथ फूलते हैं। विस्तृत व्याख्या करें।
9. अगर आपको ऐसा करने को कहा जाए तो एक पादप वृद्धि नियामक का नाम दें—
 - (क) किसी टहनी में जड़ पैदा करने हेतु
 - (ख) फल को जल्दी पकाने हेतु
 - (ग) पत्तियों की जरावस्था को रोकने हेतु
 - (घ) कक्षस्थ कलिकाओं में वृद्धि कराने हेतु
 - (ङ) एक रोजेट पौधे में 'वोल्ट' हेतु
 - (च) पत्तियों के रंध्र को तुरंत बंद करने हेतु
10. क्या एक पर्णरहित पादप दीप्तिकालिता के चक्र से अनुक्रिया कर सकता है? यदि हां या नहीं तो क्यों?
11. क्या हो सकता है, अगर:
 - (क) जी ए₃ (GA₃) को धान के नवोद्भिदों पर दिया जाए
 - (ख) विभाजित कोशिका विभेदन करना बंद कर दें
 - (ग) एक सड़ा फल कच्चे फलों के साथ मिला दिया जाए।
 - (घ) अगर आप संवर्धन माध्यम में साइटोकीनिंस डालना भूल जाएं।



इकाई पाँच

मानव शरीर विज्ञान

अध्याय 16

पाचन एवं अवशोषण

अध्याय 17

श्वसन और गैसों का विनिमय

अध्याय 18

शरीर द्रव्य तथा परिसंचरण

अध्याय 19

उत्सर्जी उत्पाद एवं उनका निष्कासन

अध्याय 20

गमन एवं संचलन

अध्याय 21

तंत्रकीय नियंत्रण एवं समन्वय

अध्याय 22

रासायनिक समन्वय तथा एकीकरण

न्यूनीकरणकर्ता जीवन के स्वरूपों के अध्ययन का उपागम करते हैं, परिणामस्वरूप भौतिक-रसायन संकल्पना एवं तकनीकी के उपयोग में वृद्धि होती है। ऐसे अध्ययनों में बहुतायत से या तो जीव-ऊतक मॉडल का उपयोग करते हैं या फिर सीधे-सीधे कोशिकामुक्त प्रणाली का उपयोग करते हैं। एक ज्ञान की अभिवृद्धि के परिणामस्वरूप आण्विक जीव विज्ञान का जन्म हुआ। आज जैव-रसायनशास्त्र एवं जैव-भौतिकी के साथ आण्विक शरीर विज्ञान लगभग पर्यायवाची बन चुका है। हालांकि, अब तीव्र वृद्धि के साथ यह महसूस किया जा रहा है कि न तो शुद्ध रूप से जैविक उपागम और न ही शुद्ध रूप से न्यूनीकरण आण्विक उपागम जैव वैज्ञानिक प्रक्रम या जीवित प्रत्याभासों के सत्य को उद्घाटित कर पाएगा। वर्गिकी जीव विज्ञान हमें यह विश्वास दिलाता है कि सभी जैविक प्रत्याभास अध्ययन के अंतर्गत सभी कारकों की परस्पर क्रिया के कारण निर्गत विशिष्टता या गुणधर्म है। अणुओं का नियामक नेटवर्क, सुप्रा आण्विक जनसंख्या एवं समुदाय हर एक निर्गत गुणधर्म को पैदा करते हैं। इस खंड के अंतर्गत आने वाले अध्यायों में प्रमुख मानव शरीर वैज्ञानिक प्रक्रमों, जैसे पाचन, गैसों का विनिमय, रक्त परिसंचरण, गमन एवं संचलन के बारे में कोशिकीय एवं आण्विक भाषा में वर्णन किया गया है। अंतिम दो अध्यायों के अंतर्गत जैविक समन्वय के बिंदुओं पर चर्चा की गई है।



अलफोन्सो कार्टी
(1822 - 1888)

इटैलियन शरीर क्रिया वैज्ञानिक अलफोन्सो कोर्टी का जन्म 1822 में हुआ था। कोर्टी ने अपना वैज्ञानिक जीवन सरीसृपों के हृद-वाहिका तंत्र के अध्ययन से प्रारंभ किया था। बाद में उन्होंने अपना ध्यान स्तनधारियों के श्वसन-तंत्र की ओर केंद्रित किया था। सन् 1951 में आपने एक लेख प्रकाशित किया, जिसमें आपने कर्णावर्त (कॉक्लिया) की आधारस्थ झिल्ली पर स्थित संरचना में समाहित रोम कोशिकाओं की व्याख्या की थी जोकि ध्वनि कंपनों को तंत्रकीय आवेगों में परिवर्तित कर देती हैं। जिन्हें कोर्टी का अंग कहा गया। आपका देहांत वर्ष 1888 में हो गया।

अध्याय 16

पाचन एवं अवशोषण

- 16.1 पाचन तंत्र
- 16.2 भोजन का पाचन
- 16.3 पाचित उत्पादों का अवशोषण
- 16.4 पाचन तंत्र के विकार और अनियमितताएं

भोजन सभी सजीवों की मूलभूत आवश्यकताओं में से एक है। हमारे भोजन के मुख्य अवयव कार्बोहाइड्रेट, प्रोटीन एवं वसा हैं। अल्प मात्रा में विटामिन एवं खनिज लवणों की भी आवश्यकता होती है। भोजन से ऊर्जा एवं कई कच्चे कार्यात्मक पदार्थ प्राप्त होते हैं जो वृद्धि एवं ऊतकों के मरम्मत के काम आते हैं। जो जल हम ग्रहण करते हैं, वह उपापचयी प्रक्रियाओं में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है एवं शरीर के निर्जलीकरण को भी रोकता है। हमारा शरीर भोजन में उपलब्ध जैव-रसायनों को उनके मूल रूप में उपयोग नहीं कर सकता। अतः पाचन तंत्र में छोटे अणुओं में विभाजित कर साधारण पदार्थों में परिवर्तित किया जाता है। जटिल पोषक पदार्थों को अवशोषण योग्य सरल रूप में परिवर्तित करने की इसी क्रिया को **पाचन** कहते हैं और हमारा पाचन तंत्र इसे यांत्रिक एवं रासायनिक विधियों द्वारा संपन्न करता है। मनुष्य का पाचन तंत्र चित्र 16.1 में दर्शाया गया है।

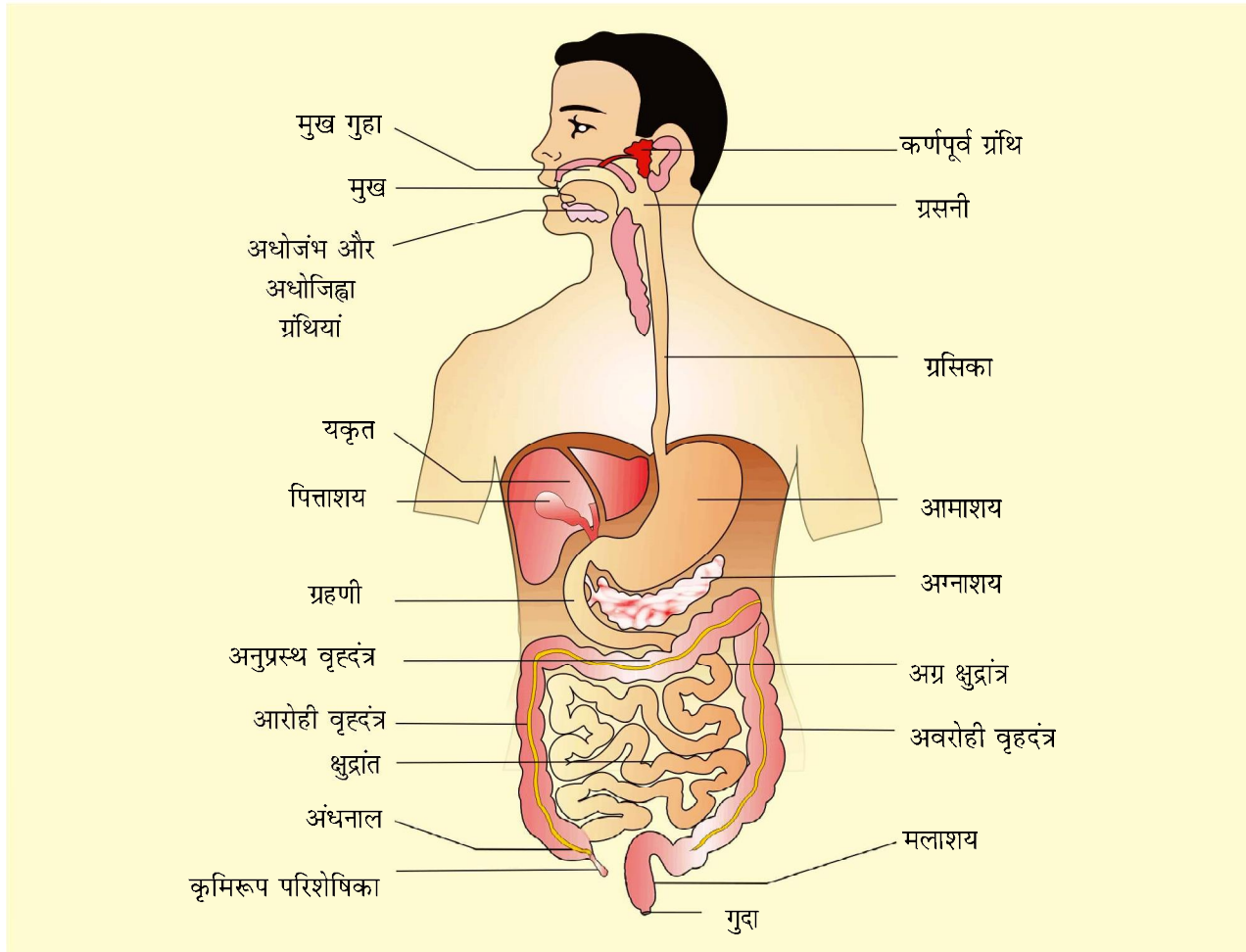
16.1 पाचन तंत्र

मनुष्य का पाचन तंत्र आहार नाल एवं सहायक ग्रंथियों से मिलकर बना होता है।

16.1.1 आहार नाल

आहार नाल अग्र भाग में मुख से प्रारंभ होकर पश्च भाग में स्थित गुदा द्वारा बाहर की ओर खुलती है।

मुख, मुखगुहा में खुलता है। मुखगुहा में कई दांत और एक पेशीय जिह्वा होती है। प्रत्येक दांत जबड़े में बने एक सांचे में स्थित होता है। (चित्र 16.2) इस तरह की व्यवस्था को **गर्तदंती** (thecodont) कहते हैं। मनुष्य सहित अधिकांश स्तनधारियों के जीवन काल में दो तरह के दांत आते हैं- अस्थायी दांत-समूह अथवा दूध के दांत जो वयस्कों में स्थायी दांतों से प्रतिस्थापित हो जाते हैं। इस तरह की दांत (दंत) व्यवस्था को **द्विबारदंती**



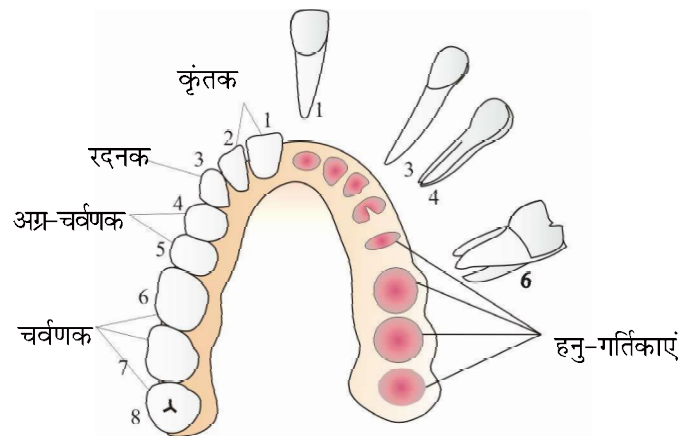
चित्र 16.1 मानव पाचन तंत्र

(Diphyodont) कहते हैं। वयस्क मनुष्य में 32 स्थायी दांत होते हैं, जिनके चार प्रकार हैं जैसे- कृतक (I), रदनक (C) अग्र-चर्वणक (PM) और चर्वणक (M)। ऊपरी एवं निचले जबड़े के प्रत्येक आधे भाग में दांतों की व्यवस्था I, C, PM, M क्रम में एक दंतसूत्र के अनुसार होती है जो मनुष्य के लिए $\frac{2123}{2123}$ है। इनमल से बनी दांतों की चबाने वाली कठोर सतह भोजन को चबाने में मदद करती है। जिह्वा स्वतंत्र रूप से घूमने योग्य एक पेशीय अंग है जो फ्रेनुलम (frenulum) द्वारा मुखगुहा की आधार से जुड़ी होती है। जिह्वा की ऊपरी सतह पर छोटे-छोटे उभार के रूप में पिप्पल (पैपिला) होते हैं, जिनमें कुछ पर स्वाद कलिकाएं होती हैं।

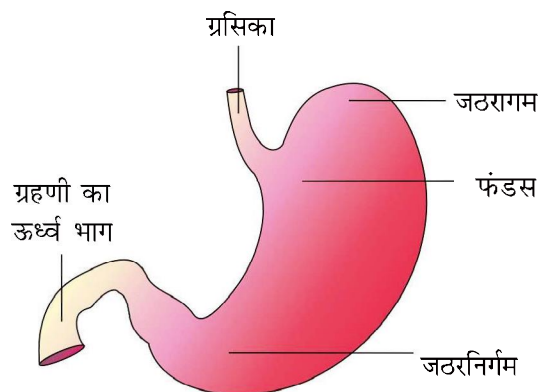
मुखगुहा एक छोटी ग्रसनी में खुलती है जो वायु एवं भोजन, दोनों का ही पथ है। उपास्थिमय घाँटी ढक्कन, भोजन को निगलते समय श्वासनली में प्रवेश करने से रोकती है। ग्रसिका (oesophagus) एक पतली लंबी नली है, जो गर्दन, वक्ष एवं मध्यपट से होते हुए पश्च भाग में 'J' आकार के थैलीनुमा आमाशय में खुलती है। ग्रसिका का आमाशय

में खुलना एक पेशीय (आमाशय-ग्रसिका) अवरोधनी द्वारा नियंत्रित होता है। आमाशय (गुहा के ऊपरी बाएं भाग में स्थित होता है), को मुख्यतः तीन भागों में विभाजित किया जा सकता है- **जठरागम भाग** जिसमें ग्रसिका खुलती है, **फंडस** क्षेत्र और **जठरनिर्गम भाग** जिसका छोटी आंत में निकास होता है (चित्र 16.3)। छोटी आंत के तीन भाग होते हैं- 'C' आकार की ग्रहणी, कुंडलित मध्यभाग अग्रक्षुद्रांत्र और लंबी कुंडलित क्षुद्रांत्र। आमाशय का ग्रहणी में निकास जठरनिर्गम अवरोधनी द्वारा नियंत्रित होता है। क्षुद्रांत्र बड़ी आंत में खुलती है जो अंधनाल, वृहदांत्र और मलाशय से बनी होती है। अंधनाल एक छोटा थैला है जिसमें कुछ सहजीवीय सूक्ष्मजीव रहते हैं। अंधनाल से एक अंगुली जैसा प्रवर्ध, परिशेषिका निकलता है जो एक अवशेषी अंग है। अंधनाल, बड़ी आंत में खुलती है। वृहदांत्र तीन भागों में विभाजित होता है- आरोही, अनुप्रस्थ एवं अवरोही भाग। अवरोही भाग मलाशय में खुलता है जो मलद्वार (anus) द्वारा बाहर खुलता है।

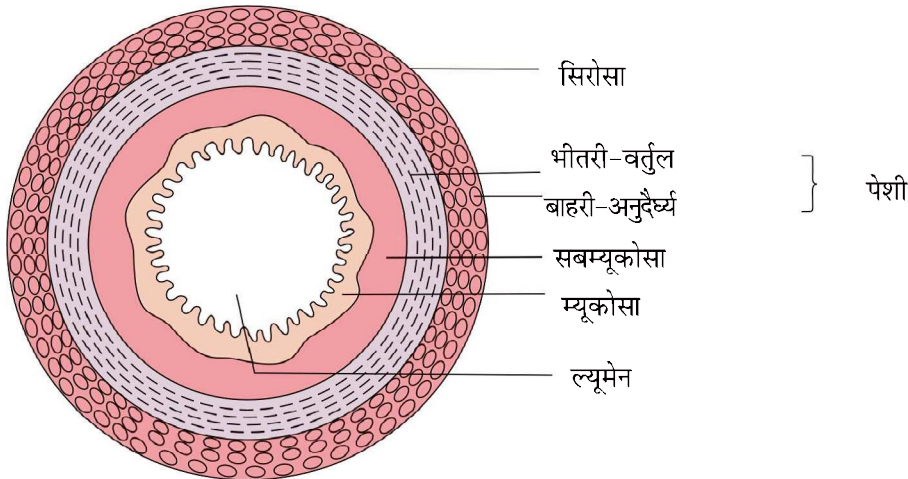
आहार नाल की दीवार में ग्रसिका से मलाशय तक, चार स्तर होते हैं (चित्र 16.4) जैसे सिरासा, मस्कुलेरिस, सबम्यूकोसा और म्यूकोसा। सिरासा सबसे बाहरी परत है और एक पतली मेजोथिलियम (अंतरंग अंगों की उपकला) और कुछ संयोजी ऊतकों से बनी होती है। मस्कुलेरिस प्रायः आंतरिक वर्तुल पेशियों एवं बाह्य अनुदैर्घ्य पेशियों की बनी होती है। कुछ भागों में एक तिर्यक पेशी स्तर होता है। सबम्यूकोसा स्तर रुधिर, लसीका व तंत्रिकाओं युक्त मुलायम संयोजी ऊतक की बनी होती है। ग्रहणी में, कुछ ग्रंथियाँ भी सबम्यूकोसा में पाई जाती हैं। आहार नाल की ल्यूमेन की सबसे भीतरी परत म्यूकोसा है। यह स्तर आमाशय में अनियमित वलय एवं छोटी आंत में अंगुलीनुमा प्रवर्ध बनाता है जिसे **अंकुर** (villi) कहते हैं (चित्र 16.5)। अंकुर की सतह पर स्थित कोशिकाओं से असंख्य सूक्ष्म प्रवर्ध निकलते हैं जिन्हें सूक्ष्म अंकुर कहते हैं, जिससे ब्रस-बार्डर जैसा लगता है। यह रूपांतरण सतही क्षेत्र को अत्यधिक बढ़ा देता है। अंकुरों में केशिकाओं का जाल फैला रहता है और एक बड़ी लसीका वाहिका (vessel) होती है जिसे



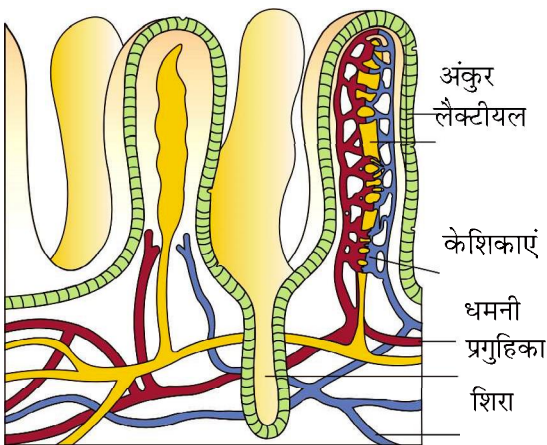
चित्र 16.2 एक ओर हनु में विभिन्न प्रकार के दंत-विन्यास और दूसरी ओर हनु-गर्तिकाओं को दर्शाते हुए।



चित्र 16.3 एक ओर हनु में विभिन्न प्रकार के दंत-विन्यास और दूसरी ओर हनु-गर्तिकाओं को दर्शाते हुए।



चित्र 16.4 आंत्र की अनुप्रस्थ काट का आरेखीय निरूपण



चित्र 16.5 अंकुर दर्शाते हुए क्षुद्रांत्र म्यूकोसा का एक भाग

लैकटीयल कहते हैं। म्यूकोसा की उपकला पर कलश-कोशिकाएं होती हैं, जो स्नेहन के लिए म्यूकस का स्राव करती हैं। म्यूकोसा आमाशय और आंत्र में स्थित अंकुरों के आधारों के बीच लीबरकुन-प्रगुहिका (crypts of Lieberkuhn) भी कुछ ग्रंथियों का निर्माण करती है। सभी चारों परतें आहार नाल के विभिन्न भागों में रूपांतरण दर्शाती हैं।

16.1.2 पाचन ग्रंथियाँ

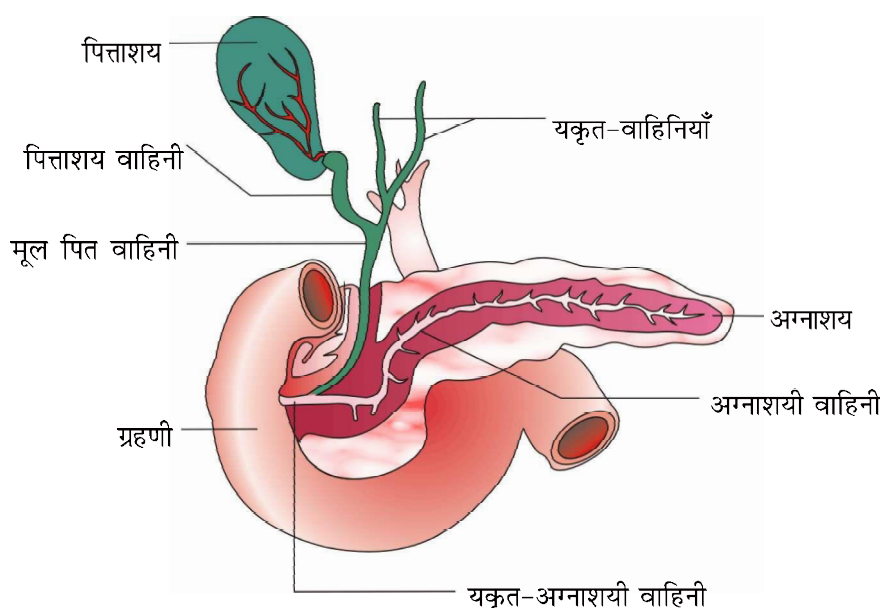
आहार नाल से संबंधित पाचन ग्रंथियों में लार ग्रंथियाँ, यकृत और अग्नाशय शामिल हैं।

लार का निर्माण तीन जोड़ी ग्रंथियों द्वारा होता है। ये हैं गाल में कर्णपूर्व, निचले जबड़े में अधोजंभ/अवचिबुकीय तथा जिह्वा के नीचे स्थित अधोजिह्वा। इन ग्रंथियों से लार मुखगुहा में पहुँचती है।

यकृत (liver) मनुष्य के शरीर की सबसे बड़ी ग्रंथि है जिसका वयस्क में भार लगभग 1.2 से 1.5 किलोग्राम होता है। यह उदर में मध्यपट के ठीक नीचे स्थित होता है और इसकी दो पालियाँ (lobes) होती हैं। यकृत पालिकाएं यकृत की संरचनात्मक और कार्यात्मक इकाइयाँ हैं जिनके अंदर यकृत कोशिकाएं रज्जु की तरह व्यवस्थित रहती हैं। प्रत्येक पालिका संयोजी ऊतक की एक पतली परत से ढकी होती है जिसे ग्लिसंस केपसूल कहते हैं। यकृत की कोशिकाओं से पित्त का स्राव होता है जो यकृत नलिका से

होते हुए एक पतली पेशीय थैली- पित्ताशय में सांद्रित एवं जमा होता है। पित्ताशय की नलिका यकृतीय नलिका से मिलकर एक मूल पित्त वाहिनी बनाती है (चित्र 16.6)। पित्ताशयी नलिका एवं अग्नाशयी नलिका, दोनों मिलकर यकृतअग्नाशयी वाहिनी द्वारा ग्रहणी में खुलती है जो ओडी अवरोधिनी से नियंत्रित होती हैं।

अग्नाशय U आकार के ग्रहणी के बीच स्थित एक लंबी ग्रंथि है जो बहिः स्रावी और अंतः स्रावी, दोनों ही ग्रंथियों की तरह कार्य करती है। बहिः स्रावी भाग से क्षारीय अग्नाशयी स्राव निकलता है, जिसमें एंजाइम होते हैं और अंतः स्रावी भाग से इंसुलिन और ग्लूकोगोन नामक हार्मोन का स्राव होता है।

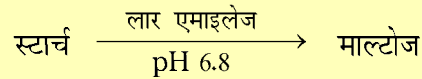


चित्र 16.6 यकृत, पित्ताशय और अनाशय का वाहिनी-तंत्र

16.2 भोजन का पाचन

पाचन की प्रक्रिया यांत्रिक एवं रासायनिक विधियों द्वारा संपन्न होती है। मुखगुहा के मुख्यतः दो प्रकार्य हैं, भोजन का चर्वण और निगलने की क्रिया। लार की मदद से दांत और जिह्वा भोजन को अच्छी तरह चबाने एवं मिलाने का कार्य करते हैं। लार का श्लेष्म भोजन कणों को चिपकाने एवं उन्हें बोलस में रूपांतरित करने में मदद करता है। इसके उपरांत निगलने की क्रिया द्वारा बोलस ग्रसनी से ग्रसिका में चला जाता है। बोलस पेशीय संकुचन के क्रमाकुंचन (peristalsis) द्वारा ग्रसिका में आगे बढ़ता है। जठर-ग्रसिका अवरोधिनी भोजन के अमाशय में प्रवेश को नियंत्रित करती है। लार (मुखगुहा) में विद्युत-अपघट्य (electrolytes) (Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^-) और एंजाइम (लार एमाइलेज या टायलिन तथा लाइसोजाइम) होते हैं। पाचन की रासायनिक प्रक्रिया

मुखगुहा में कार्बोहाइड्रेट को जल अपघटित करने वाली एंजाइम टायलिन या लार एमाइलेज की सक्रियता से प्रारंभ होती है। लगभग 30 प्रतिशत स्टार्च इसी एंजाइम की सक्रियता (pH 6.8) से द्विशर्करा माल्टोज में अपघटित होती है। लार में उपस्थित लाइसोजाइम जीवाणुओं के संक्रमण को रोकता है।



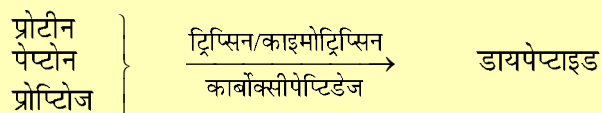
आमाशय की म्यूकोसा में जठर ग्रंथियाँ स्थित होती हैं। जठर ग्रंथियों में मुख्य रूप से तीन प्रकार की कोशिकाएँ होती हैं, यथा- (i) म्यूकस का स्राव करने वाली श्लेष्मा ग्रीवा कोशिकाएँ (ii) पेप्टिक या मुख्य कोशिकाएँ जो प्रोएंजाइम पेप्सिनोजेन का स्राव करती हैं तथा (iii) भितीय या ऑक्सिन्टिक कोशिकाएँ जो हाइड्रोक्लोरिक अम्ल और नैज कारक स्रावित करती हैं (नैज कारक विटामिन B₁₂ के अवशोषण के लिए आवश्यक है)। अमाशय 4-5 घंटे तक भोजन का संग्रहण करता है। आमाशय की पेशीय दीवार के संकुचन द्वारा भोजन अम्लीय जठर रस से पूरी तरह मिल जाता है जिसे **काइम** (chyme) कहते हैं। प्रोएंजाइम पेप्सिनोजेन हाइड्रोक्लोरिक अम्ल के संपर्क में आने से सक्रिय एंजाइम पेप्सिन में परिवर्तित हो जाता है; जो आमाशय का प्रोटीन-अपघटनीय एंजाइम है। पेप्सिन प्रोटीनों को प्रोटियोज तथा पेप्टोंस (पेप्टाइडों) में बदल देता है। जठर रस में उपस्थित श्लेष्म एवं बाइकार्बोनेट श्लेष्म उपकला स्तर का स्नेहन और अत्यधिक सांद्रित हाइड्रोक्लोरिक अम्ल से उसका बचाव करते हैं। हाइड्रोक्लोरिक अम्ल पेप्सिनो के लिए उचित अम्लीय माध्यम (pH 1.8) तैयार करता है। नवजातों के जठर रस में रेनिन नामक प्रोटीन अपघटनीय एंजाइम होता है जो दूध के प्रोटीन को पचाने में सहायक होता है। जठर ग्रंथियाँ थोड़ी मात्रा में लाइपेज भी स्रावित करती हैं।

छोटी आंत का पेशीय स्तर कई तरह की गतियाँ उत्पन्न करता है। इन गतियों से भोजन विभिन्न स्रावों से अच्छी तरह मिल जाता है और पाचन की क्रिया सरल हो जाती है। यकृत अग्नाशयी नलिका द्वारा पित्त, अग्नाशयी रस और आंत्र-रस छोटी आंत में छोड़े जाते हैं। अग्नाशयी रस में ट्रिप्सिनोजेन, काइमोट्रिप्सिनोजेन, प्रोकार्बोक्सीपेप्टिडेस, एमाइलेज और न्यूक्लिएज एंजाइम निष्क्रिय रूप में होते हैं। आंत्र म्यूकोसा द्वारा स्रावित ऐंटरोकाइनेज द्वारा ट्रिप्सिनोजेन सक्रिय ट्रिप्सिन में बदला जाता है जो अग्नाशयी रस के अन्य एंजाइमों को सक्रिय करता है। ग्रहणी में प्रवेश करने वाले पित्त में पित्त वर्णक (विलिरूबिन एवं विलिवर्डिन), पित्त लवण, कोलेस्टेरॉल और फास्फोलिपिड होते हैं, लेकिन कोई एंजाइम नहीं होता। पित्त वसा के इमल्सीकरण में मदद करता है और उसे बहुत छोटे मिसेल कणों में तोड़ता है। पित्त लाइपेज एंजाइम को भी सक्रिय करता है।

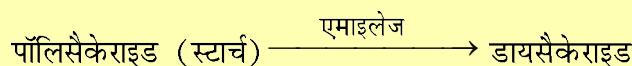
आंत्र श्लेष्मा उपकला में **गोब्लेट कोशिकाएँ** होती हैं जो श्लेष्मा का स्राव करती हैं। म्यूकोसा के ब्रस बॉर्डर कोशिकाओं और गोब्लेट कोशिकाओं के स्राव आपस में मिलकर आंत्र स्राव अथवा **सक्कस एंटेरिकस** बनाते हैं। इस रस में कई तरह के एंजाइम होते हैं, जैसे-ग्लाइकोसिडेज डायपेप्टिडेज, एस्टरेज, न्यूक्लियोसिडेज आदि। म्यूकस अग्नाशय के बाइकार्बोनेट के साथ मिलकर आंत्र म्यूकोसा की अम्ल के दुष्प्रभाव से रक्षा करता है तथा

एंजाइमों की सक्रियता के लिए आवश्यक क्षारीय माध्यम (pH 7.8) तैयार करता है। इस प्रक्रिया में सब-म्यूकोसल ब्रूनर ग्रंथि भी मदद करती है।

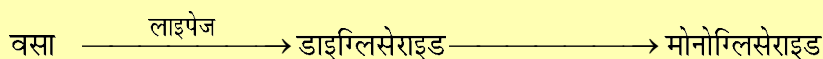
आंत में पहुँचने वाले काइम में उपस्थित प्रोटीन, प्रोटियोज और पेप्टोन (आंशिक अपघटित प्रोटीन) अग्नाशय रस के प्रोटीन अपघटनीय एंजाइम निम्न रूप से क्रिया करते हैं:



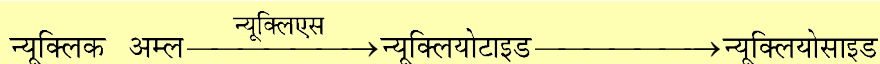
काइम के कार्बोहाइड्रेट अग्नाशयी एमाइलेज द्वारा डायसैकेराइड में जलापघटित होते हैं।



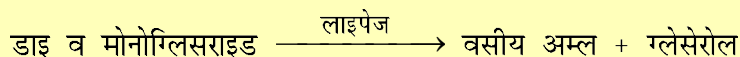
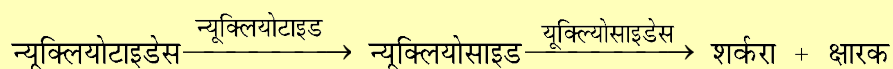
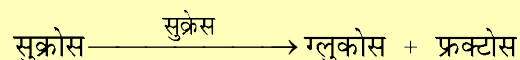
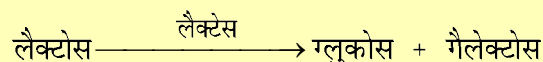
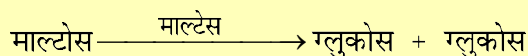
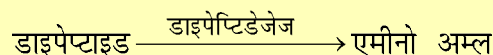
वसा पित्त की मदद से लाइपेजेज द्वारा क्रमशः डाई और मोनोग्लिसराइड में टूटते हैं।



अग्नाशयी रस के न्यूक्लियस न्यूक्लिक अम्लों को न्यूक्लियोटाइड और न्यूक्लियोसाइड में पाचित करते हैं।



आंत्र रस के एंजाइम उपर्युक्त अभिक्रियाओं के अंतिम उत्पादों को पाचित कर अवशोषण योग्य सरल रूप में बदल देते हैं। पाचन के ये अंतिम चरण आंत के म्यूकोसल उपकला कोशिकाओं के बहुत समीप संपन्न होते हैं।



ऊपर वर्णित जैव वृहत् अणुओं के पाचन की क्रिया आंत्र के ग्रहणी भाग में संपन्न होती हैं। इस तरह निर्मित सरल पदार्थ छोटी आंत के अग्रक्षुद्रांत्र और क्षुद्रांत्र भागों में अवशोषित होते हैं। अपचित तथा अनावशोषित पदार्थ बड़ी आंत में चले जाते हैं।

बड़ी आंत में कोई महत्वपूर्ण पाचन क्रिया नहीं होती है। बड़ी आंत का कार्य है— (1) कुछ जल, खनिज एवं औषध का अवशोषण (2) श्लेष्म का स्राव जो अपचित उत्सर्जी पदार्थ कणों को चिपकाने और स्नेहन होने के कारण उनका बाह्य निकास आसान बनाता है। अपचित और अवशोषित पदार्थों को मल कहते हैं, जो अस्थायी रूप से मल त्यागने से पहले तक मलाशय में रहता है।

जठरांत्रिक पथ की क्रियाएं विभिन्न अंगों के उचित समन्वय के लिए तंत्रिका और हॉर्मोन के नियंत्रण से होती हैं। भोजन के भोज्य पदार्थों को देखने, उनकी गंध और/अथवा मुखगुहा नली में उपस्थिति लार ग्रंथियों को स्राव के लिए उद्दीपित कर सकती हैं। इसी प्रकार जठर और आंत्रिक स्राव भी तंत्रिका संकेतों से उद्दीपित होते हैं। आहार नाल के विभिन्न भागों की पेशियों की सक्रियता भी स्थानीय एवं केंद्रीय तंत्रिकीय क्रियाओं द्वारा नियमित होती हैं। हार्मोनल नियंत्रण के अंतर्गत, जठर और यांत्रिक म्यूकोसा से निकलने वाले हार्मोन पाचक रसों के स्राव को नियंत्रित करते हैं।⁶

16.3 पाचित उत्पादों का अवशोषण

अवशोषण वह प्रक्रिया है, जिसमें पाचन से प्राप्त उत्पाद यांत्रिक म्यूकोसा से निकलकर रक्त या लसीका में प्रवेश करते हैं। यह निष्क्रिय, सक्रिय अथवा सुसाध्य परिवहन क्रियाविधियों द्वारा संपादित होता है। ग्लूकोज, ऐमीनो अम्ल, क्लोराइड आयन आदि की थोड़ी मात्रा सरल विसरण प्रक्रिया द्वारा रक्त में पहुंच जाती हैं। इन पदार्थों का रक्त में पहुंचना सांद्रण-प्रवणता (concentration gradient) पर निर्भर है। हालांकि, ग्लूकोज और ऐमीनो एसिड जैसे कुछ पदार्थ वाहक प्रोटीन की मदद से अवशोषित होते हैं। इस क्रियाविधि को सुसाध्य परिवहन कहते हैं।

जल का परिवहन परासरणी प्रवणता पर निर्भर करता है। सक्रिय परिवहन सांद्रण-प्रवणता के विरुद्ध होता है जिसके लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है। विभिन्न पोषक तत्वों जैसे ऐमीनो अम्ल, ग्लूकोस (मोनोसैकेराइड) और सोडियम आयन (विद्युत-अपघट्य) का रक्त में अवशोषण इसी क्रियाविधि द्वारा होता है।

वसाम्ल और ग्लिसेरॉल अविलेय होने के कारण रक्त में अवशोषित नहीं हो पाते। सर्वप्रथम वे विलेय सूक्ष्म बूंदों में समाविष्ट होकर आंत्रिक म्यूकोसा में चले जाते हैं जिन्हें मिसेल (micelles) कहते हैं। ये यहाँ प्रोटीन आस्तरित सूक्ष्म वसा गोलिका में पुनः संरचित होकर अंकुरों की लसीका वाहिनियों (लेक्टियल) में चले जाते हैं। ये लसीका वाहिकाएं अंततः अवशोषित पदार्थों को रक्त प्रवाह में छोड़ देती हैं।

पदार्थों का अवशोषण आहारनाल के विभिन्न भागों जैसे—मुख, आमाशय, छोटी आंत और बड़ी आंत में होता है। परंतु सबसे अधिक अवशोषण छोटी आंत में होता है। अवशोषण सारांश (अवशोषण- स्थल और पदार्थ) तालिका 16.1 में दिया गया है।

तालिका 16.1 पाचन तंत्र के विभिन्न भागों में अवशोषण का सारांश

मुख	आमाशय	छोटी आंत	बड़ी आंत
कुछ औषधियाँ जो मुख और जिह्वा की निचली सतह के म्यूकोसा के संपर्क में आती हैं। वे आस्तरित करने वाली रुधिर कोशिकाओं में अवशोषित हो जाती हैं।	जल, सरल शर्करा, एल्कोहॉल, आदि का अवशोषण होता है।	पोषक तत्वों के अवशोषण का प्रमुख अंग। यहां पर पाचन की क्रिया पूरी होती है और पाचन के अंतिम उत्पाद, जैसे-ग्लूकोस, फ्रक्टोस, वसीय अम्ल, ग्लिसेराल, और ऐमीनो अम्ल का म्यूकोसा द्वारा रक्त प्रवाह और लसीका में अवशोषण होता है।	जल, कुछ खनिजों और औषधि का अवशोषण होता है।

अवशोषित पदार्थ अंत में ऊतकों में पहुंचते हैं जहाँ वे विभिन्न क्रियाओं के उपयोग में लाए जाते हैं। इस प्रक्रिया को स्वांगीकरण (assimilation) कहते हैं।

पाचक अवशिष्ट मलाशय में कठोर होकर संबद्ध मल वन जाता है जो तांत्रिक प्रतिवर्ती (neural reflex) क्रिया को शुरू करता है जिससे मलत्याग की इच्छा पैदा होती है। मलद्वार से मल का बहिर्क्षेपण एक ऐच्छिक क्रिया है जो एक बृहत् क्रमाकुंचन गति से पूरी होती है।

16.4 पाचन तंत्र के विकार (Disorder) और अनियमितताएं

आंत्र नलिका का शोथ जीवाणुओं और विषाणुओं के संक्रमण से होने वाला एक सामान्य विकार है। आंत्र का संक्रमण परजीवियों, जैसे- फीता कृमि, गोलकृमि, सूत्रकृमि, हुकवर्म, पिनवर्म, आदि से भी होता है।⁷

पीलिया (Jaundice) : इसमें यकृत प्रभावित होता है। पीलिया में त्वचा और आंख पित्त वर्णकों के जमा होने से पीले रंग के दिखाई देते हैं।

वमन (Vomiting) : यह आमाशय में संगृहीत पदार्थों की मुख से बाहर निकलने की क्रिया है। यह प्रतिवर्ती क्रिया मेडुला में स्थित वमन केंद्र से नियंत्रित होती है। उल्टी से पहले बेचैनी की अनुभूति होती है।

प्रवाहिका (Diarrhoea) : आंत्र (bowel) की अपसामान्य गति की बारंबारता और मल का अत्यधिक पतला हो जाना प्रवाहिका (diarrhoea) कहलाता है। इसमें भोजन अवशोषण की क्रिया घट जाती है।

कोष्ठबद्धता (कब्ज) (Constipation) : कब्ज में, मलाशय में मल रुक जाता है और आंत्र की गतिशीलता अनियमित हो जाती है।

अपच (Indigestion) : इस स्थिति में, भोजन पूरी तरह नहीं पचता है और पेट भरा-भरा महसूस होता है। अपच एंजाइमों के स्राव में कमी, व्यग्रता, खाद्य विषाक्तता, अधिक भोजन करने, एवं मसालेदार भोजन करने के कारण होती है।

सारांश

मानव के पाचन तंत्र में एक आहार नाल और सहयोगी ग्रंथियाँ होती हैं। आहार नाल मुख, मुखगुहा, ग्रसनी, ग्रसिका, आमाशय, क्षुद्रांत्र, वृहदांत्र, मलाशय और मलद्वार से बनी होती है। सहायक पाचन ग्रंथियों में लार ग्रंथि, यकृत (पित्ताशय सहित) और अग्न्याशय हैं। मुख के अंदर दाँत भोजन को चबाते हैं, जीभ स्वाद को पहचानती है और भोजन को लार के साथ मिलाकर इसे अच्छी तरह से चबाने के लिए सुगम बनाती है। लार में मंड या मांड (स्टार्च) पचाने वाली पाचक एंजाइम, लार एमिलेज होती है जो मांड को पचाकर माल्टोस (डाइसैकेराइड) में बदल देती हैं। इसके बाद भोजन ग्रसनी से होकर बोलस के रूप में ग्रसिका में प्रवेश करता है, जो आगे क्रमाकुंचन द्वारा आमाशय तक ले जाया जाता है। आमाशय में मुख्यतः प्रोटीन का पाचन होता है। सरल शर्कराओं, अल्कोहल और दवाओं का भी आमाशय में अवशोषण होता है।

काइम क्षुद्रांत्र के ग्रहणी भाग में प्रवेश करता है जहाँ अग्न्याशयी रस, पित्त और अंत में आंत्र रस के एंजाइमों द्वारा कार्बोहाइड्रेट, प्रोटीन और वसा का पाचन पूरा होता है। इसके बाद भोजन छोटी आँत के अग्र क्षुद्रांत्र (जेजुनम) और क्षुद्रांत्र (इलियम) भाग में जाता है।

पाचन के पश्चात कार्बोहाइड्रेट, ग्लूकोस जैसे- मोनोसैकेराइड में परिवर्तित हो जाते हैं। अंततः प्रोटीन टूटकर ऐमीनो अम्लों में तथा वसा, वसीय अम्लों और ग्लिसरेल में परिवर्तित हो जाते हैं। आँत-उत्पादों का पाचित आँत अंकुरों के उपकला स्तर द्वारा शरीर में अवशोषित हो जाता है। अपचित भोजन (मल) त्रिकांत्र (ileocecacal) कपाट द्वारा वृहदांत्र की अंधनाल (caecum) में प्रवेश करता है। इलियो सीकल कपाट मल को वापस नहीं जाने देता। अधिकांश जल बड़ी आँत में अवशोषित हो जाता है। अपचित भोजन अर्ध ठोस होकर मलाशय और गुदा नाल में पहुँचता है और अंततः गुदा द्वारा बहिःक्षेपित हो जाता है।

अभ्यास

1. निम्नलिखित में से सही उत्तर छाँटें :

(क) आमाशय रस में होता है-

- (अ) पेप्सिन, लाइपेस और रेनिन
- (ब) ट्रिप्सिन, लाइपेस और रेनिन
- (स) ट्रिप्सिन, पेप्सिन और लाइपेस
- (द) ट्रिप्सिन, पेप्सिन और रेनिन

(ख) सक्कस एंटेरिकस नाम दिया गया है-

- (अ) क्षुद्रांत्र (illum) और बड़ी आँत के संधिस्थल के लिए
- (ब) आंत्रिक रस के लिए
- (स) आहार नाल में सूजन के लिए
- (द) परिशेषिका (appendix) के लिए

2. स्तंभ I का स्तंभ II से मिलान कीजिए।

स्तंभ I

बिलिरुबिन और बिलिवर्डिन
मंड (स्टार्च) का जल-अपघटन
वसा का पाचन
लार ग्रंथि

स्तंभ II

पैरोटिड
पित्त
लाइपेस
एमाइलेस

3. संक्षेप में उत्तर दें :

- (क) अंकुर (villi) छोटी आंत में होते हैं, आमाशय में क्यों नहीं ?
- (ख) पेप्सिनोजेन अपने सक्रिय रूप में कैसे परिवर्तित होता है ?
- (ग) आहार नाल की दीवार के मूल स्तर क्या हैं ?
- (घ) वसा के पाचन में पित्त कैसे मदद करता है?

4. प्रोटीन के पाचन में अग्नाशयी रस की भूमिका स्पष्ट करें।

5. आमाशय में प्रोटीन के पाचन की क्रिया का वर्णन करें।

6. मनुष्य का दंत-सूत्र बताइए।

7. पित्त रस में कोई पाचक एंजाइम नहीं होते, फिर भी यह पाचन के लिए महत्वपूर्ण हैं; क्यों?

8. पाचन में काइमोट्रिप्सिन की भूमिका वर्णित करें। जिस ग्रंथि से यह स्रवित होता है, इसी श्रेणी के दो अन्य एंजाइम कौन से हैं?

9. पॉलि सैकेराइड और डाइसैकेराइड का पाचन कैसे होता है?

10. यदि आमाशय में हाइड्रोक्लोरिक अम्ल का स्राव नहीं होगा तो तब क्या होगा?

11. आपके द्वारा खाए गए मक्खन का पाचन और उसका शरीर में अवशोषण कैसे होता है? विस्तार से वर्णन करें।

12. आहार नाल के विभिन्न भागों में प्रोटीन के पाचन के मुख्य चरणों का विस्तार से वर्णन करें।

13. 'गर्तदंती' (thecodont) और 'द्विबारदंती' (diphyodont) शब्दों की व्याख्या करें।

14. विभिन्न प्रकार के दाँतों का नाम और एक वयस्क मनुष्य में दाँतों की संख्या बताएं।

15. यकृत के क्या कार्य हैं ?

अध्याय 17

श्वसन और गैसों का विनिमय

- 17.1 श्वसन के अंग
- 17.2 श्वसन की क्रियाविधि
- 17.3 गैसों का विनिमय
- 17.4 गैसों का अभिगमन
- 17.5 श्वसन का नियंत्रण
- 17.6 श्वसन संबंधी विकार

जैसाकि आप पहले पढ़ चुके हैं, सजीव पोषक तत्वों जैसे- ग्लूकोज को तोड़ने के लिए ऑक्सीजन (O_2) का परोक्ष रूप से उपयोग करते हैं, जिससे विभिन्न क्रियाओं को संपादित करने के लिए आवश्यक ऊर्जा प्राप्त होती है उपरोक्त अपचयी क्रियाओं में कार्बनडाइऑक्साइड (CO_2) भी मुक्त होती है जो हानिकारक है। इसलिए यह आवश्यक है कि कोशिकाओं को लगातार O_2 उपलब्ध कराई जाए और CO_2 को बाहर मुक्त किया जाए। वायुमंडलीय O_2 और कोशिकाओं में उत्पन्न CO_2 के आदान-प्रदान (विनिमय)की इस प्रक्रिया को **श्वसन (Breathing)** समान्यतया **श्वसन (Respiration)** कहते हैं। अपने हाथों को अपने सीने पर रखिए, आप सीने को ऊपर नीचे होते हुए अनुभव कर सकते हैं। आप जानते हैं कि यह श्वसन के कारण है। हम श्वास कैसे लेते हैं? इस अध्याय के निम्नलिखित खंडों में श्वसन अंगों और श्वसन की क्रियाविधि का वर्णन किया गया है।

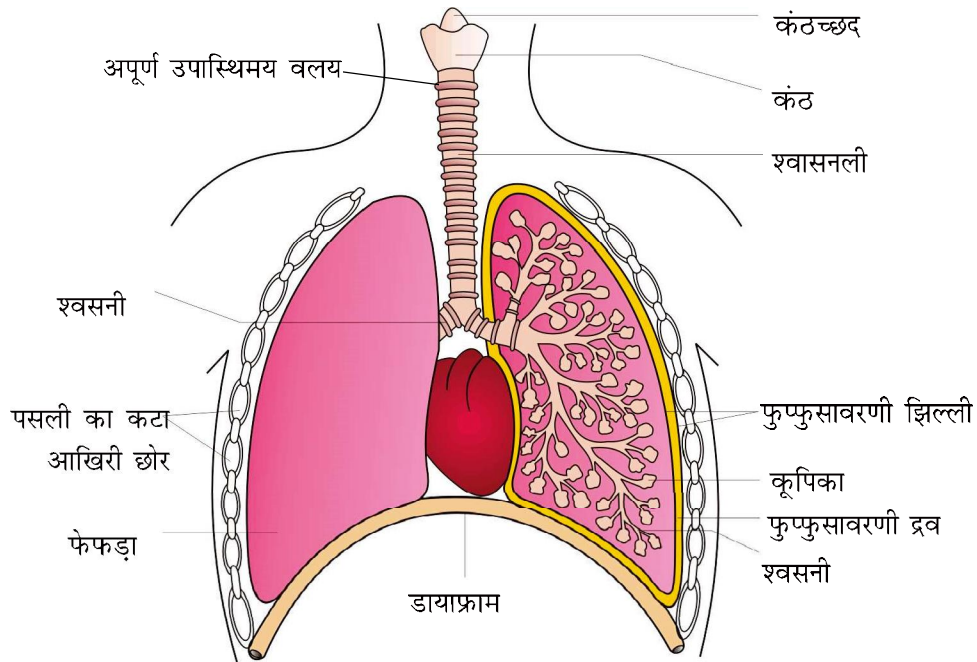
17.1 श्वसन के अंग

प्राणियों के विभिन्न वर्गों के बीच श्वसन की क्रियाविधि उनके निवास और संगठन के अनुसार बदलती है। निम्न अकशेरुकी जैसे स्पंज, सीलंटेरेटा चपटेकृमि आदि O_2 और CO_2 का आदान-प्रदान अपने सारे शरीर की सतह से सरल विसरण द्वारा करते हैं। केंचुए अपनी आर्द्र क्यूटिकल को श्वसन के लिए उपयोग करते हैं। कीटों के शरीर में नलिकाओं का एक जाल (श्वसन नलिकाएं) होता है; जिनसे वातावरण की वायु का उनके शरीर

में विभिन्न स्थान पर पहुँचती है; ताकि कोशिकाएं सीधे गैसों का आदान-प्रदान कर सकें। जलीय आर्थ्रोपोडा तथा मौलस्का में श्वसन विशेष संवहनीय संरचना **क्लोम** (गिल) द्वारा होता है, जबकि स्थलचर प्राणियों में श्वसन विशेष संवहनीय थैली फुफ्फुस/फेफड़े द्वारा होता है। कशेरुकों में मछलियाँ क्लोम (गिल) द्वारा श्वसन करती हैं जबकि सरीसृप, पक्षी और स्तनधारी फेफड़ों द्वारा श्वसन करते हैं। उभयचर जैसे मेंढक अपनी आर्द्र त्वचा (नम त्वचा) द्वारा भी श्वसन कर सकते हैं। स्तनधारियों में एक पूर्ण विकसित श्वसन प्रणाली होती है।

17.1.1 मानव श्वसन तंत्र

हमारे एक जोड़ी बाह्य नासाद्वार होते हैं, जो होठों के ऊपर बाहर की तरफ खुलते हैं। ये नासा मार्ग द्वारा नासा कक्ष तक पहुँचते हैं। नासा कक्ष **ग्रसनी** में खुलते हैं। ग्रसनी आहार और वायु दोनों के लिए उभयनिष्ठ मार्ग है। ग्रसनी कंठ द्वारा **श्वासनली** में खुलती है। कंठ एक उपास्थिमय पेटिका है जो ध्वनि उत्पादन में सहायता करती है इसीलिए इसे **ध्वनि पेटिका** भी कहा जाता है। भोजन निगलते समय घाँटी एक पतली लोचदार उपास्थिल पल्ले/प्लैप **कंठच्छद** (epiglottis) से ढक जाती है, जिससे आहार ग्रसनी से कंठ में प्रवेश न कर सके। श्वासनली एक सीधी नलिका है जो वक्ष गुहा के मध्य तक 5वीं वक्षीय कशेरुकी तक जाकर दाईं और बाईं दो प्राथमिक **श्वसनियों** में विभाजित हो जाती है। प्रत्येक श्वसनी कई बार विभाजित होते हुए द्वितीयक एवं तृतीयक स्तर की श्वसनी, श्वसनिका और बहुत पतली अंतस्थ श्वसनिकाओं में समाप्त होती हैं। श्वासनली, प्राथमिक, द्वितीयक एवं तृतीयक श्वसनी तथा प्रारंभिक श्वसनिकाएं अपूर्ण उपास्थिल वलयों से आलंबित होती हैं। प्रत्येक अंतस्थ श्वसनिका बहुत सारी पतली अनियमित भित्ति युक्त वाहिकायित थैली जैसी संरचना कूपिकाओं में खुलती है, जिसे **वायु कूपिका** कहते हैं। श्वसनी, श्वसनिकाओं और कूपिकाओं का शाखित जाल फेफड़ों (lungs) की रचना करते हैं (चित्र 17.1)। हमारे दो फेफड़े हैं जो एक द्विस्तरीय फुफ्फुसावरण (pleura) से ढके रहते हैं और जिनके बीच फुफ्फुसावरणी द्रव भरा होता है। यह फेफड़े की सतह पर घर्षण कम करता है। बाहरी फुफ्फुसावरणी झिल्ली वक्षीय पर्त के निकट संपर्क में रहती है; जबकि आंतरिक फुफ्फुसावरणी झिल्ली फेफड़े की सतह के संपर्क में होती है। बाह्य नासारंध्र से अंतस्थ श्वसनिकाओं तक का भाग चालन भाग; जबकि कूपिकाएं एवं उनकी नलिकाएं श्वसन तंत्र का श्वसन या विनिमय भाग गठित करती हैं। चालन भाग वायुमंडलीय वायु को कूपिकाओं तक संचारित करता है, इसे बाहरी कणों से मुक्त करता है, आर्द्र करता है तथा वायु को शरीर के तापक्रम तक लाता है। विनिमय भाग (आदान-प्रदान इकाई) रक्त एवं वायुमंडलीय वायु के बीच O_2 और CO_2 का वास्तविक विसरण स्थल है। फेफड़े वक्ष-गुहा में स्थित होते हैं जो शारीरतः एक वायुरोधी कक्ष है। वक्ष-गुहा कक्ष पृष्ठ भाग में कशेरुक दंड, अधर भाग में उरोस्थि, पार्श्व में पसलियों और नीचे से गुंबदाकर डायफ्राम (diaphragm) द्वारा बनता है। वक्ष में फेफड़ों की शारीरिक व्यवस्था ऐसी होती है कि वक्ष गुहा के आयतन में कोई भी परिवर्तन फेफड़े (फुफ्फुसी) की गुहा में प्रतिबिंबित हो जाएगा। श्वसन के लिए ऐसी व्यवस्था आवश्यक है, क्योंकि हम लोग सीधे फेफड़ों का आयतन नहीं बदल सकते।



चित्र 17.1 मानव श्वसन तंत्र का आरेखीय दृश्य (साथ ही बाएं फेफड़े का अनुप्रस्थ काट दिखाया गया है)

श्वसन में निम्नलिखित चरण सम्मिलित हैं:

- (i) श्वसन या फुफ्फुसी संवातन जिससे वायुमंडलीय वायु अंदर खींची जाती है और CO_2 से भरपूर कूपिका की वायु को बाहर मुक्त किया जाता है।
- (ii) कूपिका झिल्ली के आर-पार गैसों (O_2 और CO_2) का विसरण।
- (iii) रुधिर द्वारा गैसों का परिवहन (अभिगमन)
- (iv) रुधिर और ऊतकों के बीच O_2 और CO_2 का विसरण।
- (v) अपचयी क्रियाओं के लिए कोशिकाओं द्वारा O_2 का उपयोग और उसके फलस्वरूप CO_2 का उत्पन्न होना (कोशिकीय श्वसन, जैसे कि अध्याय 14-श्वसन में बताया गया है)।

17.2 श्वासन की क्रियाविधि

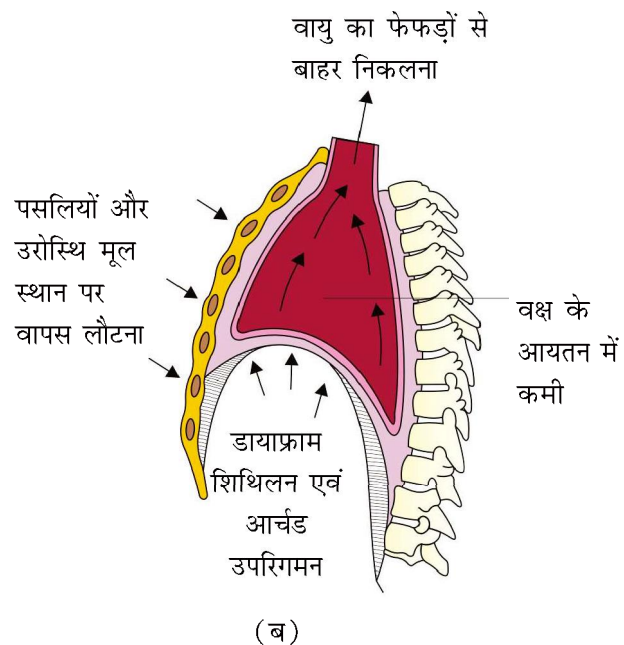
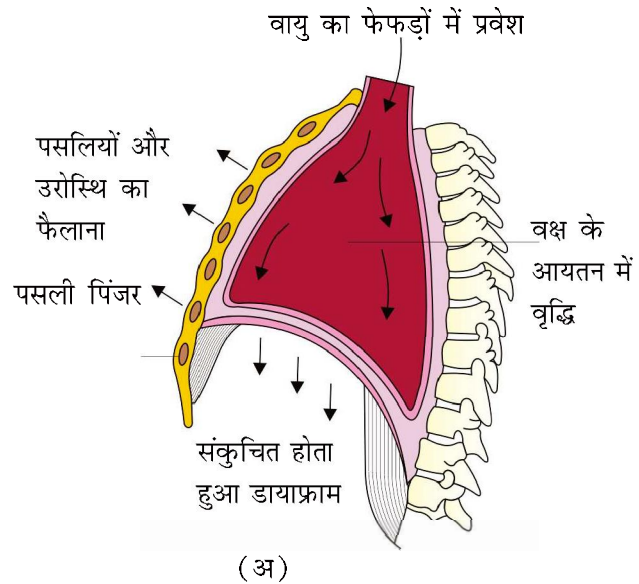
श्वासन में दो चरण सम्मिलित हैं: **अंतःश्वासन** (श्वासन) जिसके दौरान वायुमंडलीय वायु को अंदर खींचा जाता है और **निःश्वासन** जिसके द्वारा फुफ्फुसी वायु को बाहर मुक्त किया जाता है। वायु को फेफड़ों के अंदर ले जाने के लिए फेफड़ों एवं वायुमंडल के बीच दाब प्रवणता निर्मित की जाती है।

अंतःश्वासन तभी हो सकता है जब वायुमंडलीय दाब से फेफड़ों की वायु का दाब (आंतर फुफ्फुसी दाब) कम हो अर्थात् फेफड़ों का दाब वायुमंडलीय दाब के सापेक्ष कम होता है। इस तरह निःश्वासन तब होता है, जब आंतर फुफ्फुसी दाब वायुमंडलीय दाब से

अधिक होता है। डायाफ्राम और एक विशिष्ट पेशी समूह (पसलियों के बीच स्थित बाह्य एवं अंतः अंतरापार्श्विक/इंटरकोस्टल) इस तरह की प्रवणताएं उत्पन्न करते हैं। अंतःश्वसन डायाफ्राम के संकुचन से प्रारंभ होता है जो अग्र पश्च अक्ष (antero posterior axis) में वक्ष गुहा का आयतन बढ़ा देता है। बाह्य अंतरापार्श्विक पेशियों का संकुचन पसलियों और उरोस्थि को ऊपर उठा देता है, जिससे पृष्ठधार अक्ष (dorso ventral axis) में वक्ष-गुहा कक्ष का आयतन बढ़ जाता है। वक्ष गुहा के आयतन में किसी प्रकार से भी हुई वृद्धि के कारण फुफ्फुस के आयतन में भी समान वृद्धि होती है। यह समान तरह की वृद्धि फुफ्फुसी दाब को वायुमंडलीय दाब से कम कर देती है, जिससे बाहर की वायु बलपूर्वक फेफड़ों के अंदर आ जाती है अर्थात् अंतःश्वसन की क्रिया होती है (चित्र-17.2अ)। डायाफ्राम और अंतरापार्श्विक पेशियों का शिथिलन (relaxation) डायाफ्राम और उरोस्थि को उनके सामान्य स्थान पर वापस कर देता है और वृक्षीय आयतन को घटाता है जिससे फुफ्फुसी आयतन भी घट जाता है। इसके परिणामस्वरूप अंतर फुफ्फुसी दाब वायुमंडलीय दाब से थोड़ा अधिक हो जाता है, जिससे फेफड़ों की हवा बाहर निकल जाती है अर्थात् निःश्वसन हो जाता है (चित्र 17.2 ब)। हम अपनी अतिरिक्त उदरीय पेशियों की सहायता से अंतःश्वसन और निःश्वसन की क्षमता को बढ़ा सकते हैं। औसतन एक स्वस्थ मनुष्य प्रति मिनट 12-16 बार श्वसन करता है। श्वसन गतिविधियों में सम्मिलित वायु के आयतन का आकलन स्पाइरोमीटर की सहायता से किया जा सकता है जो फुफ्फुसी कार्यकलापों का नैदानिक मूल्यांकन करने में सहायक होता है।

17.2.1 श्वसन संबंधी आयतन और क्षमताएं

ज्वारीय आयतन (Tidal Volume/ TV): सामान्य श्वसन क्रिया के समय प्रति श्वास अंतः श्वासित या निःश्वासित वायु का आयतन यह लगभग 500 मिली. होता है अर्थात् स्वस्थ मनुष्य लगभग 6000 से 8000 मिली. वायु प्रति मिनट की दर से अंतः श्वासित/निःश्वासित कर सकता है।



चित्र 17.2 (अ) अंतः श्वसन (ब) निःश्वसन दर्शाते हुए श्वसन की क्रियाविधि

अंतःश्वसन सुरक्षित आयतन (Inspiratory Reserve Volume IRV): वायु आयतन की वह अतिरिक्त मात्रा जो एक व्यक्ति बलपूर्वक अंतः श्वासित कर सकता है। यह औसतन 2500 मिली. से 3000 मिली. होता है।

निःश्वसन सुरक्षित आयतन (Expiratory reserve volume, ERV): वायु आयतन की वह अतिरिक्त मात्रा जो एक व्यक्ति बलपूर्वक निःश्वासित कर सकता है। औसतन यह 1000 मिली. से 1100 मिली. होती है।

अवशिष्ट आयतन (Residual Volume RV): वायु का वह आयतन जो बलपूर्वक निःश्वसन के बाद भी फेफड़ों में शेष रह जाता है। इसका औसत 1100 मिली. से 1200 मिली. होता है।

ऊपर वर्णित कुछ श्वसन संबंधी आयतनों को जोड़कर फुफ्फुसी क्षमताएं (फुफ्फुसी धारिताएं) निकाली जा सकती हैं जिनका नैदानिक उद्देश्यों में उपयोग किया जा सकता है।

अंतःश्वसन क्षमता (Inspiratory Capacity, IC): सामान्य निःश्वसन उपरांत वायु की कुल मात्रा (आयतन) जो एक व्यक्ति अंतःश्वासित कर सकता है। इसमें ज्वारीय आयतन तथा अंतःश्वसन सुरक्षित आयतन सम्मिलित है (TV+IRV)।

निःश्वसन क्षमता (Expiratory Capacity, EC): सामान्य अंतःश्वसन उपरांत वायु की कुल मात्रा (आयतन) जिसे एक व्यक्ति निःश्वासित कर सकता है। इसमें ज्वारीय आयतन और निःश्वसन सुरक्षित आयतन सम्मिलित होते हैं (TV+ERV)।

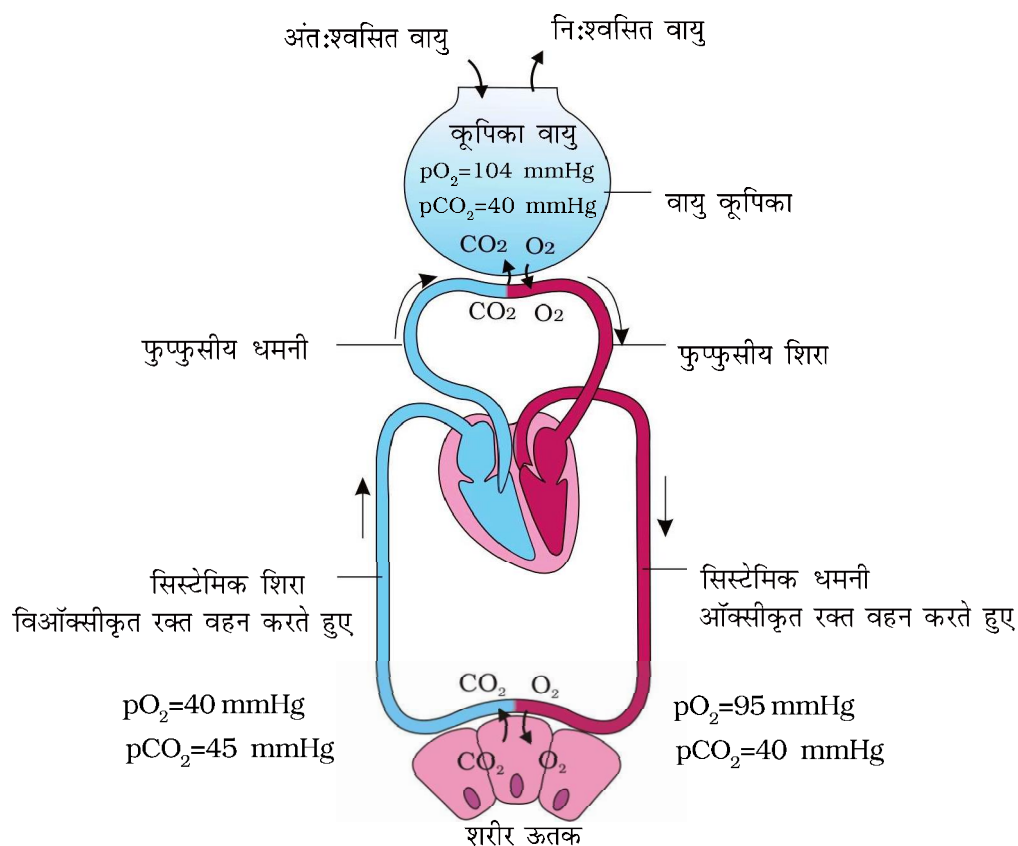
क्रियाशील अवशिष्ट क्षमता (Functional Residual Capacity, FRC): सामान्य निःश्वसन उपरांत वायु की वह मात्रा (आयतन) जो फेफड़ों में शेष रह जाती है। इसमें निःश्वसन सुरक्षित आयतन और अवशिष्ट आयतन सम्मिलित होते हैं (ERV+RV)।

जैव क्षमता (Vital Capacity, VC): बलपूर्वक निःश्वसन के बाद वायु की वह अधिकतम मात्रा (आयतन) जो एक व्यक्ति अंतःश्वासित कर सकता है। इसमें ERV, TV और IRV सम्मिलित है अथवा वायु की वह अधिकतम मात्रा जो एक व्यक्ति बलपूर्वक अंतःश्वसन के बाद निःश्वासित कर सकता है।

फेफड़ों की कुल क्षमता (Total Lung Capacity): बलपूर्वक निःश्वसन के पश्चात फेफड़ों में समायोजित (उपस्थित) वायु की कुल मात्रा । इसमें RV, ERV, TV और IRV सम्मिलित है। यानि जैव क्षमता + अवशिष्ट क्षमता (VC+RV)।

17.3 गैसों का विनिमय

कुपिकाएं गैसों के विनिमय के लिए प्राथमिक स्थल होती हैं। गैसों का विनिमय रक्त और ऊतकों के बीच भी होता है। इन स्थलों पर O_2 और CO_2 का विनिमय दाब अथवा सांद्रता प्रवणता के आधार पर सरल विसरण द्वारा होता है। गैसों की घुलनशीलता के साथ-साथ विसरण में सम्मिलित झिल्लियों की मोटाई भी विसरण की दर को प्रभावित करने वाले कुछ महत्वपूर्ण घटक हैं।

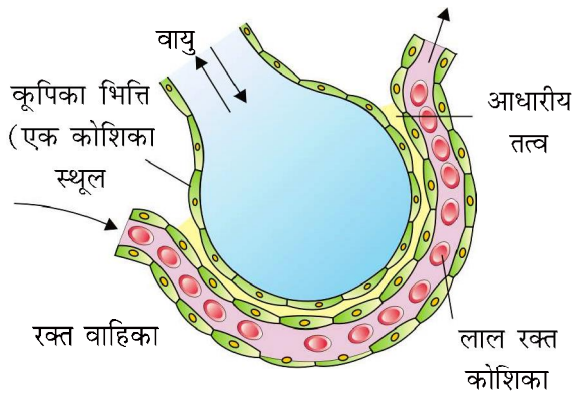


चित्र 17.3 वायु कूपिका एवं शरीर ऊतकों के बीच गैसों का विनिमय जो ऑक्सीजन तथा कार्बन-डाइऑक्साइड का रक्त के साथ वहन का आरेखीय चित्र

गैसों के मिश्रण में किसी विशेष गैस की दाब में भागीदारी को आंशिक दाब कहते हैं और उसे ऑक्सीजन तथा कार्बनडाइऑक्साइड के लिए क्रमशः pO_2 तथा pCO_2 द्वारा दर्शाते हैं। वायुमंडलीय वायु और दोनों विसरण स्थलों में इन दो गैसों के आंशिक दाब तालिका 17.1 और चित्र 17.3 में दर्शाए गए हैं। सारणी में दिए गए आँकड़ें स्पष्ट रूप से कूपिकाओं से रक्त और रक्त से ऊतकों में ऑक्सीजन के लिए सांद्रता प्रवणता का संकेत देते हैं। इसी प्रकार CO_2 के लिए विपरीत दिशा में प्रवणता दर्शाई गई है, अर्थात् ऊतकों से रक्त और रक्त से कूपिकाओं की तरफ। चूँकि CO_2 की घुनलशीलता O_2 की

तालिका 17.1 वातावरण की तुलना में विसरण में सम्मिलित विभिन्न भागों पर ऑक्सीजन एवं कार्बनडाइऑक्साइड का आंशिक दबाव (mm Hg में)

श्वसन	वातावरणीय वायु	वायु कूपिका	अनॉक्सीकृत रक्त	ऑक्सीकृत रक्त	ऊतक
O_2	159	104	40	95	40
CO_2	0.3	40	45	40	45



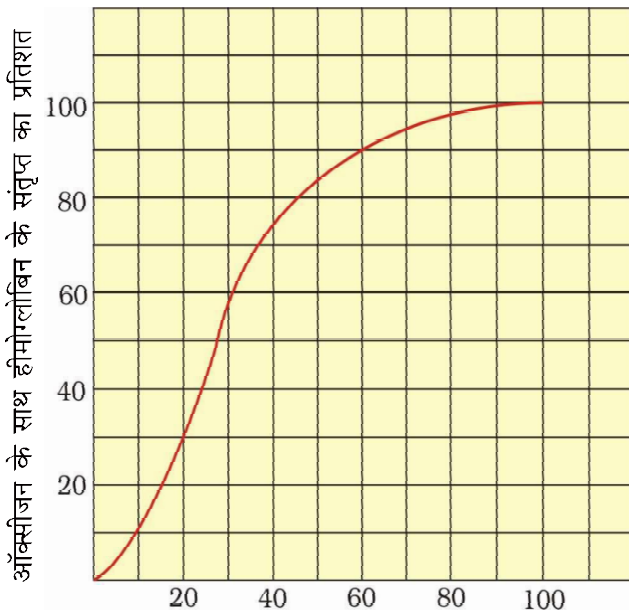
चित्र 17.4 एक फुफ्फुसीय वाहिका की एक वायुकूपिका का अनुप्रस्थ काट

घुलनशीलता से 20-25 गुना अधिक होती है, अंतःविसरण झिल्लिका में से प्रति इकाई आंशिक दाब के अंतर की विसरित होने वाली CO_2 मात्रा O_2 की तुलना में बहुत अधिक होती है। विसरण झिल्लिका मुख्य रूप से तीन स्तरों की बनी होती है, (चित्र 17.4), यथा कूपिका की पतली शल्की उपकला (शल्की एपिथिलियम), कूपिकाओं की कोशिकाओं की अंतःकला और उनके बीच स्थित आधारी तत्व। फिर भी, इनकी कुल मोटाई एक मिलीमीटर से बहुत कम होती है। इसलिए हमारे शरीर में सभी कारक O_2 के कूपिकाओं से ऊतकों और CO_2 के ऊतकों से कूपिकाओं में विसरण के लिए अनुकूल होते हैं।

17.4 गैसों का परिवहन (Transport of Gases)

O_2 और CO_2 के परिवहन का माध्यम रक्त होता है। लगभग 97 प्रतिशत O_2 का परिवहन रक्त में लाल रक्त कणिकाओं द्वारा होता है। शेष 3 प्रतिशत O_2 का प्लाजमा द्वारा घुल्य अवस्था में होता है। लगभग 20-25 प्रतिशत CO_2 का परिवहन लाल रक्त कणिकाओं द्वारा है, जबकि 70 प्रतिशत का बाईकार्बोनेट के रूप में अभिगमित होती है। लगभग 7 प्रतिशत CO_2 प्लाजमा द्वारा घुल्य अवस्था होता है।

17.4.1 ऑक्सीजन का परिवहन (Transport of Oxygen)



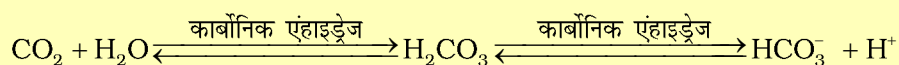
चित्र 17.5 ऑक्सीजन वियोजन वक्र

हीमोग्लोबिन लाल रक्त कणिकाओं में स्थित एक लाल रंग का लौहयुक्त वर्णक है। हीमोग्लोबिन के साथ उत्क्रमणीय (Reversible) ढंग से बंधकर ऑक्सीजन ऑक्सी-हीमोग्लोबिन का गठन कर सकता है। प्रत्येक हीमोग्लोबिन अणु अधिकतम चार O_2 अणुओं के वहन कर सकते हैं। हीमोग्लोबिन के साथ ऑक्सीजन का बंधना प्राथमिक तौर पर O_2 के आंशिक दाब से संबंधित है। CO_2 का आंशिक दाब हाइड्रोजन आयन सांद्रता और तापक्रम कुछ अन्य कारक हैं जो इस बंधन को बाधित कर सकते हैं। हीमोग्लोबिन की ऑक्सीजन से प्रतिशत संतृप्ति को $p\text{O}_2$ के सापेक्ष आलेखित करने पर सिग्माभ वक्र (Sigmoid Curve) प्राप्त होता है। इस वक्र को वियोजन वक्र (Dissociation Curve) कहते हैं जो हीमोग्लोबिन से O_2 बंधन को प्रभावित करने वाले $p\text{CO}_2$, H^+ आयन सांद्रता, आदि घटकों के अध्ययन में अत्यधिक सहायक होता है (चित्र 17.5)। कूपिकाओं में जहाँ उच्च $p\text{O}_2$, निम्न $p\text{CO}_2$, कम H^+ सांद्रता और

निम्न तापक्रम होता है, वहाँ ऑक्सीहीमोग्लोबिन बनाने के लिए ये सभी घटक अनुकूल साबित होते हैं जबकि ऊतकों में निम्न pO_2 , उच्च pCO_2 , उच्च H^+ सांद्रता और उच्च तापक्रम की स्थितियाँ ऑक्सीहीमोग्लोबिन से ऑक्सीजन के वियोजन के लिए अनुकूल होती हैं। इससे स्पष्ट है कि O_2 हीमोग्लोबिन से फेफड़ों की सतह पर बँधता है और ऊतकों में वियोजित हो जाती है। प्रत्येक 100 मिली. ऑक्सीजनित रक्त सामान्य शरीर क्रियात्मक स्थितियों में ऊतकों को लगभग 5 मिली. O_2 प्रदान करता है।

17.4.2 कार्बनडाइऑक्साइड का परिवहन

कार्बनडाइऑक्साइड (CO_2) हीमोग्लोबिन द्वारा **कार्बामीनो-हीमोग्लोबिन** (लगभग 20-25 प्रतिशत) के रूप में वहन की जाती है। यह बंधनीयता (बंधन) CO_2 के आंशिक दाब से संबंधित होती है। pO_2 इस बंधन को प्रभावित करने वाला एक मुख्य कारक है ऊतकों में उच्च pCO_2 और निम्न pO_2 की अवस्था होने से हीमोग्लोबिन से CO_2 का बंधन होता है; जबकि कूपिका में, जहाँ pCO_2 निम्न और pO_2 उच्च होता है, कार्बामीनो-हीमोग्लोबिन से CO_2 का वियोजन होने लगता है अर्थात् ऊतकों में हीमोग्लोबिन से बंधित CO_2 कूपिका में मुक्त हो जाती है। एंजाइम कार्बोनिक एंहाइड्रेज की सांद्रता लाल रक्त कणिकाओं में उच्च और प्लाज्मा में अल्प होती है। इस एंजाइम से निम्नलिखित प्रतिक्रिया दोनों दिशाओं में सुगम होती है।



ऊतकों में अपचय के कारण pCO_2 अधिक होने से CO_2 रक्त (RBCs और प्लाज्मा) में विसरित होती है और HCO_3^- और H^+ बनाती है। कूपिका में pCO_2 कम होने से प्रतिक्रिया की दिशा विपरीत हो जाती है जिससे CO_2 और H_2O बनते हैं। इस तरह बाईकार्बोनेट के रूप में ऊतक स्तर पर ग्रहित (Trapped) और कूपिका तक परिवहित कार्बनडाइऑक्साइड बाहर की तरफ पुनः CO_2 के रूप में मुक्त हो जाती है (चित्र 17.4)। प्रति 100 मिलीलीटर विऑक्सीजनित रक्त द्वारा कूपिका में लगभग CO_2 की 4 मिली. मात्रा मुक्त होती है।

17.5 श्वसन का नियमन (Regulation of Respiration)

मानव में अपने शरीर के ऊतकों की माँग के अनुरूप श्वसन की लय को संतुलित और स्थिर बनाए रखने की एक महत्वपूर्ण क्षमता है। यह नियमन तंत्रिका तंत्र द्वारा संपन्न होता है। मस्तिष्क के मेड्युला क्षेत्र में एक विशिष्ट श्वसन लयकेंद्र विद्यमान होता है, जो मुख्य रूप से श्वसन के नियमन के लिए उत्तरदायी होता है। मस्तिष्क के पोंस क्षेत्र में एक अन्य केंद्र स्थित होता है जिसे **श्वासप्रभावी** (श्वास अनुचन) (Pneumotaxic) केंद्र कहते हैं जो श्वसन लयकेंद्र के कार्यों को संयत (सुधार) कर सकता है। इस केंद्र के तंत्रिका संकेत अंतःश्वसन की अवधि को कम कर सकते हैं और इस प्रकार श्वसन दर (Respiratory rate) को परिवर्तित कर सकते हैं। लयकेंद्र के पास एक रसोसंवेदी (Chemosensitive) केंद्र लयकेंद्र के लिए अति संवेदी होता है, जो CO_2 और