

इकार्ड चार

पादप कार्यकीय (शरीर क्रियात्मकता)

अध्याय 11

पौधों में परिवहन

अध्याय 12

खनिज पोषण

अध्याय 13

उच्च पादपों में प्रकाश-संश्लेषण

अध्याय 14

पादप में श्वसन

अध्याय 15

पादप वृद्धि एवं परिवर्धन

एक समय के पश्चात जैव संरचना का वर्णन एवं जैवित जैविकों की विभिन्नता (विवरण) का अंत दो अलग रूप में हुआ जो जीव विज्ञान में स्पष्ट रूप से परस्पर विरोधी परिप्रेक्ष्य के थे। यह दो परिप्रेक्ष्य शुरूआती दौर पर जीवन स्वरूप एवं प्रतिभास के संगठन के दो स्तरों पर आधारित था। इसमें एक को जैव स्वरूप संगठन के स्तर पर वर्णित किया गया जबकि दूसरे को संगठन के कोशिकीय एवं अणु स्तर में वर्णित किया गया। परिणामस्वरूप पहला परिस्थिति-विज्ञान तथा इससे संबंधित विज्ञान के अंतर्गत था जबकि दूसरा शरीर विज्ञान एवं जैव-रसायन शास्त्र के रूप में स्थापित हुआ। पुष्टी पादपों में शरीर वैज्ञानिक प्रक्रमों का वर्णन एक उदाहरण के तौर पर है, जिसे इस खंड के अध्यायों में दिया गया है। पादपों में खनिज पोषण, प्रकाश-संश्लेषण, परिवहन, श्वसन तथा पादप वृद्धि एवं परिवर्धन को अंततः आण्विक भाषा में ही कोशिकीय कार्यविधि और यहाँ तक कि जैविक स्तर को संदर्भित किया गया है। जहाँ भी औचित्यपूर्ण पाया गया है, वहाँ पर पर्यावरण के संदर्भ में शरीर वैज्ञानिक प्रक्रम के संबंधों की भी चर्चा की गई है।



मेलविन कैलविन
(1911 -)

मेलविन कैलविन का जन्म अप्रैल 1911 में मिनसोटा (यू.एस.ए.) में हुआ था और आपने मिनसोटा विश्वविद्यालय से रसायन शास्त्र में पी.एच.डी. की उपाधि प्राप्त की। आपने बर्कले की केलीफोर्निया यूनीवर्सिटी के रसायन शास्त्र के प्रोफेसर के पद पर सेवाएं प्रदान की।

द्वितीय विश्व युद्ध के ठीक बाद, जब पूरा विश्व हिरोशिमा-नागासाकी की विस्फोटक घटना से रेडियोधर्मिता के दुष्प्रभाव को देखकर दुःख से स्तब्ध था, तब मेलविन और उनके सहकर्मी ने रेडियोधर्मिता के लाभदायक उपयोगों को प्रकट किया। आपने जे.ए. बाशाम के साथ मिलकर C_{14} के साथ कार्बनडाइऑक्साइड के लेबलप्रविध द्वारा कच्ची सामग्री जैसे कार्बनडाइऑक्साइड जल एवं खनिजों जैसे तत्वों से तथा शर्करा रचना से ग्रीन प्लांट्स (हरित पादपों) में प्रतिक्रिया का अध्ययन किया था। मेलविन ने प्रस्तावित किया कि पौधे प्रकाश ऊर्जा को रासायनिक ऊर्जा में बदल देते हैं, जिसके लिए एक वर्णक अणुओं के संगठित ऐरे (समूह) तथा अन्य तत्वों में एक इलेक्ट्रॉन को स्थानांतरित करते हैं। प्रकाश-संश्लेषण में कार्बन के स्वांगीकरण के पाथवे के प्रतिचित्रण करने पर आपको 1961 में नोबल पुरस्कार प्राप्त हुआ।

मेलविन के द्वारा स्थापित किए गए प्रकाश-संश्लेषण के सिद्धांत, आज भी, ऊर्जा एवं पदार्थों के लिए पुनः स्थापन योग्य संसाधनों के अध्ययन तथा सौर-ऊर्जा अनुसंधान में आधारभूत अध्ययनों के लिए भी उपयोग किया जाता है।

अध्याय 11

पौधों में परिवहन

- 11.1 परिवहन के माध्यम
- 11.2 पादप-जल संबंध
- 11.3 लंबी दूरी तक जल का परिवहन
- 11.4 वाष्पोत्सर्जन
- 11.5 खनिज पोषकों का उद्ग्रहण एवं परिवहन
- 11.6 फ्लोएम परिवहन: उद्गम से झुंड तक प्रवाह

क्या आपको कभी आश्चर्य नहीं हुआ है कि वृक्षों की सबसे ऊँची शिखर तक पानी कैसे पहुँचता है, या फिर इस बात के लिए कि पदार्थ एक कोशिका से दूसरी कोशिका की ओर कैसे बढ़ जाते हैं और ये पदार्थ समान प्रकार से एक दिशा में चलते हैं? क्या इन तत्वों को आगे बढ़ने के लिए उपापचयी ऊर्जा की आवश्यकता होती है? पेड़-पौधों को जंतुओं की अपेक्षा कहीं अधिक दूरी तक अणुओं को ले जाने की आवश्यकता होती है जबकि उनमें किसी प्रकार का परिवहन तंत्र नहीं होता। जड़ों द्वारा ग्रहण किया गया पानी पौधों के सभी भागों तक पहुँचता है, जो बढ़ते हुए तने के अग्र भाग तक जाता है। पत्तियों द्वारा संपन्न प्रकाश-संश्लेषण के परिणामस्वरूप उत्पन्न उत्पाद भी पौधों के सभी अंगों तक पहुँचते हैं और मृदा की गहराई में अंतःस्थापित जड़ों के शीर्ष तक जाते हैं। यह गतिशीलता लघु दूरी तक, कोशिका के अंदर या ज़िल्लिका के आर-पार और ऊतक के अंतर्गत एक कोशिका से दूसरी कोशिका तक बनी रहती है। पेड़-पौधों में होने वाली इस परिवहन विधि को समझने के लिए, हमें सबसे पहले कोशिका की आधारभूत बनावट तथा पौधे की शरीर-रचना विज्ञान के बारे में मूल जानकारी को पुनः स्मरण करना होगा और इसके साथ ही साथ हमें विसरण, विभव एवं आयन के बारे में जानकारी भी प्राप्त करनी होगी।

जब हम पदार्थों के परिवहन की बात करते हैं तो सबसे पहले हमें यह परिभाषित करना आवश्यक होता है कि हम किस प्रकार की गति और किन पदार्थों की चर्चा कर रहे हैं। पुष्टीय पौधों में जिन पदार्थों का परिवहन होता है, उनमें जल, खनिज पोषक, कार्बनिक पोषक एवं पौधों के वृद्धि नियामक मुख्य हैं। कम दूरी तक पदार्थों की गति, प्रसरण एवं साइटोप्लाज्मिक धारा सक्रिय परिवहन की मदद से हो सकता है। लंबी दूरी के लिए परिवहन, संवहनीय तंत्र (जाइलम तथा फ्लोएम) द्वारा संपन्न होता है और इसे स्थानांतरण कहा जाता है।

एक महत्वपूर्ण पहलू जिस पर ध्यान देने की आवश्यकता है; वह परिवहन की दिशा है। मूलीय पादपों में जाइलम परिवहन (पानी और खनिजों का) आवश्यक रूप से एक दिशात्मक अर्थात् मूल से तने तक होता है। कार्बनिक और खनिज पोषकों का परिवहन बहुदिशात्मक होता है। प्रकाश-संश्लेषिक पत्तियों द्वारा संश्लेषित कार्बनिक यौगिकों को पौधे के सभी अंगों जिनमें भंडार अंग भी सम्मिलित हैं, तक पहुँचाया जाता है। बाद में भंडार अंगों से इन्हें पुनः परिवहनित किया जाता है। जड़ों द्वारा खनिज पोषक तत्वों को जड़ों द्वारा ग्रहण करके उसे तने, पत्तियों एवं वृद्धि क्षेत्रों तक भेजा जाता है। जब किसी पौधे का कोई भाग जरावर्स्था को प्राप्त करता है तो उसे क्षेत्र के पोषकों को वापस लेकर वृद्धि करने वाले क्षेत्रों की ओर भेज दिया जाता है। हार्मोन या पादप वृद्धि नियामक तथा अन्य रसायन-उत्तेजक भी परिवहनित किए जाते हैं, यद्यपि इनकी मात्रा बहुत कम होती है। कई बार ये एक ध्रुवीय या एक दिशायी होते हैं और संश्लेषित स्थान से दूसरे भागों तक परिवहनित होते हैं। अतः एक पुष्पीय पौधे में यौगिकों का आवामगन काफी जटिल (लेकिन संभवतः बहुत क्रमानुसार) और विभिन्न दिशाओं में होता है। प्रत्येक अंग कुछ पदार्थों को ग्रहण करता है तथा कुछ दूसरों को देता है।

11.1 परिवहन के माध्यम

11.1.1 विसरण

विसरण द्वारा गति निष्क्रिय होती है तथा यह कोशिका के एक भाग से दूसरे भाग तक या कोशिका से अन्य कोशिका तक कम दूरी तक या ऐसा कह सकते हैं कि पत्तियों के अंतरकोशिकीय स्थान से बाह्य पर्यावरण तक कुछ भी हो सकती है। इसमें ऊर्जा का व्यय नहीं होता। विसरण में अणु अनियमित रूप से गति करते हैं, परिणामस्वरूप पदार्थ उच्च सांद्रता से निम्न सांद्रता वाले क्षेत्र में जाते हैं। विसरण एक धीमी प्रक्रिया है तथा वह जीवित तंत्र पर निर्भर नहीं करती। विसरण गैस द्रव में स्पष्ट परिलक्षित होती है जबकि ठोस में ठोस का विसरण कुछ अंश तक ही संभव है। पौधों के लिए विसरण अत्यंत ही महत्वपूर्ण है क्योंकि पादप शरीर में गैसीय गति का यह अकेला माध्यम है।

विसरण की दर सांद्रता की प्रवणता, उन्हें अलग करने वाली झिल्ली की पारगम्यता, ताप तथा दाढ़ से प्रभावित होती है।

11.1.2 सुसाध्य विसरण

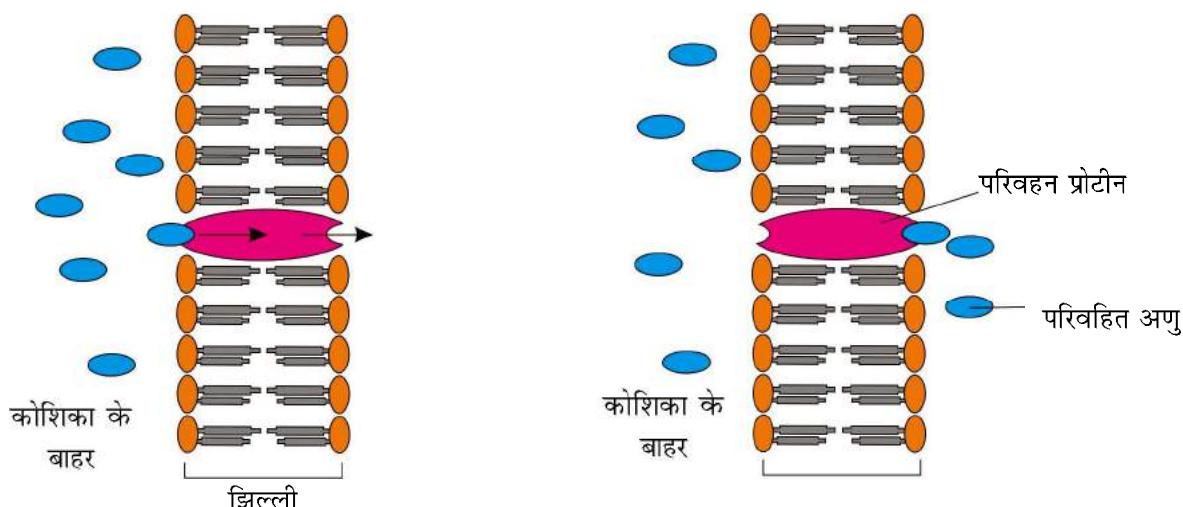
जैसा पहले बताया गया है कि विसरण उत्पन्न करने के लिए प्रवणता का पहले से उपस्थित रहना अत्यंत आवश्यक है। विसरण की दर पदार्थों के आकार पर निर्भर करती है। यह तो पहले से ही स्पष्ट है कि लघु पदार्थ तेज गति से विसरण करते हैं। किसी भी पदार्थ का विसरण झिल्ली के प्रमुख सहभागी लिपिड (Lipid) में घुलनशीलता पर निर्भर करता है। लिपिड में घुलनशील पदार्थ झिल्लिका के माध्यम से तेजी से विसरित होते हैं। जिस पदार्थ का अंश या मोइटी (Moity) जलरागी होता है। वह झिल्लिका के आर-पार कठिनाई से गुजरता है। अतः उनकी गति को सुगम बनाने की आवश्यकता होती

है। ऐसे अणु को आर-पार करने के लिए झिल्लिका प्रोटीन स्थान उपलब्ध कराती है। वे सांद्रता प्रवणता स्थापित नहीं कर पाते, जबकि अणुओं के विसरण के लिए सांद्रता प्रवणता निश्चित तौर पर पहले से ही उपस्थित होनी चाहिए, भले ही उन्हें प्रोटीन से मदद मिल रही हो। यह प्रक्रिया ही सुसाध्य विसरण कहलाती है।

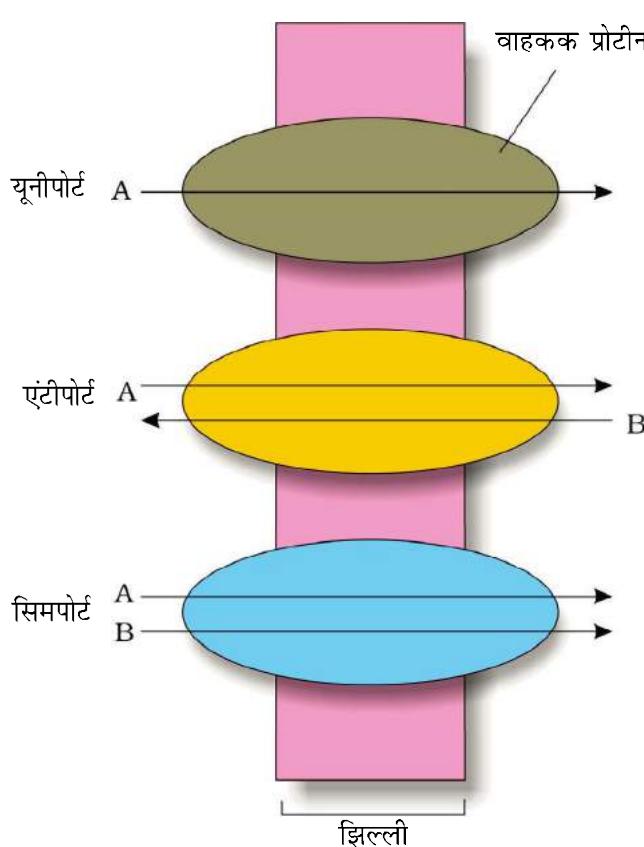
सुसाध्य विसरण में पदार्थों को झिल्ली के आर-पार करने में विशिष्ट प्रोटीन मदद करती है और इसमें एटीपी ऊर्जा का भी व्यय नहीं होता। सुसाध्य विसरण निम्न से उच्च सांद्रता में पूर्ण परिवहन नहीं कर सकता है, अतः इस कारण ऊर्जा निवेश की आवश्यकता होती है। परिवहन की गति दर तब अधिकतम होती है जब प्रोटीन के सभी संवाहकों का प्रयोग पूर्णरूप से हो। सुसाध्य विसरण अति विशिष्ट होता है। यह कोशिकाओं को पदार्थों के उद्ग्रहण के लिए चयन करने की छूट प्रदान करता है। यह निरोधकों के प्रति संवेदनशील होता है, जो प्रोटीन की पार्श्व शृंखला से प्रतिक्रिया करती है।

अणुओं को आर-पार जाने के लिए झिल्लिका में मौजूद प्रोटीन रास्ता बनाती है। कुछ रास्ते हमेशा खुले होते हैं तथा कुछ नियंत्रित हो सकते हैं। कुछ बड़े होते हैं, जो विभिन्न प्रकार के अणुओं को पार जाने की छूट देते हैं। पोरिन एक प्रकार की प्रोटीन है जो प्लास्टिड माइटोकोंड्रिया तथा बैक्टीरिया की बाह्य झिल्ली में बड़े आकार के छिद्रों का निर्माण करती है ताकि झिल्ली में से होकर प्रोटीन के छोटे साइज के अणु भी उसमें से गुजर सकें।

चित्र 11.1 प्रदर्शित करता है कि बाह्यकोशिकीय अणु परिवहन प्रोटीन पर बंधित रहते हैं और यही परिवहन प्रोटीन बाद में घूर्णत होकर कोशिका के भीतर अणु को मुक्त कर देती है। उदाहरण के तौर पर जलमार्ग – जो आठ तरह के विभिन्न एक्वापोरिन से बना होता है।



चित्र 11.1 सुसाध्य विसरण



चित्र 11.2 सुसाध्य विसरण

11.1.2.1 निष्क्रिय सिमपोर्ट तथा एंटीपोर्ट

कुछ वाहक या परिवहन प्रोटीन विसरण की अनुमति तभी देते हैं, जब दो तरह के अणु एक साथ चलते हैं। सिमपोर्ट में, दोनों अणु एक ही दिशा में झिल्लिका को पार करते हैं, जबकि एंटीपोर्ट में वे उलटी दिशा में चलते हैं (चित्र 11.2)। जब एक अणु दूसरे अणु से स्वतंत्र होकर झिल्लिका को पार करता है, तब इस विधि को यूनिपोर्ट कहते हैं।

11.1.3 सक्रिय परिवहन

सक्रिय परिवहन सांद्रता प्रवणता के विरुद्ध अणुओं को पंप करने में ऊर्जा का उपयोग करता है। सक्रिय परिवहन झिल्लिका प्रोटीन द्वारा पूर्ण किया जाता है। अतः झिल्लिका के विभिन्न प्रोटीन सक्रिय तथा निष्क्रिय दोनों परिवहन में मुख्य भूमिका निभाते हैं। पंप एक तरह का प्रोटीन है जो पदार्थों को झिल्लिका के पार कराने में ऊर्जा का प्रयोग करती है। ये पंप प्रोटीन पदार्थों का कम सांद्रता से अधिक सांद्रता तक परिवहन करा सकते हैं। परिवहन की गति अधिकतम तब होती है जब परिवहन करने वाले सभी प्रोटीन का प्रयोग हो रहा हो या वह संतुप्त ही क्यों न हो। एंजाइमों की भाँति वाहक प्रोटीन झिल्लिका के पार करने वाले पदार्थों के प्रति बहुत अधिक विशिष्ट होती हैं। ये प्रोटीन निरोधक के प्रति भी संवेदनशील होती है जो पार्श्व शृंखला से प्रतिक्रिया करते हैं।

11.1.4 विभिन्न परिवहन विधियों की तुलना

तालिका 11.1 में भिन-भिन परिवहन तंत्र की तुलना की गई है। जैसा कि स्पष्ट हो चुका है कि झिल्लिका की प्रोटीन सुसाध्य विसरण एवं सक्रिय परिवहन के लिए

तालिका 11.1 विभिन्न परिवहन तंत्रों की तुलना

गुण	साधारण विसरण	सुसाध्य परिवहन	सक्रिय परिवहन
विशिष्ट झिल्लिका प्रोटीन की आवश्यकता	नहीं	हाँ	हाँ
उच्च वर्णात्मक	नहीं	हाँ	हाँ
परिवहन संतुप्त	नहीं	हाँ	हाँ
शिखरोपरि (अपहिल) परिवहन	नहीं	नहीं	हाँ
एटीपी ऊर्जा की आवश्यकता	नहीं	नहीं	हाँ

उत्तरदायी होती है तथा इस प्रकार यह उच्च वर्णात्मक होने के सामान्य लक्षण जैसे संतृप्त होना, निरोधकों के प्रति अनुक्रिया तथा हार्मोनीय नियंत्रण प्रदर्शित करते हैं। लेकिन विसरण चाहे सुसाध्य हो या नहीं, प्रवणता के अनुसार होता है तथा ऊर्जा का उपयोग नहीं करता।

11.2 पादप-जल संबंध

पौधों के शारीरिक क्रियाकलाप के लिए जल अनिवार्य है और यह सभी जीवित प्राणियों के लिए एक अत्यंत महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। यह वह माध्यम उपलब्ध कराता है जिसमें सभी पदार्थ घुलनशील होते हैं। जीव द्रव्य में हजारों तरह के अणु पानी में घुले होते हैं और निलंबित रहते हैं। एक तरबूज के अंतर्गत 92 प्रतिशत से अधिक भाग पानी का होता है तथा ज्यादातर शाकीय पौधों में शुष्क पदार्थ केवल 10 से 15 प्रतिशत होता है, बाकी जल होता है। हालांकि यह बात बिल्कुल सच है कि एक पौधे में जल का वितरण भिन्न-भिन्न होता है, काष्ठ वाले भाग में थोड़ा कम होता है तथा नरम भाग में बहुत ज्यादा। एक बीज सूखा सा दिख सकता है; परंतु फिर भी उसमें पानी की कुछ मात्रा होती है अन्यथा वह जीवित नहीं रहेगा और श्वसन भी नहीं करेगा।

स्थलीय पौधे प्रतिदिन भारी मात्रा में पानी ग्रहण करते हैं; लेकिन पत्तियों से इनका अधिकतर भाग वाष्पोत्सर्जन द्वारा हवा में उड़ जाता है। मक्के का एक परिपक्व पौधा एक दिन में लगभग तीन लीटर पानी अवशोषित करता है जबकि सरसों का पौधा लगभग पांच घंटे में अपने वजन के बराबर पानी अवशोषित कर लेता है। पानी की इस उच्च मात्रा की मांग के कारण, यह आश्चर्य नहीं होना चाहिए कि कृषि एवं प्राकृतिक पर्यावरण में पौधे की वृद्धि एवं उत्पादकता को सीमित करने वाला सीमाकारी कारक प्रायः जल ही होता है।

11.2.1 जल विभव या जल अंतःशक्ति

पादप-जल संबंध की व्याख्या करने के लिए कुछ विशेष मानक शब्दों की समझ अध्ययन को आसान बना देती है। जल विभव जल की गति या परिवहन को समझने के लिए आधारभूत धारणा है। विलेय विभव या विलेय अंतःशक्ति तथा दाब विभव या दाब अंतःशक्ति जल विभव को सुनिश्चित करने वाले दो मुख्य कारक हैं।

जल के अणुओं में गतिज ऊर्जा पाई जाती है। द्रव तथा गैस की अवस्था में वे अनियमित गति करते हुए पाए जाते हैं, यह गति तीव्र तथा स्थिर दोनों तरह की हो सकती है। किसी तंत्र में यदि अधिक मात्रा में जल हो तो उसमें अधिक गतिज ऊर्जा तथा जल विभव होगा। अतः यह सुनिश्चित है कि शुद्ध जल में सबसे ज्यादा जल विभव होगा। यदि कोई दो अंतर्विष्ट जल तंत्र संपर्क में हों तो पानी के अणु के अनियमित गति के कारण जल के वास्तविक गति की त्वरित गति ज्यादा ऊर्जा वाले भाग से कम ऊर्जा वाले भाग में होगी। अतः पानी उच्च जल विभव वाले अंतर्विष्ट जल के तंत्र से कम जल विभव वाले तंत्र की ओर जाएगा। पदार्थ की गति की यह प्रक्रिया ऊर्जा की प्रवणता के अनुसार होती है और विसरण कहलाती है। जल विभव को ग्रीक चिन्ह Psi या ψ से चिह्नित किया गया है और इसे पासकल्स जैसी दाब इकाई में व्यक्त किया गया है। परंपरा के अनुसार शुद्ध जल के जल

विभव को एक मानक ताप पर जो किसी दाब में नहीं है, पर शून्य माना गया है।

यदि कुछ विलेय शुद्ध जल में घोले जाते हैं, तो घोल में मुक्त पानी कम हो जाता है। जल की सांद्रता घट जाती है और जल विभव भी कम हो जाता है। इसीलिए सभी विलेयनों में शुद्ध जल की अपेक्षा जल विभव निम्न होता है। इस निम्नता का परिमाण एक विलेय के द्रवीकरण के कारण है जिसे विलेय विभव कहा जाता है (या Ψ_s)। Ψ_s सदैव नकारात्मक होता है, जब विलेय के अणु अधिक होते हैं तो Ψ_s अधिक नकारात्मक होता है। वायुमंडलीय दबाव पर विलेय या घोल का जल विभव $\Psi_s = \text{विलेय विभव } \Psi_s$ होता है।

यदि घोल या शुद्ध जल पर वायुमंडलीय दबाव से अधिक दबाव लगाया जाए तो उसका जल विभव बढ़ जाता है। यह एक जगह से दूसरी जगह पानी पंप करने के बराबर होता है। क्या आप सोच सकते हैं कि हमारे शरीर के किस तंत्र में दाब निर्मित होता है? जब विसरण के कारण पौधे की कोशिका में जल प्रवेश करता है और वह कोशिका भित्ति की ओर बढ़ा देता है और कोशिका को स्फीत बना (फुला) देता है (चित्र 11.2)। यह दाब विभव को बढ़ा देता है। दाब विभव ज्यादातर सकारात्मक होता है। हालाँकि पौधों में नकारात्मक विभव या जाइलम के जल खंड में तनाव एक तने में जल के परिवहन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। दाब विभव को Ψ_p से चिह्नित किया गया है। कोशिका का जल विभव, विलेय एवं दाब विभव दोनों ही से प्रभावित होता है। इन दोनों के बीच संबंध निम्न प्रकार से होता है:

$$\Psi_s = \Psi_s + \Psi_p$$

11.2.2 परासरण

पौधे की कोशिका, कोशिका झिल्ली या एक कोशिका भित्ति से घिरी होती है। यह कोशिका भित्ति जल एवं विलयन में पदार्थों के लिए मुक्त रूप से पारगम्य होती है। अतः यह परिवहन या गति के लिए बाधक नहीं होती है। एक पौधे की कोशिकाओं में प्रायः एक केंद्रीय रसधानी होती है, जिसका रसधानीयुक्त रस कोशिका के विलेय विभव में भागीदारी करता है। पादप कोशिका में कोशिका झिल्ली तथा रसधानी की झिल्ली, टोनोप्लास्ट, दोनों एक साथ कोशिका के भीतर एवं बाहर अणुओं की गति निर्धारित करने के लिए महत्वपूर्ण होते हैं।

परासरण विशेष रूप से एक विभेदक अर्ध या पारगम्य झिल्लिका के आर-पार जल के विसरण के लिए संदर्भित किया जाता है। परासरण स्वतः ही प्रेरित बल की अनुक्रिया से पैदा होता है। परासरण की दिशा एवं गति दाब प्रवणता एवं सांद्रता प्रवणता पर निर्भर करती है। जल अपने उच्च रासायनिक विभव (या सांद्रता) से निम्न रासायनिक विभव में तब तक संचारित होता है जब तक कि साम्यता पर न पहुँच जाए। साम्यता पर दो कक्षों का जल विभव एक समान होना चाहिए।

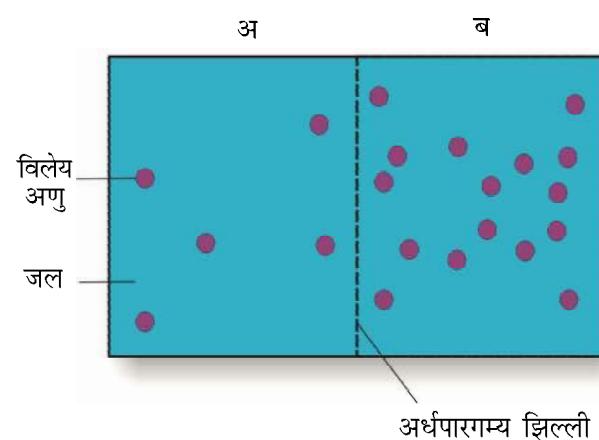
आपने विद्यालय में पहले के चरणों में एक आलू का परासरणमापी (ऑस्मोमीटर) बनाया होगा। यदि कंद को पानी में रखा जाता है तो आलू के कंद की गुहा में रखा शर्करा का सांद्र घोल परासरण के द्वारा पानी को एकत्र कर लेता है।

चित्र 11.3 का अध्ययन करें, जिसमें दो कक्षों अंदर बीकर में रखे गये विलयनों को भरकर अर्धपारगम्य झिल्ली द्वारा अलग-अलग किया गया है।

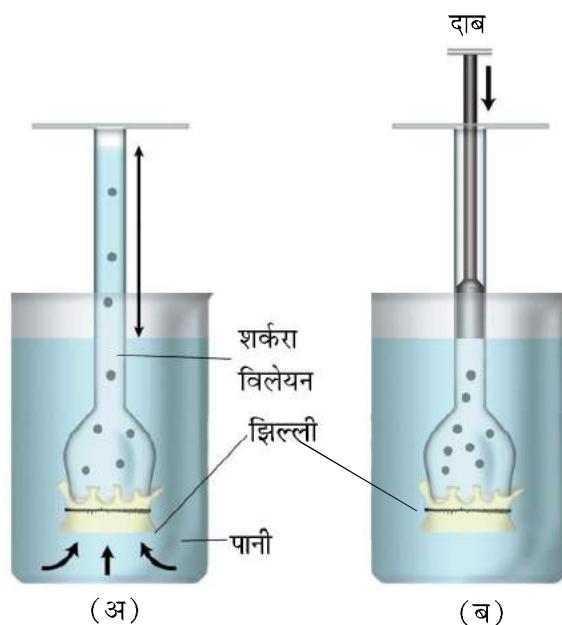
- (अ) किस कक्ष के घोल में एक निम्नतर जल विभव है?
- (ब) किस कक्ष के घोल में निम्नतर विलेय विभव है?
- (स) परासरण किस दिशा में संपन्न होगा?
- (द) किस विलयन का उच्च विलेय विभव उच्चतर होगा?
- (य) साम्यता के समय किस कक्ष में जल विभव निम्नतर होगा?
- (र) यदि एक कक्ष में ψ का मान -2000 kPa है और दूसरे में -1000 kPa है तो किस कक्ष में उच्चतर ψ होगा?

आइए, एक दूसरे प्रयोग की चर्चा करें, जहां शर्करा के विलयन को एक कीप में लिया गया है, जो एक बीकर में रखे गए पानी से अर्ध पारगम्य झिल्ली द्वारा अलग है। (चित्र 11.4)। (आप इस प्रकार की झिल्लिका एक अंडे से प्राप्त कर सकते हैं। आप अंडे के एक सिरे पर छोटा सा छेद करके सारा पीला एवं श्वेत पदार्थ (योल्क एवं एल्बूमिन) निकाल लें और फिर अंडे के कवच को कुछ घंटों के लिए तनु नमक के अम्ल (HCl) में छोड़ दें। अंडे का कवच धुल जाएगा और उसकी झिल्ली साबुत प्राप्त हो जाएगी)। पानी कीप की ओर गति करेगा और कीप में घोल का स्तर बढ़ जाएगा। यह प्रक्रिया तब तक जारी रहेगी जब तक कि साम्यता की स्थिति नहीं आ जाती। यदि किसी कारणवश, शर्करा झिल्ली के माध्यम से बाहर निकल आएं तब क्या कभी साम्यता की स्थिति आएगी?

कीप के ऊपरी भाग पर बाहरी दाब डाला जा सकता है ताकि झिल्लिका के माध्यम से कीप में पानी विसरित न हो। यह दाब पानी को विसरित होने से रोकता है। विलेय सांद्रता अधिक होने पर पानी को विसरित होने से रोकने के लिए अधिक दबाव की भी आवश्यकता होगी। संख्यात्मक आधार पर परासरण दाब परासरण विभव के बराबर होता है लेकिन इसका संकेत विपरीत होता है। परासरण दबाव में प्रयुक्त दाब सकारात्मक होता है जबकि परासरण विभव नकारात्मक होता है।



चित्र 11.3



चित्र 11.4 परासरण का एक प्रदर्शन। एक कीप में शर्करा विलयन भर कर, पानी से भरे बीकर में उल्टा रखा गया है। जिसका मुख अर्ध पारगम्य झिल्ली से बंद है। (अ) जल झिल्ली को पार करते हुए विसरण से कीप के घोल कर स्तर बढ़ाएगा (जैसा की तीर के निशान दिखा रहे हैं)। (ब) कीप में जल के बहाव को रोकने के लिए दाब का इस्तेमाल किया जा सकता है जैसा कि चित्र में दिखाया गया है।

11.2.3 जीवद्रव्यकुंचन

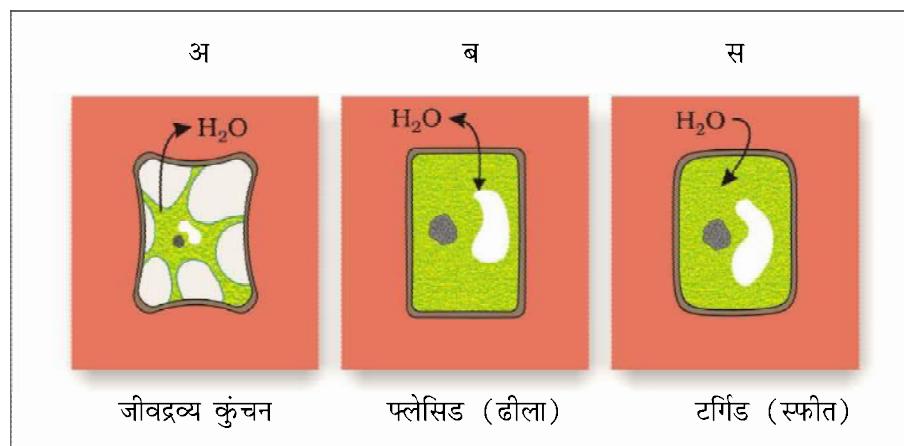
पादप कोशिकाओं (या ऊतकों) में जल की गति के प्रति व्यवहार करना उसके आस-पास के घोल पर निर्भर करता है। यदि बाहरी घोल कोशिका द्रव्य के परासरण दाब को संतुलित करता है तो उसे हम समपरासारी कहते हैं। यदि बाहरी विलेयन कोशिका द्रव्य से अधिक तनुकृत है तो उसे अल्पपरासारी कहते हैं और यदि बाहरी विलेयन बहुत अधिक सांद्रतायुक्त होता है तो इसे अतिपरासारी कहते हैं। कोशिकाएं अल्पपरासारी घोल में फूलती हैं और अतिपरासारी में सिकुड़ती हैं।

जीवद्रव्यकुंचन तब होता है जब कोशिका से पानी बाहर गति कर जाए तथा पादप कोशिका की कोशिका झिल्ली सिकुड़कर कोशिका भित्ति से अलग हो जाती है। यह तब होता है, जब एक कोशिका (या ऊतक) को अतिपरासारी घोल में डाला जाता है। सबसे पहले जीवद्रव्य से पानी बाहर आता है फिर रसधानी से। जब कोशिका से विसरण द्वारा पानी निकल कर बाह्यकोशिका द्रव्य में जाता है, तब जीवद्रव्य कोशिका भित्ति से अलग हो जाती है और इसे कोशिका का जीवद्रव्य कुंचन कहा जाता है। जल का परिवहन झिल्ली के आर-पार उच्चतर जल विभव क्षेत्र (अर्थात् कोशिका) निम्नतर जल विभव क्षेत्र में कोशिका के बाहर (चित्र 11.5) जाता है।

जीवद्रव्यकुंचित कोशिका में कोशिका भित्ति एवं संकुचित जीवद्रव्य के बीच की जगह को कौन भरता है?

जब कोशिका (या ऊतकों) को समपरासारी घोल में रखा जाता है तो जल का कुल प्रभाव अंदर या बाहर की ओर नहीं होता है। यदि बाहरी घोल जीवद्रव्य के परासरण दाब को संतुलित रखता है तो इसे समपरासारी कहते हैं। कोशिकाओं में जब जल अंदर और बाहर समान रूप से प्रवाहित होता है तो कोशिकाएं साम्यावस्था में कही जाती हैं तब कोशिका को ढीला (फ्लोसिड) कहा जाता है।

जीवद्रव्यसंकुचन की प्रक्रिया प्रायः प्रतिवर्ती होती है। जब कोशिकाओं को अल्पपरासारी घोल (उच्च जल विभव या जीवद्रव्य की तुलना में तनुकृत) विलेयन में रखा जाता है तो कोशिका में जल विसरित होता है और जीवद्रव्य को भित्ति के विरुद्ध दबाव बनाने का कारण बनता है जिसे स्फीति दाब कहा जाता है। पानी घुसने के कारण जीव द्रव्य द्वारा



चित्र 11.5 पादप कोशिका का जीवद्रव्यकुंचन

प्रकट किए गए कठोर भित्ति के विपरीत दाब को दाब विभव या Ψ_p कहते हैं। कोशिका भित्ति की दृढ़ता के कारण कोशिका नहीं फटती है। यह स्फीति दाब अंततः कोशिकाओं के विस्तार एवं फैलाव के लिए उत्तरदायी होता है।

एक ढीली कोशिका का Ψ_p क्या होगा?

पौधे के अलावा किस जीव में कोशिका भित्ति होती है?

11.2.4 अंतःशोषण

अंतःशोषण एक विशेष प्रकार का विसरण है। जब ठोस एवं कोलाइड्स द्वारा पानी को अवशोषित किया जाता है तो इसके कारण उसके आयतन में विशाल रूप से वृद्धि होती है। अंतःशोषण के प्रतिष्ठित उदाहरणों में बीजों और सूखी लकड़ियों द्वारा जल का अवशोषण है। फूली हुई लकड़ी या काष्ठ के द्वारा पैदा किए गए दाब का प्रयोग आदि मानव द्वारा बड़ी चट्टानों एवं पत्थरों को तोड़ने के लिए किया जाता था। यदि अंतःशोषण के द्वारा दाब नहीं होता तो नवोदूषित खुली जमीन पर उभरकर नहीं आ पाते, वे संभवतः बाहर आकर स्थापित नहीं हो पाते।

अंतःशोषण भी एक प्रकार का विसरण है, क्योंकि जल की गति सांद्रण प्रवणता के अनुसार है। बीज या अन्य ऐसी ही सामग्रियों में पानी लगभग नहीं के बराबर है अतः ये आसानी से जल का अवशोषण कर लेते हैं। अवशोषक तथा अंतःशोषित होने वाले द्रव के बीच जल विभव प्रवणता आवश्यक है। इसके अतिरिक्त, कोई भी पदार्थ जो किसी भी द्रव को अंतःशोषित करता हो, अवशोषक और द्रव के बीच बंधुता होना पहली शर्त है।

11.3 लंबी दूरी तक जल का परिवहन

प्रारंभिक अवस्था में आपने एक प्रयोग किया होगा। इस प्रयोग के दौरान आपने रंगीन पानी में सफेद फूल सहित टहनी को डाला होगा तथा उसके रंग के परिवर्तन को भी देखा होगा। टहनी के कटे छोर को कुछ घंटे तक घोल में रहने के बाद आपने निश्चित ही उस क्षेत्र को ध्यान से देखा होगा जिसमें से रंगीन पानी का परिवहन होता है। यह प्रयोग आसानी से दर्शाता है कि पानी के परिवहन का रास्ता संवहनी बंडल मुख्यतः जाइलम है। अब हम लोगों को और आगे बढ़ना है। पौधों में पानी तथा अन्य पदार्थों के परिवहन की प्रक्रिया को समझना है।

लंबी दूरी तक पदार्थों का परिवहन केवल विसरण द्वारा नहीं हो सकता है। विसरण एक धीमी प्रक्रिया है। यह छोटी दूरी तक अणुओं को पहुँचाने में कागड़ है। उदाहरण के लिए : एक प्रारूपिक पादप कोशिका (लगभग $50\mu\text{m}$) के आर-पार अणु को गति करने के लिए लगभग 2.5s समय लगता है। इस दर पर आप क्या गणना कर सकते हैं कि पौधों के अंदर 1m की दूरी तय करने में अणुओं को विसरण के द्वारा कितना समय लगेगा?

बड़े एवं जटिल जीवों में बहुधा पदार्थों का परिवहन लंबी दूरी तक होता है। कभी-कभी उत्पादन या अवशोषण एवं संग्रहण के स्थान एक दूसरे से काफी दूर होते हैं, अतः विसरण एवं सक्रिय परिवहन काफी नहीं है। इसलिए विशिष्ट व्यापक दूरी का

परिवहन तंत्र आवश्यक हो जाता है ताकि आवश्यक पदार्थ निश्चित रूप से तीव्र गति से पहुंच सकें। जल, खनिज तथा भोजन सामूहिक प्रणाली द्वारा परिवहन करते हैं। सामूहिक या थोक प्रवाह में पदार्थों का एक स्थान से दूसरे स्थान तक परिवहन, दो बिंदुओं के बीच दाब की भिन्नता के परिणामस्वरूप होता है। सामूहिक प्रवाह की यह विशिष्टता है कि पदार्थ चाहे घोल हो या निलंबन नहीं के प्रवाह की तरह ही बहता है। यह विसरण से भिन्न होता है, जहाँ पर विभिन्न पदार्थ अपनी सांद्रता प्रवणता के अनुसार स्वतंत्र रूप से परिवहनित किए जाते हैं। थोक प्रवाह को तो घनात्मक जलीय दाब प्रवणता या ऋणात्मक जलीय दाब प्रवणता (जैसे: पुआल के द्वारा चूषण) के द्वारा प्राप्त किया जा सकता है।

पदार्थों की पादपों के संवहनी ऊतकों के द्वारा थोक या सामूहिक गति को स्थानांतरण कहते हैं। क्या आपको याद है कि जब आपने ऊँचे पादपों की जड़ें, तनों तथा पत्तियों के अनुप्रस्थ काट (क्रास सेक्शन) को देखा था और उसकी संवहनी प्रणाली का अध्ययन किया था? उच्च पादपों में बहुत ही उच्च विशेषीकृत संवहनी ऊतक - जाइलम और फ्लोएम होते हैं। जाइलम मुख्य रूप से जल, खनिज लवणों, कुछ कार्बनिक नाइट्रोजन तथा हार्मोन को जड़ से वायवीय भाग तक स्थानांतरित करता है। फ्लोएम मुख्य रूप से विभिन्न प्रकार के कार्बनिक एवं अकार्बनिक विलेयों को पत्तियों से पादपों के विभिन्न भागों में स्थानांतरित करता है।

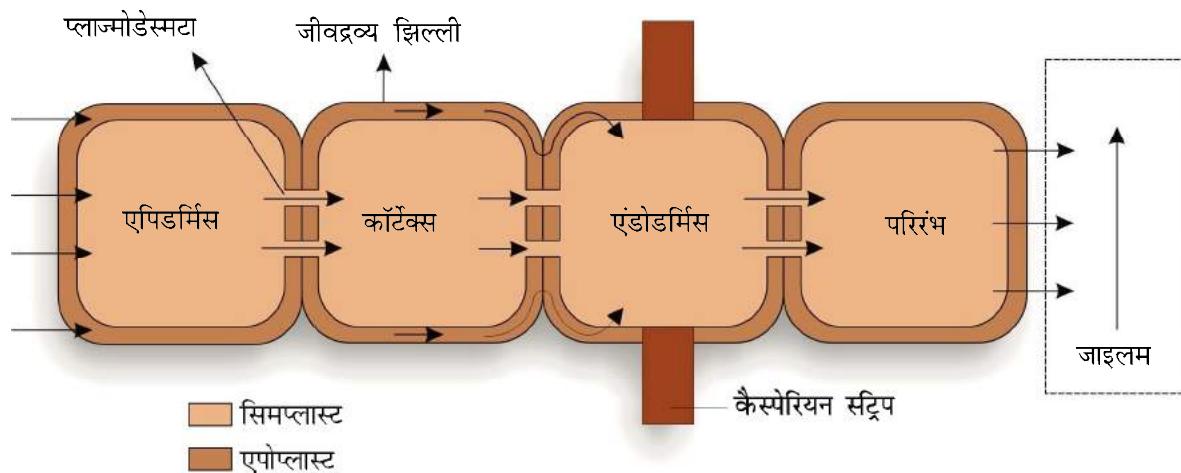
11.3.1 पौधे जल को कैसे अवशोषित करते हैं?

हम सभी जानते हैं कि जड़ें पेड़ों के लिए ज्यादातर जल को अवशोषित करती हैं, इसीलिए हम जल को मृदा में डालते हैं न कि पत्तियों पर। जल और खनिज तत्वों के अवशोषण की जिम्मेदारी विशेष रूप से मूल रोमों की होती है जो कि जड़ों के अग्र शीर्ष भाग पर लाखों की संख्या में पाए जाते हैं। मूल रोम पतली भित्ति वाले होते हैं जो अवशोषण के लिए व्यापक रूप से क्षेत्र प्रदान करते हैं। जल, खनिज-विलेय के साथ मूल रोम से होकर शुद्ध रूप से विसरण प्रक्रिया के द्वारा अवशोषित किया जाता है। एक बार जब मूल रोम द्वारा जल अवशोषित कर लिया जाता है तब वह जड़ों की गहरी पत्तों में दो भिन्न पथों से गति करता है। दो भिन्न पथ निम्न हैं:

- एपोप्लास्ट पथ
- सिमप्लास्ट पथ

एपोप्लास्ट निकटवर्ती कोशिका भित्ति का तंत्र है। जड़ों के अंतस्त्वचा में मौजूद कैम्पेरी पट्टी को छोड़कर पूरे पौधे में फैला रहता है (चित्र 11.6)। जल का एपोप्लास्टिक परिवहन केवल अंतरकोशिकीय जगहों और कोशिकाओं की भित्ति में उत्पन्न होता है। एपोप्लास्ट के माध्यम से होने वाला परिवहन कोशिका द्विलिंगी को पार नहीं करता है। यह गति प्रवणता पर निर्भर करती है। एपोप्लास्ट जल के परिवहन में कोई भी बाधा नहीं डालता है और जल परिवहन सामूहिक प्रवाह के माध्यम से होता रहता है। जैसे ही जल अंतरकोशिकी गुहा या वातावरण में वाष्पित होता है तो एपोप्लास्ट के सतत जल प्रवाह में तनाव उत्पन्न हो जाता है। अतः आसंजक एवं संशक्ति शीलता के कारण जल का सामूहिक प्रवाह होता है।

सिमप्लास्टिक तंत्र अंतः संबंधित जीव द्रव्य का तंत्र है। पड़ोसी कोशिकाएं कोशिका लड़ी से जुड़ी होती हैं जो कि जीव द्रव्य तंतु तक विस्तृत रूप से फैली रहती हैं।



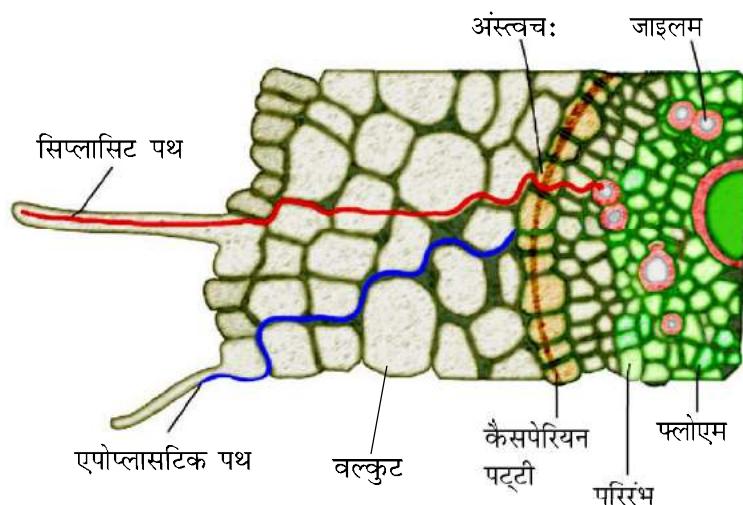
चित्र 11.6 जड़ में जल के गति का पथ

सिमप्लास्टिक परिवहन में जल कोशिकाओं के जीव द्रव्य के माध्यम से तथा अंतरकोशिकी परिवहन में यह जीव द्रव्य तंतु के माध्यम से आगे बढ़ता है। जल कोशिकाओं के अंदर कोशिका झिल्ली के माध्यम से प्रवेश करता है, अतः इस प्रकार का परिवहन अपेक्षाकृत धीमा होता है। सिमप्लास्टिक को परिवहन में कोशिका द्रव्यी प्रवाहन सहायता करता है। आप कोशिका द्रव्यी प्रवाहन को हाइड्रिला की पत्ती के कोशिका में देखा होगा, क्लोरोप्लास्ट का परिवहन प्रवाह के कारण आसानी से दिखाई पड़ सकता है।

जड़ों में अधिकतर जल प्रवाह एपोप्लास्ट के माध्यम से उत्पन्न होता है चूँकि वल्कुट-कोशिकाएँ ढीली गठित होती हैं अतः जल की गति में किसी प्रकार का प्रतिरोध उत्पन्न नहीं होता। हालाँकि वल्कुट की आंतरिक सीमा, सीमा अंतःत्वचा, पानी के लिए अप्रवेश्य होती है। ऐसा सुवेरिनमय मैट्रिक्स के कारण होता है जिसे कैम्पेरी पट्टी कहा जाता है। पानी का अणु पर्त को भेदने के असमर्थ होता है, अतः इन्हें असुवेरिनमय कोशिका भित्ति क्षेत्र की ओर पुनः झिल्लिका के माध्यम से कोशिका के अंदर भेजा जाता है। इसके बाद जल सिमप्लास्ट के द्वारा गतिशील होता है और पुनः झिल्ली को पार करता है ताकि जाइलम कोशिकाओं तक पहुँच सके। जल की गति मूलपरत से अंतःकोशिका तक सिमप्लास्टिक होती है। यही एक रास्ता है जिससे पानी तथा अन्य विलेय वैस्कुलर सिलिंडर में प्रवेश करते हैं।

एक बार जाइलम माध्यम के भीतर पहुँचने पर जल पुनः कोशिकाओं के बीच तथा उसके आर-पार जाने के लिए स्वतंत्र हो जाता है। नई जड़ों में जल सीधे जाइलम वाहिकाओं या/और वाहिनिकाओं में प्रवेश करता है। ये जीवन रहित नालियाँ हैं और एक प्रकार से एपोप्लास्ट का हिस्सा भी हैं। मूल संवहनी तंत्र में जल तथा खनिज आयनों का मार्ग निम्न चित्र में संक्षेपीकृत किया गया है (चित्र 11.7)।

कुछ पौधों में अतिरिक्त संरचनाएँ जुड़ी होती हैं जो उन्हें जल (एवं खनिजों) के अवशोषण में मदद करती हैं। माइक्रोराइजा जड़ के साथ फ़र्फ़ूदी (कवक) का सहजीवी संगठन है। फ़र्फ़ूदी या कवक तंतु नई जड़ों के आस-पास नेटवर्क (बनाते) हैं या वे मूल कोशिका में प्रवेश कर जाते हैं। कवक तंतु का एक बड़ा व्यापक तल क्षेत्र होता है जो भूमि से खनिज आयन एवं जल को मूल से अधिक मात्रा में अवशोषित कर लेता है।



चित्र 11.7 जल एवं आयन का सिंप्लास्टिक एवं एपोप्लास्टिक पथ तथा जड़ों में प्रवाह

ये कवक जड़ को जल एवं खनिज उपलब्ध कराते हैं और बदले में जड़ें भी माइकोराइजी को शर्करा तथा नाइट्रोजन समाहित यौगिक प्रदान करते हैं। कुछ पौधों का माइकोराइजा के साथ का अविकल्पी संबंध होते हैं। उदाहरण के लिए माइकोराइजा की उपस्थिति के बिना चीड़ का बीज न तो अंकुरित हो सकता है और न ही स्थापित हो सकता है।

11.3.2 पौधों में जल का ऊपर की ओर गमन

हमने अभी देखा कि पौधे मृदा से जल का केसे अवशोषण करते हैं और संवहनी ऊतकों में इसे कैसे पहुँचाते हैं। अब हम यह जानने व समझने का प्रयास करेंगे कि जल पौधे के विभिन्न भागों तक कैसे पहुँचता है। यह जल का चलन क्रियाशील है या अभी भी निष्क्रिय है? चूँकि जल पेड़ के तने में गुरुत्वाकर्षण के विरुद्ध गति करता है तो इसके लिए ऊर्जा कौन देता है?

11.3.2.1 मूल दाब

जैसे कि मृदा के विभिन्न आयन सक्रियता के साथ जड़ों के संवहनी ऊतकों में परिवहनित होते हैं तो जल भी इसी प्रक्रिया का अनुसरण (अपनी विभव प्रवणता से) करता है तथा जाइलम के अंदर दाब बढ़ाता है। यह घनात्मक दाब ही मूल दाब कहलाता है और तने में कम ऊँचाई तक जल को ऊपर भेजने के लिए उत्तरदायी होता है। हम कैसे देख सकते हैं कि मूलदाब विद्यमान है। इसके लिए एक छोटा सा नरम तने वाला पौधा चुनें और जिस दिन वातावरण पर्याप्त आर्द्रता पूर्ण हो, उस दिन प्रातःकाल के समय तने के नीचे क्षैतिज दिशा में उसे तीखे ब्लॉड से काट दें। आप जल्द ही देखेंगे कि उस कटे हुए तने पर द्रव की कुछ मात्रा ऊपर की ओर उठ आती है। यह द्रव सकारात्मक मूल दाब के कारण आता है। यदि आप उस तने में एक रबर की पतली नली चढ़ा दें तो आप वास्तव में स्राव की दर माप सकते हैं और स्रावित द्रव के कारकों की संरचना जान सकते हैं। मूल दाब का प्रभाव रात तथा सुबह के समय भी देखा जा सकता है, जब वाष्णीकरण की

प्रक्रिया कम होती है और अतिरिक्त पानी धास के तिनकों की नोक पर विशेष छिद्रों से स्रावित जल बूंदों के रूप में लटकने लगता है। इस प्रकार द्रव के रूप में पानी का क्षय **बिंदुस्राव** (गटेशन) कहलाता है।

जल परिवहन की कुल क्रिया में मूल दाब केवल एक साधारण दाब ही प्रदान कर पाता है। यह उच्च वृक्षों में जल के चलन में इसकी कोई बड़ी भूमिका नहीं होती है। मूल दाब का व्यापक योगदान जाइलम में पानी के अणुओं को निरंतर कड़ी के रूप में स्थापित रखने में हो सकती है जो कि अक्सर वाष्पोत्सर्जन के द्वारा पैदा किए गए बहुत तनावों के कारण टूटती रहती है। अधिकांश जल को परिवहन करने में मूल दाब का कोई अर्थ नहीं है। अधिकतर पौधों की आवश्यकता वाष्पोत्सर्जनित खिंचाव से पूरी हो जाती है।

11.3.2.2 वाष्पोत्सर्जन खिंचाव

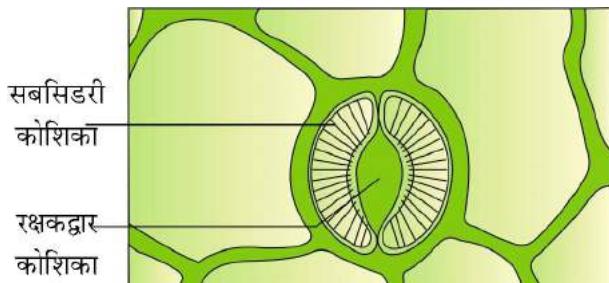
प्राणियों की भाँति पौधों में परिसंचरण तंत्र नहीं होता, इसके बावजूद, जाइलम के माध्यम से जल का ऊपरी बहाव पर्याप्त उच्च दर से, लगभग 15 मीटर प्रति घंटे तक हो सकता है। यह गति कैसे होती है? यह एक पेंचीदा सवाल आज तक सवाल ही बना हुआ है। पौधे के द्वारा पानी ऊपर की ओर 'धकेला' जाता है या फिर ऊपर से खींचा जाता है। अधिकतर शोधकर्ता सहमत हैं कि पौधों द्वारा पानी मुख्यतः खींचा जाता है और इसकी संचालन शक्ति पत्तियों में वाष्पोत्सर्जन की प्रक्रिया का परिणाम है। इसे जल परिवहन का संयंजन-तनाव वाष्पोत्सर्जन खिंचाव मॉडल के रूप में प्रस्तुत किया जाता है। परंतु इस वाष्पोत्सर्जन खिंचाव को कौन जनित कर रहा है?

पौधों में जल अस्थायी है। प्रकाश-संश्लेषण एवं वृद्धि के लिए पत्तियों में पहुँचने वाले पानी का एक प्रतिशत से भी कम प्रयोग किया जाता है। पानी की अधिकतर मात्रा पत्तियों से रंध्र द्वारा उड़ा दी जाती है। जल की यही क्षति वाष्पोत्सर्जन कहलाती है।

आपने पिछली कक्षाओं में वाष्पोत्सर्जन का अध्ययन एक स्वस्थ पादप को पॉलीथिन के अंदर रखकर और उसके अंदर की सतह पर जल की सूक्ष्म बूंदों का अवलोकन करके किया होगा। आप पत्ती से पानी की इस कमी की प्रक्रिया को कोबाल्टक्लोराइड पेपर द्वारा कर सकते हैं, जिसका रंग पानी अवशोषित करने पर बदल जाता है।

11.4 वाष्पोत्सर्जन (ट्रांसपिरेशन)

वाष्पोत्सर्जन, पौधों द्वारा जल का वाष्प के रूप में परिवर्तन तथा इससे उत्पन्न क्षति है। मुख्यतः यह पत्तियों में पाए जाने वाले रंध्रों से होता है। वाष्पोत्सर्जन में पानी का वाष्प बनकर उड़ने के अलावा ऑक्सीजन एवं कार्बनडाइऑक्साइड का आदान-प्रदान भी पत्तियों में छोटे छिद्रों जिन्हें रंध्र कहते हैं, के द्वारा होता है। सामान्यतः ये रंध्र दिन में खुले रहते हैं और रात में बंद हो जाते हैं। रंध्र का बंद होना और खुलना रक्षक कोशिकाओं के स्फीति (टरगर) में बदलाव से होता है। प्रत्येक रक्षक कोशिका की आंतरिक भित्ति रंध्रछिद्र की तरफ काफी मोटी एवं तन्यतापूर्ण होती है। रंध्र को घेरे दो रक्षक कोशिकाओं में जब स्फीति दाब बढ़ता है तो पतली बाहरी भित्तियाँ बाहर की ओर उभरती हैं और अंदरूनी भित्ति को अर्धचंद्राकार स्थिति में आने को मजबूर करती है। रंध्र छिद्र के खुलने



चित्र 11.8 रक्षक कोशिका रंध्र के साथ

ट्रिपाशर्वीय (प्रायः एक बीजपत्री) पत्ती में रंध्रों की संख्या दोनों तरफ लगभग बराबर होती है।

वाष्पोत्सर्जन कई बाहरी कारकों जैसे कि ताप, प्रकाश, आर्द्रता एवं वायु की गति से प्रभावित होता है—वाष्पोत्सर्जन को प्रभावित करने वाले अन्य पादप कारक जैसे कि रंध्रों की संख्या एवं वितरण, खुले रंध्रों का प्रतिशत, पौधों में पानी की उपस्थिति तथा वितान रचना आदि हैं।

जाइलम रस का वाष्पोत्सर्जित रूप से ऊपर चढ़ना मुख्य रूप से पानी के निम्न भौतिक गुणों पर निर्भर करता है:

सासंजन — जल के अणुओं के बीच आपसी आकर्षण

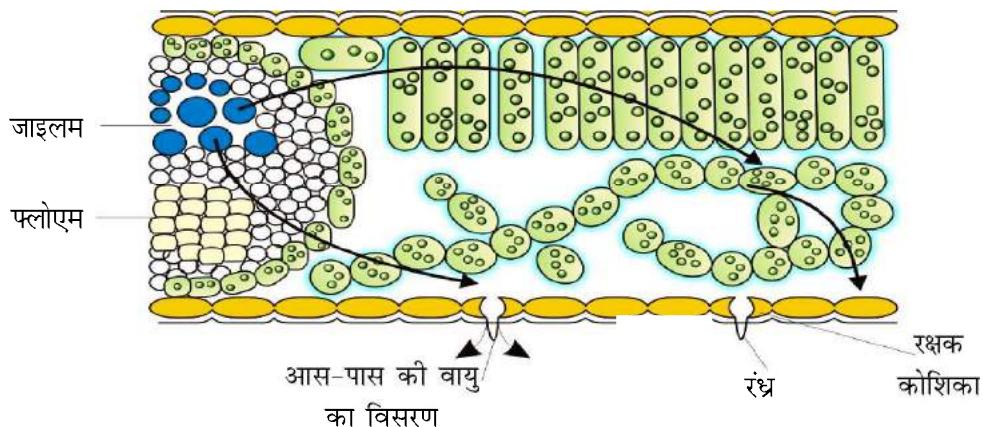
आसंजन — जल अणुओं का ध्रुवीय सतह की ओर आकर्षण (जैसे कि वाहिकीय तत्वों की सतह)

पृष्ठ तनाव — पानी के अणु का द्रव अवस्था में गैसीय अवस्था की अपेक्षा एक दूसरे से अधिक आकर्षित होना।

पानी की ये विशिष्टताएँ उसे उच्च तन्य सामर्थ्य प्रदान करती हैं, जैसे एक केशिकात्व खिंचाव शक्ति से प्रतिरोध की क्षमता तथा उच्च केशिकात्व अर्थात् किसी पतली नलिका में चढ़ने की क्षमता। पौधों में केशिकात्व को लघुव्यास वाले वाहिकीय, तत्व जैसे ट्रैकीड एवं वाहिका तत्व से भी सहायता मिलती है।

प्रकाश-संश्लेषण प्रक्रिया के लिए जल की आवश्यकता होती है। जाइलम वाहिकाएँ पानी को जरूरत के अनुसार जड़ से पत्ती की शिराओं तक पहुँचाती हैं। लेकिन वह कौन सी शक्ति है, जो पानी के अणुओं को पत्ती के मृदूतक तक जरूरत के अनुसार खींच लाती है। जैसे ही वाष्पोत्सर्जन होता है और चूँकि पानी की पतली परत कोशिकाओं के ऊपर लगातार होती है, अतः यह जाइलम से पत्ती तक पानी के अणुओं को खींचने में प्रतिफलित होता है। अधोरंध्री गुहिका तथा अंतरा कोशिका जगत के बजाय वातावरण में जलवाष्प की सांद्रता कम होती है, अतः पानी पास की हवा में विसरित हो जाता है और यह खिंचाव पैदा करता है (चित्र 11.9)। मापन से स्पष्ट होता है कि वाष्पोत्सर्जन द्वारा पैदा किया गया बल पानी को जाइलम के आकार के स्तंभ में 130 मीटर की ऊँचाई तक खींचने के लिए पर्याप्त होता है।

में रक्षक कोशिका की भित्तियों में उपस्थित सूक्ष्म सूत्राभ (माइक्रोफिबरिल) भी सहायता करता है। सेलुलोज सूक्ष्मसूत्राभ का अभिविन्यास अरीय क्रम से होता है न कि अनुदैर्घ्य क्रम से, जो रंध्रछिद्र को आसानी से खोलता है। पानी की कमी होने पर जब रक्षक कोशिका की स्फीति समाप्त होती है (या जल तनाव खत्म होता है) तो तन्य आंतरिक भित्तियाँ पुनः अपनी मूल स्थिति में जाती हैं, तब रक्षक कोशिकाएँ ढीली पड़ जाती हैं और रंध्र छिद्र बंद हो जाते हैं। सामान्य तौर पर एक पृष्ठधारी (प्रायः द्विबीजपत्री) पत्ती के निचली ओर अधिक संख्या में रध्द होते हैं जबकि एक



चित्र 11.9 जल एवं आयन अवशोषण एवं जड़ों में चालन के सिंप्लास्टिक एवं एपोप्लास्टिक पथ

11.4.1 वाष्पोत्सर्जन एवं प्रकाश-संश्लेषण: एक समझौता

वाष्पोत्सर्जन में एक से अधिक उद्देश्य निहित होते हैं जो कि निम्नलिखित हैं:

- पौधों में अवशोषण एवं परिवहन के लिए वाष्पोत्सर्जन खिंचाव पैदा करना
- प्रकाश-संश्लेषण क्रिया के लिए पानी का संभरण
- मृदा से प्राप्त खनिजों का पौधों के सभी अंगों तक परिवहन करना
- पत्ती के सतह को वाष्पीकरण द्वारा 10 से 15 डिग्री तक ठंडा रखना
- कोशिकाओं को स्फीत रखते हुए पादपों के आकार एवं बनावट को नियंत्रित रखना

एक सक्रिय प्रकाश-संश्लेषण में रत पौधे को जल की अत्यंत ही आवश्यकता रहती है।

प्रकाश-संश्लेषण में उपलब्ध जल सीमाकारी हो सकता है, जिसे वाष्पोत्सर्जन और प्रभावित करता है। वर्षावनों में आर्द्रता इसी जल-चक्र के कारण वातावरण में तथा पुनः मृदा में देखी गई है।

$\text{सी-}4 (\text{C}_4)$ प्रकाश-संश्लेषण तंत्र का क्रम-विकास, संभवतः कार्बन-डाइऑक्साइड की उपलब्धता को बढ़ाने तथा पानी की क्षति को कम करने की रणनीति के तहत हुआ है। C_4 पौधे, C_3 की तुलना में कार्बन (शर्करा बनाने में) को सुस्थिर बनाने में दोगुना सक्षम होते हैं। C_4 पौधे C_3 पौधे से समान मात्रा के कार्बन डाइऑक्साइड के यौगिकीरण हेतु आधी मात्रा में जल को खोते (कम करता) हैं।

11.5 खनिज पोषक का उद्ग्रहण एवं संचरण

पौधे अपनी कार्बन एवं अधिकतर ऑक्सीजन की आवश्यक मात्रा वातावरण में उपलब्ध कार्बन डाइऑक्साइड से प्राप्त करते हैं; हालाँकि उनकी शेष पोषण की आवश्यकता हाइड्रोजन हेतु मृदा से प्राप्त खनिजों तथा जल से पूरी होती है।

11.5.1 खजिन आयनों का उद्ग्रहण

जल के समान, सभी खनिज तत्व जड़ों द्वारा निष्क्रियता विधि द्वारा अवशोषित नहीं किए जा सकते। इसके लिए दो कारक जिम्मेदार होते हैं। (i) मृदा के अंदर खनिजों का आवेशित रूप में रहना है जोकि कोशिका भित्ति को पार नहीं कर सकते हैं और (ii)

मृदा के अंतर्गत खनिजों की सांद्रता, जड़ों के अंदर की सांद्रता से प्रायः कम होती है। इसीलिए अधिकतर खनिज जड़ों में बाह्य त्वचा की कोशिकाओं की कोशिका द्रव्य में सक्रिय अवशोषण के द्वारा प्रवेश करते हैं। इसमें एटीपी के रूप में ऊर्जा की आवश्यकता होती है। आयन का सक्रिय उद्ग्रहण मूल में जल विभव प्रवणता के लिए अंशतः जिम्मेदार होता है, अतः परासरण द्वारा जल के प्रवेश के लिए भी कुछ आयन बाह्य त्वचा कोशिका में निष्क्रिय रूप से भी संचलन करते हैं। मूल रोम कोशिका की झिल्ली में पाए जाने वाले विशिष्ट प्रोटीन, आयन को मृदा से सक्रिय पंप द्वारा बाह्य त्वचा की कोशिकाओं के कोशिका द्रव्य में भेजती हैं। सभी कोशिकाओं की भाँति अंतःत्वचा में भी कोशिका की झिल्ली में कई परिवहन प्रोटीन पाए जाते हैं। वे कुछ विलेय की झिल्ली के आर-पार आने जाने देते हैं लेकिन अन्य को नहीं। अंतःत्वचा की कोशिकाओं के परिवहन प्रोटीन नियंत्रण बिंदु होते हैं, जहाँ पौधे विलेय की मात्रा एवं प्रकार को जाइलम में पहुँचाते हैं तथा समायोजित करते हैं। यहाँ ध्यान दें कि मूल अंतःत्वचा में सुबेरित की पट्टी होने के कारण एक दिशा में ही सक्रिय परिवहन करने की क्षमता होती है।

11.5.2 खनिज आयनों का स्थानांतरण

जब आयन सक्रिय या निष्क्रिय उद्ग्रहण से या फिर दोनों की सम्मिश्रित प्रक्रिया के माध्यम से जाइलम में पहुँच जाते हैं, तब उनका परिवहन पादप तने एवं सभी भागों तक वाष्पोत्सर्जन प्रवाह के माध्यम से होता है।

खनिज तत्वों के लिए मुख्य कुड़ पौधों की वृद्धि का क्षेत्र होता है जैसे कि शिखाग्र एवं पाश्व विभाज्योतक, तरुण-पत्तियाँ, विकासशील फूल, फल एवं बीज तथा भंडारण अंग। खनिज आयनों का विसर्जन महीन शिराओं के अंतिम छोर पर कोशिकाओं के द्वारा विसरण एवं सक्रिय उद्ग्रहण से होता है।

खनिज आयनों को जल्दी ही पुनःसंघटित विशेष रूप से पुराने जरावस्था वाले भाग से किया जाता है। पुरानी तथा मरती हुई पत्तियाँ अपने भीतर के खनिजों को नई पत्तियों में निर्यातित कर देती हैं। ठीक इसी प्रकार से पत्तियाँ पर्णपाती वृक्ष से झड़ने के पहले अपने खनिज तत्वों को अन्य भागों को दे देती हैं। जो पदार्थ प्रायः त्वरित संचारित या संघटित होते हैं; वे हैं फॉस्फोरस, सल्फर, नाइट्रोजन तथा पोटैशियम। कुछ तत्व जो कि संचरनात्मक कारक होते हैं, जैसे कि कैल्सियम, इन्हें पुनःसंघटित नहीं किया जाता है। जाइलम स्राव का विश्लेषण यह दर्शाता है कि कुछ नाइट्रोजन अकार्बनिक आयनों के रूप में तथा इसका अत्यधिक भाग कार्बनिक एमिनो अम्ल तथा संबंधित कारकों के रूप में ढोए जाते हैं। इसी तरह फॉस्फोरस एवं सल्फर भी कार्बनिक यौगिकों के रूप में पहुँचाए जाते हैं। इसके अलावा जाइलम एवं फ्लोएम के बीच भी पदार्थों का आदान-प्रदान होता है। अतः हम स्पष्ट रूप से अंतर नहीं कर पाते कि जाइलम केवल अकार्बनिक पोषकों का परिवहन करता है तथा फ्लोएम कार्बनिक पदार्थों का, जैसा कि पहले विश्वास किया जाता था।

11.6 फ्लोएम परिवहन: उद्गम से कुंड की ओर प्रवाह

आहार मुख्यतः शर्करा वाहिका ऊतक के फ्लोएम द्वारा उद्गम से कुंड की ओर परिवहनित किया जाता है। सामान्यतः स्रोत को पौधे का वह हिस्सा माना जाता है जहाँ आहार संश्लेषित होता है, जैसे कि पत्तियाँ और कुंड (सिंक)। यह वह भाग है, जहाँ

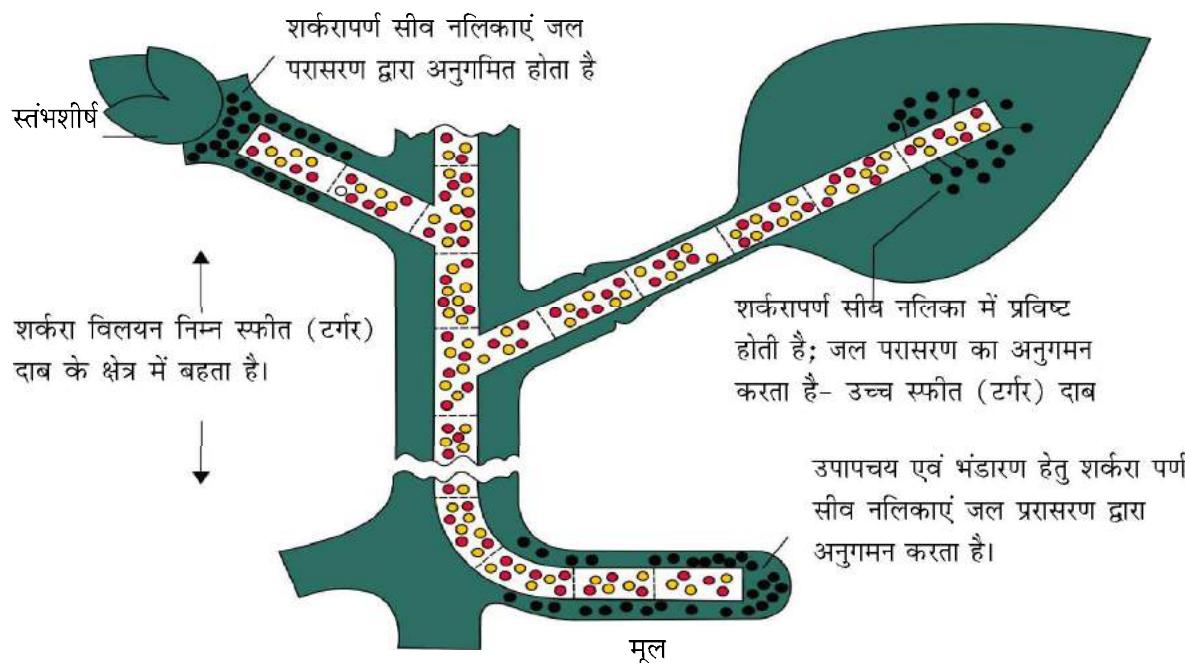
भोजन एकत्र होता है। लेकिन यह स्रोत और कुंड अपनी भूमिकाएँ मौसम एवं जरूरत के अनुसार बदल भी सकते हैं। जड़ों में एकत्र की गई शर्करा वसंत के आरंभ में आहार का स्रोत बन जाती है। इस समय पादपों पर नई कलियाँ कुंड का काम करती हैं। प्रकाश-संश्लेषण साधनों की वृद्धि एवं परिवर्धन हेतु ऊर्जा की आवश्यकता होती है। चूँकि स्रोत और कुंड का संबंध परिवर्तनशील है, अतः गति की दिशा ऊपर या नीचे की ओर अर्थात् दोतरफा हो सकती है। जाइलम के साथ यह विपरीत है, जहाँ गति सदैव नीचे से ऊपर की ओर एक दिशा में होती है। यद्यपि, वाष्पोत्सर्जन का जल एकतरफा प्रवाह करता है किंतु फ्लोएम के रस में भोजन का परिवहन सभी दिशाओं में हो सकता है। जब तक स्रोत और कुंड शर्करा का उपयोग संग्रहण तथा अपादान में सक्षम हों।

फ्लोएम रस में मुख्यतः जल और शर्करा होता है, लेकिन अन्य शर्कराएँ, हार्मोन तथा एमीनो अम्ल आदि भी फ्लोएम के द्वारा स्थानांतरित होते हैं।

11.6.1 दाब प्रवाह या सामूहिक प्रवाह परिकल्पना

स्रोत से कुंड की ओर शर्करा के स्थानांतरण के लिए आवश्यक स्वीकृत क्रियाविधि को दाब प्रवाह परिकल्पना कहते हैं (चित्र 11.10)। जैसे ही स्रोत पर ग्लूकोज (प्रकाश-संश्लेषण द्वारा) संश्लेषित होता है, शर्करा (एक डाइसैकरेइड) में बदल दिया जाता है। इसके बाद यह शर्करा सखी कोशिकाओं में तथा बाद में सक्रिय परिवहन द्वारा जीवंत फ्लोएम चालन नलिका कोशिका में संचरित होती है। स्रोत पर लदान (लोडिंग) की यह प्रक्रिया फ्लोएम में एक अतिपरासारी अवस्था को पैदा कर देता है।

निकटवर्ती जाइलम जल परासरण के द्वारा फ्लोएम में चला जाता है। जब परासरणी दाब फ्लोएम में बनता है तो फ्लोएम रस निम्न दाब के क्षेत्र में चला जाता है। कुंड पर परासरणी दबाव निश्चित रूप से घटना चाहिए। एक बार फिर फ्लोएम रस से शर्करा को



चित्र 11.10 स्थानांतरण की प्रक्रिया की आरेखीय प्रस्तुति

बाहर करने तथा उस कोशिका तक जहाँ शर्करा ऊर्जा, स्टार्च या सेलुलोज में बदलती है, ले जाने के लिए सक्रिय परिवहन आवश्यक होता है। जैसे ही शर्कराएँ हटती हैं, परासरणी दाब घटता है और जल फ्लोएम से बाहर चला जाता है।

सारांश में फ्लोएम शर्कराओं का परिवहन स्रोत से शुरू होता है, जहाँ शर्कराओं को एक चालानीनलिका में (सक्रिय परिवहन द्वारा) लादा जाता है। फ्लोएम की यह लदान एक जल विभव प्रवणता की शुरूआत करता है जो कि फ्लोएम में सामूहिक प्रवाह को सुगम बनाता है।

फ्लोएम ऊतक सीव ट्यूब कोशिकाओं (चालानी नलिका कोशिका) से बना होता है जो लंबी स्तंभ की रचना करता है, जिसके अंतिम भित्ति में छिद्र होता है, जिन्हें चालनी पट्टिका कहते हैं। कोशिका द्रव्यी तंतु चालनी पट्टिका के छिद्र में प्रवेशित होती है तथा सतत तंतु बनाती है। जैसे ही द्रवस्थैतिक दबाव फ्लोएम के चालनी नलिका में बढ़ता है दब विवाह शुरू हो जाता है तथा द्रव (रस) फ्लोएम से चलन करता है। इस बीच कुंड पर आने वाले शर्करा को फ्लोएम से सक्रिय रूप से तथा शर्करा के रूप में बाहर किया जाता है। फ्लोएम में विलेय की क्षति से एक उच्च जल विभव पैदा होता है और पानी अंत में जाइलम के पास आ जाता है।

एक साधारण प्रयोग, जिसे गिर्डलिंग कहा जाता है, उसका प्रयोग भोजन के परिवहन में होने वाले ऊतक को पहचानने में किया गया। पेड़ के स्तंभ पर छाल का एक वलय (रिंग) फ्लोएम तक सावधानीपूर्वक हटाया जाता है। नीचे की तरफ अब भोजन की गति न होने के कारण वलय के ऊपर की छाल कुछ सप्ताह के बाद फूल जाती है। यह साधारण प्रयोग दर्शाता है कि फ्लोएम ऊतक भोजन के स्थानांतरण के लिए उत्तरदायी है तथा परिवहन की दिशा एकदिशीय है, अर्थात् मूल की तरफ। इस प्रयोग को आसानी से किया जा सकता है।

सारांश

पौधे विभिन्न अकार्बनिक तत्वों (आयन) एवं लवणों को अपने आस-पास के पर्यावरण से, विशेषकर, हवा, पानी तथा मृदा से लेते हैं। इन पोषकों की गति पर्यावरण से पौधों में, तथा एक पौधे की कोशिका से दूसरे पौधे की कोशिका तक, आवश्यक रूप से झिल्ली के आर-पार परिवहन के द्वारा होती है। कोशिका झिल्ली के आर-पार परिवहन, विसरण, सुसाध्य परिवहन या सक्रिय परिवहन के द्वारा होता है। मूल के द्वारा अवशोषित खनिज एवं पानी को जाइलम के द्वारा संचारित किया जाता है तथा पत्तियों के द्वारा संश्लेषित कार्बनिक पदार्थ पादप के विभिन्न भागों में फ्लोएम के द्वारा परिवहन किए जाते हैं।

निष्क्रिय परिवहन (विसरण, परासरण) तथा सक्रिय संचरण, जीवों में पोषकों को झिल्लिकाओं के आर-पार संचरित करने के दो तरीके हैं। निष्क्रिय परिवहन में विसरण के द्वारा झिल्ली के आर-पार बिना ऊर्जा व्यय किए पोषकों की गति सांद्रता प्रवणता के अनुसार होती है। पदार्थों का विसरण आकार तथा उसके जल में या कार्बनिक विलेयन में घुलनशीलता पर निर्भर करता है। परासरण एक विशेष प्रकार का विसरण है, जिसमें जल अर्धपारगम्य झिल्ली के पार जाता है तथा दब एवं सांद्रता प्रवणता पर निर्भर करता है। सक्रिय परिवहन में एटीपी की ऊर्जा, अणुओं को सांद्रण प्रवणता के विरुद्ध झिल्ली के पार पंप करती है। जल विभव पानी की स्थितिज ऊर्जा है जो जल की गति में सहायता करती है। यह विलेय अंतःशक्ति तथा दब अंतःशक्ति द्वारा निर्धारित होती है। कोशिका का यह व्यवहार आस-पास के विलेयों पर निर्भर करता है। यदि कोशिका के आस-पास का विलेय अतिपरासारी है तो जीवद्रव्य कुंचित हो जाता है। बीजों एवं शुष्क काष्ठों द्वारा जल

का अवशोषण विशेष प्रकार के विसरण से होता है जिसे अंतःशोषण कहते हैं।

उच्च पौधों में, वाहिका तंत्र जाइलम और फ्लोएम स्थानांतरण के लिए उत्तरदायी होता है। जल खनिज तथा पोषक पादप शरीर के अंदर केवल विसरण द्वारा संचारित नहीं हो सकते हैं, इसलिए ये सामूहिक प्रवाह तंत्र द्वारा संचरित होते हैं। तत्वों का सामूहिक रूप में एक जगह से दूसरी जगह परिवहन दो बिंदुओं के बीच दाब के अंतर के कारण होता है।

मूल रोमों द्वारा अवशोषित जल जड़ों की गहराई में दो अलग-अलग पथों से जाता है। उदाहरणार्थ - एपोप्लास्ट तथा सिमप्लास्ट। मृदा से विविध आयन तथा जल तने की कम ऊँचाई तक मूलदाब से परिवहित किए जाते हैं। वाष्पोत्सर्जन खिंचावमंडल पानी के परिवहन का सर्वाधिक स्वीकृत रूप है। वाष्प के रूप में पादप के विभिन्न भागों द्वारा पानी का क्षय रंधों द्वारा होता है। ताप, प्रकाश, आईटा, वायु की गति वाष्पोत्सर्जन की दर को प्रभावित करती है। पानी की अधिक मात्रा पादप की पत्तियों के शीर्ष से बिंदुस्राव के द्वारा निकाला जाता है। पादपों में भोजन मुख्यतः शर्करा का परिवहन उद्गम से कुंड तक के लिए फ्लोएम जिम्मेवार होता है। फ्लोएम में स्थानांतरण दाब-प्रवाह परिकल्पना के द्वारा वर्णित किया गया है।

अभ्यास

- विसरण की दर को कौन से कारक प्रभावित करते हैं?
- पोरीन्स क्या है? विसरण में ये क्या भूमिका निभाते हैं?
- पादपों में सक्रिय परिवहन के दौरान प्रोटीन पंप के द्वारा क्या भूमिका निभाई जाती है, व्याख्या करें?
- शुद्ध जल का सबसे अधिक जल विभव क्यों होता है, वर्णन करें?
- निम्न के बीच अंतर स्पष्ट करें:-
 (क) विसरण एवं परासरण (ख) पाष्पोत्सर्जन एवं वाष्पीकरण
 (ग) परासारी दाब तथा परासारी विभव (घ) विसरण एवं अंतःशोषण
 (च) पादपों में पानी के अवशोषण का एपोप्लास्ट और सिमप्लास्ट पथ
 (छ) बिंदुस्राव एवं परिवहन (अभिगमन)
- जल विभव का संक्षिप्त वर्णन करें। कौन से कारक इसे प्रभावित करते हैं? जल, विभव, विलेय विभव तथा दाब विभव के आपसी संबंधों की व्याख्या करें।
- तब क्या होता है जब शुद्ध जल या विलेयन पर पर्यावरण के दाब की अपेक्षा अधिक दाब लागू किया जाता है?
- (क) रेखांकित चित्र की सहायता से पौधों जीवद्रव्य कुंचन की विधि का वर्णन उदाहरण देकर करें।
 (ख) यदि पौधे की कोशिका को उच्च जल विभव वाले विलेयन में रखा जाए तो क्या होगा?
- पादप में जल एवं खनिज के अवशोषण में माइक्रोराइजलीय (कवकमूल सहजीवन) संबंध कितने सहायक हैं?
- पादप में जल परिवहन हेतु मूलदाब क्या भूमिका निभाता है?
- पादपों में जल परिवहन हेतु वाष्पोत्सर्जन खिंचावमंडल की व्याख्या करें। वाष्पोत्सर्जन क्रिया को कौन सा कारक प्रभावित करता है, पादपों के लिए कौन उपयोगी है?
- पादपों में जाइलम रसारोहण के लिए जिम्मेदार कारकों की व्याख्या करें।
- पादपों में खनिजों के अवशोषण के दौरान अंतःत्वचा की आवश्यक भूमिका क्या होती है?
- जाइलम परिवहन एकदिशीय तथा फ्लोएम परिवहन द्विदशीय होता है? व्याख्या करें।
- पादपों में शर्करा के स्थानांतरण के दाब प्रवाह परिकल्पना की व्याख्या कीजिए।
- पाष्पोत्सर्जन के दौरान रक्षकद्वार कोशिका खुलने एवं बंद होने के क्या कारण हैं?

अध्याय 12

खनिज पोषण

- 12.1 पादपों में खनिज अनिवार्यताओं की अध्ययन विधि
- 12.2 अनिवार्य खनिज तत्व
- 12.3 तत्वों के अवशोषण की क्रियाविधि
- 12.4 विलेय का स्थानांतरण
- 12.5 मृदा अनिवार्य तत्वों के संचयिता के रूप में
- 12.6 नाइट्रोजन का उपापचय
- सभी जीवों की मूलभूत आवश्यकताएं अनिवार्य रूप से एक समान होती हैं। उनको अपनी वृद्धि एवं परिवर्धन के लिए बहुत अणु जैसे कि कार्बोहाइड्रेट, प्रोटीन, वसा एवं खनिज लवणों की अनिवार्यता होती है।
- यह अध्याय मुख्यतः अकार्बनिक पादप पोषण की ओर केंद्रित है, जिसमें आप पौधों की वृद्धि एवं परिवर्धन के लिए अनिवार्य तत्वों को पहचानने के तरीकों और उनकी अनिवार्यता निर्धारित करने वाले मापदंडों का अध्ययन करेंगे। आप अनिवार्य तत्वों की भूमिका, उनकी कमी से होने वाले लक्षणों और उनकी अवशोषण क्रियाविधि का भी अध्ययन करेंगे। यह अध्याय आपको संक्षेप में जीव N_2 स्थिरीकरण के महत्व और क्रियाविधि से भी अवगत कराता है।

12.1 पादपों की खनिज अनिवार्यता के अध्ययन की विधि

जूलियस सैक्स (1860) एक प्रमुख जर्मन पादपविद् ने सर्वप्रथम यह प्रदर्शित किया कि पादपों को मृदा की अनुपस्थिति में, पोषक विलयन के घोल में वयस्क अवस्था तक उगाया जा सकता है। पादपों को पोषक विलयन के घोल में उगाने की यह तकनीक जल-संवर्धन (Hydroponics) के नाम से जानी जाती है। उसके बाद कई उन्नत विधियां प्रयोग में लाई गई हैं, जिससे पादपों के लिए खनिज पोषकों की अनिवार्यता तय की जा सके। उपरोक्त सभी विधियों के प्रयोग का निष्कर्ष पादपों को मृदा विहीन पोषक विलयन के घोल में उगाना है। इन विधियों में शुद्धिकृत जल एवं पोषक खनिज की अनिवार्यता होती है। क्या आप समझा सकते हैं कि यह अति अनिवार्य क्यों है?

शृंखलाबद्ध प्रयोगों के पश्चात जिसके अंतर्गत पादपों की जड़ों को पोषक विलयन में डुबाया गया और उसमें एक तत्व को डाला और हटाया गया तथा विभिन्न सांद्रताओं में

दिया गया तो एक खनिज विलयन (Mineral solution) प्राप्त हुआ, जो पादप वृद्धि के लिए उपयुक्त था। इस विधि के द्वारा अनिवार्य तत्वों को पहचाना गया और उनकी कमी से होने वाले लक्षणों की खोज की गई। जल संवर्धन की तकनीक को सब्जियों जैसे कि टमाटर, बीजविहीन खीरा और सलाद (Lettuce) के व्यापारिक उत्पादन हेतु सफलतापूर्वक लागू किया गया है। यह ध्यान देने योग्य है कि पादप की आदर्श वृद्धि के लिए पोषक विलयन को प्रचुर वायुवीय (aerated) रखा जाए। यदि घोल अल्प वायुवीय होगा तो क्या होगा? जल संवर्धन तकनीक को रेखा चित्र 12.1 और 12.2 में दर्शाया गया है।

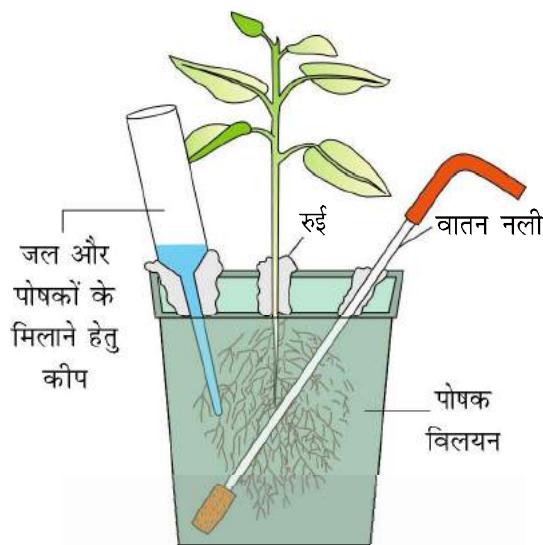
12.2 अनिवार्य खनिज तत्व

मृदा में उपस्थित अधिकांश खनिज तत्व जड़ों से पौधों में प्रवेश कर सकते हैं। तथ्यों के अनुसार अभी तक खोजे गए 105 खनिज तत्वों में से 60 से अधिक तत्व विभिन्न पौधों में पाए गए हैं। कुछ पौधों की प्रजातियाँ सिलिनियम का संग्रह करती हैं, कुछ गोल्ड का तथा नाभिकीय परीक्षण स्थलों के समीप उगने वाले पौधे रेडियोएक्टिव स्ट्रॉनशियम जम कर लेते हैं। पौधों में खनिज की न्यूनतम सांदर्भता (10^{-8}g/mL) को भी पता करने की तकनीक आज उपलब्ध है। प्रश्न यह उठता है कि क्या सभी विभिन्न खनिज तत्व जो पौधों में पाए जाते हैं, उदाहरण के लिए ऊपर वर्णित स्वर्ण तथा स्ट्रॉनशियम वास्तव में पौधों के लिए अनिवार्य हैं? हम यह कैसे निर्धारित करें कि पौधों के लिए अनिवार्य हैं या नहीं?

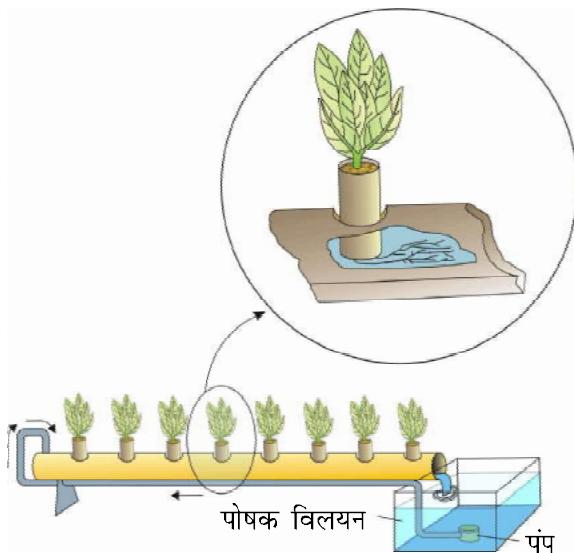
12.2.1 अनिवार्यता निर्धारण के मापदंड

किसी तत्व की अनिवार्यता के मापदंड निम्नानुसार हैं-

- तत्व को पादप की सामान्य वृद्धि और जनन हेतु नितांत आवश्यक होना चाहिए। उस तत्व की अनुपस्थिति में पौधे अपना जीवनचक्र पूरा नहीं कर पाएं अथवा बीज भी धारण नहीं कर पाएं।
- तत्व की अनिवार्यता 'विशिष्ट' होनी चाहिए और इसे किसी अन्य तत्व द्वारा प्रतिस्थापन करना संभव नहीं होना चाहिए। दूसरे शब्दों में, किसी एक तत्व की कमी को किसी अन्य तत्व के द्वारा दूर नहीं किया जा सकता है।
- तत्व पादप के उपापचय में प्रत्यक्ष रूप में सम्मिलित हों।



चित्र 12.1 पोषक विलयन संवर्धन के लिए एक आदर्श अवस्था का आरेख



चित्र 12.2 जल संवर्धन से पौधों का उत्पादन। पौधे थोड़ी आनत नली या नाली में रखे जाते हैं। एक पंप पोषक विलयन को संचयिता से उठे हुए भाग तक नली में परिसंचरित करता है। विलयन नली के नीचे जाता है और संचयिता तक गुरुत्व के कारण पहुँच जाता है। दी गई व्यवस्था में वे पौधे दिखाए गए हैं जिनका मूल सतत वायवीय पोषक विलयन में डूबा हुआ है। रेखा बहाव गति को दर्शाती है।

उपरोक्त मापदंडों के आधार पर केवल कुछ ही तत्व पौधों की वृद्धि एवं उपापचय के लिए नियंत्रित रूप से अनिवार्य माने गए हैं। उनको आवश्यक मात्रा के आधार पर दो व्यापक श्रेणियों में बाँटा गया है।

(i) वृहत् पोषक (ii) सूक्ष्म पोषक

वृहत् पोषक: वृहत् पोषकों को सामान्यतः पादप के शुष्क पदार्थ का 1 से 10 मि. ग्राम/लीटर की सांदर्भता से विद्यमान होना चाहिए। इस श्रेणी में आने वाले तत्व हैं- कार्बन, हाइड्रोजन, ऑक्सीजन, फॉस्फोरस सल्फर, पोटैसियम, कैल्सियम और मैग्नेसियम। इनमें से कार्बन, हाइड्रोजन तथा ऑक्सीजन मुख्यतया CO_2 एवं H_2O से प्राप्त होते हैं जबकि दूसरे मृदा से खनिज के रूप में अवशोषित किए जाते हैं।

सूक्ष्म पोषक: सूक्ष्म पोषकों अथवा लेशमात्रिक तत्वों की अनिवार्यता अत्यंत सूक्ष्म मात्रा में होती है (0.1 मि.ग्राम/ लीटर शुष्क भार के बराबर या उससे कम)। इनके अंतर्गत लौह, मैग्नीज, तांबा, मोलिब्डेनम, जिंक, बोरोन, क्लोरीन और निकिल सम्मिलित हैं।

उपरोक्त वर्णित 17 अनिवार्य तत्वों के अतिरिक्त, कुछ लाभदायक तत्व भी हैं; जैसे कि सोडियम, सिलिकॉन, कोबाल्ट तथा सिलिनियम। ये उच्च श्रेणी के पौधों के लिए अनिवार्य होते हैं।

अनिवार्य तत्वों को उनके विविध कार्यों के आधार पर सामान्यतः चार श्रेणियों में बाँटा जा सकता है। ये श्रेणियाँ हैं:

- (i) अनिवार्य तत्व जैव अणुओं के घटक हैं, अतः कोशिका के रचनात्मक तत्व हैं (जैसे कार्बन, हाइड्रोजन, ऑक्सीजन और नाइट्रोजन)।
- (ii) अनिवार्य तत्व जो पौधे की ऊर्जा से संबंधित रासायनिक यौगिकों के घटक हैं; जैसे पर्णहरित (chlorophyll) में मैग्नीसियम और एटीपी में फॉस्फोरस।
- (iii) अनिवार्य तत्व जो एंजाइमों को सक्रिय या बाधित करते हैं जैसे Mg^{2+} राइबुलोज बिसफॉस्फेट कार्बोक्सिलेस-ऑक्सीजिनेस और फॉस्फोइनॉल पाइरुवेट कार्बोक्सिलेस दोनों को सक्रिय करता है। ये दोनों एंजाइम प्रकाश संश्लेषणीय कार्बन स्थिरीकरण में अति महत्वपूर्ण हैं। Zn^{2+} एल्कोहल डिहाइड्रोजिनेस को क्रियाशील करता है तथा Mo नाइट्रोजन उपापचय के दौरान नाइट्रोजिनेस को क्रियाशील करता है। क्या आप इस श्रेणी में कुछ और नाम जोड़ सकते हैं? इस काम के लिए, आप को पहले अध्ययन किए गए जीव रसायन पथों का संग्रहण अनिवार्य होगा।
- (iv) कुछ अनिवार्य तत्व कोशिका के परासाणी विभव को बदलते हैं। पोटैसियम की रस्त्रों के खुलने और बंद होने में महत्वपूर्ण भूमिका है। आप फिर से कोशिका के जल विभव को निर्धारित करने में खनिजों के विलेय के रूप में भूमिका को स्मरण करें।

12.2.2 वृहत् एवं सूक्ष्म पोषकों की भूमिका

अनिवार्य तत्वों को कई क्रिया करनी होती हैं। वे पौधों की कोशिकाओं की विभिन्न उपापचयी प्रक्रियाओं में भाग लेते हैं। उदाहरणार्थ कोशिका ज़िल्ली की पारगम्यता, कोशिक द्रव के परासरण दाब का नियंत्रण, इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र, बफर कार्य, एंजाइम से संबंधित कार्य और वृहद् अणु तथा सह एंजाइम्स के मुख्य संघटक का कार्य करते हैं। आवश्यक पोषक तत्वों के रूप व क्रियाएं निम्नानुसार हैं:

नाइट्रोजन: इस तत्व की अनिवार्यता पौधों में सर्वाधिक मात्रा में होती है। इसका अवशोषण मुख्यतः NO_3^- के रूप में होता है। लेकिन कुछ मात्रा NO_2^- अथवा NH_4^+ के रूप में भी ली जाती है। इसकी अनिवार्यता पौधों के सभी भागों विशेषतः विभज्योतक ऊतकों एवं सक्रिय उपापचयी कोशिकाओं में होती है। नाइट्रोजन प्रोटीन, न्यूक्लिक अम्लों, विटामिन और हार्मोन का एक मुख्य संघटक है।

फॉस्फोरस: पादपों द्वारा फॉस्फोरस मृदा से फॉस्फेट आयनों (H_2PO_4^- अथवा HPO_4^{2-}) के रूप में अवशोषित किया जाता है। यह कोशिका डिल्ली, कुछ प्रोटीन, सभी न्यूक्लिक अम्लों एवं न्यूक्लियोटाइड के लिए संघटक है तथा सभी फॉस्फोराइलेशन क्रियाओं में इसका महत्व है।

पोटेशियम: पादपों द्वारा इसका अवशोषण पोटैशियम आयन (K^+) के रूप में होता है। इसकी पौधों के विभज्योतक ऊतकों, कलिकाओं, पर्णों, मूलशीर्षों में अधिक मात्रा जरूरत होती है। पोटैशियम कोशिकाओं में घनायन-ऋणायन संतुलन का निर्धारण करने में सहायक होता है। साथ ही यह प्रोटीन संश्लेषण, रंध्रों के खुलने और बंद होने, एंजाइम सक्रियता और कोशिकाओं को स्फीत अवस्था में बनाए रखने में शामिल होता है।

कैल्शियम: पादप कैल्शियम को मृदा से कैल्शियम आयनों (Ca^{2+}) के रूप में अवशोषित करते हैं। इसकी आवश्यकता विभज्योतक तथा विभेदित होते हुए ऊतकों को अधिक होती है। कोशिका विभाजन के दौरान कोशिका भित्ति के संश्लेषण में भी इसका उपयोग होता है विशेष रूप से मध्य पट्टिका में कैल्शियम पेक्टेट के रूप में। इसकी अनिवार्यता समसूत्री तर्कु निर्माण के दौरान भी होती है। यह पुरानी पत्तियों में एकत्रित हो जाता है। यह कोशिका डिल्लियों की सामान्य क्रियाओं में शामिल होता है। यह कुछ एंजाइम को सक्रिय करता है तथा उपापचय कार्यों के नियंत्रण में महत्वपूर्ण भूमिका अदा करता है।

मैग्नीशियम: यह पादपों द्वारा द्वियोजी मैग्नीशियम (Mg^{2+}) आयन के रूप में अवशोषित होता है। यह प्रकाश-संश्लेषण तथा श्वसन क्रिया के एंजाइमों को सक्रियता प्रदान करता है तथा डीएनए तथा आरएनए के संश्लेषण में भी शामिल होता है। Mg क्लोरोफिल के वलय संरचना का संघटक है और राइबोसोम के आकार को बनाए रखने में सहायक है।

गंधक: पादप गंधक को सल्फेट (SO_4^{2-}) के रूप में लेता है। यह सिस्टीन (Cysteine) व मेथियोनीन (Methionine) नामक अमीनो अम्लों में पाया जाता है तथा अनेक विटामिनों (थायमीन, बायोटीन, कोएंजाइम ए) एवं फेरेडोक्सिन का मुख्य संघटक है।

लोहा: पादप लोहा को फेरिक आयन (Fe^{3+}) के रूप में लेता है। पौधों को इसकी अनिवार्यता किसी अन्य सूक्ष्ममात्रिक तत्व की अपेक्षा अधिक मात्रा में होती है। यह फेरेडोक्सिन तथा साइटोक्रोम जैसे प्रोटीन का भाग है जो कि इलेक्ट्रॉन के स्थानांतरण में संलग्न रहता है। इनका इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण के समय Fe^{2+} से Fe^{3+} के रूप में विपरीत ऑक्सीकरण होता है। यह केटेलैज एंजाइम को सक्रिय कर देता है और पर्णहरित के निर्माण के लिए अनिवार्य होता है।

मैग्नीज: यह मैग्नेस आयन (Mn^{2+}) के रूप में अवशोषित किया जाता है। यह प्रकाशसंश्लेषण, श्वसन तथा नाइट्रोजन उपापचय के अनेक एंजाइमों को सक्रिय कर देता

है। मैग्नीज का प्रमुख कार्य प्रकाश-संश्लेषण के दौरान जल के अणुओं को विखंडित कर ऑक्सीजन को उत्सर्जित करना है।

जिंक: पादप जिंक को, जिंक (Zn^{2+}) आयन के रूप में लेते हैं। यह विविध एंजाइमों को विशेषतः कार्बोक्सीलेस को सक्रिय करता है। इसकी अनिवार्यता ऑक्सिन संश्लेषण में भी होती है।

तांबा: यह क्यूप्रिक आयन (Cu^{2+}) के रूप में अवशोषित होता है। यह पादपों के समग्र उपापचय के लिए अनिवार्य होता है। लौह की तरह यह भी रेडॉक्स प्रतिक्रिया से जुड़े विशेष एंजाइमों के साथ संलग्न रहता है तथा यह भी विपरित दिशा में Cu^+ से Cu^{2+} में ऑक्सीकृत होता है।

बोरोन: यह BO_3^{3-} अथवा $B_4O_7^{2-}$ आयनों के रूप में अवशोषित होता है। इसकी अनिवार्यता Ca^{2+} को ग्रहण तथा उपयोग करने, ज़िल्ली की कार्यशीलता व पराग अंकुरण कोशिका दीर्घीकरण, कोशिका विभेदन एवं कार्बोहाइड्रेट के स्थानांतरण में होती है।

मॉलिब्डेनम: पादप इसे मॉलिब्डेट आयन (MoO_4^{2-}) के रूप में लेते हैं। यह नाइट्रोजन उपापचय के अनेक एंजाइमों, जैसे कि नाइट्रोजिनेस और नाइट्रेट रिडक्टेस तथा कई अन्य एंजाइमों का घटक है।

क्लोरीन: इसे क्लोराइड एनायन (Cl^-) के रूप में अवशोषित किया जाता है। पोटेशियम (K^+) एवं सोडियम (Na^+) के साथ मिलकर यह कोशिकाओं में विलेय की सांद्रता तथा एनायन केटायन संतुलन के निर्धारण करने में सहायता प्रदान करती है। यह प्रकाश-संश्लेषण में जल के विखंडन के लिए अनिवार्य है, जिससे ऑक्सीजन का निकास होता है।

12.2.3 अनिवार्य तत्वों की अपर्याप्तता के लक्षण

अनिवार्य तत्वों की सीमित आपूर्ति होने पर पादपों की वृद्धि अवरुद्ध होती है। अनिवार्य तत्वों की वह सांद्रता जिससे कम होने पर पादपों की वृद्धि अवरुद्ध होती है, वह क्रांतिक सांद्रता कहलाती है। इसलिए क्रांतिक सांद्रता के कम होने पर तत्व भिन्न हो जाता है। प्रत्येक तत्व की पौधों में एक या अधिक विशेष संरचनात्मक और कार्यात्मक भूमिका होती है, अतः उक्त तत्व की कमी से पादपों में कुछ आकारिकीय बदलाव आते हैं। ये आकारिकीय बदलाव तत्व की अपर्याप्तता को दर्शाते हैं जिसे अपर्याप्तता संबंधी लक्षण कहते हैं। अपर्याप्तता लक्षण, तत्व के अनुसार भिन्न-भिन्न होते हैं और पौधों में इस तत्व की आपूर्ति कराने पर ये लक्षण विलुप्त हो जाते हैं। यदि यह कमी बनी रहे तो अंततः पादप की मृत्यु हो जाती है। पादपों के भाग जो अपर्याप्तता के लक्षण दर्शाते हैं, उक्त तत्व की गतिशीलता पर भी निर्भर करते हैं। पादप में जहां तत्व सक्रियता से गतिशील रहते हैं तथा तरुण विकासशील ऊतकों में नियांति होते हैं, वहां अपर्याप्तता के लक्षण पुराने ऊतकों में पहले प्रकट होते हैं।

उदाहरण के लिए नाइट्रोजन, पोटेशियम और मैग्नीशियम अपर्याप्तता के लक्षण सर्वप्रथम जीर्यमान पत्तियों में प्रकट होते हैं। पुरानी पत्तियों के जिन जैव अणुओं में ये तत्व होते हैं, विखंडित होकर नई पत्तियों तक गतिशील किया जाता है। जब तत्व अगतिशील होते हैं और वयस्क अंगों से बाहर अभिगमित नहीं होते, तो अपर्याप्तता लक्षण नई पत्तियों

में प्रकट होते हैं। उदाहरण के लिए तत्व कैल्शियम कोशिका की संरचनात्मक इकाई का भाग हैं अतः ये आसानी से रूपांतरित नहीं होता है।

पौधों के खनिज पोषण का यह पहलू कृषि और उद्यान विज्ञान के लिए आवश्यक तथा महत्वपूर्ण है। पौधों द्वारा दर्शाए जाने वाले अपर्याप्तता लक्षणों के अंतर्गत क्लोरोसिस, नेक्रोसिस, अवरुद्ध पादप वृद्धि, अपरिपक्व पत्तियों व कलिकाओं का झड़ना और कोशिका विभाजन का रुकना आदि आते हैं। पत्तियों के क्लोरोफिल के हास से पीलापन आना क्लोरोसिस कहलाता है। ये लक्षण N, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn और Mo की कमी से होते हैं। Ca, Mg, Cu और K की कमी से नेक्रोसिस या ऊतकों या मुख्य रूप से पत्तियों की मृत्यु होती है। N, K, S एवं Mo की अनुपस्थिति या इनके निम्न स्तर के कारण कोशिका का विभाजन रुक जाता है। कुछ तत्व जैसे कि N, S, एवं Mo की सांद्रता कम होने के कारण पुष्पन में देरी होती है।

उपरोक्त विवरण से आप देख सकते हैं कि किसी तत्व की अपर्याप्तता से कई लक्षण प्रकट होते हैं। और यह लक्षण एक या विभिन्न तत्वों की अपर्याप्तता से हो सकते हैं। अतः अपर्याप्त तत्व को पहचानने के लिए पौधे के विभिन्न भागों में प्रकट होने वाले लक्षणों का अध्ययन करना पड़ता है और उपलब्ध तथा मान्य तालिका से तुलना करनी होती है। हमें इस बात से भी अवगत रहना चाहिए कि समान तत्व की कमी होने पर भिन्न-भिन्न पौधे, भिन्न प्रतिक्रिया देते हैं।

12.2.4 सूक्ष्म पोषकों की आविष्टा

सूक्ष्म पोषकों की अनिवार्यता न्यून मात्रा में होती है, लेकिन मामूली कमी से भी अपर्याप्तता के लक्षण और अल्प वृद्धि आविष्टा उत्पन्न होती हैं। दूसरे शब्दों में, सांद्रताओं के सकीर्ण परिसर में ही कोई तत्व अनुकूलतम होता है। किसी खनिज आयन की वह सांद्रता जो ऊतकों के शुष्क भार में 10 प्रतिशत की कमी करे, उसे आविष माना गया है। इस तरह की क्रांतिक सांद्रता (Critical Concentration) विभिन्न सूक्ष्ममात्रिक तत्वों के बीच भिन्न होती है। आविष्टा के लक्षणों की पहचान मुश्किल होती है। अलग-अलग पादपों के तत्वों की आविष्टा स्तर भिन्न होती है। कई बार किसी एक तत्व की अधिकता दूसरे तत्व के अधिग्रहण को अवरुद्ध करती है। उदाहरण के लिए, मैग्नीज की आविष्टा के मुख्य लक्षण हैं— भूरे धब्बों का आविर्भाव, जो कि क्लोरिटिक शिराओं द्वारा घिरी रहती है। यह जानना अनिवार्य है कि लौह एवं मैग्नीशियम के साथ मैग्नीज अंतर्ग्रहण तथा मैग्नीशियम के साथ एंजाइम्स में जुड़ने के लिए प्रतियोगिता करता है। मैग्नीज स्तंभशीर्ष में कैल्शियम स्थानांतरण को भी बाधित करता है। इसलिए मैग्नीज की अधिकता से लौह, मैग्नीशियम और कैल्शियम की कमी हो जाती है। अतः जो लक्षण हमें मैग्नीज की कमी से प्रतीत होते हैं, वे वास्तव में लौह, मैग्नीशियम और कैल्शियम की कमी से होते हैं। क्या यह ज्ञान किसानों, बागवानों या आपके किचन-गार्डन में आपके लिए कुछ लाभदायक हो सकता है?

12.3 तत्वों के अवशोषण की क्रियाविधि

पौधों से तत्वों के अवशोषण की क्रिया विधि का अध्ययन अलग कोशिकाओं, ऊतकों तथा अंगों में किया गया है। ये अध्ययन व्यक्त करते हैं कि अवशोषण की प्रक्रिया को दो मुख्य

अवस्थाओं में सीमांकित किया जा सकता है। प्रथम अवस्था में कोशिकाओं के मुक्त अथवा बाह्य स्थान (ऐपोलास्ट) में तीव्र गति से आयन का अंतर्ग्रहण होना निष्क्रिय अवशोषण है। दूसरी अवस्था में कोशिकाओं की आंतरिक स्थान (सिम्प्लास्ट) में आयन धीमी गति से अंतर्ग्रहण किये जाते हैं। ऐपोप्लास्ट में आयनों की निष्क्रिय गति साधारणतया आयन चैनलों के द्वारा होती है जो कि ट्रांस ड्यूली प्रोटीन होते हैं और चयनात्मक छिद्रों का कार्य करते हैं। दूसरी तरफ सिम्प्लास्ट में आयनों के प्रवेश और निष्कासन में उपापचयी ऊर्जा की अनिवार्यता होती है। यह एक सक्रिय प्रक्रिया है। आयनों की गति को प्रायः अभिवाह (Flux) कहते हैं। कोशिका के अंदर की गति को अंतर्वाह (Influx) और बाहर की गति को बहिर्वाह (Efflux) कहते हैं। आपने यह 11 वें अध्याय में पढ़ा है कि पादपों में खनिज लवणों का अंतर्ग्रहण तथा स्थानांतरण कैसे होता है?

12.4 विलेयों का स्थानांतरण

खनिज लवण जाइलम या दारू के माध्यम से जल की आगोही धारा के साथ संवहित किए जाते हैं, जो पादप में वाष्पोत्सर्जनाकर्षण द्वारा ऊपर खिंचते हैं। जाइलम द्रव के विश्लेषण से ज्ञात हुआ है कि इसमें खनिज लवण विद्यमान होते हैं। पादपों में रेडियो-समस्थानिक (Radioisotope) के प्रयोग से भी यह प्रमाणित किया गया है कि खनिज तत्व पादपों में दारू के माध्यम से परिवहित किए जाते हैं। आप दारू के माध्यम से जल के परिवहन की चर्चा अध्याय 11 में कर चुके हैं।

12.5 मृदा अनिवार्य तत्व के भंडार के रूप में

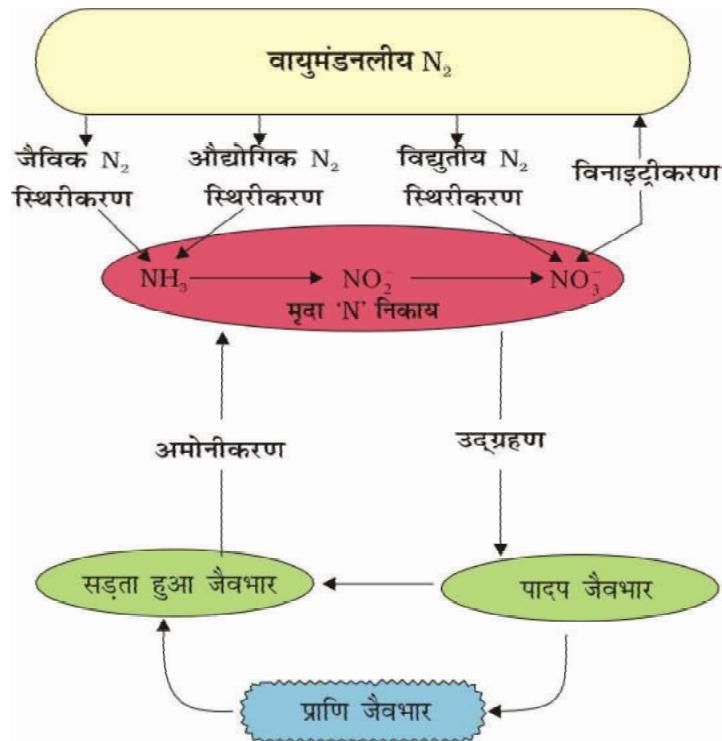
अधिकांश खनिज जो कि पौधों की वृद्धि व परिवर्धन के लिए अनिवार्य है; वे चट्टानों के दूटने एवं क्षरण से पौधों की जड़ों को उपलब्ध होते हैं। ये प्रक्रियाएं मृदा को विलेय आयनों और अकार्बनिक लवण से संपन्न बनाती हैं। चूँकि ये चट्टानों में उपस्थित खनिजों से प्राप्त होते हैं, इसलिए पादप पोषण में इनकी भूमिका को खनिज पोषण कहा जाता है। मृदा में कई प्रकार के पदार्थ पाए जाते हैं। मृदा केवल खनिज ही उपलब्ध नहीं कराती, बल्कि नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले जीवाणु और अन्य सूक्ष्म जीवों को भी संरक्षण देती है। यह जल धारण करती है एवं जड़ों को हवा उपलब्ध कराती है और पौधों को स्थिर करने के लिए आधार प्रदान करती है। चूँकि खनिजों की कमी फसलों की उत्पादकता को प्रभावित करती है, अतः कृत्रिम उर्वरकों की अनिवार्यता प्रायः होती है।

12.6 नाइट्रोजन उपापचय

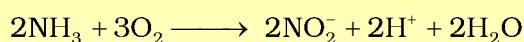
12.6.1 नाइट्रोजन चक्र

जीवित प्राणियों में कार्बन, हाइड्रोजन व ऑक्सीजन के अतिरिक्त नाइट्रोजन प्रमुखतम तत्व है। नाइट्रोजन एमीनो अम्लों, प्रोटीन, न्युक्लिक अम्लों, वृद्धि नियंत्रकों, पर्णहरितों एवं बहुतायत विटामिनों का संघटक है। मृदा में उपस्थित सीमित नाइट्रोजन के लिए पादप

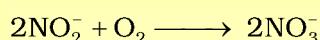
सूक्ष्म जीवों से प्रतिस्पर्धा करते हैं, अतः नाइट्रोजन प्राकृतिक एवं कृषि परितंत्र के लिए नियंत्रक पोषक तत्व है। नाइट्रोजन में दो नाइट्रोजन परमाणु शक्तिशाली त्रिसहस्रयोजी आबंध से जुड़े रहते हैं, $N \equiv N$ नाइट्रोजन (N_2) के अमोनिया में बदलने की प्रक्रिया को नाइट्रोजन स्थिरीकरण कहते हैं। प्रकृति में बिजली चमकने से और पराबैंगनी विकिरणों के द्वारा नाइट्रोजन को नाइट्रोजन ऑक्साइड (NO_2 , NO_3^- , N_2O) में बदलने के लिए ऊर्जा प्राप्त होती है। औद्योगिक दहन, जंगल में लगी आग, वाहनों का धुंआ तथा बिजली उत्पादन केंद्र भी वातावरणीय नाइट्रोजन ऑक्साइड के स्रोत हैं। मृत पादपों व जंतुओं में उपस्थित कार्बनिक नाइट्रोजन का अमोनिया में अपघटन अमोनीकरण कहलाता है। इसमें से कुछ अमोनिया वाष्पीकृत होकर पुनः वायुमंडल में लौट जाती है, लेकिन अधिकांश मृदा में उपस्थित सूक्ष्मजीवों द्वारा निम्न अनुसार नाइट्रोट्रैट में बदल दी जाती है।



चित्र 12.3 जीन मुख्य नाइट्रोजन निकायों-वायुमंडलीय, मृदा और जैवभार से संबंध दिखाता हुआ नाइट्रोजन चक्र



.... (i)



..... (ii)

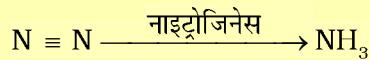
अमोनिया पहले नाइट्रोसोमोनास और/या नाइट्रोकोकस जीवाणु द्वारा नाइट्रोइट में बदल दी जाती है। नाइट्रोइट नाइट्रोवेक्टर जीवाणु की मदद से नाइट्रेट में बदल दिया जाता है। ये प्रतिक्रियाएं नाइट्रोकरण कहलाती हैं (चित्र 12.3)। ये नाइट्रिफाइंग जीवाणु रसायनपोषी (Chemoautotrophs) होते हैं।

पादप इस प्रकार निर्मित नाइट्रेट का अवशोषण कर पत्तियों में भेज देते हैं। पत्तियों में यह अपचित होकर अमोनिया बनाता है जो कि अमीनो अम्ल का अमीनो समूह बनाता है। मृदा में उपस्थित नाइट्रेट भी डिनाइट्रोकरण द्वारा नाइट्रोजन में अपचित हो जाते हैं डिनाइट्रोकरण प्रक्रिया स्यूडोमोनास एवं थायोबेसीलस जीवाणु संपन्न करते हैं।

12.6.2 जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण

वायु में प्रचुर मात्रा में उपलब्ध होने पर भी केवल कुछ ही जीव नाइट्रोजन का उपयोग कर पाते हैं। केवल कुछ ही प्रोकैरियोटिक जातियाँ नाइट्रोजन का स्थिरीकरण कर पाती हैं। जीवित प्राणियों द्वारा नाइट्रोजन का अमोनिया में अपचयन जैविक नाइट्रोजन

स्थिरीकरण कहलाता है। नाइट्रोजन अपचयन करने वाला नाइट्रोजिनेस एंजाइम मात्रा प्रोकेरियोट में पाया जाता है। ये सूक्ष्म जीव N_2 -स्थिरकारक कहलाते हैं।



नाइट्रोजन स्थिरकारक सूक्ष्म जीव स्वतंत्र या सहजीवी जीवनयापन करने वाले हो सकते हैं। उदाहरण के लिए स्वतंत्र जीवी नाइट्रोजन स्थितिकारक ऑक्सी सूक्ष्मजीव हैं— ऐजटोबेक्टर (*Azotobacter*) और बिजरिनिकिया (*Beijerinckia*) जबकि रोडोस्पाइरलियम (*Rhodospirillum*) अऑक्सी है और बैसीलस (*Bacillus*) स्वतंत्र जीवी है। इसके साथ ही कई नील हरित जीवाणु जैसे कि एनाबीना (*Anabaena*), नोस्टोक (*Nostoc*) भी स्वतंत्र जीवी नाइट्रोजन स्थिरीकारक हैं।

सहजीवी जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण

आज सहजीवी जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण के कई प्रकार के संघ ज्ञात हैं। इन सब में प्रमुख लेग्यूम (Legume) जीवाणु संबंध है। राइजोबियम जीवाणु लेग्यूम एल्फाल्फा, स्वीट क्लोवर, मीठा मटर, मसूर, उद्धान मटर, बाकला एवं क्लोवर, सेम आदि की जड़ों में, इस तरह का संबंध बनाते हैं। सबसे सामान्य सहजीवन जड़ों की गांठों के रूप में होता है। ये ग्रंथिकाएं जड़ों पर छोटे उभार के रूप में होती हैं। अलेग्यूमिनोस पादपों (जैसे एल्स) की जड़ों पर सूक्ष्म जीव फ्रैंकिया (*Frankia*) N_2 -स्थितिकारक ग्रंथियां उत्पन्न करता है। राइजोबियम और फ्रैंकिया दोनों ही मृदा में स्वतंत्र जीवी हैं, लेकिन सहजीवी के रूप में वातावरणीय नाइट्रोजन का स्थिरीकरण करते हैं।

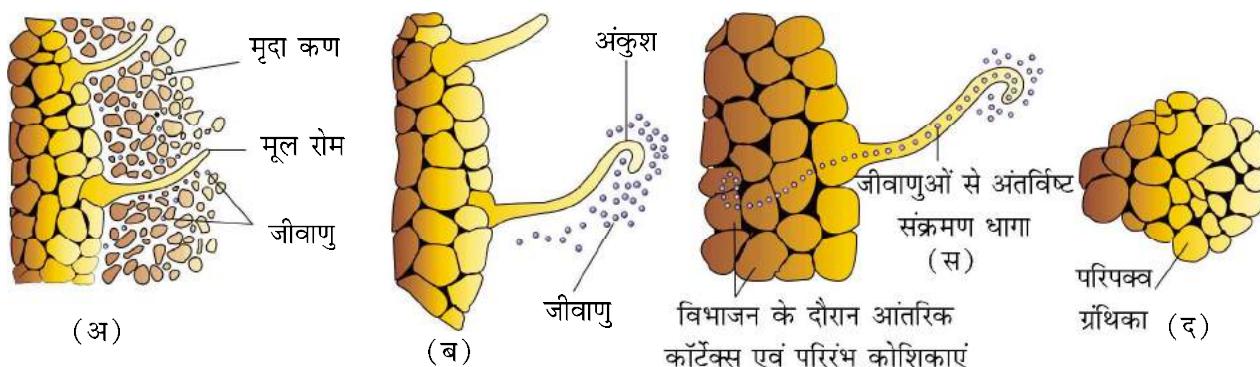
पुष्पन से पहले किसी सामान्य दाल के एक पौधे को जड़ से उखाड़ें। आप जड़ों पर लगभग गोलाकार अतिवृद्धियां देखेंगे। ये ग्रंथिकाएं हैं। यदि आप इन्हें काटेंगे तो पाएंगे कि केंद्र भाग में ये लाल या गुलाबी रंग की हैं। ग्रंथिकाओं को गुलाबी कौन बनाता है? यह रंग लेग्हेमोग्लोबीन की वजह से होता है।

ग्रंथिका निर्माण

ग्रंथिका निर्माण मेजबान पौधों की जड़ एवं राइजोबियम में पारस्परिक प्रक्रिया के कारण होता है। ग्रंथिका निर्माण के मुख्य चरण इस प्रकार हैं—

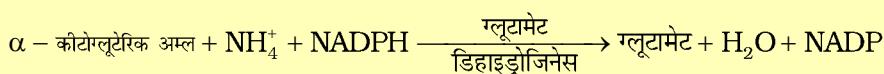
राइजोबियो बहुगुणित होकर जड़ों के चारों ओर एकत्र हो जाते हैं तथा उपत्वचीय और मूल रोम कोशिकाओं से जुड़ जाते हैं। मूल रोम मुड़ जाते हैं तथा जीवाणु मूल रोम पर आक्रमण करते हैं। एक संक्रमित सूत्र पैदा होते हैं जो जीवाणु को जड़ों के कॉर्टेक्स (Cortex) तक ले जाता है, जहाँ वे ग्रंथिका निर्माण प्रांरभ करते हैं। तब जीवाणु सूत्र से मुक्त होकर कोशिकाओं में चले जाते हैं जो विशिष्ट नाइट्रोजन स्थिरीकरण कोशिकाओं के विभेदीकरण का कार्य करते हैं। इस प्रकार ग्रंथिका का निर्माण होता है और मेजबान से पोषक तत्व के आदान प्रदान के लिए संवहनी संबंध बन जाता है। ये घटनाएं चित्र 12.4 में दर्शायी गई हैं।

इन ग्रंथिकाओं में नाइट्रोजिनेस एंजाइम एवं लेग्हेमोग्लोबीन जैसे सभी जैव रासायनिक संघटक विद्यमन होते हैं। नाइट्रोजिनेस एंजाइम तक Mo-Fe प्रोटीन है जो वातावरणीय नाइट्रोजन के अमोनिया में परिवर्तन को उत्प्रेरित करता है (चित्र 12.5)। यह नाइट्रोजन

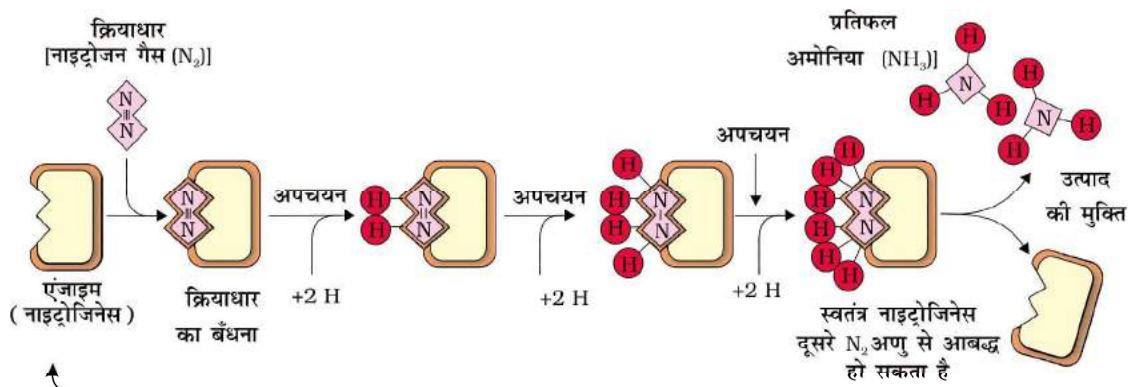


चित्र 12.4 सोयाबीन में मूल ग्रंथिका का विकास (अ) राजेबियम जीवाणु सुग्राही मूल रोम स्पर्श से उसके नजदीक विभाजित होता है। (ब) संक्रमण के बाद मूल रोम में कुंचन प्रेरित होता है। (स) संक्रमित (धागा) जीवाणुओं को भीतरी कॉर्टेक्स में ले जाता है। जीवाणु दंड के आकार के जीवाणु सम रचनाओं में रूपांतरित हो जाते हैं और भीतरी कॉर्टेक्स एवं परिरंभ कोशिकाएं विभाजित होने लगती हैं। कॉर्टिकल एवं परिरंभ की कोशिकाओं का विभाजन एवं वृद्धि ग्रंथिका निर्माण की ओर ले जाती है। (द) संवहनी ऊतकों से पूर्ण एक परिपक्व ग्रंथिका मूल से अविच्छिन्न होती है।

स्थिरीकरण का प्रथम स्थायी उत्पाद है। इसका समीकरण इस प्रकार है—



नाइट्रोजिनेस एंजाइम आण्विक ऑक्सीजन के प्रति अत्यंत संवेदी होता है। इसे अनॉक्सी वातावरण की अनिवार्यता होती है। ग्रंथियों में यह अनुकूलता होती है कि उसके एंजाइम को ऑक्सीजन से बचाया जा सके। इन एंजाइम्स की सुरक्षा के लिए ग्रंथिकाओं में एक ऑक्सीजन अपमार्जक होता है जिसे लेग्हमोग्लोबिन (Lb) कहते हैं। यह एक रोचक तथ्य है कि स्वतंत्रजीवी अवस्थाओं में ये सूक्ष्मजीव ऑक्सी होते हैं, जहाँ नाइट्रोजिनेस क्रियाशील नहीं होता है, लेकिन नाइट्रोजन स्थिरीकरण के दौरान ये अनॉक्सी हो जाते हैं और नाइट्रोजिनेस एंजाइम की सुरक्षा करते हैं। ऊपर दिए गए समीकरण में आपने देखा होगा कि नाइट्रोजिनेस के द्वारा अमोनिया संश्लेषण के दौरान अत्यधिक ऊर्जा की अनिवार्यता



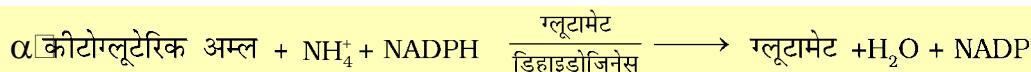
चित्र 12.5 नाइट्रोजिनेस एक जीवाण्विक एंजाइम कांपलेक्स है। यह नाइट्रोजन स्थिरीकरण वाले जीवाणुओं में पाया जाता है जो वायुमंडलीय नाइट्रोजन गैस (N_2) को अमोनिया (NH_3) में बदलता है। अमोनिया उपापचयित होकर अमीनो अम्ल एवं अन्य नाइट्रोजन युक्त यौगिकों का निर्माण करता है।

होती है (एक NH_3 अणु हेतु 8ATP)। इस ऊर्जा की आपूर्ति मेजबान कोशिका के ऑक्सी श्वसन से होती है।

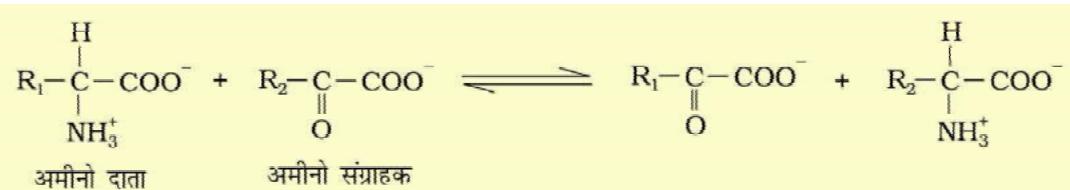
अमोनिया की नियति

अमोनिया कार्यकीय pH पर प्रोटोनीकरण के बाद अमोनियम आयन का निर्माण करती है। जबकि अधिकांश पादप नाइट्रोजन की तरह अमोनियम का भी स्वांगीरण कर सकते हैं, लेकिन अमोनियम आयन पादपों के लिए विषाक्त होते हैं जिसके कारण उनमें एकत्र नहीं हो पाते हैं। आइए, देखते हैं कि इस तरह संश्लेषित अमोनियम आयन (NH_4^+) का किस प्रकार से पादपों में अमीनो अम्लों के संश्लेषण हेतु उपयोग होता है। इसके लिए दो मुख्य क्रियाएं हैं—

(i) **अपचयित एमीनीकरण**— इस प्रक्रिया में अमोनिया कीटोग्लूटेरिक अम्ल के साथ क्रिया करके ग्लूटेमिक अम्ल बनाते हैं जैसा कि नीचे समीकरण में दिया गया है:



(ii) **पार एमीनन या विपक्ष एमीनन**— इसमें अमीनो अम्ल से अमीनो समूह का कीटो अम्ल के कीटो समूह में स्थानांतरण होता है। ग्लूटेमिक अम्ल मुख्य अमीनो अम्ल है जिससे अमीनो भाग (NH_2) स्थानांतरित होता है और दूसरे अमीनो अम्ल का निर्माण विपक्ष एमीनन द्वारा होता है। ट्रांसएमिनेस एंजाइम इस तरह की सारी क्रियाओं को उत्प्रेरित करते हैं।



पौधों में एस्प्रेजिन एवं ग्लूटेमिन दो अति मुख्य अमाइड पाए जाते हैं जो प्रोटीन के रचनात्मक भाग हैं। ये दो अमीनो अम्ल क्रमशः एस्पारिटिक अम्ल और ग्लूटेमिक अम्ल से प्रत्येक के साथ अमीनो समूह के जोड़ने से बनते हैं। इस प्रक्रिया में अम्ल का हाइड्रॉक्सिल भाग NH_2 मूलक से विस्थापित हो जाता है। एमाइड्स में; चूँकि अमीनो अम्ल से ज्यादा नाइट्रोजन पाया जाता है। अतः ये दारु वाहिकाओं द्वारा पौधे के अन्य भागों में स्थानांतरित कर दिए जाते हैं। इसके साथ ही कुछ पौधे (जैसे सोयाबीन) को ग्रंथिकाएं वाष्पोत्सर्जन प्रवाह के साथ स्थिर नाइट्रोजन को युरिड्स (Ureides) के रूप में भेज देती हैं। इन यौगिकों में भी कार्बन की अपेक्षा नाइट्रोजन का अनुपात अधिक होता है।

सारांश

पादप अपना अकार्बनिक पोषण वायु, जल और मृदा से प्राप्त करते हैं। पौधे कई प्रकार के खनिज तत्वों का अवशोषण करते हैं। पौधों को उनके द्वारा अवशोषित सभी प्रकार के खनिज तत्वों की अनिवार्यता नहीं होती है। अब तक खोजे गए 105 से अधिक तत्वों में से 21 तत्व पादपों की साधारण वृद्धि एवं परिवर्धन के लिए

अनिवार्य व लाभदायक होते हैं। अधिक मात्रा में अनिवार्य तत्व वृहत् पोषक तथा कम मात्रा में अनिवार्य तत्व सूक्ष्म मात्रिक तत्व या सूक्ष्म पोषक कहलाते हैं। ये तत्व प्रोटीन कार्बोहाइड्रेट, वसा, न्यूक्लिक अम्लों के अनिवार्य संघटक होते हैं और पौधों की विविध उपापचयी प्रक्रियाओं में भाग लेते हैं। इनमें से किसी एक अनिवार्य तत्वों में कमी से अपर्याप्तता लक्षण प्रकट हो सकते हैं। अपर्याप्तता संबंधी लक्षणों में क्लोरोसिस, नेक्रासिस, अवरुद्ध वृद्धि, अयुगमी कोशिका विभाजन आदि मुख्य हैं। पादप इन खनिजों को सक्रिय एवं निष्क्रिय अवशोषण विधि द्वारा ग्रहण करते हैं। ये दारू ऊतकों द्वारा जल परिवहन के साथ पौधों के विभिन्न भागों में पहुँचाए जाते हैं।

नाइट्रोजन जीवन के अस्तित्व के लिए अति अनिवार्य है। पौधों वातावरणीय नाइट्रोजन का उपयोग प्रत्यक्ष नहीं कर पाते हैं। लेकिन कुछ पादप मुख्यतः लोगूम की जड़ें वातावरणीय N_2 को जैविक उपयोगी रूपों में बदल देते हैं। नाइट्रोजन स्थिरीकरण के लिए शक्तिशाली अपचायक और एटीपी(ATP) के रूप में ऊर्जा की अनिवार्यता होती है। नाइट्रोजन स्थिरीकरण सूक्ष्मजीवों मुख्यतः राइजोबियम से होता है। एंजाइम डिनाइट्रोजिनेस जो कि जैविक N_2 स्थिरीकरण में मुख्य भूमिका निभाता है, ऑक्सीजन के प्रति अत्यंत संवेदी होता है। अधिकांश प्रक्रियाएं अनॉक्सी वातावरण में होती हैं। ऊर्जा (ATP) की अनिवार्यता की आपूर्ति पोषक कोशिकाओं के ऑक्सी श्वसन से होती है। नाइट्रोजन स्थिरीकरण के द्वारा निर्मित अमोनिया अमीनो अम्ल में अमीनो समूह के रूप में समाविष्ट हो जाता है।

अभ्यास

- ‘पौधे में उत्तरजीविता के लिए उपस्थित सभी तत्वों की अनिवार्यता नहीं है’ टिप्पणी करें।
- जलसंवर्धन में खनिज पोषण हेतु अध्ययन में जल और पोषक लवणों की शुद्धता जरूरी क्यों है?
- उदाहरण के साथ व्याख्या करें: वृहत् पोषक, सूक्ष्म पोषक, हितकारी पोषक, आविष तत्व और अनिवार्य तत्व।
- पौधों में कम से कम पाँच अपर्याप्तता के लक्षण दें। उसे वर्णित करें और खनिजों की कमी से उसका सहसंबंध बनाएं।
- अगर एक पौधे में एक से ज्यादा तत्वों की कमी के लक्षण प्रकट हो रहे हैं तो प्रायोगिक तौर पर आप कैसे पता करेंगे कि अपर्याप्त खनिज तत्व कौन से है?
- कुछ निश्चित पौधों में अपर्याप्तता लक्षण सबसे पहले नवजात भाग में क्यों पैदा होता है जबकि कुछ अन्य में परिपक्व अंगों में?
- पौधों के द्वारा खनिजों का अवशोषण कैसे होता है?
- राइजोबियम के द्वारा वातावरणीय नाइट्रोजन के स्थिरीकरण के लिए क्या शर्तें हैं तथा N_2 -स्थिरीकरण में इनकी क्या भूमिका है?
- मूल ग्रंथिका के निर्माण हेतु कौन-कौन से चरण भागीदार हैं?
- निर्मांकित कथनों में कौन सही हैं? अगर गलत तो उन्हें सही करें:
 - बोरोन की अपर्याप्तता से स्थूलकाय अक्ष बनता है।
 - कोशिका में उपस्थित प्रत्येक खनिज तत्व उसके लिए अनिवार्य हैं।
 - नाइट्रोजन पोषक तत्व के रूप में पौधे में अत्यधिक अचल हैं।
 - सूक्ष्म पोषकों की अनिवार्यता निश्चित करना अत्यंत ही आसान है; क्योंकि ये बहुत ही सूक्ष्म मात्रा में लिए जाते हैं।

अध्याय 13

उच्च पादपों में प्रकाश-संश्लेषण

- 13.1 हम क्या जानते हैं?
- 13.2 प्रारंभिक प्रयोग
- 13.3 प्रकाश-संश्लेषण कहाँ संपन्न होता है?
- 13.4 प्रकाश-संश्लेषण में कितने वर्णक भाग लेते हैं?
- 13.5 प्रकाश अभिक्रिया क्या है?
- 13.6 इलेक्ट्रॉन परिवहन
- 13.7 एटीपी तथा एनएडीपीएच कहाँ प्रयोग होते हैं?
- 13.8 पथ
- 13.9 प्रकाश श्वसन
- 13.10 प्रकाश-संश्लेषण को प्रभावित करने वाले कारक

सभी प्राणी, यहाँ तक कि मानव भी आहार के लिए पौधों पर निर्भर हैं। क्या आपने कभी सोचा है कि पौधे अपना आहार कहाँ से प्राप्त करते हैं? वास्तव में, हरे पौधे अपना आहार संश्लेषित करते हैं तथा अन्य सभी जीव अपनी आवश्यकता के लिए उन पर निर्भर रहते हैं।³ हरे पौधे 'प्रकाश-संश्लेषण' करते हैं यह एक ऐसी भौतिक-रासायनिक प्रक्रिया है, जिसमें कार्बनिक यौगिकों को संश्लेषित करने के लिए प्रकाश-ऊर्जा का उपयोग करते हैं। अंतः कुल मिलाकर पृथकी पर रहने वाले सारे जीव ऊर्जा के लिए सूर्य के प्रकाश पर निर्भर करते हैं। पौधों द्वारा प्रकाश-संश्लेषण में उपयोग की गई सूर्य-ऊर्जा पृथकी पर जीवन का आधार है। प्रकाश-संश्लेषण के महत्वपूर्ण होने के दो कारण हैं: यह पृथकी पर समस्त खाद्य पदार्थों का प्राथमिक स्रोत है तथा यह वायुमंडल में ऑक्सीजन छोड़ता है। क्या आपने कभी सोचा है कि यदि साँस लेने के लिए ऑक्सीजन न हो, तो क्या होगा? इस अध्याय में प्रकाश-संश्लेषणी (मशीनरी) तथा विभिन्न प्रतिक्रियाओं के विषय में बताया जाएगा जो प्रकाश-ऊर्जा को रासायनिक ऊर्जा में रूपांतरित करती है।

13.1 हम क्या जानते हैं?

आइए, पहले यह पता करें कि हम प्रकाश-संश्लेषण के विषय में क्या जानते हैं। पिछली कक्षाओं में आपने कुछ सरल प्रयोग किए होंगे। जिनसे पता लगा होगा कि क्लोरोफिल (पत्तियों का हरा वर्णक), प्रकाश तथा कार्बनडाइऑक्साइड (CO_2) प्रकाश-संश्लेषण के लिए आवश्यक है।

आपने शायद शब्दित (वेरीगेट) पत्तियों अथवा उस पत्ती में जिसे आंशिक रूप से काले कागज से ढक दिया हो और अन्य पत्ती का प्रकाश में रखा हो, जिससे स्टार्च (मंड)

बनाने का प्रयोग को किया होगा। स्टार्च के लिए इन पत्तियों के परीक्षण से यह बात प्रकट होती है कि प्रकाश-संश्लेषण क्रिया सूर्य के प्रकाश में पेड़ के केवल हरे भाग में संपन्न होती है।

आपने एक अन्य प्रयोग आधी पत्ती से किया होगा जिसमें एक पत्ती का आंशिक भाग परखनली के अंदर रखा होगा और इसमें KOH से भीगी हुई रुई भी रखी होगी (KOH CO_2 को अवशोषित करता है) जबकि शेष भाग को प्रकाश में रहने दिया होगा। इसके बाद इस उपकरण को कुछ समय के लिए धूप में रखा जाता है। कुछ समय के बाद आप स्टार्च के लिए पत्ती का परीक्षण करते हों। इस परीक्षण से आपको पता लगा कि पत्ती का जो भाग परखनली में था, उसने स्टार्च की पुष्टि नहीं की और जो भाग प्रकाश में था, उसने स्टार्च की पुष्टि की। इस प्रयोग से यह सिद्ध होता है कि प्रकाश-संश्लेषण के लिए कार्बनडाइऑक्साइड (CO_2) आवश्यक है। क्या आप इसका वर्णन कर सकते हो कि ऐसा निष्कर्ष किस प्रकार निकाला जा सकता है?

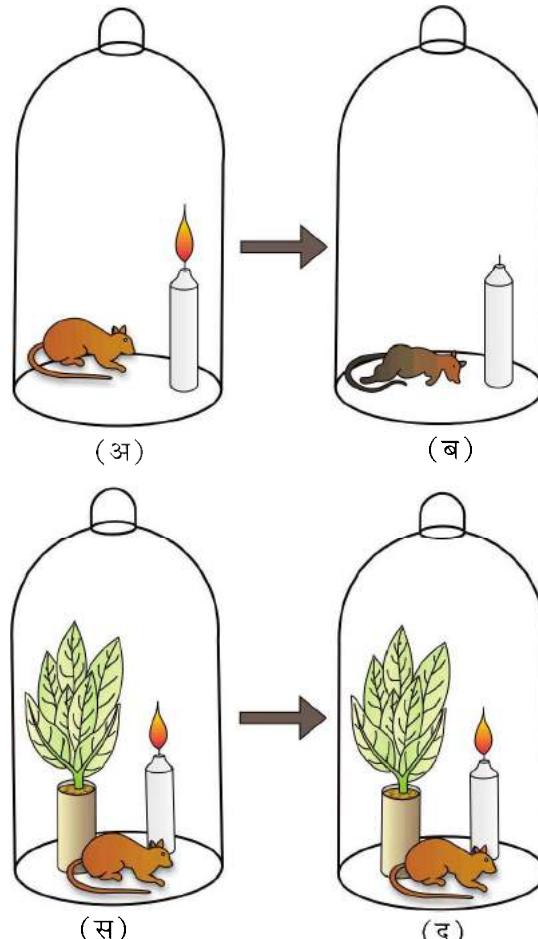
13.2 प्रारंभिक प्रयोग

उन साधारण प्रयोगों के विषय में जानना काफी रुचिकर होगा जिनसे प्रकाशसंश्लेषण की प्रक्रिया क्रमिक विकसित हुई है।

जोसेफ प्रीस्टले (1733-1804) ने 1770 में बहुत से प्रयोग किए जिनसे पता लगा कि हरे पौधों की वृद्धि में हवा की एक अनिवार्य भूमिका है। आप को याद होगा कि प्रीस्टले ने 1774 में ऑक्सीजन की खोज की थी। प्रीस्टले ने देखा कि एक बंद स्थान-जैसे कि एक बेलजार में जलने वाली मोमबत्ती जल्दी ही बुझ जाती है (चित्र 13.1 अ, ब, स, द)। इसी प्रकार किसी चूहे का सीमित स्थान में जल्दी ही दम घुट जाएगा। इन अवलोकनों के आधार पर उन्होंने यह निष्कर्ष निकाला कि चाहे जलती मोमबत्ती हो अथवा कोई प्राणी जो वायु से साँस लेते हैं, वे हवा को क्षति पहुँचाते हैं। लेकिन जब उसने उसी बेल जार में एक पुढ़ीने का पौधा रखा तो उसने पाया कि चूहा जीवित रहा और मोमबत्ती भी सतत जलती रही। इस आधार पर प्रीस्टले ने निम्न परिकल्पना की: “पौधे उस वायु की क्षतिपूर्ति करते हैं, जिन्हें साँस लेने वाले प्राणी और जलती हुई मोमबत्ती कम कर देती है।”

क्या आप कल्पना कर सकते हैं कि प्रीस्टले ने प्रयोग करने के लिए एक मोमबत्ती एवं पौधे का उपयोग कैसे किया होगा? याद रखें कि उसे मोमबत्ती को कुछ दिनों बाद पुनः जलाने की आवश्यकता होगी ताकि यह पता कर सके कि कुछ दिनों बाद वह जलेगी अथवा नहीं। सेटअप को बिना बाधित किए आप मोमबत्ती को जलाने के लिए कितनी विधियों के बारे में सोच सकते हों?

जॉन इंजेनहाउज (1730-1799) ने प्रीस्टले द्वारा निर्मित जैसे सेटअप का उपयोग किया जिसमें उसने उसे एक बार अंधेरे में और फिर एक बार सूर्य की रोशनी में रखा।



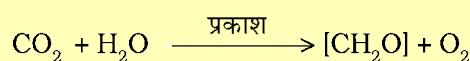
चित्र 13.1 प्रीस्टले का प्रयोग

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 क्लोरोप्लास्ट 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।

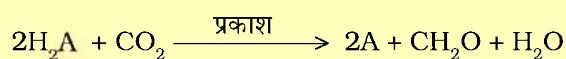
अब आप टी.डब्ल्यू. एंजिलमैन (1843-1909) द्वारा किए गए रोचक प्रयोग पर ध्यान दें। उसने प्रिज्म की सहायता से प्रकाश को स्पेक्ट्रमी घटकों में अलग किया और और फिर एक हरे शैवाल क्लैडोफोरा को जिसे ऑक्सी बैक्टीरिया के निलंबन में रखा गया था, को प्रदीप्त किया गया। बैक्टीरिया का उपयोग ऑक्सीजन निकलने का केंद्र पता 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)।

उनीसवीं 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।



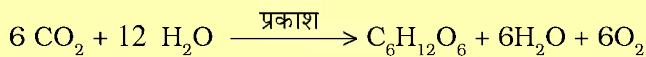
जहाँ पर (CH_2O) एक कार्बोहाइड्रेट (जैसे ग्लूकोज- एक छह (6) कार्बन शुगर) का प्रतिनिधित्व करता है।

एक सूक्ष्मजीव विज्ञानी कोर्नेलियस वैन नील (1897-1985) के प्रयोग ने प्रकाश-संश्लेषण को समझने में मील के पथर 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:

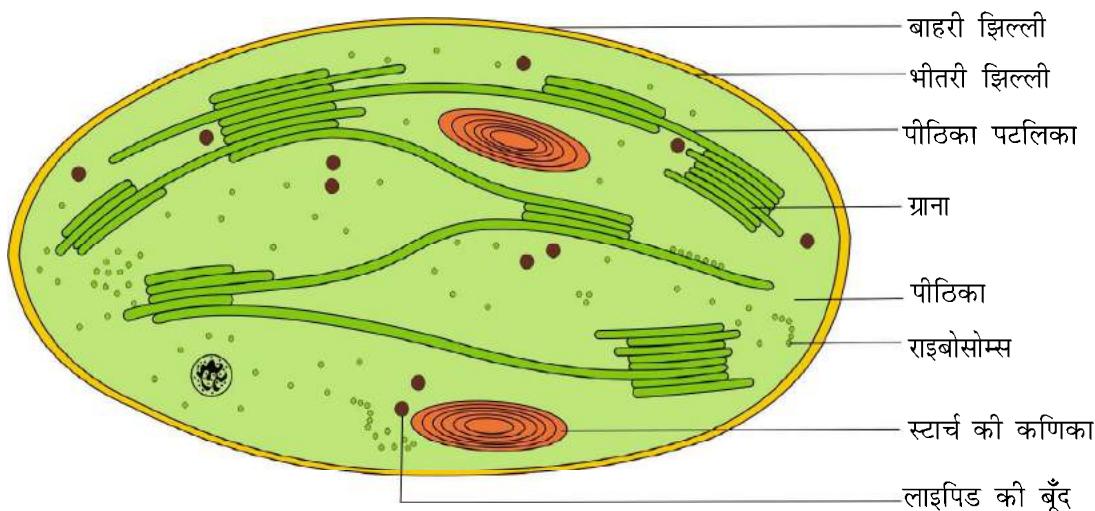


यहाँ पर $C_6H_{12}O_6$ ग्लूकोज का प्रतिनिधित्व करता है। जल से निकलने वाली O_2 को रेडियो आइसोटोपिक तकनीक से सिद्ध किया जा चुका है। यह एक एकल क्रिया नहीं है, बल्कि बहुचरणी प्रक्रम का वर्णन है जिसे प्रकाश-संश्लेषण कहते हैं। क्या आप यह वर्णन करेंगे कि उपरोक्त समीकरण में जल के 12 अणुओं का क्रियाधार के रूप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

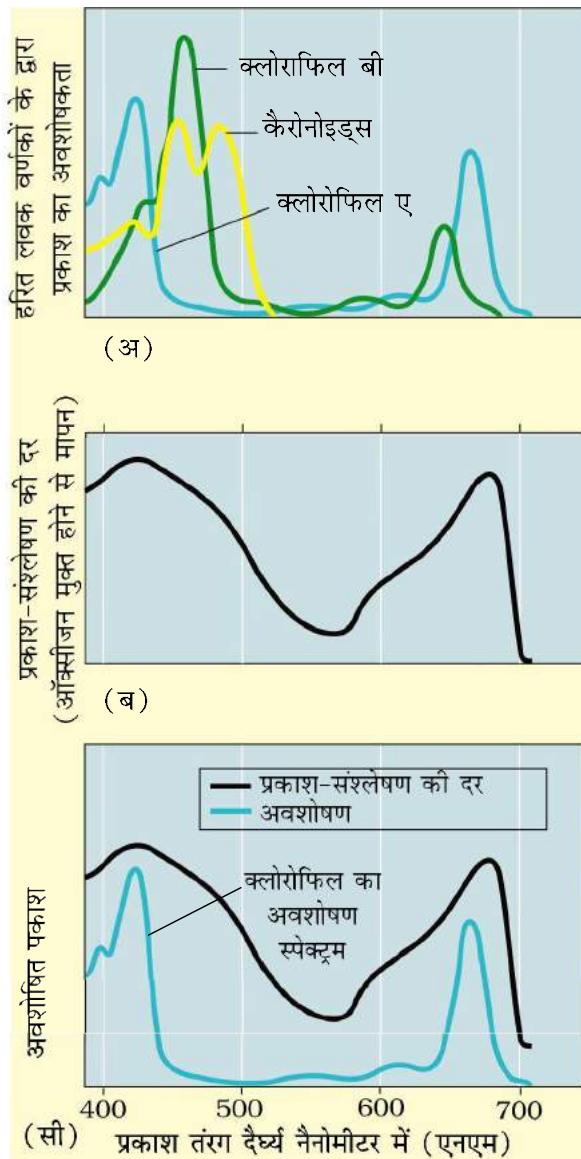
13.3 प्रकाश-संश्लेषण कहाँ संपन्न होता है?

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 पौधे 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 पॉक्टिबद्ध 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 केरोटोनोइड्स 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

पर्किटबद्ध होते हैं? वे आपतित सूर्य के प्रकाश से कब लबित होते होंगे?

आपने अध्याय 8 में क्लोरोफ्लास्ट की संरचना के बारे में पढ़ा है। क्लोरोफ्लास्ट में एक झिल्ली तंत्र होता है जिसमें ग्रैना, स्ट्रोमा लैमेले और स्ट्रोमा तरल होता है (चित्र 13.2)। क्लोरोफ्लास्ट में सुस्पष्ट श्रम विभाजन होता है। झिल्ली तंत्र प्रकाश-ऊर्जा को ग्रहण करता है और एटीपी एवं एनएडीपीएच का संश्लेषण करता है। स्ट्रोमा में एंजाइमैटिक 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।

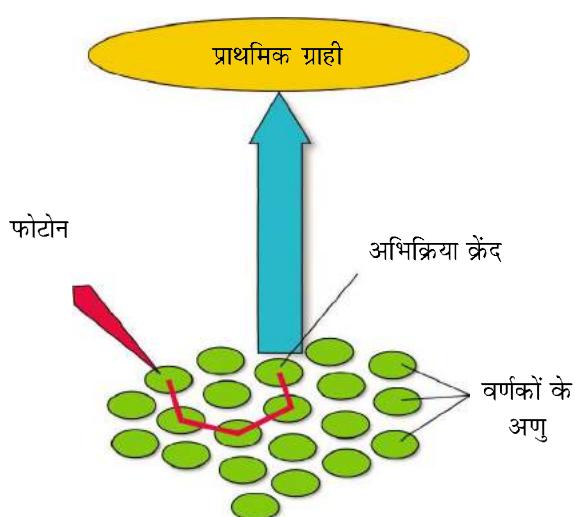
चित्र 13.3 अ को देखकर क्या आप बता सकते हैं कि किस तरंगदैर्घ्य पर क्लोरोफिल 'ए' अधिकतम अवशोषण करेगा? क्या यह किसी अन्य तरंगदैर्घ्यता पर कोई अन्य अवशोषण चोटी दिखाते हैं? यदि हाँ तो वे कौन हैं?

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 हैं?

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 फोटोऑक्सीडेशन 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 हार्डेस्ट्रिंग कॉम्प्लेक्स (एलएचसी) जिन्हें फोटोसिस्टम I (पीएम I) तथा फोटोसिस्टम II (पीएम 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



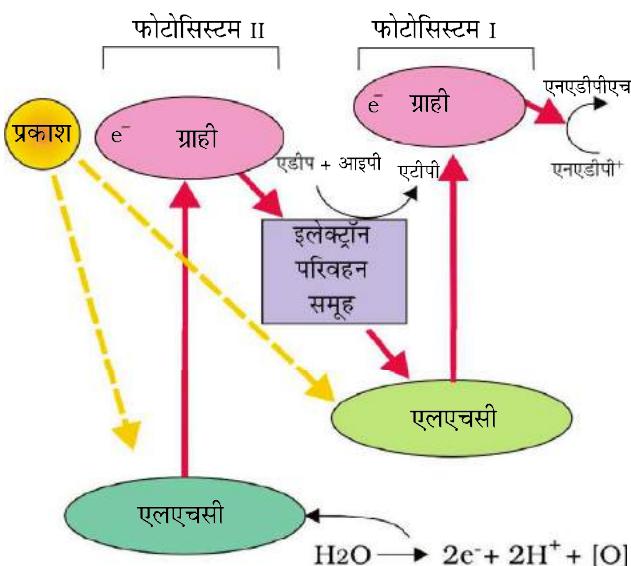
चित्र 13.4 प्रकाश संग्रहण तंतुजाल

‘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 पोटेंशियल 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।

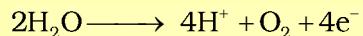
इसके साथ ही साथ, पीएस I का अभिक्रिया केंद्र के इलेक्ट्रॉन भी लाल प्रकाश की 700 एनएम तरंगदैर्घ्य को अवशोषित कर उत्तेजित होता है और यह अन्य ग्राही अणु में जिसका अपचयोपचय (रिडैक्स) विभव अधिक हो, स्थानांतरित होता है। ये इलेक्ट्रॉन्स पुनः अधोगामी गति करते हैं, परंतु इस बार वे ऊर्जा से प्रचुर एनएडीपी⁺ अणु 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 हैं। 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।



चित्र 13.5 प्रकाश अभिक्रिया की Z-स्कीम

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 कहाँ मुक्त होते हैं— अवकाशिका (ल्यूमेन) में अथवा झिल्लिका के बाहर की ओर?

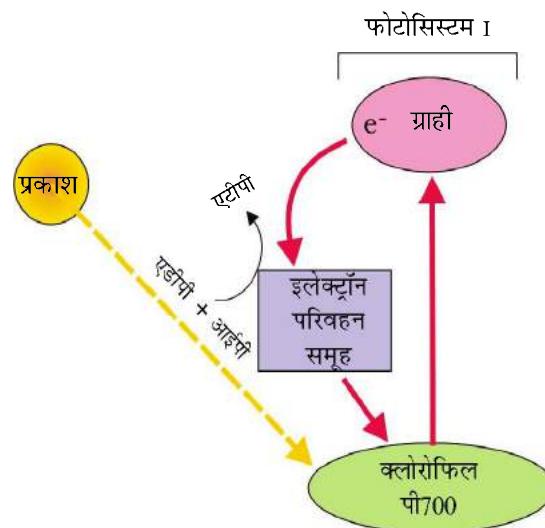
13.6.2 चक्रीय एवं अचक्रीय फोटो-फोस्फोरीलेशन

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 है। कोशिकाओं द्वारा (माइटोकार्डिया 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 धूमता 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 + एच⁺ का। चक्रीय फोटो-फोस्फोरीलेशन तभी होता है जब उत्तेजना के लिए प्रकाश का तरंगदैर्घ्य 680nm से अधिक हो।

13.6.3 रसोपरासरणी परिकल्पना (केमिओस्मोटिक हाइपोथेसिस)

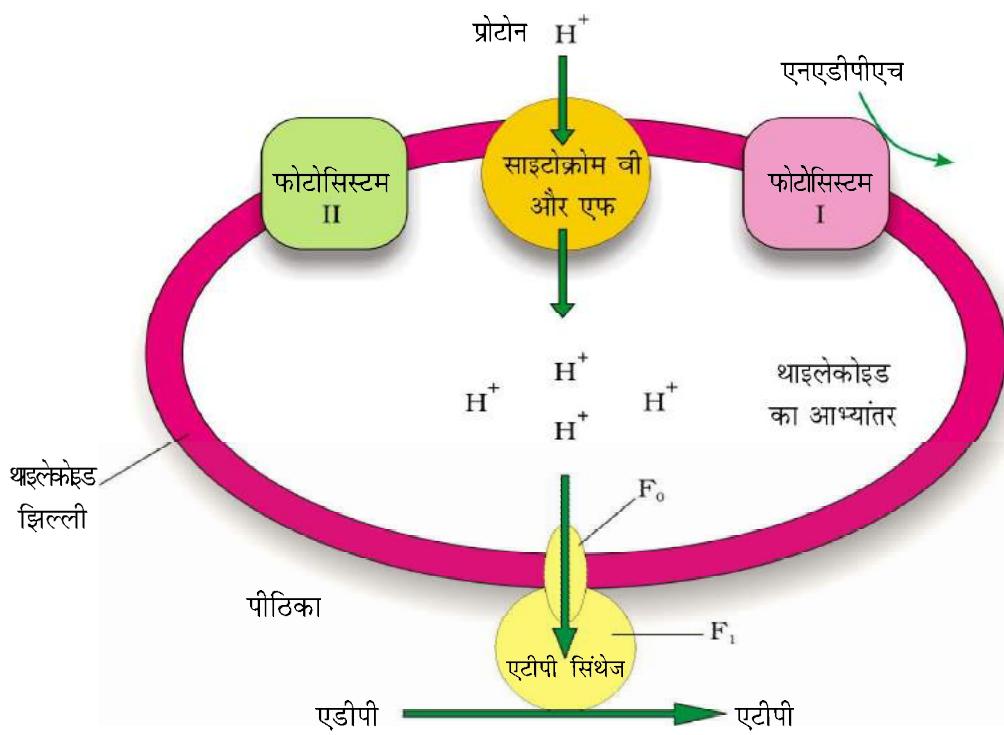
आइए, अब हम यह समझने का प्रयत्न करें कि क्लोरोप्लास्ट में एटीपी कैसे संश्लेषित होता है? इस प्रक्रम का वर्णन रसोपरासरणी परिकल्पना द्वारा कर सकते हैं। श्वसन की भाँति ही प्रकाश-संश्लेषण में भी, एटीपी का संश्लेषण एक झिल्लिका के आर-पार प्रोटोन प्रवणता के कारण होता है। यहाँ पर ये झिल्लिका थाइलेकोइड की होती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



चित्र 13.6 प्रकाश अभिक्रिया की Z-स्कीम

आइए, यह समझें कि किन कारणों से प्रोटोन प्रवणता डिलिलका 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 डिलिलका के अंदर की तरफ होता है अतः जल के विघटन से उत्पन्न हाइड्रोजन आयन अथवा प्रोटोन थाइलेक्ट्रॉन अवकाशिका (ल्यूमेन) में संचित होते हैं।
- (ब) जैसे ही इलेक्ट्रॉन्स फोटोसिस्टम के माध्यम से गति करते हैं, प्रोटोन डिलिलका के पार चला जाता है। ऐसा इसलिए होता है, क्योंकि इलेक्ट्रॉन का प्राथमिक ग्राही, जो कि डिलिलका 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 डिलिली के भीतरी ओर स्थित इलेक्ट्रॉन वाहक को देता है, तब प्रोटोन के अंदर ओर अथवा डिलिली की अवकाशिका की ओर मुक्त होता है।
- (स) एनएडीपी रिडक्टरेस एंजाइम डिलिली 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 ड्जिल्ली 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 ड्जिल्लिका 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 शॉन्य(F_0) कहलाता है, जो ड्जिल्लिका में अतः स्थापित होता है तथा एक पारगमन ड्जिल्लिका चैनल की रचना करता है जो कि ड्जिल्लिका 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 सकें।

सोपरासरण (केमिओस्मोसिस) के लिए एक ड्जिल्लिका, एक प्रोटोन पंप, एक प्रोटोन प्रवणता तथा एटीपीएज की आवश्यकता होती है। प्रोटोन को एक ड्जिल्लिका के आर-पार पंप करने के लिए ऊर्जा का उपयोग होता है, ताकि थाइलेकोइड ल्यूमेन में एक प्रवणता अथवा प्रोटोन की उच्च सांकेतिकता पैदा हो सके। एटीपीएज के पास एक चैनल अथवा नलिका होता है, जो ड्जिल्लिका 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 हैं।

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 मेलिवन केलिवन 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 केलिवन 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 हैं। 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 ओक्सीलोएसिटिक 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।

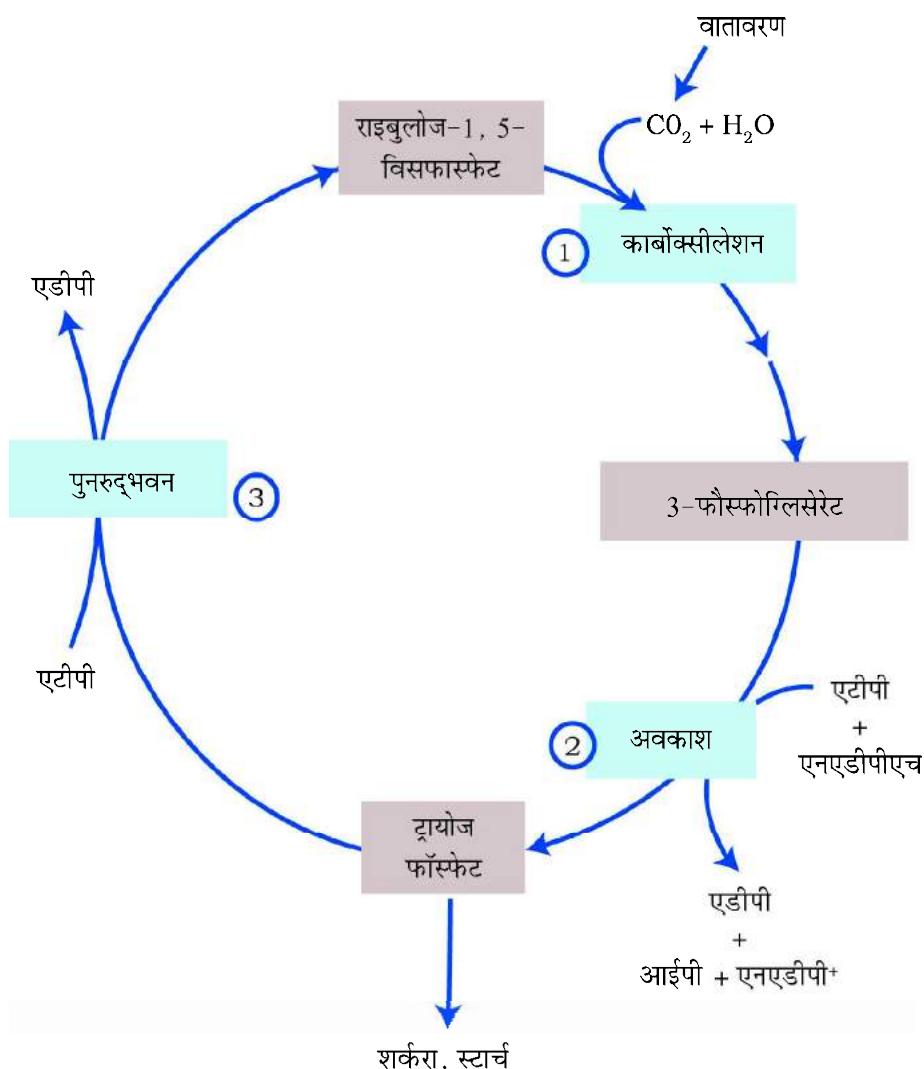
13.7.1 CO_2 के प्राथमिकग्राही

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 ग्राही 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 कंपाउंड 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) कार्बोक्सिलेशन जिसमें CO_2 राइबुलोज-1, 5 विसफास्फेट से योग करता है (2) अवकाश, 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 रिजनरेशन 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 कार्बोक्सिलेस-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 ऑक्जेलोएसिटिक 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।

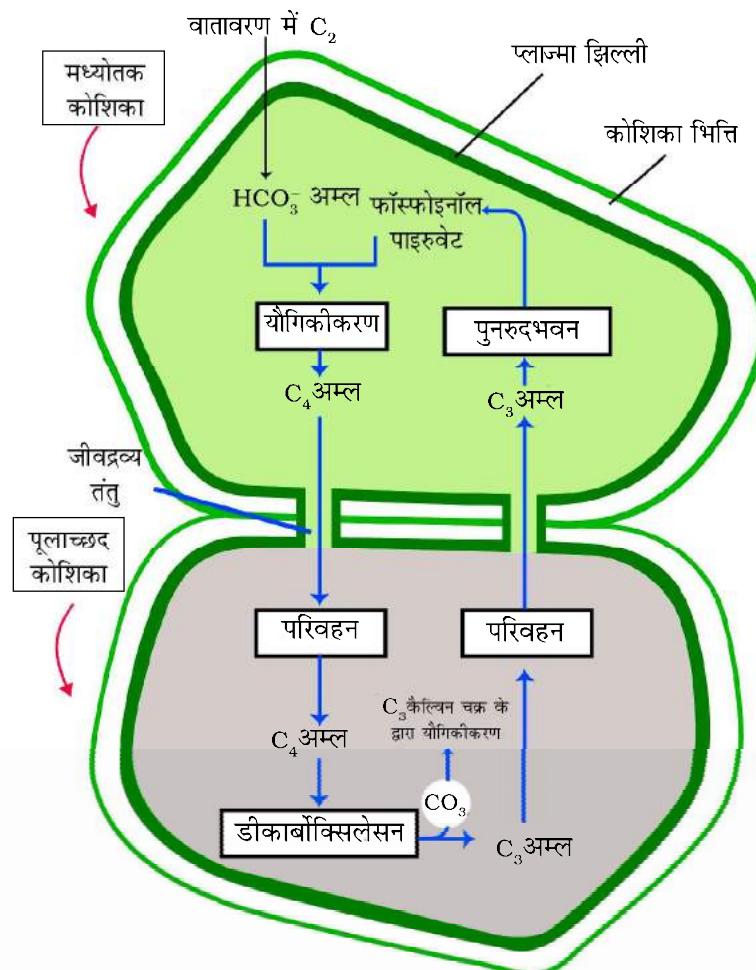
आओ, C_3 तथा C_4 पत्तियों की खड़ी काट का अध्ययन करें। क्या आपने इन दोनों में कोई अंतर देखा है? क्या दोनों में एक ही प्रकार के पर्णमध्योतक हैं? क्या इनके संबंधी पूलाच्छद के आस-पास एक ही प्रकार की कोशिकाएं हैं?

C_4 पथ पौधों की संबंधन बंडल के चारों ओर स्थित बृहद् कोशिकाएं पूलाच्छद (बंडल शीथ) कोशिकाएं कहलाती हैं और पत्तियाँ जिनमें ऐसी शारीर होती हैं, 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। संबंधन बंडल के आस-पास पूलाच्छद कोशिकाओं की अनेकों परतें होती हैं, इनमें बहुत अधिक संख्या में क्लोरोफ्लास्ट 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 संबंधन 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 अनु 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।

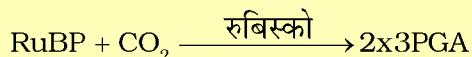
3-कार्बन अणु पुनः पर्णमध्योतक में वापस आ जाता है, जहाँ यह पुनः पेप में बदला जाता है और इस तरह से यह चक्र पूरा होता है।

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 (फोटोरेस्प्रेशन)

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 डाइऑक्साइड 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 केसे 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 निर्थक 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 पर्सी में कितने प्रकार की कोशिकाएं होती हैं जो CO_2 का यौगिकीकरण करती हैं।			एक: पर्णमध्योतक, दो: पूलाच्छद एवं पर्णमध्योतक तीन: पूलाच्छद, पैलिसेड (खंभ), संजी 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 खडे सेक्सन काटें तथा सूक्ष्मदर्शी के नीचे रखकर क्रैंज शरीर देखें तथा उन्हें उपयुक्त खाने (कॉलम) में भरो।

C_4 पौधे में प्रकाश श्वसन नहीं होता है। इसका कारण यह है कि इनमें एक ऐसी प्रणाली होती है जो एंजाइम स्थल पर CO_2 की सांद्रता बढ़ा देती है। ऐसा तब होता है जब पर्णमध्योतक का C_4 अम्ल पूलाच्छद में टूटकर CO_2 को मुक्त करता है, जिसके परिणामस्वरूप CO_2 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 C_4 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।

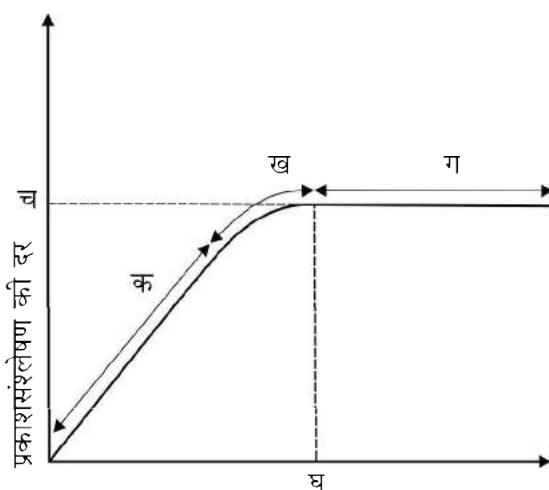
उपर्युक्त परिचर्चा के आधार पर क्या आप उन पौधों की तुलना कर सकते हो जिसमें C_3 तथा C_4 पथ होता है। आप दी गई तालिका का उपयोग कर आवश्यक सूचनाओं को भरें।

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 CO_2 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, CO_2 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 CO_2 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 उपानुकूलतम् 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 अनुसारः यदि कोई रासायनिक प्रक्रिया एक से अधिक कारकों द्वारा प्रभावित होती है तो इसकी दर का निर्धारण उस समीपस्थ कारक द्वारा होगा जो कि न्यूनतम् 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 यौगिकीरण 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 सांदर्भता

प्रकाशसंश्लेषण में कार्बन डाइऑक्साइड एक प्रमुख सीमाकारी कारक है। वायुमंडल में CO_2 की सांदर्भता बहुत ही कम है (0.03 और 0.04 प्रतिशत के बीच)। CO_2 की सांदर्भता 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 सांदर्भता में भिन्न अनुक्रिया करते हैं। निम्न प्रकाश स्थितियों में दोनों में से कोई भी समूह उच्च CO_2 सांदर्भता 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 सांदर्भता पर अनुक्रिया करता है तथा संतृप्तन 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 सांदर्भता 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 रंध 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 क्रियाएं 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 रंधों 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 पर्यामध्योतक 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 डिलिल्काएं 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 डिलिल्का के आर-पार पैदा की जाती है। एटीपी एंजाइम के हिस्से F_o 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 एनएडीपी एच इस्तेमाल होता है। इसके साथ ही C_3 पौधों में रुबिस्को एक निर्धक 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 पर्णमध्योतक 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

- एक पौधे को बाहर से देखकर क्या आप बता सकते हैं कि वह C_3 है अथवा C_4 ? कैसे और क्यों?
- एक पौधे की आंतरिक संरचना को देखकर क्या आप बता सकते हैं कि वह C_3 है अथवा C_4 ? वर्णन करें?
- 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 हैं?
- 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?
- 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?
- 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?
- 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?
- प्रकाश-संश्लेषण की दर पर प्रकाश का प्रभाव पड़ता है (चित्र 13.10)। ग्राफ के आधार पर निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दें:
 - वक्र के किस बिंदु अथवा बिंदुओं पर (क, ख, अथवा ग) प्रकाश एक नियामक कारक है?
 - क बिंदु पर नियामक कारक कौन से हैं?
 - स वक्र में ग और घ क्या निरूपित करता है?
- निम्नांकित में तुलना करें-
 - C_3 एवं C_4 पथ
 - चक्रीय एवं अचक्रीय फोटोफॉर्स्फोरिलेसन
 - स वक्र में ग और घ क्या निरूपित करता है?

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
- 14.3 किण्वन सभी ऊर्जा कहाँ से आती है? हम जानते हैं कि ऊर्जा के लिए हम भोजन करते हैं, लेकिन
- 14.4 ऑक्सी श्वसन ये ऊर्जा भोजन से कैसे प्राप्त होती है? यह ऊर्जा कैसे उपयोग में आती है? क्या सभी
- 14.5 श्वसनीय संतुलन चार्ट प्रकार के खाद्य पदार्थों से समान प्रकार की ऊर्जा मिलती है? क्या पादप भोजन करते हैं?
- 14.6 एंफीबोलिक पाथ क्रम पादप यह ऊर्जा कहाँ से प्राप्त करते हैं? और सूक्ष्मजीव इस ऊर्जा की आवश्यकता के
- 14.7 साँस गुणांक लिए क्या भोजन करते हैं?

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?

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

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।

निसदेह, प्रकाश-संश्लेषण क्लोरोप्लास्ट में संपन्न होता है (यूकैरियोट में), जबकि ऊर्जा प्राप्त करने के लिए कॉम्प्लेक्स अणुओं का विघटन से कोशिका द्रव्य तथा माइटोकॉंड्रिया 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 गैसें 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 वातरंभ 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 ऊष्मा के रूप में न निकल पाए। 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 पाइरविक अम्ल में विघटन ग्लाइकोलिसिस कहलाता है।

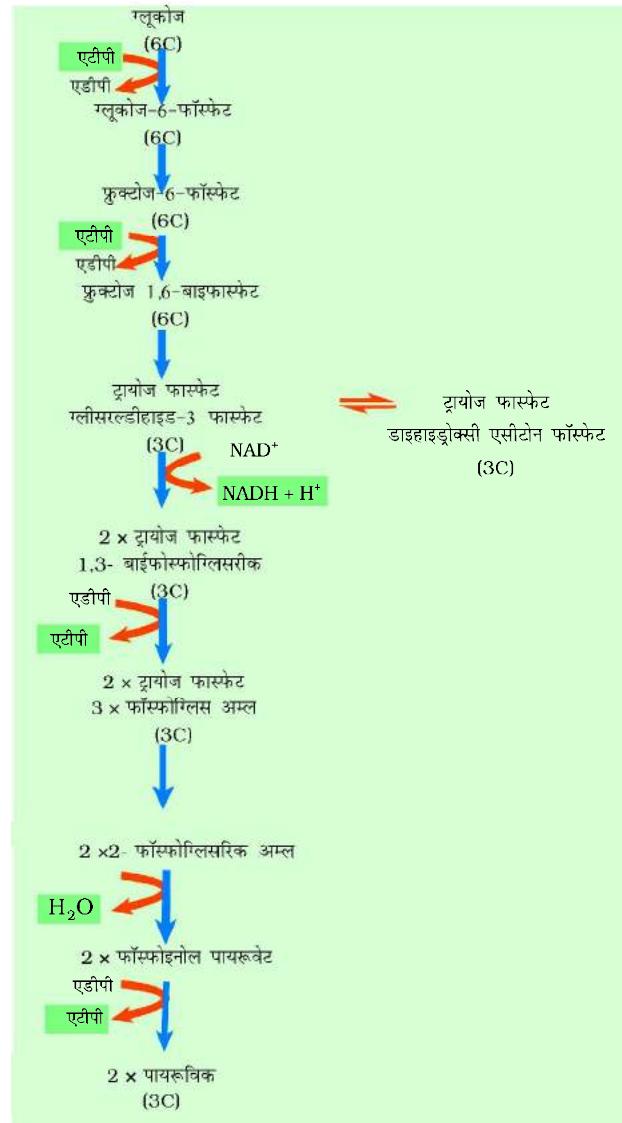
14.2 ग्लाइकोलिसिस

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। सुक्रोस इंवर्टेस नामक एंजाइम की सहायता से ग्लूकोज तथा फ्रुक्टोज में परिवर्तित हो जाता है। ये दोनों मोनोसाईकराइड्स सरलता से ग्लाइकोलाइटिक चक्र में प्रवेश कर जाते हैं।

ग्लूकोज एवं फ्रुक्टोज, हेक्सोकाइनेज एंजाइम द्वारा फॉस्फरिकृत होकर ग्लूकोज-6 फॉस्फेट बनाते हैं। ग्लूकोज का फॉस्फरिकृत 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 समाले में NADH+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 डाइहाइड्रोक्सीएसीटोन फॉस्फेट तथा 3-फॉस्फोग्लिसरिल्डहाइड (पीजीएएल) बनाता है। जब 3-फॉस्फोग्लिसरिल्डहाइड (पीजीएएल) का 1, 3-बाई फॉस्फोग्लिसरेट (बीपीजीए) में परिवर्तन होता है तो NAD⁺ से NADH +H⁺ का निर्माण होता है। पीजीएएल से दो समान अपचयोपचय (रिडॉक्स) दो हाइड्रोजन अणु



चित्र 14.1 ग्लाइकोलिसिस के चरण

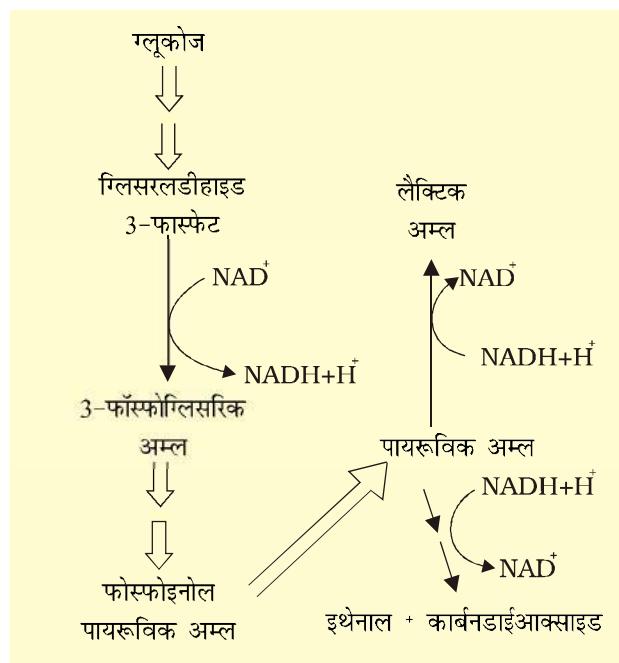
पृथक होकर NAD के एक अणु की ओर स्थानांतरित होता है। पीजीएएल ऑक्सीकृत होकर अकार्बनिक फॉस्फेट से मिलकर बीपीजीए में परिवर्तित हो जाता है। डीपीजीए का 3-फॉस्फोग्लिसरीक अम्ल में परिवर्तन ऊर्जा उत्पादन करने वाली प्रक्रिया है। इस ऊर्जा का उपयोग एटीपी (ATP) निर्माण में होता है। पीईपी (P.E.P.) का पायरुविक अम्ल 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 लैकिटक अम्ल किण्वन, एल्कोहलिक किण्वन और ऑक्सी साँस हैं। अधिकांश प्रोकैरियोट तथा एक कोशिका यूकैरियोट में किण्वन अनाक्सी परिस्थितियों में होता है। ग्लूकोज के पूर्ण ऑक्सीकरण के फलस्वरूप कार्बनडाइऑक्साइड तथा जल बनने हेतु जीवधारियों में क्रोब्स 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 अनाक्सी 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 डिकार्बोविसलेज एवं एल्कोहल डिहाइड्रोजिनेस इस अभिक्रिया को उत्प्रेरित करता है। दूसरे जीव जैसे कुछ बैक्टीरिया पायरुविक अम्ल से लैकिटक 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 लैकिटक डिहाइड्रोजिनेस द्वारा लैकिटक अम्ल में अपचयित हो जाता है। अपचयीकारक NADH + H⁺ होता है जो पुनः दोनों प्रक्रियाओं में NAD⁺ में ऑक्सीकृत हो जाता है।

दोनों लैकिटक 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 लैकिटक 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 किण्वत 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?

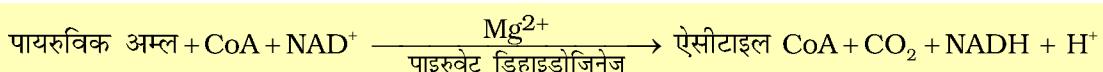
वह क्या प्रक्रिया है जिसके द्वारा जीव में ग्लूकोज का पूर्ण ऑक्सीकरण होता है, और इस दौरान मुक्त ऊर्जा कोशिकीय उपापचय की आवश्यकता के अनुसार बहुत से एटीपी अणुओं का संश्लेषण करती है। यूकैरियोट में ये सभी चरण माइटोकोन्ड्रिया में संपन्न होते हैं। जिसके लिए ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है। ऑक्सी साँस वह प्रक्रिया 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)

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

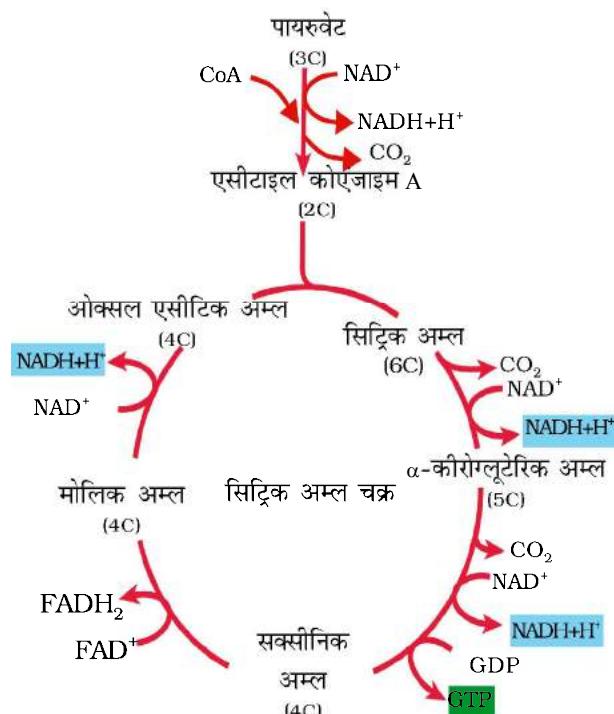
- पायरुवेट का चरणबद्ध क्रम में पूर्ण ऑक्सीकरण के उपरांत सभी हाइड्रोजन परमाणु पृथक होते हैं जिससे 3 कार्बनडाइऑक्साइड के अणु भी मुक्त होते हैं।
- हाइड्रोजन परमाणुओं से पृथक् हुए इलेक्ट्रॉन ऑक्सीजन अणु की ओर जाते हैं। जिसके परिणामस्वरूप एटीपी का संश्लेषण होता है।

सबसे अधिक रोचक बात यह है कि इसकी पहली प्रक्रिया माइटोकोन्ड्रिया के आधात्री में संपन्न होती है जब कि द्वितीय प्रक्रिया माइटोकोन्ड्रिया की भीतरी डिल्ली पर संपन्न होती है। कोशिका द्रव्य में उपस्थित कार्बोहाइड्रेट के ग्लाइकोलिटिक अपचय द्वारा बनने वाले पायरुवेट माइटोकोन्ड्रिया की आधात्री में प्रवेश करता है जो ऑक्सीकृत कार्बोक्सिलिकरण 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। (ग्लाकोलिसिस 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 क्रोब की खोज के कारण क्रोब्स चक्र कहते हैं।



चित्र 14.3 सिट्रिक अम्ल चक्र

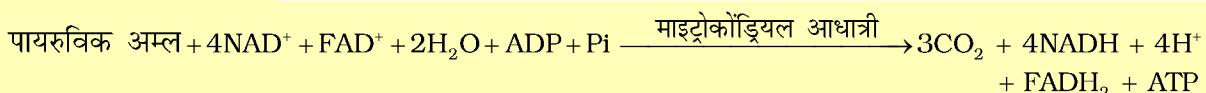
14.4.1 ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र (टीसीए)

TCA चक्र का प्रारंभ एसीटाइल 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 सिंथेटेज एंजाइम द्वारा होती है तथा CoA का एक अणु मुक्त होता है। तब सिट्रेट, आइसोसिट्रेट में समायवित हो जाता है। यह डिकार्बोक्सिलिकरण के दो लगातार चरणों के रूप में होता है। इसके उपरांत एल्फाकीटो ग्लूटेरिक अम्ल, तत्पश्चात् सक्सीनाइल CoA का निर्माण होता है। सिट्रिक अम्ल के बचे हुए चरणों में सक्सीनाइल CoA, OAA (ओक्सेलोएसीटिक अम्ल) में ऑक्सीकृत होकर चक्र को आगे बढ़ाने में सहायक होता है। सक्सीनाइल (CoA) से सक्सीनिक 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 NADH + H⁺ में अपचयन होता है और एक स्थान पर FAD⁺ का FADH₂ में अपयचन होता है।

टीसीए चक्र द्वारा एसिटिल CoA को एंजाइम्स अम्ल के निरंतर ऑक्सीकरण हेतु ऑक्सेलोएसीटेट अम्ल के पुनर्निर्माण की आवश्यकता होती है, जो चक्र का प्रथम सदस्य है।

इसके साथ-साथ NAD⁺ तथा FAD⁺ का NADH व FADH₂ से क्रमशः पुनःउत्पादन होता है।

अतः साँस की इस अवस्था के समीकरण को संक्षेप में निम्नवत लिखा जा सकता है:



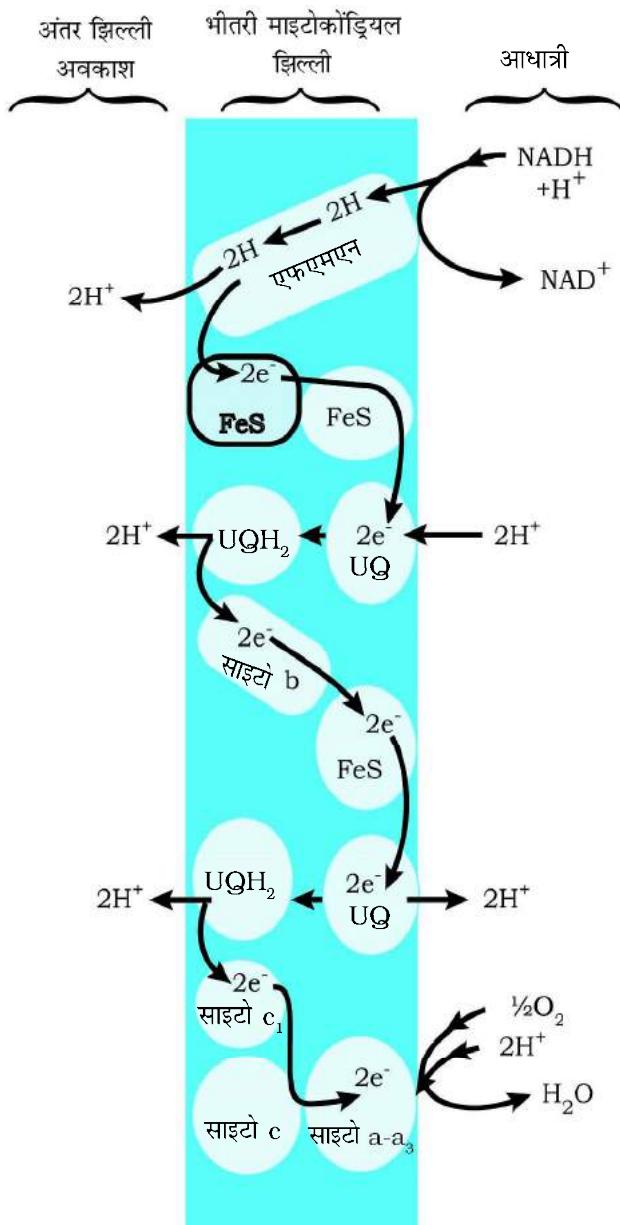
अब तक हम देख चुके हैं कि TCA चक्र में ग्लूकोज के विखंडन से कार्बनडाइऑक्साइड (CO_2) निकलती है, NADH + H⁺ के आठ अणु, FADH₂ के दो अणु तथा दो एटीपी अणुओं का निर्माण होता है। आपको आश्चर्य हो रहा होगा कि अभी तक साँस की चर्चा के दौरान न ही कहीं पर ऑक्सीजन का तथा न ही कहीं पर एटीपी के बहुत सारे अणुओं के निर्माण की चर्चा हुई है। अब संश्लेषित NADH + H⁺ तथा FADH₂ 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

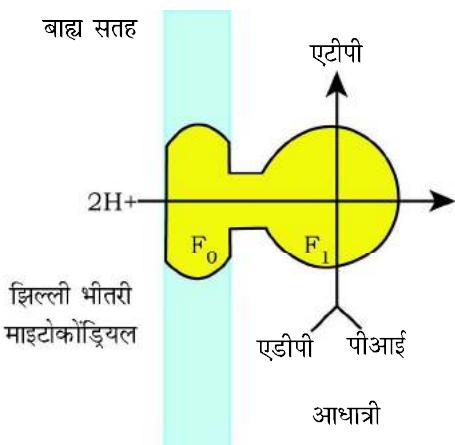
साँस प्रक्रिया के अगले चरण में NADH + H⁺ तथा FADH₂ में संचित ऊर्जा मुक्त व उपयोग में लाना है। यह तब संपादित होता है। जब उनका ऑक्सीकरण इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र द्वारा होता है तथा इलेक्ट्रॉन ऑक्सीजन पर चला जाता है तथा पानी का निर्माण होता

है। उपापचयी पथ जिसके द्वारा इलेक्ट्रॉन एक वाहक से अन्य वाहक की ओर गुजरता है इसे **इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र (ETC)** कहते हैं, (चित्र 14.4) जो माइटोकॉण्ड्रिया के भीतरी डिल्ली पर संपन्न होता है। माइटोकॉण्ड्रिया के आधारी में टीसीए चक्र के दौरान NADH से बनने वाले इलेक्ट्रॉन, एंजाइम NADH डिहाइड्रोजिनेज द्वारा ऑक्सीकृत होता है (कॉम्प्लेक्स-I), तत्पश्चात् इलेक्ट्रॉन भीतरी डिल्ली में उपस्थित यूबीक्विनोन की ओर स्थानांतरित होता है। यूबीक्विनोन अपचयी समतुल्य FADH₂ द्वारा प्राप्त करता है (कॉम्प्लेक्स-II) जो सिट्रिक अम्ल चक्र में सक्सीन के ऑक्सीकरण के दौरान उत्पन्न होते हैं। अपचयित यूबीक्विनोन (यूबीक्विनोल) इलेक्ट्रॉन को साइटोक्रोम bc₁ साइटोक्रोम C की ओर स्थानांतरित कर ऑक्सीकृत हो जाता है (कॉम्प्लेक्स-III)। साइटोक्रोम C एक छोटा प्रोटीन है जो, भीतरी: डिल्ली 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, a₃ 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 एडीपी 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 FADH₂ 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 H₂ (हाइड्रोजन) को मुक्त कर पूरी प्रक्रिया को संचालित करती है। ऑक्सीजन अंतिम हाइड्रोजन ग्राही के रूप में कार्य करता है। प्रकाश फॉस्फोरिलिकरण के विपरीत, जहाँ प्रोटीन प्रवणता के निर्माण में प्रकाश ऊर्जा का उपयोग फॉस्फोरिलिकरण 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-फॉस्फोरिलिकरण कहते हैं।



चित्र 14.4 इलेक्ट्रॉन तंत्र



चित्र 14.5 माइटोकॉंड्रिया 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 आधारी 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 पथ 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 माइटोकॉंड्रिया 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।

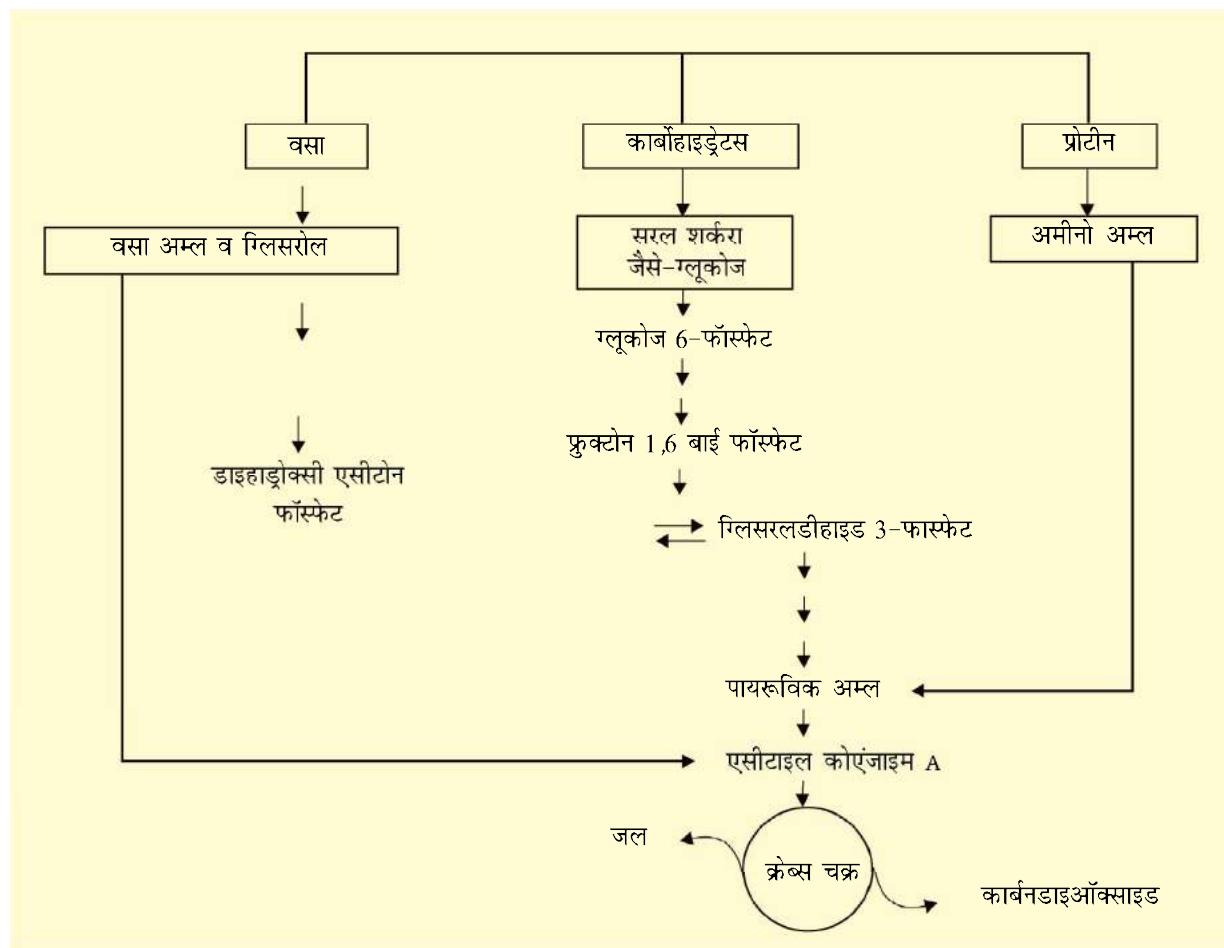
- किण्वन में ग्लूकोज का आंशिक विघटन होता है जबकि ऑक्सी श्वसन में पूर्ण विघटन होता है तथा कार्बनडाइऑक्साइड एवं जल बनते हैं।
- किण्वन में ग्लूकोज के एक अणु से पायरुविक अम्ल बनने के दौरान एटीपी के

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 (विएमीनीकरण के बाद) अपनी संरचना के आधार पर क्रेब्स चक्र के अंदर विभिन्न चरणों में प्रवेश करता है।

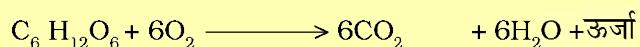
चूँकि साँस के दौरान क्रियाधारक टूटते हैं, अतः साँस प्रक्रिया परंपरागत अपचयी प्रक्रिया है और श्वसन पथ श्वसनीय अपचयी पथ है। किंतु आप क्या इसे ठीक समझते हैं? ऊपर वर्णित है कि विभिन्न क्रियाधार ऊर्जा हेतु श्वसन पथ में कहाँ प्रवेश करते हैं। यह जानना महत्वपूर्ण है कि ये यौगिक उपरोक्त क्रियाधार बनाने के लिए 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 श्वसनीय 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 श्वसनीय पथ में अपचय तथा उपचय दोनों ही होते हैं। इसलिए श्वसनीय 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

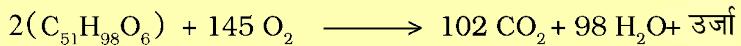
अब साँस के दूसरे पक्ष को देखते हैं। जैसा कि आप जानते हैं कि ऑक्सी श्वसन के दौरान ऑक्सीजन का उपयोग होता है और कार्बनडाइऑक्साइड निकलती है। साँस के दौरान मुक्त हुई कार्बनडाइऑक्साइड तथा उपयोग में लाई गई ऑक्सीजन का अनुपात को साँस गुणांक (R.Q.) या श्वसनीय अनुपात कहते हैं।

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

साँस गुणांक, साँस के दौरान उपयोग में आने वाले श्वसनीय क्रियाधार पर निर्भर करता है। जब कार्बोहाइड्रेट क्रियाधार के रूप में आकर पूर्ण ऑक्सीकृत हो जाते हैं तो साँस गुणांक 1 होगा; क्योंकि समान मात्रा में CO_2 व O_2 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 वातरंथ्र 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 आवंधों 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 O₂ की उपलब्धता तथा जीव पर निर्भर करता है। अनॉक्सी परिस्थितियों में किण्वन द्वारा लैक्टिक अम्ल या एल्कोहल बनते हैं। किण्वन बहुत सारे प्रोकै रियोटिक, एक कोशिक यूकैरियोट व अंकुरित बीजों में अनॉक्सी परिस्थितियों में संपन्न होता है। यूकैरियोट जीवों में O₂ की उपस्थिति में ऑक्सी साँस होता है। पायरुविक अम्ल का माइटोकॉड्रिया में परिवहन के बाद एसीटाइल CoA में रूपांतरण होता है साथ ही CO₂ निकलती है। तत्पश्चात एसीटाइल CoA टीसीए पथ अथवा क्रेब्स चक्र में प्रवेश करता है जो माइटोकॉड्रिया के आधात्री में होता है। क्रेब्स चक्र में NADH + H⁺ तथा NADH₂ बनते हैं। इन अणुओं व NADH + H⁺ जो ग्लाइकोलिसिस के दौरान बनता है। इनकी ऊर्जा का उपयोग एटीपी के संश्लेषण में होता है। यह सूक्ष्मकणिका के अंतः: झिल्ली पर स्थित बाहकों 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 O₂ होता है, जो पानी में अपचयित हो जाता है।

श्वसनी पथ में उपचयी अथवा अपचयी दोनों भाग लेते हैं, इसलिए इसे एंफीबेलिक 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 अनऑक्सी 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

15.2 विभेदन, निर्विभेदन तथा
पुनर्विभेदन

15.3 परिवर्धन

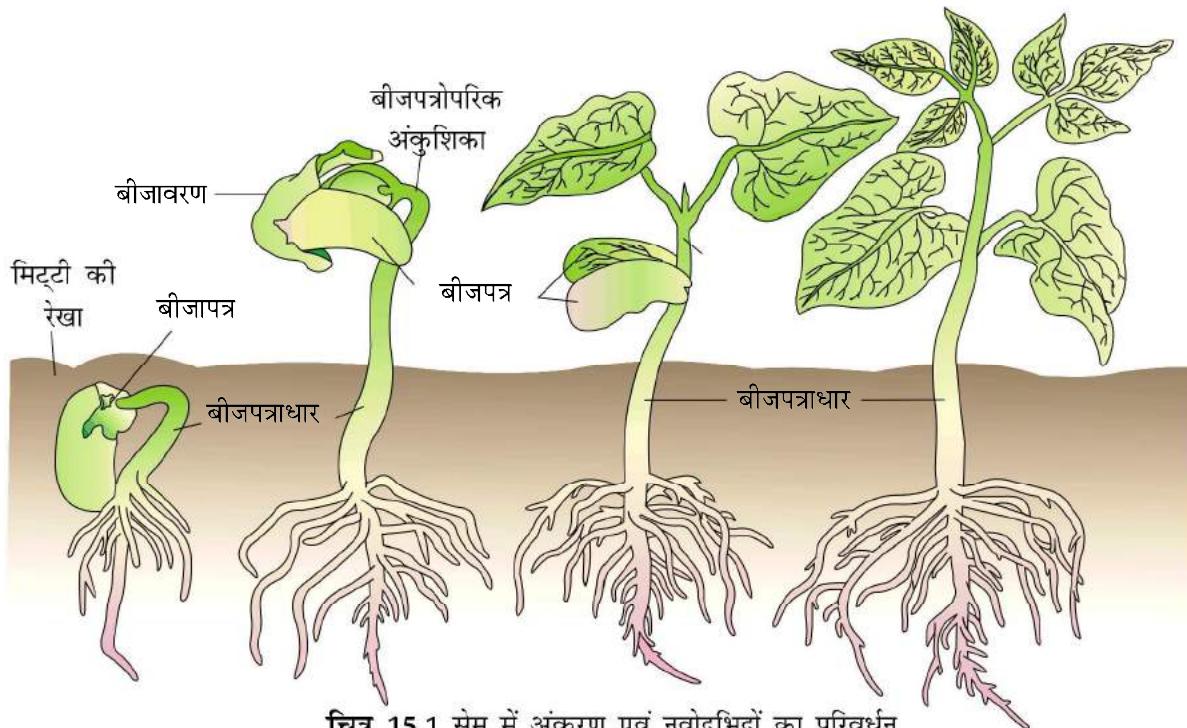
15.4 पादप वृद्धि नियामक

15.5 दीप्तिकालिता

15.6 वसंतीकरण

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 ऊँचाई 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 कार्यिक 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 हैं। 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 नियन्त्रित करते हैं। ये कारक एक पौधे के लिए आंतरिक एवं बाहरी होते हैं।



चित्र 15.1 सेम में अंकुरण एवं नवोदयभिंदों 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 अनिवार्य (अनपलट) स्थाई बढ़त के रूप में पारिभाषित 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। छिपीज पत्ती तथा नगनबीजी 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 छिपीयक वृद्धि के नाम से जाना जाता है (चित्र-15.2 देखें)।

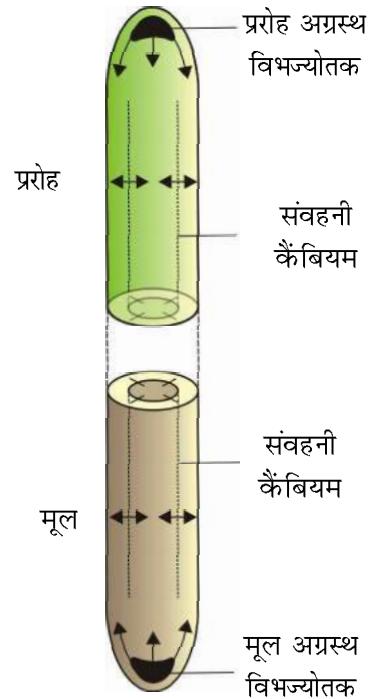
15.1.2 वृद्धि माप योग्य है

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 अशर्चर्य 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।

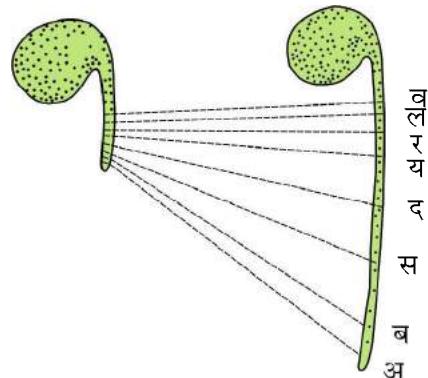
15.1.3 वृद्धि के चरण

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।

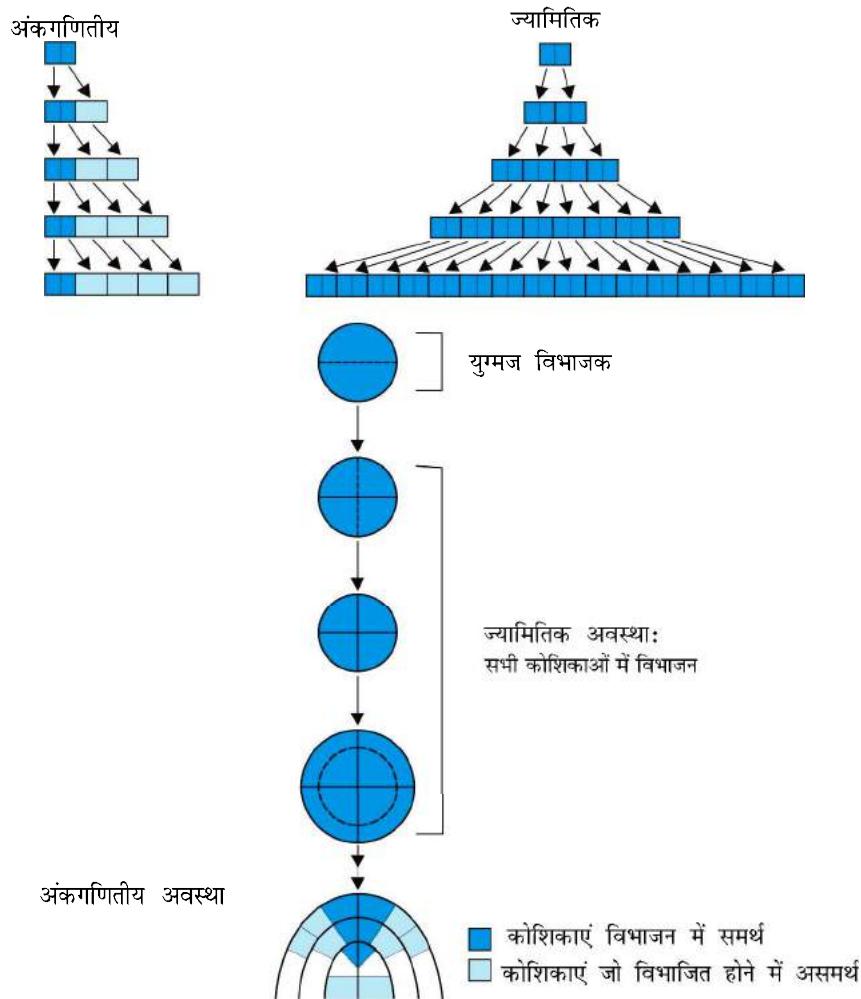


चित्र 15.3 दीर्घीकरण क्षेत्र का पहचान समानांतर रेखा तकनीक द्वारा। क्षेत्र अ, ब, स, द जो शीर्ष के पीछे हैं सबसे ज्यादा दीर्घीकृत हुए हैं।

अगला, नोक से दूर) कोशिका दीर्घीकरण के चरण का प्रतिनिधित्व करता है। इस चरण में कोशिकाओं का बढ़ा 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 बनाएं 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 सिग्मोइड 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? चरघातांकीय वृद्धि को इस प्रकार प्रकट किया जा सकता है:

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

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

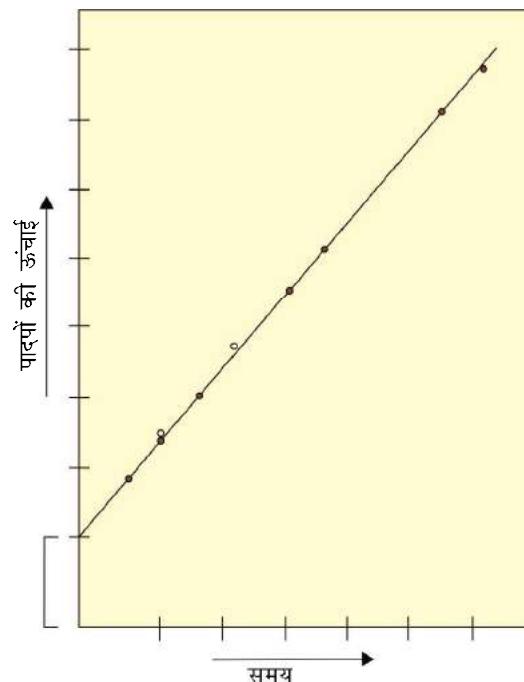
W_0 = प्रथम आकार प्रारंभिक समय में

r = वृद्धि दर

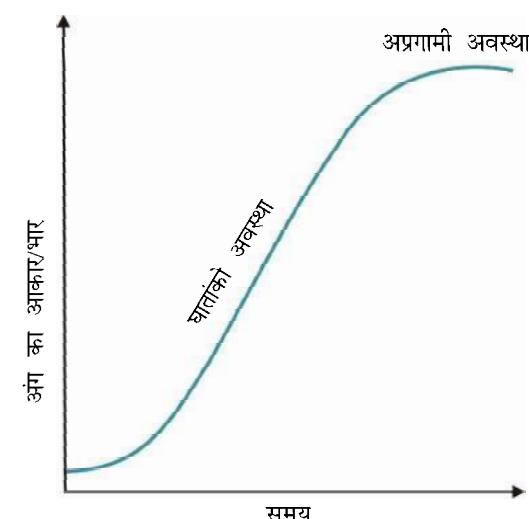
t = समय में वृद्धि

e = स्वाभाविक लघुगणिक का आधार

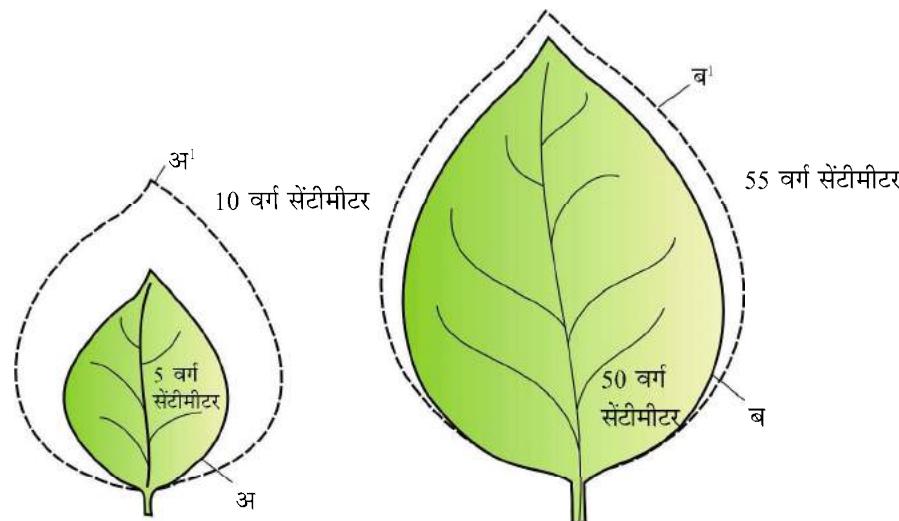
यहाँ r = एक सापेक्ष वृद्धि दर है, तथा साथ ही पौधे द्वारा नई पादप सामग्री को पैदा करने की क्षमता को मापने के लिए है,



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 पंक्तियां 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 पत्तियां '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

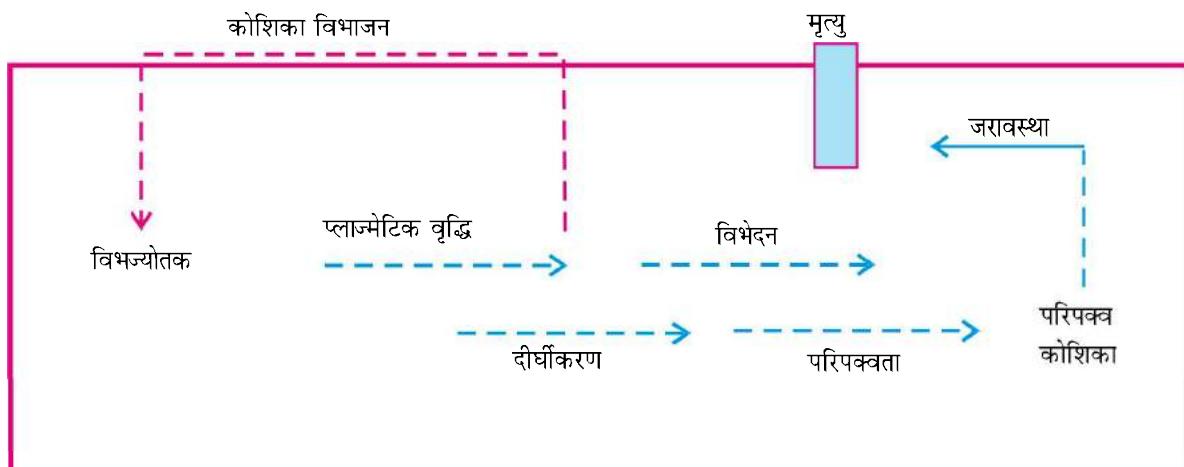
मूल शिखाग्र विभज्योतक तथा प्ररोह शिखाग्र विभज्योतक से आने वाली कोशिकाएं और कैंबियम विभेदित होती हैं। तथा विशिष्ट क्रियाकलाप को संपन्न करने के लिए परिपक्व होती है। यह परिपक्वता की ओर अग्रसर होने वाली कार्यवाही विभेदन कहलाती है। वे अपनी कोशिकाभित्ति एवं जीवद्रव्य दोनों में ही या कुछ व्यापक संरचनात्मक बदलावों से गुजरती हैं। उदाहरणस्वरूप एक वाहिकीय तत्व के बनने में कोशिका अपने जीव द्रव्य को खो देती है और बाद में एक बहुत सुदृढ़ तन्यतापूर्ण लिग्नोसेल्युलोसिक (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 अर्वुद 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 बलय 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

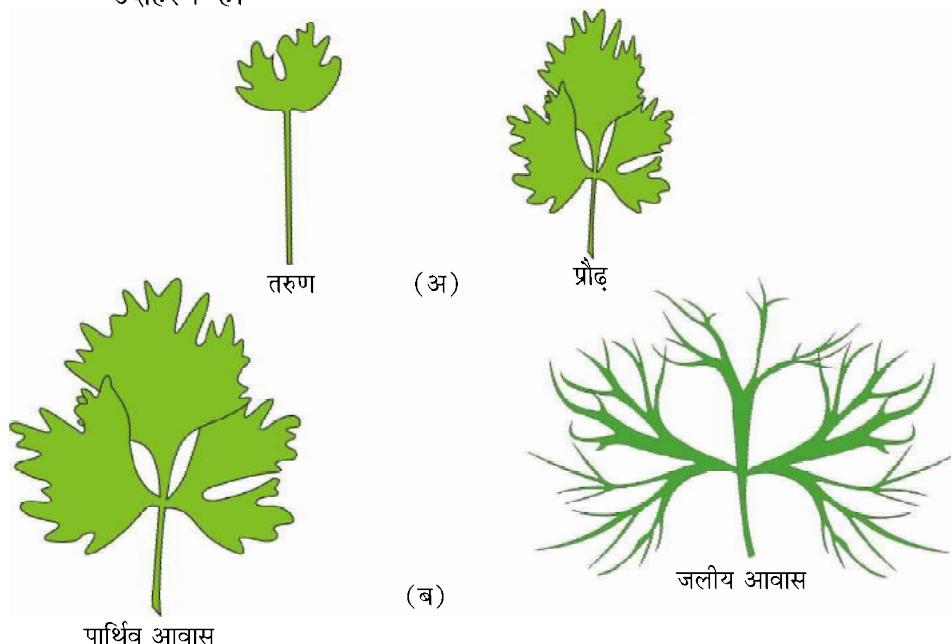
परिवर्धन वह शब्द है जिसके अंतर्गत एक जीव के जीवन चक्र में आने वाले वे सारे बदलाव शामिल हैं, जो बीजांकुरण एवं जरावर्स्था के बीच आते हैं। चित्र 15.8 में उच्च



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 विषमपर्णी

अतः एक पौधे के जीवन में वृद्धि, विभेदन और परिवर्धन बहुत ही निकट संबंध रखने वाली घटनाएँ 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

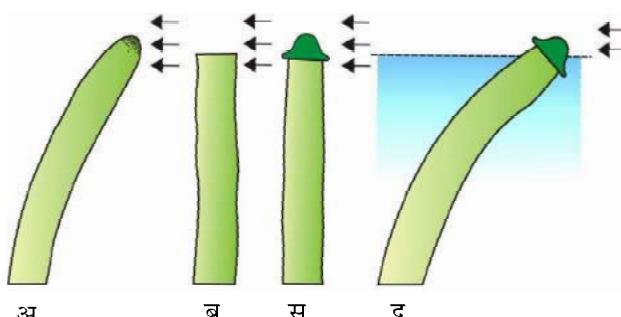
15.4.1 विशिष्टताएँ

पादप वृद्धि नियामक विविध रासायनिक संघटनों वाले साधारण तथा लघु अणु होते हैं। ये इंडोल सम्मिश्रण (इंडोल-3 एसिटिक अम्ल, आई ए ए); ऐडनीन व्युत्पन्न फरफ्युराइल ऐमिनो प्युरीन काइनटिन) केराटिनायड तथा वसा अम्लों के व्युत्पन्नक (एसीसिक एसिड, ए बी ए), टर्पीन (जिबरेलिक 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 ऑक्सिसंस, जिबरेलिंस तथा साइटोकिनिंस। उनके समूह के दूसरे पीजीआर तथा दवाब के प्रति पादपों की अनुक्रिया समूह के दूसरे पीजीआर में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। इसके साथ ही वे विभिन्न वृद्धि बाधक 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 शुरूआत चाल्स डारविन और उनके पुत्र फ्रांसिस डारविन के अवलोकन से हुई जब उन्होंने देखा कि कनारी घास का प्रांकुर चोल (कोलियोपटाइल) एक पाश्वी 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)। ऑक्सिन 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 पौधे (नवोद्भिद्) की बीमारी है जो रोगजनक कवक जिबेरेला फूजीकोराइ के द्वारा होती है। ई. कुरोसोवा (जापानी वैज्ञानिक) ने रोगरहित धान की पौधे में रोग लक्षण को बताया, जब उन्हें कवक के जीवाणुहीन निस्यंदें (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 मॉडियम में, वाहिका ऊतकों के सत्त्व या यीस्ट सत्त्व 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 कार्यकीय प्रभाव का अगले भाग में अध्ययन करते हैं।

15.4.3 पादप वृद्धि नियामकों का कार्यकीय शरीरक्रियात्मक प्रभाव

15.4.3.1 ऑक्सिसंस

(ग्रीक शब्द आक्सेन : बढ़ना) सर्वप्रथम मनुष्य के मूत्र से निकाला गया। शब्द ऑक्सिसंस 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 है। ऑक्सिसंस जैसे आईएए एवं इनडोल ब्यूटेरिक अम्ल पौधे से निकाला गया है। एनएए (नैफथेलिन एसेटिक अम्ल) तथा 2, 4 डी (2,4 डाइक्लोरो फिनोक्सी एसेटिक अम्ल) कृत्रिम आक्सिसंस हैं। ऑक्सिसंस 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। आक्सिसंस 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। प्रोह 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 आक्सिसंस 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 ऑक्सिसंस जाइलम विभेदन को नियंत्रित करने तथा कोशिका के विभाजन में मदद करता है।

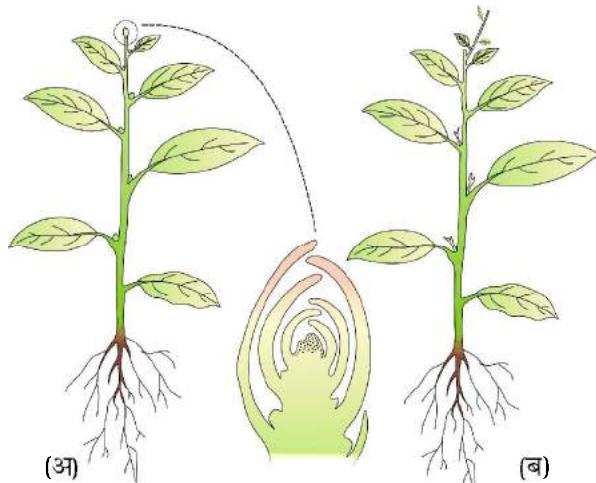
15.4.3.2 जिब्वेरेलिंस

जिब्वेरेलिंस एक अन्य प्रकार का प्रोत्साहक पी जी आर है। सौ से अधिक जिब्वेरेलिंस 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 जिब्वेरेलिंस 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 कायिकीय अनुक्रिया देते हैं। ये अक्ष की लंबाई बढ़ाने की क्षमता रखते हैं, अतः अंगूर के डंठल की लंबाई बढ़ाने में प्रयोग किये जाते हैं। जिब्वेरेलिंस सेव जैसे फलों को लंबा बनाते हैं ताकि वे उचित रूप ले सकें। ये जरावर्स्था 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 मालिंग 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 जिब्वेरेलिंस 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। जिब्वेरेलिंस चुकंदर, पत्तागोभी एवं अन्य रोजेटी स्वभाव वाले पादपों में बोलिंग (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 अष्ठि तथा नारियल दूध से



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

जियाटीन अलग किया जा सका। जियाटिन 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 हरितलबक 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 जरावर्स्था को देरी करने में मदद मिलती है।

15.4.3.4 एथीलिन

एथीलिन एक साधारण गैसीय पी जी आर है यह जरावर्स्था 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 निवेदभिदों में अंकुश संरचना को प्रभावित करती है। एथीलिन जरावर्स्था एवं विलगन को मुख्यतः पत्तियों एवं फूलों में बढ़ाती है। यह फलों को पकाने में बहुत प्रभावी है। फलों के पकाने के दौरान यह श्वसन की गति की वृद्धि करता है। श्वसन वृद्धि में गति की इस बढ़त को क्लाइमैक्टिक श्वसन कहते हैं।

एथीलिन बीज तथा कलिका प्रसुप्ति को तोड़ती है, मूँगफली 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 कार्यकी 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 नियमित करने में उसकी भूमिका के लिए हुई थी। लेकिन अन्य दूसरे पी जी आर की भाँति 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 रंगों 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।

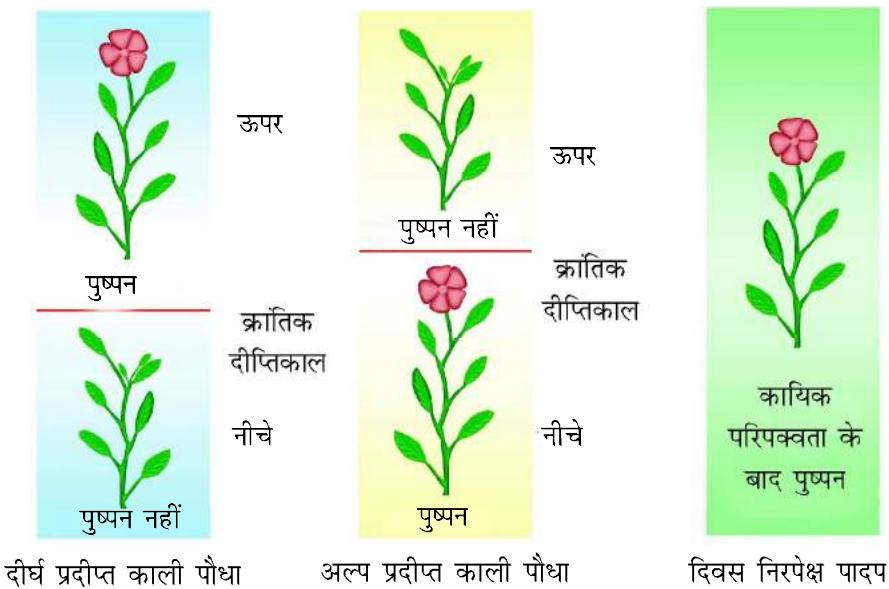
हम संक्षेप में कह सकते हैं कि पादपों की वृद्धि, विभेदन तथा परिवर्धन के लिए एक या कई अन्य पी जी आर कुछ न कुछ भूमिका निभाते हैं। यह भूमिकाएं संपूरक की या फिर विरोधक की भी हो सकती है। ये भूमिकाएं वैयक्तिक (निजी) या योगवाही हो सकती हैं। इसी तरह पौधे के जीवन में कई घटनाएं होती हैं जहाँ एक से ज्यादा पीजीआर मिलकर घटनाओं को प्रभावित करती हैं, उदाहरण के तौर पर बीज या कली का प्रसुप्तीकरण, विलगन, जरावर्स्था, 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 है) 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 शुरूआत 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 है। इसीलिए वह शरदकाल में बोई जाती है। ये अंकुरित होते हैं और नवोद्भिदों के रूप में जाड़े को बिताते हैं, फिर वसंत 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 सकृतकली 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।

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, ऊँचाई, आयतन, कोशिका संख्या आदि। इसमें बढ़ा हुआ जीव द्रव्य पदार्थ शामिल है। पौधों में विभज्योतक/मेरिस्टेम वृद्धि की जगह 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 पुनःविभेदित हो सकती है। पादपों में विभेदन चूँकि 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, जिबरेलिंस, साइटोकिनिंस, एक्सीसिक एसिड तथा एथीलिन। 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 कार्यकी 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।

अध्यास

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 वर्णन 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
 - (ड) एक रोजेट पौधे में 'वोल्ट' हेतु
 - (च) पत्तियों के रंध्र को तुरंत बंद करने हेतु
10. क्या एक पर्णरहित पादप दीप्तिकलिता के चक्र से अनुक्रिया कर सकता है? यदि हाँ या नहीं तो क्यों?
11. क्या हो सकता है, अगर:
 - (क) जी पू. (GA_3) 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 साइटोकीनिस डालना भूल जाएं।