314hi12

12

पादपों में श्वसन

जीवन के लिए दो बातें अत्यन्त महत्त्वपूर्ण है-शरीर की वृद्धि के लिए आवश्यक पदार्थों की आपूर्ति तथा विभिन्न शारीरिक क्रियाओं के संचालन हेतु ऊर्जा की प्राप्ति। सभी तंत्रों-कोशिका से लेकर परितंत्र तक को कार्य करने के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है। जैसा कि आप पहले पढ़ चुके है, कि प्रकाश संश्लेषण में प्रकाश ऊर्जा का रूपांतरण रासायनिक ऊर्जा में हो जाता है तथा ऊर्जा जटिल अणु जैसे ग्लूकोज, तथा स्टार्च आदि में संचित हो जाती है। इन्हीं जटिल अणुओं को ''भोजन'' का नाम दिया गया है।

परंतु भोजन में संचित ऊर्जा का कोशिकाओं को, उपयोगी रूप में उपलब्ध होना आवश्यक है। अत: श्वसन वह प्रक्रिया है जिसके फलस्वरूप कार्बनिक पदार्थो के ऑक्सीकरण द्वारा ऊर्जा मुक्त होती है। यह ऊर्जा जीवित कोशिकाओं को ए.टी.पी (एडिनोसिन ट्राई-फास्फेट) के रूप में उपलब्ध होती है। ऑक्सीकरण के लिए आवश्यक ऑक्सीजन वायुमंडल से मिलती है। श्वसन द्वारा यह ऑक्सीजन शरीर को प्राप्त होती है। ए.टी.पी (ATP) को कोशिका की 'ऊर्जा मुद्रा' भी कहते हैं। इस पाठ में पादप श्वसन के विभिन्न पहलुओं का वर्णन है।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के समापन के पश्चात आप :

- *श्वसन, किण्वन, प्रकाश श्वसन एवं श्वसन गुणांक को पारिभाषित कर सकेगें;*
- *अनॉक्सीश्वसन की मूलभूत घटनाओं की सूची बना सकेंगे तथा उनको व्यक्त करने वाली रासानियक समीकरणों को लिख पायेंगे;*
- *किण्वन प्रक्रिया के उद्योगों में उपयोग को समझ सकेगें;*
- *वायवीय (ऑक्सी) तथा अवायवीय (अनॉक्सी) श्वसन की तुलना कर सकेगें;*
- *क्रेब्स चक्र के विभिन्न पदों को आरेखी चित्र (प्रवाह चार्ट) द्वारा समझ सकेगें;*
- *यह जान सकेंगे कि वास्तव में ए.टी.पी (ATP) अणुओं में ऊर्जा किस प्रकार मुक्त तथा संचित होती है;*

- *ऑक्सी (वायवीय) श्वसन के फलस्वरूप निकलने वाले 38 ए.टी.पी. (ATP) अणुओं का का विवरण दे पायेंगे;*
- *उन कारकों की सूची बना पाएंगे जो कि श्वसन को प्रभावित करते है; तथा विभिन्न भोज्य पदार्थों के श्वसन गुणांक (RQ value) की गणना कर सकेगें।*

12.1 श्वसन

श्वसन, जटिल कार्बनिक अणुओं के ऑक्सीकरण की वह चरणबद्ध प्रक्रिया है जिसके फलस्वरूप विभिन्न कोशिकीय उपापचीय क्रियाओं हेतु ATP के रूप में ऊर्जा मुक्त होती है। श्वसन में जीव तथा बाह्य वातावरण में परस्पर गैस-विनिमय होता है। पौधे अपने परिवेश से ऑक्सीजन ग्रहण करते हैं तथा कार्बन डाईऑक्साइड एवं जल वाष्प छोड़ते हैं। प्राणियों के संबंध में इस प्रकार केवल गैसीय विनिमय को **बाह्य श्वसन** या साँस लेना कहते हैं। यह एक भौतिक प्रक्रिया है।

कोशिकाओं के भीतर होने वाली वह जैवरासायनिक प्रक्रिया जिसके फलस्वरूप भोज्य पदार्थो के ऑक्सीकरण द्वारा ऊर्जा मुक्त होती है, **कोशिकीय श्वसन** कहलाती है। इस प्रक्रिया में विभिन्न एन्जाइम (उत्प्रेरक) भाग लेते हैं। कोशिकाओं द्वारा जटिल भोज्य अणुओं से ऊर्जा प्राप्त करने की प्रक्रिया ऑक्सीजन की उपस्थिति या अनुपस्थिति पर निर्भर करती है। जब श्वसन क्रिया में ऑक्सीजन का उपयोग होता है तो इसे **वायवीय** (aerobic)कहते हैं तथा जहाँ पर ऑक्सीजन का उपयोग नहीं होता है तो इसे (anaerobic) **अवायवीय श्वसन** कहते है। अवायवीय श्वसन में कार्बनिक अणुओं का आशिंक रूप से विखंडन कोशिकाद्रव्य (Cytosol) में होता है तथा निकलने वाली ऊर्जा का कुछ अंश ही कोशिका के कार्यों हेतु ATP के रूप में संचित होता हैं। वायवीय श्वसन, अवायवीय श्वसन की प्रक्रिया के पश्चात्, ऑक्सीजन की उपस्थिति में होने वाली प्रक्रिया है जिसमें ATP के रूप में ऊर्जा की अपेक्षाकृत अधिक मात्रा निकलती है। यह क्रिया यूकेरिओट के माइट्रोकॉण्ड्रिया तथा प्रोकेरिओट की प्लाज्मा झिल्ली में होती है।

वायवीय तथा अवायवीय श्वसन दोनों में बहुत सी समानताएँ है जैसे कि :

- दोनों प्रक्रियाओं में ऑक्सीकरण द्वारा जटिल खाद्य अणुओं से ऊर्जा निकलती हैं।
- दोनों ही प्रक्रियाओं में हाइड्रोजन वाहको के रूप में कार्बनिक अणुओं से हाइड्रोजन को हटाने में सह-एन्जाइमों का प्रयोग होता है जिससे सह एन्जाइमों का अपचयन तथा आधारी पदार्थों (भोज्य पदार्थों) का ऑक्सीकरण होता है। अधिकांश हाइड्रोजन वाहक NAD (निकोटिनामायड एडीनिन डाइन्यूक्लियोटाइड) एवं FAD (फ्लेविन एडीनिन डाईन्यूक्लियोटाइड) होते हैं। ये अणु पुन: ऑक्सीकृत होकर ATP निर्माण के लिए ऊर्जा मुक्त करते हैं।
- दोनों ही प्रक्रियाओं में ऊर्जा स्थानांतरण हेतु उच्च ऊर्जा युक्त फास्फेट यौगिकों ATP अणुओं का प्रयोग होता है

दोनों प्रकार के श्वसनों में मूलभूत अंतर तालिका 12.1 में दिया गया है

टिप्पणी

Aerobic (वायवीय श्वसन) (Aero = वायु)	Anaerobic (अवायवीय श्वसन) (Anaero = अवायु)
1. ऑक्सीजन की उपस्थिति में होता है	1. ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में होता है
2. इस प्रक्रिया में कार्बनिक पदार्थों का पूर्ण ऑक्सीकरण होता है	2. इस प्रक्रिया में कार्बनिक पदार्थों का आशिंक ऑक्सीकरण होता है
3. उच्च श्रेणी के जीवों दोनों पादपों और प्राणियों में सामान्यतया होने वाली श्वसन विधि है।	3. यह प्रक्रिया निम्न जीवों जैसे जीवाणु, कवक तथा उच्च जीवों में जहाँ ऑक्सीजन कम होती है। जैसे उन माँसपेशियों में ऑक्सीजन अपर्याप्त हो जाती है)
4. $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 6O_2 + 38$ ATP	4. $C_6H_{12}O6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2$ ATP (यीस्ट में) OR $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow$ 2 लैक्टिक अम्ल + 2 ATP (मांसपेशियों में)
5. यह प्रक्रिया यूकेरिओटों के कोशिकाद्रव्य तथा माइटोकाण्ड्रिया में तथा प्रोकेरिओटों की प्लाज्मा झिल्ली में होती है।	5. यह प्रक्रिया कोशिकाद्रव्य (साइटो प्लाज्म) में होती है।

सह एन्जाइम एक जटिल प्रोटीन विहीन अणु होता है जो किसी एन्जाइम से अस्थाई रूप से जुड़कर विभिन्न उपापचयी क्रियाओं को जोड़ने का कार्य करता है।

पाठगत प्रश्न 12.1

1. पौधे एवं अन्य जीव-जंतु विभिन्न क्रिया कलापों हेतु ऊर्जा किस प्रकार प्राप्त करते है?

   .....

2. भोजन से श्वसन के फलस्वरूप बनने वाले उच्च ऊर्जा अणुओं के नाम बताइए।

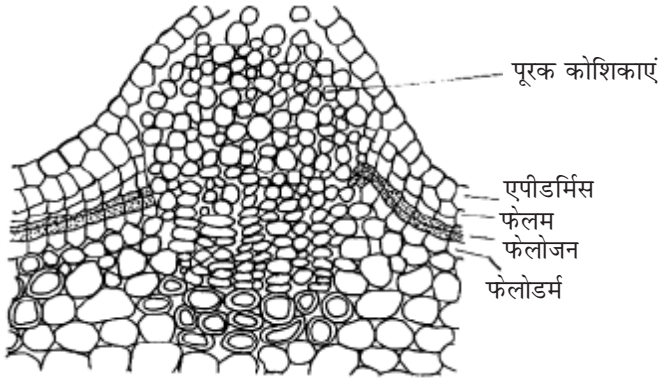
   .....

3. वायवीय तथा अवायवीय श्वसन में दो अंतर बताइए।

   .....

12.2 वाह्य श्वसन गैसीय विनिमय

- पौधे में, वायुमंडलीय हवा, साधारण विसरण द्वारा अंदर से बाहर एवं बाहर से अंदर जाती है :
  - (a) पौधे की सामान्य सतह द्वारा (तने, जड़, फल एवं बीज)
  - (b) वातरंध्र (तने की छाल पर खुलने वाले छिद्र) (चित्र 12.1)
  - (c) रंध्र, जोकि पत्तियों एवं नए हरे तनों पर विद्यमान होते हैं।



चित्र 12.1: एक वृक्ष की छाल पर बना वातरंध्र

- पौधे को ऑक्सीजन वाहक की आवश्यकता नहीं होती। इसके विपरीत, जंतुओं में ऑक्सीजन का संवहन रूधिर द्वारा होता है, क्योंकि पौधो में जंतुओं की तुलना में ऑक्सीजन की कम आवश्यकता होती है तथा पौधों में ऑक्सीजन के अवशोषण के लिए सामान्य विसरण द्वारा अधिक क्षेत्रफल (पत्तियां) उपलब्ध हो जाता है।

- पौधे के अंदर उपस्थित अंतरकोशिकीय स्थानों में वायुमंडल से गैस-एकत्रित होती हैं। जैसे-जैसे ऑक्सीजन का उपभोग होता है वैसे ही और ऑक्सीजन पुन: विसरण द्वारा पौधे में प्रवेश कर जाती है क्योंकि CO_2 पौधों में लगातार बनती रहती है अत: CO_2 की सांद्रता पौधे के अंदर बढ़ जाती है तथा यह सांद्रता बाह्य वातावरण से अधिक हो जाती है जिसके कारण CO_2 विसरण द्वारा बाहर निकल जाती है।

- क्या आप इसकी विवेचना कर सकते हैं, कि पौधे दिन के समय ऑक्सीजन निकालते हैं जबकि वे इसका उपयोग श्वसन हेतु कर सकते हैं?

पौधो में दिन के समय निकलने वाली ऑक्सीजन का उपयोग श्वसन के लिए भी किया जाता है; परंतु प्रकाश संश्लेषण की दर श्वसन दर से अधिक होती है अत: दिन के समय पौधे अधिक मात्रा में ऑक्सीजन छोड़ते हैं। यद्यपि वे रात के समय केवल CO_2 छोड़ते हैं क्योंकि प्रकाश की अनुपास्थिति में प्रकाश संश्लेषण की क्रिया नहीं होती हैं। जंतु केवल CO_2 ही छोड़ते हैं।

पाठगत प्रश्न 12.2

1. उन सतहों के नाम बताइए जिनकी साहयता से पौधे वायुमंडल से ऑक्सीजन ग्रहण करते हैं।

   .....

2. उस प्रक्रिया का नाम बताइए जिसके द्वारा पौधे वायुमंडल से ऑक्सीजन ग्रहण करते हैं।

   .....

3. उन गैसों के नाम बताइए जो पौधे दिन तथा रात के समय छोड़ते हैं।

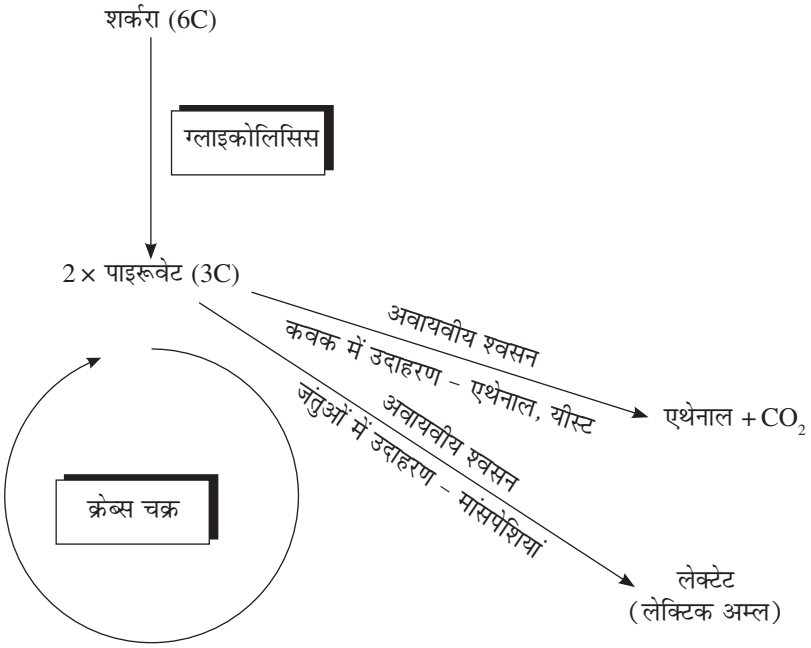
   .....

4. पौधो में जंतुओं के समान विशेष श्वसन अंग नहीं होते हैं–कोई दो कारण बताइये।

   .....

12.3 कोशिकीय श्वसन

अवशोषित ऑक्सीजन का उपयोग पोषक पदार्थों जैसे–ग्लूकोज, अमीनो अम्ल तथा वसीय अम्लों का संपूर्ण ऑक्सीकरण करके CO_2 उत्पादन, जल तथा ऊर्जा उत्पन्न करने में होता है। यह क्रिया कोशिकाओं एवं ऊतकों में होती है। चित्र 12.2 को देखें तथा कोशिकीय श्वसन (वायवीय एवं अवायवीय) के विभिन्न चरणों को चिन्हित करें। इन दोनों कोशिकीय श्वसनो का प्रथम चरण **ग्लाइकोलिसिस** है।



चित्र 12.2 कोशिकीय श्वसन के पथ

12.3.1 ग्लाइकोलिसिस : (एम्बडेन-मेयरहॉफ़ पारनास पाथवे)

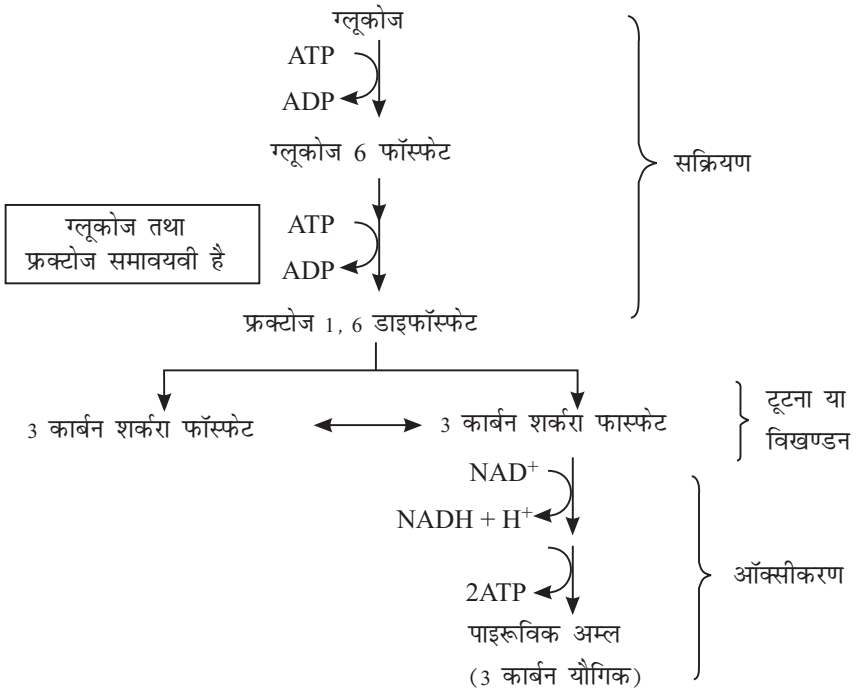
ऑक्सीजन उपस्थित हो अथवा न हो, कोशिका में प्रारंभ में, ग्लूकोज का विखंडन हमेशा अवायवीय ही होता है। ग्लाइकोलिसिस वायवीय तथा अवायवीय श्वसन दोनों में होती है। ग्लाइकोलिसिस में, एन्जाइमों द्वारा नियंत्रित प्रक्रिया में चरणव) तरीके से ग्लूकोज के एक अणु का ऑक्सीकरण होकर पाइरूबिक अम्ल के दो अणु बन जाते हैं। क्रिया का आरम्भ ग्लूकोज से होता है (पौधो में प्रकाश संश्लेषण से बनता है तथा जंतुओं में कार्बोहाइड्रेट के पाचन के फलस्वरूप)

ग्लाइकोलिसिस को पुनः तीन भागों में बांटा जा सकता है :

1. ग्लूकोज के फास्फेटीकरण द्वारा फ्क्टोस 1, 6 डाइफॉस्फेट का बनना। यह ग्लूकोज का सक्रियण है तथा इसमें 2 ATP अणुओं का उपयोग होता है।
2. उपरोक्त बने यौगिक का तीन कार्बन शर्करा युक्त फॉस्फेट वाले दो यौगिक में टूटना। ये यौगिक अंतरपरिवर्तनीय होते है। इसी से ग्लाइकोलिसिस शब्द की उत्पति हुई है जिसका अर्थ है ग्लूकोज का टूटना या विखंडन।
3. प्रत्येक तीन कार्बन युक्त शर्करा फास्फेट ऑक्सीकरण द्वारा हाइड्रोजन को त्याग कर अपचयित NAD का निर्माण करता है तथा 2 ATP अणु का उत्पादन भी होता है।

यह क्रिया अपने आप में ऊर्जा एकत्रित करने की पहली क्रिया है जिसका विकास आज से लगभग 3 अरब वर्ष पूर्व प्राचीन जीवाणुओं में हुआ परंतु आज ये सभी जीवों की प्रत्येक कोशिका में होती है

$$ATP \longrightarrow ADP + Pi + 30.6\ kJ$$



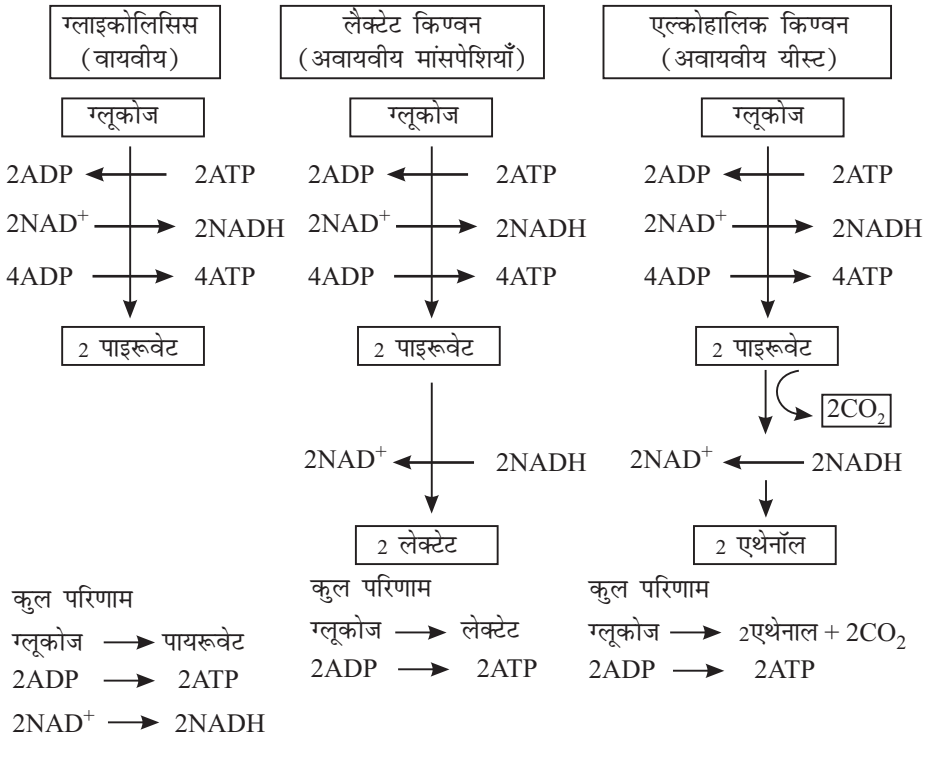
उपरोक्त प्रक्रिया का संतुलित समीकरण है

- ग्लूकोज + 4ADP + 4Pi + 2NAD $\longrightarrow$ 2 पाइरूविक अम्ल + 4ATP + 2NADH
- ग्लाइकोलिसिस की प्रारंभिक अवस्थाओं में ATP के दो अणुओं का इस्तेमाल हो जाता है। अत: ग्लाइकोलिसिस प्रक्रिया के दौरान बने कुल ATP अणुओं की संख्या 4 – 2 = 2ATP। इसके अतिरिक्त दो अपचयित NADH + H^+ अणु भी बनते हैं।
- अत: हम देखते हैं कि ग्लाइकोलिसिस प्रक्रिया के अन्त में ऊर्जा की बहुत थोड़ी मात्रा ही निकलती है।

12.3.2 किण्वन

पाइरूविक अम्ल का ऑक्सीकरण करने के लिए ऑक्सीजन की आवश्यकता (आप इसके बारे में जल्दी पढ़ेंगे) होती हैं। अत: इसका वायवीय ऑक्सीकरण माइटोकाण्ड्रिया में होता है। अवायवीय अवस्थाओं में (या ऑक्सीजन की अपर्याप्त आपूर्ति) सूक्ष्मजीव एवं पौधे किण्वन क्रिया करते हैं।

किण्वन प्रक्रिया में पाइरूविक अम्ल का इथाइल एल्कोहल एवं CO_2 में अपचयन होता हैं। (यीस्ट में) अथवा लैक्टिक अम्ल में (जैसा कि जंतुओं की माँसपेशियों में होता है) तथा NADH का NAD^+ में ऑक्सीकरण होता है। इस प्रकार NAD का पुनरुत्पादन होता है जिसका उपयोग ग्लाइकोलिटिक पाथवे में वायवीय दशाओं में 2 ATP अणु बनाने में किया जा सकता है। (कृपया चित्र 12.3 देखें) किण्वन प्रक्रिया में ATP अणु का निर्माण नहीं होता है। यद्यपि आप किण्वन शब्द से एल्कोहालिक किण्वन के संदर्भ में अधिक परिचित हो लेकिन अब इसका उपयोग अवायवीय पथ में पाइरूबिक अम्ल के लिए होता है।



चित्र 12.3 अवायवीय श्वसन का पथ

किण्वन का महत्त्व

किण्वन प्रक्रिया का अनेक उद्योग धंधों में उपयोग होता है एवं कुछ उद्योगों में तो इस प्रक्रिया का व्यापक इस्तेमाल होता है। जीवाणुओं के विभिन्न प्रभेदों एवं यीस्ट को काफी अधिक मात्रा में संवर्धित करके अनेक प्रकार से उपयोग में लाया जाता है।

1. बेकरी में डबलरोटी, बिस्कुट एवं केक आदि बनाने में
2. शराब एवं अन्य एल्कोहालिक उत्पाद जैसे बीयर, रम इत्यादि बनाने में।
3. सिरका बनाने एवं चमड़े के टैनिंग (चर्मशोधन) करने में।
4. एथेनाल का उपयोग ब्राजील में गड़ियों को चलाने में किया जा रहा है तथा वर्तमान में भारत सरकार भी पेट्रोल में एल्कोहल मिलाकर बेचने की योजना पर कार्य कर रही हैं जिसे **गैसोहाल** भी कहते हैं।
5. हमारे दैनिक जीवन में किण्वन प्रक्रिया इडली, डोसा, भटूरा, ढोकला इत्यादि में प्रयोग होती है। गूँधे आटे में खमीर मिलाकर गर्म वातावरण में रखते हैं तो इससे आटा स्पंजी हो जाता है तथा फूल जाता है। इस प्रकार से उसमें एक विशिष्ट गंध एवं स्वाद आ जाता है।

> क्या आप जानते हैं कि अधिक देर तक व्यायाम करने से हमारी माँसपेशियों में दर्द क्यों होने लगता है? इसका कारण है माँसपेशियो में लेक्टिक अम्ल का जमा होना।

12.3.3 पाइरूविक अम्ल का वायवीय श्वसन में पहुँचना

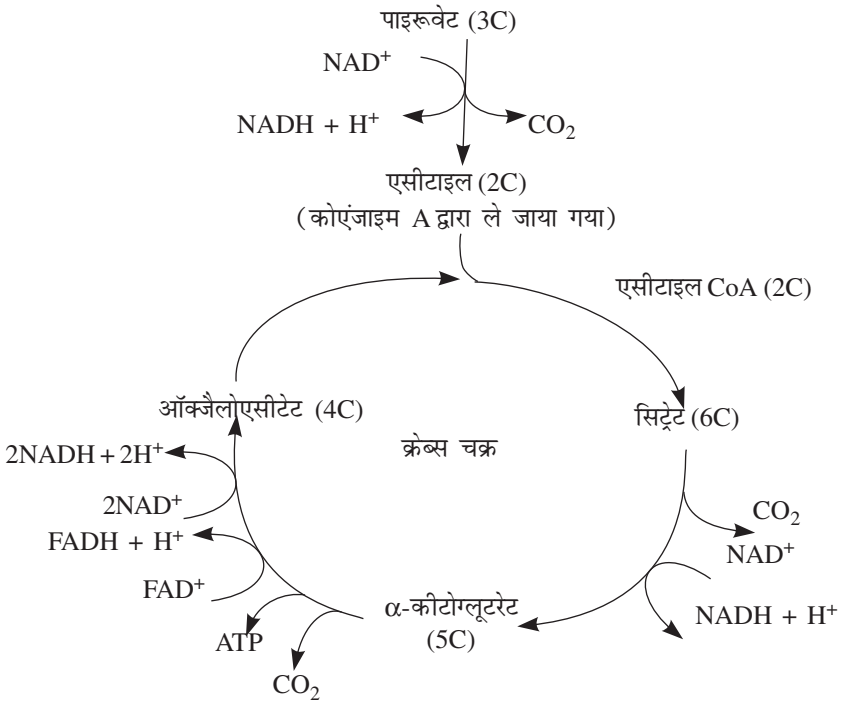
यह आप पहले ही जान चुके हैं कि किस प्रकार ग्लाइकोलिसिस प्रक्रिया के फलस्वरूप कोशिका के कोशिकाद्रव्य में ग्लूकोज, पाइरूविक अम्ल के दो अणुओं में परिवर्तित हो जाता है।

- ऑक्सीजन की उपस्थिति में, पाइरूविक अम्ल माइटोकाण्ड्रिया में प्रवेश करता है तथा CO_2 तथा हाइड्रोजन को त्याग कर एसेटाइल CoA (Acetyl CoA) में परिवर्तित हो जाता है। इस प्रकार एसेटाइल CoA, ग्लाकोलिसिस एवं श्वसन की आगे की क्रियाओं के बीच सेतु का कार्य करता है जिसमें ATP के रूप में अधिक ऊर्जा उत्पन्न होती है। एसेटाइल CoA वसा एवं प्रोटीन से भी उत्पन्न होता है।

क्रेब्स चक्र अथवा सिट्रिक अम्ल चक्र

- एसेटाइल CoA अणु क्रेब्स चक्र में प्रवेश करता है तथा यह क्रिया माइटोकॉण्ड्रिया के आधात्री (matrix) में होती है।
- इस चक्र का विस्तृत विवरण सर हैन्स क्रेब्स ने 1930 में दिया था। इसे ट्राईकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र अथवा TCA चक्र के नाम से भी जाना जाता है

- क्रेब्स चक्र के विभिन्न पद निम्न है : (चित्र 12.4 देखें)



चित्र 12.4: क्रेब्स चक्र (सरलीकृत रूप में)

श्वसन के इस चरण का सारांश इस प्रकार है –

$$2 \text{ पाइरूविक अम्ल} + 8NAD + 2FAD + 2ADP \longrightarrow 6CO_2 + 8NADH + 2FADH_2 + 2ATP$$

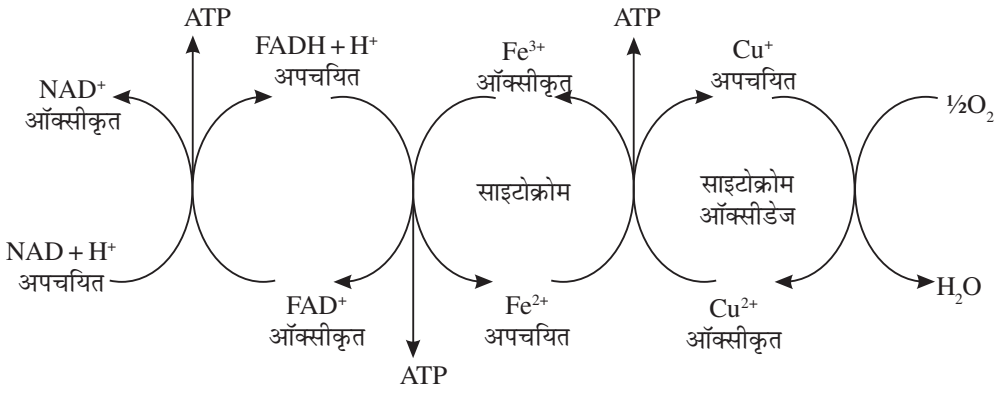
हाइड्रोजन वाहक NAD तथा FAD विटामिन B कॉम्प्लेक्स से उत्पन्न होते हैं तथा इन्हें को-एन्जाइम कहते हैं

- ऐसेटाइल समूह (2 कार्बन) ऑक्सेलोएसीटेट (4 कार्बन) से जुड़कर 6 कार्बन युक्त सिट्रेट बनाता है। यहीं से सिट्रिक अम्ल चक्र का प्रारंभ होता है।
- जैसे एसीटाइल समूह चक्र में आगे बढ़ता है, दो विकार्बोक्सीकरण (decarboxylation) क्रियाओं में दो कार्बन अणु निकल जाते हैं तथा चार विहाइड्रोजनीकरण क्रियाओं में हाइड्रोजन वाहकों में जुड़ जाता है, जिसके फलस्वरूप 3 $NADH_2$ एवं एक $FADH_2$ अणु बनते हैं
- प्रत्येक TCA चक्र के दौरान ATP का एक अणु भी प्राप्त होता है (यह याद रखने योग्य है कि ग्लूकोज के एक अणु से एसीटाइल समूह के दो अणु बनते हैं अतः ग्लूकोज के एक अणु के इस्तेमाल हेतु TCA के दो चक्र होते हैं) प्रत्येक चक्र के अंत में ऑक्सेलोएसीटेट का पुनरुत्पादन होता है जो अन्य एसीटाइल समूह से जुड़ने के लिए तैयार होता है।

- अत: सिट्रिक अम्ल चक्र के अंत में NADH के 10 अणु (दो अणु ग्लाइकोलिसिस) तथा दो $FADH_2$ (ग्लाइकोलिसिस से प्राप्त 2 NADH) के अणु बनते हैं
- अब इस प्रकार प्रारंभिक ग्लूकोज से मुक्त हुए हाइड्रोजन आयन, हाइड्रोजन वाहको NAD तथा FAD से जुड़ जाते हैं तथा ये हाइड्रोजन वाहक एक आगे की प्रावस्था जिसे श्वसनशृंखला में प्रवेश करते हैं तथा इस प्रक्रिया में भी ऊर्जा मुक्त होती है।

श्वसन शृंखला अथवा इलेक्ट्रॉन परिवहन शृंखला (E.T.C.)

- हाइड्रोजन वाहक अब माइटोकाण्ड्रिया की भीतरी झिल्ली में प्रवेश करते हैं। इस भीतरी झिल्ली में भीतर की तरफ उभरी संरचनाएँ होती है जिन्हें क्रिस्टी (Cristae) कहते हैं जिससे इसका सतही क्षेत्र बढ़ जाता है।
- माइट्रोकॉण्ड्रिया के क्रिस्टी में उपस्थित हाइड्रोजन का आण्विक ऑक्सीजन द्वारा चरणबद्ध ढंग से ऑक्सीकरण होता है तथा छोटे-छोटे चरणों में ऊर्जा विमुक्त होती है। इसमें से कुछ ऊर्जा ADP तथा अकार्बनिक फास्फेट (Pi) से मिलकर ATP बनाने में प्रयुक्त होती है तथा यह प्रक्रिया ऑक्सीकृत फास्फेटीकरण कहलाती है।
- इन अभिक्रियाओं के दौरान हाइड्रोजन, इलेक्ट्रान (e^{-1}) एवं हाइड्रोजन आयन (H^+) में टूट जाता है। ये इलेक्टॉन एवं आयन इलेक्ट्रॉन वाहकों की एकशृंखला द्वारा ग्रहण किए जाते हैं जिसका अंत ऑक्सीजन से होता है। वाहकों की इसीशृंखला को **श्वसन शृंखला** (Electron Transport Chain) कहते हैं (चित्र 12.5)



चित्र 12.5: श्वसनशृंखला (ऑक्सीकरण फॉस्फोरिलीकरण)

- हाइड्रोजन अथवा इलेक्ट्रॉन उच्च ऊर्जा स्तर से निम्न ऊर्जा स्तर तक वाहको द्वारा ऑक्सीजन तक ले जाए जाते हैं जो कि इलेक्ट्रॉन का अंतिम ग्राही है तथा ऑक्सीजन अपचयित होकर जल में परिवर्तित हो जाता है।
- प्रत्येक स्थानांतरण पर कुछ ऊर्जा मुक्त होती है तथा इससे कुछ ऊर्जा ATP निर्माण में प्रयुक्त होती हैं।
- अंत में साइट्रोक्रोम ऑक्सीडेज एन्जाइम, H^+ को इलेक्ट्रॉन दे देता है (ऑक्सीजन द्वारा ग्रहण करके जल बनाने से पहले)
- $NADH_2$ के प्रत्येक अणु जोकि श्वसनशृंखला में प्रवेश करते हैं उनसे ATP के 3 अणु बनते हैं परंतु $FADH_2$ के प्रत्येक अणु से केवल दो ATP बनते है। क्या आप जानते है ऐसा क्यों होता हैं? इसलिए, क्योंकि $FADH_2$ श्वसनशृंखला के अंतिम चरण में प्रवेश करता है।

- कार्बन मोनोऑक्साइड तथा हाइड्रोजन सल्फाइड विष के समान होते हैं क्योंकि श्वसनशृंखला के हाइड्रोजन स्थानांतरण तंत्र तथा ATP निर्माण को अवरुद्ध करते हैं।

एक ग्लूकोस अणु के वायवीय श्वसन का संपूर्ण विवरण (बजट)

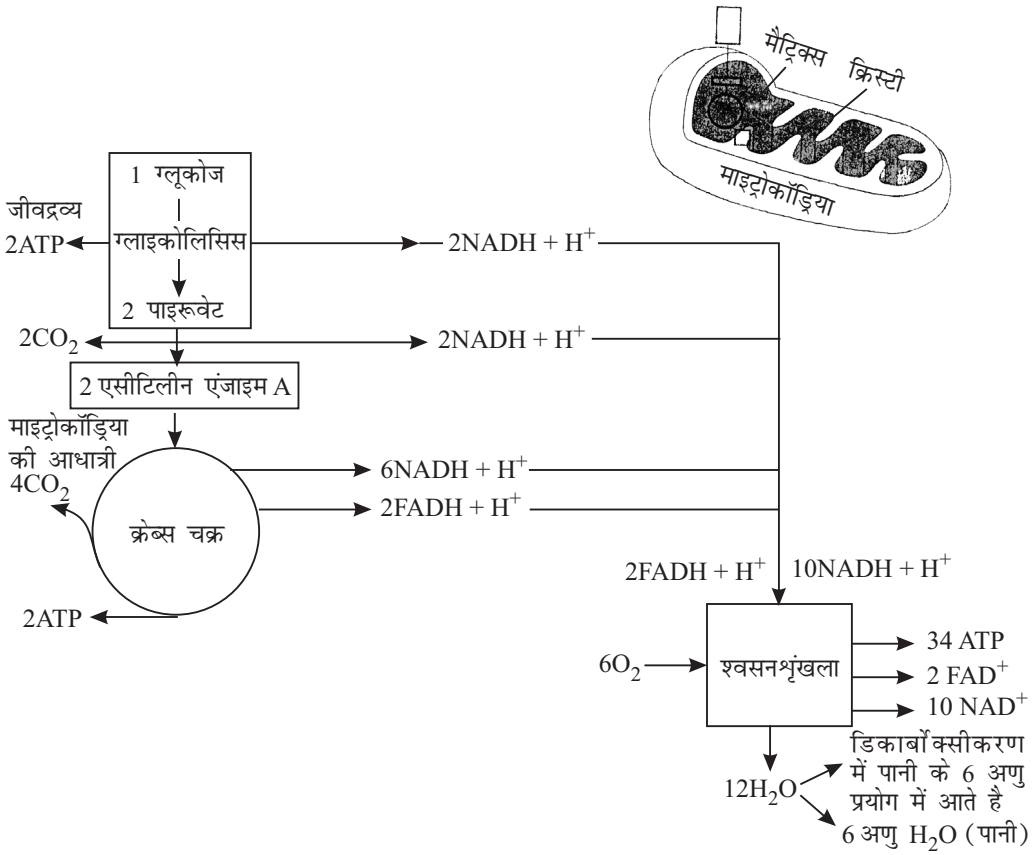
इसके लिए तालिका 12.2 देखें

तालिका 12.2

	CO_2	ATP	$NADH + H^+$	$FADH_2$
ग्लाइकोलिसिस	—	2	2	—
पाइरूबेट > एसीटाइल COA	2	—	2	—
क्रेब्स चक्र	4	2	6	2
कुल	6 CO_2	4 ATP	10 $NADH + H^+$ $10 \times 3 = 30$ ATP	2 $FADH_2$ $2 \times 2 = 4$ ATP

ATP अणुओं की कुल संख्या = 38

- ग्लाइकोलिसिस प्रक्रिया के अंत में ग्लूकोस से पाइरूविक अम्ल के दो अणु बनते हैं तथा प्रत्येक पाइरूविक अम्ल का अणु क्रेब्स चक्र में अलग-अलग प्रवेश करता हैं।



चित्र 12.6 वायवीय श्वसन का सारांश

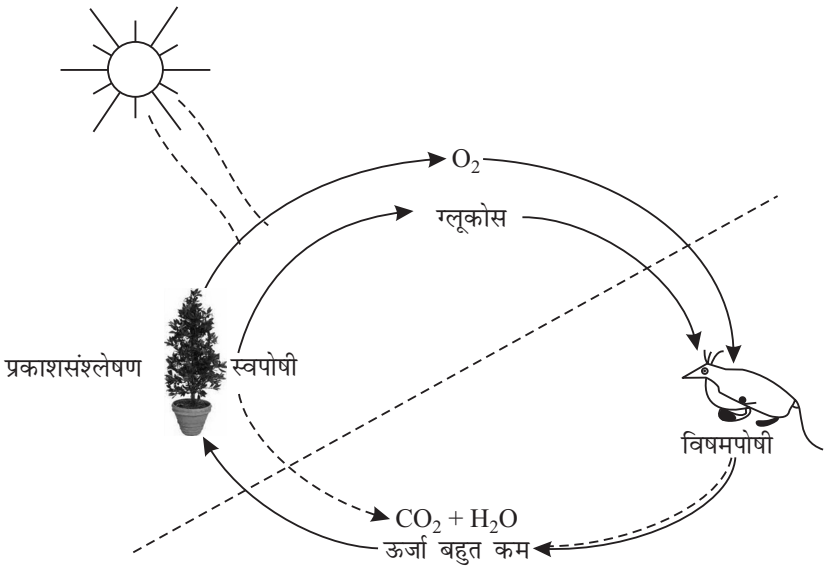
12.3.4 क्रेब्स चक्र एवं एसीटाइल CoA का महत्त्व

1. इस चक्र द्वारा अपचयित एन्जाइम तथा ऊर्जा नियंत्रित ढंग से निकलती है।
2. यह एल्डीहाइड, वसीय अम्ल एवं अमीनो अम्लों के ऑक्सीकृत विखंडन का सामान्य पथ है। वसीय अम्ल β ऑक्सीकरण द्वारा एसीटाइल CoA में परिवर्तित हो जाता है तथा प्रोटीन, अमीनो समूह ($-NH_2$) को त्यागकर अमीनो अम्ल के रूप में क्रेब्स चक्र में प्रवेश करते हैं।
3. क्रेब्स चक्र द्वारा उनके मध्यस्थ यौगिको का निर्माण करता है जो अमीनो अम्ल, न्यूक्लियोटाइड, पर्णहरिम एवं वसा जैसे जैव अणुओं के संश्लेषण के लिए आवश्यक है।

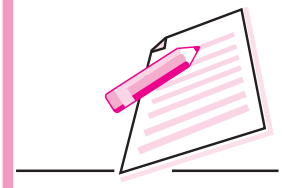
12.3.5 उभयचयी पथक्रम

श्वसन सभी जीवधारियों के जीवित बने रहने के लिए आवश्यक प्रक्रिया है। इसमें ऑक्सीजन का उपयोग किया जाता है और इस दौरान कार्बन-डाईऑक्साइड निकलती है। हरे पौधों में प्रकाशसंश्लेषण प्रक्रिया संपन्न होती है, जिसमें सूर्य के प्रकाश की उपस्थिति में CO_2 और H_2O का उपयोग कर लिया जाता है और इससे मंड (स्टार्च) संश्लेषित होता है तथा ऊर्जा निर्मुक्त होती है। इस प्रकार प्रकाशसंश्लेषण एक निर्माणकारी अथवा उपचयी पथक्रम है, जबकि श्वसन एक विघटनकारी अथवा अपचयी प्रक्रिया है जिसमें ग्लूकोस ऑक्सीकृत होता है तथा CO_2, CO_2 और ऊर्जा निकलती है। ये दोनों पथक्रम मिलकर एक उभयचयी (उभय = दो) पथक्रम बनाते हैं।

प्रकाश तीव्रता जिस पर प्रकाशसंश्लेषण श्वसन की पूर्ति करता हे वह पूर्तिकर बिंदू कहा जाता है। दूसरे शब्दों में यो कहा जा सकता है कि हरित पादपों में प्रतिकर बिंदु पर प्रकाश संश्लेषण के दौरान CO_2 की जितनी मात्रा में खपत होती है वह श्वसन द्वारा उत्पन्न CO_2 की मात्रा के बराबर होती है।



चित्र 12.7 अंकुरित होने वाले बीजों में अवायवीय श्वसन



टिप्पणी

पाठगत प्रश्न 12.3

1. किण्वन प्रक्रिया के दौरान पाइरूविक अम्ल एल्कोहल अथवा लेक्टिक अम्ल में क्यों परिवर्तित हो जाती है?

   .....

2. अवायवीय श्वसन में कम ऊर्जा क्यों मुक्त होती है?

   .....

3. ग्लूकोस के वायवीय श्वसन की तीन प्रावस्थाए बताइए। कोशिका में ये अभिक्रियाएँ कहाँ होती है?

   .....

4. ऑक्सीजन का वायवीय श्वसन में क्या कार्य है?

   .....

5. क्रेब्स चक्र के प्रारंभिक (आधारी) तथा उत्पाद के नाम बताइए।

   .....

6. वसीय अम्ल क्रेब्स चक्र में किस प्रकार प्रवेश करते हैं?

   .....

12.4 श्वसन दर तथा उसको प्रभावित करने वाले कारक

श्वसन दर को मुक्त CO_2 की मात्रा से मापा जा सकता है। विभिन्न अंगों तथा आयु में श्वसन दर भिन्न-भिन्न होती है। सामान्यत: वे कारक जो श्वसन दर को प्रभावित करते हैं दो प्रकार के होते हैं–**आंतरिक कारक** जैसे श्वसन एन्जाइमो की सक्रियता तथा आधारी पदार्थ की प्रकृति। **बाह्यकारक**–जैसे ऑक्सीजन, जल तथा तापमान इत्यादि।

(a) आधारी पदार्थ के प्रकार : आधारी पदार्थ कार्बोहाइड्रेट, प्रोटीन अथवा वसा हो सकते हैं। किसी आधात्री पदार्थ जिसका कि ऑक्सीकरण हो रहा हो। उसे श्वसन गुणांक से मापा जाता है। श्वसन गुणांक अथवा R.Q क्या है?

$$R.Q = \frac{\text{निकलने वाली } CO_2 \text{ का आयतन}}{\text{इस्तेमाल } O_2 \text{ का आयतन}}$$

काबोहाइड्रेट के लिए, $CO_2/O_2 = 1$ (जैसे तना एवं जड़ों में)

प्रोटीन के लिए, $CO_2/O_2 = < 1$ (प्रोटीन युक्त बीज जैसे दालों में)

वसा एवं तेलों के लिए, $CO_2/O_2 = > 1$ (तेलयुक्त बीज जैसे सरसों)

वसा के लिए श्वसन गुणांक > 1 होता है क्योंकि वसा से ग्लूकोज के एक अणु की तुलना में अधिक ऊर्जा निकलती हैं।

(b) तापमान : 30°C से 35°C तापमान श्वसन के लिए सर्वाधिक अनुकूल है। क्या आप अनुमान कर सकते हैं, ऐसा क्यों होता है? ऐसा इसलिए होता है कि इस ताप पर श्वसन एन्जाइम सबसे सक्रिय होते हैं। श्वसन 50°C एवं बहुत कम (0-10°C) ताप पर घट जाता है।

(c) ऑक्सीजन : ऑक्सीजन की मात्रा बढ़ने के साथ-साथ श्वसन दर भी बढ़ जाती है। जैसे ही ऑक्सीजन की मात्रा शून्य से आगे बढ़ती है वैसे ही श्वसन दर बढ़ने लगती है, परंतु एक सीमा से अधिक ऑक्सीजन होने पर श्वसन दर घट जाती है।

(d) कार्बन डाईऑक्साइड : यदि कार्बनडाइऑक्साइड को एकत्रित होने दिया जाए तो श्वसन दर घट जाती है।

(e) जल : यदि जीवद्रव्य में जल की मात्रा बहुत कम हो तो श्वसन दर भी बहुत कम होगी। जैसे शुष्क एवं परिपक्व बीजों में। प्रसुप्त बीजों में श्वसन दर बहुत कम होती है।

पाठगत प्रश्न 12.4

1. वसा एवं कार्बोहाइड्रेटस का श्वसन गुणांक कितना होगा?

   .....

2. ऑक्सीजन की उच्च सांद्रता का श्वसन पर क्या प्रभाव पड़ेगा?

   .....

3. श्वसन प्रक्रिया के लिए आदर्श तापमान कितना है?

   .....

4. श्वसन गुणांक (R.Q.) को परिभाषित कीजिए।

   .....

12.5 प्रकाश-श्वसन (Photorespiration)

- आप पहले पढ़ चुके हैं कि प्रकाश संश्लेषण की अप्रकाशी प्रक्रिया (Dark reaction) में रूबिस्को एन्जाइम, RuBP के कार्बोनिकरण को उत्प्रेरित करता है।

$$RuBP + CO_2 \xrightarrow{\text{रूबिस्को}} 2\ PGA\ (\text{फास्फोग्लिसरल्डीहाइड}) \longrightarrow \text{केल्विन चक्र}$$

- यह एन्जाइम ऑक्सीजन के प्रति भी आसक्तता रखता है। इसलिए यह ऑक्सीजन एवं RUBP के ऑक्सीकरण की क्रिया को भी उत्प्रेरित कर सकता है।

- अतः पर्णहरिम में प्रारंभ होने वाला वह श्वसन जो प्रकाश एवं उच्च ऑकसीजन मात्रा (परन्तु CO_2 की कम मात्रा) में होता है, प्रकाश श्वसन कहलाता हैं।

$$RuBP + O_2 \xrightarrow{\text{रूबिस्को}} 2\ PGA + 1\ \text{फास्फोग्लाइकोलेट}$$

$$\downarrow$$

केल्विन चक्र

फिर भी फास्फोग्लोइकोलेट, माइटोकॉण्ड्रिया एवं पराक्सीसोम में अनेक अभिक्रियाओं से गुजरता है। फास्फोग्लाइकोलेट के दो अणु अंत में PGA एवं CO_2 का एक-एक अणु बनाते हैं। यहाँ पर यह ध्यान देने योग्य है कि इस प्रक्रिया में श्वसन के विपरीत, ATP का निर्माण नहीं होता है।

- प्रकाश श्वसन इसलिए होता हैं क्योंकि रूबिस्को एन्ज़ाइम में CO_2 एवं ऑक्सीजन दोनों के लिए सक्रिय केंद्र होता है।
- RUBP के ऑक्सीकरण में से आक्सीजन की उपस्थिति पौधों में प्रकाश संश्लेषण की अप्रकाशी प्रक्रिया के दौरान स्थिर कार्बन में 25 प्रतिशत की हानि होती हैं।

पाठगत प्रश्न 12.5

1. RuBP तथा ऑक्सीजन की प्रतिक्रिया के फलस्वरूप बनने वाले उत्पाद का नाम लिखिए। प्रतिक्रिया के लिए उत्तरदायी एंजाइम का नाम भी बताएं।

   .....

2. श्वसन एवं प्रकाश श्वसन में एक अंतर बताइए।

   .....

3. उन परिस्थितियों को स्पष्ट कीजिए जिनमें प्रकाश श्वसन होता है?

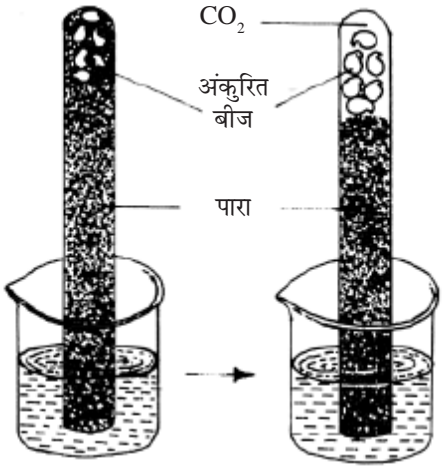
   .....

क्रियाकलाप I

अंकुरित बीजों में अवायवीय श्वसन को प्रदर्शित करना

पहले से पानी में भीगे हुए 8-10 मटर के बीज लीजिए तथा उनका छिलका उतार दीजिए। इन्हें पारे से भरी एक परखनली में डालकर, पारे से भरे एक बीकर में परखनली को उल्टा करके रख दीजिए। मटर के बीज पारे के ऊपर तैरकर परखनली के ऊपर वाले हिस्से में आ जाते हैं और चारों तरफ से पारे से घिरे रहते हैं। दो दिन बाद पारे का तल नीचे आ जाता है क्योंकि अंकुरित बीजों से गैस निकलती है। यदि परखनली में पोटैशियम हाइड्रोक्साइड (KOH) डाला जाए तो वह भी तैरकर पारे के ऊपर आ जाता है तथा गैस के संपर्क में आने पर परखनली में पारे का स्तर फिर से ऊपर आ जाता है।

क्या आप बता सकते हैं ऐसा क्यों हुआ? KOH, मटर से निकली CO_2 को सोख लेता है इस प्रकार यह प्रयोग अवायवीय श्वसन को दर्शाता है। (चित्र 12.7 देखें)



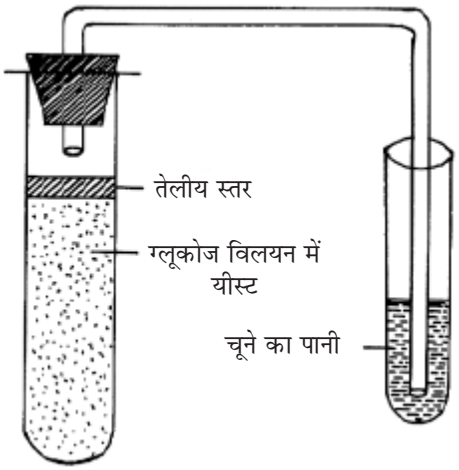
चित्र 12.7 अंकुरित बीजों के अवायवीय श्वसन

क्रियाकलाप II

यीस्ट में अवायवीय श्वसन

विधि : थोड़ी सी मात्रा में खमीर का शुष्क चूर्ण अथवा बेकरी से खमीर (यीस्ट का) विलयन लें तथा इसकी 10 ml मात्रा को एक परखनली जिसमें ग्लूकोज का 10% विलयन है, मिला ले। (क) परखनली में द्रव की सतह के ऊपर तेल डाल दें (जिससे इस द्रव का बाहरी हवा से संपर्क न हो सके) तथा कॉर्क से इस परखनली को बंद कर दे। अब एक-दो मुँह वाली ग्लासनली लें तथा इसका एक भाग, परखनली (क) जिसमें खमीर एवं ग्लूकोज विलयन भरा है में अंदर डाले तथा दूसरा सिर परखनली (ख) जिसमें कि चूने का पानी भरा है, में डाल दें (चित्र 12.8 के अनुसार)। अब 'क' परखनली को एक बीकर में रखे गर्म पानी (37°C-38°C) में डाले तथा देखें कि अब 'ख' परखनली में चूने के पानी का रंग दूधिया होने लगता है। यह प्रदर्शित करता है कि खमीर (यीस्ट) से CO_2 निकलती है तथा यह भी देखे कि डिलीवरी ट्यूब के स्तर में कोई वृद्धि नहीं होती है, इससे यह प्रदर्शित होता है कि 'क' परखनली की गैस के आयतन में भी कोई कमी नहीं हुई। इस प्रकार यीस्ट द्वारा ऑक्सीजन का उपयोग नहीं होता। इस प्रयोग को एक दिन के लिए रखें तथा 'क' परखनली के कॉर्क को हटाकर उसे सूंघे। क्या आपको एल्कोहल की गंध आती है? क्या आप एल्कोहल का नाम तथा एल्कोहलिक किण्वन की समीकरण लिख सकते हैं?

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2ATP$$



चित्र 12.8: यीस्ट में अवायवीय श्वसन

क्रियाकलाप III

आप यीस्ट में वायवीय श्वसन प्रदर्शित करने के लिए प्रयोग 2 में निम्नलिखित परिवर्तन कर सकते हैं।

1. परखनली 'क' के स्थान पर एक बड़ा कोनिकल "लास्क लें जिससे इसमें ग्लूकोस विलयन तथा यीस्ट के अलावा पर्याप्त स्थान रहें।
2. परखनली 'क' को तेल से नहीं ढकना है ताकि विलयन का वातावरण से संपर्क हो सके।
3. इस प्रयोग में भी चूने के पानी का रंग दूधिया हो जाता है जिससे इस प्रयोग से भी CO_2 निकलने का संकेत मिलता है तथा डिलीवरी ट्यूब में पानी का तल बढ़ जाता है। इससे परखनली 'क' में गैस के आयतन में कमी प्रकट होती है। आप इसकी व्याख्या किस प्रकार करेंगे? परखनली 'क' में यीस्ट द्वारा ऑक्सीजन का प्रयोग हो जाता है तथा आपको परखनली 'क' में क्रिया के पश्चात् एल्कोहल की गंध नहीं आएगी।

यहाँ यह ध्यान देने योग्य है कि यीस्ट वायवीय तथा अवायवीय दोनों अवस्थाओं में वृद्धि करता है परंतु तीव्र वृद्धि वायवीय अवस्था में होती है। शराब बनाने (Brewing) में सफलता इन दोनों अवस्थाओं को नियंत्रित करने पर निर्भर करती है।

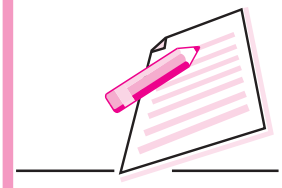
आपने क्या सीखा

- सभी जीवधारियों को ऊर्जा की आवश्यकता होती है। यह ऊर्जा खाद्य पदार्थों के ऑक्सीकरण से प्राप्त होती है।
- श्वसन के अंतर्गत–(i) बाह्य श्वसन अथवा गैसीय विनिमय एवं कोशिकीय श्वसन आते हैं।
- अवायवीय श्वसन, ऑक्सीकरण की आंशिक प्रक्रिया है जिसमें ATP के दो अणु बनते है जबकि वायवीय श्वसन में संपूर्ण ऑक्सीकरण होता है तथा ATP के 38 अणु बनते हैं।

- वायवीय श्वसन तीन प्रमुख चरणों में होता है जैसे–ग्लाइकोलिसिस, क्रेब्स चक्र तथा इलेक्ट्रॉन परिवहनश्रृंखला।
- वायवीय तथा अवायवीय श्वसन में ग्लाइकोलिसिस के यह समान होते हैं।
- ग्लाइकोलिसिस कोशिकाद्रव्य में तथा क्रेब्स चक्र एवं E.T.C. माइटोकॉण्ड्रिया में होती है।
- एल्कोहॉलिक किण्वन के अनेक औद्योगिक उपयोग है।
- पौधों के नए भागों में श्वसन दर अधिक होती है।
- आधारीय पदार्थ, तापमान, ऑक्सीजन तथा उपलब्ध जल जैसे कारक श्वसन दर को प्रभावित करते हैं।
- श्वसन गुणांक मान, श्वसन में प्रयुक्त होने वाले आधारीय पदार्थ को पहचानने में महत्त्वपूर्ण हैं।
- प्रकाश श्वसन पौधों में तीव्र प्रकाश एवं कार्बन डाइऑक्साइड की कम सांद्रता के समय होता है तथा इस क्रिया में ATP निर्माण नहीं होता है। यह पर्णहरित रंजकों को प्रकाश ऑक्सीकरण से बचाता है।

पाठांत प्रश्न

1. श्वसन की परिभाषा लिखीए।
2. ऑक्सीजन का इलेक्ट्रॉन परिवहनश्रृंखला (ETC) में क्या कार्य है?
3. ATP के कितने अणु निकलते हैं, जब ग्लूकोज का ऑक्सीकरण
   (a) CO_2 and H_2O ?
   (b) एथाइल एल्कोहल एवं CO_2?
4. वायवीय श्वसन का समीकरण लिखिए।
5. इलेक्ट्रॉन परिवहनश्रृंखला के अंतिम उत्पादों का नाम लिखिए।
6. श्वसन, पौधों में होने वाली एक सतत प्रक्रिया है; परंतु फिर भी वे दिन के समय ऑक्सीजन छोड़ते है न कि CO_2?
7. निम्न प्रक्रियाएँ कहाँ होती है?
   (a) ग्लाइकोलिसिस
   (b) क्रेब्स चक्र
   (c) ऑक्सीकृत फास्फेटीकरण द्वारा ATP का निर्माण
8. ऑक्सीजन की उपस्थिति तथा अनुपस्थिति के दौरान पाइरूबिक अम्ल से अंतत: क्या बनता है? इन अभिक्रियाओं को व्यक्त करने वालें समीकरणों को बताइए?
9. कार्बनिक अणुओं के एक साथ ऑक्सीकरण की तुलना में चरणबद्ध ऑक्सीकरण का क्या महत्त्व है?
10. प्रकाश श्वसन का क्या महत्त्व है?
11. निम्नलिखित प्रक्रियाओं में प्रवेश करने वाले पदार्थों एवं उत्पादों के नाम बताइए।
    (a) ग्लाइकोलिसिस
    (b) क्रेब्स चक्र



12. किन्हीं तीन उदाहरणों द्वारा यीस्ट की उद्योगों में उपयोगिता के विषय में बताइये?
13. पौधों में श्वसन गैसों का विनिमय किस प्रकार होता है?
14. श्वसन गुणांक को परिभाषा लिखिए। इसकी क्या उपयोगिता है?
15. TCA चक्र की उपयोगिता बताइये।
16. किण्वन में वायवीय श्वसन की तुलना में कम ऊर्जा क्यों निमुक्त होती है?
17. कोशिका में PPP के कोई दो महत्त्वपूर्ण योगदान बताइए।
18. ग्लाइकोलिसिस की तीन मुख्य प्रवस्थाएँ कौन सी है?
19. क्रेब्स चक्र की क्या महत्ता है?
20. वायवीय एवं अवायवीय श्वसन में अंतर स्पष्ट कीजिए?
21. प्रकाश श्वसन एक व्यर्थ प्रक्रिया क्यों कहलाती है।
22. श्वसनशृंखला अथवा इलेक्ट्रॉन परिवहनशृंखला क्या है? इसकी क्या उपयोगिता है?
23. किसी कोशिका में पेन्टोस फॉस्फेट पथिका के स्थल का वर्णन कीजिए।

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

12.1 1. पौधे सौर ऊर्जा को रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तित करके उन्हें जटिल कार्बनिक अणुओं के रूप में संचित कर लेते हैं। श्वसन के दौरान उनका ऑक्सीकरण होता है तथा ऊर्जा की बड़ी मात्रा निकलती है तथा इस ऊर्जा को ATP के रूप में एकत्रित कर लेते हैं। पौधे ATP को उपापचयी क्रियाओं में इस्तेमाल करते हैं।

2. ATP के रूप में।

3. कृपया पाठ में देखें।

12.2 1. पौधों में गैस का निर्माण सामान्य सतह; स्टोमेटा तथा वातरंध्रो द्वारा होता है।

2. विसरण।

3. ऑक्सीजन; कार्बनडाइऑक्साइड।

4 (a) उनके पास गैसीय विनिमय के लिए अधिक सतह होती है।
(b) उनकी ऑक्सीजन आवश्यकता कम होती है।

12.3 1. ऑक्सीजन की उपस्थिति में ये CO_2 तथा H_2O में पूर्ण रूप से विखंडित हो जाते हैं।

$$2 \text{ पाइरूविक अम्ल} + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 30ATP$$

(8 ATP ग्लाइकोलिसिस से मिले हैं)

ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में इनमें एल्कोहालिक किण्वन होता है।

$$2 \text{ पाइरूबिक अम्ल} \longrightarrow 2 \text{ ईथाइल ऐल्कोहल} + 2CO_2$$

2. अवायवीय श्वसन में कार्बनिक अणुओं का आंशिक ऑक्सीकरण होता है तथा अधिकांश ऊर्जा क्रिया के अंत में बनने वाले उत्पादो जैसे ऐल्कोहल एवं लैक्टिक अम्ल में रहती है।

3. ग्लाइकोलिसिस साइटोसोल (कोशिकाद्रव्य)
   क्रेब्स चक्र माइटोकॉण्ड्रिया की आधात्री में
   E.T.C. माइटोकाण्ड्रिया की भीतरी झिल्ली में
4. ऑक्सीजन, ग्लूकोज अणु से मुक्त हुए H_2 के लिए अंतिम ग्राही का कार्य करता है तथा अंत में जल में अपचयित हो जाता है।
6. पदार्थ एसीटाइल CoA.
7. वसीय अम्ल β (बीटा) ऑक्सीकरण द्वारा एसीटाइल CoA बनाते हैं जो क्रेब्स चक्र में प्रवेश कर सकता है।

12.4 1.R.Q. = 1

2. श्वसन दर एक सीमा तक बढ़ती है उसके पश्चात् यह घटने लगती हैं।
3. 30°–35°
4. यह श्वसन में निकलने वाली CO_2 के आयतन तथा इस्तेमाल ऑक्सीजन का अनुपात होता है। इससे श्वसन में प्रयुक्त होने वाले पदार्थ की प्रकृति का ज्ञान होता है।

12.5 1. उत्पाद है : PGA तथा फास्फोग्लाइकोलेट

2.

श्वसन	प्रकाशश्वसन
1. यह माइटोकॉण्ड्रिया में होता है।	1. यह तीन अंगो–पर्णहरिम, माइटोकॉण्ड्रिया तथा पराक्सीसोम में होता है
2. आधारी पदार्थ ग्लूकोज है।	2. आधारी पदार्थ RuBP है।
3. ATP, CO_2 तथा जल–उत्पाद के रूप में प्राप्त होते हैं।	3. उत्पाद के रूप में कार्बन मोनोऑक्साइड तथा PGA मिलते हैं ATP का निर्माण नहीं होता।
4. यह पौधो एवं जंतु दोनों में होता है।	4. हरे पौधों (C_3) में होता है।
5. दिन एवं रात दोनों में होता है।	5. यह अधिक ऑक्सीजन, कम CO_2 एवं अधिक तापमान पर होता है अत: केवल दिन में होता है।
6. उपापचीय क्रियाओं के लिए ऊर्जा उपलब्ध कराता है।	6. यह एक व्यर्थ की क्रिया है। इसका केवल यह उपयोग है कि यह पौधो को प्रकाश–ऑक्सीकरण–क्षति से बचाता है।

3. (क) प्रकाश
   (ख) ऑक्सीजन कम सांद्रता (मात्रा)
   (ग) कार्बनडाइऑक्साइड की कम सांद्रता (मात्रा)