अध्याय-11
श्वसन
(Respiration)

प्रत्येक सजीव को अपने दैनिक जीवन में समस्त कार्यों को करने हेतु ऊर्जा की आवश्यकता होती है जिसको खाद्य पदार्थों से प्राप्त किया जा सकता है। खाद्य पदार्थों का उत्पादन हरे पादपों द्वारा किया जाता है। पादप इस प्रकार की ऊर्जा का संचय सूर्य के प्रकाश एवं हरितलवक की सहायता से प्रकाश संश्लेषण की क्रिया द्वारा करते हैं। जटिल कार्बनिक पदार्थों में संचित यह ऊर्जा आक्सीकरण की क्रिया द्वारा मुक्त होती है। इस अभिक्रिया में जटिल कार्बनिक पदार्थ ऑक्सीजन की उपस्थिति अथवा अनुपस्थिति में विघटित होकर कार्बनडाइआक्साइड (CO_2) व जल के साथ - साथ ऊर्जा मुक्त करते हैं। यह अभिक्रिया निम्न समीकरणों द्वारा प्रदर्शित की जा सकती है।

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \xrightarrow{\text{आक्सीश्वसन}} 6CO_2 + 6H_2O + 686\text{k.cal ऊर्जा}$$

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{अनाक्सीश्वसन}} 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 56\text{k.cal ऊर्जा}$$

अत: श्वसन सजीव कोशिकाओं में सम्पन्न होने वाली वह प्रक्रिया है जिसमें उच्च ऊर्जा वाले जटिल कार्बनिक पदार्थ विघटित होकर सरल एवं निम्न ऊर्जा वाले अणुओं का निर्माण करते हैं व ऊर्जा मुक्त होती है। सामान्यत: इस प्रक्रिया में कार्बनडाइआक्साइड का विमोचन, आक्सीजन का उपभोग एवं विभव ऊर्जा का गतिज ऊर्जा में परिवर्तन होता है। इस प्रकार मुक्त होने वाली ऊर्जा का उपयोग कोशिका में सम्पन्न होने वाली समस्त क्रियाओं में किया जाता है। श्वसन सभी सजीवों का आधारभूत लक्षण है एवं सतत रूप से चलने वाली प्रक्रिया है। अधिकांश जन्तु व पादप श्वसन क्रिया में O_2 का उपयोग करते है एवं CO_2 को मुक्त करते हैं।

श्वसन के क्रियाधार या श्वसनाधार
(Respiratory Substrates)

श्वसन अभिक्रिया में भाग लेने वाले उच्च ऊर्जा युक्त पदार्थ (यौगिक) जो आक्सीकृत होकर ऊर्जा मुक्त करते है, श्वसन के **क्रियाधार** कहलाते हैं। ये क्रियाकारक कार्बोहाइड्रेट, वसा एवं प्रोटीन के अणुओं के रूप में कोशिका में संग्रहित रहते हैं। इनमें से कार्बोहाइड्रेट श्वसन के प्राथमिक क्रियाधार हैं। श्वसन में सबसे पहले उपयोग में लिया जाने वाला क्रियाधार हेक्सोज शर्करा कार्बोहाइड्रेट होती है। कार्बोहाइड्रेट की अनुपस्थिति में वसा तथा वसा के भी उपयोग में आ जाने पर प्रोटीन का आक्सीकरण प्रारम्भ हो जाता है। ब्लैकमेन ने कार्बोहाइड्रेट से होने वाले श्वसन को **प्लावी श्वसन** (Floating respiration) एवं प्रोटीन से होने वाले श्वसन को **जीवद्रव्यी श्वसन** (Protoplasmic respiration) कहा है। यह भूखमरी एवं रोगों के समय होता है।

श्वसन के प्रकार (Types of Respiration)

श्वसन सामान्यत: दो प्रकार का होता है -

(1) ऑक्सी अथवा वायुश्वसन (Aerobic Respiration)

(2) अनॉक्सी अथवा अवायु श्वसन (Anaerobic Respiration)

(1) ऑक्सी अथवा वायुश्वसन (Aerobic Respiration)

इस प्रकार का श्वसन ऑक्सीजन की उपस्थिति में अर्थात O_2 का उपभोग करते हुए सम्पन्न होता है जिसमें कार्बनिक खाद्य पदार्थ का जल

एवं कार्बन डाइआक्साइड में पूर्ण अपघटन हो जाता है एवं अधिक मात्रा में ऊर्जा मुक्त होती है।

सभी जन्तुओं एवं पौधों में श्वसन की यह सामान्य विधि है। ऑक्सी श्वसन को निम्न रासायनिक समीकरण द्वारा दर्शाया जाता है।

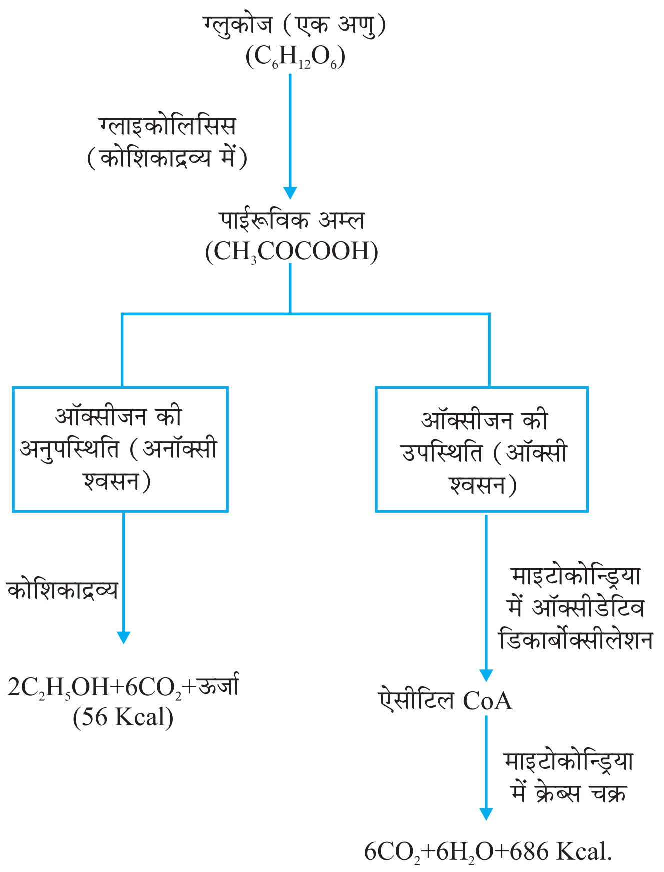
$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 686$k.cal ऊर्जा

(2) अनाक्सी अथवा अवायुश्वसन (Anaerobic Respiratoin)

इस प्रकार का श्वसन आक्सीजन के उपयोग के बिना होता है अथार्त इसमें O_2 का उपभोग नहीं होता है। जिससे कार्बनिक खाद्य पदार्थ का पूर्ण आक्सीकरण नहीं होता है एवं ऐल्कोहल अथवा कार्बनिक अम्ल तथा CO_2 का निर्माण होता है । इस श्वसन में कम मात्रा में ऊर्जा मुक्त होती है। यह **अंतरणुक श्वसन** (Intramolecular respiration) भी कहलाता है। अनाक्सी श्वसन को निम्न रासायनिक अभिक्रिया द्वारा प्रदर्शित क्रिया जाता है।

$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 56$k.cal ऊर्जा

संग्रहित व अंकुरित होते हुए बीजों, माँसल फलों में अस्थायी रूप से एवं कई कवकों तथा जीवाणुओं में नियमित रूप से अनाक्सी श्वसन पाया जाता है।



चित्र 11.0 ऑक्सी व अनाक्सी श्वसन में सम्बन्ध

तालिका : ऑक्सी श्वसन व अनॉक्सी श्वसन में अन्तर

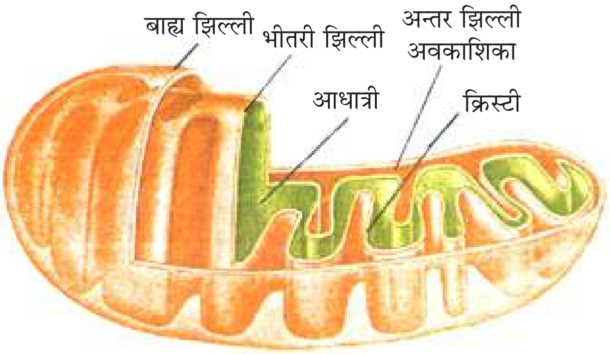
क्र. सं.	ऑक्सी श्वसन	अनॉक्सी श्वसन
1.	इसमें O_2 का उपभोग होता है।	इसमें O_2 की आवश्यकता नहीं होती है।
2.	सभी जीवित कोशिकाओं में होता है।	यह केवल कुछ कवकों, जीवाणुओं कोशिकाओं तथा संग्रहित एवं अंकुरित होते हुए बीजों आदि में होता है।
3.	इस श्वसन में ग्लूकोज के एक अणु के पूर्ण आक्सीकरण के द्वारा 38 ATP अणुओं का निर्माण होता है।	इसमें ग्लूकोज का पूर्ण ऑक्सीकरण नहीं होता है तथा केवल 2ATP का निर्माण होता है।
4.	इस श्वसन में होने वाली ग्लाइकोलिसिस कोशिका द्रव्य में तथा क्रेब्स चक्र माइटोकोन्ड्रिया में सम्पन्न होती है।	सभी क्रियाऐं कोशिकाद्रव्य में सम्पन्न होती हैं।
5.	इसमें श्वसनी पदार्थ का पूर्ण ऑक्सीकरण होता है	इसमें श्वसनी पदार्थ का अपूर्ण आक्सीकरण होता है।
6.	अन्त्योत्पाद CO_2, जल एवं ऊर्जा होते हैं।	अन्त्योत्पाद ऐल्कोहल अथवा कार्बनिक अम्ल, CO_2 एवं ऊर्जा होते है।

श्वसन स्थल (Site of Respiration)

आक्सी श्वसन करने वाले यूकेरियोटिक जीवों में श्वसन का प्रमुख स्थल या कोशिकांग माइटोकोन्ड्रिया (Mitochondria, सूत्रकणिका) है। ऑक्सी श्वसन के दो प्रमुख चरण अर्थात् क्रेब्स चक्र व इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र इसमें सम्पन्न होते हैं।

माइटोकोन्ड्रिया दोहरी कलाओं से घिरा हुआ कोशिकांग है जिन्हें क्रमशः **बाह्यकला** तथा **अंत:कला** कहते हैं। दोनों कलाऐं लाइपोप्रोटीनों से निर्मित होती हैं। दोनों के मध्य स्थित अवकाश **परिकला अवकाश** (Perimembrane space, 40-70Å चौड़ा) कहलाता है। बाह्यकला समतल जबकि अंत:कला कई अनियमित अन्तर्वलनों या उभारों के रूप में माइटोकोन्ड्रिया की अन्त:अवकाश में फैली रहती हैं। इन उभारों को **क्रिस्टी** (Cristae; एकवचन Crista)

कहते हैं। क्रिस्टी के भीतरी अवकाश को **अन्त:क्रिस्टी अवकाश** कहते हैं। अन्त:कला अर्थात् क्रिस्टी की सतह पर कई संवृत कण लगे होते हैं। जिन्हें F_1 कण, **प्रारम्भिक कण** या **ऑक्सीसोम** कहते हैं। इन्हीं कणों में प्रोटोनों का परिवहन होता है जिससे ATP का निर्माण होता है।



चित्र 11.1 माइटोकोन्ड्रिया : श्वसन स्थल

माइटोकोन्ड्रिया की आन्तरिक अवकाश को **पीठिका** (Matrix) कहते हैं। यह तरल अथवा अर्धतरल प्रोटीनी भाग से निर्मित होती है। इसमें श्वसन क्रिया से सम्बन्धित विभिन्न एन्जाइम्स, सहएन्जाइम्स (जैसे FAD, NADD, ADP) इलेक्ट्रॉन वाहक, राइबोसोम्स, RNA तथा DNA अन्तर्विष्ट होते हैं।

माइटोकोन्ड्रिया को कोशिका का **शक्तिगृह** (Power house) माना जाता है क्योंकि ये संचित ऊर्जा ATP के रूप में **ऊर्जा मुद्रा** (Energycoin) का उत्पादन करते हैं।

ऑक्सी श्वसन की क्रिया विधि

(Mechanism of Aerobic Respiration)

श्वसन क्रिया का मुख्य श्वसनाधार कार्बोहाइड्रेट होता है तथा यह क्रिया ग्लूकोज से प्रारम्भ होती है। कार्बोहाइड्रेट की अनुपस्थिति में क्रमश: वसा तथा प्रोटीन का उपयोग होता है। ऑक्सी एवं अनॉक्सी श्वसन की प्रारम्भिक अभिक्रियाऐं कोशिकाद्रव्य में सम्पन्न होती हैं एवं इसमें ग्लूकोज का एक अणु विघटित होकर पाइरूविक अम्ल के 2 अणु बनाता है एवं ऊर्जा मुक्त होती है। इसे **ग्लाइकोलिसिस** (Glycolysis) अथवा **EMP पथ** कहा जाता है। इसके लिए आक्सीजन की आवश्यकता नहीं होती है। ग्लाइकोलिसिस में निर्मित पाइरूविक अम्ल माइटोकोण्ड्रिया में पहुँच कर ऐसीटिल को-एन्जाइम ए (Acetyl CoA) का निर्माण करता है तथा माइटोकोण्ड्रिया में सम्पन्न होने वाले क्रेब्सचक्र (अथवा टी.सी.ए.चक्र) के द्वारा जल, CO_2 एवं ऊर्जा मुक्त करता है। इस प्रक्रिया में ग्लूकोज का पूर्ण आक्सीकरण O_2 की उपस्थिति में होता है।

वायु-श्वसन की समग्र क्रियाविधि को तीन चरणों में बाँटा जा सकता है-

I ग्लाइकोलिसिस (Glycolysis)

II क्रेब्स चक्र, त्रिकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र (Krebs cycle, Tricarboxylic Acid cycle; TCA Cycle)

III इलेक्ट्रोन परिवहन तंत्र (Electron Transport System, ETS)

I. ग्लाइकोलिसिस या ग्लाइकॉलांशन (Glycolysis)

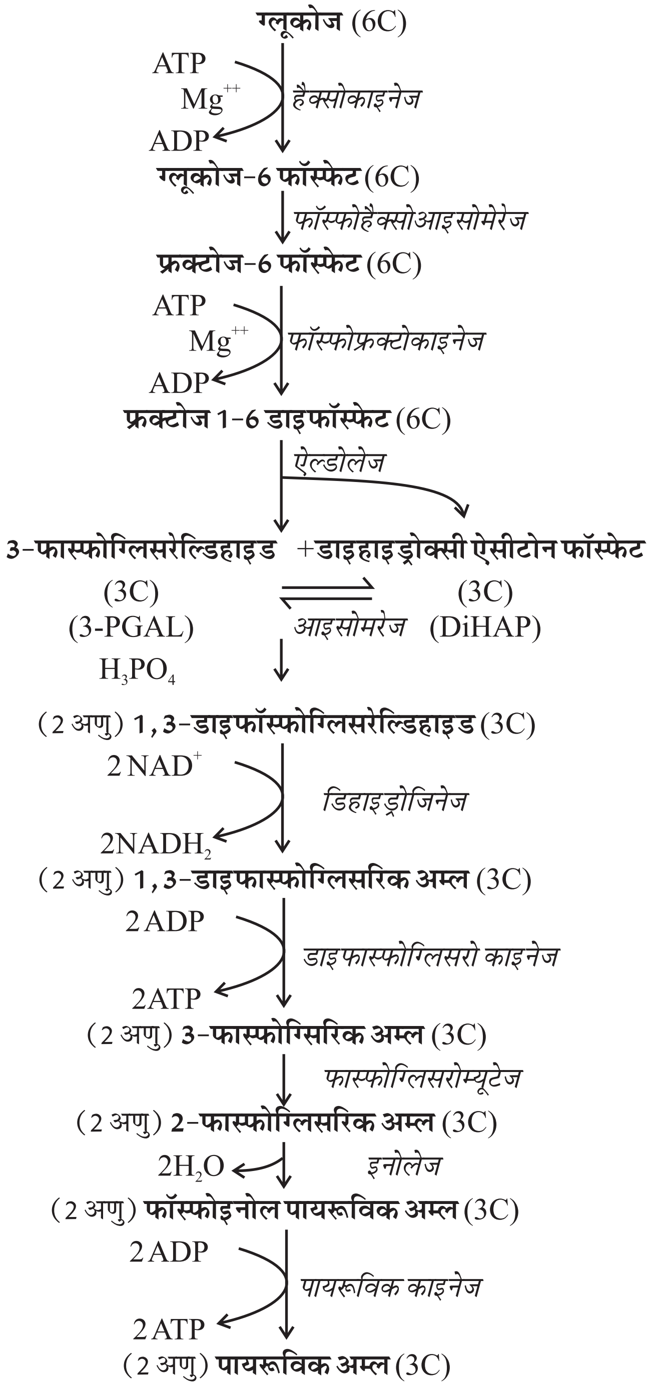
ग्लाइकोलिसिस शब्द की व्युत्पत्ति ग्रीक शब्द ग्लाइकोज (Glycose शर्करा) व लाइसिस (lysis -विश्लेषण, घुलना, टूटना) से मिलकर हुई है जिसका अर्थ है शर्करा का विघटन। यह एक जटिल जैव रासायनिक क्रिया है जो 10 क्रमबद्ध चरणों में सम्पन्न होती है। इसके विभिन्न चरणों की खोज 1930 में तीन जर्मन वैज्ञानिकों **गुस्ताव एम्बडन (G. Embden), ओटो मेयरहॉफ (Otto Meyerhoff)** एवं **जे. पारनस (J. Parnas)** द्वारा की गई थी। इस अभिक्रिया को EMP पथ भी कहते है। यह कोशिकाद्रव्य में बिना ऑक्सीजन के उपयोग के सम्पन्न होती है अर्थात इस अभिक्रिया के लिए ऑक्सीजन की आवश्यकता नहीं होती है। ग्लाइकोलिसिस सभी जीवों में समान रूप से सम्पन्न होती है तथा ऑक्सी एवं अनॉक्सी दोनों प्रकार के श्वसन में पाई जाती है। परिभाषानुसार *ग्लूकोज के एक अणु का क्रमबद्ध जैव रासायनिक अभिक्रियाओं द्वारा पाइरूविक अम्ल में विघटित होकर ऊर्जा मुक्त करना ग्लाइकोलिसिस कहलाता है।* अधिक स्पष्टत: *फ्रक्टोज 1-5 डाई फास्फेट के एक अणु से पाइरूविक अम्ल के दो अणुओं के निर्माण को ग्लाइकोलिसिस कहते हैं।*

ग्लाइकोलिसिस में सम्पन्न होने वाले सभी 10 जैव रासायनिक अभिक्रियाओं को तीन पदों के अन्तर्गत समझा जा सकता है -

(क) ग्लूकोज का फॉस्फोरिलीकरण (Phosphorylation of glucose)

(ख) फॉस्फोरिलीकृत ग्लूकोज अणु का फास्फोग्लिसेरेलडिहाइड के दो अणुओं में विघटन। (Splitting of phosphorylated glucose molecule in two molecules of phosphoglyceraldehyde)

(ग) पाइरूविक अम्ल के दो अणुओं का निर्माण (Formation or two molecules of pyruvic acid)



चित्र 11.2 ग्लाइकोलिसिस की विभिन्न जैवरासायनिक अभिक्रियाएं

(क) ग्लूकोज का फॉस्फोरिलीकरण

(Phosphorylation of glucose)

ग्लाइकोलिसिस के प्रथम चरण में ग्लूकोज का एक अणु एक ए.टी.पी. अणु का उपयोग कर **हेक्सोकाइनेज** एन्जाइम की उपस्थिति में ग्लूकोज-6-फॉस्फेट बनाता है। ग्लूकोज 6 फास्फेट **आइसेमेरेज** की उपस्थिति में समावयवीकरण की क्रिया द्वारा फ्रक्टोज 6 -फॉस्फेट में परिवर्तित हो जाता है। फ्रक्टोज -6- फॉस्फेट पुन: एक और ए.टी.पी. अणु का उपयोग कर **फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेज** की उपस्थिति में फ्रक्टोज 1-6- डाइफॉस्फेट अणु का निर्माण करता है। इस प्रकार ग्लूकोज अणु के फॉस्फोरिलीकरण में होने वाली अभिक्रियाएं निम्नानुसार होती हैं -

ग्लूकोज+ATP $\xrightarrow[\text{Mg++}]{\text{हेक्सोकाइनेज}}$ ग्लूकोज-6-फास्फेट+ADP (1)

ग्लूकोज 6-फास्फेट $\xrightarrow{\text{आइसोमेरेज}}$ फ्रक्टोज-6-फास्फेट (2)

फ्रक्टोज 6-फास्फेट+ATP $\xrightarrow[\text{Mg++}]{\text{फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेज}}$ फ्रक्टोज 1-6 डाइफास्फेट + ADP (3)

(ख) फॉस्फोरिलीकृत ग्लूकोज अणु का फॉस्फोग्लिसरेल्डिहाइड के दो अणुओं में विघटन (Splitting of phosphorylated glucose molcule in two molecule of phosphogly ceraldehyde)

इस अभिक्रिया में 6 कार्बन युक्त फ्रक्टोज 1-6 डाइफॉस्फेट **ऐल्डोलेज** एन्जाइम की उपस्थिति में विखण्डित होकर 3-फॉस्फोग्लिसरलडिहाइड (3-PGAL) एवं डाइहाइड्रोक्सी ऐसीटोन फॉस्फेट (3- कार्बनयुक्त अणु) प्रत्येक के एक अणु का निर्माण करता है

फ्रक्टोज 1-6- डाईफास्फेट $\xrightarrow{\text{ऐल्डोलेज}}$ 3 फॉस्फोग्लिसरेल्डिहाइड (3C) (3-PGAL) ⇅ ट्रायोजफास्फेट आइसोमेरेज डाइहाइड्रोक्सी ऐसीटोन फॉस्फेट (3C) (Di HAP) (4)

ये दोनों यौगिक ट्रायोजफॉस्फेट आइसोमरेज एन्जाइम की उपस्थिति में अन्त: परिवर्तनीय है। इन यौगिकों में से केवल 3 - PGAL का ऑक्सीकरण होता है। अत: जैसे - जैसे 3-PGAL का ऑक्सीकरण होता है, डाइहाइड्रोक्सी ऐसीटोन फास्फेट भी 3-PGAL में परिवर्तित होता रहता है।

(ग) पाइरूविक अम्ल के दो अणुओं का निर्माण

(Formation of two molecules of Pyruvic acid)

निम्नलिखित अभिक्रियाओं के द्वारा 3- PGAL (2 अणु) आक्सीकृत होकर पाइरूविक अम्ल के दो अणुओं का निर्माण करता है

(1) 3PGAL से 1-3 डाइफास्फोग्लिसरिक अम्ल का निर्माण

सर्वप्रथम 3 PGAL, फॉस्फोरिक अम्ल (H_3PO_4) से एन्जाइम डिहाइड्रोजिनेज की उपस्थिति में क्रिया कर 1-3 डाइ फॉस्फोग्लिसरलडिहाइड का निर्माण करता है जो आक्सीकृत होकर 1-3 डाइफॉस्फोग्लिसरिक अम्ल बनाता है। यह ऑक्सीकरण चरण

कहलाता है। इस अभिक्रिया में त्यागे गये हाइड्रोजन परमाणु को NAD^+ ग्रहण कर $NADH_2$ में परिवर्तित हो जाता है जो इलेक्ट्रोन परिवहन शृंखला में प्रवेश कर ATP का निर्माण करता है।

3-फास्फोग्लिसरलडिहाइड + H_3PO_4 —(डिहाइड्रोजिनेज)→ 1-3 डाइफॉस्फोग्लिसरलडिहाइड (5)
(2 अणु) (2 अणु)

1-3 डाइफॉस्फोग्लिरलडिहाइड —(डिहाइड्रोजिनेज; 2NAD → 2NADH+$2H^+$)→ 1-3 डाइफॉस्फोग्लिसरिक अम्ल (6)
(2 अणु)

(2) 1-3 डाइफॉस्फोग्लिसरिक अम्ल से 3-फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल का निर्माण

इस अभिक्रिया में 1-3 डाइफॉस्फोग्लिसरिक अम्ल के अणु से एक फॉस्फेट समूह **डाईफॉस्फोग्लिसरोकाइनेज** एन्जाइम की उपस्थिति में ADP से जुड़कर ATP का निर्माण करता है तथा 3 फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल का निर्माण होता है –

1-3 डाइफॉस्फग्लिसरिक अम्ल+ADP —(डाइफॉस्फोग्लिसरो काइनेज)→ 3 फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल +ATP (7)
(2 अणु) (2 अणु) (2 अणु) (2 अणु)

(3) 3-फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल का 2-फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल में रूपान्तरण

3-फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल *फॉस्फोग्लिसरोम्युटेज* एन्जाइम की उपस्थिति में अपने समावयवी 2- फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल में रूपान्तरित हो जाता है।

3 फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल —(फॉस्फोग्लिसरोम्युटेज)→ 2- फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल (8)
(2 अणु) (2 अणु)

(4) 2 -फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल से 2 - फॉस्फोइनोल पाइरूवेट का निर्माण

2 फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल, जल का एक अणु **इनोलेज** एन्जाइम की उपस्थिति में त्याग कर 2-फॉस्फोइनोल पाइरूवेट का निर्माण करता है।

2 फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल —(इनोलेज; $-H_2O$ (2 अणु))→ 2- फॉस्फोइनोल पाइरूविक अम्ल (9)
(2 अणु) (2 अणु)

(5) 2-फॉस्फोइनोल पाइरूविक अम्ल से पाइरूविक अम्ल का निर्माण

2- फॉस्फोइनोल पाइरूविक अम्ल **पाइरूविक काइनेज** एन्जाइम की उपस्थिति में एक फॉस्फेट त्याग कर पाइरूविक अम्ल एवं ATP का निर्माण करता है।

फॉस्फोइनोल पाइरूविक अम्ल +ADP —(पाइरूविक अम्ल काइनेज, Mg++)→ पाइरूविक अम्ल +ATD (10)
2 अणु (2 अणु) 2 अणु (2 अणु)

ग्लोइकोलिसिस की सम्पूर्ण अभिक्रिया को निम्न समीकरण द्वारा प्रदर्शित किया जा सकता है।

$$C_6H_{12}O_6+2ATP+4ADP+2P_2+2NAD^+ \longrightarrow 2C_3H_4O_3+2ADP+4ATP+2NADH+2H^+$$

ग्लाइकोलाइसिस का सार
(Summary of Glycolysis)

(1) ग्लाइकोलाइसिस में 6 कार्बन वाले ग्लूकोज के एक अणु के विखण्डन से 3 कार्बनयुक्त पाइरूविक अम्ल के दो अणु निर्मित होते हैं।

(2) ग्लाइकोलाइसिस अभिक्रिया में चार अणु ए टी पी का निर्माण सबस्ट्रेट स्तरीय फॉस्फरिलीकरण से होता है जिसमें से 2 अणु खर्च हो जाते है; अतः शुद्धलाभ 2ATP अणुओं का होता है।

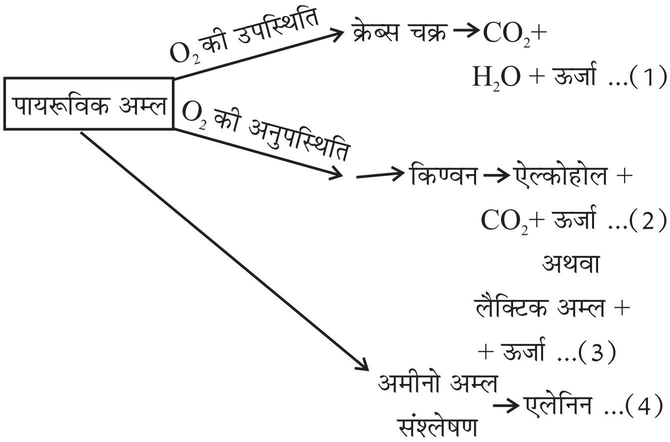
(3) 1,3 - डाई फॉस्फोग्लिसरलडिहाइड के अणुओं से 1,3 डाईफॉस्फोग्लिसरिक अम्ल बनते हैं। इस समय 2 अणु $NADH+H^+$ बनते हैं। प्रत्येक $NADH+H^+$ से इलेक्ट्रोन परिवहन तंत्र (ETS) द्वारा 3 ATP अर्थात कुल 6 ATP का निर्माण होता है।

(4) इस अभिक्रिया में न तो O_2 का उपयोग होता है तथा न ही कहीं पर CO_2 का निर्माण होता है।

(5) ग्लाइकोलाइसिस के कुछ मध्यवर्ती यौगिक अन्य संश्लेषी क्रियाओं में प्रयुक्त होते हैं। अतः इसे Catabolic-resynthesis या oxidative anabolism भी कहते है। जैसे PGAL ग्लिसरॉल, संश्लेषण में काम में लिया जाता है। इसी प्रकार फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल कई अमीनो अम्लों जैसे ग्लाइसिन, सेरीन, सिस्टीन आदि के निर्माण में प्रयुक्त होता है।

पाइरूविक अम्ल का भविष्य (Fate of Pyruvic Acid)

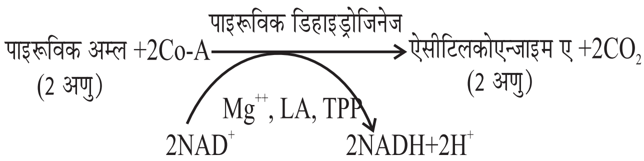
पायरूविक अम्ल EMP परिपथ का अंतिम उत्पाद है। O_2 की उपलब्धता अथवा अनुपलब्धता के आधार पर पायरूविक अम्ल का चार विभिन्न परिपथों के अनुसार आगामी विघटन हो सकता है–



पाइरूविक अम्ल का वायवीय आक्सीकरण (Aerobic oxidation of pyruvic acid)

कोशिकाद्रव्य में ग्लाइकोलाइसिस से बनने वाले पाइरूविक अम्ल के माइटोकोन्ड्रिया में प्रवेश करने पर श्वसन का दूसरा चरण आरम्भ होता है। माइटोकान्ड्रिया के आधात्री (Matrix) स्थल में पाइरूविक अम्ल का एक कार्बन परमाणु CO_2 के रूप में आक्सीकृत हो जाता है। इस प्रक्रिया को **आक्सीकारी विकार्बोक्सिलकरण** (Oxidative decarboxylation) कहते है। इसके बाद इसका *पाइरूविक डिहाइड्रोजिनेज* एन्जाइम की उपस्थिति में पहले आक्सीकरण होता है व बाद में कोएन्जाइम ए (Co-A) से संयुक्त होकर ऐसीटिल को एन्जाइम ए (Acetyl CoA) का निर्माण होता है। इस अभिक्रिया में पांच सहकारक (Cofactors) आवश्यक होते है। ये CoA, NAD^+, Mg^{++} लिपोइक अम्ल (LA) एवं थायमीन पायरोफॉस्फेट (TPP) हैं। ऐसीटिल को एन्जाइम-ए के निर्माण की अभिक्रिया ग्लाइकोलाइसिस एवं क्रेब्स-चक्र को जोड़ने का कार्य करती है अत: इसे **योजक अभिक्रिया** (Link reaction) या **प्रवेश अभिक्रिया** (Gateway reaction) भी कहते है।

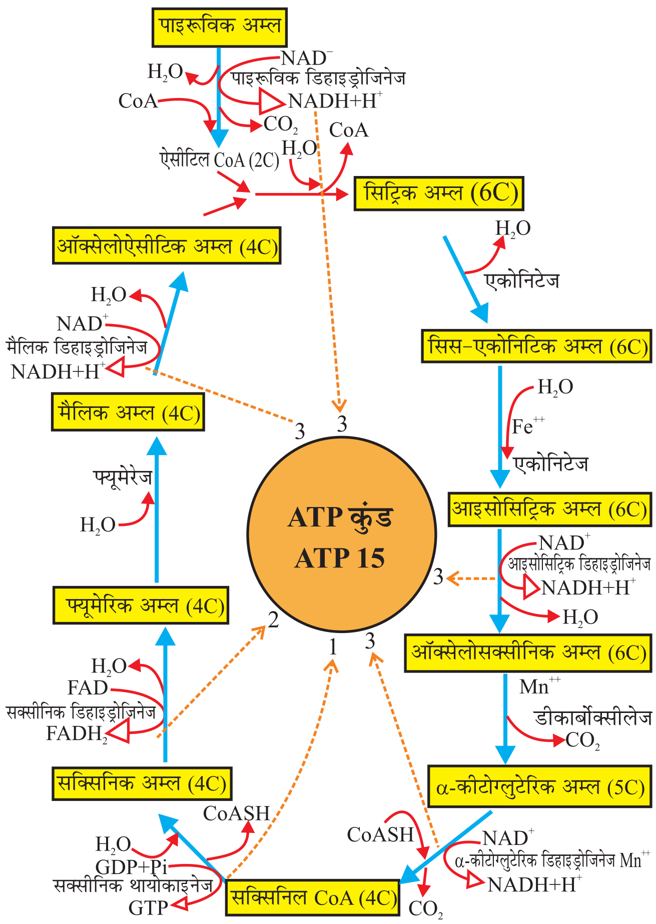
पाइरूविक अम्ल के ऐसीटिल को एन्जाइम-ए में रूपान्तरण को निम्नानुसार उल्लेखित किया जा सकता है-



इस प्रकार पाइरूविक अम्ल के दो अणुओं के ऑक्सीकरण से दो अणु ऐसीटिल को-एन्जाइम ए एवं 2 अणु $NADH_2$ के बनाते हैं। इन $NADH_2$ के 2 अणु से 6ATP अणुओं का निर्माण होता है।

II. क्रेब्सचक्र (Krebs cycle), सिट्रिक अम्ल चक्र (Citric Acid Cycle), टी.सी.ए. चक्र (TCA cycle; Tricarboxylic Acid Cycle)

माइटोकॉन्ड्रिया में होने वाले इस चक्र की खोज ब्रिटिश जैव रसायन शास्त्री सर **एच. ए. क्रेब्स** ने 1937 में की थी। इन्हीं के सम्मान में इसे क्रेब्स चक्र कहा जाता है। इस कार्य के लिए सर क्रेब्स को 1953 में नोबल पुरस्कार से सम्मानित किया गया था। क्रेब्स चक्र का प्रथम उत्पाद सिट्रिक अम्ल होता है इसलिए इसे **सिट्रिक अम्ल चक्र** के नाम से भी जाना जाता है। चूंकि सिट्रिक अम्ल (CH_2 COOH-C (OH) COOH-CH_2 COO+H) में अम्लीय ग्रुप (-COOH) के तीन अणु होते है, इसलिए इस चक्र को **त्रिकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र** (Tricarboxylic Acid Cycle) भी कहते हैं। क्रेब्स चक्र के प्रारम्भ में 2 कार्बन युक्त ऐसीटिल को-एन्जाइम ए (Acetyl CoA) अपने ऐसीटिल समूह के दोनों कार्बन परमाणु आक्सेलोऐसीटिक अम्ल को स्थानान्तरित कर देता है जिससे 6 कार्बन परमाणु युक्त सिट्रिक अम्ल का निर्माण होता है।



चित्र 11.3 क्रेब्स चक्र अथवा सिट्रिक अम्ल चक्र की मुख्य अभिक्रियाएँ

क्रेब्स चक्र के मुख्य पदों को निम्नानुसार समझा जा सकता है –

1. सिट्रिक अम्ल का निर्माण – 2C युक्त ऐसीटिल CoA माइटोकोन्ड्रिया में प्रवेश कर 4C युक्त आक्सेलोऐसीटिक अम्ल से संघननकारी एन्जाइम (Condensing enzyme) *साइट्रेट सिन्थेज* की उपस्थिति में क्रिया कर जलयोजन द्वारा 6C युक्त सिट्रिक अम्ल बनाता है। इस क्रिया में कोएन्जाइम ए मुक्त हो जाता है।

ऐसीटिल कोएन्जाइम + आक्सेलोऐसीटिक अम्ल —(संघननकारी एन्जाइम साइट्रेट सिन्थेज, H_2O)→ सिट्रिक अम्ल+ कोएन्जाइम ए (CoA)

2. सिस – एकोनिटिक अम्ल का निर्माण – सिट्रिक अम्ल *एकोनिटेज एन्जाइम* की उपस्थिति में जल का अणु त्याग कर सिस एकोनिटिक अम्ल का निर्माण करता है।

सिट्रिक अम्ल —(एकोनिटेज, $-H_2O$)→ सिसएकोनिटिक अम्ल

3. आइसोसिट्रिक अम्ल का निर्माण – सिस एकोनिटिक अम्ल *एकोनिटेज एन्जाइम* की उपस्थिति में पुनः जलयोजन द्वारा आइसोसिट्रिक अम्ल का निर्माण करता है।

सिसएकोनिटिक अम्ल —(एकोनिटेज, H_2O)→ आइसोसिट्रिक अम्ल

4. आक्सेलो – सक्सिनिक अम्ल का निर्माण – आइसोसिट्रिक अम्ल *डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम* की उपस्थित में आक्सीकरण द्वारा आक्सेलोसक्सिनिक अम्ल का निर्माण करता है। इस अभिक्रिया में मुक्त होने वाले 2 हाइड्रोजन परमाणुओं को NAD^+ ग्रहण कर $NADH+H^+$ में परिवर्तित हो जाता है। इस अभिक्रिया में CO_2 मुक्त होती है।

आइसोसिट्रिक अम्ल —(आइसोसिट्रिक डिहाइड्रोजिनेज; NAD^+ → $NADH+H^+$)→ आक्सेलो सक्सिनिक अम्ल

5. α–कीटोग्लूटेरिक अम्ल का निर्माण – ऑक्सेलोसक्सिनिक अम्ल *डिकार्बोक्सिलेज एन्जाइम* की उपस्थिति में CO_2 त्याग कर 5 कार्बन युक्त α–कीटोग्लूटेरिक अम्ल का निर्माण करता है। सम्पूर्ण क्रेब्स चक्र में यह एकमात्र 5 कार्बन वाला अम्ल बनता है।

ऑक्सेलोसक्सिनिक अम्ल —(डिकार्बोक्सिलेज एन्जाइम)→ α–कीटोग्लूटेरिक अम्ल + CO_2

6. सक्सिनिल को एन्जाइम ए का निर्माण – 5C कार्बन युक्त α–कीटोग्लूटेरिक अम्ल *डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम* की उपस्थिति में आक्सीकारी डिकार्बोक्सिलीकरण (Oxidative decarboxylation) द्वारा सक्सिनिल को एन्जाइम ए का निर्माण करता है। इस अभिक्रिया में मुक्त होने वाले दोनों हाइड्रोजन परमाणुओं द्वारा NAD^+ का अपचयन $NADH+H^+$ में हो जाता है। इस प्रक्रिया में CO_2 मुक्त होती है।

α–कीटोग्लुटेरिक अम्ल+CoA —(α–कीटोग्लुटेरिक डिहाइड्रोजिनेज; NAD^+ → $NADH+H^+$)→ साक्सिनिल कोएन्जाइम ए $+CO_2$

7. सक्सिनिक अम्ल का निर्माण – *सक्सिनिल थायोकाइनेज एन्जाइम* की उपस्थिति में सक्सिनिक अम्ल के जल अपघट्न से सक्सिनिक अम्ल बनता है एवं Co-A मुक्त हो जाता है। इस क्रिया में ऊर्जा GTP अणु के रूप से मुक्त होती है जो बाद में ATP बनाती है।

सक्सिनिल को एन्जाइम ए —(सक्सिनिल थायोकाइनेज; $GDP+P_i$ → GTP)→ सक्सिनिक अम्ल +COA

8. फ्यूमेरिक अम्ल का निर्माण – सक्सिनिक अम्ल, *सक्सिनिक डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम* की उपस्थिति में आक्सीकृत होकर फ्यूमेरिक अम्ल का निर्माण करता है एवं इस अभिक्रिया में मुक्त होने वाले हाइड्रोजन परमाणु FAD^+ को $FADH_2$ में अपचयित कर देते है।

सक्सिनिक अम्ल —(सक्सिनिक डिहाइड्रोजिनेज; FAD^+ → $FADH_2$)→ फ्यूमेरिक अम्ल

9. मैलिक अम्ल का निर्माण – *फ्यूमेरेज एन्जाइम* की उपस्थिति में फ्यूमेरिक अम्ल जलयोजन द्वारा मैलिक अम्ल में परिवर्तित हो जाता है।

फ्यूमेरिक अम्ल —(फ्यूमेरेज, H_2O)→ मैलिक अम्ल

10. ऑक्सेलोऐसीटिक अम्ल का निर्माण – क्रेब्सचक्र की अन्तिम अभिक्रिया में *मैलिक डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम* की उपस्थिति में मैलिक अम्ल आक्सीकृत होकर आक्सेलोऐसीटिक अम्ल का निर्माण करता है। इस अभिक्रिया में 2 हाइड्रोजन परमाणु मुक्त होकर NAD^+ को $NADH+H^+$ में अपचयित कर देते हैं।

मैलिक अम्ल —(मैलिक डिहाइड्रोजिनेज; NAD^+ → $NADH+H^+$)→ आक्सेलोऐसीटिक अम्ल

सारणी – ग्लूकोज के ऑक्सी श्वसन का सार (Summary of aerobic respiration of glucose)

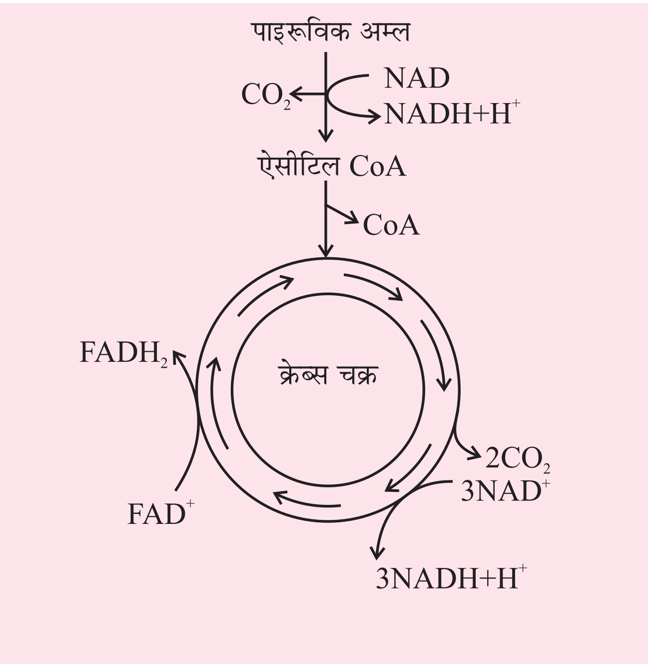
क्र.सं.	प्रक्रिया		उत्पन्न ऊर्जा
1.	**ग्लाइकोलिसिस**	(स्थल कोशिकाद्रव्य)	8 या 6 ATP*
	ग्लूकोज ($C_6H_{12}O_6$) ⟶	पाइरूविक अम्ल +$2H_2$	
2.	मध्यस्थ अभिक्रिया	(परिमाइट्रोकान्ड्रियल स्थल)	
	2 पाइरूविक अम्ल —COA⟶	2 ऐसीटिल $CoA+4H^++2CO_2$	6 ATP
	क्रेब्सचक्र (स्थल – मेट्रीक्स)		
3.	2 ऐसीटिल $CoA+6H_2O$ ⟶	$CoA+16H^++4CO_2$	24 ATP
	$24H^++6O_2$ ⟶	$12H_2O$	
	$C_6H_{12}O6+6O_2$ ⟶	$6CO_2+6H_2O$	38 या 36 ATP*

ऑक्सेलोऐसीटिक अम्ल पुनः ऐसीटिल Co-A ग्रहण करके क्रेब्स चक्र प्रारम्भ करता है।

इस प्रकार क्रेब्स चक्र में पाइरूविक अम्ल के एक अणु के पूर्ण आक्सीकरण से CO_2 के तीन अणु बनते है। चूंकि ग्लूकोज में एक अणु से पाइरूविक अम्ल के दो अणु बनते हैं अतः ग्लूकोज के पूर्ण आक्सीकरण सें CO_2 के 6 अणु बनते है।

सम्पूर्ण क्रेब्स चक्र को निम्न समीकरण एवं चित्र द्वारा समझाया जा सकता है –

ऐसीटिल $CoA+ 3H_2O+3NAD^++FAD^++GDP+Pi \longrightarrow 2CoA+ 3CO_2+3NADH+4H^+ + FADH_2+GTP$



चित्र 11.4 क्रेब्स चक्र संक्षेपित

❄ ग्लाइकोलिसिस में बनने वाले 2NADH+H+ के अणु यदि मैलेट – ऐस्पारटेट शटल के द्वारा माइकॉन्ड्रिया में होने वाले ETS में प्रवेश करते है तो 6ATP के अणु बनते है। जिससे ऑक्सी श्वसन में 38ATP अणु बनते हैं अगर $NADH+H^+$ के दो अणु ग्लिसरॉल – फास्फेट शटल के द्वारा माइटोकॉन्ड्रिया में प्रवेश करते है तो इनके द्वारा FAD^+ का अपचयन होता है जिससे केवल 4 अणु ATP बनते है। जिससे आक्सी श्वसन में कुल 36 ATP के अणु बनते है।

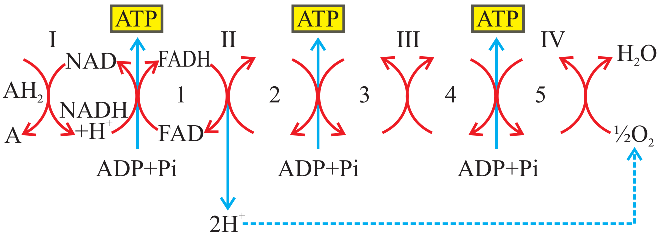
क्रेब्स चक्र का महत्व

I. क्रेब्स चक्र में ATP के अणुओं का निर्माण होता है, जिससे विभिन्न कार्यों के लिए ऊर्जा मिलती है।

II. इस चक्र में कई ऐसे मध्यवर्ती यौगिकों (कार्बनिक अम्लों) का निर्माण होता है जिनका अन्य जैव अणुओं के संश्लेषण में उपयोग होता है। उदाहरण के लिए सक्सिनिल को एन्जाइम ए, पर्णहरित के संश्लेषण लिए प्रारम्भिक अणु है। α–कीटो – ग्लूटेरिक अम्ल, पाइरूविक अम्ल, एवं ऑक्सेलोऐसीटिक अम्लों से अमीनो अम्लों का निर्माण होता है।

III. इलेक्ट्रोन परिवहन तन्त्र
(Electron Transport System, ETS)

क्रेब्सचक्र के अन्त में ग्लूकोज का पूर्ण आक्सीकरण हो जाता है परन्तु ऊर्जा इलेक्ट्रोन परिवहन तन्त्र के द्वारा $NADH_2$ तथा $FADH_2$ के आक्सीकरण के बाद ही मुक्त होती है। इलेक्ट्रोन परिवहन तन्त्र में इलेक्ट्रोन एक श्रेणी बद्ध निश्चित क्रम में एक वाहक से दूसरे वाहक को स्थानान्तरित होते हैं। यह स्थानान्तरण वाहकों के उच्च ऊर्जा स्तर से निम्न ऊर्जा स्तर की तरफ होता है। इस क्रिया में भाग लेने वाले सभी एन्जाइम माइटोकॉन्ड्रिया की आन्तरिक झिल्ली से संबंधित होते हैं।



1. फ्लेवोप्रोटीन 2. साइटोक्रोम b 3. साइटोक्रोम c
4. साइटोक्रोम a 5. साइटोक्रोम a_3

चित्र 11.5 इलेक्ट्रोन परिवहन तंत्र

ETS के घटकों अथवा वाहकों को निम्न प्रकार श्रेणीबद्ध किया जाता है, जिन्हें संकुल कहा गया है –

क्र.स	संकुल का नाम	संकुल के अवयव
1	संकुल I	FMN, Fe – S
2	संकुल II	Fe – S
3	संकुल III	साइटोक्रोम b- CytC_1
4	संकुल IV	साइटोक्रोम - a तथा साइटोक्रोम–a_3
5	संकुल V	ATP सिन्थेटेज

इनके अतिरिक्त इलेक्ट्रोनो में दो चलवाहक साइटोक्रोम-C व CoQ/UQ (यूबीक्वीनोन) भी इस प्रक्रम में शामिल होते हैं।

इलेक्ट्रोन परिवहन तन्त्र में NADH+H$^+$ एवं FADH$_2$ से इलेक्ट्रोनों का आक्सीकरण एक निश्चित क्रम में होता है जिसे निम्नानुसार समझा जा सकता है।

(1) क्रेब्सचक्र में माइटोकॉन्ड्रिया की मेट्रिक्स में बनने वाले NADH+H$^+$ का एन्जाइम NADH डिहाइड्रोजिनेज द्वारा NAD+ में आक्सीकरण हो जाता है व इस क्रिया में मुक्त होने वाले इलेक्ट्रोन माइटोकॉन्ड्रिया की आन्तरिक झिल्ली पर पाये जाने वाले संकुल प्रथम के घटकों द्वारा ग्रहण कर लिये जाते हैं। इस घटक में प्रमुख रूप से NADH यूबीक्विनोन आक्सीडोरिडक्टेज एवं फ्लेविन मोनोन्यूक्लियोटाइड (FMN) पाया जाता है।

संकुल II के अवयव (सक्सिनेट यूबीक्विनोन आक्सीडोरिडक्टेज) सक्सिनिक अम्ल से मुक्त होने वाले इलेक्ट्रोन जो FADH$_2$ द्वारा ग्रहण किये जाते है, को ग्रहण करता है।

2. इस प्रकार पूर्ण अपचयित यूबीक्विनोन, इलेक्ट्रोन का स्थानान्तरण संकुल III के घटकों (साइटोक्रोम b एवं c_1) को कर देता है। यह साइटोक्रोम C माइटोकोन्ड्रिया की आन्तरिक झिल्ली की बाह्य सतह से सम्बन्धित चल प्रोटीन है जो इलेक्ट्रोन को संकुल III से संकुल IV पर स्थानान्तरित करता है।

साइटोक्रोम C- ऑक्सीडेज संकुल जिसमें साइटोक्रोम a एवं a_3 तथा दो कॉपर केन्द्र पाये जाते है संकुल IV का निर्माण करते हैं।

3. इलेक्ट्रोन परिवहन शृंखला में इलेक्ट्रोन विभिन्न वाहकों द्वारा संकुल I से संकुल IV तक पहुंचने पर ये ए टी पी सिंथेटेज संकुल के द्वारा ADP एवं अकार्बनिक फास्फेट से ए टी पी का निर्माण करते हैं।

4. इस प्रक्रिया में बनने वाले ATP अणुओं की संख्या इलेक्ट्रोन दाता की प्रकृति पर निर्भर करती है। एक NADH+H$^+$ से 3ATP एवं एक FADH$_2$ से 2ATP अणुओं का निर्माण होता है।

5. ऑक्सीजन इस प्रक्रिया में अन्तिम इलेक्ट्रॉन ग्राही की तरह कार्य करता है।

6. फोस्फोरीलीकरण की यह क्रिया आक्सीजन की उपस्थिति में होने से इसको **ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण** (Oxidative phosphorylation) कहा जाता है।

ATP संश्लेषण का रसायन परासरणी सिद्धान्त (Chemiosmotic Theory of ATP synthesis)

कोशिकीय अभिक्रियों जैसे प्रकाश संश्लेषण एवं श्वसन में ऊर्जा का रूपान्तरण ATP अणु में होता है। ATP के विघटन से अधिक मात्रा में ऊर्जा, ADP व P_i का निर्माण होता है। इस ऊर्जा का उपयोग विभिन्न जैविक प्रक्रियाओं को सम्पन्न करने में किया जाता है इस कारण से ATP को कोशिका की **सार्वत्रिक ऊर्जा मुद्रा** (Universal energy Currency) कहा जाता है। श्वसन में **ऑक्सीकरणी फास्फोरिलीकरण** एवं प्रकाश संश्लेषण में **प्रकाशीय फास्फोरिलीकरण** द्वारा ATP का निर्माण होता है।

पीटर मिशेल (Peter Mitchell) ने 1961 में ATP संश्लेषण के **रसायन -परासरणी सिद्धान्त** (Chemiosmotic theory) को प्रतिपादित किया था। यह सिद्धान्त माइटोकॉन्ड्रिया एवं हरितलवक दोनों में ATP संश्लेषण की प्रक्रिया को प्रदर्शित करता है। इस सिद्धान्त के अनुसार धन आवेशित प्रोटोनों (हाइड्रोजन आयनों) का माइटोकॉन्ड्रिया, हरितलवक व जीवाणु झिल्लियों के आर- पार गमन श्वसन एवं प्रकाश संश्लेषण में प्रयुक्त एन्जाइम-शृंखलाओं द्वारा होने वाले इलेक्ट्रोनों के प्रवाह द्वारा नियन्त्रित होता है। इसके कारण झिल्ली के दोनों तरफ एक विद्युत रासायनिक प्रोटोन प्रवणता (Electrochemical proton gradient) उत्पन्न होती है। इस विद्युत रासायनिक प्रोटोन प्रणवता के दो प्रमुख घटक होते हैं।

(i) झिल्ली के आर-पार हाइड्रोजन आयनों की सान्द्रता में अथवा pH में अन्तर

(ii) झिल्ली के आर-पार विद्युत विभव में अन्तर

ये दोनों घटक मिलकर प्रोटोन गतिदायी बल (Proton motive force) उत्पन्न करते हैं जिसके कारण प्रोटोन (H$^+$) सान्द्रता प्रवणता के अनुसार गति कर भीतर प्रवेश कर जाते हैं एवं ATPase एन्जाइम ADP तथा अकार्बनिक फास्फेट से ATP का संश्लेषण कर देता है।

आक्सीजन की अनुपस्थिति में पाइरूविक अम्ल का विघटन (Breakdown of pyruvic acid in absence of

oxygen)

ग्लाइकोलिसिस के अन्तिम उत्पाद पाइरूविक अम्ल का विघटन आक्सीजन की उपस्थिति व अनुपस्थिति दोनों परिस्थितियों में हो सकता है। आक्सीजन की उपस्थिति में इसके पूर्ण आक्सीकरण से CO_2 एवं अधिकतम ऊर्जा मुक्त होती है। आक्सीजन की अनुपस्थिति में इसका अपूर्ण आक्सीकरण होता है। जिसे **अनाक्सी श्वसन** कहते है। इस अभिक्रिया में पहले डि–कार्बोक्सिलीकरण द्वारा या किण्वन द्वारा ऐसीटेल्डिहाइड का निर्माण होता है जिसमें CO_2 मुक्त होती है। ऐसीटेल्डिहाइड स्वयं अपचयित होकर ऐल्कोहल बनाता है व $NADH+H^+$ का उपचयन NAD^+ में हो जाता है। ये दोनों क्रियाएँ डिकार्बोक्सिलेज एवं डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइमों द्वारा उत्प्रेरित होती है।

किण्वन

(Fermentation)

किण्वन अधिकांश जीवाणुओं एवं कवकों में होने वाली क्रिया है जो ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में अर्थात O_2 के बिना उपयोग किए सम्पन्न होती है। इसमें शर्करा का अपूर्ण ऑक्सीकरण होता है तथा ऐल्कोहल अथवा कार्बोक्सिलिक अम्लों का निर्माण होता है एवं CO_2 मुक्त होती है। **पाश्चर** ने 1857 में सिद्ध किया कि ऐल्कोहोलिक किण्वन यीस्ट कोशिकाओं की उपापचयी क्रियाओं द्वारा होती है। **बुकनर** (Buchner) 1897 ने यीस्ट कोशिकाओं से जाइमेज नामक एन्जाइम को पृथक किया जो जीवित कोशिकाओं के बिना भी किण्वन करने में सक्षम होता है।

किण्वन के प्रकार – किण्वन क्रिया में बनने वाले उत्पाद के आधार पर किण्वन निम्न प्रकार के हो सकते हैं।

1. ऐल्कोहॉलीय किण्वन – यह अभिक्रिया यीस्ट, कुछ अन्य कवकों तथा कुछ उच्च वर्गीय पौधों में मिलती है। यह अनॉक्सी श्वसन का सामान्यत: पाया जाने वाला रूप है। ग्लाइकोलिसिस में बनने वाले पाइरूविक अम्ल से ऐल्कोहॉल का निर्माण दो चरणों में पूर्ण होता है –

प्रथम चरण में पाइरूविक अम्ल के डिकार्बोक्सिलीकरण से ऐसिटेल्डिहाइड बनता है तथा CO_2 मुक्त होती है

$$\text{पाइरूविक अम्ल} \xrightarrow{\text{पाइरूविक डिकार्बोक्सिलेज}} \text{ऐसिटेल्डिहाइड} + CO_2 \text{ ...... (i)}$$

दूसरे चरण में एन्जाइम *ऐल्कोहॉल डिहाइड्रोजिनेज* तथा $NADH+H^+$ की उपस्थिति में ऐसिटेल्डिहाइड का अपचयन होकर ऐल्कोहॉल तथा NAD^+ का निर्माण होता है

$$\text{ऐसिटेल्डिहाइड} \xrightarrow[NADH+H^+ \rightarrow NAD^+]{\text{ऐल्कोहॉल डिहाइड्रोजिनेज}} \text{एथिल ऐल्कोहॉल}$$

2. लैक्टिक अम्ल किण्वन – यह क्रिया जीवाणुओं (*लैक्टोबेसिलस, क्लॉस्ट्रीडियम*) व माँसपेशियों में मिलती है। इसमें पाइरूविक अम्ल $NADH+H^+$ तथा एन्जाइम *लैक्टिक डिहाइड्रोजिनेज* की उपस्थिति में लैक्टिक अम्ल में अपचयित हो जाता है।

$$\text{पाइरूविक अम्ल} + NADH+H^+ \xrightarrow{\text{लैक्टिक डीहाइड्रोजिनेज}} \text{लैक्टिक अम्ल} + NAD^+$$

3. ऐसीटिक अम्ल किण्वन – यह क्रिया *ऐसीटोबैक्टर एसीटाई* नामक जीवाणु की उपस्थिति में होती है। इस क्रिया में पहले पाइरूविक अम्ल से ऐसिटेल्डिहाइड एवं बाद में ऐसीटिक अम्ल बनता है।

$$\text{पाइरूविक अम्ल} \longrightarrow \text{ऐसिटेल्डिहाइड} + CO_2$$

$$\text{ऐसिटेल्डिहाइड} \xrightarrow[-2H]{+H_2O} \text{ऐसीटिक अम्ल}$$

4. ब्यूटाइरिक अम्ल किण्वन – यह क्रिया *बेसिलस ब्यूटाइरिकस* तथा *क्लास्ट्रीडियम ब्यूटाइरिकस* जीवाणु में पायी जाती है इसमें पाइरूविक अम्ल से पहले ऐसीटोऐसीटिक अम्ल तथा बाद में ब्यूटाइरिक अम्ल का निर्माण होता है।

$$\text{पाइरूविक अम्ल} \xrightarrow[-CO_2]{+H_2O} \text{ऐसीटोऐसीटिक अम्ल}$$

$$\text{ऐसीटोऐसीटिक अम्ल} \xrightarrow[+4H^+]{-H_2O} \text{ब्यूटाइरिक अम्ल}$$

श्वसन एवं किण्वन में अन्तर

क्र.सं.	श्वसन	किण्वन
1.	यह ऑक्सीजन की उपस्थिति में होती है।	इसमें आक्सीजन की आवश्यकता नहीं होती है।
2.	यह क्रिया समस्त सजीव कोशिकाओं में होती है।	इस क्रिया के लिए सजीव कोशिकाओं का होना आवश्यक नहीं है।
3.	इस क्रिया के अन्त में ग्लूकोज के पूर्ण ऑक्सीकरण से CO_2 एवं H_2O बनते है।	इस क्रिया में अपूर्ण ऑक्सीकरण से ऐल्कोहॉल अथवा कार्बनिक अम्ल तथा CO_2 बनता है। जल नहीं बनता होता।
4.	इसमें अधिक ऊर्जा मुक्त होती है।	बहुत कम ऊर्जा मुक्त होती है।

शर्करा विघटन के कुछ अन्य पथ

(Some other pathways of Glucose breakdown)

I. हेक्सोज मोनोफॉस्फेट परिपथ अथवा पेन्टोज फॉस्फेट पथ (Hexose Monophosphate Pathway or Pentose Phosphate Pathway; HMP or PPP) - सामान्यत: ऑक्सीश्वसन सामान्य पथ (ग्लाइकोलिसिस एवं क्रेब्स चक्र) द्वारा सम्पन्न होता है, परन्तु कुछ सजीवों में ग्लूकोज के आक्सीकरण के लिए वैकल्पिक पथ भी पाया जाता है, जिसे **पेन्टोज फॉस्फेट पथ** कहा जाता है। इस प्रकिया में हेक्सोज शर्करा का विघटन एक मध्यवर्ती पांच कार्बन परमाणु वाली शर्करा के द्वारा होता है। इस कारण इसे पेन्टोज फॉस्फेट पथ कहते है। इसका सर्वप्रथम अध्ययन **वारबर्ग एवं डिकिन्स** (Warburg and Dickons,1938) ने जन्तु ऊतकों में किया था। इस पथ की विभिन्न अभिक्रियाओं का विस्तृत अध्ययन **रेकर** (Racker, 1954) एवं उसके साथियों ने किया था। यह पथ कोशिकाद्रव्य में ऑक्सीजन की उपस्थिति में सम्पन्न होता है।

इस क्रिया को निम्न चरणों में समझा जा सकता है–

1. ग्लूकोज अणु का फॉस्फोरिलीकरण – सर्वप्रथम 6 अणु ग्लूकोज का ATP की उपस्थिति में फॉस्फोरिलीकरण होता है जिससे ग्लूकोज – 6 फॉस्फेट का निर्माण होता है।

$$\underset{(6\ \text{अणु})}{\text{ग्लूकोज} + 6ATP} \xrightarrow{\text{हेक्सोकाइनेज}} \underset{(6\ \text{अणु})}{\text{ग्लूकोज–6–फास्फेट} + ADP}$$

2. ग्लूकोज 6– फास्फेट का ऑक्सीकरण – ग्लूकोज 6–फास्फेट डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति में ग्लूकोज 6 फास्फेट, आक्सीकृत होकर फॉस्फोग्लूकोनिक अम्ल का निर्माण करता है।

$$\underset{(6\ \text{अणु})}{\text{ग्लूकोज–6 फास्फेट} + NADP} \xrightarrow[+H_2O]{\text{ग्लूकोज–6 फास्फेट डिहाइड्रोजिनेज}} \text{6–फास्फोग्लूकोनिक अम्ल} + 6NADPH + 6H^+\ (6\ \text{अणु})$$

3. फॉस्फोग्लूकोनिक अम्ल का आक्सीकारी विकार्बोक्सिलीकरण – 6 फास्फोग्लूकोनिक अम्ल डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति में 6– फॉस्फोग्लूकोनिक अम्ल, के ऑक्सीकारी विकार्बोक्सिलीकरण क्रिया द्वारा राइबुलोज –5 फास्फेट (पंच कार्बन) का निर्माण होता है एवं NADP का $NADPH+H^+$ में अपचयन हो जाता है तथा CO_2 मुक्त होती है।

$$\underset{(6\ \text{अणु})}{\text{6–फॉस्फोग्लूकोनिक अम्ल} + NADP^+} \xrightarrow{\text{फास्फोग्लूकोनिक अम्ल डिहाइड्रोजिनेज}} \text{राइबुलोज 5– फॉस्फेट} + 6NADPH + H^+ + CO_2\ (6\ \text{अणु})$$

इस राइबुलोज 5– फॉस्फेट से क्रमागत कई समावयवी अभिक्रियाओं द्वारा फास्फोरिलीकृत मध्यवर्ती उत्पाद बनते हैं जिनका मुख्य उद्देश्य ग्लूकोज फास्फेट को पूर्ण रूप से विघटित करना है। इस प्रक्रिया में मुक्त होने वाले प्रत्येक CO_2 अणु के साथ दो अणु $NADPH+H^+$ बनते है। इसके पूर्ण विघटन सें 6 अणु CO_2 एवं 12 अणु $NADPH+H^+$ निर्मित होते है। 12 अणु $NADPH+H^+$ इलेक्ट्रोन परिवहन तन्त्र के द्वारा 36 ATP अणुओं का निर्माण करते है। ध्यातव्य है कि एक $NADPH+H^+$ से तीन ATP अणु बढ़ते है। इस चक्र (HMP-परिपथ) में बनने वाले राइबुलोज 5– फॉस्फेट से विभिन्न पदार्थो का संश्लेषण होता है। जैसे DNA, RNA, ATP, FAD, CoA इत्यादि

II. एन्टनर डूओडोरौफ पथ (Entner Doudoroff Pathway)

यह परिपथ मुख्यत: कुछ जीवाणुओं में पाया गया है। यह पथ शर्करा के पाइरूविक अम्ल तक विखण्डन को दर्शाता है। इस पथ में बनने वाले मध्यस्थ पदार्थ सामान्य ग्लाइकोलिसिस में बनने वाले पदार्थों से भिन्न होते हैं। इसका सर्वप्रथम अध्ययन *स्यूडोमोनास (Pseudomonas)* नामक जीवाणुओं में किया गया था।

श्वसन क्रिया में श्वसनाधारों के अंतर संबंध

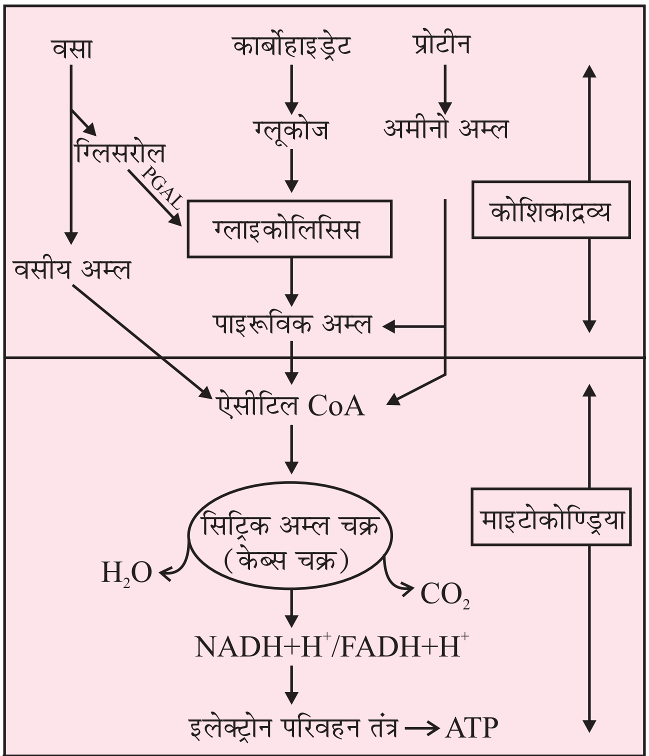
श्वसन क्रिया में श्वसनाधार के रूप में सजीव सामान्यत: कार्बोहाइड्रेट का उपयोग करते है, परन्तु कुछ पादपों में विशेष परिस्थितियों में प्रोटीन, वसा तथा कार्बनिक अम्लों को भी श्वसन क्रियाधार के रूप में प्रयोग में लिया जाता है। श्वसन में यदि वसा क्रियाधार है तो यह सर्वप्रथम वसीय अम्ल (Fatty acid) एवं ग्लिसरॉल में विघटित हो जाता है। वसीय अम्ल ऐसीटिल CoA बनकर क्रेब्सचक्र में प्रवेश करता है, (चित्र 11.6) तथा ग्लिसरॉल पहले PGAL में परिवर्तित होकर ग्लाइकोलिसिस में प्रवेश करता है। अगर प्रोटीन क्रियाधार हो तो यह प्रोटिएज एन्जाइम द्वारा विघटित होकर अमीनो अम्ल के रूप में पायरूविक अम्ल के साथ श्वसन पथ में प्रवेश करता है।

श्वसन क्रिया में काम आने वाले श्वसनधारों के उपयोग क्रम के अनुसार सर्वप्रथम कार्बोहाइड्रेट, तत्पश्चात् क्रमश: वसायें, कार्बनिक अम्ल व अन्त में प्रोटीन होते हैं।

श्वसन एक उभयचय क्रिया है

(Respiration is an amphibolic process)

सजीवों में कार्बनिक पदार्थो के विघटन की प्रक्रिया अपचय (Catabolism) तथा संश्लेषण की उपचय (Anabolism) कहलाती है। श्वसनी पथ में अपचय एवं उपचय दोनों प्रकार की क्रियाए होती है इसलिए इसे **एंफीबोलिक** कहा जाता है।



चित्र 11.6 श्वसन क्रिया में श्वसनाधारों के अंतरसंबंध का आरेखी चित्र

श्वसन गुणांक
(Respiratory Quotient, RQ)

श्वसन क्रिया में विभिन्न कार्बनिक पदार्थों का ऑक्सीकरण होता है, जिसके लिए सामान्यत: आक्सीजन का अवशोषण होता है तथा कार्बन डाइआक्साइड का विमोचन (Release) होता है। अत: **श्वसन में मुक्त होने वाली CO_2 एवं प्रयुक्त होने वाली O_2 के आयतनों का अनुपात श्वसन गुणांक कहलाता है।** श्वसन गुणांक का मापन गेनोंग के श्वसनमापी द्वारा किया जाता है।

$$\text{श्वसन गुणांक} = \frac{\text{श्वसन में विमुक्त } CO_2 \text{ का आयतन}}{\text{श्वसन में प्रयुक्त } O_2 \text{ का आयतन}}$$

श्वसन गुणांक का मान श्वसन क्रिया में प्रयुक्त क्रियाधार तथा श्वसन क्रिया के प्रकार के निर्धारण में सहायक होता है। श्वसन में उपयोग होने वाले विभिन्न क्रियाधारों के श्वसन गुणांक भी भिन्न - भिन्न होते हैं जिन्हें निम्नानुसार समझा जा सकता है।

(i) कार्बोहाइड्रेट का श्वसन गुणांक - श्वसन क्रिया में क्रियाधार जब कार्बोहाइड्रेट हो एवं इसका पूर्ण आक्सीकरण होता है तो श्वसन गुणांक सदैव **इकाई** अर्थात **'एक'** होता है क्योंकि इस प्रक्रिया में विमुक्त होने वाली CO_2 एवं प्रयुक्त होने वाली O_2 का आयतन सदैव समान होता है।

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{ऊर्जा}$$

$$\text{श्वसन गुणांक} = \frac{\text{विमुक्त } CO_2 \text{ का आयतन}}{\text{प्रयुक्त } O_2 \text{ का आयतन}} = \frac{6CO_2}{6O_2} = 1.0$$

(ii) वसा का श्वसन गुणांक - तैलीय बीजों जैसे सरसों, मूंगफली, कपास के बीजों के अंकुरण के समय श्वसन की क्रिया में वसा क्रियाधार होती है। वसा के अणु में कार्बोहाइड्रेट की तुलना में O_2 की मात्रा कम होती है इसलिए वसा के आक्सीकरण के लिए वायुमण्डल से O_2 की अधिक मात्रा की आवश्यकता होती है। अत: वसा का श्वसन गुणांक सदैव **एक से कम** होता है।

$$2C_{51}H_{98}O_6 + 145O_2 \longrightarrow 102\ CO_2 + 98H_2O$$

ट्राईपामीटिन

$$\text{अत: श्वसन गुणांक (R.Q.)} = \frac{102}{145} = 0.7$$

(iii) प्रोटीनों का श्वसन गुणांक - प्रोटीन अणुओं में भी वसा की भांति O_2 की मात्रा कार्बन की तुलना में कम होती है। अत: प्रोटीनों के ऑक्सीकरण में भी अधिक O_2 की आवश्यकता होती है। श्वसन की क्रिया में प्रोटीन क्रियाधार की तरह कार्य कार्बोहाइड्रेट व वसा की अनुपस्थिति में ही करते है। उदाहरण के लिए मनुष्य में लम्बे समय तक व्रत (निराहार) रखने पर प्रोटीन क्रियाधार के रूप में काम आने लगते हैं, जो लगातार होने पर मनुष्य की मृत्यु का सूचक होता है। प्रोटीनों का श्वसन गुणांक **एक से कम** प्राय: 0.7-0.9 होता है जो वसा के RQ से मामूली अधिक होता है।

(iv) कार्बोक्सिलिक अम्लों का श्वसन गुणांक - कुछ पादपों में श्वसन में क्रियाधार कार्बोक्सिलिक अम्ल होते है जिनके अणुओं में कार्बन की तुलना में O_2 की अधिक मात्रा होती है। इसलिए इन पदार्थों के ऑक्सीकरण में तुलनात्मक रूप से बाहर से कम O_2 की आवश्यकता होती है तथा अधिक मात्रा में CO_2 विमुक्त होती है। अत: इनका श्वसन गुणांक सदैव **एक से अधिक** होता है।

$$2\ (COOH) + O_2 \longrightarrow 4CO_2 + H_2O$$

आक्जेलिक अम्ल

$$\text{श्वसन गुणांक (R.Q.)} = \frac{4CO_2}{O_2} = 4.0$$

सिट्रिक अम्ल एवं मैलिक अम्ल का श्वसन गुणांक क्रमश: 1.14 तथा 1.33 होता है।

(v) मांसल या सरस पादपों का श्वसन गुणांक - मांसल पादप जैसे नागफनी आदि में कार्बोहाइड्रेट श्वसनाधार के रूप में प्रयुक्त होता है परन्तु इसका पूर्ण ऑक्सीकरण नहीं होता है जिससे मध्यवर्ती पदार्थों का निर्माण होता है लेकिन CO_2 का निर्माण नहीं होता है।

अत: इन पौधों का **RQ शून्य होता है।**

$$2C_6H_{12}O_6 + 3O_2 \longrightarrow 3C_4H_6O_5 + 3H_2O$$

ग्लूकोज मैलिक अम्ल

$$\text{श्वसन गुणांक (RQ)} = \frac{\text{शून्य } CO_2}{3O_2} = 0 (\text{शून्य})$$

(vi) अवायवीय श्वसन में श्वसन गुणांक – अवायवीय श्वसन में CO_2 तो मुक्त होती है परन्तु O_2 का अवशोषण नहीं होता है। अत: इस प्रकार की क्रियाओं में **श्वसन गुणांक अनन्त होता है।**

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{जाइमेज}} 2C_2H_5OH + 2CO_2 + \text{ऊर्जा}$$

ऐथिल ऐल्कोहोल

$$\text{अत: श्वसन गुणांक} = \frac{2CO_2}{\text{शून्य } O_2} = \text{अनन्त } (\alpha)$$

श्वसनाधार अथवा क्रियाधार का RQ जितना कम होता है उस स्थिति में उतनी ही अधिक मात्रा में ऊर्जा का विमोचन होता है। इस प्रकार वसा के एक अणु से अधिकतम ऊर्जा जबकि कार्बनिक अम्ल के एक अणु अथवा अवायवीय श्वसन से काफी कम मात्रा में ऊर्जा उत्पन्न होती है।

श्वसन का महत्व

(1) श्वसन में उत्पन्न ऊर्जा पौधों की विभिन्न उपापचयी प्रक्रियाओं में उपयोग की जाती है।

(2) इस क्रिया के फलस्वरूप विभिन्न मध्यवर्ती रासायनिक पदार्थ बनते हैं जो कोशिका उपापचय के लिए आवश्यक हैं।

(3) इस क्रिया में निकलने वाली CO_2 से वायुमण्डल में गैसीय संतुलन बना रहता है।

(4) इस क्रिया में जटिल , अघुनलशील भोज्य पदार्थ, सरल, घुलनशील भोज्य पदार्थों में परिवर्तित होते हैं।

(5) यह क्रिया संचित (स्थितिज) ऊर्जा को काम में आने वाली (गतिज) ऊर्जा में रूपान्तरित करती है।

श्वसन को प्रभावित करने वाले कारक

श्वसन की दर कई कारकों द्वारा प्रभावित होती है। श्वसन की सर्वाधिक दर सक्रिय रूप से विभाजित होने वाली विभज्योतकी कोशिकाओं की होती है। श्वसन दर को प्रभावित करने वाले कारकों को निम्न दो वर्गों में वर्गीकृत किया जा सकता है –

(I) बाह्य कारक (External factors)

(II) आन्तरिक कारक (Internal factors)

(I) बाह्य या पर्यावरणीय कारक
(External or Environmental factors)

श्वसन को प्रभावित करने वाले प्रमुख बाह्य कारक निम्न हैं।

1. तापमान (Temperature) – तापमान श्वसन दर को प्रभावित करने वाला प्रमुख कारक है। सामान्यत: एक निश्चित सीमा तक (5^0C से 30^0C तक) तापमान बढ़ने पर श्वसन दर में लगातार वृद्धि होती है। इस सीमा के अन्तर्गत श्वसन दर में वृद्धि **वान्टहोफ के नियम** (Vont Hoff's rule) के अनुसार होती है। इसके अनुसार प्रति 10^0C तापमान में वृद्धि पर श्वसन की दर दुगुनी (Q_{10}=2) हो जाती है। 35^0C से अधिक तापमान पर एन्जाइम विकृत होने लगते हैं, जिससे श्वसन की दर भी मन्द होने लगती है। अति निम्न तापक्रम पर भी श्वसन की क्रिया में भाग लेने वाले एन्जाइम निष्क्रिय हो जाते हैं जिससे श्वसन की दर घट जाती हैं। इस कारण ही शीत-गृहों में फल एवं सब्जियाँ बिना सड़े गले अधिक समय तक ठीक रह जाती है।

2. ऑक्सीजन (Oxygen) – ऑक्सीजन वायव श्वसन के लिए आवश्यक कारक है क्योंकि वायव श्वसन में ऑक्सीजन अन्तिम इलेक्ट्रोन ग्राही है। कम आक्सीजन सान्द्रता पर वायव व अवायवीय दोनों प्रकार के श्वसन होते हैं। जब आक्सीजन की सान्द्रता शून्य हो जाती है तब केवल अवायवीय श्वसन होता है। ऐसी अवस्था में श्वसन गुणांक अनन्त हो जाता है।

3. जल (Water) – जीवद्रव्य की उपापचयी क्रियाओं के लिए जल एक माध्यम का कार्य करता है। पादपों के जीवद्रव्य में 90 – 95% तक जल होता है। जल पादपों के परिवहन तंत्र, एन्जाइमों के सक्रियण तथा गैसों के विसरण में मुख्य भूमिका निभाता है। जल की मात्रा कम होने के कारण ही शुष्क बीजों एवं फलों की श्वसन दर कम होती है। इस कारण से इन्हें अधिक समय तक भण्डारित रखा जा सकता है जबकि जल की उपस्थिति में कार्बोहाइड्रेट घुलनशील शर्करा में परिवर्तित होकर श्वसन दर को बढ़ा देता है।

4. प्रकाश (Light) – प्रकाश की उपस्थिति एवं अनुपस्थिति दोनों ही अवस्थाओं में श्वसन क्रिया समान रूप से चलती रहती है। अत: प्रकाश का श्वसन पर कोई प्रत्यक्ष प्रभाव नहीं पड़ता है। परन्तु परोक्ष रूप से प्रकाश कारक श्वसन क्रिया को निम्न प्रकार से प्रभावित करता है।

(क) प्रकाश के द्वारा तापवृद्धि से श्वसन दर बढ़ जाती है।

(ख) प्रकाश संश्लेषण की क्रिया द्वारा शर्करा का निर्माण होता है जो एक महत्वपूर्ण श्वसन क्रियाधार है।

(ग) प्रकाश में रंध्र खुले रहते हैं जिससे गैसों का आदान प्रदान होता है।

5. कार्बनडाइऑक्साइड (CO_2) – कार्बन डाइऑक्साइड की सान्द्रता बढ़ाने के साथ – साथ श्वसन की दर कम हो जाती है। अत: इसका प्रतिकूल प्रभाव बीजों के अंकुरण व पादप की वृद्धि दर पर पड़ता

है। **हीथ** (Heath) ने अपने प्रयोगों से यह सिद्ध किया कि CO_2 की अधिकता से रंध्र बन्द हो जाते है। जिससे O_2 के अभाव में श्वसन दर कम हो जाती है।

आन्तरिक या पादप कारक

(Internal or Plant factors)

कोशिका जीवद्रव्य एवं श्वसन क्रियाधार प्रमुख आन्तरिक कारक हैं, जो श्वसन दर को प्रभावित करते हैं –

1. जीवद्रव्य – विभज्योतकी कोशिका में जीवद्रव्य सक्रिय एवं अधिक मात्रा में पाया जाता है जिससे इन कोशिकाओं में श्वसन की दर परिपक्व कोशिकाओं की तुलना में अधिक होती है।

2. श्वसनीय क्रियाधार – कोशिका में उपस्थित विभिन्न प्रकार की शर्कराएं जैसे ग्लूकोज, फ्रक्टोज, माल्टोज श्वसन क्रिया में त्वरित प्रयोग की जाती हैं। इनकी तुलना में स्टार्च तथा वसाओं का प्रयोग से पूर्व शर्कराओं में परिवर्तित होना आवश्यक है जिससे श्वसन क्रिया विलम्ब से आरम्भ होती है। यही कारण है कि एक स्वस्थ व्यक्ति के भोजन में स्टार्च (चपाती, आलू, चावल) तथा वसा (तेल, घी) की अधिकिता होती है जबकि रूग्ण व्यक्ति को अस्पताल में सीधे ही ग्लूकोज का घोल दिया जाता है।

3. कोशिका की आयु :– तरूण कोशिकाओं में श्वसन दर तीव्र जबकि प्रौढ़ व वृद्ध कोशिकाओं में क्रमश: धीरे होती है।

4. चोट व घाव :– चोटिल व क्षत ऊतकों में श्वसन दर तीव्र होती है।

महत्वपूर्ण बिन्दु

1. श्वसन एक महत्वपूर्ण उपापचयी क्रिया है, जो सजीवों में सतत् रूप से होती रहती है। इस प्रक्रिया में जटिल कार्बनिक यौगिकों का सरल यौगिकों में विघटन होता है व ऊर्जा मुक्त होती है।
2. श्वसन क्रिया में आक्सीकृत होने वाले जटिल कार्बनिक यौगिक श्वसन के **क्रियाधार** कहलाते हैं। श्वसन में सबसे पहले उपयोग में लिया जाने वाला क्रियाधार ग्लूकोज (कार्बोहाइड्रेट) है।
3. श्वसन प्रमुखतया दो प्रकार का होता है (i) ऑक्सीजन की उपस्थिति में होने वाला ऑक्सी श्वसन व (ii) आक्सीजन के बिना उपयोग के होने वाला अनॉक्सी श्वसन।
4. ऑक्सी एवं अनॉक्सी श्वसन का प्रारम्भिक चरण कोशिकाद्रव्य में सम्पन्न होता है जिसे **ग्लाइकोलिसिस** कहते है। पाइरूविक अम्ल ग्लाइकोलिसिस का अन्तिम उत्पाद है।
5. ग्लाइकोलिसिस अभिक्रिया में ग्लूकोज के एक अणु से $NADH+H^+$ एवं पाइरूविक अम्ल के दो-दो अणु तथा 4 अणु ATP के बनते हैं, दो अणु ATP खर्च हो जाते हैं।
6. अनॉक्सी श्वसन में ग्लूकोज के अपूर्ण विघटन से ऐल्कोहल एवं CO_2 का निर्माण होता है तथा दो अणु ATP के बनते हैं।
7. पाइरूविक अम्ल (ग्लाइकोलिसिस का अन्तिम उत्पाद) का आक्सीकरण माइटोकाण्ड्रिया में सम्पन्न होता है, जिसे क्रेब्स चक्र कहते है।
8. पाइरूविक अम्ल के ऑक्सीकरण से सबसे पहले ऐसीटिल को-एन्जाइम (CoA) बनता है, जो ग्लाइकोलिसिस एवं क्रेब्स चक्र के मध्य योजक कड़ी है। ऐसीटिल कोएन्जाइम A क्रेब्स चक्र में प्रवेश कर पूर्ण रूप से ऑक्सीकृत होकर CO_2 एवं जल का निर्माण करता है। क्रेब्स चक्र में ऊर्जा का विमोचन अणुओं के रूप में (ATP या GTP, $FADH+H^+$ एवं $NADH+H^+$) होता है।

$NADH+H^+$ एवं $FADH+H^+$ के दो H^+ अणु माइटोकॉण्ड्रिया के इलेक्ट्रोन परिवहन तन्त्र में प्रवेश कर क्रमश: तीन एवं दो ATP अणुओं का निर्माण करते है। यह क्रिया **ऑक्सीकारी फॉस्फोरिलीकरण** कहलाती है।

10. ऑक्सी श्वसन की ग्लाइकोलिसिस में बनने वाले $NADH+H^+$ के दो अणु यदि मैलेट- ऐस्पारटेट शटल के द्वारा ETS में प्रवेश करते है तो कुल 38ATP एवं यदि ग्लिसरोल फास्फेट शटल द्वारा प्रवेश करते तों 36 ATP अणुओं का निर्माण होता है।
11. ऑक्सीकरणी फॉस्फोरिलीकरण के आधुनिक सिद्धान्त का प्रतिपादन पीटर मिशेल द्वारा किया गया जिसे ऑक्सीकारी फॉस्फोरिलीकरण का **केमीऑस्मोटिक सिद्धान्त** (Chemiosmotic theory) के नाम से जाना जाता है।
12. ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में शर्कराओं के अपूर्ण विघटन से ऐल्कोहल एवं कार्बोक्सिलिक अम्लों के बनने की प्रक्रिया किण्वन कहलाती है।
13. ग्लाइकोलिसिस एवं क्रेब्सचक्र के अतिरिक्त भी कोशिकाओं में श्वसन क्रिया पेंटोज फॉस्फेट पथ (PP Pathway) के द्वारा सम्पन्न होती हैं जिसमें 36 ATP अणुओं का निर्माण होता है।
14. श्वसन क्रिया में विमुक्त CO_2 एवं प्रयुक्त O_2 के आयतन का अनुपात श्वसन गुणांक (R.Q.) कहलाता है।
15. श्वसन गुणांक का मान, श्वसन क्रिया में प्रयुक्त होने वाले क्रियाधारों की प्रकृति पर निर्भर करता है। सामान्यत: कार्बोहाइड्रेट का श्वसन गुणांक 1, वसा व प्रोटीन्स का एक से कम, कार्बनिक

अम्लों का एक से अधिक व अवायव श्वसन का अनन्त होता है।

16. श्वसन की दर 5^0C से 30^0C तापक्रम के मध्य लगातार बढ़ती है इस तापक्रम सीमा में 10^0C ताप बढ़ने पर श्वसन दर दुगुनी हो जाती है।

17. श्वसन क्रिया को कई बाह्य कारक जैसे तापमान, ऑक्सीजन, जल, प्रकाश, CO_2 तथा आन्तरिक कारक जैसे जीवद्रव्य, श्वसनीय क्रियाधार, चोट, आयु अदि प्रभावित करते हैं।

अभ्यासार्थ प्रश्न

वैकल्पिक प्रश्न

1. कोशिका में क्रेब्स चक्र कहाँ सम्पन्न होता है–
   (अ) केन्द्रक (ब) कोशिका द्रव्य
   (स) हरितलवक (द) माइटोकॉण्ड्रिया
2. अनॉक्सी श्वसन में कितने अणु ATP का शुद्ध लाभ होता है –
   (अ) तीन (ब) चार
   (स) आठ (द) दो
3. जीवद्रव्य श्वसन में श्वसन क्रियाधार होता है –
   (अ) वसा (ब) प्रोटीन्स
   (स) शंर्करा (द) उपरोक्त सभी
4. कोशिका की सार्वत्रिक ऊर्जा मुद्रा कहलाती है
   (अ) ATP (ब) DNA
   (स) RNA (द) AMP
5. ग्लाइकोलिसिस में ऊर्जा का शुद्ध लाभ होता है
   (अ) 2ATP (ब) 8ATP
   (स) 4ATP (द) शून्य
6. पाइरूविक अम्ल के ऐसीटिल कोएन्जाइम A में रूपान्तरण कहाँ पर होता है –
   (अ) कोशिकाद्रव्य में
   (ब) मेट्रिक्स में
   (स) माइटोकॉण्ड्रिया की बाह्य झिल्ली पर
   (द) आन्तरिक झिल्ली पर।
7. ग्लाइकोलिसिस में निर्मित $NADH+H^+$ के दो अणु यदि मैलेट – ऐस्पारटेट शटल के द्वारा ETS में प्रवेश करते हैं तो इनसे कितने अणु ATP के बनेंगे
   (अ) दो (ब) चार
   (स) छः (द) आठ
8. पेंटोज फास्फेट पथ में ग्लूकोज के एक अणु के ऑक्सीकरण से कितने अणु ATP का निर्माण होता है –
   (अ) 36 (ब) 38
   (स) 40 (द) 8
9. ऑक्सीकारी फास्फोरिलीकरण के केमीऑस्मोटिक सिद्धान्त का प्रतिपादन किसने किया था –
   (अ) क्रेब्स ने (ब) गिब्स ने
   (स) पीटर मिशेल ने (द) डीकन्स ने
10. केब्स चक्र में बनने वाला पहला तथा एक मात्र पांच कार्बन परमाणु वाला यौगिक है–
    (अ) सिस- एकोनिटिक अम्ल
    (ब) आक्सेलो सक्सीनिक अम्ल
    (स) α–कीटोग्लूटेरिक अम्ल
    (द) फ्यूमेरिक अम्ल
11. श्वसन में श्वसन गुणांक एक से कम होता है –
    (अ) ग्लूकोज में (ब) सुक्रोज में
    (स) स्टार्च में (द) प्रोटीन्स में
12. श्वसन का Q_{10} मान होता है
    (अ) तीन (ब) दो
    (स) चार (द) छः
13. पेन्टोज फास्फेट पथ कोशिका में किस स्थल पर सम्पन्न होता है
    (अ) माइटोकाण्ड्रिया (ब) परऑक्सीसोम
    (स) कोशिकाद्रव्य (द) केन्द्रक

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

1. ग्लाइकोलिसिस का अन्तिम उत्पाद क्या है?
2. ऑक्सी श्वसन कोशिका में किस स्थल पर सम्पन्न होता है?
3. क्रेब्स चक्र को TCA चक्र क्यों कहा जाता है?
4. ग्लूकोज के ऑक्सीकरण के वैकल्पिक परिपथ का नाम बताइये।
5. जीवद्रव्यी श्वसन से आप क्या समझते हैं?
6. किण्वन किसे कहते है?
7. श्वसन के क्रियाधारों से क्या अभिप्राय है?
8. ग्लूकोज के पूर्ण आक्सीकरण पर बनने वाले अन्तिम उत्पादों के नाम लिखिए?
9. श्वसन गुणांक को परिभाषित कीजिए।

10. अवायवी श्वसन में श्वसन गुणांक अनन्त क्यों होता है ?
11. ग्लाइकोलिसिस एवं क्रेब्स चक्र की योजक कड़ी किसे कहते है।
12. अंकुरित अरण्डी के बीजों का श्वसन गुणांक कितना होता है।
13. केमीऑस्मेटिक सिद्धान्त का प्रतिपादन किसने किया था।
14. श्वसन को प्रभावित करने वाले प्रमुख कारक कौन- कौन से हैं।
15. किण्वन से बनने वाले संभावित उत्पाद कौन-कौनसे हैं।

लघूत्तरात्मक प्रश्न

1. मुक्त प्लावी एवं जीवद्रव्यी श्वसन में क्या अन्तर है?
2. ऑक्सी एवं अनॉक्सी श्वसन में अन्तर स्पष्ट कीजिए।
3. शीत गृहों में फल एवं सब्जियाँ अधिक समय तक सुरक्षित क्यों रहती है।
4. पेन्टोज फॉस्फेट पथ पर टिप्पणी लिखिए।
5. श्वसन क्रियाधारों के अन्तर्संबन्धों का आरेखी निरुपण कीजिए।
6. निम्न पर संक्षिप्त टिप्पणियाँ लिखिए –

   (क) किण्वन

   (ख) पाइरूविक अम्ल का ऑक्सीकारी विखण्डन

   (ग) श्वसन गुणांक

   (घ) मिशेल का केमीऑस्मोटिक सिद्धान्त
7. श्वसन गुणांक विभिन्न क्रियाधारों से किस प्रकार प्रभावित होता है? समझाइये।

निबन्धात्मक प्रश्न

1. ग्लाइकोलिसिस से आप क्या समझाते हैं? इस प्रक्रिया में सम्पन्न होने वाली विभिन्न अभिक्रियाओं एवं ऊर्जा सम्बन्धों का विस्तार से वर्णन कीजिए।
2. श्वसन को परिभाषित कीजिए तथा ऑक्सी व अनॉक्सी श्वसन में विभेद कीजिए। ऑक्सी श्वसन का सविस्तार वर्णन कीजिए।
3. ऑक्सीकारी फॉस्फारिलीकरण से आप क्या समझते हैं? इलेक्ट्रोन परिवहन तन्त्र का सविस्तार वर्णन कीजिए।
4. श्वसन को प्रभावित करने वाले कारकों पर संक्षिप्त लेख लिखिए।
5. श्वसन गुणांक किसे कहते है श्वसन के प्रमुख क्रियाधारों के श्वसन गुणांक बताइये।

उत्तरमाला :

(1) (द), (2) (द), (3) (ब), (4) (अ), (5) (ब), (6) (ब), (7) (स), (8) (अ), (9) (स), (10) (स), (11) (द) (12) (ब), (13) (स)

❑❑❑