अध्याय – 16

श्वसन

(Respiration)

सभी सजीवों चाहे वे सूक्ष्मजीवी हो या जन्तु अथवा पादप हो, को अपनी जैविक क्रियाएं सम्पादित करने के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है। यह ऊर्जा उनमें विभिन्न प्रकार के जटिल कार्बनिक पदार्थों के रूप में संचित रहती है। इस प्रकार की ऊर्जा का संचय पादप सूर्य के प्रकाश में हरितलवक (Chloroplast) की सहायता से प्रकाश संश्लेषण की क्रिया द्वारा करते हैं। जटिल कार्बनिक पदार्थों में संचित यह ऊर्जा ऑक्सीकरण की क्रिया द्वारा स्वतन्त्र होती है। इस क्रिया में जटिल कार्बनिक पदार्थ ऑक्सीजन (O_2) की उपस्थित में विघटित होकर कार्बनडाइऑक्साइड (CO_2) व जल के साथ–साथ ऊर्जा मुक्त करते हैं।

अतः श्वसन सजीव कोशिकाओं में सम्पन्न होने वाली वह प्रक्रिया है जिसमें उच्च ऊर्जा वाले जटिल कार्बनिक पदार्थ विघटित होकर सरल व निम्न ऊर्जा वाले अणुओं का निर्माण करते हैं व ऊर्जा मुक्त होती है। इस प्रकार मुक्त होने वाली ऊर्जा का उपयोग कोशिका में सम्पन्न होने वाली विभिन्न क्रियाओं के सम्पादन में किया जाता है। श्वसन सभी सजीवों की आधारभूत विशेषता है व यह सभी जीवित कोशिकाओं में निरन्तर होता है। पादप श्वसन की प्रक्रिया में वायुमण्डल से O_2 लेते हैं व CO_2 मुक्त करते हैं।

1. श्वसन के क्रियाधार (Respiratory Substrates)

श्वसन में ऑक्सीकृत होने वाले उच्च ऊर्जावान अणु श्वसन के क्रियाधार कहलाते हैं। ये क्रियाधार कार्बोहाइड्रेट, वसा व

सारणी 16.1: ऑक्सी श्वसन एवं अनॉक्सी श्वसन में अन्तर

ऑक्सी श्वसन	अनॉक्सी श्वसन
यह ऑक्सीजन की उपस्थिति में होता है।	इसमें ऑक्सीजन की आवश्यकता नहीं होती।
सभी जीवित कोशिकाओं में होता है।	यह केवल कवक, जीवाणु,संग्रहित एवं अंकुरित होते हुए बीजों आदि में होता है।
इस श्वसन में ग्लुकोज के एक अणु के पूर्ण ऑक्सीकरण के द्वारा 38 ATP के अणुओं का निर्माण होता है।	इसमें ग्लुकोज का पूर्ण ऑक्सीकरण नहीं होता। तथा केवल 2 ATP अणुओं का निर्माण होता है।
इस प्रकार के श्वसन में होने वाली ग्लाइकोलाइसिस कोशिका द्रव्य में एवं क्रेब चक्र माइटोकोन्ड्रिया में सम्पन्न होती है।	सभी क्रियायें कोशिका द्रव्य में सम्पन्न होती हैं।
इसमें श्वसनीय पदार्थों का पूर्ण ऑक्सीकरण होता है।	इसमें श्वसनीय पदार्थों का अपूर्ण ऑक्सीकरण होता है।
इसमें CO_2, पानी एवं ऊर्जा का निर्माण होता है।	इसमें एल्कोहॉल/अम्ल, CO_2 एवं ऊर्जा का निर्माण होता है।

प्रोटीन के अणुओं के रूप में कोशिका में संग्रहित रहते हैं इनमें से कार्बोहाइड्रेट्स श्वसन के प्रमुख/प्राथमिक क्रियाधार होते हैं। श्वसन में सबसे पहले उपयोग में लिया जाने वाला क्रियाधार हेक्सोज शर्करा, कार्बोहाइड्रेट होती है, जबकि जटिल कार्बोहाइड्रेट्स को पहले सरल शर्कराओं में विघटित किया जाता है। कार्बोहाइड्रेट की अनुपस्थिति में वसा तथा वसा के भी उपयोग में आ जाने पर प्रोटीन्स का ऑक्सीकरण होता है। जब श्वसन में प्रोटीन्स का क्रियाधार के रूप में उपयोग होता है तो इस प्रकार का श्वसन प्रोटोप्लाज्मिक श्वसन कहलाता है। इसी प्रकार कार्बोहाइड्रेट एवं वसा का क्रियाधार के रूप में उपयोग होने पर इसे उत्प्लावी (Floating) श्वसन कहते हैं।

2. श्वसन के प्रकार (Types of Respiration)

श्वसन सामान्यतः निम्न दो प्रकार का होता है –

(i) ऑक्सी श्वसन (ii) अनॉक्सी श्वसन (सारणी 16.1)

(i) **ऑक्सी श्वसन** (Aerobic respiration) – इस प्रकार का श्वसन ऑक्सीजन (O_2) की उपस्थिति में होता है। इस प्रकार के श्वसन में खाद्य पदार्थ/कार्बोहाइड्रेट का पूर्ण ऑक्सीकरण होता है परिणामस्वरूप कार्बोहाइड्रेट, CO_2 एवं जल में विघटित होकर ऊर्जा मुक्त करते हैं। इस प्रकार के श्वसन में मुक्त होने वाली ऊर्जा की मात्रा अधिक होती है। ऑक्सी श्वसन को निम्न रासायनिक समीकरण द्वारा दर्शाया जाता है–

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 686 \text{ kcal/mol ऊर्जा}$$

(ii) **अनॉक्सी श्वसन** (Anaerobic respiration) – इस प्रकार का श्वसन ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में होता है। इस श्वसन में कार्बोहाइड्रेट का पूर्ण ऑक्सीकरण नहीं होता है जिससे कम मात्रा में ऊर्जा मुक्त होती है तथा एल्कोहॉल अथवा कार्बनिक अम्लों एवं CO_2 का निर्माण होता है। यह श्वसन अन्तराणविक श्वसन (Intramolecular respiration) भी कहलाता है। अनॉक्सी श्वसन को निम्न रासायनिक अभिक्रिया द्वारा प्रदर्शित किया जाता है–

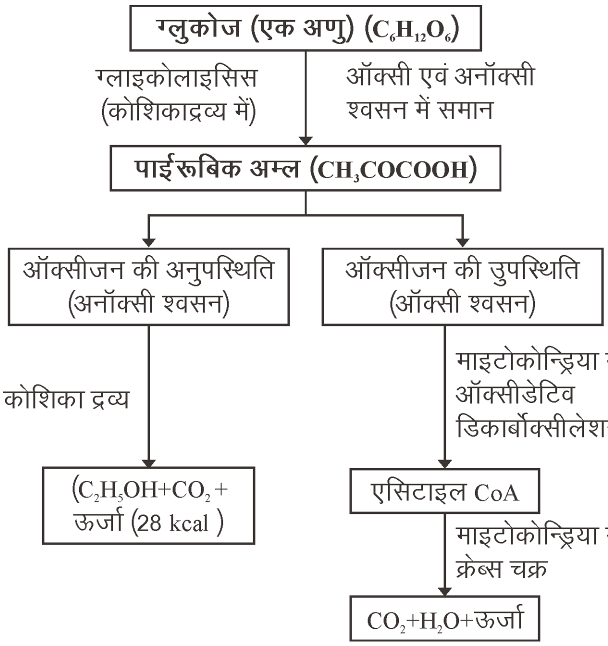
$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 28 \text{ kcal/mol ऊर्जा}$$

संग्रहित एवं अंकुरित होते हुए बीजों, माँसल फलों में अस्थायी रूप से अनॉक्सी श्वसन पाया जाता है जबकि कवकों एवं जीवाणुओं में यह एक नियमित प्रक्रिया है।

3. श्वसन की क्रिया–विधि (Mechanism of Respiration)

श्वसन सामान्यतः निम्न दो प्रकार का होता है–

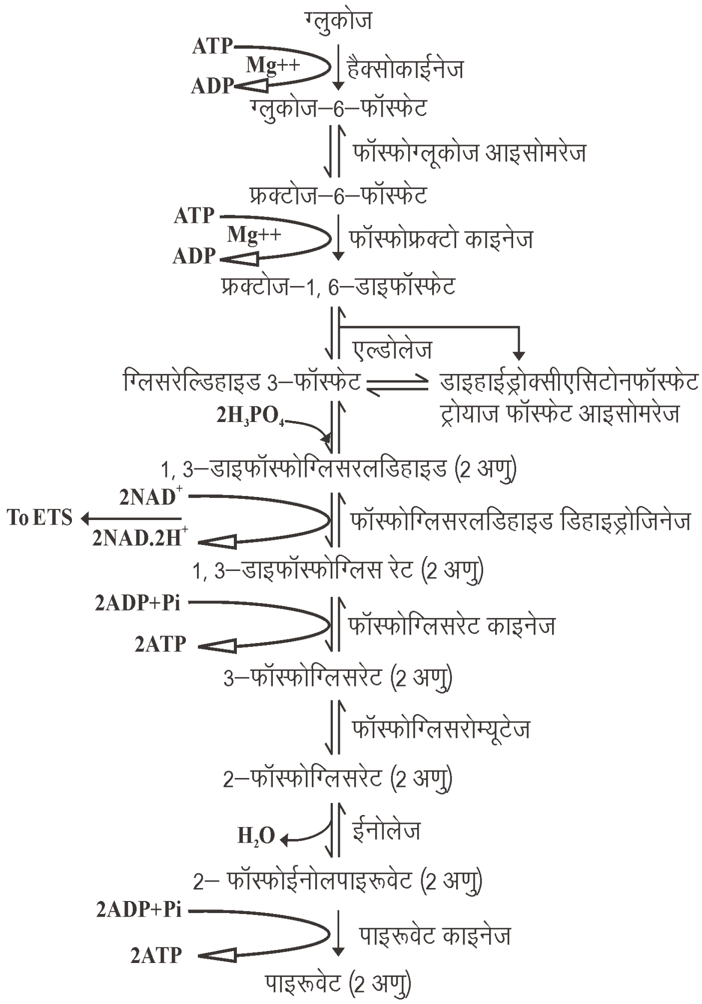
जैसा कि पहले बताया जा चुका है कि श्वसन की प्रक्रिया प्रायः ग्लुकोज शर्करा से आरम्भ होती है। ऑक्सी एवं अनॉक्सी श्वसन की प्रारम्भिक अभिक्रियाएं कोशिकाद्रव्य (Cytosol) में होती है तथा एक समान ही सम्पन्न होती है। इन आरम्भिक अभिक्रियाओं में ग्लुकोज के एक अणु से पाइरूविक अम्ल के 2 अणु बनते हैं एवं ऊर्जा मुक्त होती है। इसे ग्लाइकोलाइसिस अथवा इस प्रक्रिया की खोज करने वाले वैज्ञानिकों Embden, Meyerhoff एवं Parnas के नाम पर इसे EMP पथ भी कहा जाता है। यह ऑक्सी व अनॉक्सी श्वसन दोनों में समान होती है। इसमें ऑक्सीजन की आवश्यकता नहीं होती। ऑक्सीजन की उपस्थिति में ग्लाइकोलाइसिस में बनने वाला पाइरूविक अम्ल माइटोकोन्ड्रिया में पहुँच कर एसिटाइल कोएन्जाइम ए (Acetyl CoA) का निर्माण करता है जो माइटोकोन्ड्रिया में सम्पन्न होने वाले क्रेब्स चक्र में चला जाता है, जिसे टी सी ए चक्र भी कहा जाता है। ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में यह पाइरूविक अम्ल कोशिका द्रव्य में ही CO_2 एवं एल्कोहॉल का निर्माण करता है व अल्पमात्रा में ऊर्जा मुक्त होती है। श्वसन की क्रिया–विधि को निम्न चित्र 16.1 के अनुसार समझाया जा सकता है।



चित्र 16.1 : ऑक्सी एवं अनॉक्सी श्वसन की क्रिया विधि में सम्बन्ध

ग्लाइकोलाइसिस (Glycolysis)

ग्लाइकोलाइसिस शब्द का उद्भव ग्रीक शब्दों ग्लाइकोस (Glycose = Sugar) व लाइसिस (Lysis = Splitting) को मिला कर हुआ है जिसका अर्थ है शर्करा का विघटन। ग्लाइकोलाइसिस की प्रक्रिया को क्रमबद्ध रासायनिक अभिक्रियाओं में गुस्ताव एम्बडेन (G. Embden), ओटो मेयरहॉफ (Otto Meyerhoff) व जे. परनास (J. Parnas) ने समझाया था अतः इनके अन्तिम नाम के पहले अक्षर से इस प्रक्रिया को ई एम पी पथ (EMP pathway) के नाम से भी जाना जाता है। यह ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में कोशिका द्रव्य (Cytosol) में सम्पन्न होने वाली श्वसन की प्रक्रिया का प्रथम पद है जो सभी जीवों में समान होता



चित्र 16.2 : ग्लाइकोलाइसिस की विभिन्न जैवरासायनिक अभिक्रियाएं

है। अवायवीय श्वसन करने वाले जीवों में श्वसन केवल ग्लाइकोलाइसिस द्वारा ही सम्भव है। अतः ग्लुकोज के अणु का एक श्रेणी में क्रमबद्ध जैव रासायनिक अभिक्रियाओं द्वारा पाइरूविक अम्ल या पाइरूवेट में विघटित होकर ऊर्जा मुक्त करना ग्लाइकोलाइसिस कहलाता है (चित्र 16.2)। पौधों में ग्लुकोज प्रकाश संश्लेषण के अन्तिम उत्पाद सुक्रोज से प्राप्त होता है।

ग्लाइकोलाइसिस में सम्पन्न होने वाली सभी 10 जैवरासायनिक अभिक्रियाओं को निम्न तीन पदों के अन्तर्गत समझाया जा सकता है–

(क) ग्लुकोज का फॉस्फोरिलीकरण (Phosphorylation of glucose)

(ख) फॉस्फोरिलीकृत ग्लुकोज अणु का दो अणु फॉस्फोग्लिसरलडिहाइड में विघटन/विखण्डन (Splitting of phosphorylated glucose molecule into 2 molecules of phosphoglyceraldehyde)

(ग) पाइरूविक अम्ल के दो अणुओं का निर्माण (Formation of 2 molecules of pyruvic acid)

(क) ग्लुकोज का फॉस्फोरिलीकरण (Phosphorylation of glucose) – ग्लाकोलाइसिस के प्रथम चरण में ग्लुकोज अणु एक ए टी पी (ATP) अणु का उपयोग कर ग्लुकोज–6–फॉस्फेट बनाता है। यह ग्लुकोज–6–फॉस्फेट समावयवीकरण की क्रिया द्वारा फ्रक्टोज–6–फॉस्फेट में परिवर्तित हो जाता है। फ्रक्टोज–6–फॉस्फेट एक और ए टी पी अणु का उपयोग कर फ्रक्टोज–1, 6–डाइफॉस्फेट अणु का निर्माण करता है। इस प्रकार ग्लुकोज अणु के फॉस्फोरिलीकरण में दो ए टी पी के अणुओं का उपयोग होता है। ग्लुकोज के फॉस्फोरिलीकरण में होने वाली अभिक्रियाएं निम्नानुसार होती है–

1. प्रथम फॉस्फोरिलीकरण – ग्लुकोज, हेक्सोकाइनेज एन्जाइम व Mg^{++} आयनों की उपस्थिति में ए टी पी (ATP) से क्रिया कर ग्लुकोज–6–फॉस्फेट एवं ए डी पी (ADP) बनाता है। (अभिक्रिया–1)

$$\text{ग्लुकोज} + ATP \xrightarrow[Mg^{++}]{\text{हेक्साकाइनेज}} \text{ग्लुकोज–6–फॉस्फेट} + ADP \quad \text{... (1)}$$

2. समावयवीकरण – इस प्रक्रिया में फॉस्फोग्लूको आइसोमरेज एन्जाइम की उपस्थिति में ग्लुकोज–6–फॉस्फेट फ्रक्टोज–6–फॉस्फेट में परिवर्तित हो जाता है (अभिक्रिया–2)

$$\text{ग्लुकोज–6–फॉस्फेट} \xrightarrow{\text{फॉस्फोग्लूको आइसोमरेज}} \text{फ्रक्टोज–6–फॉस्फेट} \quad \text{... (2)}$$

3. द्वितीय फॉस्फोरिलीकरण – इस प्रक्रिया में फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेज एन्जाइम की उपस्थिति में फ्रक्टोज–6–फॉस्फेट, ए टी पी (ATP) के एक अणु से क्रिया कर फ्रक्टोज–1, 6–डाइफॉस्फेट व ए डी पी (ADP) का निर्माण करता है (अभिक्रिया–3)

$$\text{फ्रक्टोज–6–फॉस्फेट} + ATP \xrightarrow{\text{फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेज}} \text{फ्रक्टोज–1, 6–डाईफॉस्फेट} + ADP \quad \text{... (3)}$$

इस प्रकार अभिक्रिया 1 एवं 3 में शर्करा (ग्लुकोज व फ्रक्टोज) के अणु की ATP से क्रिया होने पर ए टी पी से एक फॉस्फेट समूह शर्करा अणु से जुड़ जाता है व ADP का निर्माण होता है। यह प्रक्रिया फॉस्फोरिलीकरण (Phosphorylation) कहलाती है। ग्लाइकोलाइसिस में ग्लुकोज से फ्रक्टोज–1, 6–डाईफॉस्फेट बनने में दो अणु ATP का उपयोग होता है।

(ख) फॉस्फोरिकृत ग्लुकोज अणु का दो अणु फॉस्फोग्लिसरलडिहाइड में विघटन या विखण्डन (Splitting of phosphorylated glucose molecule in 2 molecules of phosphoglyceraldehyde) – इस प्रक्रिया में फ्रक्टोज–1, 6–डाइफॉस्फेट जो कि एक 6 कार्बन परमाणु युक्त अणु है, एल्डोलेज एन्जाइम की उपस्थिति में विखण्डित होकर 3– फॉस्फोग्लिसरलडिहाइड (3-phosphoglyceraldehyde, 3-PGAL) एवं डाइहाइड्रोक्सी एसीटोन फॉस्फेट (3 कार्बन युक्त अणु) का निर्माण करता है (अभिक्रिया–4) ये दोनों यौगिक ट्रायोज फॉस्फेट कहलाते हैं।

$$\text{फ्रक्टोज–1, 6–डाइफॉस्फेट} \xrightarrow{\text{एल्डोलेज}} \begin{cases} \text{3–फास्फोग्लिसरएल्डिहाइड} \\ \quad \Updownarrow \ \text{ट्रायोज फॉस्फेट आइसोमरेज} \\ \text{2–हाइड्रोक्सी एसीटोन फास्फेट} \end{cases} \quad \text{...(4)}$$

ये दोनों यौगिक ट्रायोजफॉस्फेट आइसोमरेज एन्जाइम की उपस्थिति में अन्त परिवर्तनीय हैं। इन यौगिकों में से केवल 3-PGAL का ऑक्सीकरण होता है। अतः जैसे–जैसे 3-PGAL का ऑक्सीकरण होता है, 2–हाइड्रोक्सी एसीटोन फॉस्फेट, 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) ऑक्सीकृत होकर 2 अणु पाइरूविक अम्ल का निर्माण करता है–

1. 3-PGAL का फॉस्फोरिलीकरण – ''ग्लिसरल्डिहाइड–3–फॉस्फेट डिहाइड्रोजिनेस'' एन्जाइम की उपस्थिति में 3-PGAL, H_3PO_4 से अभिक्रिया कर 1,3–डाईफॉस्फोग्लिसरल्डिहाइड का निर्माण करता है। (अभिक्रिया–5)

$$\underset{\text{(2 अणु)}}{\text{3–फॉस्फोग्लिसरल्डिहाइड}} + \underset{\text{(2 अणु)}}{H_3PO_4} \xrightarrow{\text{ग्लिसरल्डिहाइड–3–फॉस्फेट डिहाइड्रोजिनेज}} \underset{\text{(2 अणु)}}{\text{1.3–डाईफॉस्फोग्लिसरल्डिहाइड}} \quad \text{...(5)}$$

2. 1, 3–डाईफॉस्फोग्लिसरिक अम्ल का निर्माण – डाईफॉस्फोग्लिसरल्डिहाइड डिहाड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति में 1, 3–डाईफॉस्फोग्लिसरल्डिहाइड ऑक्सीकृत होकर 1, 3–डाई–फॉस्फोग्लिसरेट का निर्माण करता है। (अभिक्रिया–6)

$$\underset{\text{(2 अणु)}}{\text{1, 3–डाईफॉस्फोग्लिसरल्डिहाइड}} \xrightarrow[2NAD^+ \ \rightarrow \ 2NADH + 2H^+]{\text{डाईफास्फोग्लिसरल्डिहाइड डीहाइड्रोजिनेज}} \underset{\text{(2 अणु)}}{\text{1, 3–डाईफॉस्फोग्लिसरेट}} \quad \text{...(6)}$$

उपरोक्त अभिक्रिया में NAD^+ हाइड्रोजन ग्राही की तरह कार्य कर $NADH+H^+$ का निर्माण करता है जो ETS में प्रवेश कर ATP का निर्माण करता है।

3. प्रथम ATP निर्माण – इस प्रक्रिया में 1,3–डाईफॉस्फोग्लिसरेट का एक फॉस्फेट समूह फॉस्फोग्लिसरेट काइनेज एन्जाइम की उपस्थिति में ADP से जुड़कर ATP का निर्माण करता है व 3–फॉस्फोग्लिसरेट बनता है (अभिक्रिया–7)

$$\underset{(2\ \text{अणु})}{\text{1, 3–डाईफॉस्फग्लिसरिक अम्ल}} + \underset{(2\ \text{अणु})}{\text{ADP}} \xrightarrow[\text{काइनेज}]{\text{डाईफास्फोग्लिसरेट}} \underset{(2\ \text{अणु})}{\text{3–फॉस्फोग्लिसरेट}} + \underset{(2\ \text{अणु})}{\text{ATP}} \quad ...(7)$$

4. समावयवीकरण – फॉस्फोग्लिसरोम्यूटेज एन्जाइम की उपस्थिति में 3–फॉस्फोग्लिसरेट अम्ल का रूपान्तरण 2–फॉस्फोग्लिसरेट में हो जाता है। (अभिक्रिया–8)

$$\underset{(2\ \text{अणु})}{\text{3–फॉस्फोग्लिसरेट}} \xrightarrow{\text{फॉस्फोग्लिसरोम्यूटेज}} \underset{(2\ \text{अणु})}{\text{2–फॉस्फोग्लिसरेट}} \quad ...(8)$$

5. जल अपघटन – इनोलेज एन्जाइम की उपस्थिति में 2–फॉस्फोग्लिसरेट में से एक अणु जल का निकल कर 2–फॉस्फोइनोल पाइरूवेट का निर्माण होता है। (अभिक्रिया–9)

$$\underset{(2\ \text{अणु})}{\text{2–फॉस्फोग्लिसरेट}} \xrightarrow{\text{इनोलेज}} \underset{(2\ \text{अणु})}{\text{2–फॉस्फोइनोलपाइरूवेट}} \quad ...(9)$$

6. द्वितीय ATP निर्माण – इस प्रक्रिया में 2–फॉस्फोइनोल पाइरूवेट में से पाइरूवेट काइनेज एन्जाइम की उपस्थिति में फॉस्फेट समूह निकल कर पाइरूवेट व ATP का निर्माण होता है। इस प्रकार बनने वाला पाइरूवेट ग्लाइकोलाइसिस का अन्तिम उत्पाद है। प्रत्येक ग्लुकोज अणु से 2 अणु पाइरूवेट के बनते हैं। (अभिक्रिया–10)

$$\underset{(2\ \text{अणु})}{\text{2–फॉस्फोइनोल पाइरूवेट}} + \underset{(2\ \text{अणु})}{\text{ADP}} \xrightarrow{\text{फाइरूवेट काइनेज}} \underset{(2\ \text{अणु})}{\text{पाइरूवेट}} + \underset{(2\ \text{अणु})}{\text{ATP}} \quad ...(10)$$

ग्लाइकोलाइसिस की सम्पूर्ण प्रक्रिया को निम्न समीकरण द्वारा प्रदर्शित किया जा सकता है –

$$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2Pi + 2NAD \longrightarrow 2Pyruvate + 2ATP + 2NADH + 2H^+ + 2H_2O$$

(ग्लाइकोलाइसिस में अभिक्रिया संख्या 1, 3 व 10 को छोड़कर शेष अभिक्रियाएं उत्क्रमणीय है।)

(घ) ग्लाइकोलाइसिस का सार – ग्लाइकोलाइसिस की प्रक्रिया के मुख्य बिन्दु निम्न हैं–

(1) प्रत्येक ग्लुकोज अणु से 2 अणु पाइरूवेट के बनते हैं।

(2) ग्लाइकोलाइसिस में चार अणु ATP के बनते हैं, परन्तु 2 ATP अणुओं का उपयोग फॉस्फोरिलीकरण में हो जाता है। अतः शुद्ध लाभ 2ATP अणुओं का होता है।

(3) 1, 3–डाईफॉस्फोग्लिसरलडिहाइड के 2 अणुओं से 2 अणु 1, 3–डाईफॉस्फोग्लिसरिक अम्ल के बनते समय 2 अणु NADH + H^+ के बनते हैं।

(4) वायवीय श्वसन में प्रत्येक NADH + H^+ से अणु 3 ATP के बनते हैं (ETS द्वारा) अतः O_2 की उपस्थिति में 6 अतिरिक्त ATP अणुओं का निर्माण होता है।

(5) ग्लाइकोलाइसिस में CO_2 का निर्माण नहीं होता।

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

कोशिका द्रव्य (Cytosol) में ग्लाइकोलाइसिस की प्रक्रिया द्वारा बनने वाले पाइरूवेट के माइटोकोन्ड्रिया में प्रवेश करने पर श्वसन का दूसरा चरण शुरू होता है। माइटोकोन्ड्रिया में इस पाइरूवेट के तीन कार्बन परमाणुओं में से एक परमाणु कार्बनडाइऑक्साइड CO_2 के रूप में ऑक्सीकृत हो जाता है। ऑक्सीकरण की यह प्रक्रिया ऑक्सीकीय डीकार्बोक्सिलीकरण (Oxidative decarboxylation) कहलाती है। तत्पश्चात् इसका पाइरूविक डीहाड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति में पहले ऑक्सीकरण व बाद में कोएन्जाइम ए (CoA)

से संयुक्त होकर एसिटाइल CoA का निर्माण होता है। इस **अभिक्रिया में 5 सहकारक** (Cofactors) **आवश्यक होते हैं। जो कि कोएन्जाइम** A, NAD^{+}, Mg^{++}, **थाइमीन पाइरोफास्फेट** (TPP) **एवं लाइपोइक अम्ल** (Lipoic acid) **हैं।** यह एसिटाइल CoA ग्लाइकोलाइसिस व क्रेब चक्र की योजक कड़ी के रूप में कार्य करता है। पाइरूवेट से एसिटाइल CoA बनने की प्रक्रिया निम्नानुसार होती है–

$$\underset{(2\ \text{अणु})}{\text{पाइरूवेट} + 2\,CoA} \xrightarrow[\underset{\text{पाइरूविक डिहाइड्रोजिनेज}}{Mg^{++}}]{2NAD^{+} \curvearrowright 2NADH + 2H^{+}} \underset{(2\ \text{अणु})}{\text{एसिटाइल } CoA + 2CO_2}$$

अतः पाइरूवेट के 2 अणु वायवीय ऑक्सीकरण के द्वारा दो–दो अणु एसिटाइल CoA, $NADH + H^{+}$ ($2NADH + H^{+} \times 3 =$ 6 ATP एवं CO_2 के दो अणु बनाते हैं।

क्रेब्स चक्र/सिट्रिक एसिड चक्र/टी सी ए चक्र [Krebs Cycle/Citric Acid Cycle/Tricarboxylic Acid Cycle (TCA Cycle)]

माइटोकोन्ड्रिया में होने वाली इस प्रक्रिया को सबसे पहले ब्रिटिश जैव रसायनशास्त्री सर एच.ए. क्रेब्स (Sir H.A. Krebs) ने 1937 में समझाया था। इन्हीं के सम्मान में इसे क्रेब्स चक्र के नाम से जाना जाता है। इस कार्य के लिए सर क्रेब्स को 1953 में नोबल पुरस्कार से सम्मानित किया गया था। क्रेब्स चक्र का प्रारम्भ सिट्रिक अम्ल के बनने से होता है इस कारण इसे सिट्रिक अम्ल चक्र के नाम से भी जाना जाता है। पाइरूवेट के CO_2 एवं जल में वियोजन को क्रेब्स चक्र द्वारा भली प्रकार समझाया जा सकता है (चित्र 16.3)।

क्रेब्स चक्र में एसिटाइल कोएन्जाइम ए (Acetyl CoA) अपने एसिटाइल समूह के दोनों कार्बन परमाणु क्रेब्स चक्र में बनने वाले ऑक्सेलोएसिटेट को स्थानान्तरित कर देता है जिससे सिट्रेट अम्ल (6 कार्बन परमाणु) का निर्माण होता है तथा CoA पुनः दूसरे एसिटाइल समूह से क्रिया करने के लिए मुक्त हो जाता है।

इस सम्पूर्ण चक्र में 6 कार्बन परमाणु वाले सिट्रेट अम्ल में से दो कार्बन परमाणु CO_2 के रूप में मुक्त होते हैं एवं ऑक्सेलोएसिटेट अम्ल का निर्माण होता है। क्रेब्स चक्र का अन्तिम उत्पाद यह ऑक्सेलोएसिटेट पुनः पदों को निम्नानुसार समझाया जा सकता है–

1. सिट्रेट अम्ल का निर्माण – एसिटाइल CoA क्रेब्स चक्र में बनने वाले ऑक्सेलोएसिटेट से संघनक एन्जाइम (Condensing enzyme) सिट्रेट सिंथटेज की उपस्थिति में क्रिया कर जल–योजन द्वारा सिट्रेट बनाता है। इस प्रक्रिया में CoA पुनः मुक्त हो जाता है। (अभिक्रिया–1)

$$\text{एसिटाइल } CoA + \text{ऑक्सेलोएसिटेट} \xrightarrow[H_2O]{\text{सिट्रेट सिंथटेज}} \text{सिट्रिक अम्ल} + CoA \quad ...(1)$$

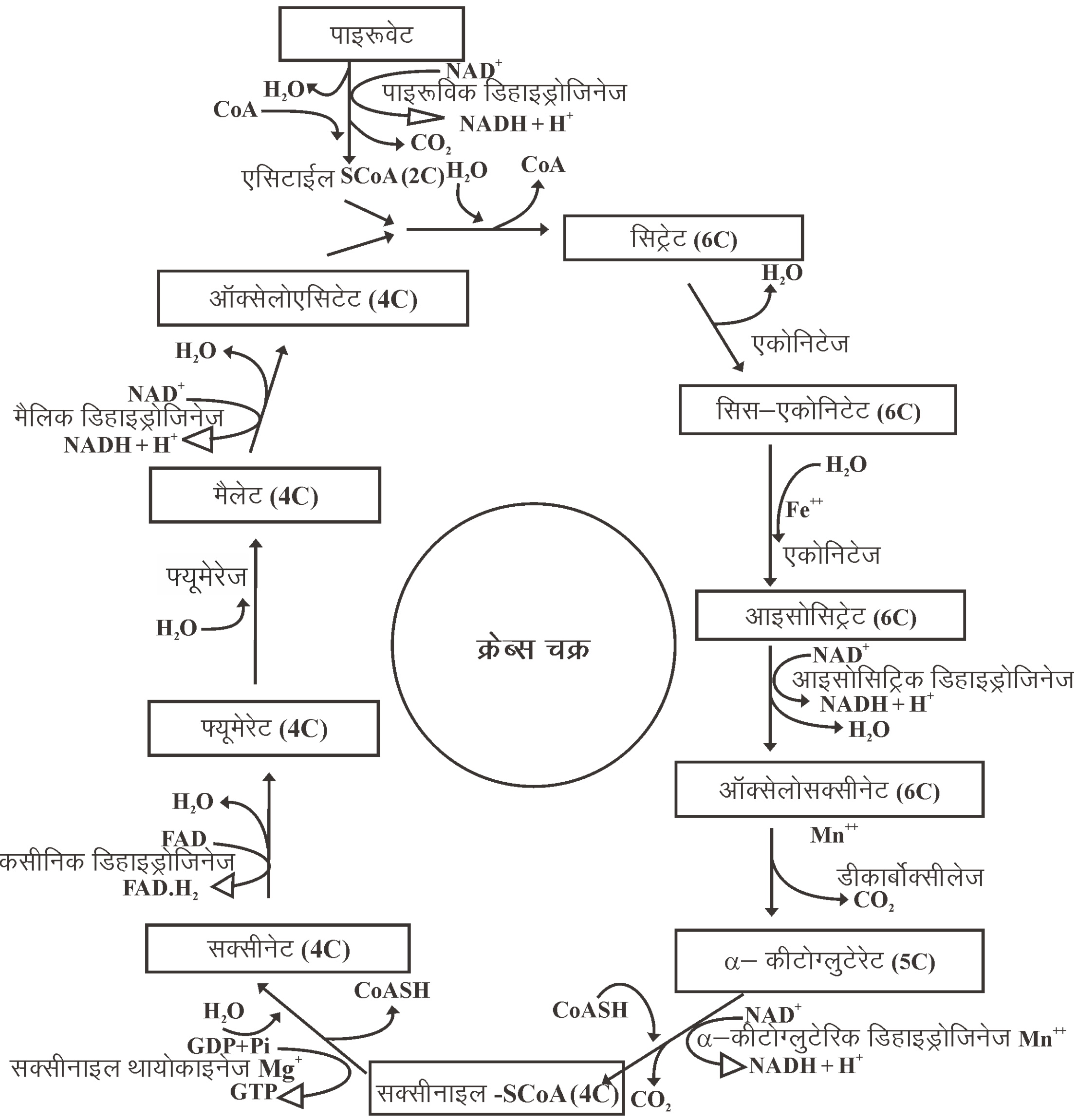
2. सिस–एकोनिटेट का निर्माण – एकोनिटेज एन्जाइम की उपस्थिति में सिट्रेट जल–वियोजन द्वारा सिस–एकोनिटेट का निर्माण करता है।

$$\text{सिट्रेट} \xrightarrow[H_2O]{\text{एकोनिटेज}} \text{सिस–एकोनिटेट} \quad ...(2)$$

3. आइसोसिट्रेट का निर्माण – एकोनिटेज एन्जाइम की उपस्थिति में सिस–एकोनिटेट के जल–योजन द्वारा आइसोसिट्रेट बनता है।

$$\text{सिस–एकोनिटेट} \xrightarrow[H_2O]{\text{एकोनिटेज}} \text{आइसोसिट्रेट} \quad ...(3)$$

4. ऑक्सेलो–सक्सिनेट का निर्माण – आइसोसिट्रिक डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति में आइसोसिट्रेट ऑक्सीकरण के द्वारा ऑक्सेलो–सक्सिनेट का निर्माण करता है एवं इस क्रिया में मुक्त होने वाले 2 हाइड्रोजन अणु NAD^{+} द्वारा ग्रहण किये जाते हैं।



चित्र 16.3 : क्रेब्स चक्र की मुख्य अभिक्रियाएं

$$\text{आइसोसिट्रेट} \xrightarrow[\text{आइसोसिट्रेट डिहाइड्रोजिनेज}]{NAD^+ \quad NADH + H^+} \text{ऑक्सेलो–सक्सिनेट} \qquad ...(4)$$

5. ऑक्सेलो–सक्सिनेट का डीकार्बोक्सिलीकरण (Decarboxylation) – ऑक्सेलोसक्सिनेट का आइसोसिट्रेट डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति में डीकार्बोक्सिलीकरण होने पर क्रेब्स चक्र में बनने वाले पहले पाँच कार्बन परमाणु युक्त यौगिक α–कीटोग्लुटेरेट का निर्माण होता है।

$$\text{ऑक्सेजो सक्सिनेट} \xrightarrow[H^+ \quad CO_2]{\text{आइसोसिट्रेट डिहाइड्रोर्जिनेट}} \alpha\text{–कीटोग्लूटेरेट} \qquad ...(5)$$

6. सक्सिनाइल कोएन्जाइम A **का निर्माण** – α-कीटोग्लुटेरेट डिहाइड्रोजिनेज संकुल एन्जाइम की उपस्थिति में α-कीटोग्लुटेरेट के ऑक्सीकीय डीकार्बोक्सिलीकरण (Oxidative decarboxylation) द्वारा चार कार्बन युक्त सक्सीनाइल कोएन्जाइम ए (Succinyl CoA) का निर्माण होता है तथा मुक्त होने वाले दोनों हाइड्रोजन परमाणुओं द्वारा NAD^+ का अपचयन $NADH + H^+$ में हो जाता है। इस प्रक्रिया में CO_2 मुक्त होती है।

$$\alpha\text{–कीटोग्लुटेरिक अम्ल} \xrightarrow[\text{NAD}^+ \to \text{NADH+H}^+ \quad \text{NAD}^+ \quad CO_2]{\alpha\text{–कीटोग्लुटेरेट डिहाइड्रोजिनेज संकुल}\ \ Mg^{++}} \text{सक्सीनाइल कोएन्जाइम A} \qquad ...(6)$$

7. सक्सीनेट का निर्माण – सक्सीनिक थायोकाइनेज एन्जाइम की उपस्थिति में सक्सीनाइल कोएन्जाइम A के जल–अपघटन द्वारा सक्सीनेट का निर्माण होता है तथा CoA पुनः मुक्त हो जाता है। इस क्रिया में GTP के रूप में ऊर्जा भी मुक्त होती है जो बाद में ATP बनाती है।

$$\text{सक्सीनाइल कोएन्जाइम A} \xrightarrow[\text{GDP+Pi} \to \text{GTP} \quad \text{CoA}]{\text{सक्सीनिकथायोकाइनेज}} \text{सक्सीनेट} \qquad ...(7)$$

8. फ्यूमेरेट अम्ल का निर्माण – सक्सीनिक डिहाइड्रोजिनेज संकुल एन्जाइम की उपस्थिति में सक्सीनेट से दो हाइड्रोजन परमाणु निकल जाते हैं जिससे फ्यूमेरेट का निर्माण होता है। इस क्रिया में मुक्त होने वाले हाइड्रोजन परमाणु FAD^+ द्वारा ग्रहण किये जाते हैं।

$$\text{सक्सीनेट} \xrightarrow[FAD^+ \to FADH_2]{\text{सक्सीनेट डिहाइड्रोजिनेज}} \text{फ्यूमेरेट} \qquad ...(8)$$

9. मेलेट का निर्माण – फ्यूमेरेज एन्जाइम की उपस्थिति में जल–योजन द्वारा फ्यूमेरेट, मैलेट में परिवर्तित हो जाता है।

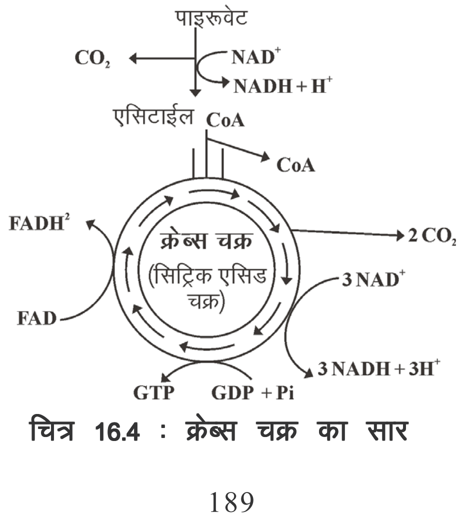
$$\text{फ्यूमेरेट} \xrightarrow[H_2O]{\text{फ्यूमेरेज एन्जाइम}} \text{मैलेट} \qquad ...(9)$$

10. ऑक्सेलो एसिटेट का निर्माण – क्रेब्स चक्र के अन्तिम पद में मैलिक डिहाड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति में मैलेट में से 2 हाइड्रोजन परमाणु वियोजित होकर ऑक्सेलोएसिटेट का निर्माण होता है। जो एसिटाइल CoA से क्रिया कर क्रेब्स चक्र पुनः आरम्भ करता है।

$$\text{मैलेट अम्ल} \xrightarrow[NAD^+ \to NADH + H^+]{\text{मैलिक डिहाइड्रोजिनेज}} \text{ऑक्सेलोएसिटेट} \qquad ...(10)$$

सम्पूर्ण क्रेब्स चक्र को निम्न समीकरण एवं चित्र 16.4 द्वारा समझाया जा सकता है–

$$\underset{\text{Acetyl – CoA}}{CH_3\,CO\text{-}SCoA} + 3NAD^+ + FAD + GDP + Pi + 2H_2O \xrightarrow{\text{क्रेब्स चक्र}} 2CO_2 + CoA - SH + 3NADH + FADH_2 + GTP + 2H^+$$



चित्र 16.4 : क्रेब्स चक्र का सार

क्रेब्स का महत्त्व

(i) इस चक्र से ATP के अणुओं का निर्माण होता है, जिससे विभिन्न कार्यों को करने के लिए ऊर्जा मिलती है।

(ii) इस चक्र में कई मध्यवर्ती यौगिकों का निर्माण होता है, जिनका अन्य जैव अणुओं के संश्लेषण में उपयोग होता है। उदाहरण के लिए सक्सीनायल कोएन्जाइम A, पर्णहरित के संश्लेषण के लिए प्रारम्भिक अणु हैं। α-कीटो ग्लूटेरेट, पाइरूवेट एवं ऑक्सेलोएसिटेट से एमीनो अम्लों का निर्माण होता है।

सारणी 16.2 : ग्लुकोज के वायवीय ऑक्सीकरण का सार (Summary of aerobic respiration of glucose)

क्र.स.	प्रक्रिया	उत्पन्न ऊर्जा
1.	**ग्लाइकोलाइसिस** ग्लुकोज $(C_6H_{12}O_6 \longrightarrow$ पाइरूवेट $+ 2H_2$	8 or 6 ATP**
2.	**मध्यस्थ चरण** 2 पाइरूवेट अम्ल $\xrightarrow{CoA}$ 2 एसिटाइल $CoA + 4H^+ + 2CO_2$	6 ATP
3.	**क्रेब्स चक्र** 2 एसिटाइल $CoA + 6H_2O \longrightarrow CoA + 16H^+ + 4CO_2$	24 ATP
	$24\ H^+ 6O_2 \longrightarrow 12H_2O$	
	$(C_6H_{12}O_6 + 6O_2) \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$	38 or 36 ATP*

* क्योंकि ग्लुकोज के एक अणु से 2 अणु पाइरूवेट के बनते हैं। अतः $NADH+H^+$ व CO_2 के दो–दो अणु पाइरूवेट से एसिटाइल CoA बनने पर मुक्त होते हैं।

** ग्लाइकोलाइसिस में बनने वाले $2NADH+H^+$ के अणु यदि मैलेट–एस्पारटेट शटल (Malate Aspartate shuttle) के द्वारा माइटोकोन्ड्रिया में होने वाले ETS में प्रवेश करते हैं तो 6 ATP के अणु बनते हैं। अगर ये $NADH+H^+$ के दो अणु ग्लिसरोल–फॉस्फेट शटल (Glycerol Phosphate shuttle) के द्वारा माइटोकोन्ड्रिया में प्रवेश करते हैं तो इलेक्ट्रोंस के द्वारा FAD^+ का अपचयन होता है जिससे केवल चार अणु ATP बनते हैं जिससे ऑक्सीश्वसन में कुल 36 ATP के अणु बनते हैं।

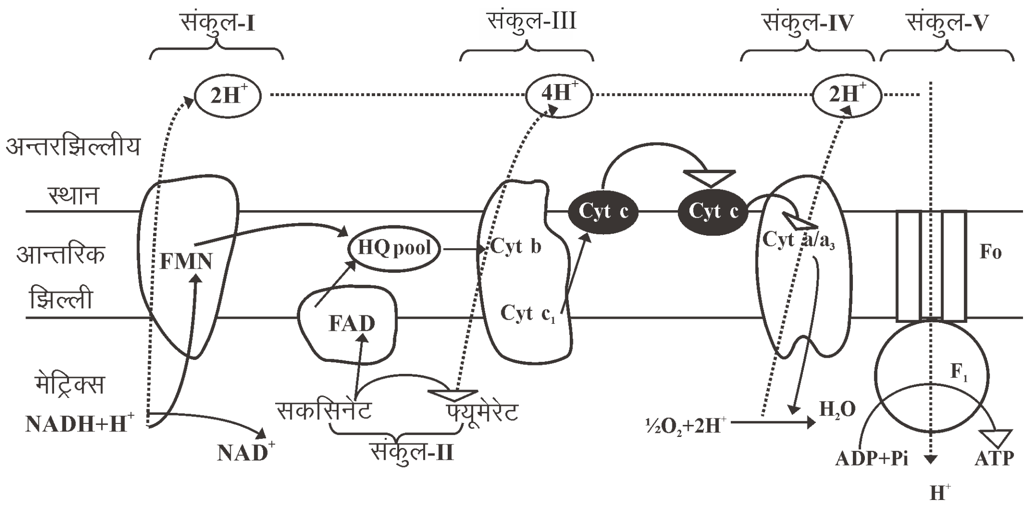
इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र (Electron Transport System, ETS)

क्रेब्स चक्र के अन्त में ग्लुकोज का पूर्ण ऑक्सीकरण तो हो जाता है परन्तु ऊर्जा इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र के द्वारा $NADH+H^+$ एवं $FADH_2$ के ऑक्सीकरण के बाद ही मुक्त होती है। अतः इस प्रक्रिया में ऑक्सीकरण को इलेक्ट्रॉन्स के आधार पर समझा जाना चाहिए। इस प्रकार की प्रक्रिया में इलेक्ट्रॉन्स का किसी यौगिक में जुड़ना अपचयन एवं किसी यौगिक से इलेक्ट्रॉन्स का हटना ऑक्सीकरण कहलाता है। अतः श्वसन में होने वाली वह उपापचयी (Metabolic) क्रिया जिसमें इलेक्ट्रॉन एक श्रेणी बद्ध निश्चित क्रम में एक वाहक से दूसरे वाहक में स्थानान्तरित होते हैं इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र (ETS) कहलाती हैं। यह इलेक्ट्रॉन्स/हाइड्रोजन आयन कई मध्यस्थ वाहकों (Intermediate carriers) के द्वारा O_2 से जुड़कर जल का निर्माण करते हैं तथा इस प्रक्रिया के दौरान ATP का निर्माण होता है (सारणी 16.2)। इस क्रिया में भाग लेने वाले सभी एन्जाइम माइटोकोन्ड्रिया की आन्तरिक झिल्ली पर पाये जाने वाले F_1 कणों (F_1 particles) में पाये जाते हैं (चित्र 16.5)।

इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र में $NADH+H^+$ एवं $FADH_2$ से इलेक्ट्रॉन का ऑक्सीकरण एक निश्चित क्रम में होता है जिसे निम्नानुसार समझा जा सकता है–

1. क्रेब्स चक्र में माइटोकोन्ड्रिया की मेट्रिक्स में बनने वाले $NADH+H^+$ का NADH डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम द्वारा NAD^+ में ऑक्सीकरण हो जाता है एवं इस क्रिया में मुक्त होने वाले इलेक्ट्रॉन माइटोकोन्ड्रिया की आन्तरिक झिल्ली पर पाये जाने वाले NADH यूबीक्विनॉन ऑक्सीडोरिडक्टेज [संकुल-I] (Complex-I)] द्वारा ग्रहण कर लिये जाते है। यह [संकुल-I] सक्सीनेट–यूबीक्विनॉन आक्सीडोरिडक्टेज [संकुल-II] (Complex-II)] द्वारा ऑक्सीकृत होने वाले सक्सीनिक अम्ल से मुक्त होने वाले इलेक्ट्रॉन्स जो $FADH_2$ द्वारा ग्रहण किये जाते हैं, को भी ग्रहण करता है।

2. इस प्रकार पूर्ण अपचयित यूबीक्विनॉन (यूबीक्विनॉल) इलेक्ट्रॉन्स का स्थानान्तरण साइटोक्रोम b एवं c_1, संकुल-III [cytochrome b and c_1 complex (complex-III)] द्वारा साइटोक्रोम-C को कर देता है। **यह साइटोक्रोम**



चित्र 16.5 : इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र का आरेखी चित्र

(C) **माइटोकोन्ड्रिया की आन्तरिक झिल्ली की बाहरी सतह से सम्बन्धित चल (गतिशील) प्रोटीन है जो इलेक्ट्रॉन्स की संकुल-III से संकुल-IV पर स्थानान्तरित करती है।**

साइटोक्रोम-C ऑक्सीडेज संकुल जिसमें साइटोक्रोम a एवं a_3 तथा दो कॉपर केन्द्र पाये जाते हैं संकुल-IV (Complex-IV) कहलाता है।

3. इलेक्ट्रॉन परिवहन श्रृंखला में इलेक्ट्रॉन विभिन्न वाहकों द्वारा संकुल-I से संकुल-IV तक पहुँचने पर ये ए टी पी सिंथेज संकुल (ATP synthase complex) से जुड़ कर ADP एवं अकार्बनिक फॉस्फेट [inorganic phosphate (Pi)] से ATP का निर्माण करते हैं। संकुल-V (Complex-V) के दो प्रमुख घटक में F_1 एवं F_0 होते हैं।
4. इस प्रक्रिया में बनने वाले ATP अणुओं की संख्या इलेक्ट्रॉन दाता की प्रकृति पर निर्भर करती है। $NADH+H^+$ से 3 ATP एवं $FADH_2$ से 2 ATP अणु का निर्माण होता है।
5. ऑक्सीजन इस क्रिया में अन्तिम हाइड्रोजन ग्राही की तरह कार्य करता है।
6. ATP का फॉस्फोरिलीकरण ऑक्सीजन की उपस्थिति में होने के कारण इस प्रक्रिया को ऑक्सीकीय फॉस्फोरिलीकरण (Oxidative phosphorylation) कहा जाता है।

ऑक्सीकीय फॉस्फोरिलीकरण का रसायनपरासरी सिद्धांत (Chemiosmotic theory of oxidative phosphorylation)

प्रकाश संश्लेषण एवं श्वसन में ऊर्जा का रूपान्तरण ATP में होता है, पर जब यह ATP टूटती है (विघटित होती है) तो अपेक्षाकृत अधिक मात्रा में ऊर्जा (7.3 K.cal) मुक्त होती है, ADP एवं Pi का निर्माण होता है। जिसका उपयोग विशिष्ट प्रकार के एन्जाइमों की उपस्थिति में कोशिका में होने वाली क्रियाओं में कर लिया जाता है। इस कारण ATP को कोशिका की 'सार्वत्रिक ऊर्जा मुद्रा' (Universal energy currency) भी कहा जाता है। श्वसन एवं प्रकाश संश्लेषण में जिन प्रक्रियाओं के द्वारा इस ATP का निर्माण होता है उनको क्रमशः ऑक्सीकीय फॉस्फोरिलीकरण (Oxidative phosphorylation) एवं प्रकाशीय फॉस्फोरिलीकरण (Photophosphorylation) कहते हैं।

पीटर मिशेल (Peter Mitchell) ने 1961 में ऑक्सीकीय फॉस्फोरिलीकरण व प्रकाशीय फॉस्फोरिलीकरण की प्रक्रियाओं में ऑक्सीकारक एवं फॉस्फोरिलीकारक एन्जाइमों के मध्य परोक्ष/अप्रत्यक्ष (Indirect) अन्तर्सम्बन्धों (Interaction) पर आधारित ATP संश्लेषण में इलेक्ट्रॉन स्थानान्तरण की क्रियाविधि का प्रतिपादन किया।

इस सिद्धान्त के अनुसार धनावेशित प्रोटोन तथा हाइड्रोजन आयनों (H^+) का माइट्रोकोन्ड्रिया, हरितलवक (Chloroplast) एवं जीवाणु झिल्लियों के आर–पार गमन/स्थानान्तरण श्वसन तथा प्रकाश संश्लेषण में प्रयुक्त एन्जाइम–श्रृंखलाओं द्वारा होने वाले इलेक्ट्रॉन्स के प्रवाह द्वारा नियंत्रित होता है। इसके कारण झिल्ली के दोनों तरफ (आर–पार) एक वैद्युत–रासायनिक प्रोटोन प्रवणता (Electrochemical proton gradient) उत्पन्न हो जाती है। इस प्रकार उत्पन्न वैद्युत–रासायनिक प्रोटोन प्रवणता के दो प्रमुख घटक होते हैं।

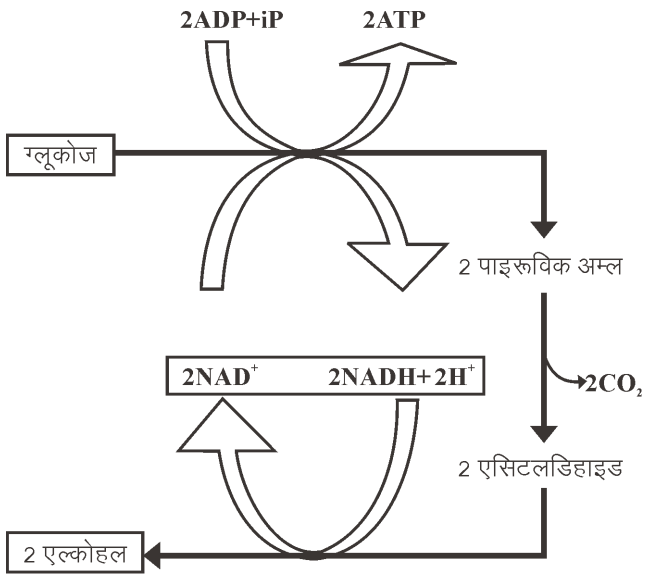
1. झिल्ली के आर–पार हाइड्रोजन आयनों की सान्द्रता अथवा pH में अन्तर।
2. झिल्ली के आर–पार वैद्युत विभव (Electric potential) में अन्तर।

मिशेल के अनुसार ये दोनों घटक मिलकर प्रोटोन मोटिव बल (Proton motive force) का निर्माण करते हैं। इस प्रक्रिया

को समझने के लिए आधुनिक अवधारणा का प्रतिपादन मिशेल द्वारा किया गया। मिशेल को इस कार्य के लिए 1978 में रसायन शास्त्र के नोबेल पुरस्कार से सम्मानित किया गया।

पाइरूविक अम्ल का ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में विखण्डन (Breakdown of pyruvic acid in absence of oxygen)

ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में पाइरूविक एसिड एवं एन ए डी एच ($NADH+H^+$) का ऑक्सीकरण माइटोकोन्ड्रिया में सम्पन्न होने वाले क्रेब्स चक्र व इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र (ETS) के द्वारा नहीं होता है। अतः ग्लुकोज से ग्लाइकोलाइसिस में बनने वाला पाइरूविक अम्ल कोशिका द्रव्य में एकत्रित होने लगता है। इस अवस्था में पादप किण्वन की क्रिया द्वारा पहले डीकार्बोक्सिलीकरण (Decarboxylation) की क्रिया द्वारा एसीटलडिहाइड का निर्माण करता है तथा CO_2 मुक्त होती है। इस प्रकार एसीटलडिहाइड खुद अपचयित होकर एल्कोहल बनाता है तथा ($NADH+H^+$) का ऑक्सीकरण NAD^+ में कर देता है (चित्र 16.6) ये दोनों क्रियाएं पाइरूविक एसिड डीकार्बोक्सीलेज व एल्कोहल डीहाइड्रोजिनेज एन्जाइमों द्वारा उत्प्रेरित होती है।



चित्र 16.6 : पाइरूविक अम्ल का ऑक्सीजन की अनुपस्थित में विखण्डन

किण्वन (Fermentation)

किण्वन अधिकांश जीवाणुओं व कवकों (Fungi) में ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में होने वाली क्रिया है जिसमें शर्करा (ग्लुकोज) के अणु का अपूर्ण ऑक्सीकरण होता है, जिससे एल्कोहल अथवा कार्बोक्सिलिक अम्लों का निर्माण होता है एवं CO_2 मुक्त होती है। पाश्चर ने सन् 1857 में यह सिद्ध किया कि एल्कोहॉलिक किण्वन यीस्ट (Yeast) कोशिकाओं की उपापचयी क्रियाओं द्वारा होता है। बुकनर (Buchner) ने 1897 में यीस्ट कोशिकाओं से जाइमेज (Zymase) नामक एन्जाइम को पृथक किया जो जीवित कोशिकाओं के बिना भी किण्वन करने में सक्षम था।

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

1. एल्कोहॉलीय किण्वन (Alcoholic fermentation) – यह क्रिया यीस्ट, कुछ कवक तथा कुछ उच्च वर्ग के पौधों में मिलती है। यह अनॉक्सी श्वसन का सामान्यतः पाया जाने वाला रूप है। ग्लाइकोलाइसिस में बनने वाले पाइरूविक अम्ल से एल्कोहल का निर्माण दो पदों में पूर्ण होता है–

(अ) पाइरूविक अम्ल के डीकार्बोक्सिलीकरण (Decarboxylation) से एसिटल्डिहाइड बनता है तथा CO_2 मुक्त होती है। यह क्रिया पाइरूविक डीकार्बोक्सिलेज एन्जाइम की उपस्थिति में सम्पन्न होती है।

$$\text{पाइरूविक अम्ल} \xrightarrow{\text{पाइरूविक डीकार्बोक्सिलेज}} \text{एसिटल्डिहाइड} + CO_2$$

(ब) एन्जाइम एल्कोहॉल डीहाइड्रोजिनेज तथा $NADH+H^+$ की उपस्थिति में एसिटल्डिहाइड का अपचयन होकर एल्कोहल, CO_2 तथा NAD^+ का उत्पादन होता है।

$$\text{एसिटल्डिहाइड} + NADH{+}H^+ \xrightarrow[\text{डीहाइड्रोजिनेज}]{\text{एल्कोहल}} \text{एथिल एल्कोहल} + NAD^+$$

2. लेक्टिक अम्ल किण्वन (Lactic acid fermentation) – यह क्रिया जीवाणु (*लेक्टोबेसिलस, क्लोस्ट्रीडियम* आदि) में मिलती है। इसमें पाइरूविक अम्ल तथा $NADH{+}H^+$ द्वारा एन्जाइम लेक्टिक डीहाइड्रोजिनेज की उपस्थिति में लेक्टिक अम्ल में अपचयन होता है तथा आक्सीकृत NAD^+ उत्पादित होता है।

$$\text{पाइरूविक अम्ल} + NADH{+}H^+ \xrightarrow[\text{डीहाइड्रोजिनेज}]{\text{लेक्टिक अम्ल}} \text{लेक्टिक अम्ल} + NAD^+$$

3. एसिटिक अम्ल किण्वन (Acetic acid fermentation) – यह क्रिया *एसिटोबेक्टर एसीटी* नाम जीवाणु में होती है। इस क्रिया में पहले पाइरूविक अम्ल से एसिटल्डिहाइड तथा बाद में एसिटिक अम्ल बनता है।

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

$$\text{पाइरूविक अम्ल} \xrightarrow[-2H]{+H_2O} \text{एसिटिक अम्ल}$$

4. ब्यूटाइरिक अम्ल किण्वन (Butyric acid fermentation) – *बेसिलस ब्यूटारिकस* तथा *क्लोस्ट्रीडियम ब्यूटयरिकस* जीवाणु में पाया जाता है। इसमें पाइरूविक अम्ल से पहले एसिटोएसिटिक अम्ल तथा बाद में ब्यूटाइरिक अम्ल बनता है।

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

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

इस प्रकार के श्वसन में शर्करा के एक अणु से ATP के दो अणु प्राप्त होते हैं। ग्लाइकोलाइसिस में 8 ATP अणुओं की प्राप्ति होती है जिसमें से 6 ATP, $NADH{+}H^+$ के ETS में जाने से प्राप्त होते हैं। इसमें ETS नहीं होने के कारण 6 ATP अणु नहीं बनते हैं। अतः ATP के कुल दो अणु ही प्राप्त होते हैं।

श्वसन तथा किण्वन में अन्तर

(Difference between respiration and fermentation) –

क्र.सं.	श्वसन	किण्वन
1.	यह ऑक्सीजन की उपस्थिति या अपरिहार्य स्थिति में ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में होती है।	इसमें ऑक्सीजन की आवश्यकता नहीं होती है।
2.	यह क्रिया केवल जीवित कोशिकाओं में ही होती है।	इसके लिए जीवित कोशिका आवश्यक नहीं होती श्वसन पदार्थ, सूक्ष्मजीव कवक तथा एन्जाइम का होना आवश्यक है।
3.	इसमें ग्लुकोज का पूर्ण ऑक्सीकरण होने पर CO_2 तथा पानी और अपूर्ण ऑक्सीकरण होने पर एल्कोहल एवं CO_2 बनते हैं।	इसमें ग्लुकोज का अपूर्ण ऑक्सीकरण होता है तथा एल्कोहल अथवा कार्बनिक अम्ल एवं CO_2 बनते हैं।
4.	अधिक ऊर्जा मुक्त होती है।	बहुत कम ऊर्जा मुक्त होती है।

शर्करा के विघटन के कुछ अन्य पथ

(Some other pathways of glucose breakdown)

1. पेन्टोज फॉस्फेट पथ [Pentose phosphate pathway (PPP)] – पादपों में कार्बोहाइड्रेट्स के ऑक्सीकरण की सामान्य प्रक्रियाओं, ग्लाइकोलाइसिस एवं क्रेब्स चक्र के अतिरिक्त भी कार्बोहाइड्रेट्स का ऑक्सीकरण कर ऊर्जा उत्पन्न करने की प्रक्रिया पाई

जाती है जिसे पेन्टोज फॉस्फेट पथ कहा जाता है। इस प्रक्रिया में हेक्सोज शर्करा का विघटन एक मध्यवर्ती (Intermediate) पाँच कार्बन परमाणु वाले शर्करा में होता है इस कारण इसे पेन्टोज फॉस्फेट पथ कहा जाता है। इसका सर्वप्रथम अध्ययन वारबर्ग एवं डिकिन्स (Warburg and Dickens, 1938) ने किया। इस पथ की विभिन्न रासायनिक अभिक्रियाओं को समझाने का श्रेय होरेकर (Horecker), रेकर (Racker, 1954) व साथियों को जाता है। इस पथ को हेक्सोज मोनोफॉस्फेट शंट एवं फॉस्फोग्लुकोनेट पथ अथवा वारबर्ग, डिकिन्स पथ के नाम से भी जाना जाता है। यह पथ कोशिका द्रव्य में सम्पन्न होता है। इस प्रक्रिया को निम्न पदों में समझाया जा सकता है–

(i) **ग्लुकोज अणु का फॉस्फोरिलीकरण** – ग्लुकोज अणु का फॉस्फोरिलीकरण ATP द्वारा होता है।

$$\text{ग्लुकोज} + ATP \longrightarrow \text{ग्लुकोज–6–फॉस्फेट} + ADP$$

(ii) **ग्लुकोज–6–फॉस्फेट का ऑक्सीकरण** – ग्लुकोज–6–फॉस्फेट का तत्काल फॉस्फोग्लुकोनिक अम्ल में ऑक्सीकरण हो जाता है।

$$\text{ग्लुकोज–6–फॉस्फेट} \xrightarrow[H_2O \quad NADP \rightarrow NADPH+H^+]{\text{ग्लुकोज–6–फॉस्फेट डीहाइड्रोजिनेज}} \text{फॉस्फोग्लुकोनिक अम्ल}$$

(iii) **फॉस्फोग्लुकोनिक अम्ल का ऑक्सीकीय डीकार्बोक्सिलीकरण** – फॉस्फोग्लुकोनिक अम्ल डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति में फॉस्फोग्लुकोनिक अम्ल के ऑक्सीकीय डीकार्बोक्सिलीकरण के द्वारा राइबुलोज–5–फॉस्फेट (पेन्टोज शर्करा) का निर्माण करता है एवं CO_2 मुक्त होती है।

$$\text{6–फॉस्फोग्लुकोनिक अम्ल} \xrightarrow{\text{फॉस्फोग्लुकोनिक अम्ल डिहाइड्रोजिनेज}} \text{राइबुलोज–5–फॉस्फेट} + CO_2$$

इस राइबुलोज–5–फॉस्फेट से कई क्रमागत समावयवी अभिक्रियाओं द्वारा फॉस्फोरिलीकृत मध्यवर्ती उत्पाद बनते हैं। जिनका मुख्य उद्देश्य ग्लुकोज–6–फॉस्फेट को पूर्ण रूप से विघटित करना है। इस प्रक्रिया में मुक्त होने वाले प्रत्येक CO_2 अणु के साथ 2 अणु $NADPH+H^+$ बनते हैं। ग्लुकोज अणु में 6 कार्बन परमाणु होते हैं, अतः इसके पूर्ण विघटन से 6 अणु CO_2 के मुक्त होंगे एवं 12 $NADPH+H^+$ अणु बनेंगे। जो इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र के द्वारा 36 ATP अणुओं का निर्माण करते हैं। इस चक्र में बनने वाले राइबोज–5–फॉस्फेट से विभिन्न पदार्थों का संश्लेषण होता है, जैसे DNA, RNA, ATP, NAD, FAD, CoA इत्यादि। लिग्निन तथा अन्य यौगिकों के लिए इरिथ्रोज शर्करा आवश्यक होती है।

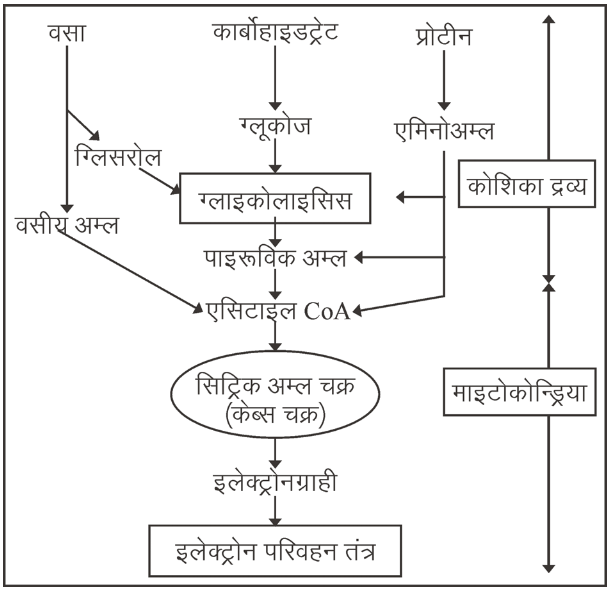
2. एन्टर–डॉडोरोफ पथ (Enter-Doudoroff pathway) – यह पथ शर्करा के विघटन से पाइरूविक अम्ल बनने तक की क्रिया दर्शाता है। इसका सर्वप्रथम अध्ययन *स्यूडोमोनास* (Pseudomonas) नामक जीवाणु में किया गया। इस पथ में बनने वाले मध्यस्थ पदार्थ सामान्य ग्लाइकोलाइसिस में बनने वाले पदार्थ से भिन्न होते हैं। प्रमुख मध्यस्थ पदार्थ फॉस्फोग्लूकोनिक अम्ल होता है जिससे पाइरूविक अम्ल बनता है।

श्वसर का सार एवं अन्य श्वसन का श्वसन मार्ग में प्रवेश

वसा, कार्बोहाइड्रेट एवं प्रोटीन के विघटन से बनने वाले सरल पदार्थों के श्वसन में प्रवेश को चित्र 16.7 में दर्शाया गया है–

श्वसन गुणांक (Respiratory Quotient) – श्वसन में पादप ऑक्सीजन का उपभोग करते हैं तथा कार्बन डाईऑक्साइड मुक्त करते हैं। श्वसन में मुक्त होने वाली कार्बन डाईऑक्साइड (CO_2) एवं प्रयुक्त होने वाली ऑक्सीजन (O_2) के आयतन का अनुपात श्वसन में प्रयुक्त होने वाले क्रियाधार की प्रकृति पर निर्भर करता है। अतः श्वसन में मुक्त होने वाली CO_2 एवं उपभोग होने वाली O_2 के आयतन का अनुपात श्वसन गुणांक कहलाता है। श्वसन गुणांक का मापन गेनोंग्स श्वसन मापी द्वारा किया जाता है।

$$\text{अतः श्वसन गुणांक} = \frac{\text{श्वसन में मुक्त होने वाली कार्बन डाईऑक्साइड } (CO_2) \text{ का आयतन}}{\text{श्वसन में प्रयुक्त होने वाली ऑक्सीजन } (O_2) \text{ का आयतन}}$$



चित्र 16.7 : कोशिकीय श्वसन की सम्पूर्ण प्रक्रिया का आरेखी चित्र

श्वसन में प्रयुक्त होने वाले विभिन्न क्रियाधारों के श्वसन गुणांक भी भिन्न–भिन्न होते हैं जिन्हें निम्नानुसार समझाया गया है–

(i) **कार्बोहाइड्रेट्स का श्वसन गुणांक** – श्वसन की प्रक्रिया में क्रियाधार जब कार्बोहाइड्रेट होते हैं एवं इनका पूर्ण ऑक्सीकरण होता है तो श्वसन गुणांक सदैव इकाई (1) होता है, क्योंकि इस प्रक्रिया में विमुक्त होने वाली कार्बन डाइऑक्साइड एवं प्रयुक्त होने वाली ऑक्सीजन का आयतन सदैव समान होता है।

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

$$\text{श्वसन गुणांक} = \frac{\text{श्वसन में मुक्त होने वाली } CO_2 \text{ का आयतन}}{\text{श्वसन में प्रयुक्त होने वाली } O_2 \text{ का आयतन}} = \frac{6CO_2}{6O_2} = 1.0$$

(ii) **वसा का श्वसन गुणांक** – तैलीय बीजों के अंकुरण के समय श्वसन की क्रिया में वसा क्रियाधार होती है। वसा के अणु में कार्बन की तुलना में ऑक्सीजन की मात्रा कम होती है। इस कारण वसा के ऑक्सीकरण के लिए ऑक्सीजन की अधिक मात्रा की आवश्यकता होती है। अतः वसा का श्वसन गुणांक सदैव एक से कम होता है।

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

$$\text{अतः श्वसन गुणांक} = \frac{102CO_2}{145O_2} = 0.7$$

(iii) **प्रोटीन्स का श्वसन गुणांक** – प्रोटीन्स अणुओं में भी वसा की तरह ऑक्सीजन की मात्रा कार्बन की तुलना में कम होती है। अतः प्रोटीन्स के ऑक्सीकरण में भी अधिक O_2 की आवश्यकता होती है। प्रोटीन्स श्वसन की क्रिया में क्रियाधार की तरह कार्य केवल कार्बोहाइड्रेट व वसा की अनुपस्थिति में ही करते हैं। प्रोटीन्स का श्वसन गुणांक एक से कम होता है।

(iv) **कार्बोक्सिलिक अम्लों का श्वसन गुणांक** – माँसलोद्भिद (Succulents) पादपों जैसे नागफनी (Opuntia) आदि में श्वसन में क्रियाधार कार्बोक्सिलिक अम्ल होते हैं जिनके अणुओं में कार्बन की तुलना में ऑक्सीजन की मात्रा अधिक होती है। इस कारण श्वसन में इनके ऑक्सीकरण के लिए कम ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है अतः इनका श्वसन गुणांक सदैव एक से अधिक होता है।

$$2(COOH_2) + O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 2H_2O$$

आक्सेलिक अम्ल

$$\text{अतः श्वसन गुणांक} = \frac{4CO_2}{O_2} \quad 4.0$$

सिट्रिक अम्ल व मैलिक अम्ल का श्वसन गुणांक 1.33 होता है।

(v) **अवायवीय श्वसन में श्वसन गुणांक** – अवायवीय श्वसन में कार्बनडाइऑक्साइड तो मुक्त होती है परन्तु ऑक्सीजन

का अवशोषण नहीं होता है। अतः इस प्रकार की क्रियाओं में श्वसन गुणांक अनन्त (∞) होता है।

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

$$\text{अतः श्वसन गुणांक} \frac{CO_2}{0\ (\text{शून्य})\ O_2} = \text{अन्नत}\ (\infty)$$

श्वसन का महत्व

1. श्वसन में उत्पन्न ऊर्जा पौधों की विभिन्न उपपाचयी प्रक्रियाओं में उपयोग की जाती है।
2. इस क्रिया के फलस्वरूप रासायनिक पदार्थ बनते हैं जो कोशिका अवयव के लिए आवश्यक है।
3. इस क्रिया में निकलने वाली CO_2 से वायुमण्डल संतुलित रहता है।
4. इस क्रिया में जटिल अघुलनशील भोज्य पदार्थ सरल, घुलनशील भोज्य पदार्थों में परिवर्तित होते हैं।
5. यह संचित ऊर्जा (स्थितिज) को काम में आने वाली ऊर्जा (गतिज ऊर्जा) में रूपान्तरित करती है।

श्वसन को प्रभावित करने वाले कारक (Factors Affecting Respiration)

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

1. बाह्य कारक (External factors)
2. आन्तरिक कारक (Internal factors)

1. बाह्य कारक – श्वसन को प्रभावित करने वाले प्रमुख बाह्य कारक निम्न हैं–

(i) **तापमान** (Temperature) – तापमान श्वसन की दर को प्रभावित करने वाला प्रमुख कारक है। 5°C से 25°C या 30°C तापमान तक श्वसन की दर लगातार बढ़ती है। 5°C से 30°C तक प्रत्येक 10°C तापक्रम बढ़ाने पर श्वसन की दर दुगुनी हो जाती है। अर्थात् 5°C से 30°C के मध्य श्वसन का तापक्रम गुणांक (Q_{10}) लगभग 2.0 होता है। श्वसन की दर अधिकतम 30°C तापक्रम पर होती है। 30°C से अधिक ताप बढ़ने पर एक बार श्वसन की दर बढ़ती है। परन्तु शीघ्र ही यह घटने लगती है। अधिक ताप पर श्वसन में भाग लेने वाले एन्जाइम विकृत हो जाते हैं। जिससे श्वसन की दर घट जाती है। इस कारण ही शीत–गृहों (Cold storage) में फल व सब्जियाँ बिना सड़े–गले अधिक समय तक रह पाती हैं।

(ii) **ऑक्सीजन** (Oxygen) – ऑक्सीजन वायवीय श्वसन के लिए आवश्यक कारक है क्योंकि वायवीय श्वसन में ऑक्सीजन अन्तिम इलेक्ट्रॉन ग्राही है। अतः श्वसन की दर को प्रभावित करने वाला महत्त्वपूर्ण कारक है। कम ऑक्सीजन सान्द्रता पर वायवीय व अवायवीय दोनों प्रकार के श्वसन होते हैं। जब ऑक्सीजन की सान्द्रता शून्य हो जाती है तब केवल अवायवीय श्वसन ही होता है। वायुमण्डल में O_2 की सान्द्रता 20.81 प्रतिशत तक होती है जो श्वसन की क्रिया के लिए आवश्यकता से कहीं अधिक है। अतः वातावरण में O_2 की सान्द्रता के एक सीमा तक घटने–बढ़ने से कोई प्रभाव नहीं पड़ता है, परन्तु 1–9 प्रतिशत तक या इससे कम सान्द्रता पर केवल अवायवीय श्वसन होता है जिससे केवल इथाईल एल्कोहल तथा कार्बनडाइऑक्साइड ही बनते हैं। ऐसी अवस्था में श्वसन गुणांक अनन्त होता है।

(iii) **जल** – अधिकांश पादप ऊतकों में 80–95 प्रतिशत तक जल होता है। जल कोशिकाओं में होने वाली जैव रसायनिक अभिक्रियाओं के लिए माध्यम की तरह कार्य करता है तथा यह इनमें भाग लेने वाले एन्जाइमों की क्रियाशीलता बढ़ाता है। जल की मात्रा कम होने के कारण ही सूखे बीजों व फलों की श्वसन की दर कम होती है। तथा इस कारण इन्हें अधिक समय तक रखा जा सकता है। जबकि जल की उपस्थिति में कार्बोहाइड्रेट्स घुलनशील शर्करा में परिवर्तित हो जाते हैं। जो श्वसन का मुख्य क्रियाधार है जिससे श्वसन दर बढ़ जाती है।

(iv) **प्रकाश** – श्वसन दिन व रात निरन्तर होता रहता है। प्रकाश परोक्ष रूप से श्वसन की दर को प्रभावित करता है जैसे– (क) प्रकाश के द्वारा तापमान बढ़ता है। जो श्वसन की दर को बढ़ाता है। (ख) प्रकाश संश्लेषण की क्रिया द्वारा शर्करा का निर्माण होता है, जो श्वसन का महत्त्वपूर्ण क्रियाधार है तथा (ग) प्रकाश में रन्ध्र खुले रहते हैं अर्थात् गैसों का आदान–प्रदान होता है। अतः उपरोक्त तीन प्रकार से प्रकाश, श्वसन की दर को परोक्ष रूप से बढ़ाता है।

(v) **कार्बनडाइऑक्साइड** – कार्बनडाइऑक्साइड की सान्द्रता बढ़ने के साथ–साथ श्वसन की दर कम हो जाती है। अतः इसका प्रतिकूल प्रभाव बीजों के अंकुरण व पादपों की वृद्धि दर पर पड़ता है। हीथ (Heath) ने अपने प्रयोगों से यह सिद्ध किया कि CO_2 की अधिक सान्द्रता में रन्ध्र बन्द हो जाते हैं जिससे O_2 के अभाव में श्वसन दर कम हो जाती है।

2. आन्तरिक कारक – कोशिका जीवद्रव्य व उसमें पाये जाने वाले श्वसनीय क्रियाधार प्रमुख आन्तरिक कारक हैं। जो श्वसन की दर को प्रभावित करते हैं।

(i) **जीवद्रव्य** – विभज्योतकी कोशिकाओं में जीवद्रव्य अधिक पाया जाता है जिसके कारण इनकी श्वसन दर परिपक्व कोशिकाओं की तुलना में अधिक होती है।

(ii) **श्वसनीय क्रियाधार** – कोशिका में पायी जाने वाली विभिन्न प्रकार की शर्कराएं जैसे ग्लुकोज, फ्रक्टोज, माल्टोज इत्यादि कोशिकीय श्वसन के प्रमुख क्रियाधार हैं, जो ऑक्सीकरण होने पर कोशिकीय क्रियाओं के लिए आवश्यक ऊर्जा उत्पन्न करते हैं। अतः एक सीमा तक इनकी सान्द्रता बढ़ाने पर श्वसन की दर बढ़ती है।

महत्वपूर्ण बिन्दु

1. श्वसन एक उपपाचयी क्रिया है, जो सभी सजीवों में निरन्तर होती रहती है। श्वसन प्रक्रिया में जटिल कार्बनिक यौगिकों का सरल यौगिकों में विघटन होता है व ऊर्जा मुक्त होती है।
2. श्वसन मुख्य रूप से दो प्रकार का होता है– (i) ऑक्सीजन की उपस्थिति में होने वाला ऑक्सी श्वसन व (ii) ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में होने वाला आनॉक्सी श्वसन।
3. ऑक्सी व अनॉक्सी श्वसन की प्रारम्भिक प्रक्रिया कोशिका द्रव्य (Cytosol) में सम्पन्न होती है व समान होती है जिसे ग्लाइकोलाइसिस कहते हैं। पाइरूविक अम्ल, ग्लाइकोलासिस का अन्तिम उत्पाद है।
4. ग्लाइकोलाइसिस की सम्पूर्ण प्रक्रिया में $NADH+H^+$ व पाइरूविक अम्ल के दो–दो अणु तथा चार अणु ATP के बनते हैं।
5. अनॉक्सी श्वसन में ग्लुकोज अणु का अपूर्ण विघटन होता है, जिससे इस प्रक्रिया में कार्बनडाइऑक्साइड व एल्कोहल का निर्माण होता है व दो अणु ATP के बनते हैं।
6. ऑक्सीश्वसन की ग्लाइकोलाइसिस में बनने वाले पाइरूविक अम्ल का ऑक्सीकरण माइटोकोन्ड्रिया में सम्पन्न होता है।
7. पाइरूविक अम्ल के ऑक्सीकरण से सबसे पहले एसिटाइल कोएन्जाइम A, (CoA) का निर्माण होता है, जो क्रेब्स चक्र में प्रवेश कर CO_2 एवं जल में ऑक्सीकृत हो जाता है तथा GTP, $FADH_2$ एवं $NADH+H^+$ का निर्माण करता है।
8. $NADH+H^+$ और $FADH_2$ माइटोकोन्ड्रिया में सम्पन्न होने वाले इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र (ETS) में प्रवेश करते हैं, जहाँ यह फॉस्फोरिलीकरण की क्रिया द्वारा ATP का निर्माण करते हैं।
9. श्वसन के पश्चात् नेट उत्पाद 38 ATP एवं विशेष परिस्थिति में 36 ATP हो सकता है।
10. ऑक्सीकारी फॉस्फोरिलीकरण के आधुनिक सिद्धान्त का प्रतिपादन पीटर मिशेल द्वारा किया गया जिसे ऑक्सीकारी फॉस्फोरिलीकरण का रसायन परासरी सिद्धान्त के नाम से जाना जाता है।
11. ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में शर्कराओं के अपूर्ण विघटन से एल्कोहल व लेक्टिक अम्ल बनने की प्रक्रिया किण्वन कहलाती है।
12. श्वसन क्रिया में प्रयुक्त ऑक्सीजन व मुक्त होने वाली कार्बनडाइऑक्साइड के आयतन का अनुपात श्वसन गुणांक कहलाता है।
13. श्वसन गुणांक श्वसन की क्रिया में प्रयुक्त होने वाले क्रियाधारों की प्रकृति पर निर्भर करता है। कार्बोहाइड्रेट्स का श्वसन गुणांक–1, वसा व प्रोटीन्स का एक से कम, कार्बनिक अम्लों का 1 से अधिक व अवायवीय श्वसन का अनन्त होता है।

अभ्यासार्थ प्रश्न

बहुचयनात्मक प्रश्न

1. इसमें से कौनसी क्रिया ऑक्सी श्वसन में नहीं होती है–
   (अ) CO_2 का निर्माण
   (ब) 38 ATP का निर्माण
   (स) पदार्थों का पूर्ण ऑक्सीकरण
   (द) 2 ATP का निर्माण
2. निम्न में से श्वसन को प्रभावित करने वाले कारक है–
   (अ) जल (ब) CO_2
   (स) जीवद्रव्य (द) उपरोक्त सभी
3. अवायवीय श्वसन का श्वसन गुणांक होता है–
   (अ) अनन्त (ब) 0.92
   (स) 1.25 (द) 1
4. ग्लाइकोलाइसिस की सम्पूर्ण प्रक्रिया में कितने अणु ATP के बनते हैं–
   (अ) 2 अणु (ब) 4 अणु
   (स) 38 अणु (द) 12 अणु
5. निम्न में से श्वसन गुणांक है–
   (अ) O_2 / CO_2 का भार (ब) CO_2 / O_2 का भार
   (स) CO_2 / O_2 का आयतन (द) O_2 / CO_2 का आयतन
6. क्रेब्स चक्र सम्पन्न होता है–
   (अ) केन्द्रक में (ब) माइटोकोन्ड्रिया में
   (स) कोशिका द्रव्य में (द) हरितलवक में

7. पाइरूवेट से एसिटाइल CoA बनने की प्रक्रिया कहलाती है–
   (अ) अपचयन
   (ब) ऑक्सीकरण
   (स) जल–योजन
   (द) ऑक्सीकीय डीकार्बोक्सिलीकरण
8. ऑक्सीकीय फॉस्फोरिलीकरण के केमीऑस्मोटिक सिद्धान्त का प्रतिपादन किया–
   (अ) क्रेब्स ने (ब) पीटर मिटचेल ने
   (स) वारबर्ग–डीकन्स ने (द) गिब्स ने

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

1. श्वसन को परिभाषित कीजिये।
2. ऑक्सी श्वसन एवं अनॉक्सी श्वसन में अन्तर बताइये।
3. ग्लाइकोलाइसिस को परिभाषित कीजिये।
4. क्रेब्स चक्र के महत्व लिखिये।
5. ऑक्सीय फॉस्फोरिलीकरण को समझाइये।
6. ATP, NADH तथा FAD को समझाइये।
7. किण्वन (Fermentation) की क्रिया को समझाइये।
8. श्वसन गुणांक को समझाइये।
9. श्वसन के महत्व बताइये।
10. पेन्टोज फॉस्फेट पथ को परिभाषित कीजिये।
11. सार्वत्रिक ऊर्जा मुद्रा (Universal Energy Currency) को परिभाषित कीजिये।
12. ऑक्सेलो–सक्सिनेट का कार्य बताइये।
13. ऑक्सीकीय डिकार्बोक्सिलीकरण की क्रिया को समझाइये।
14. ऑक्सीकीय डिकार्बोक्सिलीकरण की क्रिया में आवश्यक सहकारकों के नाम बताइये।
15. प्रोटोप्लाज्मिक श्वसन को परिभाषित कीजिये।

लघुत्तरात्मक प्रश्न

1. क्रेब्स चक्र/सिट्रिक एसिड चक्र का चित्र सहित वर्णन कीजिये।
2. इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र का वर्णन कीजिये।
3. ऑक्सीकीय फॉस्फोरिलीकरण का केमीऑस्मेटिक सिद्धांत समझाइये।
4. किण्वन को परिभाषित कर इसके प्रकारों का वर्णन कीजिये।
5. श्वसन को प्रभावित करने वाले कारकों का वर्णन कीजिये।

निबन्धात्मक प्रश्न

1. श्वसन की क्रिया विधि का सचित्र वर्णन कीजिये।
2. ग्लाइकोलाइसिस में सम्पन्न होने वाली जैव रासायनिक अभिक्रियाओं को वर्णन कीजिये।
3. शर्करा के विघटन के अन्य पथों का वर्णन कीजिये।
4. श्वसन गुणांक को समझाइये तथा श्वसन में प्रयुक्त होने वाले भिन्न–भिन्न क्रियाधारों के श्वसन गुणांकों को समझाइये।

उत्तरमालाः 1 (द) 2 (द) 3 (अ) 4 (ब)
5 (स) 6 (ब) 7 (द) 8 (ब)