طرق الكشف عن العناصر المعدنية في النبات

التنفس هو الظاهرة الفيزيولوجية الأكثر شمولاً في الوسط الحيوي حيث أن كل الكائنات الحية (ماعدا الكائنات اللاهوائية إجبارياً) تتنفس بملامسة الهواء.

1- تعريف التنفس وأهميته:

هو الظاهرة الفيزيولوجية التي تسمح للنبات باسترداد قسم كبير من الطاقة الكيماوية الكامنة المخزنة في المادة الكربونية التي تمتلكها بواسطة سلسلة من الأكسدات الاستقلابية.

يفترض هذا التعريف أن النباتات الراقية تتنفس بالاعتماد على منتجات التمثيل الضوئي كذلك تكون ظاهرتي التغذية الكربونية متعاكستين بالنسبة لتأثيرها العام والتبادلات الغازية التي تصحبها حيث يمتص النبات (CO_2) أثناء عملية التمثيل الضوئي ويطرح (O_2) بينما يمتص (O_2) في عملية التنفس ويطرح (CO_2).

يمثل الغلوكوز المركب الكربوني النموذجي الذي يمكن أن تمتلكه الخلايا، ويمكن كتابة المعادلة الإجمالية للتنفس:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 686\ K.CAL$$

ومن المعروف أن الكائنات الحية تستمد الطاقة المخزنة في المركبات العضوية وذلك بأكسدتها وهدمها إلى مركبات بسيطة فتطلق الطاقة الحرة وتُخزن مؤقتاً في مركب (ATP)، ومن ثم تستغل في العمليات الحيوية المختلفة اللازمة لنمو الكائن الحي.

لذلك من الممكن تعريف التنفس أيضاً: هو عملية أكسدة وهدم للمركبات العضوية وانطلاق الطاقة المخزنة بها على شكل طاقة حرة، فهو عملية أكسدة واختزال تحدث في جميع الخلايا الحية وتسبب انطلاق الطاقة الكامنة في المواد المتفاعلة، لذلك فهو عكس عملية البناء المعروفة بالتمثيل الضوئي.

وإن من أهم المواد التي تحدث فيها الاكسدة هي المواد الكربوهيدراتية والدهون، وفيما يلي مثالين الأول عن الغلوكوز (مادة كربوهيدراتية)، والثاني حمض الأوليك (مادة دهنية):

$$C6\ H12\ O6 + 6O2 \Longrightarrow 6\ CO2 + 6\ H2O + 673\ Kcal$$

$$C18\ H36\ O2 + 26\ O2 \Longrightarrow 18\ CO2 + 18\ H2O + 673\ Kcal$$

وفي ظروف خاصة قد يستعمل البروتين أيضاً كمادة تنفسية ويؤكسد كلياً إلى CO_2 والماء والأمونيا أو بصورة جزئية إلى نواتج وسطية.

2- مكان حدوث التنفس:

يحدث التنفس في متعضيات صغيرة تعرف بالميتاكوندريا تحتوي حشوة محاطة بغشاءين، وتحتوي الحشوة على أنزيمات حلقة كريبس وكذلك السيتوكرومات ومركبات عديدة من نواتج التفاعلات الأنزيمية، كما تحتوي على الـ (DNA) ولذلك تستطيع الانقسام دون الاعتماد على النواة.

3- التحولات التي تحدث أثناء عملية التنفس:

يقسم التنفس إلى نوعين هما التنفس الهوائي والتنفس اللاهوائي الذي يحدث في غياب الأوكسجين:

3-1-عملية التنفس الهوائي:

تتم عملية التنفس الهوائي التي تعتبر عملية أكسدة وإرجاع من خلال عدد من العمليات الحيوية المعقدة تبدأ بالسيتوبلازم وتنتهي بالميتاكوندريا، يتم فيها أكسدة الغلوكوز (6 ذرات كربون) وتحوله إلى حمض البيروفيك (3 ذرات كربون) وانطلاق كمية من الطاقة تستخدم في بناء الأدونوزين ثلاثي الفوسفات (ATP).

يمكن تقسيم مراحل التنفس الهوائي إلى ثلاث مجموعات من التفاعلات حسبي مكان حدوثها في الخلية والظروف الملائمة لحدوثها حيث يحدث التحلل السكري (Glycolysis) في السيتوبلازم، وتفاعلات حلقة كريبس فس حشو الميتاكوندريا، أما تفاعلات تركيب (ATP) تتم في الغلاف الداخلي للميتاكوندريا.

3-1-1- تحلل السكر Glycolysis :

يأتي مصطلح (Glycolysis) من اجتماع كلمتين هما (Glykos) تعني سكر و(Lysis) تعني تحلل، تحصل هذه التفاعلات في السيتوبلازم ولاتحتاج إلى الأكسجين، يتم فيها انشطار جزيئة الغلوكوز (سكر سداسي) إلى جزيئتين من حمض البيروفيك (3 ذرات كربون $CH_3-COCOOH$).

أ- فسفرة السكر: تقوم مجموعة تفاعلات تحلل السكر بتحويل العلوكوز والغلوكوز-1- فوسفات أو الفركتوز إلى حمض البيروفيك في السيتوسول.

تتم أولاً فسفرة الغلوكوز (هكسوز- أي سكر سداسي) والذي يتحفز بواسطة أنزيم (Hexokenase) وبوجود (ATP)، وينتج عن هذا التفاعل تكوين سكر (غلوكوز- 6- فوسفات) و (ADP).

يتم بعد ذلك تحويل سكر (غلوكوز- 6- فوسفات) إلى سكر (فركتوز-6- فوسفات) بواسطة أنزيم (Phosphoglucoisomerase)، يتحول سكر (فركتوز-6- فوسفات) بواسطة فسفرة ذرة الكربون الأولى إلى (فركتوز- 1-6- ثنائي فوسفات) بواسطة أنزيم (Phosphofructokinase) وبذلك تنتهي المرحلة الأولى من تفاعلات تحلل السكر.

ب- انشطار السكر:

يتفكك سكر (فركتوز -1-6- ثنائي الفوسفات) إلى مركبين يحوي كل منهما 3 ذرات كربون هما:

1- (3- فوسفو غليسر ألدهيد) - 2- (ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات) بواسطة أنزيم الألدولاز.

ج- تكون حمض البيروفيك:

يتأكسد مركب (3- فوسفو غليسر ألدهيد) بنزع الهيدروجين بواسطة أنزيم (ديهيدروجيناز) حيث ينتقل إلى الـ (NAD) وتتحول مجموعة الألدهيد نتيجة الأكسدة إلى حمض (3- فوسفو حمض غليسريك)، ويستخدم جزء من الطاقة المنطلقة لتشكيل (ATP).

يقوم أنزيم (Phosphoglyceromutase) بتحويل (3- فوسفو حمض غليسريك) إلى (2- فوسفو حمض غليسريك) بوجود المغنزيوم، ثم يتم نزع الماء من المركب السابق بواسطة أنزيم (إينولاز) ويتكون مركب (فوسفو إينول حمض البيروفيك) ثم يقوم أنزيم (Pyruvic kinase) بتحويل هذا المركب إلى حمض البيروفيك.

ويستخدم جزء من الطاقة الناتجة في فسفرة الـ (ADP) إلى (ATP)، وبذلك تنتهي عملية تحلل السكر وينتج عنها (4 ATP) في حين يستهلك خلالها جزيئتان فتكون المحصلة جزيئتان من الـ (ATP) بعد ذلك يدخل حمض البيروفيك في دورة كريبس ليتم دورة التنفس الهوائي أو دورة التنفس اللاهوائي.

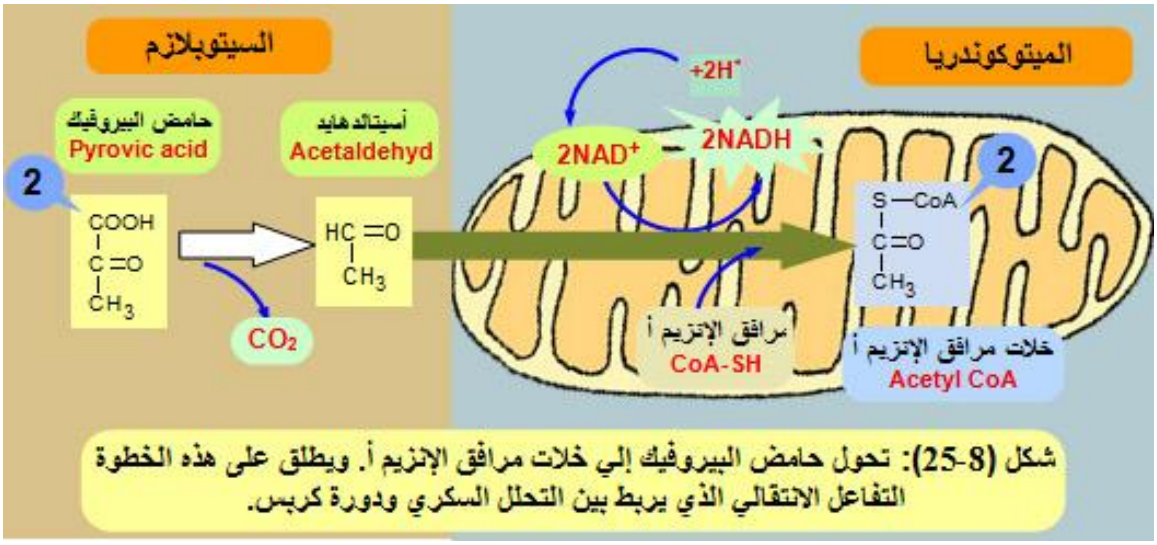
3-1-2- تكوين Acetyl coenzyme A:

يتم ذلك عن طريق سلسلة من التفاعلات يتم خلالها أكسدة حمض البيروفيك بوجود الأكسجين ونزع المجموعة الكربوكسيلية لتشكيل Acetyl coenzyme A وهي عملية معقدة، وتحتاج الى خمس مساعدات ضرورية Thiamine pyrophosphate (TPP)، المغنسيوم،NAD، Coenzyme A و اخيرا Lipoic acid وقد اقترح Gunsalus أربع خطوات لتكوين Acetyl Co A

ومن التفاعل نجد تكوين Acetyl CoA وثاني اكسيد الكربون كمجموعة تخرج من أول مركب من حمض البيروفيك وفي اثناء هذا التحول يتم نقل الكترونان للـ NAD لتكوين NADH واثناء نقل هذا الالكترونان ينتج عن ذلك ثلاث جزيئات من ATP و يمكن تلخيص التفاعل كالآتي:

$$\text{Pyruvate} + \text{Co A} + \text{NAD} \longrightarrow \text{Acetyl Co A} + CO2 + \text{NADH} + 3\text{ATP}$$

$$CH_3{-}COCOOH + HCoA + NAD^{+} \longrightarrow CH_3CO{\sim}CoA + NADH + H^{+} + CO_2$$

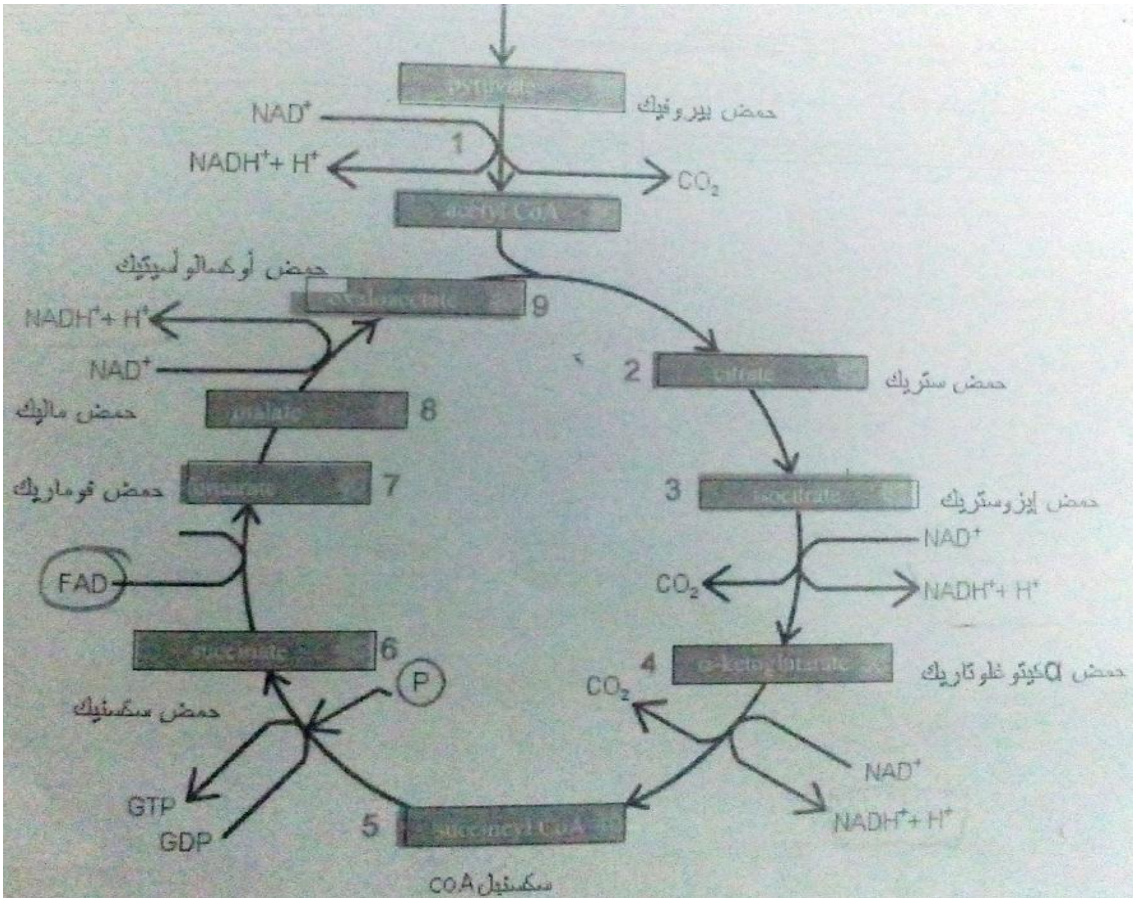


شكل (8-25): تحول حامض البيروفيك إلي خلات مرافق الإنزيم أ. ويطلق على هذه الخطوة التفاعل الانتقالي الذي يربط بين التحلل السكري ودورة كربس.

3-1-3- حلقة كربس Krebs cycle:

يعتبر Acetyl CoA حلقة الوصل بين عملية تحلل السكر ودورة كريبس (أو دورة السترات أو دورة الاحماض ثلاثية الكربون)، أول تفاعل في تلك الدورة هو تكثيف Acetyl CoA مع حمض الاوكسالوأسيتيك لتكوين حمض الستريك، لإعادة تكوين حمض الاوكسالوأسيتيك مرة أخرى.

تتم سلسلة من التفاعلات يتم خلالها أربع خطوات أكسدة تشكل حلقة كاملة وتتضمن ثمان أحماض بالإضافة لحمض الاوكسالوأسيتيك كما في الشكل التالي:



في خلال هذه الدورة يتم تكوين حمض الالفا كيتوجلوتاريك Ketoglutaric acide، ويعتبر هذا الحمض هو مفتاح عمليات التمثيل داخل النبات، فهو يلعب دورا هاما في تمثيل كلا من الكربوهيدرات والدهون وكذلك الأحماض الامينية.

تنتج هذه الحلقة أزواج من الالكترونات وذرات من الهيدروجين وتنتقل إلى حوامل الالكترونات وهي المرافقات الأنزيمية (FAD،NAD) وجزيئين من ثاني أكسيد الكربون وثلاث جزيئات ماء، وتتولد جزيئة من أوكسالوأسيتيك قادرة على التقاط زمرة جديدة من الأسيتات الفعالة وإعادة الدورة من جديد.

3-1-4- نظام نقل الالكترونات والفسفرة التأكسدية (الاسموزية الكيماوية – المسار الهيدروجيني لإنتاج الطاقة):

عندما يتأكسد الـ (NADH) والـ ($FADH_2$) الناتج من حلقة كريبس أو التحلل السكري ينتج الـ (ATP)، تتضمن هذه الأكسدة امتصاص (O_2) وإنتاج (H_2O)، ولايستطيع الـ (NADH) والـ ($FADH_2$) أن يرتبط مع (O_2) مباشرة لتشكيل (H_2O)، وتنتقل الالكترونات عبر عدة مركبات وسيطة قبل أن ينتج (H_2O)، تشكل نواقل الالكترونات هذه نظام نقل الكتروني في الميتاكوندريا، كل ناقل في النظام عادة يستقبل الكترونات فقط من الناقل الذي قبله والقريب منه، وهي مرتبة في خط مترابط في الغلاف الداخلي للميتوكندريا، ويوجد عدة آلاف من أنظمة نقل الالكترونات.

يتضمن نظام النقل في الميتوكوندريا أنزيمات السيتوكرومات (أكثر من 4 سيتوكرومات بشكل (Cyt.b) و2 سيتوكرومات بشكل (Cyt.c)) وعدد من الكينونات وخاصة (Ubiquinone) كما تحتوي على فلافوبروتين (ريبوفلافين يحتوي على البروتين) وبعض البروتينات التي تحوي (S،Fe) مثل الـ (Ferridoxine) كما يوجد أنزيم يدعى (سيتوكروم أوكسيداز Cytochrome oxidase) وبعض نواقل الإلكترونات الأخرى.

- نقل الطاقة في الخلية يتم بواسطة تفاعلات الأكسدة والاختزال:

إن الخلية يمكنها نقل الطاقة عن طريق نقل مجموعة فوسفات من حامل الطاقة ATP، ويمكن أيضاً نقل الطاقة عن طريق نقل الإلكترونات، وكما نعلم أن الأكسدة Oxidatino هي عملية كيميائية تفقد فيها المادة الإلكترونات، بينما الاختزال Reduction هي عملية متزاوجة معها تكتسب فيها المادة الإلكترونات. ولأن الإلكترونات تفرز أثناء تفاعلات الأكسدة لذلك لا يمكن أن تنفرد عمليات الأكسدة ببقائها في الخلية بمفردها، ولكن كل تفاعلات الأكسدة في الخلية يصاحبها تفاعلات اختزال والتي فيها يتم اكتساب الإلكترون عن طريق ذرة أو أيون أو جزيء.

ولأن تفاعلات الأكسدة والاختزال متزامنة مع بعضها لذلك يطلق عليها دائماً Redox reactions والمادة التي تصبح مؤكسدة تفقد (تعطي) طاقة بإفرازها للإلكترون، أما المادة التي أصبحت مختزلة فإنها تكتسب الطاقة باكتسابها للإلكترونات. وهناك عديد من تفاعلات الأكسدة والاختزال تأخذ مكانها في الخلية بانتقال الإلكترونات من مركب إلى مركب آخر وهذه الإلكترونات المنتقلة والتي تكون مساوية للطاقة المنتقلة لازمة وضرورية كجزء من عملية التنفس الخلوي وعملية البناء الضوئي وعديد من التفاعلات الكيميائية الأخرى.

ناقلات الإلكترون Electron carriers :

ليس من السهل طبعاً إزالة الإلكترون، أو عدد من الإلكترونات من الروابط التساهمية في المركبات ولكن السهل طبعاً هو إزالة كل الذرة ولهذا السبب فتفاعلات الأكسدة والاختزال البيولوجية عادة تتضمن نقل ذرة الهيدروجين أكثر من نقل الإلكترون نفسه. (لاحظ أن ذرة الهيدروجين تحتوي على الإلكترون وبروتون ولذلك فتفاعلات الأكسدة والاختزال تتضمن فقط ذرات الهيدروجين لكنها لا تتضمن أيونات الهيدروجين لأن أيونات الهيدروجين لا تحتوي على الإلكترونات وذلك فهي لا تدخل في تفاعلات الأكسدة والاختزال).

عند نزع الإلكترون (سواء منفرداً أو كجزء من ذرة الهيدروجين) من مركب عضوي فإنه يأخذ معه بعضاً من الطاقة المخزنة في المركب العضوي الذي نزع منه هذا الإلكترون والطاقة المأخوذة معه ينتقلان إلى جزيء مستقبل للإلكترون Electron acceptor molecule وهذا الإلكترون يفقد طاقته الحرة كلما انتقل من مستقبل Acceptor إلى مستقبل آخر.

ومن مستقبلات ذرة الهيدروجين الشائعة ما يلي:

1. ثنائي نيوكليوتيد أمين الأدينين والنيكونين (NAD)

2. فوسفات ثنائي نيوكليوتيد أمين الأدينين والنيكوتين (NADP)

3. ثنائي نيوكليوتيد الأدينين والفلافين (FAD)

4. السيتوكرومات Cytochromes: هي عبارة عن بروتينات تحتوي على الحديد ومكون الحديد فيها يكتسب الإلكترونات من ذرات الهيدروجين وبعد ذلك ينقل هذه الإلكترونات إلى بعض المركبات الأخرى مثل NADP+ و NAD+.

سلسة نقل الإلكترونات : Electron transport system

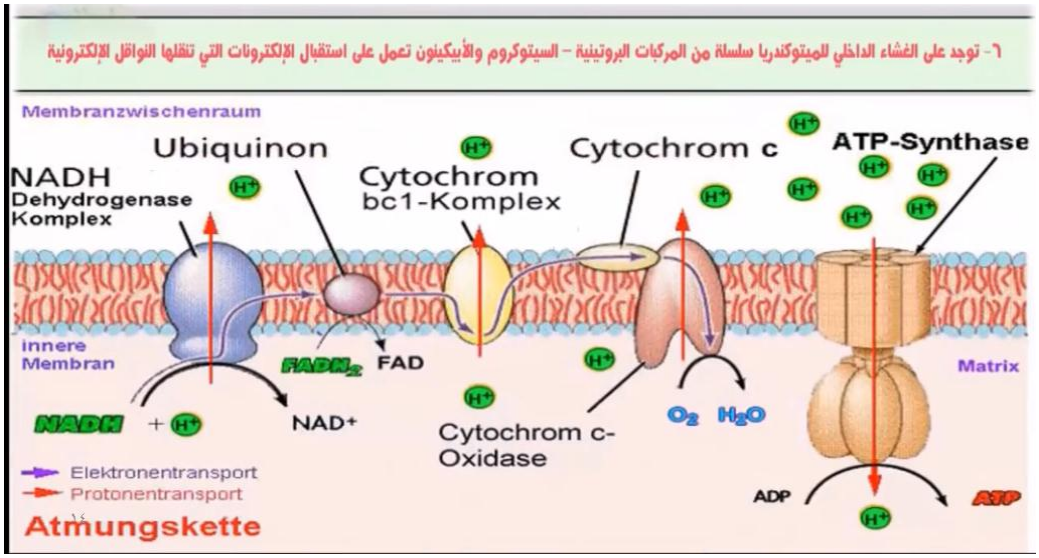
عرفنا أن جزءاً من الطاقة التي تحررت خلال التفاعلات الكيميائية التي مر فيها جزيء السكر استغلت في تكوين جزيئات عالية الطاقة على شكل جزيئات ATP من جزيئات ADP ومجموعات الفوسفات اللاعضوية (pi)، لكن معظم الطاقة المتحررة تبقى في الإلكترونات، وهذه الإلكترونات عالية الطاقة تُحمل من قبل جزيئات حاملة للإلكترونات عالية الطاقة جزيئات NADH وجزيئات FADH2.

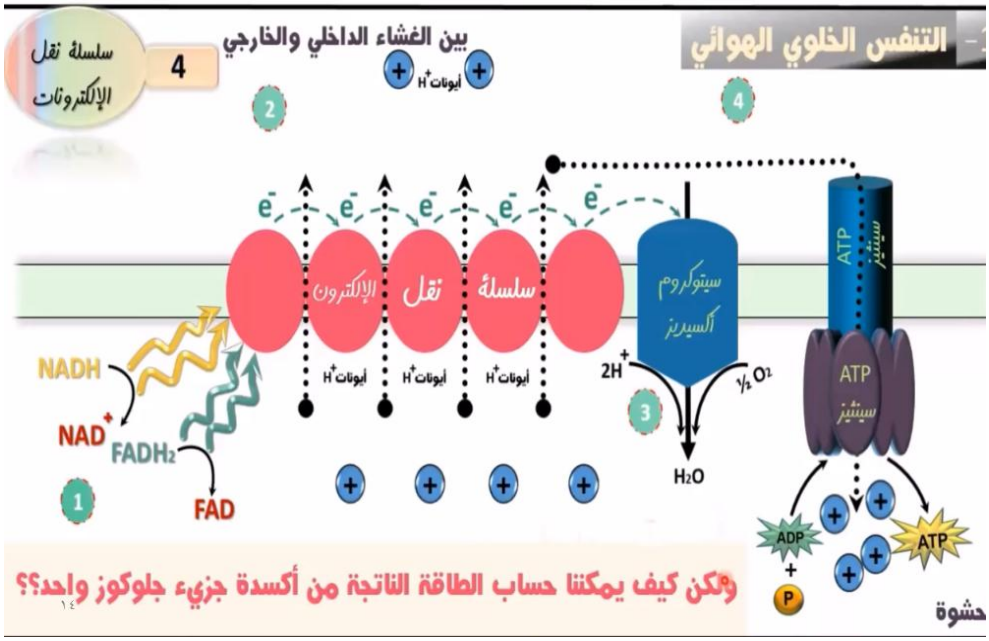
تتم الاستفادة من طاقة الإلكترونات العالية المحمولة من قبل جزيئات NADH وجزيئات FADH2 عن طريق تمرير ونقل هذه الطاقة في تفاعلات متتابعة وبمساعدة العديد من حاملات الإلكترونات بحيث تقل الطاقة بالتدريج وتعرف هذه العملية بسلسلة نقل الإلكترونات Electron transport chain.

الطاقة المتحررة خلال عملية نقل تلك الإلكترونات عالية الطاقة تستغل في عملية تكوين جزيئات عالية الطاقة من جزيئات ATP.

جزيئات NADH وجزيئات $FADH_2$ تمرر إلكتروناتها إلى سلسلة من حاملات الإلكترونات من جزيء NADH الذي يمرر زوجاً من الإلكترونات إلى حامل الإلكترونات المعروف باسم الفلافين أحادي النيو كليوتيد Flavin mononucleotide (FMA) الذي بدوره يمررها إلى حامل آخر يعرف باسم الإنزيم Ubiquinone، ثم تستمر عملية نقل الإلكترونات المتدرجة عبر عدد من مركبات تعرف بالسيتوكرومات Cytochromes تبدأ عملية النقل الإلكتروني السيتوكرومي من السيتو كروم ب (Cytochrome b) (Cyt.b) إلى السيتوكروم(Cytochrome c) (Cyt.c) ثم من السيتوكروم أ (Cytochome a) (Cyt.a) إلى السيتوكروم 3أ (Cytochome A3) (Cyt.a3) ومنه الأكسجين كمستقبل نهائي للإلكترونات .

إن عملية النقل الإلكتروني تبدأ من جزيء $FADH_2$ من المرافق الأنزيمي Q، وليس من مركب الفلافين وحيد النيوكليوتيد (FMA). وأن كل جزيء من جزيئات NADH الحامل للإلكترونات ينتج عنها في نهاية سلسلة النقل الإلكتروني ثلاث جزيئات من جزيئات ATP 3. بينما الجزيء الواحد من جزيئات FADH2 الحامل للإلكترونات ينتج عنه جزيئين فقط من جزيئات ATP2 عالية الطاقة.





3-1-5- ميزان الطاقة في التنفس الهوائي:

تمثل الطاقة التي تنتشر من أكسدة جزيئة سكر سداسي في مراحلها المختلفة مجموعاً قدره (38 ATP) كما يلي:

العمليه	الناتج مباشرةATP	العوامل المختزله	حساب الناتج من عوامل الاختزال ATP	المجموع
التحلل السكري	ATP 2	2NADH	6 ATP	8
تحول حمض البيروفيك إلى أستيل كوأنزيم		2NADH	6 ATP	6
دورة كربس	ATP 2	3NADH×6 2FADH2×2	18 ATP 4 ATP	24
المجموع				38

علماً أن: 3ATP= (NADH) و 2ATP =($FADH_2$)

واذا سلمنا بأن كمية الطاقة الناتجة من جزيئة الـ ATP تساوي 10 كيلوكالوري، نستنتج أن كمية الطاقة المتولدة من جزيئة واحدة من الغلوكوز عن طريق التنفس تساوي 380 كيلوكالوري. إلا أن جزيئة الغلوكوز تعطي 673 كيلوكالوري بالاحتراق الكامل في ظروف مخبرية دقيقة. ومع ذلك فإن كمية الطاقة الحقيقية الجاهزة في كل من ATP هي حوالي 7 كيلوكالوري والباقي يتبدد كحرارة وعليه فإن الطاقة الفعلية لكل جزيئة من الغلوكوز عن طريق التنفس الهوائي تبلغ 266 كيلوكالوري، وهذه تمثل 40% فقط من طاقة الجزيئة.

وبذلك نستخلص أن الكائنات التي تتنفس تنفساً هوائياً تكون فعالة في استغلال الطاقة الكيميائية المخزنة في الروابط الكيميائية وبالعكس فإن الكائنات ذات التنفس اللاهوائي (التخمر) غير فعالة.

- إظهار عملية التنفس عند النباتات:

إظهار عملية التنفس مبنية على أساس حساب التغير في تركيب الهواء في وعاء مغلق بعد وضع النباتات الحية فيه. حيث يتم تحديد غاز ثاني أوكسيد الكربون المنطلق بعملية التنفس عن طريق تعكر ماءات الباريوم:

$$Ba(OH)_2 + CO_2 \Longrightarrow BaCO_3 + H_2O \Downarrow$$

I- شدة التنفس: (IR) Intensity respiration:

يعبر عن شدة التنفس بكمية غاز ثاني أوكسيد الكربون المنطلق أو بكمية الأوكسجين الممتص في وحدة الزمن وفي وزن معين من النباتات. وتقاس إما بـ مل O_2 / ساعة / غ وزن رطب، أو بـ مغ CO_2 / ساعة غ وزن رطب. وتكون شدة التنفس عالية في مرحلة انتاش البذور وتفتح البراعم والأزهار، وهي أكثر شدة في الأوراق الفتية منها في الأوراق والأغصان المسنة وتكون قريبة من الصفر في طور السكون. وتقاس شدة التنفس بطريقتين:

<u>آ – قياس حجم CO_2 المنطلق:</u>

تقدير شدة التنفس بهذه الطريقة مبنى على أساس حساب كمية CO_2 المنطلق أثناء عملية تنفس النبات الموجود في وعاء مغلق، فخلال وقت محدد من الزمن يمتص غاز ثاني أوكسيد الكربون عن طريق حجم معلوم من محلول قلوي، أما الزائد منه فيعاير بحمض كلور الماء 0.1 نظامي، وحساب الحجم البدائي (الأولي) لغاز ثاني أوكسيد الكربون يتم ذلك في وعاء مغلق آخر.

$$CO_2 + Ba(OH)_2 \Longrightarrow BaCO_3 + H_2O \Downarrow$$

القسم المتبقي من ماءات الباريوم والذي لم يتفاعل مع CO_2 نعايره بواسطة حمض الأوكساليك وفق المعادلة:

$$Ba(OH)_2 + H_2C_2O_4 \longrightarrow BaC_2O_4 + 2H_2O$$

$$IR = \frac{2.2(VHClk - VHClT)}{Pt}$$

حيث: IR: شدة التنفس مغ CO2 / ساعة / غ وزن رطب.

$VHCl_k$: حجم حمض كلور الماء HCl (0.1 عياري) المستخدم في معايرة الفائض من محلول $Ba(OH)_2$ في طبق الشاهد.

$VHCl_T$: حجم حمض كلور الماء 0.1 عياري المستخدم في معايرة الفائض من محلول $Ba(OH)_2$ في طبق التجربة.

p: وزن النسيج النباتي بالغرام.

t: الزمن / الساعة.

2.2: معامل حساب HCl في CO2 (1 مل 0.1 عياري من HCl أو محلول $Ba(OH)_2$ يكافئ 2.2 مغ من CO2).

ب– قياس حجم الأوكسجين المستهلك في عملية التنفس:

تتنفس البذور المنتشة الموجودة جهاز قياس التنفس، فتأخذ الأوكسجين وتطرح غاز ثاني أوكسيد الكربون، الذي يمتص من قبل ماءات البوتاسيوم KOH ويتفاعل معها مكوناً كربونات البوتاسيوم K_2CO_3، وهذا يؤدي إلى نقص حجم الغاز داخل مقياس التنفس وإلى صعود الزئبق في الأنبوب المعقوف باتجاه البذور.. ويحسب حجم الأكسجين بالمعاملة التالية:

حجم الأوكسجين = ارتفاع عمود الزئبق × مساحة الأنبوب

وزن الأوكسجين = حجم الأوكسجين × كثافته

كثافة الأوكسجين = 1.14

مساحة الأنبوب = $ر^2$ = 3.14 × $ر^2$: حيث $ر^2$ = نصف قطر الأنبوب = 4مم

II- تقدير معامل التنفس (QR) Quotient Respiration

هو النسبة بين حجم CO_2 المنطلق وحجم الأوكسجين الممتص من نفس الوزن من النباتات التي تتم فيه عملية التنفس. ويمكن استعمال معامل التنفس كدليل على الطبيعة الكيميائية للمادة المستخدمة في عملية التنفس. فأثناء أكسدة الكربوهيدرات فإن معامل التنفس QR يساوي الواحد:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \Longrightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{طاقة} \quad (QR = 6CO_2/6O_2)$$

وأثناء أكسدة الدهون (حمض الأوليك) فإن QR يساوي أقل من الواحد:

$$C_{18}H_{36}O_2 + 26O_2 \Longrightarrow 18CO_2 + 18H_2O + \text{طاقة} \quad (QR = 18CO_2/26O_2)$$

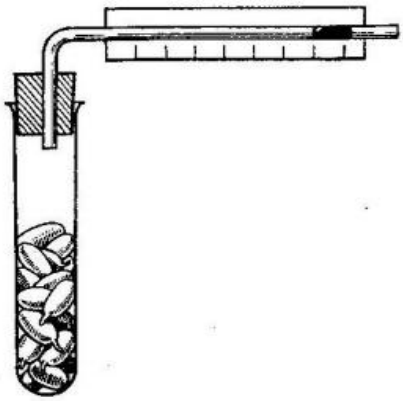
أما أثناء أكسدة الأحماض العضوية (حمض الماليك) فإن QR يكون أكبر من الواحد:

$$C_4H_6O_5 + 3O_2 \Longrightarrow 4CO_2 + 3H_2O + \text{طاقة} \quad (QR = 4CO_2/3O_2)$$

<u>جهاز قياس معامل التنفس ومبدأ عمله:</u>

يتكون جهاز قياس معامل التنفس من أنبوب اختبار يغلق بإحكام بواسطة سدادة مطاطية مثقوبة، يتخلل ثقب السدادة أنبوب زجاجي معقوف بزاوية قائمة يلصق عليه ورقة ميلليمترية أو يكون الأنبوب نفسه مدرجاً، في بداية التجربة يتم إدخال قطرة ملونة من الماء في الأنبوب الزجاجي، والتي تتحرك بسهولة عندما يكون نظيفاً، فإذا كان حجم الأوكسجين الممتص يساوي حجم ثاني أوكسيد الكربون المنطلق فإن: (QR=1)، فهذا يعني أن القطرة الملونة في الأنبوب الزجاجي لا تتحرك. أما عندما تكون قيمة QR لا تساوي الواحد، هذا يعني أن حجم O_2 الممتص لا يساوي حجم CO_2 المنطلق، فقطرة الماء الملونة سوف تتحرك في جهة أنبوب الاختبار إذا كان حجم CO_2 المنطلق أقل من حجم O_2 الممتص والضغط في الأنبوب سينخفض وقيمة (QR <1)، بينما تتحرك القطرة الملونة من جهة أنبوب الاختبار إلى نهاية الأنبوب الزجاجي عندما يكون حجم CO_2 المنطلق أكبر من حجم O_2 الممتص، وهنا يزداد الضغط في أنبوب الاختبار وقيمة QR >1

تحدد قيمة A و B كما يلي:



$A = O_2 - CO_2$; $CO_2 = O_2 - A$

$B = O_2$ وبالتالي $CO_2 = B - A$

وعندئذ تحسب قيمة QR على النحو التالي:

$$QR = CO_2 / O_2 = \frac{B - A}{B}$$

3-2- التنفس اللاهوائي: Anoerobic Respiration

ويتم بظروف لاهوائية بمعزل عن الأوكسجين، ويمكن أن يتم بوجود الأوكسجين، لكن نسبته تكون قليلة في الوسط (أقل من 5 %) ويكون فيه المستقبل النهائي للالكترونات مادة معدنية، حيث تكون نهاية سلسلة تفاعلات تحلل سكر الغلوكوز تحول حمض البيروفيك إلى حمض اللاكتيك بدلا من دخول حمض البيروفيك إلى دورة كريبس لينتهي إلى انتاج طاقة وماء وثاني أوكسيد الكربون. يتم التنفس اللاهوائي في عدم وجود الاكسجين كما سبق الاشارة وعادة في الكائنات الدقيقة الغير هوائية الإجبارية التي يطلق عليها Anaerobes كما يحدث ذلك في بعض البذور في طور مبكر من الانتاش إذا كان غلاف البذور كتيماً ولا يسمح للأوكسجين بالدخول ومثال ذلك: بذور البازلاء والذرة الصفراء وبذور الشوفان.

كما يمكن أن تتم عملية التنفس اللاهوائي في كثير من النباتات عندما تغمر بالماء، حيث إن الطاقة الناتجة عنه منخفضة ولا تفي بحاجة الخلية، بالإضافة إلى تجمع بعض المواد التي تسمم الخلايا، والنواتج النهائية له أحماضاً عضوية مثل حمض التفاح، حمض الطرطريك.

ان كفاءة التنفس اللاهوائي أقل بكثير من التنفس الهوائي حيث أن التنفس اللاهوائي ينتج فقط 2 ATP مقارنةً بـ38 ATP في التنفس الهوائي، يحدث هذا بسبب إنتاج التنفس اللاهوائي لفضلات تحمل بعض الطاقة لكنها لا تستغلها.

3-2-1- التخمر Fermentation:

وهو نوع من التنفس اللاهوائي الذي يجري في الخمائر والبكتريا ويتم بمعزل عن الهواء. يحدث تحت ظروف لاهوائية ويكون المستقبل النهائي للالكترونات مادة عضوية مثال على ذلك:

التخمر الكحولي: يكون الاسيت ألدهيد هو المستقبل النهائي للالكترونات.

التخمر الجليسرولي: يكون ثنائي هيدروكسي اسيتون فوسفات هو المستقبل النهائي للالكترونات.

التخمر اللاكتيكي: يكون حمض البيروفيك هو المستقبل النهائي للالكترونات.

كثير من الكائنات الدقيقة كذلك بعض النباتات الراقية تستطيع تفتيت السكريات في غياب الأوكسجين وتستعمل الطاقة الناتجة في هذه الحالة في نمو تلك الكائنات.

وتستعمل بعض أنواع التخمر في الصناعة على نطاق واسع لإنتاج بعض المركبات، ومن أنواع التخمر المعروفة: التخمر الكحولي الذي يعطي الكحول الايثيلي، التخمر الخلي الذي يعطي حمض الخل، التخمر اللبني الذي يعطي حمض اللبن، التخمر الليموني ويعطي حمض الليمون، وتتضمن عملية التخمر الكحولي تحول السكريات إلى ثاني أوكسيد الكربون والكحول الايثيلي بواسطة الخميرة، وتتمثل العملية بالمعادلة التالية:

$$C_6 H_{12} O_6 \Longrightarrow \quad 2\ CO_2 + 2\ CH_3 CH_2 OH + 21\ KCalories$$

إن تخمر جزئية من سكر سداسي تعطي جزيئتين من غاز ثاني أكسي الكربون وجزيئتين من الكحول الايتيلي، وتنطلق طاقة قدرها 21 حرة (كيلو حريرة).

4- العوامل المؤثرة في التنفس:

4-1- تأثير الاكسجين :

من الواضح ان نقص الأكسجين بالجو المحيط بالنباتات التي تتنفس عادة تنفسا هوائيا يكون له تأثيرات ضارة بهذه النباتات ويختلف مدى الضرر باختلاف نوع النبات أو النسيج وعمره ومدة التعرض لهذه الظروف اللاهوائية ويرجع حدوث هذه الأضرار الى العديد من العوامل ومنها نقص الطاقة المتحصل عليها عن طريق التنفس اللاهوائي وتراكم بعض النواتج الضارة أو السامة بالكائن الحي.

وعموما لا يعتبر الأكسجين عاملا محددا للتنفس تحت الظروف الطبيعية حيث ان تركيزه بالجو يعتبر كافيا جدا للتنفس الهوائي ويعتبر ثابتا الى حد ما. اما الأجزاء النباتية بالتربة أو كائنات التربة فقد تتأثر نتيجة لقلة الأكسجين إذا كانت التربة سيئة التهوية لثقلها او لغمرها بالماء.

4-2- تأثير درجة الحرارة :

تعتبر تأثيرات الحرارة على معدل التنفس راجعه للعديد من العوامل المتداخلة وعموما يمكن القول ان زيادة الحرارة يزيد من سرعة عملية التنفس بدرجة ملحوظة. ولابد من الأخذ في الاعتبار أن النباتات بل الأعضاء تختلف فيما بينها في استجاباتها للحرارة ولكن لوحظ ان أغلب الأنسجة النباتية تزيد سرعة تنفسها عند زيادة درجة الحرارة عن 35 درجة مئوية. ويظل هذا التأثير لمدة معينة فقط حيث ان الاستمرار يعرض النبات لتأثيرات عكسية ضارة وغالبا يرجع لإبطاء أو إبطال عمل الانزيمات وبقية المكونات البروتينية بالسيتوبلازم وقد يكون استمرار الحرارة المرتفعة سبباً في تراكم بعض نواتج التفاعل مثل غاز ثاني اكسيد الكربون وقد يزداد تركيزه الى المعدل الضار أو السام بالخلايا الحية نتيجة لسرعة عملية التنفس. وعند درجات الحرارة المنخفضة فإنه من المتوقع ان يزداد تركيز CO_2 الناتج من التنفس وهو ما يؤدي الي أبطاء تفاعلات انتاج CO_2 decarboxyaltion .

4-3- تركيز ثاني اكسيد الكربون :

بزيادة تركيز CO_2 بالخلايا يقل أو يبطل عمل الانزيمات الخاصة بنزع جزيئات CO_2 من المركبات الكربوهيدراتية وغيرها decarboxylases وذلك طبقا لقانون نقل الكتلة Moss action كذلك فأن زيادة تركيز CO_2 يؤدي الى ارتفاع الحموضة بالعصير الخلوي وبسيتوبلازم الخلية مما له ابلغ الاثر على تراكم ونوع التفاعلات الانزيمية المختلفة وسرعة اتمامها. ولكن نظرا لثبوت تركيز ثاني اكسيد الكربون نسبيا في الهواء فان تأثيره السام يتركز اساسا على الأجزاء الارضية من النبات وكذلك الكائنات الحية الدقيقة حيث أنه بالأرض سيئة التهوية يزداد تركيزه ويقل الأكسجين مما يبطئ عمل الجذور في الامتصاص النشط للعناصر الغذائية.

4-4- العناصر الغذائية:

لوحظ من التفاعلات السابق ذكرها بالنسبة للتنفس اللاهوائي والهوائي أن أغلب الانزيمات المتحكمة في هذه التفاعلات يلزم لها مساعدات انزيمية من بعض العناصر المعدنية مثل Mn، Mg، Cl، Fe وغيرها . فالمغنسيوم يلزم لتفاعلات الفسفرة وتفاعل نزع CO_2 في حين البوتاسيوم يعمل كمساعد انزيمي في تفاعل انتاج

حمض البيروفيك، كما يقوم الحديد بنفس العمل في تفاعل تحول حمض الستريك الي الايزوستريك في التنفس الهوائي بل ويقوم المنجنيز كعامل مساعد للانزيم المتحكم في انتاج حمض السكسينيك.

4-5- الضوء:

يعتبر الضوء من العوامل المؤثرة تأثيرا مباشرا أو غير مباشر على التنفس فالضوء يزيد من حرارة الانسجة مما يؤدي الي زيادة عملية التنفس كما وان ارتفاع الكثافة الضوئية يشجع عملية البناء الضوئي وبالتالي تزداد تركيزات السكريات الناتجة واللازمة كمادة تفاعل لعملية التنفس.

4-6- درجة تبلل الانسجة:

كلما ارتفعت درجة رطوبة الأنسجة كلما ارتفع معدل التنفس عادة يرجع ذلك اساسا لزيادة احتياج الانزيمات الي محتويات مائية مرتفعة وقد لوحظ أنه كلما قل المحتوي المائي يقل معدل التنفس كما في البذور الجافة. كذلك فإن قلة الرطوبة تؤثر على درجة نفاذية الأغشية البلازمية للغازات وبالتالي فان نقص الأكسجين سيكون عاملا محددا في حين ان زيادة ثاني أكسيد الكربون سيصبح عاملا ضارا أو معيقا لعملية التنفس.

{نهاية الجلسة}