التنفس Respiration

مقدمة:

أن عملية التركيب الضوئي البنائية (الاختزالية) تؤدي إلى تكوين المواد العضوية المختلفة كالكاربوهيدرات والبروتينات والدهون على حساب الطاقة الضوئية والماء (أي تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيمياوية) وهذه الطاقة الكيمياوية تستغل بعملية هدمية (تأكسدية) تدعى التنفس اذ تنطلق الطاقة الكامنة من السكريات وغيرها كما في المعادلة الآتية:

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

أن هذه المعادلة عامة وهي محصلة لعدة تفاعلات لان التنفس هي عملية معقدة تشمل ما يأتي:

1- امتصاص الأوكسجين .

2- أكسدة الغذاء أي تحويل المادة المعقدة الداخلة في التفاعل (عادةً الكاربوهيدرات) إلى مركبات ابسط منها تركيباً كثاني اوكسيد الكاربون والماء .

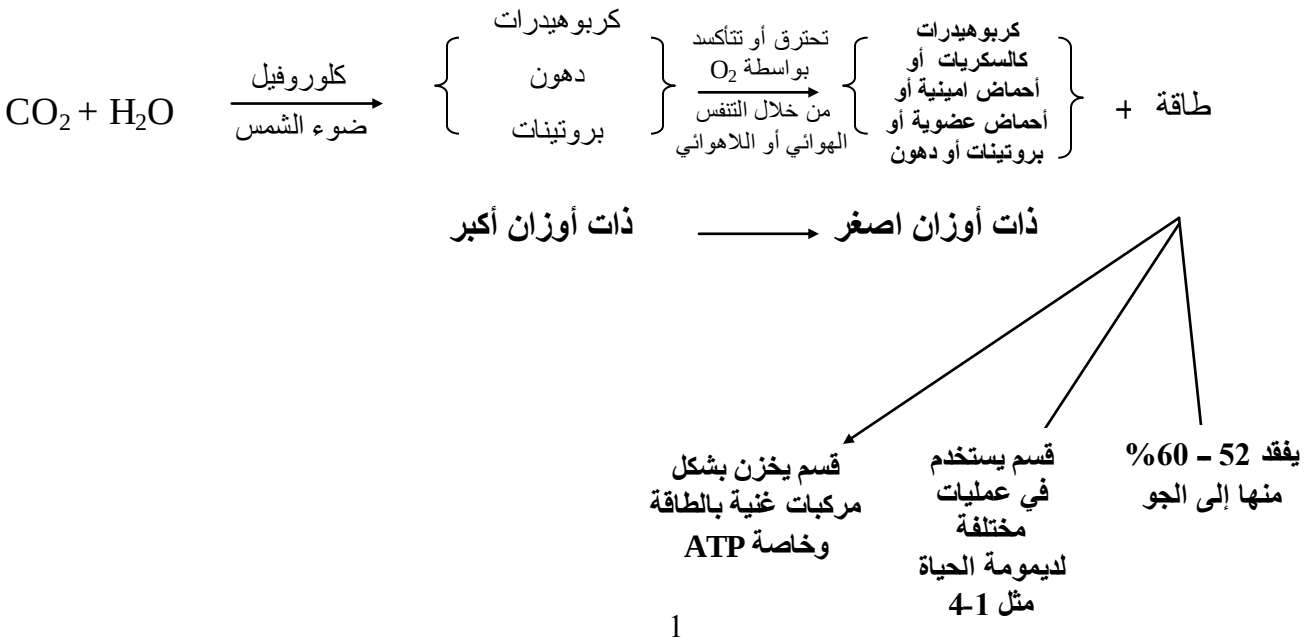
3- تحرير الطاقة .

4- تكوين بعض المركبات الوسطية الضرورية للعمليات الحيوية الأخرى .

5- تحرير CO_2 وبخار الماء .

6- قلة وزن النبات كنتيجة للتأكسد .

أن التنفس عبارة عن عملية أكسدة يتم بموجبها تبادل O_2 و CO_2 مع بعضها من خلال الثغور ويتم خلالها عمليات هدم للمواد العضوية وتحرير الطاقة التي تستخدم لسد حاجة النبات للقيام بعملياته الحيوية.



أهمية التنفس :

1- تحرير الطاقة الكامنة التي تستغل بمختلف العمليات الحيوية كامتصاص المغذيات وانتقالها داخل جسم النبات.

2- تكوين المركبات الحيوية الضرورية لبناء المكونات الخلوية وما يتبعها من نمو خضري وتكاثري.

3-تحرير CO_2 الذي يحافظ على دورة الكاربون في الطبيعة.

س/ ما هي المواد المستخدمة كمصدر للطاقة خلال التنفس؟ سلسلها حسب درجة سهولة تقبلها من قبل النبات من الأسهل نجو الأصعب مبيناً السبب:

الجواب :

1- الكاربوهيدرات (نشأ أو سكريات).

2- الأحماض العضوية (الأمينية).

3- البروتينات .

4-الدهون.

لكن عادة يستخدم النبات الكاربوهيدرات والأحماض العضوية لتوفرها بكميات كبيرة في أنسجة النبات بالإضافة إلى أنها المفضلة من قبل الأنسجة النباتية كمصدر للطاقة.

أن أعلى قدر من الطاقة يمكن الحصول عليه عندما تحدث عملية التنفس بوجود الأوكسجين ويدعى التنفس في هذه الحالة بأنه هوائي (Aerobic) وتكون النواتج CO_2 والماء لحصول الاحتراق التام للمواد الداخلة في التنفس.

$$\mathbf{C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{طاقة (686 كيلو سعرة)}}$$

أما في حالة غياب الأوكسجين فيحدث التنفس بشكل لا هوائي (Anaerobic) ويمتاز بأنه اقل كفاءة من التنفس الهوائي من حيث إنتاج الطاقة كما أن نواتجه النهائية عبارة عن كحول الاثيلي + CO_2 وذلك لعدم حصول الاحتراق التام للمواد الداخلة في التنفس.

$$\mathbf{C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CO_2 + 2C_2H_5OH + \text{طاقة (56 كيلو سعرة)}}$$

كحول اثيلي

مراحل التفاعلات الحيوية في التنفس:

عندما يمتص النبات الأوكسجين فأن الأوكسجين يشترك في أكسدة المواد الحيوية كالسكريات إلى ثاني اوكسيد الكاربون وبخار الماء مع تحرير طاقة والحقيقة أن الأكسدة لاتتم في خطوة واحدة بل خلال سلسلة من التفاعلات الفسيولوجية المنظمة المتكاملة مع بعضها ولسهولة دراسة وفهم التنفس تقسم تفاعلاته إلى مرحلتين أساسيتين هما:

أ – المرحلة غير الهوائية Anaerobic respiration

وتتكون من عدة تفاعلات حيوية لهدم السكر أو النشأ إلى مركب ثلاثي الكاربون هو حامض البايروفيك Pyruvate وتمتاز هذه المرحلة بما يأتي:

1- عدم تطلبها للأوكسجين (على الرغم من أن عدم احتياج الأوكسجين هو غير دقيق وليس دائماً).

2- تحدث في السايتوبلازم أو قد تحدث في غشاء البلازما.

3- يتحرر خلالها قسم قليل من الطاقة بشكل ATP (2ATP).

4- حدوثها بكثرة في ظروف غير ملائمة لنمو النبات.

5- تأكسد الكاربوهيدرات خلالها يكون غير كامل.

6- تتضمن هذه المرحلة نوعان من التفاعلات هما:

1- التحلل السكري Glycolysis:

وهي مجموعة التفاعلات غير الهوائية المبتدئة بالكلوكوز أو الفركتوز أو السكروز أو النشأ والمنتهية بتكوين حامض البايروفيك (Pyruvate).

2- التخمر الكحولي Alcoholic fermentation:

وهي مجموعة التفاعلات غير الهوائية المبتدئة بالكلوكوز أو الفركتوز أو السكروز أو النشأ والمنتهية بالكحول الاثيلي و CO_2.

ومما يذكر أن تفاعلات التحلل السكري والتخمر الكحولي تكون متشابهة باستثناء الخطوة الأخيرة فبدلا من تكوين حامض البايروفيك Pyruvate في التحلل السكري يتكون الكحول الاثيلي وثاني اوكسيد الكاربون في التخمر الكحولي(شكل 1).

أن جميع التفاعلات الكيمياوية التي يتضمنها التحلل السكري أو التخمر الكحولي تحدث لا هوائياً ويمكن أن تحدث في الأنسجة النباتية التي اعتادت التنفس لا هوائياً عند تعذر دخول الأوكسجين إليها أو قلته حيث أن بطئ نفوذ الأوكسجين إلى داخل الخلايا يكون شائعاً عند المراحل الأولى من إنبات بعض أنواع البذور كبذور البزاليا والذرة الصفراء والأنواع الأخرى التي تمتلك أغلفة صلبة قوية تمنع التبادل الغازي، كما يحدث التنفس اللاهوائي في جذور النباتات النامية في الترب المشبعة بالماء حيث يقل محتوى الأوكسجين فيها وكذلك مع المحاصيل المخزونة في المخازن المبردة عند قلة الأوكسجين في هواء المخزن .

ب – المرحلة الهوائية Aerobic respiration:

وفيها يتأكسد حامض البايروفيك Pyruvate الناتج من المرحلة السابقة إلى ثاني اوكسيد الكاربون والماء وتمتاز هذه المرحلة بما يأتي :

1- تطلبها للأوكسجين .

2- حدوثها في المايتوكوندريا .

3- تحريرها الطاقة بشكل ATP بنسبة أكثر من السابقة (36 ATP) .

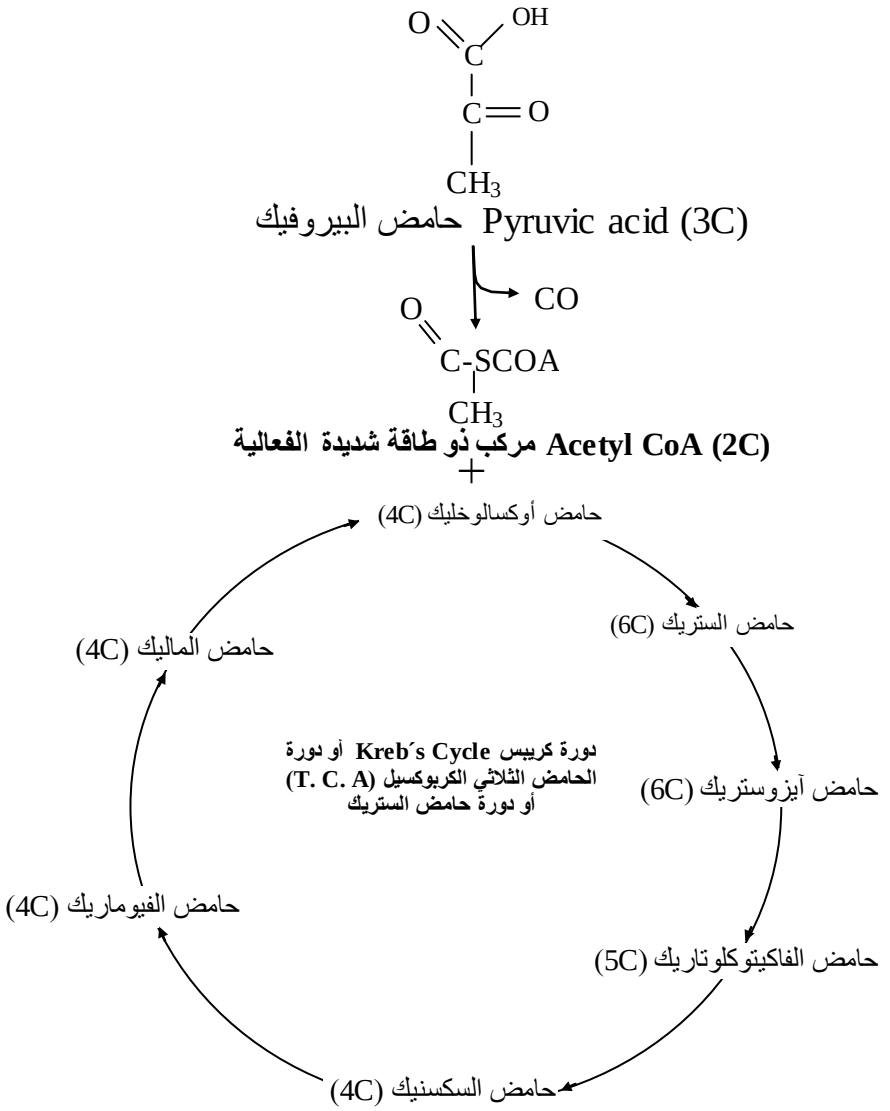
4- نواتجها غير سامة.

5- يحدث خلالها تأكسد (الكاربوهيدرات أو الأحماض العضوية.....إلخ) بصورة كاملة .

تفاعل الواصلة link reactions/ وفيها يتهدم حامض البايروفيك Pyruvate كليا داخل غشاء المايتوكوندريا الداخلي بسلسلة تفاعلات تبتدئ بانتزاع مجموعة الكاربوكسيل من حامض البايروفيك Pyruvate وتحويل ماتبقى من المركب إلى مركب ثنائي الكاربون يسمى Acetyl CoA

دورة كربس Krebs cycle:

ثم يتحد المركب Acetyl CoA مع حامض اكسالوخليك Oxaloacetate وهو حامض رباعي الكاربون ليتكون حامض سداسي الكاربون هو حامض الستريك Citrate وتستمر التفاعلات بشكل دائرة مقفلة كما موضح بالشكل أدناه علماً بأن حدوث هذه الدورة يتكرر عدة مرات من أجل إنتاج المزيد من الطاقة:



دورة كريبس Kreb´s Cycle أو دورة الحامض الثلاثي الكربوكسيل (T. C. A) أو دورة حامض الستريك

أطلق على هذه التفاعلات اسم دورة كريبس Krebs cycle نسبة إلى مكتشفها (العالم الانكليزي Krebs) غير أن Krebs نفسه يصر على تسميتها باسم دورة حامض الستريك Citric acid cycle بسبب تكون حامض الستريك Citric acid اول مركب في هذه الدورة أو يطلق عليها ايضاً اسم دورة الحامض الثلاثي الكربوكسيل Tricarboxylic acid cycle (T.C.A) بسبب احتواء الدورة على بعض الحوامض العضوية المحتوية ثلاث مجاميع كاربوكسيلية.

أهمية دورة كريبس:-

1- في حالة عدم تحول ال Suceinyl COA الى المركب Suceinic acid فان النبات يستغل المركب الاول في تكوين المركبات الحيوية للكائنات الحية مثل صبغات Porphyrin كالكلوروفيل وال Cytochromes وال Phytochromes و Phycobilines .

2- ان المركب(α ketoglutaricacid) قد يتحول الى الحامض الاميني Aspartic acid وبذلك تتكون البروتينات .

3- مصدر لتكوين القوة الاختزالية(NADH2) التي تفيد في تفاعلات بناء المواد الخلوية المهمة .

4- مصدر لتكوين الطاقة ATP بعملية الفسفرة التأكسدية .

-5

ب- سلسلة انتقال الالكترونات من المواد المختزلة إلى الأوكسجين Electron transport chain:

أن ذرات الهيدروجين الموجودة في مرافق الأنزيم $NADH_2$ أو المجموعة $FADH_2$ والناتجة من التحلل السكري glycolysis ودورة كريبس Krebs cycle لاتستطيع الاتحاد مباشرة مع الأوكسجين وتكوين الماء بل يجب أن تمر خلال سلسلة من التفاعلات قبل تكوين الماء وتسمى هذه السلسلة باسم سلسلة انتقال الالكترونات. ومن الطبيعي أن تنتقل الالكترونات من المواد ذات الطاقة الاختزالية الواطئة إلى المواد ذات الطاقة الاختزالية العالية أي العالية الألفة لكسب الالكترونات كالأوكسجين وقد تسمى هذه السلسلة من التفاعلات باسم نظام السايتوكروم Cytochromes system لقيام بروتينات السايتوكروم في نقل الالكترونات أو بإسم السلسلة التنفسية Respiratory chain لاشتراك الأوكسجين في اخذ الالكترونات من المركبات المختزلة.

جـ- إنتاج الطاقة بعملية الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation:

وهذه العملية تصاحب عملية سلسلة انتقال الالكترونات وخلالها يتم تخزين الطاقة المتحررة من التنفس بشكل مركبات غنية بالطاقة (ATP) ومفيدة للخلايا.

أن التفاعلات الخاصة بسلسلة انتقالات الالكترونات وإنتاج الطاقة متصلة اتصالاً وثيقاً مع دورة كريبس حتى أن بعض الباحثين لا يفصلها عنها وذلك لكونها تحدث في المايتوكوندريا وتحتاج إلى وجود الأوكسجين حالها حال دورة كريبس ويتكون خلال هذه التفاعلات حوالي 95% من مجمل ATP الناتجة أثناء مراحل التنفس الهوائي (36 ATP) ويتم تكوين ATP هذا من انتقال الالكترونات من المستقبلات الهيدروجينية , $FADH_2$ $NADH+ H^+$ التي تكونت أثناء عملية التحلل السكري ودورة كريبس، إذ تنتقل هذه الالكترونات الغنية بالطاقة بين مستقبلات الالكترونات ، وأثناء ذلك تتحول طاقة هذه الالكترونات إلى طاقة كيمياوية بصورة ATP فعند

تأكسد NADH إلى NAD فان الالكترونات المنطلقة تفقد من الطاقة ما يكفي لتكوين ثلاث جزيئات ATP أما عند تأكسد $FADH_2$ إلى FAD يفقد مقدار من الطاقة يكفي لتكوين جزيئتين من ATP.

يبلغ عدد جزيئات الـ ATP التي تتكون عند التأكسد التام لمول واحد من الكلوكوز في التنفس الهوائي إلى CO_2 و H_2O و 38ATP.

يوضح الجدول (جدول1) الطاقة الكلية الناتجة من جزيىء جلوكوز عند اكسدته اكسدة كاملة . حيث يتم انتاج عشرة جزيئات NADH وجزيئين $FADH_2$ واربعة جزيئات ATP . وعند الاخذ بالاعتبار انه ينتج3 جزيئات ATP لكل جزيئ NADH وجزيئين ATP لكل جزيئي$FADH_2$ وذلك في نظام نقل الالكترونات الموجود في اغشية المايتوكندريا ولذلك يوجد ناتج صاف هو 38 جزيئATP من الاكسدة الكاملة لجزيئ الجلوكوز. ينتج عن دوره تحلل الجلوكوز تكوين NADP وهذه تكون 2 جزيئ ATP وليست ثلاثة ولذلك فان صافي الناتج الكلي لاكسدة جزيئ جلوكوز واحد هو 36 جزيئ ATP فقط

الجدول (1): الناتج النهائي لاكسدة جزيئ جلوكوز واحد من NADH و $FADH_2$ و ATP.

الخطـوة	NADH او NADPH	$FADH_2$	ATP	صافي ATP
دورة تحلل الجلوكوز	2	صفر	2	8
تحول البيروفيك الى Acetyl CoA	2	صفر	صفر	6
دورة كريبس	6	2	2	24
المجموع	10	2	4	38

العوامل المؤثرة على التنفس :-

1- **التجويع** : النباتات المتجوعة التي تمتلك مخزوناً منخفضاً من النشأ والسكر تتنفس بمعدل واطئ نسبياً فاذا ماقل مخزون المصادر الكاربوهيراتية المتمثلة في المواد السكرية والنشوية، فأن الخلايا النباتية تبدأ بأكسدة المواد البروتينية وتحليلها الى الحوامض الامينية والتي تتحول فيما بعد الى المركبات المكونة لدورة كريبس والتخمر واذا مااستمر نقص المواد النشوية والسكر في النبات ، تبدأ الاوراق بالاصفرار وتتجزأ معظم البروتينات والمركبات النيتروجينية داخل البلاستيدات الخضراء .

2- **درجة الحرارة:** ان للحرارة تأثيرات واضحة على معظم التفاعلات البايولوجية وخاصة تلك التي تتحكم فيها الانزيمات (مابين درجة الصفر المئوي – 30مه) فكلما ارتفعت درجة الحرارة 10 درجات مئوية يتضاعف معدل التنفس. اما بعد درجة 30 درجة مئوية فالزيادة في درجات الحرارة لها تأثيرات سلبية ومؤذية على الخلية . ففي الدرجات العالية تتحول الانزيمات الى حالة غير فعالة وبذلك ينخفض معدل التنفس .

3- **الجروح والتأثيرات الميكانيكية والمرض** : الجروح التي تحصل للنباتات غالبا ماتسبب زيادة في سرعة التنفس ولكن السبب في هذه الزيادة لم يعرف لحد الان . وحتى الحك البسيط وانحناء الاوراق لبعض النباتات يسبب زيادة التنفس ، وهذه الزيادة تتراوح مابين 20 – 80 ٪ . كما ان اصابة النباتات بالامراض الفطرية غالباً ماتزيد من سرعة التنفس في أو قرب المناطق المصابة .

4- **الضوء** : الضوء يزيد من سرعة التنفس من خلال تأثير الضوء على تكوين السكريات في عملية التركيب الضوئي بالاضافة الى ان الضوء يسبب زيادة في تكوين حامض الكلايكول في البلاستيدات الخضراء . ان التأكسد السريع لهذا المركب يؤدي الى تحرير CO2 وامتصاص الاوكسجين .

5- **المحتوى المائي للخلية** : تحت ظروف قلة الرطوبة تنخفض عملية التنفس وبعض الفعاليات الحيوية الاخرى الى الحد الادنى ولكنها تستهلك كمية قليلة من O2 وتحرر كمية قليلة من CO2 وكمية صغيرة من الطاقة . ان الطاقة المتحررة تكون ضرورية للابقاء على حيوية البروتوبلازم لخلايا البذرة هذا مايحدث مع البذور الجافة لكن بمجرد اضافة كمية قليلة من الماء الى البذور تحدث عملية التشرب وتنتفخ البذور ويزداد معدل التنفس في خلاياها بصورة سريعة .

6- **الاوكسجين المتوفر** : يؤثر الاوكسجين بشكل كبير على المرحلتين الاخيرتين من مراحل التنفس وهي التي يحدث خلالها تكون 95 ٪ تقريباً من ال ATP بالاضافة الى تأثير قلة أو عدم وجود ال O2 والذي يؤدي الى تواجه النسيج النباتي للقيام بعملية التخمر والتي يكون مردودها اقل بكثير من التنفس الهوائي .

معامل التنفس (R.Q)The Respiration Quotient :-

ويمثل النسبة مابين حجم الاوكسجين المستهلك من قبل الخلية وثاني أوكسيد الكاربون المتحرر منها خلال عملية التنفس . ويفيد في معرفة نوعية المواد الغذائية المخزنة في الانسجة النباتية المختلفة.

$R.Q = CO_2 / O_2$

لقد درس معامل التنفس في كثير من الخلايا والانسجة الحية النباتية ففي البذور الغنية بالكاربوهيدرات لحبوب الحنطة والشعير يلاحظ ان R . Q. تعادل الواحد

$$C6H12O6 + 6\ O2 \rightarrow 6\ CO2 + 6\ H2O$$

$$R\ .Q = 6CO2 / 6O2$$

اما الانسجة الغنية بالدهون كبذور السمسم والكتان فأن R . Q يكون اقل من الواحد لان المواد التي تخزن البذور مختزلة الدهون.

$$C18H34O2 + 25.\ 5O2 \rightarrow 18CO2 + 17\ H2O$$

$$R.\ Q = 0.71$$

س/ ما هي المركبات الخازنة للطاقة التي تعمل خلال التنفس؟

مرافقات أنزيمية تنقل الهيدروجين

1- NADH : مختزل نيكوتين امايد ادنين ثنائي النيوكليوتيد.

2- FADH : مختزل فلافين ادنين ثنائي النيوكليوتيد .

حوامل للهيدروجين تنقل الهيدروجين

3- GTP : كوانوسين ثلاثي الفوسفات.

4- ATP : ادينوسين ثلاثي الفوسفات.

علماً بأنه تتحول جميع المركبات أعلاه عند تخزينها في الخلية النباتية إلى ATP لأنه الشكل الفعال في الخلية.

بالإضافة إلى ما سبق فإن الفسفرة التأكسدية التي تحدث خلال التنفس تختلف عن عملية الفسفرة الضوئية(Photophosphorylation) التي تحدث خلال عملية التركيب الضوئي في النقاط التالية:

ت	الفسفرة التأكسدية	ت	الفسفرة الضوئية
1	تحدث في المايتوكوندريا	1	تحدث أغشية الكرانا grana للكلوروبلاست (البلاستيدة الخضراء).
2	تحدث ليلا ونهارا	2	تحدث في النهار فقط
3	مصدر الالكترونات هو المواد المختزلة ويتكون فيها الماء	3	مصدر الالكترونات هو الماء ولذا تستهلك الماء

ملاحظات عامة عن التنفس :

التنفس = عمليات أكسدة + عمليات اختزال (أي أنه اي عملية أكسدة يقابلها عملية اختزال).

الأكسدة : تعني إزالة أو فقدان الالكترونات من المركب ، وهي تلازم أو ترافق إزالة الهيدروجين فمثلاً عند تأكسد NADH إلى NAD فان الالكترونات المنطلقة تفقد من الطاقة مايكفي لتكوين ثلاث جزيئات ATP ، أما عند تأكسد $FADH_2$ إلى FAD يفقد مقدار من الطاقة يكفي لتكوين جزيئتين من ATP .

الاختزال : تعني إضافة الكترونات للمركب وتكون هذه العملية مرتبطة بإضافة الهيدروجين .

تفهم عملية الأكسدة Oxydation على أنها إعطاء الكترونات

$$Fe^{+2} \longrightarrow Fe^{+3} + e^{-}$$

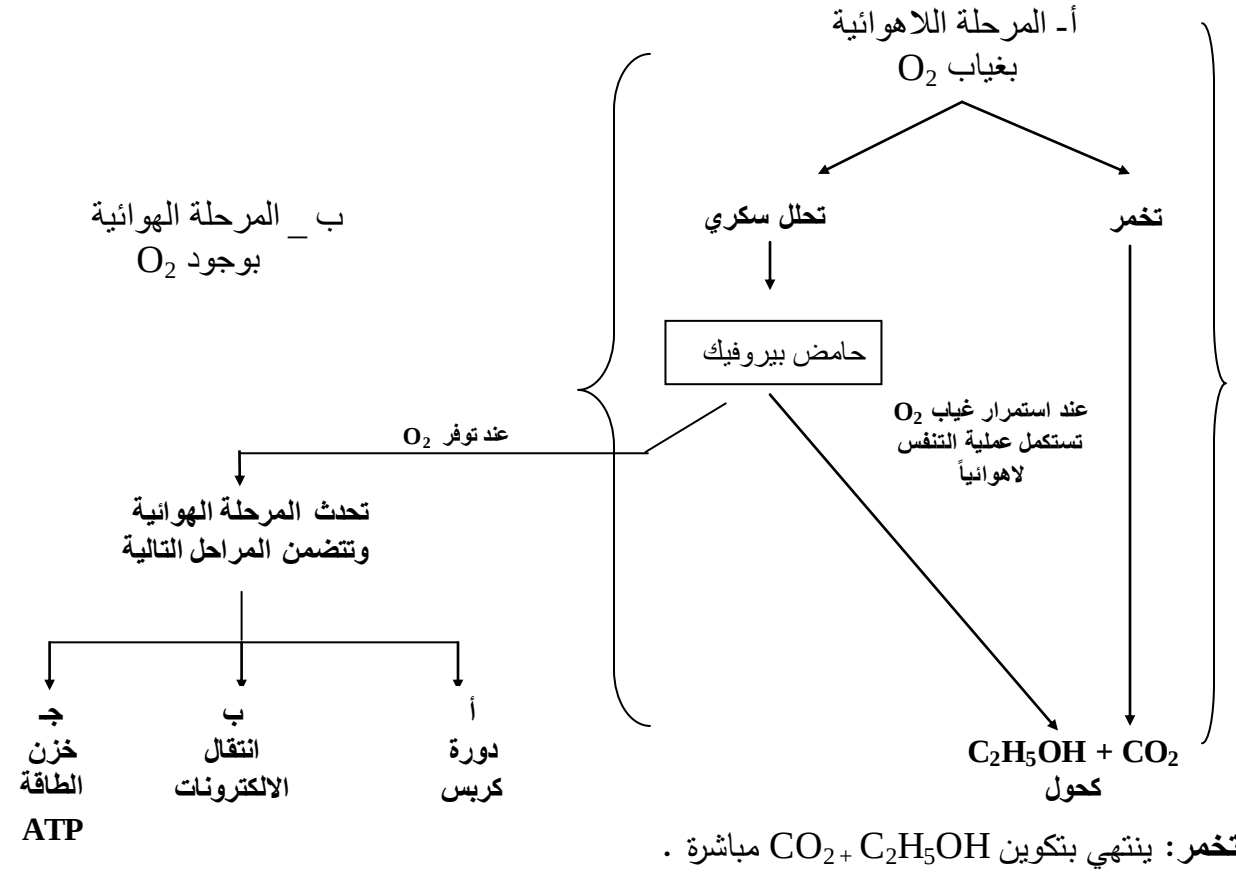
وعملية الاختزال على أنها اخذ أو امتصاص للالكترونات.

$$2e^- + O_2 \longrightarrow O^{-2}$$

ويجب توفر مستقبل ACCEPTER لمعطي (مانح) الالكترونات وهذا ما يعني أن كل أكسدة تشترط حدوث اختزال في نفس الوقت.

شكل (1):يوضح ميكانيكية التنفس الهوائي

التنفس الهوائي يتكون من مرحلتين هما: لا هوائية + هوائية



التخمر: ينتهي بتكوين $CO_2 + C_2H_5OH$ مباشرة .

التحلل السكري: ينتهي بتكوين $CO_2 + C_2H_5OH$ أيضاً وذلك في حالة استمرار غياب O_2ولكن بشكل غير مباشر وذلك بعد المرور بمرحلة وسطية يتكون خلالها حامض البايروفيك.

FAD Flavine adenine dinucleotide (oxidized form)
$FADH_2$ Flavine adenine dinucleotide (reduced form)
NAD^+ Nicotine amide adenine dinucleotide (oxidized form)
NADH Nicotine amide adenine dinucleotide (reduced form)
$NADP^+$ Nicotine amide adenine dinucleotide phosphate (oxidized form)
NADPH Nicotine amide adenine dinucleotide phosphate (reduced form)

س/ علل/ (ناقش) لايمكن أعتبار التنفس معكوس التركيب الضوئي للأسباب الآتية:

ج
1- أن موقع التفاعلات مختلفة بالنسبة للاثنين .
2- أن مواد التفاعل هي مختلفة بالنسبة للاثنين .

مقارنة بين التنفس والتركيب الضوئي

ت	التنفس	التركيب الضوئي
1	يستهلك O_2	يتحرر O_2
2	يتحرر CO_2	يستهلك CO_2
3	تحدث العملية ليلا ونهاراً	تحدث العملية بوجود الضوء فقط
4	الضوء غير ضروري للعملية	الضوء ضروري للعملية
5	أثناء التنفس تتحول الطاقة الكيمياوية الكامنة إلى طاقة حركية	أثناء التركيب الضوئي تتحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيمياوية كامنة
6	المواد الأولية للتفاعل هي الكلوكوز والأوكسجين	المواد الأولية للتفاعل هي CO_2 والماء
7	الكلوروفيل غير ضروري	الكلوروفيل ضروري
8	يحدث في السايتوبلازم والمايتوكوندريا	يحدث في الكلوروبلاست (البلاستيدات الخضراء)
9	تحرر طاقة	تمتص طاقة
10	تسبب قلة وزن النبات	تسبب زيادة وزن النبات
11	عملية هدمية	عملية بنائية
12	تحدث فيها عملية نزع CO_2 decarboxylation	تحدث فيها عملية إضافة CO_2 (carboxylation)
13	يخرج منها الماء	تتطلب الماء
14	أثناء هدم مول واحد من الكلوكوز يتحرر 38 مول ATP	أثناء تكون مول واحد من الكلوكوز تتطلب 18 مول ATP