الفصل الرابع : الطاقة من التنفس
Energy from respiration

يتوقف حدوث أغلب العمليات الحيوية فى الخلية على وجود الطاقة – بناء البروتين من الأحماض الأمينية – تكوين النشا من الجلوكوز – خلايا النبات تبنى جدر الخلايا . هذه الطاقة نحصل عليها من الغذاء الموجود فى الخلية ، وخاصة الجلوكوز وتسمى عملية الحصول على الطاقة من الجلوكوز (عملية التنفس) وهى عملية كيميائية تحدث فى الخلايا وتسمى بالتنفس الخلوى cellular respiration .

* التنفس الهوائى Aerobic respiration :

يتم فى وجود الأوكسجين الذى يتحد مع جزيئات الغذاء وتسمى هذه العملية بالأكسدة oxidation ، وكل جزيئات الغذاء تحتوى على الكربون والهيدروجين والأكسجين ، وعملية الأكسدة تحول الكربون إلى ثانى أكسيد الكربون والهيدروجين إلى الماء فى نفس الوقت ، وتنطلق طاقة حرة تستغلها الخلية فى تفاعلاتها ، ويمكن تمثيل عملية التنفس الهوائى بالمعادلة .

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \xrightarrow{\text{إنزيمات}} 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 2830\ KJ$$

جلوكوز أكسجين ثانى أكسيد الكربون ماء طاقة

* وكمية الطاقة الناتجة والتى تقدر بـ ٢٨٣٠كيلو جول ، نحصل عليها بالأكسدة التامة لـ١٨٠ جرام من الجلوكوز إلى ثانى أكسيد كربون وبخار ماء .

* والطاقة الناتجة من التفاعل لا تنطلق مرة واحدة كما يبدو من المعادلة ، لأن عملية الأكسدة تأخذ عدة خطوات بفعل الإنزيمات ، وكل خطوة من الخطوات يصاحبها انطلاق كمية من الطاقة ، وبعض من هذه الطاقة تظهر فى صورة حرارة .

* التنفس اللاهوائى Anaerobic respiration :

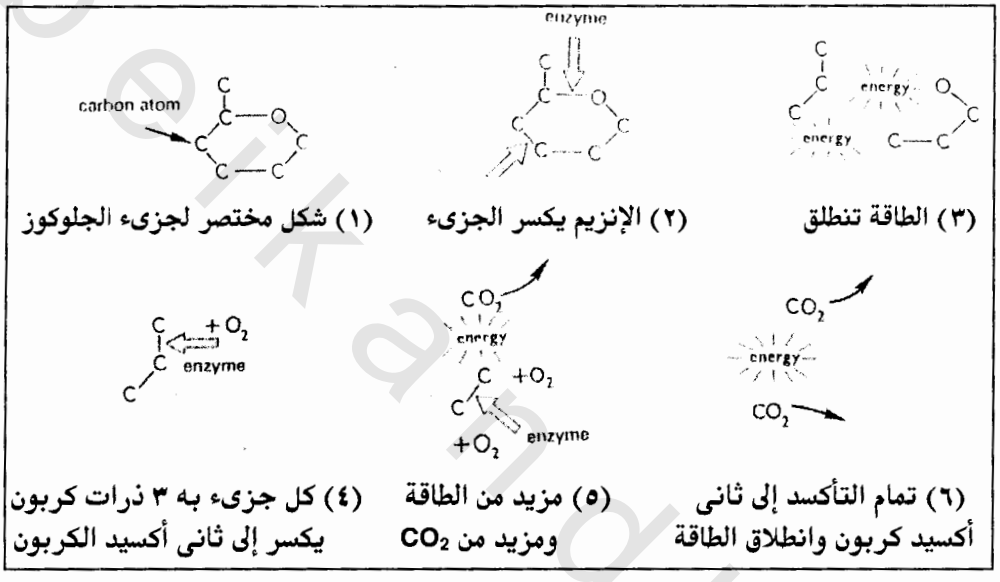
يتم ذلك فى غياب الأكسجين وتنطلق الطاقة بتكسير جزيئات الغذاء ، وينتج ثانى أكسيد الكربون ، والمثال الشائع فى هذا المجال هو تنفس فطر الخميرة Yeast فى المحلول السكرى والذى ينتج عنه كحول إيثيلى ، وتسمى بعملية التخمر Fermentation ، ويمكن تمثيل عملية التنفس اللاهوائى بالمعادلة .

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{إنزيمات}} 2\,C_2H_5OH + 2\,CO_2 + 118\ KJ\ .$$

جلوكوز — كحول إيثيلى

والتفاعل السابق يتم فى خطوات بسيطة بواسطة الإنزيمات وتستهلك الخميرة الطاقة فى النمو والنشاط الحيوى ، ونلاحظ أن كمية الطاقة الناتجة أقل كثيراً من التنفس الـهوائى ، ويرجع ذلك إلى أن الكحول الإيثيلى مازال يحتوى كمية كبيرة من الطاقة والتى تعجز الخميرة عن استخدامها .

* الطاقة المنطلقة من تكسير جزئ الجلوكوز :



(١) شكل مختصر لجزىء الجلوكوز — (٢) الإنزيم يكسر الجزىء — (٣) الطاقة تنطلق

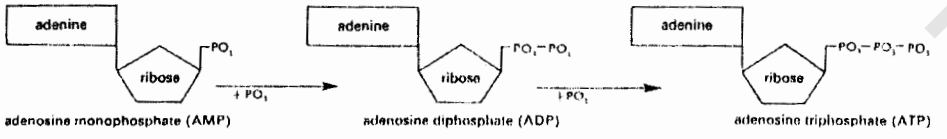
(٤) كل جزىء به ٣ ذرات كربون يكسر إلى ثانى أكسيد الكربون — (٥) مزيد من الطاقة ومزيد من CO_2 — (٦) تمام التأكسد إلى ثانى أكسيد كربون وانطلاق الطاقة

* انتقال الطاقة Energy transfer :

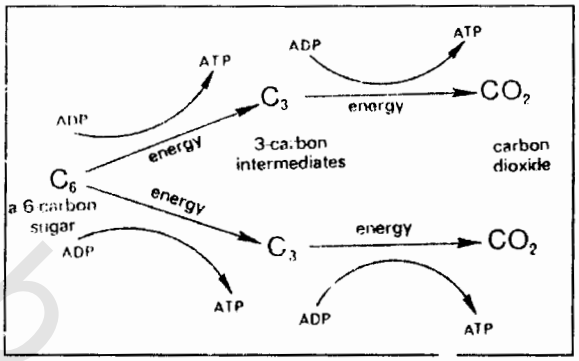
تنطلق الطاقة عند كسر جزىء الجلوكوز ، وتتحول إلى مركب كيميائى يمثل جزيئاً مخزنًا للطاقة .. وأحد هذه الجزيئات هو :

أدينوزين ثلاثى الفوسفات adenosine triphosphate (A.T.P) .

حيث تستخدم الطاقة فى اتحاد أيـون فوسـفات PO_3^{2-} ، مـع جـزىء أدينوزيـن ثنائى الفوسفات ADP ، لتكوين جزىء ATP.



أدينوزين أحادى الفوسفات AMP — أدينوزين ثنائى الفوسفات ADP — أدينوزين ثلاثى الفوسفات ATP



يوضح المخطط تحول ADP إلى ATP لتخزين الطاقة عندما تنطلق فى كل تفاعل مبتدئاً بكسر جزىء الجلوكوز (C_6) وتكوين جزيئين كل منهما (C_3) ، ثم التحول إلى CO_2 .

* التحول الغذائى (الأيض) Metabolism :

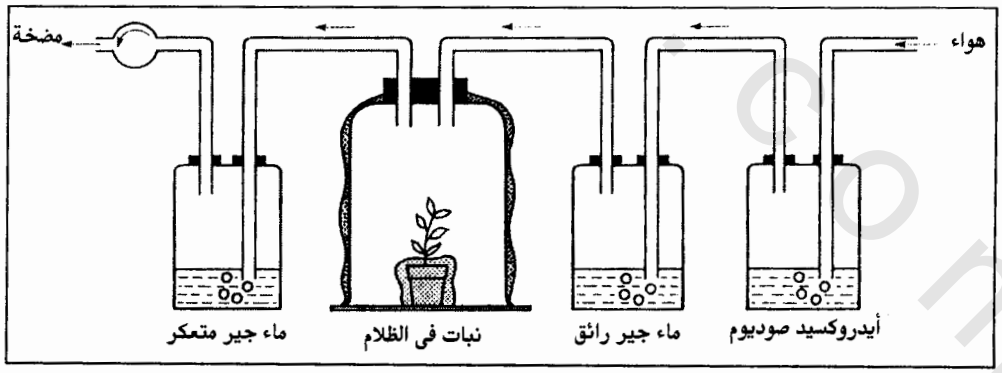
هو مجموعة التغيرات التى تحدث داخل الخلية أو داخل الكائن الحى ، وكمية الطاقة التى يحتاجها الكائن الحى ليستمر فى حياته بدون حركة أو نمو تسمى قاعدة الأيض . basal metabolism

ويشمل الأيض نوعين من العمليات هما :

* الهدم catabolism مثل التنفس .
* البناء anabolism مثل بناء البروتين .

وتنطلق الطاقة فى عمليات الهدم لتستغل فى عمليات البناء .

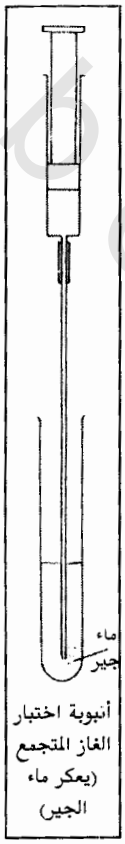
* إثبات انطلاق ثانى أكسيد الكربون فى عملية التنفس الهوائى :



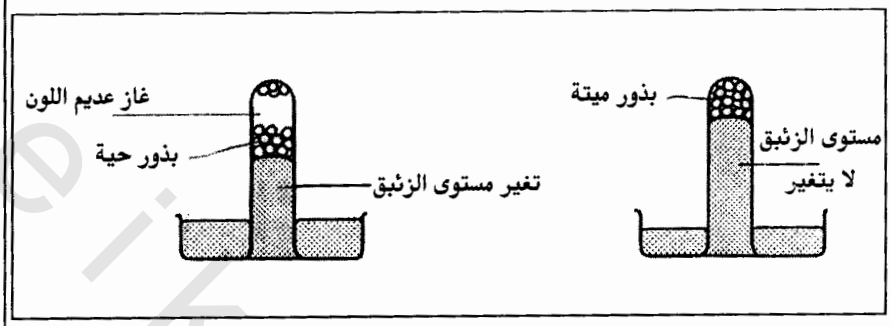
فى التجربة يمر الهواء على محلول أيدروكسيد الصوديوم الذى يمتص ثانى أكسيد الكربون ، ثم يمر على محلول ماء الجير الذى لا يتعكر ، لأن الهواء خال من ثانى

أكسيد الكربون ، ثم يدخل الهواء إلى ناقوس النبات النامى (فى الظلام) حتى لا يستهلك النبات ثانى أكسيد الكربون الناتج من التنفس فى البناء الضوئى - ثم يمر الهواء على ماء جير فيتعكر مما يثبت أن النبات يطلق ثانى أكسيد الكربون فى عملية التنفس .

* انطلاق ثانى أكسيد الكربون فى عملية التنفس اللاهوائى :



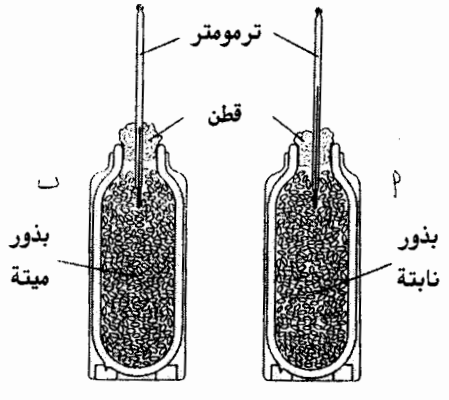
أنبوبة اختبار الغاز المتجمع (يعكر ماء الجير)



البذور النابتة الحية النامية فى الأنبوبة A ، تطلق ثانى أكسيد الكربون يدفع سطح الزئبق لأسفل ولا يحدث ذلك فى الأنبوبة B ، لوجود بذور ميتة ، ويمكن استخدام المحقن فى سحب الغاز المتكون والكشف عنه كما هو واضح فى الشكل ، فنجده يعكر ماء الجير .

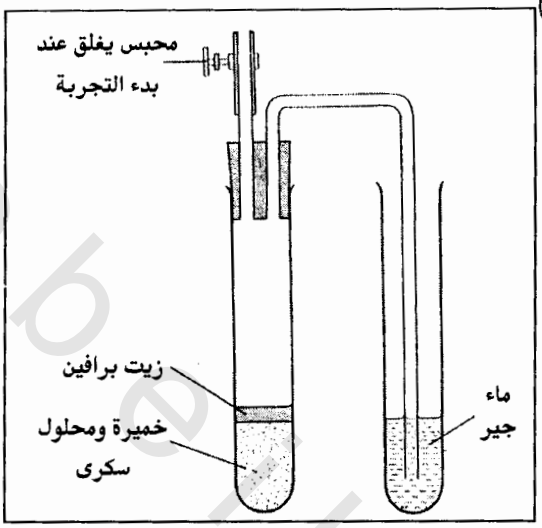
* انطلاق الطاقة الحرارية من البذور النابتة :

البذور النابتة داخل الترموس تتنفس لا هوائياً وتنطلق الطاقة ويسجل ذلك الترمومتر المنغمس مستودعة فى البذور ، بينما البذور الميتة داخل الترموس ب لا تسجل أى ارتفاع فى درجة الحرارة .



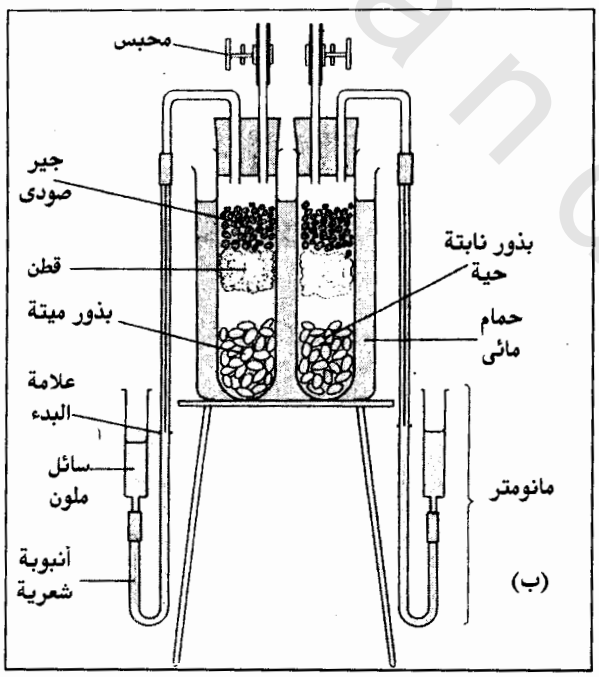
انطلاق الطاقة من البذور النابتة

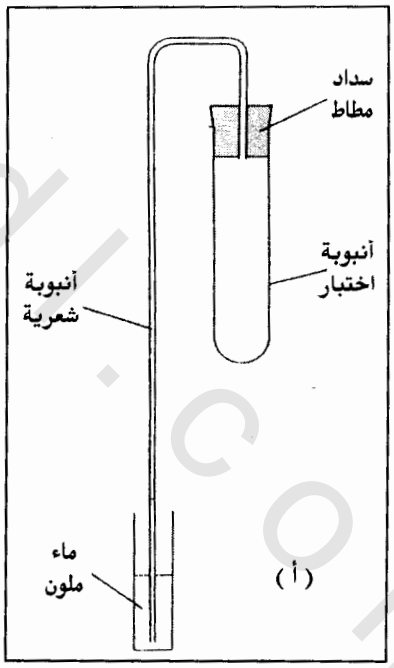
* التنفس اللاهوائى فى الخميرة :



عند تربية بعض من الخميرة فى محلول سكرى مخفف فى أنبوبة يحجبه عن الهواء طبقة من زيت البرافين كما فى التجربة ، نجد أن ماء الجير يتعكر بعد فترة دليلاً على انطلاق ثانى أكسيد الكربون من تنفس فطر الخميرة لاهوائيا .

* إثبات استهلاك الأكسجين أثناء التنفس :





الشكل (أ) يشرح فكرة قياس التنفس وقياس كمية الأكسجين ، وذلك بوضع البذور النابتة فى أنبوبة الاختبار وكمية الماء الملون المرتفع فى الأنبوبة الشعرية ،

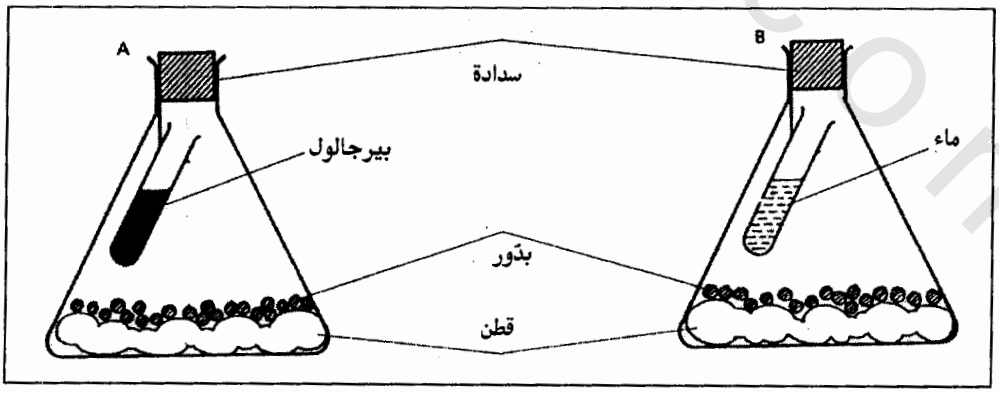
تحدد كمية الأكسجين المستخدم فى ٣٠ دقيقة مثلا . ولكن للتغلب على الصعوبات ، وأولـها أن كمية ثانى أكسيد الكربون المنطلق تساوى كمية الأكسجين المستخدم تقريبا وبالتالى لن يحدث تغير فـى الحجم ، فقد تم الاستعانة فى الجهاز (ب) بالجير الصودى الذى يمتص ثانى أكسيد الكربون من الهواء الذى يدخل إلى الأنبوبة المحتوية على بذور نابتة تم قتلها بالغليان للمقارنة بما يحدث فى أنبوبة الاختبار الأخرى التى تحتوى على بذور نابتة حية . وللتغلب على التغيرات التى يمكن أن تحدث نتيجة الحرارة الناتجة من تنفس البذور ، تم وضع الأنبوبتين فى حمام مائى ليحافظ على ثبات درجة الحرارة أثناء مدة إجراء التجربة والمقدر لها ٣٠ دقيقة – وزود مدخل الهواء فى الأنبوبتين بمحبس يتم إغلاقه عند بدء التجربة ، وبعد إجراء التجربة يرتفع السائل فى الأنبوبة الشعرية المتصلة بأنبوبة الاختبار وبها البذور الحية ، بينما لا يحدث تغير على الإطلاق فى الأنبوبة الأخرى .

* تجربة توضيح احتياج النبات إلى الأكسجين :

يوضع فى الدورق المخروطى بذور بازلاء حية نابتة فوق قطع من القطن ، وكذلك فى دورق أخر للمقارنة ، وتملأ أنبوبة صغيرة معلقة داخل الدورق بمحلول بيرجالول الذى يمتص الأكسجين من الهواء ، وفى دورق المقارنة يوضع فى الأنبوبة ماء ثم يترك الدورقين لمدة أسبوع .

يستمر إنبات البذور فى الدورق المحتوى على الأكسجين ، بينما يتوقف الإنبات فى الدورق المحتوى على محلول البيرجالول الذى يمتص الأكسجين .

يدل ذلك على أهمية الأكسجين للنبات فهو ضرورى لعملية الإنبات وكذلك ضرورى لعملية التنفس الهوائى .



* علاقة التنفس بالبناء الضوئى :

فى عمليتى التنفس والبناء الضوئى ، تنقل الإلكترونات النشطة وفى الحالتين ينتج مركب A.T.P أثناء عملية انتقال الإلكترونات .

فى البناء الضوئى يؤثر الضوء على الكلوروفيل ، ويصبح كلوروفيل منشطا قذف بإلكتروناته إلى مدار أعلى من مدارها ، وعند عودة هذه الإلكترونات تنتزع منها الطاقة لتثبت فى جزىء ATP ، كما أن بروتونات الهيدروجين تنزع من الماء وتدخل فى جزيئات عضوية مع إلكترونات الكلوروفيل لاختزال العامل الناقل NAD إلى NADH .

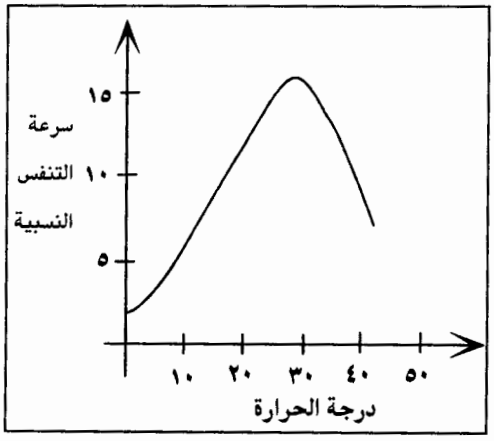
أما فى التنفس ، فإن الهيدروجين ينزع من الجزيئات العضوية وتتحول إلى ماء ويعطى الطاقة أثناء انتقاله مع عوامل ناقلة فى سلسة نقل الإلكترون

ونلاحظ هنا أن كل منهما عملية عكسية بالنسبة للأخرى .

فى البناء الضوئى	فى التنفس
نزع الهيدروجين من الماء لتكوين مركبات عضوية	نزع الهيدروجين من المركبات العضوية لتكوين الماء

* العوامل التى تؤثر فى معدل التنفس :

* درجة الحرارة :

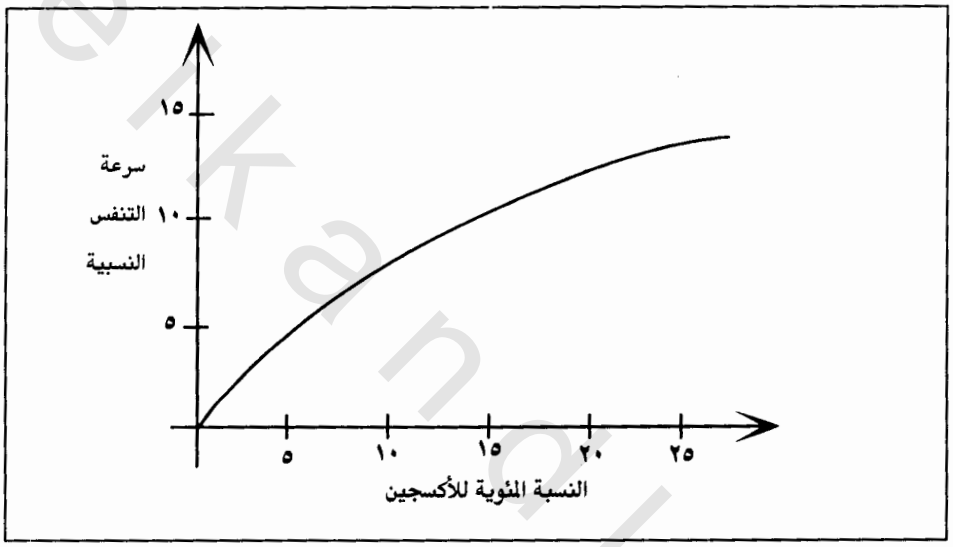


فى درجات الحرارة المنخفضة ، يكون معدل التنفس منخفضاً ، ويزداد المعدل تدريجيا بارتفاع درجة الحرارة حتى يصل إلى أعلى معدل بين ٣٠° م ، ٤٠° م ، وإذا تجاوزت درجة الحرارة ٤٠° م ، ينخفض معدل التنفس ، لأن الحرارة العالية تدمر الإنزيمات ، وقد استغلت ظاهرة انخفاض التنفس فى درجات الحرارة المنخفضة فى إطالة مدة حفظ الثمار والخضراوات .

* تركيز الأكسجين وثانى أكسيد الكربون :

عند نقص تركيز الأكسجين ، يتنفس النبات لاهوائيا مع التنفس الهوائى ، ويختلف تأثير تركيز الأكسجين على معدل التنفس من نبات لآخر وزيادة نسبة تركيز الأكسجين فى الجو تزيد من معدل التنفس فى النبات .

ويجب أن ندرك أن كل زيادة فى تركيز الأكسجين يتبعها زيادة فى سرعة تصاعد ثانى أكسيد الكربون ، وينخفض معدل التنفس إذا زاد تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الجو المحيط بالنبات .



* تركيز مادة التنفس (السكر) :

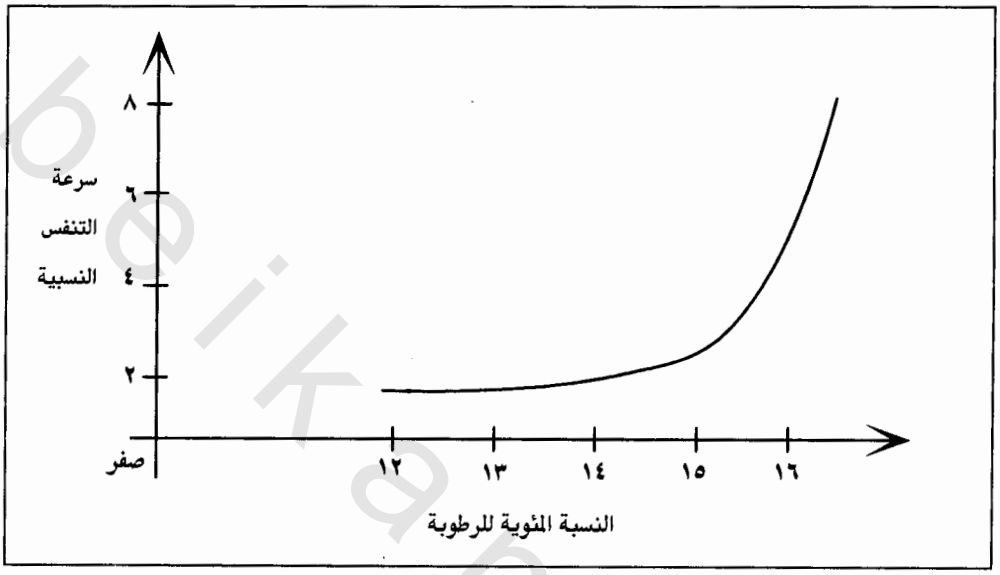
زيادة المواد الذائبة تزيد من معدل التنفس ، وثبت زيادة تنفس جذور البنجر والجزر ودرنات البطاطس عند غمرها فى محاليل السكريات ، وقيام الأوراق الخضراء المعرضة للضوء بالبناء الضوئى مدة كافية يزيد من تركيز مادة التنفس ، ويزيد من معدل تنفس هذه الأوراق فى الظلام .

* المحتوى المائى للأنسجة :

زيادة المحتوى المائى يسبب ارتفاعا فى معدل التنفس ، ولذلك يراعى حفظ البذور جافة بعيدة عن الرطوبة ، ويرجع تأثير زيادة المحتوى المائى على سرعة التنفس أن

الماء يساعد على تحول المادة الموجودة إلى مادة بسيطة يسهل أكسدتها كما يزيد من سرعة نفاذ الأكسجين وثانى أكسيد الكربون خلال الأغشية ويسرع من عمل الإنزيمات .

نسبة الزيادة فى معدل التنفس تبدأ تقل كلما اقتربت نسبة المحتوى المائى من درجة تشبع الأنسجة .



* الضـوء :

فى حالات الإضاءة الشديدة ترتفع درجة حرارة الأنسجة ، فيزداد معدل التنفس أى أن تأثير الضوء غير مباشر ، وذلك لصعوبة الحكم على التأثير المباشر للضوء .

obeikandl.com