

**التنفس الخلوي**



**إعداد الطالب/**

**التنفس الخلوي**

**عملية التنفس الخلوي**

تنفس خلوي بالإنجليزية Cellular respiration ، هو عملية إطلاق للطاقة الكامنة في بعض المواد العضوية كالجلوكوز مثلا ، من خلال تكسير الورابط القائمة بين الذارت المكونة لهذه المواد خصوصا ذرات الكربون ، وهذه الطاقة المنطلقة ضرورية لجميع الأنشطة الخلوية ، وتختلف عن هذا جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يتم التخلص منه بنقله من خلايا الجسم إلى العضو الذي يقوم بطرده إلى خارج الجسم.

**تعريف**

ينطوي التنفس لدى النباتات la respiration chez les vegetaux، كما هي الحال لدى الحيوانات، على امتصاص الأكسجين O2 وطرح غاز ثاني أكسيد الكربون CO2 ويمكن التأكد بسهولة من وجود هذه الظاهرة لدى النباتات غير اليخضورية، كالفطريات على سبيل المثال أو الدرنات أو الجذور أو البذور في بداية إنتاشها début de germination؛ حيث يكفي عندئذ وضع هذه الأعضاء في حيز مغلق وسحب عينات من الهواء المحيط بالأعضاء الحية المدروسة، وذلك في بدء التجربة وفي أثناء سيرها، وتحليل هذه العينات أو اللجوء إلى طريقة الهواء المتجدد، وذلك بإرسال تيار هوائي مستمر حول الأعضاء المستخدمة في التجربة وتحليل الهواء الداخل والخارج، وفي الحالتين يُلاحظ تناقص نسبة الأكسجين وازدياد نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون حول النبات. أما في النباتات اليخضورية المعرضة للضوء، فإن شدة التنفس تكون أضعف بكثير من شدة عملية التركيب الضوئي photosynthèse ولهذا فإن هذه الظاهرة الأخيرة تطغى على ظاهرة التنفس وتحجبها بحيث تبدو المحصلة وكأن عملية التنفس معكوسة، ولهذا يتوجب العمل في الظلمة لإظهار حجم المبادلات الغازية التنفسية وتقديرها في مثل هذه النباتات.

**الوظيفة التنفسية لدى النباتات**

يلاحظ، إضافة لما سبق، أن الوظيفة التنفسية لدى النباتات تترافق، كما هي الحال في المملكة الحيوانية، بتحرير كمية من الحرارة؛ وأن ارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط، في أغلب الحالات، تكون ضئيلة، غير أن الأمر يختلف حول البذور المنتشة، حيث يمكن أن ترتفع درجة الحرارة بحدود 20 درجة مئوية خلال سبعة أيام لدى وضع بذور البازلاء المنتشة في وعاء ذي جدران مضاعفة (أي ما يعادل 5 كيلو كالوري لكل غرام من المادة النباتية الحية) أما في حبوب القمح فإن الحرارة ترتفع بمعدل درجة مئوية واحدة لكل 10غ من الحبوب؛ إن مردود التفاعلات التنفسية في هذه الحالة ضعيف للغاية لأن 95٪ من الطاقة الناتجة تتحول إلى حرارة، ولهذا تتعرض مخازن الحبوب للاشتعال إذا بلغت الرطوبة حداً يكفي لحدوث عملية الإنتاش. ترتفع حرارة النباتات كذلك في مرحلة الإزهار la floraison إذ تفقد النباتات كمية كبيرة من الطاقة على شكل حرارة؛ وهكذا يمكن أن تصل درجة الحرارة بالقرب من أعضاء التكاثر في ازهرار نبات اللوف Arum المحاطة بالقنابة الملونة إلى 45 درجة مئوية، في حين لا تزيد درجة حرارة الوسط الخارجي على 15 درجة مئوية.

**شدة التنفس**

تتبدل شدة التنفس intensité respiratoire (معبراً عنها بحجم غاز ثاني أكسيد الكربون المطروح أو حجم الأكسجين الممتص في زمن محدد من قبل كمية محددة من المادة النباتية الحية) خلال مراحل حياة النبات المختلفة؛ حيث تكون مرتفعة في أثناء الإنتاش وتستقر في أثناء النمو الإعاشي لترتفع من جديد في مرحلة الإزهار. تلاحظ مثل هذه التبدلات عند قياس شدة التنفس في الأعضاء النباتية المختلفة فهي شديدة في النسج القسومة كالمريستيم والقُلْبْ Cambium وفي الأزهار، كما ترتفع شدة التنفس في المناطق المعرضة لجروح traumatiome وبخاصة بعد حدوث الجروح مباشرة وهذا ما يعرف «بتنفس النمو r.de croissance»، وتنخفض شدة التنفس في الأوراق والسوق وتسمى عملية التنفس في هذه الحالة «بتنفس الصيانة r.d’entretien».

**العوامل الخارجية**

تتأثر شدة التنفس ببعض العوامل الخارجية، وفي مقدمة ذلك نسبة الأكسجين في الجو إذ تزداد شدة التنفس بتزايد نسبة الأكسجين من صفر إلى 20٪ (علماً أن 20٪ هي القيمة المعادلة لنسبة الأكسجين في الهواء الجوي) أما في النسب الأعلى فإن شدة التنفس تبقى ثابتة إن لم تنخفض بعض الشيء. وتتأثر الأعضاء الهوائية أكثر لدى وصول نسبة الأكسجين إلى أقل من 9٪، في حين تتحمل الجذور انخفاض نسبة الأكسجين حتى 5٪، ومن هنا تأتي أهمية حراثة الأرض لتهويتها وظهور جذور هوائية لبعض الأنواع النباتية التي تحيا في مناطق المستنقعات مما يجنبها الاختناق. ويوضح ما سبق أهمية سقاية النباتات بمقادير محسوبة كي لا تتعرض الجذور للاختناق. أما العامل الخارجي الثاني فهو نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو؛ ذلك أن نسبة 15٪ من هذا الأخير تؤدي إلى إضعاف التنفس كثيراً (يستفاد من هذه الخاصية في حفظ الثمار) أما في الأجواء العادية فإن نسبة CO2 أقل من ذلك بكثير وهي من رتبة 0.03٪ ويعود الفضل في ذلك إلى عملية التركيب الضوئي التي تحد من تزايد نسبة CO2 في الجو الخارجي. إن تزايد درجة الحرارة ما بين الصفر و40م تؤدي إلى تنشيط التنفس، وتبلغ شدة التنفس حدها الأقصى بالدرجة 40م . أما في الدرجات الأعلى (50-60م) فيلاحظ هبوط فجائي لشدة التنفس؛ ذلك أن مثل هذه الدرجات تلحق أذى بالسيتوبلاسما لا يمكن إصلاحه. وينطبق ذلك على جميع الظواهر الحيوية، علماً أن الحرارة المثلى تتغير بحسب نوع النبات. وفيما يخص الضوء فقد تبين أنه يؤثر في التنفس، إلا أن هذا التأثير يبقى محدوداً. أما الأملاح المعدنية فإنها تنشط التنفس بصفة عامة وكذلك الحال لدى استخدام المخدرات بتراكيز منخفضة، أما في التركيز الأعلى فإن شدة التنفس تتناقص بوضوح، مما يؤدي إلى موت النبات. هناك بعض الغازات التي تنشط عملية التنفس كما هي الحال في غاز كالإيتلين والأستيلين كما أنها تسرع عملية نضج الثمار (حمضيات وموز)، وعلى العكس من ذلك فإن السيانور والزرنيخ وغاز الكربون تؤدي إلى تثبط التنفس.

**عملية الأكسدة الخلوية.**

إن نسبة حجم غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن عملية التنفس إلى نسبة الأكسجين الممتص في زمن محدد وفي نبات محدد تعرف بالمعادل التنفسي quotient respiratoire أو Q.R. إن دراسة هذا المعادل التنفسي تقدم معلومات مهمة عن طبيعة المركبات التي تتفكك في أثناء عملية الأكسدة الخلوية. والتجارب المجراة على بعض الفطريات العفنية مثل الستيريغماتوسيت الأسود stérigmatocystis nigra تبين مقدرتها على العيش بصورة أساسية على السكاكر glucides أو البروتيدات protides أو الشحوم lipides، وفي الدراسات الدقيقة التي تمت على هذا الفطر، وفي أوساط سكرية، تبين أن المعادل التنفسي يساوي Q.R =1 ويهبط هذا المعدل دون ذلك مع الشحوم المعروفة باسم غليسيريدات glycérides إذ تبين أنه بحدود 0.7 في حالة ثلاثي الزيتين trioléines وكذلك مع البروتيدات التي تحتاج إلى كمية أكبر من الأكسجين كي تتأكسد، أما في حالة الحموض العضوية الغنية بالأكسجين فإن المعادل التنفسي يرتفع لدى تحطم هذه الحموض إذ يلاحظ أن Q.R تساوي /1.33/ في حالة حمض التفاح acide malique.

وفي أثناء عملية الإنتاش في البذور الزيتية تُستهلك الشحوم المدخرة أولاً ويكون معامل التنفس منخفضاً للغاية (0.3-0.5) ويكون المعادل التنفسي أكبر من الواحد (Q.R > 1) عند تركيب هذه المواد الادخارية. أما خلال عملية نضج الثمار وتشكل الحموض العضوية فإن المعادل التنفسي يكون أقل من الواحد (Q.R < 1) غير أن هذا لا يستمر لأن تفكيك تلك الحموض سيرفع المعادل التنفسي مجدداً ليصبح أكبر من الواحد. إذا كان هناك إرجاع للنترات فإن الهدروجين المتحرر بفعل التنفس يتثبت على هذه الأخيرة دونما حاجة للأكسجين مما يؤدي إلى ارتفاع قيمة الـ Q.R. تسمح دراسة المعادل التنفسي بمتابعة الظواهر الكيمياوية على مستوى الخلية؛ مثل تحول السكاكر إلى حموض عضوية وكذلك إرجاع النترات وظهور عمليات تخمرية fermentaires.

إن الظواهر العميقة لعملية التنفس داخل الخلايا النباتية شديدة القرابة مع تلك التي تتم في الخلايا الحيوانية؛ ففي الحالتين يتم تفكيك المستقلبات métabolites تدريجياً مع تحرر الطاقة. إن آلية التفكيك أو تحلل المستقلبات هي غاية في التعقيد, ذلك أن الأكسدة لا تتحقق عن طريق تثبت الأكسجين إلا نادراً؛ فلو تم تقديم الأكسجين الغازي الموسوم بالنظير الثقيل o18O إلى كائن ما، لما عثر عليه في CO2 المنطلق وعلى العكس من ذلك فإن وسم المستقلبات كالسكاكر مثلاً بهذا النظير تجعله يظهر في غاز ثاني أكسيد الكربون المطروح C 18O2. ذلك أن أكسدة المستقلبات يمكن أن تتم بنزع الهدروجين déhydrogénation أو فقدان الالكترونات؛ وإن نزع الهدرجين وغاز ثاني أكسيد الكربون CO2 من الجزيئة عمليتان مترابطتان وتشكلان معاً ما يسمى بعملية نزع CO2 تأكسدية: décarboxylation oxidative ويتم ذلك بفضل أنزيمة من نمط décarboxylase فيما يتم تسريع نزع الهدرجين بأنزيمة من نمط ديهيدروجيناز déhydrogénase ويتم نقل الهدرجين المحرر إلى الأكسجين التنفسي بفضل سلسلة من النواقل لتحقق بذلك عمليات أكسدة وإرجاع oxydoréduction. والسلسلة طويلة عموماً ويتم في كل مرحلة من مراحل هذا المرور تحرير كمية من الطاقة التي يمكن إقتناصها. ويعتقد بأن الماء الأكسيجيني هو المركب المرحلي الذي يتشكل ويتفكك بسرعة كبيرة بمساعدة أنزيمة من نوع كاتالاز إلى ماء وأكسجين وتسمى هذه العملية كاتاليز Catalyse وتتم على النحو الآتي:

ليتراكم الهدروجين أبداً بكميات مهمة داخل المتعضيات organismes الأمر الذي يحول دون حدوث إشكالات خطيرة في عملية الاستقلاب. يتم في أغلب الحالات استخدام السكاكر أثناء عملية التنفس, فالنشاء الموجود في مدخرات الخلية يتحول إلى سكاكر بسيطة بمساعدة مجموعة من أنزيمات ألفا وبيتا أميلاز amylase a et b في النباتات الراقية والايزوأميلاز في الخمائر levures ولكن عملية الفوسفوروليز phosphorolyse تبدو الأكثر أهمية وهي تتم بمساعدة أنزيمة من نوع الفوسفوريلاز.

ذلك أن السكاكر البسيطة أو الآزوت oses تستخدم بشكلها المفسفر أثناء عملية التنفس، علماً أن الجزيئات التي لم تفسفر بهذه الطريقة سيتم فسفرتها قبل الدخول في أية تفاعلات استقلابية لاحقة، ويتطلب هذا الأمر وجود جزيئات الأدنيوزين ثلاثي الفوسفات أو A.T.P التي تتمتع بالمقدرة على التخلي عن بقايا حمض الفوسفور والطاقة بفضل أنزيمة من نمط هكزوكيناز hexokinases. سيتحول الغليكوز فوسفات، أياً كان مصدره، إلى فريكتوز 1-6 ثنائي فوسفات بمساعدة جزيئة ثانية من الـ A.T.P. وتدخل عدد من الأنزيمات. يتعرض الفريكتوز 1-6 ثنائي فوسفات إلى عملية قطع لتحولها إلى جزيئتي تريوز triose مفسفرتين، وتتحول هاتان الجزيئتان بدورهما لإعطاء ألدهيد الفوسفوغليسري. ويتحول هذا الأخير بوجود الأكسجين إلى حمض الفوسفوغليسيريك ثم حمض البيروفي (أو حمض الحصرم) مع إعادة تشكيل الـ A.T.P.

يدخل حمض البيروفي في جملة تفاعلات معروفة باسم حلقة كريبس cycle de Krebs فيتم تفكيك حمض البيروفي كلياً، وتشرح حلقة كريبس عملية أكسدة جذر الأستيل CH3-CO- الذي يدخل إلى الحلقة لتكوين مركبات سداسية ذرات الكربون (C6) كحمض الليمون acide citrique الذي يفقد شيئاً فشيئاً H2CO2 ليتحول إلى حمض الحماض الخلي الذي يحوي أربع ذرات كربون (C4)، بتأثير عدة أنزيمات وتترافق هذه التفاعلات بتشكيل الـ A.T.P. لوضعها تحت تصرف الخلية لتحقيق التفاعلات الضرورية لحياتها وهكذا توضع كميات جديدة من الطاقة التي كانت مخزنة في السكاكر تحت تصرف المادة الحية، ويتحقق كل ذلك تقريباً داخل الميتوكوندريات mitochondries التي تعد المكان الذي تتحقق فيه أغلب تفاعلات ظاهرة التنفس.

**أهمية التنفس الخلوي**

- الحصول على الطاقة من المركبات العضوية مثل الجلوكوز للقيام بالنشاطات الخلوية.

- الحفاظ على ثبات درجة حرارة الجسم.

- توفير الهيكل الكربوني لعملية البناء الضوئي.

- تحدث عمليات التنفس الخلوي في الميتوكندريا.

**آلية التنفس الخلوي**

يطلق على عملية تبادل الغازات التي تتم بين الخلية وبيئتها ، بعملية التنفس. ويصل الأكسجين اللازم لعملية حرق المادة الغذائية إلى الدم خلال الرئتين ، وأثناء التنفس يتمدد الصدر ويتدفق الهواء إلى الرئتين ذات الإمداد الغزير بالشعيرات الدموية ، فينتشر الأكسجين بسهولة خلال جدر الشعيرات الدموية الرقيقة جدا ، ويرتبط بالهيموجلوبين القابع داخل كريات الدم الحمراء ، والذي يوزع على الأنسجة بعملية الدوران ، وينتج غاز ثاني أكسيد الكربون من حرق المواد الغذائية في الأنسجة فيحمل بالدم حتى يصل إلى الرئتين فيترك الدم ويتم التخلص منه أثناء عملية الزفير ، أما نواتج الأكسدة الجانبية التي لا يحتاجها الجسم فتصل إلى الكليتين أيضا عن طريق الدم وتخرج في البول.