الباب التاسع عشر

عمليات التحول الغذائى

عمليات التحول الغذائى metabolism ينتج عنها تركيب المواد أو حرقها، والعملية الأولى هى عملية الأيض البنائى anabolism وفيها تتكون مركبات معقدة من مواد غام بسيطة والعملية الثانية هى عملية الأيض الهدمى katabolism وفيها تتكسر المركبات المعقدة إلى مركبات بسيطة مع انطلاق طاقة يستخدمها النبات فى كافة نشاطه الحيوى .والطاقة نوعان، طاقة كامنة potential energy وهى طاقة غير نشطه ، وطاقة حرة kinetic energy وهى طاقة نشطة .

البناء الضوئى :

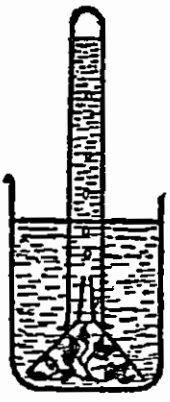
من أهم عمليات البناء التى تتم فى النبات الأخضر تلك التى تستخدم فيها الطاقة الشمسية فتتحول من طاقة حرة إلى طاقة كامنة وتتكون أثناء ذلك المواد الكربوأيدراتية وتعرف بالبناء الضوئى ، وأحيانا تسمى بالتمثيل الكربونى أو التمثيل الكلوروفيللى . ومن المعروف أن ضوء الشمس ليس ضوءا بسيطا فهو مكون من أطياف مختلفة ، الأحمر والبرتقالى والأصفر والأخضر والأزرق والنيلى والبنفسجى . وقد اختبر تأثير الأطياف المختلفة على عملية التمثيل فوجد العالم النباتى Engelmann أن أكثر الأطياف تأثيرا هما المنطقة من الأحمر حتى البرتقالى يليها من الأزرق حتى البنفسجى وأقلهم تأثيرا المنطقة الوسطى من الأصفر حتى الأخضر .

يحصل النبات على الماء من التربة أما ثانى أكسيد الكربون فيأخذه من الهواء الجوى ويعبر عن هذه العملية عادة بالمعادلة الآتية :—

$$٦\,ك_{٢}\,ا_{٢} + ٦\,ا_{٢}\,ا \xrightarrow[\text{الخلايا الخضراء}]{\text{٦٧٤ كجم سعر من الطاقة الاشعاعية}} ك_{٦}\,ا_{١٢}\,ا_{٦} + ٦\,ا_{٢}$$

أى أن تكوين جزء من سكر سداسى يتطلب ستة جزيئات من ثانى أكسيد الكربون وستة جزيئات من الماء وامتصاص كمية من الطاقة تبلغ ٦٧٤ كجم سعر هى نفسها تنطلق عندما يتفكك هذا الجزىء أثناء عملية التنفس ليستفيد النبات منها فى سائر عملياته .

ويمكن الاستدلال على قيام البناء الضوئى فى النباتات الخضراء باستخدام نبات مائى كالالوديا *Elodea* ، فيوضع فى كأس ويغمر فى ماء يحتوى على ثانى أكسيد الكربون أو بيكربونات البوتاسيوم ، ثم نضع قمع زجاجى مقلوب فوق النبات وينكس فوقه أنبوبة اختبار مملوءة بالماء (شكل ١٣٠) . يترك الجهاز معرضا لضوء الشمس، فيشاهد تصاعد فقاقيع غاز وتجمعها فى الأنبوبة المنكسة . بالكشف عن الغاز بشظية مشتعلة يمكن إثبات أن الغاز المتجمع هو الأكسوجين .



(شكل ١٣٠)
تجربة لإثبات تصاعد الأكسوجين أثناء عملية التمثيل الضوئى

وهناك آراء مختلفة حول الخطوات الوسطية لتكوين الجلوكوز ويعتقد أنه يسبق تكوين الجلوكوز ، تكوين الفورمالدهيد .

$$ك_{١}\ +\ بد_{٢}\ ا \longrightarrow يد_{٦}\ يد\ ا\ +\ ا_{٢}$$

$$٦\ بد\ ك\ بد\ ا \longrightarrow ك_{٦}\ بد_{١٢}\ ا_{٦}$$

أما الناتج الأولى لعملية التمثيل فيرى البعض أنه السكريات الأحادية ويرى البعض الآخر أنه السكريات الثنائية ويرى البعض أن النشا هو الناتج الأساسى لعملية التمثيل الضوئى . وعموما فقد لوحظ أن معظم أوراق النباتات ذات الفلقة الواحدة تحتوى على سكريات نتيجة لعملية التمثيل الضوئى وأن معظم أوراق النباتات ذات الفلقتين تحتوى على نشا نتيجة لهذه العملية ، ولذلك يتعين أن يتحول سكر الجلوكوز بعد تكوينه إلى سكريات أخرى أحادية السكر مثل الفركتوز والجالاكتوز والمانوز وبعد ذلك تبدأ عمليات تكاثف السكريات إلى كربوأيدرات ثنائية السكر مثل سكر القصب وسكر الشعير أوكربوأيدرات عديدة السكر مثل الدكسترينات والنشا والسليلوز .

ويمكن إثبات تكوين المواد الكربوايدراتية أثناء عملية التمثيل الضوئى وذلك بحفظ نبات جارودينا فى الظلام لمدة ٢٤ ساعة ثم توضع ورقة مفضضة على نصف ورقة نبات ثم يعرض النبات للشمس لبضعة ساعات ، بعد ذلك تنزع تلك الورقة من النبات وتغمر فى كأس به محلول ١٥٪ كحول ساخن لاستخلاص الكلوروفيل ، بعدها تبلل الورقة بمحلول اليود لمدة دقيقتان ، تغسل بعدها بالماء فيلاحظ تلون نصف الورقة الذى عرض للشمس بلون بنفسجى داكن دليلا على تكون النشا فى الجزء المعرض لضوء الشمس فقط .

يتضح مما سبق أنه لابد لاتمام عملية التمثيل الضوئى من توفر عدة عوامل خاصة وهى وجود ثانى أكسيد الكربون والماء والضوء والكلوروفيل والبروتوبلازم الحى زيادة عن توفر درجات حرارية ملائمة .

امتصاص النبات للعناصر :

يستمد النبات عناصره الغذائية من الهواء والتربة ، ولقد ثبت من تحليل النباتات الراقية الخضراء تحليلا كيميائيا أنها تحتوى على ٣٥ عنصراً توجد كلها فى رماد النباتات ماعدا عناصر الآزوت والكربون والايدروجين والأكسوجين فهذه تتطاير على شكل غاز عندما تحرق النباتات للحصول على رمادها .

وللكشف عن أهمية العناصر المختلفة للنباتات، تحضر مزرعتان مائيتان تحتوى إحداهما على أملاح جميع العناصر التى توجد فى النباتات المستعملة فى التجربة وتحتوى الأخرى على أملاح العناصر نفسها ما عدا العنصر الذى يراد الكشف عن أهميته للنبات .

فمن الطبيعى أن تنمو النباتات فى المزرعة التى تحتوى على جميع العناصر نموا عاديا أما النباتات التى توجد فى المزرعة ناقصة العناصر فان نموها يتوقف على مبلغ أهمية العنصر الغائب .

ولقد ثبت بالتجربة أن هناك عشرة عناصر أساسية لغذاء النبات وهى الكربون والأكسجين والايدروجين والآزوت والفوسفور والكبريت والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم والحديد .

أما باقى العناصر التى توجد فى رماد النباتات فبعضها ليس له أهمية كبيرة ، والبعض تحتاجها النباتات بكميات ضئيلة ولذلك يطلق عليها العناصر النادرة .

فوائد العناصر الضرورية للنبات :

الكربون والأيدروجين والأكسوجين :

هذه العناصر الثلاث تدخل فى تركيب المركبات العضوية بالنبات ، ويحصل عليها النبات من الجو فى صورة ثانى أكسيد الكربون ومن المحلول الغذائى فى صورة ماء . ويكون النبات منها المواد الكربوأيدراتية أثناء عملية التمثيل الضوئى كما سبق بيانه وتكون تلك المركبات العضوية التى يدخل فى تركيبها الكربون والايدروجين والأكسوجين حوالى ٩٥٪ من وزن النبات الجاف .

الآزوت :

يدخل الآزوت فى تكوين الأحماض الأمينية والمواد البروتينية كما يدخل فى تركيب الكلوروفيل . ولا يعتمد البروتين فى تكوينه على الطاقة الضوئية مباشرة ولكنه يعتمد على السكريات التى تنتج من عملية التمثيل الضوئى فى تكوينه . والطاقة التى تدخل فى تكوين البروتين يتحصل عليها النبات من تحليل بعض السكريات الى مواد أبسط منها وذلك أثناء عملية التنفس . ولذلك نجد أن تكوين البروتينات يتم غالبا فى الأوراق . ويحصل النبات على الآزوت فى صورة نترات مثل نترات الصوديوم ونترات البوتاسيوم ، أو فى صورة أملاح الأمونيوم ، مثل كبريتات الأمونيوم ، وبعض النباتات يستفيد من الآزوت الجوى مثل النباتات البقولية التى تعيش فى جذورها أنواع من البكتريا تسمى البكتريا العقدية ، والتى تقوم بتثبيت الآزوت الجوى الذى يحصل عليه النبات فيما بعد . ويسبب نقص الآزوت للنباتات قلة النمو الخضرى واصفرار فى لون الساق والأوراق .

الفوسفور :

يدخل الفوسفور فى تكوين البروتوبلازم ، فيدخل فى تركيب بروتين النواة ويكثر فى البذور والثمار ويقوم بدور هام فى عملية التنفس ، وكذلك فى تخزين الطاقة واستخدامها بعد ذلك فى التفاعلات الحيوية . ويحصل عليه النبات فى صورة فوسفاتات . ويسبب نقص عنصر الفوسفور فى النباتات صغر حجم النباتات مع قصر فى المسافات بين العقد وتلون الأوراق باللون الأخضر الغامق وتأخر فى نضج تلك النباتات .

الكبريت :

يدخل الكبريت فى تركيب بعض الأحماض الأمينية مثل الحمض الأمينى سيستين cystine كما أنه ضرورى لتكوين الكلوفيل والعقد البكتيرية ، ويساعد على نمو الجذور . يحصل النبات على الكبريت فى صورة كبريتات مثل كبريتات البوتاسيوم. يسبب نقص عنصر الكبريت ضعف النمو الخضرى للنباتات واصفرار الأوراق مع ظهور بقع حمراء .

البوتاسيوم :

يساعد البوتاسيوم على صنع المواد الكربوأيدراتية فى النباتات الخضراء وهو كذلك له أهمية خاصة لوفرة محاصيل الحبوب . كذلك يعمل البوتاسيوم على تكوين البروتين وبخاصة فى غياب الضوء ، ومن وعند تظهر حاجة البذور اليه لتكوين بروتينها . ويحصل عليه النبات فى صورة أملاح البوتاسيوم مثل كبريتات البوتاسيوم ويسبب نقص البوتاسيوم قصر فى النباتات ونقص فى تكوين الجذور الشعيرية والدرنات والحبوب ، كما يسبب ظهور تبقعات صفراء أو بنية مع موت مبكر للأوراق .

الكالسيوم :

يدخل الكالسيوم فى تركيب الصفيحة الوسطية middle lamella التى توجد بين الخلايا النباتية ، ومادتها تتكون أساسيا من بكتات الكالسيوم ، وهى مركب ناتج من اتحاد الكالسيوم مع البكتين وكذلك يتحد أيون الكالسيوم مع كثير من الأحماض الضارة مثل حامض الأوكساليك ليكون أوكسالات الكالسيوم وبذلك يزول أثرها الضار . كذلك يؤثر الكالسيوم فى نمو الجذور وتفرعها . ويحصل عليه النبات فى صورة أملاح الكالسيوم مثل فوسفات الكالسيوم . وتظهر أعراض نقصه على الأوراق الحديثة فتتجعد الأوراق وتلتوى وتموت الأطراف وحواف الأوراق ، كما يقل تكوين الجذور الثانوية وتضمر الجذور الأساسية .

المغنسيوم :

يدخل المغنسيوم فى تكوين الكلوروفيل ويساعد فى عمل بعض الانزيمات ، ويكثر وجوده فى البذور والأوراق ، ويحصل عليه النبات من أملاحه فى التربة . ويسبب نقصه اصفرارا فى الأوراق مبتدئا من الأوراق السفلى .

الحديد :

يدخل الحديد فى تركيب انزيمات التأكسد ، وله أهمية كبيرة فى تكوين الكاوروفيل ويحصل عليه النبات من أملاحه فى التربة ، ويسبب نقصه اصفرار لون الأوراق وخاصة بين العروق ، وتظهر أعراضه على النموات الحديثة .

أهميه العناصر النادرة للنبات :

أهم العناصر النادرة للنبـــات هى المنجنيز ـ والزنك ـ والبورون ـ والنحاس ـ والمولبدنم .

المنجنيز له أهمية فى عمليات التأكسد والاختزال ، ويسبب نقصه اصفرار الأوراق الحديثة ثم اسودادها . الزنك أهميته غير معروفة بالضبط ولكن لوحظ أن نقصـــه يسبب اصفرارا فى الأوراق بين العروق وصغر حجم الأوراق المتكونة فى بعض النبـاتات كما فى التفاح . البورون أهميته أيضا غير معروفة ، ولكن ينتج عن نقصه أن تلتوى الاوراق الحديثة وتصبح باهتة اللون . النحاس يعمل على تنشيط الانزيمات المؤكسدة ، وينتج عن نقصه ذبول الأوراق الحديثة واحتراق حوافها . المولبدنم ، أهميته غير معروفة بالضبط ويسبب نقصه تبقع أوراق الطاطم والتوائها .

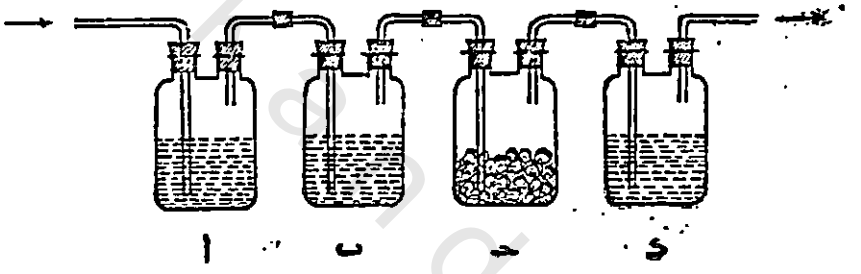
التنفس Respiration

عمليات التنفس فى النباتات هى العمليات الحيوية التى تؤدى إلى انطلاق الطاقة أى إلى تحويل الطـاقة الـكامنة إلى طاقة نشطة ، وأهم عمليات التنفس هى عمليـات أكسدة المواد الكربوايدراتية فالأكسوجين الذى يدخل إلى أنسجة النبـات عن طريق الثغر يتحـد مـع المواد العضـوية ، وخاصـة المواد الكربوايدراتية ، ويؤكسدها وتنطلق الطاقة الكامنة والتى امتصها الكلوروفيل من الضوء أثناء عملية التمثيل الضوئى . وتتلخص تلك العملية فى المعادلة الآتية :

$$\text{ج}_٦ \text{يد}_{١٢} \text{ا}_٦ + ٦ \text{ا}_٢ \longrightarrow ٦ \text{ج ا}_٢ + ٦ \text{يد}_٢ \text{ا} + ٦٧٤ \text{ كالورى}$$

يتضح من المعادلة السابقة أن النبات يأخذ الاكسوجين ويطرد ثانى أكسيد

الكربون أثناء التنفس الهوائى . ويمكن إثبات إنطلاق ثانى أكسيد الكربون أثناء عملية التنفس باحضار أربعة زجاجات وولف ، يوضع فى الزجاجة الأولى محلول من الصودا الكاوية وفى الزجاجة الثانية ماء الباريوم وفى الزجاجة الثالثة بعضا من حبوب الذرة السابق تنبيتها وفى الزجاجة الرابعة ماء الباريوم . تسد الزجاجات بسدادات محكمة تنفذ من فتحتى كل منها أنبوبة ، الأولى طويلة ومغمورة فى المحلول ، والثانية قصيرة تنتهى فوق سطح المحاليل ، توصل الأنابيب على التوالى ثم توصل الأنبوبة القصيرة من الزجاجة الرابعة بمضخة ماصة (شكل ١٣١) .



(شكل ١٣١) : تجربة لإثبات تصاعد ثانى اكسيد الكربون أثناء عملية التنفس

ا — زجاجة وولف بها محلول صودا كاوية ب — زجاجة بها ماء باريوم رائق
حـ — زجاجة بها حبوب ذرة نابتة و — زجاجة بها ماء باريوم متعكر

بتشغيل المضخة الماصة يمر تيار من الهواء الجوى خلال الزجاجات الأربعة ، فى الزجاجة الأولى تمتص الصودا الكاوية ثانى أكسيد الكربون من الهواء الجوى ، يمر الهواء الجوى الخالى من ثانى أكسيد الكربون خلال الزجاجة الثانية فلا يتعكر ماء الباريوم ، يمر الهواء بعد ذلك خلال الزجاجة الثالثة ويخرج منها إلى الزجاجة الرابعة فنجد أن ماء الباريوم قد تعكر دليلا على احتواء الهواء الخارج من الزجاجة الثالثة على ثانى أكسيد الكربون الناتج من نفس حبوب الذرة بها .

تتأثر عملية التنفس بدرجات الحرارة فيزداد سرعتها مع ارتفاع درجات الحرارة وذلك حتى درجة معينة ، وهى الدرجة التى تؤثر تأثيراً ضاراً على المحتويات الحية للخلية . كما تتأثر عملية التنفس بدرجة حيوية النبات أو الجزء النباتى فالبذور النابتة تتنفس أسرع من النباتات الناضجة ، والأخيرة تتنفس أسرع من البذور الجافة الساكنة .

يستخدم النبات الطاقة المنطلقة أثناء عملية التنفس فى تأدية وظائفه الحيوية المختلفة ويظهر أثر ذلك فى صور مختلفة منها :

١ — الحركة : ومن أشكالها حركة البروتوبلازم فى الخلايا وانتقال المحاليل الغذائية من خلية إلى أخرى وحركة النبات أثناء النمو ، ورفع الريشة وأحيانا الفلقات للتربة واختراق الجذير ثم الجذر للتربة ،

٢ — الحرارة : بعض الطاقة المنطلقة أثناء التنفس تكون على هيئة طاقة حرارية تنشط العمليات الكيماوية .

٣ — البناء : بعض الطاقة المنطلقة فى عمليات التنفس تستعمل لبناء مركبات كالدهون والبروتينات .

فى بعض الحالات قد يتم التنفس فى غياب الأكسوجين ويطلق على التنفس فى هذه الحالة تنفس لا هوائى anaerobic respiration وهو يشبه إلى حد كبير عمليات التخمر الكحولى ، وينطلق أثناء التنفس اللاهوائى طاقة تقل كثيراً عن الطاقة التى تنطلق فى حالة التنفس الهوائى ، فينطلق فى حالة التنفس اللاهوائى ٢٤ — ٢٨ كالورى مقابل ٦٧٤ كالورى فى حالة التنفس الهوائى .

ويمكن تلخيص عملية التنفس اللاهوائى بالمعادلة الآتية :

$$ك_{٦}\,ند_{١٢}\,ا_{٦} \longrightarrow ٢\,ك_{٢}\,ند_{٥}\,ا\,ند + ٢\,ك\,ا_{٢} + ٢٤ - ٢٨ \text{ كالورى}$$

ويمكن توضيح عملية التنفس اللاهوائى بتنبيت بعض بذور البسلة ثم وضعها فى أنبوبة إختبار ممتلئة بالزئبق ومنكسة فى حوض به زئبق . بعد بضعة أيام يلاحظ إنخفاض الزئبق فى الأنبوبة لتجمع غاز بها ، بإدخال قليل من البوتاسا الكاوية داخل الأنبوبة بواسطة قطارة يلاحظ ارتفاع الزئبق ثانية دليلا على أن الغاز المتكون هو ثانى أكسيد الكربون وأن البذور النابتة تنفست فى غياب الهواء .

obeikandl.com