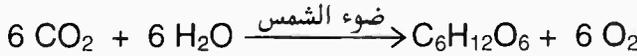


الفصل الثالث : البناء الضوئي

Photosynthesis

تحتاج جميع الكائنات الحية إلى الغذاء ، حيث أنه يمثل مصدراً للمواد الخام الضرورية لبناء الخلايا والأنسجة الجديدة أثناء النمو ، وكذلك يمثل الغذاء مصدراً للطاقة ، ويعتبر الغذاء نوعاً من الوقود الضروري لقيادة العمليات الحيوية الأساسية .

والنبات يحصل على المواد الخام الضرورية من التربة والبيئة ، حيث يحصل من الهواء على ثاني أكسيد الكربون ، ومن التربة على الماء والأملاح المعدنية ، ويحصل على الطاقة الضوئية ، ومن هذه المواد الخام يبني الغذاء الكربوهيدراتي ممثلاً في سكر الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$ ويعتبر ثاني أكسيد الكربون هو مصدر الكربون والأكسجين في جزيء الجلوكوز ، والماء H_2O مصدر الهيدروجين في نفس الجزيء ، ويعتبر الجلوكوز هو المادة الغذائية الأساسية التي تتكون في عملية البناء الضوئي ، ويمكن أن يتحول جزء منها إلى البروتين بتأثير عنصر النيتروجين . والكبريت الذي يحصل عليه النبات من التربة ويتحول جزء من الجلوكوز إلى مركبات كربوهيدراتية أكثر تعقيداً ومنها النشا والسليلوز ، ويتحول جزء ثالث من الجلوكوز إلى مواد دهنية . وعملية تحول المركبات البسيطة إلى مركبات أكثر تعقيداً تسمى عملية تخليق *Synthesis* ، وتحتاج إلى الإنزيمات والطاقة حتى تتم . والإنزيمات توجد في سيتوبلازم الخلية ، والطاقة تأتي من ضوء الشمس ، ويلعب الكلوروفيل في أوراق النبات الخضراء دوراً مهماً في امتصاص الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية لاستكمال تفاعل البناء الضوئي ، ويمكن إيجاز المعادلة الكيميائية للبناء الضوئي فيما يلي :



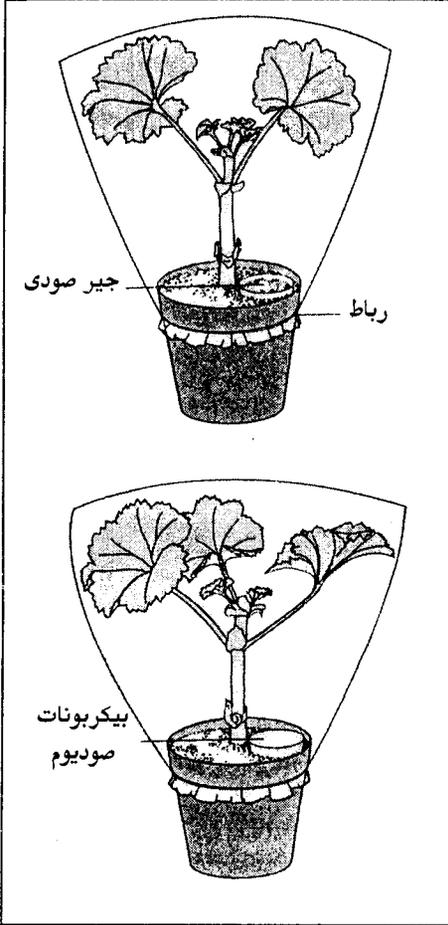
أكسجين + جلوكوز $\xrightarrow{\text{ضوء الشمس}}$ ماء + ثاني أكسيد كربون

وحتى تتم عملية البناء الضوئي لابد من توافر أربعة شروط وهي :

الضوء وثاني أكسيد الكربون والكلوروفيل والماء .

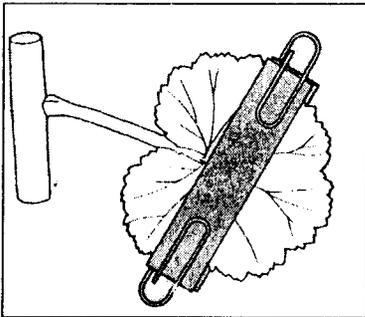
ويمكن إثبات أهمية كل شرط من هذه الشروط عمليا ، وذلك من خلال تجربة مقارنة بين نباتين أحدهما تتوافر له الشروط الأربعة والآخر ينقصه أحد الشروط ويتم الاستدلال على قيام النبات بعملية البناء الضوئي بالكشف عن النشا في الورقة باللون الأزرق ، وقبل بداية التجربة نجعل النبات ناميا في الظلام لفترة حتى يستهلك ما به من نشا ، ثم نجرى التجارب على النحو التالي :

* أهمية وجود ثاني أكسيد الكربون :



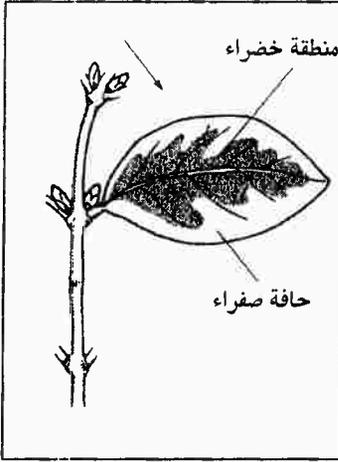
النبات النامى فى الأصيلص يقوم بالبناء الضوئى ، ويستهلك ثانى أكسيد الكربون من الجو فإذا أحيط النبات بغطاء شفاف محكم من حوله ووضع داخل الأصيلص وعاء به كمية من الجير الصودى الذى يمتص ثانى أكسيد الكربون وعرضت هذه التجربة للضوء ، وتم الكشف عن النشا فى الأوراق الخضراء ، نجد أن النبات عجز عن القيام بالبناء الضوئى لعدم وجود ثانى أكسيد الكربون فى الجو المحيط به داخل غطاء البلاستيك ، وإذا أجريت نفس التجربة باستخدام وعاء به بيكربونات الصوديوم بدلا من الجير الصودى (تعتبر بيكربونات الصوديوم مصدرا لثانى أكسيد الكربون داخل الغطاء الشفاف) ، نجد أن النبات يقوم بالبناء الضوئى .

* أهمية وجود الضوء :



عند تغطية أى جزء من ورقة النبات الخضراء وهى فى مكانها على النبات وترك النبات معرضا للضوء (عدا المنطقة المغطاة) ، فإن إجراء تجربة الكشف عن النشا فى هذه الورقة

سيسفر عن تكون النشا فى الورقة ماعدا المنطقة المغطاة مما يثبت أهمية الضوء فى عملية البناء الضوئى .

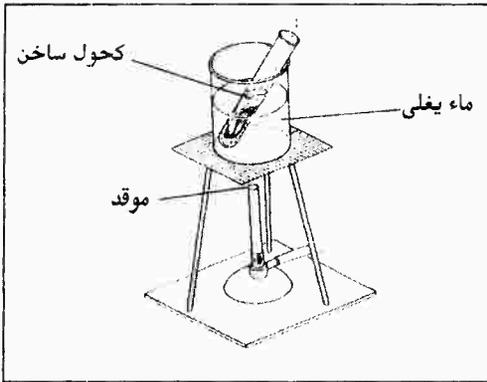


• أهمية وجود الكلوروفيل :

بعض النباتات ذات أوراق خضراء حوافها خالية من الكلوروفيل مثل نبات الدورنتا المزركشة ، وبالكشف عن تكون النشا فى هذه الأوراق ، نجد أنه يتكون فى المناطق الخضراء ولا يتكون فى المناطق الخالية من الكلوروفيل .

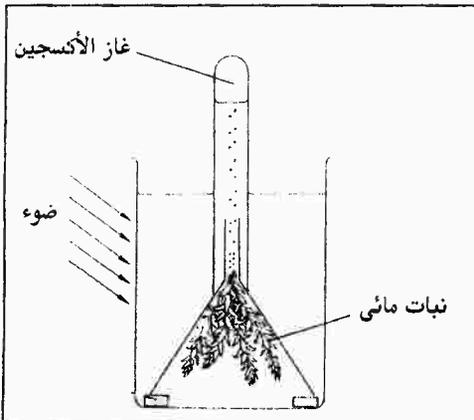
ثم نأتى إلى التأكد من نتيجة عملية البناء الضوئى :

• البناء الضوئى ينتج عنه تكون النشا فى الأوراق :



نزع الأوراق النباتية التى عرضت للضوء ووضعتها فى أنبوبة بها كحول والأنبوبة فى حمام مائى والتسخين حتى يتم قتل المادة الحية فى الورقة بتأثير الحرارة وإذابة الكلوروفيل بتأثير الكحول الساخن - ثم ترفع الورقة ويوضع عليها قطرات من محلول اليود فتتكون مناطق زرقاء دليل وجود النشا .

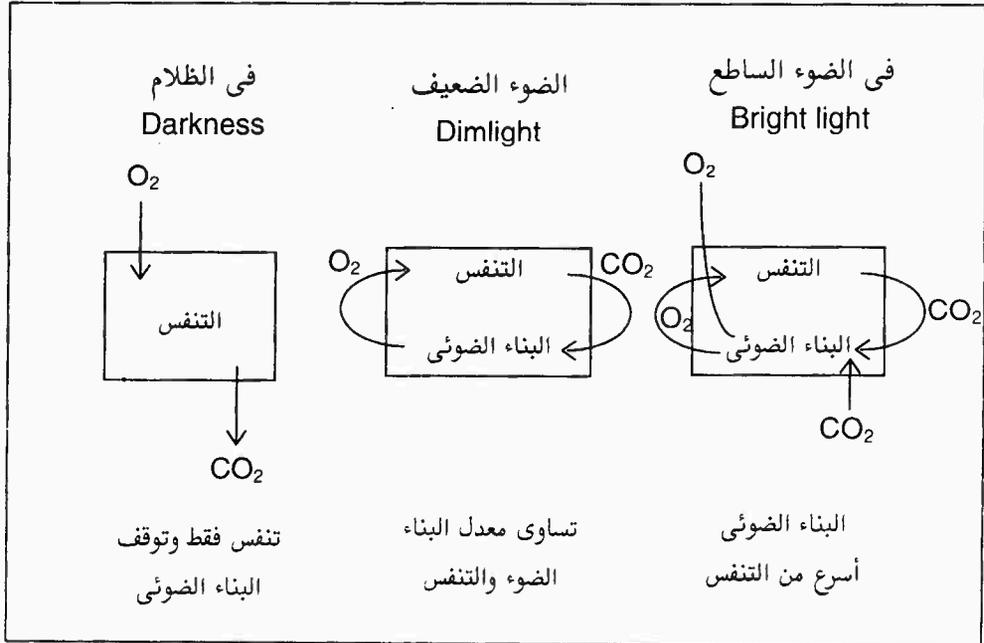
• البناء الضوئى ينتج عنه غاز الأكسجين :



نبات الألويا المائى الأخضر تحت القمع فى التجربة الموضحة يستمد ثانى أكسيد الكربون من الماء المحتوى على بيكربونات الصوديوم ، ويمتص الضوء ويقوم بالبناء الضوئى ويطلق غاز الأكسجين فى صورة فقاعات تتجمع فى أعلى الأنبوبة .

* التبادل الغازى فى النباتات Gaseous exchange in plants :

يحتوى الهواء على غازات النيتروجين والأكسجين وثنائى أكسيد الكربون وبخار الماء ، والنباتات والحيوانات تحصل على هذه الغازات وتطردها ويسمى ذلك بالتبادل الغازى .. فى ضوء النهار تحدث عملية البناء الضوئى فى الأوراق الخضراء ، ويحصل النبات على ثنائى أكسيد الكربون ، ويترد الأكسجين (وهذه العملية هى عكس ما يحدث فى عملية التنفس) ، ولذلك يجب ألا نعتقد أن النبات لا يتنفس أثناء البناء الضوئى .. فعملية التنفس عملية مستمرة نهارا وليلا يحصل فيها النبات على الأكسجين ويترد ثنائى أكسيد الكربون ، ولذلك يستخدم النبات فى ضوء النهار كل ثنائى أكسيد الكربون الناتج من عملية التنفس فى البناء الضوئى ، وكذلك كل ما يحتاج النبات من أكسجين فى عملية التنفس ، ويحصل عليه من الأكسجين الناتج من البناء الضوئى والزائد من الأكسجين ينطلق فى الهواء وفى الليل تستمر عملية التنفس ، بينما تتوقف عملية البناء الضوئى .



* الكلوروفيل Chlorophyll :

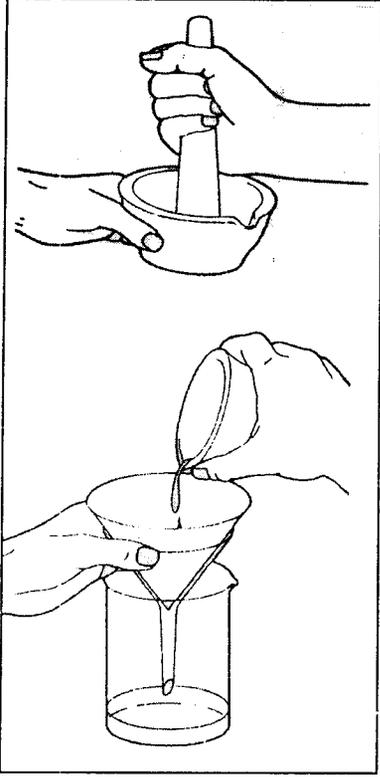
مركب عضوى مُعقد يحتوى على الماغنسيوم وهو مادة خضراء اللون يعرف بالصيغ الأخضر ، ويمثل جزيئه أعجوبة فى عملية البناء الضوئى . ويمكن استخراج الكلوروفيل من ورقة النبات وعمل محلول له .

- اقطع بعض أوراق النبات الخضراء ومزقها إلى قطع صغيرة .

- اسحق الأوراق فى هاون مع كمية قليلة من الرمل (احتكاك الرمل يساعد على السحق)

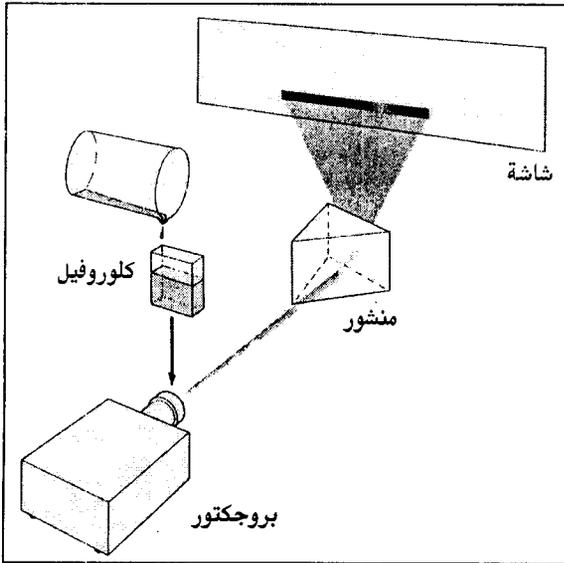
- أذب المسحوق فى كحول إيثيلى أو أسيتون ثم رشح المحلول فى كأس .

- أضف قليلا من الماء إلى المحلول حتى يقل تركيزه .



* أثر الكلوروفيل على الضوء :

الضوء الأبيض وهو ضوء الشمس يتكون من ألوان الطيف ذات الطول الموجى المختلف ، والتي نشاهدها فى قوس قزح ، أو عند مرور الضوء فى المنشور الضوئى - وعندما يمر الضوء فى الكلوروفيل ثم يمر فى المنشور ، تختفى بعض ألوان الطيف وهى الأزرق والأحمر ، واختفاء اللونين يرجع إلى امتصاص الكلوروفيل لهما والألوان الأخرى



خاصة الأخضر تنعكس ويفسر ذلك لنا رؤيتنا لأوراق النبات باللون الأخضر .

* الألوان المستخدمة فى البناء الضوئى :

يمتص الكلوروفيل الضوء الأزرق والأحمر مما يدل على استخدامهما فى عملية البناء الضوئى ، ويمكن التأكد من ذلك بقياس حجم الأكسجين الناتج فى وقت محدد أو كمية النشا المتكونة عندما يقوم النبات بالبناء الضوئى تحت تأثير كل لون من ألوان الطيف على حدة ، وهذه التجربة أوضحت أن أفضل ألوان الطيف هى الأزرق والأحمر وأن النبات الذى يمنع عنه هذين اللونين لا يقوم بالبناء الضوئى .

* أصباغ أخرى :

بجانب الكلوروفيل توجد أصباغ أخرى فى أوراق النبات ويمكن فصل هذه الأصباغ بعملية الفصل الكروماتوجرافى Chromatography ، فإلى جانب الكلوروفيل هناك الأصباغ الصفراء والرمادية .

وفصل هذه الأصباغ يسهل معرفة تأثير كل منها فى البناء الضوئى وقد ثبت أن كل الأصباغ لها دور فى البناء الضوئى ، ولكن الدور الرئيسى للكلوروفيل فى الطحالب البنية التى تحتوى على الصيغ البنى المسمى فيكوزانثين Fucoxanthin ، إلى جانب الكلوروفيل ، وكذلك الطحالب الحمراء إلا أن النباتات التى تحتوى على صبغ الأنثوسيانين anthocyanin القرنفلية التى تعطى الأزهار والثمار ألوانها ، ليس لها دور فى البناء الضوئى .

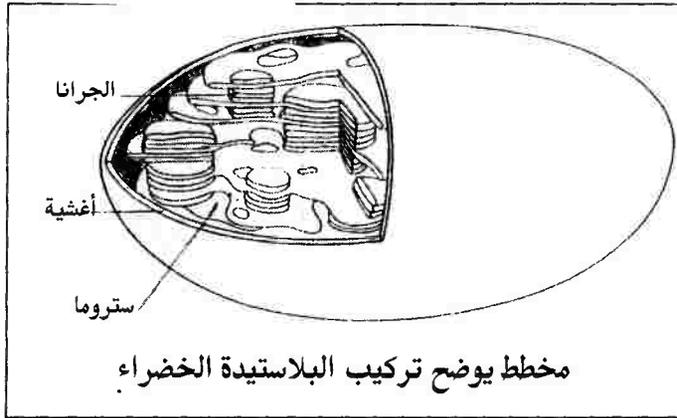
* البلاستيدات الخضراء Chloroplast :

تحتوى خلايا أوراق النبات على أجسام خضراء صغيرة تسمى البلاستيدات تنتشر فى السيتوبلازم كل منها يمتلئ بالكلوروفيل ، وفى هذه الأجسام تتم عملية البناء الضوئى ويتكون النشا .

والبلاستيدات أجسام متناهية فى الصغر لدرجة أن النقطة التى يسجلها القلم تمثل تجمعاً لحوالى ١٠٠٠٠ بلاستيدة ، ولذلك لا ترى إلا تحت المجهر الضوئى كما أن تركيبها الدقيق لا يرى إلا بواسطة المجهر الإلكتروني .

وتظهر البلاستيدة تحت المجهر الإلكتروني حيث يتم تكبيرها ٣٠,٠٠٠ مرة وتظهر محاطة بغشاء رقيق وتحتوى على مادة حبيبية تسمى الستروما تملأ الجسم البيضى للبلاستيدة ، وتحتوى المادة الحبيبية على تراكيب تسمى الجرانا Grana ،

وكل منها عبارة عن مجموعة من الأرفف الحاملة لجزيئات الكلوروفيل ، وتتصل حبيبات الجرانا بعضها ببعض بأغشية تسمى الصفائح تربط بينها .

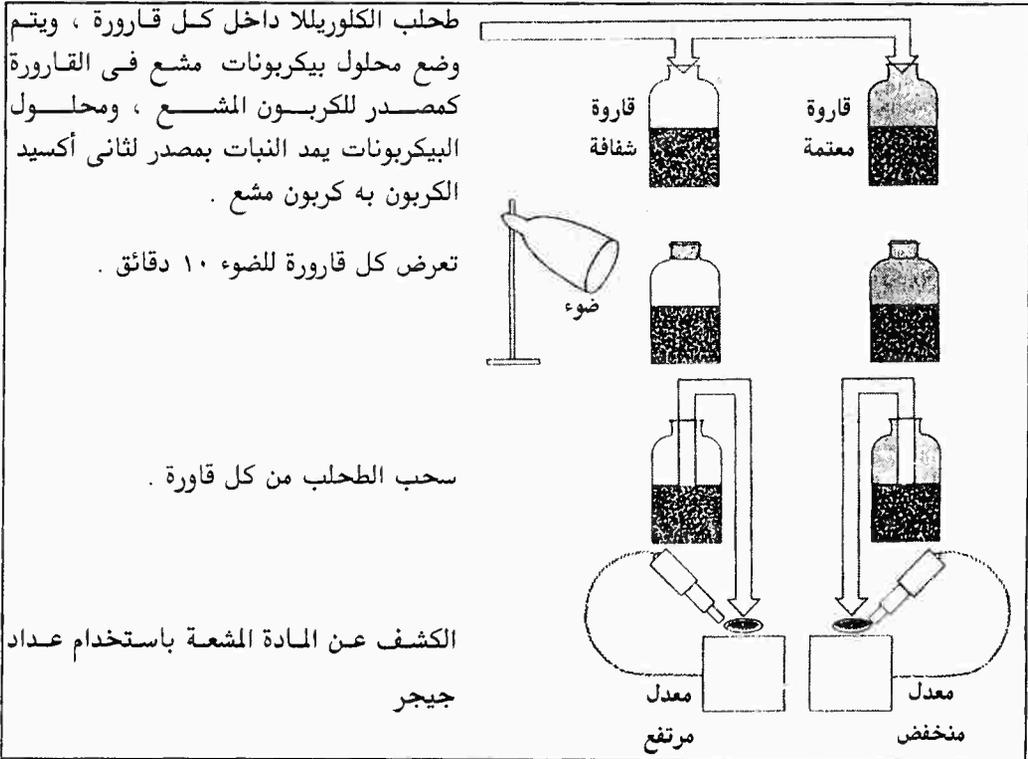


ويحدث التفاعل الضوئي في الجرانا بتأثير الكلوروفيل الذي يمتص الضوء ويحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية تشطر عنصري الماء إلى أكسجين يتساعد وهيدروجين يتجه إلى الستروما ، حيث يتم التفاعل اللاضوئي وفيه يختزل ثاني أكسيد الكربون بواسطة الهيدروجين ويشترك في هذا العمل مجموعة من الإنزيمات وينتهي الأمر بتكوين جزئ السكر .

ثانى أكسيد الكربون والبناء الضوئى Carbon dioxide and photosynthesis

« ماذا يحدث للكربون فى ثانى أكسيد الكربون ؟

أجرى بعض العلماء تجارب بواسطة ثانى أكسيد الكربون يحتوى على كربون مشع ، (بإحلال الكربون المشع محل الكربون العادى) ، وأجريت التجربة على طحلب الكلوريللا الذى تم إمداده بثانى أكسيد الكربون ذى الكربون المشع فى تجربتين إحداهما فى قارورة شفافة منفذة للضوء ، والأخرى فى قارورة معتمة حاجبة للضوء ، ثم عرض الطحلب فى التجريبتين للضوء لمدة ١٠ دقائق ، وتم سحب طحلب الكلوريللا من كل قارورة ، وتم الكشف بواسطة عداد جيجر عن المادة المشعة .
واتضح أنه فى الضوء قام النبات بسحب الكربون المشع من ثانى أكسيد الكربون ، وتم استخراج المركبات الكيميائية المتكونة فى الطحلب ، وباختبارها وجد أن الكربون المشع داخل تكوين السكر (الكربوهيدرات) التى صنعها النبات .



- عنصر الكربون له نظيران أحدهما عدد كتلته ١٢ والآخر عدد كتلته ١٤ وله نشاط إشعاعي يمكن الكشف عنه باستخدام عداد جيجر .
- طحلب الكلوريللا *Chlorella* ، طحلب وحيد الخلية يقوم بالبناء الضوئي ، ويسهل تربيته في المعمل .

• ماذا يحدث للأكسجين في ثاني أكسيد الكربون ؟

تم استخدام نظير مشع للأكسجين يدخل في تركيب ثاني أكسيد الكربون لتتبع مسار الأكسجين ، ووجد أن الأكسجين المشع داخل في تركيب الكربوهيدرات التي يصنعها النبات .

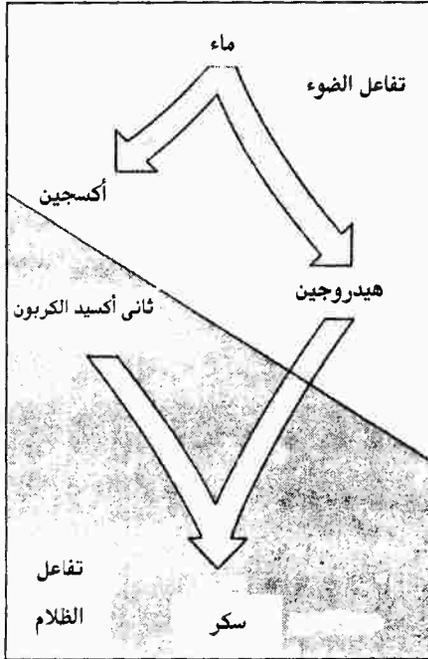
وبذلك يمكن اعتبار ثاني أكسيد الكربون كمركب يتحول في عملية البناء الضوئي إلى الكربوهيدرات .. ولكن يتم ذلك عن طريق هيدروجين الماء ..

وقد أثبتت التجارب التي أجريت باستخدام نظير الأكسجين المشع ، وإحلاله محل أكسجين الماء أن الماء الذي يحتوي على أكسجين مشع ويشترك في عملية البناء الضوئي ، ينتج أكسجين مشعاً وأن مصدر الأكسجين في البناء الضوئي من الماء وليس من ثاني أكسيد الكربون ، وقد أكدت على هذه النتائج التجارب التي أجريت باستخدام النظائر المشعة .

وبالتالي أصبح التصور لما يحدث في البناء الضوئي هو :

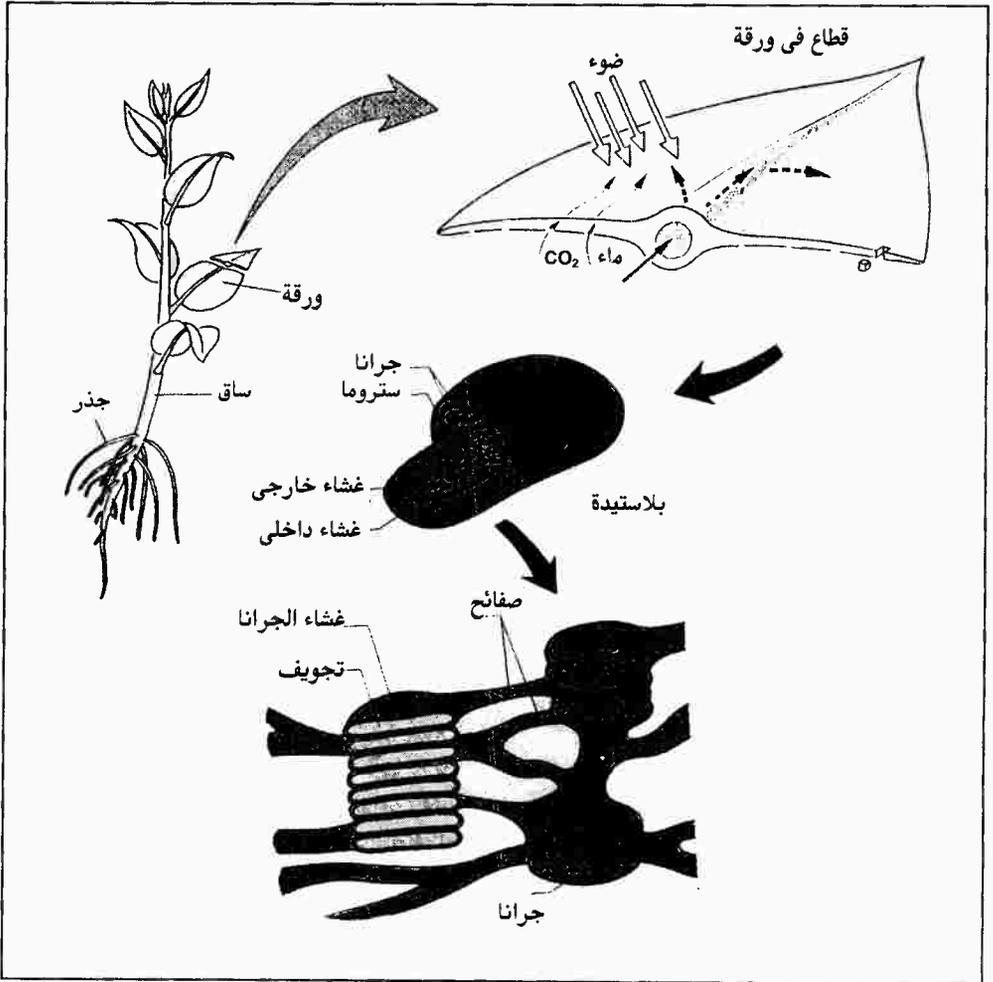
تفاعل الضوء : ينشطر فيه الماء إلى أكسجين وهيدروجين .

تفاعل الظلام : اختزال ثاني أكسيد الكربون بهيدروجين الماء .



عملية البناء الضوئي : The process of photosynthesis

تحدث عملية البناء الضوئي في خلايا الورقة ، وتحصل الورقة على ثاني أكسيد الكربون من الجو من خلال ثغور الورقة ويتحد ثاني أكسيد الكربون مع الماء في وجود الطاقة الضوئية التي تمتصها صبغة الكلوروفيل الموجودة في البلاستيدات الخضراء ، وتبدأ عملية البناء الضوئي بالتفاعل الضوئي Light reaction ، الذي يحدث داخل البلاستيدات في مناطق الجرانا Grana حيث ينشطر الماء إلى عنصريه ويهرب الأكسجين منطلقا إلى خارج الورقة بينما يعمل الهيدروجين داخل البلاستيدات في منطقة الحشوة stroma على اختزال ثاني أكسيد الكربون فيما يعرف بتفاعل الظلام dark reaction .



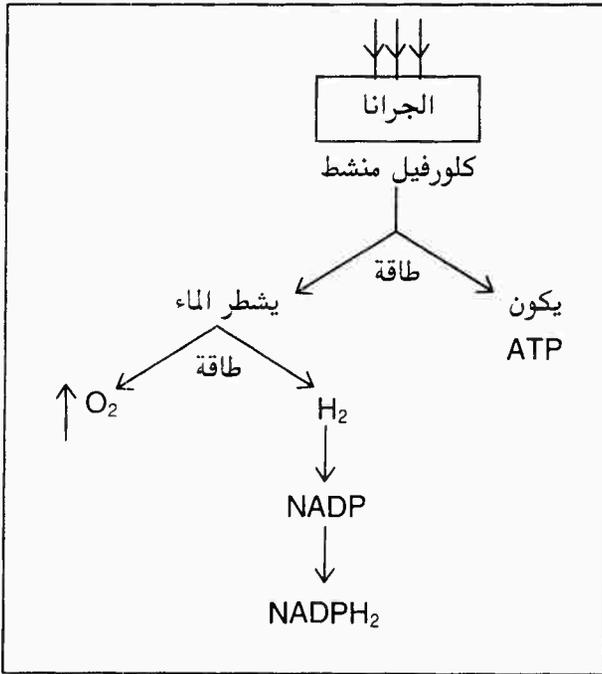
* التفاعل الضوئي والتفاعل اللاضوئي Light reaction and Dark reaction :

عملية البناء الضوئي تشمل مجموعة من التفاعلات التي تتم في الضوء مباشرة وتسمى التفاعلات الضوئية ، ويعتبر الضوء هو العامل المحدد لهذه التفاعلات وتشمل كذلك مجموعة تالية من التفاعلات التي تتم في وجود أو غياب الضوء وتسمى التفاعلات اللاضوئية أو تفاعلات الظلام والعامل المحدد لهذه التفاعلات درجة الحرارة ؛ لأنها تعتمد على نشاط الإنزيمات .

* التفاعل الضوئي Light reaction :

يحدث هذا التفاعل بتأثير الكلوروفيل الموجود في الجراننا داخل البلاستيدة الخضراء حيث تكتسب إلكترونات ذرات جزئ الكلوروفيل الطاقة وتحرك إلى مستويات أعلى ، ويختزن الكلوروفيل الطاقة الضوئية في صورة طاقة وضع كيميائية (كلوروفيل منشط) .

يستخدم جزء من الطاقة الكيميائية في شطر جزئ الماء إلى هيدروجين وأكسجين ويختزن جزء آخر من الطاقة في جزئ الطاقة **A . T . P** (يتحد ADP أدينوزين ثنائي الفوسفات مع مجموعة فوسفات وكمية من الطاقة مكونا جزئ **A . T . P**



أدينوزين ثلاثي الفوسفات) ثم يتحد الهيدروجين مع مساعد إنزيم يوجد في البلاستيدة ويسمى فوسفات اميد النيكوتين ثنائي النيوكليوتيد ، ويرمز له بالرمز **N . A . D . P** ، ويكون مركب **NADP H2** ، وبذلك لا يهرب الهيدروجين ، وينطلق الأكسجين كنتاج في عملية التفاعل الضوئي .

* تفاعلات الظلام Dark reaction :

تحدث في حشوة البلاستيدة المسماة ستروما ، ويتم في هذه التفاعلات تثبيت غاز ثاني أكسيد الكربون باتحاده مع الهيدروجين الموجود في $NADP + H_2$ ، وذلك بمساعدة الطاقة المخزنة في ATP .

وقد أثبت العالم ميلفين كالفن من جامعة كاليفورنيا عام ١٩٤٩ ، عن طبيعة هذه التفاعلات ، وأن المركب الأول الثابت كيميائياً والناجم عن هذا التفاعل ، يسمى فوسفو جليسر الدهيد PGAL ، وأن هذا المركب هو الأساس الذي يتكون منه الجلوكوز والنشا والبروتينات والدهون ، كما يمكن أن يستعمل كمركب عالي الطاقة في التنفس الخلوى .

وأوضح كالفن أن تكوين سكر الجلوكوز يتم من خلال عدة تفاعلات وسطية يحفزها إنزيمات خاصة

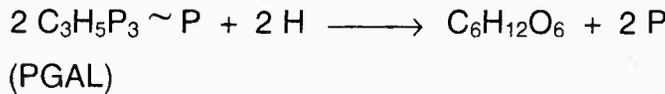
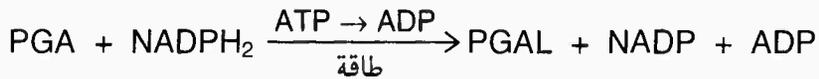
- وتبدأ التفاعلات باتحاد ثاني أكسيد الكربون مع مركب خماسى الكربون رابيلوز ثنائى الفوسفات RDP ، وهو مركب موجود فى ستروما البلاستيدة

- ويتكون مركب سداسى الكربون غير ثابت سريع الانحلال ، ينحل مكونا جزئين من حمض الفوسفوجليسيريك PGA .

- ثم يتحد PGA مع الهيدروجين من مركب $NADP + H_2$ فى وجود طاقة عالية ، فيتكون PGAL فوسفو جليسر الدهيد .

- بعض جزئيات PGAL تتحول إلى RDP وتعيد دورة التفاعل اللاضوى وبعض من PGAL يستعمل كمصدر للطاقة لنشاط الخلية .

وبعض من PGAL يتحول إلى جلوكوز ، وذلك باستبدال مجموعة الفوسفات بذرة الهيدروجين ثم يتحد جزئان من المركب الناتج ، فيتكون سكر الجلوكوز . ويمكن تلخيص ما سبق فى التفاعلات الآتية :



* مدى ملائمة المظهر الخارجي للأوراق الخضراء لعملية البناء الضوئي :

Morphological Leaf's Adaptation For Photosynthesis :

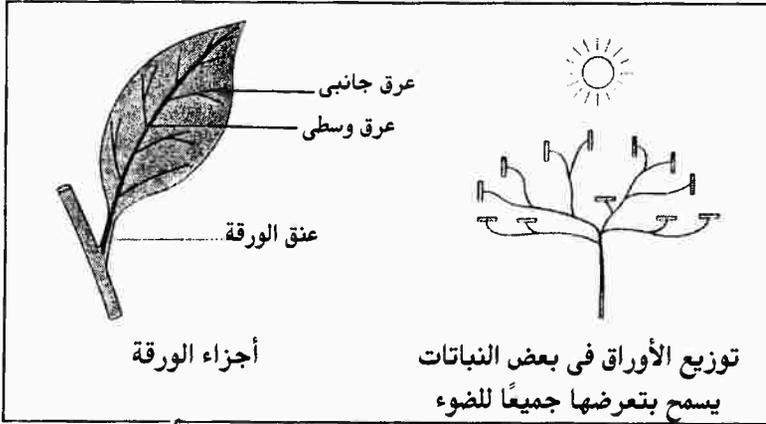
من الشكل الخارجي لأوراق النبات ، ومن ملاحظة ذلك في النباتات المختلفة ، نجد أن هناك عدداً من أوجه الملائمة لقيام الأوراق الخضراء بعملية البناء الضوئي منها :

• المساحة السطحية الكبيرة للأوراق :

قد تختلف الأوراق من حيث الشكل أو الحجم ، ولكنها على وجه العموم مسطحة قد تكون واسعة السطح أو ضيقة السطح ، والنتيجة أنها تملك مساحة سطحية كبيرة تمكنها من الامتصاص الجيد لثاني أكسيد الكربون ، وأن تتعرض أكبر مساحة منها لضوء الشمس .

• الأوراق مرتبة وموزعة بطريقة مناسبة :

تتوزع الأوراق على ساق النبات بالطريقة التي تتمكن بها من الحصول على أكبر كمية من الضوء ، بينها مسافات تسمح للضوء بالنفاذ إلى المناطق السفلى ، وهذا نلاحظه في مدى اتساع منطقة الظل تحت الشجرة ، وما كان يحدث ذلك إلا نتيجة التوزيع التبادلي للأوراق ، ونشاهد حواف الأوراق في قمة النبات تواجه الشمس حتى تسمح للضوء بالوصول إلى الأوراق أسفل منها .



• تحتوى الأوراق على الثغور :

تنتشر الثغور على بشرة الورقة ، وكل منها يؤدي إلى غرفة هوائية ويزداد عددها على السطح السفلي للورقة حتى يقل فقد الماء ، ويسهل تبادل الغازات بين الورقة

والهواء ، وتتحكم الثغور في ذلك عن طريق فتح الثغر في ضوء النهار أثناء الضوء وغلق الثغر في الظلام عندما تتوقف عملية البناء الضوئي .

• الأوراق ذات سمك رقيق :



تنتشر الأوعية (العروق) في نسيج الورقة كهيكل دعامى لها

غالبا لا يتجاوز سمك الورقة ملليمترا مما يقلل المسافة التي ينتشر خلالها غاز ثاني أكسيد الكربون ويدعم هذا السمك الرقيق للورقة الأوعية التي تنتشر خلالها وتدعمها وتجعلها غير قابلة للانثناء .

مدى ملائمة التركيب الداخلى

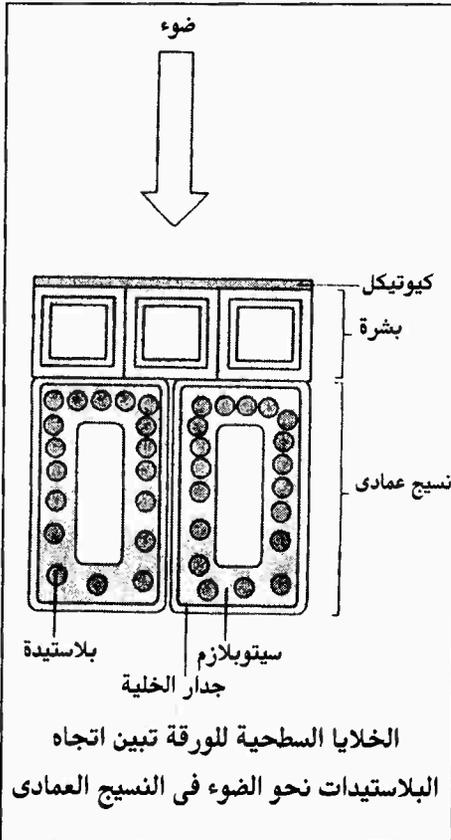
للأوراق لعملية البناء الضوئي :

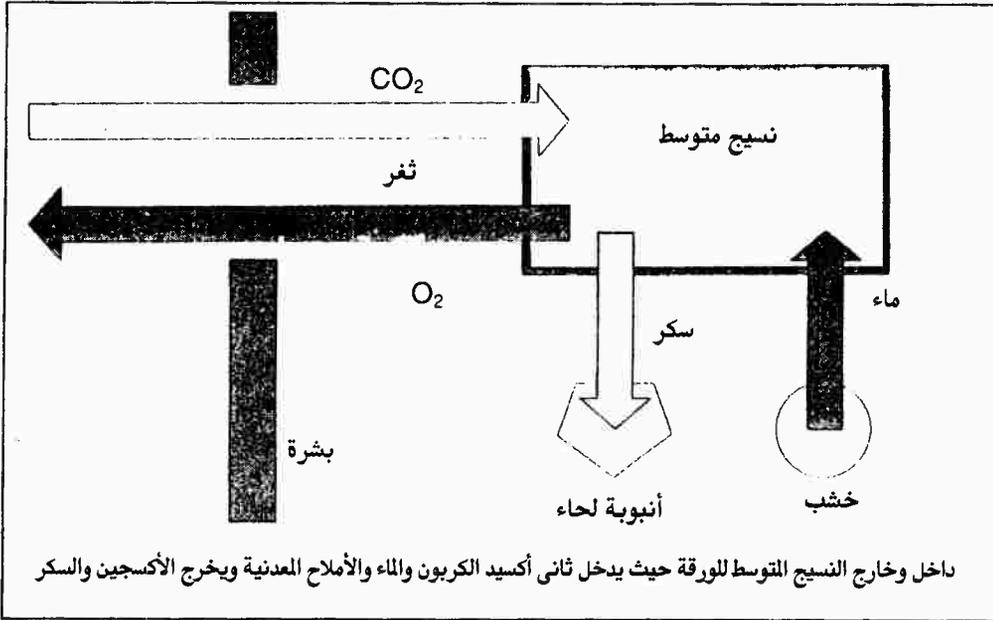
Photosynthesis and the

internal structure of leaves :

• يحدد الورقة من أعلى وأسفل خلايا البشرة التي تمتد كصف واحد من الخلايا المتراسة بين خلايا الثغور والخلايا متراسة مما يسهل تجمع الضوء على أسطح هذه الخلايا التي تأخذ أشكالا برميلية (أسطح محدبة) .

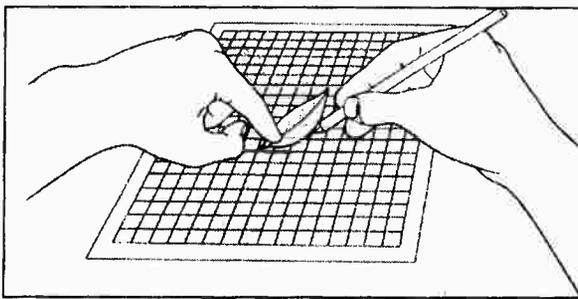
• بين البشريتين النسيج المتوسط الغنى بالبلاستيدات الخضراء وهى فى النسيج العمادى (العلوى) الأكثر تعرضا للضوء أكثر منها فى النسيج الإسفنجى (السفلى) ، بينما الغرف الهوائية فى النسيج الإسفنجى أكثر منها فى النسيج العمادى .





• يأتي في وسط الورقة العرق الوسطى الذى يدعم نسيج الورقة ، ويتكون من الخشب الذى يحمل الماء من الجذور إلى الأوراق إلى أنحاء النبات ؛ فالسكر الذى يتكون في ورقة النبات جزء منه يستغل في خلايا الورقة في عملية التنفس لتكوين الطاقة ، وجزء آخر يتحول إلى نشا يتم تخزينه ، وجزء ثالث ينتقل إلى أجزاء النبات .

* تحديد المسطح الأخضر للنبات :



على ورقة بيانية حدد بالقلم حدود ورقة من إحدى النباتات ، ثم سجل مساحة هذه الورقة . حاول حساب عدد أوراق النبات إن أمكن ذلك أو حسابها بطريقة تقديرية .

المسطح الأخضر = عدد أوراق النبات × مساحة الورقة

قارن بين المساحة الناتجة ومساحة أى موقع عمل ، ستجد أن المسطح الأخضر للنبات يسمح بامتصاص قدر عال من الطاقة الضوئية .

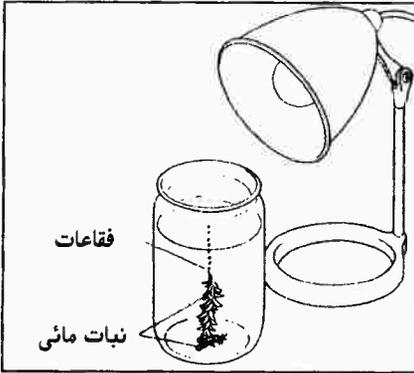
* معدل البناء الضوئي : The rate of photosynthesis :

حدوث البناء الضوئي بسرعة أو ببطء يعتمد على عدة عوامل ، ويقدر بكمية المادة الغذائية المتكونة في وقت محدد - ويهم ذلك الإنسان بالدرجة الأولى ، لأن النبات هو غذاء الحيوان والإنسان .

والعوامل التي تؤثر جزئيا في معدل البناء الضوئي هي : الضوء ، وثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة والماء .

* الضوء Light :

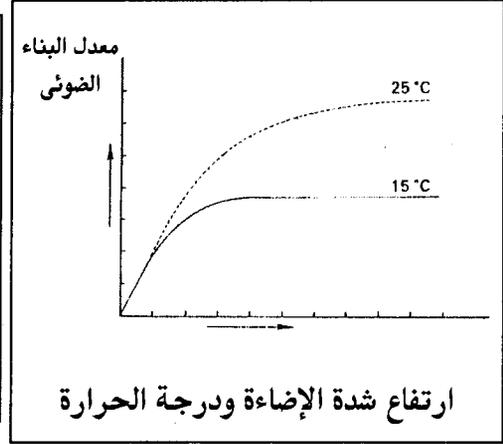
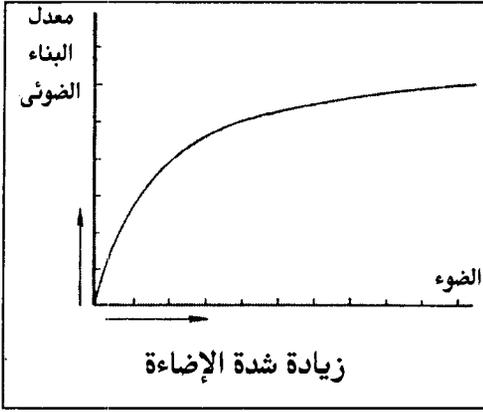
يمكن دراسة ذلك باستخدام تجربة تصاعد الأكسجين من النباتات المائية الخضراء حيث يزداد عدد الفقاعات المتصاعدة حسب شدة الضوء ، ففي ضوء الشمس يكون



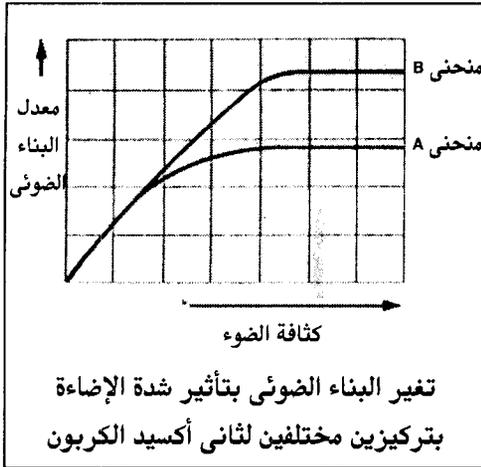
معدل البناء الضوئي أعلى منه في اليوم المعتم والنباتات التي تنمو في الضوء الساطع معدل البناء الضوئي بها أكثر من تلك التي تنمو في الظل ، وزيادة شدة الضوء لا تعنى زيادة معدل البناء الضوئي إلى آخر مدى لأن هناك نقطة محددة بعدها لا يمكن للبلاستيدات أن تمتص أى كمية ضوء ، أو بمعنى آخر لا يوجد كمية كافية من ثاني أكسيد الكربون في الجو يمكن أن تتحد مع الهيدروجين الناتج من شطر الضوء للماء .

* درجة الحرارة Temperature :

يزداد معدل البناء الضوئي بارتفاع درجة الحرارة ، فهو يتضاعف كل عشر درجات مئوية وارتفاع درجة الحرارة أعلى من ٢٥° م ، يزيد من معدل البناء الضوئي ، وإذا ارتفعت درجة أكثر من ذلك ، يبدأ معدل البناء الضوئي في التباطؤ حتى يتوقف ؛ لأن الحرارة تدمر الإنزيمات الضرورية للتفاعلات الكيميائية .

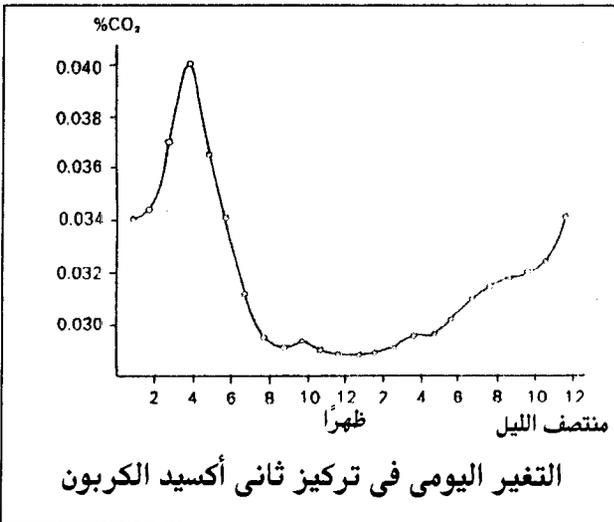


* ثاني أكسيد الكربون Carbon dioxide :



كمية ثاني أكسيد الكربون في الجو حوالي ٠,٠٣٪ ، ولا تختلف كثيراً مع وجود اختلاف طفيف من مكان إلى آخر ، يؤثر في معدل البناء الضوئي .

تركيز ثاني أكسيد الكربون قريب من الأرض في غابة كثيفة أعلى من تركيزه في حقل مفتوح ، وكمية ثاني أكسيد الكربون الزائدة ، والتي تنطلق من احتراق الوقود ، تزيد من معدل البناء



الضوئي إلى حد معين . زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون حتى ٠,٥٪ يزيد معدل البناء الضوئي لفترة معينة تتراوح بين ١٠ إلى ١٥ يوماً يصبح بعدها هذا التركيز مضرًا .

« الماء Water :

تحتاج النباتات الماء فى عملية البناء الضوئى ، وإذا لم يجد النبات كمية كافية من الماء ، فإن عملية البناء الضوئى تتباطئ والنبات الذى يعانى من نقص الماء ينخفض فيه معدل البناء الضوئى إلى النصف ، وذلك لأن النبات يغلق ثغوره بسبب نقص الماء مما يحد من عملية البناء الضوئى .



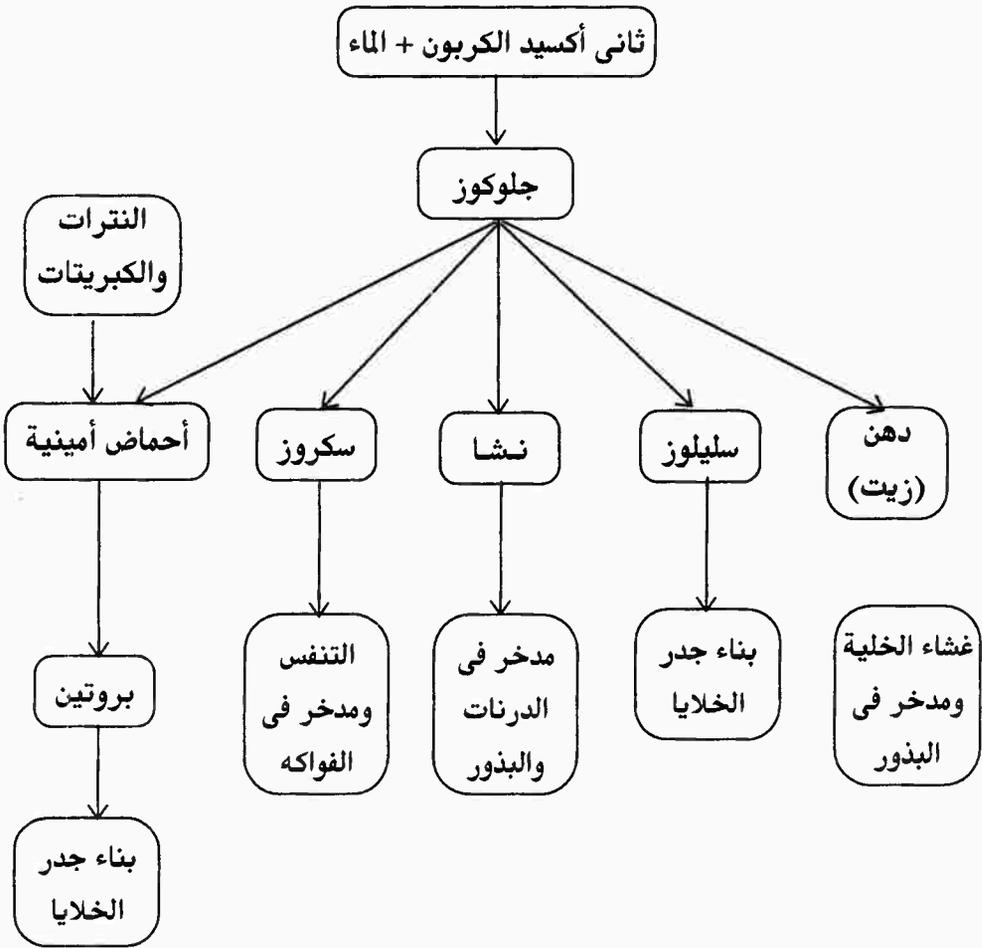
الجو الدافئ داخل الصوب الزجاجية يساعد على نمو الأنواع الممتازة من الشمام

وفى أنحاء العالم تتم تربية النباتات تحت ظروف مناسبة للغاية فيما يسمى الصوب الزجاجية green houses ، حيث تؤثر جميع العوامل بالنسبة المطلوبة فى عملية البناء الضوئى ، وتنمو النباتات تحت رعاية خاصة وعوامل منضبطة ، وبهذه الطريقة نجح العلماء فى التأكد من أن النباتات أخذت كل احتياجاتها ، ومن ثم سوف تنتج أفضل محصول .

« نواتج البناء الضوئى Photosynthetic products :

جزيئات الجلوكوز التى تنتج فى عملية البناء الضوئى ، تتجمع وتتحول بسرعة إلى جزيئات النشا ، وتكوين حبيبات النشا فى البلاستيدات الخضراء وإذا كان تركيز الجلوكوز يزداد فى النسيج المتوسط . فإنه يؤثر على التوازن الأسموزى بين الخلايا - والنشا يتكون كمركب غير ذائب ، ولذا لا يؤثر على الضغط الأسموزى .

وإذا تحول النشا إلى سكرورز والسكر المذاب تم نقله خارج الخلية إلى الخلايا ناقلة الغذاء فى أوعية الورق ، فإن هذه الأوعية توزع السكرورز إلى جميع أنحاء النبات والتى لا تقوم بالبناء الضوئى مثل البراعم النامية والثمار والجذور وأعضاء التخزين تحت الأرض ، والخلايا فى هذه المناطق تستخدم السكرورز بطرق مختلفة .



* يستخدم السكر فى إنتاج الطاقة حيث يتأكسد فى عملية التنفس إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ، وتنطلق الطاقة التى تستخدم فى العمليات الحيوية الكيميائية .

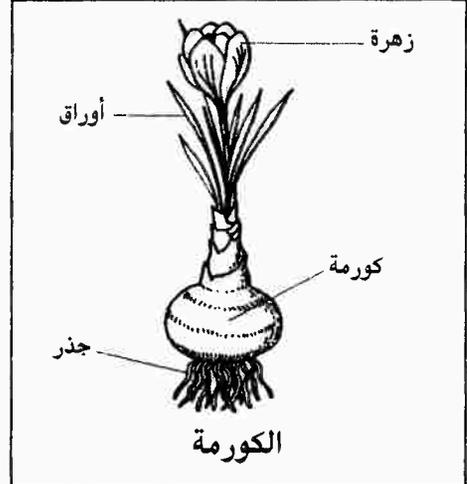
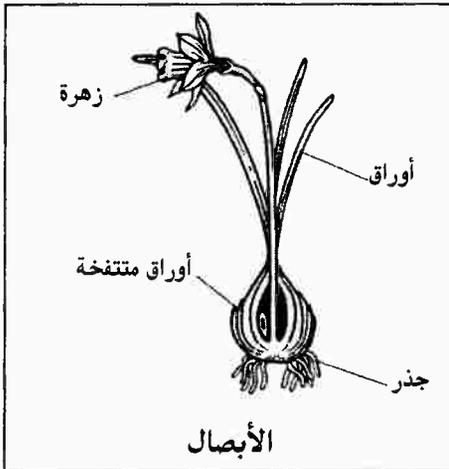
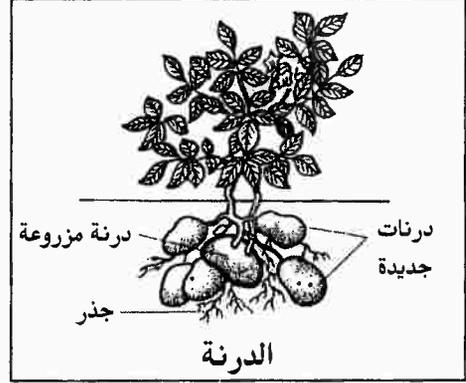
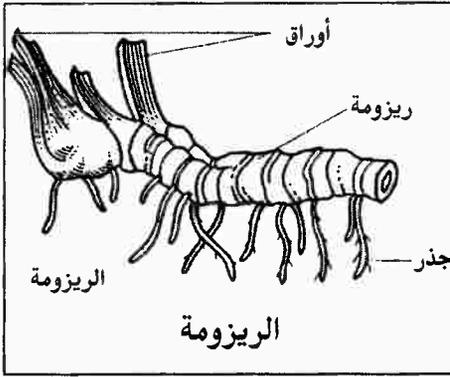
* السكر الزائد على حاجة التنفس ، يتحول إلى نشأ ويتم تخزينه فى صورة حبيبات النشا فى الخلايا فى السيقان والجذور ، وبعض النباتات مثل البطاطس أو البطاطا لها أعضاء تخزين خاصة (الدرنة) تحت الأرض كما أن السكر يتم تخزينه فى الثمار فالعنب على سبيل المثال يحتوى كمية كبيرة من الجلوكوز .

* يتم تخليق مواد أخرى من السكر مثل السليولوز الذى يحتاجه النبات لبناء جدر الخلايا والليبيدات (دهون) لبناء أغشية الخلايا والبروتين لبناء السيتوبلازم والأصباغ لبتلات الأزهار والثمار .

* من جزيئات السكر التى تتحد مع النيتروجين يتم بناء الأحماض الأمينية المكونة للبروتين الذى يكون الإنزيمات والسيتوبلازم ، ويحتاج البروتين إلى عنصر

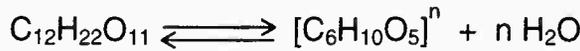
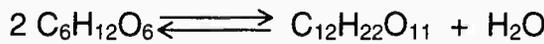
الكبريت بالإضافة إلى عنصر النيتروجين - ويكون السكر مع عنصر الفوسفور لبناء الأحماض النووية وجزيئات الطاقة ، وعنصر الماغنسيوم ، في بناء جزيء الكلوروفيل .

بعض صور التخزين في النبات

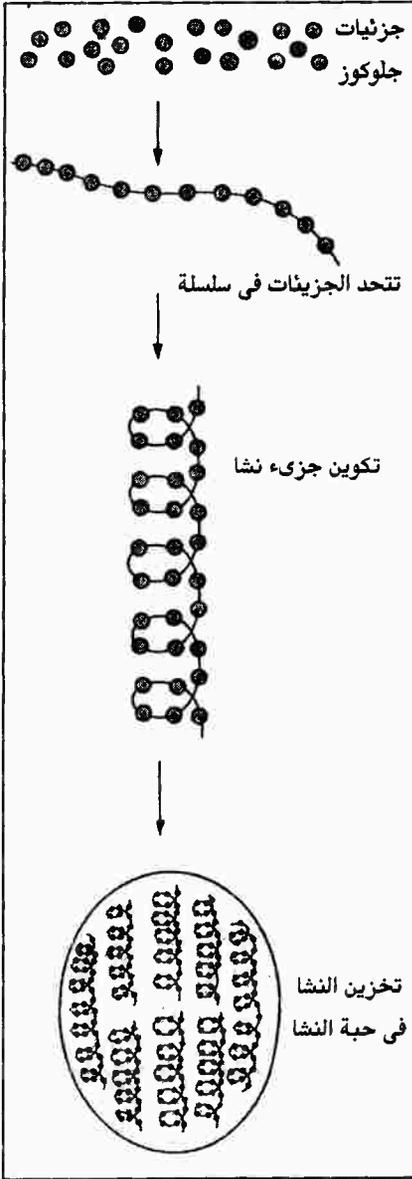


تحول الجلوكوز إلى النشا وتحول النشا إلى جلوكوز

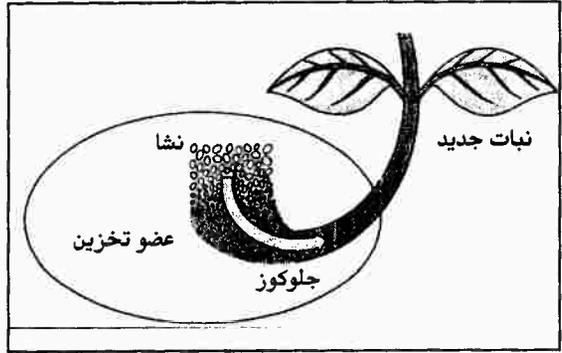
جلوكوز \rightleftharpoons سكروز \rightleftharpoons نشا



تحدث هذه العملية في النبات بتأثير الإنزيمات حيث يتم تحويل الجلوكوز إلى نشا بفعل الإنزيمات ونزع الماء ، ويحدث العكس بفعل الإنزيمات وفي وجود الماء (تحلل مائي) وهاتان العمليتان ضروريتان لحياة النبات .



فالغذاء المدخر في أعضاء التخزين يفيده النبات في وقت الجفاف وفي عملية التكاثر الخضرى حيث تحمل براعم تنمو معتمدة على الغذاء المدخر ، مكونة أفرادا جديدة وكذلك تدخر النباتات المواد فى البذور والثمار ، والصورة التى يتم تخزين المواد عليها تعتمد على الجلوكوز المتكون فى البناء الضوئى ، حيث يتحول الباقي منه إلى نشا ويحدث العكس عند الحاجة إليه .



عند نمو البرعم مكوناً نباتاً جديداً يتحول النشا المخزن فى عضو التخزين إلى جلوكوز بتأثير الإنزيمات ويتدفق الجلوكوز إلى النبات الجديد حتى يبدأ يعتمد على نفسه فى البناء الضوئى .