الفصل الأول
(التغذية والهضم)

أولاً: التغذية

هي مظهر من أهم مظاهر الحياة في الكائنات الحية و يطلق مفهوم (التغذية Nutrition) على الدراسة العلمية للغذاء ودراسة طرق التغذية المتنوعة في الكائنات الحية .

الحاجة إلى التغذية في الكائنات الحية تتلخص في أن :

١) الغذاء مصدر الطاقة اللازمة لجميع العمليات الحيوية التي تتم داخل الجسم .
٢) الغذاء هو المادة الخام اللازمة للنمو وتعويض ما يبلى (يتلف) من مادة الجسم .

أنواع التغذية

تغذية ذاتية
Autotrophic Nutrition

تغذية غير ذاتية
Heterotrophic Nutrition

كائنات ذاتية التغذية	كائنات غير ذاتية التغذية
ـ تصنع غذائها العضوي بنفسها من مواد أولية بسيطة أي أنها تبنى الغذاء ذو الطاقة العالية (سكر ، نشا ، دهون ، بروتينات) داخل خلاياها من مواد منخفضة الطاقة مثل ثاني أكسيد الكربون والماء والأملاح المعدنية . ـ تستغل الطاقة الضوئية في بناء غذائها لإتمام التفاعلات الكيميائية . ـ **أمثلة:** الطحالب ، والنباتات الخضراء .	ـ تحصل على غذائها من أجسام الكائنات الأخرى أي أنها تحصل على الغذاء عالي الطاقة من النباتات الخضراء أو من حيوانات تغذت على النباتات الخضراء وتنقسم إلى : ١) **غير ذاتية أساسية** وتشمل : أ) **الحيوانات أكلة اللحوم** مثل الكلاب . ب) **الحيوانات أكلة العشب** مثل الأرانب. جـ) **متنوعة الغذاء** مثل الإنسان . ٢) **غير ذاتية طفيلية مثل (البلهارسيا) .** ٣) **غير ذاتية رمية** مثل البكتريا الرمية .

التغذية الذاتية في النباتات الخضراء

التغذية الذاتية هي :

☑ تعتبر إحدى طرق التغذية التي تتميز بها النباتات الخضراء .

☑ حيث تقوم خلاياها ببناء المركبات الغذائية العضوية عالية الطاقة (المواد الكربوهيدراتية والدهنية والبروتينية) من مواد غير عضوية بسيطة التركيب مثل الماء ، وثاني أكسيد الكربون ، والأملاح المعدنية مستخدمة الطاقة الضوئية للشمس وذلك فيما يسمي **بعملية البناء الضوئي** .

وتشمل عملية التغذية الذاتية التي يقوم بها النبات الأخضر خطوتان هامتان هما :

١) امتصاص الماء والأملاح . ٢) عملية البناء الضوئي .

أولاً : عملية إمتصاص الماء والأملاح

يتم امتصاص الماء والأملاح المعدنية في النباتات الخضراء الراقية من التربة عن طريق **الشعيرات الجذرية في المجموع الجذري** للنبات ثم تنتقل من خلية إلى أخرى إلى أن تصل إلى الأوعية الناقلة للماء.

تركيب الشعيرة الجذرية :

- الشعيرة الجذرية تمثل امتداد لخلية واحدة من خلايا البشرة للخارج (**علل**) لزيادة مساحة سطح الامتصاص.
- مبطنة من الداخل بطبقة رقيقة من السيتوبلازم تحتوي علي النواة وبها فجوة عصارية كبيرة.
- طولها يصل حوالي ٤ مم.
- عمر الشعيرة الجذرية لا يتجاوز بضعة أيام أو أسابيع (علل) لان خلايا البشرة تحتك بحبيبات التربة فتتمزق بين حين وآخر وتعوض باستمرار من **منطقة الاستطالة بالجذر**.

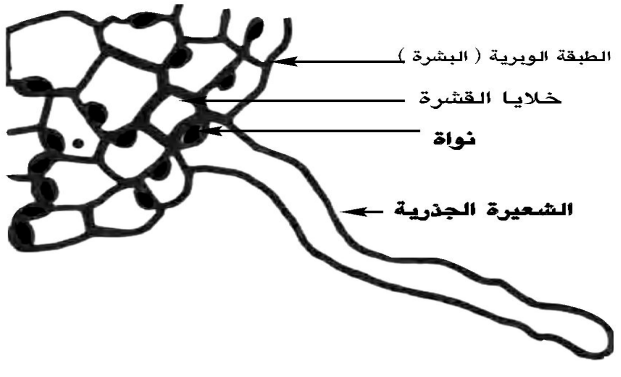
ملائمة الشعيرة الجذرية لوظيفتها:

١- **جدر الشعيرة الجذرية رقيقة (علل)**لتسمح بنفاذ الماء والأملاح .

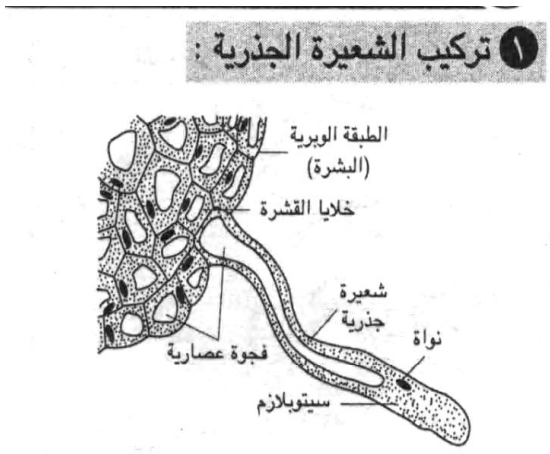
٢- **عددها كبير وتمتد خارج الجذر(علل)** لتزيد من مساحة سطح الامتصاص .

٣- **تركيز المحلول داخل فجوتها العصارية أكبر من تركيز محلول التربة (علل)** مما يساعد على إنتقال الماء من التربة إليها بالخاصية الاسموزية لذا فالشعيرة الجذرية تعمل كجهاز اسموزي.

٤- **تفرز الشعيرة الجذرية مادة لزجة (علل)**تساعدها على التغلغل والانزلاق بين حبيبات التربة والالتصاق بها مما يساعد على تثبيت النبات في التربة.



تركيب الشعيرة الجذرية شكل (١)



آلية إمتصاص الماء

تعتمد هذه الآلية على عدة ظواهر فيزيائية هي :

١) خاصية الانتشار Diffusion :

هي حركة الجزيئات أو الأيونات من منطقة ذات تركيز عالي إلى منطقة أخرى ذات تركيز منخفض **والسبب في ذلك** هو الحركة المستمرة لجزيئات المادة المنتشرة مثل إنتشار نقطة حبر في كاس به ماء .

٢) خاصية النفاذية Permeability :

تختلف جدر الخلايا وأغشيتها في قدرتها على النفاذية ولذا يمكن تقسيمها من حيث النفاذية إلي:

أ) جدر منفذة:

هي **الجدر السليلوزية** التي تنفذ الماء والأملاح المعدنية .

ب) جدر غير منفذة:

هي الجدر المغطاة **بالسيوبرين واللجنين والكيوتين** لأنها مواد لا تنفذ الماء والأملاح المعدنية .

جـ) جدر شبه منفذة:

هي **الأغشية البلازمية** حيث أنها أغشية رقيقة بها ثقوب دقيقة جدا لها خاصية تحديد مرور المواد خلالها فقد تمر خلالها بعض المواد بصورة حرة وطليقة كالماء ،وقد تمنع مرور بعض المواد كالسكر والأحماض الأمينية (**علل**) ذات الجزيئات كبيرة الحجم وتحدد نفاذ الأملاح المعدنية حسب حاجة النبات ويطلق علي ذلك **خاصية النفاذية الاختيارية** .

النفاذية الاختيارية Selective Permeability :

هي خاصية مرور المواد عبر **الأغشية البلازمية** حسب احتياج الخلية فقد تسمح بمرور بعض المواد بصورة حرة أو طليقة وأخري تمر ببطء بينما تمنع نفاذ مواد أخري.

٣) الخاصية الأسموزية Osmosis :

هي انتشار الماء خلال **الغشاء شبه المنفذ** من منطقة ذات تركيز عالي للماء الي منطقة ذات تركيز منخفض للماء .

الضغط الأسموزى :

هو الضغط الذي يسبب إنتشار الماء خلال **الأغشية شبه المنفذة** من منطقة ذات تركيز عالي للماء إلي منطقة ذات تركيز منخفض للماء .

يزداد الضغط الأسموزى للمحلول بزيادة تركيز المواد المذابة فيه (تناسب طردي بين الضغط الاسموزي وتركيز المحلول في الفجوة العصارية).

٤) خاصية التشرب Imbibition:

هي قدرة الدقائق الصلبة خاصة الغروية منها على إمتصاص السوائل والإنتفاخ نتيجة زيادة حجمها .

خاصية تمتاز بها الدقائق الصلبة وخاصة الدقائق الغروية (**المواد السليلوزية** ، **والبكتينية** ، **وبروتينات البروتوبلازم**) حيث أنها تمكن جدر خلايا النبات من امتصاص الماء (علل) لأنها مواد محبة للماء .

ـ مما سبق يتضح أن آلية امتصاص الماء تتم كالتالي:

آلية (طريقة) امتصاص الجذر للماء:

١. تحيط بالشعيرات الجذرية طبقة غروية تلتصق بحبيبات التربة وما عليها من أغلفة مائية.
٢. تتشرب الجدر السليلوزية (لأنها محبة للماء) والبلازمية الماء.
٣. تركيز العصير الخلوي في الفجوة العصارية أعلى من تركيز محلول التربة (لوجود السكر ذائب فى العصير الخلوى) ، لذا ينتقل الماء من التربة إلي الشعيرات الجذرية (**بخاصية الاسموزية**).
٤. ينتشر الماء (**بالخاصية الاسموزية**) من خلايا البشرة إلى خلايا القشرة (لأن تركيز الماء فى عصير خلايا البشرة أصبح أعلى منه في عصير خلايا القشرة) ثم ينتقل بنفس الطريقة حتى يصل إلي أوعية الخشب في مركز الجذر.

الضغط الأسموزى في الشعيرات الجذرية للنباتات الصحراوية ونباتات الأراضي الملحية يصل من ٥٠ إلى ٢٠٠ ضغط جوى ، بينما في النباتات العادية يتراوح من ٥ إلى ٢٠ ضغط جوى (علل) .

س : علل :

تتميز الشعيرات الجذرية في جذور النباتات الصحراوية ونباتات الأراضي الملحية بضغوط أسموزية عالية ؟

جـ- وذلك لتسمح بامتصاص أكبر قدر من الماء من البيئة المحيطة بها .

طرق مرور الماء عبر خلايا الجذر حتى أوعية الخشب :

١) طريق الفجوات العصارية :

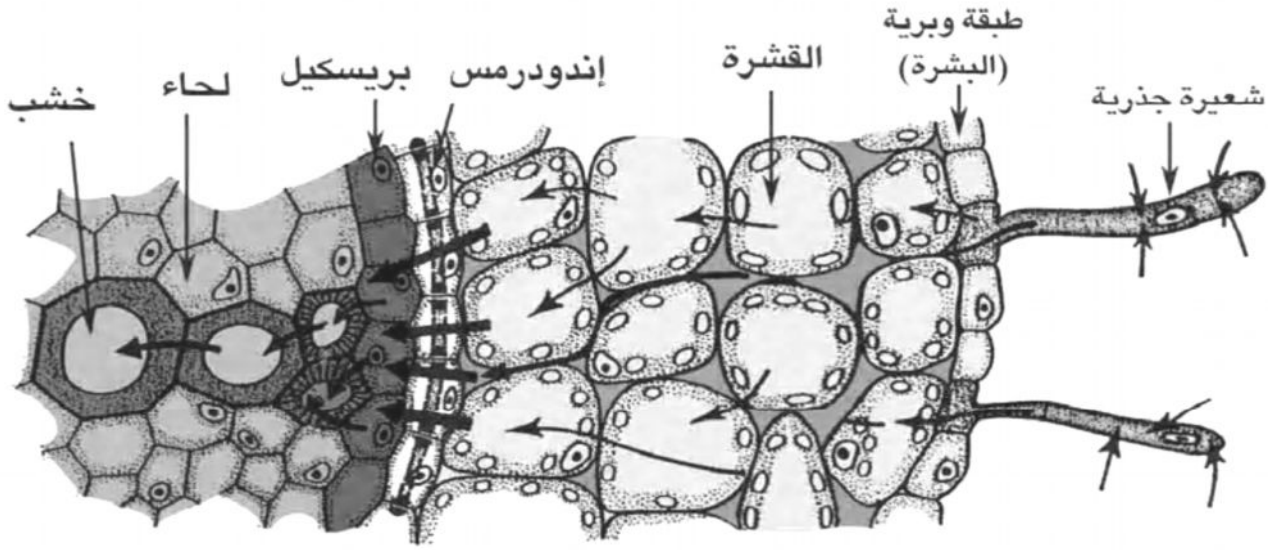
⇦ ينتقل الماء فيها **بالخاصية الأسموزية** وذلك يتطلب انحدارا أسموزيا في خلايا الجذر الجذر نحو الداخل .

٢) طريق السيتوبلازم :

⇦ حيث يتدفق الماء من خلية إلى أخرى خلال **خيوط البلازموديزما** التى تربط الخلايا ببعضها .

٣) على جدران الخلايا وخلال المسافات البينية :

⇦ حيث يتدفق الماء **بخاصية التشرب** من خلال جدران الخلايا ثم ينتشرخلال المسافات البينية الصغيرة.



شكل (٢) مرور الماء خلال خلايا الجذر

دور الإندودرمس فى تنظيم مرور الماء والذائبات إلى خلايا الخشب :

- للاندودرمس دور كبير في تنظيم مرور الماء والذائبات إلي خلايا الخشب.
- خلايا الاندودرمس تكون جدرانها مغلظة بمادة السيوبرين الغير منفذة للماء لذا لا يمر الماء خلال جدر خلايا الاندودرمس بخاصية التشرب (**علل**)..
  - خلايا الاندودرمس المواجهة للحاء تكون تامة التغلظ بالسيوبرين.
  - خلايا الاندودرمس المواجهة للخشب يكون التغلظ فيها غير تام (في صورة شريط يحيط بها يسمي **بشريط كاسبر**) .
- يمر الماء خلال الغشاء البلازمي لخلايا الاندودرمس المواجهة للخشب **بالخاصية الاسموزية** تحت سيطرة البروتوبلازم وتمر الاملاح (الذائبات) **بالنقل النشط** وتسمي هذه الخلايا **بخلايا المرور**.

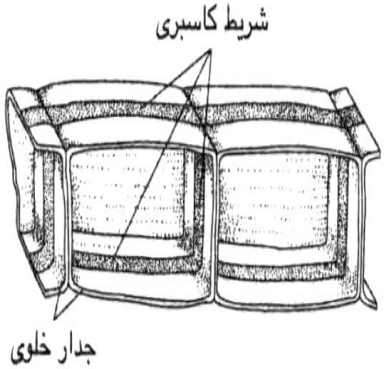
خلايا المرور :

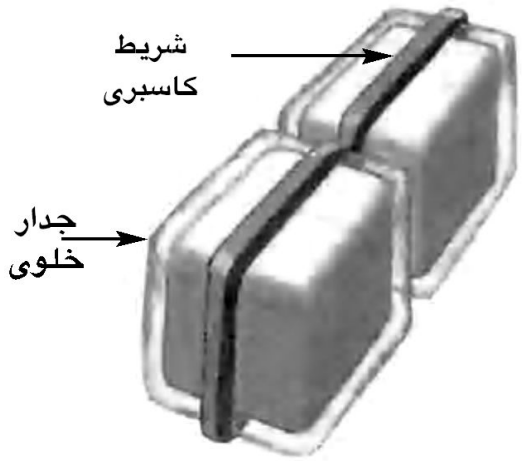
⇦هى خلايا الأندودرمس المواجهة للشعيرة الجذرية من ناحية وأوعية الخشب من الناحية الأخرى وهي التي يمر من خلالها الماء لأوعية الخشب **بالخاصية الأسموزية**.

ملحوظة:

خلايا الأندودرمس المواجهة لمجموعة اللحاء تكون جدرانها تامة التغلظ بالسيوبرين فلا يمر الماء خلال تلك الجدر.

٢ خلايا الإندودرمس :





شكل (٣)
خلايا الأندودرمس

آلية إمتصاص الأملاح

العناصر والأملاح الغذائية الضرورية للنباتات الخضراء :

➢ اثبت العلماء بالتجارب أن النبات يحتاج إلى عناصر ضرورية غير (الكربون –الهيدروجين – الأكسجين) يمتصها عن طريق الجذر **ويؤدى نقصها** إلى اختلال النمو الخضري للنبات أو توقفه أو عدم تكوين الأزهار أو الثمار. وتم تقسيم هذه العناصر إلى قسمين هما:

المغذيات الكبرى	المغذيات الصغرى
هي عناصر يحتاج إليها النبات بكميات غير قليلة وهى سبعة عناصر هي : **النيتروجين – الفوسفور – البوتاسيوم – الكالسيوم – الماغنسيوم – الكبريت – الحديد**	يحتاج إليها النبات بكميات صغيرة جدا لا تزيد عن بضع ملليجرامات فى اللتر وتسمي **بالعناصر الأثرية** وهى : **المنجنيز – الخارصين – البورون – الألمونيوم – الكلور – النحاس – الموليبدينم – اليود** وبعضها يعمل **كمنشطات للأنزيمات**

آلية امتصاص الأملاح:

➢ تعتمد آلية امتصاص الأملاح علي الظواهر الآتية:

١. الانتشار Diffusion:

ـ تنتقل أيونات العناصر من الوسط الأعلى تركيز إلى الوسط الأقل تركيز نتيجة حركة الأيونات الحرة والمستمرة و تنتشر دقائق الذائبات مستقلة عن الماء وعن بعضها البعض على هيئة أيونات موجبة تسمي (**كاتيونات**) مثل K^+ ، Ca^{++} وأيونات سالبة تسمي (**أنيونات**) مثل Cl^- ، $(SO_4)^{--}$ ، $(NO_3)^-$ وتتحرك هذه الذائبات بالانتشار من محلول التربة وتنفذ خلال الجدران السليلوزية.

⇦ أحيانا يحدث تبادل للكاتيونات فمثلا يخرج أيون الصوديوم Na^+ ويدخل أيون البوتاسيوم K^+ بدلا منه فيما يسمي **بالتبادل الكاتيوني.**

٢. النفاذية الاختيارية Selective Permeability :

ـ عندما تصل الأيونات إلى الغشاء البلازمي شبه المنفذ ينتخب بعضها ويسمح لها بالمرور حسب حاجة النبات ولا يسمح للبعض الآخر بصرف النظر عن حجم أو تركيز أو شحنة الأيونات.

٣. النقل النشط Active Transport:

(هو حركة أي مادة خلال غشاء الخلية عندما يلزمها طاقة كيميائية).

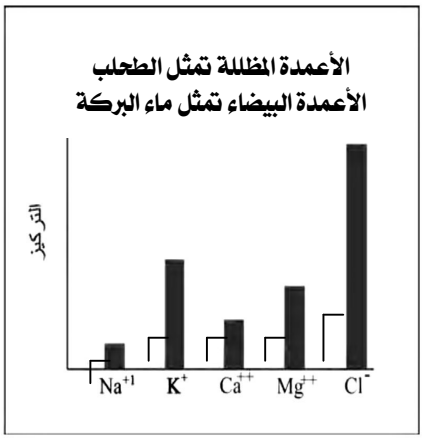
ـ أحيانا يكون تركيز الأيونات في محلول التربة منخفض عنه داخل الخلايا (مرتفع) ولكي تنتشر الأملاح إلي داخل الخلايا فهي تحتاج إلى طاقة لإجبار الأيونات على الانتشار ضد التدرج في التركيز حيث تستعمل الخلايا الطاقة الناتجة من التنفس الخلوي لإتمام هذه العملية لذا فهي تتأثر بغياب الأكسيجين أو السكر في الخلايا لأنهما المواد الخام الضرورية للتنفس الخلوي.

تجارب إثبات نقل أيونات الأملاح بخاصيتي النقل النشط والنفاذية الاختيارية:

١ ـ تجربة على طحلب نيتلا (Nitella):

ـ يتضح من التجربة أن تركيز الأيونات المتراكمة في العصير الخلوي لخلايا الطحلب أعلى نسبيا من تركيزها في ماء البركة (لذلك تستهلك الخلية طاقة لامتصاص هذه الأيونات) مما يدل علي حدوث **النقل النشط** .

ـ ويتضح أيضا زيادة تركيز بعض الأيونات المتراكمة في الخلية مثل الكلور عن البعض الآخر مثل الصوديوم (مما يدل علي انها تمتص إختياريا حسب حاجة الخلية) أي أن هناك **نفاذية اختيارية** للأملاح.



شكل (٤) تركيز الأملاح فى طحلب النيتلا وماء البركة

⌧ الطاقة المستهلكة في النقل النشط تنتج عن تنفس أنسجة الجذر وقد أثبتت التجارب صحة ذلك فالأكسيجين والسكر اللازمان للتنفس الهوائي ضروريان لامتصاص الأملاح.

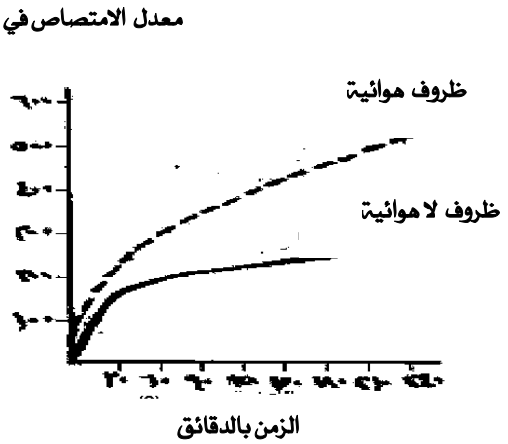
٢ـ تجربة لبيان تأثير غياب الأكسيجين علي امتصاص نبات الشعير لايونات الكبريتات:

الخطوات:

أعطيت للنباتات أملاح كبريتات وبها كبريت مشع S^{35} وقدرت الكمية الممتصة بواسطة عداد جيجر فى حالة تعريض الجذر للظروف الهوائية وفي حالة تعريضه للظروف الغير هوائية .

المشاهدة :

يتضح من التجربة أن الامتصاص يقل في حالة الظروف غير الهوائية مما يدل علي ضرورة حدوث التنفس لإنتاج الطاقة اللازمة للنقل النشط .



الاستنتاج:

خلايا النبات تستهلك الطاقة المنطلقة من **التنفس الهوائي** لامتصاص ايونات الأملاح بخاصية **النقل النشط** .

ثانياً : البناء الضوئي في النباتات الخضراء

❁ **عملية البناء الضوئي** هي قاعدة الحياة الأساسية لأنه لولاها لما استمرت الحياة بسب قدرتها علي إنتاج الغذاء وتحرير الأكسجين ولذلك تعتبر الحياة **ظاهرة ضوء – كيميائية** .

أهمية عملية البناء الضوئي Photosynthesis:

❁ تعتبر عملية البناء الضوئي من أهم العمليات البيوكيميائية (التفاعلات الكيميائية داخل الخلايا الحية) **للإنسان لأنها**:

١. **مصدر للطاقة** التي تحتاجها الكائنات الحية لتنمو وتتكاثر وتحفاظ علي حياتها .

٢. **هامة لإنتاج غذاء الإنسان** من مواد كربوهيدراتية وبروتينية ودهنية وفيتامينات .

٣. **لها أهمية اقتصادية لحياة الإنسان** حيث أنها تنتج عنها الألياف النباتية والحيوانية المستخدمة في صناعة الأنسجة والأخشاب والورق ، والمنتجات الصناعية الأخرى كالدهون والخل والكحول وغيرها .

٤. **منشأ الوقود** مثل الفحم والبترول والغاز الطبيعي هو النباتات التي خزنت الطاقة الشمسية خلال عملية البناء الضوئي في العصور الجيولوجية القديمة في مركبات هذا الوقود .

٥. **إنتاج الأكسجين** الذي يمثل ٢١ ٪من حجم الهواء .

المواد الخام اللازمة لعملية البناء الضوئي:

١- **الماء** : هو مصدر الهيدروجين اللازم لإختزال CO_2 في أول خطوات بناء الكربوهيدرات.

٢- **ثاني أكسيد الكربون** : مصدر الكربون الذى يدخل في بناء المركبات العضوية .

٣- **المواد الآخري كالأملاح المعدنية** :(النترات والفوسفات والكبريتات) فهي لازمة لتحويل الكربوهيدرات إلى بروتينات.

٤- **بعض العناصر الهامة :مثل :**

- **الفسفور**: يدخل في تكوين **المركبات الناقلة للطاقة** (ATP) أثناء عملية البناء الضوئي.
- **الماغنسيوم** : يدخل في **بناء الكلوروفيل** .
- **الحديد**: لازم لتكوين بعض **الإنزيمات المساعدة** لإتمام عملية البناء الضوئي .

نواتج عملية البناء الضوئي:

١ـ **ناتج رئيسي وهو السكر** (أحادى التسكر) **ومصيره هو انه يمكن أن** :

- ☒ تبنى منه البروتينات اللازمة للنمو.
- ☒ يهدم في عملية التنفس الخلوي لإنتاج الطاقة.
- ☒ يحول إلى نشا للتخزين.

٢ـ **ناتج ثانوي وهو الأكسجين** .

أين تحدث عملية البناء الضوئي:

١ـ تحدث عملية البناء الضوئي في الأجزاء الخضراء من النباتات وتعتبر الأوراق الخضراء هي المراكز الرئيسية لعملية البناء الضوئي (**علل**) لاحتوائها على أنسجة كلورونشيمية بها بلاستيدات خضراء.

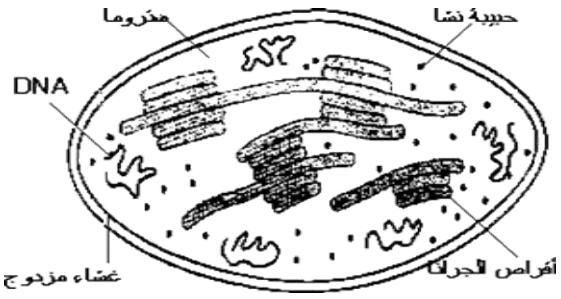
٢ـ وتساهم السيقان العشبية والجذور الهوائية في عملية البناء الضوئي (**علل**) لاحتوائها ايضا على أنسجة كلورونشيمية بها بلاستيدات خضراء

تركيب البلاستيدة الخضراء Chloroplast:

- **تحت الميكروسكوب الضوئي** تبدو ككتلة متجانسة علي شكل عدسة محدبة .
- **تحت الميكروسكوب الإلكتروني** تتكون من:

☒ **غشاء مزدوج خارجي رقيق** (سمكة ١٠ نانومتر) يوجد بداخلة النخاع أو الستروما Stroma .

☒ **تتركب الستروما(النخاع)**من مادة بروتينية عديمة اللون تنتشر فيها حبيبات الجرانا وحبيبات نشا.



- **حبيبات نشا**: توجد داخل النخاع بأعداد كبيرة وتكون صغيرة الحجم (**علل**) لأنها تتحلل الي سكر تنقله الي أعضاء أخري تحت ظروف معينة.
- **حبيبات الجرانا**Grana:

- قرصية الشكل تنتشر في النخاع
- قطر الحبيبة يبلغ حوالى ٠,٥ ميكرون وسمكها يبلغ حوالي ٠,٧ ميكرون.
- تنتظم الجرانا في شكل عقود تمتد داخل جسم البلاستيدة.
- تتركب حبيبة الجرانا الواحدة Granum من ١٥ قرص أو أكثر متراصة بعضها فوق بعض.
- القرص مجوف من الداخل وتمتد حوافه خارج حدود الحبيبة لتلتقي بحواف قرص آخر في حبيبة مجاورة هذا التركيب يزيد من مساحة سطح الأقراص المعرضة للضوء حيث انها تختص بحمل **الأصباغ التي تمتص الطاقة الضوئية**.

⊗ الأصباغ الأساسية في البلاستيدة الخضراء :

- يوجد أربع أصباغ أساسية في البلاستيدات وهي الموضحة بالجدول:

كلوروفيل أ	Chlorophyll a	لونه أخضر مزرق	نسبتهما حوالي ٧٠٪
كلوروفيل ب	Chlorophyll b	لونه أخضر مصفر	
زانثوفيل	Xanthophyll	لونه أصفر ليموني	نسبته حوالي ٢٥٪
كاروتين	Carotene	لونه أصفر برتقالي	نسبته حوالي ٥٪

⇦ لذا يغلب اللون الأخضر على ألوان الأصباغ الأخرى في البلاستيدة لارتفاع نسبة الكلوروفيل .

⇦ ويختص الكلوروفيل بامتصاص الطاقة الضوئية اللازمة لعملية البناء الضوئي.

⇦ وتتكون حبيبات النشا داخل البلاستيدة الخضراء بأعداد كبيرة وتكون صغيرة الحجم نظرا لأنها تتحلل إلى سكر ينقل إلى أعضاء أخرى تحت ظروف معينة.

القانون الجزيئي لكلوروفيل (أ):

هو $C_{55} H_{72} O_5 N_4 Mg$

وتوجد ذرة الماغنسيوم في مركز جزئ الكلوروفيل حيث يعتقد أن لها علاقة بقدرة الكلوروفيل على امتصاص الضوء.

ملائمة تركيب الورقة لعملية البناء الضوئي:

- يتلائم الشكل الخارجي لأوراق النبات مع وظيفتها حيث :

١. تنتشر الأوراق على الساق والأفرع في نظام يعرضها لأكبر قدر من أشعة الشمس .
٢. نصل الورقة دقيق (عريض) ومفلطح ليساعدها علي استقبال الضوء.
٣. **يدعم** نصل الورقة **عرق وسطي** يتفرع إلى أفرع أصغر فاصغر مكونة شبكة تتخلل النصل (علل)لتزويد الورقة بالماء والأملاح الممتص من الجذر ونقل المواد الغذائية عالية الطاقة.
٤. بالرغم من أن سطحي الورقة (العلوي والسفلي) يغطيهما طبقة من الكيوتين إلا أن هناك ثغور Stomata تقوم بعملية التهوية وتبادل الغازات (دخول CO_2 وخروج O_2) .

⌧ الثغور هي ثقوب صغيرة ضيقة توجد في بشرة الورقة وتعتبر المكان الرئيسي لتبادل الغازات داخل جسم الورقة وهي غالبا تفتح في الضوء وتغلق في الظلام وتتأثر بدرجة رطوبة الجو ومن خلال هذه الثغور تتحكم الأوراق في كمية تبخر الماء (النتح).

تركيب الورقة :

تتركب الورقة من ثلاثة أنسجة أساسية هي :

١- البشرتان العليا والسفلى Epidermis :

تتكون كل منهما من طبقة سمكها خلية واحدة (أي صف واحد) **من خلايا برانشيمية برميلية الشكل متلاصقة تخلو من الكلوروفيل تتخللها الثغور والجدار الخارجى لها مغطى بطبقة من الكيوتين** ماعدا الثغور.

٢- النسيج المتوسط Mesophyll Tissue :

يقع بن البشرتين العليا والسفلى وتخترقه العروق ويتكون من:

أ- الطبقة العمادية Palisade Layer .

ب- الطبقة الأسفنجية Spongy Layer .

الطبقة العمادية Palisade Layer	الطبقة الإسفنجية Spongy Layer
- صف واحد من الخلايا البارانشيمية مستطيلة الشكل عمودية على سطح الورقة (البشرة العليا). - خلاياها مزدحمة بالبلاستيدات الخضراء التي ترتب نفسها فى الجزء العلوى من الخلايا لتستقبل أكبر قدر من أشعة الضوء.	- توجد أسفل الطبقة العمادية وتتركب من خلايا برانشيمية غير منتظمة الشكل مفككة تفصلها مسافات بينية واسعة تنتشر فيها الغازات. - تحتوى خلاياها على بلاستيدات بدرجة أقل من خلايا الطبقة العمادية.

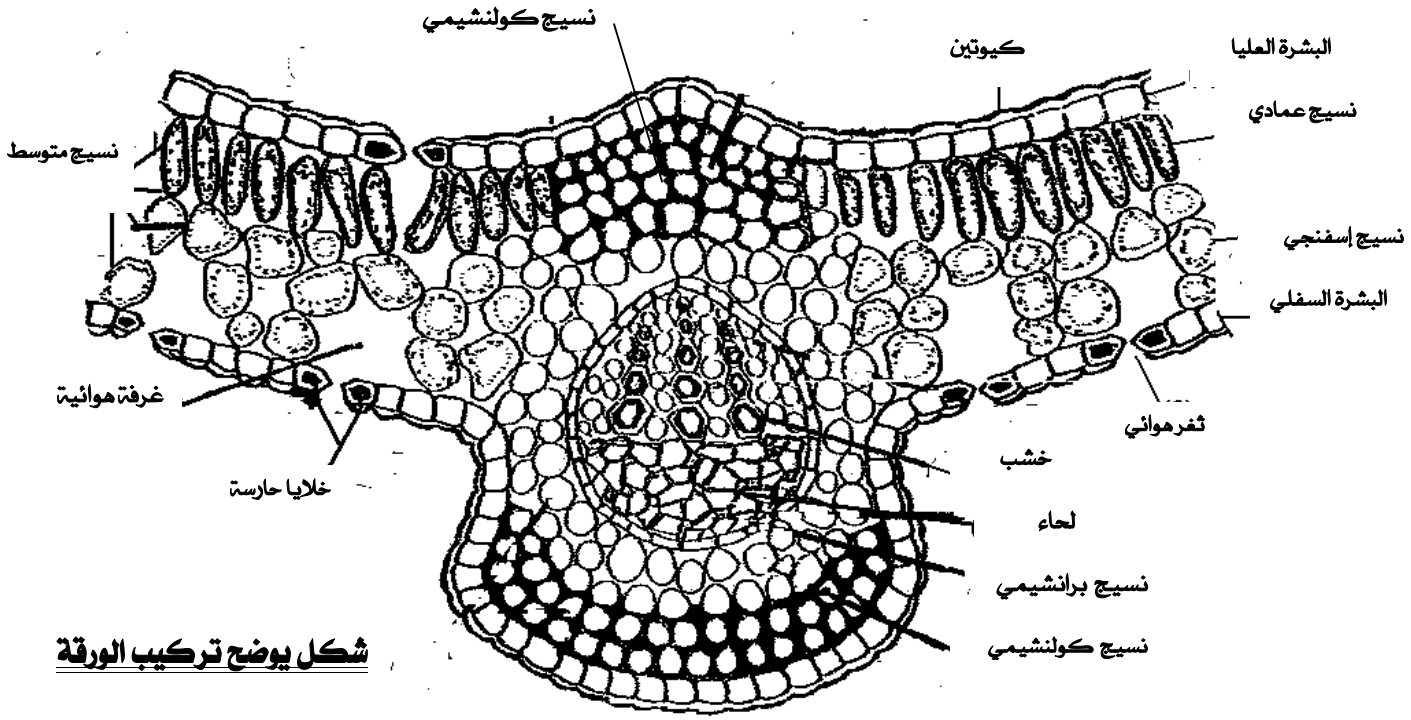
٣- النسيج الوعائي VascularTissue :

يتكون من حزم وعائية تمتد داخل العروق والعريقات و يحتوى العرق الوسطى على الحزم الوعائية الرئيسية .

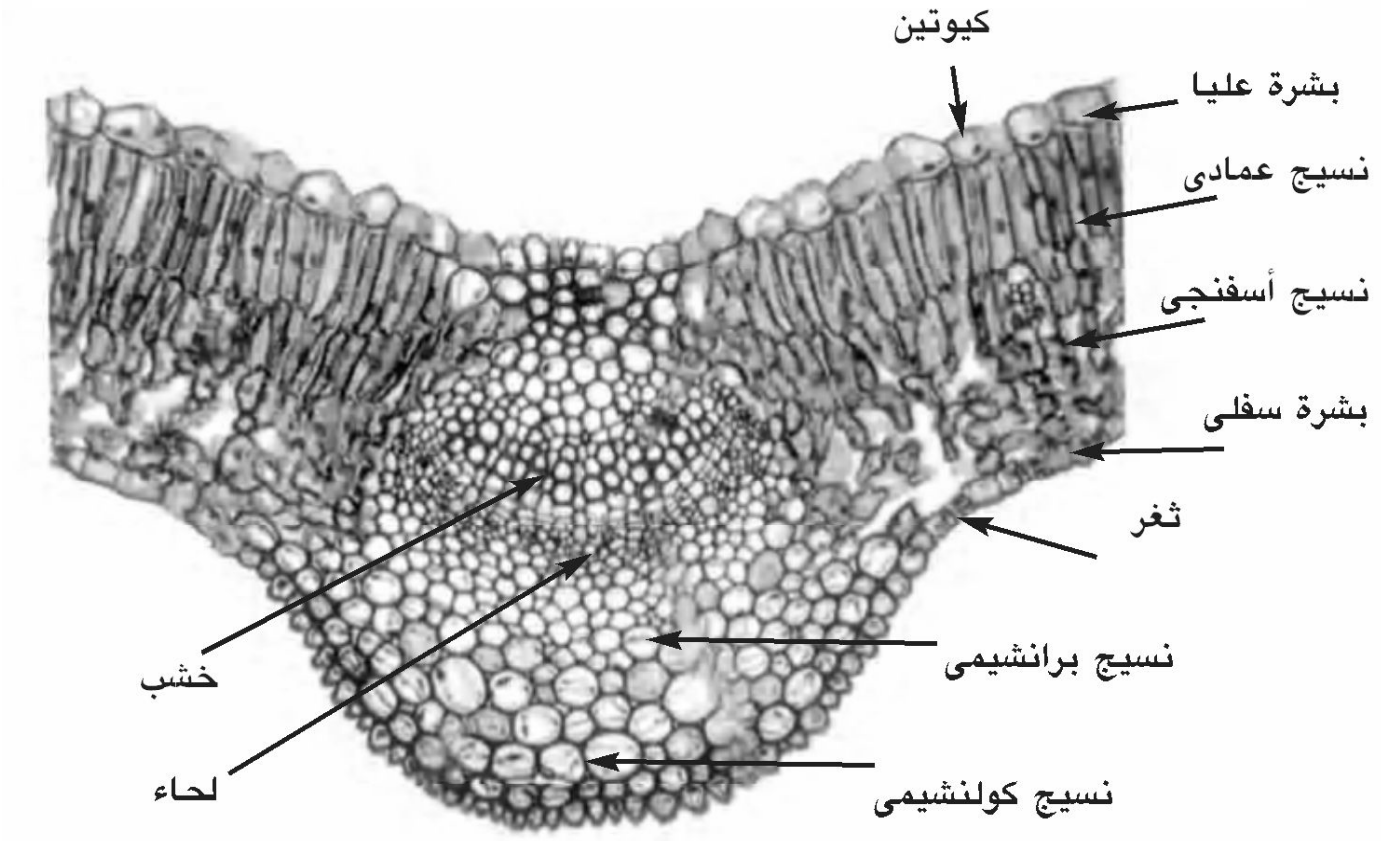
- **تتكون الحزمة الوعائية من :**

☒ **أوعية الخشب** Xylem vessels تقع داخل الحزمة الوعائية في عدة صفوف تفصلها برانشيما الخشب **ووظيفة** الخشب نقل الماء والأملاح من التربة عبر الجذر للأوراق.

☒ **اللحاء** Phleom يلي الخشب لأسفل داخل الحزمة الوعائية **ووظيفتة** توصيل المواد الغذائية العضوية المتكونة في النسيج المتوسط للورقة إلى أجزاء النبات المختلفة.



شكل يوضح تركيب الورقة



شكل (٨) تركيب الورقة

آلية البناء الضوئي

مصدر الأكسجين المنطلق في عملية البناء الضوئي

- العالم الأمريكي **فان نيل** هو أول من أوضح مصدر الأكسيجين الناتج من عملية البناء الضوئي.
- توصل إلى ذلك بدراسة البناء الضوئي في بكتريا الكبريت الخضراء والأرجوانية
- ***بكتريا الكبريت الخضراء والأرجوانية :***

- بكتريا ذاتية التغذية تحتوى على كلوروفيل بكتيري تركيبه ابسط من الكلوروفيل العادي .
- توجد في طين البرك والمستنقعات حيث يتوفر **كبريتيد الهيدروجين** (مصدر الهيدروجين الذي يختزل CO_2 لبناء الكربوهيدرات ويتحرر **الكبريت** .

- **افترض فان نيل أن:**

☑ الضوء يعمل على تحليل H_2S إلى هيدروجين وكبريت ويستخدم H_2 في تفاعلات لاضوئية لاختزال CO_2 الى كربوهيدرات كما في المعادلة التالية:

$$6CO_2 + 12H_2S \xrightarrow[\text{كلوروفيل بكتيري}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 12S\downarrow$$

وتسمي بمعادلة البناء الضوئي في بكتريا الكبريت.

أفترض فان نيل أن التفاعلات الضوئية التي تجرى في النباتات الخضراء تكون مشابهة لما يحدث في بكتريا الكبريت ولكن الضوء يحلل الماء إلى هيدروجين وأكسجين ويستخدم الهيدروجين لاختزال CO_2 فى سلسلة تفاعلات (لا تحتاج إلى الضوء) لإنتاج الكربوهيدرات **وافترض أن** الأكسجين ياتي من الماء كما هو الحال في الكبريت الذي يتحرر من H_2S لذا **فالماء هو مصدر الأكسجين.**

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2\uparrow$$

وتسمي بمعادلة البناء الضوئي في النباتات الراقية.

١ـ علل:

قد لاتتطلب عملية البناء الضوئي وجود الماء.

٢ـ ما هو الاساس العلمي الذي بني عليه فان نيل فرضه ؟

تجارب العلماء على طحلب كلوريلا Chlorella لإثبات أن الماء هو مصدر الأكسجين:

☒ استخدم العلماء طحلب الكلوريللا الأخضر لإثبات أن هو مصدر الأكسيجين المتحرر من عملية البناء الضوئي .

خطوات التجربة

- تم توفير الظروف المناسبة لطحلب الكلوريللا للقيام بعملية البناء الضوئي ولكن الماء المستعمل كان به نظير الأكسجين O^{18} وثانى أكسيد الكربون به أكسجين O^{16} فوجدوا أن الأكسجين الناتج O^{18} وليس O^{16}.

$$6C^{16}O_2 + 12H_2{}^{18}O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}{}^{16}O_6 + 6\,{}^{18}O_2 + 6H_2{}^{16}O$$

- كرر العلماء التجربة باستخدام الماء به نظير الأكسجين O^{16} وثانى أكسيد الكربون به أكسجين O^{18} فوجدوا أن الأكسجين الناتج O^{16} وليس O^{18}.

$$6C^{18}O_2 + 12H_2{}^{16}O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}{}^{18}O_6 + 6\,{}^{16}O_2 + 6H_2{}^{18}O$$

١- لماذا كرر العلماء التجربة ؟

٢- ما مصدر كلا من:

١) الأكسيجين المتصاعد في عملية البناء الضوئي.
٢) الأكسيجين الذي يدخل في تركيب السكر الناتج من عملية البناء الضوئي.
٣) الأكسيجين الذي يدخل في تركيب الماء الناتج من عملية البناء الضوئي.
٤) الكبريت الناتج من عملية البناء الضوئي في بكتريا الكبريت.
٥) الهيدروجين الذي يختزل CO_2 في عملية البناء الضوئي في طحلب الكلوريللا.
٦) الهيدروجين الذي يختزل CO_2 في عملية البناء الضوئي في بكتريا الكبريت .

التفاعلات الضوئية واللاضوئية

☒ أوضح العالم بلاكمان **Blackman** عند دراسة العوامل المحددة لمعدل عملية البناء الضوئى مثل الضوء والحرارة و CO_2 أن عملية البناء الضوئي تنقسم إلى:

وجه المقارنة	التفاعلات الضوئية	التفاعلات اللاضوئية
مكان التفاعل	داخل أقراص الجرانا	في الستروما
العامل المحدد	الضوء	درجة الحرارة
النواتج	أكسجين: يتصاعد هيدروجين: يخزن في $NADPH_2$ طاقة: تخزن في ATP	جلوكوز: يخزن في صورة نشا ماء

أولاً : التفاعلات الضوئية

١- عندما يسقط الضوء على الكلوروفيل فى الجرانا داخل البلاستيدة فان إلكترونات ذرات جزئ الكلوروفيل تكتسب الطاقة وتنتقل من مستوياتها الأقل في الطاقة إلى مستويات أعلى فى الطاقة وتختزن طاقة **الضوء الحركية** كطاقة **وضع كيميائية** فى الكلوروفيل وتسمى جزيئات الكلوروفيل **بالمنشطة (أو المثارة)** .

٢- عند تحرر الطاقة المختزنة تهبط الإلكترونات مرة أخري إلى مستوى الطاقة الأقل ويصبح الكلوروفيل **غير منشط** ويمكنه امتصاص مزيدا من الضوء ليصبح **منشطاً** مرة أخرى.

٣- يستخدم جزء من الطاقة المتحررة من الكلوروفيل المنشط في شطر جزى الماء الى أكسجين وهيدروجين.

$$2\,H_2O \xrightarrow{\text{طاقة}} O_2\uparrow + H_2\uparrow$$

٤- يختزن جزء من طاقة الكلوروفيل المنشط فى جزئ **ATP** باتحاد جزئ **ADP** الموجود في البلاستيدة مع مجموعة فوسفات (**P**).

ATP ⟵ **ADP + P**

ادينوسين ثلاثى الفوسفات ⟵ **ادينوسين ثنائي الفوسفات**

بواسطة رابطة ذات طاقة عالية (~)

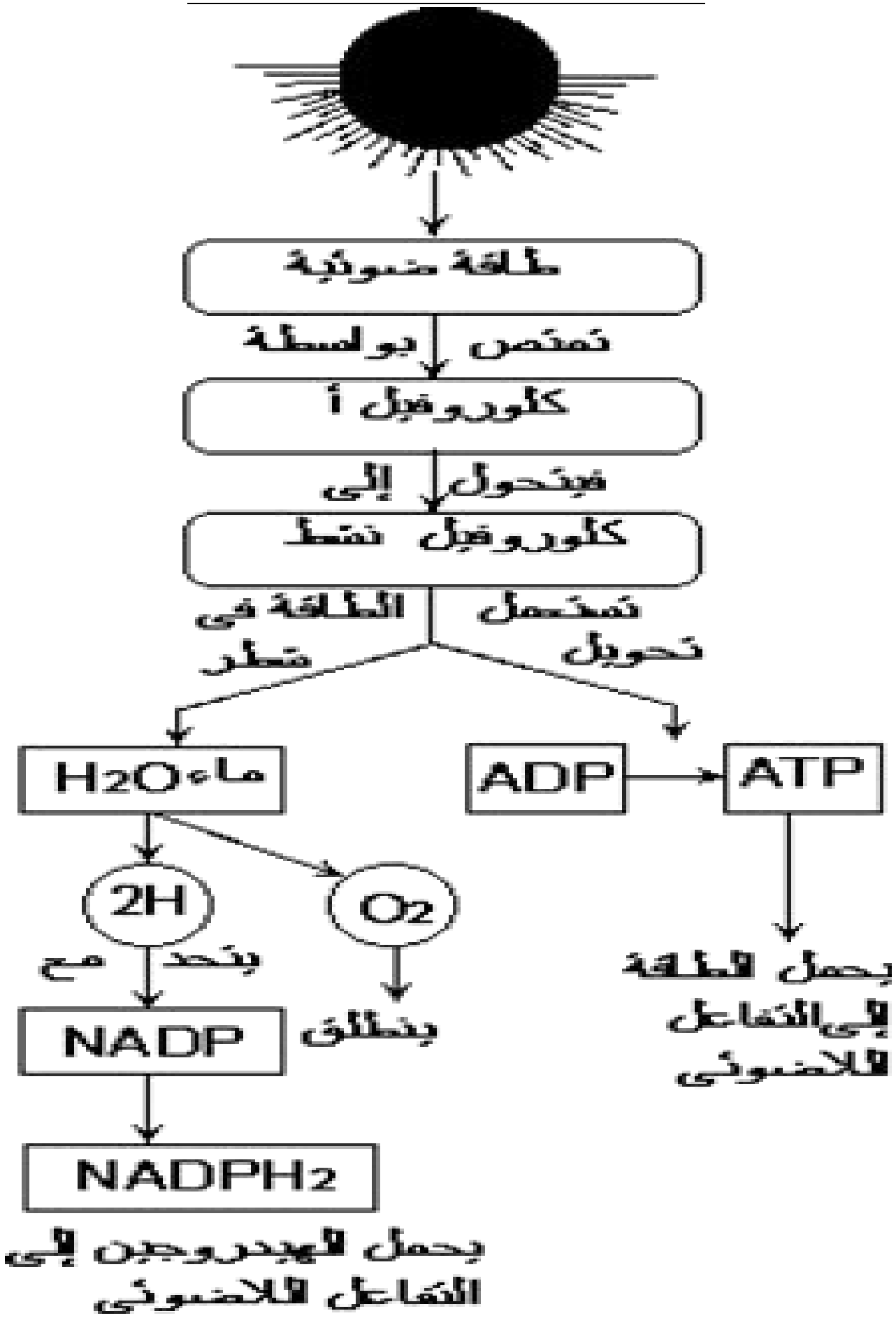
ادينوسين **P ~ P ~ P** ⟵ ادينوسين **P ~ P + P**

٥- يتحد الهيدروجين الناتج من انشطار جزئ الماء مع مساعد إنزيم فى البلاستيدة الخضراء يرمز له NADP ويتكون مركب **$NADPH_2$** (عملية تثبيت الهيدروجين) فلا يهرب الهيدروجين أو يتحد مع الأكسجين مرة أخرى.

٦- ينطلق الأكسجين المتحرر من انشطار الماء كناتج ثانوي.

- **ATP** (**عملة الطاقة**) مركب يسمى **أدينوسين** ثلاثى الفوسفات يتكون من مركبين عضويين (**الأدنين وسكر الريبوز**) متصلين **بثلاث مجموعات فوسفات**.
- **ADP** مركب **ادينوسين** ثنائى الفوسفات يحتوي علي **مجموعتين فوسفات** فقط.
- **NADP** ثنائى فوسفات أميد النيكوتين ثنائى النيوكليوتيد وهو **مستقبل الهيدروجين** .

مخطط للتفاعلات الضوئية



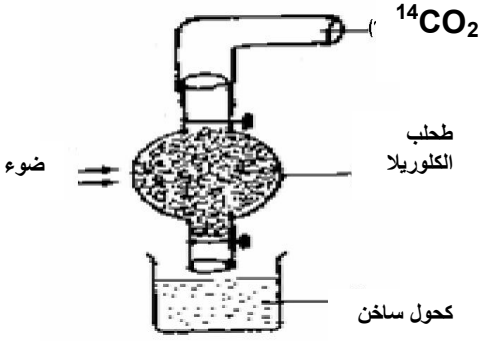
ثانياً: التفاعلات اللاضوئية

■هى مجموعة التفاعلات التى تحدث فى أرضية البلاستيدة الخضراء (الستروما) خارج الجرانا حيث يتم تثبيت غاز CO_2 باتحاده مع الهيدروجين المحمول على مركب $NADPH_2$ وبمساعدة الطاقة المختزنة فى جزئ ATP فتتكون المواد الكربوهيدراتية.

تجربة العالم ميليفن كالفن للكشف عن طبيعة التفاعلات اللاضوئية :

- تمكن العالم ميليفن كالفن ومساعدوه فى جامعة كاليفورنيا في عام ١٩٤٩من الكشف عن طبيعة التفاعلات اللاضوئية باستخدام نظير الكربون المشع (^{14}C)

خطوات التجربة:



١- قاموا بوضع طحلب الكلوريلا فى الجهاز وأمدوه بغاز CO_2 به كربون مشع(^{14}C).
٢- ثم أضى المصباح لعدة ثوان ليسمح بحدوث البناء الضوئى.
٣- ثم وضع الطحلب فى كأس به كحول ساخن (علل) **لقتل الخلية ووقف التفاعلات البيوكيمائية.**
٤- ثم فصلوا المركبات التى تكونت خلال عملية البناء الضوئى بطرق خاصة وكشفوا فيها عن الكربون المشع **بعداد جيجر.**

المشاهدة:

أوضحت النتائج تكون مركب ذو ثلاث ذرات كربون يسمى **فوسفوجليسرالدهيد** (PGAL)عندما استمرت عملية البناء الضوئي ثانيتين فقط وهو المركب الأول الثابت كيميائيا الناتج عن البناء الضوئى.

الاستنتاج:

١) أن تكوين السكر سداسى الكربون لا يتم فى خطوة واحدة بل من خلال عدة تفاعلات وسطية تحفزها أنزيمات خاصة لذا تسمي التفاعلات اللاضوئية **بالتفاعلات الانزيمية.**
٢) **ان فوسفوجليسرالدهيد** (PGAL) هو المركب الأول الثابت كيميائيا الناتج عن البناء الضوئى.

أهمية PGAL:

١- يستغل هذا المركب لبناء الجلوكوز والنشا والبروتينات والدهون.
٢- كما يمكن أن يستعمل كمركب عالى الطاقة فى التنفس الخلوى