

Plant Physiology

الفيزيولوجيا النباتية

التركيب الضوئي

د. ربيعة توفيق زحلان

التركيب الضوئي *Photosynthesis*

العملية التي تغذي الأحياء على سطح الكرة الأرضية،
فكما نعلم أن الأرض تستمد طاقتها من الشمس، فالنباتات
والكائنات التي تقوم بعملية التركيب الضوئي لديها
عضيات خلوية تسمى الصانعات الخضراء

Chloroplasts

والتي تقتنص طاقة الضوء التي تقطع مسافة 150 مليون
كم لتصل من الشمس إلى الأرض، وتقوم بتحويل هذه
الطاقة من ضوئية إلى كيميائية، تخزن في جزيئات
السكر وجزيئات عضوية أخرى، بعملية التركيب
الضوئي.

- تقسم الكائنات الحية بحسب نمط التغذية إلى ذاتية التغذية Autotrophs وغيرية التغذية Heterotrophic
- تصنع الكائنات ذاتية التغذية غذاءها بنفسها دون أن تعتمد على أي كائن حي آخر، بل على CO₂ وعناصر غير عضوية من الوسط المحيط لذلك تسمى هذه الكائنات بالمنتجات. حيث تقوم معظم النباتات والطحالب وكائنات محددة من وحيدات الخلية حقيقيات النوى وبعض طلائعيات النوى بعملية التركيب الضوئي .
- بينما الكائنات غيرية التغذية غير قادرة على صنع غذائها بنفسها بل تعتمد على مركبات تأخذها من غيرها من الكائنات الحية لذلك تسمى المستهلكات.
- بعض المستهلكات مثل الفطريات وبعض حقيقيات النوى الأخرى تتغذى على البقايا والأوراق المتساقطة والكائنات الحية الميتة فتسمى المفككات.
- الكائنات غيرية التغذية بما فيها الإنسان تعتمد بطريقة مباشرة أو غير مباشرة في تغذيتها على الكائنات ذاتية التغذية من أجل الغذاء والأكسجين

مكان حدوث التركيب الضوئي

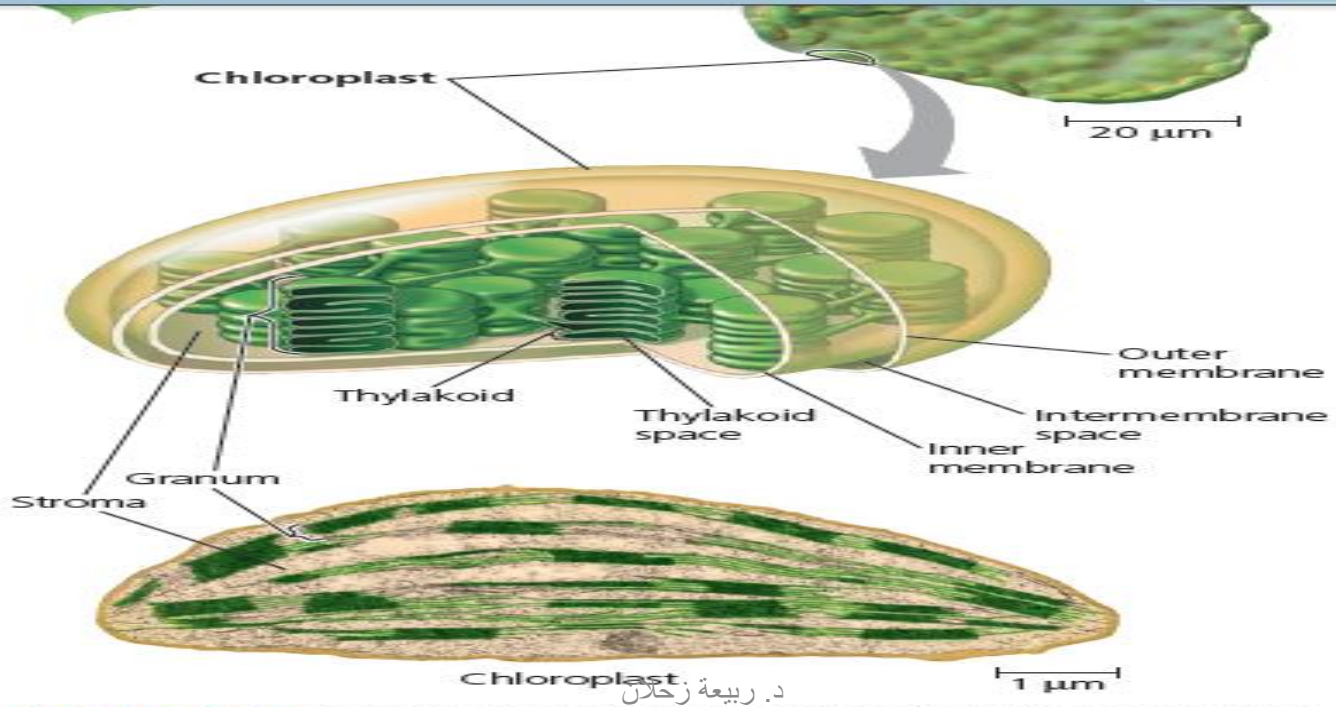
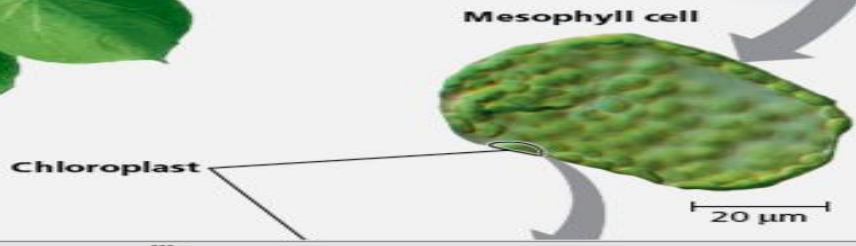
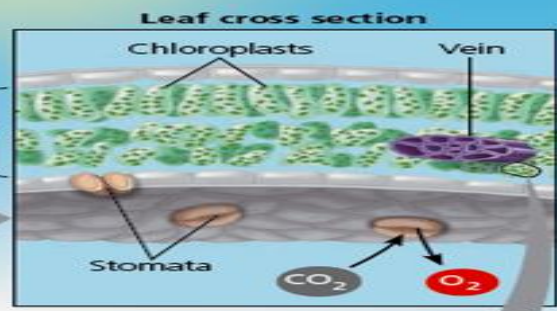
- تحدث عملية التركيب الضوئي في الصانعات الخضراء والتي تتواجد في الأغصان الخضراء والثمار غير الناضجة ولكن يتركز وجودها في الأوراق بشكل أساسي وفي النسيج المتوسط تحديداً Mesophyll
- حيث يوجد حوالي نصف مليون صانعة خضراء في مقطع عرضي لورقة بمساحة 1mm^2 ، ففي خلية نموذجية من النسيج المتوسط (طولها بين 4-7 ميكرون وعرضها بين 4-2 ميكرون) يوجد حوالي 30-40 صانعة خضراء.

- تتكون الصانعة الخضراء من غشاء مضاعف يحيط بمادة كثيفة تسمى Stroma ، يمتد وسط الستروما غشاء ثالث على شكل أكياس تتوضع فوق بعضها البعض تسمى التيلاكويدات Thylakoids تحجز بداخلها فراغات ، مجموعة التيلاكويدات تسمى الغرانا Grana ، يتوضع اليخضور (الكلوروفيل) الذي يعطي النبات لونه الأخضر في غشاء
- التيلاكويدات حيث تمتص الطاقة الضوئية التي سيستخدمها النبات لتركيب الجزيئات العضوية في الصانعات الخضراء

1.
to-

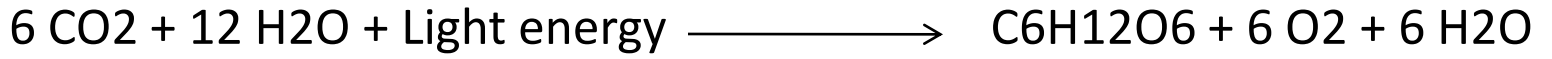
at
gy

ness light
ganic com-
n in the cell:
es are grouped
; the necessary
efficiently.
iginated in a
f the plasma
cules. In exist-
synthetic mem-
branes of the
ing to what has
ory, the origi-
yote that lived
earned about this
ed more fully in



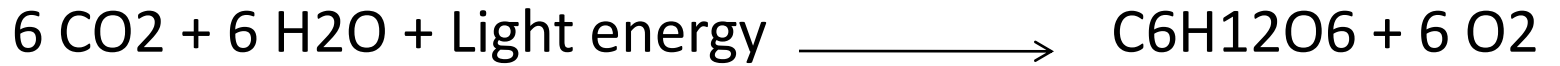
د. ربیعة زحلان

• في عام 1800 توصل العلماء لمعادلة التركيب الضوئي

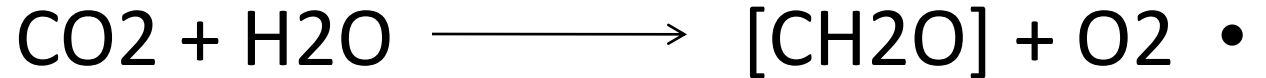


• يستخدم الغلوكوز هنا لتبسيط العلاقة بين التنفس والتركيب الضوئي ولكن الناتج المباشر لعملية التركيب الضوئي هو سكر ثلاثي الكربون والذي سيتم استعماله لصنع الغلوكوز، ونلاحظ أن الماء موجود في طرفي المعادلة لأنه يتم استهلاك 12 جزيء و تركيب 6 جزيئات ماء بعملية التركيب الضوئي

ولكن لتبسيط المعادلة نقوم بوضع 6 جزيئات من الماء والتي تعبر عن الاستهلاك الصافي للماء.



• ولتبسيط المعادلة أكثر نقسم المعادلة على الرقم 6

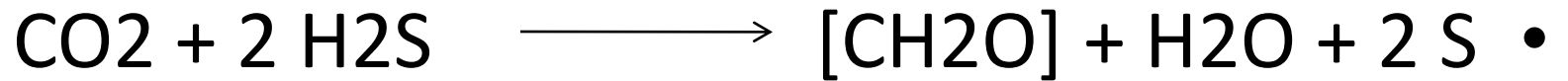


• [CH₂O] الصيغة العامة للكربوهيدرات.

انشطار الماء *The Splitting of Water*

- كان الاعتقاد سابقا أن الأكسجين الناتج عن عملية التركيب الضوئي يأتي من جزيء CO_2
- $(CO_2 \rightarrow C + O_2)$ وكان يعتقد أيضا أن جزيء الماء ينضم إلى ذرة الكربون ويشكل الكربوهيدرات
- $(C + H_2O \rightarrow [CH_2O])$ ، ولكن تبين فيما بعد أن مصدر الأكسجين هو جزيء الماء بناء على أبحاث قام بها العالم C.B.Van Niel من جامعة ستانفورد بفحصه عملية التركيب الضوئي في الجراثيم والتي تصنع الكربوهيدرات دون إطلاق O_2 ، عندها قال في هذه الأحياء على الأقل لا ينشطر CO_2 إلى كربون وأكسجين.

- هناك نوع آخر من البكتيريا يستخدم H₂S بدلا من الماء للتركيب الضوئي مشكلة كرييات صفراء من الكبريت كنفاية .



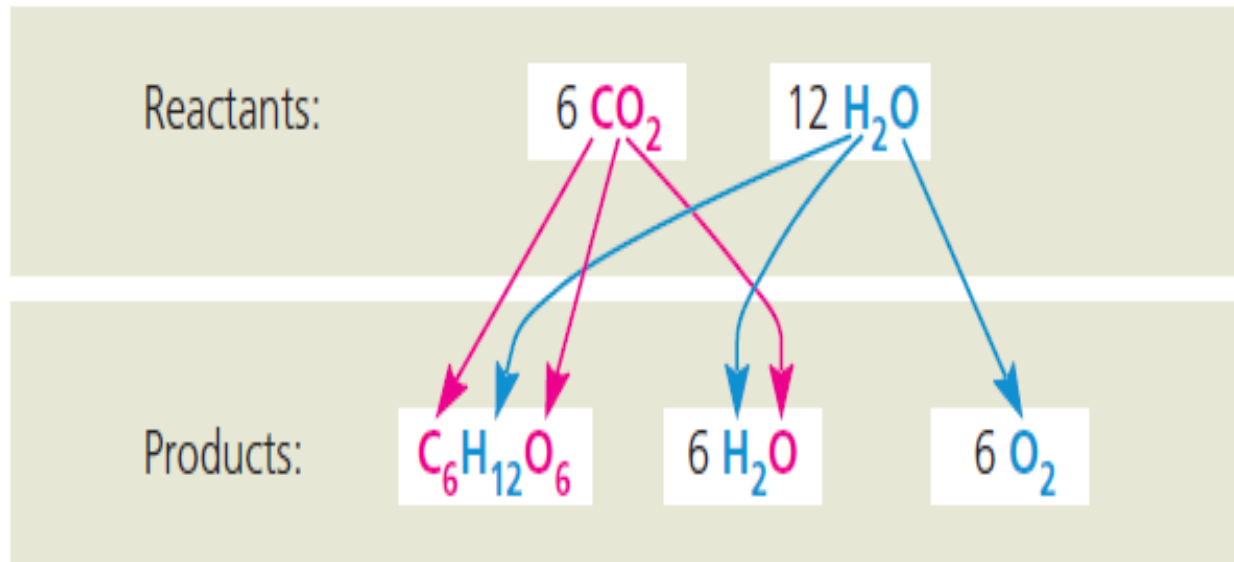
- نتيجة ذلك استنتج الباحث أن البكتيريا شطرت H₂S واستخدمت ذرات الهيدروجين لصنع السكر. وبذلك عمم استنتاجه وقال إن جميع المتعضيات التي تقوم بالتركيب الضوئي تحتاج إلى مصدر للهيدروجين ولكن المصدر يختلف:

- Sulfur bacteria: $CO_2 + 2 H_2S \longrightarrow [CH_2O] + H_2O + 2 S$
- Plants: $CO_2 + 2 H_2O \longrightarrow [CH_2O] + H_2O + O_2$
- General: $CO_2 + 2 H_2X \longrightarrow [CH_2O] + H_2O + 2 X$

- بعد ذلك افترض أن النبات يفكك H₂O كمصدر للإلكترونات من ذرة الهيدروجين محررا O₂ أحد نواتج التركيب الضوئي. وقبل 20 عام تبنى العلماء نظرية Van عند استخدامهم الأكسجين الموسوم O¹⁸ نظير الأكسجين وتتبعوا أثره خلال عملية التركيب الضوئي وتبين لهم أن الأكسجين الموسوم ينطلق كنواتج لعملية التركيب الضوئي فقط إذا تم وسم أكسجين الماء الذي يمتصه النبات، بينما لم يتحرر الأكسجين الموسوم عندما تم وسم أكسجين CO₂ الممتص في عملية التركيب الضوئي.

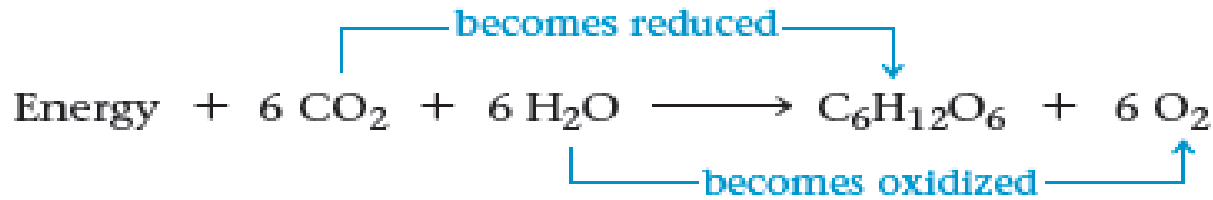


▼ **Figure 10.5 Tracking atoms through photosynthesis.** The atoms from CO_2 are shown in magenta, and the atoms from H_2O are shown in blue.



التركيب الضوئي كعملية أكسدة:

- في عملية التركيب الضوئي يتفكك الماء وتذهب الالكترونات مع شوارد الهيدروجين إلى ثنائي أكسيد الكربون مرجعة إياه إلى سكر



- بانتقال الالكترونات من الماء إلى السكر تزداد طاقتها الكامنة وهذا يحتاج إلى طاقة فهذه العملية ماصة للطاقة Endergonic، إن الطاقة المثبتة أثناء عملية التركيب الضوئي تأتي من الشمس.

- **مرحلتى التركيب الضوئي:** إن عملية التركيب الضوئي تتضمن الكثير من الخطوات المعقدة وهي ليست عملية مفردة بل عبارة عن مرحلتين في كل منهما العديد من الخطوات:
- تفاعلات الضوء حيث يتم اقتناص الطاقة الضوئية وتحويلها لطاقة كيميائية.
- حلقة كالفن والتي تستهلك الطاقة الكيميائية لصنع جزيئات عضوية

- في المرحلة الأولى يتفكك الماء ويتم الحصول على الإلكترونات والبروتونات (شوارد الهيدروجين H^+)، ويتم إطلاق الأكسجين كغاز ناتج عن عملية التركيب الضوئي. الضوء الممتص من قبل اليخضور يسبب انتقال الإلكترونات وشوارد الهيدروجين من الماء إلى مستقبل يدعى $NADP^+$
- (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate)
- ويتم تخزينها بشكل مؤقت ، التفاعل الضوئي يستخدم الطاقة الشمسية لإرجاع $NADP^+$ إلى $NADPH$ بإضافة زوج من الإلكترونات مع H^+ ، والتفاعل الضوئي يولد أيضا ATP بإضافة زمرة فوسفات إلى ADP تدعى العملية الفسفرة الضوئية **photophosphorylation** ، الطاقة الضوئية تتحول بداية إلى طاقة كيميائية على شكل مركبي $NADPH, ATP$.

- يعمل مركب NADPH كمصدر للإلكترونات (قوة مرجعة) ويعمل كمستقبل للإلكترونات بينما ATP يعد مركب الطاقة الأكثر شيوعاً ومتعدد الاستعمال في الخلية. كما نلاحظ أن تفاعل الضوء لا يركب السكر بل تركيب السكر يتم في المرحلة الثانية وهي حلقة كالفن

- أما المرحلة الثانية فهي حلقة كالفن تم اكتشافها عام 1940 من قبل الباحث كالفن حيث تبدأ الحلقة باتحاد CO2 الجوي بجزيء عضوي موجود في الصانعات الخضراء هذا الاتحاد يسمى تثبيت الكربون.
- وبعد ذلك في حلقة كالفن يتم إرجاع الكربون المثبت إلى كربوهيدرات (سكر) بإضافة إلكترونات يكون مصدرها NADPH الذي حصل على إلكتروناته بالمرحلة الأولى (التفاعل الضوئي).

- وليتحول CO2 إلى كربوهيدرات يلزم أيضا طاقة كيميائية يحصل عليها من ATP الذي تم تشكيله في المرحلة الأولى (التفاعل الضوئي) ويجب الأخذ بعين الاعتبار بالرغم من أن تركيب السكر يتم في المرحلة الثانية (حلقة كالفن) فإن ذلك لن يتم دون مركبات ATP, NADPH التي تم الحصول عليها في المرحلة الأولى .

- يشار أحيانا لحلقة كالفن بأنها تفاعلات الظلام أو التفاعلات التي لا تعتمد على الضوء لأن خطوات هذه المرحلة لا تحتاج للضوء بشكل مباشر، مع ذلك حلقة كالفن في معظم النباتات تحدث خلال النهار.
- يحدث التفاعل الضوئي في التيلاكويديات في الصانعات الخضراء بينما حلقة كالفن تحدث في الستروما خارج التيلاكويديات، حيث أن مركب $NADP^+$ يلتقط الكثرونات و ADP يضم زمرة فوسفات ويتم تحريرهم إلى الستروما من التيلاكويديات ليقوموا بدورهم في حلقة كالفن.

► **Figure 10.6 An overview of photosynthesis: cooperation of the light reactions and the Calvin cycle.** In the chloroplast, the thylakoid membranes (green) are the sites of the light reactions, whereas the Calvin cycle occurs in the stroma (gray). The light reactions use solar energy to make ATP and NADPH, which supply chemical energy and reducing power, respectively, to the Calvin cycle. The Calvin cycle incorporates CO_2 into organic molecules, which are converted to sugar. (Recall that most simple sugars have formulas that are some multiple of CH_2O .) To visualize these processes in their cellular context, see Figure 6.32.

 **BioFlix® Animation: Photosynthesis**

