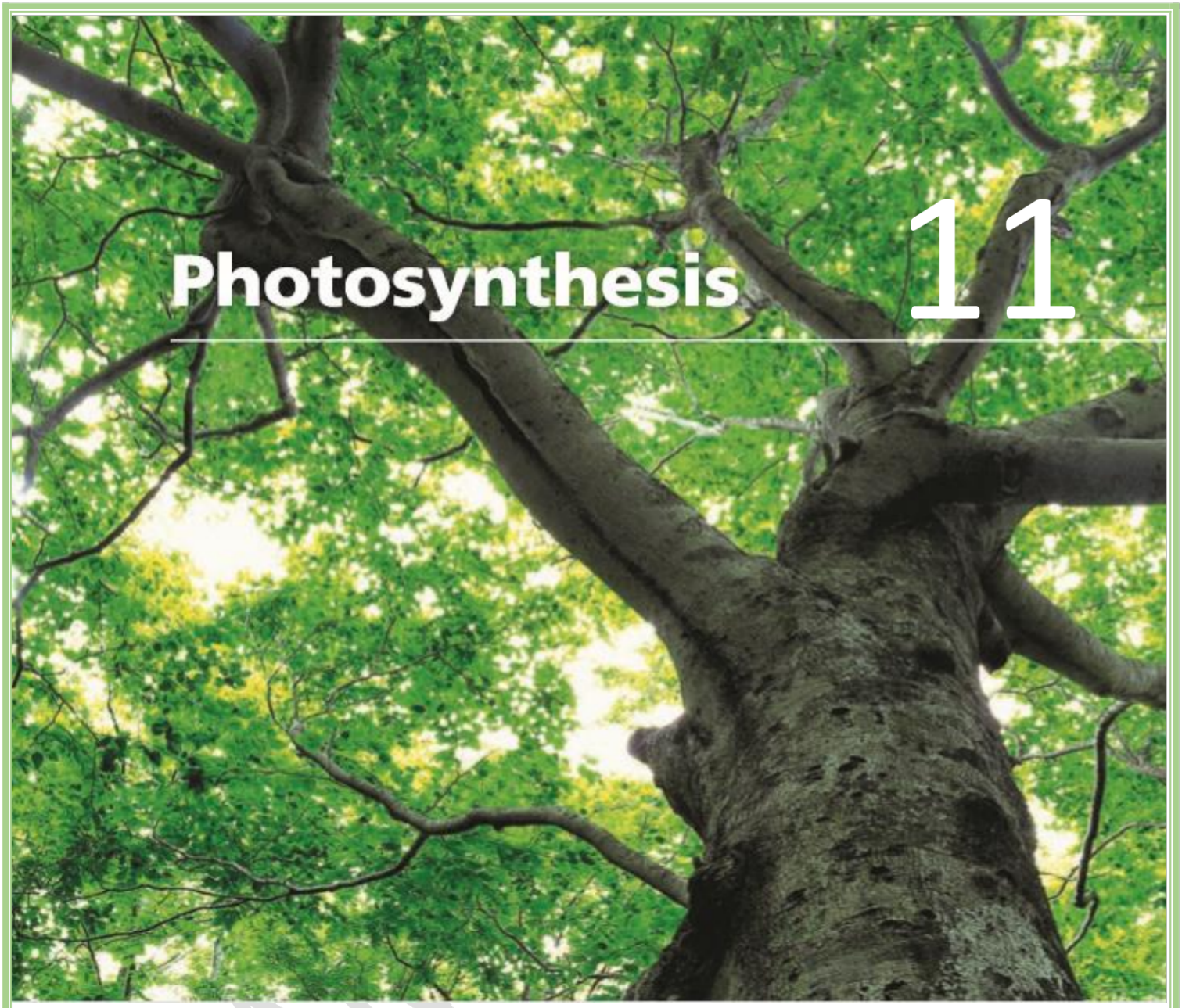


11 Photosynthesis

KEY CONCEPTS

11.1 Photosynthesis converts light energy to the chemical energy of food

11.2 The light reactions convert solar energy to the chemical energy of ATP and NADPH

11.3 The Calvin cycle uses the chemical energy of ATP and NADPH to reduce CO_2 to sugar

- Life on Earth is solar powered.

الطاقة الشمسية هي مصدر الطاقة على سطح الأرض.

- Plants and other photosynthetic organisms contain cellular organelles called chloroplasts, which contain molecular complexes capture light energy from the sun and convert it to chemical energy that is stored in sugar and other organic molecules.

تمتلك النباتات والكائنات الأخرى القادرة على القيام بالبناء الضوئي عضيات خلوية تسمى البلاستيدات الخضراء والتي تحتوي على مركبات جزيئية تعمل على تحويل الطاقة الضوئية من الشمس إلى طاقة كيميائية مخزنة في السكريات والمركبات العضوية الأخرى.

- Photosynthesis: the process of conversion of light energy from sun to chemical energy stored in sugar and other organic compounds.

البناء الضوئي: هي عملية تحويل الطاقة الضوئية من الشمس إلى طاقة كيميائية مخزنة في السكريات و المركبات العضوية الأخرى.

- Photosynthesis nourishes almost the entire living world directly or indirectly.

تغذي عملية البناء الضوئي جميع الكائنات الحية سواء أكان ذلك بصورة مباشرة أو غير مباشرة.

Types of organisms depending on the mode of nutrition:

أنواع الكائنات الحية اعتمادا على نمط حصولها على الغذاء:

1. Autotrophs (Self - feeders OR Producers).

الكائنات ذاتية التغذية (المنتجات)

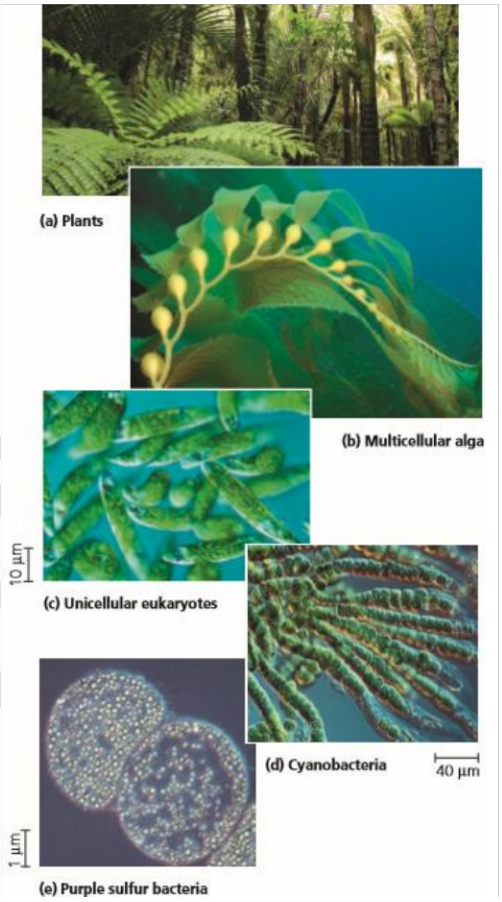
✓ They sustain themselves without eating anything derived from other living beings.

تستطيع هذه الكائنات دعم نفسها من غير تناول أي شيء مشتق من أي كائن حي آخر أي أنها تنتج غذائه بنفسها.

✓ They produce their organic molecules from CO2 and other inorganic raw materials obtained from the environment.

RANA ABBADI

يستطيع هذا النوع من الكائنات إنتاج مركبات عضوية من ثاني أكسيد الكربون ومواد خام غير عضوية من البيئة المحيطة فيها.



- ✓ They are the ultimate sources of organic compounds for all non-autotrophic organisms.

تعتبر المصدر النهائي للمركبات العضوية لجميع الكائنات غير ذاتية التغذية.

- ∝ Almost all plants are autotrophs; the only nutrients they require are water and minerals from the soil and carbon dioxide from the air.

معظم النباتات ذاتية التغذية، بحيث إن المغذيات الوحيدة التي تحتاجها هي : الماء ، المعادن من التربة وثاني أكسيد الكربون من الهواء.

- ∝ Specifically, plants are photoautotrophs, organisms that use light as a source of energy to synthesize organic substances.

كمصطلح أكثر دقة تعتبر النباتات Photoautotroph حيث يعبر المقطع Auto بأنها ذاتية التغذية أي قادرة على صناعة المادة العضوية بنفسها والمقطع Photo أي أن مصدر الطاقة اللازمة لهذه العملية هي الطاقة الشمسية.

- ∝ Photosynthesis also occurs in algae, certain unicellular eukaryotes, and some prokaryotes.

تحدث عملية البناء الضوئي أيضا في الطحالب ، بعض حقيقيات النوى وحيدات الخلية، وبعض بدائيات النوى.

2) Heterotrophs (Other - feeding OR Consumers).

كائتنا غير ذاتية التغذية (مستهلكات).

- ✓ They are unable to make their own food; they live on compounds produced by other organisms

غير قادرة على تصنيع غذائها بنفسها ، بل تعيش على المركبات التي تنتجها الكائنات الحية الأخرى.

- ✓ The most obvious "other-feeding" occurs when an animal eats plants or other organisms.

أكثر ما يُظهر هذا النوع من التغذية هو أكل الحيوانات للنباتات أو لكائتنات أخرى.

RAMA ABD

- ✓ Some heterotrophs consume the remains of other organisms by decomposing and feeding on organic litter such as dead organisms, feces, and fallen leaves; these types of heterotrophs are known as decomposers.

تستطيع بعض الكائنات غير ذاتية التغذية استهلاك بقايا الكائنات الأخرى من خلال تحليل المادة العضوية وتناولها مثل الكائنات الحية الميتة ، البراز ، الأوراق المتساقطة حيث يسمى هذا النوع من الكائنات ب المستهلكات.

- ✓ Most fungi and many types of prokaryotes get their nourishment this way.

يحدث هذا النوع من التغذية أيضا في أنواع عديدة من الفطريات.

✓Almost all heterotrophs, including humans, are completely dependent, either directly or indirectly, on photoautotrophs for food—and also for oxygen, a by-product of photosynthesis.

تعتمد جميع الكائنات غير ذاتية التغذية بما فيها الإنسان تماما (سواء بشكل مباشر أو غير مباشر) على الكائنات ذاتية التغذية ذات مصدر الطاقة الضوئي للحصول على غذائها ، كما أنها تستفيد منها بالحصول على الأكسجين وذلك لأن الأكسجين هو الناتج النهائي لعملية البناء الضوئي.

- ∝ The Earth's supply of fossil fuels was formed from remains of organisms that died hundreds of millions of years ago. Ina sense, then, fossil fuels represents stores of the sun's energy from the distant past.

تشكل مخزون الأرض من الوقود الأحفوري بفعل بقايا الكائنات الحية التي ماتت قبل مئات ملايين السنين ، حيث يعني هذا أن الوقود الأحفوري يمثل طاقة شمسية مخزنة.

- ∝ Because these resources are being used at a much higher rate than they are replenished, researchers are exploring methods of capitalizing on the photosynthetic process to provide alternative fuels.

وبما أن معدل استهلاك هذا المصدر يفوق معدل إعادة تجديده لجأ الباحثون إلى البحث عن طرق لاستخدام عمليات البناء الضوئي كبديل عن هذا الوقود.

RANA ABBADI

➢ *Concept 11.1: Photosynthesis converts light energy to the chemical energy of food*

- Where does the ability of an organism to harness light energy and use it to drive the synthesis of organic compounds emerge from?

ما الذي يجعل الكائن الحي قادرة على تحويل الطاقة الضوئية من الشمس إلى طاقة كيميائية مخزنة في المركبات العضوية ؟

✓ Photosynthetic enzymes and other molecules are grouped together in a biological membrane, enabling the necessary series of chemical reactions to be carried out efficiently.

حتى تتم عملية البناء الضوئي يجب أن يمتلك الكائنات إنزيمات وجزيئات أخرى قادر مجتمعة ومنظمة داخل غشاء بيولوجي ، حيث تتم فيه مجموعة مهمة من التفاعلات الكيميائية اللازمة وبفعالية كبيرة.

- The process of photosynthesis most likely originated in a group of bacteria that had infolded regions of the plasma membrane containing clusters of such molecules.

ظهرت عملية البناء الضوئي في مجموعة من البكتيريا التي تمتلك مناطق ملفوفة من الغشاء البلازمي والتي تحتوي على الجزيئات والإنزيمات اللازمة لهذه العملية.

- In bacteria these enzymes are found in infolded photosynthetic membranes.
- In eukaryotes, these enzymes are found in internal membranes of chloroplasts.

- The endosymbiont theory: the original chloroplast was a photosynthetic prokaryote that lived inside an ancestor of eukaryotic cells.

تفترض نظرية التعايش البيئي أن البلاستيدات الخضراء أصلا عبارة عن كائن بداني النواة قادر على القيام بعملية البناء الضوئي والتي عاشت داخل خلية حقيقية ، فأصبحت عضية بداخلها مع مرور الزمن.

- Chloroplasts are present in a variety of photosynthesizing organisms.

تتواجد البلاستيدات الخضراء في جميع الكائنات الحية القادرة على القيام بعمبية البناء الضوئي.

• Chloroplasts: The Sites of Photosynthesis in Plants

- All green parts of a plant, including green stems and un-ripened fruit, have chloroplasts, but the leaves are the major sites of photosynthesis in most plants.

تحتوي جميع الأجزاء الخضراء من النبتة بما فيها السيقان الخضراء والفاكهة غير الناضجة بلاستيدات خضراء ، إلا أن الأوراق تعتبر المكان الرئيسي لحدوث عملية البناء الضوئي.

RAMA ABADI

- There are about half a million chloroplasts in a chunk of leaf with atop surface area of 1 mm2.

تحتوي منطقة صغيرة من الورقة ذات مساحة سطحية = 1مم ٢ حوالي مليون بلاستيدة.

- Chloroplasts are found mainly in the cells of the mesophyll, the tissue in the interior of the leaf.

تتواجد البلاستيدات الخضراء بشكل أساسي في خلايا النسيج الأوسط وهو نسيج يتواجد إلى الداخل من الورقة.

- Carbon dioxide enters the leaf, and oxygen exits, by way of microscopic pores called stomata.

يدخل ثاني أكسيد الكربون و يغادر الأكسجين من الورقة بواسطة ثقوب ميكروسكوبية تسمى الثغور.

- Leaves use veins for the:

تعمل عروق الأوراق على:

1) Delivery of absorbed water (By root) to leaves.

إيصال الماء الممتص من الجذور إلى الأوراق.

2) Export sugar to roots and other non-photosynthetic parts of the plant.

تصدير السكريات إلى الجذور والأجزاء الأخرى غير القادرة على القيام بالبناء الضوئي.

- A typical mesophyll cell has about 30-40 chloroplasts, each measuring about 2-4 um by 4-7 um.

تحتوي خلية النسيج الأوسط الواحدة على 30 إلى 40 بلاستيدة ، يبلغ حجم كل منها2-4µm* 4-7µm

- A chloroplast has two membranes surrounding a dense fluid called the stroma.

تمتلك البلاستيدات غشاءان يحيطان بسائل كثيف يسمى (اللحمة).

- Suspended within the stroma is a third membrane system, made up of sacs called thylakoids, which segregates the stroma from the thylakoid space inside these sacs. In some places, thylakoid sacs are stacked in columns called grana (singular, granum).

يوجد داخل هذا السائل نظاماً غشائياً ثالثاً مكون من حويصلات تسمى الثيلوكويدات ، حيث يعمل غشاء الثيلوكويد على فصل ما داخلها عن اللحمة ، في بعض المناطق تتجمع مجموعة من الثيلوكويدات على شكل عمود يسمى Grana ، ومفردهاGranum .

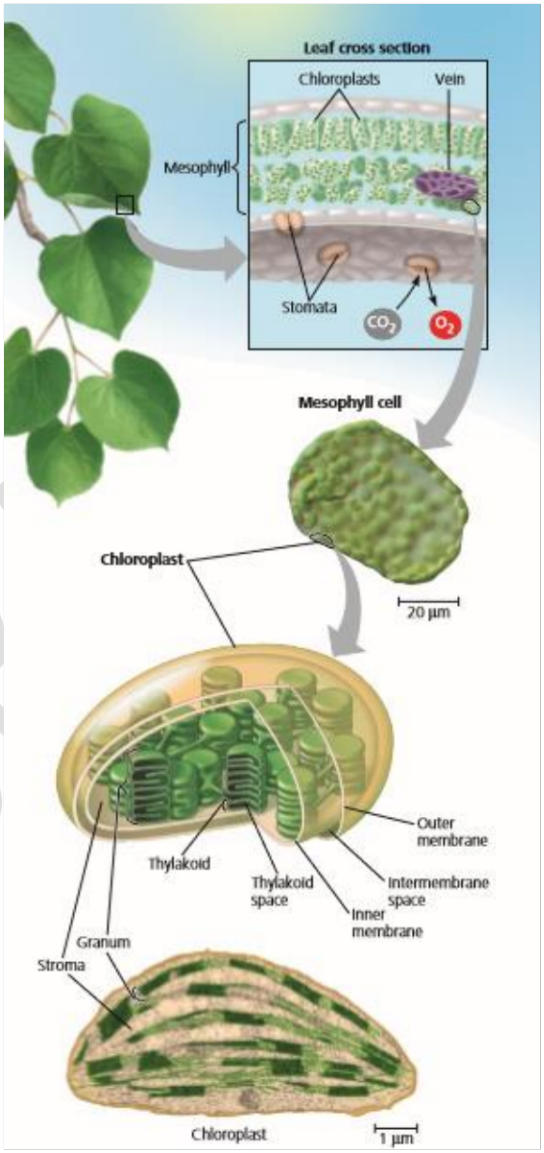
RAMA ABBADI

- Chlorophyll: the green pigment that gives leaves their color, resides in the thylakoid membranes of the chloroplast.

الكلوروفيل: الصبغة الخضراء المسؤولة عن إعطاء الأوراق ألوانها الخضراء ، تتواجد في غشاء الثيلوكويد للبلاستيدات الخضراء.

- The internal photosynthetic membranes of some prokaryotes are also called thylakoid membranes. It is the light energy absorbed by chlorophyll that drives the synthesis of organic molecules in the chloroplast.

تسمى الأغشية الداخلية القادرة على القيام بعملية البناء الضوئي في بعض بدائيات النوى بغشاء الثيلوكويد .صبغة الكلوروفيل هي المسؤولة عن امتصاص الضوء اللازم لعملية البناء الضوئي.



- **Tracking Atoms through Photosynthesis: *Scientific Inquiry***

- Overall equation of photosynthesis process (Has been discovered in 1800s):

يوضح الشكل الآتي المعادلة الكلية لعملية البناء الضوئي والتي تم اكتشافها عام 1880:

$$6\,CO_2 + 12\,H_2O + \text{Light energy} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 + 6\,H_2O$$

- In the presence of light, the green parts of plants produce organic compounds and oxygen from carbon dioxide and water.

بوجود الضوء، تعمل الأجزاء الخضراء من النبتة على إنتاج المركبات العضوية و الأكسجين من الماء وثاني أكسيد الكربون.

- We use glucose (C6H1206) here to simplify the relationship between photosynthesis and respiration, but the direct product of photosynthesis is actually a three-carbon sugar that can be used to make glucose.

لاحظ أن السكر الناتج في المعادلة هو سكر الغلوكوز ، لكننا نستخدم هذه الصيغة فقط لتبسيط وتوضيح العلاقة بين البناء الضوئي والتنفس الخلوي حيث أن السكر الناتج فعلية من عملية البناء الضوئي هو سكر ثلاثي يستخدم لتصنيع الغلوكوز.

∝ Water appears on both sides of the equation because 12 molecules are consumed and 6 molecules are newly formed during photosynthesis.

لاحظ في المعادلة السابقة أن العملية تستهلك ١٢ جزيء ماء وتنتج 6 جزيئات.

∝ We can simplify the equation by indicating only the net consumption of water:

عند تبسيط المعادلة بحذف جزيئات الماء المشتركة من طرفيها تنتج المعادلة الآتية:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{Light energy} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

✓ The chemical changes during photosynthesis are the reverse of the one that occurs during cellular respiration.

لاحظ أن التغيرات الكيميائية لعملية البناء الضوئي تحدث بشكل عكسي لما يحدث في عملية التنفس الخلوي.

✓ Both of cellular respiration and photosynthesis occur in plant cells.

تحدث كلتا العمليتين داخل النباتات.

∝ Now let's divide the photosynthetic equation by 6 to put it in its simplest possible form:

سنقوم بقسمة جميع أطراف المعادلة السابقة على 6 وذلك للحصول على معادلة البناء الضوئي بأبسط صورة:

$$CO_2 + H_2O \rightarrow [CH_2O] + O_2$$

✓ Note: CH_2O is not an actual sugar but represents the general formula for a carbohydrate

لا تمثل الصيغة CH_2O سكر فعلي إنما تمثل الصيغة العامة للكربوهيدرات فقط.

- **The Splitting of Water**

One of the first clues to the mechanism of photosynthesis came from the discovery that the O2 given off by plants is derived from H2O and not from CO2. The chloroplast splits water into hydrogen and oxygen.

RAMA ABBADI

أحد الاكتشافات التي ساهمت في معرفة آلية البناء الضوئي هو اكتشاف أن الأكسجين الذي ينتج من هذه العملية مصدره الماء وليس ثاني أكسيد الكربون حيث تعمل البلاستيدات الخضراء على فصل الماء إلى هيدروجين وأكسجين.

- Before this discovery:
  - ∝ The prevailing hypothesis was that photosynthesis split carbon dioxide ($CO_2 \rightarrow C + O_2$) and then added water to the carbon ($C + H_2O \rightarrow [CH_2O]$). This hypothesis predicted that the O_2 released during photosynthesis came from CO_2.

قبل هذا الاكتشاف كان الاعتقاد السابق بان عملية البناء الضوئي تقوم بفصل ثاني أكسيد الكربون ($CO_2 \rightarrow C + O_2$)وبعد ذلك يتم إضافة الماء إلى ذرة الكربون ليتشكل السكر ($C + H_2O \rightarrow [CH_2O]$)، أما الأكسجين فيطلق كناتج نهائي . أي كان يفترض أن مصدر الأكسجين الناتج هو ثاني أكسيد الكربون.

  - ∝ This idea was challenged in the 1930s by C. B. van Niel, who was investigating photosynthesis in bacteria that make their carbohydrate from CO_2 but do not release 02. He concluded that, at least in these bacteria, CO_2 is not split into carbon and oxygen.

اعترض العالم فان نيل على هذه الفكرة عام 1930، وذلك عندما تفحص من انواع البكتيري التي تنتج الكربوهيدرات من ثاني أكسيد الكربون لكنها لا تطلق الأكسجين ، بالتالي توصل إلى أنه - في هذه البكتيريا على الأقل -لا ينفصل ثاني أكسيد الكربون إلى كربون وأكسجين.

  - ∝ One group of bacteria used hydrogen sulfide (H_2S) rather than water for photosynthesis, forming yellow globules of sulfur as a waste product

من الأمثلة على هذه البكتيريا: مجموعة من البكتيريا التي تستخدم H_2S بدلا من H_2O للقيام بعملية البناء الضوئي وإنتاج كريات صفراء كمخلفات لها

  - ∝ Here is the chemical equation for photosynthesis in these sulfur bacteria:

حيث توضح المعادلة الآتية معادلة البناء الضوئي في هذه البكتيريا الكبريتية:

$$CO_2 + 2\,H_2S \rightarrow [CH_2O] + H_2O + 2\,S$$

  - ∝ Van Niel reasoned that the bacteria split H_2S and used the hydrogen atoms to make sugar. He then generalized that idea, proposing that all photosynthetic organisms require a hydrogen source but that the source varies.

RAMA ABADI

أوضح فان نيل بأن في هذا النوع من البكتيريا H2S انفصل ، حيث تم استخدام الهيدروجين لصناعة السكر وأطلق الكبريت كناتج نهائي ، وبالتالي بشكل عام فإن جميع الكائنات تحتاج إلى مصدر هيدروجيني بغض النظر عن أصله.

$$\text{Sulfur bacteria: } CO_2 + 2\,H_2S \rightarrow [CH_2O] + H_2O + 2\,S$$
$$\text{Plants: } CO_2 + 2\,H_2O \rightarrow [CH_2O] + H_2O + O_2$$
$$\text{General: } CO_2 + 2\,H_2X \rightarrow [CH_2O] + H_2O + 2\,X$$

∝ Thus, van Niel hypothesized that plants split H20 as a source of electrons from hydrogen atoms, releasing 02 as a by-product.

بناءً على ذلك، وضع العالم فان نيل نظريته بأن في النباتات الماء ينفصل ليعطي الهيدروجين كمصدر للالكترونات والأكسجين الذي يخرج كناتج نهائي.

- Nearly 20 years later, scientists confirmed van Niel's hypothesis by using oxygen-18 (^{18}O), a heavy isotope, as a tracer to follow the path of oxygen atoms during photosynthesis.

بعد 20 عام من عمل العالم فان نيل ، وافق العلماء هذا النموذج وذلك باستخدامهم نظير ثقيل من الأكسجين (^{18}O)لتتبع مسار ذرات الأكسجين أثناء عملية البناء الضوئي.

→ The experiments showed that the O2 from plants was labeled with ^{18}O only if water was the source of the tracer.

أظهرت التجربة أن الاكسجين الناتج من عملية البناء ضوئي احتوى على (^{18}O) عندما تواجد ^{18}O في الماء.

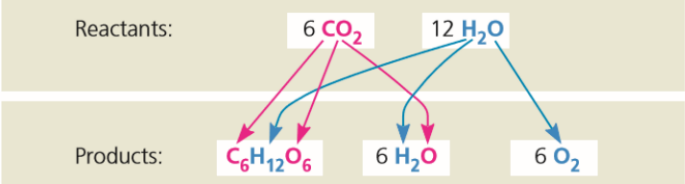
→ If the ^{18}O was introduced to the plant in the form of CO_2, the label did not turn up in the released oxygen.

عندما تواجد ^{18}O في CO_2 لم يظهر ^{18}O في جزيء الاكسجين الناتج.

$$\text{Experiment 1: } CO_2 + 2\,H_2O \rightarrow [CH_2O] + H_2O + O_2$$
$$\text{Experiment 2: } CO_2 + 2\,H_2O \rightarrow [CH_2O] + H_2O + O_2$$

- A significant result of the shuffling of atoms during photosynthesis is the extraction of hydrogen from water and its incorporation into sugar. The waste product of photosynthesis, O2, is released to the atmosphere. The following figure shows the fates of all atoms in photosynthesis.

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.



RAMA ABBADI

• Photosynthesis as a Redox Process

- Both photosynthesis and cellular respiration involve redox reactions.

تتضمن كل من عملية التنفس الخلوي والبناء الضوئي تفاعلات تأكسد واختزال.

- During cellular respiration:
  - ✓ Energy is released from sugar when electrons associated with hydrogen are transported by carriers to oxygen, forming water as a by-product.

تتحرر الطاقة من السكر وذلك عندما تنقل إلكتروناته المرتبطة بالهيدروجين بواسطة ناقل معين إلى الأكسجين ، حيث يتكون الماء كناتج نهائي.

  - ✓ The electrons lose potential energy as they "fall" down the electron transport chain toward electronegative oxygen, and the mitochondrion harnesses that energy to synthesize ATP

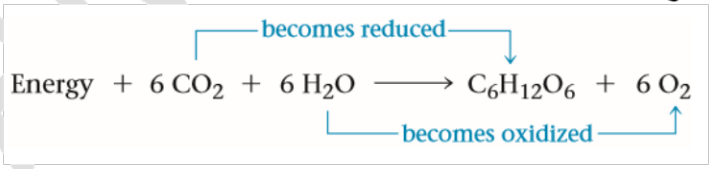
تفقد الالكترونات من طاقة وضعها أثناء انتقالها من سلسلة نقل الالكترونات إلى الأكسجين ، حيث تعمل الميتوكندريا على جمع هذه الطاقة واستخدامها في تصنيع جزيئات ATP.

- During Photosynthesis:
  - ∝ Photosynthesis reverses the direction of electron flow.

تنتقل الاكترونات في عملية البناء الضوئي بعكس اتجاه انتقالها في عملية التنفس الخلوي.

  - ✓ Water is split, and its electrons are transferred along with hydrogen ions (H") from the water to carbon dioxide, reducing it to sugar.

ينفصل الماء ، ثم تنقل الالكترونات بالإضافة إلى أيونات الهيدروجين من الماء إلى ثاني أكسيد الكربون مما يؤدي إلى اختزاله إلى سكر.



  - ✓ Because the electrons increase in potential energy as they move from water to sugar, this process requires energy (endergonic process). This energy boost that occurs during photosynthesis is provided by light.

وبما أن طاقة وضع الالكترونات تزداد عند انتقالها من الماء إلى السكر ، فإن هذه العملية تحتاج إلى طاقة (عملية ماصة) ، ويكون مصدر هذه الطاقة هو الضوء.

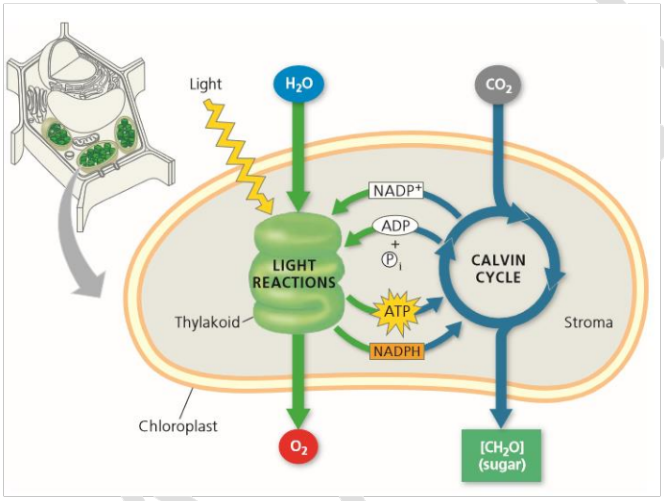
RAMA ABBADI

• The Two Stages of Photosynthesis: A Preview

- Photosynthesis is not a single process, but two processes, each with multiple steps.

لا تحدث عملية البناء الضوئي كعملية واحدة ، إنما هي عبارة عن عمليتين تتضمن كل منهما خطوات عدة.

- These two stages of photosynthesis are known as:
  1. The light reactions (the photo part of photosynthesis).
  2. The Calvin cycle (the synthesis part).



- The light reactions:
  - ✓ Occur in thylakoid.
  - ✓ Convert solar energy to chemical energy in the form: ATP and NADPH.

تعمل على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية على شكل مركبين وهما ATP and NADPH.

  - ✓ No sugar is produced.

لا تنتج سكر.

  - ✓ It uses H_2O to produce oxygen

يستخدم الماء لإنتاج الأكسجين.

  - ✓ Depends on light directly.

تعتمد على الضوء مباشرة.

- Light reactions occur in the following steps:

- Water is split, providing a source of electrons and protons (hydrogen ions, H+) and giving off O2 as a by-product.

ينفصل الماء ليعطي مصدر من الالكترنات و بروتونات ويطلق الاكسجين كناتج ثانوي.

- Light absorbed by chlorophyll drives a transfer of the electrons and hydrogen ions from water to an acceptor called NADP+ (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate), where they are temporarily stored.

الضوء الممتص بفعل صبغة الكلوروفيل يقود انتقال الالكترونات والبروتونات من الماء لمستقبل الكترونات يسمى $NADP^+$ بحيث تخزن هناك بشكل مؤقت.

- The light reactions use solar energy to reduce NADP+ to NADPH by adding a pair of electrons along with an H+. The light reactions also generate ATP, using chemiosmosis to power the addition of a phosphate group to ADP, a process called photophosphorylation.

تُستخدم الطاقة الشمسية لاختزال NADP+ الى NADPH عن طريق استقباله لالكترونين وبروتون. تستخدم هذه الطاقة ايضاً لتصنيع جزيئات ATP باستخدام الاسموزية الكيميائية وذلك بفسفرة جزيء ال ADP بإضافة مجموعة فوسفات له.

- Thus, light energy is initially converted to chemical energy in the form of two compounds: NADPH and ATP.

تحول الطاقة الشمسية أولاً الى طاقة كيميائية مخزنة بجزيئات NADP و ATP.

- **NADPH: Reducing power.**
- **ATP: Energy currency of cells.**

- The calvin cycle:
  - ✓ Occurs in stroma.
  - ✓ It uses CO2 found in the air to produce three carbon sugar called G3P that used to produce sugar and other sugars. It uses the molecules of ATP and NADPH produced from light reaction.

تستخدم هذه المرحلة ثاني أكسيد الكربون لإنتاج سكر ثلاثي يسمى G3P الذي يستخدم لتصنيع أنواع أخرى من السكريات.يتطلب ذلك الطاقة الكيميائية التي تنتج من التفاعلات الضوئية.

- ✓ The metabolic steps of the Calvin cycle are referred to as the dark reactions, or light independent reactions, because none of the steps requires light directly.

تسمى حلقة كلفن بالتفاعلات المظلمة أو التفاعلات التي لا تعتمد على الضوء وذلك لأنها لا تعتمد على الضوء مباشرة.

RANA ABBADI

✓ The Calvin cycle in most plants occurs during The Calvin cycle in most plants occurs during daylight; for only then can the light reactions provide the NADPH and ATP that the calvin cycle requires.

تحدث حلقة كلفن في معظم النباتات في النهار وذلك بسبب حاجتها للطاقة الكيميائية التي تنتجها التفاعلات الضوئية نهاراً.

- Calvin cycle has 3 stages:
  1. Carbon fixation تثبيت الكربون.
  2. Reduction الاختزال .
  3. Regeneration of CO_2 acceptor إعادة انتاج مستقبلان ثاني أكسيد الكربون.

➢ *Concept 10.2: The light reactions convert solar energy to the chemical energy of ATP and NADPH*

▪ Chloroplasts are chemical factories powered by the sun. Their thylakoids transform light energy into the chemical energy of ATP and NADPH, which will be used to synthesize glucose and other molecules that can be used as energy sources.

تعتبر البلاستيدات الخضراء مصانع كيميائية مزودة بالطاقة الشمسية ، حيث تعمل الثيلوكويدات فيها على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية على شكل جزيئات ATP and NADPH والتي تستخدم لتصنيع الغلوكوز والجزيئات الأخرى التي يمكن استخدامها كمصادر للطاقة.

• The Nature of Sunlight طبيعة ضوء الشمس

▪ Light is a form of energy known as electromagnetic energy, also called electromagnetic radiation.

يعتبر الضوء شكل من أشكال الطاقة والذي يطلق عليه الطاقة الكهرومغناطيسية أو الإشعاع الكهرومغناطيسي.

▪ Electromagnetic energy travels in rhythmic waves.

تتحرك الطاقة الكهرومغناطيسية على شكل موجات.

✓ Electromagnetic waves, however, are disturbances of electric and magnetic fields rather than disturbances of a material medium.

RANA ARBADI

الموجات الكهرومغناطيسية هي اضطرابات في المجالات الكهربائية والمغناطيسية وليست اضطرابات في وسط المادة.

- Wavelength: the distance between the crests of electromagnetic waves.

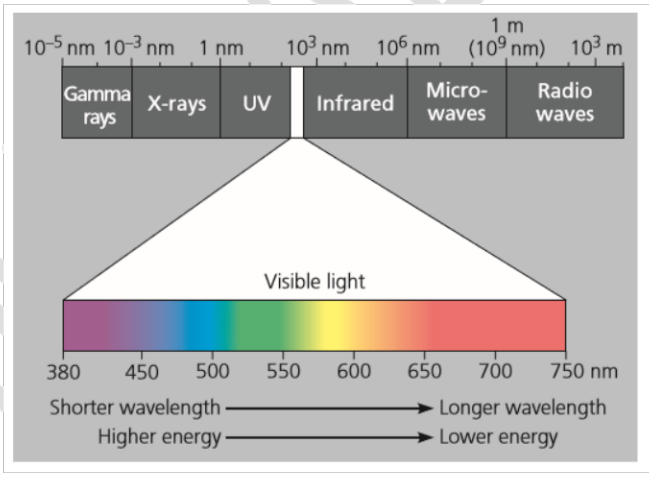
الطول الموجي: هو المسافة بين قمتي موجتين كهرومغناطيسيتين.

- ✓ Wavelengths range from less than a nanometer (for gamma rays) to more than a kilometer (for radio waves). This entire range of radiation is known as the electromagnetic spectrum.

يتراوح الطول الموجي بين أقل من نانوميتر مثل أشعة غاما ، إلى أكثر من كيلومتر مثل أمواج الراديو ، حيث يسمي هذا المدى من الإشعاع كاملا بالطيف الكهرومغناطيسي.

- ✓ The segment most important to life is the narrow band from about 380 nm to 750 nm in wavelength. This radiation is known as visible light because it can be detected as various colors by the human eye.

إن أهم جزء من هذا الطيف كامة هي القطعة الصغيرة التي تمتد بين 380 إلى 750 نانوميتر ، حيث تسمى هذه المنطقة بالضوء المرئي وذلك بسبب إمكانية تمييزها كألوان مختلفة بعين الإنسان.



- The model of light as waves explains many of light's properties, but in certain respects light behaves as though it consists of discrete particles, called photons.

فسرت الطبيعة الموجية للضوء العديد من خصائصه ، لكن في بعض الجوانب يتصرف الضوء كجزيئات منفصلة يطلق عليها اسم الفوتونات.

- Photons are not tangible objects, but they act like objects in that each of them has a fixed quantity of energy.

لا تعتبر الفوتونات جسيمات ملموسة ولكنها تتصرف كجسيمات بحيث يحمل كل منها كمية محددة من الطاقة.

- The amount of energy is inversely related to the wavelength of the light: The shorter the wavelength, the greater the energy of each photon of that light.

تتناسب كمية الطاقة عكسيا مع الطول الموجي ، بحيث يمتلك الطول الموجي الأقصر أكبر طاقة.

- Although the sun radiates the full spectrum of electromagnetic energy, the atmosphere acts like a selective window, allowing visible light to pass through while screening out a substantial fraction of other radiation.

بالرغم من أن الشمس تشع الطيف الكامل للطاقة الكهرومغناطيسية إلا أن الغلاف الجوي يعمل كنافذة انتقائية تسمح بمرور الضوء المرئي فقط.

- The part of the spectrum we can see-visible light is also the radiation that drives photosynthesis.

يعتبر جزء الطيف الذي يمكننا رؤيته بالعين (الضوء المرئي) هو المسؤول عن عملية البناء الضوئي.

- **Photosynthetic Pigments: The Light Receptors**

- When light meets matter, it may be reflected, transmitted, or absorbed.

عندما يصادم الضوء مادة ما ، فإنه ينعكس ، ينفذ أو يمتص.

- Pigment: Substances that absorb visible light.

الصبغات: مواد قادرة على امتصاص الضوء المرئي.

- Different pigments absorb light of different wavelengths, and the wavelengths that are absorbed disappear.

تستطيع الصبغات المختلفة امتصاص أطوالاً موجية مختلفة ، بحيث تختفي الأطوال التي يتم امتصاصها.

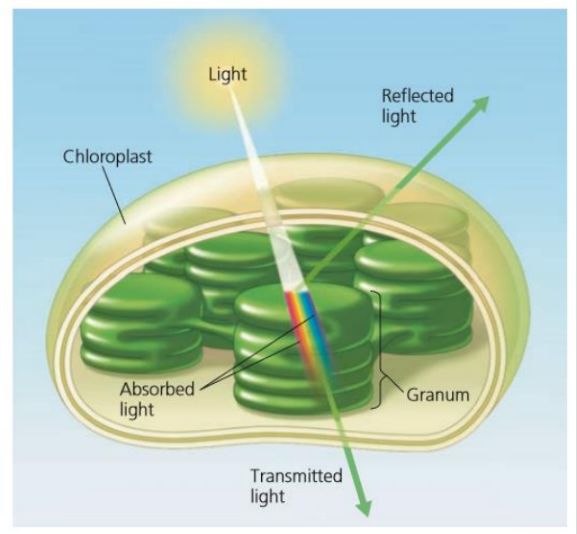
✓ If a pigment is illuminated with white light, the color we see is the color most reflected or transmitted by the pigment. If a pigment absorbs all wavelengths, it appears black.

إذا كانت الصبغة مضاءة باللون الأبيض فإن اللون الذي نراه هو أكثر الألوان انعكاسة أو نفاذة بواسطة هذه الصبغة. إذا ظهرت الصبغة باللون الأسود فهذا يعني انها فادرة على امتصاص جميع الاطوال الموجية.

RAYA ABBAD

- ✓ We see green when we look at a leaf because chlorophyll absorbs violet-blue and red light while transmitting and reflecting green light.

تظهر الورقة باللون الأخضر وذلك بسبب امتصاص الكلوروفيل للصوءالبنفسجي-الازرق والأحمر ، بينما تعكس وتنفذ الضوء الأخضر.



- Spectrophotometer: instrument that used to measure the ability of a pigment to absorb various wavelengths.

جهاز الطيف الكهرومغناطيسي: أداة تستخدم لقياس قدرة صبغة ما على امتصاص الأطوال الموجية المختلفة.

- ✓ This machine directs beams of light of different wavelengths through a solution of the pigment and measures the fraction of the light transmitted at each wavelength.

تعمل هذه الآلة على توجيه شعاع من الضوء الأطوال موجية مختلفة عبر محلول الصبغة المراد قياسها ثم قياس نسبة الضوء النافذ عند كل طول موجي.

- A graph plotting a pigment's light absorption versus wavelength is called an absorption spectrum.

طيف الامتصاص: رسم بياني يوضح العلاقة بين امتصاص الضوء والطول الموجي.

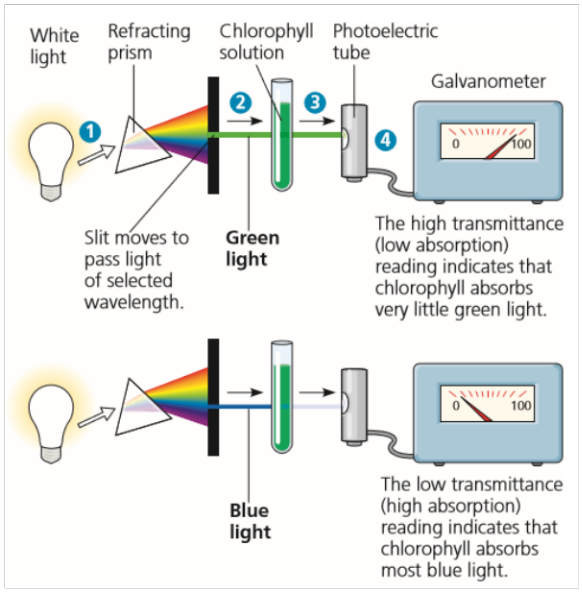
- Technique:

1. White light is separated into colors (wavelengths) by a prism.

يتحلل اللون الأبيض الى الوان مختلفة بأطوال موجية مختلفة عند مروره عبر منشور.

2. One by one, the different colors of light are passed through the sample (chlorophyll in this example). Green light and blue light are shown here.

واحدة تلو الآخر ، يتم تمرير الألوان المختلفة عبر العينة في هذا المثال سنستخدم الكلوروفيل . تم تمرير اللون الأزرق والأخضر عبره.



RAMA ABB

3. The transmitted light strikes a photoelectric tube, which converts the light energy to electricity.

يصطدم الضوء النافذ بأنبوب كهروضوئي والذي يعمل على تحويل الطاقة الضوئية إلى كهرباء.

4. The electric current is measured by a galvanometer. The meter indicates the fraction of light transmitted through the sample, from which we can determine the amount of light absorbed.

تقاس الشحنة الكهربائية بواسطة جهاز الغلفانوميتر. يقيس الجهاز نسبة نفاذ الضوء والتي يمكن من خلالها إيجاد نسبة الامتصاص.

✓ The high transmittance (low absorption) reading indicates that chlorophyll absorbs very little green light.

عند تمرير الضوء الأخضر عبر عينة الكلوروفيل تكون قراءة الغلفانوميتر عالية ، أي النفاذ كبير والامتصاص قليل وبالتالي فإن صبغة الكلوروفيل تمتص اللون الأخضر بشكل بسيط.

✓ The low transmittance (high absorption) reading indicates that chlorophyll absorbs most blue light.

عند تمرير الضوء الأزرق عبر عينة الكلوروفيل تكون قراءة الخلفانوميتر عالية أي أن النفاذ عالي والامتصاص قليل ، وبالتالي فإن صبغة الكلوروفيل تمتص معظم الضوء الأزرق.

- There are three types of pigments in chloroplasts:

أنواع الصبغات الموجودة في البلاستيدات الخضراء:

1. Chlorophyll (a): the key light-capturing pigment that participates directly in the light reactions.

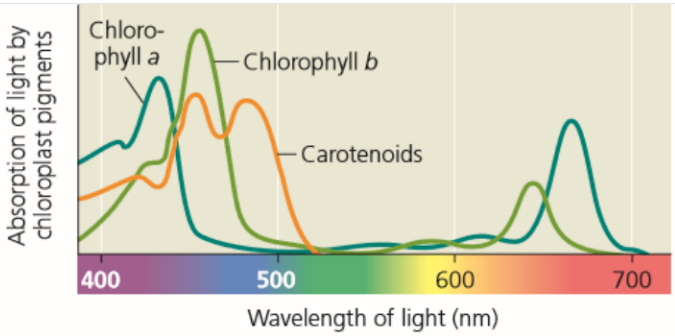
الكلوروفيل (أ) : وهي الصبغة الرئيسية التي تشارك مباشرة في التفاعلات الضوئية.

2. Chlorophyll (B): accessory pigment.

الكلورفيل (ب) : صبغة ثانوية.

3. Carotenoids: A separate group of accessory pigments.

صبغة ملحقة الكاروتينات : مجموعة منفصلة من الصبغات الثانوية.



(a) Absorption spectra. The three curves show the wavelengths of light best absorbed by three types of chloroplast pigments.

RANA ABBADI

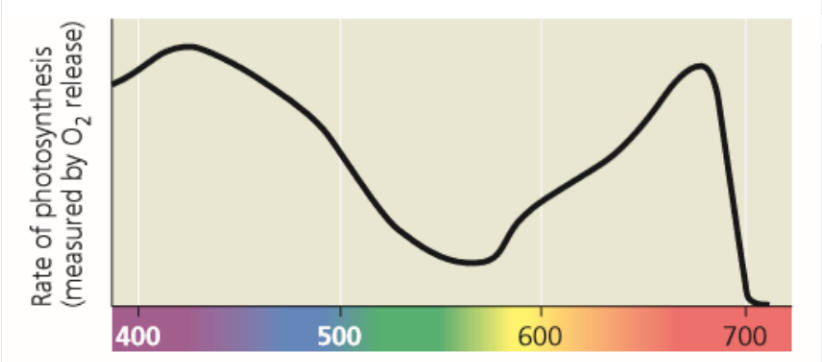
- The spectrum of chlorophyll a suggests that violet-blue and red light work best for photosynthesis, since they are absorbed, while green is the least effective color.

منحنى الكلوروفيل أ يوضح بأن اللونين الأزرق البنفسجي واللون الأحمر هما الأفضل عند أداء عملية البناء الضوئي عند امتصاصهما، بينما اللون الأخضر هو الأقل فعالية.

- This is confirmed by an **action spectrum** for photosynthesis, which profiles the relative effectiveness of different wavelengths of radiation in driving the process.

يطابق منحنى الكلوروفيل أ منحنى يسمى (الطيف النشط) والذي يوضح الفعالية النسبية للأطوال الموجية في أداء عملية البناء الضوئي.

.

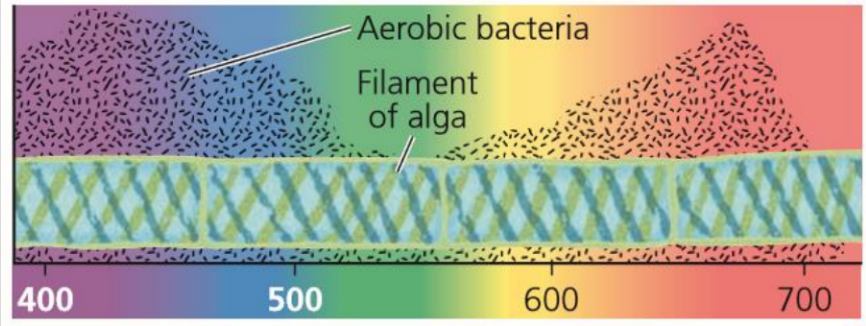


- An action spectrum is prepared by illuminating chloroplasts with light of different colors and then plotting wavelength against some measure of photosynthetic rate, such as CO2 consumption or O2 release.

تم تحضير منحنى الطيف النشط عن طريق تعريض البلاستيدات الخضراء لمختلف الوان الضوء بمختلف الاطوال الموجية وقياس معدل حدوث عملية البناء الضوئي (كقياس نسبة استهلاك ثاني اكسيد الكربون او اطلاق الاكسجين) عند كل ضوء.

- The action spectrum for photosynthesis was first demonstrated by Theodor W. Engelmann, a German botanist, in 1883.
- He used bacteria to measure rates of photosynthesis in filamentous algae.

قام ثيودور باستخدا البكتيريا لقياس معدل حدوث عملية البناء الضوئي في نوع من أنواع الطحالب الخيطية.



- Notice by comparing Figures that the action spectrum for photosynthesis is much broader than the absorption spectrum of chlorophyll a.This is partly because accessory pigments with different absorption spectra also present in chloroplasts—including chlorophyll b and carotenoids—broaden the spectrum of colors that can be used for photosynthesis.

منحنى الطيف النشط مطابق لمنحنى الكلوروفيل أ، لكن هذا التطابق ليس كلي ، منحنى الطيف النشط أوسع من الكلوروفيل أ بسبب مشاركة بعض الصبغات الأخرى في عملية البناء الضوئي (الكلوروفيل ب أوالكاروتينات) ولكن بنسب قليلة مما يوسع طيف الامتصاص للطيف النشط.

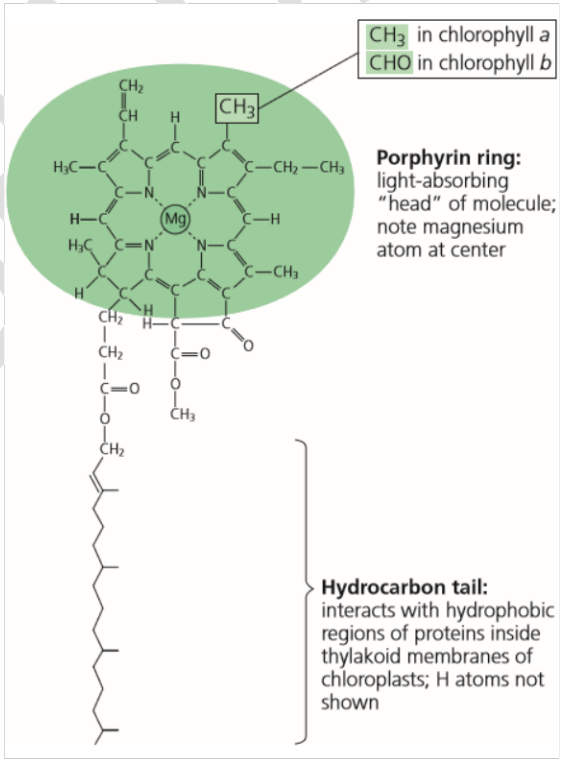
- The general structure of Chlorophyll consists of:

A) Porphyrin ring: light-absorbing “head” of molecule; there’s a magnesium atom at center.

تمثل الحلقة رأس جزيء الكلوروفيل وهي مسؤولة عن امتصاص الضوء; يوجد ذرة مغنيسوم في الوسط.

B) Hydrocarbon tail: interacts with hydrophobic regions of proteins inside thylakoid membranes of chloroplasts.

يتفاعل مع بروتين كاره للماء يتواجد داخل غشاء الثيلوكويد .



- Chlorophyll a and chlorophyll b differ in only one of the functional groups bonded to the porphyrin ring.

تختلف صبغة كلوروفيل أ عن كلوروفيل ب فقط في مجموعة وظيفية واحدة مرتبطة بالحلقة.

- ∝ Chlorophyll a → CH3.
- ∝ Chlorophyll b → CHO.

- A slight structural difference between them is enough to cause the two pigments to absorb at slightly different wavelengths in the red and blue parts of the spectrum.

يؤدي الاختلاف البسيط في تركيب كلا النوعين من الكلوروفيل إلى اختلاف الأطوال الموجية الممتصة ضمن منطقة الأشعاع الحمراء والزرقاء.

- Chlorophyll a appears blue green and chlorophyll b olive green under visible light.

تحت الضوء المرئي، يظهر الكلورفيل أ باللون الأخضر المزرق بينما يظهر الكلوروفيل ب باللون الأخضر الزيتوني.

- Carotenoids:

✓ Accessory pigments.

صبغات ملحقة (ثانوية).

✓ Structure: hydrocarbons that are various shades of yellow and orange because they absorb violet and blue green light.

تركيبها: عبارة عن هيدروكربون ذو أطياف مختلفة من اللون الأصفر والبرتقالي وذلك لأنها تمتص اللون البنفسجي واللون الأزرق-الأخضر.

✓ Carotenoids may broaden the spectrum of colors that can drive photosynthesis.

قد تعمل الكاروتينات على توسيع طيف الالوان التي تستطيع القيام بعملية البناء الضوئي.

✓Function of carotenoids: Photo-protection.

وظيفة الكاروتينات: حاميات ضوئية.

✓These compounds absorb and dissipate excessive light energy that would otherwise damage chlorophyll or interact with oxygen, forming reactive oxidative molecules that are dangerous to the cell.

تعمل هذه المركبات على امتصاص وتبديد الطاقة الضوئية الزائدة التي قد تؤدي إلى ضرر الكلوروفيل أو التفاعل مع الأكسجين لتكون جزيئات مؤكسدة نشطة والتي تعتبر خطرة للخلية.

∝ Carotenoids similar to the photo-protective ones in chloroplasts have a photo-protective role in the human eye. (Carrots, known for aiding night vision, are rich in carotenoids.)

تؤدي هذه الصبغات وظيفة الحماية الضوئية في عين الإنسان. يساعد تناول الجزر على الرؤية في الليل وذلك لأنه غني بهذه الصبغات.

∝ They are found naturally in many vegetables and fruits.

RAMA ABBADI

تتواجد هذه الجزيئات بشكل طبيعي في العديد من الخضروات والفواكه.

∝ They are also often advertised in health food products as "phytochemicals", some of which have antioxidant properties.

تسمى هذه الجزيئات في المنتجات الغذائية الصحية باسم Phytochemicals بسبب الخصائص المضادة للأكسدة التي تملكها.

∝ Plants can synthesize all the antioxidants they require, but humans and other animals must obtain some of them from their diets.

تستطيع النباتات بناء مضادات الأكسدة التي تحتاجها ، لكن الإنسان والحيوانات الأخرى يحصلون عليها من الغذاء.

• Excitation of Chlorophyll by Light إثارة الكلوروفيل بواسطة الضوء

▪ What exactly happens when chlorophyll and other pigments absorb light?

ماذا يحدث عندما تمتص صبغة الكلوروفيل أو الصبغات الأخرى للضوء؟

✓ The colors corresponding to the absorbed wavelengths disappear from the spectrum of the transmitted and reflected light, but energy cannot disappear. When a molecule absorbs a photon of light, one of the molecule's electrons is elevated to an orbital where it has more potential energy.

ألوان الأطوال الموجية التي تمتصها الصبغة تختفي على عكس طاقتها. عندما يمتص جزيء فوتون ضوئي فإن أحد الكترونات هذا الجزيء يتنقل الى مدار ذو طاقة وضع أعلى من الذي كان فيه.

✓ When the electron is in its normal orbital, the pigment molecule is said to be in its ground state.

تسمى الحالة التي يكون فيها الالكترون في مداره الطبيعي بوضع أو حالة الاستقرار.

✓ Absorption of a photon boosts an electron to an orbital of higher energy, and the pigment molecule is then said to be in an excited state.

امتصاص الفوتون الضوئي يؤدي الى انتقال الالكترون الى مدار ذو طاقة أعلى، إذ عندها يكون الجزيء في حالة إثارة.

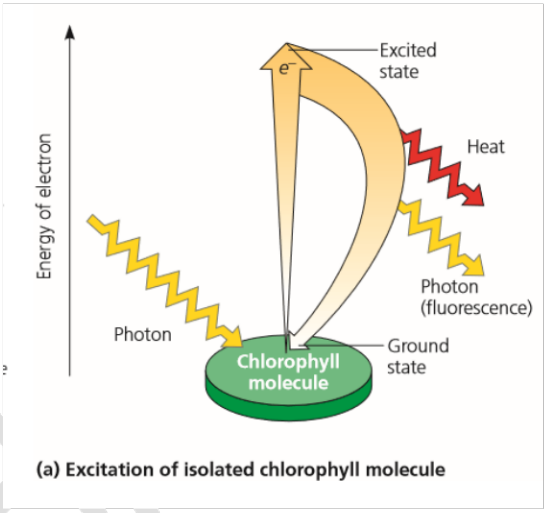
✓ The only photons absorbed are those whose energy is exactly equal to the energy difference between the ground state and an excited state, and this energy difference varies from one kind of molecule to another.

RAMA ABBADI

يمكن للجزيء امتصاص الفوتونات الضوئية التي تمتلك طاقة مساوية للفرق بين طاقة الجزيء في حالة الاستقرار وحالة الاثارة. هذا الفرق يختلف من جزيء إلى آخر.

✓ Once absorption of a photon raises an electron to an excited state, the electron cannot stay there long. The excited state, like all high-energy states, is unstable.

عندما يمتص الجزيء الضوء وينتقل الالكترون إلى مستوى الإثارة ، فإنه لن يبقى في هذا المستوى لمدة طويلة وذلك لأن مستوى الإثارة ذو طاقة عالية فهو غير مستقر.



(a) Excitation of isolated chlorophyll molecule

➲ So the excited electrons drop back down to the ground-state orbital in a billionth of a second, releasing their excess energy as heat.

بالتالي ، تعود الالكترونات المثارة إلى وضع الاستقرار خلال بلايين من الثانية حيث تطلق طاقتها الزائدة على شكل حرارة.

∝ Some pigments, including chlorophyll, emit light as well as heat after absorbing photons. As excited electrons fall back to the ground state, photons are given off, an afterglow called fluorescence.

تستطيع بعض الصبغات بما فيها الكلوروفيل أن تشع ضوء وحرارة بعد امتصاصها للفوتونات ، حيث أنه أثناء عودة الالكترونات إلى مستوى الاستقرار تعطي الفوتونات شفق (اشعاع) يسمى fluorescence.

➲ When electrons reach the excited state, there's no electron acceptor so they fall back to their ground state emitting light as a result.

سبب هذا الشفق هو عدم وجود مستقبل للالكترونات عند وصولها إلى مستوى الإثارة ، بالتالي تعود إلى مستوى الاستقرار.

∝ An illuminated solution of chlorophyll isolated from chloroplasts will fluoresce in the red part of the spectrum and also give off heat. This is best seen by illuminating with ultraviolet light, which chlorophyll can also absorb. Viewed under visible light, the fluorescence would be difficult to see against the green of the solution.

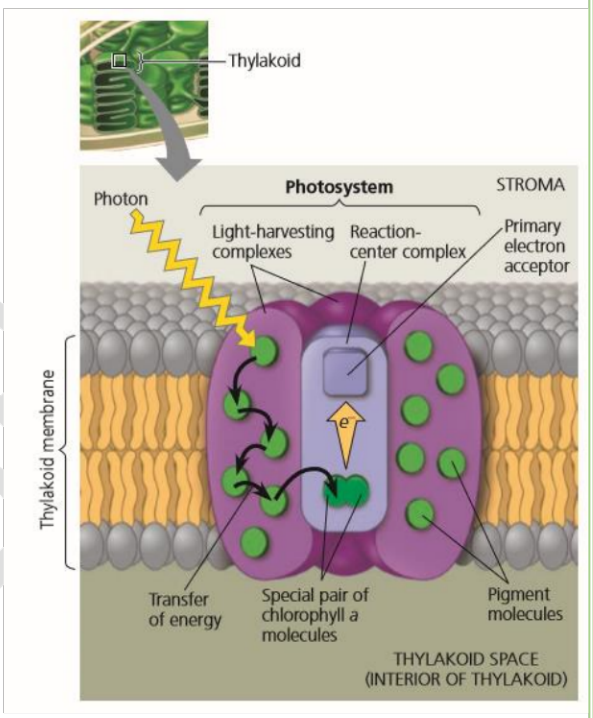
عند تسليط الأشعة فوق البنفسجية على صبغة الكلوروفيل المستخرجة من البلاستيدات الخضراء فإنها ستشع لون أحمر وستطلق حرارة كذلك.

(b) Fluorescence

- **A Photosystem: A Reaction-Center Complex Associated with Light-Harvesting Complexes**

- In their native environment of the thylakoid membrane, chlorophyll molecules are organized along with other small organic molecules and proteins into complexes called photosystems.

تنظم جزيئات الكلوروفيل -في البيئة الطبيعية لها وهو غشاء الثيلوكويد- بالإضافة إلى بروتينات وجزيئات عضوية صغيرة أخرى على شكل مركبات يطلق عليها اسم النظام الضوئي.



- Structure of photosystems:

∝ A photosystem is composed of a reaction-center complex surrounded by several light-harvesting complexes.

يتكون النظام الضوئي من : مركب مركز التفاعلات (المستطيل الأوسط) ، محاط بمجموعة من المركبات الجامعة للضوء.

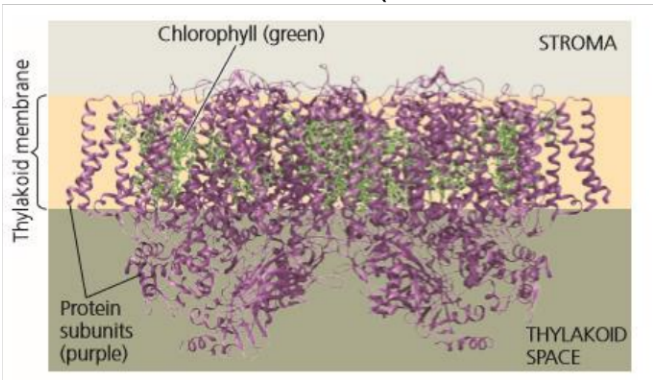
∝ The reaction-center complex is an organized association of proteins holding a special pair of chlorophyll a molecules and a primary electron acceptor.

يتكون مركب مركز التفاعلات من رابطة منظمة من البروتينات تحتوي على زوج خاص من الكلوروفيل وجزيئات ومستقبل رئيسي للإلكترونات.

∝ Each light-harvesting complex consists of various pigment molecules (which may include chlorophyll a, chlorophyll b, and multiple carotenoids) bound to proteins.

يتكون كل مركب جامع للضوء من عدد من الصبغات المختلفة (ممكن أن تتضمن كلوروفيل أ، كلوروفيل ب، كاروتينات) مرتبطة ببروتينات.

✓ The number and variety of pigment molecules enable a photosystem to harvest light over a larger surface area and a larger portion of the spectrum than could any single pigment molecule alone.



RANA ABD

تُمكن جزيئات الصبغات المتنوعة وكثرة أعدادها النظام الضوئي من جمع كمية أكبر من الطاقة عبر مساحة أكبر و بنسبة أعلى.

- When a pigment molecule absorbs a photon, the energy is transferred from pigment molecule to pigment molecule within a light harvesting complex until it is passed to the pair of chlorophyll a molecules in the reaction-center complex.

عند امتصاص أحد جزيئات الصبغة للضوء، يبدأ انتقال الطاقة من جزيء صبغة إلى آخر ضمن المركبات الجامعة للضوء حتى تصل في النهاية إلى الكلوروفيل الموجود في مركب مركز التفاعلات.

- The pair of chlorophyll a molecules in the reaction-center complex are special because their molecular environment—their location and the other molecules with which they are associated enables them to use the energy from light not only to boost one of their electrons to a higher energy level, but also to transfer it to a different molecule—the primary electron acceptor, which is a molecule capable of accepting electrons and becoming reduced.

يعتبر زوج الكلوروفيل في مركب مركز التفاعلات خاص وذلك لأن بيئته الجزيئية وموقعه تمكنه من استخدام الطاقة الضوئية لنقل الكتروناته إلى مستوى أعلى من الطاقة بالاضافة إلى نقلها إلى جزيئات أخرى مثل المستقبل البدائي للالكترونات وهو مركب قادر على استقبال الالكترونات (يختزل).

- The solar-powered transfer of an electron from the reaction center chlorophyll a pair to the primary electron acceptor is the first step of the light reactions.

انتقال الالكترونات بفعل الطاقة الشمسية من زوج الكلوروفيل في مركب مركز التفاعلات إلى مستقبل الالكترون الرئيسي هو أول خطوة من خطوات التفاعلات الضوئية.

➲Remember! Isolated chlorophyll fluoresces because there is no electron acceptor, so electrons of photo excited chlorophyll drop right back to the ground state.

- Function of photosystems: convert light energy to chemical energy, which will ultimately be used for the synthesis of sugar.

وظيفة النظام الضوئي: تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية والتي تستخدم في النهاية لتصنيع السكر.

- The thylakoid membrane is populated by two types of photosystems that cooperate in the light reactions of photosynthesis:
  a) photosystem II (PS II).
  b) and photosystem I (PS I).

RAMA ABADI

يحتوي غشاء الثيلوكويد على نوعين من الأنظمة الضوئية: النظام الضوئي الأول والنظام الضوئي الثاني.

- ✓ They were named in order of their discovery, but photosystem II functions first in the light reactions.

سميت الأنظمة الضوئية بهذا الاسم تبعا لترتيب اكتشافها ولكن النظام الضوئي الثاني يؤدي وظيفته قبل النظام الأول.

- ✓ Each has a characteristic reaction-center complex—a particular kind of primary electron acceptor next to a special pair of chlorophyll a molecules associated with specific proteins.

يتكون كل نظام من مركب مركز تفاعلات خاص به يحتوي على مستقبل الكترون رئيسي معين بجانب وزج من كلوروفيل أ مرتبط ببروتينات معينة.

- ∝ The reaction-center chlorophyll a of photosystem II is known as P680 because this pigment is best at absorbing light having a wavelength of 680 nm (in the red part of the spectrum).

يسمى الكلوروفيل أ في مركب مركز التفاعلات ضمن النظام الضوئي الثاني P680 وذلك لأن هذه الصبغة تؤدي أفضل امتصاص لها عند طول موجي = ١٨٠ نانوميتر.

- ∝ The chlorophyll a at the reaction-center complex of photosystem I is called P700 because it most effectively absorbs light of wavelength 700 nm (in the far-red part of the spectrum).

يسمى الكلوروفيل أ في مركب مركز التفاعلات ضمن النظام الضوئي الأول P700 وذلك لأن هذه الصبغة تؤدي أفضل امتصاص لها عند طول موجي = ٧٠٠ نانوميتر

- ✓ These two pigments, P680 and P700, are nearly identical chlorophyll a molecules. However, their association with different proteins in the thylakoid membrane affects the electron distribution in the two pigments and accounts for the slight differences in their light-absorbing properties.

جزيئات صبغة الكلوروفيل أ في النظام الضوئي الأول والثاني متطابقة إلى حد ما، ولكن ارتباطهم ببروتينات مختلفة في غشاء الثيلاكويد يؤثر على توزع الالكترونات في كلا الصبغتين وهو ما أدى إلى الاختلاف البسيط في خصائص امتصاصهم للضوء.

- **Linear Electron Flow التدفق الخطي للالكترونات**

- Light drives the synthesis of ATP and NADPH by energizing the two types of photosystems embedded in the thylakoid membranes of chloroplasts

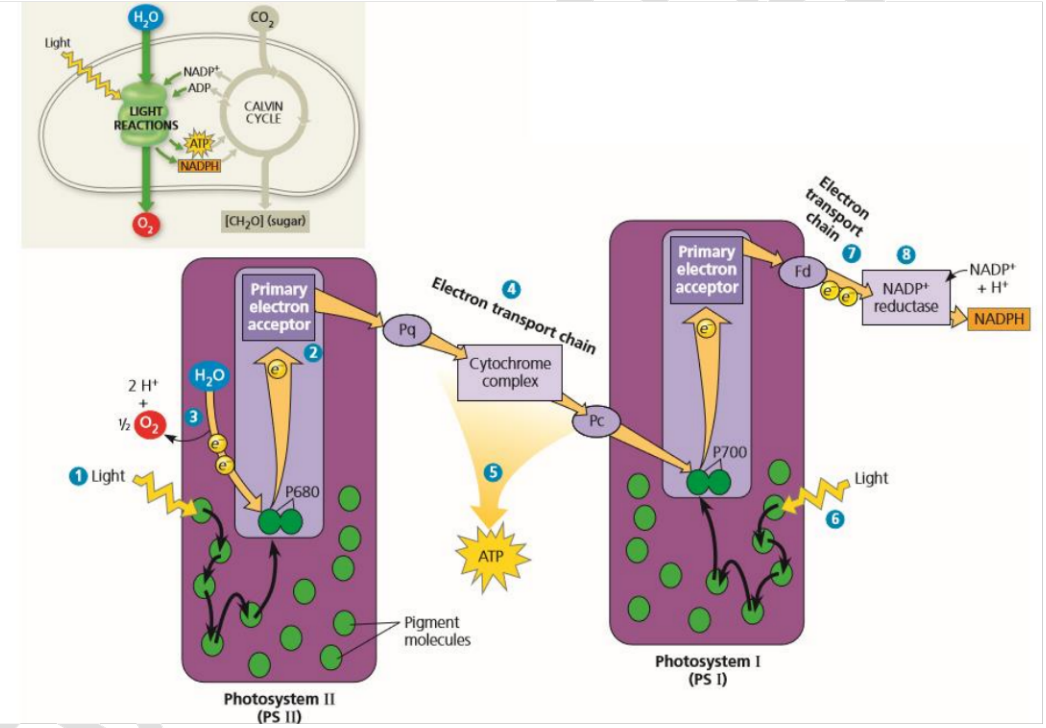
RANA ABBADI

يعمل الضوء على تصنيع جزيئات ATP و NADPH من خلال تنشيط نوعي الأنظمة الضوئية الموجودة في أغشية الثايلاكويد في البلاستيدات الخضراء.

- The key to this energy transformation is a flow of electrons through the photosystems and other molecular components built into the thylakoid membrane "Linear electron flow".

إن الخطوة الأساسية لتحويل الطاقة أثناء هذه المرحلة هو تدفق الالكترونات عبر الأنظمة الضوئية و المكونات الجزيئية الأخرى التي تتواجد في غشاء الثيلوكويد (التدفق الخطي للالكترونات).

- The following figure illustrates the steps of linear electron flow which occurs during the light reactions of photosynthesis:



1) A photon of light strikes one of the pigment molecules in a light-harvesting complex of PS II. boosting one of its electrons to a higher energy level.

يصطدم الفوتون بأحد جزيئات الصبغة الموجودة في المركب الجامع للطاقة في النظام الضوئي الثاني مما يؤدي إلى دفع أحد إلكتروناته إلى مستوى طاقة عالي.

✓ As this electron falls back to its ground state, an electron in a nearby pigment molecule is simultaneously raised to an excited state.

يعود الالكترون المثار من مستوى الطاقة العالي إلى وضع الاستقرار ، مما يحفز الالكترون المجاور للارتفاع إلى مستوى طاقة أعلى.

- ✓ The process continues, with the energy being relayed to other pigment molecules until it reaches the P680 pair of chlorophyll a molecules in the PS II reaction-center complex.

تستمر عملية انتقال الطاقة من جزيء إلى جزيء آخرحتى تصل الى زوج P680 الموجود في مركب مركز التفاعلات النظام الضوئي الثاني.

- ✓ It excites an electron in this pair of chlorophylls to a higher energy state

وصول الطاقة إلى زوج الكلوروفيل يؤدي إلى إثارة إلكتروناته الى مستوى طاقة مرتفع.

2) This electron is transferred from the excited P680 to the primary electron acceptor. We can refer to the resulting form of P680, missing an electron, as P680+.

تنتقل الالكترونات من P680 المثار إلى المستقبل الأولي للالكترونات ، حيث يتحول P680 إلىP680+ .

3) An enzyme catalyzes the splitting of a water molecule into two electrons, two hydrogen ions (H+), and an oxygen atom.

يقوم إنزيم بتحفيز انفصال جزيء الماء ليعطي الكترونين ، أيونين من الهيدروجين ، و ذرة أكسجين واحدة.

- ✓ The electrons are supplied one by one to the P680+ pair, each electron replacing one transferred to the primary electron acceptor (P680+ is the strongest biological oxidizing agent).

تنتقل الالكترونات الناتجة من انفصال الماء واحدة تلو الأخر إلى P680+ حيث تعوض مكان الالكترونات التي انتقلت إلى المستقبل الأولى.

- ✓ The H+ is released to the thylakoid space.

تنتقل أيونات الهيدروجين إلى الفراغ الثيلوكويدي.

- ✓ The oxygen atom immediately combines with another water molecule generated by the splitting of another water molecule, forming 02.

تندمج ذرة الأكسجين الناتجة مع ذرة أكسجين أخرى ناتجة من انفصال جزيء ماء ثاني لتكون جزيء الأكسجين.

RAMA ABADI

4) Each photo excited electron passes from the primary electron acceptor of PS II to PS I via an electron transport chain.

تنتقل الالكترونات المثارة من مستقبل الالكترونات الأولي في النظام الضوئي الثاني إلى النظام الضوئي الأول عبر سلسلة نقل الالكترونات.

➲ The electron transport chain made up of the electron carrier Plastoquinone (PQ), a cytochrome complex, and a protein called Plastocyanin (Pc).

تتكون سلسلة نقل الالكترون من حامل الكترون يسمى PQ ومركب سيتوكروم وبروتين يسمى بلاستوسيانين Pc.

5) The exergonic "fall" of electrons to a lower energy level provides energy for the synthesis of ATP.

هذا الانتقال للالكترونات من مستوى طاقة مرتفع الى مستوى طاقة أقل (الانتقال الطارد للطاقة) يوفر الطاقة اللازمة لبناء جزيئات الATP .

✓ As electrons pass through the cytochrome complex, H+ is pumped into the thylakoid space, contributing to the proton gradient that is subsequently used in chemiosmosis.

عندما تمر الالكترونات عبر مركب السيتوكروم ، يتم ضخ أيونات الهيدروجين الى الفراغ الثيلوكويدي مما يساهم في توليد فرق في أيونات الهيدروجين وبالتالي يستخدم في الأسموزية الكيميائية.

6) light energy has been transferred via light harvesting complex pigments to the PSI reaction-center complex, exciting an electron of the P700 pair of chlorophyll a molecules located there.

بعد ذلك ، تنتقل الطاقة الضوئية عبر صبغات المركب الجمع للضوء لتصل إلى مركب مركز التفاعلات في النظام الضوئي الثاني مما يؤدي إلى اثارة زوج 700 من الكلورفيل أ.

✓ The photo-excited electron is then transferred to PS I's primary electron acceptor P700+ can now act as an electron acceptor, accepting an electron that reaches the bottom of the electron transport chain from PS II.

بعد ذلك ينتقل الالكترون المثار إلى المستقبل البدائي الموجود في النظام الضوئي الأول فيتحول الى P700+دلالة على أنه أصبح مستقبل اللالكترونات حيث يعمل على استقبال الالكترونات التي تصل الى أسفل سلسلة نقل الالكترونات من النظام الضوئي الثاني.

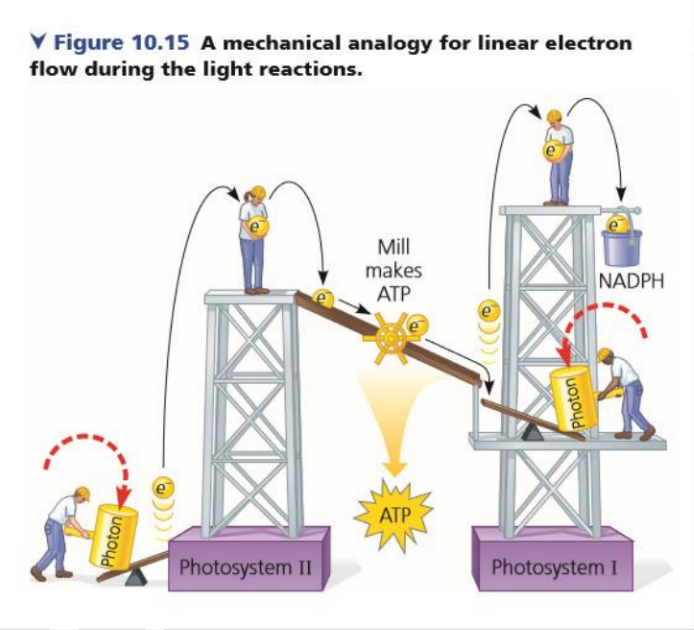
RAMA ABADI

7) Photo-excited electrons are passed in a series of redox reactions from the primary electron acceptor of PS I down a second electron transport chain through the protein ferredoxin (Fd).

تمر الالكترونات المثار عبر سلسلة من تفاعلات التأكسد والاختزال من المستقبل البدائي للالكترونات في النظام الضوئي الأول عبر مركب بروتيني يسمى فيريدوكسين Fd.

8) The enzyme NADP+ reductase catalyzes the transfer of electrons from Fd to NADP+. Two electrons are required for its reduction to NADPH. This process also removes an H+ from the stroma.

يقوم انزيم NADP+ reductase بتحفيز انتقال الاكترونات من البروتين Fd إلى NADP+. تتطلب هذه العملية انتقال الكترونين من Fd و انتقال أيون هيدروجين من الستروما إلى NADP+.



- Electron transport chain proteins in the thylakoid membrane of the chloroplast pump protons from the stroma into the thylakoid space (interior of the thylakoid), which functions as the H+ reservoir.

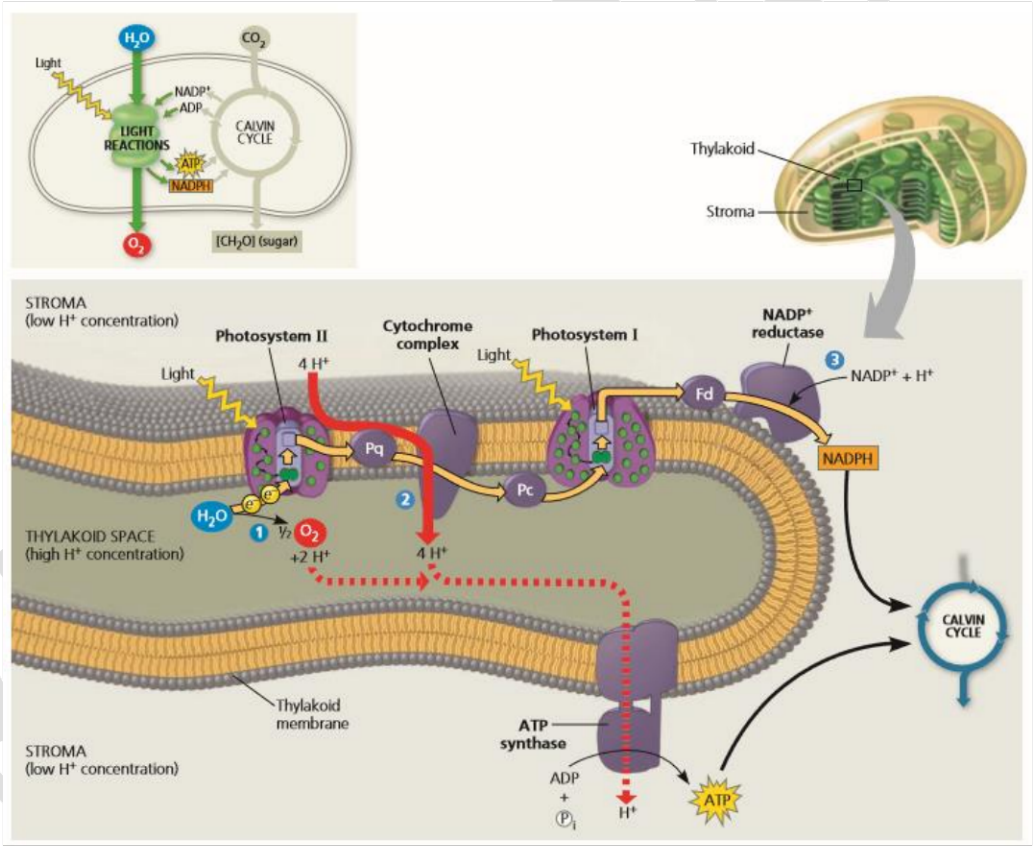
تعمل سلسلة نقل الاكترون الموجودة في غشاء الثيلاكويد على ضغ البروتونات من الستروما الى الفراغ الثايلاكودي (داخل الثايلاكويد) والذي يعمل كمخزن للبروتونات.

- The proton (H+) gradient, or pH gradient, across the thylakoid membrane is substantial. When chloroplasts in an experimental setting are illuminated, the pH in the thylakoid space drops to about 5 (the H+ concentration increases), and the pH in the stroma increases to about 8 (the H+ concentration decreases).

يعتبر الفرق في تركيز البروتونات عبر غشاء الثايلاكويد جوهري .عند تسليط ضوء على البلاستيدات الخضراء في بيئة تجريبية ، ينخفض الرقم الهيدروجيني في الفراغ الثايلاكويدي إلى حوالي 5 أي يزاد تركيز البروتونات ، بينما يزيد الرقم الهيدروجيني في الستروما (اللحمة) إلى حوالي 8 أي يقل تركيز البروتونات.

- ✓ This gradient of three pH units corresponds to a thousand fold differences in H+ concentration.
- ✓ If the lights are then turned off, the pH gradient is abolished, but it can quickly be restored by turning the lights back on.

- The light reactions and chemiosmosis: Current model of the organization of the thylakoid membrane:



- **Cyclic Electron Flow**

A) In certain cases, photo-excited electrons can take an alternative path called cyclic electron flow, which uses photosystem I but not photosystem II.

في بعض الحالات تسلك الالكترونات المثارة طريقاً بديلا يسمى التدفق الحلقي للالكترونات والذي يتم فيه استخدام النظام الضوئي الأول دون النظام الضوئي الثاني.

B) The electrons cycle back from ferredoxin (Fd) to the cytochrome complex, then via a plastocyanin molecule (Pc) to a P700 chlorophyll in the PS I reaction-center complex.

تعود الالكترونات من بروتين Fd الى مركبات السيتوكروم لتصل إلى Pc ثم تعود الى الزوج الكلوروفيلي P700في مركز التفاعل للنظام الضوئي الأول.

C) There is no production of NADPH and no release of oxygen that results from this process.

لا ينتج من هذا التدفق جزيئات NADPH كما أنه لا يتم إنتاج الأكسجين.

D) Cyclic flow does generate ATP.

تنتج هذه الطريقة جزيئات ATP فقط.

- Rather than having both PS II and PS I, several of the currently existing groups of photosynthetic bacteria Purple sulfur bacteria and green sulfur bacteria) are known to have a single photosystem related to either PS II or PS I.

تمتلك بعض أنواع البكتيريا القادرة على القيام بالبناء الضوئى نظام ضوئي واحد فقط (إما النظام الأول أو الثاني) بدلا من امتلاكها لنظامين.

- Cyclic electron flow can also occur in photosynthetic species that possess both photosystems; this includes some prokaryotes, such as the cyanobacteria as well as the eukaryotic photosynthetic species.

قد يحدث أيضاً التدفق الحلقي للالكترونات في الكائنات التي تمتلك نظامين ضوئيين اثنين ، مثل بعض الكائنات بدائية النوى و الكائنات حقيقية النوي القادرة على القيام بالبناء الضوئي.

- Plants with mutations that render them unable to carry out cyclic electron flow are capable of growing well in low light, but do not grow well where light is intense (Cyclic electron flow may be photo protective).

النباتات التي تمتلك طفرات تجعلها غير قادرة على القيام بعملية التدفق الحلقي للالكترونات قادرة على النمو في بيئة شدة الضوء فيها منخفضة فهي غير قادرة على النمو في بيئة شدة الضوء فيها عالية.

- **A Comparison of Chemiosmosis in Chloroplasts and Mitochondria**

مقارنة الأسموزية الكيميائية بين البلاستيدات الخضراء و الميتوكندريا

- Chloroplasts and mitochondria generate ATP by the same basic mechanism: chemiosmosis.

RAMA ABADI

تنتج كل من الميتوكندريا والبلاستيدات الخضراء جزيئات ال ATP باستخدام آلية واحدة متشابهة تسمى الأسموزية الكيميائية.

- Chemiosmosis الأسموزية الكيميائية :

A) An electron transport chain pumps protons (H+) across a membrane as electrons are passed through a series of carriers that are progressively more electronegative.

تعمل سلسلة نقل الالكترونات على ضخ البروتونات عبر غشاء الميتوكندريا أثناء مرور الالكترونات عبر سلسلة من النواقل.

B) Thus, electron transport chains transform redox energy to a proton-motive force, potential energy stored in the form of an H+ gradient across a membrane.

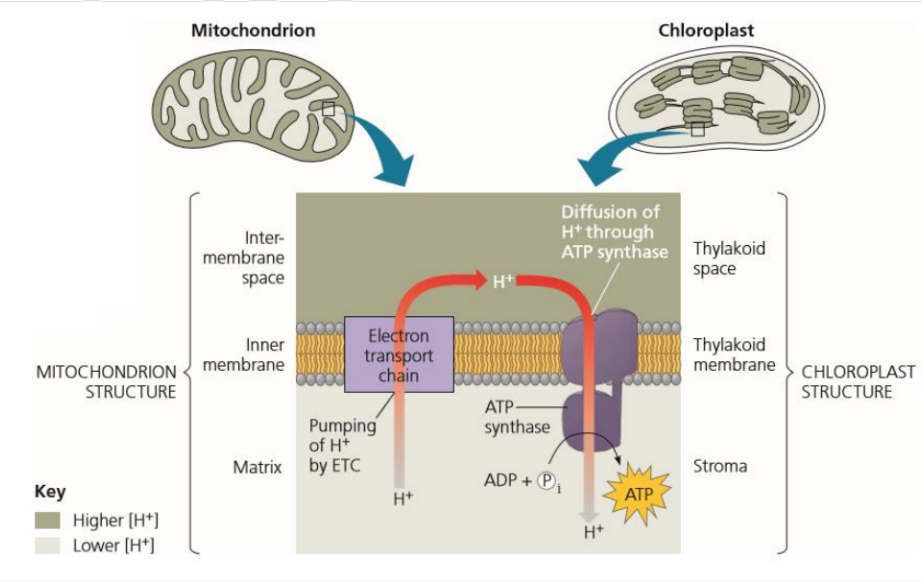
بالتالي ، تعمل سلسلة نقل الالكترونات على تحويل طاقة تفاعلات التأكسد والاختزال إلى فرق في تركيز البروتونات وهي طاقة وضع عبر الغشاء.

C) An ATP synthase complex in the same membrane couples the diffusion of hydrogen ions down their gradient to the phosphorylation of ADP, forming ATP.

يعمل انزيم ATP synthase على دمج انتشار أيونات الهيدروجين باتجاه تدرج تركيزها بفسفرة جزيئات ADPوتكوينATP .

- In the following figure, notice the difference in the direction of proton movement and the location of the electron transport chain and ATP synthase.

لاحظ الفرق في اتجاه انتقال البروتونات، موقع سلسل نقل الاكترون وانزيم ATP Synthase بين العمليتين.



- Similarity between chloroplasts and mitochondria in chemiosmosis:

أوجه التشابه في الأسموزية الكيميائية بين البلاستيدات الخضراء والميتوكندريا:

A) Some of the electron carriers, including the iron-containing proteins called cytochromes, are very similar in chloroplasts and mitochondria.

تتشابه بعض المركبات الناقلة للالكترونات بين الميتوكندريا والبلاستيدات الخضراء مثل السيتوكرومات وهي بروتينات تحتوي على الحديد.

B) The ATP synthase complexes of the two organelles are also quite similar. This enzyme uses the H+ gradient to drive the synthesis of ATP by the phosphorylation of ADP.

يتشابه مركب ال ATP synthase في البلاستيدات الخضراء والميتوكندريا. هذا الانزيم مسؤول عن استخدام الفرق في تركيز أيونات الهيدروجين لإضافة مجموعة فوسفات إلى ADP لانتاج ATP.

✓The synthesis of ATP in Chloroplasts occurs via Photophosphorylation .

✓The synthesis of ATP in the mitochondria occurs via Oxidative phosphorylation.

- Differences between chloroplasts and mitochondria:

A) In chloroplasts the high-energy electrons dropped down the transport chain come from water, while in mitochondria, they are extracted from organic molecules

في البلاستيدات الخضراء ، يكون مصدر الالكترونات التي تمر عبر سلسلة نقل الالكترونات هو الماء بينما في الميتوكندريا يكون مصدر الالكترونات هي المركبات العضوية.

B) Chloroplasts do not need molecules from food to make ATP; their photosystems capture light energy and use it to drive the electrons from water to the top of the transport chain.

لا تحتاج البلاستيدات الخضراء إلى جزيئات الطعام لإنتاج ATP حيث تعمل الأنظمة الضوئية فيها على الطاقة الضوئية واستخدامها لنقل الالكترونات من الماء إلى قمة سلسلة نقل الالكترونات.

C) Mitochondria use chemiosmosis to transfer chemical energy from food molecules to ATP, whereas chloroplasts use it to transform light energy into chemical energy in ATP.

تستخدم الميتوكندريا الأسموزية الكيميائية لتحويل الطاقة الكيميائية من جزيئات الطعام إلى ATP ، بينما تعمل البلاستيدات الخضراء على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية على شكل ATP .

RAMA ABADI

➢ *Concept 10.3: The Calvin cycle uses the chemical energy of ATP and NADPH to reduce CO2 to sugar*

- The Calvin cycle is similar to the citric acid cycle in that a starting material is regenerated after some molecules enter and others exit the cycle.

تتشابه حلقة كلفن مع حلقة كربس من حيث أن كلاهما يعيد إنتاج مركب البداية الذي بدأت فيه الحلقة مرة أخرى من خلال دخول بعض المركبات إلى الحلقة وخروج البعض الآخر منها.

- The citric acid cycle is catabolic, oxidizing acetyl CoA and using the energy to synthesize ATP, while the Calvin cycle is anabolic, building carbohydrates from smaller molecules and consuming energy.

تعتبر حلقة كربس من عمليات الهدم ، حيث تعمل على أكسدة مركب Acetyl coA لتصنيع جزيئات ATP في حين أن حلقة كلفن من عمليات البناء التي تعمل على تصنيع الكربوهيدرات من جزيئات صغيرة وباستخدام الطاقة.

- The Calvin Cycle:

A. Carbon enters the Calvin cycle in the form of CO2 and leaves in the form of sugar.

يدخل الكربون حلقة كربس على شكل ثاني أكسيد الكربون ويخرج منها على شكل سكر.

B. The cycle spends ATP as an energy source and consumes NADPH as reducing power for adding high-energy electrons to make the sugar.

تستهلك الدورة جزيئات ATP كمصدر للطاقة، وتستخدم جزيئات NADPHكمصدر للقوة اللازمة للاختزال لإضافة الالكترونات لتصنيع السكر.

C. The carbohydrate produced directly from the Calvin cycle is not glucose. Itis actually a threecarbon sugar called glyceraldehydes 3-phosphate (G3P).

لا تنتج حلقة كلفن سكر الغلوكوز مباشرةً، بل تنتج سكر ثلاثي يسمى غليسرالديهايد-3-فوسفات (G3P) .

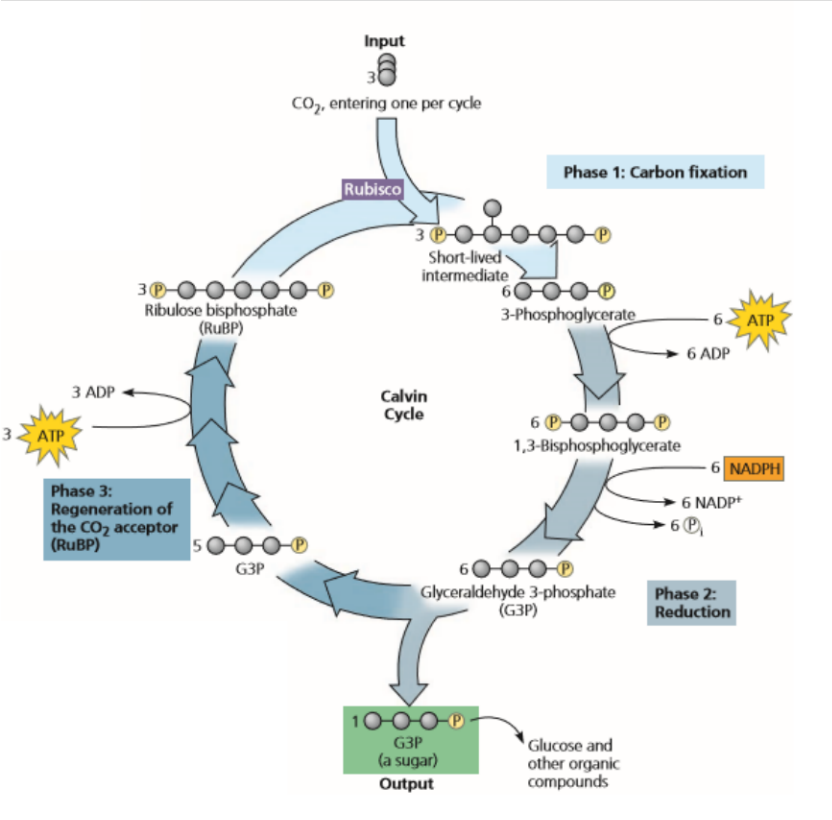
D. For the net synthesis of one molecule of G3P, the cycle must take place three times. It consumes one CO2 per turn, total = 3 CO2 molecules.

لتصنيع جزيء واحد من مركب G3P يجب أن تمر حلقة كلفن بثلاث دورات حيث تستهلك جزيء ثاني أكسيد كربون واحد في كل دورة، أي 3 جزيئات لانتاج جزيء واحد G3P.

- The Calvin Cycle is divided into three phases:

∝ **Phase 1:** Carbon fixation تثبيت الكربون
∝ **Phase 2:** Reduction الاختزال
∝ **Phase 3:** Regeneration of the CO2 acceptorإعادة إنتاج مستقبلات ثاني أكسيد الكربون

RANA ABBADI



- **Phase 1: Carbon fixation.**

✓ Carbon fixation: incorporation of CO2 into organic material.

تثبيت الكربون: دمج ثاني أكسيد الكربون بمادة عضوية.

✓The Calvin cycle incorporates CO2 by attaching it to a five-carbonsugar named ribulose bisphosphate (abbreviated RuBP).

تقوم حلقة كلفن بدمج جزيء ثاني أكسيد الكربون مع سكر خماسي يسمى RuBP .

✓ The enzyme that catalyzes this first step is RuBPcarboxylase-oxygenase, or rubisco.

الانزيم المسؤول عن أول خطوة في حلقة كلفن يسمى RuBPcaboxylase-oxygenase.

✓The product of the reaction is a six-carbon intermediate that is short-lived because it is so energetically unstable that it immediately splits in half, forming two molecules of 3-phosphoglycerate.

ينتج عن هذا التفاعل وسيط سداسي ذو عمر قصير وذلك لأن طاقته غير مستقرة حيث ينفصل ليعطي جزيئين من 3-phosphoglycerate (يتكون كل منهما من 3 ذرات كربون).

- **Phase 2: Reduction**
  - ✓ Each molecule of 3-phosphoglycerate receives an additional phosphate group from ATP,becoming 1, 3 – bis-phosphoglycerate.

يستقبل كل مركبphosphoglycerate -3 مجموعة إضافية من الفوسفات من جزيء ATP ليتحول الى 1, 3 – bis-phosphoglycerate.

  - ✓ A pair of electrons donated from NADPH reduces 1,3-bisphosphoglycerate, which also loses a phosphate group in the process, becoming glyceraldehyde 3-phosphate (G3P).

يختزل كل مركب bisphosphoglycerate -1,3 عن طريق استقباله لزوج من الالكترونات من NADPH حيث يفقد في هذه الخطوة أيضاً مجموعة فوسفات فيتشكل G3P .

➲ Note: the electrons from NADPH reduce a carboyxl group on 1,3-bisphosphoglycerate to the aldehyde group of G3P, which stores more potential energy.

تقوم الكترونات NADPH باختزال مجموعة الكربوكسيل في الجزيء الى مجموعة الديهايد فيتكون G3P والذي له طاقة وضع أعلى من 1,3-bisphosphoglycerate.

∝ For every three molecules of CO2 that enter the cycle, there are six molecules of G3P formed. But only one molecule of this three-carbon sugar can be counted as a net gain of carbohydrate because the rest are required to complete the cycle.

عند دخول ثلاثة جزيئات من ثاني أكسيد الكربون إلى حلقة كلفن (3 دورات) سينتج 6 جزيئات من G3P لكن جزيء واحد منها فقط سيخرج على شكل ناتج نهائي من هذه الحلقة في حين أن الخمس المتبقية ستكمل في المرحلة الثالثة من الحلقة .

- **Phase 3: Regeneration of the CO2 acceptor (RuBP)**
  - ✓ In a complex series of reactions, the carbon skeletons of five molecules of G3P are rearranged by the last steps of the Calvin cycle into three molecules of RuBP. To accomplish this, the cycle spends three more molecules of ATP.

ضمن مجموعة معقدة من التفاعلات الكيميائية يعاد تنظيم الهيكل الكربوني لجزيئات G3P الخمسة لإعادة انتاج المستقبل البدائي لجزيئات ثاني أكسيد الكربون وهو RuBP ، ولحدوث ذلك فإن الخلية تستهلكATP 3.

➲ The RuBP is now prepared to receive CO2 again, and the cycle continues.

RAYA ABADI

- ✓ For the net synthesis of one G3P molecule, the Calvin cycle consumes a total of nine molecules of ATP and six molecules of NADPH.

  لانتاج جزيء واحد G3P تستهلك حلقة كلفن 9 جزيئات ATP و 6 جزيئات NADPH.

- ✓ The G3P spun off from the Calvin cycle becomes the starting material for metabolic pathways that synthesize other organic compounds, including glucose (from two molecules of G3P), the disaccharide sucrose, and other carbohydrates.

  يدخل جزيء ال G3P الناتج من حلقة كلفن العديد من العمليات لبناء مركبات عضوية أخرى مثل الغلوكوز، السكروز وأنواع أخرى من الكربوهيدرات.

RAMA ABBADI