التمثيل الضوئي (Photosynthesis)

مقدمة:

ساهم كثير من العلماء في تحديد ماهية وحقيقة تفاعلات البناء الضوئي من خلال العديد من التجارب والبحوث التي كان لها كلمة الفصل في إيضاح الكثير من الاستفسارات حول هذه العملية، ومن العلماء الذين يعود لهم الفضل في هذا المجال العالم Blackman (1905) حيث أثبت بالأدلة أن عملية البناء الضوئي ليست تفاعلات كيموضوئية فقط photochemical reaction بل تشمل تفاعل كيميائي-حيوي أيضاً biochemical reaction حيث أن التفاعلات الكيموضوئية سريعة وتلزمها طاقة عكس التفاعلات الكيموحيوية المتعلقة بتثبيت (CO_2) فهي بطيئة.

عملية البناء الضوئي (photosynthesis process):

التمثيل الضوئي أو التخليق الضوئي (Photosynthesis):

عملية التمثيل الضوئي هي عملية فيزيائية كيميائية يتم فيها تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كيميائية في كل من (النباتات والطحالب الخضراء والبكتيريا الخضراء المزرقة)، ومن خلال هذه العملية يتم إنتاج الأوكسجين وتحويل ثاني أوكسيد الكربون إلى مادة عضوية.

أو بصورة أخرى: (هي عملية كيميائية معقدة تحدث في خلايا البكتريا الزرقاء وفي صانعات اليخضور (الكلوروبلاست chloroplast) في كل من الطحالب والنباتات العليا; حيث يتم فيها تحويل الطاقة الضوئية الشمسية من طاقة كهرومغناطيسية على شكل فوتونات أشعة الشمس إلى طاقة كيميائية تخزن في روابط سكر الجلوكوز وفق المعادلة التالية:

$$CO_2 + 6H_2O \quad (light + chloroplasts) \longrightarrow \quad C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

تعتمد هذه العملية على (4) محاور أساسية هي:

أ-الضوء بشكل رئيسي.

ب-وجود الهيدروجين من مركب مؤكسد مناسب.

ت-أكسدة ثاني أوكسيد الكربون.

ث-إنتاج الكربوهيدرات.

ومن أهم نواتج هذه المعادلة هو:

1- الأوكسجين (فكل جزيء من CO_2 تدخل في المعادلة يقابلها جزيء من الأوكسجين O_2 ناتجة من التفاعل).

2- مركبات سكرية حاوية على طاقة عالية.

تعريفات في عملية البناء الضوئي Photosynthesis:

قبل الخوض في التعرف على عملية البناء الضوئي كان لابد لنا من تعريف لبعض المصطلحات التي تلعب دور مهم في عملية البناء الضوئي ومنها:

1- اليخضور (الكلوروفيل Chlorophyll): عبارة عن صبغة خضراء تكسب النباتات اللون الأخضر كما أنه يقوم بدور أساسي في عملية التمثيل الضوئي التي تشكل أساس الحياة على الأرض. فكلمة كلوروفيل مشتقة من كلمات يونانية وهي – "كلوروس" والتي تعني اخضر، و"فيلون" والتي تعني "ورقة" (ليس هنالك علاقة بين الكلوروفيل وعنصر الكلور). أهمية اليخضور لا تكمن فقط في إعطاء اللون الأخضر للنبتة إنما أيضا نجد أن اليخضور يلعب دورا هاما في عملية التركيب الضوئي مادة اليخضور فهي تعمل على امتصاص أشعة الشمس (ألوان الطيف 7) حيث لا تقوم بامتصاص اللون الأخضر(الكلوروفيل a و b سويا يمتصان الطيف الأزرق (400–500 نانومتر) واللون الأحمر (600–700 نانومتر). ولا يمتصان طيف الاشعة الخضراء ، وبهذا ينعكس من الأوراق اللون الأخضر ، فتظهر خضراء) وهو سبب تلون الأوراق به وتمتص اللون الأحمر والبرتقالي والأصفر بكثرة وتمتص البني والأزرق والنيلي بنسبة أقل.

أنواع اليخضور: ((اليخضور a لونه أخضر- أزرق)) و ((اليخضور b لونه أخضر مائل للأصفر))

يمتاز الأول (a) باحتوائه على مجموعة CH3 بينما يحتوي اليخضور ب (b) على مجموعة CHO .

2-الكلوروبلاست (chloroplast): الصانعات اليخضورية هي العضيات الخلوية الموجودة في بعض خلايا طلائعيات النوى وجميع الخلايا النباتية، فهي التي تقوم بالاستعانة بمادة اليخضور (الكلوروفيل) بعملية الاصطناع الضوئي التي تمر بعدة مراحل من أهمها المرحلة التي تحول فيها النباتات طاقة الضوء إلى طاقة مختزنة في السكريات المصطنعة. شكلها غالبا عديسي محاطة بغشاء مضاعف أحدهما داخلي وآخر خارجي ويوجد بينهما فراغ. وهي جسيمات رئيسية في النباتات والطحالب. وفيها يحدث التركيب الضوئي. تتوزع في السيتوبلازم وتحتوي الصانعة دائماً على اليخضور وغيره من الأصبغة القادرة على التركيب الضوئي، توجد في الخلايا النباتية والطحالب والبكتيريا الخضراء المزرقة

أنواعها:

أ-خضراء: تحتوي على صبغة الكلوروفيل الخضراء

ب-ملونة: تحتوي على صبغة الكلوروفيل الخضراء وصبغات أخرى ملونة.

ت-عديمة اللون: تستخدم لتخزين الغذاء.

3-الجلوكوز أو الغلوكوز (Glucose أو Dextrose): هو نوع من السكر ينتج عن عملية التمثيل الضوئي في النبات الأخضر. ويعد الجلوكوز المصدر الرئيسي لطاقة معظم الكائنات الحية، بما فيها الإنسان. ويحتوي عسل النحل وبعض الفواكه -مثل العنب والتين-على نسبة كبيرة من الجلوكوز. ويتخذ الجلوكوز الصافي هيئة بلورية بيضاء، وهو يكافئ في درجة حلاوته ثلاثة أرباع السكروز (السكر العادي). وينتمي الجلوكوز إلى فئة من الأغذية تسمى الكربوهيدرات، وهو يتسم بتركيبه الكيميائي البسيط، ولذلك يمتصه الدم مباشرة من الأمعاء.

- **صبغات عملية البناء الضوئي:**

باستخدام تقنية الفصل بجهاز Paper Chromatography تم التعرف على الصبغات الموجودة في ورقة النباتات الخضراء بعد ما تم فصلها، حيث وجد أن اللون الأخضر لا يعود إلى صبغة واحدة فقط بل ل (4) أربع صبغات هي:

Chlorophyll (a): ذات اللون الأخضر المزرق: يعد الصبغة الوظيفية الأساسية التي توجد في كل كائنات التمثيل الضوئي عدا البكتيريا، ويعتبر هذا الكلوروفيل معط مباشر للطاقة المستخدمة في تفاعلات التمثيل الضوئي.

Chlorophyll (b): ذات اللون الأخضر المصفر

Xanthophyll (s): ذات اللون الأصفر المائل للبني و تتميز باحتوائها على الأوكسجين بتركيبها الكيميائي و أهمها اللوتين (C40H56O2).

تنحل الكسانتوفيلات بسهولة في الكحول بسبب مجموعة OH وبشكل سيء مقارنةً مع الكاروتينات في المذيبات اللاقطبية (كالبنزين).

Carotenoid(s): ذات اللون الأصفر البرتقالي ،هي أصبغة لا يدخل الأوكسجين في تركيبها الكيميائي و تتمتع بالصيغة المجملة (C40H56) ومنها: كاروتين a- كاروتينb- الليكوبين.

وتكمن أهمية هذه الصبغات في قدرتها على امتصاص الضوء عند أطوال موجية محددة , فرغم أن صبغة Chlorophyll(a) هي المسؤولة عن عملية جمع الضوء إلا أن الأصباغ الأخرى تعتبر أصباغ مساعدة (accessory pigments) حيث تستطيع امتصاص الضوء ونقل طاقته لكلوروفيل (a) وحمايته من الأكسدة الضوئية وكذلك من التحلل .

- **تفاعلات البناء الضوئي:**

هنالك دورتين للتفاعلات تحدث في عملية البناء الضوئي داخل الصانعات الخضراء هما:

الأولى: تسمى تفاعلات الضوء (Light reactions) وهي تفاعلات تعتمد على وجود الضوء وتعمل عليه، حيث يوجد بداخل الصانعات الخضراء جهاز غشائي يتكون من (grana , stroma lamellae، stroma)، وتكمن أهمية هذا الجهاز في ((تجميع وإنتاج الطاقة الضوئية المختزلة كمصدر للهيدروجين في صورة NADPH - وتشكيل الـ ATP)) وهذا ما يسمى بتفاعلات الضوء وهو يحدث داخل صفائح الـ (grana) حيث تحتوي هذه الصفائح على صبغات البناء الضوئي حيث تستغل الطاقة المنتجة في عملية اختزال CO_2.

$$12H_2O + 12NADP + 18ADP + 18\ Pi \longrightarrow 6O_2 + 12NADPH_2 + 18\ ATP$$

وتفاعلات الضوء تتضمن نظامين مهمين هما:

1-النظام الضوئي الأول (photosystem I)

2-النظام الضوئي الثاني (photo system II)

ولكل نظام صبغاته الخاصة وكذلك الحاملات الالكترونية الخاصة به.

فنجد أن التفاعلات الضوئية تتضمن أربعة أشياء رئيسية:

(امتصاص الضوء – انشطار الماء – إطلاق الأوكسجين – تشكيل مركبات كيميائية ذات طاقة عالية هي ATP و NADPH).

الثانية: تسمى تفاعلات الظلام (Dark reactions) أو تفاعلات دورة كالفن (Calven cycle reactions) وهي تفاعلات تعمل ليلا وفي الظلام استغلالاً للمنتجات الصباحية (النهارية) التي أنتجت في الضوء. وقد سميت تفاعلات الظلام باسم مكتشفها كالفن، وتعمل تفاعلات دورة كالفن في النباتات ذوات الفلقتين (Dicot) أو (Dicotyledon) وهي مركبات ثلاثية الكربون ولذلك تسمى دورة الكربون الثلاثي . وهناك دورة هاتس سلاك (Hatch slak) وهي تعمل في النباتات ذوات الفلقة الواحدة (Monocotyledon) أو (Monocot).

ومن المهم معرفة أن تفاعلات الظلام تحدث في الـ (stroma) حيث تتم فيها التفاعلات الإنزيمية لثاني أوكسيد الكربون لتكوين السكر , وتفاعلات الظلام هنا لا تعتمد على الضوء وإنما تعتمد على نواتج تفاعلات الضوء (ATP و NADPH).

$$12NADPH_2 + 18\ ATP + 6CO_2 \longrightarrow \text{غلوكوز} + 12NADP + 18ADP + 18Pi$$

مجازاً وليس مطلقاً يطلق على مرحلة التصنيع الحيوي لعملية التمثيل الضوئي بتفاعلات الظلام ولكن حقيقةً فإن هذه التفاعلات مرتبطة مباشرة بتفاعلات الضوء , كما أن عملية التصنيع الحيوي تبدأ عند توفر الضوء .

فمرحلة التصنيع الحيوي هي المرحلة الثانية من عملية البناء الضوئي بعد مرحلة التفاعلات الضوئية السابقة الذكر , وهذه المرحلة تعتمد على المركبات التي تم تصنيعها في المرحلة الأولى وهي (ATP و NADP) بالإضافة إلى الماء وثاني أوكسيد الكربون لتشكيل السكريات .

عمليات دورة كالفن:

دورة كالفن هي إحدى الدورات الحيوية المهمة في عملية تثبيت الطاقة خاصة في النباتات ذوات الفلقتين (Dicot plants) وفيها يتم تثبيت الكربون الموجود في ثاني أوكسيد الكربون لتكوين أول مركب كربوهيدراتي ثابت يمكن فصله يسمى 3- فوسفوغليسريدات وفيها يتم استغلال الطاقة سابقة التخزين في التفاعلات الضوئية من جزيئات (ATP) و(NADPH).و يتم استخدام 6 جزيئات من CO_2 للحصول على جزيئة واحدة من الغلوكوز.

- يبدأ ذلك باتحاد (6) جزيئات من ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) مع 6 جزيئات ريبولوز 1-5 ثنائي الفوسفات (Ribulos-1-5 bisphosphate) بواسطة انزيم Rubisco وإنتاج 12 جزيئة من مركب ثلاثي الكربون يدعى 3- فوسفوغليسريدات (3-Phosphoglycerate) او اختصارا(3-PGA)

- يتم استخدام 12 جزيئة ATP حيث يعطي هذا المركب جزيئة من الفوسفور إلى 3- فوسفوغليسريدات (3-Phosphoglycerate)و يتحول بذلك إلى مادة 1-3 ثنائي الفوسفو غليسيريد (1-3-Biophosphoglycerate)و يتحول ATP إلى ADP.

-تتحول مادة (1-3 ثنائي الفوسفو غليسيريد (1-3-Biophosphoglycerate) بوجود(NADPH) الذي يعطي ايون هيدروجين مع الكترونات إلى هذه المادة لتعطي مادة جديدة و هي 12 جزيئة من غليسر ألدهيد 3- فوسفات و يتحول بعدها (NADPH)إلى (NADP+).

- هذه 12 جزيئة من غليسر ألدهيد 3 فوسفات تترك جزيئتين لتكون جزيئة واحدة من الغليكوز و هو مركب سداسي الكربون يحتاج جزيئتين من المركب ثلاثي الكربون (غليسر ألدهيد 3- فوسفات) .

- العشر جزيئات المتبقية من مركب (غليسر ألدهيد 3- فوسفات) تتحول بواسطة أنزيم Rubisco إلى مركب 3- فوسفوغليسريدات (3-Phosphoglycerate)

- وبذلك تخزن الطاقة الضوئية في الروابط الكيميائية بين ذرات المركبات الكربوهيدراتية الناتجة، ويثبت الكربون الموجود في ثاني أوكسيد الكربون الجوي، كما يثبت الهيدروجين الموجود في الماء، وفي النهاية يتكون الجلوكوز (Glucose) الذي ينتقل إلى دورات تحرير الطاقة لتعاد دورة العناصر والمركبات والطاقة من جديد.

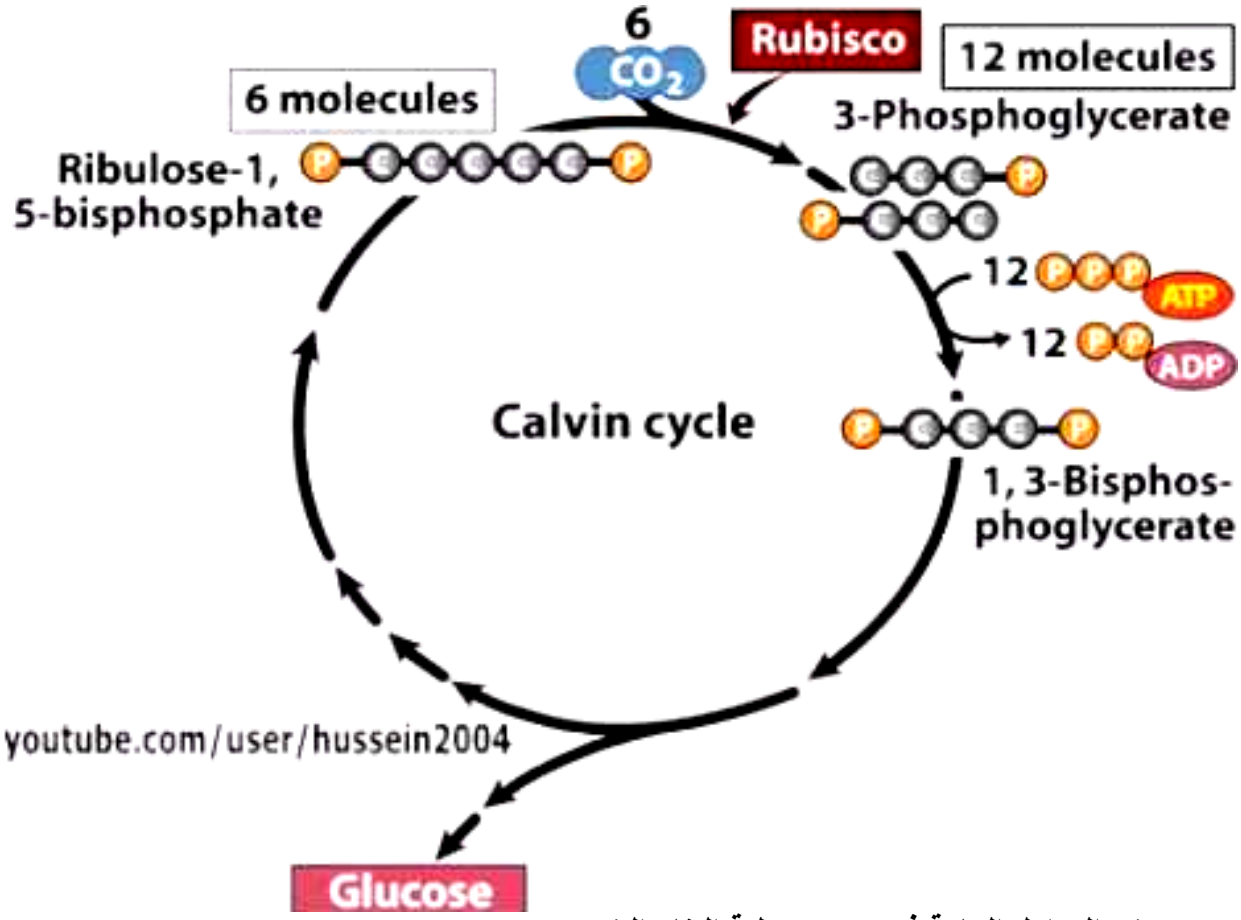
- وبذلك تتم أهم عملية على سطح الكرة الأرضية وهي عملية تكوين المواد الكربوهيدراتية من ثاني أوكسيد الكربون والماء وتخزن الطاقة الشمسية في الروابط الكيميائية في تلك المواد الكربوهيدراتية وينطلق الأوكسجين إلى الجو بعملية التمثيل الضوئي.

- بعد ذلك يحول النبات المواد الكربوهيدراتية إلى مواد دهنية، ومواد بروتينية، والمركبات النباتية الأخرى.

- يتغذى الحيوان والكائنات الحية الدقيقة الفطرية والبكتيريا على المنتجات النباتية.

- ويتغذى الإنسان على المنتجات النباتية والمنتجات الحيوانية، ومنتجات الكائنات الحية الدقيقة الصالحة للأكل البشري.

وهذه أضخم عملية في الطبيعة حيث أنها أنتجت كل كربوهيدرات ودهون ونفط وفحم العالم. إضافة إلى ذلك، تنتج هذه العملية الأوكسجين وتستهلك ثاني أوكسيد الكربون الذي يعد أحد الغازات المسببة للاحتباس الحراري.



- **بعض العوامل الهامة في تحديد عملية البناء الضوئي:**

أولا/ العوامل الخارجية:

1-شدة الإضاءة:

يزداد معدل التمثيل الضوئي بزيادة شدة الإضاءة إلى حد معين ليصل عنده المعدل إلى نقطة التشبع وعندها يظل معدل التمثيل الضوئي ثابت إلى حد ما يبدأ بعده بالانخفاض بسبب التأثيرات الضارة لشدة الإضاءة العالية التي تشمل تأثيرات عديدة أهمها الأكسدة الضوئية للكلوروفيل.

2-نوع الضوء (طول الموجة):

يمتص النبات قدرا صغيرا من الطيف الكهرومغناطيسي الساقط على أوراقه ويبدي الكلوروفيل ذروة امتصاصه في المنطقة الحمراء من الطيف المرئي بينما تبدي الكاروتينات ذروة امتصاص في المنطقة الزرقاء وعليه فإن معظم الضوء المنعكس والنافذ يكون في المنطقة الخضراء وبذلك يكون أعلى معدل للتمثيل الضوئي عند الأطوال

الموجية في المناطق الحمراء والزرقاء من الطيف المرئي وأقل معدل له عند الأطوال الموجية في المنطقة الخضراء.

3-تركيز ثاني أوكسيد الكربون:

زيادة تركيز ثاني أوكسيد الكربون يؤدي إلى زيادة سرعة عملية البناء الضوئي وإذا زاد تركيز ثاني أكسد الكربون في البيئة الخارجية بدرجة عالية انخفضت سرعة عملية البناء الضوئي ويعزى ذلك لأثرها السام على النبات وإغلاقه لثغوره حماية لنفسه من هذا التأثير، وعند إغلاق الثغور ينخفض تركيز ثاني أكسد الكربون حول الخلايا الخاصة بالبناء الضوئي ومن ثم تتناقص سرعة العملية.

4-الأوكسجين:

ينعدم التمثيل الضوئي في غياب الأوكسجين ويعود السبب إلى تفكك جزء هام من مركبات هذه العملية بسبب عملية التنفس اللاهوائي مما ينجم عنه تشكل مركبات ضارة قد تكون هي السبب في اختلال عملية التمثيل الضوئي.

5-درجة الحرارة:

تتأثر الأنزيمات الخاصة بدورات البناء الضوئي بدرجات الحرارة زيادةً ونقصاناً حيث ارتفاع درجة الحرارة يسرع من حدوث عملية البناء الضوئي ولكن مع الزيادة المفرطة في درجة الحرارة يؤدي ذلك إلى الانخفاض في معدل البناء الضوئي وبذلك تتأثر العملية.

6-الماء:

وجد أن الكمية اللازمة من الماء لاستمرار عملية البناء الضوئي تُقدَّر بحوالي 1 % فقط من جملة الماء الممتص بواسطة النبات. وقد لوحظ أن معدل البناء الضوئي يرتفع إذا ما حدث جفاف بسيط بالأوراق (15 % فقد ماء) ولكن هذا المعدل ينخفض تماماً إذا ما وجد جفاف شديد بهذه الأوراق (45 % فقد ماء) حيث أن فقد الماء يؤدي إلى الانكماش في الخلايا وبالتالي قفل الثغور فيقل معدل التمثيل تبعاً لذلك ويؤدي الجفاف أيضاً إلى قلة قابلية الأغشية البلازمية للنفاذية وجفاف الأنزيمات النسبي وقد يؤدي إلي قلة سرعة تكوين المواد الكربوهيدراتية المتكونة من عملية البناء مما يؤدي إلي تراكمها في الأوراق وبالتالي بطء سرعة عملية البناء.

7-تأثير التغذية المعدنية:

نقص بعض العناصر يؤدي لقلة معدل عملية البناء الضوئي لكونها عوامل مساعدة لبعض الأنزيمات الخاصة بتفاعلات الظلام أو لضرورة وجودها لإتمام عملية تفاعل الضوء فعلى سبيل المثال يدخل النتروجين والمغنيزيوم في تركيب جزيئة الكلوروفيل ولا يتم تركيب الكلوروفيل إلا بوجود الحديد ونقصه يسبب اصفرار الأوراق وبالتالي انخفاض معدل التمثيل الضوئي.

ثانيا / العوامل الداخلية:

1- الأنزيمات:

حيث تتوقف عملية البناء الضوئي على توفر الأنزيمات الخاصة بهاو وكفاءتها وحدوث أي خلل بها يؤدي إلى التأثير على معدل العملية

2- تركيب الورقة الداخلي:

حيث تتوقف كفاءة العملية على التركيب الداخلي للورقة والذي يختلف في ذوات الفلقة عن ذوات الفلقتين.

3- تراكم المنتجات:

إن تراكم المنتجات الكربوهيدراتية الناتجة من عملية البناء الضوئي في الأوراق يؤدي إلى بطء العملية.

{ نهاية الجلسة }