

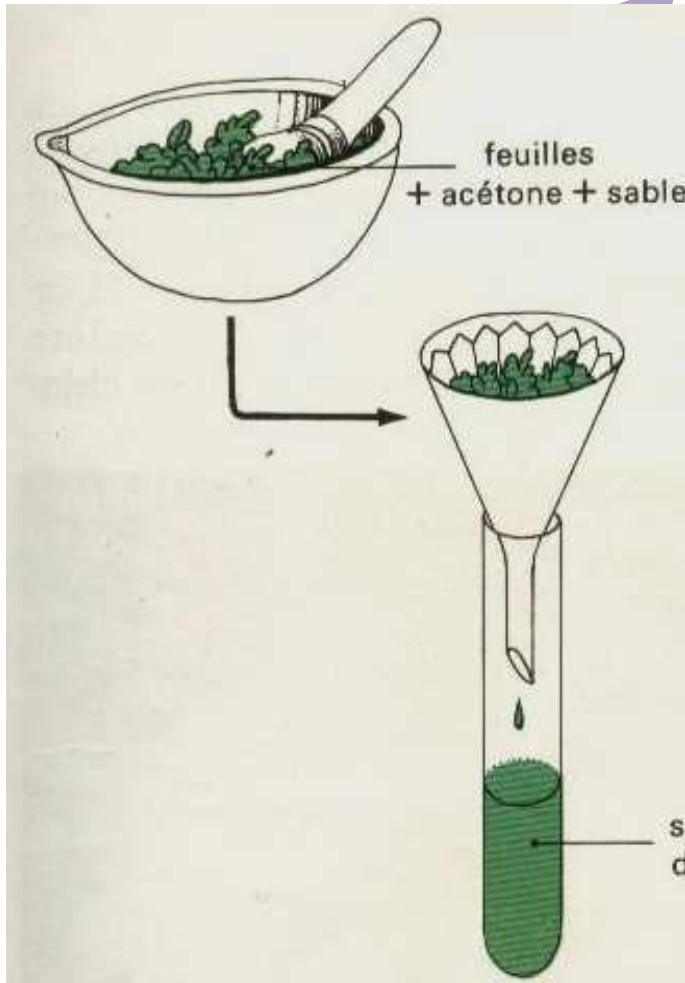
آلية التركيب الضوئي

لكي تنتج النبتة اليخضورية المادة العضوية لابد من امتصاص الماء و الأملاح المعدنية من التربة ، من أخذ ثاني أكسيد الكربون من الهواء ، من وجود الضوء و من امتلاك اليخضور . فكيف تساهم هذه العناصر في عملية التركيب الضوئي ؟ وكيف يتم تركيب المادة العضوية ؟

1- الصبغات اليخضورية :

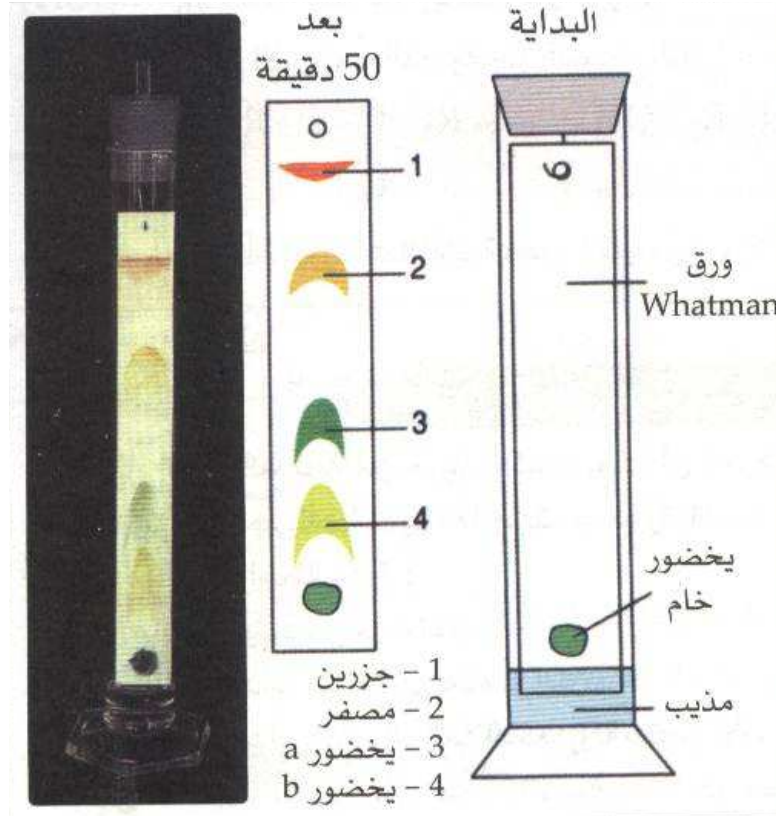
1-1- استخلاص اليخضور الخام من الأوراق الخضراء :

في مهراس نضع قطعا من الأوراق الخضراء مع رمل ثم نهرس و نضع تدريجيا الكحول ، فنحصل بعد الترشيح على محلول يعرف باليخضور الخام.



2-1- عزل الصبغات اليخضورية :

يتم ذلك بواسطة التحليل الكروماتوغرافي : نضع نقطة من اليخضور الخام أسفل ورق whatman ثم نجعل الورقة تمس في أسفلها مذيبا عضويا ، يصعد المذيب بالتشعر عبر الورقة حاملا معه مكونات اليخضور الخام كل حسب درجة ذوبانيته في المذيب .

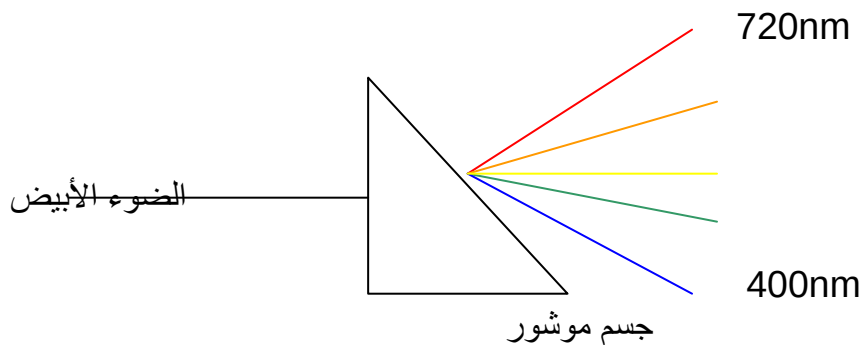


تتكون جزيئة اليخضور من سلسلة كربونية ذات طبيعة دهنية تحمل أيون Mg^{+} .

3-1- علاقة اليخضور بالإضاءة :

أ- الضوء الأبيض :

الضوء الأبيض هو عبارة عن مجموعة من الموجات الضوئية ، تعريض جسم موشور لشعاع أبيض يؤدي إلى تفكك الموجات لإعطاء عدة ألوان تكون الطيف المرئي ، لكل لون موجة محددة .



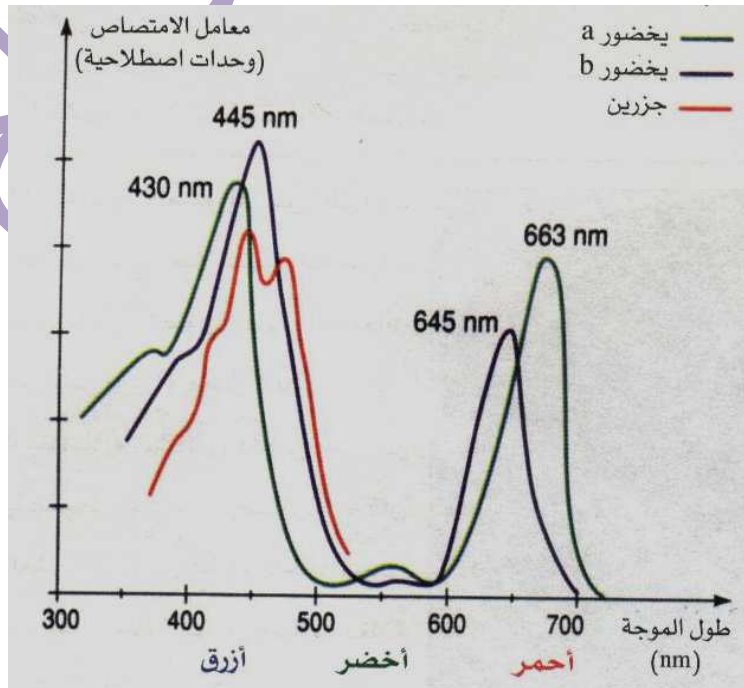
ب- طيف امتصاص اليخضور :

يمكن قياسه باستعمال المطياف اليدوي spectrophotomètre و وضع وعاء المطياف بعد ملئه بمحلول اليخضور الخام ، ثم ملاحظته مباشرة

a - طيف شاهد . b - طيف الضوء الذي عبر محلول اليخضور الخام .



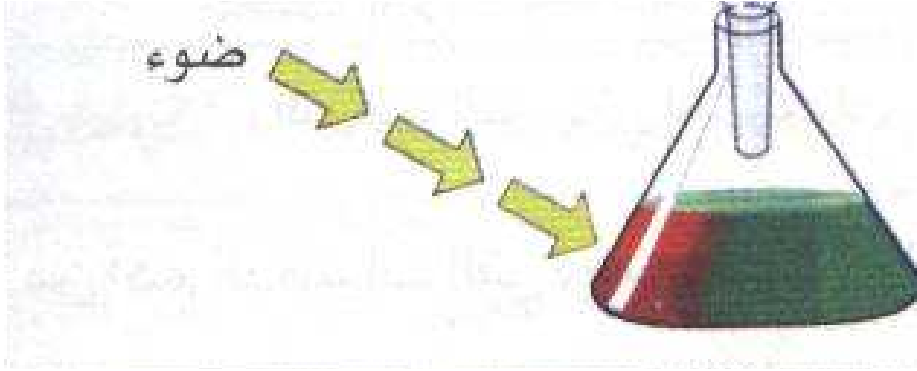
نلاحظ اختفاء بعض الألوان خاصة الأزرق و الأحمر اللذين امتصهما اليخضور الخام .
كما يمكن ترجمة النتائج إلى منحنى شدة امتصاص الإشعاعات حسب طول الموجة الضوئية :



اليخضور يمتص
الموجات الضوئية
البنفسجية الزرقاء و
الحمراء ، و لا يمتص
الأشعة الخضراء بل
يعكسها .

ت- التفلور la fluorescence :

+ ملاحظة :



عند تسليط الضوء على محلول
اليخضور الخام، يلاحظ أن الإشعاعات
التي تعبر اليخضور الخام خضراء ، في
حين التي تنعكس عليه يصبح لونها
أحمر ، تسمى هذه الظاهرة بالتفلور .

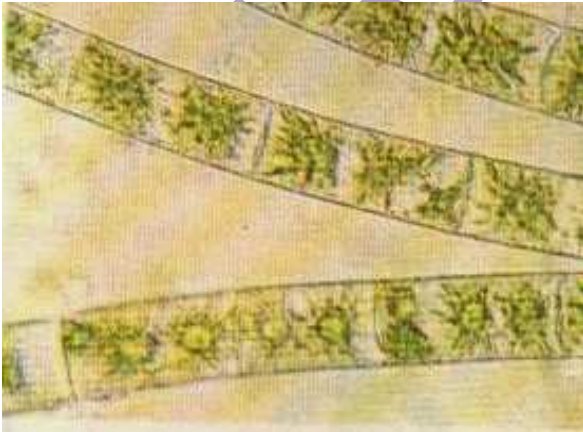
+ تحليل :

يُهيج الضوء اليخضور فيفقد Mg^{+} إلكترون ليخرج عن مداره مبتعدا عن نواة الذرة و مكتسبا مستوى طاقيا أكبر مؤقتا ، عند رجوعه إلى مداره الأصلي يتخلص من الطاقة الزائدة على شكل حرارة و موجة ضوئية حمراء ، إن التفلور .

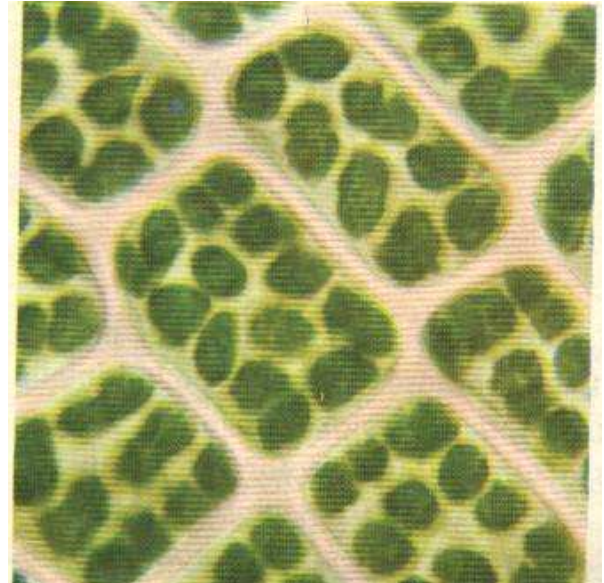
4-1- العضيات المحتوية على اليخضور :

أ- ملاحظة مجهرية لخلايا نباتية خضراء :

يحمل سيتوبلازم الخلايا النباتية الخضراء كريات صغيرة تسمى البلاستيدات الخضراء ، شكلها و عددها يتغير حسب نوع النبتة .

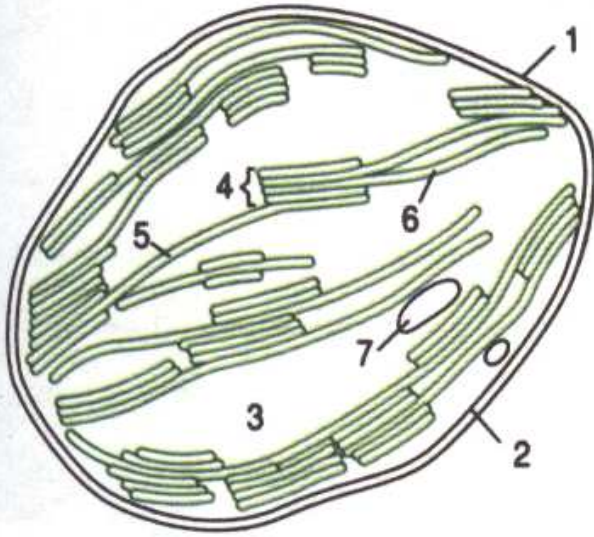
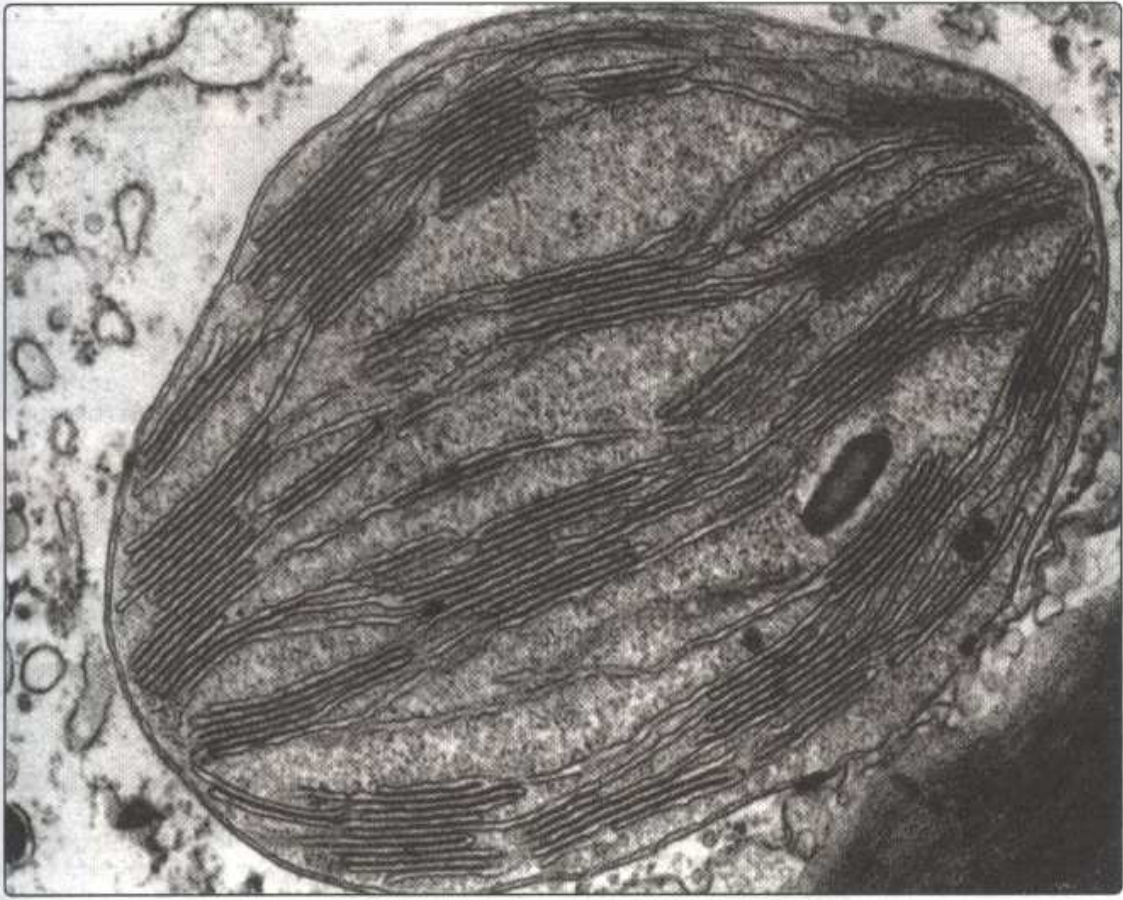


بلاستيدات خضراء نجمية عند طحلب zygnema



بلاستيدات خضراء كروية في ورقة الحزازية

ب- فوق بنية البلاستيدة الخضراء :



1 - غشاء خارجي.

2 - غشاء داخلي.

3 - ستروما.

4 - غرانونم.

5 - تيلاكويد

6 - جوف التيلاكويد.

7 - نشا.

يمتد في الستروما أو وسط البلاستيدة صفائح التلاكويد التي تضم بينها أقراص الغرانونم المحتوية على اليخضور .
على مستوى البلاستيدة الخضراء تتم التبادلات الغازية اليخضورية و على مستواها تتم عملية التركيب الضوئي .

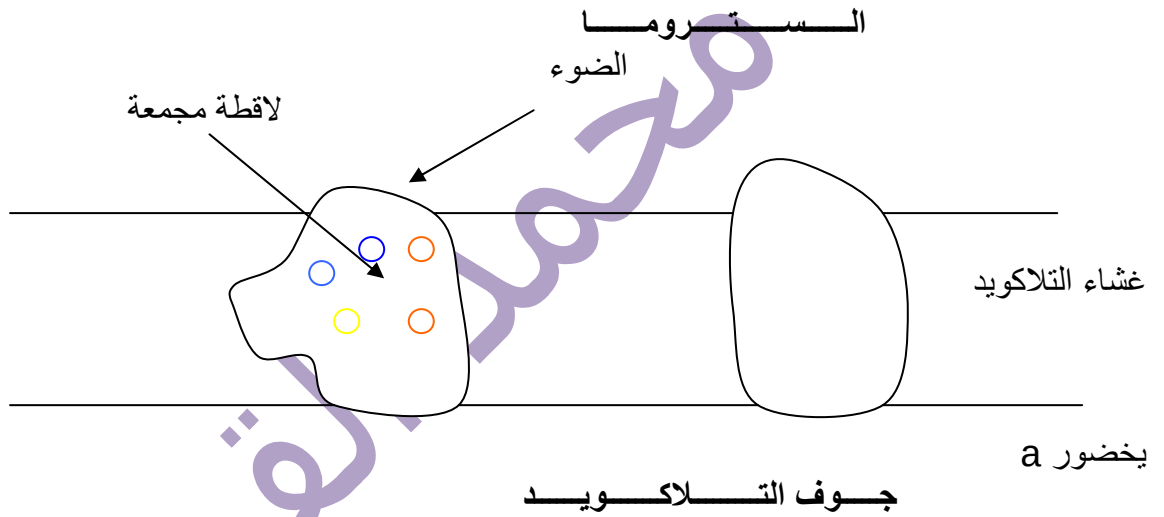
2- آلية التركيب الضوئي :

تتم عملية التركيب الضوئي عبر مرحلتين أساسيتين : مرحلة مرتبطة بالإضاءة يتم خلالها طرح ثنائي الأوكسجين و إنتاج الطاقة ، و تسمى مرحلة التفاعلات الضووكيميائية أو المرحلة المضئية ، و مرحلة لا تتطلب الإضاءة و إنما درجة الحرارة الأفضل لعمل الأنزيمات و تسمى مرحلة التفاعلات الكيميائية الحرارية أو المرحلة المظلمة .

1-2- المرحلة الضووكيميائية :

أ- دور الإضاءة :

تتجمع الصبغات اليخضورية باستثناء اليخضور a على شكل لاقطة مجمعة *antenne collectrice* للطاقة الضوئية في غشاء التلاكويد ، الطاقة الضوئية المجمعة تسلطها اللاقطة على اليخضور a فيتهيج أيون Mg^{+} و يحرر إلكترون واحد .
تسمى هذه المجموعة المكونة من اللاقطة المجمعة و اليخضور a بالنظام الضوئي *photosystème* .



رسم تخطيطي لنظام ضوئي

تتزامن هذه العملية مع طرح O_2 ، فما مصدر هذا الغاز ؟

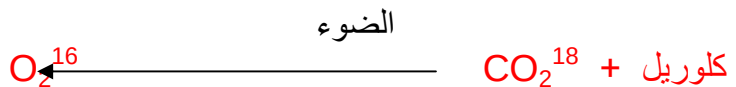
ب- مصدر O_2 المطروح ؟

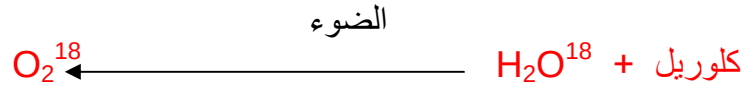
+ فرضية :

يمكن أن ينتزع O_2 مما تمتصة النبتة من H_2O أو CO_2

+ أعمال Ruben و Carmen

استعملوا طحلبا أخضرا وحيد الخلية يسمى الكلوريل





+ استنتاج :
مصدر ثنائي الأوكسجين المطروح هو الماء ، و ذلك حسب التفاعل التالي :



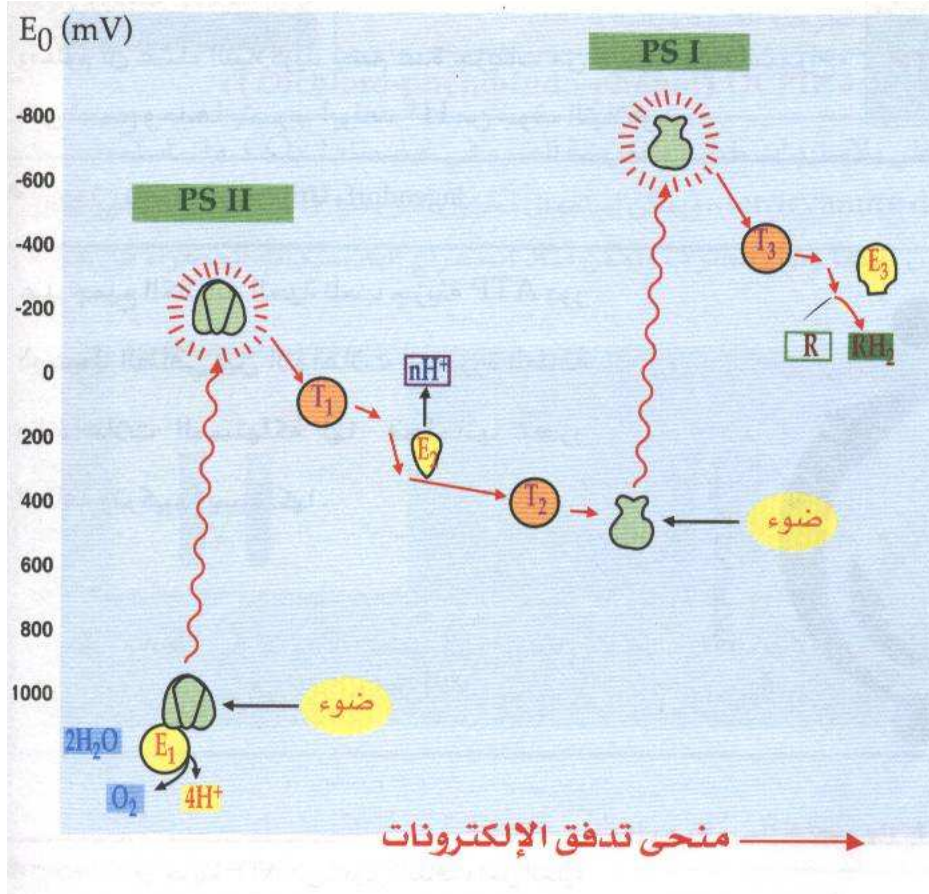
يقوم بعملية تفكيك الماء اليخضور a الذي فقد e^- و اكتسب قدرة مؤكسدة عالية تمكنه من انتزاع e^- من الماء لتعويض خسارته من e^- ، هذا التفاعل عبارة عن أكسدة و اختزال ، و يعتبر الماء هو المزود الدائم بالإلكترونات لليخضور a .

ت- مصير e^- اليخضور المفقود :

يتم نقل e^- اليخضور a عبر سلسلة من تفاعلات اختزال أكسدة يقوم بها عدد من ناقلات e^- الموجودة في غشاء التلاكويد ، ليصل e^- إلى المستقبل النهائي المتواجد في الستروما و المسمى NADP أي nicotinamide adénosine diphosphate ، حسب التفاعل التالي :



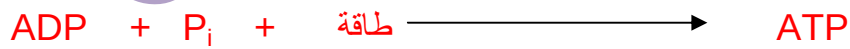
تنتظم ناقلات غشاء التلاكويد على شكل سلسلتين تبدئ كل واحدة منهما بنظام ضوئي PS I و PS II



بالموازاة مع انتقال الإلكترونات عبر غشاء التلاكويد يتم نقل H^+ من الستروما نحو جوف التلاكويد .

ث- نتيجة تفكيك الماء و نقل e^- : إنتاج الطاقة الكيميائية :

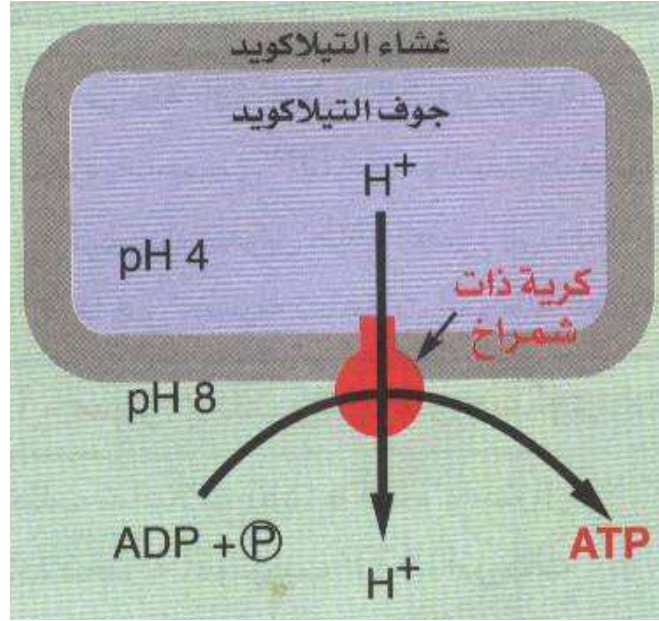
يؤدي تفكك الماء إلى تراكم H^+ في جوف التلاكويد ، و يساهم في رفع تركيز H^+ داخل التلاكويد نقل البروتونات بواسطة ناقلات e^- عبر غشاء التلاكويد من الستروما إلى جوف التلاكويد ، فيصبح داخل التلاكويد مفرط التوتر ل H^+ (pH حمضي) و الستروما ناقص التوتر ل H^+ (pH أقل حموضة) . يسمى فرق تركيز H^+ عبر غشاء التلاكويد بمجال H^+ ، و هو بمثابة خزان للطاقة الكيميائية . تستغل الكريات ذات شمراخ أو أنزيم ATP سنتتاز المتواجدة في غشاء التلاكويد مجال H^+ ، فتعمل على إخراج H^+ من جوف التلاكويد إلى الستروما مستغلة الطاقة الكيميائية للمجال فتخزنها في جزيئة ATP حسب التفاعل التالي :



ADP أدنوزين ثنائي الفوسفات
 P_i حمض فوسفوري

ATP أدنوزين ثلاثي الفوسفات ، عبارة عن نيكليوتيد له ثلاث روابط مع الحمض الفوسفوري ، و تعتبر الرابطة الثالثة خزاناً للطاقة الخلوية $A \sim P \sim P \sim P$ عندما تحتاج الخلية إلى الطاقة تقوم بحلماًة هذه الرابطة و تحرر الطاقة لاستخدامها ، حسب التفاعل التالي :





ث- خلاصة :

تنتج المرحلة الضووكيميائية O_2 و $NADPH_2$ والطاقة الكيميائية على شكل ATP ، و ذلك في حضور الضوء و باستهلاك H_2O

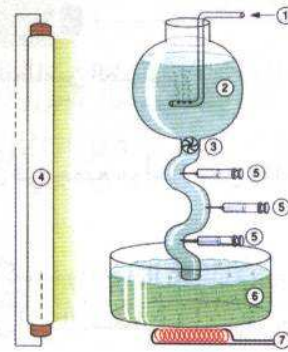
2-2- المرحلة المظلمة أو التفاعلات الكيميائية الحرارية :

خلال هذه المرحلة يتم استهلاك CO_2 على مستوى الستروما لإنتاج المادة العضوية ، فكيف يتم ذلك ؟

أ- أعمال Calvin و Benson :

وضعا طحلب الكلوريل في وسط يضم CO_2 المشع ب C^{14} لمدة زمنية محددة ثم تقتل الخلايا لايقاف التفاعلات و تفرز المواد المركبة بتقنية الكروماتوغرافي ثنائية البعد .

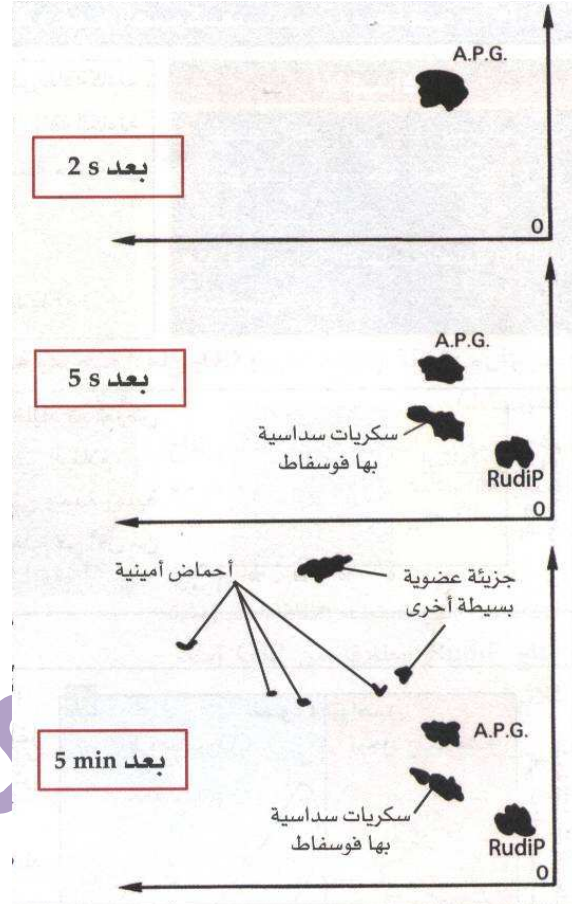
توضع علاقة من الكلوريل (طحالب خضراء وحيدة الخلية) في وسط غني ب CO_2 ، وتسمح مضخة بدفع العلاقة بقوة داخل أنبوب شفاف حيث يمكن حقن CO_2 مشع في نقط مختلفة. يؤدي الأنبوب بالخلايا إلى إناء به ميثانول مغلي مما يؤدي إلى إيقاف جميع التفاعلات الاستقلابية نتيجة تأثير الحرارة على الأنزيمات. يسمح اختيار نقطة الحقن وكذا قوة المضخة بتغيير الفترة الزمنية التي تتعرض فيها الطحالب لـ CO_2 المشع، هذه الفترة تتراوح بين ثانية وعدة دقائق.



- 1- هواء غني ب CO_2 .
- 2- علاقة الكلوريل.
- 3- مضخة ذات صبيب منظم.
- 4- إضاءة.
- 5- نقط حقن CO_2 المشع.
- 6- ميثانول مغلي.
- 7- مَسْخَن.

ب- النتائج :

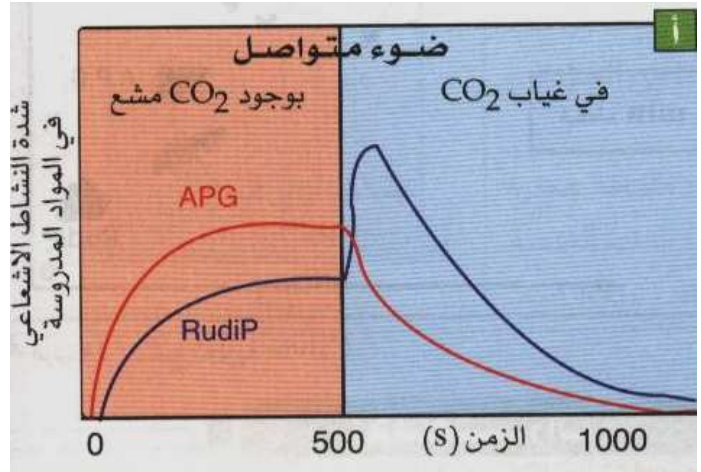
بعد ثانيتين ظهر في الخلايا مادة APG حمض الفوسفوغلوسريك ، و هو عبارة عن جزيئة ثلاثية الكربون .
بعد 5 ثوان ظهرت سكريات سداسية الكربون و سكر خماسي الكربون يسمى Rudip ريبولوز ثنائي الفوسفات
بعد 5 دقائق ظهرت مواد عضوية مختلفة .



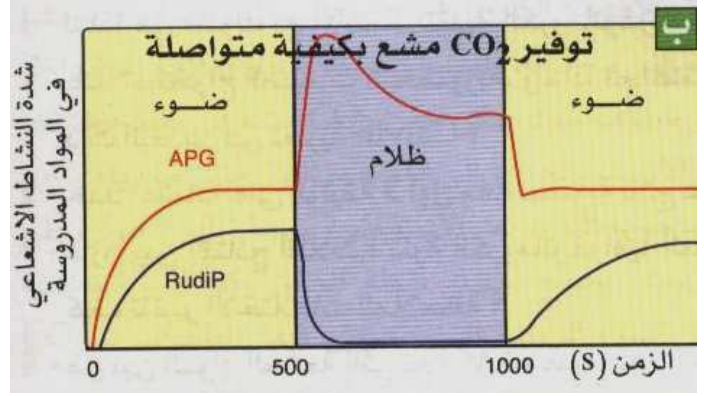
ت- العلاقة بين APG و Rudip :

تتبع Calvin و Benson تطور تركيز هاتين المادتين في ظروف مختلفة من حيث نسبة CO_2 المشع و من حيث الإضاءة ، فحسباً على النتائج التالية :

و أ : في حضور CO_2 و في إضاءة متواصلة نسبة Rudip أصغر من نسبة APG ، ويتطوران بصورة متوازنة في غياب CO_2 و رغم الإضاءة المتواصلة تزداد نسبة Rudip على حساب APG ثم ينخفض كلاهما و يبقى Rudip في نسبة أعلى من APG .



و ب : عند توفير CO_2 بكيفية متواصلة و في الضوء يزداد بصورة متوازية APG و Rudip مع ارتفاع نسبة APG ، أما في الظلام فيتراكم APG و يستهلك Rudip

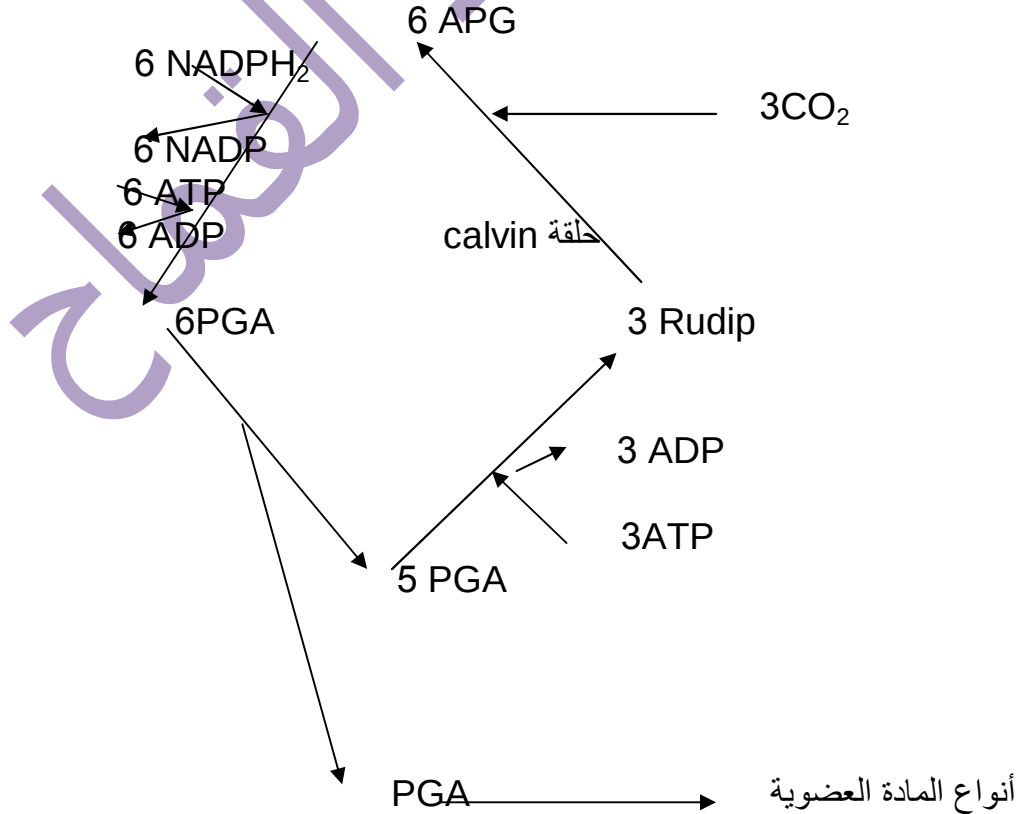


ث- استنتاج :

في حضور الضوء و CO_2 يدل التطور المتوازي ل APG و Rudip على وجود تفاعل متبادل بينهما يتوقف في الظلام و في حضور CO_2 فيتكون APG انطلاقا من Rudip ، يعني هذا أن التفاعل المتبادل بين APG و Rudip مرتبط بالضوء أي بالمرحلة المضئية للتركيب الضوئي .

يتفاعل CO_2 مع Rudip خماسي الكربون بواسطة أنزيم يسمى Rudip كربوكسلاز أو Rubisco معطيا جزيئين من مادة ذات 3 كربون تسمى APG ، و يعتبر هذا أول منتج للتركيب الضوئي ، لذلك تسمى النباتات التي تبدأ تركيبها الضوئي ب APG بالنباتات C_3 .

APG المنتج يعمل على تجديد Rudip شريطة وجود الضوء الذي يوفر $NADPH_2$ و ATP ، هذا الترابط بين APG و Rudip يكون دورة تعرف بدورة Calvin يتم خلالها استهلاك منتج المرحلة المضئية و إنتاج سكر ثلاثي الكربون يسمى الفوسفو غليسرالدييد PGA و تجديد Rudip .



ملحوظة :

بالإضافة إلى النباتات C_3 يوجد في الطبيعة نوع آخر من النباتات تسمى النباتات C_4 ، و هي نباتات المناطق الجافة و القاحلة ذات درجة الحرارة المرتفعة في النهار ، فلا تفتح النباتات ثغورها إلا بالليل للترود ب CO_2 فتفاعله مع حمض ثلاثي الكربون معطية حمضا رباعي الكربون أول منتج لاستهلاك CO_2 ، خلال النهار يتم التفاعل العكسي فيحرر CO_2 و يدخل في حلقة calvin .

3- تنوع مصادر المادة و الطاقة عند الكائنات الحية :

حسب مصدر الطاقة المستعملة و حسب مصدر المادة المستهلكة تنقسم الكائنات الحية على عدة أنماط إقتيائية :

حسب مصدر الطاقة		الأنماط الإقتيائية	
كيمائية التغذية : طاقة كامنة في مواد الاقتيات العضوية أو المعدنية.	ضوئية التغذية : طاقة ضوئية (شمس).		
عدة أنواع من البكتيريات	نباتات يخضورية (إضافة إلى بعض البكتيريات والطحالب الزرقاء).	ذاتية التغذية : استهلاك مواد معدنية فقط.	حسب مصدر المادة المستهلكة والمستعملة من أجل النمو
الإنسان والحيوانات والفطريات	بعض البكتيريات	غير ذاتية التغذية : استهلاك مواد عضوية.	

مفاح