www.9alami.com

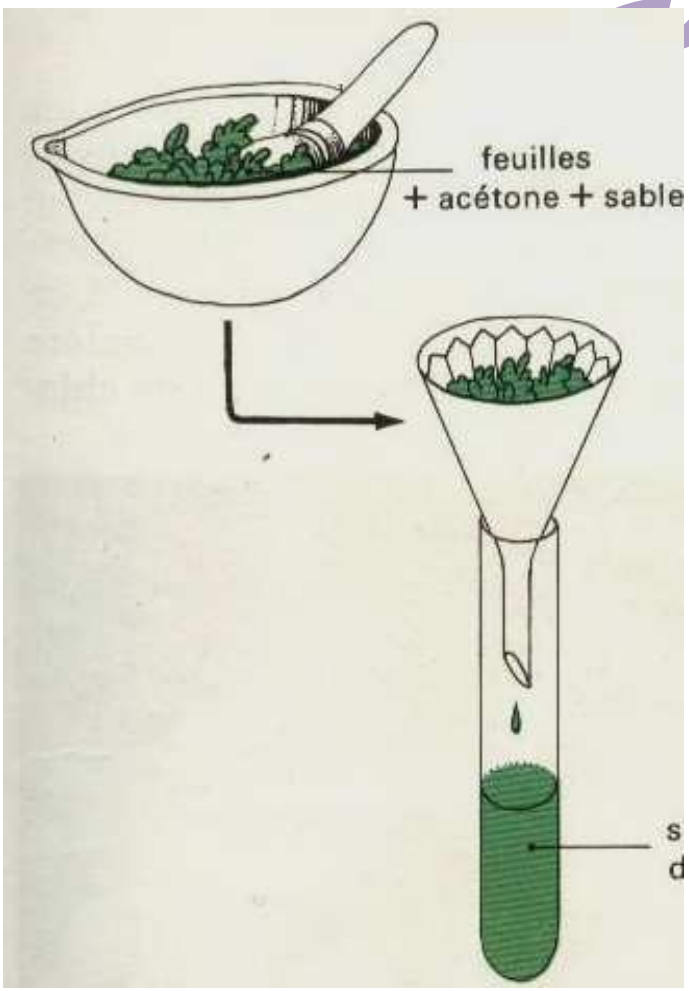
آلية التركيب الضوئي

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 ؟
و كيف يتم تركيب المادة العضوية ؟

1- الصبغات اليخضورية :

1-1- استخلاص اليخضور الخام من الأوراق الخضراء :

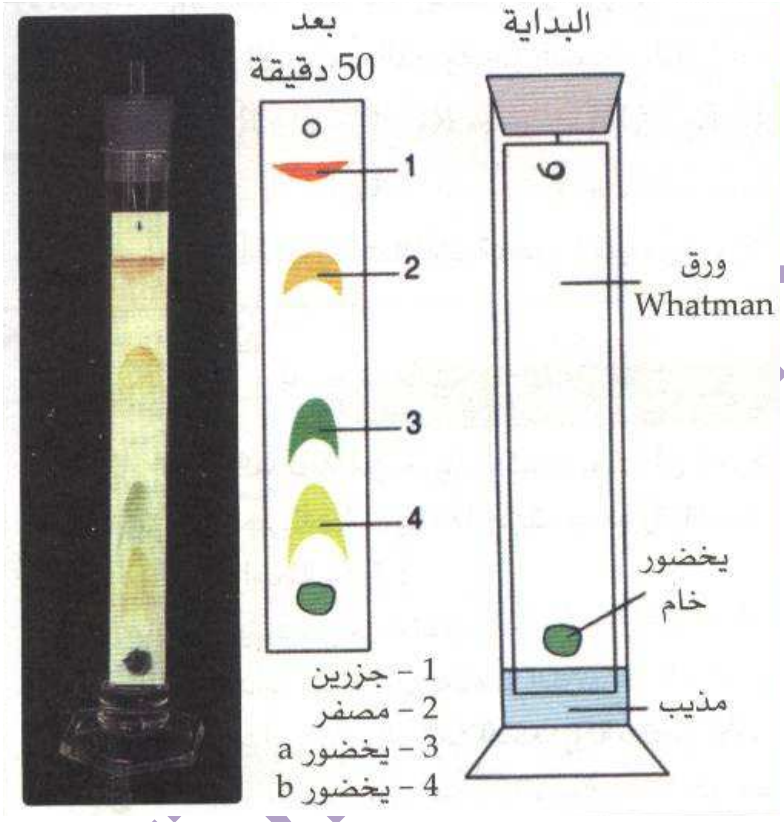
في مهراس نضع قطعا من الأوراق الخضراء مع رمل ثم نهرس و نضع تدريجيا الكحول ، فنحصل بعد الترشيح على محلول يعرف باليخضور الخام.



محلول اليخضور الخام

1-2- عزل الصبغات اليخضورية :

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

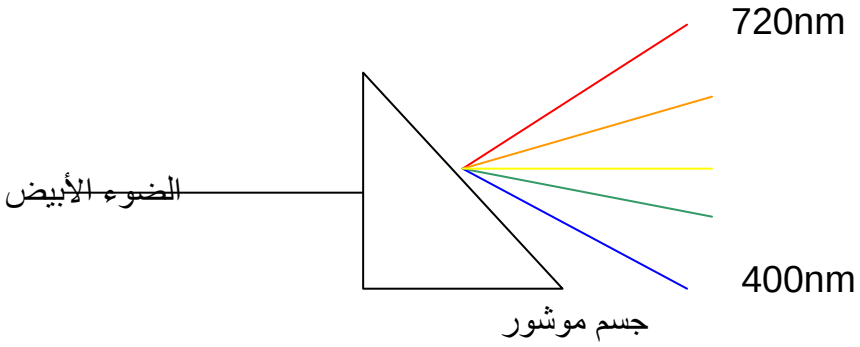


تتكون جزيئة اليخضور من سلسلة كربونية ذات طبيعة دهنية تحمل إيون Mg^{+} .

1-3- علاقة اليخضور بالإضاءة :

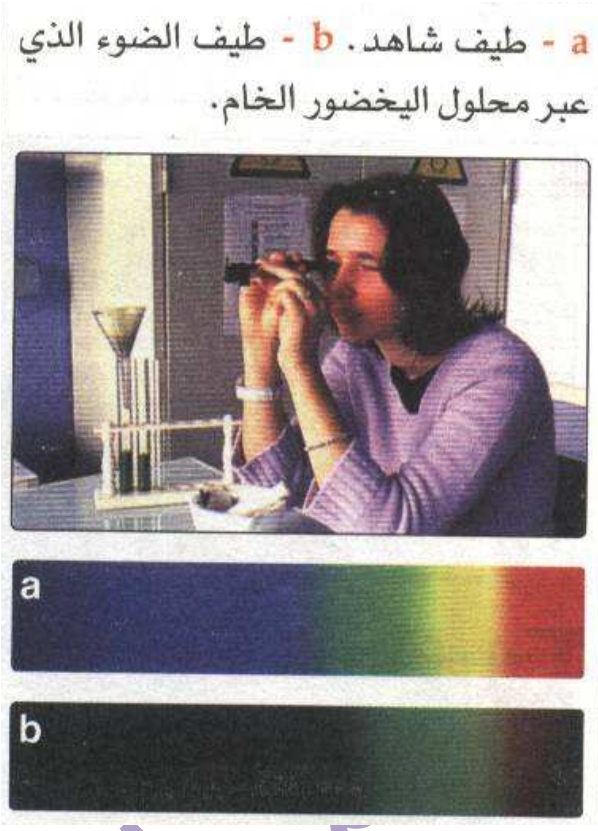
أ- الضوء الأبيض :

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 .

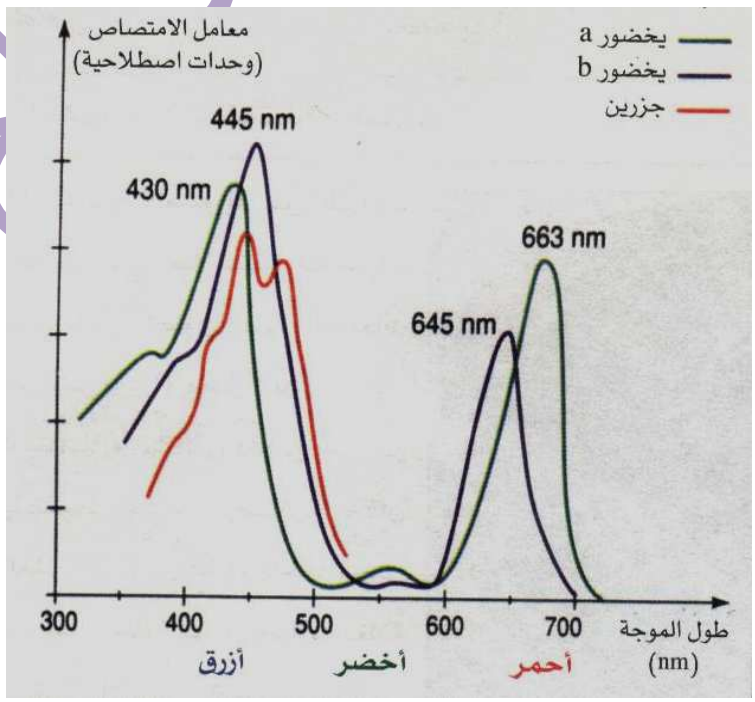


ب- طيف امتصاص اليخضور :

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



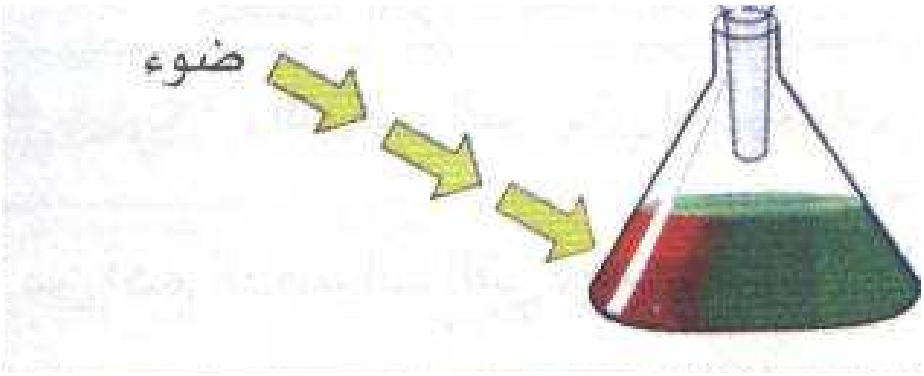
نلاحظ اختفاء بعض الألوان خاصة الأزرق و الأحمر اللذين امتصهما اليخضور الخام .
كما يمكن ترجمة النتائج إلى منحنى شدة امتصاص الإشعاعات حسب طول الموجة الضوئية :



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 .

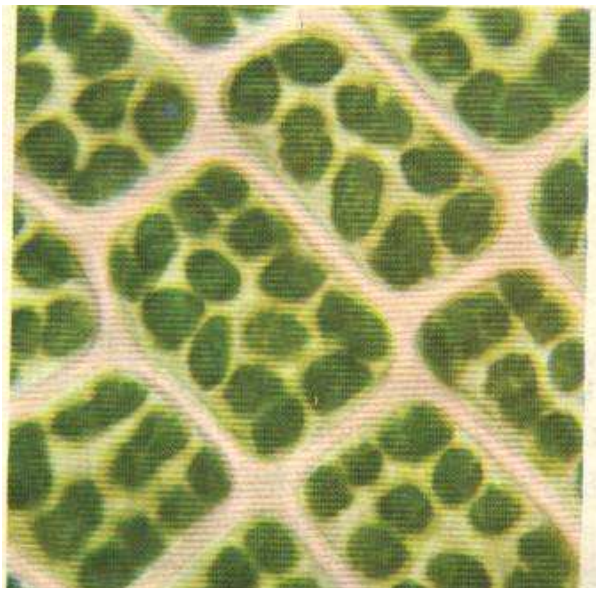
+ تحليل :

يهيج 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 .

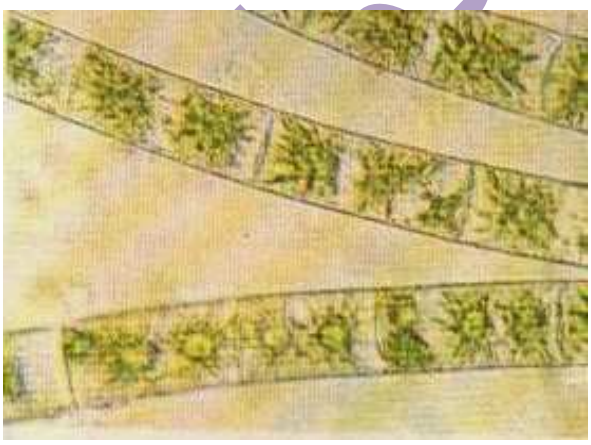
4-1- العضيات المحتوية على اليخضور :

أ- ملاحظة مجهرية لخلايا نباتية خضراء :

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



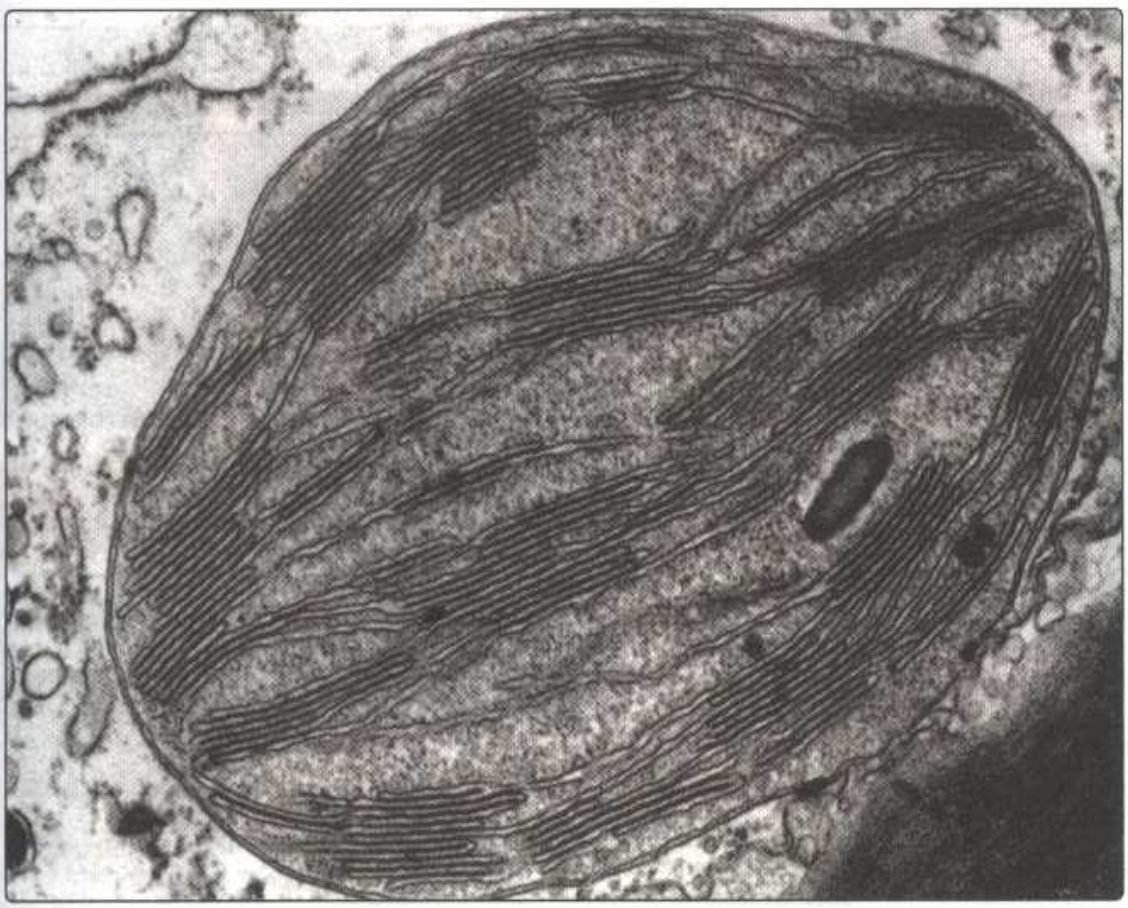
بلاستيدات خضراء كروية في ورقة الحزازية

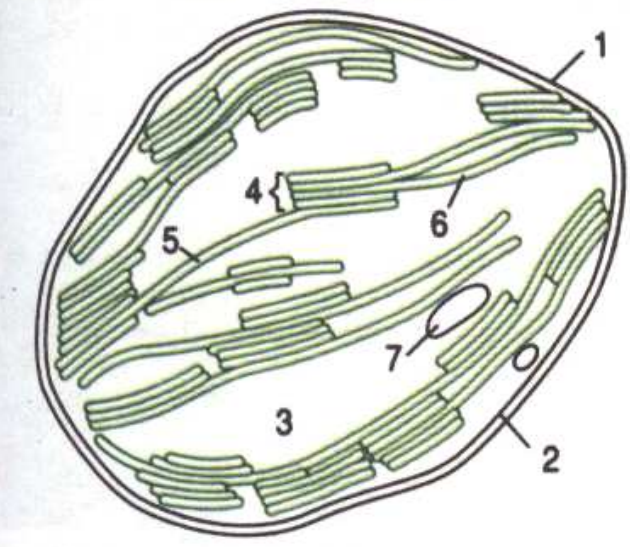


بلاستيدات خضراء نجمية عند طحلب zygnema

د. محمد القـ

ب- فوق بنية البلاستيدة الخضراء :





1 - غشاء خارجي.

2 - غشاء داخلي.

3 - ستروما.

4 - غرانوم.

5 - تيلاكويد

6 - جوف التيلاكويد.

7 - نشا.

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

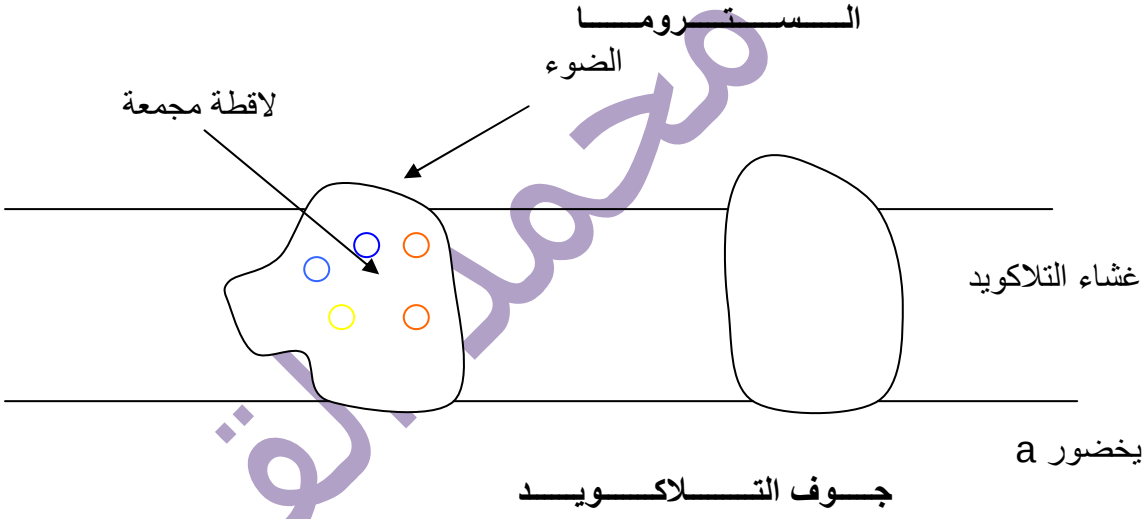
2- آلية التركيب الضوئي :

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

2-1- المرحلة الضوكيميائية :

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 إيون Mg^{+} و يحرر إلكترونا واحدا .
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

استعملا طحلبا أخضرا وحيد الخلية يسمى الكلوريل

$$\text{كلوريل} + CO_2^{18} \xrightarrow{\text{الضوء}} O_2^{16}$$

د. محمد لقماح

الضوء

O_2^{18} ← H_2O^{18} + كلوريل

+ استنتاج :

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

$$2\ H_2O \longrightarrow 4H^+ + 4\ e^- + O_2 \uparrow$$

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 .

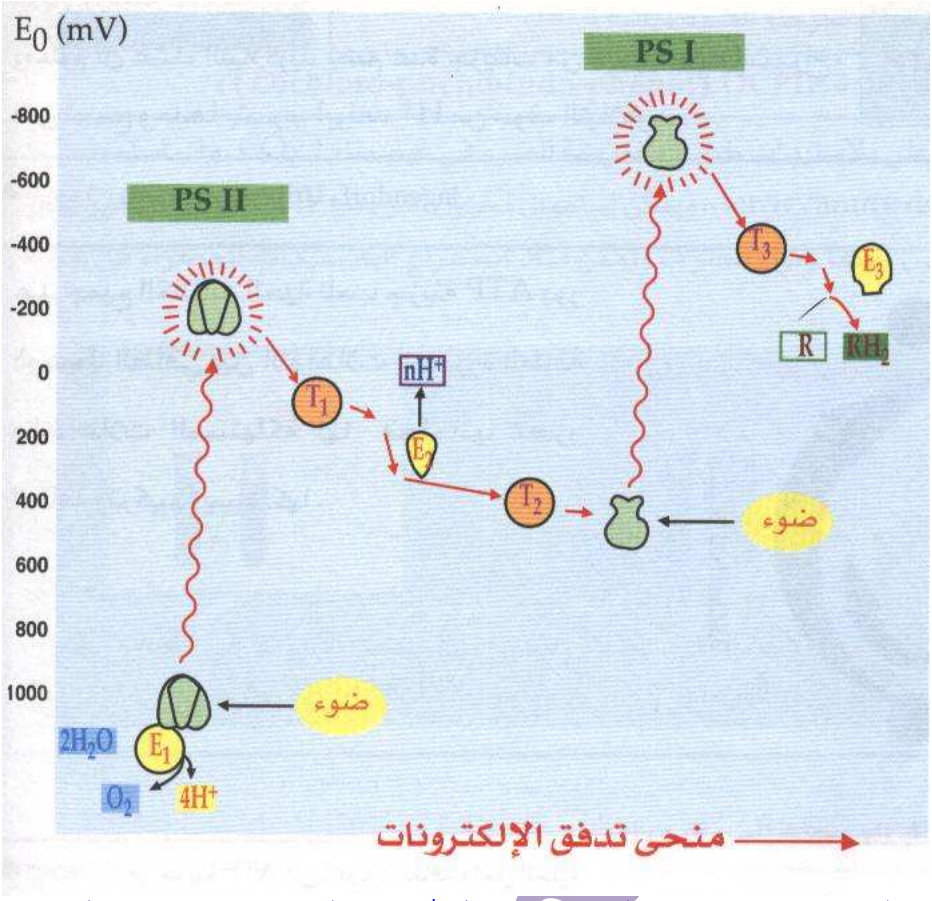
ت- مصير e^- اليخضور المفقود :

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 :

$$NADP + 2\ e^- + 2H^+ \longrightarrow NADPH_2$$

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

ذ. محمد القماح



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 :

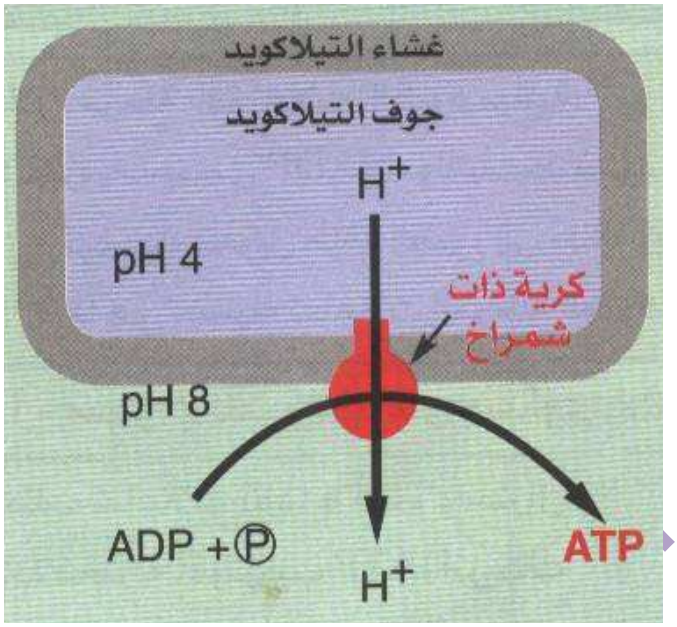
يؤدي تفكك الماء إلى تراكم H^+ في جوف التلاكويد ، و يساهم في رفع تركيز H^+ داخل التلاكويد نقل البروتونات بواسطة ناقلات e^- عبر غشاء التلاكويد من الستروما إلى جوف التلاكويد ، فيصبح داخل التلاكويد مفرط التوتر ل H^+ (pH حمضي) و الستروما ناقص التوتر ل H^+ (pH أقل حموضة) . يسمى فرق تركيز H^+ عبر غشاء التلاكويد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

$$ADP + P_i + \text{طاقة} \longrightarrow ATP$$

ADP أدنوزين ثنائي الفوسفاط
P_i حمض فوسفوري
ATP أدنوزين ثلاثي الفوسفاط ، عبارة عن نيكليوتيد له ثلاث روابط مع الحمض الفوسفوري ،و تعتبر الرابطة الثالثة خزانا للطاقة الخلوية A ~ P~ P ~P عندما تحتاج الخلية إلى الطاقة تقوم بحلمأة هذه الرابطة و تحرر الطاقة لاستخدامها ، حسب التفاعل التالي :

$$ATP + H_2O \longrightarrow ADP + P_i + 30,5\ Kj$$

أحمد الفلاح



ث- خلاصة :

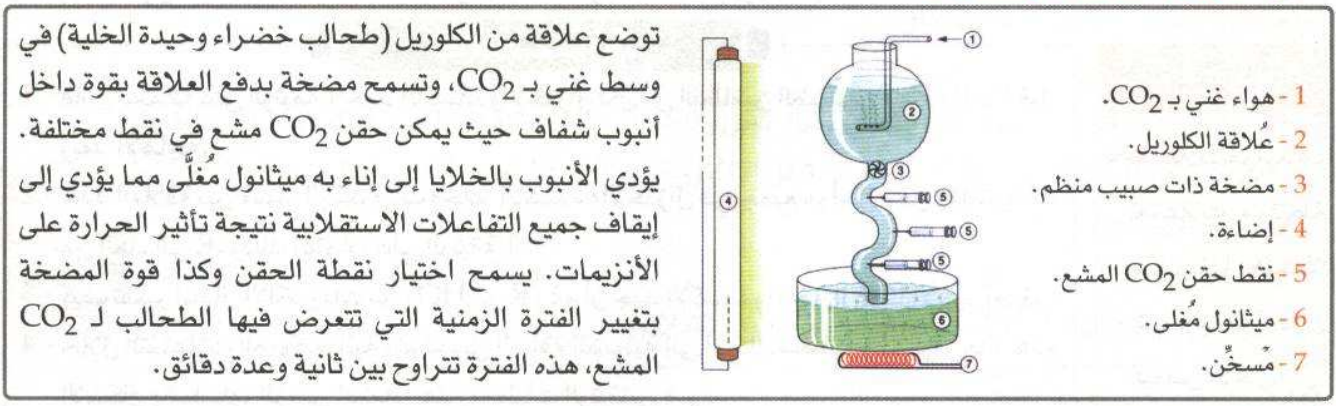
تنتج المرحلة الضوكيميائية O_2 و $NADPH_2$ و الطاقة الكيميائية على شكل ATP ، و ذلك في حضور الضوء و باستهلاك H_2O

2-2- المرحلة المظلمة أو التفاعلات الكيميائية الحرارية :

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

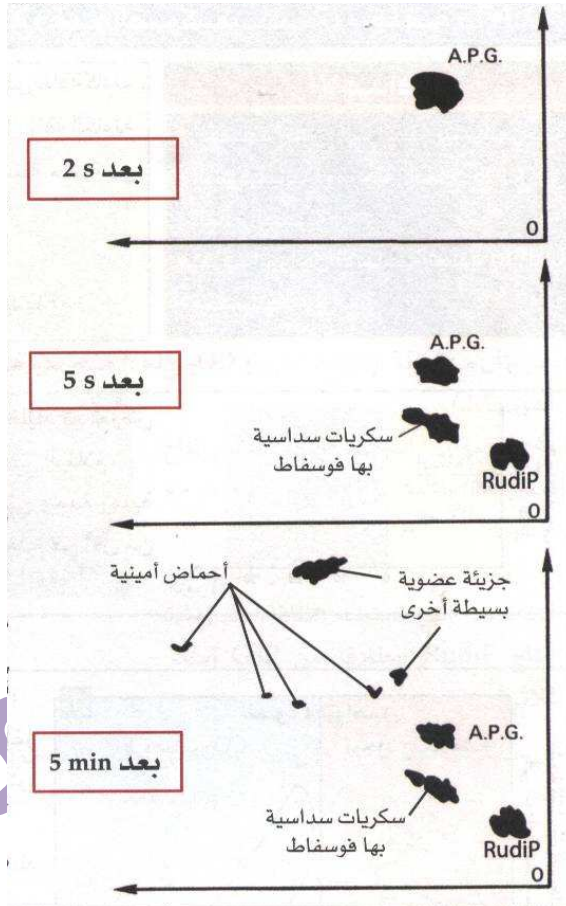
أ- أعمال Calvin و Benson :

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 .



د. محمد القماح

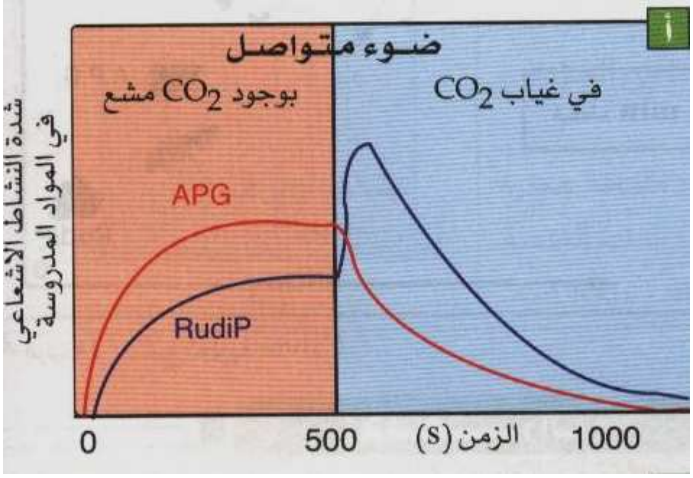
ب- النتائج :



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

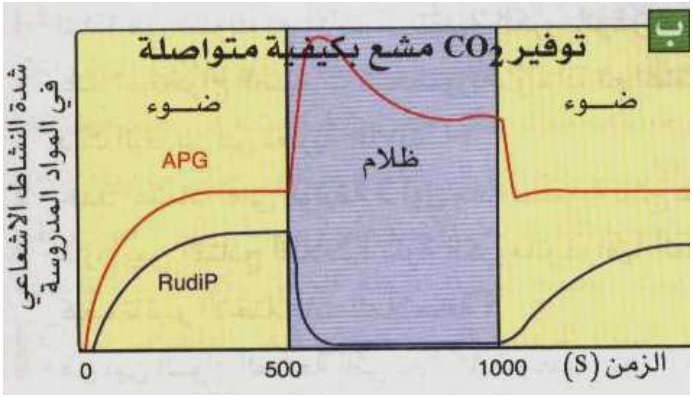
ت- العلاقة بين APG و Rudip :

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



و أ : في حضور CO_2 و في إضاءة متواصلة نسبة Rudip أصغر من نسبة APG ، ويتطوران بصورة متوازية 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 .

محمد القماح



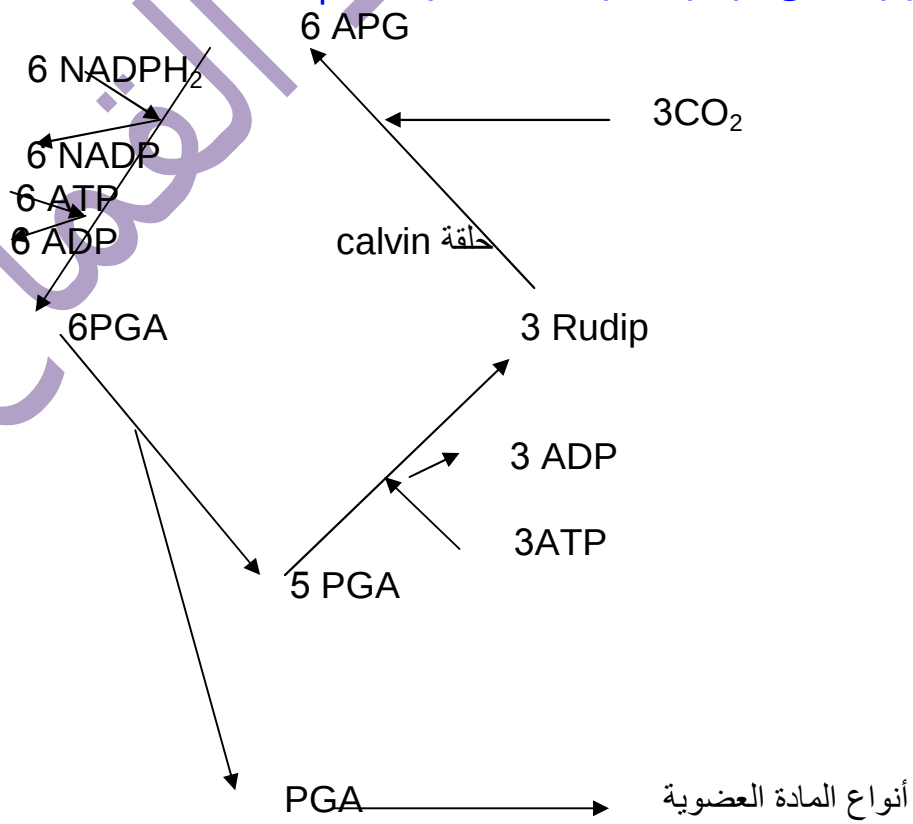
و ب : عند توفير CO_2 بكيفية متواصلة و في الضوء يزداد بصورة متوازية APG و Rudip مع ارتفاع نسبة APG ، أما في الظلام فيتراكم APG و يستهلك Rudip

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 المضيئة للتركيب الضوئي .

يتفاعل CO_2 مع Rudip خماسي الكربون بواسطة أنزيم يسمى Rudip كربوكسلاز أو Rubisco معطيا جزيئتين من مادة ذات 3 كربون تسمى APG ، و يعتبر هذا أول منتوج 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 منتوج المرحلة المضيئة و إنتاج سكر ثلاثي الكربون يسمى الفوسفو غليسرالديد PGA و تجديد Rudip .



د. محمد الفلاح

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 للتزود ب CO_2 فتفاعله مع حمض ثلاثي الكربون معطية حمضا رباعي الكربون أول منتوج 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 إقتياتية :

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

فلاح