التمثيل الضوئي
The Photosynthesis

- النبات هو الكائن الوحيد القادر على تحويل الطاقه الضوئيه الى طاقه كيميائيه بواسطة عملية التمثيل الضوئي .
- ينتج ٥٠٠بليون طن من المادةالعضويه وأنتاج الاوكسجين اللازم لحياة كل الكائنات الحيه .
- النباتات الخضراء والبكتيريا الضوئيه Photosynthetic bacteria

تقوم بتمثيل الضوئي وأنتاج اول مركب عضوي هو الجلوكوز

التسلسل التاريخي لتعرف على التمثيل الضوئي

١- تم الاهتمام بعملية التمثيل الضوئي في بداية القرن ١٨ م .

٢-ذكر الاغريق ان النبات يحصل على غذائه من التربه في صورة مخلفات نبات وحيوان .

٣-قام العالم Van Helmontبزراعة شجرة صفصاف معلومة الوزن لمدة ٥سنوات وأعتقد أن الماء هو المسئول عن غذاء النبات ،

٤-أستنتج العالم Woodward١٦٩٩ وجود ماده في التربه تنتقل الى النبات وتسبب نموه عند معاملة نبات النعناع بعينات ماء مختلفه .

٥- نبه العالم Hales١٧٢٧ الى أهمية الضوء في نمو النبات .

٦- اشار العالم Priestley ١٧٧٢إلى تبادل الغازات في عملية التمثيل الضوئي (تجربة الفأرة مع أغصان النعناع في جو ملوث بـ CO_2) .

٧- توصل العالم Ingenhousz و Priestley الى أن تكوين الـ O_2لايتم الا في وجود الضوء .

٨- أوضح Senebier أهمية CO_2 لعملية التمثيل الضوئي وإنتاج الـ O_2 وبحوث Lavoisier عام ١٧٩٦.

٩- نشر De Saussure في كتابه (أبحاث كيميائية للنباتات الخضراء)

- حدوث نوعين من التبادل الغازي في النبات في وجود الضوء وفي الظلام
- والانسجه الخضراء هي المسئوله عن إمتصاص CO2 وإخراج O2 في وجود الضوء .

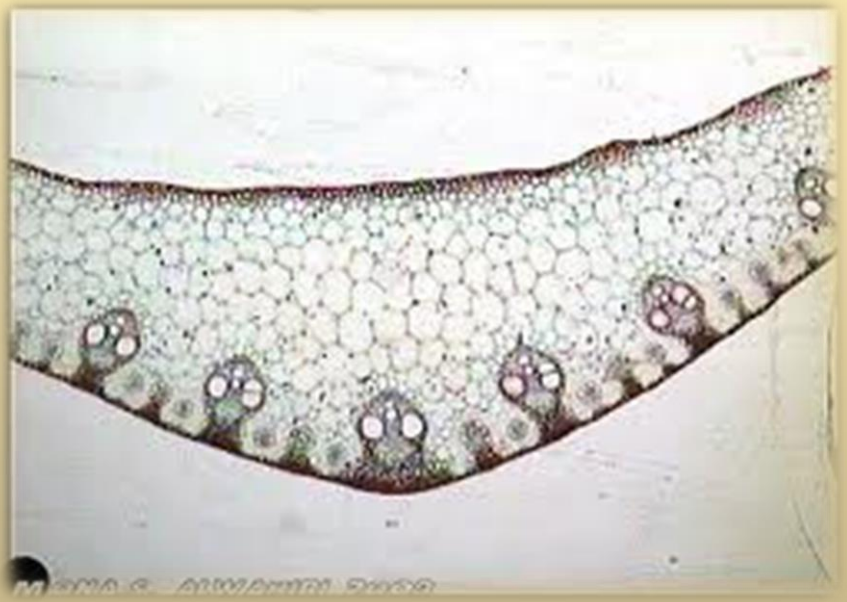
١٠- أقر Robert Mayer عام ١٨٤٢ ان الشمس هي المصدر الوحيد للطاقه تمتصها النبات وتحولها الى طاقه كيميائيه أثناء التمثيل الضوئي .

١١- إكتشف Blackmanعام ١٩٠٥ أن البناء الضوئي عملية كيميائيه بيولوجيه - الاولى عملية تفاعل سريع تحتاج الى ضوء –الثانيه تتم ببطئ ولا تحتاج الى ضوء (تسمى تفاعلات الظلام) .

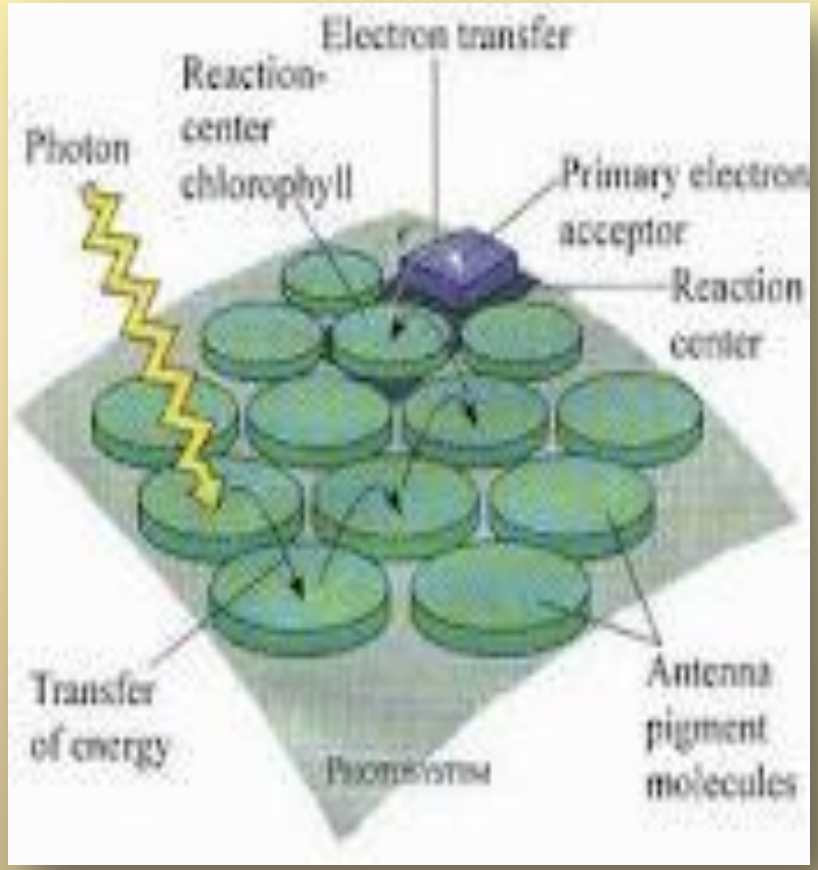
١٢- عام ١٩٣٢ أكتشف Hill دور الـ Ferridoxin كمستقبل طبيعي للـ H موجود في النبات لإتمام عملية التمثيل الضوئي .

دور أوراق النبات في عملية التمثيل الضوئي
The Role of Leaves in Photosynthesis

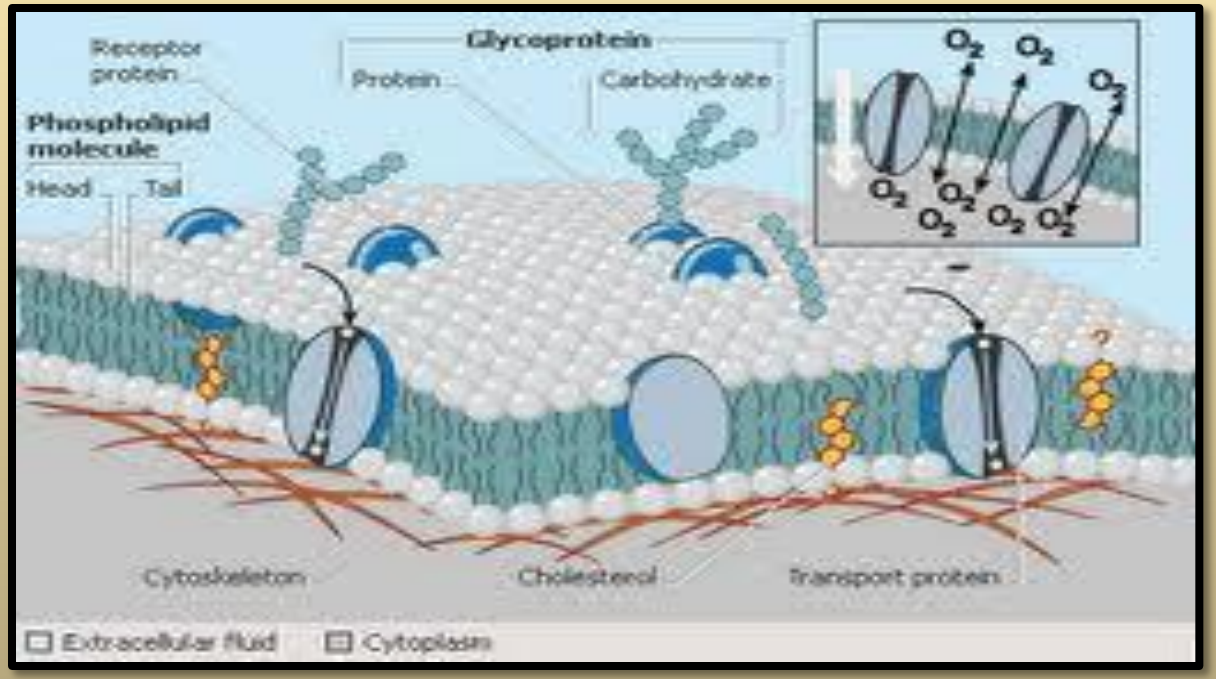
تركيب الورقه



البلاستيدات الخضراء هي المسئوله عن عملية التمثيل الضوئي وتوجد في النسيج الوسطي (الخلايا الكلورنشيميه) وتتكون من :غلاف مزدوج والحشوه



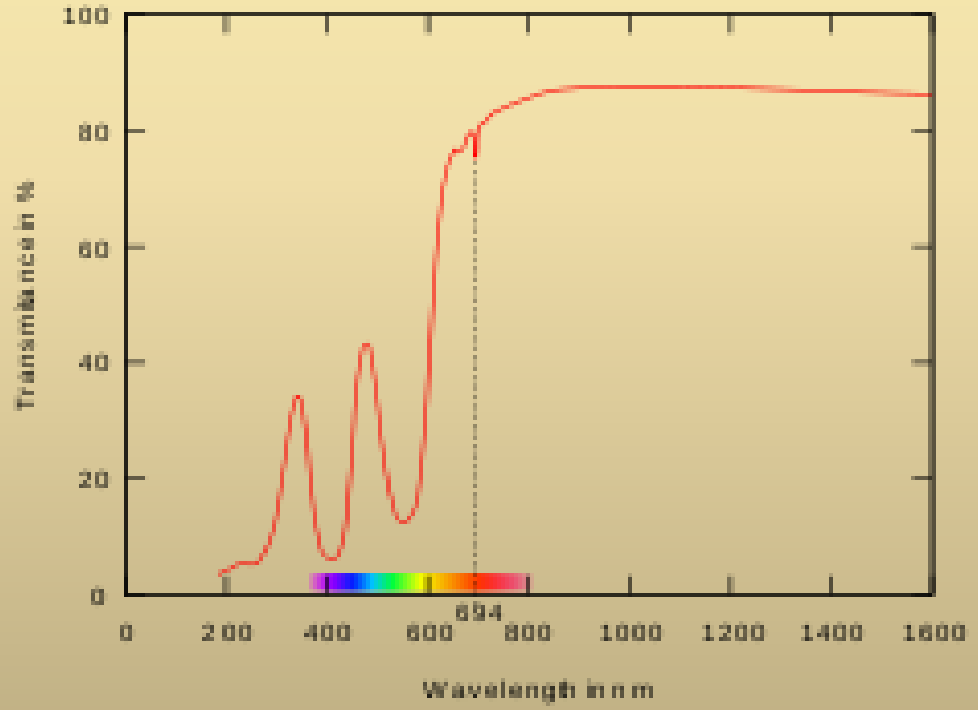
الغلاف االمزدوج: تركيبه مماثل للغشاء البلازمي أن بروتينات الغشاء البلازمي من النوع الحبيبي globular وتكون مغمورة كلياً أو جزئياً في طبقة مركزية سائلة من الدهن الثنائي الجزيئات، وتكون جزيئات البروتين على شكل وحدات متفرقة ومستقلة وليست على شكل طبقة مستمرة ومتصلة، أي أن هذا النموذج يصور البروتينات كجزيئات مطمورة أو سابحة في السائل الدهني، بحيث تسمح خاصيتا الحركة والتركيب الحبيبي لهذه الجزيئات بالقيام بالتفاعلات اللازمة لإتمام نقل جزيئات معينة خلال الغشاء البلازمي.



- ***التركيب الدقيق للبلاستيدة الخضراء:***
- ١- تحيط بالبلاستيدة الخضراء غشائين خارجين لكل منها تركيب الوحدة الغشائية.
- ٢- ويملأ فراغ البلاستيدة مادة ليبوبروتينية سائلة تعرف بالحشوة *Stroma matrix* ويوجد بها قطرات دهنية وحبيبات نشوية.
- ٣- وتمتد بعرض البلاستيدة صفائح *Lamellai* رقيقة مغمورة في الحشوة في المادة السائلة السابق ذكرها. تتميز الصفائح بأنها رقيقة قليلة السمك نسبياً في بعض المناطق من البلاستيدة وتعرف بصفائح الحشوة *Stroma lamellae* ويتكون أكثر سمكاً في مناطق أخرى من البلاستيدة وتعرف باسم صفائح البذيرات *Grana lamellae* وتجتمع كل صفيحتين من الصفائح الأخيرة وتكونان ما يعرف بالقرص *Disc* بينما تكون كل مجموعة من الأقراص ما يعرف بالبذيرة *Granum*. ويختلف عدد الأقراص في البذيرة الواحدة في النباتات المختلفة ففي بعض الأنواع يكون عدد الأقراص قليلاً وفي بعض الآخر يكون ٥٠ أو أكثر أما اليخضور (الصبغات) فيوجد محمولاً على أماكن محددة من البذيرة ومن المعروف أن الكلوروفيل يمتص

- الطاقة الضوئية ويحولها إلى طاقة كيميائية يمكن استخدامها في عملية البناء الضوئي وهذه وظيفة البلاستيدات الخضراء *Granna lamellae*.
- أصباغ الكلوروفيل
- طاقة ضوئية
- ثاني أكسيد الكربون + ماء نشويات + أ٢
- وفي بعض النباتات الدنيا لا يوجد تمييز بين صفائح البذيرات *strom lamellae* وصفائح الحشوة بل تتكون الصفائح كلها من نوع واحد رقيق وتتوزع البلاستيدات بالتساوي على الخليتين البنويتين أثناء دورة الانقسام. وتنشأ البلاستيدات الخضراء من البلاستيدات الأولية Proplastids والبلاستيدات الأولية تتكون من غشائين يحيطان بالحشوة التي يوجد بها DNA و RNA وريبوسومات وقد توجد بها أيضاً بعض أنواع من الحبيبات النشوية أما الصفائح الغشائية فتعتبر مميزة.

- الضوء:- يتكون من جسيمات صغيرة(فوتونات) تشعها مصادر الضوء المختلفه
- ينتقل الضوء في شكل موجات كهرومغناطيسيه سرعتها ٣×١٠^{10}سم/ثا



- الضوء يتمتع بخصائص موجيه وجسيميه .
- الاطوال الموجيه المؤثرة على نمو النبات من ٣٠٠ _ ٩٠٠ nm

الصبغات المشاركه في عملية التمثيل الضوئي:-

هي عباره عن مركبات توجد داخل البلاستيدات الخضراء، تحول الطاقه الضوئيه الى طاقه كيميائيه .

- صبغات الكلوروفيل

- عددها (٩) منها أ،ب،ج،د، هـ ،

كلورفيلات الكلوروبيوم 660-650 أعلى إمتصاص لها في المنطقه الحمراء ذات الاطوال الموجيه 660-650nm .

- يوجد كلورفيل أ- ب في النباتات ذاتيه التغذيه autotrophic وبكتيريا photosynthetic bacteria .

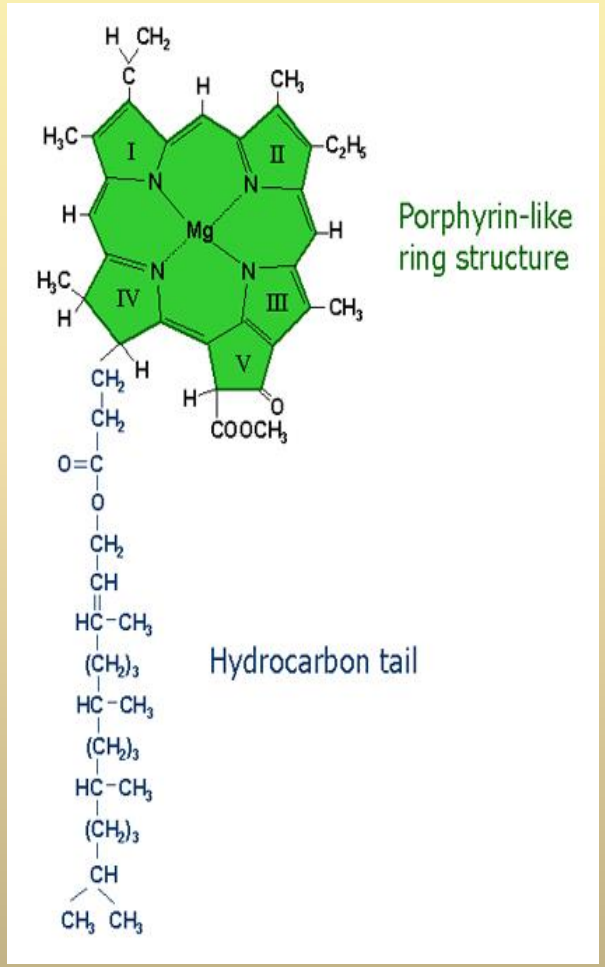
- تخلو الطحالب الحمراء والزرقاء والبنيه من كلوروفيل ب .

- تحتوي الطحالب على كلورفيل أ وكذلك ج ، د ، هـ .

- لون كلورفيل أ أخضر مزرق ، وكلورفيل ب أخضر مصفر .

التركيب الكيميائي

- مركبات بورفيرينيه يحتوي الجزيئ على اربع حلقات من البيرول مرتبه في شكل دائري في مركزها ذرة مغنيسيوم .
- يتصل بها حلقه من السيكلوبنتانون .
- يرتبط بها من الجانب سلسلة طويله من ذرات الكربون عددها ٢٠ ذرة عن طريق رابطة استر مع إحدى حلقات البيرول، تسمى هذه السلسلة الذيل الفيتولي
- عند إزالة سلسلة الكربونات يسمى كلوروفيلايد chlorophyllide .
- أعلى إمتصاص لكلوروفيل أ عند الطول الموجي 430 nm المنطقه البنفسجيه
- أعلى إمتصاص لكلوروفيل ب عند الطول الموجي 453 nm ويشتركان في 642-660 nm .



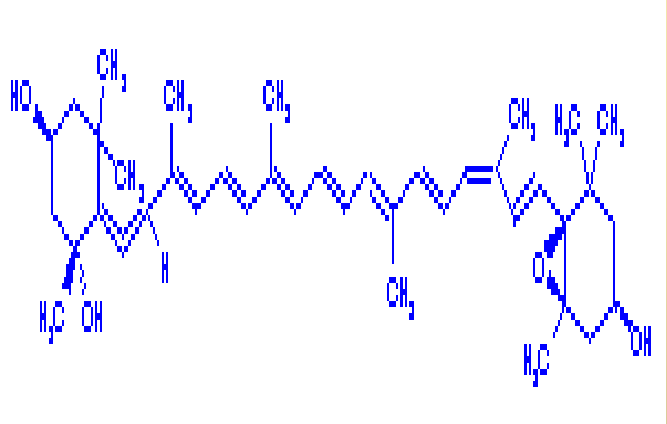
الكاروتينات Carotenoides

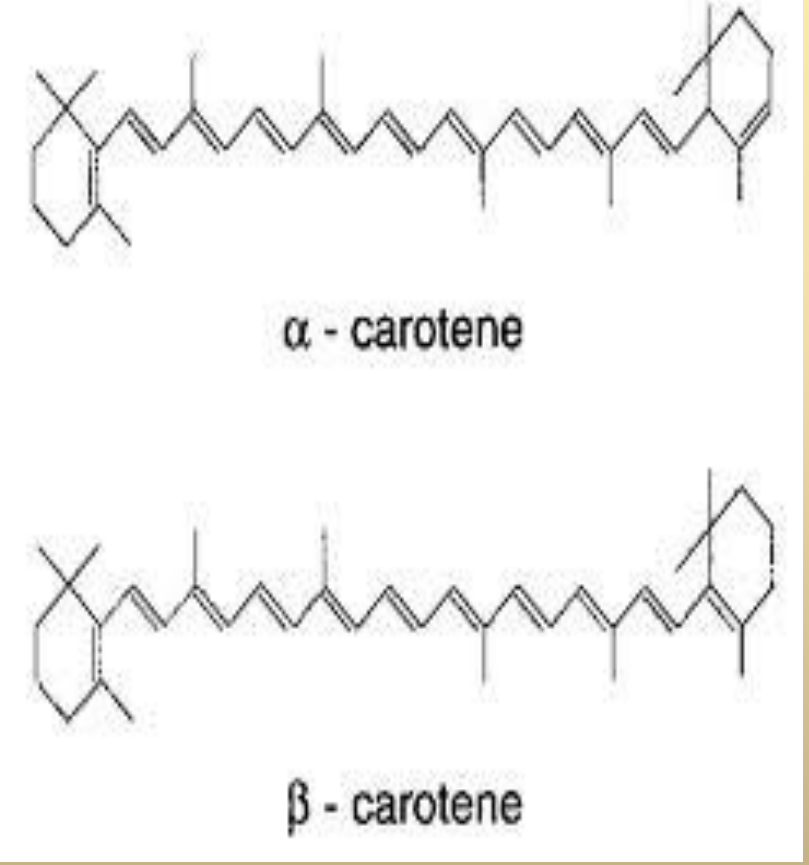
- مركبات دهنيه توجد في البلاستيدات والحيوانات والكائنات الدقيقه الفطريات وبكتيريا البناء الضوئي والطحالب بما فيها الحمراء والخضراء .
- سميت بذلك نسبه لنبات الجزر الذي فصل منه سنة ١٨٣١ م .
- تتكون من الـ C و H مثل آلفا كاروتين و بيتا كاروتين .
- هناك انواع تحتوي على O مثل الزانثوفيلات .
- وظائفها

١- وقاية الكلورفيل من الاكسدة الضوئيه .

٢- امتصاص الطاقه الضوئيهونقلها إلى كلورفيل .

neoxanthin



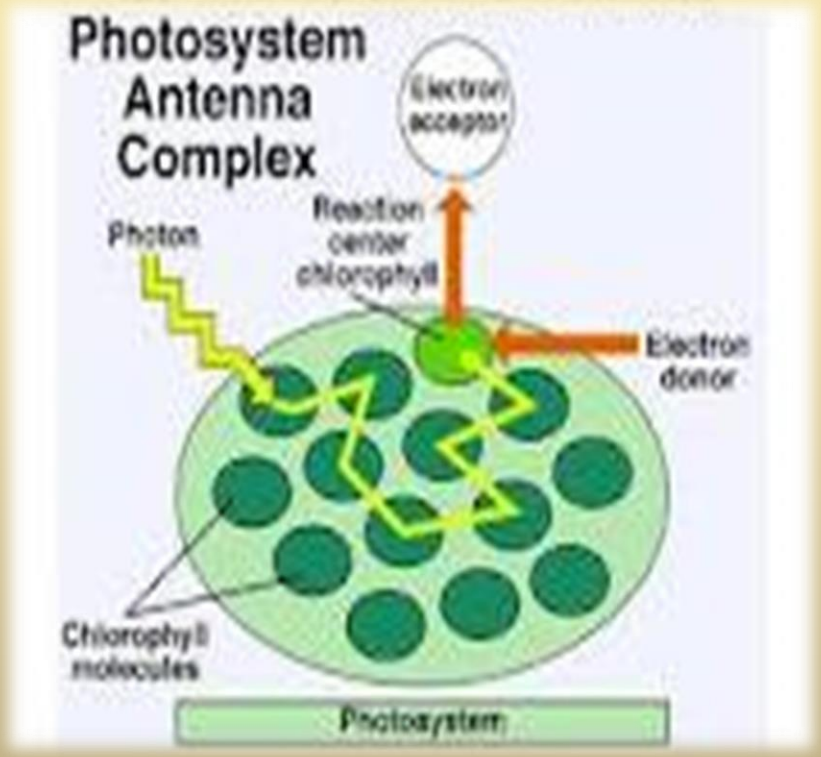


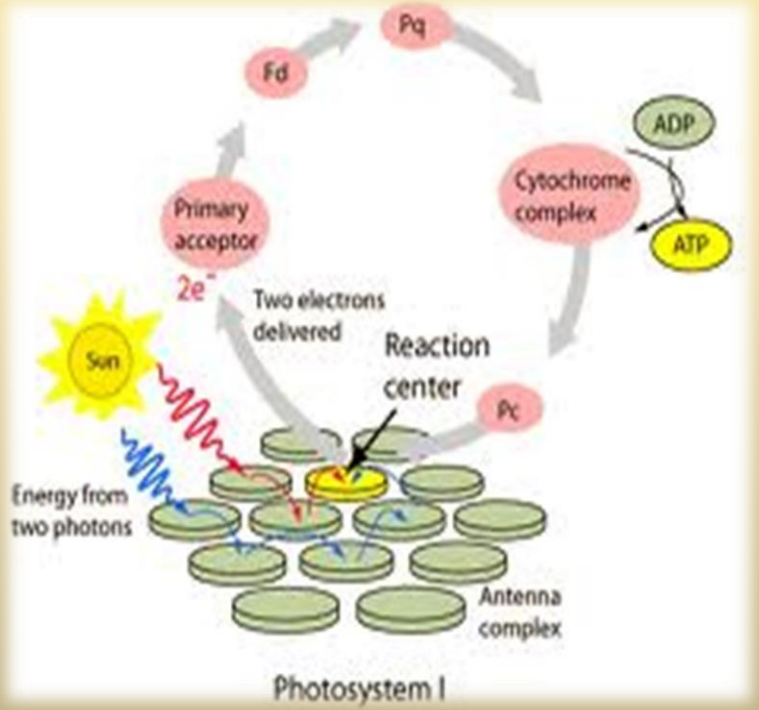
النظام الضوئي وانتقال الطاقه Photosystem and Transfer of Energy

- النظام الضوئي :- هومجموعه جزيئات الصبغات(٢٠٠-٣٠٠ جزيئ من الكلوروفيل والصبغات المساعده) في أغشية الثايلاكويد ومستقبلات الألكترونات المرتبطه بتمثيل الضوئي ومجموعه من الانزيمات المتخصصه والبروتينات وكذلك مركز تفاعل .
- أنواع النظام الضوئي :-
- Photosystem1:- لإن مركز التفاعل لهذا النظام قمة إمتصاصه للضوءعند الطول الموجي700nm ويرمز له PSI.
- Photosystem2 لإن مركز التفاعل لهذا النظام قمة إمتصاصه للضوءعند الطول الموجي680nm ويرمز له PSII.

- آلية عمل النظام الضوئي: Mechanism of Photosysyem

- ١- تستقبل الصبغات الفوتونات الضوئيه من الشمس وتنتقل من جزيئ الى آخر حتى تصل الى مركز التفاعل .
- ٢- يتسبب الضوء الى إثارة أحدى الكترونات مركز التفاعل وينتقل الى سلسلة نقل الالكترونات ممايتسبب في إختزاله أي (شحنه بالطاقه عاليه)
- ثم ينتقل هذا الالكترون الى مستقبل الكتروني أخرعبر سلسلة ناقلات الالكترونات فاقد بذلك جزء من طاقته في كل خطوه من خطواته على شكل فلوروسنت Fluorescence ،تستغل تلك الطاقه في تكوين ATP وتسمى هذه العمليه بالفسفرة الضوئيه photophosphorylation


Photosystem
Antenna
Complex
Electron acceptor
Photon
Reaction center chlorophyll
Electron donor
Chlorophyll molecules
Photosystem


Pq
Fd
ADP
Cytochrome complex
ATP
Primary acceptor
2e⁻
Two electrons delivered
Sun
Reaction center
Pc
Energy from two photons
Antenna complex
Photosystem I

مصدر الأكسجين في عمليات البناء الضوئي

- من أشهر التجارب لمعرفة مصدر O_2 تجارب Van Neil على بكتيريا الكبريت الخضراء
- $2H_2S + CO_2 \xrightarrow[\text{ضوء}]{\text{بكتيريا الكبريت الخضراء}} 2S + CH_2O + H_2O$

يتراكم الكبريت على شكل حبيبات الكبريت .

- أما في الطحالب والنباتات الراقيه ينتج الـ O_2و CH_2O كما

$2H_2O + CO_2 \xrightarrow{\text{الطحالب والنباتات الراقيه}} O_2 + CH_2O + H_2O$

- قام العالم Hill بتعريض الكلوروبلاست المعزول + الضوء + مع مستقبل الكتروني صناعي ⟵ نتج الـ O_2 .
- تم التأكد بأن الماء هو مصدر الـ O_2الناتج من عملية البناء الضوئي للطحالب والنباتات الراقيه عام 1941
- $H_2{}^{18}O + CO_2 \longrightarrow {}^{18}O_2 + CH_2O + H_2O$

- وفي تجربه أخرى أستنتجوا ان الـ O_2 الناتج مصدره الماء

$$H_2O + CO_2 \longrightarrow O_2 + CH_2O + H_2O$$
$$18 \qquad 18 \qquad 18$$

- نستخلص من التجارب السابقه

١- الاوكسجين الناتج مصدره الماء وليست CO_2 .

٢- إختزال CO_2 لا يعتمد على وجود الضوء .

وحدة البناء الضوئي Photosynthetic unit

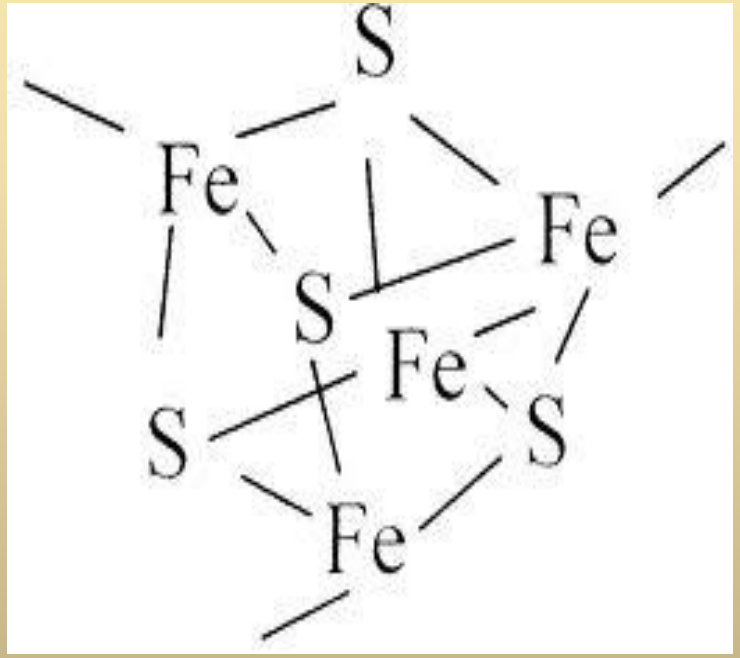
- أصغر مجموعه من جزيئات صبغات البلاستيده الخضراء تشترك في النشاط الكيميائي الضوئي .
- تتكون من حوالي 230جزيئ كلوروفيل تسمى بالكوانتاسوم .
- تحدث في البلاستيده المعزوله جميع مراحل التمثيل الضوئي

أ- تفاعلات الضوء في أغشيه الثيلاكويد وإنتاج ATPو NADPH

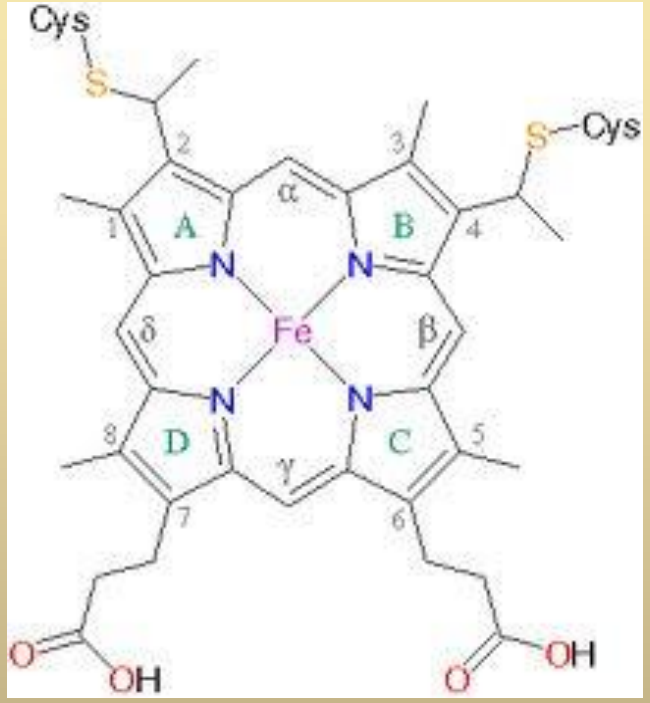
ب- تفاعلات الظلام تثبيت CO_2 تحدث في الحشوه Stroma .

مركبات مشاركه في عمليات التمثيل الضوئي

ferredoxion

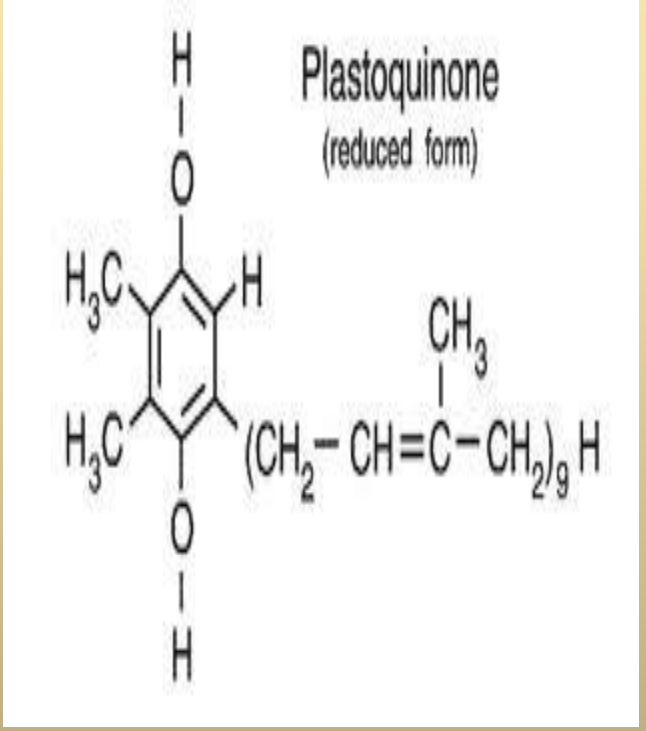


Cytochrome f e



Plastoquinone

2H



ميكانيكية التمثيل الضوئي Mechanisms of Photosynthesis

- تتم في خطوتين هما :

١- التفاعلات الكيميوضوئيه Reactions Photochemical

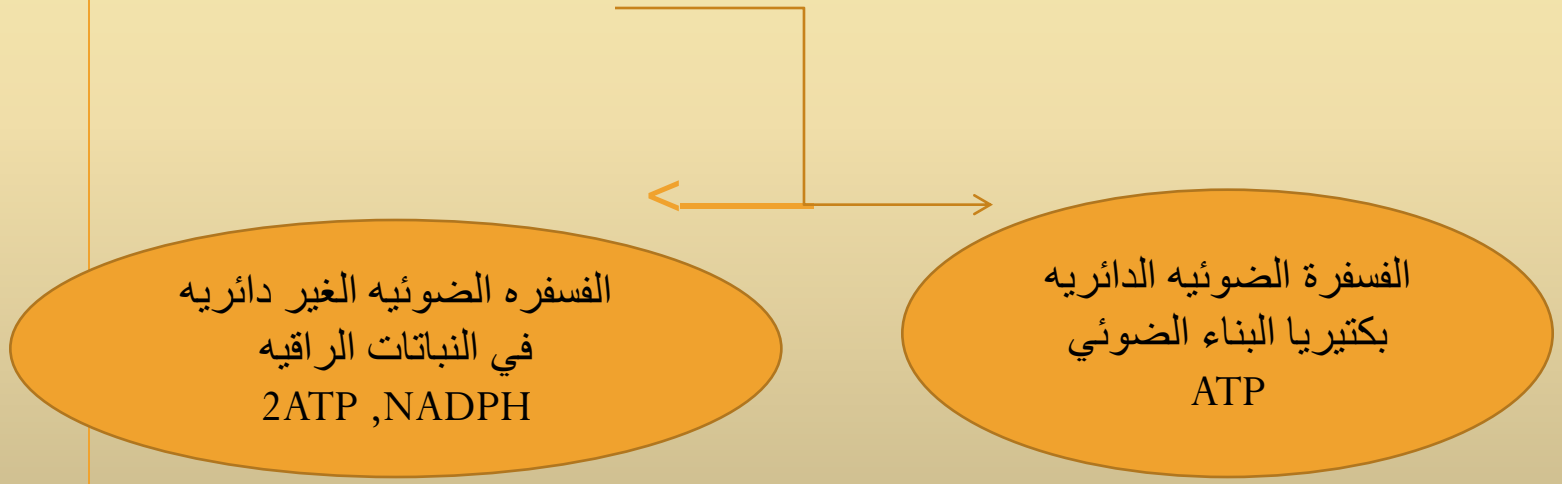
التفاعلات المعتمده على الضوء Light dependent reactions

- ٢-التفاعلات الكيميوحراريه Thrmochemical Reactions

تفاعلات الظلام ، دورة كالفن ، تثبيت CO_2

التفاعلات الكيميوضوئيه Reactions Photochemical

- تبدأ بسقوط الضوء على الصبغات الخضراء في وجود الضوء والماء و CO_2 .
- وتنتهي بإنتقال الطاقة الضوئيه الى المركبات الكيميائيه داخل البلاستيدات (سلسلة نقل الالكترونات) في عملية الفسفرة الضوئيه وهما نوعين :

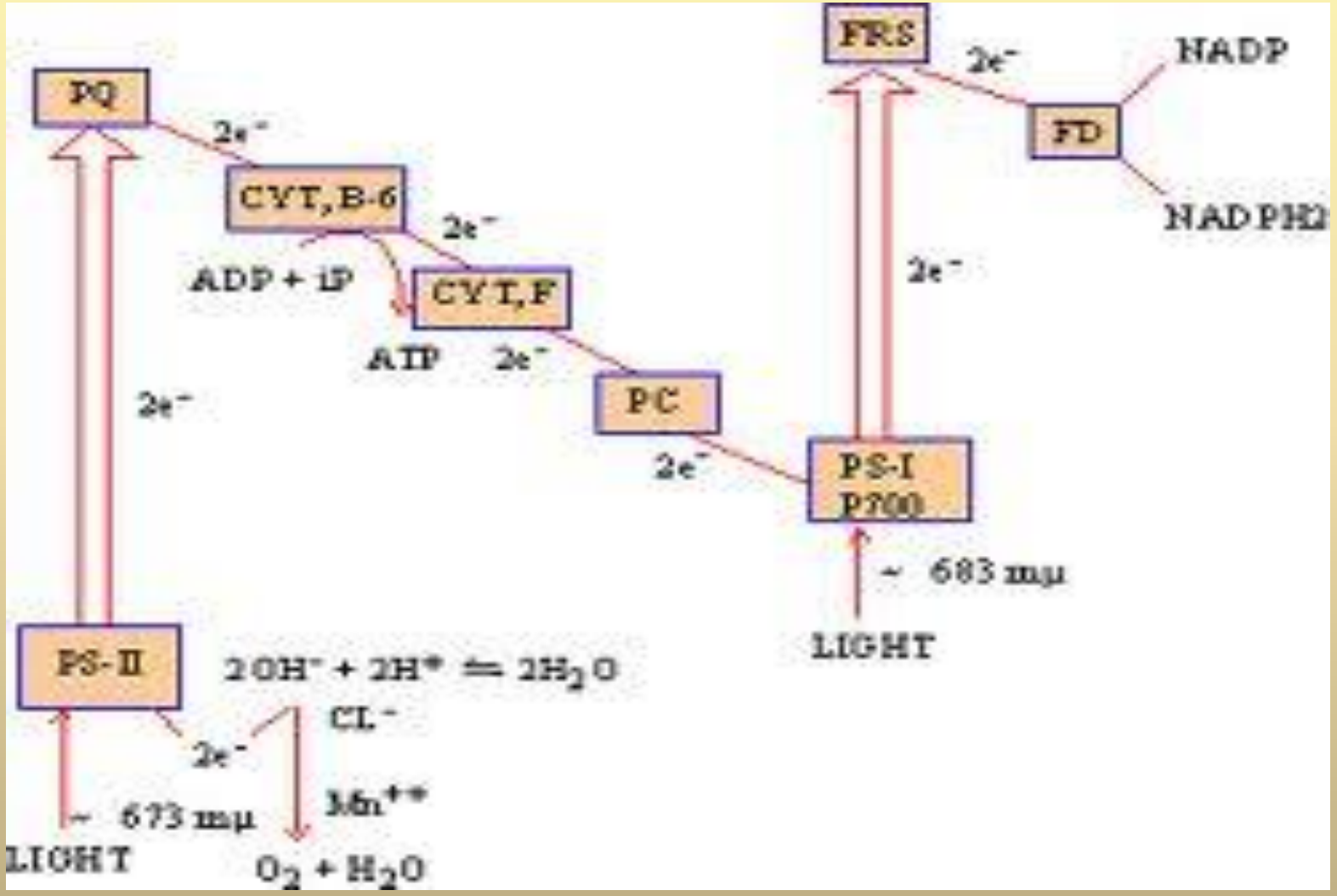


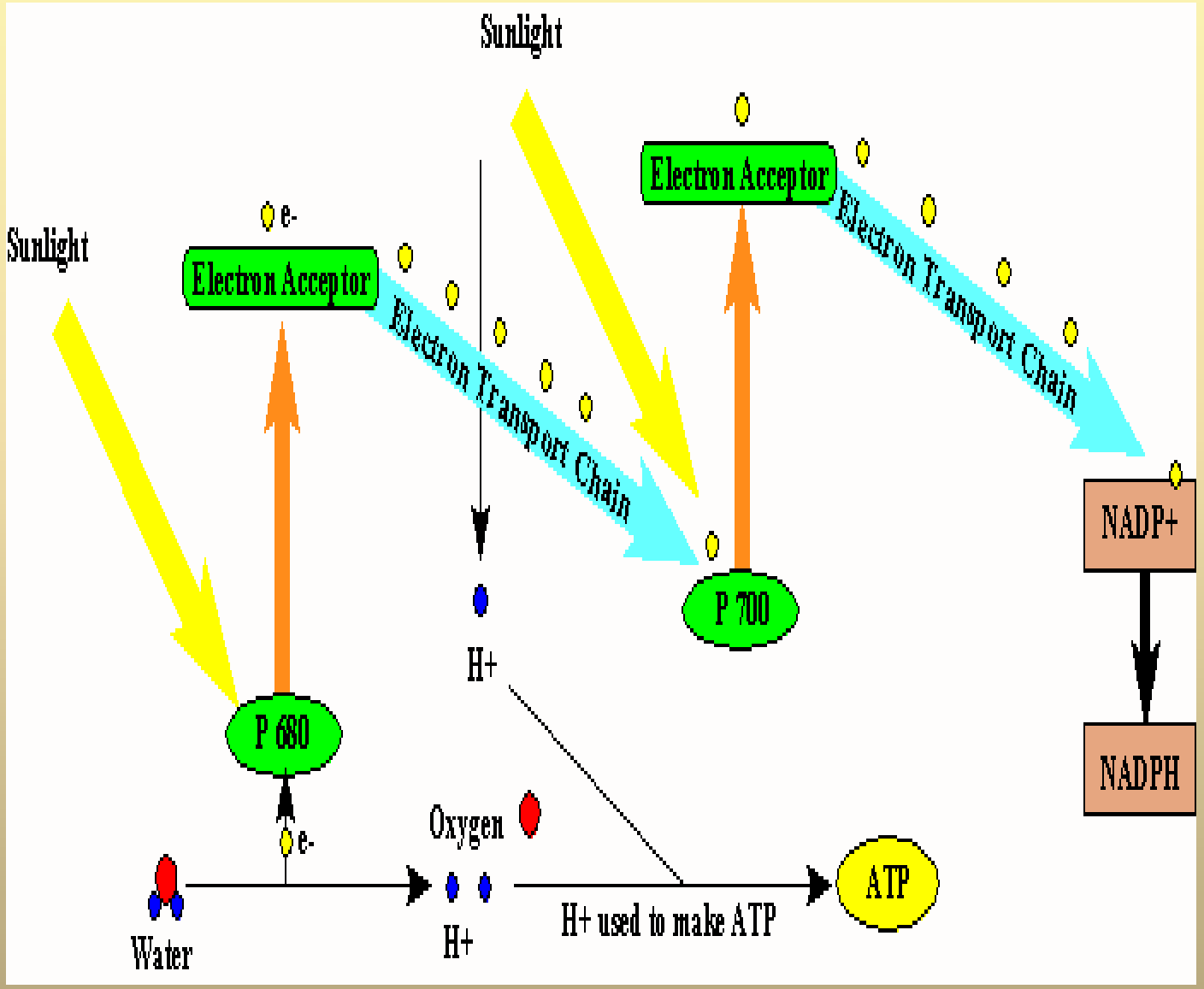
الفسفرة الضوئيه الغير دائريه Noncyclic Photophosphorylation

- تحدث في النباتات الراقيه وفي البكتيريا الزرقاء بواسطة النظام الضوئي 1,11 .
- سميت كذلك ١- تدفق الالكترونات غير دائري ، نهاية المطاف للالكترونات عند +NADP ، أي لاترجع الى نقطة البدايه .

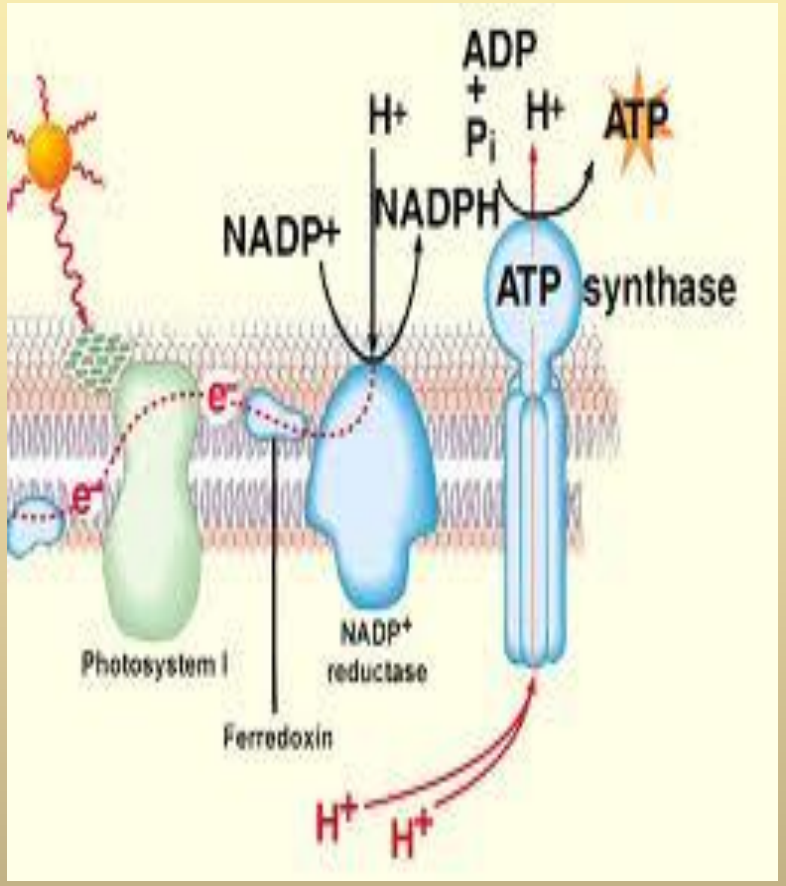
٢- إستخدام ضوء الشمس لإنتاج الـ ATP .

- توجد الصبغات و ناقلات الالكترونات و الانزيمات الخاصه بتفاعلات الضوء في أغشية الثيلاكويد
- الناتج النهائي 2 جزيئ من الـ ATP وجزيئ من NADPH2
- **انتاج ذرة من الـ O2.**
- **يتم امتصاص ٢فوتون بواسطة النظام الضوئي I وكذلك الـ II**


PQ
2e⁻
CYT, B-6
2e⁻
ADP + iP
CYT, F
ATP
2e⁻
PC
2e⁻
PS-I
P700
~ 683 mμ
LIGHT
2e⁻
FRS
2e⁻
NADP
FD
NADPH2
2e⁻
PS-II
2OH⁻ + 2H⁺ ⇌ 2H₂O
Cl⁻
2e⁻
Mn⁺⁺
~ 673 mμ
LIGHT
O₂ + H₂O


Sunlight
Sunlight
e-
Electron Acceptor
Electron Transport Chain
Electron Acceptor
Electron Transport Chain
NADP+
NADPH
P 700
H+
P 680
e-
Oxygen
Water
H+
H+ used to make ATP
ATP

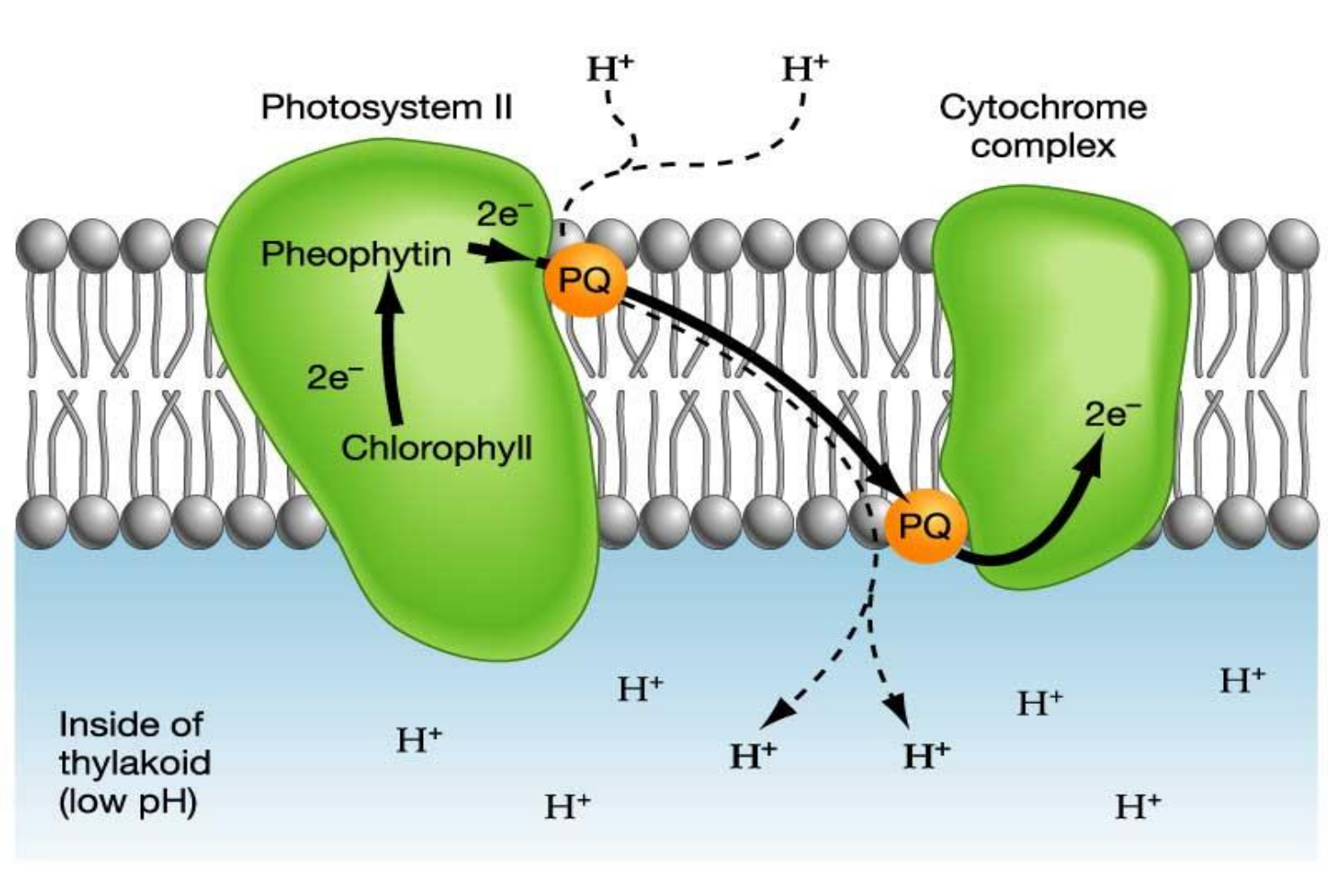
إنتاج طاقة الـ ATP : وهي عمليه كيميوأسموزيه chemiosmosisيتزامن فيها فسفرة الـ ATP
مع إنتقال الـ +Hمنفراغ الثيلاكويد الى حشوة (stroma)البلاستيده

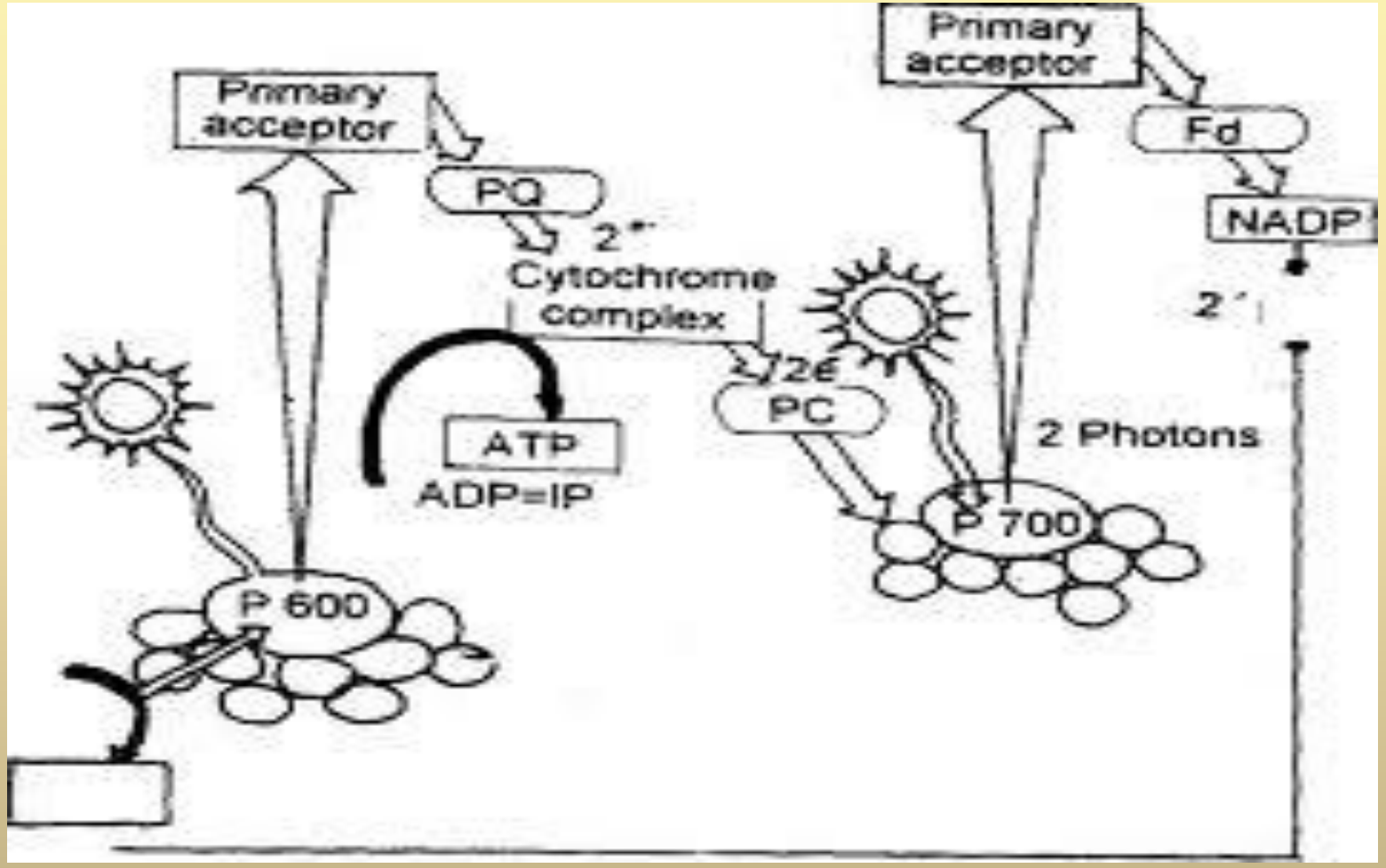


- الطاقه التي يفقدها الالكترونات أثناء انتقاله عبر سلسلة نقل الالكترونات تستخدم في ضخ الـ +H من حشوة البلاستيده الى فراغ الثيلاكويد وبتالي تراكم البروتونات في الفراغ
- الحشوة Phقاعدي وداخل الثيلاكويدات حامضي

بسبب الفرق في الـ Ph تتولد طاقه مقدارها mv200 تستغل في إنتاج ATP وينشط التفاعل أنزيم Atpase

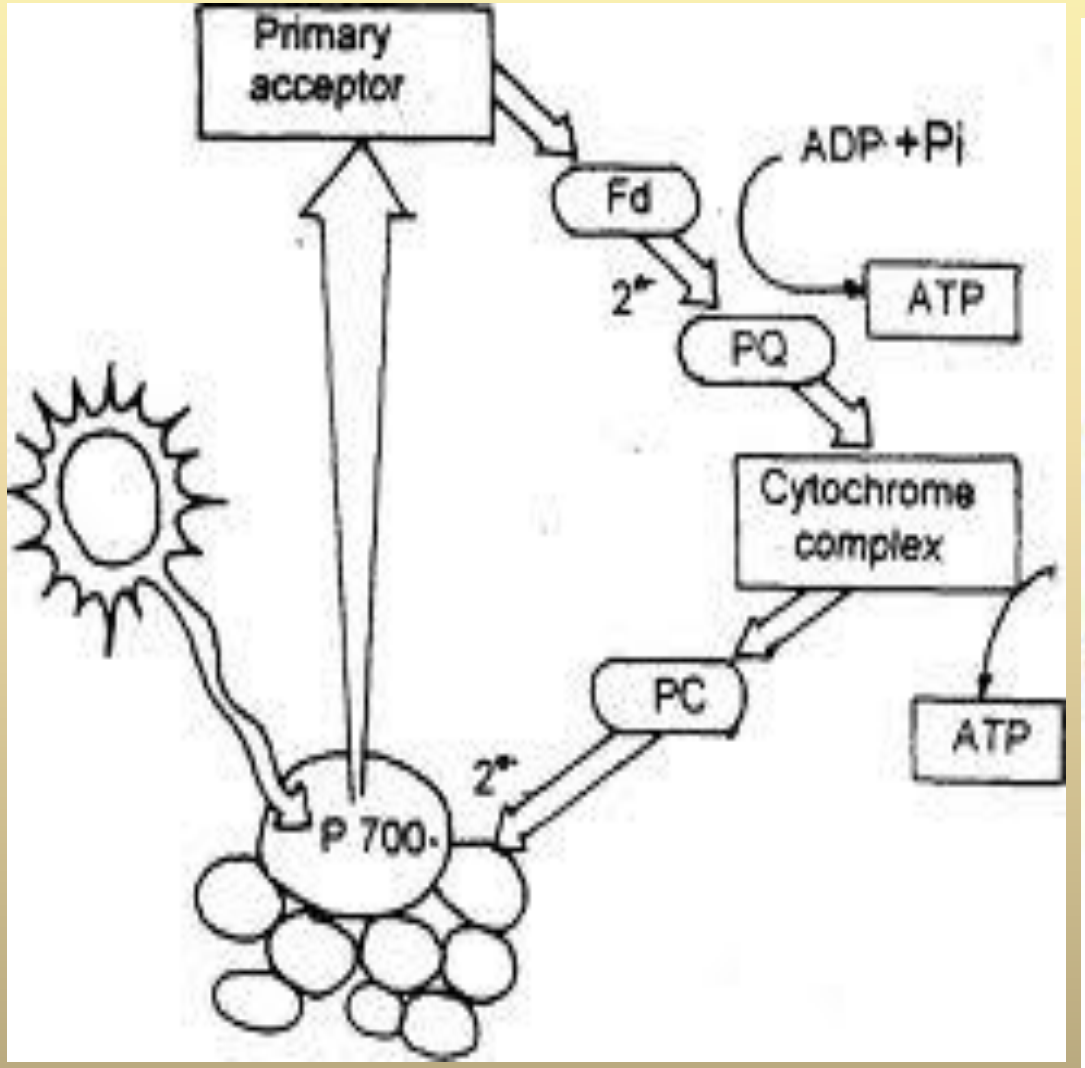
- تندفع الـ +H من داخل فراغ الثيلاكويد الى الحشوه خلال البروتينات القنويه
- تتولد طاقه الـ ATPفي حشوة البلاستيده وبقية الـ +Hتبقى في فراغ الثيلاكويد حتى تستخدم بعد ذلك في إنتاج الـ ATP.

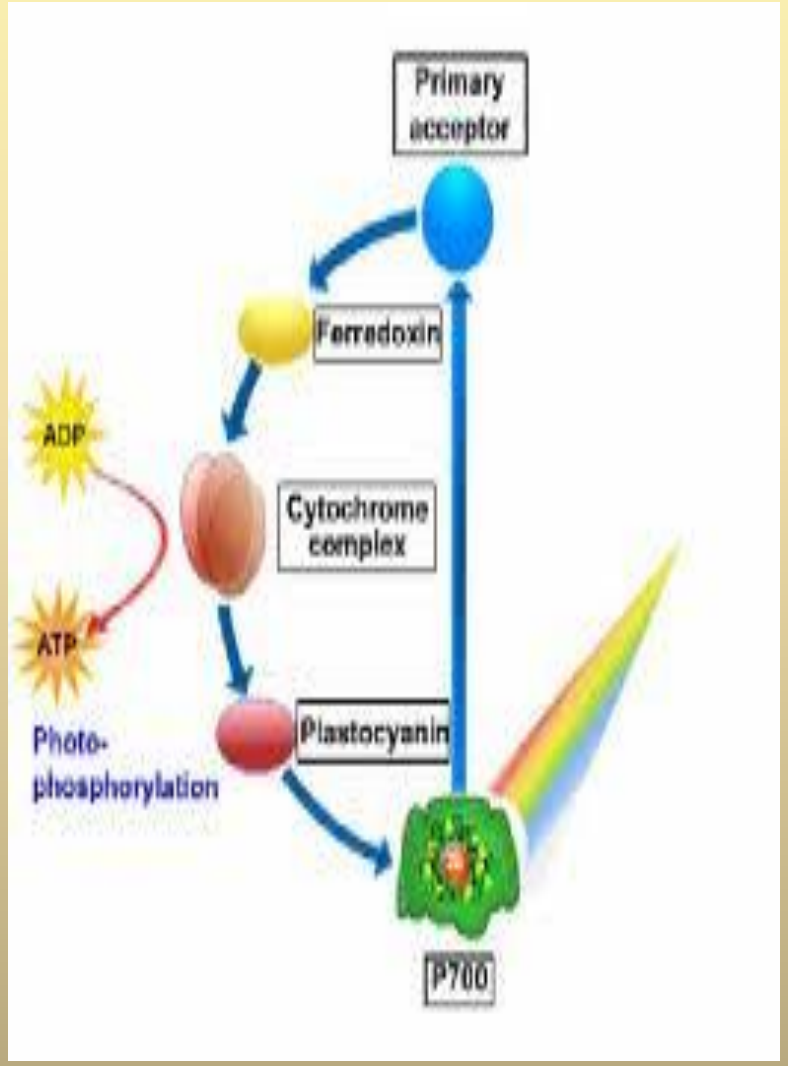

H+
H+
Photosystem II
Cytochrome complex
2e−
Pheophytin
PQ
2e−
Chlorophyll
2e−
PQ
H+
H+
H+
H+
H+
H+
H+
Inside of thylakoid (low pH)


Primary acceptor
PQ
2e
Cytochrome complex
ATP
ADP=IP
P 600
Primary acceptor
Fd
NADP
2e
2e
PC
2 Photons
P 700

الفسفره الضوئيه الدائريه

- تقوم بها بعض الكائنات مثل البكتيريا الكبريتيه
- يشارك فيها النظام الضوئي الأول فقط P700 .
- H2S هو مصدر البروتونات +H .
- لاينتج O2.
- ينتج ATP فقط .


Primary acceptor
ADP +Pi
Fd
2e
ATP
PQ
Cytochrome complex
PC
ATP
2e
P 700


Primary acceptor
Ferredoxin
ADP
Cytochrome complex
ATP
Photo-phosphorylation
Plastocyanin
P700

دورة كالفن The Calvin cyvle

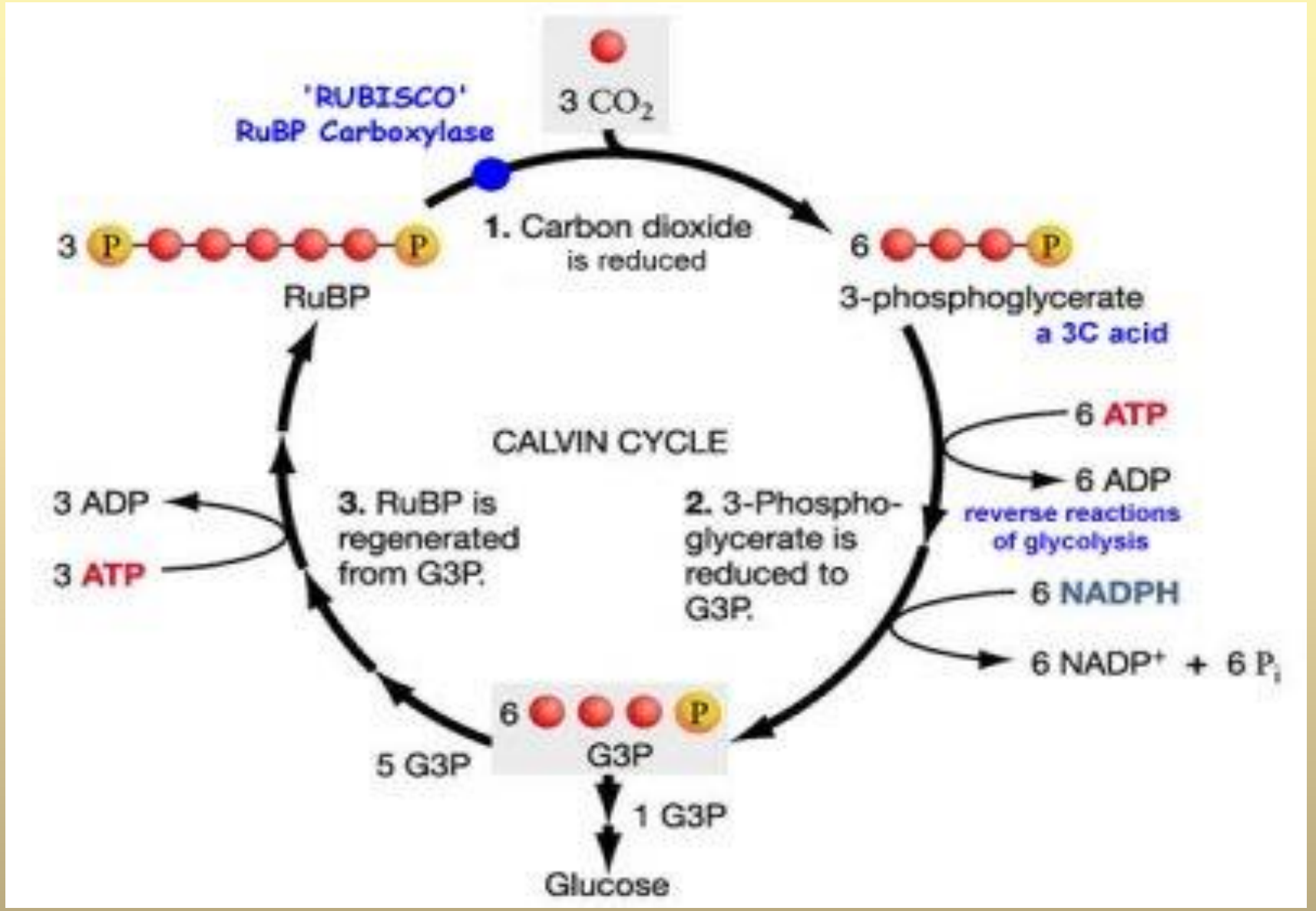
- لها عدة مسميات تفاعلات

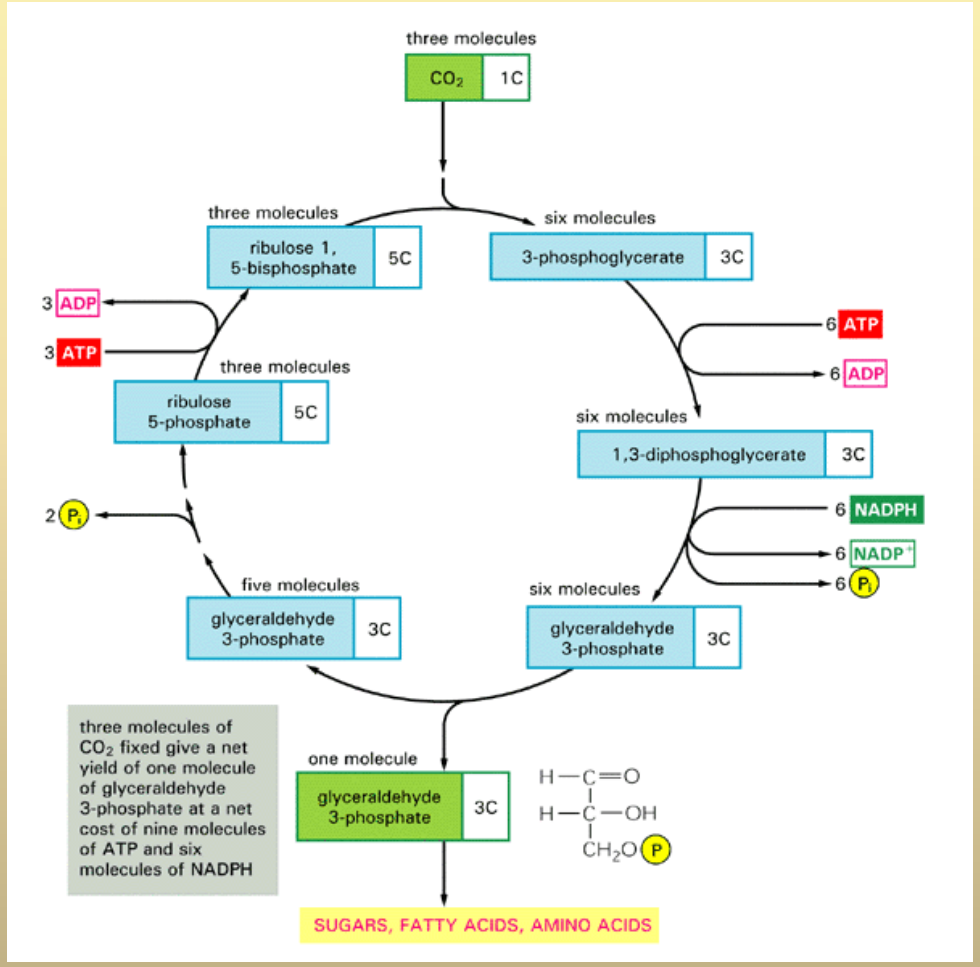
تثبيت ثاني أوكسيد الكربون .

عمليات تثبيت الكربون

تفاعلات الظلام ،مسلك ثلاثي الكربون

- وهي ثلاث مراحل


'RUBISCO'
RuBP Carboxylase
3 CO_2
1. Carbon dioxide is reduced
3 P P
RuBP
6 P
3-phosphoglycerate
a 3C acid
6 ATP
6 ADP
reverse reactions of glycolysis
6 NADPH
6 $NADP^+$ + 6 P_i
CALVIN CYCLE
2. 3-Phospho-glycerate is reduced to G3P.
3. RuBP is regenerated from G3P.
3 ADP
3 ATP
6 P
G3P
5 G3P
1 G3P
Glucose

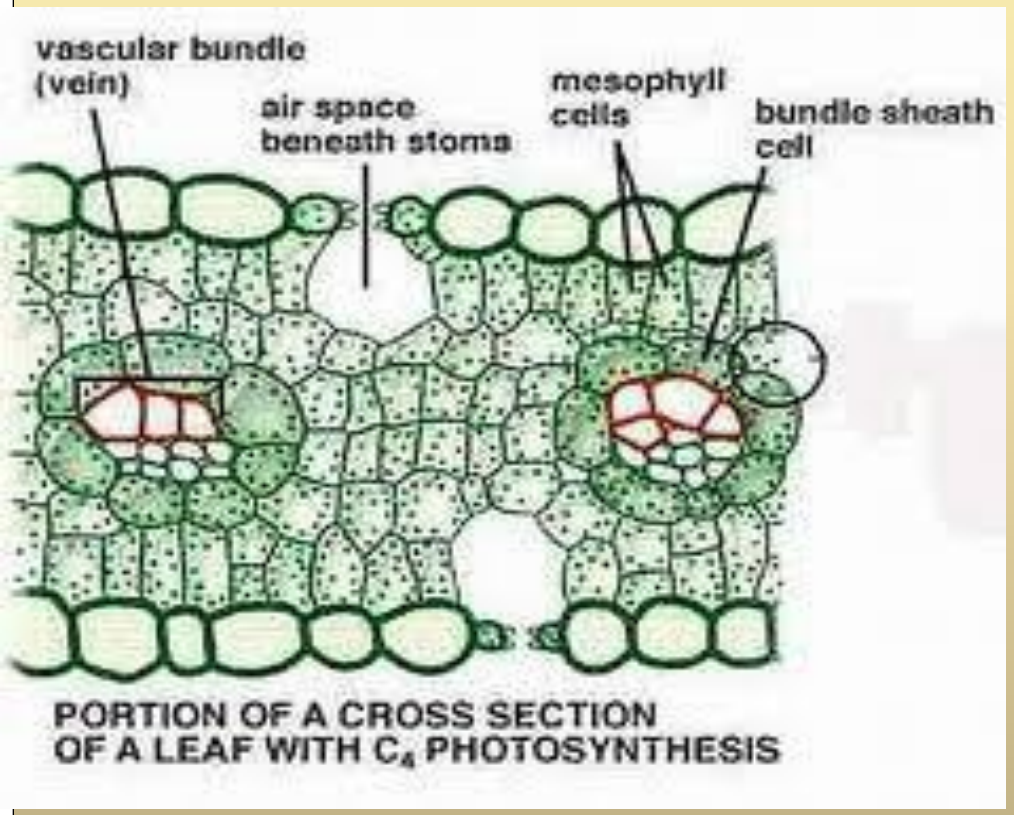

three molecules
CO_2 1C
three molecules
ribulose 1, 5-bisphosphate 5C
six molecules
3-phosphoglycerate 3C
3 ADP
3 ATP
6 ATP
6 ADP
three molecules
ribulose 5-phosphate 5C
six molecules
1,3-diphosphoglycerate 3C
2 P_i
6 NADPH
6 $NADP^+$
6 P_i
five molecules
glyceraldehyde 3-phosphate 3C
six molecules
glyceraldehyde 3-phosphate 3C
three molecules of CO_2 fixed give a net yield of one molecule of glyceraldehyde 3-phosphate at a net cost of nine molecules of ATP and six molecules of NADPH
one molecule
glyceraldehyde 3-phosphate 3C
H—C=O
H—C—OH
CH_2O P
SUGARS, FATTY ACIDS, AMINO ACIDS

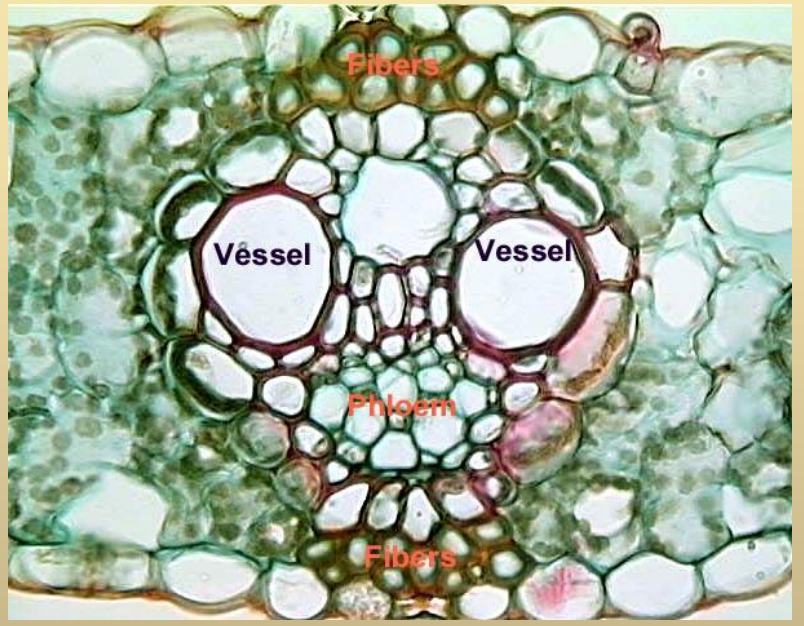
التركيب التشريحي لاوراق النباتات رباعية الكربون

الخلايا المحتويه على كلورفيل

خلايا غمد الحزمه الوعائيه

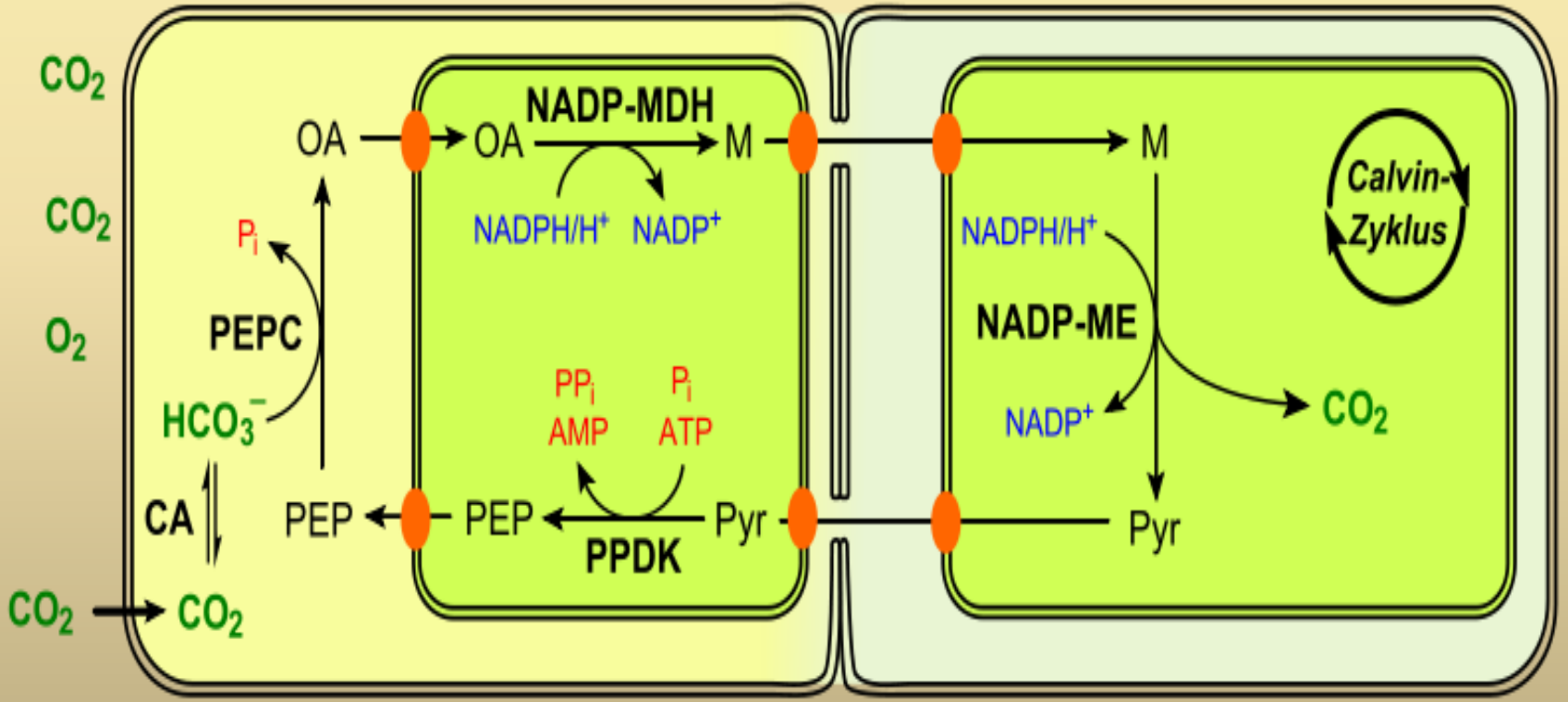
خلايا الميزوفيل النسيج الوسطي

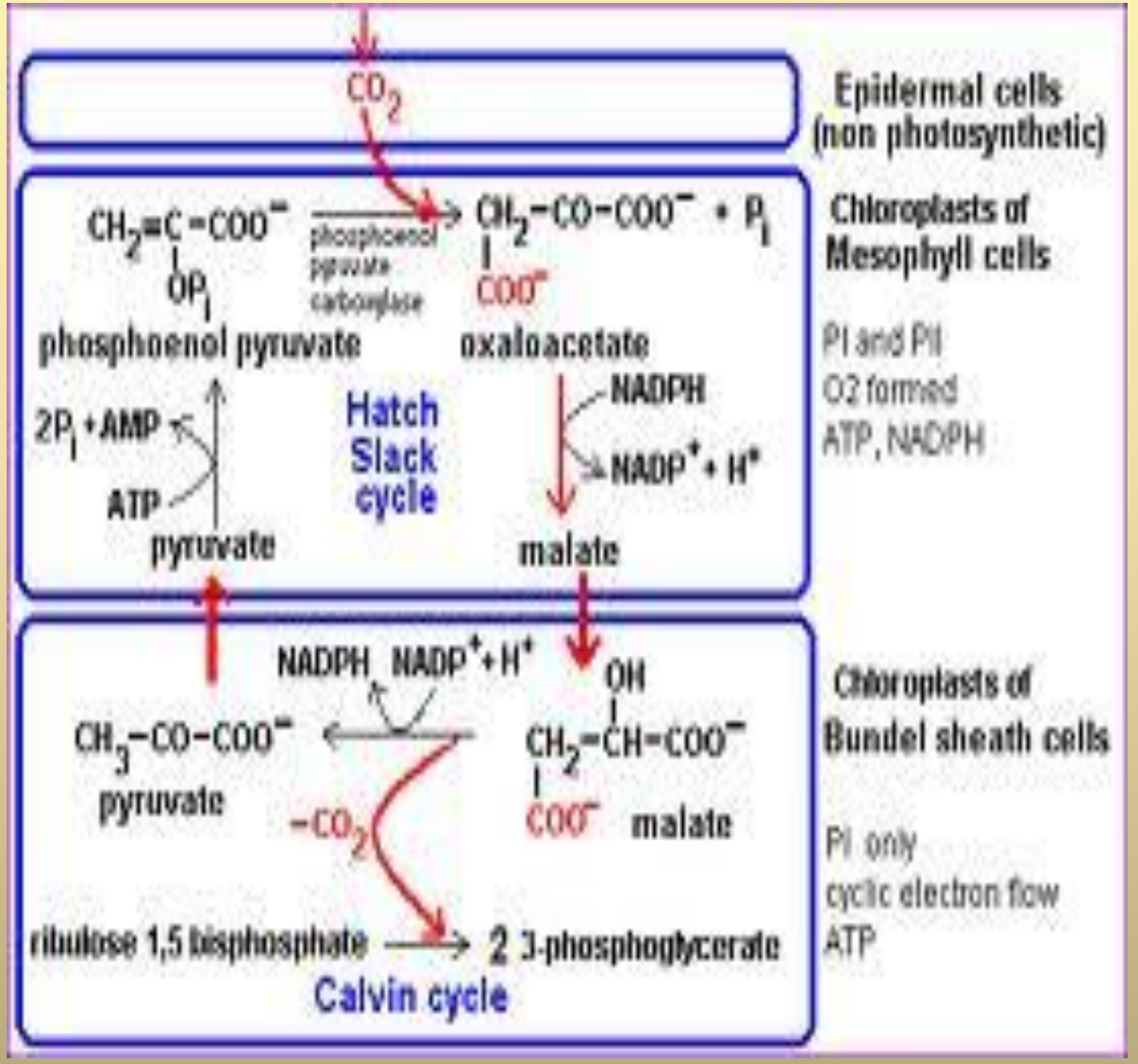




C4 pathway النسيج الوسطي

غمد الحزمه الوعائيه




CO_2
Epidermal cells
(non photosynthetic)
$CH_2=C-COO^-$
OP_I
phosphoenol pyruvate
phosphoenol pyruvate carboxylase
$CH_2-CO-COO^- + P_I$
COO^-
oxaloacetate
Chloroplasts of
Mesophyll cells
PI and PII
O2 formed
ATP, NADPH
$2P_I + AMP$
ATP
pyruvate
Hatch
Slack
cycle
NADPH
$NADP^+ + H^+$
malate
NADPH $NADP^+ + H^+$
$CH_3-CO-COO^-$
pyruvate
$-CO_2$
OH
$CH_2=CH-COO^-$
COO^-
malate
Chloroplasts of
Bundel sheath cells
PI only
cyclic electron flow
ATP
ribulose 1,5 bisphosphate
2 3-phosphoglycerate
Calvin cycle

التمثيل الضوئي في النباتات العصيريه CAM
Photosynthesis in Crassulacean Acid Metabolism Plants

اكتشفت في النباتات العصيريه

- **النباتات يحدث بها مسار C3وC4**
- **في الليل تفتح الثغور ويتم تثبيت CO2مع PEP <— OA <=> M**
  يخزن في الفجوه العصاريه للخلايا التي قامت بعملية التمثيل الضوئي خلاي النسيج الوسطي .
- **في النهار تغلق الثغور يحرر CO2ويستخدم في دورة كالفن في نفس الخلايا .**
- **تنمو هذه النباتات في بيئه جافه أو شبه جافه**
- **اوراقها صغيره سميكة الادمه عدد الثغور قليل**

التنفس الضوئي Photorespiration

١ـ يحدث في وجود الضوء

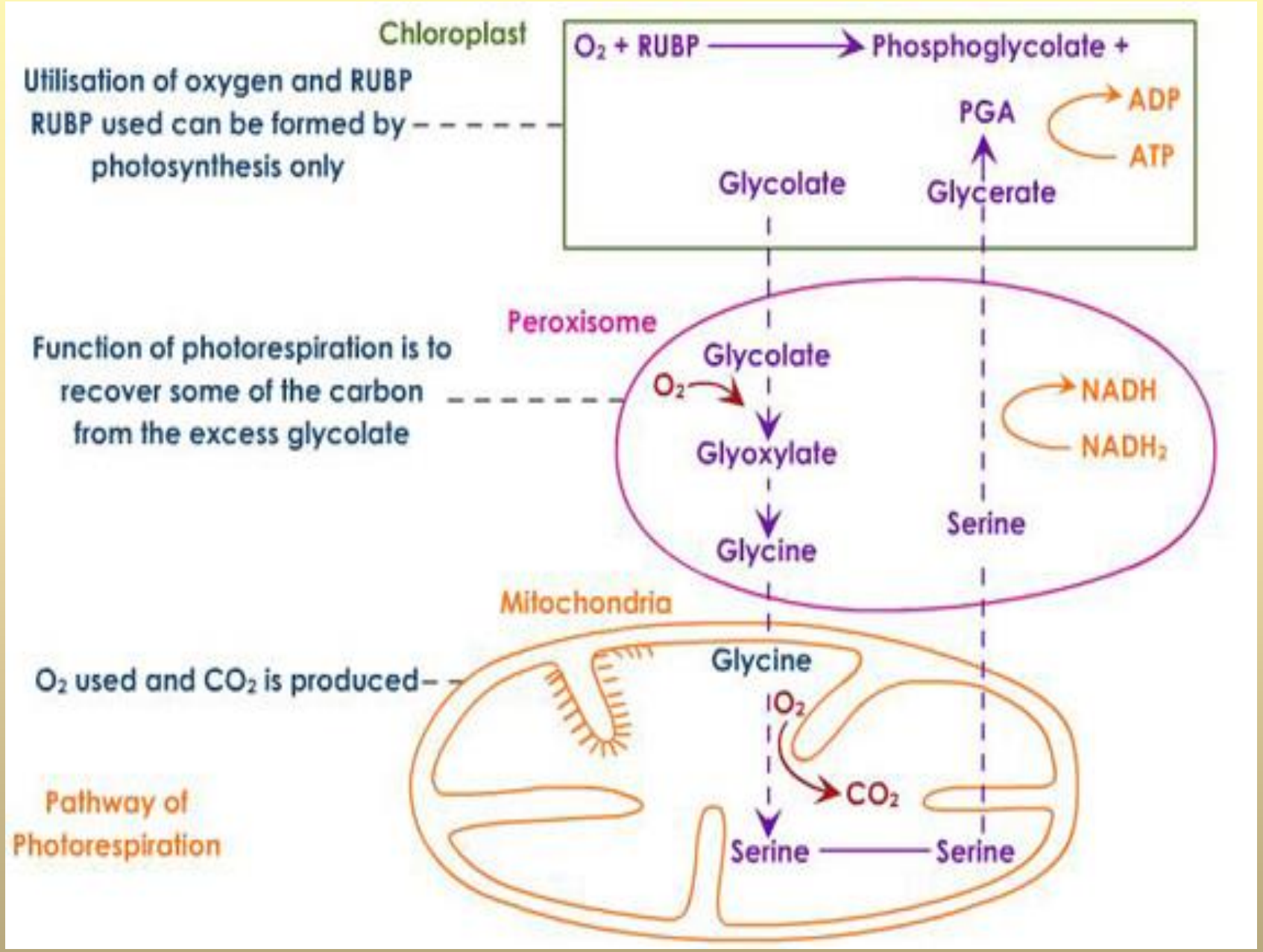
٢ـ يستهلك طاقه من ATP و $NADPH_2$.

٣ـيحدث في النباتات ثلاثية الكربون C3 مثل الفول والقطن حسب تركيز الـ O_2 و CO_2.

٤ـ يحدث في النباتات الـ C3 في الجو الحار الجاف حيث تقوم النباتات بقفل ثغورها فينخفض CO_2 في داخل الاوراق وينشط التنفس الضوئي بإرتباط السكر الخماسي مع O_2 .

٤ـينشط معدل التنفس الضوئي بالحرارة(٢٥ـ٣٥م°) وزيادة تركيز الـ O_2

٤ـ لايحدث في النباتات رباعية الكربون C4 لإحتوائها على انزيم PEP carboxylase لايرتبط بـ O_2 أبدا ، ويضخ كميه ثابته من CO_2 الى خلايا غمد الحزمة الوعائيه التي تحدث بها دورة كالفن.


Chloroplast
Utilisation of oxygen and RUBP
RUBP used can be formed by photosynthesis only
O2 + RUBP
Phosphoglycolate +
PGA
ADP
ATP
Glycolate
Glycerate
Peroxisome
Function of photorespiration is to recover some of the carbon from the excess glycolate
Glycolate
O2
Glyoxylate
Glycine
NADH
NADH2
Serine
Mitochondria
O2 used and CO2 is produced
Glycine
O2
CO2
Serine
Serine
Pathway of Photorespiration

الفرق بين النباتات C3 و C4

C3	C4
١- المستقبل الاول لـ CO_2 سكرخماسي ريبوزي ثنائي مجموعة الفوسفات	١- المستقبل الاول لـ CO_2 فوسفو إينول بيروفات .
٢- الانزيم المنشط لتفاعل هو RUDP Carboxylase	٢- الانزيم المنشط لتفاعل هو PEP Carboxylase
٣- الناتج الاول مركب ثلاثي الكربون 3-PGA Phosphoglycerate	٣- الناتج الاول مركب رباعي الكربون Oxaloaceatat
٤-تحتوي على نوع واحد من البلاستيدات في النسيج الوسطي .	٤- تحتوي على نوعين من أ- البلاستيدات في النسيج الوسطي (لا يتكون بها نشا)وب -بلاستيدات في غلاف الحزمه الوعائيه عددها قليل كبيرة الحجم أغشيه الجرانا قليله

٥- معدل التمثيل الضوئي منخفض ١٥-٣٥ملجم CO_2 / ١ دسم^2 من سطح الورقه/١ ساعة .	٥- معدل التمثيل الضوئي عالي ٤٠-٨٠ملجم CO_2 / ١ دسم^2 من سطح الورقه/١ ساعة
٦-درجة الحرارة المناسبه للتمثيل الضوئي ٢٥ م^o .	٦-درجة الحرارة المناسبه للتمثيل الضوئي ٣٠-٤٠ م^o.
٧- لاتؤثر الكثافه الضوئيه على معدل التمثيل الضوئي يصل الى أعلى معدل في كثافه ضوئيه منخفضه نسبيا .	٧- تؤثر الكثافه الضوئيه على معدل التمثيل الضوئي يزداد معدل التمثيل الضوئي بزيادة الكثافه الضوئيه حتى ضوء الشمس الكامل .
٨- معدل التنفس الضوئي عالي .	٨- معدل التنفس الضوئي منخفض أو غائب.
٩- يظل معدل التمثيل الضوئي مرتفع عند المستويات المنخفظه من الـ O_2 (٠-٢ %)	٩-لا يؤثر تركيز الـ O_2 على معدل التمثيل الضوئي ،يظل دون تغير حتى تركيز (٠ - ٢١ %)