تعيين مادة البناء الضوئي

للصف الثاني عشر العلمي

الوحدة الأولى 1

عمليات حيوية في الخلية

Processes in the cell

كيف تحصل الغزلان على الطاقة اللازمة للقيام بالعمليات الحيوية والنجاة من الافتراس؟

يحدث في الكائنات الحية العديد من العمليات الحيوية التي يتم من خلالها الحفاظ على الاتزان الداخلي لها، ومن هذه العمليات البناء الضوئي، الذي يتم من خلاله تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية مختزنة في جزيئات المركبات العضوية، ويكمل هذه العملية التنفس الخلوي، الذي يحدث في الكائنات الحية بهدف إطلاق جزيئات الطاقة، والإفادة منها في العمليات الأيضية المختلفة.

كما تتم عملية بناء البروتينات في الخلايا الحية اعتماداً على المعلومات الوراثية المختزنة في جزيئات الحمض النووي DNA، وتلزم هذه العمليات في بناء الخلايا والمواد الضرورية لها.

من خلال هذه الوحدة يتوقع من الطلبة تحقيق النتاجات الآتية:

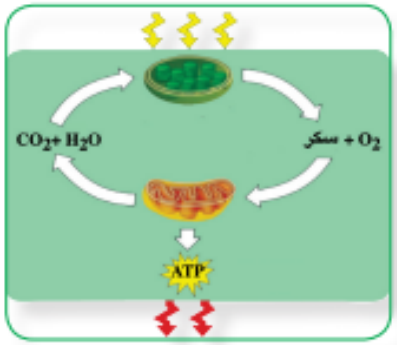
1. التعرف إلى آلية تحولات الطاقة في البناء الضوئي والتنفس الخلوي.
2. استنتاج العلاقة التكاملية بين البناء الضوئي والتنفس الخلوي.
3. تتبع مراحل بناء البروتين من نسخ وترجمة وإنتاج بروتين وظيفي.
4. بناء مشاريع مرتبطة بالواقع الحياتي (محاكاة لعملية بناء البروتين).

الفصل الأول 1

تدفق الطاقة Energy Flow

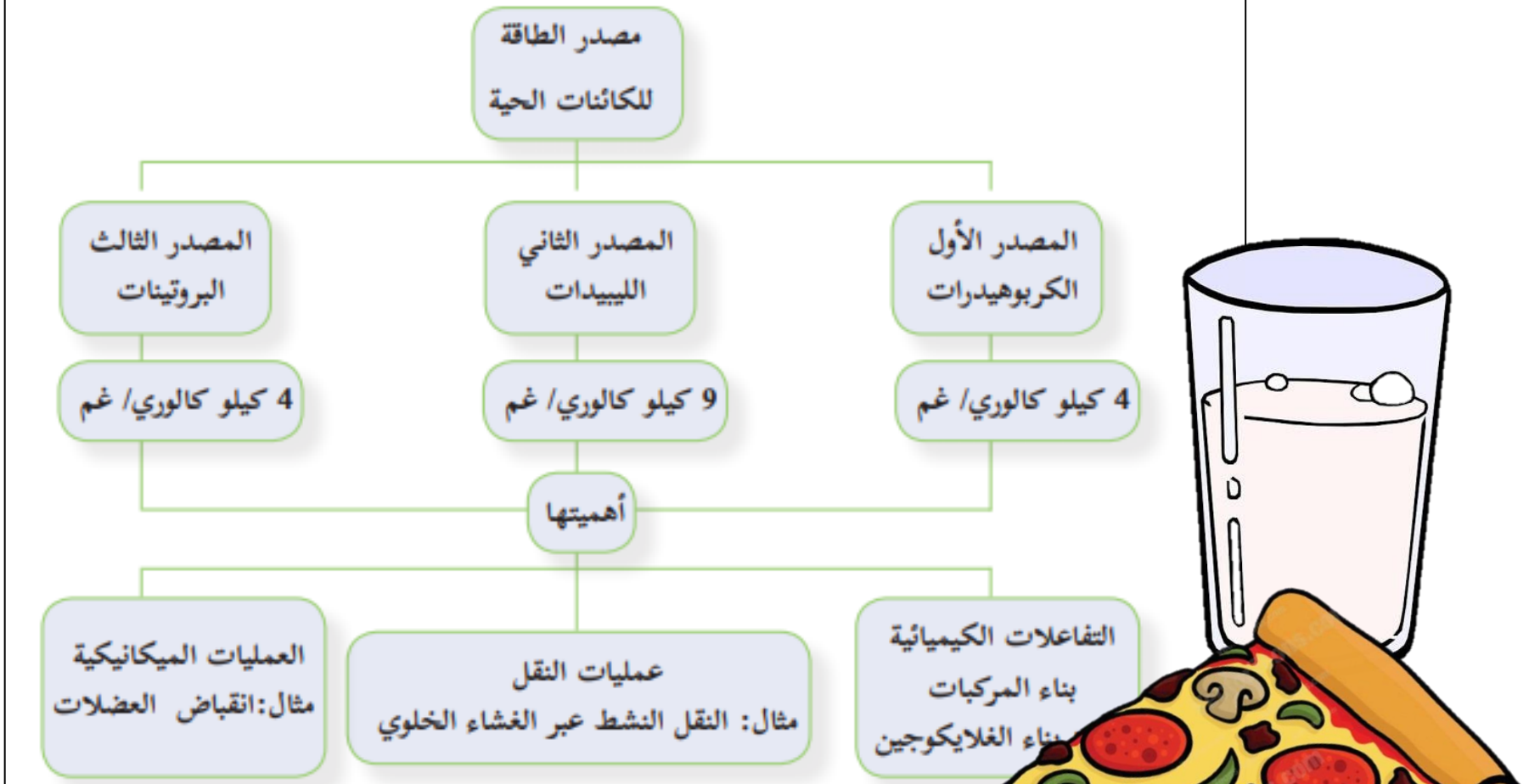
تحتاج الكائنات الحية إلى الطاقة للقيام بأنشطتها الحيوية المختلفة، وتعد عملية البناء الضوئي التي تقوم بها النباتات والطحالب ① وبعض أنواع البكتيريا ② نقطة الانطلاق ③ في تحولات الطاقة للكائنات الحية المختلفة. وتخزن الطاقة الضوئية في المركبات العضوية؛ لتستفيد منها الخلايا الحية في عملية التنفس الخلوي، حيث تُعد هذه الكائنات الحية مصدراً مهماً لإنتاج الأكسجين في البيئة. فما المقصود بعملية البناء الضوئي؟ وكيف تحول النباتات الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية؟ وكيف يتم إنتاج الطاقة بغياب الأكسجين؟ وما العلاقة التكاملية بين البناء الضوئي والتنفس الخلوي. هذه الأسئلة، وأخرى غيرها، سأتمكن من الإجابة عنها بعد دراستي هذا الفصل، وسأكون قادراً على:

1. التعرف على حاملات الطاقة ATP، وأهمية الطاقة في العمليات الحيوية، ومصادرها في المركبات العضوية.
2. توضيح دور الأطياف الضوئية الضرورية لعملية البناء الضوئي.
3. تتبع مراحل التفاعلات الضوئية اللاحلقية والحلقية، والمقارنة بينها.
4. تتبع التفاعلات التي تحدث في حلقة كالفن، وذكر نواتجها.
5. إستنتاج العلاقة بين معدل البناء الضوئي وبعض العوامل البيئية.
6. التعرف على تركيب الميتوكندريون.
7. تتبع مراحل التنفس الخلوي
8. المقارنة بين التخمر اللبني والتخمر الكحولي.
9. تبيان التكامل بين عمليتي البناء الضوئي والتنفس الخلوي.



1.1 أهمية الطاقة للخلية الحية

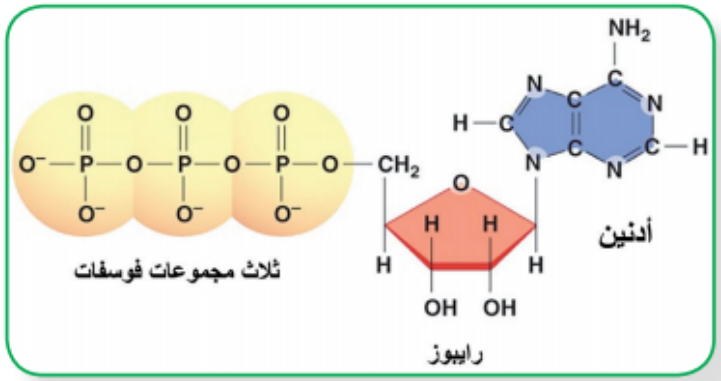
تحتاج الكائنات الحية إلى الطاقة للقيام بالعمليات الحيوية، حيث تستخدم الطاقة المخزنة في جزيئات حاملات الطاقة مثل ATP، للقيام بالعديد من الوظائف، ألاحظ المخطط (1).



مخطط (1): مصادر الطاقة للكائنات الحية وأهميتها

تركيب حاملات الطاقة في الخلية الحية

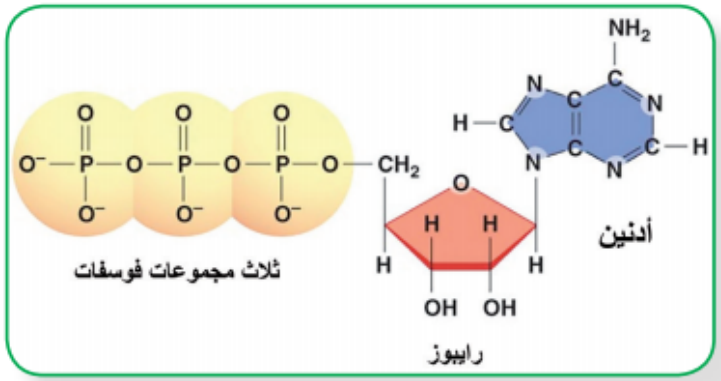
تتكون جزيئات حاملات الطاقة من النيوكليوتيدات التي تحتوي روابط كيميائية تخزن فيها كميات كبيرة من الطاقة، مثل مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات (Adenosine Triphosphate) ATP، أنظر الشكل (1).



الشكل (1): تركيب النيوكليوتيد في حاملات الطاقة (ATP)

تركيب حاملات الطاقة في الخلية الحية

تتكون جزيئات حاملات الطاقة من النيوكليوتيدات التي تحتوي روابط كيميائية تخزن فيها كميات كبيرة من الطاقة، مثل مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات (Adenosine Triphosphate) ATP، أنظر الشكل (1).



الشكل (1): تركيب النيوكليوتيد في حاملات الطاقة (ATP)

وعند انحلال مجموعة فوسفات من جزيء ATP يتكون ADP (Adenosine Diphosphate)①، ومجموعة فوسفات (حرة)②، وطاقة③، وعند انحلال مجموعة فوسفات أخرى يتكون AMP (Adenosine Monophosphate)، ومجموعة فوسفات (حرة)، وطاقة، ألاحظ المعادلات التي توضح ذلك.

$$ATP \longrightarrow ADP + p_i + 7.3\ kcal/mol$$

$$ADP \longrightarrow AMP + p_i + 7.3\ kcal/mol$$

سؤال: ما المجموع الكلي للطاقة الناتجة من تحليل 2 مول من ATP إلى AMP؟

2.1 البناء الضوئي Photosynthesis

تدار الحياة على الأرض بالطاقة الشمسية التي تقطع مسافة 150 مليون كيلومتر من الشمس، وتستخدمها النباتات مثلاً لتحويلها إلى طاقة كيميائية مخزنة في السكر وغيره من الجزيئات العضوية. وتسمى هذه العملية البناء الضوئي.

نشاط (1) تمهيدي: تركيب البلاستيدة الخضراء

أتتبع الشكل (2) ثم أجيب عن الأسئلة الآتية:

1. أعدد الأجزاء التي تتكون منها البلاستيدات.
2. أي أجزاء البلاستيدة تتم بها عملية البناء الضوئي؟
3. أرسم شكلاً تخطيطياً للبلاستيدة.

توصل العلماء إلى أن الزيادة في كتلة النبات مصدرها ثاني أكسيد الكربون CO_2، الذي يتحول إلى سكر الغلوكوز في عملية البناء الضوئي، وأن الأكسجين الناتج مصدره الماء. ومصدر الطاقة اللازمة لتحلل الماء هو الشمس، وتمتص جزيئات صبغة الكلوروفيل الخضراء الطاقة الضوئية، وتحولها إلى طاقة كيميائية. ألاحظ المعادلة الآتية:

$$6\,CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{ضوء}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

الشكل (2): مقطع عرضي في الورقة وتركيب البلاستيدة

2.1 البناء الضوئي Photosynthesis

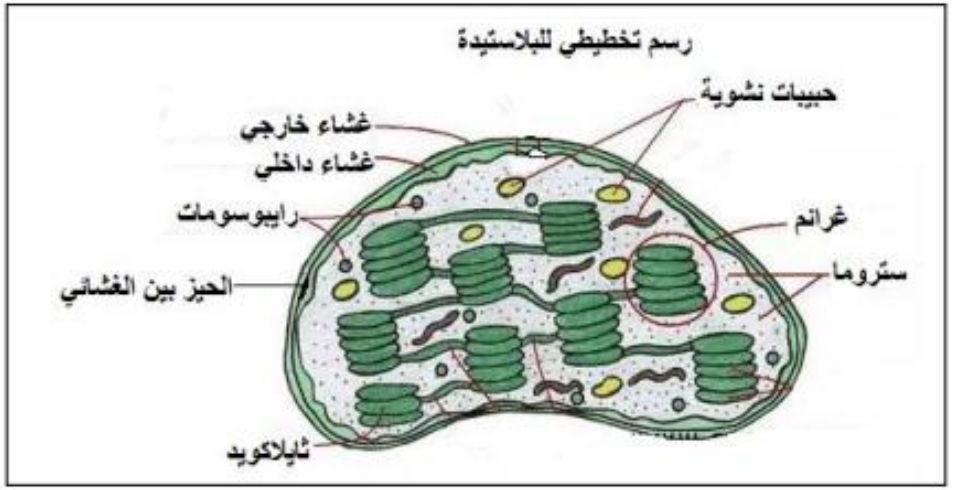
تدار الحياة على الأرض بالطاقة الشمسية التي تقطع مسافة 150 مليون كيلومتر من الشمس، وتستخدمها النباتات مثلاً لتحويلها إلى طاقة كيميائية مخزنة في السكر وغيره من الجزيئات العضوية. وتسمى هذه العملية البناء الضوئي.

نشاط (1) تمهيدي: تركيب البلاستيدة الخضراء

النشاط التمهيدي صفحة(٦) : ١-تتكون البلاستيدة من : غشاء خارجي، غشاء داخلي، الحيز بين الغشائي، ثايلاكويد، غرانم،، سترومـا.

٢-تتم عملية البناء الضوئي في الثايلاكويد و السترومـا .

٣-رسم تخطيطي للبلاستيدة :



كلوروفيل

الشكل (2): مقطع عرضي في الورقة وتركيب البلاستيدة

2.1 البناء الضوئي Photosynthesis

تدار الحياة على الأرض بالطاقة الشمسية التي تقطع مسافة 150 مليون كيلومتر من الشمس، وتستخدمها النباتات مثلاً لتحويلها إلى طاقة كيميائية مخزنة في السكر وغيره من الجزيئات العضوية. وتسمى هذه العملية البناء الضوئي.

نشاط (1) تمهيدي: تركيب البلاستيدة الخضراء

أتتبع الشكل (2) ثم أجيب عن الأسئلة الآتية:

1. أعدد الأجزاء التي تتكون منها البلاستيدات.
2. أي أجزاء البلاستيدة تتم بها عملية البناء الضوئي؟
3. أرسم شكلاً تخطيطياً للبلاستيدة.

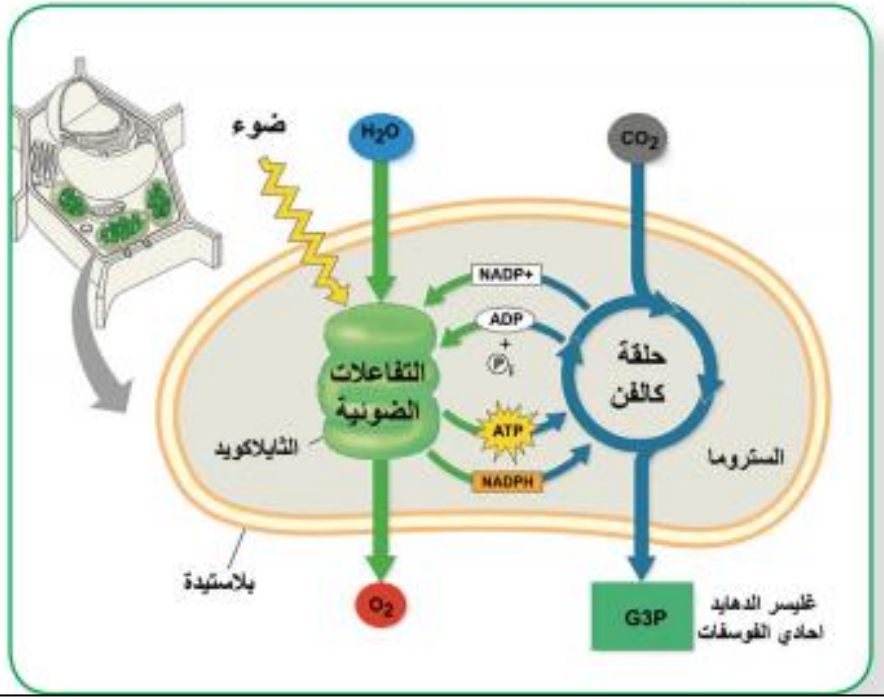
توصل العلماء إلى أن الزيادة في كتلة النبات مصدرها ثاني أكسيد الكربون CO_2، الذي يتحول إلى سكر الغلوكوز في عملية البناء الضوئي، وأن الأكسجين الناتج مصدره الماء. ومصدر الطاقة اللازمة لتحلل الماء هو الشمس، وتمتص جزيئات صبغة الكلوروفيل الخضراء الطاقة الضوئية، وتحولها إلى طاقة كيميائية.

ألاحظ المعادلة الآتية:

$$6\,CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{ضوء}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

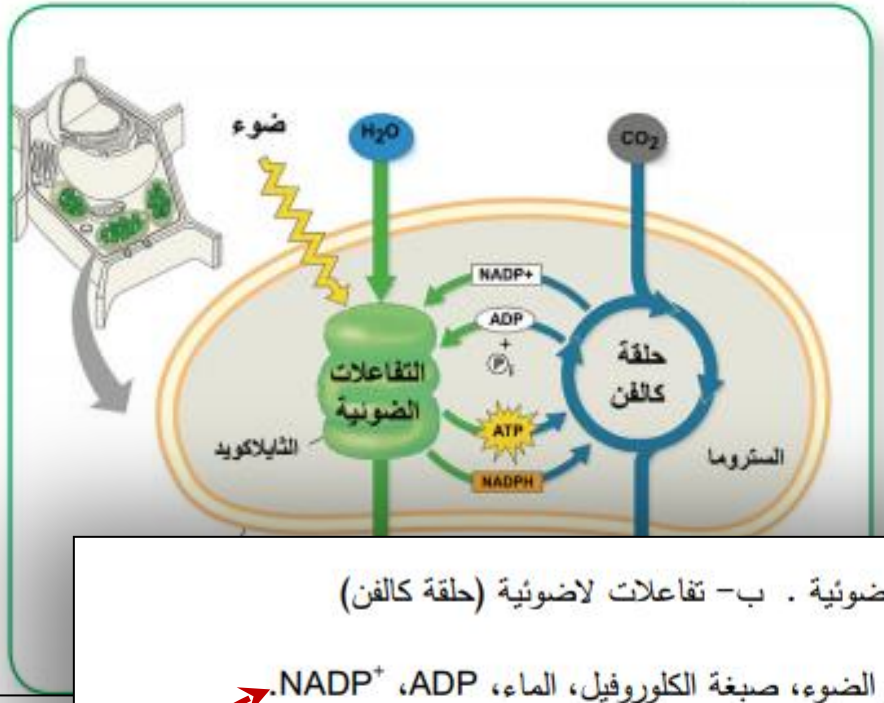
الشكل (2): مقطع عرضي في الورقة وتركيب البلاستيدة

لأتعرف على تفاعلات البناء الضوئي، أدرس الشكل (3)، ثم أجيب عن الأسئلة الآتية:



1. يشير الشكل إلى حدوث نوعين من التفاعلات في البناء الضوئي، أذكرهما.
2. أعدد المواد اللازمة لحدوث البناء الضوئي.
3. أحدد المواد الناتجة من التفاعل.
4. أين تحدث هذه التفاعلات؟

لأتعرف على تفاعلات البناء الضوئي، أدرس الشكل (3)، ثم أجيب عن الأسئلة الآتية:



1. يشير الشكل إلى حدوث نوعين من التفاعلات في البناء الضوئي، أذكرهما.
2. أعدد المواد اللازمة لحدوث البناء الضوئي.
3. أحدد المواد الناتجة من التفاعل.
4. أين تحدث هذه التفاعلات؟

نشاط صفحة(٧) :١- انواع التفاعلات : أ-تفاعلات ضوئية . ب- تفاعلات لاضوئية (حلقة كالفن)

٢-المواد اللازمة:أ-في التفاعلات الضوئية نحتاج الى الضوء، صبغة الكلوروفيل، الماء، ADP، $NADP^+$.

ب-التفاعلات اللاضوئية نحتاج الى : CO_2 و NADPH و ATP .

٣-المواد الناتجة : أ-في التفاعلات الضوئية ينتج : O_2 و NADPH و ATP

ب-التفاعلات اللاضوئية ينتج : G3P و ADP و $NADP^+$

٤-تحدث التفاعلات الضوئية في الثلايلاكويد اما التفاعلات اللاضوئية فتحدث في الستروما .

الشكل (3): تفاعلات البناء الضوئي

تقسم تفاعلات البناء الضوئي إلى مرحلتين أساسيتين هما:

التفاعلات الضوئية Light Reactions والتفاعلات اللاضوئية (حلقة كالفن Calvin Cycle)

يتطلب حدوث التفاعلات الضوئية وجود الضوء، حيث ينشطر فيها الماء باستخدام الطاقة الضوئية إلى أيوني هيدروجين التي تستخدم في اختزال نواقل الإلكترونات، والأكسجين الذي يتصاعد في الهواء الجوي. ويتم بوساطتها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة مختزنة في ATP وNADPH.

أما التفاعلات اللاضوئية (حلقة كالفن) فإنها تقوم بتثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2 باستخدام نواتج التفاعلات الضوئية (ATP وNADPH) لإنتاج سكر غليسر الدهايد أحادي الفوسفات (G3P)، الذي يمثل الهيكل الكربوني للمركبات العضوية، وهو أول مركب كربوهيدراتي ثابت ينتجه النبات، علماً بأن هذه التفاعلات لا تحتاج إلى الضوء بشكل مباشر؛ لذلك سميت بالتفاعلات اللاضوئية.

امتصاص الطاقة الضوئية

يوجد الكلوروفيل في أغشية الثايلاكويد، الذي يكسب النبات اللون الأخضر، ويمكّن النبات من القيام بعملية البناء الضوئي، ويوجد عدة أنواع من الكلوروفيل، منها كلوروفيل a وb، حيث تشترك في التركيب الأساسي وتختلف بشكل بسيط عن بعضها. ويُعد امتصاص الطاقة الضوئية ضرورياً لحدوث عملية البناء الضوئي. ويمتد طول موجات الضوء المرئي من (380-750) نانوميتر تقريبا، أنظر الشكل (4).

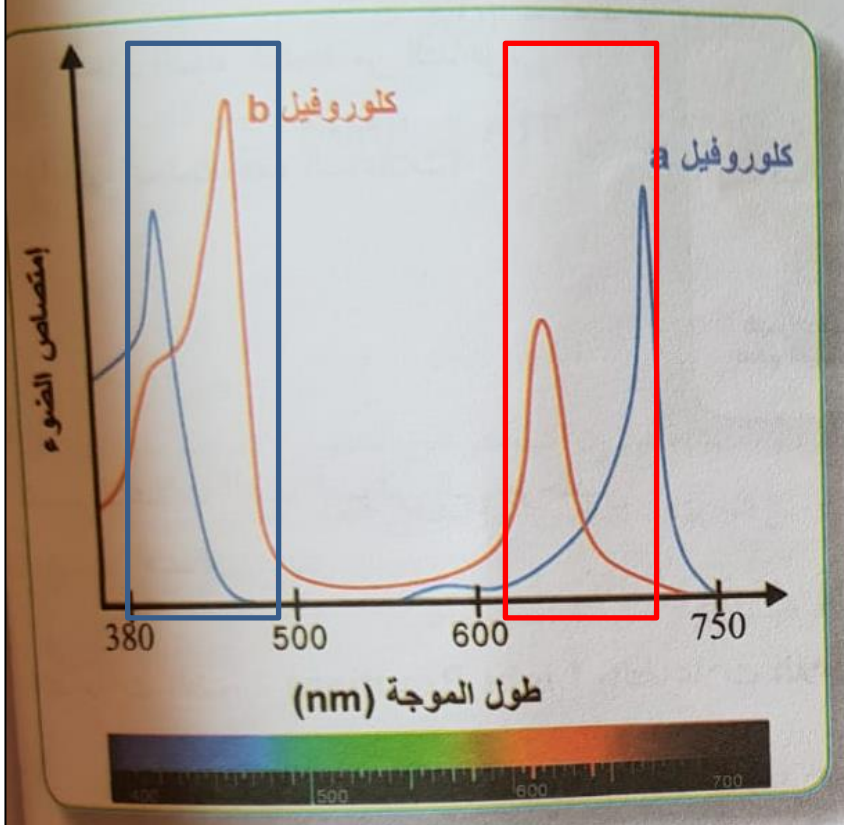
وتعمل أصباغ كلوروفيل a وكلوروفيل b، والكاروتين على امتصاص موجات الضوء الحمراء والزرقاء بكميات كبيرة، بينما تمتص أصباغ أخرى الموجات الضوئية بكميات قليلة.

سؤال: كيف أفسر ظهور اللون الأخضر في النباتات؟

قضية للبحث: أبحث في الاختلاف بين الأصباغ (كلوروفيل a وb).

وتعمل أصباغ كلوروفيل a وكلوروفيل b، والكاروتين على امتصاص موجات الضوء الحمراء والزرقاء بكمي
كبيرة، بينما تمتص أصباغ أخرى الموجات الضوئية بكميات قليلة.

قضية للبحث: أبحث في الاختلاف بين الأصباغ (كلوروفيل a و b).



أدرس الشكل (4)، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:

1. ما الموجات الضوئية التي يتم امتصاصها عن طريق كلوروفيل a و b ؟ **الحمراء والزرقاء**
2. ما طول الموجات التي يتم فيها أعلى امتصاص للضوء ؟
3. ما طول الموجات التي يتم فيها أقل امتصاص للضوء ؟
4. أي أجزاء البلاستيدة تحتوي على صبغة الكلوروفيل الخضراء؟ **الثايلاكويدات**

سؤال: كيف أفسر ظهور اللون الأخضر في النباتات؟

كلوروفيل a
400 , 700

كلوروفيل b
680 , 450

480 - 600

لأن صبغات الكلوروفيل لا تمتص موجات اللون الأخضر بل تعكسها، فتظهر النباتات باللون الأخضر

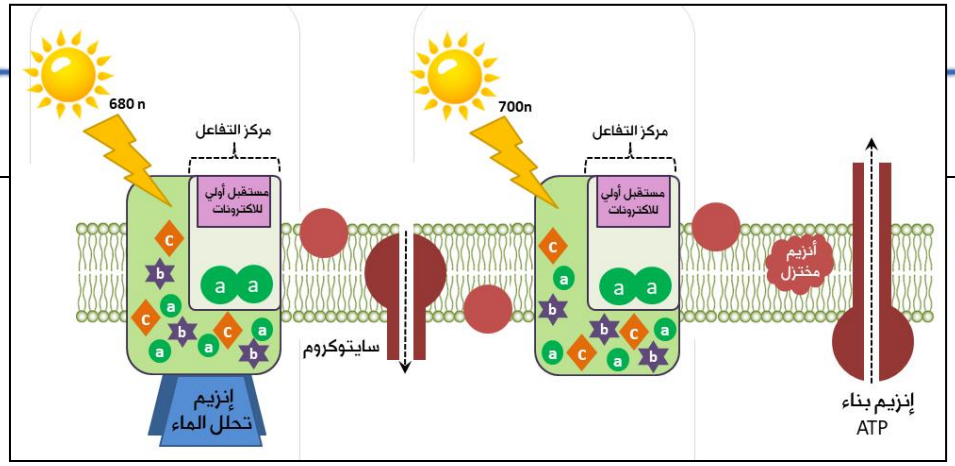
1. التفاعلات الضوئية

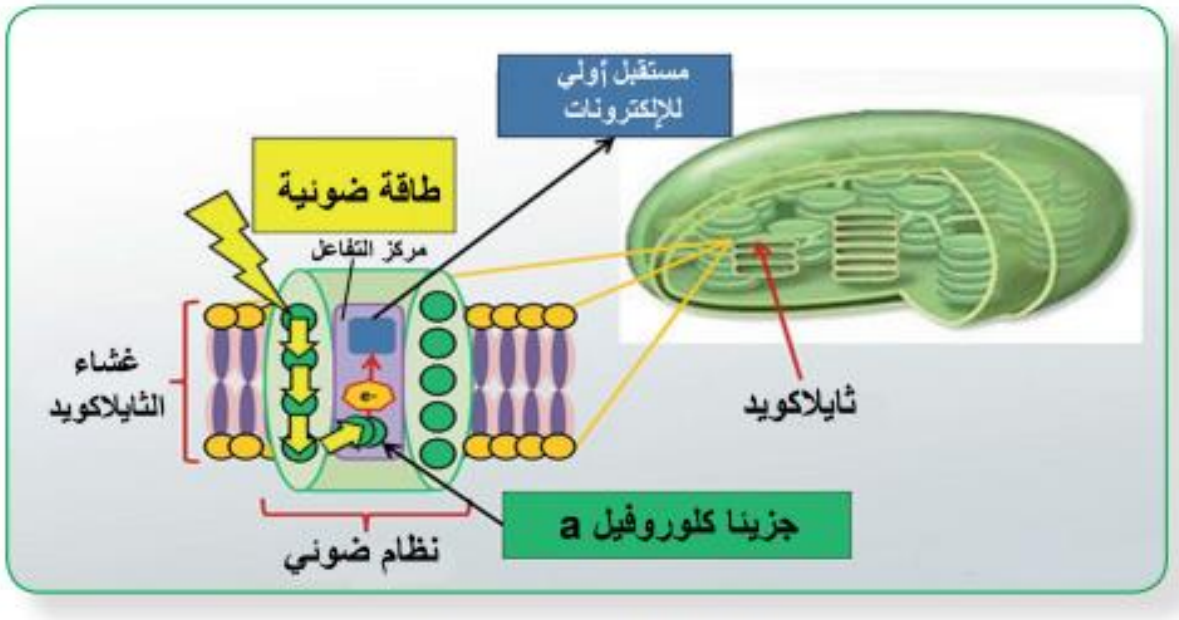
يتم امتصاص الضوء في البلاستيدات بوساطة صبغة الكلوروفيل، والصبغات الأُخرى الضرورية لعملية البناء الضوئي. وتترتب هذه الأصباغ في نظامين ضوئيين وظيفيين في غشاء الثايلاكويد Thylakoid Membrane، يسميان النظام الضوئي الأول Photosystem I والنظام الضوئي الثاني Photosystem II.

يتكون كل نظام ضوئي من الأجزاء الآتية:

1. مركز التفاعل Reaction Center: نظام بروتيني يحتوي على جزيئين من كلوروفيل a، ومستقبل إلكتروني أولي Primary Electron Acceptor، ويكون جزيئا الكلوروفيل في مركز التفاعل قادرين على إطلاق إلكترونات منشطة، أنظر الشكل (5).

2. أنواع مختلفة من الصبغات، مثل: كلورفيل a ، وكلوروفيل b، والكاروتين، وتكون مرتبطة ببروتينات، وتعمل هذه الأصباغ كلاقطات تمتص الطاقة الضوئية، ومن ثم تمررها لمركز التفاعل.





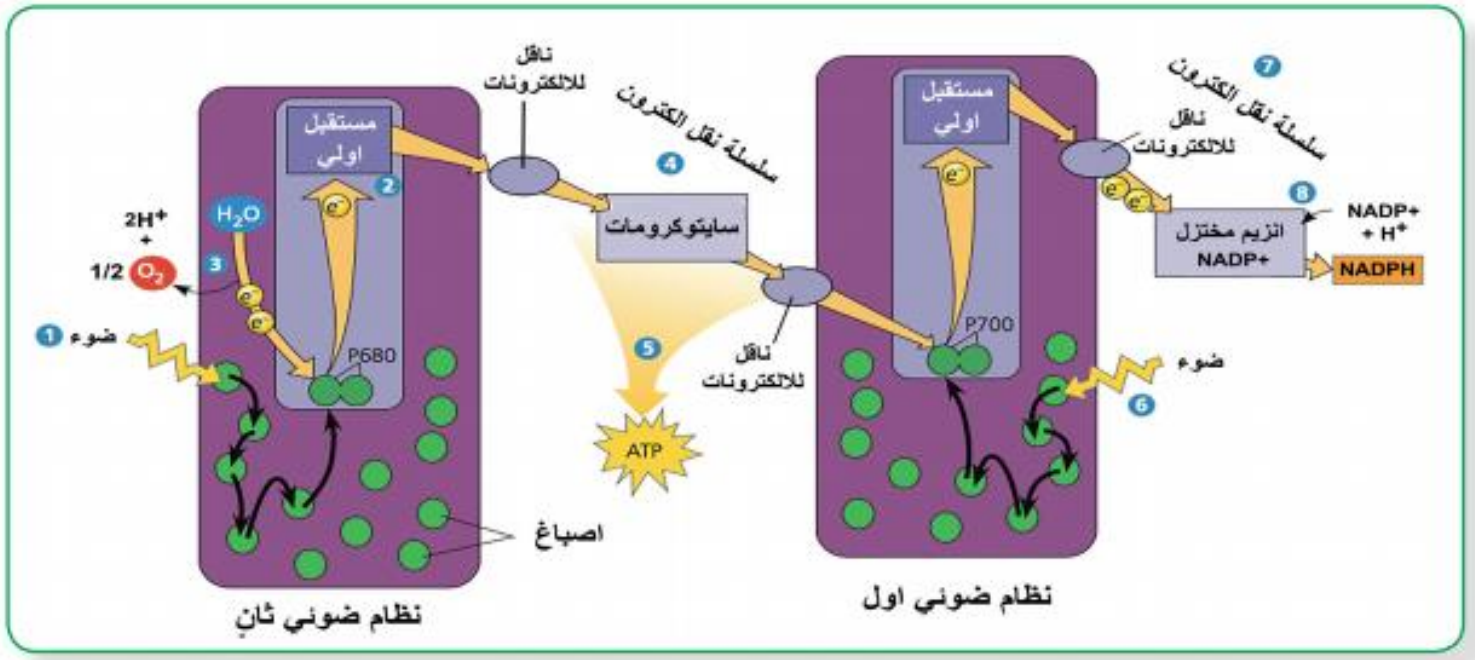
الشكل (5): تركيب النظام الضوئي

سؤال: ما مكونات كل نظام ضوئي؟

يتم تحويل الطاقة الضوئية الممتصة إلى طاقة مختزنة في روابط كيميائية في مسارين للإلكترونات هما:

المسار الإلكتروني اللاحلقي والمسار الإلكتروني الحلقي.

أولاً: المسار الإلكتروني اللاحلقي Noncyclic Electron Flow



الشكل (6) تفاعلات المسار الإلكتروني اللاحلقي

بالاعتماد على الشكل (6) الذي يوضح المسار الإلكتروني اللاحلقي، أجيب عن الأسئلة الآتية:

1 أذكر أهمية امتصاص الضوء في بداية هذا المسار.

مراحل المسار الالكتروني اللاحلقي

1 تمتص الجزيئات الصبغية في النظام الضوئي الثاني الموجات الضوئية؛ ما يسبب انتقال الإلكترونات إلى مستوى طاقة أعلى في جزيء الصبغة الواحدة، بعد ذلك تنتقل طاقة الإلكترونات من جزيء كلوروفيل إلى آخر حتى تصل مركز التفاعل ليتم تنشيطه ليصبح مانحاً قوياً للإلكترونات.

2 ما الذي يسهم في وصول الإلكترون إلى المستقبل الأولي؟

3 أذكر دور جزيئات كلوروفيل a الموجودة في مركز التفاعل لكل نظام ضوئي.

4 ما أهمية تحلل الماء؟

5 أوضح وظيفة أنزيم بناء ATP (ATP Synthase) الموجود في غشاء الثايلاكويد.

6 أعدد نواتج هذا المسار.

7 ما الطرق التي يتم فيها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية في هذا المسار؟

8 يحتوي المسار الإلكتروني اللاحلقي على نظام ضوئي أول ونظام ضوئي ثانٍ، إلا أن بداية المسار تكون عند النظام الضوئي الثاني. كيف أفسر ذلك؟

٢-جزيئا الكلوروفيل a في مركز التفاعل .

٣-تعتبر مانحة بشكل قوي للالكترونات بعد امتصاص الطاقةالضوئية بوساطة الاصباغ، وبالتالي اطلاق الالكترونات منشطة نحو المستقبل الالكتروني الاولي .

٤-يتم من خلال تحلل الماء تعويض الالكترونات التي يفقدها مركز التفاعل في النظام الضوئي الثاني.

2 ما الذي يسهم في وصول الإلكترون إلى المستقبل الأولي؟

3 أذكر دور جزيئات كلوروفيل a الموجودة في مركز التفاعل لكل نظام ضوئي.

4 ما أهمية تحلل الماء؟

5 أوضح وظيفة أنزيم بناء ATP (ATP Synthase) الموجود في غشاء الثايلاكويد.

6 أعدد نواتج هذا المسار.

7 ما الطرق التي يتم فيها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية في هذا المسار؟

8 يحتوي المسار الإلكتروني اللاحلقي على نظام ضوئي أول ونظام ضوئي ثانٍ، إلا أن بداية المسار تكون عند النظام الضوئي الثاني. كيف أفسر ذلك؟

٥- يتم ضخ ايونات الهيدروجين (H+) الناتجة من تحلل الماء الى تجويف الثايلاكويد عبر غشاء الثايلاكويد ليصبح تجويف الثايلاكويد موجبا فتندفع H+ عبر انزيم بناء ATP (synthase ATP) الموجود في غشاء الثايلاكويد مستخدما طاقة الالكترونات التي تنتقل من ناقل الى اخر في سلسلة نقل الالكترون التي تربط بين النظاميين الضوئيين و بالتالي يتم استخدام هذه الطاقة في ربط ADP مع مجموعة فوسفات لتكوين ATP كما في المعادلة الاتية :

$$ADP + P_i + \text{طاقة} \xrightarrow{\text{إنزيم بناء ATP}} ATP$$

٦-نواتج المسار الالكتروني اللاحلقي : O_2 و NADPH و ATP

(2) ما الذي يسهم في وصول الإلكترون إلى المستقبل الأولي؟

(3) أذكر دور جزيئات كلوروفيل a الموجودة في مركز التفاعل لكل نظام ضوئي.

(4) ما أهمية تحلل الماء؟

(5) أوضح وظيفة أنزيم بناء ATP (ATP Synthase) الموجود في غشاء الثايلاكويد.

(6) أعدد نواتج هذا المسار.

(7) ما الطرق التي يتم فيها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية في هذا المسار؟

(8) يحتوي المسار الإلكتروني اللاحلقي على نظام ضوئي أول ونظام ضوئي ثانٍ، إلا أن بداية المسار تكون عند النظام الضوئي الثاني. كيف أفسر ذلك؟

٧-يتم ذلك بطريقتين :

أ-انتاج ATP :

$$ADP + P_i + \text{طاقة} \xrightarrow{\text{إنزيم بناء ATP}} ATP$$

ب-انتاج جزيئات NADPH : يختزل +NADP+ الى NADPH كما في المعادلة الاتية :

$$NADP^+ + 2H^+ + 2e^- \xrightarrow[NADP+]{\text{إنزيم مختزل لـ}} NADPH + H^+$$

٨-تم اكتشاف النظام الضوئي الاول قبل النظام الضوئي الثاني لذلك اعتبر هو الاول، وبما ان النظام الضوئي الثاني يمتص موجات ضوئية بطول 680 نانومتر و النظام الضوئي الاول يمتص موجات ضوئية بطول 700 نانومتر ، تم ترتيب الثاني ليكون في بداية المسار.

مراحل المسار الالكتروني اللاحلقي

1 تمتص الجزيئات الصبغية في النظام الضوئي الثاني الموجات الضوئية؛ ما يسبب انتقال الإلكترونات إلى مستوى طاقة أعلى في جزيء الصبغة الواحدة، بعد ذلك تنتقل طاقة الإلكترونات من جزيء كلوروفيل إلى آخر حتى تصل مركز التفاعل ليتم تنشيطه ليصبح مانحاً قوياً للإلكترونات.

2 تمر هذه الإلكترونات المحملة بالطاقة إلى مستقبل الإلكترونات الأولي، الذي له جاذبية قوية للإلكترونات.

3 نتيجة لاستمرار امتصاص الضوء يعمل أنزيم خاص في النظام الضوئي الثاني على فصل جزيئات الماء حسب المعادلة الآتية:

$$H_2O \xrightarrow{\text{أنزيم}} 2H^+ + \frac{1}{2} O_2 + 2e^-$$

وبالتالي تزويد مركز تفاعل النظام الضوئي الثاني
بالإلكترونات واحداً تلو الآخر، وترتبط ذرات الأكسجين معاً مكونة جزيئات أكسجين، حيث تنطلق إلى الجو كناتج نهائي عن البناء الضوئي.

4 تنتقل الإلكترونات المنشطة من المستقبل الأولي عبر سلسلة من النواقل البروتينية؛ حتى تصل إلى السايتوكروم، الذي يتم من خلاله بناء جزيئات ATP.

5 يتم بناء جزيئات ATP كما يأتي:

يتم ضخ أيونات الهيدروجين H^+ الناتجة من تحلل الماء إلى تجويف الثايلاكويد عبر غشاء الثايلاكويد

ليصبح موجبا فتندفع H^+ عبر أنزيم بناء ATP (ATP Synthase) الموجود في غشاء الثايلاكويد مستخدما طاقة الإلكترونات التي تنتقل من ناقل إلى آخر في سلسلة نقل الإلكترون التي تربط بين النظامين الضوئيين، وبالتالي يتم استخدام هذه الطاقة في ربط جزيء ADP مع مجموعة فوسفات كما في المعادلة الآتية:

$$ADP + Pi + \text{طاقة} \xrightarrow{\text{أنزيم بناء ATP}} ATP$$

وهذه إحدى الطرق التي يتم فيها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية.

6 بعد ذلك تصل الإلكترونات إلى مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول وقد استنفدت طاقتها؛ ليتم إعادة تنشيطها من جديد من خلال الجزيئات الصبغية في النظام الضوئي الأول، والتي تمتص الموجات الضوئية؛ مما يتسبب في انتقال الإلكترونات إلى المستقبل الأولي.

7 تستمر الإلكترونات في انتقالها من ناقل لأخر في سلسلة نقل الإلكترون، حيث تمر في عمليات أكسدة واختزال؛ حتى تصل إلى أنزيم مختزل $NADP^+$ في النظام الضوئي الأول.

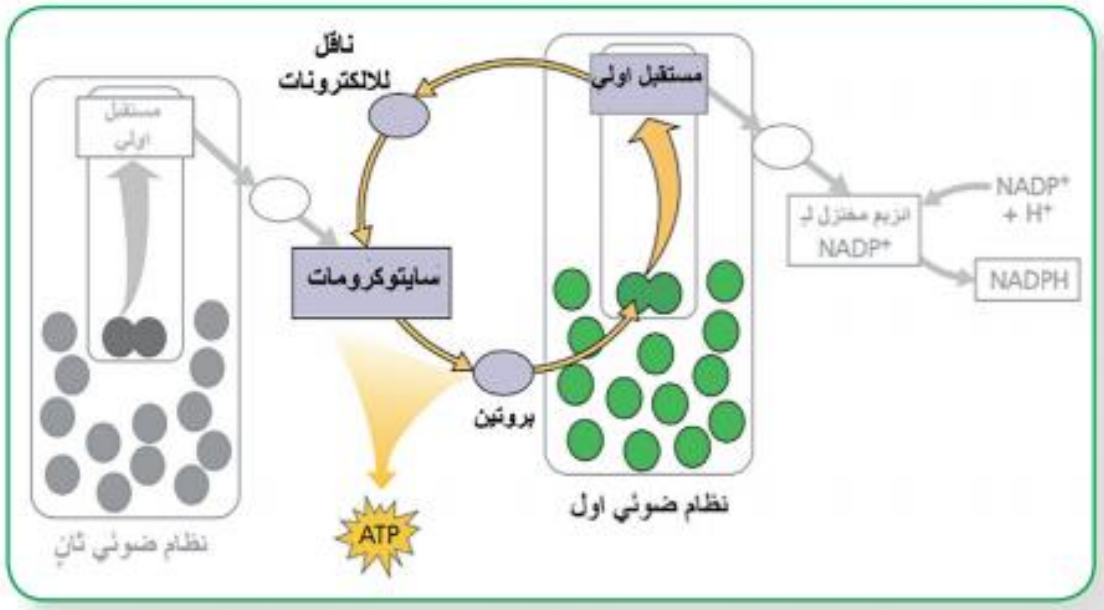
8 وبالتالي يختزل $NADP^+$ إلى NADPH كما في المعادلة الآتية:

$$NADP^+ + 2H^+ + 2e^- \xrightarrow[NADP^+]{\text{أنزيم مختزل}} NADPH + H^+$$

وهذه طريقة أخرى يتم فيها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية.

ثانيا: المسار الإلكتروني الحلقي Cyclic Electron Flow

تصل الإلكترونات إلى مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول، وتكون قد استنفدت طاقتها؛ ليتم إعادة تنشيطها من خلال الأصباغ التي تمتص الطاقة الضوئية، ومن ثم تنتقل إلى المستقبل الأولي في النظام الضوئي الأول، ثم إلى سلسلة نقل الإلكترون التي تربط بين النظامين الضوئيين؛ ليتم إنتاج جزيئات حاملات الطاقة ATP فقط، ألاحظ الشكل (7).



الشكل (7): تفاعلات المسار الإلكتروني الحلقي

سؤال: أقارن بين المسار الإلكتروني اللاحلقي والمسار الإلكتروني الحلقي من حيث:

أ. النظام الضوئي المشارك　　ب. النواتج

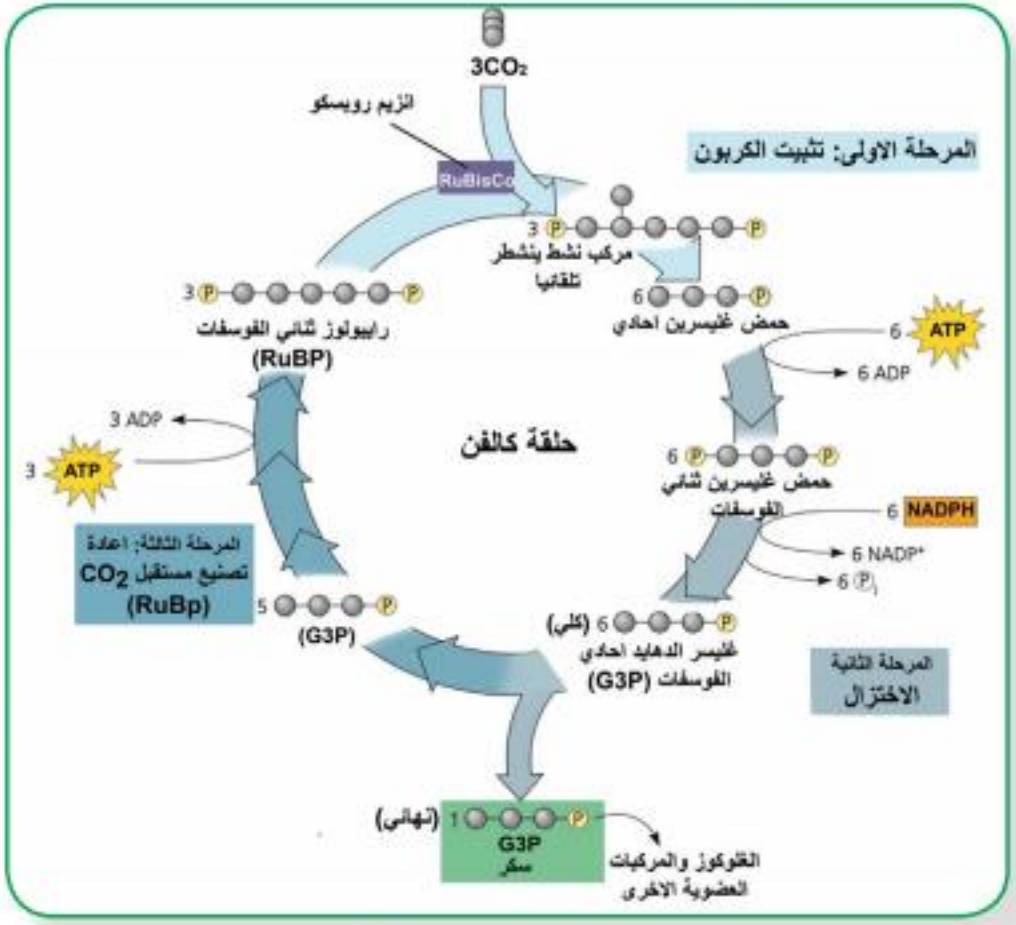
جـ. تعويض الإلكترونات.　　د. مستقبل الإلكترون الأخير.

من حيث	المسار اللاحلقي	المسار الحلقي
النظام الضوئي المشارك	الاول والثاني	الاول فقط
النواتج	O_2، NADPH ، ATP	ATP فقط
تعويض الالكترونات	النظام الضوئي الثاني يعوض النظام الضوئي الاول. وتحلل الماء يعوض النظام الضوئي الثاني	لا يوجد تعويض للالكترونات
مستقبل الالكترون الاخير	$NADP^+$	لا يوجد مستقبل للالكترونات

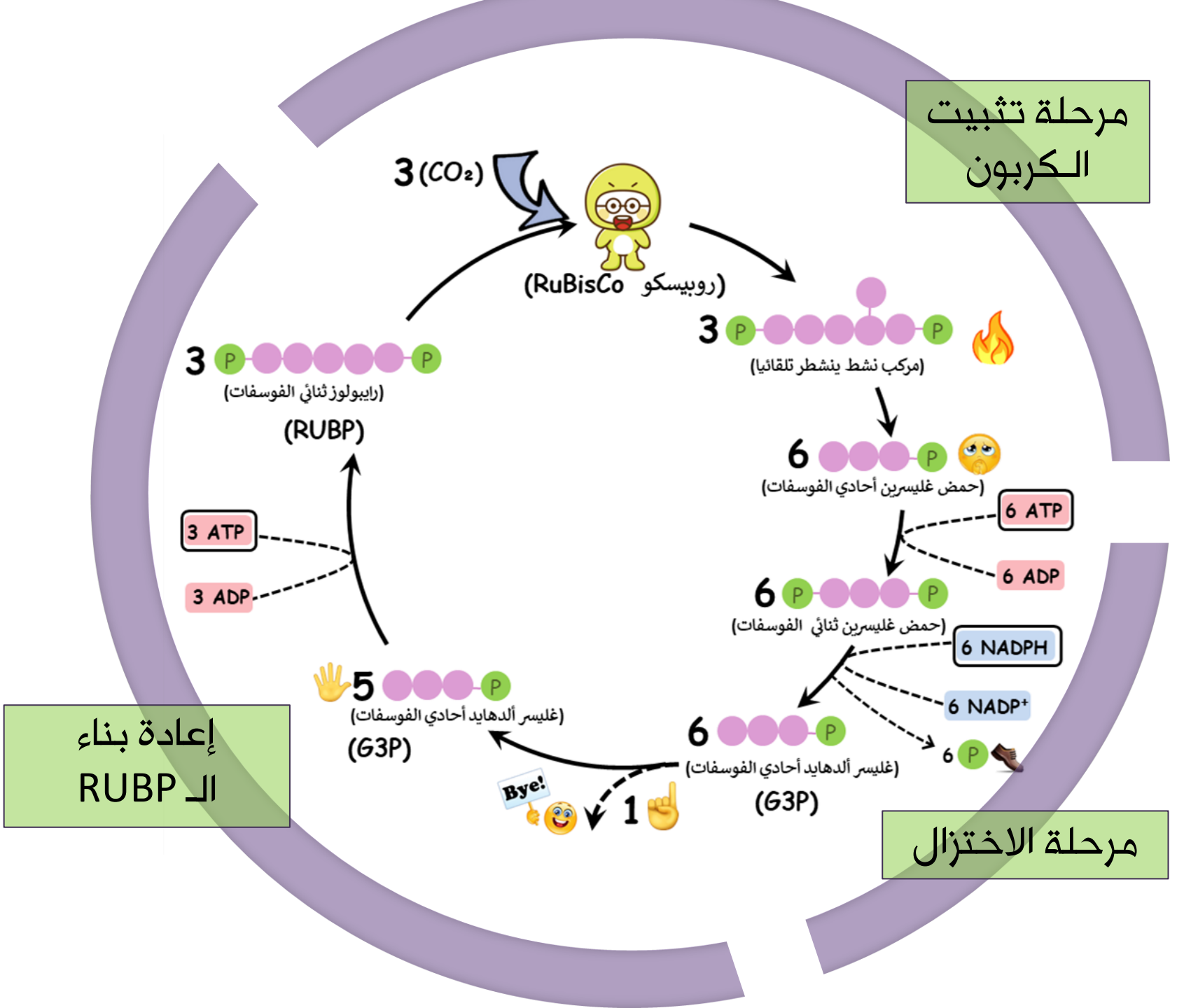
1. التفاعلات اللاضوئية: حلقة كالفن Calvin Cycle

تسمى هذه التفاعلات حلقة كالفن Calvin Cycle نسبة إلى مكتشفها، وتحدث هذه التفاعلات في ستروما البلاستيدة حيث توجد الأنزيمات اللازمة لها، ودون الحاجة للضوء، ويتم فيها استخدام الطاقة المختزنة في نواتج التفاعلات الضوئية ATP وNADPH.

ويدخل الكربون حلقة كالفن على شكل CO_2 ويغادرها على شكل سكر. ولتشغيل الحلقة يتم استهلاك جزيئات ATP كمصدر للطاقة،وNADPH كعامل اختزال قوي يضيف إلكترونات ذات طاقة عالية وأيونات هيدروجين لصنع جزيئات السكر، أنظر الشكل (8).



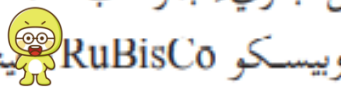
الشكل (8): تفاعلات حلقة كالفن


مرحلة تثبيت الـكربون
3 (CO_2)
(RuBisCo روبيسكو)
3 P P
(مركب نشط ينشطر تلقائيا)
6 P
(حمض غليسرين أحادي الفوسفات)
6 ATP
6 ADP
6 P P
(حمض غليسرين ثنائي الفوسفات)
6 NADPH
6 NADP+
6 P
6 P
(غليسر ألدهايد أحادي الفوسفات)
(G3P)
مرحلة الاختزال
Bye!
1
5 P
(غليسر ألدهايد أحادي الفوسفات)
(G3P)
إعادة بناء الـ RUBP
3 ATP
3 ADP
3 P P
(رايبولوز ثنائي الفوسفات)
(RUBP)

وتتضمن حلقة كالفن ثلاث مراحل رئيسية هي:

المرحلة الأولى: تثبيت الكربون Carbon Fixation

يتم تثبيت ثلاثة جزيئات CO_2 واحداً تلو الآخر، وذلك من خلال ربط كل جزيء بمركب خماسي الكربون يسمى رايبولوز ثنائي الفوسفات RuBP، بوساطة أنزيم يدعى اختصارا روبيسكو RuBisCo ينتج ثلاثة جزيئات من مركب نشط (سداسي الكربون) غير ثابت، سرعان ما ينشطر تلقائياً إلى جزيئين من حمض غليسرين أحادي الفوسفات 3-Phosphoglycerate فيتكون ما مجموعه ستة جزيئات منه.



(حمض غليسرين أحادي الفوسفات)

المرحلة الثانية: الاختزال Reduction

يحصل كل جزيء من حمض غليسرين أحادي الفوسفات من الجزيئات الستة التي تكونت على مجموعة فوسفات من جزيء ATP، فيتكون حمض غليسرين ثنائي الفوسفات 1,3-Biphosophoglycerat، ويعمل مركب NADPH على اختزال حمض غليسرين ثنائي الفوسفات إلى غليسر الدهايد أحادي الفوسفات Glyceraldehyde 3-Phosphat أو اختصاراً G3P، حيث يتكون ستة جزيئات منه.

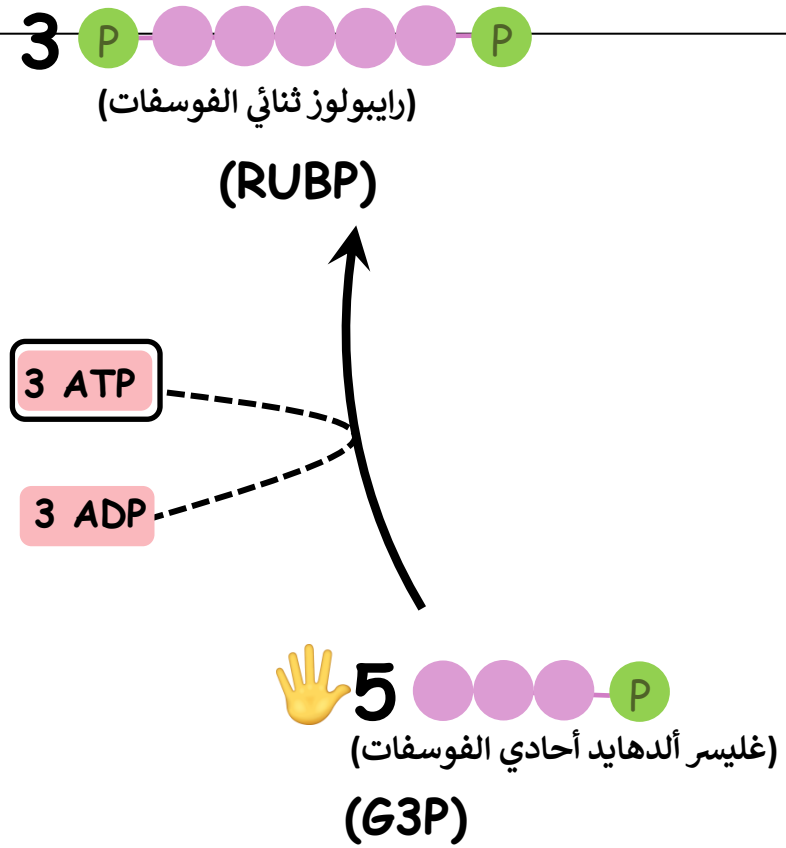
(حمض غليسرين ثنائي الفوسفات)

(غليسر ألدهايد أحادي الفوسفات)

(G3P)

المرحلة الثالثة: إعادة تصنيع رايبولوز ثنائي الفوسفات RuBP (مستقبل CO_2)

يُستخدم جزيء واحد فقط من G3P كناتج نهائي لحلقة كالفن كنقطة البداية لمسارات عمليات الأيض لإنتاج مركبات عضوية تشمل الغلوكوز ومركبات عضوية أخرى، أما جزيئات G3P الخمسة الأخرى فستستخدم في إعادة بناء مركب رايبولوز ثنائي الفوسفات في سلسلة معقدة من التفاعلات يستهلك خلالها ثلاثة جزيئات ATP.



تطبيقات رياضية على حلقة كالفن

(تمت الحلقة مرتين)

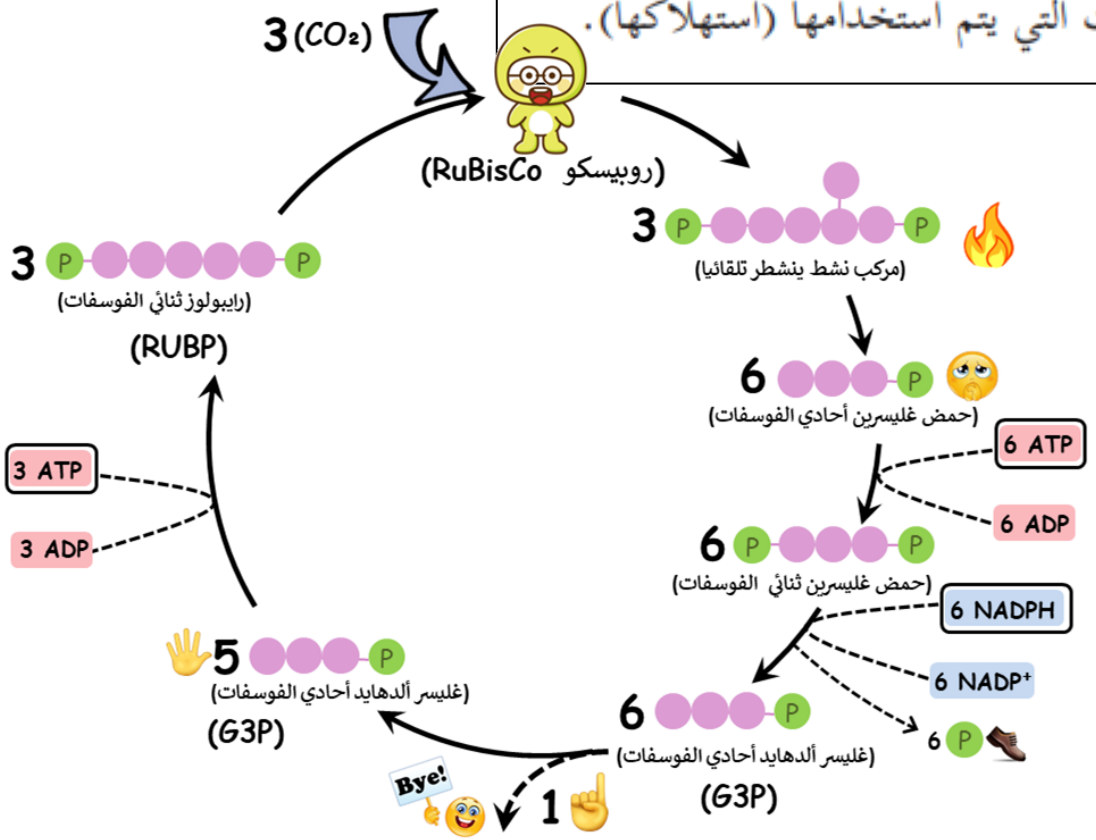
في حلقة كالفن إذا تم استهلاك 18 جزئياً ATP أوجد ما يأتي:

أ. عدد جزيئات G3P الكلية. 12 جزيء

ب. عدد جزيئات الغلوكوز التي يتم إنتاجها. واحد

ج. عدد جزيئات CO_2 التي يتم تثبيتها. 6 جزيئات

د. عدد جزيئات رايبولوز ثنائي الفوسفات التي يتم استخدامها (استهلاكها). 6 جزيئات

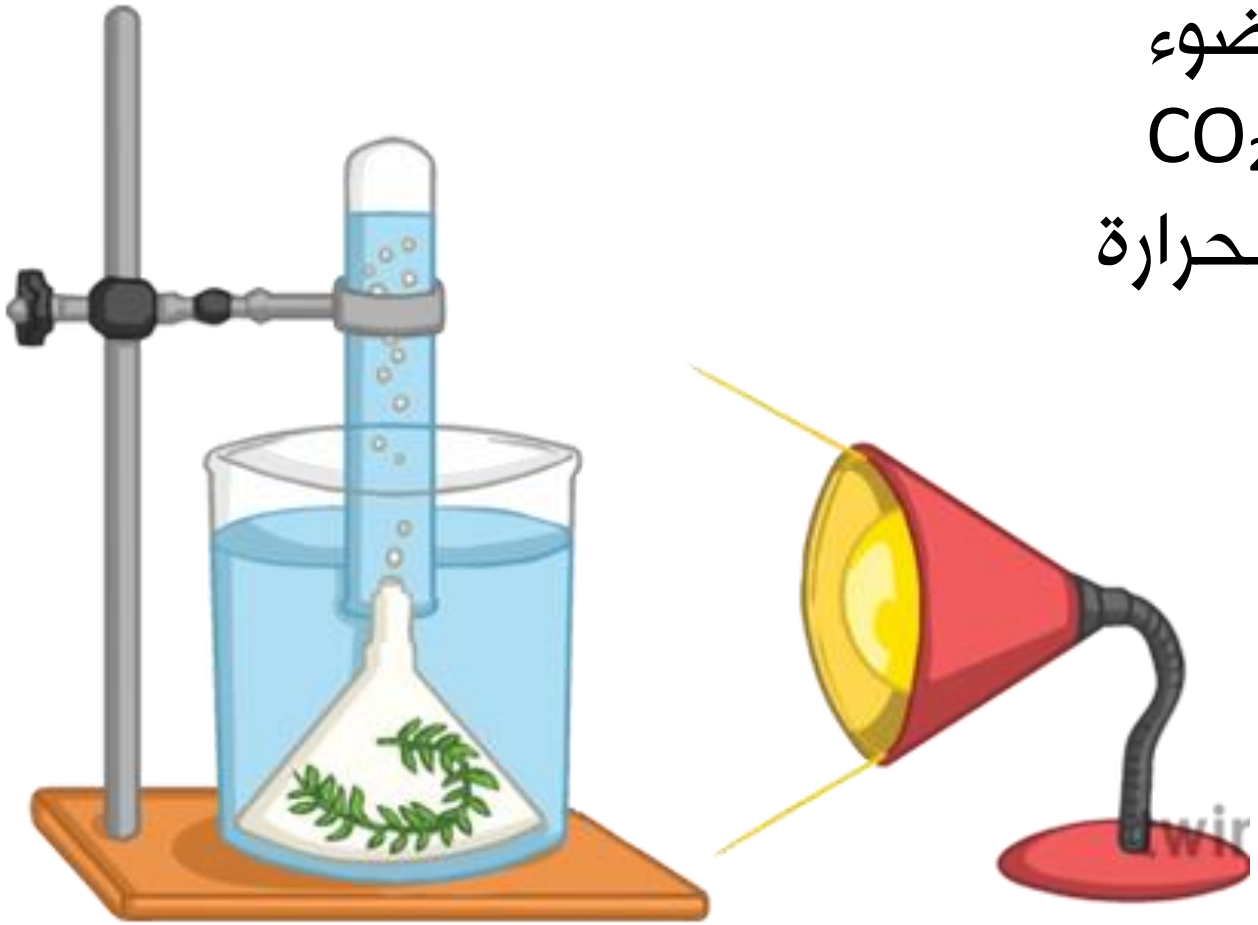


العوامل الخارجية المؤثرة في معدل البناء الضوئي

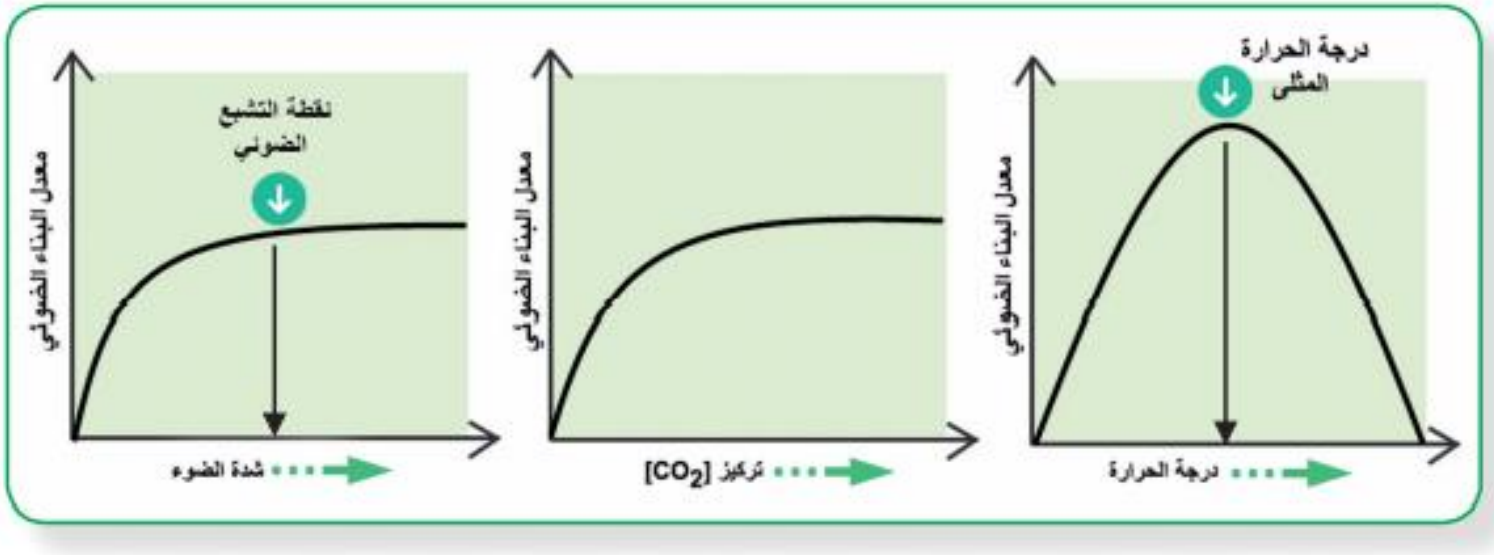
لاستنتاج تأثير العوامل البيئية المؤثرة على معدل عملية البناء الضوئي أنفذ النشاط الآتي:

نشاط (2): معدل عملية البناء الضوئي

- شدة الضوء
- تركيز CO_2
- درجة الحرارة



أستنتج من الأنشطة السابقة ومن خلال عمل المجموعات أن البناء الضوئي يتأثر بالعديد من العوامل الخارجية وهي: الضوء ودرجة الحرارة وتركيز CO_2، ولا بد من توفر تلك العوامل معاً في حدودها المثلى؛ كي يحدث البناء الضوئي، ألاحظ الشكل (9):



الشكل (9): بعض العوامل المؤثرة في معدل البناء الضوئي

سؤال: ما أثر شدة الضوء، وتركيز CO_2 ودرجة الحرارة على معدل البناء الضوئي، كيف أفسر ذلك ؟

سؤال صفحة(١٦):

***اثر شدة الضوء:** يزداد معدل البناء الضوئي مع الزيادة في شدة الضوء، الى ان يتم الوصول الى نقطة التشبع الضوئي والتي يثبت عندها معدل البناء الضوئي،بسبب وصول التفاعلات الى حد التشبع في امتصاصها للطاقة الضوئية .

***اثر تركيز ثاني اكسيد الكربون:** يزداد معدل البناء الضوئي مع الزيادة في تركيز CO_2، الى ان يتم الوصول الى حد معين والتي يثبت عندها معدل البناء الضوئي.

***اثر درجة الحرارة** :يزداد معدل البناء الضوئي مع الزيادة في درجة الحرارة الى ان يتم الوصول الى درجة الحرارة المثلى والتي تمثل درجة الحرارة التي يكون عندها معدل البناء الضوئي اعلى ما يمكن ، وبعدها ومع الاستمرار في الزيادة في درجة الحرارة يكون التاثير سلبا على معدل البناء الضوئي حيث ينخفض بشكل ملحوظ بسبب تحلل المواقع النشطة في الانزيمات الخاصة بالبناء الضوئي ويتوقف بذلك البناء الضوئي .

التفسير :ان هذه العوامل يجب ان تتوفر جميعها في حدودها المثلى كي يحدث البناء الضوئي ، وان غياب أي عامل او عدم توفره في حدوده المثلى (حتى لو توفرت جميع العوامل الاخرى) سيتوقف البناء الضوئي ، ويسمى هذا العامل بالعامل المحدد للتفاعل.