الاسم : .....

الصف : الثاني عشر – المسار الاكاديمي

المادة : العلوم الحياتية (رقم 3)

الوحدة الأولى : كيمياء الحياة / الدرس الثالث

معلمة المادة : هبة سوداح

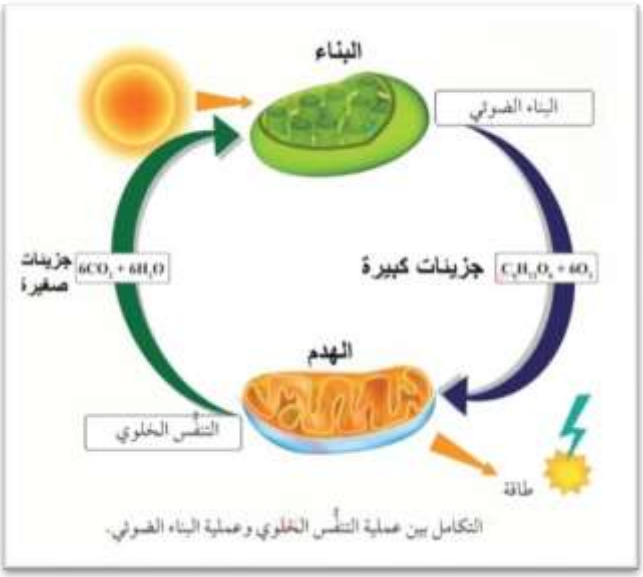
الدرس الثالث : التفاعلات الكيميائية في الخلية

- تحدث داخل خلايا الكائنات الحية تفاعلات كيميائية عدة منها ما يخزن الطاقة في الروابط الكيميائية داخل المركبات العضوية ومنها ما يحرر الطاقة المخزنة اللازمة للانشطة الحيوية .
- عمليات الايض: الاف من التفاعلات الكيميائية داخل خلايا الكائن الحي وتشمل عمليات البناء وعمليات الهدم.

وجه المقارنة	عمليات البناء	عمليات الهدم
التعريف	مجموعة من التفاعلات الكيميائية التي تبنى فيها جزيئات كبيرة ومعقدة من جزيئات بسيطة	مجموعة من التفاعلات الكيميائية التي تحطم فيها بعض الجزيئات الكبيرة المعقدة الى جزيئات ابسط
الطاقة والاهمية	تحتاج طاقة لتخزنها في الروابط الكيميائية داخل المركبات المعقدة	تنتج طاقة مخزنة في الروابط الكيميائية ناتجة عن تحطيم المركبات المعقدة الى ابسط
مثال	البناء الضوئي	التنفس الخلوي

اهمية عملية البناء :

انتاج مركبات كبيرة من مركبات بسيطة وتخزين الطاقة داخل هذه المركبات الكبيرة والمعقدة



التكامل بين عملية التنفس الخلوي وعملية البناء الضوئي.

اهمية عملية الهدم :

تحطيم بعض الجزيئات الكبيرة الى جزيئات ابسط لانتاج الطاقة الكيميائية المخزنة في روابطها

- **تركيب الميتوكندريا :**

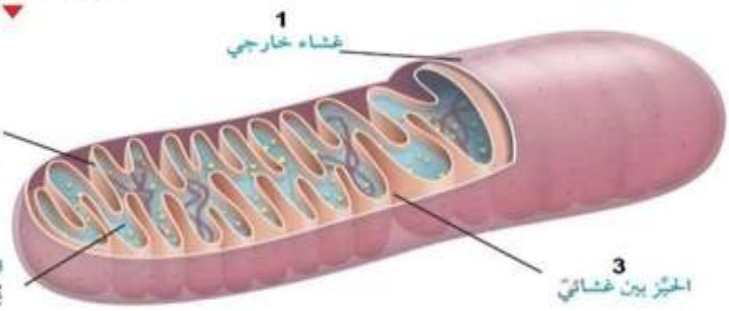
تعد الميتوكندريا العضية التي تحدث فيها معظم تفاعلات التنفس الخلوي في الخلايا حقيقية النواة وتتكون من :

1- غشاء خارجي 2- غشاء داخلي (اعراف) 3- حيز بين غشائي 4- حشوة

- **علل قدرة الميتوكندريا على التضاعف الذاتي وبناء البروتينات الخاصة ؟**

لاحتوائها على DNA خاص بها وتصنع البروتينات والانزيمات اللازمة للتنفس الخلوي لوجود الريبوسومات داخلها .

الشكل (34): تركيب الميتوكندريا.



- **التنفس الخلوي :**

سلسلة من التفاعلات تشمل تحطيم المركبات العضوية (الغلوكوز) داخل الخلايا حقيقية النواة لانتاج الطاقة المخزنة في الروابط الكيميائية بين ذرات الكربون في جزيء الغلوكوز وتتم معظم تفاعلات التنفس الخلوي في الميتوكندريا .

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \xrightarrow{\text{انزيمات}} 6CO_2 + 6H_2O + \text{طاقة Energy}$$

اكسجين + غلوكوز

(حرارة + ATP) ماء + ثاني أكسيد الكربون

- **مراحل التنفس الخلوي :**

أ- مرحلة التحلل الغلايكولي (السكري) في الستوسول .

ب- مرحلة التنفس الهوائي في الميتوكندريا .

أ - مرحلة التحلل الغلايكولى :

المرحلة الأولى في التنفس الخلوي

وهي سلسلة من التفاعلات الكيميائية

التي تحدث في السيتوسول

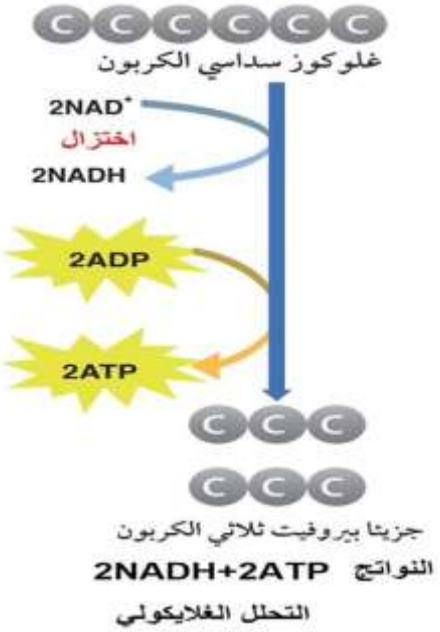
ولا تحتاج اكسجين

ويتحطم فيها كل جزيء جلوكوز

الى جزيئين من البيروفيت ثلاثي الكربون

ويختزل جزيئي 2NAD+ الى جزيئي 2NADH

وينتج من هذه المرحلة جزيئي 2ATP بشكل مباشر .



ب-التنفس الهوائي ويشمل ثلاث خطوات :

1- اكسدة البيروفيت الى استيل مرافق انزيم – أ
2- حلقة كربس
3- الفسفرة التاكسدية

(ملاحظة : ويحدث التنفس الهوائي عند توافر الاكسجين فيدخل جزيئاً البيروفيت الى الحشوة في الميتوكندريا)

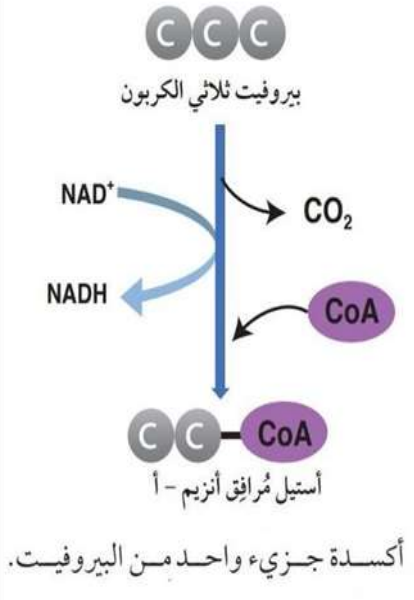
- **خطوات التنفس الهوائي عند توافر الاكسجين :**

1- اكسدة البيروفيت الى استيل مرافق انزيم – أ :

وهي الخطوة الأولى من خطوات التنفس الهوائي وتربط هذه الخطوة بين التحلل الجلايكولي وحلقة كربس

- **خطواتها :**

1- انتزاع جزيء واحد CO_2 من كل جزيء بيروفيت فيتكون مركب ثنائي الكربون في الحشوة .
2- فيتأكسد المركب ثنائي الكربون مختزلًا +NAD الى NADH
3- ثم يرتبط مرافق انزيم- أ (CO-A) مع هذا المركب فينتج مركب استيل مرافق انزيم أ

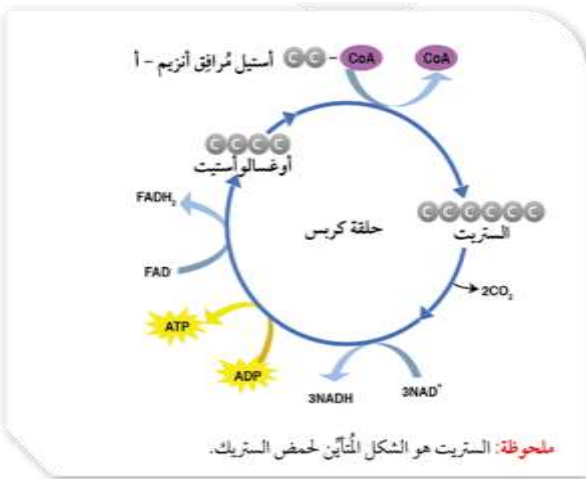


- **ملاحظة :**
  - **نواتج اكسدة مركب واحد بيروفيت هي 1NADH + 1 CO2**
  - **اما كمرحلة كاملة اكسدة جزيئان بيروفيت فينتج (2 CO2 + 2NADH**
  - **وينتج من جزيء واحد غلوكوز ------- > 2 جزيء استيل مرافق انزيم –أ**

2- حلقة كربس (حلقة حمض الستريك) :
تسمى بهذا الاسم نسبة للعالم الذي اكتشفها وتحدث في حشوة الميتوكندريا .

- **خطواتها :**

1- تفاعل استيل مرافق انزيم أ (ثنائي الكربون) مع مركب رباعي الكربون يسمى اوغسالواسيتيت فينتج الستريت (مركب سداسي الكربون) وهو الشكل المتأين لحمض الستريك ويتحرر مرافق انزيم - أ.
2- يدخل الستريت سلسلة تفاعلات يفقد خلالها جزيئي 2CO2 ليعاد انتاج مركب اوغسالواسيتيت.
3- في اثناء هذه التفاعلات تختزل 3 جزيئات NAD+ الى 3NADH ويختزل جزيء واحد FAD الى FADH2 وينتج من هذه التفاعلات جزيء واحد ATP بشكل مباشر .



حلقة كربس يجب ان تكرر مرتين لكل جزيء واحد غلوكوز.

اذاً نواتج حلقة كربس دورة واحدة

$1ATP + 1FADH_2 + 3NADH + 2CO_2$

ونواتج حلقة كربس دورتان (كمرحلة كاملة لجزيء غلوكوز واحد

$2ATP + 2FADH_2 + 6NADH + 4CO_2$

3-<u>الفسفرة التاكسدية : (سلسلة نقل الالكترون والاسموزية الكيميائية)</u>

عملية انتاج جزيئات ATP عن طريق سلسلة نقل الالكترون والاسموزية الكيميائية وتتضمن تفاعلات اكسدة واختزال كما يلي :

- تتكون سلسلة نقل الالكترون من مجموعة مكونات معظمها بروتينات ناقلة وانزيمات توجد في الغشاء الداخلي للميتوكندريا (الأعراف) والتي تكون مساحتها كبيرة لزيادة مساحة سطح التفاعلات .

- تستقبل هذه السلسلة الالكترونات الناتجة من أكسدة NADH و$FADH_2$ وتنتقل هذه الالكترونات من بروتين ناقل لاخر عبر سلسلة نقل الالكترون حتى تصل الى مستقبلها النهائي (الاكسجين)

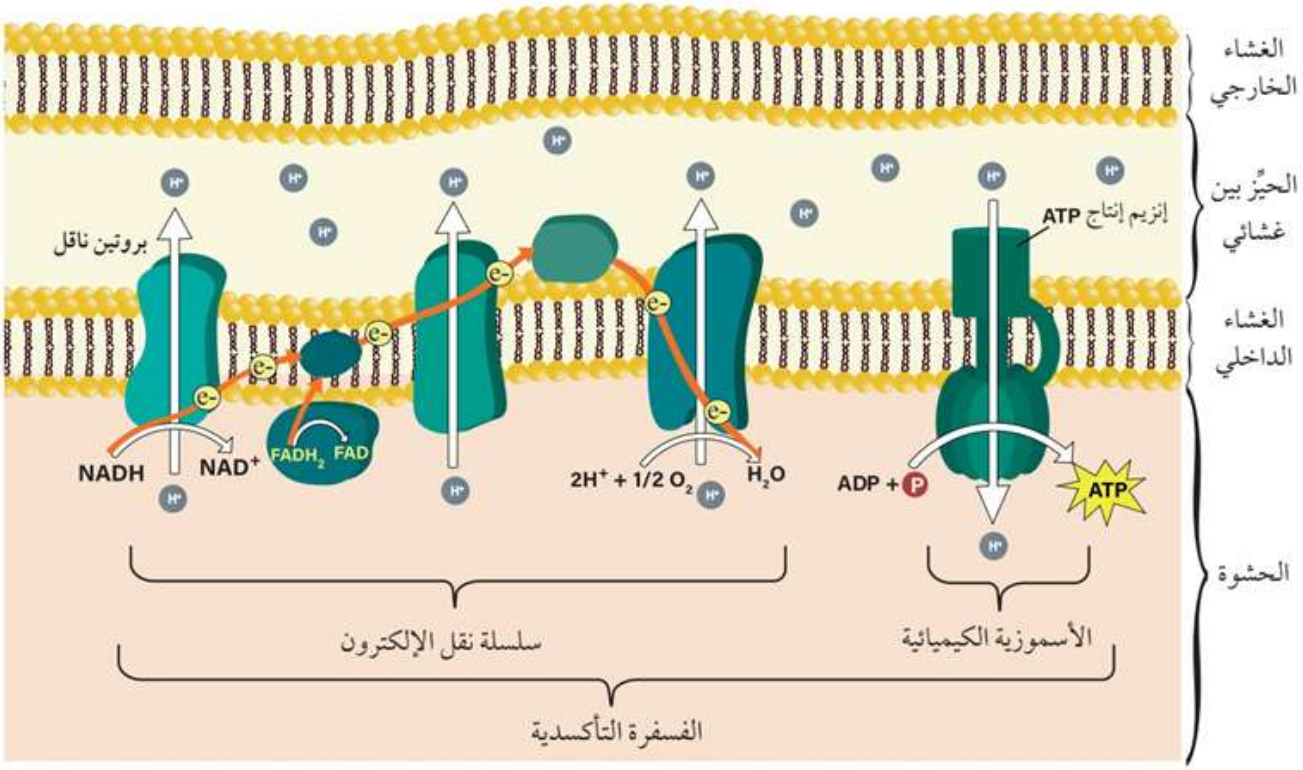
- تستخدم سلسلة نقل الالكترون الطاقة المتدفقة خلال انتقال الالكترونات الناتجة من اكسدة NADH و$FADH_2$ عبر النواقل في ضخ البروتونات (H+) من الحشوة الى الحيز بين غشائي فينتج فرق في تركيز (H+) بين الحيز بين غشائي والحشوة ليصبح تركيز H+ في الحيز بين غشائي اعلى .

- وبعد ذلك تعود البروتونات H+ نتيجة فرق التركيز على جانبي غشاء الميتوكندريا الداخلي (الأعراف) الى الحشوة

عن طريق انزيم انتاج ATP بعملية تسمى الاسموزية الكيميائية وتحدث فسفرة ADP الى ATP بواسطة هذا الانزيم

- وتصل الالكترونات المنقولة في هذه السلسلة الى مستقبلها النهائي وهو الاكسجين وتتحد معه ومع البروتونات لانتاج الماء . كما توضح المعادلة :

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



ملاحظة :

اثناء الفسفرة التاكسدية يتم انتاج ATP حسابيا كما يلي :

كل جزيء NADH ينتج 2.5 ATP ولتسهيل الحساب 3ATP

كل جزيء $FADH_2$ ينتج 1.5 ATP ولتسهيل الحساب 2ATP

- **حسابات على التنفس الخلوي :**

(ملاحظة : مفتاح الحل عدد جزيئات الغلوكوز / الحسابات عبارة عن نسبة وتناسب)

1- اذا تم دخول 2 غلوكوز مراحل التنفس الخلوي ، اوجد ما يلي :

- **عدد جزيئات الاكسجين اللازمة ؟**
- **عدد جزيئات الماء الناتجة ؟**
- **عدد جزيئات البيروفيت الناتجة ؟**
- **عدد جزيئات ATP الناتجة من التحلل الغلايكولي بشكل مباشر ؟**
- **عدد جزيئات NADH الناتجة من اكسدة البيروفيت الى استيل COA ؟**
- **عدد جزيئات $FADH_2$ الناتجة ؟**
- **عدد جزيئات NADH الناتجة من كربس ؟**
- **عدد جزيئات CO_2 الناتجة من كربس ؟**

2- اذا تم انتاج 8 CO2 من مرحلة اكسدة البيرفيت الى استيل COA ، اوجد ما يلي :

- **عدد جزيئات NADH الناتجة من التحلل الغلايكولي ؟**
- **عدد جزيئات ATP الناتجة بشكل مباشر من التنفس الهوائي ؟**
- **عدد جزيئات الماء ؟**
- **عدد جزيئات CO2 الناتجة من كربس ؟**
- **عدد جزيئات FADH2 الناتجة من كربس ؟**

3- اذا تم حدوث حلقة كربس اثناء التنفس الهوائي 12 مرة (دورة) أوجد ما يلي :

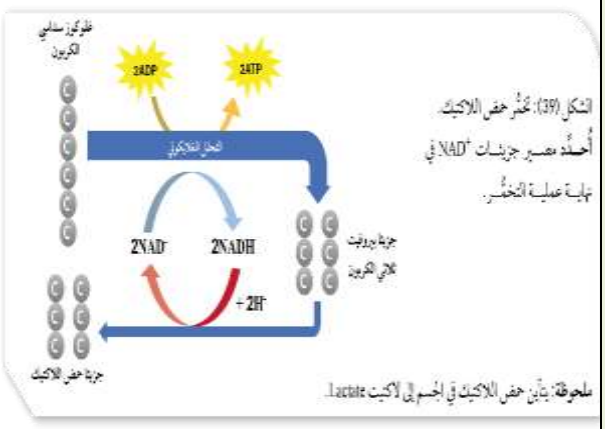
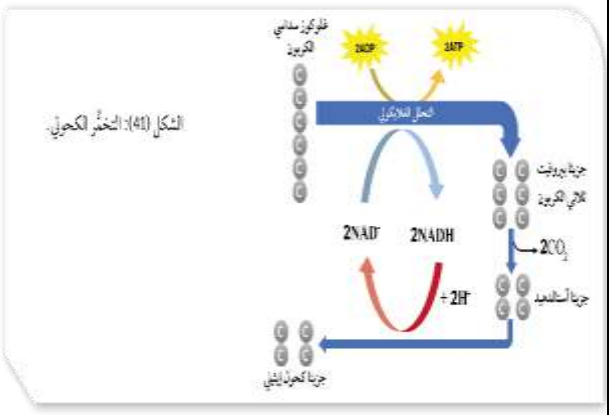
- **عدد جزيئاتNADH الناتجة من اكسدة البيروفيت الى استيل COA ؟**
- **عدد جزيئات ATP الناتجة من اكسدة جزيئات NADH والتي تم انتاجها من حلقة كربس ؟**
- **عدد جزيئات الماء الناتجة ، وعدد الالكترونات اللازمة لها ؟**
- **عدد جزيئات ATP الناتجة بشكل مباشر أو غير مباشر من التحل الغلايكولي ؟**

- **<u>التنفس اللاهوائي والتخمر :</u>**

تعمل بعض الخلايا على اكسدة المواد العضوية وإنتاج طاقة ATP دون استخدام الاكسجين عن طريق التنفس اللاهوائي والتخمر وتحدث العمليتان في السيتوسول .

وجه المقارنة	التنفس اللاهوائي	التخمر
الموقع	السيتوسول في بيئة تخلو من الاكسجين	السيتوسول عند عدم توافر كميات كافية من الاكسجين
استخدام سلسلة نقل الالكترون	تستخدم ولا يكون الاكسجين مستقبل نهائي للالكترونات	لا تستخدم فلا يكون الاكسجين مستقبل نهائي للالكترونات
المستقبل النهائي للالكترونات والناتج	الكبريتات تستقبل الالكترونات لانتاج كبريتيد الهيدروجين (H_2S)	البيروفيت او احد مشتقاته يستقبل الالكترونات كمستقبل نهائي ليعاد استخدام +NAD في التحلل الغلايكولي مرة أخرى
مثال	بكتيريا اختزال الكبريتات التي تعيش في بيئة تخلو من الاكسجين	أنواع من البكتيريا والفطريات والعضلات الهيكلية والخميرة
الناتج النهائي	كبريتيد الهيدروجين H2S وهو مركب غير عضوي	حمض الاكتيك او كحول ايثيلي

- مقارنة التخمر اللبني (حمض الاكتيك) والتخمر الكحولي عند اكسدة جزيء واحد غلوكوز :

وجه المقارنة	التخمر اللبني (حمض الاكتيك)	التخمر الكحولي
الموقع	السيتوسول (حدوث تحلل غلايكولي)	السيتوسول (حدوث تحلل غلايكولي)
الخطوات	- تحلل غلايكولي وإنتاج جزيئا بيروفيت - تحويل البروفيت الى حمض الاكتيك (تخمر حمض الاكتيك) يتأين احياناً حمض الاكتيك في الجسم الى لاكتيت	- تحلل غلايكولي وإنتاج جزيئا بيروفيت - تحويل البروفيت الى مركب ثنائي الكربون يسمى اسيتالدهايد - ويتحرر غاز CO_2 من كل جزيء بيروفيت - يختزل اسيتالدهايد الى كحول ايثيلي
الشكل		
الموقع	يعض أنواع البكتيريا والفطريات والعضلات الهيكلية (الانسان) عن عدم توافر كميات كافية من الاكسجين	بعض أنواع البكتيريا اللاهوائية ، الخميرة
النواتج من جزيء غلوكوز	2 ATP + جزيئا حمض الاكتيك	2 ATP + $2CO_2$ + جزيئا كحول اثيلي
الاستخدام في الصناعة	صناعة اللبن : تعمل البكتيريا والفطريات التي تحول البيروفيت الى حمض الاكتيك في صناعة الاجبان والالبان فتحلل البكتيريا سكر الاكتوز في الحليب وتحوله الى حمض الاكتيك فيتحول الحليب الى لبن	صناعة العجين : تستخدم الخميرة في صناعة المعجنات اذ يعمل غاز CO_2 الناتج من التخمر الكحولي في زيادة حجم العجين وارتفاعه وعند وضعه في الفرن يتمدد غاز CO_2 مما يؤدي الى انتفاخ المعجنات والخبز ونضجه

ملاحظة : تم تصنيف انواع التخمر حسب الناتج النهائي

- **مقارنة بين التنفس الخلوي بوجود الاكسجين و التنفس اللاهوائي والتخمر :**

وجه المقارنة	التنفس الخلوي (الهوائي) (بوجود كميات كافية من الاكسجين)	التنفس اللاهوائي أو التخمر
وجود الاكسجين	بوجود الاكسجين	عدم وجود الاكسجين (تنفس لاهوائي) او عدم توافره بكميات كافية (تخمر)
المراحل	التحلل الغلايكولي والتنفس الهوائي	التحلل الغلايكولي فقط
الموقع	السيتوسول + الميتوكندريا	السيتوسول فقط
انتاج CO_2	6 CO_2	2 CO_2 في التخمر الكحولي فقط
انتاج ATP	38 ATP	2 ATP
المستقبل النهائي للالكترونات	الاكسجين	الكبريتات او البيروفيت ومشتقاته
مكان الحدوث	خلايا الانسان وعضلاته الهيكلية في بداية النشاط العضلي عند توافر الاكسجين بكميات كافية	البكتيريا اللاهوائية وبعض أنواع الفطريات والخميرة وعضلات هيكلية عند الانسان في نهاية النشاط العضلي عند عدم توافر الاكسجين بكميات كافية

- **ملاحظة :**

1- التنفس الهوائي :
لكل جزيء واحد غلوكوز ينتج 2 بيروفيت + 2ATP
وتكون الكبريتات مستقبل نهائي للالكترونات لانتاج كبريتيد الهيدروجين .

2- التخمر اللبني :
لكل جزيء واحد غلوكوز ينتج 2 حمض اللبن (اللاكتيك) + 2ATP
كل جزيء لاكتيك يحتوي 3 ذرات كربون .

3- التخمر الكحولي :
لكل جزيء واحد غلوكوز ينتج 2 كحول ايثيلي (ايثانول) + 2ATP + 2CO2
كل جزيء ايثيلي يحتوي 2 ذرات كربون .

- **حسابات :**

1- اذا دخلت 3 جزيئات من الغلوكوزمراحل التخمر اللبني ، اوجد ما يلي :
- **عدد جزيئات CO2 الناتجة ؟**
- **عدد جزيئات ATP الناتجة ؟**
- **عدد جزيئات حمض اللبن الناتجة ؟**

2- اذا تم انتاج 16 من CO2 اثناء تخمر العجين ، اوجد ما يلي :
- **عدد جزيئات ATP ؟**
- **عدد جزيئات الكحول الناتجة ؟**
- **عدد جزيئات حمض اللبن ؟**

3- اذا تناول انسان 100 جزيء من اللاكتوز ودخل الى مبارة مستخدما هذه الجزيئات فقط ، وتم استهلاك 80 جزيء منها بوجود الاكسجين بكميات كافية ، لوجد ما يلي :
- **عدد جزيئات ATP الناتجة من التنفس الخلوي ؟**
- **عدد جزيئات ATP الناتجة من التخمر اللبني عند نهاية المباراة ؟**
- **عدد جزيئات حمض اللبن الناتجة ؟**

اسئلة الكتاب :

أتحقق ص45: بناء جزيئات كبيرة ومُعقَّدة من جزيئات بسيطة وتخزين الطاقة في روابطها.

سؤال الشكل 40 ص 47:
ينتج جزيء واحد CO_2، وجزيء واحد NADH، بالإضافة إلى جزيء أستيل مُرافق إنزيم - أ.

أتحقق ص4: جزيئان CO_2، وجزيئان NADH، بالإضافة إلى جزيئين أستيل مُرافق إنزيم - أ.

أُفكّر ص 47: جزيئان.

سؤال الشكل 41 ص 47:
(4) جزيئات من CO_2، وجزيئان من ATP، و (6) جزيئات من NADH، وجزيئان من $FADH_2$.

أتحقق ص 49:
التحلُّل الغلايكولي: في السيتوسول.
أكسدة البيروفيت إلى مُرافِق إنزيم – أ: في الحشوة داخل الميتوكندريا.
حلقة كربس: في الحشوة داخل الميتوكندريا.
الفسفرة التأكسدية: في غشاء الميتوكندريا الداخلي.

أتحقق ص 50:
التنفس اللاهوائي: الكبريتات. التخمُّر: البيروفيت أو أحد مشتقاته.

سؤال الشكل 43 ص 50: يعاد استخدامها في التحلُّل الغلايكولي.

أتحقق ص 51

أ. جزيئان

ب.

وجه المقارنة	التخمَّر في الخميرة (التخمُّر الكحولي)	التخمر في إحدى الخلايا العضلية (تخمُّر حمض اللاكتيك)
أوجه التشابه	- يحدث فيها التحلل الغلايكولي، وينتج جزيئان من البيروفيت. - ينتج جزيئان ATP.	- يحدث فيها التحلل الغلايكولي، وينتج جزيئان من البيروفيت. - ينتج جزيئان ATP.
أوجه الاختلاف	- يتحول كل جزيء بيروفيت إلى مركب ثنائي الكربون يسمى أسيتالدهيد. - يُختزَل أسيتالدهيد إلى كحول إيثيلي.	- يتحول كل جزيء بيروفيت إلى حمض اللاكتيك الذي يتأيَّن في الجسم إلى لاكتيت.
	ينتج: - جزيئان كحول إيثيلي. - جزيئان CO_2.	ينتج: - جزيئان من حمض اللاكتيك.

- **البناء الضوئي :**

هو سلسلة من التفاعلات تشمل امتصاص الطاقة الضوئية وتحويلها الى طاقة كيميائية مخزنة في المركبات العضوية كما توضح المعادلة .

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

ثاني أكسيد الكربون + ماء ← غلوكوز + اكسجين

- **تركيب البلاستيدة الخضراء : هي العضية التي تحدث فيها عملية البناء الضوئي وتتكون من :**

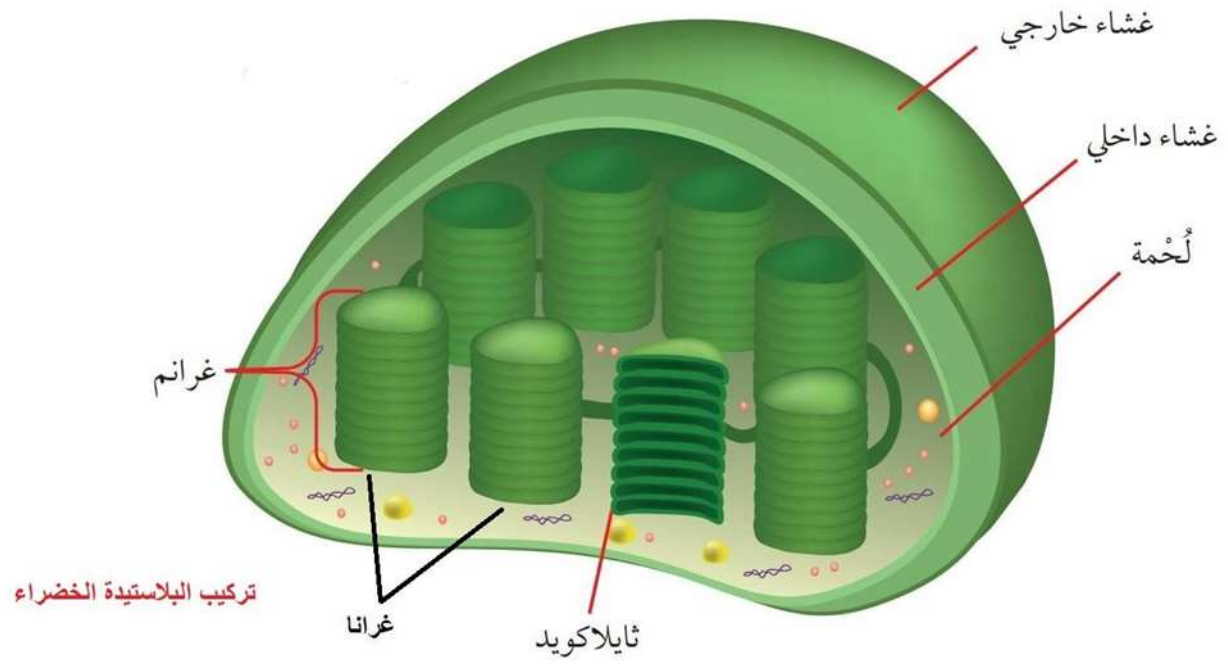
أ – غشاء خارجي وغشاء داخلي : يحيطان بالثايلاكويدات .

ب – الثايلاكويدات : هي مجموعة من الاكياس الغشائية على هيئة أقراص تترتب فوق بعضها تسمى غرانم ومجموعها غرانا .

ج – اللحمة : سائل كثيف يملأ الفراغات المحيطة بالثايلاكويدات وتحتوي DNA ورايبوسومات مما يعطيها القدرة على التضاعف الذاتي وبناء البروتينات اللازمة لعمليات البناء الضوئي .

- **ملاحظة :**

تحتوي اغشية الثايلاكويدات على الكلوروفيل واصباغ أخرى تمتص الطاقة الضوئية كما تحتوي بعض الانزيمات ونواقل الالكترونات .



- **النظامان الضوئيان الاول والثاني :**

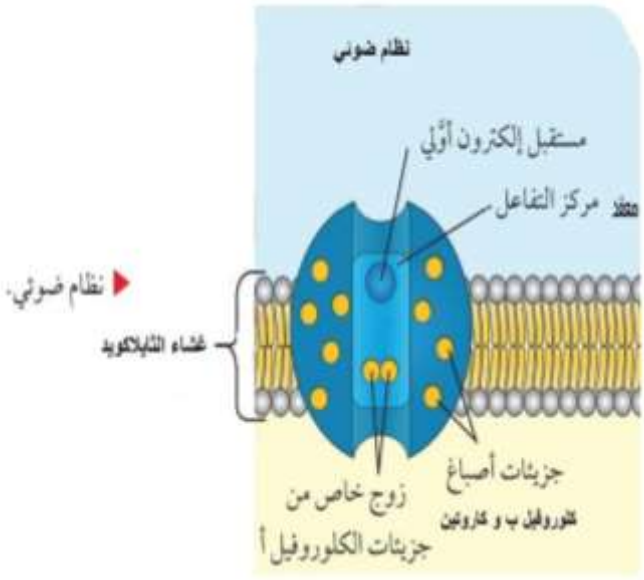
تحتوي اغشية الثايلاكويد على نظامين ضوئيين هما (النظام الضوئي الأول ، النظام الضوئي الثاني) .

- **النظام الضوئي : نظام اصباغ يوجد في اغشية الثايلاكويد ويتكون من :**

أ- معقد مركز التفاعل : يتكون من :

1- زوج خاص من كلورفيل أ

2- مستقبل الكترون أولي .



ب- اصباغ اخرى :

تحيط بمركز التفاعل مثل كلوروفيل ب + صبغة الكاروتين .

- **هناك نظامان في أغشية الثايلاكويد هما :**

1 – نظام ضوئي اول (P700) : لان الكلوروفيل أ في معقد مركز التفاعل يمتص ضوء طوله الموجي 700 نانوميتر بأقصى فاعلية

2 – نظام ضوئي ثاني (P680) : لأن الكلوروفيل أ – يمتص ضوء طوله الموجي 680 نانوميتر بأقصى فاعلية

*** مراحل البناء الضوئي : تمر عملية البناء الضوئي بمرحلتين هما :**

- التفاعلات الضوئية : تحتاج ضوء وتحدث في اغشية الثايلاكويدات

- التفاعلات اللاضوئية : (المظلمة) (حلقة كالفن) : لا تحتاج الى ضوء وتحدث في اللحمة .

- **التفاعلات الضوئية : تصنف الى مسارين هما : (ضوئية لا حلقية ، ضوئية حلقية)**

1- مسار التفاعلات الضوئية اللاحلقية :

يشارك النظام الضوئي PSI والنظام الضوئي PSII في التفاعلات الضوئية اللاحلقية اذا تمتص جزيئات الصبغة الطاقة الضوئية وتستخدمها في استثارة الكترونات في كلا النظامين .

- **وتحدث التفاعلات الضوئية اللاحلقية :**

- **تبدأ هذه التفاعلات بأمتصاص جزيء صبغة واحد في النظام الضوئي الثاني PSII الطاقة الضوئية مما يؤدي الى استثارة الكترون فيه وينتقل الى مستوى طاقة اعلى .**

- **تمر هذه الطاقة من جزيء صبغة لأخر حتى تصل الى زوج كلوروفيل أ في معقد مركز التفاعل P680 فيستثار الكترون فيه.**
ونظراً لامتلاك زوج كلوروفيل أ مقدرة خاصة على نقل الالكترون الى جزيء مختلف فأن هذا الالكترون المستثار ينتقل الى مستقبل الكترون اولي في النظام الضوئي الثاني P680 .

- **يعمل انزيم على تحلل الماء في فراغ الثايلاكويد (داخل الثايلاكويد) وينتج من هذا التحلل لكل جزيء ماء الكترونان + بروتونان وذرة اكسجين كما توضح المعادلة :**

$$H_2O \xrightarrow{\text{انزيمات}} 2H^+ + 2e^- + \tfrac{1}{2}\, O_2$$

- **وتعمل الالكترونات الناتجة من تحلل جزيء الماء الى تعويض الالكترونات التي فقدها زوج الكلوروفيل – أ من مركز التفاعل في النظام الضوئي الثانيPSII**
اما ذرة الاكسجين الناتجة فأنها تتحد مع ذرة اكسجين أخرى ناتجة من تحلل جزيء اخر ماء فينتج جزيء O2 .

- **تنطلق الالكترونات من المستقبل الاولي في النظام الضوئي الثاني PSII الى النظام الضوئي الأول PSI خلال سلسلة نقل الالكترونات (نواقل الكترونات مثل السيتوكرومات) واثناء انتقال الالكترونات تفقد جزء من طاقتها في نقل البروتونات (H+) من اللحمة الى فراغ الثايلاكويد فينتج فرق في تركيز البروتونات بين فراغ الثايلاكويد واللحمة.**

- **-تستخدم الطاقة الناتجة من فرق تركيز البروتونات +H بين فراغ الثايلاكويد واللحمة في عودة البروتونات من فراغ الثايلاكويد الى اللحمة عن طريق الاسموزية الكيميائية بحيث يتم فسفرة جزيئات ADPالى ATP عن طريق انزيم انتاج. ATP**

- **وبصورة مشابهة يمتص جزيء صبغة واحد من النظام الضوئي الأول PSI الطاقة الضوئية فيستثار الكترون فيه وينتقل لمستوى طاقة اعلى .**

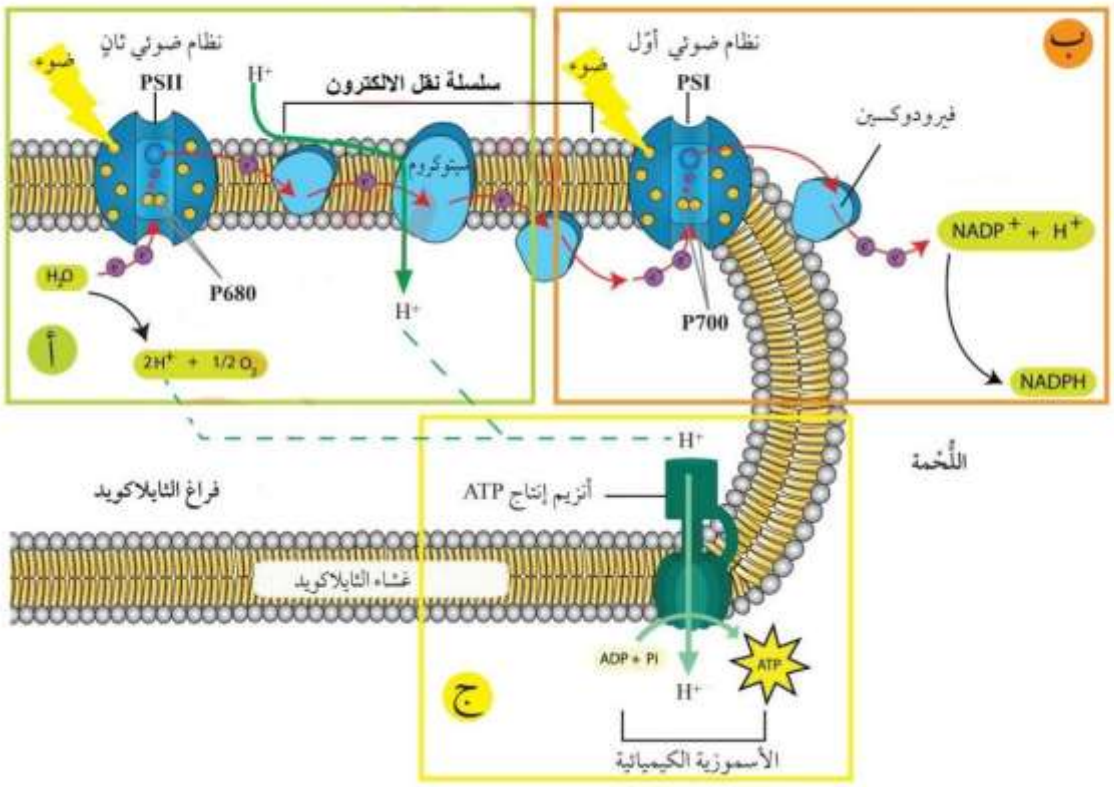
- **تمرر هذه الطاقة من جزيء صبغة لأخر حتى تصل الى زوج كلوروفيل أ في مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول PSI فيستثار الكترون فيه .**

- **نظراً لامتلاك زوج الكلوروفيل أ القدرة على نقل الالكترونات المستثارة الى جزيء مختلف فأن هذا الالكترون المستثار ينتقل الى مستقبل اولي في النظام الضوئي الأول (P700) .**

- ثم تنتقل هذه الالكترونات من مستقبل الكترون اولي في النظام الضوئي الأول عبر سلسلة نقل الكترون وبروتين فيرودوكسين الى مستقبلها النهائي هو جزيء NADP+ فيختزل هذه الجزيء بأستخدام الالكترونات والبروتونات الموجودة في اللحمة الى NADPH كما توضح المعادلة :

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

التفاعلات الضوئية اللاحلقية



يتم تعويض الالكترونات المفقودة من زوج كلوروفيل أ في النظام الضوئي الأول من الالكترونات التي انتقلت اليه من النظام الضوئي الثاني عبر سلسلة نقل الالكترون

ويتم تعويض الالكترونات المفقودة من زوج كلوروفيل أ في النظام الضوئي الثاني من الالكترونات الناتجة من تحلل جزيء الماء .

نواتج التفاعلات الضوئية اللاحلقية هي NADPH + ATP والتي تستخدم في التفاعلات اللاضوئية (حلقة كالفن)لاحقاً

ملاحظة : مصير الالكترونات المنطلقة من مركز التفاعل في التفاعلات الضوئية اللاحلقية .

1- الالكترونات المنطلقة من مركز التفاعل في النظام الضوئي الثاني تعوض الالكترونات المنطلقة من مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول .

2- الالكترونات المنطلقة من مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول تستخدم في اختزال $NADP^+$ ⟵ NADPH في اللحمة .

الربط بالفيزياء : قانون حفظ الطاقة

وفقاً لهذا القانون فإن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم ولكنها تنتقل من صورة الى أخرى لاحظ تحولات الطاقة .

من طاقة ضوئية الى طاقة تمتلكها الكترونات مستثارة ثم الى طاقة كيميائية تختزن في جزيئات ATP

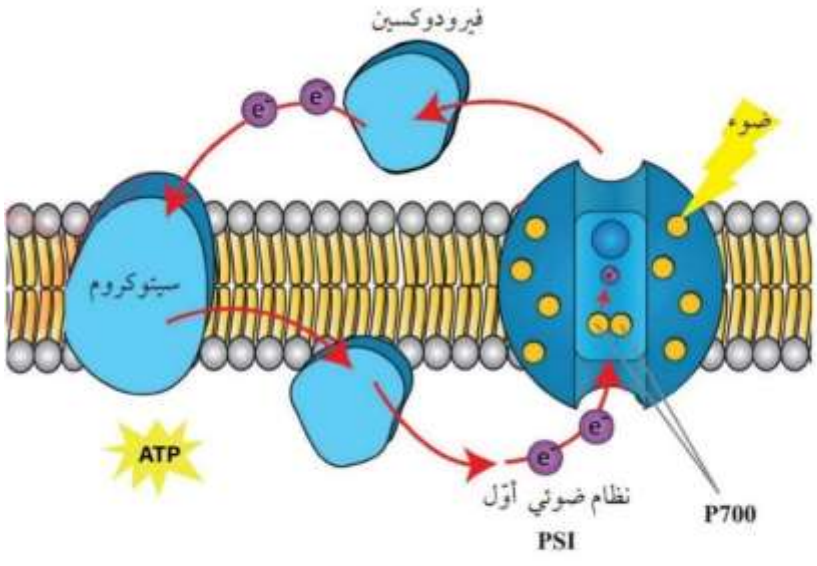
2-مسار التفاعلات الضوئية الحلقية :

تحدث التفاعلات الضوئية الحلقية في النظام الضوئي الأول PSI فقط لانتاج ATP كما يلي :

- تسري الالكترونات المستثارة بفعل الضوء من جزيئا كلوروفيل أ في النظام الضوئي الأول الى مستقبل الالكترونات الأولي ثم الى بروتين فيرودوكسين واثناء انتقالها تعمل على انتاج جزيئات ATP .

- تعود الالكترونات مرة أخرى عبر السيتوكروم الى مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول P700 الذي انطلقت منه لذلك اطلق على هذه التفاعلات التفاعلات الضوئية الحلقية .

- نواتج التفاعلات الضوئية الحلقية هي ATP فقط



التفاعلات الضوئية الحلقية

- **مقارنة بين التفاعلات الضوئية الحلقية واللاحلقية :**

وجه المقارنة	تفاعلات ضوئية لاحلقية	تفاعلات ضوئية حلقية
النظام الضوئي المشارك	نظام ضوئي اول يمتص ضوء 700 nm ونظام ضوئي ثاني يمتص ضوء 680nm	نظام ضوئي اول يمتص ضوء 700nm
مصير الالكترونات المستثارة	- الالكترونات المستثارة من النظام الضوئي الثاني تنتقل الى مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول . - الالكترونات المستثارة من النظام الضوئي الأول تستخدم في اختزال +NADP الى NADPH	الالكترونات المستثارة من النظام الضوئي الأول تعود مرة أخرى الى مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول .
تعويض الالكترونات المستثارة	- تعويض الالكترونات المستثارة من النظام الضوئي الأول من الكترونات النظام الضوئي الثاني . - تعوض الالكترونات المستثارة من النظام الضوئي الثاني من تحلل الماء في فراغ الثايلاكويد	تعوض الالكترونات المستثارة من النظام الضوئي الأول مرة أخرى من نفس الالكترونات المستثارة
سبب التسمية	لان الالكترونات المستثارة من كل نظام لا تعود الى نفس النظام الضوئي الذي انطلقت منه وتصل الى مستقبلها النهائي +NADP لاختزاله الى NADPH في اللحمة	لان الالكترونات المستثارة تعود الى نفس النظام الضوئي الذي انتقلت منه
الحاجة للماء	تحتاج ماء	لا تحتاج ماء
النواتج	NADPH , ATP اكسجين	ATP فقط

- **حلقة كالفن :**

تحدث تفاعلات حلقة كالفن في اللحمة اذ تحتوي اللحمة على المواد والانزيمات اللازمة لحدوثها .

ويتم في هذه المرحلة تصنيع المركبات العضوية باستخدام ثاني أكسيد الكربون ونواتج التفاعلات الضوئية (NADPH + ATP) لبناء مركبات عضوية مثل الغلوكوز .

- **وتمر بثلاث مراحل :**

1- مرحلة تثبيت الكربون
2- مرحلة الاختزال
3- مرحلة اعادة تكوين مستقبل CO2 (رايبولوز)

- **مرحلة تثبيت الكربون :**

- **يربط انزيم روبسكو ثلاث جزيئات من CO_2 مع ثلاث جزيئات من مستقبلو CO2 وهو السكر الخماسي (رايبلوز ثنائي الفوسفات) .**
- **ينتج ثلاث جزيئات من مركب سداسي الكربون وهو مركب وسطي غير مستقر والذي ينشطر كل مركب وسطي سداسي الكربون الى مركب ثلاثي الكربون يسمى حمض غليسرين احادي فوسفات (PGA) فينتج ستة مركبات (PGA) 6 ويطلق على عملية ربط CO_2 مع السكر الخماسي رايبولوز ثنائي الفوسفات اسم عملية تثبيت الكربون .**

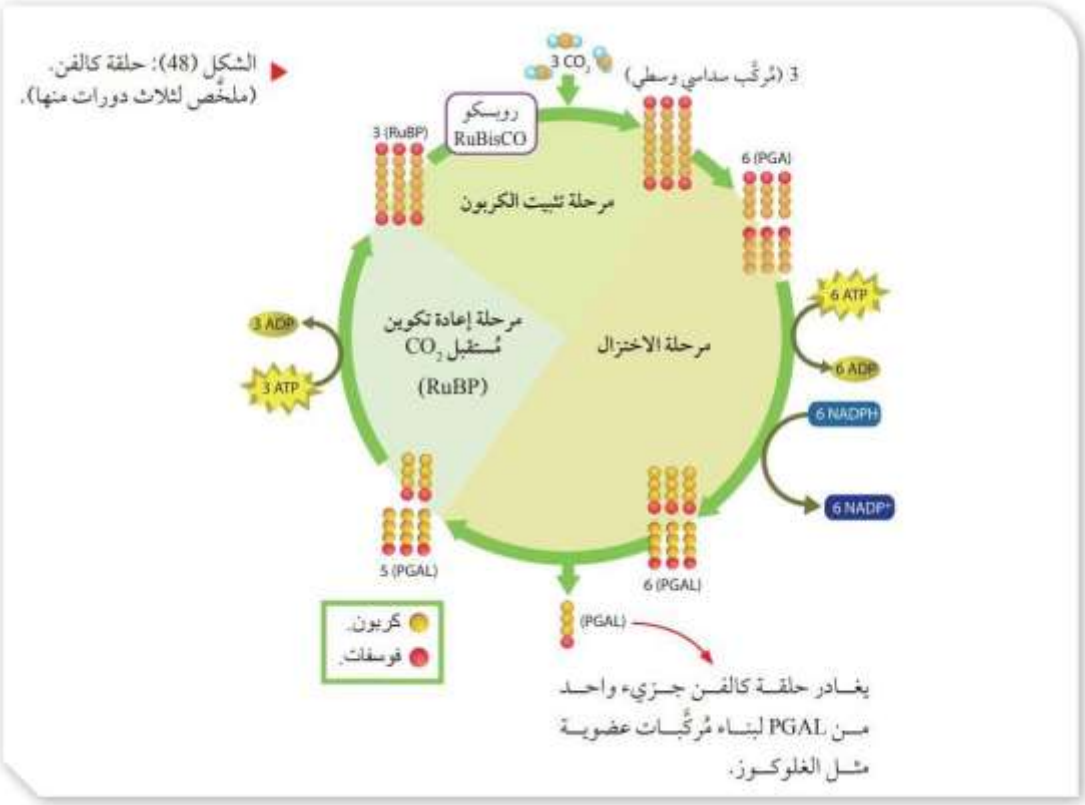
- **مرحلة الاختزال :**

- يتم في هذه المرحلة اختزال كل جزيء من حمض غليسرين احادي فوسفات (PGA) الى غليسرالدهايد احادي فوسفات (PGAL) .
- ويستخدم اثناء عملية الاختزال هذه الطاقة ، ستة جزيئات (6 ATP) وستة جزيئات (6 NADPH) لانتاج ستة جزيئات (PGAL) 6 .
- يغادر حلقة كالفن جزيء واحد (PGAL) لبناء مركبات عضوية مثل الغلوكوز .
- ويبقى خمس جزيئات (PGAL) 5 في حلقة كالفن لتكرار الحلقة .

- **مرحلة اعادة تكوين مستقبل CO2 (رايبولوز) :**

- تدخل خمسة جزيئات (5PGAL) المتبقية في سلسلة من التفاعلات المعقدة لاعادة تكوين ثلاث جزيئات من السكر الخماسي رايبولوز ثنائي الفوسفات (RUBP) 3 من جديد.

- يتم استهلاك طاقة لهذه التفاعلات بأستخدام ثلاث جزيئات (ATP) 3 .



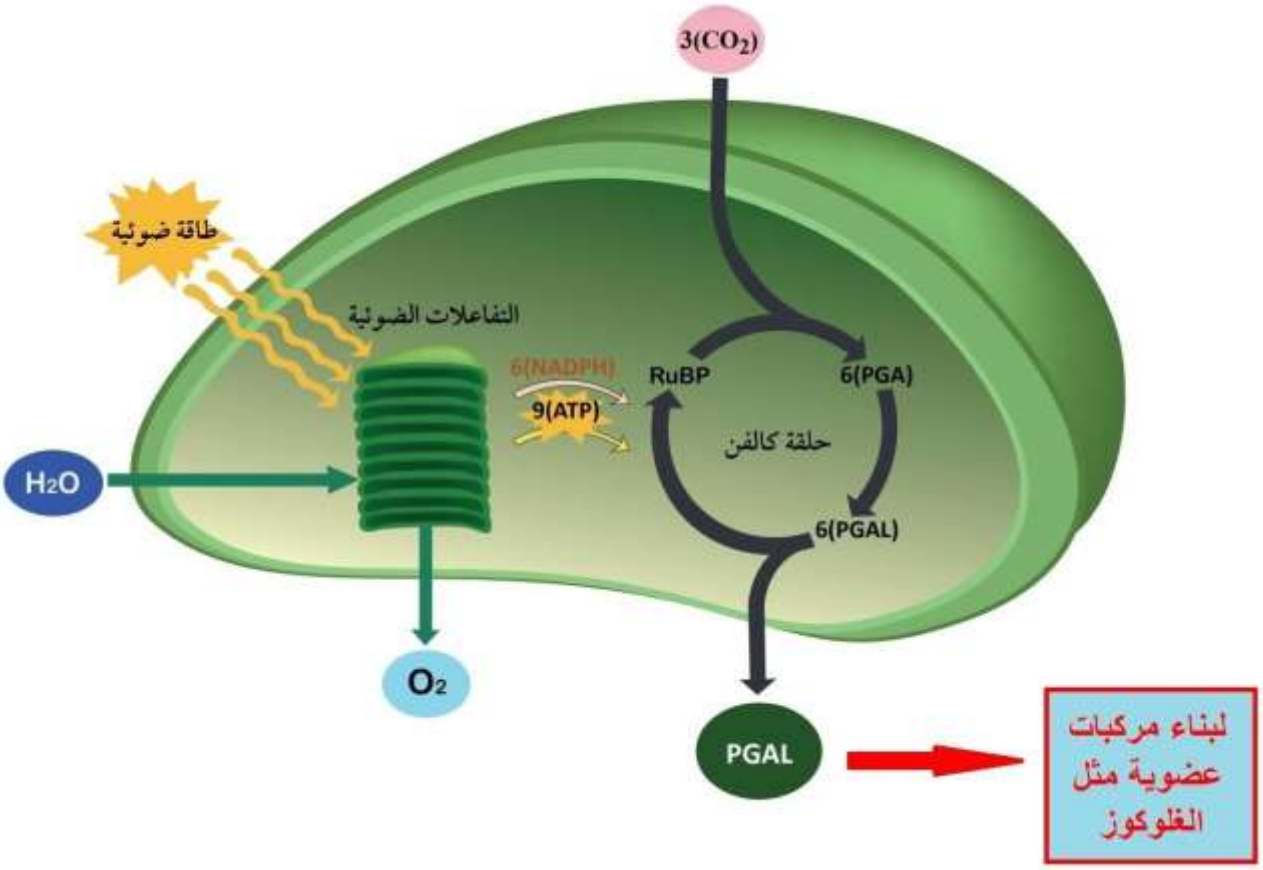
حلقة كالفن (3 دورات) تحتاج (3 CO_2 + 6 NADPH + 9 ATP) لانتاج جزيء واحد (PGAL) والذي يغادر الحلقة لبناء غلوكوز .
9 جزيئات ATP تستهلك كما يلي (6 في مرحلة الاختزال + 3 في مرحلة اعادة تكوين مستقبل CO_2)

- لانتاج جزيء غلوكوز واحد من حلقة كالفن يلزم
(2 PGAL) (6 دورات + 6 CO_2 + 12 NADPH + 18 ATP)

كل دورة في حلقة كالفن ينتج 2 PGA من مركب واحد رايبولوز ثنائي الفوسفات وجزيء واحد CO_2 يتم تثبيته من الجو بواسطة انزيم روبيسكو

عدد ذرات الكربون في خمسة جزيئات (5 PGAL) تساوي 15 ذرة والتي تدخل سلسلة تفاعلات معقدة لاعادة بناء وتكوين ثلاث جزيئات من السكر الخماسي رايبولوز ثنائي الفوسفات (RUBP) 3 والذي يحتوي ايضاً على نفس عدد ذرات الكربون وهو 15 ذرة
5 PGAL ← 3 RUBP تحتاج 3 ATP بحيث كل واحد رايبولوز ثنائي الفوسفات يعاد تكوينه يلزم واحد ATP

وجه المقارنة	تفاعلات ضوئية	تفاعلات لاضوئية (حلقة كالفن)
الحاجة الى طاقة ضوئية	تحتاج	لا تحتاج
المواد اللازمة	ماء + +NADP + ضوء ADP	ATP + CO_2 NADPH
المواد الناتجة	اكسجين + NADPH ATP	PGAL لبناء مركبات عضوية مثل الغلوكوز
الموقع	الثايلاكويدات في البلاستيدة الخضراء	اللحمة في البلاستيدة الخضراء



الربط بالتكنولوجيا : البناء الضوئي الصناعي

للحد من المشكلات البيئية الناجمة عن استخدام الوقود الاحفوري مثل التغير المناخي والاحتباس الحراري الذي يسببها انبعاث CO_2 وتوفير ما يلزم من موارد البيئة عالمياً ، فقد قام العلماء بإيجاد تقنيات رخيصة الثمن ونظيفة تحاكي عملية البناء الضوئي صناعياً مثل صناعة ورقة نبات صناعية يمكنها امتصاص الطاقة الشمسية وتحليل الماء لانتاج الهيدروجين +H واستخدامه وقود او استخدامه في انتاج أنواع أخرى من الوقود المتجددة والامنة والمستدامة وأيضا انتاج الغذاء والاسمدة والأدوية بكفاءة اكبر من كفاءة طاقة الكتلة الحيوية لاوراق النبات .

وجه المقارنه	الميتوكندريا	البلاستيدة الخضراء
عمليات الايض	التنفس الخلوي الهوائي	البناء الضوئي
مصدر الطاقة	الطاقة المخزنة في الروابط الكيميائية بين ذرات الكربون في الغلوكوز	الطاقة الضوئية
مصدر الالكترونات في سلسلة نقل الالكترون	اكسدة NADH و $FADH_2$	الالكترونات المستثارة بفعل الضوء من جزيئا كلوروفيل – أ في النظام الضوئي الأول والثاني وتحلل الماء
وصف حركة البروتونات اثناء الاسموزية الكيميائية	من الحيز بين الغشائي الى الحشوة	من فراغ الثايلاكويد الى اللحمة
المواد اللازمة لعمليات الايض	اكسجين + غلوكوز + انزيمات خاصة	ماء + CO_2 + ضوء + انزيمات خاصة
المواد الناتجة من عمليات الايض	$CO_2 + H_2O + ATP$	غلوكوز + اكسجين
التركيب	1 – غشاء خارجي املس 2- غشاء داخلي (اعراف) 3- حيز بين غشائي 4 - الحشوة	1 – غشاء خارجي 2 – غشاء داخلي 3 – ثايلاكويدات (غرانم) 4 - اللحمة

الربط بالتكنولوجيا : البناء الضوئي الصناعي

للحد من المشكلات البيئية الناجمة عن استخدام الوقود الاحفوري مثل التغير المناخي والاحتباس الحراري الذي يسببها انبعاث CO_2 وتوفير ما يلزم من موارد البيئة عالمياً ، فقد قام العلماء بإيجاد تقنيات رخيصة الثمن ونظيفة تحاكي عملية البناء الضوئي صناعياً مثل صناعة ورقة نبات صناعية يمكنها امتصاص الطاقة الشمسية وتحليل الماء لانتاج الهيدروجين H^+ واستخدامه وقود او استخدامه في انتاج أنواع أخرى من الوقود المتجددة والامنة والمستدامة وأيضا انتاج الغذاء والاسمدة والأدوية بكفاءة اكبر من كفاءة طاقة الكتلة الحيوية لاوراق النبات .

الاثراء والتوسع

البكتيريا والطاقة :

تعمل بعض الكائنات الحية الدقيقة الاهوائية على انتاج مواد عضوية بعملية تسمى البناء الكيميائي ، اذ تستخدم هذه الأنواع من الكائنات بعض المواد اللتي تتأكسد بسهولة بوصفها مصدراً للالكترونات مثل H_2S بدلاً من الماء كما في بعض أنواع الاثريات وبكتيريا المياه الحارة التي تعيش في بيئة لا يصلها الضوء, وبكتيريا الكبريت

يمكن لبعض أنواع البكتيريا اللاهوائية اللتي تعيش في المناجم وفي قاع البحيرات ان تحصل على الطاقة عن طريق استخدام الالكترونات الموجودة في بيئتها المحيطة وقد اكتشف باحثون من جامعات أمريكية ان بكتيريا جيوباكتر تتخلص من الالكترونات التي توجد داخلها باستعمال شعيرات طويلة تنتشر على سطح البكتيريا وتتألف من الياف نانوية موصلة للكهرباء ويعتقد انها تتكون من بروتينات تشبه السايتوكرومات ويسعى العلماء للاستفادة من خصائص البكتيريا الموصلة للكهرباء لانتاج تكنولوجيا حية وصديقة للبيئة تستخدم في المجالات الطبية وتوليد الكهرباء وتعقيم المياه الجوفية .

- التفاعل الكيميائي : هو عملية انتاج مواد عضوية باستخدام مواد تتاكسد بسهولةبوصفها مصدرا للالكترونات مثل H_2S بدلا من الماء

- **اسئلة حسابية على حلقة كالفن :**

1- اذا تم استهلاك 36 NADPH اثناء حلقة كالفن ، فاوجد :

- **عدد جزيئات ATP المستهلكة في هذه التفاعلات ؟**

- **عدد جزيئات CO2 المتبقية ؟**

- **عدد الدورات ؟**

- **عدد جزيئات الغلوكوز الناتجة ؟**

2- تم تثبيت 12 CO_2 اثناء حلقة كالفن ، اوجد ما يلي :

- **عدد جزيئات PGA الناتجة في مرحلة تكوين الكربون ؟**

- **عدد جزيئات PGAL الناتجة بشكل نهائي ؟**

- **عدد جزيئات PGAL المتبقية لاعادة تكوين مستقبل CO_2 ؟**

- **عدد جزيئات ATP المستهلكة اثناء مرحلة الاختزال ؟**

- **عدد جزيئات ATP المستهلكة اثناء تكوين مستقبل CO2 ؟**

- **عدد جزيئات NADPH المستهلكة اثناء حلقة كالفن ؟**

- **عدد جزيئات الغلوكوز الناتجة ؟**

- **اسئلة الكتاب :**

أتحقق ص 53:

- يحتوي مُعقَّد مركز التفاعل على: زوج خاص من الكلوروفيل-أ، ومُستقبِل إلكترون أوَّلي، ويحاط معقّد مركز التفاعل بأصباغ أُخرى، مثل: الكلوروفيل-ب، والكاروتين.

- يسمى النظام الضوئي الأوَّل P700: لأنَّ الكلوروفيل-أ في مُعقَّد مركز التفاعل يمتص الضوء الذي طوله الموجي 700 nm بأقصى فاعلية. ويسمى النظام الضوئي الثاني P680: لأنَّ الكلوروفيل-أ في مُعقَّد مركز التفاعل يمتص الضوء الذي طوله الموجي 680 nm بأقصى فاعلية.

أُفكّر ص 54:

لأن الإلكترونات المنطلقة من كل نظام لا تعود مرة أخرى إلى النظام الضوئي الذي انطلقت منه.

سؤال الشكل 50 ص 55:

$NADP^+$

أتحقق ص 56:

في النظام الضوئي الأوَّل: الإلكترونات المُنتقِلة إليه عبر سلسلة نقل الإلكترون من مستقبِّل الإلكترون الأوَّلي من النظام الضوئي الثاني.

في النظام الضوئي الثاني: الإلكترونات الناتجة من تحلُّل الماء.

اتحقق ص 56 :

في التفاعلات اللاحلقية: تنطلق الإلكترونات من مُعقَّد مركز التفاعل في النظام الضوئي الثاني إلى مُعقَّد مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول، ومن مُعقَّد مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول إلى مُستقبلها النهائي وهو $NADP^+$.

أما في التفاعلات الحلقية: تعود الإلكترونات إلى P700 في النظام الضوئي الأول الذي انطلقت منه.

أتحقق ص 59:

أ.

الجزيئات	CO_2	ATP	NADPH
العدد اللازم	6	18	12

ب. كل جزيء PGAL يحوي (3) ذرات من الكربون، إذن عدد ذرات الكربون الموجودة في (5) جزيئات PGAL هو (15) ذرة كربون.

مراجعة الدرس ص 61:

1. عمليات الأيض هي تفاعلات كيميائية تتضمن: عمليات البناء؛ وهي مجموعة من التفاعلات الكيميائية التي تُبنى فيها جزيئات كبيرة ومعقدة من جزيئات بسيطة، مثل عملية البناء الضوئي. وعمليات الهدم، وهي مجموعة من التفاعلات الكيميائية التي تُحطَّم فيها بعض الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات أبسط لإنتاج الطاقة الكيميائية المخزنة في روابطها، مثل عملية التنفس الخلوي.

2. (أ). 1: غلوكوز، 2: جزيئا بيروفيت، 3: جزيئا أستيل مُرافِق إنزيم - أ،

4: دورتان من حلقة كربس، 5: فسفرة تأكسدية، 6: ATP.

(ب). (38) جزيء.

3. (أ). تثبيت CO_2: مرحلة تثبيت الكربون في حلقة كالفن.

(ب). تحلُّل H_2O: التفاعلات الضوئية اللاحلقية.

(ج). اختزال حمض الغليسرين أُحادي الفوسفات (PGA) إلى غليسر ألدهايد أُحادي الفوسفات (PGAL): مرحلة الاختزال في حلقة كالفن.

(د). إنتاج ATP: التفاعلات الضوئية.

4. (أ).

1. في سلسلة نقل الإلكترون في عملية التنفس الهوائي: الأكسجين.

2. في عملية التنفس اللاهوائي لبكتيريا اختزال الكبريتات: الكبريتات

(ب).

1. في سلسلة نقل الإلكترون في عملية التنفس الهوائي: الماء H_2O.

2. في عملية التنفس اللاهوائي لبكتيريا اختزال الكبريتات: كبريتيد الهيدروجين H_2S.

5. (أ). إنتاج ATP عند عدم توافر كمِّيات كافية من الأكسجين.

(ب). يتحلل كل جزيء ماء إلى إلكترونين وبروتونين، فتعوض الإلكترونات الناتجة من تحلله الإلكترونات التي فقدها زوج الكلوروفيل-أ من مُعقَّد مركز التفاعل في النظام الضوئي الثاني، وتُسهِّم البروتونات الناتجة عن تحلله في تكوين فرق في تركيز البروتونات بين فراغ الثايلاكويد واللُّحمة.

6. (أ). س: إنزيم إنتاج ATP، ص: ATP، ع: سلسلة نقل الإلكترون.

(ب). في الميتوكندريا: تعود البروتونات (H^+) نتيجة لفرق التركيز على جانبي غشاء الميتوكندريا الداخلي، من الحيّز بين غشائي إلى داخل الحشوة عن طريق إنزيم إنتاج ATP في عملية الأسموزية الكيميائية، وتحدث فيها فسفرة جزيئات ADP إلى ATP.

في البلاستيدات الخضراء: تعود البروتونات (H^+) من فراغ الثايلاكويد إلى اللحمة نتيجة لفرق التركيز بينهما، عن طريق إنزيم إنتاج ATP في عملية الأسموزية الكيميائية، وتحدث فيها فسفرة جزيئات ADP إلى ATP.

(ج). تزيد من مساحة السطح لحدوث التفاعلات الكيميائية.

7.

1	2	3	4	5
ب	ج	ب	أ	ج

انتهى الدرس الثالث