

المادة : العلوم الحياتية (رقم 3)

الاسم :

الوحدة الأولى : كيمياء الحياة / الدرس الثالث

الصف : الثاني عشر – المسار الأكاديمي

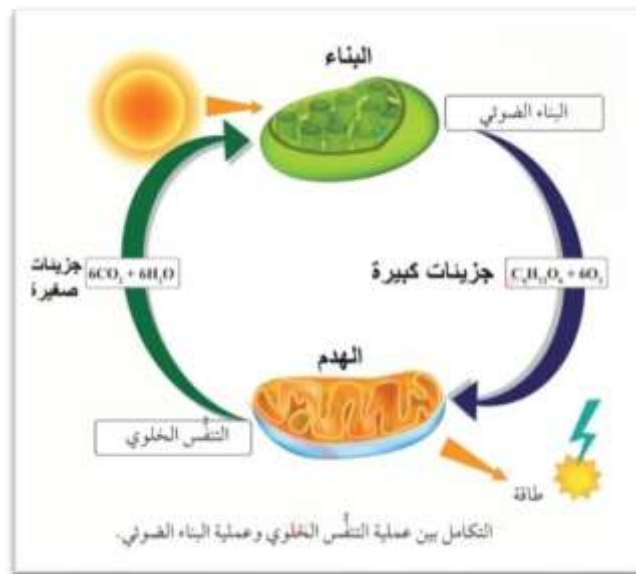
معلمة المادة : هبة سوداح

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 للأنشطة الحيوية .
- عمليات الأيض: الآف من التفاعلات الكيميائية داخل خلايا الكائن الحي وتشمل عمليات البناء وعمليات الهدم.

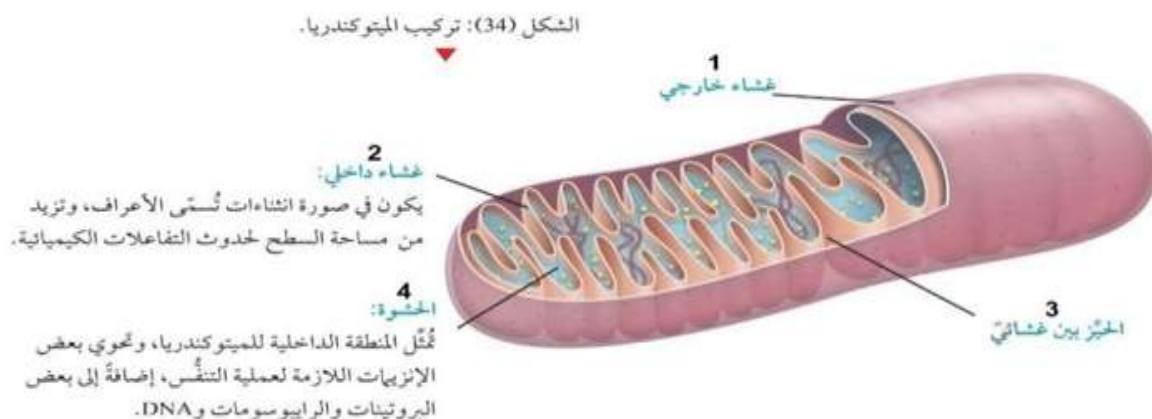
عملية الهدم	عملية البناء	وجه المقارنة
مجموعة من التفاعلات الكيميائية التي تحطم فيها بعض الجزيئات الكبيرة المعقدة إلى جزيئات أبسط	مجموعة من التفاعلات الكيميائية التي تبنى فيها جزيئات كبيرة ومعقدة من جزيئات بسيطة	التعريف
تنتج طاقة مخزنة في الروابط الكيميائية ناتجة عن تحطيم المركبات المعقدة إلى أبسط	تحتاج طاقة لتخزينها في الروابط الكيميائية داخل المركبات المعقدة	الطاقة والأهمية
التنفس الخلوي	البناء الضوئي	مثال

أهمية عملية الهدم :
تحطيم بعض الجزيئات
الكبيرة إلى جزيئات
أبسط لإنتاج الطاقة
الكيميائية المخزنة في
روابطها



أهمية عملية البناء :
إنتاج مركبات كبيرة من
مركبات بسيطة وتخزين
الطاقة داخل هذه
المركبات الكبيرة
والمعقدة

- تركيب الميتوكوندريا :
تعد الميتوكوندريا 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 الميتوكوندريا على التضاعف الذاتي وبناء البروتينات الخاصة ؟
لاحتوائها على DNA خاص بها وتصنع البروتينات والانزيمات اللازمة للتنفس الخلوي لوجود الريبوسومات داخلها .



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



- مراحل التنفس الخلوي :
أ- مرحلة التحلل الغلايكولي (السكري) في الستوسول .
ب- مرحلة التنفس الهوائي في الميتوكوندريا .

أ - مرحلة التحلل الغلايكولي :

المرحلة الأولى في التنفس الخلوي

وهي سلسلة من التفاعلات الكيميائية

التي تحدث في السيتوسول

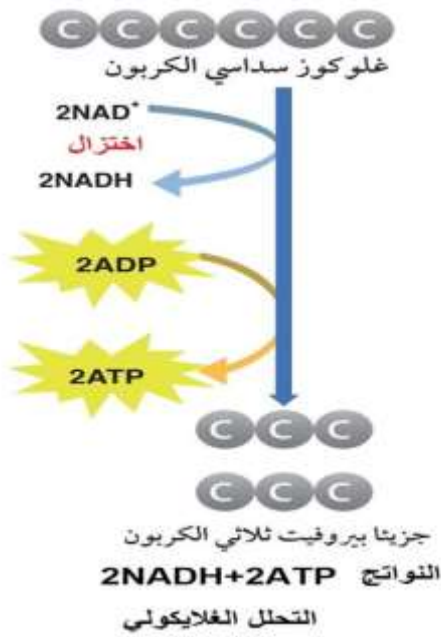
ولا تحتاج اكسجين

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- أكسدة البيروفيت الى استيل مرافق انزيم - أ

2- حلقة كربس

3- الفسفرة التأكسدية

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

• خطوات التنفس الهوائي عند توافر الاكسجين :

1- أكسدة 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 فينتكون مركب ثنائي الكربون في الحشوة .

2- فيتأكسد المركب ثنائي الكربون مختزلاً NAD^+ الى NADH

3- ثم يرتبط مرافق انزيم - أ (Co-A) مع هذا المركب فينتج مركب استيل مرافق انزيم أ

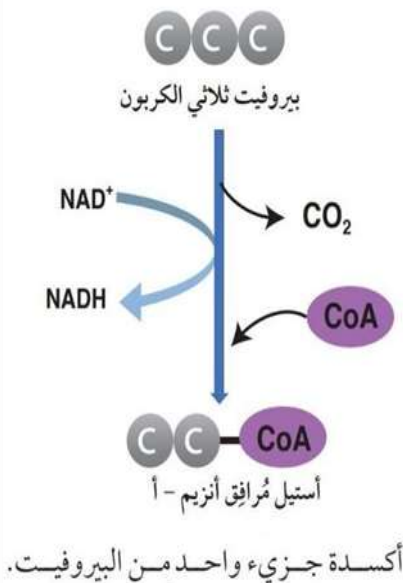
• ملاحظة :

- نواتج أكسدة مركب واحد بيروفيت هي $1\text{CO}_2 + 1\text{NADH}$

- اما كمرحلة كاملة أكسدة جزيئان بيروفيت فينتج $(2\text{CO}_2 + 2\text{NADH} +$

- وينتج من جزيء واحد جلوكوز ----- < 2 جزيء استيل

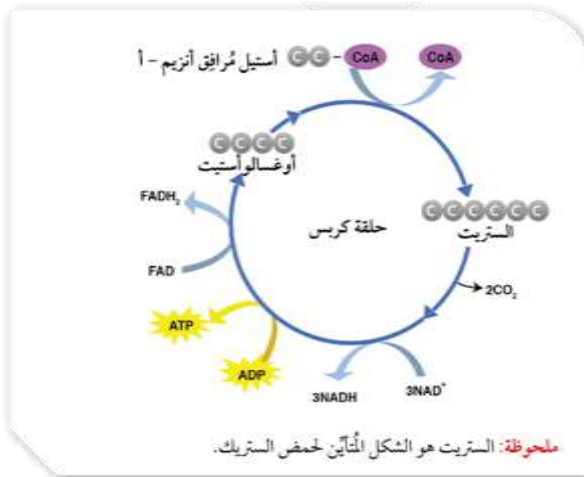
مرافق انزيم - أ



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

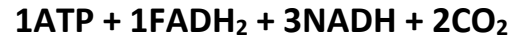
• خطواتها :

- 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 $2CO_2$ ليعاد انتاج مركب اوغسالواسيتيت .
- 3- في اثناء هذه التفاعلات تختزل 3 جزيئات NAD^+ الى $3NADH$ ويختزل جزيء واحد FAD الى $FADH_2$ وينتج من هذه التفاعلات جزيء واحد ATP بشكل مباشر .

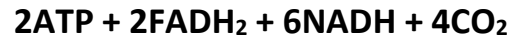


حلقة كربس يجب ان تكرر مرتين لكل جزيء واحد غلوكوز.

إذا نواتج حلقة كربس دورة واحدة



ونواتج حلقة كربس دورتان (كمرحلة كاملة لجزيء غلوكوز واحد



3-الفسفرة التأكسدية : (سلسلة نقل الالكترون والاسموزية الكيميائية)

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

- تتكون سلسلة نقل الالكترون من مجموعة مكونات معظمها بروتينات ناقلة وانزيمات توجد في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا (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

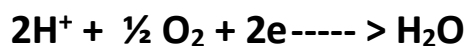
لاخر عبر سلسلة نقل الالكترون حتى تصل الى مستقبلها النهائي (الاكسجين)

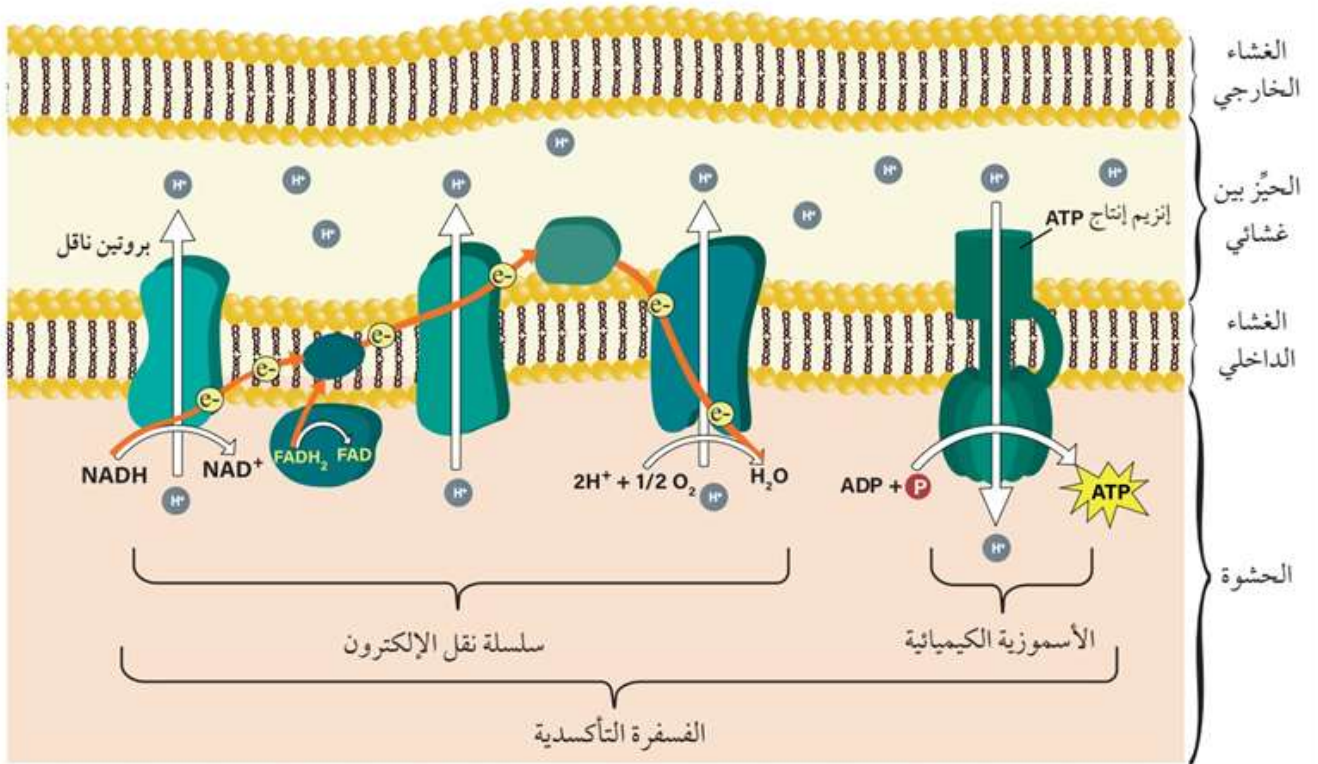
- تستخدم سلسلة نقل الالكترون الطاقة المتدفقة خلال انتقال الالكترونات الناتجة من أكسدة $NADH$ و $FADH_2$ عبر النواقل في ضخ البروتونات الى الحشوة الى الحيز بين غشائي فينتج فرق في تركيز (H^+) بين الحيز بين غشائي والحشوة ليصبح تركيز H^+ في الحيز بين غشائي اعلى .

- وبعد ذلك تعود البروتونات H^+ نتيجة فرق التركيز على جانبي غشاء الميتوكوندريا 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 :





ملاحظة :

اثناء الفسفرة التأكسدية يتم إنتاج ATP حسابيا كما يلي :

كل جزيء NADH ينتج 2.5 ATP ولتسهيل الحساب 3ATP

كل جزيء FADH₂ ينتج 1.5 ATP ولتسهيل الحساب 2ATP

- حسابات على التنفس الخلوي :
(ملاحظة : مفتاح الحل عدد جزيئات الجلوكوز / الحسابات عبارة عن نسبة وتناسب)

1- اذا تم دخول 2 جلوكوز 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 CO_2 من مرحلة اكسدة البيروفيت 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 CO_2 الناتجة من كربس ؟

- عدد جزيئات $FADH_2$ الناتجة من كربس ؟

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

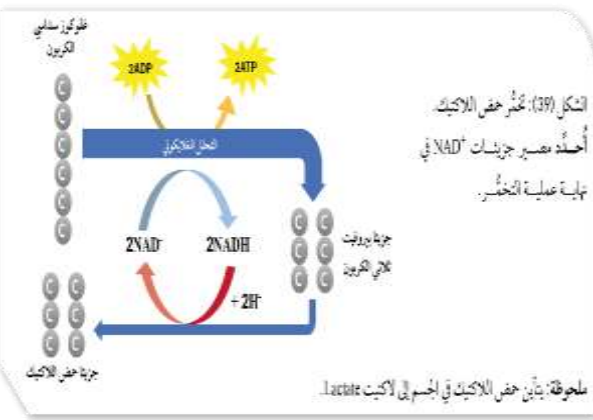
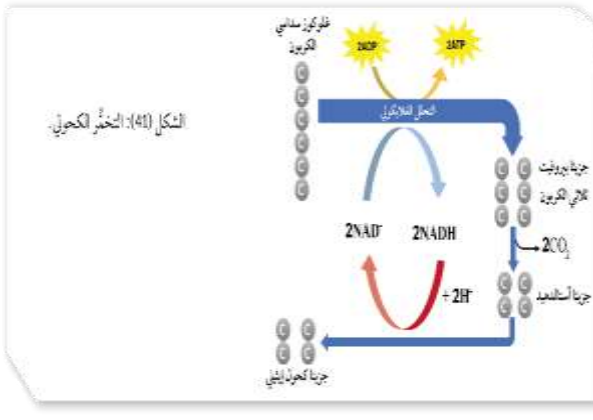
- عدد جزيئات ATP الناتجة بشكل مباشر أو غير مباشر من التحلل الغلايكولي ؟

• التنفس اللاهوائي والتخمير :

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

وجه المقارنة	التنفس اللاهوائي	التخمير
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 H_2S وهو مركب غير عضوي	حمض الالكتيك او كحول ايثيلي

• مقارنة التخمر اللبني (حمض اللاكتيك) والتخمر الكحولي عند اكسدة جزيء واحد غلوكوز :

وجه المقارنة	التخمر اللبني (حمض اللاكتيك)	التخمر الكحولي
الموقع	السييتوسول (حدوث تحلل غلايكولي)	السييتوسول (حدوث تحلل غلايكولي)
الخطوات	- تحلل غلايكولي وإنتاج جزيئا بروفيت - تحويل البروفيت الى حمض اللاكتيك (تخمر حمض اللاكتيك) يتأين احيانا حمض اللاكتيك في الجسم الى لاكتيت	- تحلل غلايكولي وإنتاج جزيئا بروفيت - تحويل البروفيت الى مركب ثنائي الكربون يسمى اسيتالدهايد - ويتحرر غاز CO₂ من كل جزيء بروفيت - يختزل اسيتالدهايد الى كحول ايثيلي
الشكل	 الشكل (39): تخمر حمض اللاكتيك. أحسن مصدر جزيئات NAD⁺ في نهاية عملية التخمر. ملحوظة: يتأين حمض اللاكتيك في الجسم إلى لاكتيت Lactate.	 الشكل (41): التخمر الكحولي.
الموقع	بعض أنواع البكتيريا والفطريات والعضلات الهيكلية (الانسان) عن توافر كميات كافية من الاكسجين	بعض أنواع البكتيريا اللاهوائية ، الخميرة
النواتج من جزيء غلوكوز	2 ATP + جزيئا حمض اللاكتيك	2 CO ₂ + 2 ATP + جزيئا كحول ايثيلي
الاستخدام في الصناعة	صناعة اللبن : تعمل البكتيريا والفطريات التي تحول البيروفيت الى حمض اللاكتيك في صناعة الاجبان والالبان فتحلل البكتيريا سكر الاكتوز في الحليب وتحوله الى حمض اللاكتيك فيتحول الحليب الى لبن	صناعة العجين : تستخدم الخميرة في صناعة المعجنات اذ يعمل غاز CO₂ الناتج من التخمر الكحولي في زيادة حجم العجين وارتفاعه وعند وضعه في الفرن يتمدد غاز CO₂ مما يؤدي الى انتفاخ المعجنات والخبز ونضجه

ملاحظة : تم تصنيف انواع التخمر حسب الناتج النهائي

• مقارنة بين التنفس الخلوي بوجود الاكسجين و التنفس اللاهوائي والتخمير :

وجه المقارنة	التنفس الخلوي (الهوائي) (بوجود كميات كافية من الاكسجين)	التنفس اللاهوائي أو التخمير
وجود الاكسجين	بوجود الاكسجين	عدم وجود الاكسجين (تنفس لاهوائي) او عدم توافره بكميات كافية (تخمير)
المراحل	التحلل الغلايكولي والتنفس الهوائي	التحلل الغلايكولي فقط
الموقع	السييتوسول + الميتوكوندريا	السييتوسول فقط
انتاج CO_2	$6 CO_2$	$2 CO_2$ في التخمير الكحولي فقط
انتاج ATP	38 ATP	2 ATP
المستقبل النهائي للإلكترونات	الاكسجين	الكبريتات او البيروفيك 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 للإلكترونات لإنتاج 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- إذا دخلت 3 جزيئات من الغلوكوز مراحل التخمر اللبني ، اوجد ما يلي :

- عدد جزيئات CO2 الناتجة ؟

- عدد جزيئات ATP الناتجة ؟

- عدد جزيئات حمض اللبن الناتجة ؟

2- إذا تم إنتاج 16 من CO2 أثناء تخمر العجين ، اوجد ما يلي :

- عدد جزيئات ATP ؟

- عدد جزيئات الكحول الناتجة ؟

- عدد جزيئات حمض اللبن ؟

3- إذا تناول انسان 100 جزيء من اللاكتوز ودخل الى مباراة 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 ومُعقدة 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: جزيئات CO_2 ، وجزيئات NADH ، بالإضافة إلى جزيئين أستيل مُرافق إنزيم - أ.

أفكر ص 47: جزيئات.

سؤال الشكل 41 ص 47:

(4) جزيئات من CO_2 ، وجزيئات من ATP ، و (6) جزيئات من NADH ، وجزيئات من FADH_2 .

أتحقق ص 49:

التحلل الغلايكولي: في السيتوسول.

أكسدة البيروفيت إلى مُرافق إنزيم - أ: في الحشوة داخل الميتوكوندريا.

حلقة كربس: في الحشوة داخل الميتوكوندريا.

الفسفرة التأكسدية: في غشاء الميتوكوندريا الداخلي.

أتحقق ص 50:

التنفس اللاهوائي: الكبريتات. التخمر: البيروفيت أو أحد مشتقاته.

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

أتحقق ص 51

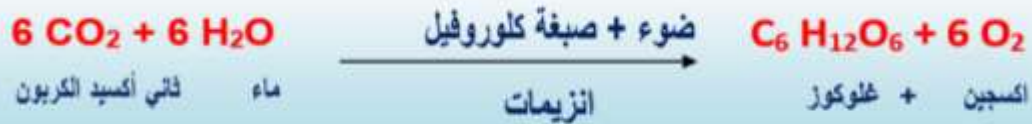
أ. جزيئات

ب.

وجه المقارنة	التخمّر في الخميرة (التخمّر الكحولي)	التخمّر في إحدى الخلايا العضلية (تخمّر حمض اللاكتيك)
أوجه التشابه	- يحدث فيها التحلل الغلايكولي، وينتج جزيئات من البيروفيت. - ينتج جزيئات ATP .	- يحدث فيها التحلل الغلايكولي، وينتج جزيئات من البيروفيت. - ينتج جزيئات ATP .
أوجه الاختلاف	- يتحول كل جزيء بيروفيت إلى مركب ثنائي الكربون يسمى أسيتالدهيد. - يُختزل أسيتالدهيد إلى كحول إيثيلي. ينتج: - جزيئات كحول إيثيلي. - جزيئات CO_2 .	- يتحول كل جزيء بيروفيت إلى حمض اللاكتيك الذي يتأين في الجسم إلى لاكتيت. ينتج: - جزيئات من حمض اللاكتيك.

● البناء الضوئي :

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



• **تركيب البلاستيكية الخضراء :** هي العضية التي تحدث فيها عملية البناء الضوئي وتتكون من :

أ - غشاء خارجي وغشاء داخلي : يحيطان بالثايلاكويدات .

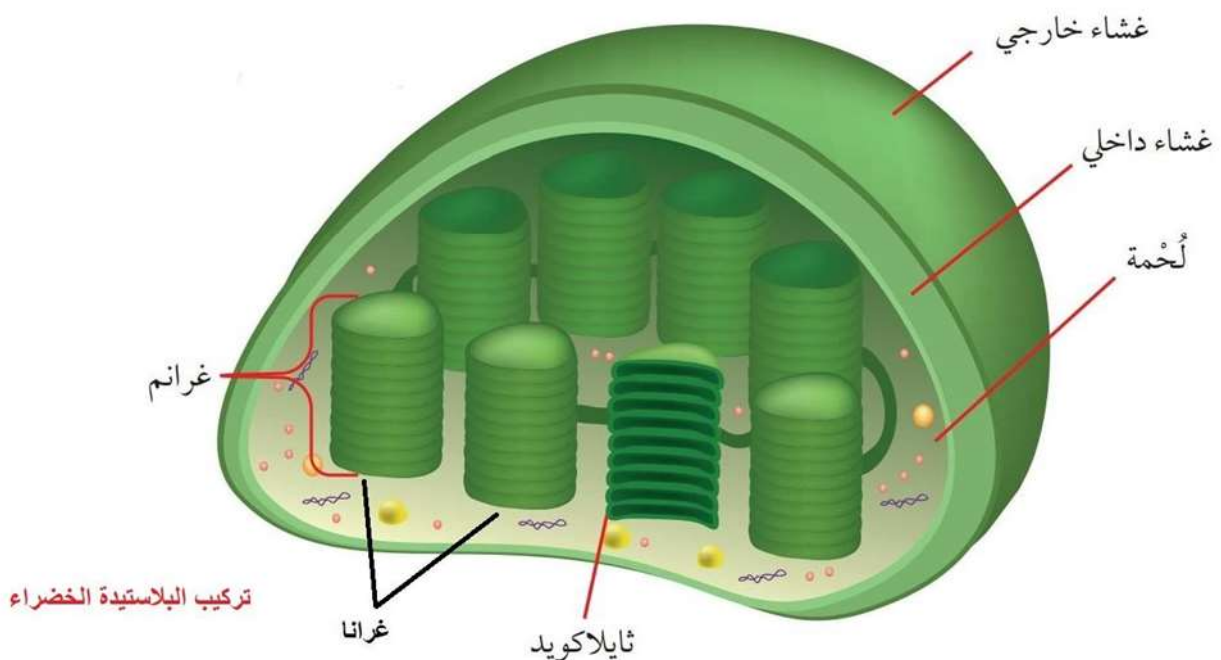
ب - الثايلوكويدات : هي مجموعة من الاكياس الغشائية على هيئة أفراس تترتب فوق بعضها تسمى غرانم

ومجموعها غرانا .

ج - اللحمية : سائل كثيف يملأ الفراغات المحيطة بالثايلاكويديات 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 :

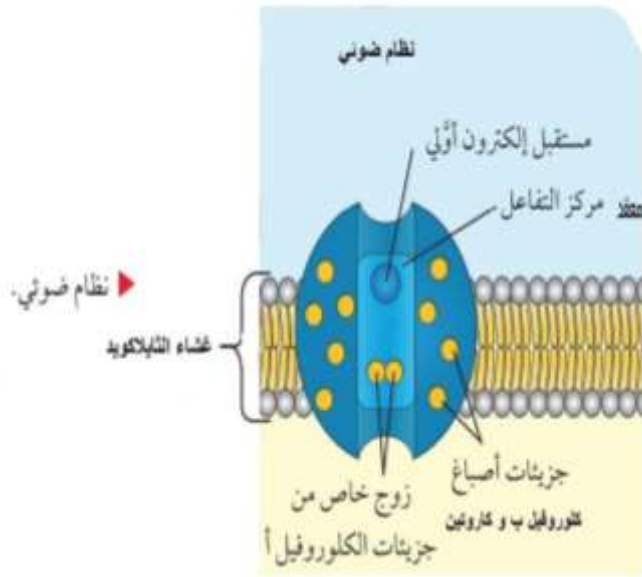
1- زوج خاص من كلوروفيل أ

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) : لأن الكلوروفيل أ في معقد مركز التفاعل يمتص ضوء طوله الموجي 700 نانومتر بأقصى فاعلية

2 - نظام ضوئي ثاني (P680) : لأن الكلوروفيل أ - يمتص ضوء طوله الموجي 680 نانومتر 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 اللحمية .

- 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 الكترولونات في كلا النظامين .

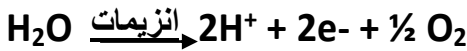
- وتحدث التفاعلات الضوئية اللاحلقية :

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

- تمر هذه الطاقة من جزيء صبغة لآخر حتى تصل الى زوج كلوروفيل أ في معقد مركز التفاعل P680 فيستثار الكترولون فيه.

ونظراً لامتلاك زوج كلوروفيل أ مقدرة خاصة على نقل الكترولون الى جزيء مختلف فإن هذا الكترولون المستثار ينتقل الى مستقبل الكترولون اولي في النظام الضوئي الثاني P680 .

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



- وتعمل الكترولونات الناتجة من تحلل جزيء الماء الى تعويض الكترولونات التي فقدها زوج الكلوروفيل - أ من مركز التفاعل في النظام الضوئي الثاني PSII
اما ذرة الاكسجين الناتجة فأنها تتحد مع ذرة اكسجين أخرى ناتجة من تحلل جزيء اخر ماء فينتج جزيء O_2 .

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

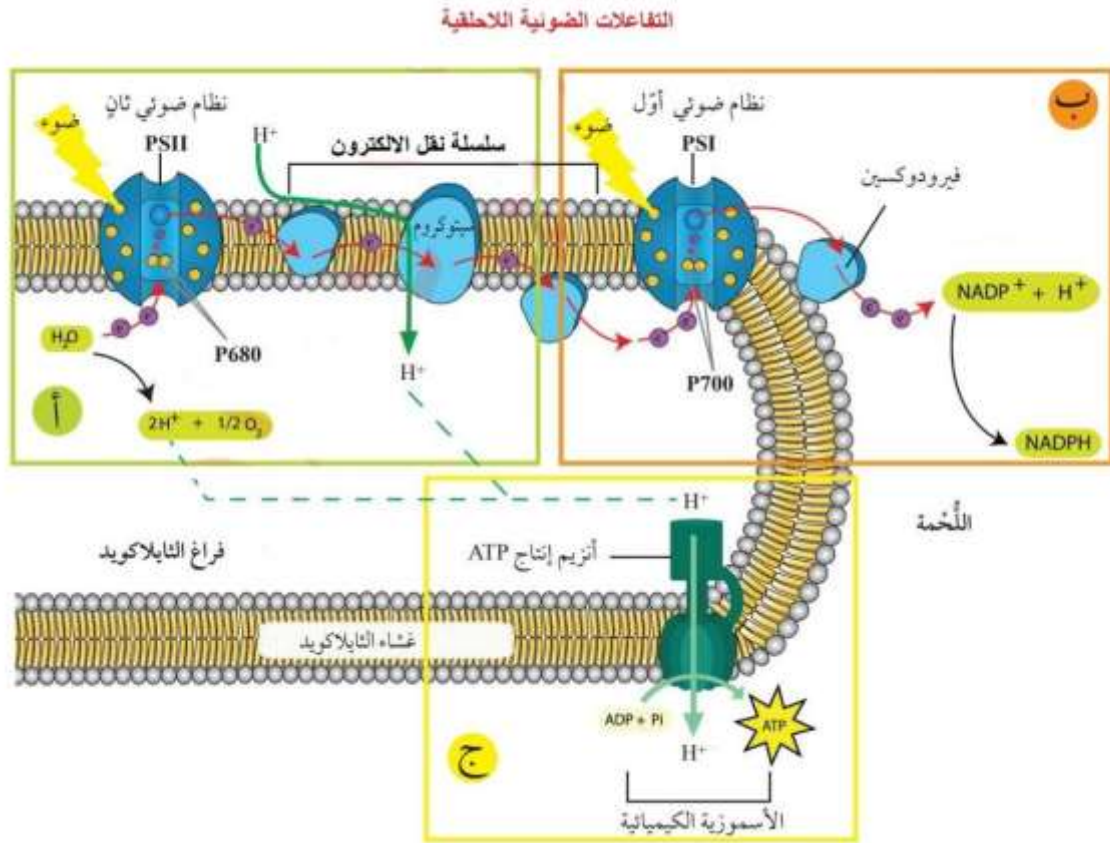
- تستخدم الطاقة الناتجة من فرق تركيز البروتونات H^+ بين فراغ الثايلاكويد واللحمة في عودة البروتونات من فراغ الثايلاكويد الى اللحمة عن طريق الاسموزية الكيميائية بحيث يتم فسفرة جزيئات ADP الى ATP عن طريق انزيم انتاج ATP

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

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

- نظراً لامتلاك زوج الكلوروفيل أ القدرة على نقل الكترولونات المستثارة الى جزيء مختلف فإن هذا الكترولون 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 باستخدام الالكترونات والبروتونات الموجودة في اللحمة الى **NADPH** كما توضح المعادلة :



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

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

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

ملاحظة : مصير الإلكترونات المنطلقة من مركز التفاعل في التفاعلات الضوئية اللاحقة .

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

2- الإلكترونات المنطلقة من مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول تستخدم في اختزال $NADP^+$ إلى $NADPH$ في الحمة .

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 الكثرونات مستثارة ثم الى طاقة كيميائية تختزن في جزيئات ATP

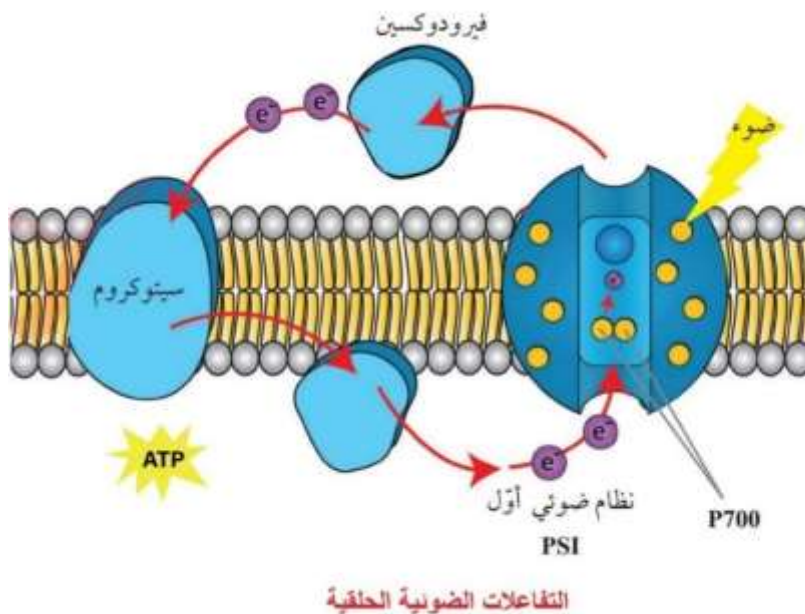
2-مسار التفاعلات الضوئية الحلقية :

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

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

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

- نواتج التفاعلات الضوئية الحلقية هي فقط ATP



• مقارنة بين التفاعلات الضوئية الحلقية واللاحلقية :

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

• 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 الجلوكوز .

• وتتم بثلاث مراحل :

1- مرحلة تثبيت الكربون

2- مرحلة الاختزال

3- مرحلة اعادة تكوين مستقيل CO_2 (رايبولوز)

• مرحلة تثبيت الكربون :

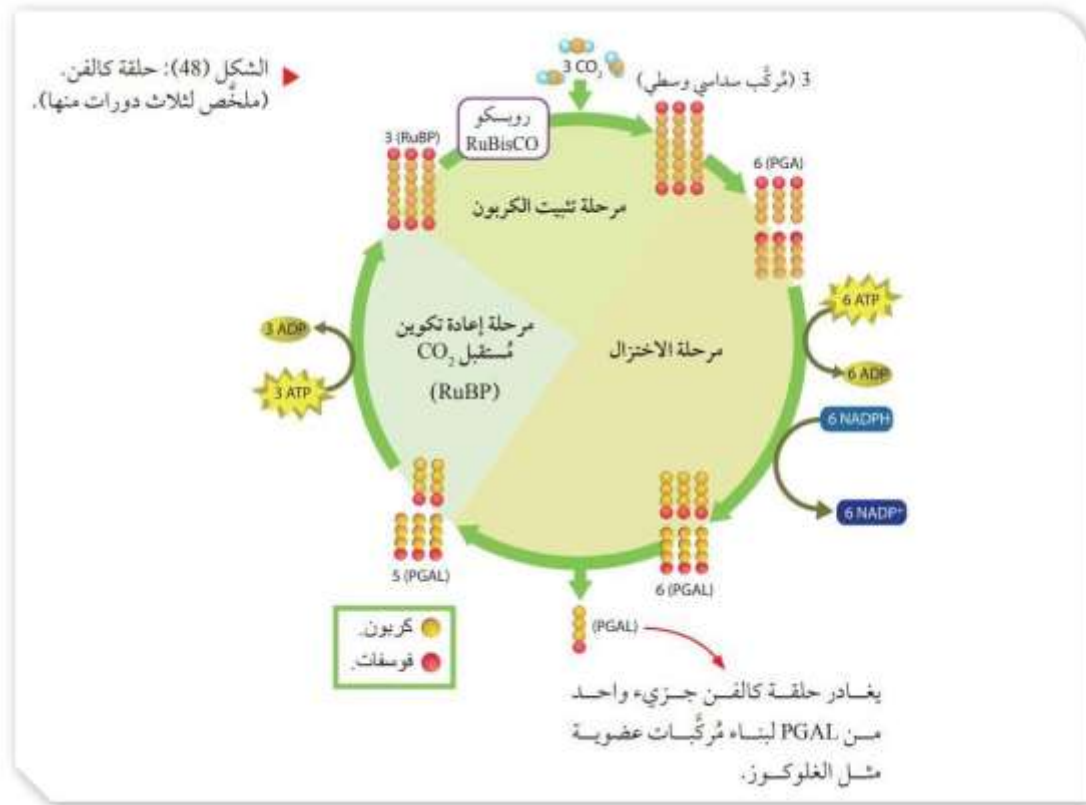
- يربط انزيم روبسكو ثلاث جزيئات من CO_2 مع ثلاث جزيئات من مستقبلي CO_2 وهو السكر الخماسي (رايبولوز ثنائي الفوسفات) .
- ينتج ثلاث جزيئات من مركب سداسي الكربون وهو مركب وسطي غير مستقر والذي ينشطر كل مركب وسطي سداسي الكربون الى مركب ثلاثي الكربون يسمى حمض غليسرين احادي فوسفات (PGA) فينتج ستة مركبات (PGA) 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 (ATP 6) وستة جزيئات (NADPH 6) لانتاج ستة جزيئات (PGAL) 6 .
- يغادر حلقة كالفن جزيء واحد (PGAL) لبناء مركبات عضوية مثل الجلوكوز .
- ويبقى خمس جزيئات (PGAL) 5 في حلقة كالفن لتكرار الحلقة .

• مرحلة اعادة تكوين مستقبلي CO_2 (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 باستخدام ثلاث جزيئات (ATP) 3 .



حلقة كالفن (3 دورات) تحتاج $(3 \text{ CO}_2 + 6 \text{ NADPH} + 9 \text{ ATP})$ لإنتاج جزيء واحد (PGAL) والذي يغادر الحلقة لبناء جلوكوز .

9 جزيئات ATP تستهلك كما يلي (6 في مرحلة الاختزال + 3 في مرحلة إعادة تكوين مستقبل CO_2)

- لإنتاج جزيء جلوكوز واحد من حلقة كالفن يلزم

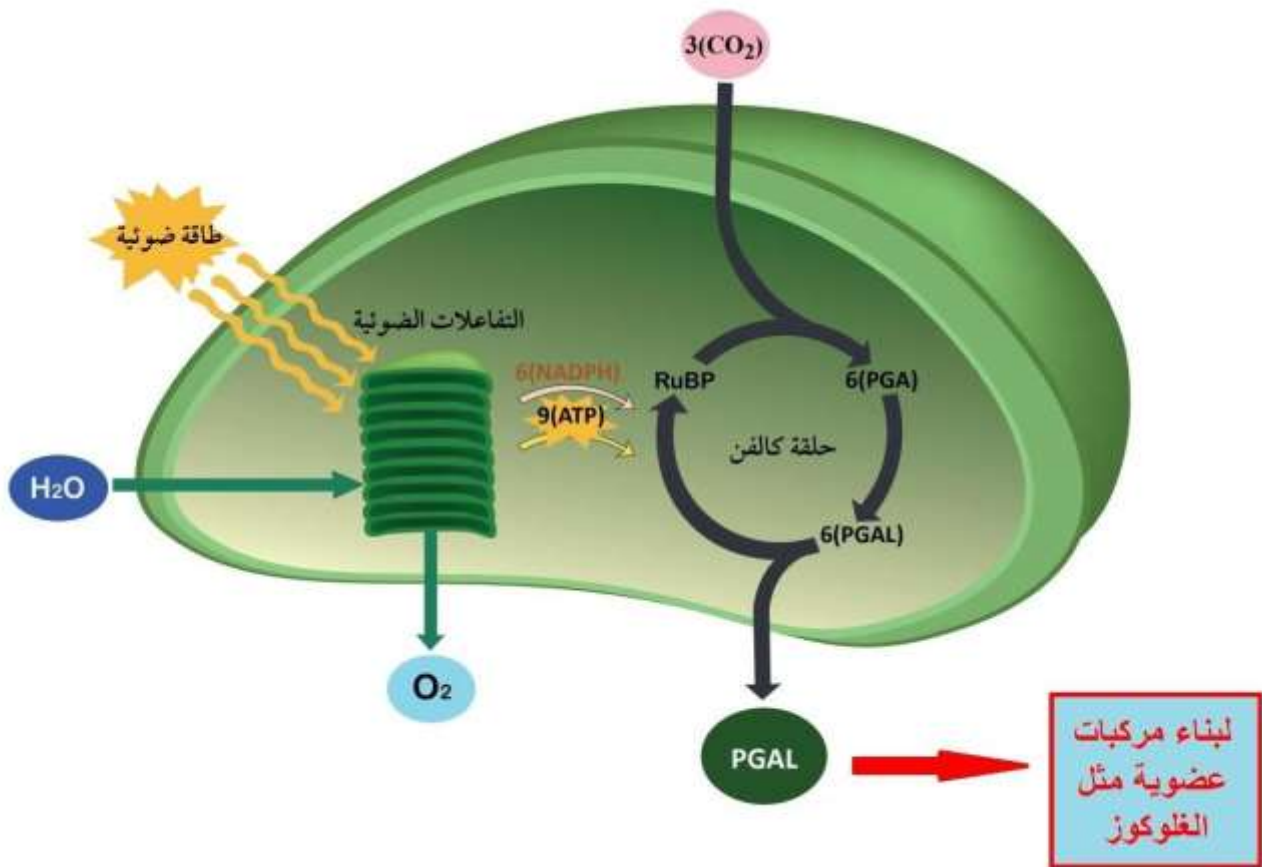
(2 PGAL) (6 دورات + $6 \text{ CO}_2 + 12 \text{ NADPH} + 18 \text{ ATP}$)

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

عدد ذرات الكربون في خمسة جزيئات (5 PGAL) تساوي 15 ذرة والتي تدخل سلسلة تفاعلات معقدة لإعادة بناء وتكوين ثلاث جزيئات من السكر الخماسي رايبولوز ثنائي الفوسفات (RUBP) 3 والذي يحتوي أيضاً 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	$\text{ATP} + \text{CO}_2$ 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

لنحد 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_2 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	الميتوكوندريا	البلاستيدة الخضراء
عمليات الايض	التنفس الخلوي الهوائي	البناء الضوئي
مصدر الطاقة	الطاقة المخزنة في الروابط الكيميائية بين ذرات الكربون في الجلوكوز	الطاقة الضوئية
مصدر الالكترونات في سلسلة نقل الالكترون	أكسدة $NADH$ و $FADH_2$	الالكترونات المستتارة 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 اللحمية
المواد اللازمة لعمليات الايض	اكسجين + جلوكوز + انزيمات خاصة	ماء + CO_2 + ضوء + انزيمات خاصة
المواد الناتجة من عمليات الايض	$CO_2 + H_2O + ATP$	جلوكوز + 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 - اللحمية

الربط بالتكنولوجيا : البناء الضوئي الصناعي

للمحد 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 بايجاد تقنيات رخيصة الثمن ونظيفة تحاكي عملية البناء الضوئي صناعياً مثل صناعة ورقة نبات صناعية يمكنها امتصاص الطاقة الشمسية وتحليل الماء لانتاج الهيدروجين H_2 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 التي تتأكسد بسهولة بوصفها مصدراً للالكترونات مثل H_2S بدلاً من الماء كما في بعض أنواع الاثریات وبكتيريا المياه الحارة التي تعيش في بيئة لا يصلها الضوء, وبكتيريا الكبريت يمكن لبعض أنواع البكتيريا اللاهوائية التي 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 الساييتوكرومات 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 تتأكسد بسهولة بوصفها مصدراً للالكترونات مثل H_2S بدلاً 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 CO₂ 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 CO₂ ؟

- 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 مُعَقَّد مركز التفاعل على: زوج خاص من الكلوروفيل-أ، ومُسْتَقْبَل إلكترون أولي، ويحاط مُعَقَّد مركز التفاعل بأصبغ أخرى، مثل: الكلوروفيل-ب، والكاروتين.

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

أفكر 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 الأول: الإلكترونات المُنتَقَلَة إليه عبر سلسلة نقل الإلكترون من مُسْتَقْبَل الإلكترون الأولي من النظام الضوئي الثاني. في النظام الضوئي الثاني: الإلكترونات الناتجة من تحلل الماء.

أتحقق ص 56 :

في التفاعلات اللاحقية: تنطلق الإلكترونات من مُعَقَّد مركز التفاعل في النظام الضوئي الثاني إلى مُعَقَّد مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول، ومن مُعَقَّد مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول إلى مُسْتَقْبَلها النهائي وهو **NADP⁺**.

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

أتحقق ص 59:

الجزينات	CO ₂	ATP	NADPH
العدد اللازم	6	18	12

أ.

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 مُرافق إنزيم - أ،

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

(ب). (38) جزيء.

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

(ب). تحلل H_2O : التفاعلات الضوئية اللاحقة.

(ج). اختزال حمض الغليسرين أحادي الفوسفات (PGA) إلى غليسر ألدهايد أحادي 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 كمّيات كافية من الأكسجين.

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

ع: سلسلة نقل الإلكترون.

6. (أ). س: إنزيم إنتاج ATP، ص: ATP،

(ب). في الميتوكوندريا: تعود البروتونات (H^+) نتيجة لفرق التركيز على جانبي غشاء الميتوكوندريا الداخلي، من الحيز 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.

5	4	3	2	1
ج	أ	ب	ج	ب

انتهى الدرس الثالث