البنـاء الضوئي

- ✓ لاحظ العلماء أن الزيادة في كتلة النبات مصدرها ثاني أكسيد الكربون الذي يتحول إلى كربوهيدرات في عملية البناء الضوئي .
- ✓ الأكسجين الناتج مصدره الماء .
- ✓ مصدر الطاقة اللازمة لتحلل الماء هو الشمس .
- ✓ جزيئات صبغة الكلوروفيل الخضراء تقوم بامتصاص الطاقة الضوئية .
- ✓ تعبر معادلة ماير عن المواد الداخلة والناتجة في عملية البناء الضوئي .

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

- تحدث عملية البناء الضوئي في البلاستيدات .
- تحدث عملية البناء الضوئي ضمن سلسلة من التفاعلات (18 تفاعلاً) في مرحلتين أساسيتين :

1. التفاعلات الضوئيـة (في وجود الضوء) :

- تحدث في وجود الضوء .
- تحدث في غشاء الثايلاكويد .
- ينشطر فيها الماء باستخدام الطاقة الضوئية إلى :

هيدروجين H^+ : يستخدم في اختزال نواقل الالكترونات .

أكسجين O_2 : يتصاعد في الهواء الجوي .

- يتم بواسطتها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية على شكل ATP , NADPH .

2. حلقة كالفن (لا تحتاج إلى الضوء بشكل مباشر) :

- لا تحتاج إلى الضوء بشكل مباشر .
- تحدث في ستروما البلاستيدة .
- باستخدام نواتج التفاعلات الضوئية (ATP , NADPH) يتم فيها تثبيت CO_2 لإنتاج الكربوهيدرات (الغلوكوز) .

ملاحظة :

- يمتد طول موجات الضوء المرئي من (380 – 750) نانوميتر .
- تعمل أصباغ كلوروفيل a , b والكاروتين على امتصاص موجات الضوء الحمراء والزرقاء بكميات كبيرة .
- تُمتص الموجات الضوئية الأخرى من قبل صبغات أخرى بكميات قليلة .
- وتعكس موجة الضوء الخضراء التي لا يتم امتصاصها ، لذلك يظهر النبات باللون الأخضر .

التفاعلات الضوئية

- تحدث في غشاء الثايلاكويد .
- يحتوي غشاء الثايلاكويد على صبغة الكلوروفيل.
- تترتب هذه الصبغات الضرورية لعملية البناء الضوئي في نظامين : 1. النظام الضوئي الأول I .
  2. النظام الضوئي الثاني II .

يتكون كل نظام ضوئي من :

❖ **أصباغ مختلفة :**

- كلوروفيل a , b وكاروتين .
- ترتبط هذه الأصباغ مع بروتينات تعمل كلاقطات تمتص الطاقة الضوئية .
- يتم تمرير هذه الطاقة إلى مركز التفاعل .

❖ **مركز التفاعل :**

- نظام بروتيني يتكون من (2 جزيء كلوروفيل a + مستقبل الكترونات أولي) .
- جزيئات الكلوروفيل تطلق الكترونات منشطة .

- النظام الضوئي الأول يمتص الضوء بأعلى كفاءة عند 700 نانوميتر .
- النظام الضوئي الثاني يمتص الضوء بأعلى كفاءة عند 680 نانوميتر .
  (وذلك بسبب اختلاف نوع البروتين المحيط بكل منهما) .
- تتحول الطاقة الضوئية إلى كيميائية في مسارين للإلكترونات : **1. مسار إلكتروني لاحلقي .**
  2. مسار إلكتروني حلقي .

أولاً : المسار الإلكتروني اللاحلقي :

1. يتم فيه إطلاق الإلكترونات المنشطة من مركز تفاعل النظام الضوئي الثاني إلى مركز تفاعل النظام الضوئي الأول .
2. ترتبط الإلكترونات بنواقل الإلكترونات .
3. ينتج عن هذا المسار : - (ATP , NADPH) تستخدم في حلقة كالفن .
   - أكسجين من تحلل الماء .

تفاعلات هذا المسار :

- امتصاص الضوء .
- انشطار الماء (إنتاج الأكسجين) .
- إنتاج ATP .
- إنتاج NADPH .

❖ **امتصاص الضوء :**

- تقوم الأصباغ في النظام الضوئي الثاني بامتصاص الطاقة الضوئية .
- تنتقل الإلكترونات إلى مستوى طاقة أعلى في جزئ الصبغة .
- تنتقل طاقة الإلكترون من جزئ لآخر حتى تصل إلى مركز التفاعل .
- تنشط الإلكترونات في مركز التفاعل فيصبح مانح قوي للإلكترونات .
- تصل الإلكترونات المحملة بالطاقة إلى مستقبل الإلكترونات الأولي الذي له جاذبية قوية للإلكترونات .

❖ **انشطار الماء (إنتاج الأكسجين) :**

– مع استمرار امتصاص الضوء يعمل إنزيم خاص في ثايلاكويدات النظام الضوئي الثاني على فصل جزيئات الماء حسب المعادلة :

$$H_2O \xrightarrow{\text{إنزيم خاص}} 2H^+ + 1/2\ O_2 + 2e^-$$

O_2 : ينطلق إلى الجو كناتج نهائي عن البناء الضوئي .

H^+ : يستخدم في اختزال نواقل الإلكترونات .

e^- : تقوم بتعويض الإلكترونات المفقودة في النظام الضوئي الثاني .

❖ **إنتاج ATP (تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية) :**

– يتم ضخ H^+ الناتجة عن تحلل الماء إلى تجويف الثايلاكويد عبر غشاء الثايلاكويد ليصبح تجويفه موجباً .

– تندفع H^+ عبر إنزيم بناء ATP الموجود في غشاء الثايلاكويد مستخدماً طاقة الالكترونات .

– طاقة الإلكترونات تنتقل من ناقل لآخر في سلسلة نقل الإلكترون التي تربط بين النظاميين الضوئيين (السيتوكرومات) .

– يتم استخدام هذه الطاقة في ربط ADP مع مجموعة فوسفات لتكوين ATP .

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

❖ **إنتاج NADPH (تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية) :**

– تصل الإلكترونات للنظام الضوئي الأول وتستمر في انتقالها من ناقل لآخر في سلسلة من عمليات الأكسدة والاختزال .

– تصل إلى إنزيم مختزل لِ $NADP^+$ في النظام الضوئي الأول .

– يختزل $NADP^+$ إلى NADPH كما في المعادلة :

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

ثانياً : المسار الإلكتروني الحلقي :

– تعود الإلكترونات المنشطة مرة أخرى إلى مركز تفاعل النظام الضوئي الأول مروراً بسلسلة نقل الإلكترون (السيتوكرومات) .

– ينتج ATP فقط .

– يستخدم ATP في حلقة كالفن (التي تستهلك كمية ATP أكبر من NADPH) .

مقارنة بين المسار الإلكتروني اللاحلقي والمسار الإلكتروني الحلقي

وجه المقارنة	المسار الإلكتروني اللاحلقي	المسار الإلكتروني الحلقي
الأنظمة الضوئية المستخدمة	النظام الضوئي الأول والثاني	النظام الضوئي الأول
النواتج	ATP ، NADPH ، O_2	ATP فقط
تعويض الإلكترونات	النظام الضوئي الثاني : عن طريق انشطار الماء النظام الضوئي الأول : عن طريق النظام الضوئي الثاني	الإلكترونات تعوض نفسها حيث تعود مرة أخرى إلى موقعها

حلقة كالفن

- تحدث في ستروما البلاستيدة حيث توجد الإنزيمات اللازمة لها .
- لا تحتاج إلى الضوء بشكل مباشر .
- يتم فيها استخدام الطاقة المختزنة في نواتج التفاعلات الضوئية NADPH , ATP .
- يدخل الكربون حلقة كالفن على شكل CO_2 ويغادرها على شكل سكر غليسر ألدهايد .
- يستهلك ATP كمصدر للطاقة .
- يستهلك NADPH كعامل اختزال قوي يضيف إلكترونات ذات طاقة عالية وأيونات هيدروجين لصنع جزيئات السكر .

- **مراحل حلقة كالفن :** **1. تثبيت الكربون .**

2. الاختزال .

3. إعادة تصنيع مستقبل CO_2 (RuBP) ريبولوز ثنائي الفوسفات

المرحلة الأولى : تثبيت الكربون :

- يتم تثبيت ثلاثة جزيئات CO_2 واحداً تلو الآخر .

- مركب سداسي الكربون $\xrightarrow{\text{إنزيم ريبسكو}}$ $RuBP + CO_2$ (خماسي الكربون)

- 2 جزئ غليسرين أحادي الفوسفات $\xrightarrow{\text{ينقسم إلى}}$ مركب سداسي الكربون

المحصلة : 6 جزيئات غليسرين أحادي الفوسفات

المرحلة الثانية : الاختزال :

- يحصل كل جزئ من غليسرين أحادي الفوسفات من الجزيئات الستة على مجموعة فوسفات من ATP .

- غليسرين ثنائي الفوسفات $\longrightarrow$ ATP (Pi) + غليسرين أحادي الفوسفات
- غليسر ألدهيد أحادي الفوسفات G_3P $\longrightarrow$ NADPH + غليسرين ثنائي الفوسفات

المحصلة : 6 جزيئات G_3P

المرحلة الثالثة : إعادة تصنيع مستقبل CO_2 (RuBP) :

- يستخدم جزيء واحد فقط G_3P كناتج نهائي لحلقة كالفن لإنتاج الغلوكوز والكربوهيدرات الأخرى .
- جزيئات G_3P الخمسة الأخرى تستخدم في إعادة بناء مركب ريبولوز ثنائي الفوسفات في سلسلة معقدة من التفاعلات .
- لإنتاج 3 جزيئات RuBP يستهلك ثلاثة جزيئات أخرى من ATP .

- **محصلة حلقة كالفن :** **$3CO_2$ ، 6NADPH ، 9ATP** $\xrightarrow{\text{يستهلك}}$ **$1G_3P$ (غلوكوز 1/2)**

العوامل المؤثرة في عملية البناء الضوئـي

- تتأثر عملية البناء الضوئي بعدة عوامل بيئية منها : الضوء ، تركيز CO_2 ، درجة الحرارة .
- عدم توفر أي من هذه العوامل يؤدي إلى وقف عملية البناء الضوئي .

أولاً : الضــوء :

- يتأثر معدل عملية البناء الضوئي بشدة الضوء وأطوال الموجات الضوئية .

- **شدة الضوء** : يزداد معدل البناء الضوئي بازدياد شدة الضوء حتى يثبت معدل البناء الضوئي .

(**نقطة التشبع الضوئـي**) : وصول التفاعلات الضوئية إلى حد التشبع في امتصاص الطاقة الضوئية .

- **أطوال الموجات الضوئية** : موجات الضوء الأحمر والأزرق تزيد من كفاءة البلاستيدات الخضراء في امتصاص الضوء .

ثانياً : تركيـز ثاني أكسيد الكربـون :

- تركيز CO_2 في الهواء يصل إلى 0.039 % .
- يزداد معدل عملية البناء الضوئي بازدياد تركيز CO_2 إلى 0.5 % حتى يثبت معدل البناء الضوئي .
- استمرار زيادة تركيزه عن هذا الحد (0.5 %) لمدة محدودة يؤدي إلى ثبات معدل عمليات البناء الضوئي .

ثالثاً : درجة الحرارة :

- تختلف درجة الحرارة المثلى لعملية البناء الضوئي من نبات لآخر .
- المدى الحراري الملائم لمعظم النباتات في الأجواء المعتدلة (10 – 35 ْم) .
- ارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة عن هذه الدرجة يؤدي إلى انخفاض سرعة البناء الضوئي بسبب تأثيرها على الإنزيمات المسئولة عن تفاعلات البناء الضوئي .

ملاحظة : مطلوب رسم المنحنيات صفحة 46 بالإضافة إلى منحنى العلاقة بين تركيز CO_2 وعملية البناء الضوئي .

ورقة عمل على البناء الضوئي

- **اختر الاجابة الصحيحة :**

1. **من نواتج التفاعلات الضوئية للمسار الإلكتروني الحلقي في عملية البناء الضوئي :**

أ. NADPH + ATP ب. NADPH ج. NADH + ATP د. ATP

2. **يحتوي مركز التفاعل في النظام الضوئي على :**

أ. جزيئين كلوروفيل a ب. جزئ كلوروفيل a و b ج. جزيئين كلوروفيل b د. جزئ كلوروفيل b وكاروتين

3. **تعمل أصباغ كلوروفيل a و b على امتصاص جميع موجات الضوء <u>ما عدا</u> :**

أ. الحمراء ب. البنفسجية ج. الخضراء د. الصفراء

4. **يتم تعويض الكترونات مركز تفاعل النظام الضوئي الثاني من :**

أ. الأكسجين ب. الماء ج. ATP د. NADPH

5. **يصل تركيز CO_2 في الهواء إلى :**

أ. 0.039 % ب. 0.39 % ج. 0.5 % د. 0.05 %

6. **مصدر الأكسجين الناتج من عملية البناء الضوئي هو :**

أ. الماء ب. CO_2 ج. ATP د. NADPH

7. **المستقبل الأخير للإلكترونات في التفاعلات الضوئية في المسار الحلقي في عملية البناء الضوئي :**

أ. NADPH ب. O_2 ج. $FADH_2$ د. مركز تفاعل النظام الضوئي الأول

8. **واحدة مما يلي تحدث أثناء التفاعلات الضوئية :**

أ. جزئ كلوروفيل b يمرر الطاقة إلى جزئ كلوروفيل مجاور

ب. جزئ كلوروفيل a في مركز التفاعل يمرر الطاقة إلى مستقبل الإلكترونات الأولي

ج. جزئ كلوروفيل b في مركز التفاعل يمرر الطاقة إلى مستقبل الإلكترونات الأولي

د. جزئ كلوروفيل b في مركز التفاعل يمرر الإلكترون المنشط إلى مستقبل الإلكترونات الأولي

9. **ينشطر جزئ الماء في التفاعلات الضوئية بهدف :**

أ. تصاعد الأكسجين ج. تزويد النظام الضوئي الأول بالإلكترونات

ب. إنتاج H^+ د. تزويد النظام الضوئي الثاني بالإلكترونات

10. **المدى الحراري الملائم لأغلب نباتات المناطق المعتدلة للقيام بعملية البناء الضوئي :**

أ. (10 . 15 ْم) ب. (10 . 30 ْم) ج. (10 . 35 ْم) د. (10 . 40 ْم)

11. **يتم تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية في مرحلة :**

أ. امتصاص الضوء ب. نقل الإلكترونات ج. تكوين ATP د. (ب + ج) معاً

12. **في مرحلة إعادة تصنيع مستقبل CO_2 يتم استهلاك :**

أ. 6 NADPH ب. 3 NADPH ج. 6 ATP د. 3 ATP

13. **في تفاعلات تثبيت الكربون نستخدم :**

أ. ATP فقط ب. NADPH فقط ج. NADPH + ATP د. NADH + ATP

14. **يدخل الكربون حلقة كالفن على شكل CO_2 ويغادرها على صورة :**

أ. غليسر ألدهيد أحادي الفوسفات ب. غلوكوز ج. غليسرين أحادي الفوسفات د. غليسرين ثنائي الفوسفات

15. **الناتج النهائي لحلقة كالفن :**

أ. غليسر ألدهيد أحادي الفوسفات ب. غلوكوز ج. غليسرين أحادي الفوسفات د. غليسرين ثنائي الفوسفات

16. يستخدم NADPH في اختزال :

أ. غليسر ألدهيد أحادي الفوسفات ب. غلوكوز ج. غليسرين أحادي الفوسفات د. غليسرين ثنائي الفوسفات

17. في حلقة كالفن ، عدد جزيئات ATP اللازمة لإنتاج جزيئين من السكر :

أ. 9 ب. 24 ج. 36 د. 12

18. في حلقة كالفن ، عدد جزيئات الغلوكوز الناتجة من استهلاك 30 جزئ CO_2 :

أ. 20 ب. 10 ج. 15 د. 5

19. في حلقة كالفن ، إذا تم استهلاك 96 جزئ NADPH فإن عدد جزيئات ATP المستهلكة هي :

أ. 16 ب. 9 ج. 72 د. 144

20. في حلقة كالفن ، عدد جزيئات ATP اللازمة لإنتاج 3 جزيئات غلوكوز :

أ. 9 ب. 27 ج. 54 د. 18

21. في حلقة كالفن ، عند تثبيت 24 جزئ CO_2 فإن عدد جزيئات الغلوكوز الناتجة هو :

أ. 12 ب. 4 ج. 8 د. 6

22. في حلقة كالفن ، إذا تم استهلاك 54 جزئ CO_2 لإنتاج G_3P فإن عدد جزيئات ATP المستهلكة :

أ. 54 ب. 108 ج. 162 د. 216

23. في حلقة كالفن ، عدد جزيئات NADPH اللازمة لإنتاج 4 جزيئات غلوكوز :

أ. 36 ب. 48 ج. 72 د. 84

24. في حلقة كالفن ، عدد جزيئات ATP المستخدمة لإنتاج 5 جزيئات غلوكوز :

أ. 60 ب. 45 ج. 30 د. 90

25. في حلقة كالفن ، إذا تم استهلاك 18 جزئ NADPH فإن عدد جزيئات ATP المستهلكة هو :

أ. 6 ب. 12 ج. 18 د. 27

26. في حلقة كالفن ، عدد جزيئات G_3P الناتجة من استهلاك 30 جزئ CO_2 :

أ. 5 ب. 10 ج. 20 د. 30

27. في حلقة كالفن ، عدد جزيئات الغلوكوز الناتجة من استهلاك 90 جزئ CO_2 :

أ. 5 ب. 10 ج. 15 د. 20

28. في حلقة كالفن ، إذا تم استهلاك 144 جزئ ATP فإن عدد جزيئات NADPH المستهلكة هي :

أ. 48 ب. 96 ج. 144 د. 216

29. في حلقة كالفن ، عدد جزيئات ATP اللازمة لإنتاج 5 جزيئات غلوكوز :

أ. 45 ب. 60 ج. 75 د. 90

30. في حلقة كالفن ، عدد جزيئات NADPH اللازمة لإنتاج 3 جزيئات غلوكوز :

أ. 9 ب. 27 ج. 36 د. 54

31. في حلقة كالفن ، لإعادة تصنيع 21 جزئ من مركب RuBP نحتاج :

أ. 42 ATP ب. 42 NADPH ج. 95 ATP د. 95 NADPH

32. في حلقة كالفن ، لإعادة تصنيع 9 جزيئات من مركب RuBP نحتاج إلى :

أ. 18 ATP ب. 18 NADPH ج. 24 ATP د. 24 NADPH

- وضح المقصود بكلٍ من :

1. النظام الضوئي .
2. المسار الإلكتروني الحلقي .

- **اكتب المصطلح العلمي :**

1. ( ) الحد الذي يثبت عنده معدل عملية البناء الضوئي حتى مع زيادة شدة الضوء .
2. ( ) أنزيم يساعد على تثبيت CO_2 باتحاده مع RuBP .
3. ( ) مركب كيميائي يضيف الكترونات ذات طاقة عالية وهيدروجين لصنع السكر في حلقة كالفن .

- **علل لما يأتي :**

1. تعريض النبات لموجات الضوء الأحمر والأزرق .
2. يؤدي رفع درجة الحرارة عن 25° م إلى انخفاض سرعة البناء الضوئي .
3. ينتج NADPH في المسار الإلكتروني الحلقي .
4. تحدث حلقة كالفن في ستروما البلاستيدة .

- **قارن بين المسارين الإلكتروني الحلقي واللاحلقي في التفاعلات الضوئية من حيث :**

(النظام الضوئي المشارك ، النواتج ، تعويض الإلكترونات المطلقة من مركز التفاعل لكل نظام ضوئي في كل مسار)

- **اشرح عملية امتصاص الضوء التي تبدأ بها التفاعلات الضوئية .**

- **في إحدى التفاعلات الضوئية يزداد تركيز أيونات H^+ داخل تجويف الثايلاكويد مقارنةً بخارجه :**

1. ما سبب اختلاف تركيز أيونات الهيدروجين ؟
2. وضح كيف يتم تكوين ATP في هذه العملية .

- **تفاعلات تثبيت CO_2 (حلقة كالفن) تحدث في ستروما البلاستيدات الخضراء :**

1. تحدث عن المرحلة الثانية (مرحلة الاختزال) .
2. كم عدد جزيئات G_3P كناتج نهائي من استخدام 15 جزئ CO_2 .

- **تتأثر عملية البناء الضوئي بعدة عوامل بيئية :**

1. أذكر هذه العوامل .
2. ما تركيز ثاني أكسيد الكربون في الهواء ؟
3. ما المدى الحراري الملائم لأغلب النباتات في الأجواء المعتدلة ؟

- **تتأثر عملية البناء الضوئي بعدة عوامل بيئية منها الضوء :**

1. وضح أثر شدة الضوء وأطوال الموجات الضوئية في معدل البناء الضوئي .
2. ارسم منحنى يوضح العلاقة بين شدة الضوء ومعدل البناء الضوئي .
3. عرّف نقطة التشبع الضوئي .

- **تتأثر عملية البناء الضوئي بعدة عوامل بيئية منها درجة الحرارة :**

1. ارسم منحنى يوضح العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل البناء الضوئي .
2. وضح أثر الزيادة في درجة الحرارة عن المدى الحراري الملائم على معدل عملية البناء الضوئي .

- **في حلقة كالفن ، إذا تم إنتاج 5 جزيئات غلوكوز . احسب ما يلي :**

1. عدد جزئيات G_3P الناتجة .
2. عدد جزيئات CO_2 التي تم تثبيتها .
3. عدد جزيئات ATP المستهلكة .
4. عدد جزيئات NADPH المستهلكة .

- **في حلقة كالفن ، إذا علمت أنه تم استهلاك 36 جزئ NADPH :**
  1. عدد جزئيات G_3P الناتجة .
  2. عدد جزيئات CO_2 التي تم تثبيتها .
  3. عدد جزيئات ATP المستهلكة .
  4. كم جزئ ينتج من الغلوكوز .
- **في حلقة كالفن ، إذا علمت أنه تم استهلاك 36 جزئ ATP :**
  1. ما عدد جزيئات NADPH و CO_2 التي تم استهلاكها ؟
  2. كم جزئ ينتج من الغلوكوز ؟
  3. كم جزئ ينتج من G_3P كناتج نهائي ؟

- **في حلقة كالفن ، إذا علمت أنه تم استهلاك 24 جزئ CO_2 :**
  1. ما عدد جزيئات ATP و NADPH التي تم استهلاكها ؟
  2. كم جزئ ينتج من G_3P كناتج نهائي ؟
  3. كم جزئ ينتج من الغلوكوز ؟

- **إذا حدثت حلقة كالفن 4 مرات متتالية :**
  1. أذكر اسم المركب العضوي الذي تبدأ به الحلقة .
  2. كم عدد جزيئات G_3P الناتجة في هذه الحالة كناتج نهائي ؟
  3. ما عدد جزيئات ATP و NADPH المستخدمة لإنتاج جزئ غلوكوز ؟

- **إذا كان العدد الكلي لجزيئات G_3P الناتجة في مرحلة الاختزال من حلقة كالفن 36 جزئ ، احسب عدد الجزيئات في كل مما يلي :**
  1. الماء H_2O التي تم شطرها في المسار اللاحلقي .
  2. ثاني أكسيد الكربون CO_2 التي تم تثبيتها في حلقة كالفن .
  3. ATP اللازمة لإعادة تصنيع ريبولوز ثنائي الفوسفات .
  4. NADPH التي تم استهلاكها .
  5. الغلوكوز التي سيتم إنتاجها .

التنفس الخلوي

- **تعريف التنفس الخلوي** : تفكيك الروابط في المركبات العضوية في وجود الأكسجين أو عدمه وانطلاق الطاقة المخزنة فيها .
- **مكان الحدوث** : في السيتوسول والمايتوكندريا .
- **استخدام الطاقة (ATP)** : 1. في العمليات الحيوية مثل الحركة .

  2. تكوين مركبات جديدة تساهم في نمو الكائن الحي .
- **مراحل التنفس الخلوي الهوائي (في وجود الأكسجين)** :

– تشمل عملية التنفس الخلوي أربع مراحل أيضية أساسية تلخص في المعادلة الآتية :

$$\text{مواد عضوية} + O_2 \xrightarrow{\text{إنزيمات}} \text{ثاني أكسيد الكربون} + \text{ماء} + \text{طاقة}$$

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \xrightarrow{\text{إنزيمات}} 6CO_2 + 6H_2O + 38ATP$$

– تتم هذه المراحل في سلسلة معقدة من الخطوات المترابطة تشمل : **1. التحلل الغلايكولي**

2. تحول البيروفيت إلى أستيل مرافق الإنزيم أ

3. حلقة كربس (دورة حمض الستريك)

4. سلسلة نقل الإلكترون

أولاً : التحلل الغلايكولي :

– تحدث في السيتوسول .

– تحدث في وجود الأكسجين أو في غيابه (التخمر) .

الآلية :

1. ينشطر الغلوكوز إلى 2 غليسر ألدهايد (ثلاثي الكربون) .
2. تحدث عملية أكسدة وترتيب لذرات غليسر ألدهايد وينتج (2 بيروفيت) .

المحصلة : 2 بيروفيت ، 2 NADH ، 2 ATP . (علماً أنه ينتج 4 جزيئات من ATP يستهلك منها 2 ATP)

ثانياً : تحول البيروفيت إلى أستيل مرافق الإنزيم أ :

– تحدث في حشوة المايتوكندريا.

الآلية :

1. يرتبط البيروفيت واحداً تلو الآخر مع بروتين ناقل يرقله من السيتوسول إلى حشوة المايتوكندريا .
2. يتحلل البيروفيت إلى ثاني أكسيد الكربون ومجموعة أستيل .
3. يتم اختزال NAD^+ إلى NADH .
4. يرتبط مرافق الإنزيم أ مع مجموعة الأستيل فينتج أستيل مرافق الإنزيم أ .

المحصلة : 1 NADH ، 1 CO_2 ، 0 ATP . من كل جزئ بيروفيت (1/2 غلوكوز)

2 NADH ، 2 CO_2 ، 0 ATP . من كل جزئ غلوكوز

ثالثاً : حلقة كربس (دورة حمض الستريك) :

- تحدث في حشوة المايتوكندريا .

الآلية :

- حمض الستريت (ملح الليمون) ⟵ أستيل مرافق الإنزيم أ + أوكسالوأستيت (رباعي الكربون) [سداسي الكربون]
- $1\ FADH_2$ ، $3\ NADH$ ، $2\ CO_2$ ، $1\ ATP$ ⟵ حمض السيتريك (ملح الليمون)
- تنتهي الحلقة بإعادة إنتاج مركب الأوكسالوأستيت .

المحصلة : $1\ FADH_2$ ، $3\ NADH$ ، $2\ CO_2$ ، $1\ ATP$. من 1/2 غلوكوز

$2\ FADH_2$ ، $6\ NADH$ ، $4\ CO_2$ ، $2\ ATP$. من جزئ غلوكوز

رابـعاً : سلسلة نقل الإلكترون :

- عبارة عن إنزيمات وبروتينات تكون مغمورة في **الغشاء الداخلي للمايتوكندريا** .
- تعمل على إطلاق الطاقة من حاملاتها ($FADH_2$ ، NADH) عند نقل الإلكترونات من بروتين لآخر .
- ($FADH_2$ ، NADH) تقوم بتفريغ حمولتها من الإلكترونات حاملة للطاقة في مواقع مختلفة من السلسلة .

$$NADH + H^+ \longrightarrow NAD^+ + 2H^+ + 2e^-$$

- تصل الإلكترونات إلى نهاية السلسلة (المستقبل النهائي للإلكترونات O_2) .
- يرتبط O_2 مع الإلكترونات و H^+ وينتج الماء :

$$1/2\ O_2 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2O$$

ملاحظة : كل 1 NADH يعطي 3 ATP

كل $1\ FADH_2$ يعطي 2 ATP

المرحلة	ATP	CO_2	NADH	$FADH_2$
التحلل الغلايكولي	2	صفر	2	صفر
تحول البيروفيت	صفر	2	2	صفر
حلقة كربس	2	4	6	2
المجموع	4 (بشكل مباشر)	6	10	2
سلسلة نقل الإلكترون	{ 34 ATP } (بشكل غير مباشر)		$10\ NADH \times 3\ ATP = 30\ ATP$	$2\ FADH2 \times 2\ ATP = 4\ ATP$

التكامل بين عمليتي البناء الضوئي والتـنفس الخلـوي

- **عملية البناء الضوئي :** $6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$
- **عملية التنفس الخلوي :** $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \xrightarrow{\text{إنزيمات}} 6CO_2 + 6H_2O + 38ATP$
- **من المعادلتين نلاحظ الاشتراك والترابط في أن :**

– نواتج عملية البناء الضوئي (الغلوكوز والأكسجين) يستخدمان في عملية التنفس الخلوي كمواد متفاعلة .

– نواتج عملية التنفس الخلوي (CO_2 والماء) يستخدمان في عملية البناء الضوئي كمواد متفاعلة .

– مساعد الإنزيم NAD^+ في التنفس الخلوي ومساعد الإنزيم $NADP^+$ في البناء الضوئي متشابهان في التركيب تقريباً .

– العمليتان تحتويان سلاسل نقل الإلكترون .

ورقة عمل على التنفس الخلوي

- **اختر الاجابة الصحيحة :**

1. **عدد جزيئات ATP الناتجة عن التحلل الغلايكولي :**

أ. 2 ب. 4 ج. 6 د. 8

2. **في مرحلة التحلل الغلايكولي ينتج :**

أ. 2 ATP ب. 2 NADH ج. 2 بيروفيت د. جميع ما سبق

3. **ينتج عن تحول جزئ بيروفيت واحد إلى أستيل مرافق الأنزيم أ :**

أ. صفر ATP ب. 1 ATP ج. 2 ATP د. 4 ATP

4. **أحد المركبات التالية لا ينتج عند تحول البيروفيت إلى أستيل مرافق الأنزيم أ :**

أ. CO_2 ب. NADH ج. ATP د. أستيل مرافق الأنزيم أ

5. **عدد جزيئات NADH الناتجة من التحلل الغلايكولي وتحول البيروفيت إلى أستيل مرافق الأنزيم أ لجزئ غلوكوز واحد :**

أ. 2 ب. 3 ج. 4 د. 6

6. **تبدأ حلقة كربس باتحاد الأستيل مع :**

أ. الستريت ب. الأوكسالوأستيت ج. CO_2 د. RuBP

7. **عدد ذرات الكربون في مركب الأوكسالوأستيت :**

أ. 2 ب. 3 ج. 4 د. 6

8. **عدد جزيئات ATP الناتجة عن حلقة كربس من تحلل جزئ غلوكوز واحد :**

أ. 2 ب. 6 ج. 9 د. 34

9. **عدد جزيئات $FADH_2$ الناتجة من تحلل جزئ بيروفيت في حلقة كربس :**

أ. 1 ب. 2 ج. 4 د. 5

10. **عدد جزيئات NADH التي تنتج عن حلقة كربس لجزئ غلوكوز واحد :**

أ. 2 ب. 3 ج. 4 د. 6

11. **عدد جزيئات ATP المباشرة وغير المباشرة الناتجة من 3 جزيئات غلوكوز في حلقة كربس :**

أ. 20 ب. 24 ج. 54 د. 72

12. **عدد جزيئات ATP المباشرة وغير المباشرة لجزئ غلوكوز في حلقة كربس :**

أ. 42 ب. 24 ج. 72 د. 27

13. **توجد بروتينات في سلسلة نقل الالكترون تعمل كمضخات للبروتونات H^+ ، تقوم بضخ H^+ من :**

أ. الحيز بين الغشائي إلى حشوة المايتوكندريا ب. السيتوسول إلى حشوة المايتوكندريا

ج. داخل المايتوكندريا إلى الحيز بين الغشائي د. حشوة المايتوكندريا إلى السيتوسول

14. **يتم بناء ATP في سلسلة نقل الالكترون بفعل انتقال البروتونات H^+ من :**

أ. الحيز بين الغشائي إلى حشوة المايتوكندريون عبر مضخات البروتونات

ب. الحيز بين الغشائي إلى حشوة المايتوكندريون عبر إنزيم بناء ATP

ج. الستروما إلى تجويف الثايلاكويد عبر مضخات البروتونات

د. الستروما إلى تجويف الثايلاكويد عبر إنزيم بناء ATP

15. **ينتج عن جزئ واحد من NADH :**

أ. 1 جزئ ATP ب. جزيئين ATP ج. 3 جزيئات ATP د. 4 جزيئات ATP

16. **عدد جزيئات ATP الناتجة عن 12 جزئ من $FADH_2$:**

أ. 18 ب. 24 ج. 36 د. 48

17. **يبلغ عدد جزيئات NADH الناتجة عن تفكك جزئ غلوكوز واحد خلال التنفس الخلوي الهوائي :**

أ. 4 NADH ب. 6 NADH ج. 10 NADH د. 18 NADH

18. **من مراحل التنفس الخلوي التي يتم فيها إنتاج جزيئات CO_2 هي :**

أ. تحول البيروفيت إلى أستيل مرافق الأنزيم أ وحلقة كربس ب. التحلل الغلايكولي وحلقة كربس

ج. حلقة كربس وسلسلة نقل الالكترون د. التحلل الغلايكولي وسلسلة نقل الالكترون

19. **المستقبل النهائي للالكترونات في التنفس الخلوي الهوائي هو :**

أ. H^+ ب. الماء ج. الأكسجين د. ATP

20. **مجموع جزيئات ATP التي يتم إنتاجها من جزيئين NADH وأربعة جزيئات $FADH_2$ في سلسلة نقل الاكترون :**

أ. 12 ب. 14 ج. 16 د. 18

21. **إذا تم انتاج 24 جزئ ماء في عملية التنفس الخلوي ، فإن عدد جزيئات الغلوكوز المحترقة :**

أ. 4 ب. 6 ج. 12 د. 24

22. **عدد جزيئات CO_2 الناتجة عن تفكيك جزئ غلوكوز :**

أ. 2 ب. 3 ج. 4 د. 6

23. **عند استهلاك 12 جزئ أكسجين من التنفس الخلوي يكون عدد جزيئات ATP الناتجة :**

أ. 38 ب. 76 ج. 114 د. 152

24. **إذا نتج من عملية التنفس الخلوي 18 جزئ ماء ، فإن عدد جزيئات الغلوكوز المحترقة :**

أ. 1 ب. 2 ج. 3 د. 4

25. **قام نبات باستخدام 36 جزئ CO_2 لإنتاج الغلوكوز ، وبعد فترة استهلك جميع جزيئات الغلوكوز الناتجة في عملية التنفس الخلوي الهوائي ، فكم جزئ ATP نتج عنها :**

أ. 38 ب. 108 ج. 228 د. 1368

26. **قام نبات باستخدام 24 جزئ CO_2 لإنتاج الغلوكوز ، وبعد فترة استهلك جميع جزيئات الغلوكوز الناتجة في عملية التنفس الخلوي الهوائي . كم جزئ ATP نتج عنها :**

أ. 108 ب. 152 ج. 228 د. 1260

27. **إحدى العمليات الأربع التالية مشتركة بين التنفس الخلوي الهوائي واللاهوائي :**

أ. التحلل الغلايكولي ب. تحول البيروفيت إلى أستيل مرافق الأنزيم أ ج. حلقة كربس د. سلسلة نقل الالكترون

28. **إحدى العبارات الآتية <u>صحيحة</u> بالنسبة للتخمر :**

أ. ينتج عنها 4 جزيئات ATP ب. لا تحدث في السيتوسول

ج. تبدأ بالتحلل الغلايكولي د. يمنح NADH الالكترونات لسلسلة نقل الالكترون

29. **عدد جزيئات ATP الناتجة عن التخمر اللبني :**

أ. 2 ب. 4 ج. 6 د. 18

30. **إذا دخلت 3 جزيئات من الغلوكوز في مرحلة التحلل الغلايكولي لتعطي 6 جزيئات من حمض اللبن ، فإن عدد جزيئات ATP الناتجة**

أ. 6 ب. 8 ج. 18 د. 24

- **أكتب المصطلح العلمي :**

1. ( ) تفكيك الروابط الكيميائية في المركبات العضوية بوجود O_2 أو غيابه وانطلاق الطاقة على شكل ATP .
2. ( ) أنزيمات وبروتينات مغمورة في الغشاء الداخلي للمايتوكندريا تتيح إطلاق الطاقة من حاملاتها .
3. ( ) إنشطار الغلوكوز إلى جزيئين سكر غليسر ألدهيد وإنتاج البيروفيت .

- **وضح المقصود بكلٍ من :**

1. الإعياء العضلي .
2. التخمر اللبني .
3. التخمر الكحولي .

- **علل لما يأتي :**

1. يحدث إعياء للعضلة عند بذل مجهود كبير .
2. تلجأ بعض الكائنات لعملية التخمر .
3. تستخدم الخميرة في الخبازة .
4. يعتبر NADH حامل للطاقة أكثر من $FADH_2$.
5. يتكون الماء في نهاية سلسلة نقل الإلكترون .
6. البناء الضوئي والتنفس الخلوي عمليتان متكاملتان .
7. يتم تحويل البيروفيت إلى أستيل مرافق الأنزيم أ في حشوة المايتوكندريا وليس في السيتوسول .

- **حلقة كربس إحدى مراحل عملية التنفس الخلوي :**

1. في أي أجزاء الخلية تحدث هذه العملية ؟
2. ما عدد جزيئات ATP ، NADH ، CO_2 الناتجة لكل جزئ غلوكوز ؟

- **تعتبر مرحلة التحلل الغلايكولي إحدى مراحل عملية التنفس الخلوي :**

1. أين تحدث هذه المرحلة ؟
2. ما نواتجها النهائية ؟
3. ما المرحلة التالية لها في حالة توفر الأكسجين ؟

- **من مراحل عملية التنفس الخلوي ، تحول البيروفيت إلى أستيل مرافق الأنزيم أ :**

1. في أي جزء من الخلية تحدث هذه المرحلة ؟
2. كم عدد جزيئات (ATP ، NADH ، CO_2) الناتجة من تحلل جزئ بيروفيت في هذه المرحلة ؟

- **من مراحل عملية التنفس الخلوي ، التحلل الغلايكولي ، وحلقة كربس . قارن بين المرحلتين من حيث :**

1. مكان الحدوث .
2. عدد جزيئات ATP الناتجة بشكل مباشر من تحلل جزئ غلوكوز واحد .
3. عدد جزيئات NADH الناتجة من تحلل جزئ غلوكوز واحد .

- **من خلال دراستك للتخمر اللبني ، أجب عن الأسئلة التالية :**

1. في أي الخلايا تحدث هذه التفاعلات ؟
2. ما الهدف من هذه التفاعلات ؟
3. ما الأهمية الاقتصادية لهذه التفاعلات ؟

- **تم استهلاك 24 جزئ أكسجين خلا عملية إنتاج الطاقة من الغلوكوز في خلية عضلية للإنسان :**

1. أذكر المراحل الأربعة التي تمر بها عملية إنتاج الطاقة من جزئ غلوكوز في وجود الأكسجين .
2. كم عدد جزيئات الغلوكوز المستهلكة ؟
3. كم عدد جزيئات NADH الناتجة عن المرحلة الثانية ؟
4. كم عدد جزيئات $FADH_2$ الناتجة عن المرحلة الثالثة ؟
5. كم عدد جزيئات ATP الناتجة عن المرحلة الرابعة ؟

- **من خلال دراستك لمراحل التنفس الخلوي والتخمر ، أجب عن الأسئلة التالية :**

1. ما الجزئ الذي يخسره البيروفيت ليتحول إلى أستيل مرافق الإنزيم أ ؟
2. ما نواتج تفكك جزئ البيروفيت في الخميرة ؟
3. عند تفكك 5 جزيئات سكر الغلوكوز بشكل تام ، كم ينتج من NADH و $FADH_2$ ؟