١٢

دولـــة فـلـسطين
وزارة التربية والتعليم

# العلوم الحياتية

## العلمي والزراعي

الفترة (١)

جميع حقوق الطبع محفوظة ©

دولـــة فـلـسطين
وزارة التربية والتعليم

مركز المناهج

حي الماصيون، شارع المعاهد
ص. ب 719 – رام الله – فلسطين
pcdc.edu.ps | manahej@moe.edu.ps

mohe.ps | mohe.pna.ps | moehe.gov.ps
.com/MinistryOfEducationWzartAltrbytWaltlym
فاكس +970-2-2098250 | هاتف +970-2-2983280

# عمليات حيوية في الخلية
# Processes in the cell

المحتويات


الفترة الأولى:عمليات حيوية في الخلية (Processes In The Cell)

**الفصل الأول: تدفق الطاقة** 3

(1.1): البناء الضوئي 4

(2.1): التنفس الخلوي 9

(3.1): التكامل بين عمليتي البناء الضوئي والتنفس الخلوي 15

**الفصل الثاني: من الجين إلى البروتين** 16

(1.2): الشيفرة الوراثية 16

(2.2): بناء البروتين 17


يتوقع من الطلبة بعد دراسة هذه الوحدة المتمازجة والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على تتبع العمليات الحيوية في الكائنات الحية التي يتم من خلالها الحفاظ على الاتزان الداخلي لها، ومن هذه العمليات البناء الضوئي، والتنفس الخلوي وكذلك تتبع عملية بناء البروتينات في الخلايا الحية اعتماداً على المعلومات الوراثية المختزنة في جزيئات الحمض النووي DNA من خلال تحقيق الآتي:

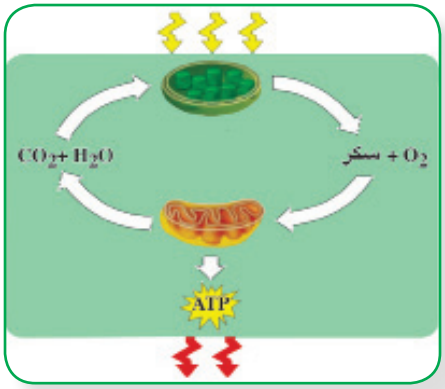
1. التعرف إلى آلية تحولات الطاقة في البناء الضوئي والتنفس الخلوي.
2. استنتاج العلاقة التكاملية بين البناء الضوئي والتنفس الخلوي.
3. تتبع مراحل بناء البروتين من نسخ وترجمة.

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 وبعض أنواع البكتيريا نقطة الانطلاق 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 في غياب 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. تتبع مراحل التفاعلات الضوئية اللاحلقية والحلقية، والمقارنة بينها.
2. تتبع التفاعلات التي تحدث في حلقة كالفن، وذكر نواتجها.
3. إستنتاج العلاقة بين معدل البناء الضوئي وبعض العوامل البيئية.
4. تتبع مراحل التنفس الخلوي.
5. المقارنة بين التخمر اللبني والتخمر الكحولي.
6. تبيان التكامل بين عمليتي البناء الضوئي والتنفس الخلوي.



## 1.1 البناء الضوئي Photosynthesis

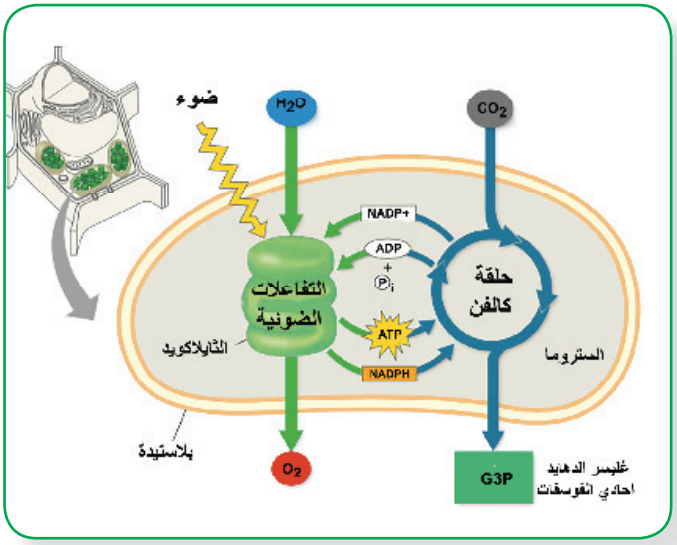
تدار الحياة على الأرض بالطاقة الشمسية التي تقطع مسافة 150 مليون كيلومتر من الشمس، وتستخدمها النباتات مثلاً لتحويلها إلى طاقة كيميائية مخزنة في السكر وغيره من الجزيئات العضوية. وتسمى هذه العملية البناء الضوئي.

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:

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

لأتعرف على تفاعلات البناء الضوئي، أدرس الشكل (1)، 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؟




الشكل (1): 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 إلكترونين وأيوني 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، ويمكِّن النبات من القيام بعملية البناء الضوئي، ويوجد عدة أنواع من الكلوروفيل، منها كلوروفيل a و b، 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.

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

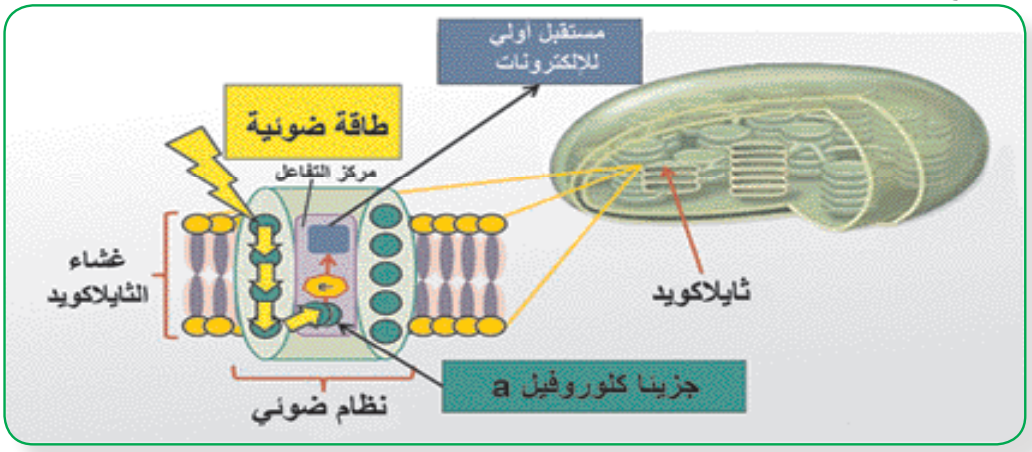
**سؤال:** كيف أفسر ظهور اللون الأخضر في النباتات؟

### 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 (2).
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.

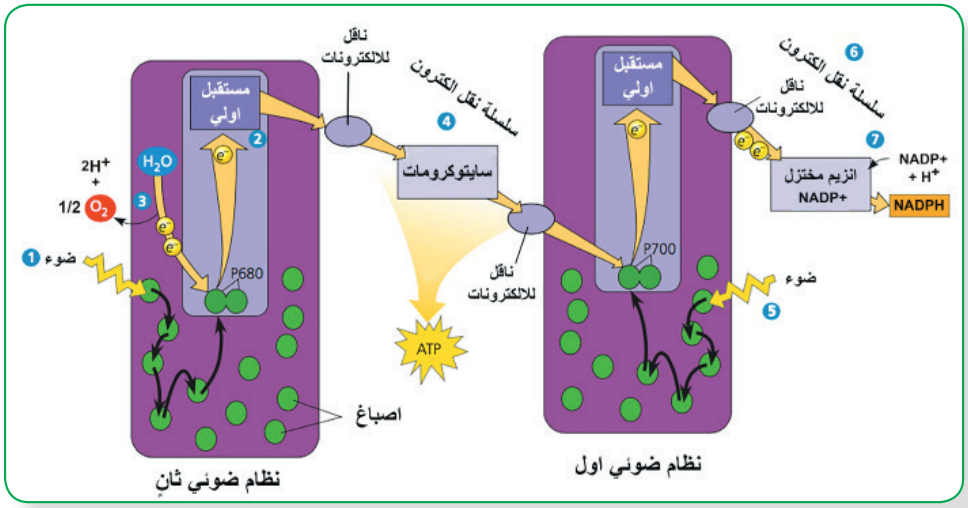



الشكل (2): تركيب النظام الضوئي

**سؤال:** ما وظيفة مركز التفاعل في النظام الضوئي؟

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 (3) تفاعلات المسار الإلكتروني اللاحلقي

بالاعتماد على الشكل (3) الذي يوضح المسار الإلكتروني اللاحلقي، أجيب عن الأسئلة الآتية:

1. أذكر أهمية امتصاص الضوء في بداية هذا المسار.
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. أعدد نواتج هذا المسار.
6. يحتوي المسار الإلكتروني اللاحلقي على نظام ضوئي أول ونظام ضوئي ثانٍ، إلا أن بداية المسار تكون عند النظام الضوئي الثاني. كيف أفسر ذلك؟

### مراحل المسار الالكتروني اللاحلقي

1. تمتص الجزيئات الصبغية في النظام الضوئي الثاني الموجات الضوئية؛ مما 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 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.

5 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.

6 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.

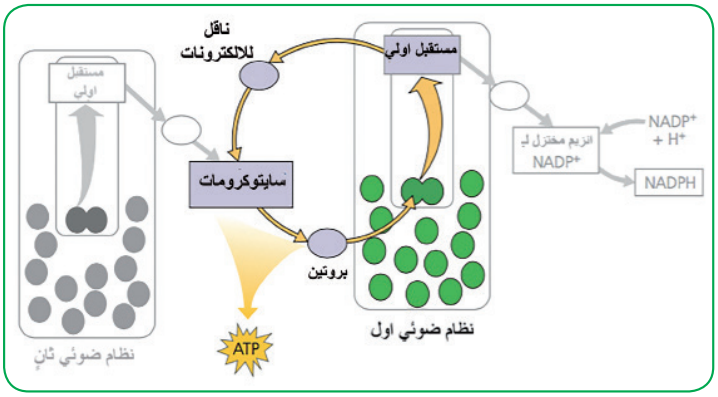
7 وبالتالي يختزل $NADP^+$ إلى NADPH كما في المعادلة الآتية:

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

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 (4).




الشكل (4): تفاعلات المسار الإلكتروني الحلقي

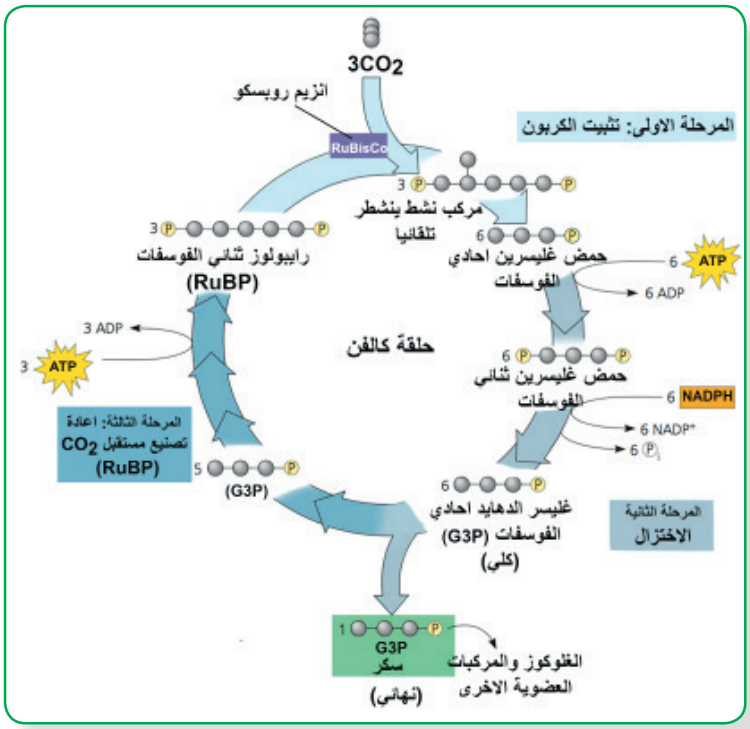
**سؤال:** أقارن بين المسار الإلكتروني اللاحلقي والمسار الإلكتروني الحلقي من حيث:

أ. النظام الضوئي المشارك
ب. النواتج
جـ. مستقبل الإلكترون الأخير.
د. تعويض الإلكترونات.

## ٢. 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 و NADPH.

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 (5).




الشكل (5): تفاعلات حلقة كالفن

**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، فينتج 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.

### المرحلة الثانية: الاختزال Reduction

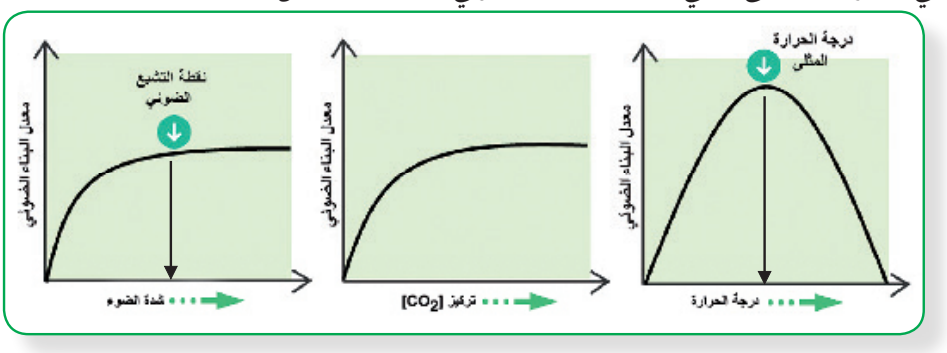
يحصل كل جزيء من حمض غليسرين أحادي الفوسفات من الجزيئات الستة التي تكونت على مجموعة فوسفات من جزيء ATP، فيتكون حمض غليسرين ثنائي الفوسفات 1,3-Biphosophoglycerat، ويعمل مركب NADPH على اختزال حمض غليسرين ثنائي الفوسفات إلى غليسر الدهايد أحادي الفوسفاتGlyceraldehyde 3-Phosphat أو اختصاراً G3P، حيث يتكون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

### 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.

### العوامل الخارجية المؤثرة في معدل البناء الضوئي

يتأثر البناء الضوئي 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 (6):




الشكل (6): بعض العوامل المؤثرة في معدل البناء الضوئي

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

## 2.1 التنفس الخلوي Cellular Respiration

تقوم الخلايا بوظائف مختلفة تشمل عمليات حيوية مثل الانقسام الخلوي، وتكوين النشا، وتحويل الغلوكوز إلى الغلايكوجين، وتكوين البروتينات من الحموض الأمينية، بالإضافة إلى انقباض العضلات في الحيوانات وغيرها من الأنشطة التي تحتاج إلى طاقة.

ويتم إنتاج الطاقة من خلال عملية التنفس الخلوي التي تقوم بوساطتها الكائنات الحية بتحليل المواد الغذائية مثل: الكربوهيدرات، وتحرير الطاقة المخزونة في الروابط الكيميائية الموجودة بين جزيئاتها.

وفي معظم الكائنات الحية تحتاج هذه العمليات إلى وجود الأكسجين، وبالتالي تسمى التنفس الهوائي Aerobic Respiration، في حين هنالك كائنات حية تقوم بهذه العملية دون استخدام الأكسجين، (كمستقبل أخير للإلكترون وتستخدم النترات $NO_3^{-1}$ أو السلفات $SO_4^{-2}$ بديلا عن الأكسجين)، وتسمى هذه العملية التنفس اللاهوائي Anaerobic Respiration والنوع الثالث من الكائنات الحية يقوم بالتنفس في غياب الأكسجين (كمستقبل أخير للإلكترون ويكون مستقبل الإلكترون مركباً عضوياً) بما يسمى التخمر Fermentation.

### أولا: التنفس الهوائي Aerobic Respiration

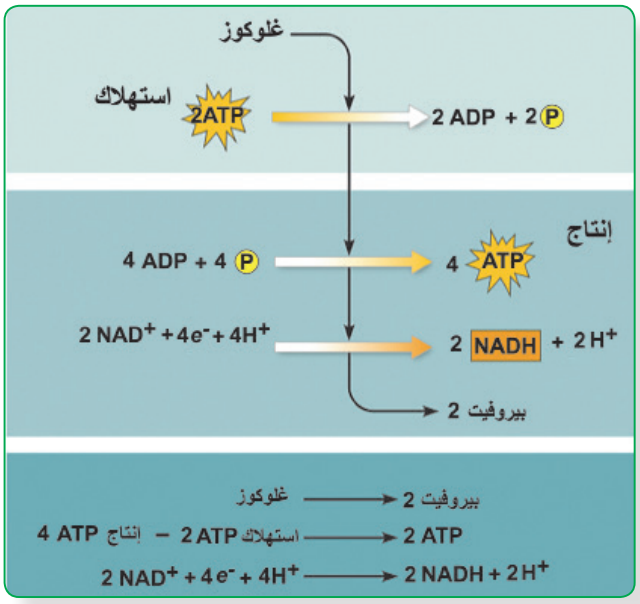
يحدث هذا النوع من التنفس في معظم الكائنات الحية، حيث تعتمد على وجود الأكسجين وتطلق غاز ثاني أكسيد الكربون. ويتم استخدام الأكسجين في أكسدة المواد الغذائية مثل الغلوكوز لإنتاج الطاقة اللازمة لتأدية العمليات الحيوية التي تقوم بها الخلية، ألاحظ المعادلة الآتية:

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

وتتضمن عملية التنفس الهوائي أربع مراحل تتم في سلسلة معقدة من التفاعلات المنتظمة والمترابطة كما يأتي:

## 1. مرحلة التحلل الغلايكولي Glycolysis

تحدث هذه المرحلة في سيتوسول جميع الخلايا الحية، وهذه العملية لا تتطلب وجود الأكسجين لإنتاج الطاقة. في هذه المرحلة ينشطر سكر الغلوكوز إلى جزيئين من سكر غليسر الدهايد (ثلاثي الكربون) ليتأكسد كل جزيء منهما؛ ليكونا في نهاية هذه المرحلة جزيئين من حمض البيروفيك (البيروفيت)، في هذه العملية يتم اختزال جزيئين من ناقل الهيدروجين $NAD^+$ إلى NADH وكذلك ينتج جزيئان من ATP. ألاحظ الشكل (7).

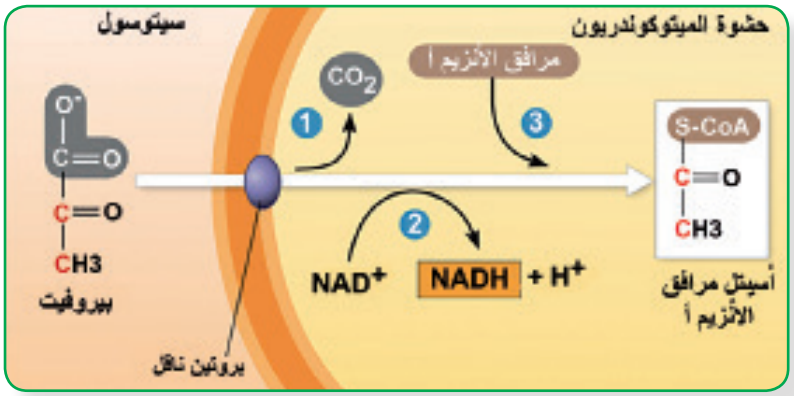



الشكل (7): ملخص لمرحلة التحلل الغلايكولي

**ملاحظة:** تمثل جزيئات $NAD^+$ وNADH اختصارا لنيكوتين أميد أدينين ثنائي النيوكليوتيد Nicotinamide Adenine Dinucleotide، وهو يعدّ أهم ناقل للإلكترونات أثناء التنفس الخلوي. يستقبل $NAD^+$ زوجاً من الإلكترونات وبروتوناً واحداً حيث يختزل إلى NADH.

## 2. تحويل البيروفيت إلى الأسيتل مرافق الأنزيم – أ Acetyl Co-A

الطاقة الناتجة من التحلل الغلايكولي تكون غير كافية لأداء الوظائف الحيوية في معظم الكائنات الحية؛ لذلك يدخل البيروفيت Pyruvate من السيتوسول إلى حشوة الميتوكندريا واحداً تلو الآخر (في حالة وجود الأكسجين لإنتاج كمية أكبر من الطاقة) ثم يتحول إلى مركب أسيتل مرافق الأنزيم-أ.



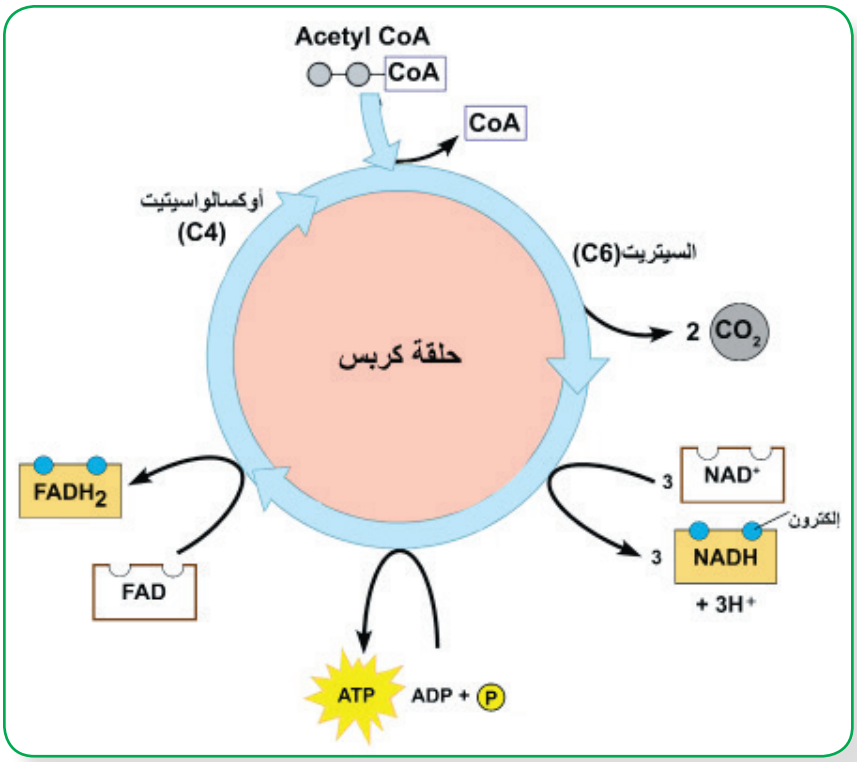

الشكل (8): تحول البيروفيت إلى أسيتل مرافق الأنزيم-أ

**سؤال:** أ- أتتبع الشكل (8) الذي يوضح خطوات تحول البيروفيت إلى أسيتل مرافق الأنزيم-أ.

ب- أحسب المواد الداخلة والناتجة من هذه المرحلة لجزيء غلوكوز واحد.

## 3. حلقة كربس Krebs Cycle

تتضمن سلسلة من التفاعلات؛ حيث تحدث في حشوة الميتوكندريون، وينتج عنها مركبات وسطية وفق الآتي:




الشكل (9): حلقة كربس

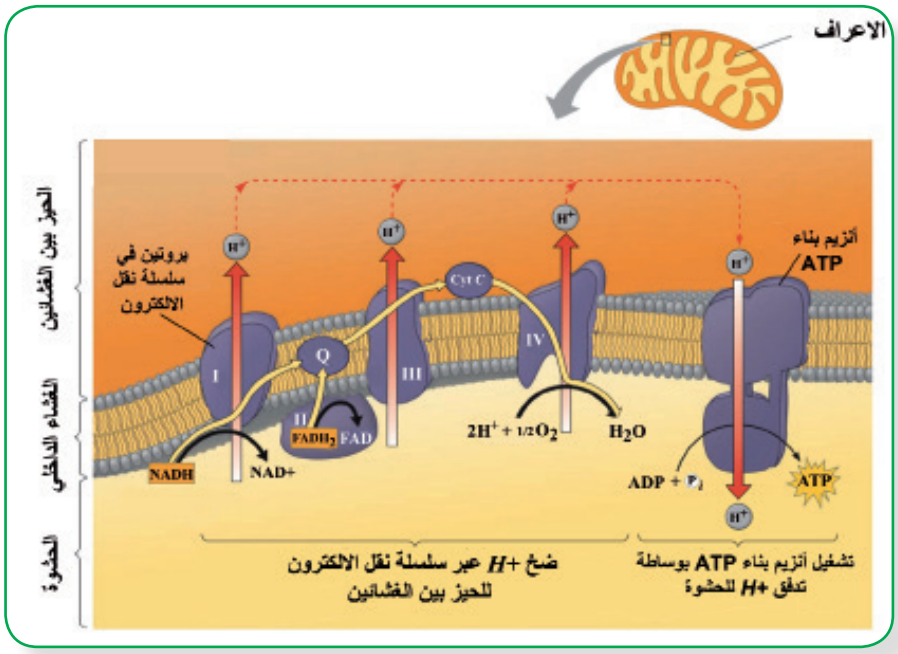
أ- تبدأ الحلقة بتفاعل جزيء أسيتل مرافق الأنزيم – أ مع مركب رباعي الكربون (C4) يسمى أوكسالواسيتيت Oxaloacetate لينتج مركباً سداسي الكربون (C6)، هو السيتريت Citrate، حيث يمر السيتريت بعدة مراحل لإعادة بناء الأوكسالواستيت من جديد. ما أهمية ذلك؟ ألاحظ الشكل (9).

ب- يتحرر أثناء هذه الدورة مرافق الأنزيم –أ ليكرر عمله في دورة أخرى، وينتج جزيئان من ثاني أكسيد الكربون وجزيء ATP، كما وينتج ثلاثة جزيئات من NADH وجزيء واحد من $FADH_2$ وذلك في كل دورة.

جـ- تتكرر الدورة مرتين، مرة لكل جزيء من مجموعة الأسيتل مرافق الأنزيم-أ، لماذا؟

**سؤال:** ما ناتج تحلل ثلاثة جزيئات غلوكوز في حلقة كربس؟

## 4. سلسلة نقل الإلكترون Electron Transport Chain




الشكل (10): مسار الإلكترونات وبناء ATP في سلسلة نقل الإلكترون

يتضح من المراحل السابقة أن الطاقة (ATP) الناتجة بشكل مباشر من تحلل جزيء غلوكوز واحد هوائياً كانت قليلة (أربعة جزيئات من ATP: جزيئين من التحلل الغلايكولي، وجزيئين من حلقة كربس)، والسبب في ذلك يعود إلى أن النسبة الأكبر من الطاقة يتم تخزينها في جزيئات حاملات الطاقة (NADH و $FADH_2$)؛ لذلك لا بد من استخلاص الطاقة من هذه الجزيئات على شكل ATP من خلال سلسلة نقل الإلكترون. أنظر إلى الشكل (10) وأتتبع تفاعلات هذه السلسلة.

أ- يوجد في الغشاء الداخلي للميتوكندريون (الأعراف) مجموعة من الأنزيمات والبروتينات تترتب وفق نظام خاص يتيح لها إطلاق الطاقة عند نقل الإلكترونات من جزيئات حاملات الطاقة (NADH و $FADH_2$)، ويسمى هذا النظام سلسلة نقل الإلكترون. ألاحظ الشكل (10).

ب- تنتقل الإلكترونات ضمن مستويات طاقة مختلفة من خلال مرورها من بروتين إلى آخر من السيتوكرومات (بروتينات تحتوي على ذرة حديد)، حيث تنطلق الطاقة المخزنة في النواقل الهيدروجينية (NADH و $FADH_2$) عبر سلسلة نقل الإلكترون لتكوين جزيئات ATP. وتعرف هذه العملية **بالفسفرة التأكسدية Oxidative Phosphorylation.**

جـ- تتكون جزيئات ATP في سلسلة نقل الإلكترون كما يأتي:

1 تعمل البروتينات في سلسلة نقل الإلكترون كمضخات للبروتونات $H^+$، حيث تقوم بضخ $H^+$ من داخل الحشوة إلى الحيز بين الغشائي باستخدام طاقة الإلكترون عبر سلسلة نقل الإلكترون كما توضح المعادلة الآتية:

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

2 استمرار ضخ البروتونات إلى الحيز بين الغشائي يؤدي إلى زيادة تركيز أيونات الهيدروجين $H^+$ هناك، ويؤدي ذلك إلى انتقال أيونات الهيدروجين بفعل فرق التركيز إلى داخل الحشوة عبر أنزيم بناء ATP.

3 هذا الانتقال يؤدي إلى تنشيط أنزيم بناء ATP، وبالتالي بناء ATP من جزيئات ADP ومجموعات الفوسفات، كما توضح المعادلة الآتية:

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

د- ينتج عن كل جزيء من NADH ثلاثة جزيئات من ATP، بينما ينتج عن كل جزيء من $FADH_2$ جزيئان من ATP. لماذا؟ أتتبع الشكل (10) وأفسر ذلك.

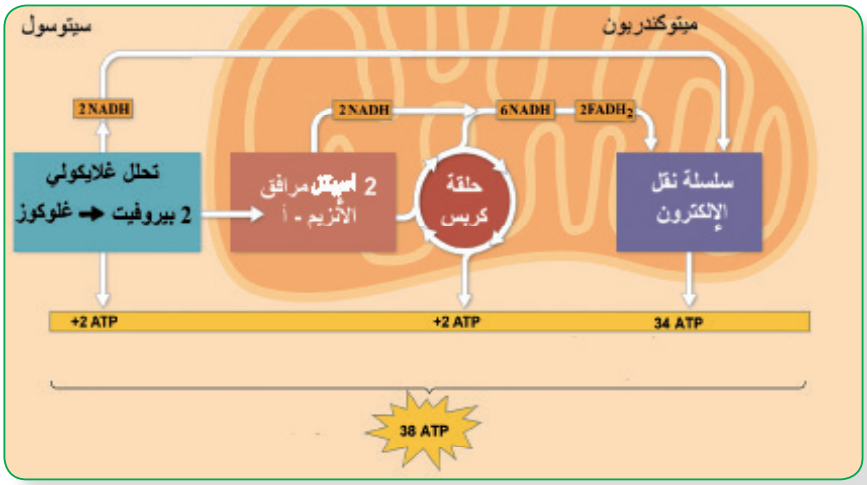
هـ- بعد تصنيع جزيئات ATP داخل حشوة الميتوكندريون يتم تصديرها بوساطة بروتين خاص إلى السيتوبلازم لتستخدم في الخلية.

و- في نهاية سلسلة نقل الإلكترون يكون الأكسجين هو المستقبل النهائي للإلكترونات، حيث يتم ربط الهيدروجين والأكسجين لتكوين $H_2O$. كما توضح المعادلة الآتية:

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

## نشاط (1): عدد جزيئات ATP الناتجة من عملية التنفس الخلوي

للتعرف على عدد جزيئات ATP الناتجة في التنفس الخلوي عند تحلل جزيء غلوكوز واحد، أتتبع الشكل (11)، ثم أملأ الجدول (1).




الشكل (11): ملخص لتحلل جزيء غلوكوز واحد هوائيا

تشير الأبحاث العلمية الحديثة إلى أن كمية الطاقة الناتجة من تحلل جزيئات حاملات الطاقة كما يلي: NADH: 2.5 ATP و $FADH_2$: 1.5 ATP. تم تقريب الأعداد إلى 3 ATP لتحلل NADH و2 ATP لتحلل $FADH_2$ لتسهيل إجراء الحسابات.

جدول (1): نتائج عملية إنتاج جزيئات الطاقة من تحلل جزيء غلوكوز واحد هوائياً

| نتائج تحلل جزيء غلوكوز واحد هوائيا | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| المرحلة | عدد جزيئات NADH الناتجة | عدد جزيئات $FADH_2$ الناتجة | عدد جزيئات $CO_2$ الناتجة | عدد جزيئات ATP الناتجة بشكل مباشر | عدد جزيئات ATP الناتجة في سلسلة نقل الإلكترون (غير مباشر) |
| التحلل الغلايكولي | | | | | |
| تحول البيروفيت إلى أسيتل مرافق الأنزيم -أ | | | | | |
| حلقة كربس | | | | | |
| المجموع الكلي لجزيئات ATP | | | | | |

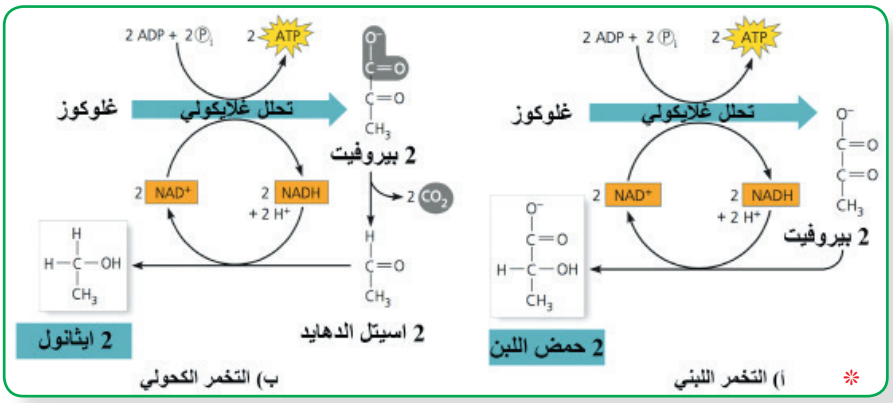
## ثانياً: التخمر Fermentation

يحدث التخمر في غياب الأكسجين، حيث يمر جزيء الغلوكوز بمرحلة التحلل الغلايكولي؛ لينتج مركبين من البيروفيت، وبسبب عدم وجود الأكسجين يدخل البيروفيت إلى أحد مساري التخمر في السيتوسول، وهما التخمر اللبني والتخمر الكحولي، ألاحظ الشكل (12).

تحدث عملية التخمر اللبني Lactic Acid Fermentation في بعض أنواع البكتيريا، حيث تقوم بإنتاج الطاقة في غياب الأكسجين، وذلك بتحويل البيروفيت إلى حمض اللبن، أما التخمر الكحولي Alcoholic Fermentation فإن البيروفيت يستقبل الإلكترون ويتحول في غياب الأكسجين إلى إيثانول Ethanol، وذلك عن طريق تحرر جزيء $CO_2$، ليتم إنتاج مركب ثنائي الكربون يسمى أسيتل الدهايد Acetaldehyde، (ويكون المستقبل النهائي للإلكترون) ليُختزل إلى مركب إيثانول بوساطة جزيء NADH. ويُستخدم التخمر الكحولي في صناعة الكحول والخبز والمعجنات.

يكون الهدف من التخمر إعادة إنتاج مركبات $NAD^+$ من NADH لضمان استمرارحدوث التحلل الغلايكولي، حيث يتم إنتاج كمية قليلة من الطاقة تساوي جزيئين من ATP.

ويستفيد الإنسان من التخمر اللبني في صناعة المخللات واللبن، وتضطر العضلات أحياناً للقيام بالتخمر اللبني لإنتاج الطاقة اللازمة؛ ويحدث ذلك بسبب قيام العضلات بمجهود عالٍ، وعدم مقدرة الدم على نقل كمية كافية من الأكسجين لها.




الشكل (12): التخمر (اللبني، والكحولي)

## 3 .1 التكامل بين عمليتي البناء الضوئي والتنفس الخلوي

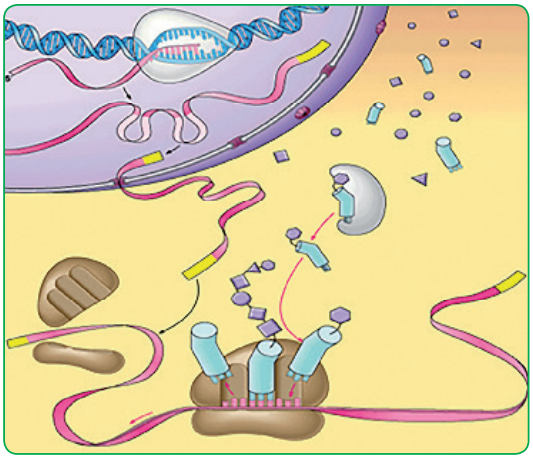
أتأمل الشكل (13)، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:

1. أكتب نواتج البناء الضوئي.
2. أعدد المواد الداخلة في تفاعلات التنفس الخلوي.
3. ماذا أستنتج من مقارنة الإجابتين السابقتين؟
4. أقارن بين $NADP^+$ في البناء الضوئي و$NAD^+$ في التنفس من حيث الوظيفة؟
5. يَستخدم البناء الضوئي والتنفس مجموعة من البروتينات التي توجد في أغشية البلاستيدات الخضراء والميتوكندريا،ماذا تسمى هذه البروتينات؟

الشكل (13): التكامل بين البناء الضوئي والتنفس الخلوي

* الصيغ البنائية للإطلاع.

# الفصل الثاني 2 من الجين إلى البروتين From Gene to Protein



تحدد الجينات في DNA صفات الكائن الحي، التي تشكل تسلسلاً محدداً من النيوكليوتيدات التي تعطي الصفات المختلفة للكائنات الحية، ولكن، كيف تحدد الجينات تركيب البروتين؟ وكيف تحدث عملية تحويل المعلومات الوراثية إلى لغة واضحة تُستخدم في بناء البروتين؟ وكيف تتحول هذه البروتينات إلى شكلها الفاعل في الخلية؟ هذه الأسئلة وغيرها سأتمكن من الإجابة عليها بعد دراستي هذا الفصل، وسأكون قادرا على:

1. توضيح المقصود بالمفاهيم الآتية: الشيفرة الوراثية، الكودون، الكودون المضاد، الإنترون، الإكسون، المعالجة.
2. التمييز بين دور كل من DNA وRNA في عملية النسخ والترجمة.
3. تتبع مراحل عملية بناء البروتين من نسخ وترجمة.
4. تقدير دور العلماء في اكتشاف الشيفرة الوراثية وفك أسرارها.

## 2 .1 الشيفرة الوراثية Genetic Code

تمثل الشيفرة الوراثية تسلسل النيوكليوتيدات في DNA، فإذا علمت أن عدد أنواع الحموض الأمينية (20) نوعاً، فكيف يمكن أن يتم بناء شيفرات وراثية تربط هذه الحموض الأمينية كي يتم بناء سلاسل عديد الببتيد (البروتين) التي يحتاجها الإنسان؟ علما بأن عدد النيوكليوتيدات المختلفة التي تكون DNA هي أربعة فقط (A: أدنين وT: ثايمين وG: غوانين وC: سايتوسين). بداية الإجابة عن هذا السؤال كانت على يد العالم جورج غامو عام 1954، حيث أثبت بشكل رياضي أن أقل عدد يلزم من النيوكليوتيدات لتشفير حمض أميني واحد هو ثلاثة نيوكليوتيدات. وهذا بدوره كفيل أن يربط جميع الحموض الأمينية التي تلزم الإنسان، وتسمى هذه الوحدات الثلاثية على جزيء mRNA **بالكودون**. وكل كودون يُشفر حمضا أمينيا في سلسلة عديد الببتيد، ومن ثم جاء العالم نيرنبيرغ ومساعدوه، حيث تمكنوا من معرفة بعض الحموض الأمينية التي تشفر من قبل كودونات بطريقة عملية. وأخيرا تمكن العلماء من معرفة جميع الكودونات اللازمة لتشفير الحموض الأمينية. أنظر الجدول (1).

## نشاط (1): الشيفرة الوراثية

**بالاعتماد على الجدول (1)، أجيب عن الأسئلة الآتية:**

1. كم عدد أنواع الكودونات التي يمكن أن تكون على سلسلة mRNA؟
2. أكتب كودونات البدء والإيقاف.
3. أذكر الحموض الأمينية التي تشفر بكودون واحد فقط.
4. يمكن أن يُشفر الحمض الأميني بأكثر من كودون ولكن العكس لا يكون صحيحا، أبين ذلك بالأمثلة.
5. بماذا تختلف الكودونات التي تشفر نفس الحمض الأميني؟

الجدول (1): الشيفرة الوراثية في جزيء mRNA

| الحرف الأول | الحرف الثاني U | | الحرف الثاني C | | الحرف الثاني A | | الحرف الثاني G | | الحرف الثالث |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| U | UUU | فينيل الانين | UCU | سيرين | UAU | تيروسين | UGU | سيستين | U |
| | UUC | | UCC | | UAC | | UGC | | C |
| | UUA | ليوسين | UCA | | UAA | توقف | UGA | توقف | A |
| | UUG | | UCG | | UAG | | UGG | تريبتوفان | G |
| C | CUU | ليوسين | CCU | برولين | CAU | هستدين | CGU | أرجينين | U |
| | CUC | | CCC | | CAC | | CGC | | C |
| | CUA | | CCA | | CAA | غلوتامين | CGA | | A |
| | CUG | | CCG | | CAG | | CGG | | G |
| A | AUU | ايزو ليوسين | ACU | ثريونين | AAU | أسبرجين | AGU | سيرين | U |
| | AUC | | ACC | | AAC | | AGC | | C |
| | AUA | | ACA | | AAA | لايسين | AGA | ارجينين | A |
| | AUG ميثيونين أو بدء | | ACG | | AAG | | AGG | | G |
| G | GUU | فالين | GCU | الانين | GAU | حمض أسبرتيك | GGU | غلايسين | U |
| | GUC | | GCC | | GAC | | GGC | | C |
| | GUA | | GCA | | GAA | حمض غلوتميك | GGA | | A |
| | GUG | | GCG | | GAG | | GGG | | G |

**ملاحظة:** تحفظ كودونات البدء والإيقاف فقط.

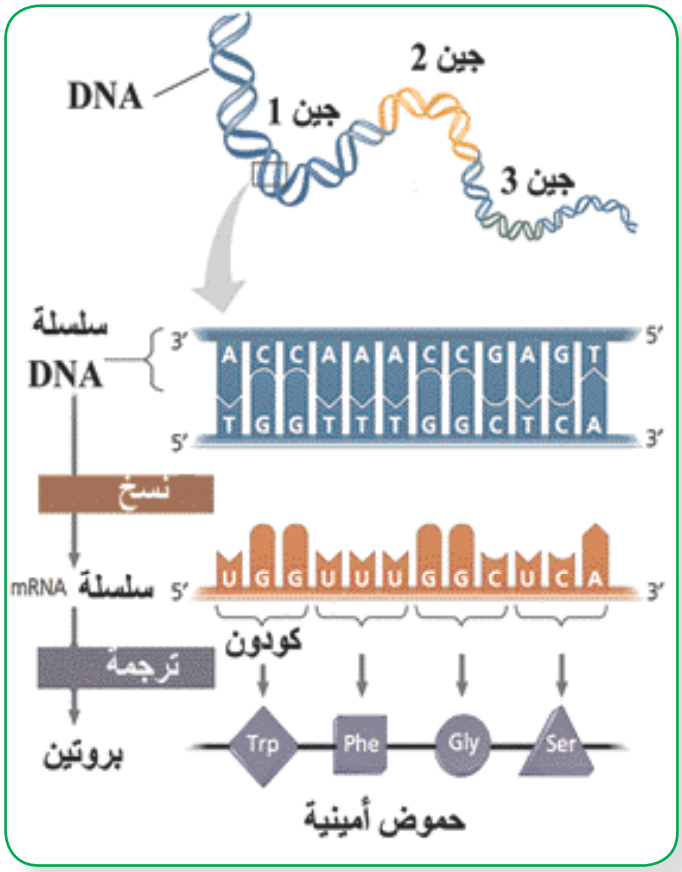
### 2.2 بناء البروتين

تتمثل عملية بناء البروتين في تحويل تسلسل معين من النيوكليوتيدات على جزيء DNA إلى لغة يمكن قراءتها بوساطة الرايبوسوم؛ ليتم بذلك بناء سلسلة عديد الببتيد، ويلزم هذه العملية نسخ أنواع من الحموض النووية من نوع RNA حيث يتم نسخها من جينات خاصة لكل نوع موجودة ضمن تسلسل DNA وذلك بوساطة أنزيمات خاصة تسمى أنزيمات بلمرة RNA (DNA Dependent RNA Polymerases) وتتم عملية نسخ الحموض كما يلي:

## 1. RNA الرسول (mRNA)

يتم نسخ mRNA من إحدى سلاسل DNA (السلسلة 5´ → 3´ تشكل قالباً لعملية النسخ)، التي تمثل سلسلة مفردة تحمل المعلومات الخاصة ببناء البروتين الذي تحتاجه الخلية. ينتقل mRNA من النواة إلى السيتوسول، حيث يشكل قالباً لصنع البروتين من قبل الرايبوسوم. أنظر الشكل (1).

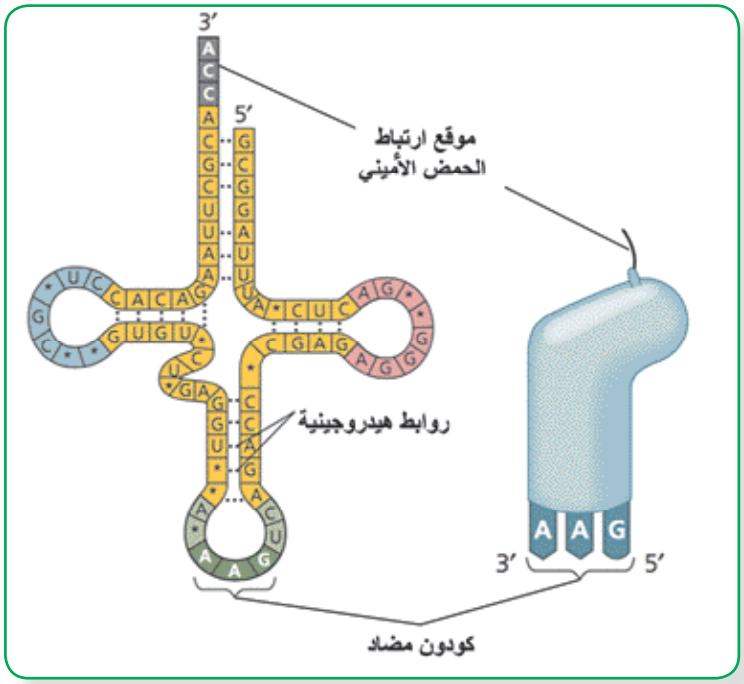
وتبدأ العملية بنسخ جزء مُحدد من سلسلة DNA القالب بواسطة أنزيم بلمرة RNA (RNA Polymerase)، إذ تعمل رموز الشيفرة في DNA كقالب، حيث ينسخ منها سلسلة RNA الرسول (mRNA) بشكل متمم Complementary، إذ يحل نيوكليوتيد اليوراسيل (U) محل الثايمين (T) الذي يتممه نيوكليوتيد الأدنين (A)، ونيوكليوتيد السايتوسين (C) يتممه نيوكليوتيد الغوانين (G).




الشكل (1): تدفق المعلومات الوراثية بدءاً من DNA وحتى البروتين

## 2. RNA الناقل tRNA

يقوم tRNA بنقل الحموض الأمينية من السيتوسول إلى الرايبوسوم، ليتم ربطها في سلسلة عديد الببتيد. ويتكون tRNA من شريط مفرد يلتف على نفسه، ليكون 4 حلقات، أنظر الشكل (2)، حيث تحتوي الحلقة الثانية على ثلاثة نيوكليوتيدات تمثل كودوناً مضاداً يكون متمماً لأحد الكودونات على جزيء mRNA.




الشكل (2): رسم جزيئي وتخطيطي لتركيب tRNA

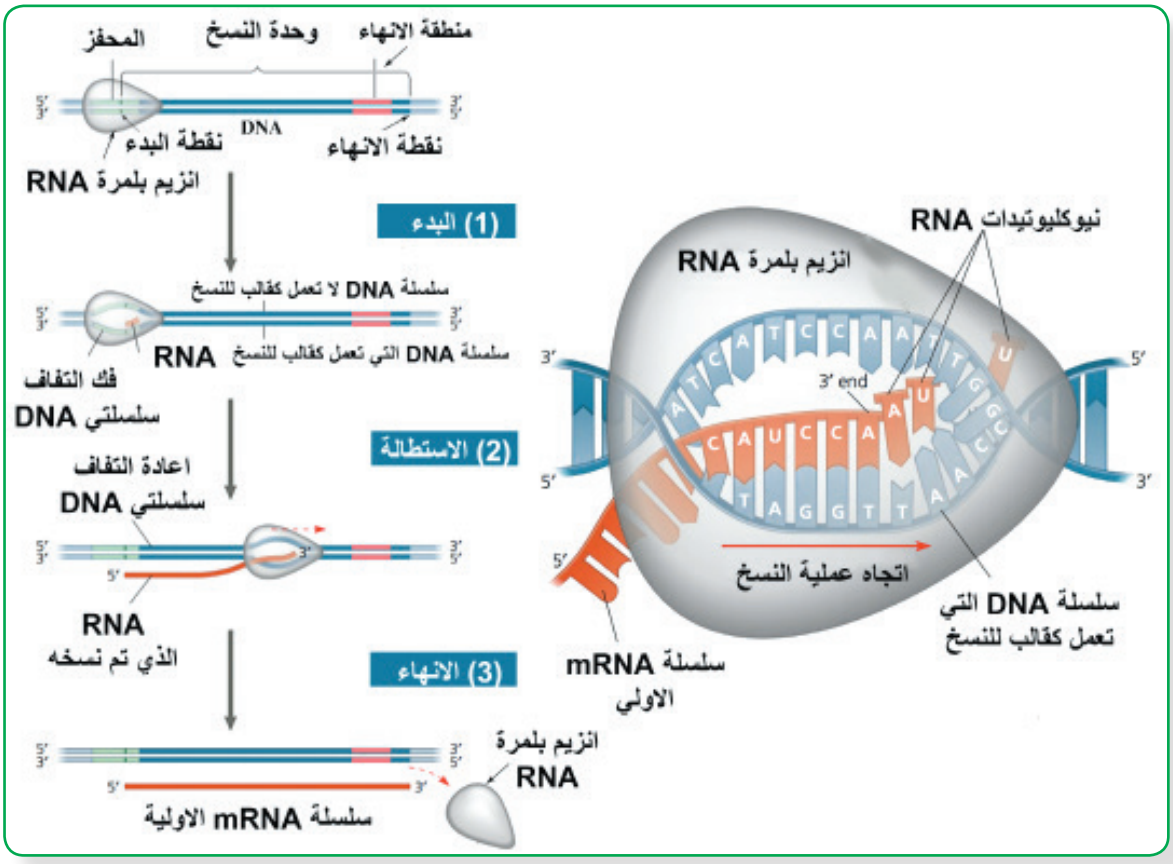
### 3. RNA الرايبوسومي rRNA

يدخل في بناء الرايبوسوم، ويمثل الناحية الوظيفية فيه، ويعمل على ربط الحموض الأمينية المتجاورة بروابط ببتيدية أثناء عملية الترجمة، ويُبنى rRNA على شكل كروي، حيث يوجد منه عدة أنواع.

## مراحل بناء سلسلة عديد الببتيد (البروتين)

### أولاً: نسخ Transcription (mRNA)

تتكون عملية نسخ mRNA من ثلاث مراحل هي: البدء، والاستطالة، والإنهاء. أنظر الشكل (3).




الشكل (3) مراحل النسخ: البدء، والاستطالة، والإنهاء

1 **البدء:** ترتبط عوامل النسخ Transcription Factors وأنزيم بلمرة RNA على بداية الجين المراد نسخه من سلسلة DNA ( 5´ ← 3´ ) وبالتحديد على تتابع معين من النيوكليوتيدات تسمى المحفز Promoter، حيث يتم فتح سلسلتي DNA الملتفتين في هذا الموقع، ويبدأ أنزيم بلمرة RNA بعملية النسخ.

2 **الاستطالة:** يعمل أنزيم بلمرة RNA على إضافة نيوكليوتيدات، بحيث تكون متممة لتلك الموجودة على سلسلة DNA، التي تعمل كقالب، حيث تبدأ سلسلة mRNA في التكون، وبمجرد مرور الأنزيم تعود سلسلتا DNA للالتفاف مرة أخرى ويستمر إضافة النيوكليوتيدات المتممة، ويحدث إستطالة لجزيء mRNA.

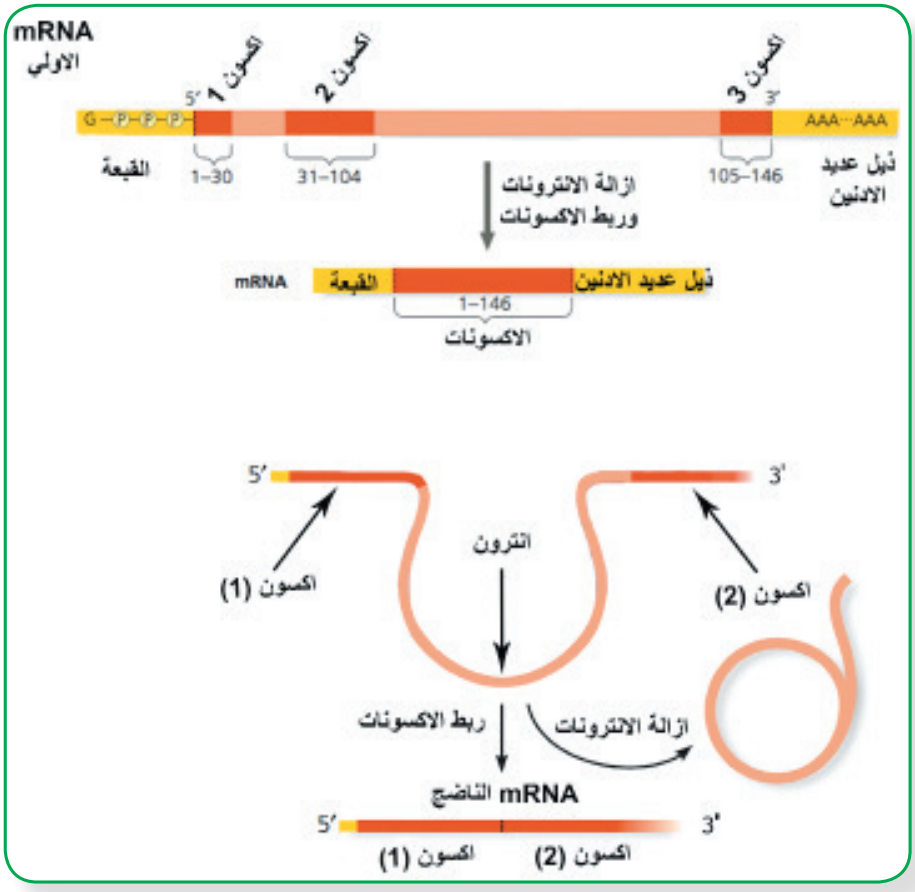
3 **الإنهاء:** يصل أنزيم بلمرة RNA إلى تتابع من النيوكليوتيدات يسمى منطقة الإنهاء Termination Point، حيث ينفصل الأنزيم عن سلسلة DNA، وتطلق سلسلة mRNA الجديدة التي تم تصنيعها. وتعود سلسلتا DNA للالتفاف حول بعضهما ثانية.

وتسمى السلسلة الناتجة mRNA الأولي Primary mRNA، حيث تمر هذه السلسلة بمرحلة معالجة ليَنتج من خلالها mRNA الناضج (الوظيفي) (Functional mRNA)، أنظر الشكل (4).

**وتتم عملية المعالجة في النواة بثلاث مراحل أساسية وهي:**

## 1. إضافة القبعة Capping

يتم إضافة نيوكليوتيد الغوانين (G) في نهاية السلسلة 5´ ليرتبط مع النيوكليوتيد الأول في شريط mRNA برابطة ثلاثية الفوسفات بما يسمى بالقبعة Cap. وللقبعة دور مهم في ثبات وحماية mRNA من التحلل في السيتوبلازم، ولها دور في عملية الترجمة، حيث تشكل إشارة لارتباط mRNA بالرايبوسوم.




الشكل (4): مراحل عملية المعالجة، إضافة القبعة والذيل وإزالة الإنترونات

### 2. إضافة ذيل أدنين Polyadenylation

تهدف هذه العملية إلى مساعدة mRNA في خروجه من الغلاف النووي إلى السيتوسول، والحفاظ على ثباته، وعدم تحطمه في السيتوبلازم، وتتم من خلال إضافة ذيل من وحدات متكررة (50-250 وحدة) من نيوكليوتيد الأدنين ( Poly (A) tail).

### 3. إزالة الإنترونات Splicing

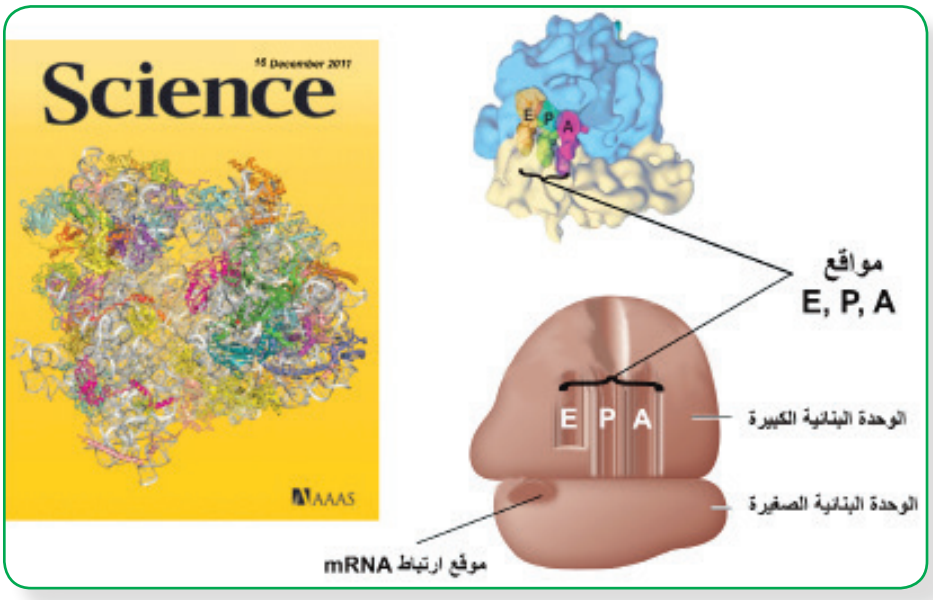
يتكون mRNA الأولي من إنترونات Introns وإكسونات Exons، وتمثل الإكسونات الأجزاء الفاعلة التي يتم ترجمتها إلى حموض أمينية، بينما تمثل الإنترونات أجزاء غير فاعلة في بناء البروتين. حيث يتم في هذه المرحلة إزالة الإنترونات، وربط الإكسونات معاً وتكوين mRNA الناضج. علماً بأن هذه العملية تتم في الخلايا حقيقية النوى فقط.

## ثانيا: الترجمة Translation

تُمثل عملية ترجمة المعلومات من لغة جزيئية لأخرى، وذلك بتحويل تسلسل النيوكليوتيدات في mRNA إلى تسلسل الحموض الأمينية في عملية بناء البروتين. وتمر عملية الترجمة في ثلاث مراحل هي: البدء، والاستطالة، والإنهاء. ولحدوث عملية الترجمة لا بد من توفر كل من جزيئات mRNA الحاملة للشيفرة الوراثية، وجزيئات tRNA الحاملة للحموض الأمينية، والرايبوسومات التي تُعدّ عُضيات بناء البروتينات.

## تركيب الرايبوسوم

يُعدّ الرايبوسوم بمثابة المصنع الذي يتم من خلاله ربط الحموض الأمينية بعضها ببعض لبناء سلسلة عديد الببتيد، ويتركب الرايبوسوم في الخلايا حقيقية النوى من وحدتين بنائيتين: وحدة بنائية صغيرة Small Subunit، ووحدة بنائية كبيرة Large Subunit. تتكون الوحدات البنائية للريبوسوم من جزيئات rRNA وبروتينات، وتمثل هذه البروتينات الأجزاء التركيبية للرايبوسوم، أما الأجزاء الوظيفة فتمثل جزيئات rRNA. أنظر الشكل (5).




الشكل (5): التركيب الدقيق للرايبوسوم يُعدّ من الاكتشافات المذهلة

**يحتوي الرايبوسوم على أربعة مواقع:**

1 موقع لارتباط mRNA: تمثل منطقة الانغماد بين الوحدتين البنائيتين.

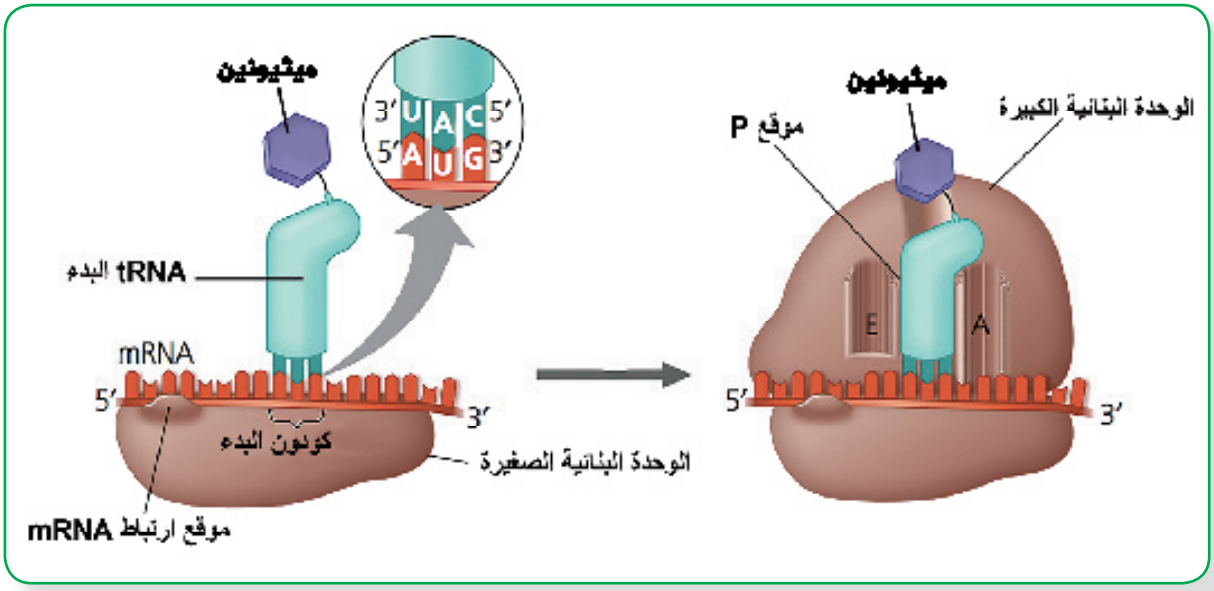
2 ثلاثة مواقع لارتباط tRNA: تُمثل ثلاثة انغمادات على الوحدة البنائية الكبيرة للرايبوسوم، موقعا لارتباط جزيئات tRNA وهذه المواقع هي (A) و (P) و (E). وتعني ما يأتي: (A: Aminoacyl) و(P: Peptidyl) و(E: Exit).

**قضية للبحث:** ساهمت معرفة الإنسان في التعرف على تركيب الرايبوسوم في الخلايا البدائية في تفعيل دور المضادات البكتيرية. أبحث في ذلك موضحاً تركيب الرايبوسوم.

## مراحل عملية الترجمة

### 1. مرحلة البدء Initiation

أ- يرتبط mRNA بالوحدة البنائية الصغيرة على الرايبوسوم، بحيث يَكون كودون البدء (AUG) في موقع P، ويرتبط جزيء tRNA الحامل للميثيونين على كودون البدء، كما في الشكل (6).




شكل (6): المرحلة الأولى للترجمة؛ البدء

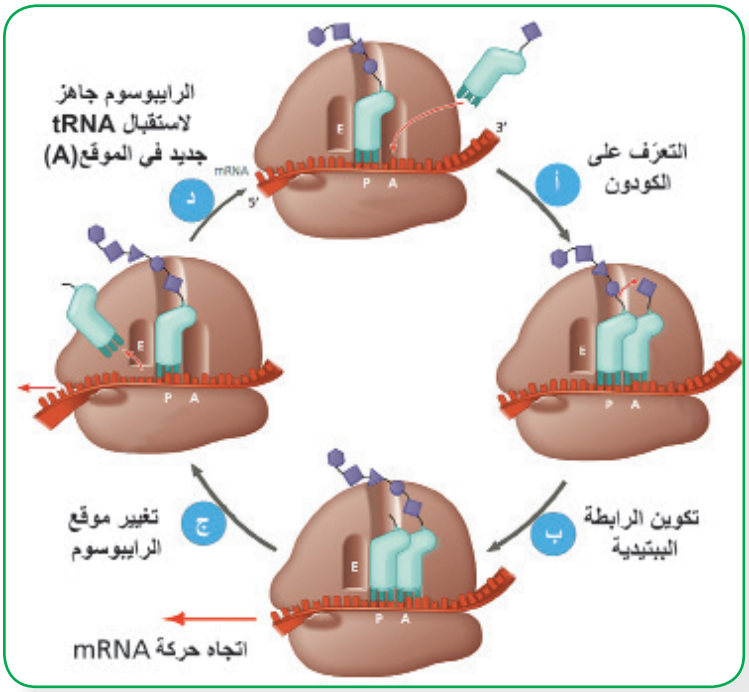
ب- ترتبط الوحدة البنائية الكبيرة بالوحدة البنائية الصغيرة. ومع نهاية المرحلة يكون tRNA الحامل للميثيونين في موقع (P) والموقع (A) يكون فارغاً ومستعداً لاستقبال جزيء tRNA التالي.

## 2. مرحلة الاستطالة Elongation

يتم إضافة الحموض الأمينية في هذه المرحلة واحداً تلو الآخر، ألاحظ الشكل(7):

**أ- التعرف على الكودون:** يرتبط الكودون المضاد في tRNA الحامل للحمض الأميني بروابط هيدروجينية مع الكودون المتمم على mRNA في موقع (A).

**ب- تكوين الرابطة الببتيدية:** يعمل rRNA في الوحدة البنائية الكبيرة كأنزيم رايبوزايم (Ribozyme) على تكوين رابطة ببتيدية بين الحمض الأميني في موقع (P) والحمض الأميني في موقع (A)، وعندها ينفصل tRNA في موقع (P) عن الحمض الأميني الحامل له، ويخرج من الموقع (E).




شكل (7): الترجمة؛ مرحلة الاستطالة

**جـ- تغيير موقع الرايبوسوم:**

يتحرك mRNA خلال الرايبوسوم بمقدار كودون واحد، فينتقل tRNA من موقع (A) إلى موقع (P)، ونتيجة لذلك يتغير موقع tRNA الحامل لعديد الببتيد من موقع (A) إلى موقع (P).

**د- الرايبوسوم جاهز لإستقبال tRNA جديد في الموقع (A):** يصبح موقع (A) فارغاً ومستعداً لإستقبال جزيء جديد من tRNA.

## 3. مرحلة الإنهاء Termination

تستمر عملية الترجمة حتى يقرأ الرايبوسوم أحد كودونات الإيقاف (UAA أو UAG أو UGA) على mRNA في الموقع (A)، وهنا يرتبط عامل بروتيني للإيقاف Release Factor مع كودون الإيقاف في موقع A بدلاً من tRNA. وبذلك تنفصل سلسلة عديد الببتيد عن tRNA في موقع (P)، ثم تنفصل الوحدتان البنائيتان للرايبوسوم بعضهما عن بعض، وتتوقف عملية الترجمة، وتنطلق سلسة عديد الببتيد. بعد الانتهاء من عملية الترجمة وإنتاج سلسلة عديد الببتيد، تخضع السلسلة لعمليات تعديل، لتكوين **بروتين وظيفي فعال.**

# ورقة عمل

**السؤال الأول : اختار رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي :**

1. ما فائدة استخدام الهيدروجين في التفاعلات الضوئية ؟

أ. اختزال الاكسجين　　ب. اختزال نواقل الالكترونات

ج. اختزال ثاني اكسيد الكربون　　د. اختزال الماء

2. ما مصدر الزيادة في كتلة النبات؟

أ. الماء　　ب. ثاني اكسيد الكربون

ج. الاكسجين　　د. ATP

3. اين تحدث حلقة كربس ؟

أ. الستوسول　　ب. حشوة البلاستيدة

ج. حشوة الميتوكندريا　　د. الاعراف

4. ما عدد ذرات الكربون في الاوكسالواستيت ؟

أ. 3　　ب. 4　　ج. 5　　د. 6

5. من اين يتم ضخ (H+) في سلسلة نقل الالكترون بواسطة البروتينات التي تعمل كمضخات للبروتونات (H+)؟

أ. الحيز بين الغشائي الى حشوة الميتوكندريا　　ب. السيتوسول الى حشوة الميتوكندريا

ب. داخل حشوة الميتوكندريا الى الحيز بين الغشائي　　ج. حشوة الميتوكندريا الى السيتوسول

6. ما عدد الكودونات اللازمة لتشفير عديد ببتيد مكون من 35 حمض اميني بحيث يتكون من 22 نوع من الحموض الامينية :

أ. 22　　ب. 23　　ج. 35　　د. 36

7. ما نوع الرابطة بين الكودون المضاد على tRNA والكودون على mRNA؟

أ. ببتيدية　　ب. هيدروجينية　　ج. نيتروجينية　　د. ايونية

**السؤال الثاني:**

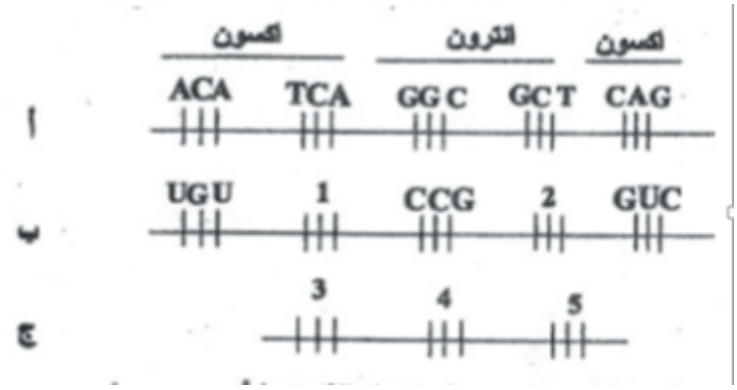
اذا تم استهلاك 36 جزيء ATP في حلقة كالفن:

1. كم جزيء G3P ينتج في مرحلة الاختزال
2. ما عدد جزيئات NADPH و CO2المستهلكة
3. كم عدد جزيئات الغلوكوز الناتجة
4. ما اسم المركب الذي يربط بين حلقتي كالفن وكربس ؟
5. وضح المرحلة الاولى من الحلقة.

**السؤال الثالث** :اذا نتج من مجمل التنفس الخلوي (20) $FADH_2$ احسب:

1. عدد جزيئات الغلوكوز التي دخلت التنفس الخلوي
2. عدد جزيئات ATP التي نتجت بشكل مباشر
3. عدد جزيئات NADH في حلقة كربس
4. عدد جزيئات CO2 الناتجة من تحول البيروفيت الى استيل مرافق الانزيم - أ
5. عدد جزيئات الاكسجين المستهلك في التنفس الهوائي
6. في أي مرحلة نتجت $FADH_2$.
7. في حال غياب الاكسجين وحدثت العملية في الخميرة ما نواتجها لجزيئات الجلوكوز السابقة

السؤال الرابع : ادرس الشكل المجاور ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:




1- ما اسم كل من السلاسل الثلاث (أ، ب،ج).

2- ماذا تسمى العمليات تحول (أ الى ب) وتحول (ب الى ج).

3- اكتب الكودونات المشار اليها بالأرقام ( 1،2،3،4،5)

# اختبار

**السؤال الاول :** اختر الاجابة الصحيحة فيما يلي :

1_ ما اسم اول سكر ينتجه النبات ؟

أ_ الغلوكوز ب_ رايبوز ج_ G3P د_ رايبوز منقوص الاكسجين

2.إذا نتج في حلقة كالفن 8 جزيئات G3P بشكل نهائي , كم عدد جزيئات الماء المتحللة في المسار اللاحلقي

أ) 54 ب) 48 ج) 36 د) 8

3. إذا نتج 18 جزيء من G3P بشكل كلي في حلقة كالفن , ما عدد جزيئات NADH الناتجة عن تفاعلات مرحلة حلقة كربس ؟

أ) 18 ب) 9 ج) 3 د) 1

4. أي من مراحل التنفس الخلوي يتم فيها انتاج ATP بشكل مباشر ؟

أ) التحلل الجلايكولي وسلسلة نقل الالكترون

ب) التحلل الجلايكولي و تحول البيروفيت الى أستيل مرافق الانزيم أ

ج) مرحلة حلقة كربس ومرحلة تحول البيروفيت الى أستيل مرافق الانزيم أ

د) التحلل الجلايكولي ومرحلة حلقة كربس

5. ما العملية التي تهدف إلى مساعدة mRNA في خروجه من الغلاف النووي إلى السيتوسول والحفاظ على ثباته ؟

أ) إضافة ذيل الأدنين ب) إضافة القبعة ج) إزالة الانترونات د) إضافة ذيل الجوانين

6. أي الأحماض الأمينية الآتية لا تشفر بأكثر من كودون ؟

أ) فنيل ألانين , ألانين ب) ميثيونين , تيروسين ج) ميثيونين , تربتوفان د) تربتوفان , غلايسين

7. إذا كان عدد جزيئات ATP المستهلكة في إعادة تصنيع الرايبولوز في حلقة كالفن تساوي ( 30 ) جزيئا فكم عدد جزيئات ATP الناتجة بشكل مباشر في مراحل التنفس الخلوي الهوائي ؟

أ) 20 ب) 30 ج) 60 د) 90

8. ما مستقبل الإلكترونات الأخير في التخمر اللبني ؟

أ) +NAD ب) الأكسجين ج) SO4-2 د) البيروفيت

9. إذا كان عدد الحموض الأمينية المكونة لبروتين ما تساوي ( 20 ) حمضا امينيا فكم عدد النيوكليوتيدات الموجودة على شريط mRNA الناضج ؟

أ) 20 ب) 21 ج) 60 د ) 63

**السـؤال الثانـي:** إذا كان لديك سلسلة عديد الببتيد الآتية (فنيل ألانين – تربتوفان – تيروسين – غلايسين – ميثيونين )

أجب عن الأسئلة الآتية بالاستعانة بالجدول المرفق :

1. اكتب تسلسل النيوكليوتيدات على سلسلة DNA.
2. ما الكودون الذي يشفر الحمض الأميني تيروسين ؟
3. ما كودونات الايقاف ؟
4. اكتب تسلسل الكودونات على شريط mRNA.

| الحمض الأميني | الكودون المضاد |
|---|---|
| ميثيونين | UAC |
| غلايسين | CCA |
| تيروسين | AUG |
| تربتوفان | ACC |
| فنيل ألانين | AAA |

**السـؤال الثالـث:** في عملية التنفس الهوائي ،قارن بين مرحلتي التحلل الغلايكولي وتحول البيروفيت إلى الأسيتل مرافق الانزيم أ من حيث :

1- مكان الحدوث
2- عدد جزيئات ATP الناتجة بشكل مباشر من تحلل 4 جزيئات غلوكوز هوائيا
3- عدد جزيئات NADH الناتجة من تحلل 6 جزيئات غلوكوز هوائيا
4- عدد جزيئات $CO_2$ الناتجة من تحلل جزيء غلوكوز واحد هوائيا
5- عدد ذرات الكربون للمركب الذي تنتهي به المرحلة . ( لجزيء واحد )

**السؤال الرابع:**

اذا تم تثبيت 90 جزيئا من $CO_2$ في حلقة كالفن ، أجب عما يلي :

1- كم عدد جزيئات ATP المستهلكة في مرحلة الاختزال؟
2- كم عدد جزيئات G3P الناتجة بشكل نهائي ؟
3- كم عدد جزيئات الغلوكوز الناتجة ؟
4- كم عدد جزيئات ATP المستهلكة في مرحلة اعادة تصنيع مستقبل $CO_2$؟
5- كم عدد جزيئات رايبولوز ثنائي الفوسفات التي يتم تصنيعها ؟