الأكاديمية العربية الدولية
Arab International Academy

الأكاديمية العربية الدولية

المقررات الجامعية

www.aiacademy.info | care@aiacademy.info

الوحدة الأولى 1

عمليات حيوية في الخلية

Processes in the cell

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

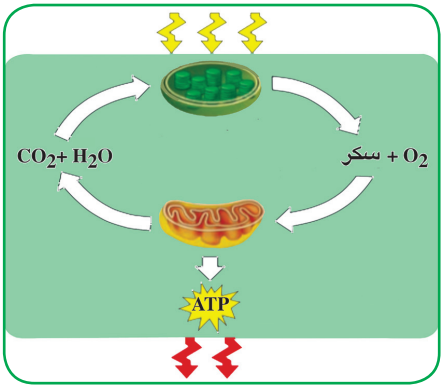
يتوقع من الطلبة بعد دراسة هذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على تتبع العمليات الحيوية في الكائنات الحية التي يتم من خلالها الحفاظ على الاتزان الداخلي لها، ومن هذه العمليات البناء الضوئي، والتنفس الخلوي وكذلك تتبع عملية بناء البروتينات في الخلايا الحية اعتماداً على المعلومات الوراثية المختزنة 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 وإنتاج بروتين وظيفي.
4. بناء مشاريع مرتبطة بالواقع الحياتي (محاكاة لعملية بناء البروتين).

تدفق الطاقة Energy Flow

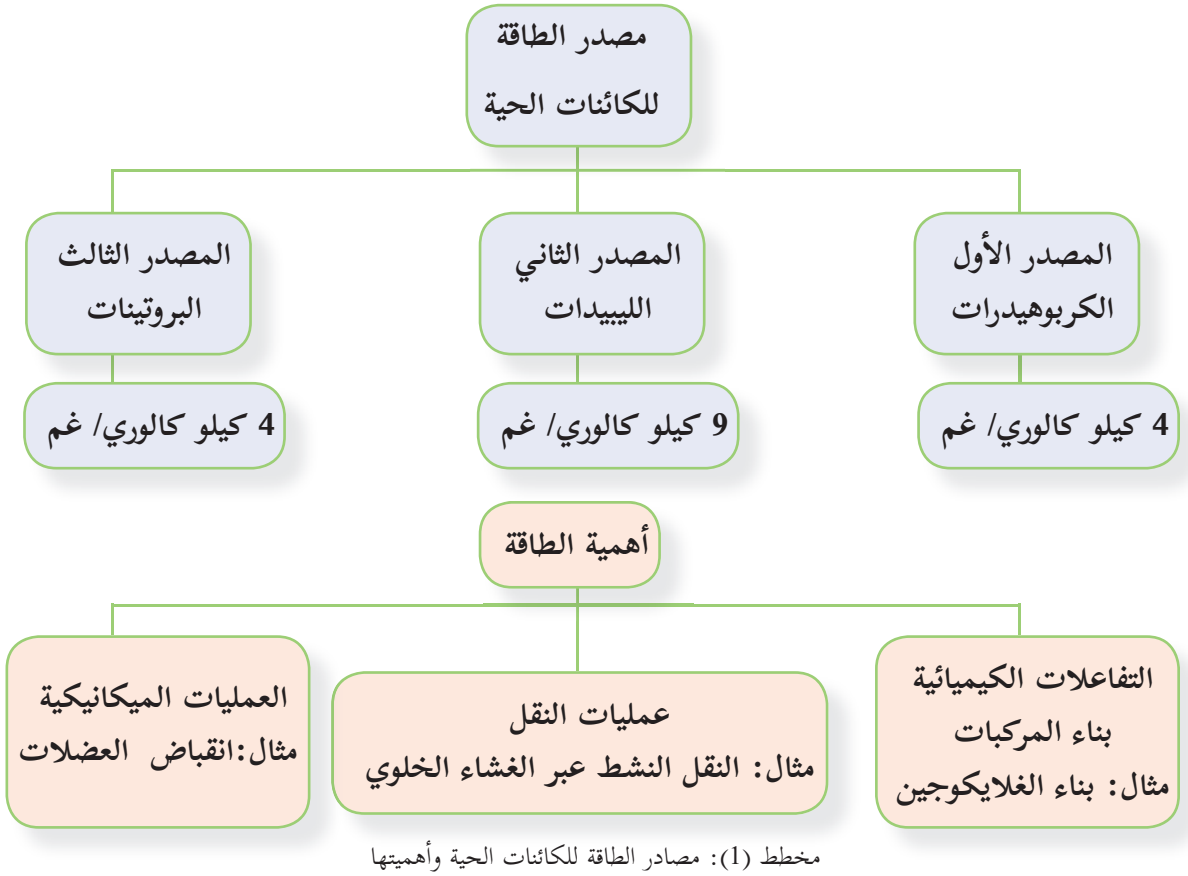
تحتاج الكائنات الحية إلى الطاقة للقيام بأنشطتها الحيوية المختلفة، وتعد عملية البناء الضوئي التي تقوم بها النباتات والطحالب وبعض أنواع البكتيريا نقطة الانطلاق في تحولات الطاقة للكائنات الحية المختلفة. وتخزن الطاقة الضوئية في المركبات العضوية؛ لتستفيد منها الخلايا الحية في عملية التنفس الخلوي، حيث تُعد 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. التعرف إلى حاملات الطاقة ATP، وأهمية الطاقة في العمليات الحيوية، ومصادرها في المركبات العضوية.
2. توضيح دور الموجات الضوئية الضرورية لعملية البناء الضوئي.
3. تتبع مراحل التفاعلات الضوئية اللاحلقية والحلقية، والمقارنة بينها.
4. تتبع التفاعلات التي تحدث في حلقة كالفن، وذكر نواتجها.
5. إستنتاج العلاقة بين معدل البناء الضوئي وبعض العوامل البيئية.
6. التعرف إلى تركيب الميتوكندريون.
7. تتبع مراحل التنفس الخلوي.
8. المقارنة بين التخمر اللبني والتخمر الكحولي.
9. تبيان التكامل بين عمليتي البناء الضوئي والتنفس الخلوي.



1.1 أهمية الطاقة للخلية الحية

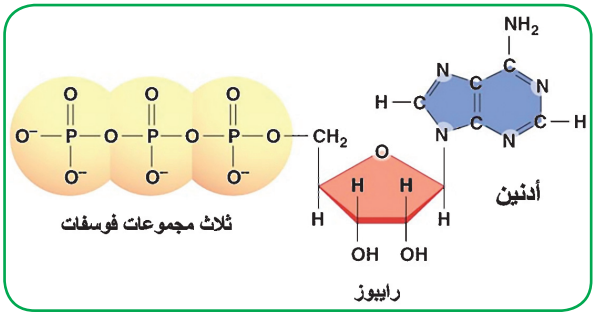
تحتاج الكائنات الحية إلى الطاقة للقيام بالعمليات الحيوية، حيث تستخدم الطاقة المخزنة في جزيئات حاملات الطاقة مثل ATP، للقيام بالعديد من الوظائف، ألاحظ المخطط (1).



مخطط (1): مصادر الطاقة للكائنات الحية وأهميتها

تركيب حاملات الطاقة في الخلية الحية

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



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

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

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

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

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

2.1 البناء الضوئي Photosynthesis

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

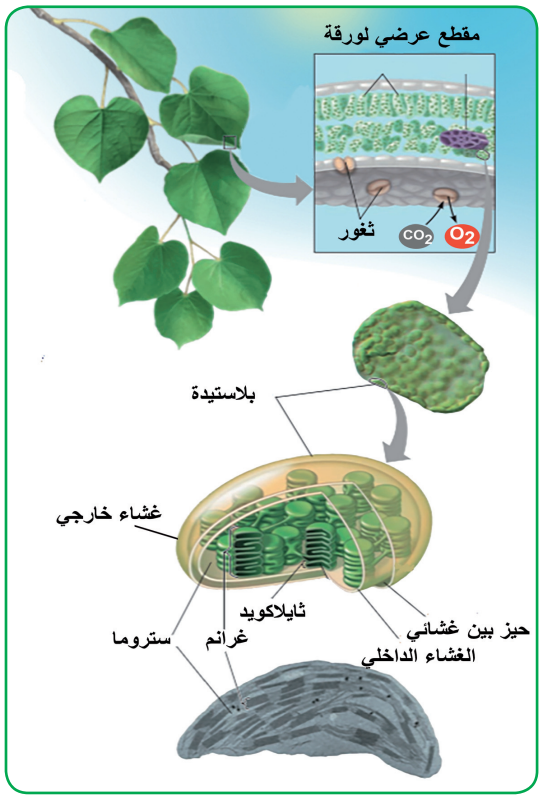
نشاط (1) تمهيدي: تركيب البلاستيدة الخضراء

أتتبع الشكل (2) ثم أجيب عن الأسئلة الآتية:

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

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

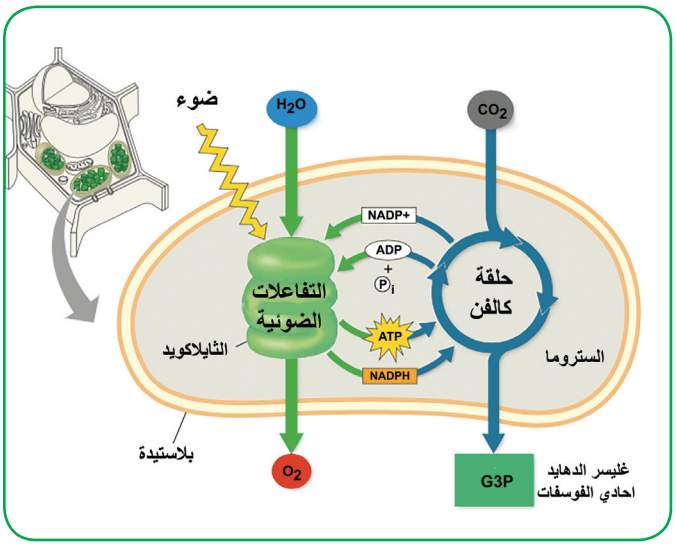
$$6\ CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$



الشكل (2): مقطع عرضي في الورقة وتركيب البلاستيدة

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

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



الشكل (3): تفاعلات البناء الضوئي

تقسم تفاعلات البناء الضوئي إلى مرحلتين أساسيتين هما:

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

يتطلب حدوث **التفاعلات الضوئية** وجود الضوء، حيث ينشطر فيها الماء باستخدام الطاقة الضوئية إلى 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

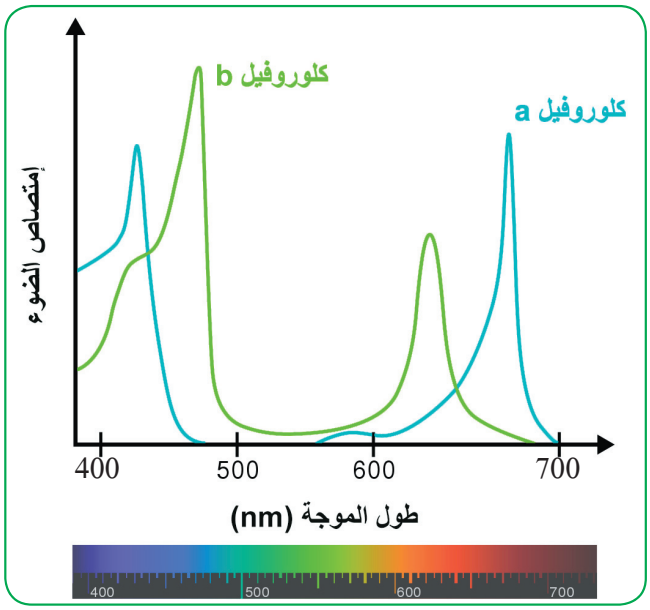
يوجد الكلوروفيل في أغشية الثايلاكويد، الذي يكسب النبات اللون الأخضر، ويمكّن النبات من القيام بعملية البناء الضوئي، ويوجد عدة أنواع من الكلوروفيل، منها كلوروفيل a و b، حيث تشترك في التركيب الأساسي وتختلف بشكل بسيط عن بعضها. ويُعد امتصاص الطاقة الضوئية ضرورياً لحدوث عملية البناء الضوئي. ويمتد طول موجات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

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

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

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

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



الشكل (4):امتصاص الموجات الضوئية بوساطة الأصباغ

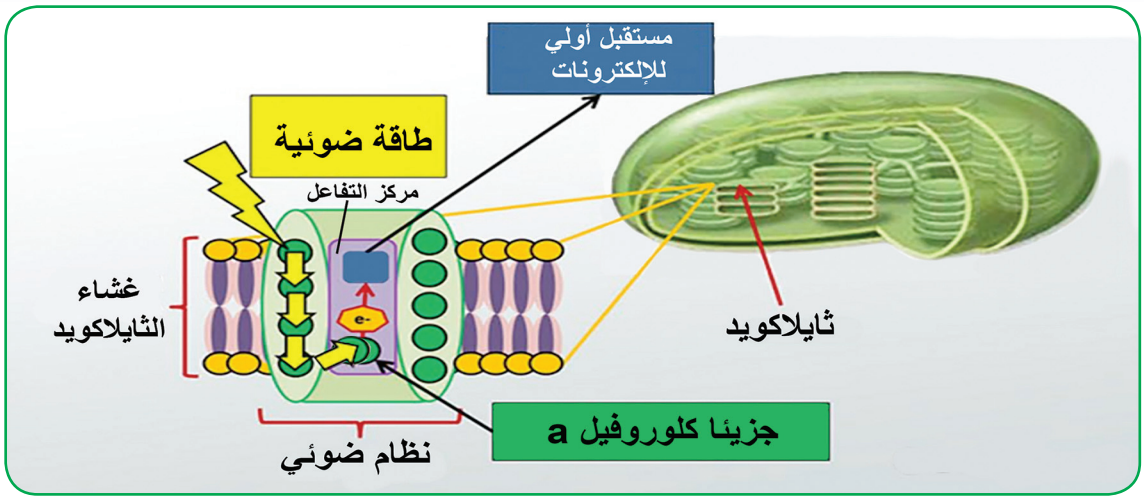
سؤال: كيف أفسر ظهور اللون الأخضر في النباتات؟

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 (5).
2. أنواع مختلفة من الصبغات، مثل: كلورفيل a ، وكلوروفيل b، والكاروتين، وتكون مرتبطة ببروتينات، وتعمل هذه الأصباغ كلاقطات تمتص الطاقة الضوئية، ومن ثم تمررها لمركز التفاعل.



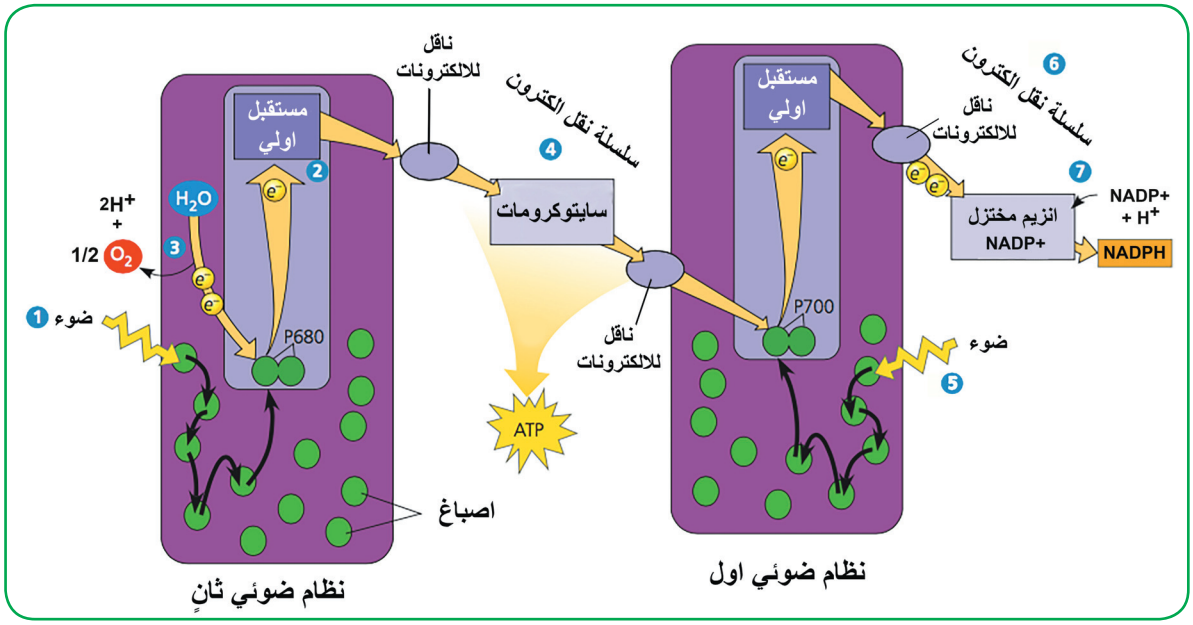
الشكل (5): تركيب النظام الضوئي

سؤال: ما 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 (6) تفاعلات المسار الإلكتروني اللاحلقي

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

1 أذكر أهمية امتصاص الضوء في بداية هذا المسار.

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.

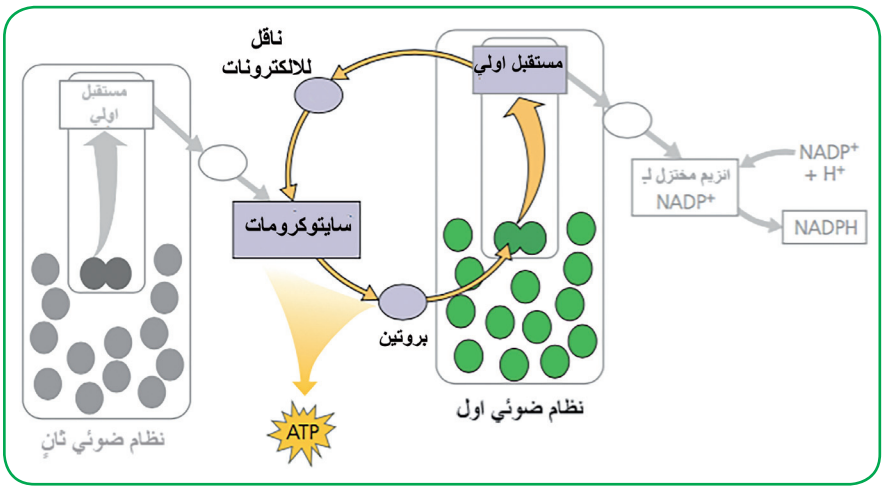
7 وبالتالي يختزل $NADP^+$ إلى NADPH كما في المعادلة الآتية:

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

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 النظاميين الضوئيين؛ ليتم إنتاج جزيئات حاملات الطاقة ATP فقط، ألاحظ الشكل (7).



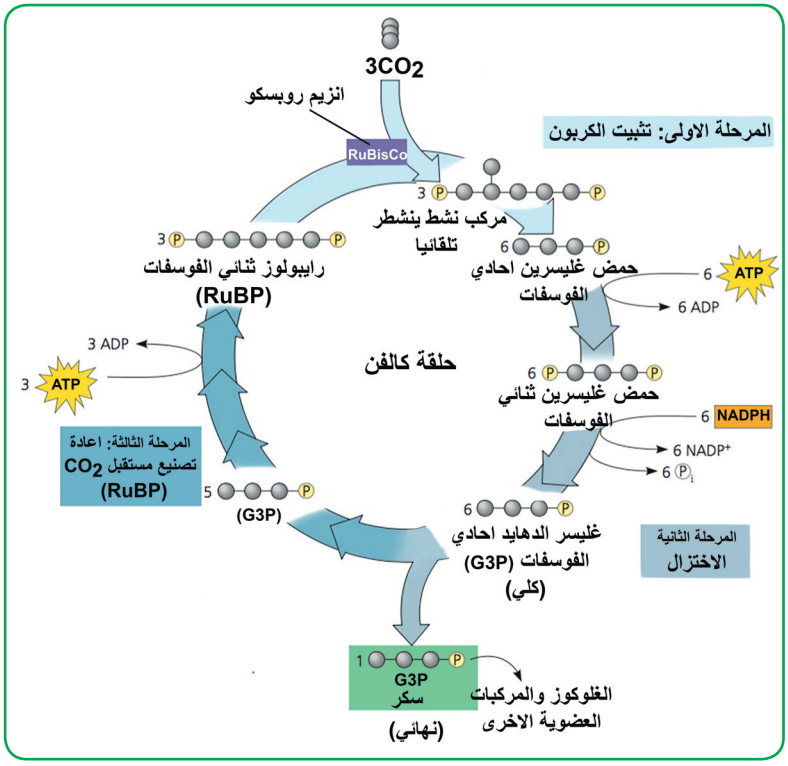
الشكل (7): تفاعلات المسار الإلكتروني الحلقي

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

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

1. التفاعلات اللاضوئية: حلقة كالفن Calvin Cycle

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



الشكل (8): تفاعلات حلقة كالفن

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

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 الفوسفات Glyceraldehyde 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.

قضية للبحث: أبحث في أهمية استخدام جزيئات ATP في مرحلة إعادة تصنيع رايبولوز ثنائي الفوسفات.

تطبيقات رياضية على حلقة كالفن

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

أ. عدد جزيئات G3P الكلية.

ب. عدد جزيئات الغلوكوز التي يتم إنتاجها.

ج. عدد جزيئات CO_2 التي يتم تثبيتها.

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

الحل:

أ- عدد جزيئات G3P الكلية.

عند استهلاك 9 جزيئات ATP يتم إنتاج 6 جزيئات G3P بشكل كلي، أما عند استهلاك 18 من جزيئات ATP فإن عدد جزيئات G3P الكلية التي يتم إنتاجها هي: $(6\times18) \div 9 = 12$ جزيئاً

ب- عدد جزيئات الغلوكوز التي يتم إنتاجها.

عند استهلاك 9 جزيئات ATP يتم إنتاج $\frac{1}{2}$ جزيء غلوكوز (نظرياً)، وعند استهلاك 18 من جزيئات ATP، فإن عدد جزيئات الغلوكوز التي يتم إنتاجها هي : $(18 \times \frac{1}{2}) \div 9 = 1$ (جزيء غلوكوز واحد).

جـ- عدد جزيئات CO_2 التي يتم تثبيتها.

عند استهلاك 9 جزيئات ATP يتم تثبيت 3 جزيئات CO_2، وعند استهلاك 18 جزيئاً من ATP فإن عدد جزيئات CO_2 التي يتم تثبيتها هي: $(3\times18) \div 9 = 6$ جزيئات من CO_2.

د- عدد جزيئات رايبولوز ثنائي الفوسفات التي يتم استخدامها.

عند استهلاك 9 جزيئات ATP يتم استهلاك 3 جزيئات رايبولوز ثنائي الفوسفات، وعند استهلاك 18 جزيئاً من ATP فإن عدد جزيئات رايبولوز ثنائي الفوسفات التي يتم استهلاكها هي: (3×18) ÷9= 6 جزيئات .

العوامل الخارجية المؤثرة في معدل البناء الضوئي

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

نشاط (2): معدل عملية البناء الضوئي

يهدف هذا النشاط إلى قياس معدل عملية البناء الضوئي في ظروف بيئية مختلفة.

الأدوات والمواد:

نباتات مائية صغيرة أو طحالب (يمكن استخدام نبات الألوديا)، قمع زجاجي، أنبوب اختبار، دورق زجاجي (1000مل)، بيكربونات الصوديوم 2%، مصباح كهربائي 150 واط، مصدر حرارة (شمعة مثلا)، حمام مائي، ميزان حرارة، ساعة إيقاف.

خطوات العمل:

1- أركب الجهاز كما هو مبين في الشكل حسب الخطوات الآتية لدراسة تأثير العوامل الآتية: الضوء، درجة الحرارة، تركيز CO_2.

2- أضع 500 مل من الماء في الدورق.

3- أضيف النباتات أو الطحالب إلى الدورق.

4- أضع القمع مقلوباً فوق النبات.

5- أملأ أنبوب الإختبار بالماء وأقلبه فوق القمع.

6- أقسم الطلبة إلى ثلاث مجموعات عمل، لتنفذ كل مجموعة نشاطها حسب الإجراءات الخاصة بها:

* المجموعة الأولى

أ- أبدأ التجربة في الظلام، هل أشاهد ظهور فقاعات الأكسجين؟

ب- أضع الجهاز تحت ضوء الشمس، وأحسب عدد الفقاعات التي تتصاعد في الدقيقة.

ج- أعرض النبات في الجهاز إلى المصباح الكهربائي، وأحسب عدد فقاعات O_2 في الدقيقة.

د- الاستنتاج: أقارن بين عدد الفقاعات في الحالات الثلاث، ماذا أستنتج؟

* المجموعة الثانية

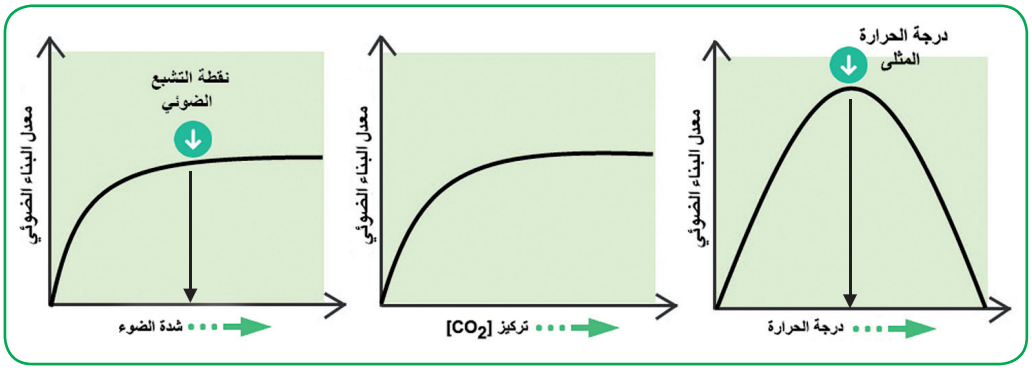
أ- أثناء وجود الجهاز أمام المصدر الضوئي، أضبط درجة الحرارة عند $20^{\circ}C$ إما بالتسخين أو بإضافة قطع من الثلج إلى ماء الحوض، أحسب عدد الفقاعات التي تتصاعد في الدقيقة.

ب- أسخن الماء في الجهاز، وأحسب عدد الفقاعات في الدقيقة عند درجة حرارة مختلفة $30^{\circ}C$ و$40^{\circ}C$، وأقارن بين عدد الفقاعات في الحالات السابقة، ماذا أستنتج؟

* المجموعة الثالثة

أقترح خطوات عمل لدراسة أثر CO_2 على معدل البناء الضوئي، ماذا أستنتج؟

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



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

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

3.1 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.

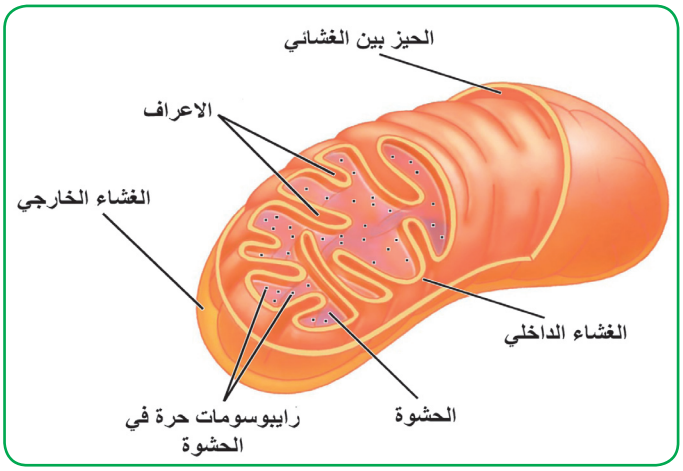
ويتم إنتاج الطاقة من خلال عملية التنفس الخلوي التي تقوم بوساطتها الكائنات الحية بتحليل المواد الغذائية مثل: الكربوهيدرات، وتحرير الطاقة المخزونة في الروابط الكيميائية الموجودة بين جزيئاتها.

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.

نشاط (3) تمهيدي: التعرف على تركيب الميتوكندريون

أستعين بالشكل (10) الذي يوضح تركيب الميتوكندريون للإجابة عن الأسئلة الآتية:

1. ما الأجزاء التي يتكون منها الميتوكندريون؟
2. يمتاز الميتوكندريون بقدرته على التضاعف، ما أهمية ذلك؟
3. ما الوظيفة الأساسية التي يقوم بها الميتوكندريون؟
4. أقارن بين الميتوكندريون والبلاستيدة من حيث التركيب والوظيفة.



الشكل (10): تركيب الميتوكندريون

أولا: التنفس الهوائي Aerobic Respiration

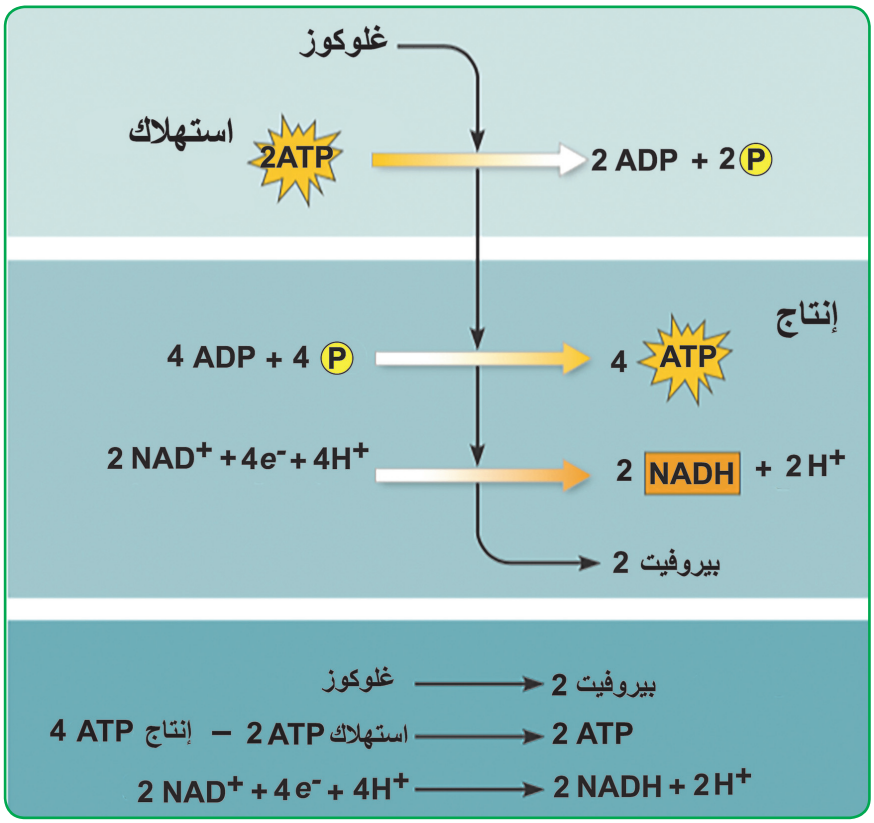
يحدث هذا النوع من التنفس في معظم الكائنات الحية، حيث تعتمد على وجود الأكسجين وتطلق غاز ثاني أكسيد الكربون. ويتم استخدام الأكسجين في أكسدة المواد الغذائية مثل الغلوكوز لإنتاج الطاقة اللازمة لتأدية العمليات الحيوية التي تقوم بها الخلية، ألاحظ المعادلة الآتية:

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

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 (11).

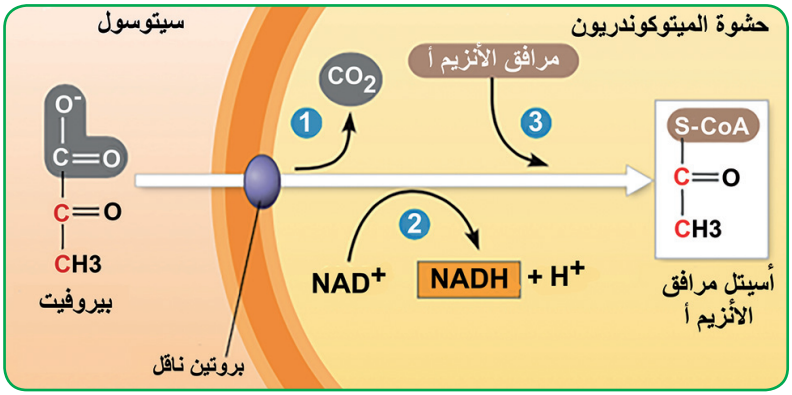


الشكل (11): ملخص لمرحلة التحلل الغلايكولي

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 (12): تحول البيروفيت إلى أسيتل مرافق الأنزيم-أ

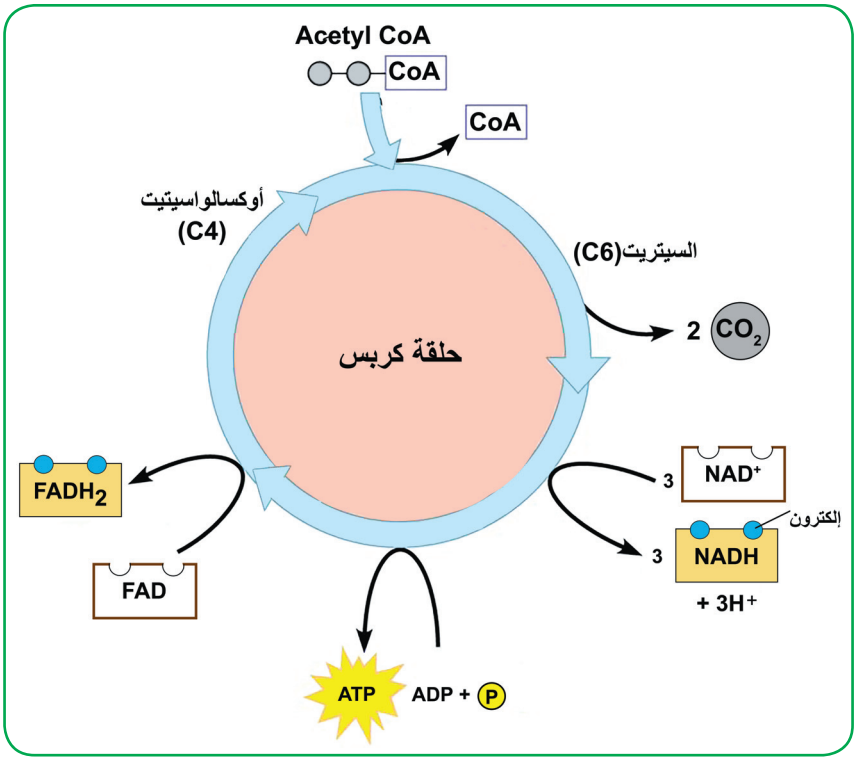
سؤال: أ- أتتبع الشكل (12) الذي يوضح خطوات تحول البيروفيت إلى أسيتل مرافق الأنزيم-أ.

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:

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 (13).



الشكل (13): حلقة كربس

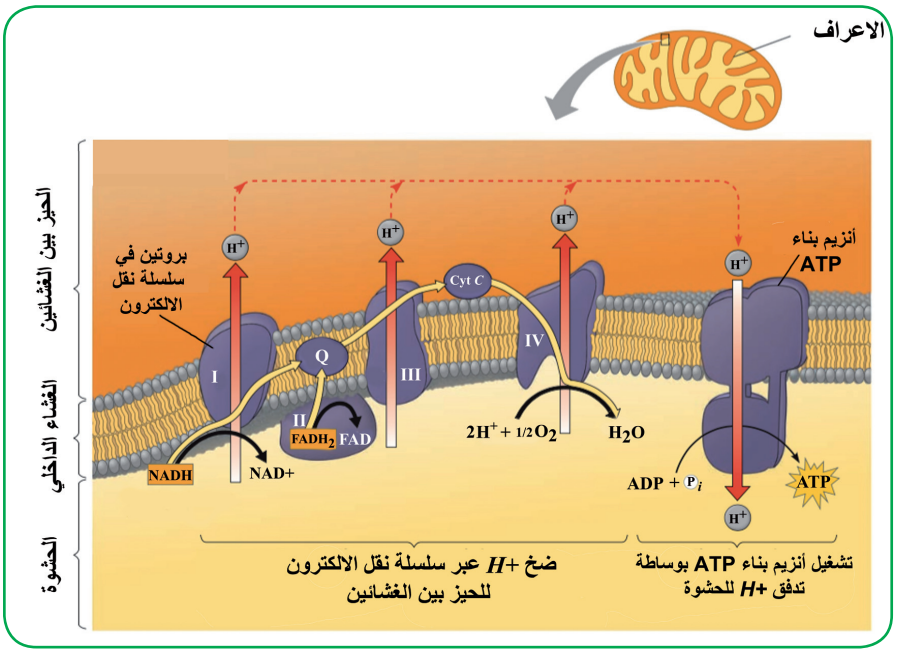
ب- يتحرر أثناء هذه الدورة مرافق الأنزيم –أ ليكرر عمله في دورة أخرى، وينتج جزيئان من ثاني أكسيد الكربون وجزيء ATP، كما وينتج ثلاثة جزيئات من NADH وجزيء واحد من $FADH_2$ وذلك في كل دورة.

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

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 ($FADH_2$ و NADH)؛ لذلك لا بد من استخلاص الطاقة من هذه الجزيئات على شكل ATP من خلال سلسلة نقل الإلكترون. أنظر إلى الشكل (14) وأتتبع تفاعلات هذه السلسلة.



الشكل (14): مسار الإلكترونات وبناء ATP في سلسلة نقل الإلكترون

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 (14).

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:

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

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 (14) وأفسر ذلك.

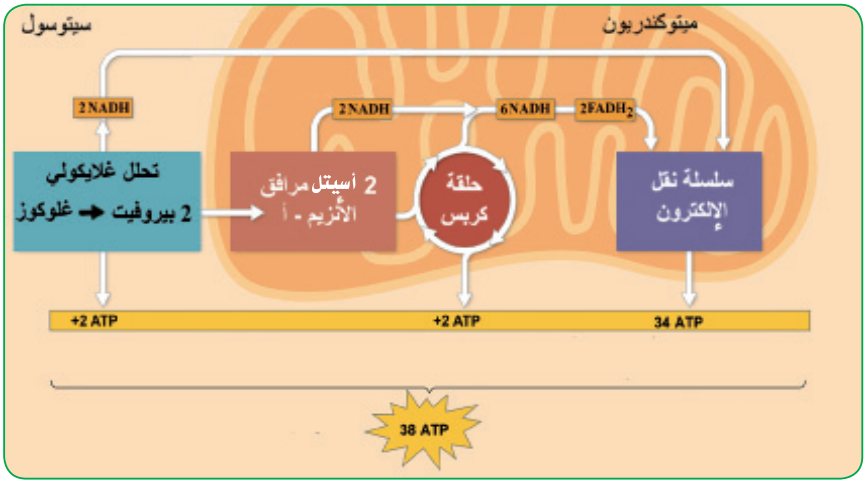
هـ- بعد تصنيع جزيئات ATP داخل حشوة الميتوكندريون يتم تصديرها بوساطة بروتين خاص إلى السيتوبلازم لتستخدم في الخلية.

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 (4): عدد جزيئات ATP الناتجة من عملية التنفس الخلوي

للتعرف على عدد جزيئات ATP الناتجة في التنفس الخلوي عند تحلل جزيء غلوكوز واحد، أتتبع الشكل (15)، ثم أملأ الجدول (1).



الشكل (15): ملخص لتحلل جزيء غلوكوز واحد هوائيا

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					

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.

ثانياً: التنفس اللاهوائي Anaerobic Respiration

تحدث عملية التنفس اللاهوائي في بعض الكائنات الحية، حيث تقوم هذه الكائنات بتحليل الغلوكوز لاهوائيا بمعزل تام عن الأكسجين، وتشبه هذه العملية التنفس الهوائي في كل مراحلها، إلا أن المستقبل النهائي للإلكترون لا يكون الأكسجين، وإنما مركبات أخرى، كما يحدث في بكتيريا الكزاز *Clostridium tetani* التي تستخدم (SO_4^{-2}) كمستقبل نهائي للإلكترونات، وتكون كمية الطاقة أقل من التنفس الهوائي. أفسِّر ذلك.

ثالثاً: التخمر Fermentation

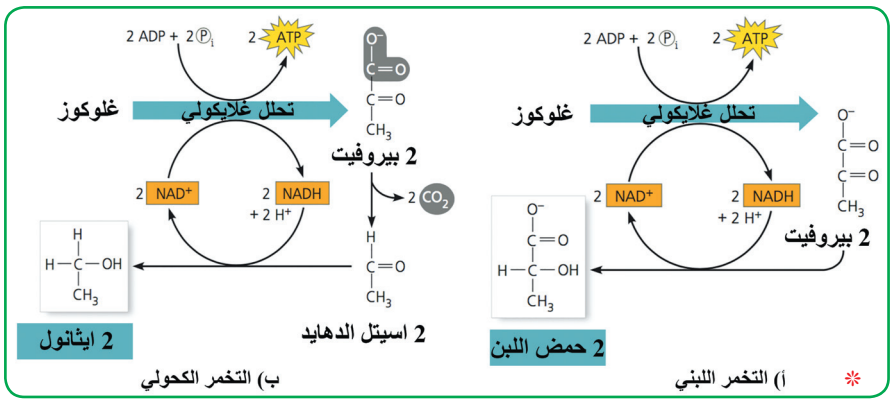
يحدث التخمر في غياب الأكسجين، حيث يمر جزيء الغلوكوز بمرحلة التحلل الغلايكولي؛ لينتج مركبين من البيروفيت، وبسبب عدم وجود الأكسجين يدخل البيروفيت إلى أحد مساري التخمر في السيتوسول، وهما التخمر اللبني والتخمر الكحولي، ألاحظ الشكل (16).

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.

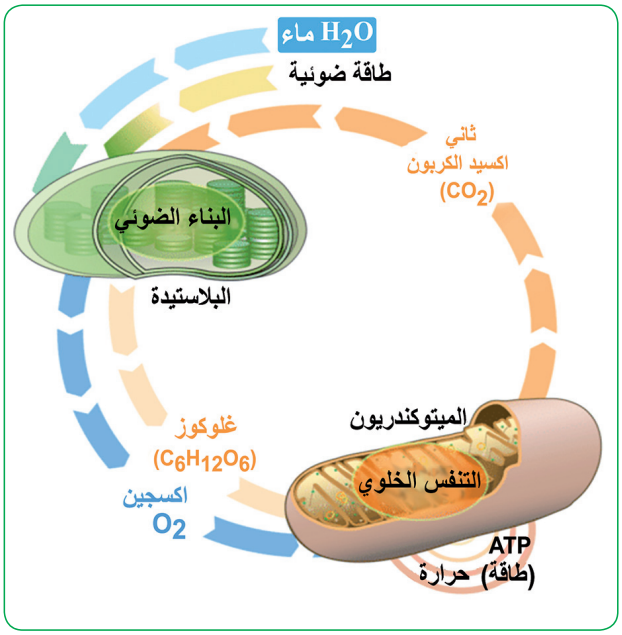


الشكل (16): التخمر (اللبني، والكحولي)

1 .4 التكامل بين عمليتي البناء الضوئي والتنفس الخلوي

أتأمل الشكل (17)، 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 وNAD^+ 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 (17): التكامل بين البناء الضوئي والتنفس الخلوي

* الصيغ البنائية للإطلاع.

أسئلة الفصل

السؤال الأول: أختار رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1) أي المركبات العضوية الآتية تحتوي كمية أكبر من الطاقة؟

أ- 6 غم كربوهيدرات. ب- 3 غم ليبيدات.

جـ- 7 غم بروتينات. د- 3 غم بروتينات و3 غم كربوهيدرات

2) أي الموجات الضوئية الآتية يتم امتصاصها بكفاءة عالية بوساطة النباتات؟

أ- الأزرق والأخضر ب- الأحمر و الأزرق

جـ- الأحمر والأخضر د- الأحمر والنيلي

3) ما عدد جزيئات (O_2 وNADPH) الناتجة من تحلل 6 جزيئات ماء في المسار الإلكتروني اللاحلقي؟

أ- $6O_2$ و 6NADPH ب- $3O_2$ و 3NADPH

جـ- $3O_2$ و 6NADPH د- $6O_2$ و 3NADPH

4) كم يلزم من جزيئات ATP في حلقة كالفن لإنتاج جزيئين من سكر الغلوكوز؟

أ- 9 ب- 12 جـ- 24 د- 36

5) ما مستقبل الإلكترون الأخير في مسار الإلكترونات اللاحلقي في عملية البناء الضوئي؟

أ- الماء ب- $NADP^+$ جـ- ATP د- الأكسجين

السؤال الثاني: أبوعمر مزارع فلسطيني من مدينة أريحا، يرغب بزيادة انتاجه من نبات الملوخية بتعريض النبات للضوء:

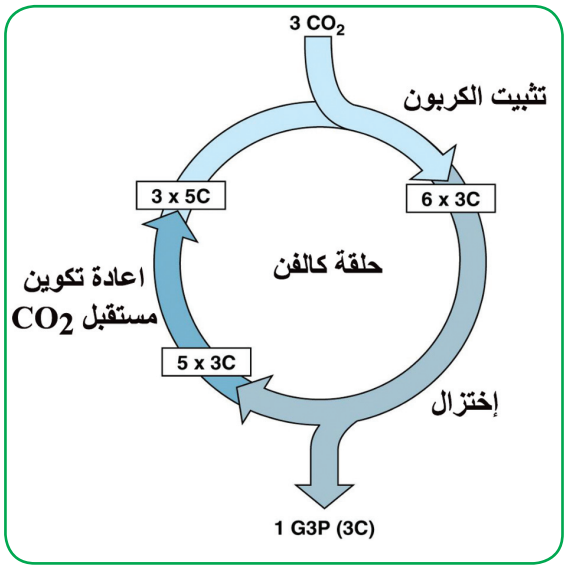
أ- أي الأجزاء في النباتات يمتص الضوء؟

ب- أتتبع التغيرات التي تحدث في النظام الضوئي عند سقوط أشعة الشمس عليه.

جـ- لو كنت مكان هذا المزارع، أي الموجات الضوئية تستخدم لزيادة المحصول. أفسر إجابتي؟

السؤال الثالث: الشكل الآتي يمثل حلقة كالفن التي تحدث في النباتات بهدف إنتاج جزيئات G3P التي تدخل في بناء المركبات العضوية (مثل الغلوكوز):

أ- أوضح على الشكل المرحلة التي يتم فيها استخدام جزيئات ATP و NADPH مع عدد هذه الجزيئات.



ب- في هذه الحلقة يتم إنتاج 6 جزيئات من G3P بشكل كلي، كيف أفسر دخول جزيء واحد من G3P (نهائي) فقط في إنتاج المركبات العضوية؟

جـ- إذا تم تثبيت (12) جزيئاً من CO_2 أجيب عما يأتي:

1- ما عدد جزيئات رابيولوز ثنائي الفوسفات التي يتم إعادة تصنيعها بواسطة جزيئات G3P ؟

2- ما عدد جزيئات G3P الناتجة بشكل كلي؟

3- ما عدد جزيئات ATP التي يتم استهلاكها في مرحلة إعادة تصنيع رابيولوز ثنائي الفوسفات؟

4- ما عدد جزيئات ATP التي يتم استهلاكها لإنتاج حمض غليسرين ثنائي الفوسفات؟

السؤال الرابع: بالرجوع إلى الشكل الذي يمثل المسار الإلكتروني اللاحلقي أجيب عن الأسئلة الآتية:

أ. ما أهمية المسار؟ ب. بالاعتماد على هذا الشكل أرسم المسار الإلكتروني الحلقي.

السؤال الخامس: أتتبع خطوات دخول جزيئاً واحداً من أسيتل مرافق الأنزيم - أ إلى حلقة كربس وأوضح عدد جزيئات CO_2 ، NADH ، $FADH_2$ ، ATP الناتجة.

السؤال السادس: أعدد مراحل عملية تحلل الغلوكوز هوائياً في النباتات، وأذكر النواتج.

السؤال السابع: أقارن بين التنفس الهوائي والتخمر من حيث:

أ- الكائنات الحية التي تحدث فيها.

ب- عدد جزيئات ATP الناتجة من تحلل جزيء غلوكوز واحد.

جـ- المستقبل النهائي للإلكترون.

السؤال الثامن: على شكل مخطط سهمي أوضح عملية الحصول على الطاقة من جزيء غلوكوز في غياب الأكسجين في الحالتين الآتيتين:

أ- الخلايا العضلية في الإنسان.

ب- الخميرة.

السؤال التاسع: أبين التكامل بين البناء الضوئي والتنفس الخلوي الهوائي مستخدماً المعادلات.

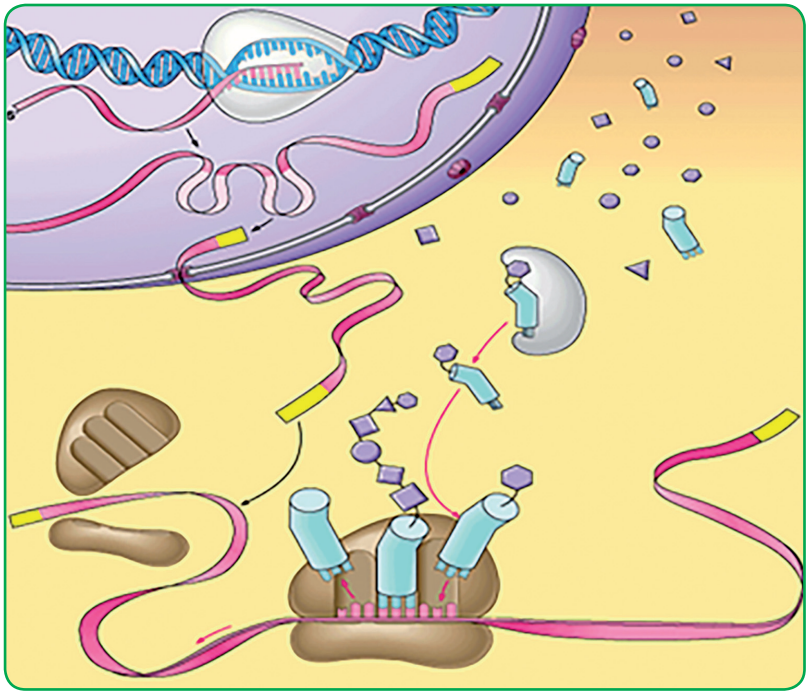
السؤال العاشر: توفي أحد الأشخاص في ظروفٍ غامضة، حيث عثر على آثار لمادة السيانيد (CN^-) في جسمه، وهي مادة كيميائية سامة تؤثر على عمل السيتوكرومات. كيف أفسِّر سبب الوفاة.

السؤال الحادي عشر: كيف أفسِّر وجود مذاق حمضي ذو نكهة مميزة في اللبن.

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



1. 2 الشيفرة الوراثية Genetic Code

* قام العالمان بيدل وتاتوم Beadle & Tatum بإحداث طفرات على جينات معينة من أجل التعرف على تأثيرها في الكائن الحي. حيث قاما بدراسة تأثير تلك الطفرات على فطر نيوروسبورا Neurospora، وهو فطر يسبب عفن الخبز، فإتلاف جين واحد أثر على إنتاج أنزيم واحد، وكانت هذه أول فرضية تفسر العلاقة بين الجينات والبروتينات (فرضية جين واحد-أنزيم واحد). وبعد ذلك تبين للعلماء أن الجينات لا تؤثر في إنتاج الأنزيمات فقط، وإنما تؤثر في بروتينات أخرى (الأنزيمات معظمها بروتينات) أيضا؛ ليتم تعديل الفرضية السابقة، حيث تبين للعلماء أن جيناً واحداً يكون مسؤولاً عن إنتاج سلسلة عديد ببتيد واحدة. هذه الاستنتاجات جاءت من خلال دراسة طفرة في نيوكليوتيد معين لأحد الجينات، الذي يؤثر على تركيب بروتين الهيموغلوبين، الذي ينتج عنه مرض الأنيميا المنجلية.

كما أن الاكتشافات الحديثة أثبتت أن بعض الجينات يمكن أن تكون مسؤولة عن إنتاج عدة بروتينات؛ أي أن جيناً واحداً يمكن أن يتحكم في إنتاج عدة بروتينات.

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.

* للإطلاع

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	تربتوفان	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.

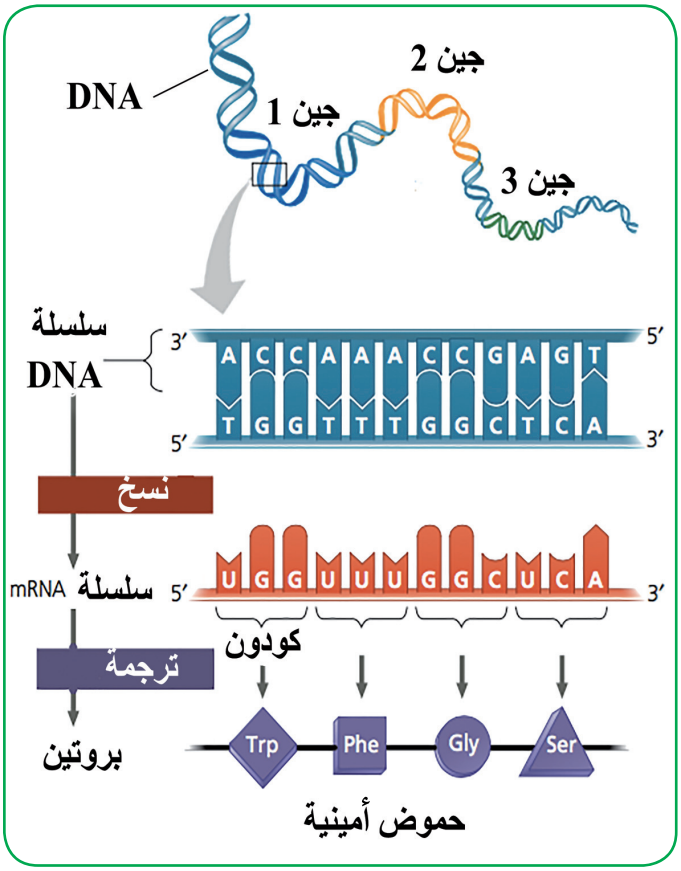
2.2 بناء البروتين

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).

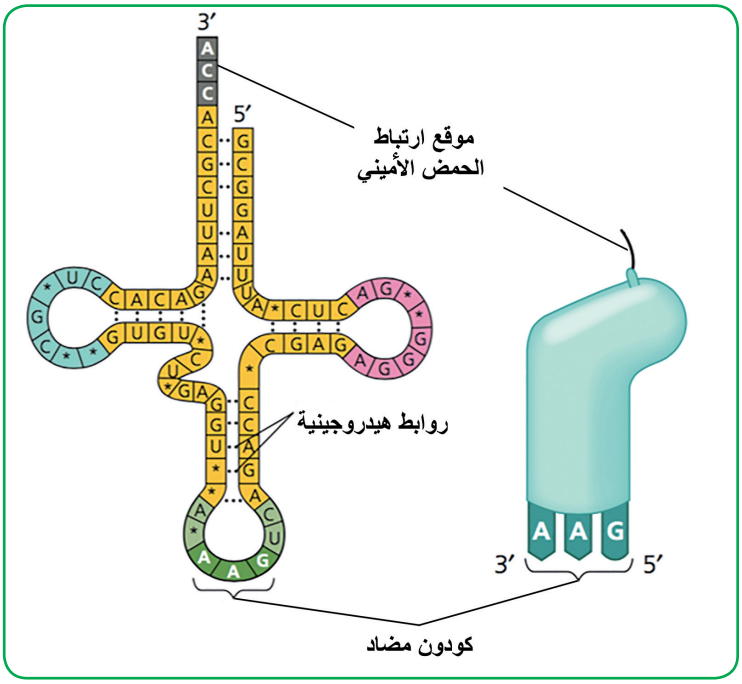
وتبدأ العملية بنسخ جزء مُحدد من سلسلة DNA القالب بواسطة أنزيم بلمرة RNA (RNA Polymerase)، إذ تعمل رموز الشيفرة في DNA كقالب، حيث ينسخ منها سلسلة RNA الرسول (mRNA) بشكل متمم Complementary، إذ يحل نيوكليوتيد اليوراسيل (U) محل الثايمين (T) الذي يتممه نيوكليوتيد الأدنين (A)، ونيوكليوتيد السايتوسين (C) يتممه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

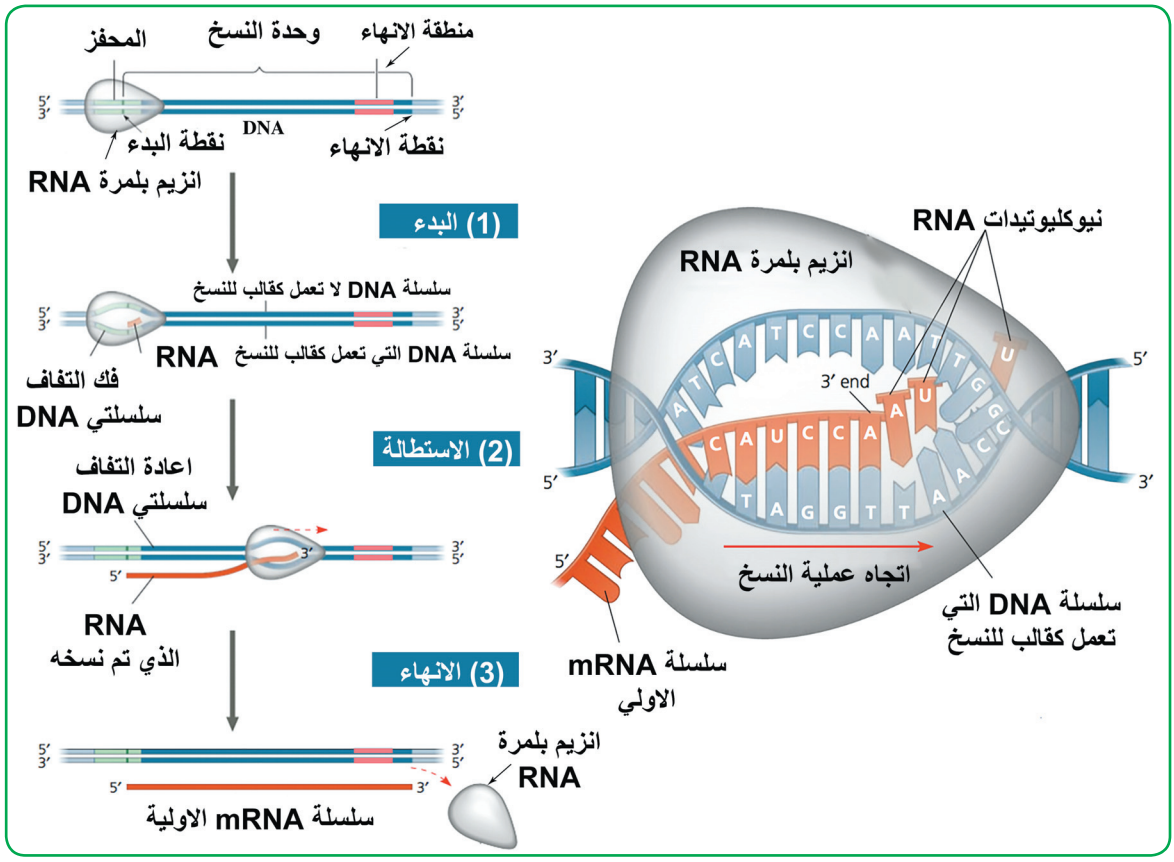
3. RNA الرايبوسومي rRNA

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.

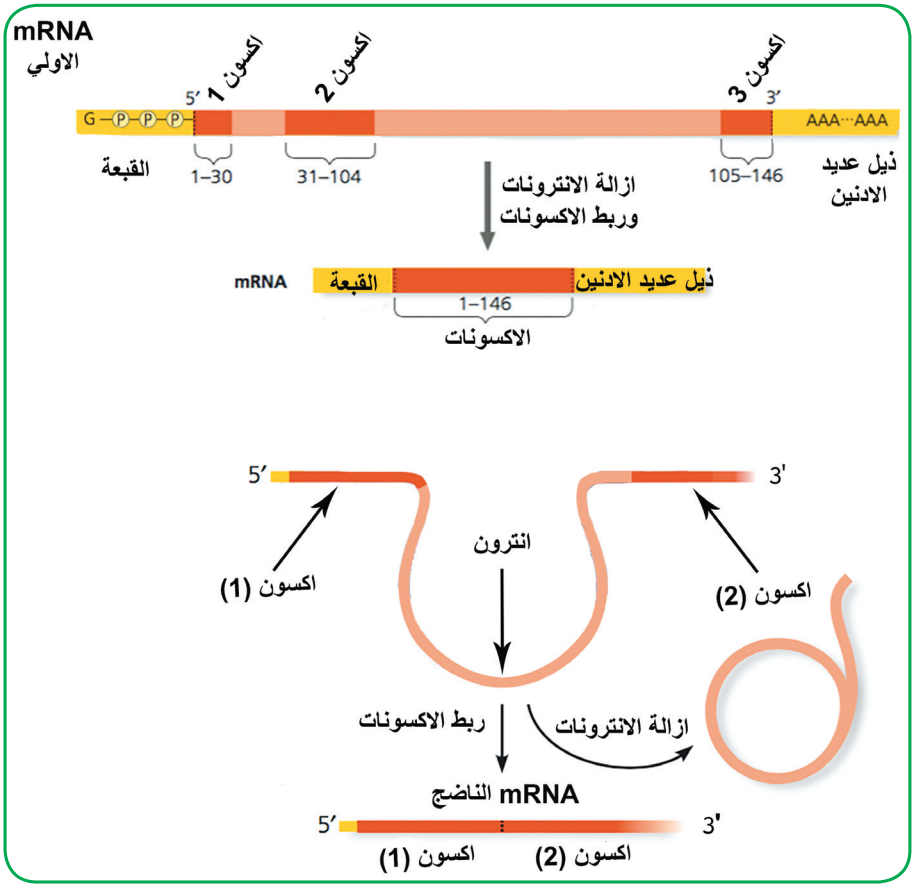
3 **الإنهاء:** يصل أنزيم بلمرة RNA إلى تتابع من النيوكليوتيدات يسمى منطقة الإنهاء Termination Point، حيث ينفصل الأنزيم عن سلسلة DNA، وتطلق سلسلة mRNA الجديدة التي تم تصنيعها. وتعود سلسلتا DNA للالتفاف حول بعضهما ثانية.

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

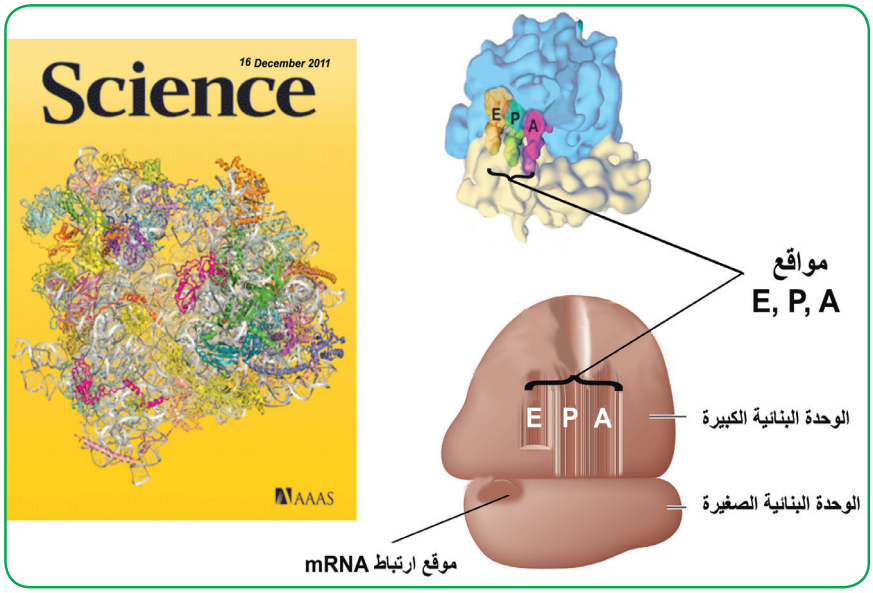
يتكون mRNA الأولي من إنترونات Introns وإكسونات Exons، وتمثل الإكسونات الأجزاء الفاعلة التي يتم ترجمتها إلى حموض أمينية، بينما تمثل الإنترونات أجزاء غير فاعلة في بناء البروتين. حيث يتم في هذه المرحلة إزالة الإنترونات، وربط الإكسونات معاً وتكوين mRNA الناضج. علماً بأن هذه العملية تتم في الخلايا حقيقية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

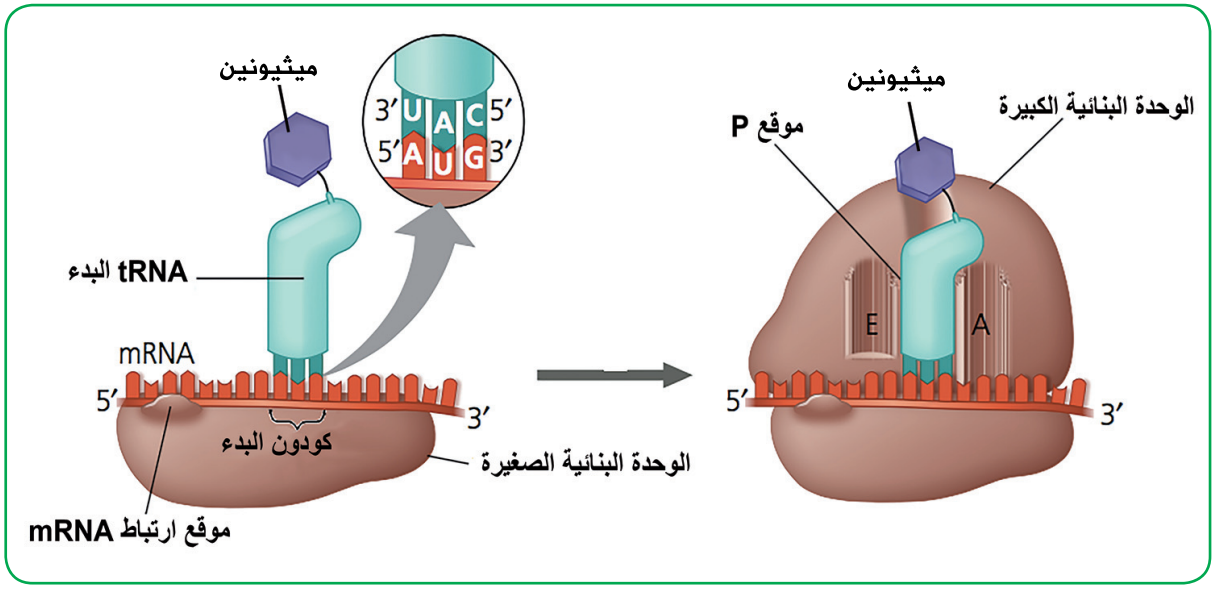
2 ثلاثة مواقع لارتباط tRNA: تُمثل ثلاثة انغمادات على الوحدة البنائية الكبيرة للرايبوسوم، موقعا لارتباط جزيئات tRNA وهذه المواقع هي (A) و (P) و (E). وتعني ما يأتي: (A: Aminoacyl) و(P: Peptidyl) و(E: Exit).

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

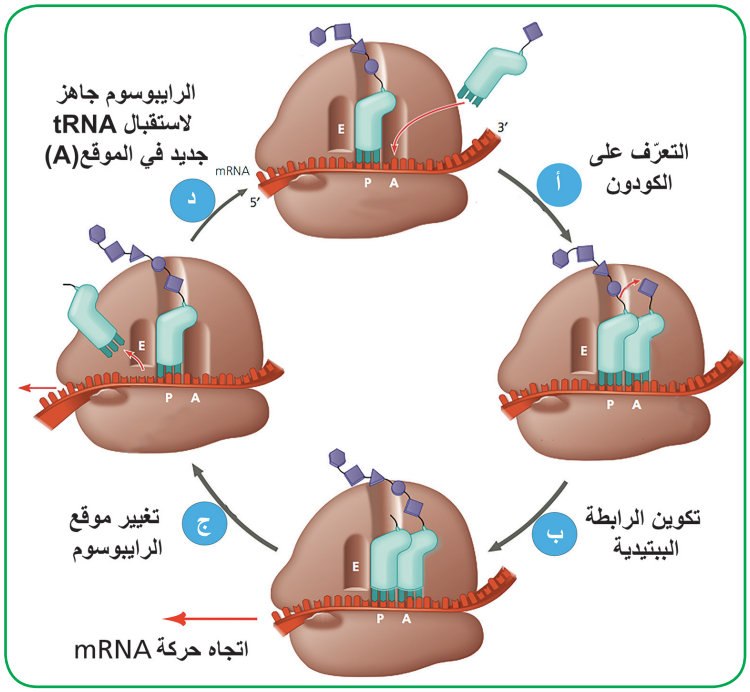
ب- ترتبط الوحدة البنائية الكبيرة بالوحدة البنائية الصغيرة. ومع نهاية المرحلة يكون tRNA الحامل للميثيونين في موقع (P) والموقع (A) يكون فارغاً ومستعداً لاستقبال جزيء tRNA التالي.

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 البتيدية: 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

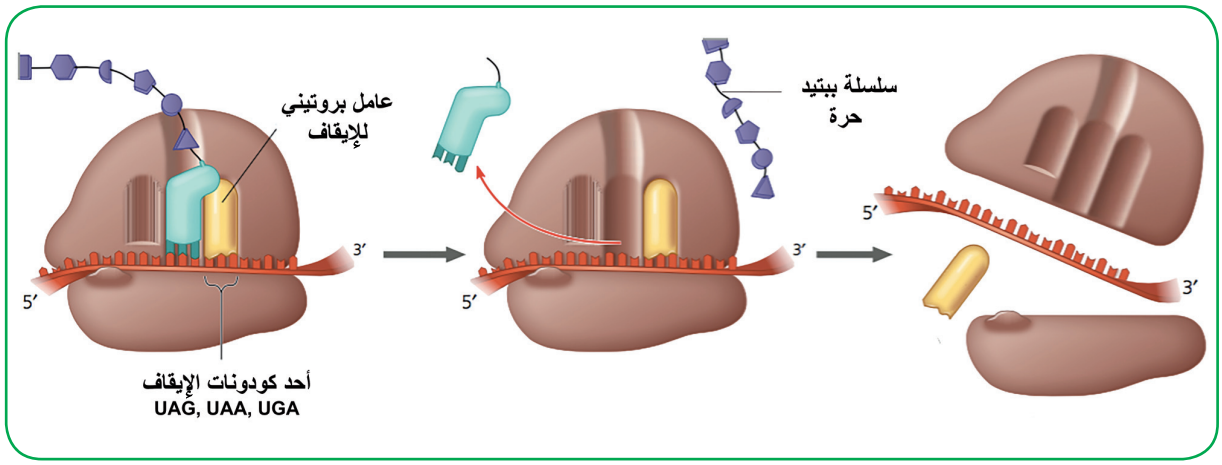
جـ- تغيير موقع الرايبوسوم:

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. أنظر الشكل (8). 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.



شكل (8): الترجمة؛ مرحلة الإنهاء

بعد الانتهاء من عملية الترجمة وإنتاج سلسلة عديد الببتيد، تخضع السلسلة لعمليات تعديل، لتكوين **بروتين وظيفي فعال** على النحو الآتي:

1. **الالتفاف:** تلتف سلسلة عديد الببتيد على نفسها مكونة بروتيناً وظيفياً فعالا ذا شكل خاص ومهماً لوظيفته في الخلية.
2. **الإضافة:** يتم إضافة سكر أو دهون إلى البروتين، كما يحدث في البروتينات السكرية التي تدخل في تركيب الغشاء الخلوي.
3. **المعالجة:** تتم المعالجة بعدة طرق.

أ- تقوم بعض الأنزيمات بإضافة أو إزالة حمض أميني أو أكثر من أحد طرفي السلسلة، وفي بعض الأحيان يتم تقسيم سلسلة عديد الببتيد إلى قطعتين أو أكثر بوساطة الإنزيمات، كما يحدث في تصنيع هرمون الإنسولين.

ب- قد يتم في حالات أخرى ارتباط سلسلتين أو أكثر من عديد الببتيد لتشكل وحدة من البروتين الفعال، بعد أن كانتا سلسلتين منفصلتين تم تصنيعهما بشكل مستقل، ومثال ذلك عملية تصنيع بروتين الهيموغلوبين.

سؤال: هل من الممكن ترجمة نسخة mRNA بأكثر من رايبوسوم.أفسِّر إجابتي.

نشاط (2): مشاهدة فيلم لعملية النسخ والترجمة

بالاعتماد على دور الطلبة في البحث على شبكة الانترنت أقوم باختيار فيلم يوضح مراحل عملية النسخ والترجمة، وعرض هذه المراحل من قبل الطلبة بواسطة جهاز عرض، أو خلال حلقة للنقاش.

مشروع : محاكاة لعملية بناء البروتين.

أسئلة الفصل

السؤال الاول: أختار رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1) ما اسم الحمض النووي الذي يعمل على ربط الحموض الأمينية المتجاورة بروابط ببتيدية أثناء عملية الترجمة؟

أ- DNA ب- mRNA جـ- tRNA د- rRNA

2) أي الآتية **ليست** من خصائص الكودون؟

أ- يمكن أن يشفر أكثر من حمض أميني. ب- يتكون من ثلاثة نيوكليوتيدات.

جـ- يمكن أن يشفر الحمض الأميني الذي يشفره كودون آخر. د- يرتبط بالكودون المضاد.

3) إذا كان التسلسل التالي (AGC) جزءاً من الشيفرة الوراثية في DNA، فما هو الكودون المضاد له؟

أ- GGA ب- UCG جـ- AGC د- GCU

4) بأي الكودونات الآتية يشفر الحمض الأميني برولين؟

أ- CCA ب- UGA جـ- UAG د- AUG

5) بأي اتجاه يتم ترجمة شريط mRNA بواسطة الرايبوسوم؟

أ- $3' \rightarrow 5'$ ب- $5' \rightarrow 3'$

جـ- $2' \rightarrow 6'$ د- $6' \rightarrow 2'$

السؤال الثاني: أوضح المقصود بكل مما يأتي:(الشيفرة الوراثية، الكودون، الكودون المضاد، الإنترون، الإكسون، النسخ، الترجمة، المعالجة mRNA).

السؤال الثالث: بالرغم من تطابق النيوكليوتيدات في جميع الكائنات الحية، إلا أنه عندما أدخل العلماء الجينات الخاصة بتصنيع بروتين بيتا غلوبن الخاص بالإنسان إلى البكتيريا، لم يتم تصنيع البروتين المطلوب. كيف أفسِّر ذلك؟

السؤال الرابع: أقارن بين أنواع RNA من حيث التركيب والوظيفة.

السؤال الخامس: لديك السلسلة الآتية من DNA (T A C T T T T G G G T A A C C) التي سيتم استخدامها في بناء بروتين فاعل للخلية، بالرجوع إلى الجدول (1)، أجيب عن الأسئلة الآتية:

أ- أكتب النيوكليوتيدات في سلسلة DNA المتممة للسلسلة.

ب- أكتب الكودونات في سلسلة mRNA.

جـ- أجد الكودونات المضادة في جزيئات tRNA.

د- أجد الحموض الأمينية الناتجة عن عملية الترجمة، بالاستعانة بالجدول (1).

أسئلة الوحدة

السؤال الأول: أختار رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1) في حلقة كالفن، ما عدد جزيئات ATP المستهلكة إذا تم استهلاك 96 جزيئاً من (NADPH)؟

أ- 72 ب- 96 جـ- 144 د- 216

2) أي من مراحل التنفس الخلوي التي يتم فيها إنتاج جزيئات CO_2 ؟

أ- تحول البيروفيت إلى أسيتل مرافق الأنزيم- أ وحلقة كربس ب- التحلل الغلايكولي وحلقة كربس

جـ- حلقة كربس وسلسلة نقل الإلكترون د- التحلل الغلايكولي وسلسلة نقل الإلكترون

3) كم يبلغ عدد جزيئات NADH الناتجة عن تفكك جزيء غلوكوز واحد خلال التنفس الخلوي (الهوائي)؟

أ- 4 ب- 6 جـ- 10 د- 18

4) إذا نتج 18 جزيئاً من الماء في عملية التنفس الهوائي، فكم عدد جزيئات الغلوكوز المتحللة؟

أ- 3 ب- 2 جـ- 1 د- 4

5) أي من الآتية يُعدّ المستقبل الأخير للإلكترونات في بكتيريا الكزاز؟

أ- O_2 ب- ATP جـ- NADP+ د- SO_4^{-2}

6) لإعادة تصنيع (9) جزيئات من مركب رايبولوز ثنائي الفوسفات (RuBP) في حلقة كالفن نحتاج إلى أي من الآتية؟

أ- 18 ATP ب- 18 NADPH جـ- 24 ATP د- 27 NADPH

7) إذا كان الناتج النهائي لحلقة كالفن (4) جزيئات (G3P) فأي من العبارات الآتية صحيحة؟

أ- يتم تثبيت 6 جزيئات CO_2 ب- عدد جزيئات الغلوكوز التي يتم إنتاجها اثنان فقط

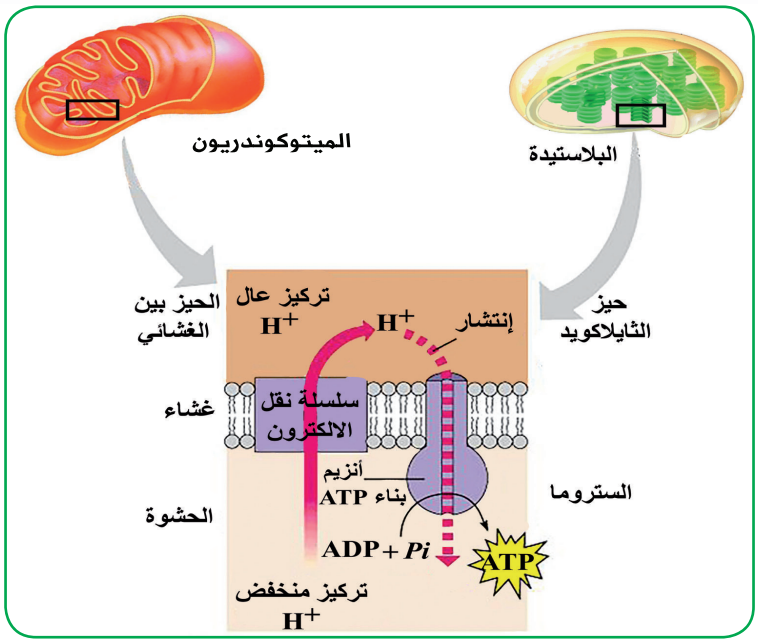
جـ- يتم استهلاك 6 جزيئات NADPH د- يتم إنتاج 27 جزيئاً من ATP

8) في أي مرحلة تنتج معظم جزيئات ATP في عملية التنفس الخلوي؟

أ- تحلل الغلايكولي. ب- سلسلة نقل الإلكترون. جـ- حلقة كربس د- تكوين أسيتل مرافق الأنزيم-أ

السؤال الثاني: أوضح بالرسم تأثير كل من العوامل (تركيز CO_2 ، درجة الحرارة) على معدل البناء الضوئي ؟

السؤال الثالث: أصف عملية تكوين حاملات الطاقة ATP في البناء الضوئي والتنفس بالاعتماد على الشكل المجاور:



السؤال الرابع: تعد عملية التنفس الخلوي اللاهوائي أكثر فاعلية من التخمر. أعلل هذه العبارة.

السؤال الخامس: أقارن بين عملية التنفس الهوائي والتخمر من حيث:

1) شروط حدوثها. 2) عدد جزيئات ATP الناتجة. 3) مثال لكائنات حية تحدث فيها.

السؤال السادس: أتتبع العمليات التي تحدث خلال معالجة mRNA الأولي للحصول على mRNA الناضج؟

السؤال السابع: بالاستعانة بالجدول (1). لدينا قطعة من DNA وترتيب للنيوكليوتيدات حسب ما هو موضح، أجيب عن الأسئلة التي تليه:

ترتيب الثلاثيات:	72	71	70	69	68	67
	ACA	CTT	ACA	GCC	GGT	GGG

1) ما الحمض الأميني الذي تشفره النيوكليوتيدات في الترتيب رقم 70؟
2) أكتب ترتيب الحموض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد الناتجة من ترجمة هذه النيوكليوتيدات.
3) إذا تم اعتبار الترتيب الثلاثي رقم 72 الأخير في عملية الترجمة، فما ترتيب النيوكليوتيدات الثلاثية في الرقم 73؟
4) ما تسلسل الكودونات في جزيء mRNA عند نسخ هذه السلسلة؟
5) ماذا تتوقع أن يحدث لعملية الترجمة إذا كان الترتيب الثلاثي للنيوكليوتيدات في الرقم 73 هو ACT والترتيب الثلاثي في رقم 74 هو CTT؟

السؤال الثامن: أعدد مكونات كل نظام ضوئي، وما وظيفة جزيئا الكلوروفيل في مركز التفاعل؟

السؤال التاسع: تفاعلات تثبيت CO_2 في حلقة كالفن تحدث في ستروما البلاستيدات الخضراء:

أ- أتحدث عن المرحلة الثانية (مرحلة الاختزال).

ب- كم عدد جزيئات G3P كناتج نهائي من استخدام 15 جزيئاً من CO_2 ؟

السؤال العاشر: إذا علمت انه تم استهلاك 36 جزيئاً من ATP في حلقة كالفن أجيب عما يأتي:

أ- كم جزيئا ينتج من غليسر الدهايد أحادي الفوسفات (G3P) كناتج نهائي؟

ب- ما عدد جزيئات NADPH التي يتم استهلاكها؟

السؤال الحادي عشر: تُعدّ مرحلة التحلل الغلايكولي إحدى مراحل التنفس الخلوي:

أ- أين تحدث هذه المرحلة؟ ب- ما نواتجها؟

السؤال الثاني عشر: من مراحل التنفس الخلوي تحول البيروفيت إلى أسيتل مرافق الأنزيم –أ:

أ- في أي جزء من الخلية تحدث هذه المرحلة؟

ب- كم عدد جزيئات NADH وATP وCO_2 الناتجة من تحلل جزيء بيروفيت في هذه المرحلة؟

السؤال الثالث عشر: وصف بعض الأطباء في الماضي مادة (DNP) لبعض المرضى الذين يعانون من البدانة المفرطة لإنقاص أوزانهم، وقد وجد أن هذه المادة تمنع تدفق البروتونات (H^+) عبر انزيم بناء ATP خلال عمل الميتوكندريا في التنفس الهوائي، إلا أنها منعت من الاستخدام بعد ذلك بسبب موت العديد من المرضى. كيف تساهم هذه المادة في إنقاص الوزن ولماذا تسبب استخدامها إلى موت بعض المرضى.

السؤال الرابع عشر: إذا كان تسلسل النيوكليوتيدات في سلسلة الشيفرة الوراثية DNA هو:

3´ - GCT AAC ATC -5´

أ- ما ترتيب الكودونات في سلسلة mRNA؟ ب- ما ترتيب الكودونات المضادة في جزيء tRNA؟

السؤال الخامس عشر: أشرح مراحل كل مما يأتي: أ- عملية نسخ mRNA ب- عملية الترجمة

السؤال السادس عشر: أوضح العمليات التي تحدث لتحويل سلسلة عديد الببتيد إلى:

أ- هرمون الإنسولين. ب- بروتين الهيموغلوبين

السؤال السابع عشر: يمثل الشكل المجاور سلاسل مختلفة من حموض نووية تسهم في بناء البروتين:

أ- ماذا تمثل السلاسل (أ، ب، ج)؟

ب- أكمل الشيفرات (1،2،3،4) على السلاسل.

جـ- أكتب النيوكليوتيدات على السلسلة الثانية من DNA.

د- أي الثلاثيات تمثل كودوناً مضاداً؟

أ- TTT (1) CCG

ب- UUU (2) CCG

ج- (3) AAA (4)

السؤال الثامن عشر: أقيم ذاتي:

أعبر عن المفاهيم التي تعلمتها خلال دراستي للوحدة بما لا يزيد عن ثلاثة أسطر.

الوحدة الثانية 2

الـوراثـــة Genetics

الجينات الوراثية سر الحياة والتنوع

«أنـا مقتنـع بأنـه لـن يمـر وقـت طويـل قبـل أن يعتـرف العالـم بأسـره بنتائـج أبحاثـي »

غريغـور منـدل

يتوقع من الطلبة بعد دراسة هذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على تفسير آلية انتقال وتوارث الصفات في الكائنات الحية وأسباب التشابه والاختلاف بينها، من خلال تحقيق الآتي:

1. استخدام قانوني مندل في حل المسائل الوراثية.
2. التمييز بين آلية توارث الصفات المندلية وغير المندلية.
3. الربط بين علم الوراثة والرياضيات.
4. التعرف إلى التطبيقات العملية في علم الوراثة.
5. التعرف إلى الأمراض الوراثية الأكثر شيوعاً في فلسطين.
6. تصميم نموذج DNA يشبه نموذج واطسون وكريك باستخدام خامات البيئة.

الفصل الأول 1

قانونا مندل في الوراثة

غريغورمندل 1822-1884

يتحكم تركيبنا الوراثي في مظهرنا وشخصيتنا وصحتنا، كما أن استعدادنا للإصابة بمرض معين يمكن أن يكون له أساس أيضا في جيناتنا. وقد أسهم كثير من العلماء في فك رموز الشيفرة الوراثية كالعالمين واطسون وكريك اللذين وضحا التركيب الجزيئي والشكل الثلاثي الأبعاد الخاص للحمض النووي منقوص الأكسجين DNA، أما العالم غريغور مندل فقد وضع أسس علم الوراثة.

ما أنماط التوارث؟ و كيف يتم توارث الصفات؟ هذه الأسئلة و غيرها سأتمكن من الإجابة عليها بعد دراسة هذا الفصل، وسأكون قادرا على:

1. التعرّف إلى قوانين مندل في الوراثة.
2. تطبيق قوانين الاحتمالات في حل المسائل الوراثية.
3. حل مسائل وراثية باستخدام مربع بانيت وطريقة الخطوط المتفرعة.
4. بيان أهمية استخدام التلقيح التجريبي.

1. 1 الوراثة المندلية Mendelian Genetics

درس عالم الوراثة غريغور مندل توارث الصفات بين سلالات نبات البازيلاء من خلال عملية التهجين، وكان لمعرفته في الرياضيات الأثر الكبير في تفسير نتائج تجاربه.

قوانين مندل في الوراثة

استطاع مندل تفسير نتائج تجاربه من خلال **قانونه الأول « انعزال الصفات» Law of Segregation الذي ينص على أن زوج العوامل المتقابلة (الأليلات Alleles) للصفة الوراثية الواحدة تنفصل عشوائيا عند تكوين الغاميتات أثناء عملية الانقسام المنصف.**

سؤال: أجرى مندل تلقيحاً بين نبتتي بازيلاء: الأولى محورية الأزهار، والثانية طرفية الأزهار، ثم قام بجمع البذور وزراعتها مرة أخرى، فكان جميع أفراد الجيل الأول محورية الأزهار. ثم أجرى تلقيحا ذاتيا بين أفراد الجيل الأول، فكان أفراد الجيل الثاني بعضها محورية الأزهار وبعضها طرفية الأزهار بنسبة 3 محورية :1 طرفية. أفسر هذه النتائج على أسس وراثية باستخدام الرموز المناسبة.

نتائج مندل والاحتمالات

قوانين الاحتمالات تشكل الأساس في حل المسائل الوراثية، فعلى سبيل المثال، عند تلقيح نبتتين من البازيلاء غير نقيتين لصفة الطول (Tt)، من المحتمل أن نصف عدد الغاميتات سوف يحتوي على الأليل (T) والنصف الآخر سيحتوي على الأليل (t).

نشاط (1): الاحتمال Probability

للتعرف على مفهوم الاحتمال (الصدفة) أقوم بالنشاط الآتي:

1. لنفرض أننا نريد أن نرمي قطعة نقد 10 مرات، أتنبأ بعدد مرات ظهور الصورة، وعدد مرات ظهور الكتابة. أسجل ذلك في الجدول المرفق.
2. آخذ قطعة النقود، وأقوم برميها 10 مرات، وأسجل النتائج (كم مرة ظهرت الصورة، وكم مرة ظهرت الكتابة؟).

3. أحسب نسبة ظهور الصورة إلى الكتابة، وأسجل النتائج.

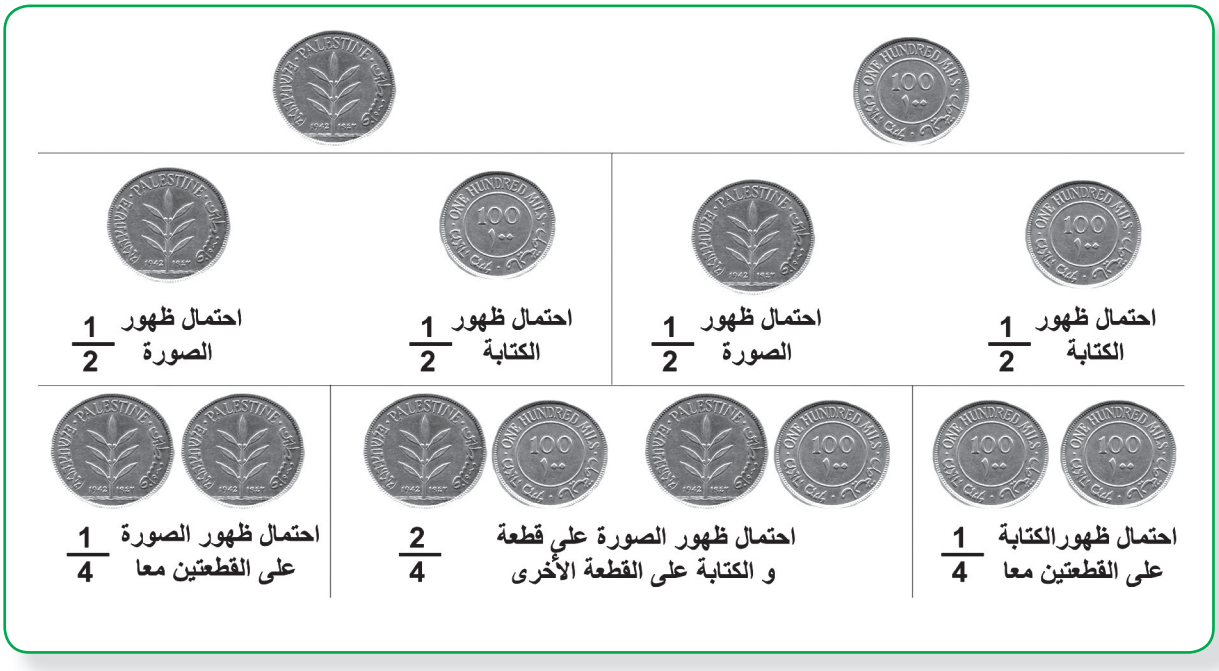
4. أدون النتائج التي حصل عليها زملائي في الجدول، وأحسب نسبة ظهور الصورة إلى الكتابة لكل منها.

5. أقارن بين النتائج التي حصلت عليها فعلا وتلك المتوقعة من الخطوة 1.

6. أقارن بين النتائج التي حصلت عليها وتلك التي حصل عليها زملائي. أفسر سبب الاختلاف.

	المتوقع	المشاهد فعلا
الصورة		
الكتابة		

ألاحظ الشكل (1) الذي يمثل حادثة رمي قطعتي نقود معاً:



الشكل (1): تطبيقات على قانوني الضرب والجمع في الاحتمالات

و فيما يأتي سنتعرف على قوانين الاحتمالات:

1. **قانون الضرب Product Rule:** ينص على أن « احتمال ظهور حدثين مستقلين أو أكثر معاً في نفس الوقت هو حاصل ضرب احتمالات ظهور كل منهما بمفرده ».

فاحتمال ظهور الصورة في القطعة الأولى لا يؤثر على احتمال ظهورها في القطعة الثانية، لذا فاحتمال ظهور الصورة عند رمي القطعتين معا في نفس الوقت هو: $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$.

2 **قانون الجمع Sum Rule:** ينص على أن « احتمال ظهور أحد الحدثين على وجه الحصر (إما أحدهما أو الآخر، ولكن لايظهران معا في الوقت نفسه) هو مجموع ظهور كل منهما على حدة ».

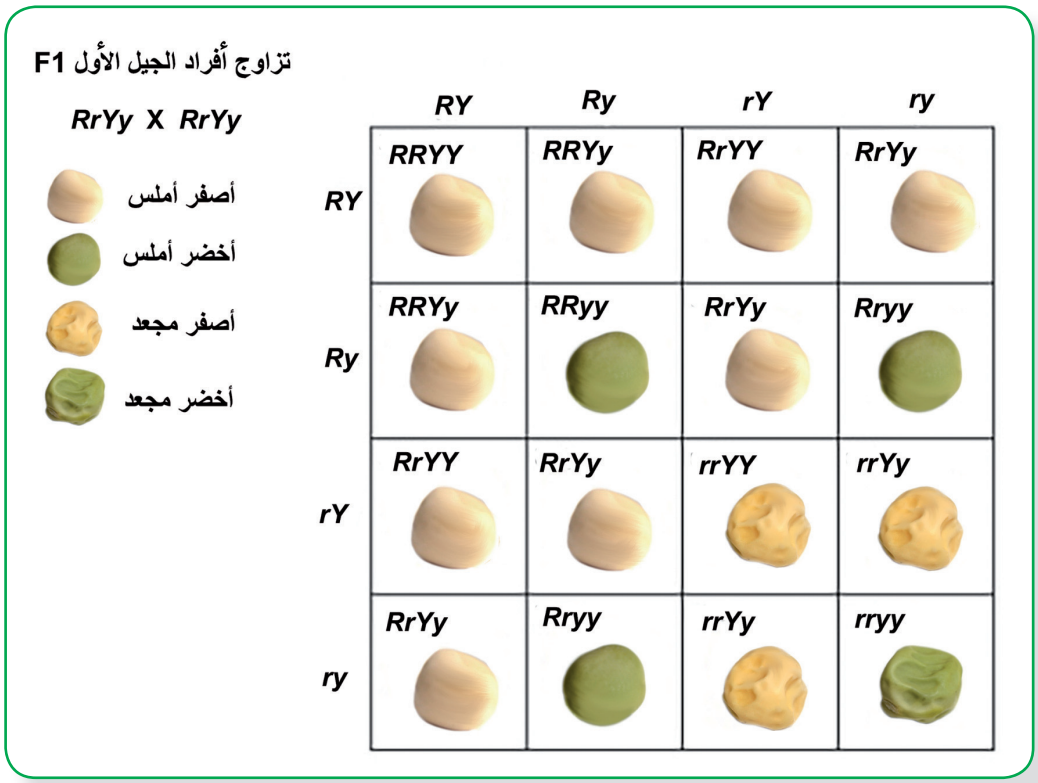
فاحتمال ظهور الصورة على قطعه والكتابة على القطعه الأخرى هو: $\frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{2}{4}$

3 **مجموع جميع الاحتمالات الممكنة في فضاء عيني لأي تجربة يساوي (1).**

قانون مندل الثاني (التوزيع المستقل) Low of Independent Assortment

بدأ مندل بإجراء تجاربه لدراسة توارث صفتين أو أكثر معا، وهل يؤثر توارث صفة معينة على الصفة الأخرى؟

سؤال: أدرس الشكل (2) الذي يمثل الجيل الثاني لنتائج تلقيح ذاتي لنباتي بازيلاء، إذا كانت رموز الجينات لصفة اللون الأصفر للبذور (Y) وللبذور الخضراء (y)، وللبذور الملساء (R) والمجعدة (r). أجيب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (2): نتائج التلقيح بين نباتي بازيلاء

1 أكتب الطرز الجينية والشكلية لآباء الجيل الأول.

2 أكتب الطرز الجينية لغاميتات الجيل الأول.

3 أكتب الطرز الجينية والشكلية لأفراد الجيل الأول.

4 كم نوعا من الغاميتات يمكن أن ينتجها آباء الجيل الثاني؟

5 أكتب الطرز الشكلية لأفراد الجيل الثاني.

6 كم نوعا من الطرز الشكلية ظهر بين أفراد الجيل الثاني؟

7 ما نسبة الأفراد خضراء البذور إلى صفراء البذور في الجيل الثاني؟

8 ما نسبة الأفراد ملساء البذور إلى مجعدة البذور في الجيل الثاني؟

وقد توصل مندل إلى قانونه الثاني في الوراثة بعد هذه التحارب.

وينص قانون مندل الثاني (التوزيع المستقل) على ما يأتي: إذا تزاوج فردان مختلفان في أكثر من زوج من الصفات المتضادة فإن كل زوج من هذه الصفات يورث مستقلاً عن غيره من أزواج الصفات المتضادة الأخرى.

سؤال: في نبات البازيلاء،صفة لون الأزهار الأُرجوانية (P) سائدة على البيضاء (p) ولون القرون الخضراء (G) سائدة على اللون الأصفر (g). أُجري تلقيح بين نبتتين كلتاهما أرجوانية الأزهار خضراء القرون غير نقية للصفتين، أجيب عن الأسئلة الآتية:

1 أكتب الطرز الجينية للآباء.

2 أكتب الطرز الجينية للغاميتات، وأتأكد من عددها باستخدام القانون الآتي: عدد أنواع الغاميتات = $2^{ن}$ حيث ن عدد الصفات غير النقية.

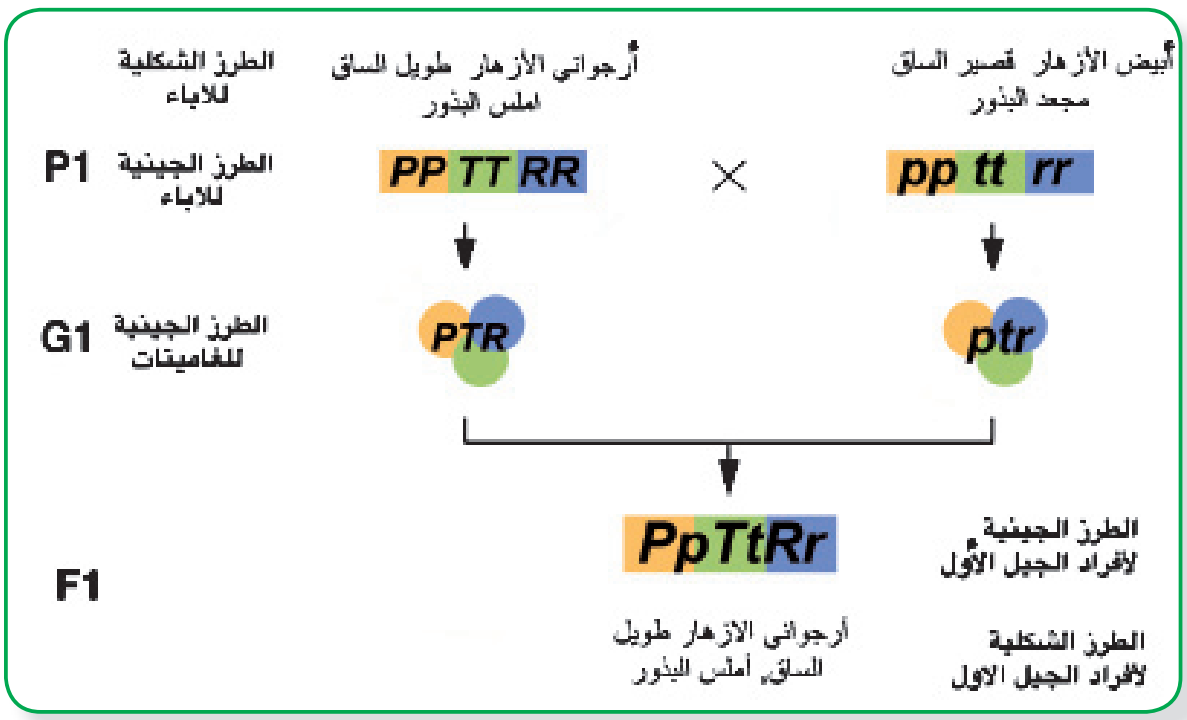
3 أكتب الطرز الجينية والشكلية لأفراد الجيل الأول.

4 أحسب نسبة احتمال ظهور الطرز الآتية: (1) الطراز الجيني (Ppgg)، (2) الطراز الشكلي (أرجوانية خضراء).

إن قانون التوزيع المستقل ينطبق أيضاً على توارث ثلاث صفات فأكثر، فكل صفة تورث مستقلة عن الصفات الأخرى، وإن استخدام مربع بانيت لحل هذه المسائل سيكون معقداً؛ لأننا سنحتاج في هذه الحالة إلى 64 مربع لأفراد الجيل الثاني؛ لذا توجد طرق أكثر سهولة في حل مثل هذه المسائل المعقدة، ومنها طريقة الخطوط المتفرعة Forked- lines.

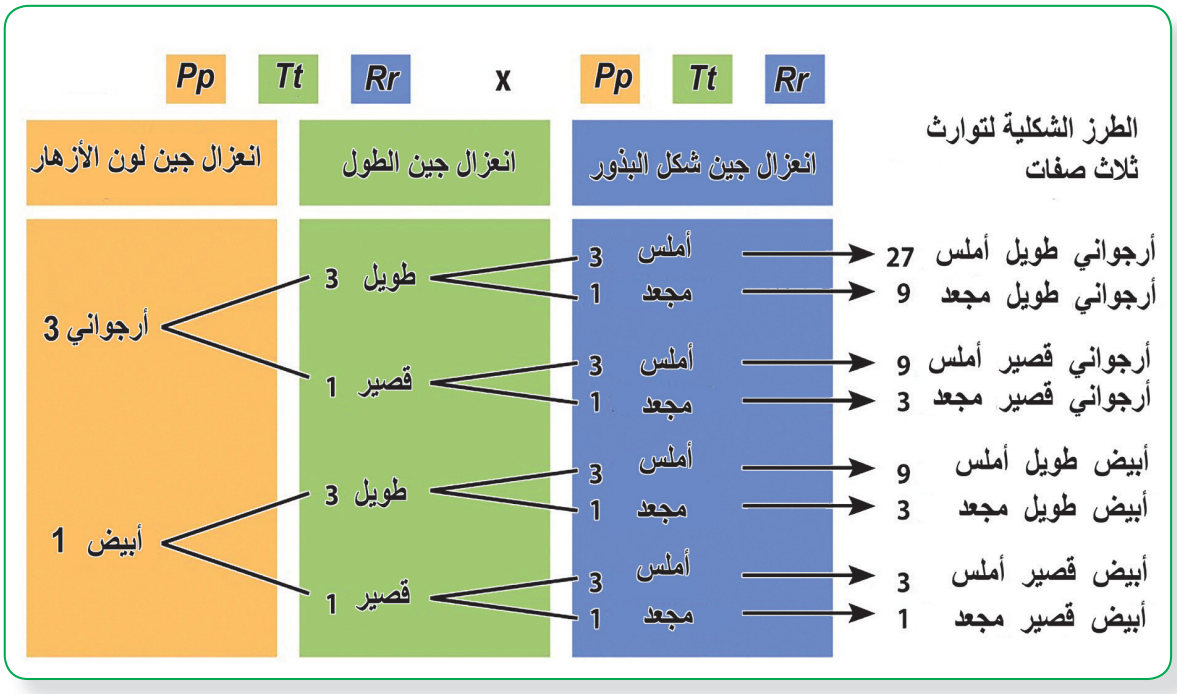
مثال:

عند إجراء تلقيح بين نباتي بازيلاء نقيين:الأول أرجواني الأزهار (P)، طويل الساق (T)، أملس البذور (R) مع نبات أبيض الأزهار (p)، قصير الساق (t)، مجعد البذور (r).كان جميع أفراد الجيل الأول أرجواني الأزهار، طويل الساق، و بذور ملساء. أنظر إلى الشكل (3).



الشكل (3): أفراد الجيل الأول نتيجة تلقيح نبتتي بازيلاء بثلاث صفات

وعند ترك أفراد الجيل الأول للتلقيح الذاتي ظهرت النسب للطرز الشكلية في أفراد الجيل الثاني باستخدام طريقة الخطوط المتفرعة كما هو موضح في الشكل (4).

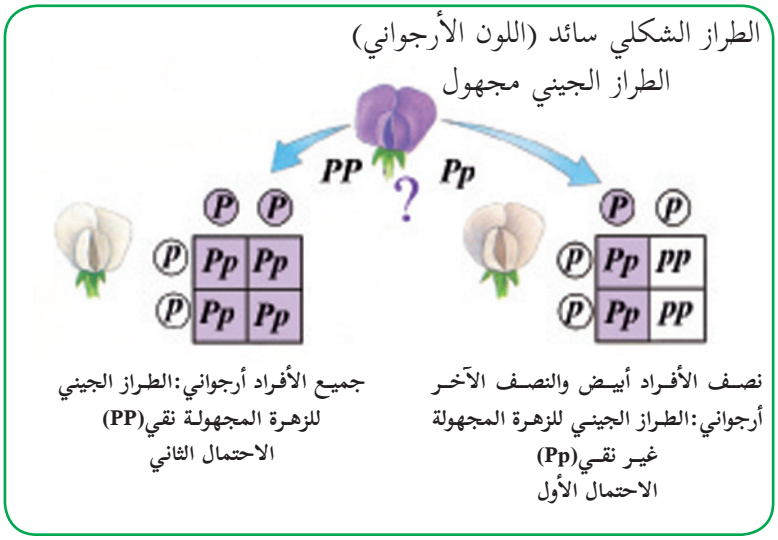


الشكل (4): طريقة الخطوط المتفرعة في حل المسائل الوراثية

سؤال: صفة لون ثمرة البندورة الأحمر (R) سائدة على صفة اللون الأصفر (r) وصفة لون الأزهار البيضاء (W) سائدة على صفة لون الأزهار الصفراء (w)، وصفة طول ساق النبتة (T) سائدة على صفة القصر (t). إذا تم تهجين نبات ثمره أحمر ذو أزهار صفراء وطويل الساق، مع نبات آخر أصفر الثمار و أبيض الأزهار و قصير الساق، عِلماً بأن الصفة السائدة نقية. ما الطرز الشكلية لأفراد الجيل الناتج؟

التلقيح التجريبي (الاختباري) Test Cross

إن التمييز بين الأفراد السائدة النقية (متماثلة الجينات) والأفراد السائدة غير النقية (غيرمتماثلة الجينات) مهم من الناحية الاقتصادية. ولتحقيق ذلك يلجأ علماء الوراثة إلى التلقيح التجريبي، (**حيث يتم إجراء تلقيح بين الفرد السائد مجهول النقاوة وفرد يحمل الصفه المتنحّية، و بناء على نتائج هذا التلقيح يتم معرفة الطراز الجيني**) كما هو مبين في الشكل (5).



الشكل (5): التلقيح التجريبي لنبات أزهاره أرجوانية سائد للطراز الشكلي و طرازه الجيني مجهول النقاوة

سؤال: تسود صفة اللون الأسود للشعر في بعض أنواع الكلاب على اللون البني. كيف يمكن معرفة فيما إذا كان اللون الأسود لأحد الكلاب نقياً؟ أستخدم الرموز (B) للتعبير عن جين لون الشعر الأسود و (b) لجين لون الشعر البني.

مشروع

تصميم نموذج DNA يشبه نموذج واطسون وكريك باستخدام خامات البيئة.

أسئلة الفصل

السؤال الأول: أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1) لعائلة أربعة أطفال. ما احتمال أن يكون الأطفال ذكوراً؟

أ- 1/2 ب- 1/4 جـ- 1/8 د- 1/16

2) عند اجراء تلقيح كائن حي متنحٍ لصفة معينة، مع آخر غير نقي لنفس الصفة، ما احتمالية أن يكون الطراز الشكلي لأحد الأبناء الناتجين من هذا التزاوج متنحياً؟

أ- 0% ب- 25% جـ- 50% د- 75%

3) كم عدد أنواع الغاميتات التي ينتجها فرد بالتركيب الجيني AaBbCc؟

أ- 2 ب- 4 جـ- 6 د- 8

4) تم إجراء تلقيح بين فردين طرازهما الجيني AABbCc و AABbcc ، ما احتمال أن ينتجا فرداً ذا طراز جيني AAbbCc:

أ- $\frac{1}{2}$ ب- $\frac{1}{4}$ جـ- $\frac{1}{8}$ د- $\frac{1}{16}$

5) أنجبت عائلة ثلاث بنات، ما احتمال أن يكون المولود الرابع ذكراً ؟

أ- $\frac{1}{4}$ ب- $\frac{1}{8}$ جـ- $\frac{1}{2}$ د- $\frac{1}{16}$

6) صفة الطول في نبات معين سائدة على صفة القصر. إذا لقح نبات غير نقي مع نبات آخر طويل الساق نقي، ما احتمالية إنتاج نباتات قصيرة الساق؟

أ- 1 ب- 1/2 جـ- 1/4 د- 0

7) حصل تلقيح اختباري لنبتة بازيلاء طويلة أرجوانية الأزهار غير نقيّة التركيب (RrTt) أي طراز جيني من الآتية **لا يظهر** عند أفراد النسل ؟

أ- RRtt ب- RrTt جـ- rrtt د- Rrtt

8 أي النسب الآتية **لا تظهر** في أفراد الجيل الأول في الصفات المندلية؟

أ- 100% ب- 1:3 جـ- 1:2 د- 1:1

9 أي الطرز الجينية الآتية يجب أن تستخدم في التلقيح التجريبي؟

أ- RR ب- rr جـ- Rr د- RrRr

السؤال الثاني: أكتب أنواع الغاميتات لكل من الطرز الجينية الآتية:

AaRRMm AaBBcc AaBbRr aaBbrr AaBb

السؤال الثالث: أعرف كلاً مما يأتي:

قانون التوزيع المستقل، التلقيح التجريبي

السؤال الرابع: ما احتمال تكوّن كل من الطرز الجينية المحددة والناتجة من التزاوجات الآتية؟

AaBbCc ← AABBCC × aabbcc

AAbbCC ← AABbCc × AaBbCc

AaBbCc ← AaBbCc × AaBbCc

AaBbCc ← aaBBCC × AABbcc

السؤال الخامس: أعلل ما يأتي:

التلقيح التجريبي (الاختباري) مهم من الناحية الاقتصادية.

السؤال السادس: لون الأزهار في نبات الداتورا إما أرجواني أو أبيض، وتوجد قرون بأشواك أو ملساء، الجدول الآتي يوضح تزاوجات مختلفة بين نبات الداتورا، أجيب عن الأسئلة الآتية:

- أبين أي الصفات سائدة وأيها متنحية؟ - ما الطرز الجينية للآباء في كل تزاوج؟

	الطرز الشكلية للنسل			
الطرز الشكلية للآباء	أرجواني الأزهار وقرون بأشواك	أبيض الأزهار وقرون بأشواك	أرجواني الأزهار وقرون ملساء	أبيض الأزهار وقرون ملساء
أرجواني بأشواك × أرجواني بأشواك	94	32	28	11
أرجواني بأشواك × أرجواني أملس	40	0	38	0
أرجواني بأشواك × أبيض بأشواك	89	92	31	27
أرجواني أملس × أرجواني أملس	0	0	36	11

الصفات غير المندلية Non- Mendelian Traits

تعرّفنا في الفصل السابق على الوراثة المندلية (قانوني انعزال الصفات والتوزيع المستقل) وعرفنا أن بعض صفات الكائنات الحية تتبع هذه الآلية من الوراثة. لكن إذا نظرنا إلى الكائنات الحية من حولنا نلاحظ تنوعاً هائلاً على مستوى النوع الواحد لا يمكن أن تُفسر فقط من خلال الوراثة المندلية، فقد وجد العلماء أن هناك أنماط توارث أكثر تعقيداً، فما هذه الأنماط؟ وهل تنفي أنماط التوارث غير المندلية قوانين مندل التي درسناها؟ هذه الأسئلة وغيرها سنتمكن من الإجابة عليها بعد دراسة هذا الفصل وسأكون قادراً على:

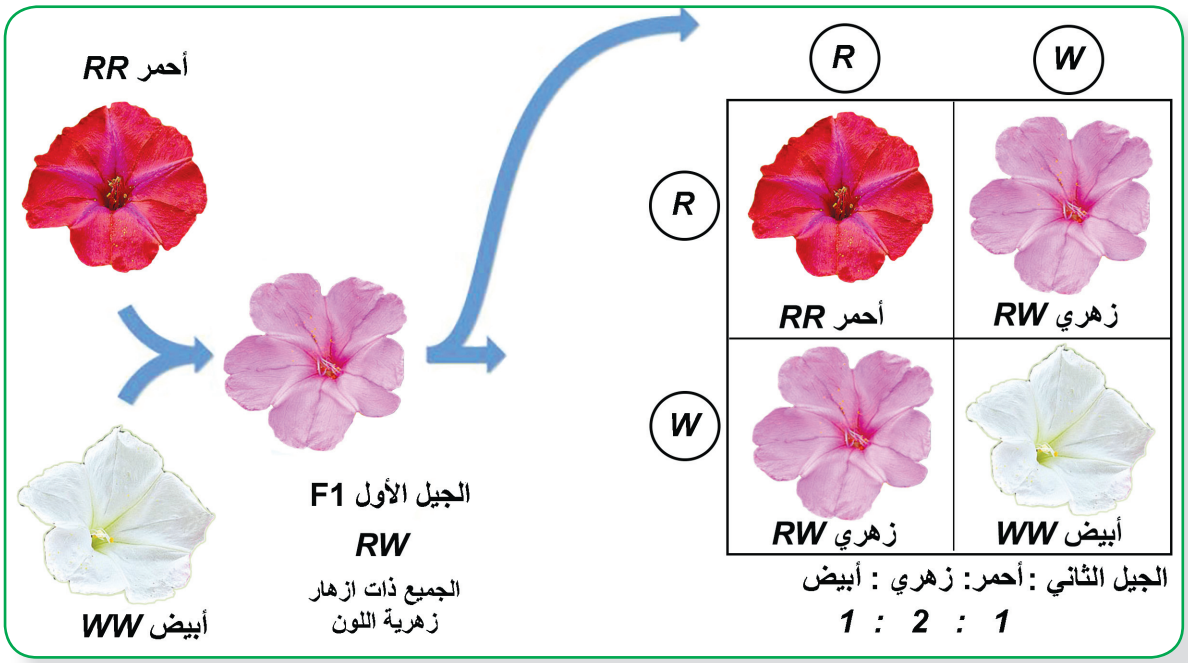
1. توضيح المقصود بكل من : السيادة غير التامة، السيادة المشتركة ، الجينات القاتلة ، الارتباط والعبور.
2. التفريق بين الأليلات المتعددة والجينات المتعددة.
3. تصنيف فصائل الدم حسب نظام ABO وكيفية الكشف عنها.
4. التمييز بين الأنماط الوراثية المختلفة.
5. التعرف إلى أنظمة تحديد الجنس في كائنات حية مختلفة.
6. التمييز بين الصفات المرتبطة بالجنس والمتأثرة به.
7. حل مسائل على أنماط التوارث المختلفة.
8. رسم خرائط جينية.
9. التمييز بين الطفرات الجينية والكروموسومية.

1.2 أنماط التوارث غير المندلية

غالبا ما تكون العلاقة بين الطرازين الشكلي والجيني أعقد من أن يقوم أليل واحد بإنتاج صفة واحدة. ومعظم الطرز الشكلية لا تمثل حالات ثنائية مثل صفة لون الأزهار كالأبيض والأرجواني فقط، حيث إن كثيراً من الصفات تتأثر بأكثر من جين.

2.2 السيادة غير التامة Incomplete Dominance

ليست كل الصفات المتوارثة سائدة أو متنحية بشكل تام. في بعض الحالات لا يكون أي من الأليلات التي تتحكم في صفة معينة سائدة على الأخرى. عندما يحدث هذا يكون الفرد غير نقي ومختلفاً عن الأبوين، ويُظهِر صفة وسطيةً بينهما، بحيث تكون مزيجاً بين الصفتين دون سيادة إحدى الصفات على الأخرى، و تدعى هذه الحاله السيادة غير التامة. أنظر إلى الشكل (1) وألاحظ كيف تختلف أنماط التوارث في نبات الساعة الرابعة (*Mirabilis jalapa*) Four o'clock. هل تتفق النسب في الجيلين الأول والثاني مع السيادة التامة؟

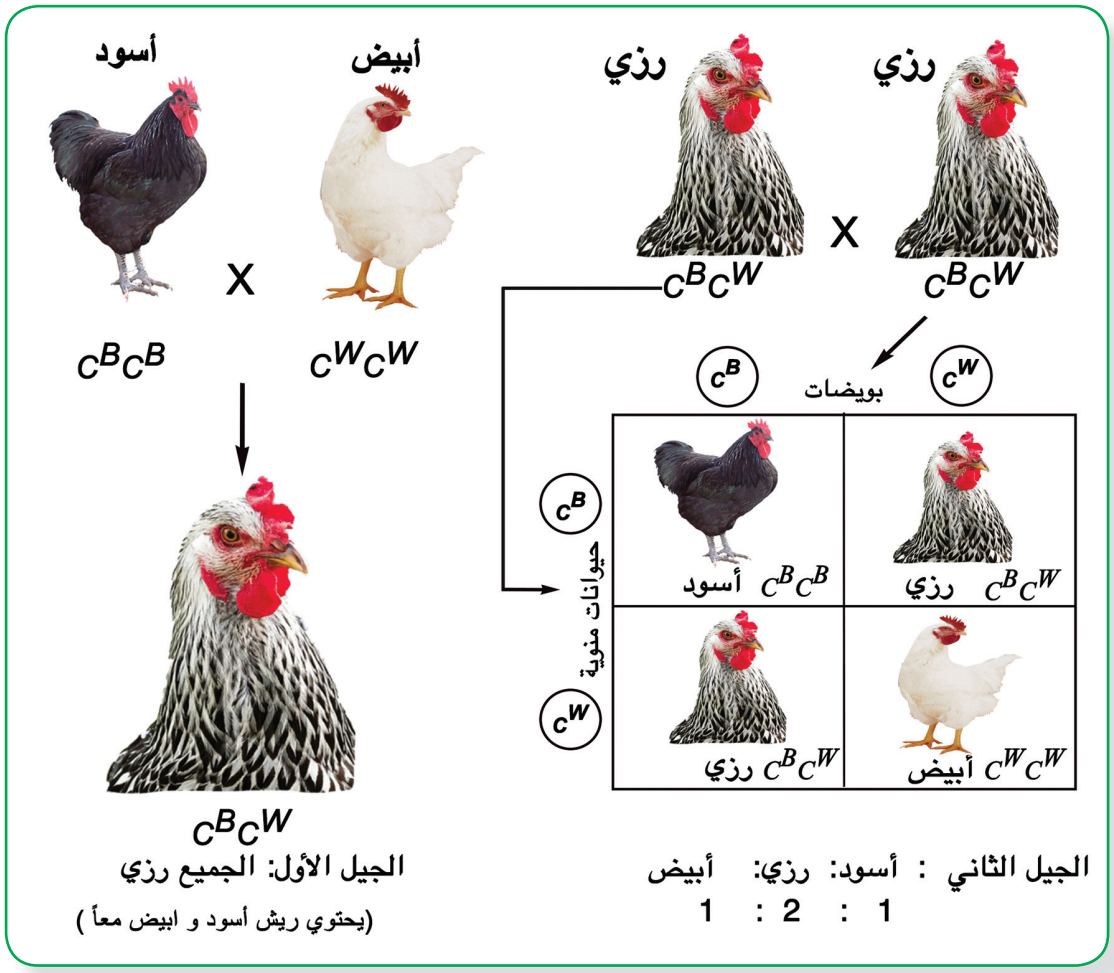


الشكل (1): السيادة غير التامة في توارث لون أزهار نبات الساعة الرابعة

سؤال: أجري تلقيح بين نباتي فجل، أحدهما طويل الجذور، و الآخر كروي الجذور فكان جميع أفراد الجيل الأول بجذور بيضوية. أكتب الطرز الجينية والشكلية لأفراد الجيل الأول و الثاني. أستخدم الرموز L لجين الجذور الطويلة و R للجذور الكروية.

3.2 السيادة المشتركة Codominance

يطلق على الحالة التي يكون فيها الأليلان لصفة معينة سائدين، حيث يُظهران تأثيراً كاملاً للأليلين في الفرد الهجين، وكمثال شائع لون الدجاج الذي يتحكم به زوج من الأليلات السائدة، فعند تهجين ديك أسود اللون متماثل الجينات، مع دجاجة بيضاء متماثلة الجينات ظهر جميع أفراد الجيل الأول باللون الرُّزي (يحتوي على ريش أسود وريش أبيض حيث يظهر كلون رُّزي)، ألاحظ الشكل (2).



الشكل (2): آلية توارث اللون في الدجاج كمثال على السيادة المشتركة

سؤال: لقح ديك ذو لون رُّزي دجاجة بيضاء اللون. ما الطرز الجينية للآباء؟ وما الطرز الجينية والشكلية للنسل الناتج من هذا التزاوج؟

يمكن كتابة الطرز الجينية في السيادة المشتركة باستخدام الأحرف المرفوعة كما هو في الشكل لغرض تمييز هذا النوع من الأنماط الوراثية.

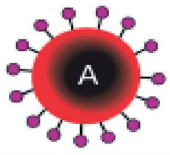
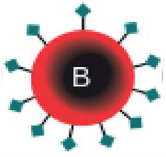
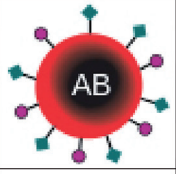
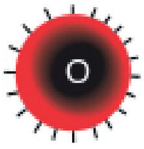
4.2 الأليلات المتعددة Multiple Alleles

يقصد بالأليلات المتعددة أن هنالك كثيراً من الجينات لديها أكثر من شكلين اثنين من الأليلات، ولكن لا يحصل الفرد الواحد منها إلا على أليلين فقط. من الأمثلة على الأليلات المتعددة ما يأتي:

1 نظام الدم ABO في الإنسان

يُعد نظام الدم من الأمثلة على الأليلات المتعددة، وفي هذا النظام توجد ثلاثة أليلات هي I^A وI^B و i حيث تشغل نفس الموقع على الكروموسوم رقم 9 والمسؤولة عن ظهور أربعة طرز شكلية مختلفة بالاعتماد على وجود أي من الأنتيجينين (مولد الضد) A أو B، أو وجودهما معاً، أو عدم و جودهما على أغشية خلايا الدم الحمراء. وهذه الأنتيجينات عبارة عن بروتينات وليبدات سكرية.

أنظر الى الشكل (3) ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:

فصيلة الدم	A	B	AB	O
نوع خلية الدم الحمراء				
نوع الأنتيجين على سطح خلية الدم الحمراء	أنتيجين A	أنتيجين B	أنتيجين A أنتيجين B	لا يوجد
الطراز الجيني	I^AI^A أو I^Ai	I^BI^B أو I^Bi	I^AI^B	ii

الشكل (3): فصائل الدم عند الإنسان

1. ما سبب الاختلاف بين فصائل الدم المختلفة؟
2. ما أنواع السيادة الموجودة، أفسر إجابتي؟
3. أكتب الطرز الجينية والشكلية المحتملة للأبناء، إذا كان كلا الأبوين فصيلة دمهما AB.

أسس نقل الدم من شخص لآخر

لنظام الدم ABO أهمية طبية كبيرة عند نقل الدم من شخص لآخر، وحتى يتم ذلك بنجاح؛ لابد من تحديد فصيلة دم كل من المعطي Donor والشخص المستقبل Recipient، وكما يظهر في جدول (1).

جدول (1): العلاقة بين فصائل الدم في الإنسان

فصيلة الدم	الأنتيجين	الأجسام المضادة في بلازما الدم	يعطي فصيلة دم	يأخذ من فصيلة دم
A	A	Anti-B	A و AB	A و O
B	B	Anti-A	B و AB	B و O
AB	A و B	لا توجد	AB فقط	A و B و AB و O
O	لا توجد	Anti-A و Anti-B	لجميع الفصائل	O فقط

سؤال: أدرس جدول (1) الذي يوضح إمكانية نقل الدم، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:

1. شخص فصيله دمه B ما فصائل الدم التي يمكن أن يأخذ منها أو يعطيها ؟ أفسر إجابتي.
2. أية فصيلة دم تعطي جميع الفصائل الأخرى؟
3. أية فصيلة دم تأخذ من جميع الفصائل؟

إن أهمية التوافق بين دم الشخص المعطي ودم المستقبل هو لمنع حدوث تفاعل التخثر (تفاعل الأجسام المضادة في بلازما دم المستقبل مع الأنتيجينات على سطح خلايا الدم الحمراء للشخص المعطي)، فاجتماع الأنتيجين مع الجسم المضاد له عند الشخص المستقبل يؤدي إلى حدوث تخثر وتجمع لخلايا الدم الحمراء بكميات كبيرة فتؤدي إلى انسداد الأوعية الدموية ومنها الأوعية الدموية المغذية للقلب والدماغ مسببة الوفاة.

2 العامل الرايزيسي Rhesus Factor

اكتشف العالمين لاندشتاينر وفينر Landsteiner and Wiener العامل الرايزيسي سنة 1940خلال دراسة نوع الدم في القرد الرايزيسي Rhesus monkey. و يلاحظ أن معظم البشر لديهم أنتيجينات العامل الرايزيسي؛ لذا يطلق عليهم موجبي العامل الرايزيسي +Rh والباقي لا يوجد لديهم هذا الأنتجين، لذا فهم سالبي العامل الرايزيسي Rh^-.

سؤال: شخص فصيلة دمه A^-، ما فصائل الدم التي يمكن أن يعطيها أو يأخذ منها ؟

نشاط (1): الكشف عن فصائل الدم

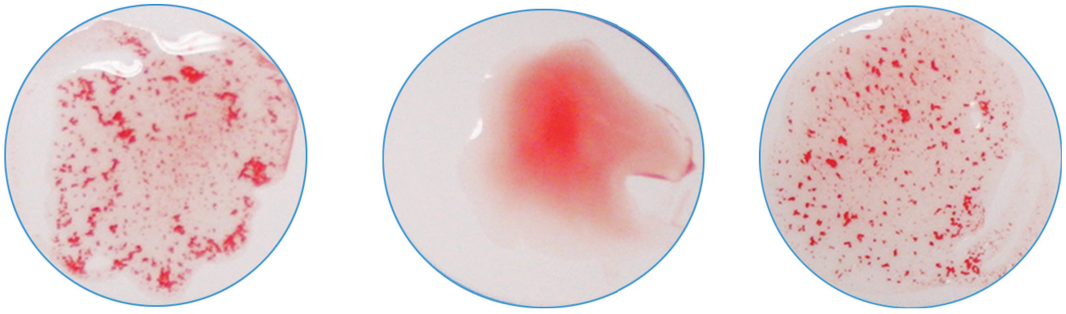
ملاحظة: مراعاة قواعد السلامة العامة.

المواد و الأدوات

شرائح زجاجية نظيفة، ثاقب معقم Lancets ، محاليل لأجسام مضادة؛ Anti-A، و Anti-B و Anti-D كحول 70% ، قطن، عيدان خشبية.

خطوات العمل:

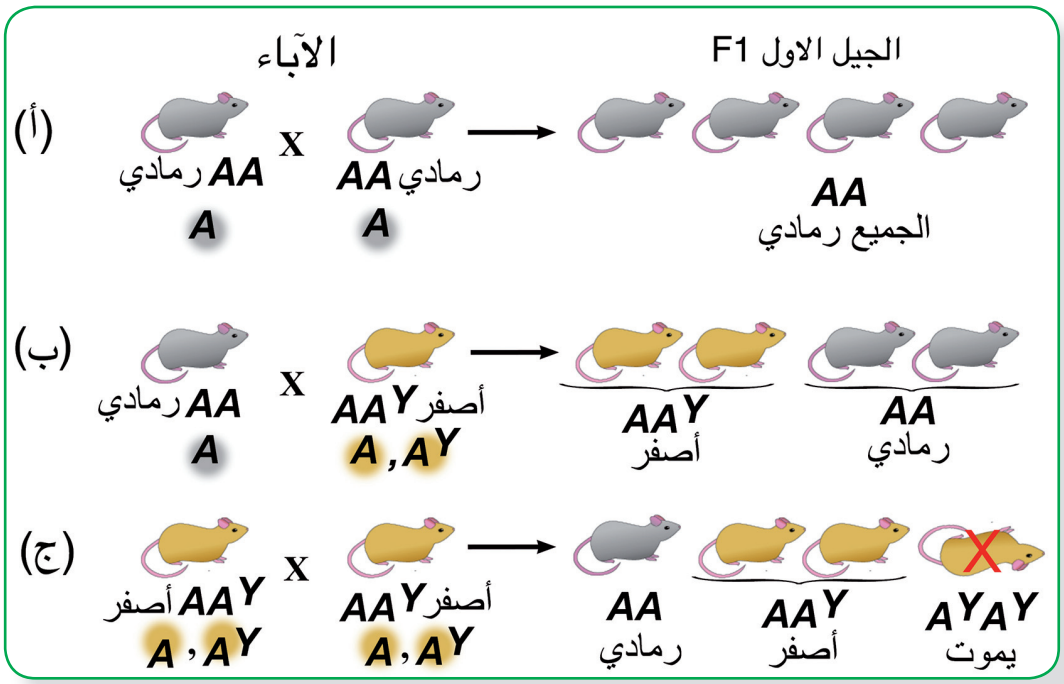
1. أمسح أحد أصابع اليد بالكحول ومن ثم وبلطف أضرب الأصبع بالثاقب المعقم.
2. أمسح القطرة الأولى من الدم بواسطة القطن.
3. أضع ثلاث قطرات من الدم على شريحة زجاجية ، ثم أضيف قطرة واحدة من Anti-A على قطرة الدم الأولى، وقطرة من Anti-B على الثانية، وقطرة من Anti-D إلى الثالثة.
4. أخلط الدم مع المحاليل (الأجسام المضادة) التي أضفتها باستخدام العيدان الخشبية، أتجنب تكرار استخدام العيدان الخشبية. لماذا؟ أقارن نتائجي مع الشكل (4).
5. أقرب جزء من الشريحة الخاص بالكشف عن Rh من مصدر حراري كمصباح كهربائي مثلا لمدة 20-30 ثانية مع تحريك الشريحة بصورة دائرية بلطف.
6. أسجل النتائج التي حصلتُ عليها.



الشكل (4): الكشف عن فصائل الدم

7. ما فصيلة الدم المبينة على الشكل (4).

عند إجراء تزاوج بين فئران رمادية Agouti وفئران صفراء Yellow ظهرت النتائج كما في الشكل (5):



الشكل (5): توارث صفة اللون الرمادي والأصفر في الفئران

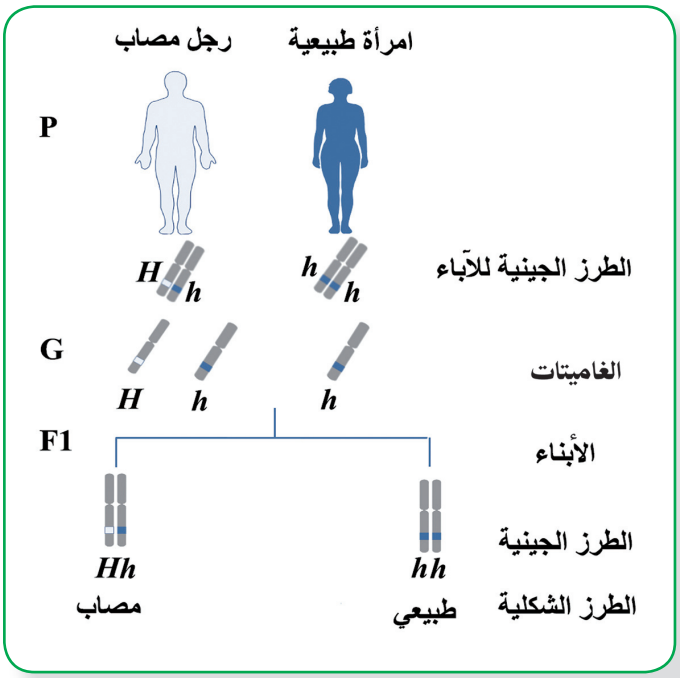
يمكن تفسير نتائج هذه التزاوجات على النحو الآتي:

الفئران الصفراء غير متماثلة الجينات Heterozygous ، وصفة اللون الأصفر سائدة على صفة اللون الرمادي وإن نواتج بعض الجينات مهمة لحياة الكائن، وتعطل الأليلين عن إنتاج هذه المادة الأساسية تؤدي إلى موت الكائن في مراحل النمو المبكرة. الجين A في المثال السابق يشكل الأليل الطبيعي Wild Type والأليل A^Y هو أليل الطفرة. فعند اجتماع الأليلين بصورة غير نقية AA^Y فإن الجين الطبيعي ينتج المادة الأساسية لحياة الفأر، ويكون الفأر الناتج سليماً. اما إذا اجتمع الأليلان الطافران معاً وبصورة نقية (A^YA^Y)، فينتج عن ذلك موت الفأر. لذلك يعد الأليل A^Y أليلاً متنحياً في القتل وسائداً في اللون Recessive Lethal Allele.

بعض الجينات القاتلة سائدة مثل مرض هنتنغتون Huntington Disease الذي ينتج بسبب أليل طفرة سائد Dominant Lethal Allele، ويمكن أن يسبب الوفاة؛ حيث يسبب انحلال وتدمير الخلايا العصبية والجهاز العصبي. تظهر أعراض المرض في مرحلة عمرية متقدمة (40 سنة) و يكون عندها المريض قد قام بنقل الجين القاتل إلى أبنائه. كما في الشكل (6)، الذي يوضح تزاوج امرأة طبيعية من رجل مصاب غير نقي.

يمكن أيضاً ان يكون الطراز الجيني نقياً لمرض هنتنغتون HH، ولكن ذلك نادر الحدوث، ويكون تطور الإصابة لديهم سريعا.

سؤال: تنتج قطط مانكس من خلال أليل (T) سائد، وقاتل (إذا اجتمع الأليلين في الحالة النقية)، و يسبب اختلالاً في تطور جزء من الهيكل المحوري في منطقة الذيل. القطط التي لها ذيل طبيعي يكون طرازها الجيني متنحياً ونقياً، عند حدوث تزاوج بين قطّي مانكس ظهر أفراد الجيل الأول بالنسبة 2 مانكس: 1 قط عادي، أكتب الطرز الجينية والشكلية للآباء والأبناء.



الشكل (6) : توارث الإصابة بمرض هنتنغتون

6. 2 الصفات الوراثية

تصنف الصفات الوراثية إلى نوعين؛ صفات نوعية وكمية:

1 صفات نوعية Qualitative Characters

صفات محددة سهلة التمييز، حيث تكون الاختلافات بين الأفراد غير متدرجة، ويسهل تمييزها وتصنيفها في أقسام منفصلة واضحة حسب الطرز الشكلية للأفراد، ويكون مسؤولاً عنها جين واحد(أليلان).مثال ذلك الصفات المندلية. فالنباتات إما أن تكون طويلة الساق أو قصيرة ، أُرجوانية الأزهار أو بيضاء، أي لا يوجد تدرج في الصفات.

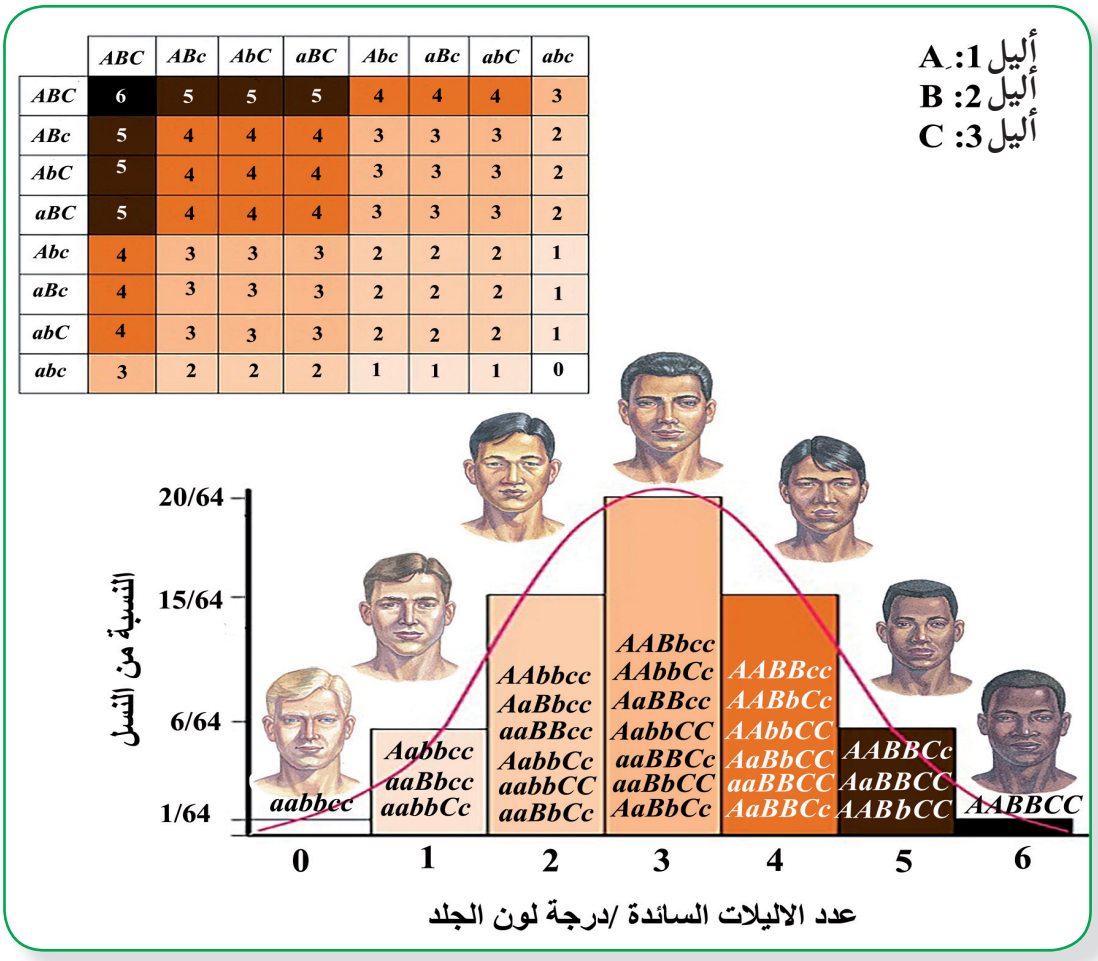
2 صفات كمية: Quantitative characters

صفات متدرجة يصعب تصنيفها إلى فئات حسب الطرز الشكلية، وعادة ما تتحكم بكل صفة عدة جينات **(الجينات المتعددة Polygenes)** التي تختلف في موقعها على الكروموسومات. ولإظهار صفة ما تشترك هذه الجينات معاً بحيث يكون لها تأثير تراكمي، وتظهر الصفة بشكل متدرج كما أن هذه الصفات تتأثر بالبيئة. من أمثلة هذه الصفات في الإنسان: صفة الطول ، ولون الجلد ، ولون الشعر، والوزن.

توجد ثلاثة من الجينات على الأقل تتحكم في إنتاج صبغة الميلانين في جلد الإنسان، وبالتالي تتدرج الطرز الشكلية ابتداء من لون الجلد الفاتح حتى تصل إلى اللون القاتم.

نشاط (2): صفة لون الجلد عند الإنسان

أدرس الشكل (7) وأُجيب عن الأسئلة الآتية:



	ABC	ABc	AbC	aBC	Abc	aBc	abC	abc
ABC	6	5	5	5	4	4	4	3
ABc	5	4	4	4	3	3	3	2
AbC	5	4	4	4	3	3	3	2
aBC	5	4	4	4	3	3	3	2
Abc	4	3	3	3	2	2	2	1
aBc	4	3	3	3	2	2	2	1
abC	4	3	3	3	2	2	2	1
abc	3	2	2	2	1	1	1	0

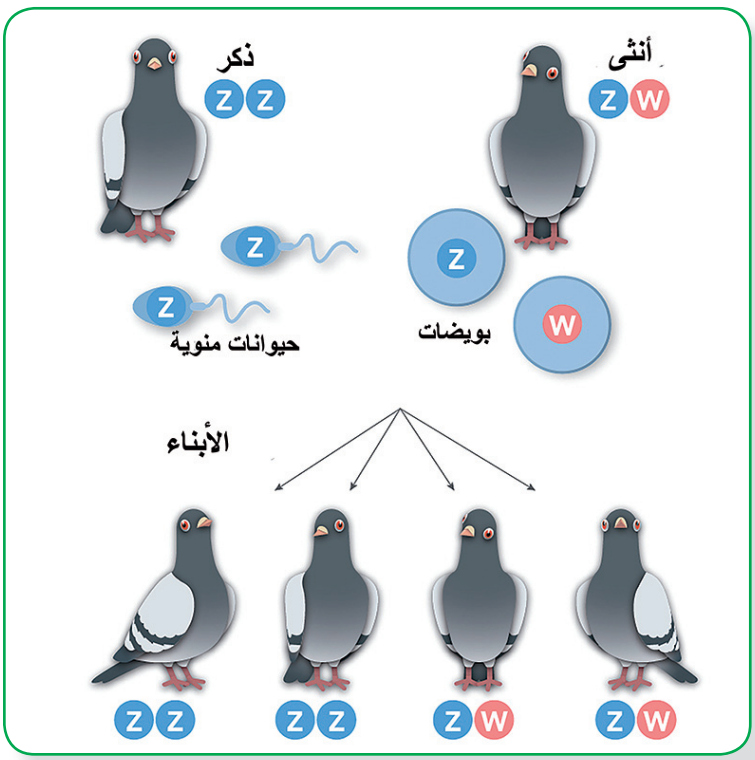
شكل (7): وراثة صفة لون الجلد في الإنسان

1. ما الأساس المعتمد في تصنيف الفئات لصفة لون الجلد؟
2. أكتب الطرز الجينية للون الجلد الفاتح جداً والغامق جداً.
3. أكتب طرازين جينيين يعطيان التأثير نفسه للطراز الجيني AABbCC
4. ما عدد الاليلات السائدة في الفئة الأكثر انتشارا للون الجلد؟
5. أكتب الطرز الجينية لصفة اللون الفاتح.

2. 7 أنظمة تحديد الجنس في الكائنات الحية

مر معنا سابقاً نظام تحديد الجنس في الثدييات ومنها الإنسان (XX-XY)، وأن زوج الكروموسومات الجنسية رقم 23 تحدد الجنس (XX في الأنثى، XY في الذكر) أي أن الذكر هو المسؤول عن تحديد جنس الجنين. أما عند الطيور وبعض أنواع الحشرات كالفراش، وبعض أنواع الأسماك، فإن نظام ZZ-ZW هو الشائع أي أن الأُنثى هي المسؤولة عن تحديد الجنس. كيف أفسر ذلك؟

من خلال دراسة شكل (8) أجيب عن الأسئلة الآتية:



الشكل (8): آلية تحديد الجنس في الطيور

1. أكتب الطراز الكروموسومي الجنسي عند الذكر و الأنثى.
2. أوضح آلية تحديد الجنس عند الطيور.
3. أقارن بين نظام تحديد الجنس في الطيور والإنسان.

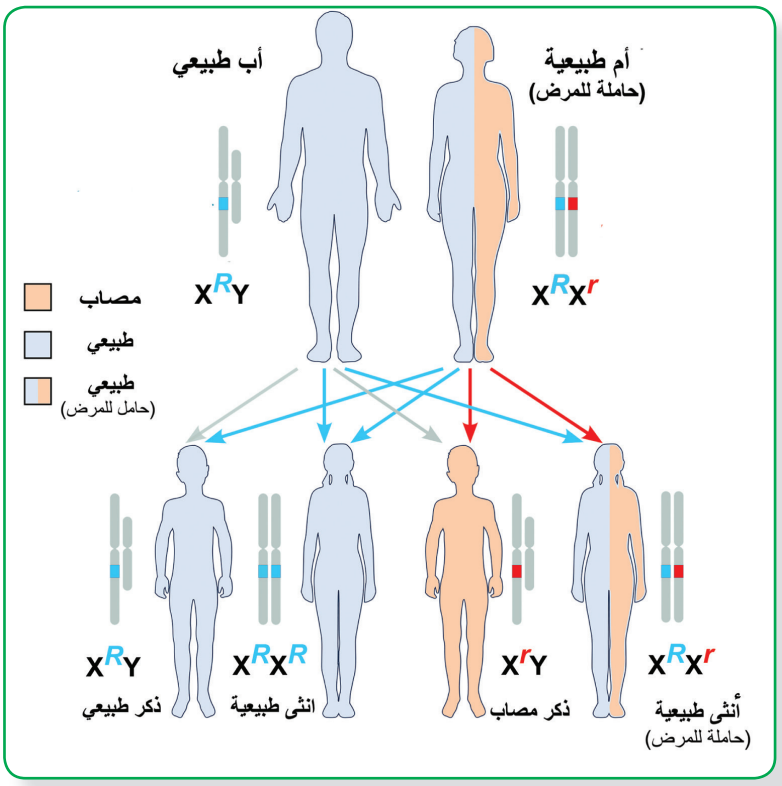
2. 8 الصفات المرتبطة بالجنس Sex-Linked Traits

الارتباط بالجنس يشير إلى الجينات التي تُحمل على الكروموسومات الجنسية، والصفة التي تحددها هذه الجينات تسمى الصفة المرتبطة بالجنس. وقد يؤدي الخلل في هذه الجينات إلى ظهور الأمراض، ومن الأمثلة على هذه الأمراض عند الإنسان: عسر النمو العضلي التدريجي Duchenne Muscular Dystrophy، بالإضافة إلى مرض نزف الدم (الهيموفيليا) وعمى الألوان التي مرت معنا سابقاً.

مرض عسر النمو العضلي التدريجي Duchenne Muscular Dystrophy

مرض وراثي مرتبط بالجنس سببه طفرة متنحية محمولة على الكروموسوم X يؤدي إلى خلل في إنتاج بروتين الديستروفين Dystrophin اللازم لنمو وحماية الألياف العضلية، ويوجد بشكل أساسي في العضلات الهيكلية والقلبية. يعاني المريض من ضعف واعتلال في العضلات؛ ما يؤدي إلى فقدان القدرة التدريجي على الحركه وضعف في العضلات التنفسية و عضلة القلب؛ ما يؤدي إلى موت المرضى عادة قبل سن العشرين.

سؤال: أدرس الشكل (9) الذي يبين توارث مرض عسر النمو العضلي التدريجي في عائلة معينة، ما نسبة وجود ذكر مصاب؟

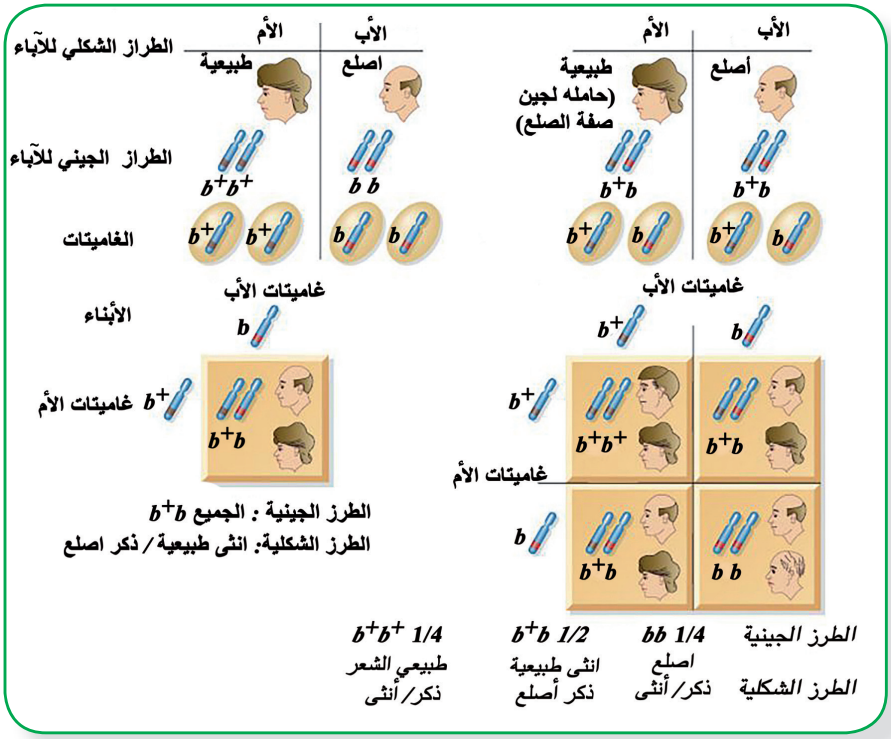


الشكل (9): توارث الإصابة لمرض عسر النمو العضلي التدريجي

قضية للبحث: أبحث حول الأمراض الوراثية التي تؤدي إلى إعاقات في الأبناء ودوري في نشر الوعي للحد من هذه الأمراض.

9. 2 الصفات المتأثرة بالجنس Sex-Influenced Traits

هي الصفات التي تحمل جيناتها على الكروموسومات الجسمية، ولكنها تتأثر بالهرمونات الجنسية، ومن الأمثلة عليها صفة الصلع عند الإنسان. حيث يكون جين الصلع (b) سائداً على جين وجود الشعر الطبيعي (b^+) عند الذكور، أما عند الإناث فيكون جين وجود الشعر الطبيعي سائداً على جين الصلع. ألاحظ الشكل (10) كمثال على توارث هذه الصفة عند الإنسان.



الشكل (10): وراثة صفة الصلع و تأثرها بالجنس

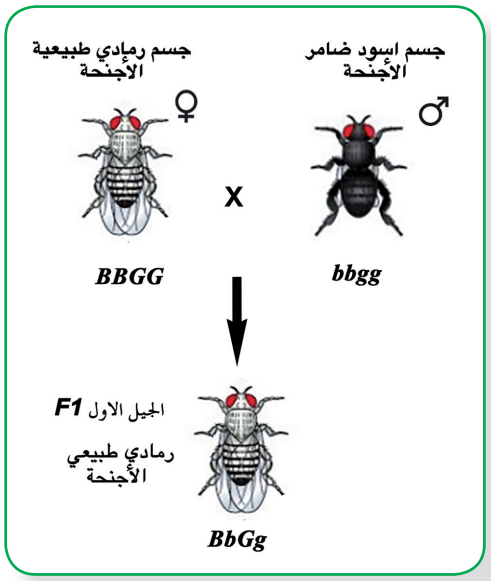
سؤال: في أحد سلالات الماشية تنمو بروزات شبيهة بالقرون في العظم الجبهي، وهي صفة متاثرة بالجنس؛ بحيث يكون جين وجود هذه البروزات عند الذكور سائداً على الجين الطبيعي. عند تزاوج ذكر لديه بروز شبيه بالقرون وأنثى ذات بروز شبيه بالقرون. أكتب الطرز الجينية والشكلية للأفراد الناتجة.

2. 10 الارتباط و العبور Linkage and Crossing Over

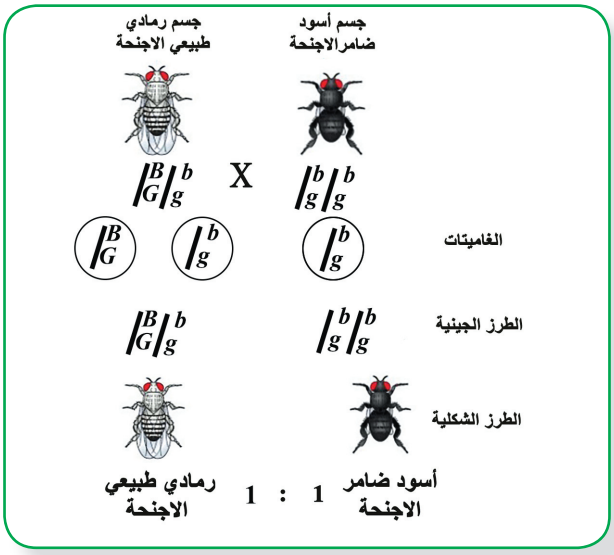
عرفنا مما سبق أن الصفات المندلية تحددها جينات موجودة على الكروموسومات، والتوزيع الحر لهذه الصفات ينبثق عن التوزيع الحر للكروموسومات أثناء الانقسام الاختزالي (المنصف). إلا أن هنالك بعض الصفات التي يمكن أن تقع جيناتها على الكروموسوم نفسه؛ أي أن جينين معينين يكونان مرتبطين.

أجرى العالم مورغان تزاوجاً بين أنثى ذبابة فاكهة *Drosophila melanogaster* تحمل الطراز الطبيعي Wild Type لجسم رمادي اللون وأجنحة طبيعية (يرمز للون الجسم الرمادي بالرمز(B) و للأجنحة الطبيعية بالرمز (G)) مع ذكر ذبابة فاكهة بجسم أسود و أجنحة ضامرة، (يرمز للون الجسم الأسود بالرمز (b) و للأجنحة الضامرة بالرمز (g)) فكان جميع أفراد الجيل الأول ذو جسم رمادي اللون وأجنحة طبيعية (BbGg). ألاحظ الشكل (11).

يمثل الشكل (12) تلقيح تجريبي لأفراد الجيل الأول (رمادي طبيعي الأجنحة مع أسود ضامر الأجنحة)، فظهر أفراد النسل بنسبة 1:1 رمادي اللون طبيعي الأجنحة إلى أسود اللون ضامر الاجنحة، كيف أفسر عدم ظهور نسبة 1:1:1:1 وذلك حسب قانون التوزيع المستقل، ألاحظ الشكل (12).



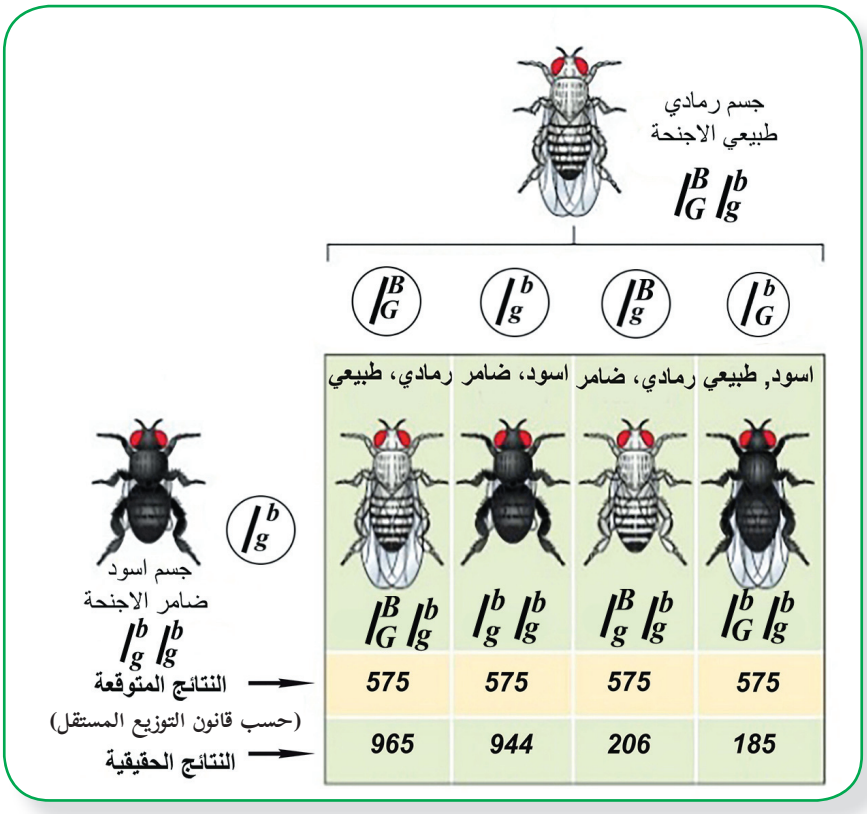
الشكل (11): تجربة مورغان على ذبابة الفاكهة



الشكل (12): نتائج تلقيح تجريبي لأفراد الجيل الأول توضح حالة ارتباط الجينات

نستنتج مما سبق أن الجينات المرتبطة Linked Genes هي تلك الجينات (عددها أكثر من زوج من الجينات) التي تقع على الكروموسوم نفسه، وتكون قريبة بعضها من بعض، ومرتبطة بعضها مع بعض؛ لذا فهي تورث معا كوحدة واحدة.

وفي تجارب أخرى حصل مورغان على تراكيب جينية جديدة. أنظر الشكل (13). أفسر نتائج هذه التجارب.



الشكل (13): التلقيح التجريبي لذبابة الفاكهة من تجربة مورغان

نستنتج مما سبق أن حالة الارتباط هذه يمكن أن تتغير عند تبادل أجزاء بين كروموسومين متماثلين بعملية العبور؛ ما يؤدي إلى إعادة تشكيل أو تركيب الأليلات.

و لحساب نسبة تكرار التراكيب الجينية الجديدة نستخدم القانون الآتي:

$$\text{نسبة تكرار التراكيب الجينية الجديدة} = \frac{\text{عدد أفراد التراكيب الجينية الجديدة}}{\text{عدد الأفراد الكلي}} \times (\%100)$$

سؤال: بالاعتماد على القانون السابق وتجربة مورغان، أحسب ما يلي:

أ- نسبة الأفراد التي تحمل التراكيب الأبوية.

ب- نسبة الأفراد التي تحمل التراكيب الجينية الجديدة.

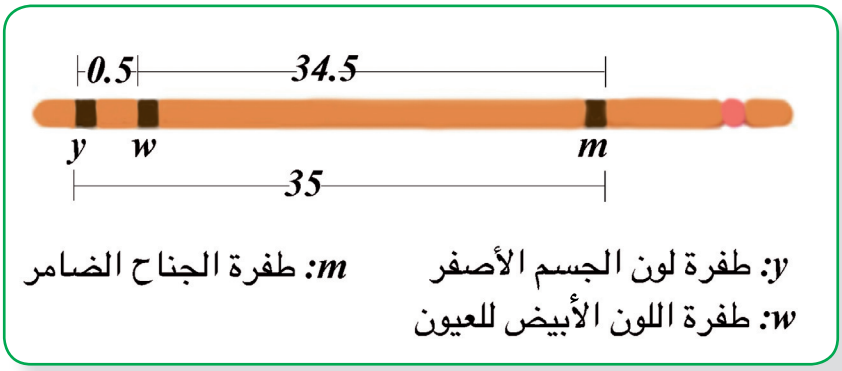
ملاحظة: تمثل الجينات المرتبطة على نفس الكروموسوم برسم خطوط عمودية.

11. 2 الخرائط الجينية Genetic Maps

لقد استفاد عالم الوراثة ألفريد ستورتيفانت Alfred Sturtevant وهو أحد تلامذة العالم مورغان من اكتشاف ارتباط الجينات وعملية العبور في بناء الخرائط الجينية، التي تمثل ترتيباً خطياً افتراضياً لمواقع الجينات على طول كروموسوم معين، وتُمثل هذه المسافات الافتراضية بواسطة أرقام لا تشير إلى المسافات الحقيقية بين الجينات وإنما لمسافات تقديرية اعتماداً على نسبة تكرار التراكيب الجينية الجديدة الناتجة من عملية العبور. الوحدة المستخدمة للتعبير عن المسافات بين جينين في الخريطة الجينية هي السنتيمورغان.

كما يمكن أيضاً حساب نسبة الارتباط بين الجينين باستخدام المعادلة الآتية:

نسبة الارتباط = (100%) - نسبة تكرار التراكيب الجينية الجديدة



الشكل (14):خريطة جينية لكروموسوم رقم 1 في ذبابة الفاكهة

يوضح الشكل (14) خريطة جينية لكروموسوم رقم 1 في ذبابة الفاكهة، المسافة بين الجينين y و w هي 0.5 وحدة خريطة (سنتيمورغان)، والمسافة بين الجينين m و w هي 34.5 سنتيمورغان و المسافة بين الجينين y و m هي 35 سنتيمورغان.

سؤال: تقع الجينات A و B و C وD على الكروموسوم نفسه، فإذا علمت أن:

1. نسبة تكرار التراكيب الجينية الجديدة بين A و B (12%)وبين A و C (17%)
2. ونسبة الارتباط بين C و D (75%) وبين B و D (80%)

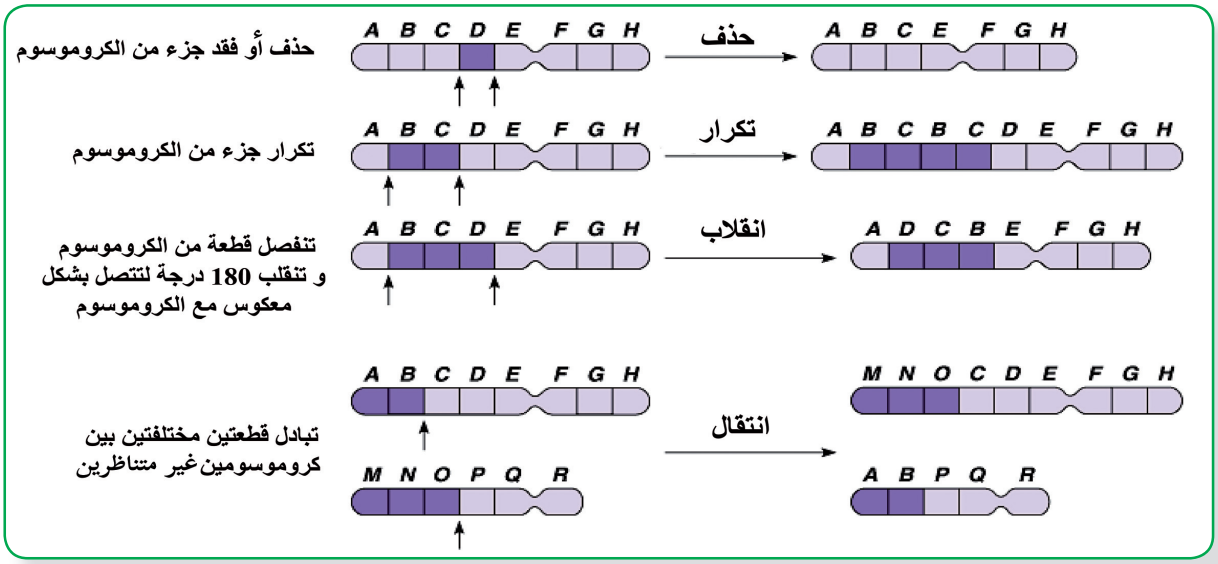
أرسم خارطة جينية تحدد مواقع هذه الجينات (D،C،B،A) و ما المسافة بين الجينين A و D ؟ و ما نسبة العبور بين C و B ؟

في بعض الأحيان تؤدي الطفرات إلى تغيير في تسلسل نيوكليوتيدات لجين معين، بحيث يتم تغير التعليمات الخاصة (الشيفرة الوراثية) لصنع بروتين ما، وبالتالي يكون الناتج إما بروتيناً غير فعال لعدم بناء هذا البروتين بالشكل الصحيح أو عدم تصنيعه، كما تحدث أيضاً تغيرات في تركيب الكروموسومات وعددها، وهذا يؤدي إلى إمكانية حدوث حالة مرضية تسمى الاختلال الوراثي.

الطفرات الكروموسومية: وهي على نوعين:

أولا: تغيير في تركيب الكروموسوم Alteration in Chromosome Structure

أنظر الشكل (15) وألاحظ أنواع التغير في تركيب الكروموسومات.



شكل (15): طفرات التغير في تركيب الكروموسوم

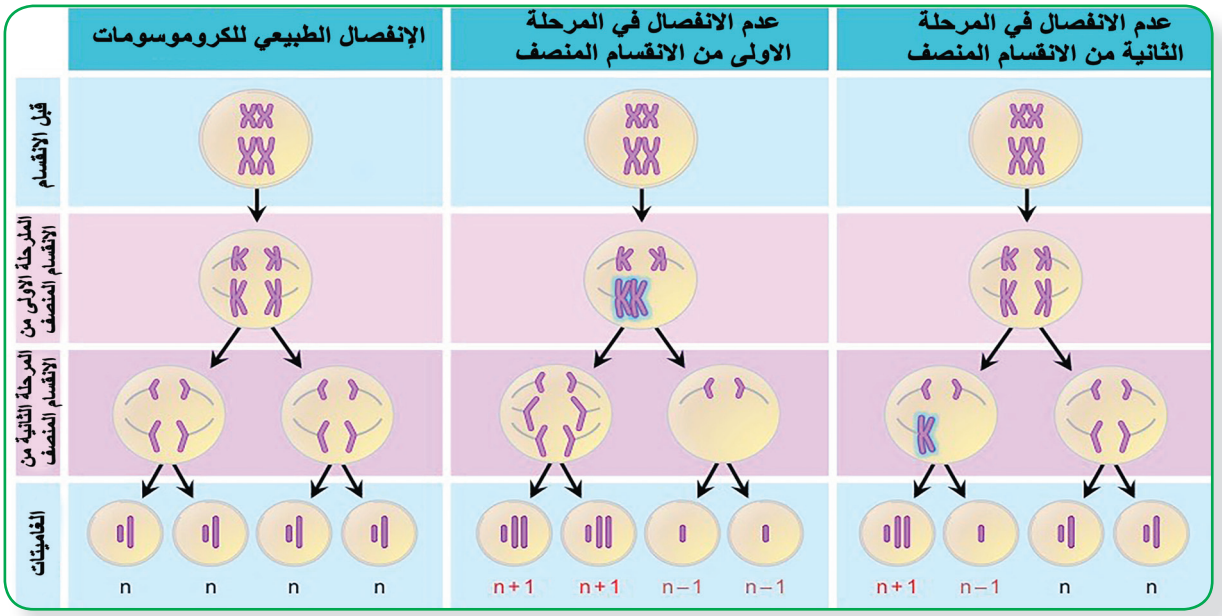
ثانياً: تغيير في عدد الكروموسومات Alteration of Chromosome Number

عندما يكون هناك تغيير في عدد الكروموسومات فإنه سوف يؤدي إلى أنواع مختلفة من الاختلالات الوراثية، وهي على النحو الآتي:

أ- حالات عدم الانفصال Nondisjunction

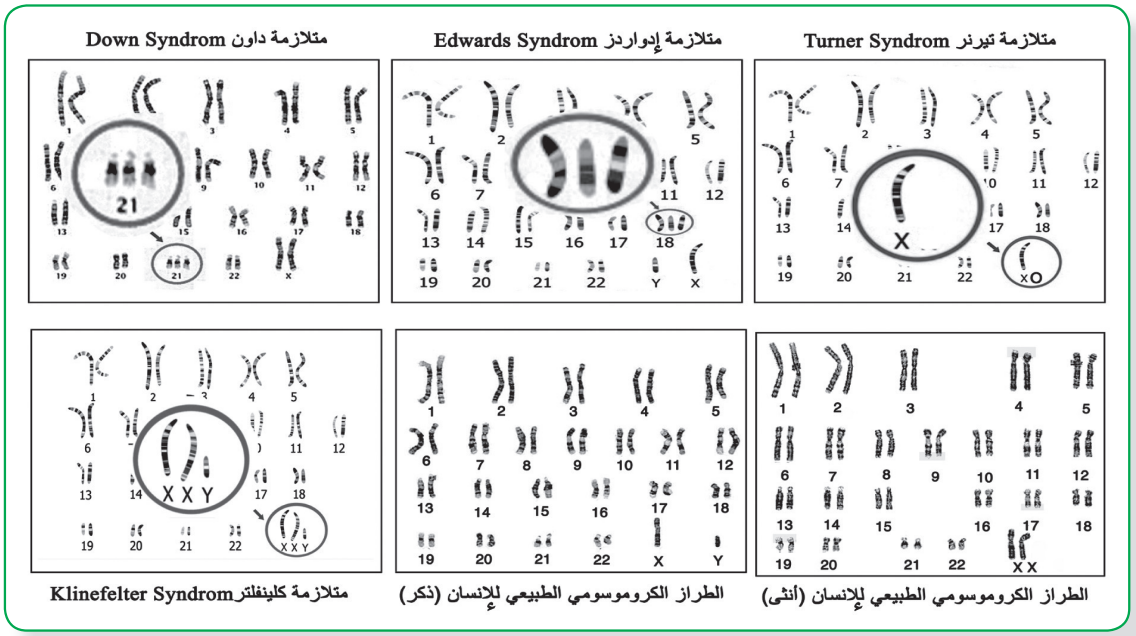
يحدث في بعض الحالات عدم انفصال أحد أزواج الكروموسومات المتناظرة عن بعض أثناء الدور الانفصالي الأول من الانقسام المنصف، أو عدم انفصال الكروماتيدات الشقيقة عن بعض في الطور الانفصالي الثاني، وينتج عن ذلك تكون غاميت يحوي نسختين من الكروموسوم نفسه، وغاميت آخر لا يحتوي على أية نسخة من هذا الكروموسوم، وعند الإخصاب وتكوين البويضة المخصبة (الزايغوت) تظهر الحالات الموضحة في الشكل (16)، وهي:

- احتواء البويضة المخصبة على نسخة واحدة فقط من الكروموسوم (Monosomy)2n-1
- احتواء البويضة المخصبة على النسخة الطبيعية من الكروموسوم (Disomy) 2n
- احتواء البويضة المخصبة على ثلاث نسخ من الكروموسوم نفسه (Trisomy)2n+1



الشكل (16) حالات عدم الانفصال والتَغيُّر في عدد الكروموسومات

هنالك كثير من حالات عدم الانفصال عند الإنسان التي تَتَسبب في ظهور بعض الأمراض الوراثية. الشكل (17) يمثل تشخيص بعض المتلازمات الوراثية باستخدام الطراز الكروموسومي Karyotyping، حيث يتم صبغ الكروموسومات، وتصويرها ومقارنه عددها وحجومها مع عينة طبيعية.



الشكل(17) : الطرز الكروموسومية لبعض الاختلالات الوراثية

سؤال: أدرس الشكل (17)، ثم أجيب عن الأسئلة الآتية:

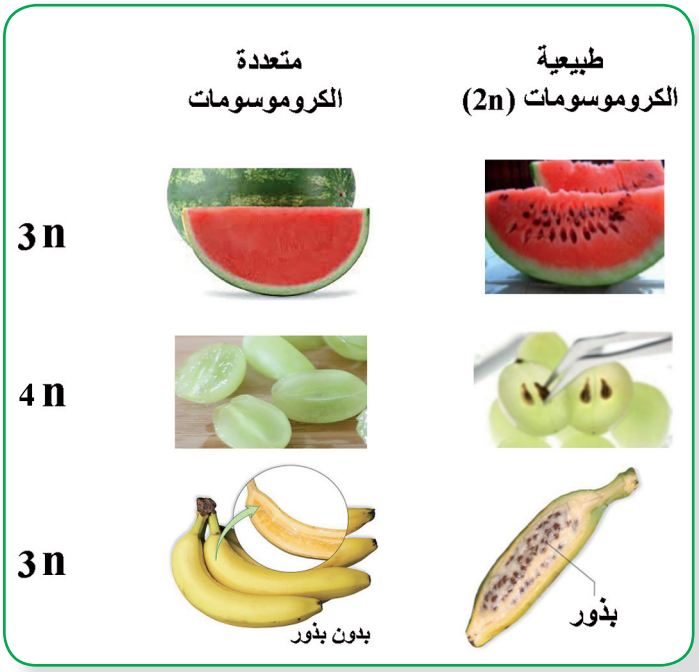
1 أقارن بين عدد الكروموسومات في الطراز الكروموسومي لمتلازمة داون مع الطراز الكروموسومي الطبيعي، وأفسر الاختلاف بينهما.

2 أي من الطرز الكروموسومية يحتوي على 3 كروموسومات جنسية؟

3 بالاعتماد على الطرز الكروموسومية، كيف يمكن تشخيص مريض مصاب بمتلازمة إدواردز، متلازمة تيرنر، و متلازمة كلينفلتر؟

ب- تَعدّد المجموعات الكروموسومية Polyploidy

تحتوي خلايا بعض الكائنات الحية على أكثر من مجموعتين كروموسوميتين: ثلاث مجموعات كروموسومية (3n) أو أربع مجموعات كروموسومية (4n). أحد أسباب ظهور ثلاث مجموعات كروموسومية هو إخصاب بويضة غير طبيعية تحتوي على مجموعتين كروموسوميتين (2n) بغاميت ذكري طبيعي أحادي المجموعة الكروموسومية (n). أما سبب وجود خلايا تحتوي أربع مجموعات كروموسومية (4n) فقد يكون بسبب فشل انقسام البويضة المخصبة بعد أن ضاعفت كروموسوماتها. حالة التعدد الكروموسومي شائعة في المملكة النباتية، ألاحظ الشكل (18) الذي يوضح أمثلة من النباتات التي نأكلها، فمثلا الموز ثلاثي المجموعة الكروموسومية.



الشكل (18): المجموعات الكروموسومية في بعض النباتات

قضية للبحث: أبحث عن حالات تعدد كروموسومي في المملكة الحيوانية.

الطفرات الجينية Gene Mutations

تغير دائم في تسلسل القواعد النيتروجينية، ومن الأمثلة على الاختلالات الوراثية التي لها علاقة بالطفرات الجينية:

1. مرض فنيل كيتونيوريا Phenylketonuria (PKU)

مرض وراثي سببه طفرة جينية متنحية على الكروموسوم رقم 12، تؤدي إلى انعدام إنتاج أنزيم فنيل ألانين هيدروكسيليز Phenylalanine Hydroxylase المسؤول عن تحويل الحمض الأميني فنيل ألانين إلى مركب مهم هو الحمض الأميني تايروسين، الذي يدخل في بناء مادة الميلانين، الصبغة المسؤولة عن لون الجلد و الشعر، كما أن التايروسين مسؤول أيضاً عن بناء هرمونات الإيبنفرين و النورإيبنفرين و هرمون الثايروكسين.

تراكم الفنيل ألانين ونواتجه السامة في الدم وأنسجة الجسم الأخرى وبخاصة الدماغ يسبب تخلفاً عقلياً شديداً وتأخراً في النمو لدى الأطفال إذا لم يتم اكتشاف المرض في مرحلة مبكرة جداً، حيث يجرى الفحص للمواليد الجدد خلال الأسبوع الأول بعد الولادة، وفي حالة الكشف عن المرض يمكن علاجه من خلال وصف حليب خاص للرضع يحتوي على كمية قليلة من الفنيل ألانين. ويعيش الفرد حياة طبيعية طالما التزم بحمية غذائية خاصة، بحيث تحتوي على كميات قليلة جداً من الفنيل ألانين.يوجد حمض الفنيل ألانين في الحليب والأجبان، واللحوم، والأسماك، والبيض، والمكسرات.

2. مرض كرابي Krabbe Disease

مرض وراثي ناتج عن طفرة جينية متنحية على الكروموسوم رقم 14، ويسبب تدمير أغلفة الخلايا العصبية الميلينية، تظهر أعراض المرض قبل بلوغ الطفل ستة أشهر. ومن أعراضه صعوبة التغذية، وحمى، وتأخر في النمو، وتشنجات عضلية، وفقدان السمع والبصر، وفقدان القدرة على البلع. يموت الأطفال في معظم الحالات قبل بلوغ السنة الثانية من العمر.

3. حمى البحر الأبيض المتوسط Familial Mediterranean Fever

مرض وراثي سببه طفرة جينية متنحية على الكروموسوم رقم 16 وتؤدي إلى خلل في إنتاج بروتين معين في بعض الخلايا المناعية المسؤولة عن تنظيم الاستجابة الالتهابية. ومن أعراض المرض حدوث نوبات متكررة من الالتهاب المؤلم مصحوبة بحمى في الصدر و المفاصل والقلب، والغشاء المحيط بالدماغ والحبل الشوكي.

سؤال: ما نسبة ظهور مرض حمى البحر الأبيض المتوسط لأبوين كلاهما يحمل الطراز الجيني غير النقي للمرض؟

أسئلة الفصل

السؤال الأول: أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. ما التأثير الوراثي الناتج من تأثير جينين معاً وينتج حالة وسط في الطراز الشكلي؟

أ- السيادة المشتركة. ب- السيادة غير التامة.

جـ- السيادة التامة. د- تعدد الطراز الكروموسومي.

2. مرض هنتنغتون هو مرض وراثي ينتقل من جيل إلى آخر. إذا كان أحد الوالدين مصاباً (غير نقي) بهذا المرض ما احتمالية الإصابة لأحد الأطفال؟

أ- 100% ب- 75% جـ- 50% د- 25%

3. ما الطراز الجيني المحتمل لآباء أنجبوا طفلاً من المتوقع لاحقا أن يكون مصاباً بمرض هنتنغتون؟

أ- $X^HX^H \times X^hY$ ب- $X^hX^h \times X^HY$ جـ- $Hh \times hh$ د- $HY \times HY$

4. ما الصفات الكمية؟

أ- مجموعة من الطرز الشكلية المحددة بواسطة زوج من الجينات.

ب- الطراز الشكلي الواحد محدد من قبل أليلين.

جـ- الطراز الشكلي الواحد محدد من قبل ثلاثة جينات فأكثر.

د- مجموعة الصفات التي يحملها الفرد.

5. متى يحدث الارتباط بالجنس عند الإنسان؟

أ- وجود أليل على أحد الكروموسومين X وY . ب- تأثر الفرد بالهرمونات الجنسية.

جـ- وجود أليل على كروموسوم جسمي. د- ظهور الطراز الشكلي في الإناث فقط.

السؤال الثاني: أعرف كلاً مما يأتي:

الجينات القاتلة، ارتباط الجينات، العبور.

السؤال الثالث: ما الفرق بين الصفات المرتبطة بالجنس والصفات المتأثرة بالجنس؟

السؤال الرابع: أقارن بين كل من السيادة غير التامة والسيادة المشتركة.

السؤال الخامس: أعلل العبارات الآتية:

أ- شاب وأخته لهما الطراز الجيني نفسه، لكنهما مختلفان في الطراز الشكلي.

ب- نسبة الإصابة بمرض عسر النمو العضلي التدريجي في الذكور أعلى من الإناث.

جـ- صفة لون الجلد في الإنسان صفة كمية.

د- ظهور زهور بيضاء من بين أفراد الجيل الثاني لنبات الساعة الرابعة.

السؤال السادس: يمثل الجدول المجاور المسافات بين أربعة جينات على طول كروموسوم معين بوحدة السنتيمورغان في كائن حي ما:

	A	B	C	D
A	-	6	1	4
B	6	-	7	2
C	1	7	-	5
D	4	2	5	-

أ- ما نسبة تكرار العبور بين الجينين B و D ؟

ب- ما نسبة الارتباط بين الجينين A و C؟

جـ- أرسم خريطة جينية تبين مواقع الجينات الأربعة على طول الكروموسوم؟

السؤال السابع: عند إجراء تلقيح بين نبات أبيض الأزهار وقرونه طويلة مع نبات أرجواني الأزهار وقرونه قصيرة وترك أفراد الجيل الأول للتلقيح الذاتي ظهر أفراد الجيل الثاني بالنسب الآتية:

301 أرجواني، قرون طويلة. 99 أرجواني، قرون قصيرة.

612 أزهار وردية اللون، قرون طويلة. 195 أزهار وردية اللون، قرون قصيرة.

295 أزهار بيضاء، قرون طويلة. 98 أزهار بيضاء، قرون قصيرة.

أكتب الطرز الجينية لكل من الآباء وأفراد الجيلين الأول والثاني. ما نوع الوراثة لكل من الصفتين؟

السؤال الثامن: تزوج رجل أصلع ومصاب بنزف الدم، والده ذو شعر طبيعي، من فتاة غير صلعاء وغير مصابة مظهرياً بنزف الدم، فأنجبا طفلة تحمل جيني صفة الصلع ومصابه بنزف الدم، فإذا رمزنا لجين الإصابة بنزف الدم (r) أجب عما يأتي:

أ- أكتب الطراز الجيني (للصفتين معاً) لكلٍ من: 1- الرجل. 2- الفتاة.

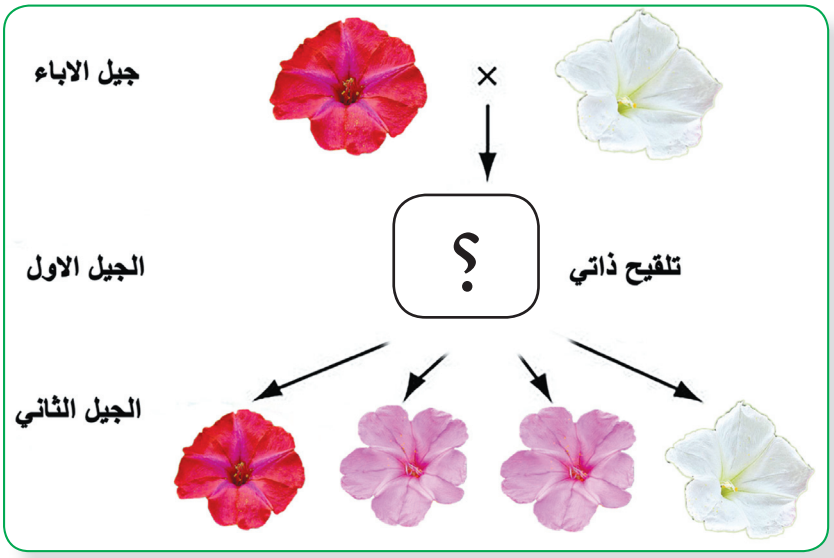
ب- ما نمط الوراثة لهذه الصفات؟

جـ- ما احتمالية إنجاب 1- ولد أصلع من بين الذكور.

2- بنت صلعاء مصابة بنزف الدم من بين النسل الناتج.

السؤال التاسع: امرأة طبيعية الرؤية فصيلة دمها A، والدها مصاب بعمى الألوان و فصيلة دمه B. تزوجت من رجل طبيعي الرؤية فصيلة دمه B، وفصيلة دم والدته O. أكتب الطرز الجينية والشكلية لكل من الآباء و الأبناء.

السؤال العاشر: أدرس نمط التوارث في الشكل المجاور، ثم أجيب عن الأسئلة الآتية:



1) أكتب الطرز الجينية والشكلية للجيلين الأول والثاني، ونسبة كل منهما.

2) ما آلية توارث هذه الصفة؟

السؤال الحادي عشر: وجد مربي طيور أن ربع البيض الناتج في مزرعته لا يفقس، وأن ثلثي الناتج ذكور. أفسر هذه النتائج على أسس وراثية.

السؤال الثاني عشر: لون الجلد في الخيول يمكن أن يكون كما يأتي:

- الكريمي: لون مائل إلى الذهبي. - البالمينو: لون ذهبي. - الكستنائي: لون مائل إلى البني.

الجدول الآتي يمثل نتائج تزاوج خيول بألوان جلد مختلفة.

التزاوج	الآباء	النسل الناتج
1	كريمي × كريمي	الجميع كريمي
2	كستنائي × كستنائي	الجميع كستنائي
3	كريمي ×كستنائي	الجميع بالمينو
4	بالمينو × بالمينو	¼ كستنائي - ½ بالمينو - ¼ كريمي

بالاعتماد على النتائج أعلاه، أستنتج نمط توارث لون الجلد عند هذا النوع من الخيول، وأحدد الطرز الجينية لألوان الخيول المختلفة، وأمثل التزاوج رقم 4 وراثيا.

السؤال الثالث عشر: مرض التفول أو أنيميا الفول، مرض منتشر في المجتمع الفلسطيني، وينتج عن نقص انزيم نازع هيدروجين الغلوكوز- 6- فوسفات (G6PD Deficiency) في خلايا الدم الحمراء. يورث هذا المرض كجين متنحٍ على الكروموسوم الجنسي X . تزوجت امرأة طبيعية (أبوها مصاب بالتفول) مع رجل طبيعي. أجيب عن الأسئلة الآتية:

1. ما نسبة الأبناء المتوقع إصابتهم بالتفول؟
2. إذا كان الزوج مصاباً بالتفول، هل تختلف النسبة في الإجابة الأولى؟

السؤال الرابع عشر: تم إجراء التلقيح الاختباري التالي: (aabb X AaBb)، وكانت النتائج على النحو الآتي:

أفراد يحملون صفات الأبوين: 450 aabb / 450 AaBb

أفراد بتراكيب جينية جديدة: 50 aaBb / 50 Aabb

- أجد نسبة تكرار التراكيب الجينية الجديدة للجينين (a-b)
- أجد المسافة بين a و b

السؤال الخامس عشر: أتخيَّل أن أحد والدي كان يعاني من مرض هنتنغتون، ما احتمال أن يظهر لدي في يومٍ من الأيام المرض؟ هل أوافق على إجراء فحص وجود أليل المرض أم لا؟ أُفسّر إجابتي.

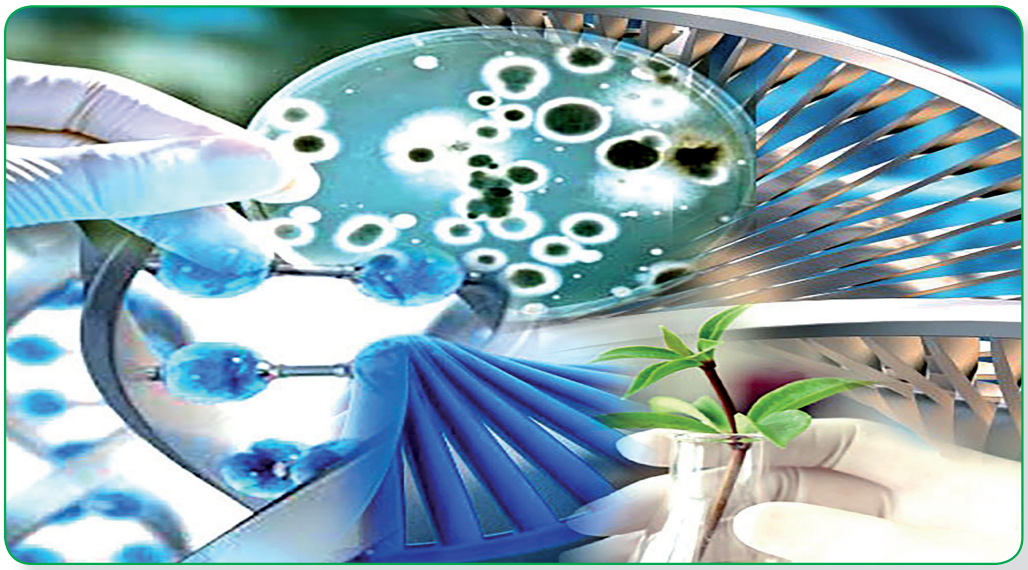
الفصل الثالث 3

تطبيقات في علم الوراثة Applications in Genetics

شملت تطبيقات علم الوراثة والتقانة الحيوية مجالات أساسية مختلفة في حياة الإنسان، كاستخدام الهندسة الوراثية في الأبحاث الخاصة في علاج الأمراض الوراثية، واستخدام الكائنات الحية الدقيقة لتصنيع الأدوية، وأيضاً تطوير الإنتاج الحيواني والنباتي والزراعي وتحسينه.

فما المقصود بالهندسة الوراثية؟ وما أهم التطبيقات المستخدمة ومحاذير استخدامها؟ هذه الأسئلة وغيرها سأتمكن من الإجابة عليها، بعد دراسة هذا الفصل، وسأكون قادراً على:

1. التعرف إلى مفهوم الهندسة الوراثية.
2. تعداد بعض تقنيات الهندسة الوراثية.
3. تصنيف تطبيقات الهندسة الوراثية.
4. تذكّر الضوابط الأخلاقية الواجب مراعاتها عند استخدام تطبيقات الهندسة الوراثية في المجالات المختلفة.



1.3 الهندسة الوراثية

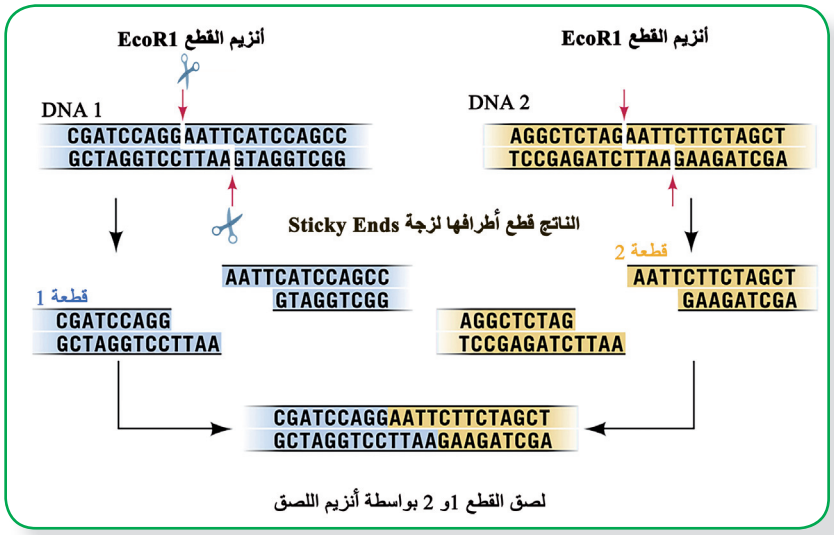
وتعني التغيير المباشر لجينوم الكائن الحي باستخدام تطبيقات مختلفة في الوراثة والأحياء الجزيئية، هنالك العديد من التطبيقات المستخدمة لوصف الهندسة الوراثية كالتعديل الوراثي، DNA معاد التركيب Recombinant DNA Technology، واستنساخ الجينات (الاستنساخ الجزيئي). وتبرز أهمية هذه التقانات في نقل الجينات لإنتاج كائنات محسنة أو جديدة ذات أهمية طبية أو اقتصادية .فقد تمكن العلماء من الحصول على سلالات بكتيرية تعمل على إنتاج مواد لها تأثير طبي كهرمون الأنسولين ومحاصيل زراعية تقاوم ملوحة التربة والآفات الزراعية.

2 .3 الوسائل والأدوات المستخدمة في الهندسة الوراثية

لقد تطور علم الهندسة الوراثية بسرعة فائقة، وأصبح يستخدم في الكثير من المجالات، بما في ذلك الطب العدلي Forensic Medicine ، حيث يتم الكشف عن مرتكبي الجرائم. بالإضافة إلى تحديد الأبوة، والتشخيص الطبي، والعديد من التطبيقات في الصناعة. تستخدم الهندسة الوراثية كثيراً من الوسائل والأدوات، ومن أهمها:

1 **أنزيمات القطع Restriction Enzymes:** لقد تم استخلاص المئات من أنزيمات قطع DNA المختلفة من البكتيريا، وسمي كل منها نسبة إلى البكتيريا التي تم استخلاصه منها، فمثلا أنزيم *EcoR1* مستخلص من بكتيريا *E. coli*.

وهي عبارة عن أنزيمات متخصصة في قطع DNA عن طريق التعرف على تتابع معين من النيوكليوتيدات لتقوم بالقطع في هذا التتابع او بالقرب منه. فمثلا أنزيم القطع *EcoR1* يتعرف على التتابع GAATTC في DNA ومن ثم يقوم بقطع سلسلتي DNA بين نيوكليوتيدات A وG مكوناً نهايات لزجة. كما يوضح الشكل (1).



الشكل (1): توضيح لآلية عمل أحد أنزيمات القطع *EcoR1*

هذه النهايات اللزجة يتم لصقها مع قطعة من مصادر أخرى قُطعت بنفس الأنزيم.

2 أنزيم اللصق DNA Ligase: يُستخدم لربط نهايات DNA التي تم قطعها من قبل أنزيم القطع.

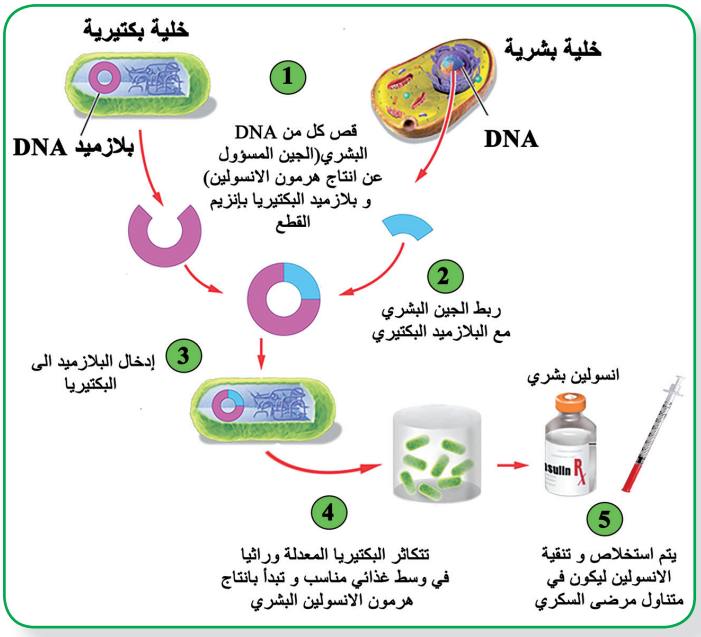
3 النواقل Vectors: مثل البلازميدات والفيروسات التي تستخدم لنقل DNA الذي تم قطعه من الجينوم وتكثيره في الخلية المستقبلة (خلايا بكتيرية، نباتية، حيوانية) لإنتاج المواد المطلوبة.

تعدّ البلازميدات من أكثر أنواع النواقل شيوعا في الهندسة الوراثية؛ وذلك لحجمها المناسب، وتنوعها، وسهولة الحصول عليها والتعامل معها، وتضاعفها المستقل عن الكروموسوم البكتيري بالإضافة لاحتوائها على مواقع مختلفة لأنزيمات القطع. ولكن اختيار الناقل يعتمد بالدرجة الأولى على طبيعة وحجم قطع DNA المراد نقلها.

سؤال: لماذا يتم قطع سلسلتي DNA وليس سلسله واحدة من قبل أنزيمات القطع؟

3. 3 تقنية DNA معاد التركيب Recombinant DNA Technology

أدرس الشكل (2) الذي يبين مراحل إنتاج مواد ذات أهمية طبية باستخدام تقانة DNA معاد التركيب ثم أجيب عن الأسئلة:



الشكل (2): تقانة DNA معاد التركيب لإنتاج مواد ذات أهمية طبية مثل الإنسولين

1 كيف أفسر اختيار البلازميد لحمل هذا الجين؟

2 أتتبع الخطوات الرئيسة لإنتاج هرمون الأنسولين.

3 أستنتج تعريف تقانة DNA معاد التركيب.

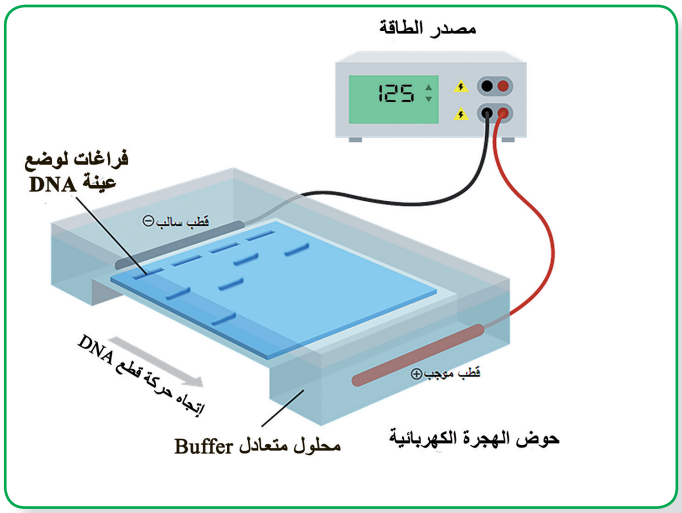
بروتينات تم الحصول عليها بتقنية DNA معاد التركيب

أول بروتين تم إنتاجه بتقنية DNA معاد التركيب هو هرمون الإنسولين، وتم اعتماده وطرحه للاستخدام في العام 1982، حيث كان مرضى السكري من النوع الأول Diabetes Type 1 يحصلون على هذا الهرمون من الأبقار والخنازير وبكميات محدودة وبتكلفة عالية.

كما تم إنتاج هرمون النمو Growth Hormone لعلاج الأطفال المصابين بقصر القامة الناجم عن خلل في الغدة النخامية، بالإضافة إلى إنتاج عوامل التخثر Clotting Factors اللازمة لعلاج مرضى نزف الدم الوراثي.

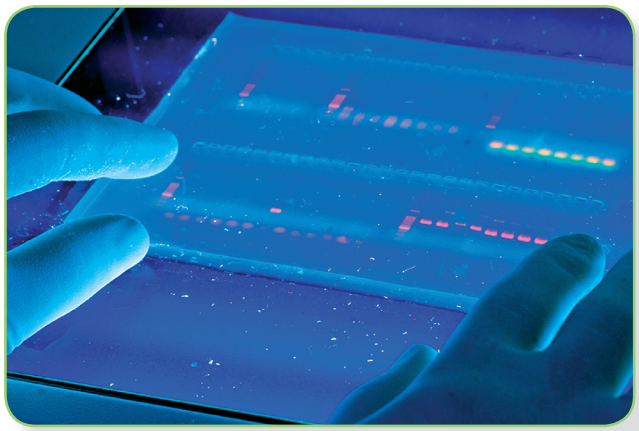
4. 3 الهجرة الكهربائية والبصمة الوراثية Electrophoresis and DNA Fingerprinting

تُستخدم الهجرة الكهربائية لفصل قطع DNA خلال مرورها في مجال كهربائي بالاعتماد على حجومها؛ وذلك بهدف دراستها والتعرف عليها، ويُستخدم لهذه الطريقة جهاز يحتوي على طبقة من جل مسامي من مادة الأغاروز Agarose (مادة كربوهيدراتية تستخرج من الأعشاب البحرية) حيث يتم توصيل الجهاز بمصدر للطاقة الكهربائية كما هو مبين في الشكل (3).



الشكل (3): جهاز الهجرة الكهربائية Electrophoresis

تتحرك (تهاجر) قطع DNA السالبة الشحنة (بسبب مجموعة الفوسفات) باتجاه القطب الموجب بتأثير المجال الكهربائي، وكلما كانت قطعة DNA أصغر حجماً كلما كانت أسرع في الحركة باتجاه القطب الموجب للجهاز، وبعد انفصال القطع يتم استخدام صبغة بروميد الإيثيديوم Ethidium Bromide التي ترتبط مع قطع DNA، وتتألق عند تعرضها لطاقة الأشعة فوق البنفسجية لنتمكن من مشاهدة قطع DNA مفصولة كما في شكل (4).



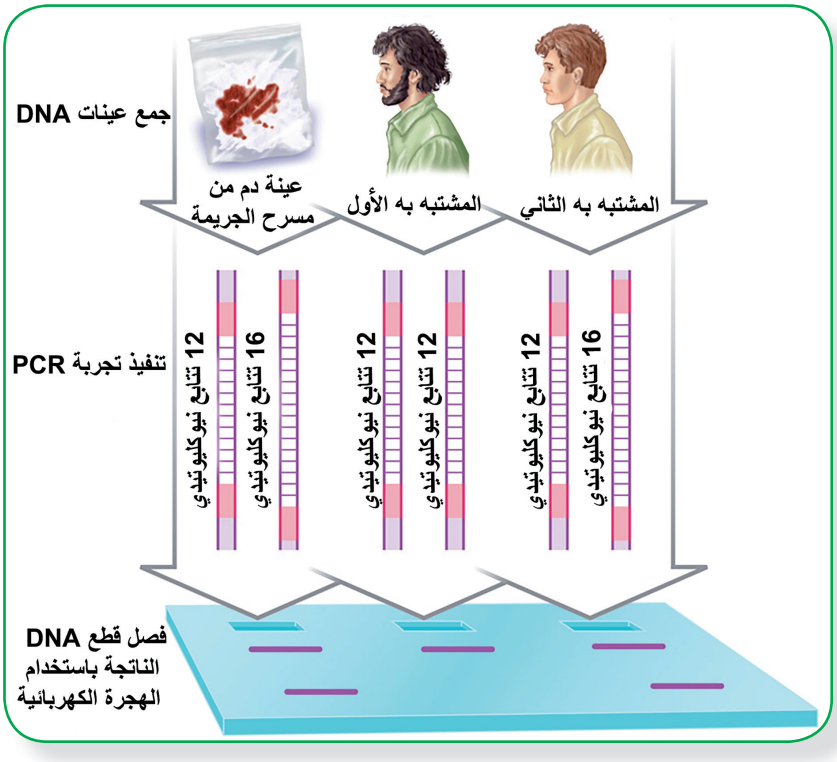
شكل (4):عملية فصل قطع DNA بالاعتماد على حجم القطعة بواسطة الهجرة الكهربائية

5. 3 بصمة (DNA) DNA Fingerprinting

يحتوي الجينوم البشري على تتابع من نيوكليوتيدات مميِّزة للفرد الواحد، وتختلف من شخص لآخر، بعض هذه العلامات المميِّزة كتتابع الأنماط القصيرة Short Tandem Repeats (STRs)، التي قد تتكرر بشكل محدود، من الأمثلة على هذه العلامات المميزة تتابع ACAT، الذي يتكرر في جينوم شخص ما 30 مرة في موقع معين، في حين قد يتكرر في شخص آخر 18 مرة في نفس الموقع، حيث يسمى هذا التكرار المميز بالبصمة الوراثية. أنظر الشكل (5).

يتم في الوقت الحاضر الاستفادة من البصمة الوراثية في عمليات البحث الجنائي، وذلك بمقارنة مادة DNA المأخوذة من موقع الجريمة مع DNA الخاص بالمشتبه بهم لتحديد هوية الجاني، كما أن هذه العملية مهمة أيضاً في إثبات الأبوة أو نفيها، كما تستخدم في تحديد هوية ضحايا الكوارث كالحرائق وحوادث الطيران والحروب وغيرها. و يمكن الحصول على العينات من خلايا الدم البيضاء، والحيوانات المنوية، واللعاب، والشعر، والجلد، وبقايا الجثث.

سؤال: تم جمع عينات دم كدلائل من مسرح جريمة ما، مستعينا بالشكل (5)، أحدد أي المشتبه بهم هو الجاني؟ أفسر إجابتي.



الشكل (5): أحد تطبيقات البصمة الوراثية لتحديد هوية مرتكبي الجرائم

6. 3 تطبيقات في الهندسة الوراثية Applications of Genetic Engineering

للهندسة الوراثية تطبيقات في مختلف المجالات كالطب والبحوث والصناعة والزراعة، ويمكن استخدامها على مجموعة واسعة من النباتات والحيوانات والكائنات الحية الدقيقة. ومن هذه التطبيقات ما يأتي:

أولاً: مجال الطب وإنتاج العقاقير الطبية

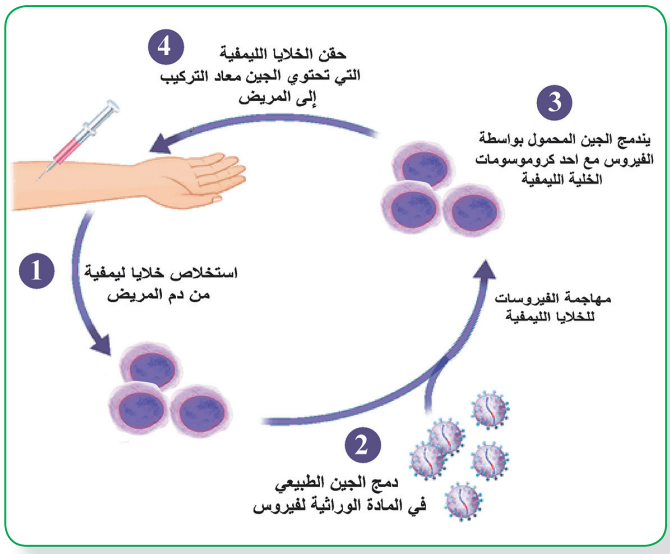
علاج مرض انتفاخ الرئة الوراثي Genetic Emphysema الناتج عن نقص بروتين ألفا -1- أنتيتربسين Alpha -1- antitrypsin من خلال إنتاج أغنام معدلة وراثياً قادرة على إنتاج حليب يحوي هذا الأنزيم.

كما قام العلماء بتطوير نباتات أرز معدلة وراثياً لتعطي حبوب أرز ذهبية اللون، تحتوي على صبغة بيتا كاروتين، الذي تحتاجه أجسامنا لإنتاج فيتامين A، واستخدم هذا الأرز على نطاق واسع للوقاية من حالات العشى الليلي التي تصيب الأطفال في الدول التي يعتمد غذاؤها بصورة رئيسية على الأرز. أنظر الشكل (6).

الشكل (6): الأرز الذهبي المعدل وراثيا (1 و 2) بالمقارنة مع الأرز الطبيعي

ثانياً: العلاج الجيني Gene Therapy

العلاج الجيني هو تقانة تجريبية تَستخدم الجينات لعلاج أو منع الإصابة ببعض الأمراض لاسيما الوراثية منها. في المستقبل، قد تسمح هذه التقانة للأطباء علاج الأمراض الوراثية عن طريق إدخال جين فعال في خلايا المريض ويكون قادراً على تشفير البروتين أو الأنزيم المفقود كبديل من استخدام الأدوية أو الجراحة، أنظر الشكل (7).



الشكل (7): مخطط لإحدى التقنيات المستخدمة في العلاج الجيني

قضية للبحث: أبحث عن إمكانية الكشف عن بعض الأمراض الوراثية أثناء الحمل؟

تمكن العلماء باستخدام العلاج الجيني من علاج الطفرة التي تؤدي إلى نقص أنزيم أدينوسين دي-أمينيز Adenosine Deaminase (ADA) المهم في تفاعلات الهدم الخاصة بالقواعد النيتروجينية من نوع بيورين. نقص هذا الأنزيم يؤدي إلى تراكم البيورينات في الجسم، ويشكل أحد مسببات مرض نقص المناعة المشترك الشديد (سكيد Severe Combined Immunodeficiency (SCID الذي يتميز بضعف الاستجابات المناعية، والالتهابات المتكررة، كما أن نقص هذا الأنزيم يسبب اختلالاً في عمل الكبد والجهاز العصبي.

ثالثاً: مجال الإنتاج الزراعي والحيواني

إنتاج نباتات معدلة وراثياً تمتاز بقدرتها على مقاومة الآفات الزراعية، حيث تم عزل جين من بكتيريا *Bacillus thuringiensis* ينتج سماً قاتلاً، ويتم إدخال هذا الجين إلى نباتات مثل الذرة وفول الصويا، فتصبح مقاومة للآفات الحشرية، وبعض النباتات تتحمل ملوحة التربة لاحتوائها على بروتين خاص بنقل أيونات الصوديوم Na^+ من السيتوبلازم إلى داخل الفجوات الخلوية دون أن يلحق الضرر بنمو النبات، ومن الأمثلة على نباتات معدلة وراثيا لمقاومة الملوحة؛ القمح والأرز والبندورة. كما تم إنتاج نباتات تتحمل الجفاف والصقيع، وبالنسبة للحيوانات تم الحصول على حيوانات معدلة وراثيا كالأغنام والأبقار لإنتاج كميات وافرة من الحليب أو اللحوم، بالإضافة لإنتاج حيوانات لديها القدرة على مقاومة مسببات الأمراض.

رابعاً: الهندسة الوراثية والبيئة

قام العلماء باستخدام تقنيات الهندسة الوراثية بإنتاج سلالات بكتيريا تعمل على تحليل بقع النفط المتسربة من ناقلات النفط العملاقة، حيث تقوم بالتغذي على هذه البقع، وبالتالي تعمل على مكافحة التلوث.

7.3 ضوابط استخدام الهندسة الوراثية وأخلاقياتها

انتشرت زراعة المحاصيل المعدلة وراثيا حول العالم، وتمتاز هذه المحاصيل بإنتاجيتها العالية، وبالتالي توفرها في الأسواق بأسعار مناسبة، كما أن النباتات المعدلة وراثياً تقاوم الآفات الحشرية وتقلل إمكانية استخدام المبيدات الحشرية. لكن من جهة أخرى هناك قلق من أن تقضي النباتات المعدلة وراثيا المقاومة للآفات الحشرية على الحشرات النافعة بالإضافة لتلك الضارة.

سؤال: أوضح حق المستهلك بوجود عبارة GMO (Genetically Modified Organism) على المنتجات المعدلة وراثياً.

أسئلة الفصل

السؤال الأول: أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1) أي العبارات الآتية **لا تنطبق** على تعريف البلازميد؟

أ- يحمل جينات إضافية ب- يوجد في الخلايا الحيوانية

جـ- يوجد في الخلايا البكتيرية د- DNA حلقي

2) ماذا يسمى الكائن الذي يتم إدخال جين غريب إلى الجينوم الخاص به؟

أ- معدل وراثياً ب- مستنسخاً جـ- ناقلاً د- طافراً

3) لأي الأغراض يتم إنتاج الأرز المعدل وراثياً؟

أ- مقاومة الآفات ب- علاج نقص فيتامين A

جـ- إنتاج هرمون الأنسولين د- علاج مرض سكيد

4) أي الأدوات الآتية تستخدم في تقانة DNA معاد التركيب؟

أ- أنزيمات القطع ب- أنزيم اللصق جـ- النواقل د- جميع ما ذُكر صحيح

5) أي الطرق الآتية تستخدم لفصل قطع DNA بهدف دراستها؟

أ- العلاج الجيني ب- أنزيم اللصق جـ- الهجرة الكهربائية د- جهاز الطرد المركزي

السؤال الثاني: أعرِّف كلاً مما يأتي:

أنزيمات القطع، الكائنات المعدلة وراثياً، الهجرة الكهربائية، بصمة DNA

السؤال الثالث: أعلل كلاً مما يأتي:

1) تتحرك قطع DNA باتجاه القطب الموجب أثناء الهجرة الكهربائية.

2) تعتبر أنزيمات القطع من أهم أدوات إنتاج DNA معدل وراثياً.

3) البلازميدات واحدة من أهم أدوات الهندسة الوراثية.

أسئلة الوحدة

السؤال الأول: أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1) أي الغاميتات الآتية متوقع أن يعطيها الفرد ذو الطراز الجيني TtRRGgaa؟

أ- TtGg ب- TRga جـ- tRaa د- Trga

2) طفل فصيلة دمه O **لا يمكن** أن يكون ابناً لرجل فصيلة دمه؟

أ- AB ب- A جـ- B د- O

3) في خريطة الجينات الآتية، ما نسبة ارتباط الجينين f و h ؟

أ- 90% ب- 80% جـ- 20% د- 10%

4) عند تزاوج ذكر ذبابة فاكهة مع أنثى كلاهما رمادي اللون طبيعي الأجنحة غير متماثلي الجينات TtGg ، وعلى فرض عدم حدوث عملية عبور، ما نسبة أفراد الجيل الأول؟

أ- 1:3:3:9 ب- 1:3 جـ- 83%:17% د- 60%: 40%

5) أي من الطرز الجينية التالية يعطي التأثير نفسه للطراز الجيني للون الجلد aaBbCc ؟

أ- aabbCc ب- aaBBCc جـ- AAbbcc د- AAbbCC

6) على أي متلازمة يدل الطراز الكروموسومي XXY؟

أ- داون ب- تيرنر جـ- إدواردز د-كلينفلتر

7) إلى ماذا تشير النسبة 1: 2 : 1 في النسل الناتج ؟

أ- الجينات القاتلة ب- السيادة التامة جـ- السيادة غير التامة د- ارتباط الجينات

8) مم تنتج حالة التعدد الكروموسومي الرباعية (4n)؟

أ- عدم انقسام سيتوبلازم الزايغوت إلى خليتين في الطور النهائي للانقسام المنصف.

ب- عدم انقسام الزايغوت إلى خليتين في الطور النهائي للانقسام المتساوي.

جـ- عدم انفصال جميع الكروموسومات أثناء الانقسام المنصف.

د- عدم انفصال جميع الكروموسومات أثناء الانقسام المتساوي.

السؤال الثاني: كيف يتكون غاميت يحوي نسختين من الكروموسوم نفسه، وغاميت آخر لا يحوي أي نسخة من هذا الكروموسوم؟

السؤال الثالث: لدينا النسب الوراثية الآتية:

أ- 1:3 ب- 1:3:3:9 جـ- 1:1 د- 1:1:1:1 هـ- 1:3:1:3

أنسب كلاً من التزاوجات الآتية إلى النسبة الوراثية التي تمثلها:

أ- TtYy × TtYy ب- Tt × tt جـ- Tt × Tt د- TtYy × ttyy

السؤال الرابع: في نبات البازيلاء، يرمز للجين المسؤول عن الساق الطويلة (T) وللقصيرة (t)، والجين المسؤول عن لون الأزهار الأرجوانية (P) والبيضاء (p)، والجين المسؤول عن البذور الملساء (R) والمجعدة (r). أجري تلقيح بين نباتين أحدهما طويل أبيض أملس مع آخر طويل أرجواني مجعد، فكان النسل الناتج كما يأتي:

- 303 طويل أرجواني أملس - 299 طويل أبيض أملس
- 101 قصير أرجواني أملس - 102 قصير أبيض أملس

أكتب الطرز الجينية لكل من الآباء والأبناء والغاميتات.

السؤال الخامس: على فرض أن جينات لون البذرة وشكلها تقع على كروموسوم واحد. تم تلقيح نباتين نقيي السلالة، أحدهما ينتج بذرة خضراء مجعدة (rryy) و الآخر ينتج بذرة صفراء مستديرة (RRYY). وعند إجراء التلقيح التجريبي لأفراد الجيل الأول F1، كانت النتائج كما يأتي:

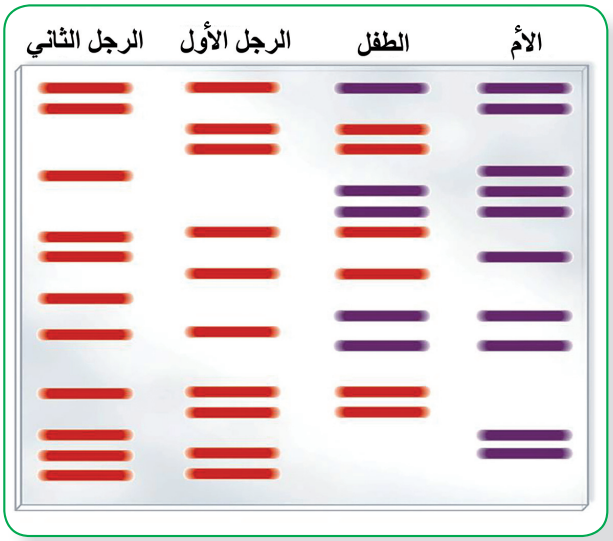
-خضراء، مجعدة 645. -خضراء، مستديرة 36. -صفراء، مجعدة 29. -صفراء، مستديرة 659.

- أفسر هذه النتائج على أسس وراثية.

السؤال السادس: وجد في الثعالب أن اجتماع الأليلين (DD) يكون قاتلاً، والتركيب الوراثي(Dd) يعطي لون الفراء البلاتيني، و (dd) يعطي لون الفراء الفضي، ما الطرز الشكلية الناتجة من إجراء تزاوج بين ثعلبين كلاهما بلاتيني اللون؟ أفسر النتائج.

السؤال السابع: أصمم مخططاً لانقسام خلية تناسلية ذكرية حدث فيها عدم انفصال لزوج الكروموسومات الجنسية (XY)، مبينا حالات الإخصاب المختلفة مع بويضة طبيعية (X).

السؤال الثامن: أي الرجلين هو الأب البيولوجي للطفل في الشكل الآتي:



السؤال التاسع: إذا علمت أن جين اللون البني (B) و جين اللون الأبيض (R)، وأن صفة لون الريش في الطيور مرتبطة بالجنس.حدث تزاوج بين طائر ذكر بني الريش وأنثى بيضاء الريش، وكانت الأفراد الناتجة تحمل الصفات والأعداد الآتية:(4) إناث بنية الريش، (4) ذكوركريمية الريش، أكتب الطرز الجينية لكل من الأبوين والأفراد الناتجة.

السؤال العاشر: أجري تزاوج بين ذبابة فاكهة رمادية اللون وطبيعية الأجنحة غير متماثلة الجينات، مع ذكر أسود اللون وضامر الجناح فظهر أفراد الجيل الأول بالنسب الآتية 1 سائد : 1 متنحي. أفسر على أسس وراثية، أستخدم الرموز الآتية: (B) لجين اللون الرمادي و (b) لجين اللون الأسود، (G) لجين الأجنحة الطبيعية و (g) للأجنحة الضامرة.

السؤال الحادي عشر: أصمم خريطة مفاهيمية لأنواع الاختلالات الوراثية.

السؤال الثاني عشر: أشرح آلية إنتاج هرمون النمو البشري باستخدام تقانة DNA معاد التركيب.

السؤال الثالث عشر: في الدجاج صفة الريش المخطط سائدة على الريش غير المخطط، وهذه الصفة مرتبطة بالجنس.حصل تزاوج بين ذكر ريشه مخطط وأنثى غير مخططة الريش فكانت الأفراد الناتجة كما يلي:

أ- نصف الذكور مخطط الريش، والنصف الآخر غير مخطط الريش.

ب- نصف الإناث مخططة الريش، والنصف الآخر غير مخططة .

أكتب الطرز الجينية والشكلية للآباء وأفراد الجيل الأول، مستخدماً الرمز (B) لجين الريش المخطط و(b) لغير المخطط.

السؤال الرابع عشر: صفة الأصابع القصيرة في الإنسان سائدة على صفة الأصابع الطويلة. تزوج رجل أصابعه قصيرة أحد والديه ذو أصابع طويلة من امرأة أصابعها طويلة. أكتب الطرز الجينية والشكلية للآباء والأبناء، وما احتمال إنجاب أطفال بأصابع قصيرة.

السؤال الخامس عشر: رجل سليم من مرض عمى الألوان وسليم من مرض نزف الدم الوراثي تزوج فتاة سليمة من كلا المرضين، أنجبا طفلين ذكرين، الأول سليم من عمى الألوان ومصاب بنزف الدم الوراثي، والثاني مصاب بعمى الألوان وسليم من مرض نزف الدم الوراثي، على فرض عدم حدوث عبور. باستخدام رموز الجينات المناسبة، أجيب عن الأسئلة الآتية:

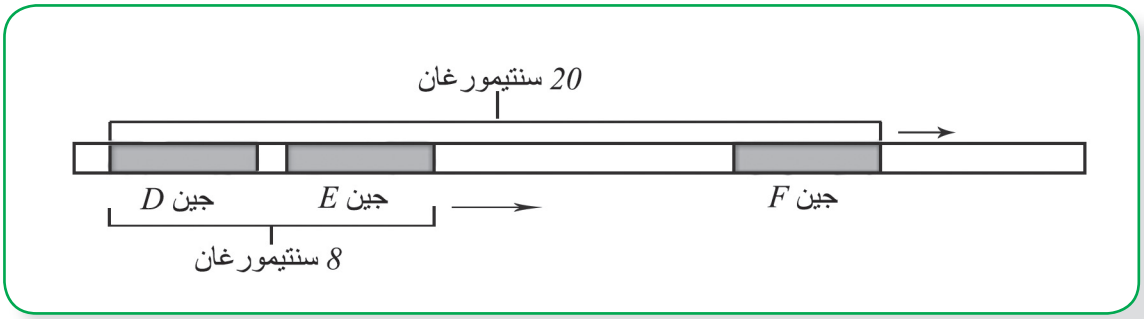
1) أكتب الطرز الجينية والغاميتات للرجل وزوجته.
2) ما الطرز الجينية والشكلية للآباء والأبناء؟
3) ما نوع الوراثة؟

السؤال السادس عشر: حصل تزاوج بين ذكرطائر أسود الريش قصير الأرجل مع أنثى بيضاء الريش قصيرة الأرجل، فكان أفراد النسل الناتج كما يأتي:

(15) أنثى سوداء الريش
(15) ذكر رمادي الريش
(20) ذكور وإناث قصيرة الأرجل
(10) ذكور وإناث طويلة الأرجل

1) أكتب الطرز الجينية والشكلية للآباء والنسل الناتج.
2) أذكر نوع الوراثة لكل من الصفتين.

السؤال السابع عشر: أدرس الخريطة الجينية المرفقة، ثم أجيب عن الأسئلة الآتية:

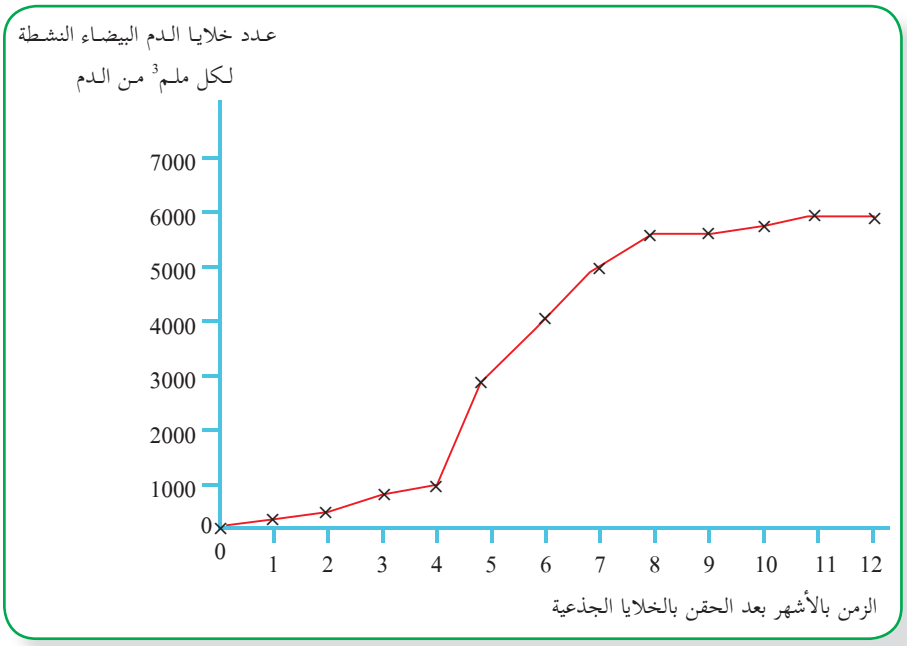


1) ما المسافة بين جين E وجين F ؟
2) أحسب نسبة الارتباط بين الجينات الآتية: أ- F و D ب- F و E.
3) أحدد على الرسم موقع الجين Z والذي يبعد 4 سنتيمورغان عن D ونسبة ارتباطه مع الجين E 88%.

السؤال الثامن عشر: الذكور المصابون بالأمراض الوراثية المرتبطة بالجنس والقاتلة، يتم التعبير عن هذه الصفة في الذكور قبل بلوغ سن النضوج الجنسي. ما مصدر هذه الجينات القاتلة؟ وكيف يتم توارثها؟

السؤال التاسع عشر: تم علاج طفل يعاني من مرض سكيد بحقنه بخلايا جذعية معدلة وراثياً، حيث يظهر المخطط المجاور عدد خلايا الدم البيضاء النشطة في دم الطفل خلال عام بعد العلاج مع العلم بأن عدد خلايا الدم البيضاء في دم الأطفال الطبيعيين يتراوح بين 5000 - 8000 خلية/ملم^3 من الدم.

هل نجح علاج الطفل؟ أفسر الإجابة.



السؤال العشرون: ولدت حنان بستة أصابع على كل قدم ، تسمى هذه الحالة تعدد الأصابع Polydactyly وهي تورَّث بصورة سائدة، وكان اثنين من أخوة حنان الخمسة لديهم ستة أصابع ولدى والدتها أيضاً ستة أصابع، أما والدها فيمتلك العدد الطبيعي من الأصابع. فسِّر على أسس وراثية مستخدماً الرموز D و d.

السؤال الواحد والعشرون: أقيم ذاتي:

أقرأ كلاً من العبارات الآتية ثم أضع الإشارة (✓) في المكان المناسب:

الرقم	العبارة	دائماً	أحياناً	نادراً
1	أستخدم قانوني مندل في حل المسائل الوراثية.			
2	أميِّز بين آلية توارث الصفات المندلية وغير المندلية.			
3	أربط بين علم الوراثة والرياضيات.			
4	أتعرف إلى التطبيقات العملية في علم الوراثة.			
5	أتعرف إلى الأمراض الوراثية الأكثر شيوعاً في فلسطين.			
6	أصمم نموذج DNA يشبه نموذج واطسون وكريك باستخدام خامات البيئة.			