



المركز الوطني
لتطوير المناهج
National Center
for Curriculum
Development

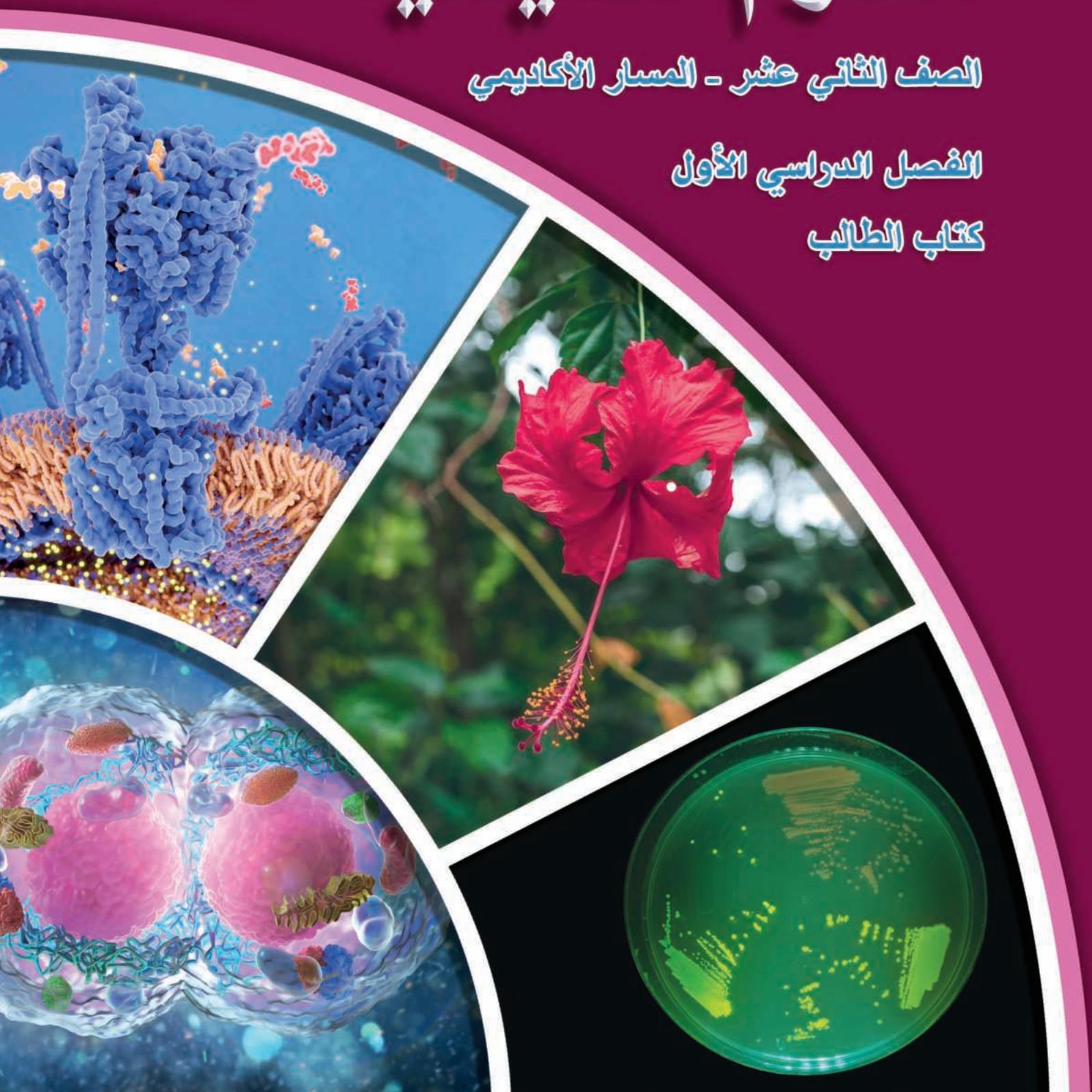
12

العلوم الحياتية

الصف الثاني عشر - المسار الأكاديمي

الفصل الدراسي الأول

كتاب الطالب





العلوم الحياتية

الصف الثاني عشر - المسار الأكاديمي

الفصل الدراسي الأول

كتاب الطالب

12

فريق التأليف

د. موسى عطا الله الطراونة (رئيساً)

عطاف جمعة المالكي

د. أحمد محمد الجعافرة

روناهي " محمد صالح " الكردي (منسقاً)

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

يسر المركز الوطني لتطوير المناهج استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب عن طريق العناوين الآتية:

☎ 06-5376262 / 237 ☎ 06-5376266 ☎ P.O.Box: 2088 Amman 11941

📧 @nccdjr 📧 feedback@nccd.gov.jo 🌐 www.nccd.gov.jo

قررت وزارة التربية والتعليم تدرّس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار المجلس الأعلى للمركز الوطني لتطوير المناهج في جلسته رقم (2025/2)، تاريخ 2025/2/25 م، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (2025/44)، تاريخ 2025/4/30 م، بدءاً من العام الدراسي 2025 / 2026 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2025.

- Prepared Originally in English for the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan

- Translated to Arabic, adapted, customised and published by the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan

ISBN: 978 - 9923 - 41 - 803 - 1

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2025/1/389)

بيانات الفهرسة الأولية للكتاب:

عنوان الكتاب	العلوم الحياتية، كتاب الطالب: الصف الثاني عشر، المسار الأكاديمي، الفصل الدراسي الأول
إعداد / هيئة	الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج
بيانات النشر	عمان: المركز الوطني لتطوير المناهج، 2025
رقم التصنيف	375,001
الوصفات	/ الأحياء // أساليب التدريس // المناهج // التعليم الثانوي /
الطبعة	الطبعة الأولى

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه، ولا يعبر هذا المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية.

المراجعة والتعديل

أمجد أحمد الخرشنة

طلال موسى هديب

إيناس تحسين النوايسة

التحكيم الأكاديمي

د. مأمون مصطفى الرشيدات

تصميم وإخراج

نايف محمد أمين مراشدة

التحرير اللغوي

محمد صالح شنيور

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, sorted in retrieval system, or transmitted in any form by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher or a license permitting restricted copying in the United Kingdom issued by the Copyright Licensing Agency Ltd, Barnard's Inn, 86 Fetter Lane, London, EC4A 1EN.

British Library Cataloguing -in- Publication Data

A catalogue record for this publication is available from the Library.

قائمة المحتويات

5	المقدمة
7	الوحدة الأولى: كيمياء الحياة
10	الدرس 1: المُركَّبات العضوية الحيوية
36	الدرس 2: الإنزيمات وجزء حفظ الطاقة ATP
45	الدرس 3: التفاعلات الكيميائية في الخلية
63	الإثراء والتوسُّع: البكتيريا والطاقة
64	مراجعة الوحدة
67	الوحدة الثانية: دورة الخلية وتصنيع البروتينات
70	الدرس 1: دورة الخلية
77	الدرس 2: الانقسام الخلوي وأهميته
89	الدرس 3: تضاعف DNA والتعبير الجيني
102	الإثراء والتوسُّع: التيلوميرات
103	مراجعة الوحدة

107 الوحدة الثالثة: الوراثة

110 الدرس 1: وراثة الصفات المنديلية

123 الدرس 2: الوراثة بعد مندل

143 الدرس 3: الطفرات والاختلالات الوراثية

160 الإثراء والتوسُّع: الخرائط الدماغية

161 مراجعة الوحدة

165 الوحدة الرابعة: التكنولوجيا الحيوية

168 الدرس 1: أدوات التكنولوجيا الحيوية

180 الدرس 2: تطبيقات التكنولوجيا الحيوية

193 الإثراء والتوسُّع: مصفوفة DNA الدقيقة والتعبير الجيني

194 مراجعة الوحدة

198 مسرد المصطلحات

المقدمة

انطلاقاً من إيمان المملكة الأردنية الهاشمية الراسخ بأهمية تنمية قدرات الإنسان الأردني، وتسليحه بالعلم والمعرفة؛ سعى المركز الوطني لتطوير المناهج، بالتعاون مع وزارة التربية والتعليم، إلى تحديث المناهج الدراسية وتطويرها، لتكون مُعِيناً للطلبة على الارتقاء بمستواهم المعرفي، ومجارات أقرانهم في الدول المتقدمة.

يُعدُّ هذا الكتاب واحداً من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحلّ المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وفق أفضل الطرائق المُتَّبعة عالمياً؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها لحاجات طلبةنا والمعلمين والمعلّمت.

جاء هذا الكتاب مُحققاً لمضامين الإطار العام للمناهج الأردنية والإطار الخاص لمبحث العلوم، ومعاييرها، ومؤشّرات أدائها المُتمثّلة في إعداد جيل محيط بمهارات القرن الحادي والعشرين، وقادر على مواجهة التحديات، ومُعتمِّزٌ - في الوقت نفسه - بانتمائه الوطني. وتأسيساً على ذلك، فقد اعتمدت دورة التعلّم الخماسية المنبثقة من النظرية البنائية التي تمنح الطلبة الدور الأكبر في العملية التعلّمية التعليمية، وتوفّر لهم فرصاً عديدة للاستقصاء، وحلّ المشكلات، واستخدام التكنولوجيا وعمليات العلم، فضلاً عن اعتماد منحنى STEAM في التعليم الذي يُستعمل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة.

يتألّف الكتاب من أربع وحدات، يتّسم محتواها بالتنوع في أساليب العرض، هي: كيمياء الحياة، ودورة الخلية وتصنيع البروتينات، والوراثة، والتكنولوجيا الحيوية. يضم الكتاب أيضاً العديد من الرسوم، والصور، والأشكال التوضيحية، والأنشطة، والتجارب العملية التي تُنمّي مهارات العمل المخبري، وتساعد الطلبة على اكتساب مهارات العلم، مثل: الملاحظة العلمية، والاستقصاء، ووضع الفرضيات، وتحليل البيانات، والاستنتاج القائم على التجربة العلمية المضبوطة، وصولاً إلى المعرفة التي تُعين الطلبة على فهم ظواهر الحياة من حولنا.

روعي في تأليف الكتاب التركيز على مهارات التواصل مع الآخرين، ولا سيّما احترام الرأي الآخر، وتحفيز الطلبة على البحث في مصادر المعرفة المختلفة؛ فلغة الكتاب تُشجّع الطلبة على التفاعل مع المادة العلمية، وتحثُّهم على بذل مزيد من البحث والاستقصاء. وقد تضمّن الكتاب أسئلة متنوعة تراعي الفروق الفردية، وتُنمّي لدى الطلبة مهارات التفكير وحلّ المشكلات.

ألحق بالكتاب كتاباً للأنشطة والتجارب العملية، يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب؛ لتساعد الطلبة على تنفيذها بسهولة، إضافةً إلى أسئلة مثيرة للتفكير.

ونحن إذ نُقدِّمُ هذا الكتاب، فإنَّنا نأمل أن يُسهِم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصية الطالب/ الطالبة، وتنمية اتجاهات حُبِّ التعلُّم ومهارات التعلُّم المستمر لديه، فضلاً عن تحسين الكتاب؛ بإضافة الجديد إلى المحتوى، وإثراء أنشطته المتنوعة، والأخذ بملاحظات المعلمين والمعلمات.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

كيمياء الحياة

Chemistry of Life

قال تعالى:

﴿فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ مِمَّ خُلِقَ﴾
(سورة الطارق، الآية 5).

أتأمل الصورة

تدخل المُركَّبات العضوية الحيوية في تركيب أجسام الكائنات الحيَّة، وهي مُركَّبات تُسهم إسهامًا فاعلاً في العمليات الحيوية اللازمة لاستمرار الحياة، وتُمثِّل الصورة في الأعلى إنزيم إنتاج جزيء حفظ الطاقة ATP في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا. فمِمَّ تتكوَّن الأجزاء الظاهرة في هذه الصورة؟ ما أهميتها في حياة الكائنات الحيَّة؟

الفكرة العامة:

تدخل المُركَّبات العضوية الحيوية في تركيب أجسام الكائنات الحيَّة، ويُعدُّ وجودها ضروريًّا للتفاعلات الكيميائية التي تحدث في خلايا الكائنات الحيَّة، وينتج من هذه التفاعلات تغيُّرات في المادة والطاقة.

الدرس الأوَّل: المُركَّبات العضوية الحيوية.

الفكرة الرئيسة: تحتوي أجسام الكائنات الحيَّة على أربعة أنواع رئيسة من المُركَّبات العضوية الحيوية، هي: الكربوهيدرات، والبروتينات، والليبيدات، والحموض النووية. ولكلُّ من هذه الأنواع دور حيوي في أجسام الكائنات الحيَّة.

الدرس الثاني: الإنزيمات وجزء حفظ الطاقة ATP.

الفكرة الرئيسة: للإنزيمات دور مهم في تحفيز التفاعلات الكيميائية وتسريعها، وجزء حفظ الطاقة ATP أيضًا دور في بعض التفاعلات التي تُحفِّزها الإنزيمات.

الدرس الثالث: التفاعلات الكيميائية في الخلية.

الفكرة الرئيسة: تحدث داخل الخلايا المُكوَّنة لأجسام الكائنات الحيَّة تفاعلات كيميائية عدَّة، منها ما يُخزِّن الطاقة في الروابط الكيميائية داخل المُركَّبات العضوية، ومنها ما يُحرِّر الطاقة المُخزَّنة اللازمة لأداء الأنشطة الحيوية.

تجربة استهلاكية

الكشف عن وجود الكربون في المركبات العضوية

الكربون عنصر مهم يدخل في تركيب المركبات العضوية جميعها، ويُمكن الكشف عنه في المادة العضوية عن طريق تسخينها مع أكسيد النحاس؛ إذ يتأكسد الكربون (إن وُجد)، وينتج غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 الذي يتفاعل مع ماء الجير (محلول هيدروكسيد الكالسيوم)، مُسببًا تعكره وتكدره.

المواد والأدوات:

كأسان زجاجيتان تحوي كلٌّ منهما 4 mL (4) من ماء الجير الراقق، سُكَّر مائدة، ملح طعام، أكسيد النحاس، أنبوبا اختبار سعة كلٌّ منهما 10 mL (10)، حاملًا أنابيب اختبار، سداداتا أنابيب اختبار مطاطيتان مثقوبتان من المنتصف، أنبوبا وصل زجاجيان رفيعان على شكل حرف L، مصدرًا حرارة (موقدا بنسن)، ميزان، مُنصَّب.

إرشادات السلامة: استعمال مصدر الحرارة والأنابيب الساخنة بحذر.

ملحوظة: يُحضَّر ماء الجير الراقق بإذابة هيدروكسيد الكالسيوم في ماء مُقَطَّر حتى الإشباع، ثم تصفيته.

خطوات العمل:

- 1 **أقيس** 2 g (2) من سُكَّر المائدة و 6 g (6) من أكسيد النحاس، ثم أضع الكتلتين في أنبوب الاختبار الأول.
- 2 **أصمّم نموذجًا:** أدخل أحد طرفي أنبوب الوصل الزجاجي في ثقب السدادة، وأثبتها على فتحة أنبوب الاختبار، ثم أعلّق أنبوب الاختبار بالحامل، ثم أضعه على المُنصَّب فوق مصدر الحرارة.
- 3 **أجرّب:** أغمس الطرف الآخر من أنبوب الوصل في ماء الجير الراقق الموجود في الكأس الزجاجية الأولى.
- 4 **ألاحظ:** أوقد لهب بنسن تحت أنبوب الاختبار الأول مدّة 5 min (5)، وألاحظ ما يحدث لماء الجير في الكأس الزجاجية.
- 5 **أقيس** 2 g (2) من ملح الطعام و 6 g (6) من أكسيد النحاس، ثم أضع الكتلتين في أنبوب الاختبار الثاني.
- 6 **أكرّر** الخطوات من الرقم (2) إلى الرقم (4)، وأستخدم الكأس الزجاجية الثانية.
- 7 **أقارن** ما يحدث لماء الجير في الكأسين الزجاجيتين في أثناء التفاعل، ثم أدوّن النتائج التي توصلتُ إليها.

التحليل والاستنتاج:

1. **أفسّر** النتائج التي توصلتُ إليها.
2. **أتوقّع** سبب استخدام ملح الطعام في الأنبوب الثاني.
3. **أتواصل:** أناقش زملائي/ زميلاتي في النتائج التي توصلتُ إليها.

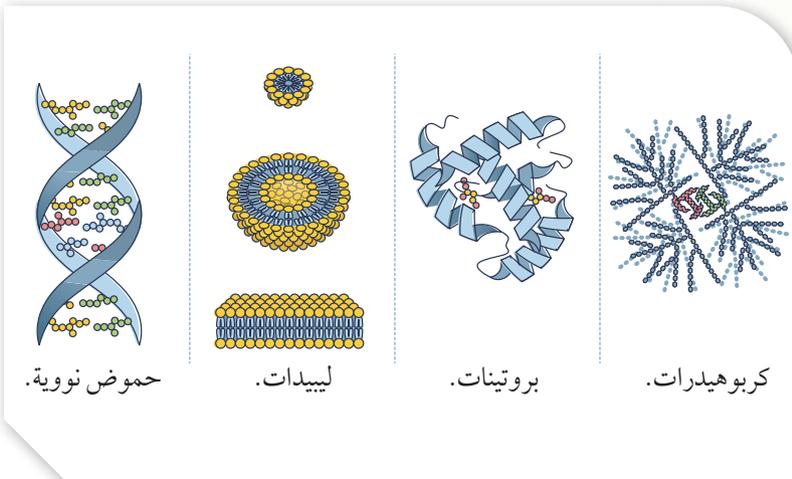
ما المركبات العضوية الحيوية؟

What are Bioorganic Compounds?

تحتوي أجسام الكائنات الحية جميعها على ذرات عناصر مهمة، منها: الهيدروجين، والكربون، والأكسجين، والنيتروجين، والكالسيوم، والفسفور. ويُعدُّ الكربون العنصر الأساس الذي يدخل في تركيب المركبات العضوية جميعها.

المركبات العضوية الحيوية Bioorganic Compounds مركبات

كيميائية توجد في أجسام الكائنات الحية، ويدخل في تركيبها بصورة أساسية ذرات الكربون والهيدروجين، ويدخل في تركيب بعضها أيضًا ذرات عناصر أخرى، مثل: النيتروجين، والأكسجين. ترتبط ذرات الكربون في المركبات العضوية الحيوية بروابط تساهمية بعضها مع بعض، ومع ذرات العناصر الأخرى. توجد أربعة أنواع رئيسة للمركبات العضوية الحيوية، هي: الكربوهيدرات Carbohydrates، والبروتينات Proteins، والليبيدات Lipids، والحموض النووية Nucleic Acids، أنظر الشكل (1).



الشكل (1): مركبات عضوية حيوية.

✓ **أنحقق:** ما أنواع المركبات العضوية الحيوية الرئيسة في جسم الإنسان؟

الفكرة الرئيسة:

تحتوي أجسام الكائنات الحية على أربعة أنواع رئيسة من المركبات العضوية الحيوية، هي: الكربوهيدرات، والبروتينات، والليبيدات، والحموض النووية. ولكل من هذه الأنواع دور حيوي في أجسام الكائنات الحية.

نتائج التعلم:

- أوضح دور عنصر الكربون في تكوين أجسام الكائنات الحية.
- أقرن بين تراكيب الأنواع الرئيسة من المركبات العضوية الحيوية وخصائص كل منها.

المفاهيم والمصطلحات:

المركبات العضوية الحيوية

Bioorganic Compounds

السكّريات الأحادية Monosaccharides

السكّريات الثنائية Disaccharides

السكّريات المتعددة Polysaccharides

الدهون الثلاثية Triglycerides

الليبيدات المُفسفرة Phospholipids

الستيرويدات Steroids

الرابطة الفوسفاتية ثنائية الإستر

Phosphodiester Bond

الحمض النووي الرايبوزي

Ribonucleic Acid (RNA)

مثال 1

ما الصيغة الجزيئية لسكّر أحادي

يتكوّن من (7) ذرّات كربون؟

الحل:

الصيغة العامة هي: $(CH_2O)_n$

$$n = 7$$

عدد ذرّات الكربون = 7

عدد ذرّات الهيدروجين: $(7 \times 2) = 14$

عدد ذرّات الأكسجين = 7

ومن ثمّ فإن، الصيغة الجزيئية

للسكّر الأحادي هي: $C_7H_{14}O_7$

أفكر: يتكوّن السكّر الأحادي (الرايوز) من عشر ذرّات هيدروجين، فما عدد ذرّات الكربون فيه؟

السكّريات الأحادية
Monosaccharides

السكّريات الثنائية
Disaccharides

السكّريات المتعدّدة
Polysaccharides

الكربوهيدرات
Carbohydrates

الشكل (2): تصنيف الكربوهيدرات.

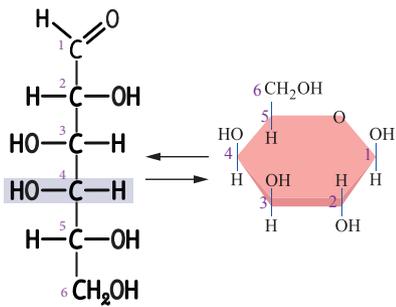
الكربوهيدرات Carbohydrates

تحتوي الكربوهيدرات على ذرّات كربون وهيدروجين وأكسجين، وهي تُصنّف بحسب عدد الوحدات التي تتألّف منها إلى ثلاثة أنواع رئيسية، أنظر الشكل (2).

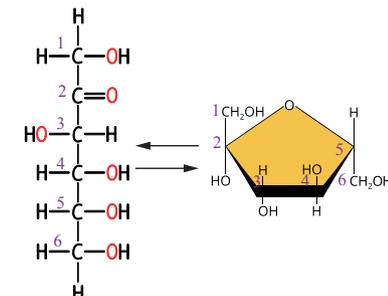
السكّريات الأحادية Monosaccharides

تُعدّ **السكّريات الأحادية Monosaccharides** أبسط أنواع الكربوهيدرات، وهي تذوب في الماء بسهولة؛ لأنّها من الموادّ المحبّة له Hydrophilic. أمّا صيغتها العامة فهي: $(CH_2O)_n$ ، حيث n عدد ذرّات الكربون في السكّر الأحادي.

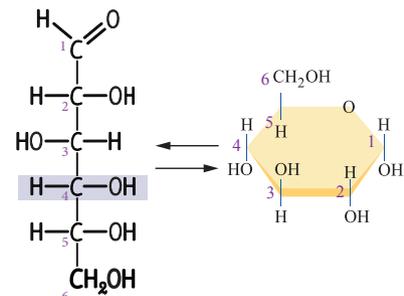
تكون الصيغة البنائية للسكّر الأحادي على شكل حلقي، أو سلسلة مفتوحة غير مُتفرّعة. ويُعدّ هذا النوع من السكّريات وحدات بنائية لأنواع الكربوهيدرات الأخرى، ومن الأمثلة عليه: الغلوكوز الذي يمثّل الوحدة البنائية لعدد من السكّريات المتعدّدة في أجسام الكائنات الحيّة، أنظر الشكل (3).



سلسلة مفتوحة. شكل حلقي.
(ج) الغلاكتوز.



سلسلة مفتوحة. شكل حلقي.
(ب) الفركتوز.



سلسلة مفتوحة. شكل حلقي.
(أ) الغلوكوز.

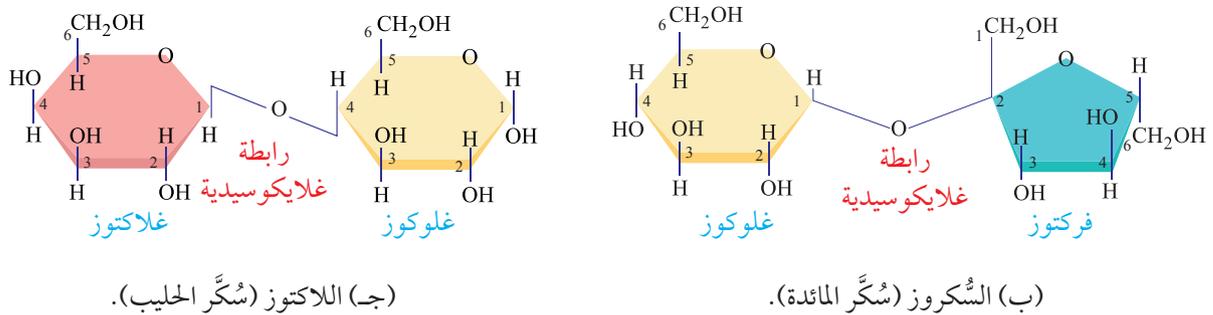
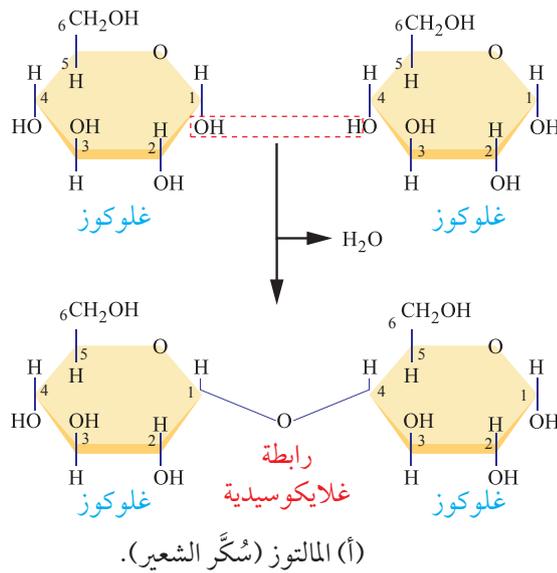
الشكل (3): السكّريات الأحادية: (أ): الغلوكوز. (ب): الفركتوز. (ج): الغلاكتوز

السُّكَّرَات الثنائية Disaccharides

يتكوّن **السُّكَّر الثنائي** Disaccharide من وحدتين من السُّكَّرَات الأحادية، ترتبطان معًا برابطة تساهمية غلايكوسيدية Glycosidic Bond، ويحدث الارتباط عن طريق نزع جزيء ماء، أنظر الشكل (أ/4) الذي يُبيّن تفاعل نزع الماء Dehydration Reaction لإنتاج سُّكَّر المالتوز. ومن الأمثلة على السُّكَّرَات الثنائية أيضًا: السُّكروز، واللاكتوز، أنظر الشكل (ب/4)، والشكل (ج/4).

✓ **أنتحق:** أقرّن بين السُّكروز واللاكتوز من حيث السُّكَّرَات الأحادية التي تُكوّن كلّاً منهما.

يؤدّي الإكثار من تناول السُّكَّرَات إلى تسوّس الأسنان، وزيادة الوزن؛ ما يزيد خطر الإصابة بمرض السُّكَّرِي؛ لذا يوصي المركز الوطني للعدد الصمّ والسُّكَّرِي بعدم الإكثار من تناولها؛ للوقاية من الإصابة بمرض السُّكَّرِي. أصمّ مطوية عن ذلك، ثم أوزّعها على زملائي/ زميلاتي والمجتمع المحلي لتوعيتهم بأضرار الإكثار من تناول السُّكَّرَات.



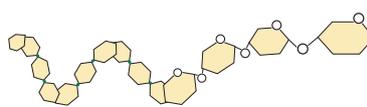
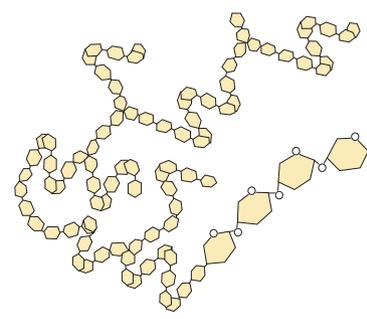
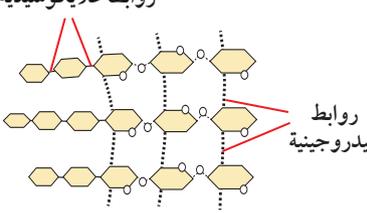
الشكل (4): السُّكَّرَات الثنائية: (أ): المالتوز. (ب): السُّكروز. (ج): اللاكتوز.

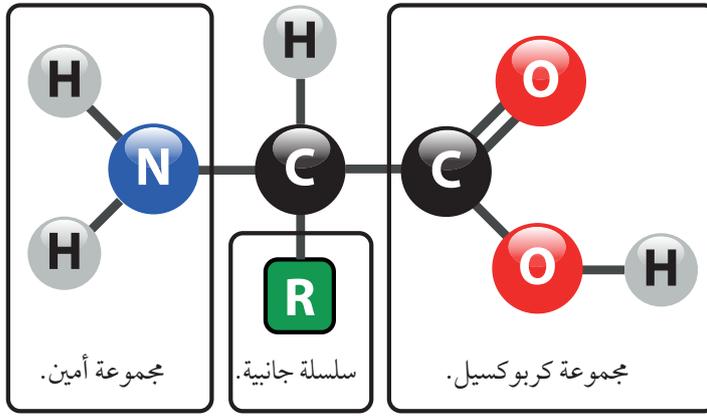
السُّكَّرِيَّاتِ المُتَعَدِّدَةِ Polysaccharides

✓ **أتحقق:** أفران الروابط الموجودة بين جزيئات الجلوكوز في السلسلة الواحدة من السليلوز بالروابط الموجودة بين سلاسل الجلوكوز المتوازية في السليلوز.

السُّكَّرِيَّاتِ المُتَعَدِّدَةِ Polysaccharides مُبلمرات تتكوّن من سُكَّرِيَّاتٍ أُحادية ترتبط في ما بينها بروابط تساهمية غلايكوسيدية. ولكلّ من السُّكَّرِيَّاتِ المُتَعَدِّدَةِ خصائص تُميّزها، أنظر الجدول (1).

الجدول (1): السُّكَّرِيَّاتِ المُتَعَدِّدَةِ.

الأهمية	الصيغة البنائية	المثال
تخزين سُكَّرِ الجلوكوز في النباتات.	 <p>أميلوز.</p>	<p>النشا: يتكوّن من:</p> <ul style="list-style-type: none"> - الأميلوز: من السُّكَّرِيَّاتِ المُتَعَدِّدَةِ، ويكون على شكل سلاسل غير مُتفرّعة من الجلوكوز. - الأميلوبكتين: من السُّكَّرِيَّاتِ المُتَعَدِّدَةِ، ويكون على شكل سلاسل من الجلوكوز مُتفرّعة في بعض المواقع. <p>- يتكون النشا في غالبية النباتات من 20% - 30% أميلوز، ومن 70% - 80% على صورة أميلوبكتين.</p>
تخزين سُكَّرِ الجلوكوز في أكياد الحيوانات وعضلاتها.	 <p>غلايكوجين.</p>	<p>الغلايكوجين: يتكوّن من سلاسل من الجلوكوز كثيرة التفرّع.</p>
إكساب الجُدُر الخلوية في النباتات القوّة والمرونة.	<p>روابط غلايكوسيدية</p>  <p>روابط هيدروجينية</p> <p>سيللوز.</p>	<p>السليلوز: يتكوّن من ألياف دقيقة، تتألّف من وحدات من الجلوكوز ترتبط في ما بينها بروابط غلايكوسيدية، مُشكّلةً سلاسل مُتوازية غير مُتفرّعة ترتبط معًا بروابط هيدروجينية.</p>



الشكل (5): الصيغة البنائية العامة للحموض الأمينية.

البروتينات Proteins

تتألف البروتينات من وحدات بنائية أساسية تُسمى الحموض الأمينية Amino Acids، وترتبط الحموض الأمينية معاً بروابط تساهمية ببتيدية Peptide Bonds. تشترك الحموض الأمينية - في ما بينها - في صيغتها العامة التي تحوي نوعين من المجموعات الكيميائية، هما: مجموعة الكربوكسيل (COOH)، ومجموعة الأمين (NH₂)، إضافةً إلى سلسلة جانبية مُتغيرة يُرمز إليها بالرمز R، وتختلف من حمض أميني إلى آخر؛ ما يجعل لكل حمض أميني خصائص ينفرد بها عن غيره، أنظر الشكل (5).

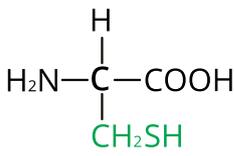
يحتوي الحمض الأميني غلايسين Glycine على ذرّة الهيدروجين H بدلاً من السلسلة الجانبية، في حين تحتوي السلسلة الجانبية في الحموض الأمينية الأخرى على الكربون، ومن الأمثلة على هذه السلاسل الجانبية: CH₂SH و CH₂OH، أنظر الشكل (6).

يدخل في تركيب البروتينات عشرون حمضاً أمينياً مختلفاً، وتختلف البروتينات بعضها عن بعض تبعاً لاختلاف الحموض الأمينية التي تدخل في تركيبها، وعددها، وتسلسلها، ويستطيع جسم الإنسان تصنيع أحد عشر حمضاً أمينياً منها فقط. أمّا الحموض الأمينية التسعة الأخرى فيحصل عليها الجسم من الغذاء، وهي تُسمى الحموض الأمينية الأساسية. تُصنّف الحموض الأمينية وفقاً لخصائص السلاسل الجانبية التي تحويها إلى مجموعتين رئيسيتين، هما: الحموض الأمينية المُحبة للماء، والحموض الأمينية الكارهة للماء.

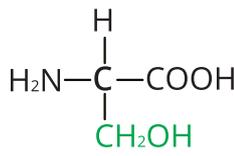
الربط بالكيمياء

المجموعة الوظيفية: مجموعة من الذرّات في المركّب العضوي، تُسهّم في تمييز مُركّب من غيره من المُركّبات، ومن أمثلتها:
- مجموعة الهيدروكسيل (OH).
- مجموعة الكربوكسيل (COOH).
- مجموعة الأمين (NH₂).
- مجموعة الفوسفات (PO₄³⁻).

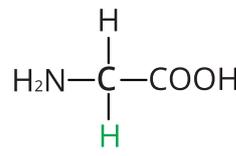
✓ **أنتحقّق:** ما الذي يُميّز حمضاً أمينياً من آخر؟



(ج) سستين.



(ب) سيرين.



(أ) غلايسين.

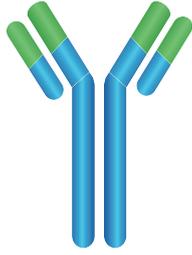
الشكل (6): بعض أنواع الحموض الأمينية. أُحدّد السلسلة الجانبية في كل حمض أميني ورد ذكره في الشكل.

استقبال المواد الكيميائية.



مُستقبل بروتيني لبعض أنواع الهرمونات.

الإسهام في الاستجابة المناعية.



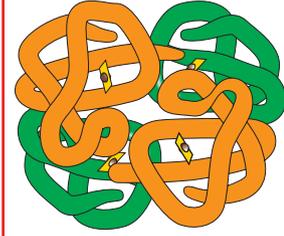
جسم مضاد.

تحفيز التفاعلات الكيميائية.



الإنزيمات.

نقل الغازات في الدم.



الهيموغلوبين.

الشكل (7): بعض وظائف البروتينات.

أفكر: يبحث ديننا الحنيف على الاعتدال في المأكل والمشرب. قال تعالى:

﴿كُلُوا وَاشْرَبُوا وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ﴾
(سورة الأعراف، الآية 31).

يُسهِم تناول الغذاء المُتوازن في المحافظة على صحة الجسم. اعتمادًا على ما تعلّمته عن وظائف البروتينات، أيبين أثر عدم تناول البروتينات بكميات مُناسبة في صحة جسمي.

تمثل البروتينات أكثر من 50% من الكتلة الجافة لمعظم الخلايا، وهي تؤدي وظائف مختلفة في أجسام الكائنات الحيّة، مثل ألياف الكولاجين التي تمنح الغضاريف المرونة والقوّة، أنظر الشكل (7) الذي يبيّن وظائف أخرى للبروتينات.

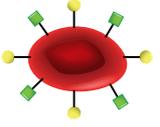
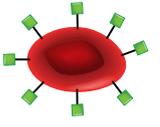
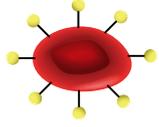
قد ترتبط البروتينات بالسكّريات، مُكوّنة بروتينات سُكّرية Glycoproteins، ومن الأمثلة عليها مُولّدات الضد Antigens التي توجد على سطوح خلايا الجسم، ولا يُسبب وجودها في الحالات الطبيعية حدوث استجابة مناعية ضدها في الجسم، في حين تُسبب مُولّدات الضد الغريبة (غير الذاتية) التي تدخل الجسم حدوث استجابة مناعية ضدها في الجسم.

من الأمثلة على مُولّدات الضد في جسم الإنسان: مُولّد الضد (A) الذي يوجد على سطوح خلايا الدم الحمراء لدى كل شخص فصيلة دمه (A) بحسب نظام ABO لفصائل الدم. ووفقًا لهذا النظام، فإنّه توجد أربع فصائل لدم الإنسان، هي: فصيلة الدم A، وفصيلة الدم B، وفصيلة الدم AB، وفصيلة الدم O. وتُصنّف هذه الفصائل بناءً

الربط بالصحة النفسية

أثر التربتوفان في تحسين المزاج

يحتاج جسم الإنسان إلى الحمض الأميني تربتوفان Tryptophan، الذي يُعدّ أحد الحموض الأمينية الأساسية التي تدخل في تصنيع الناقل العصبي الهرموني السيروتونين، ويُسمّى أيضًا هرمون السعادة. وقد أشارت دراسات منشورة إلى أنّ الحمض الأميني تربتوفان يُسهِم في تحسين المزاج وتخفيف التوتر لدى الأشخاص من مختلف الأعمار، فضلًا عن وجود علاقة بين احتواء حليب الأطفال الرُّضّع على هذا الحمض وخلودهم إلى النوم براحة وهدوء.

AB	B	A	O	فصيلة الدم
				خلايا الدم الحمراء
			لا يوجد	مُؤلِّدات الضد على سطوح خلايا الدم الحمراء
لا يوجد	 Anti-A	 Anti-B	 Anti-B Anti-A	الأجسام المضادة في البلازما

على وجود أحد مُولِّدي الضد A، أو B، أو كليهما، أو عدم وجودهما، أنظر الجدول (2) الذي يُبيِّن مُولِّدات الضد على سطوح خلايا الدم الحمراء والأجسام المضادة في البلازما لفصائل الدم الأربع بحسب نظام ABO.

يوجد نظام آخر يُعرَف بنظام العامل الريزي سي Rh، ويشير إلى وجود مُولِّد ضد على سطوح خلايا الدم الحمراء يُسمَّى مُولِّد الضد D، أو عدم وجوده. وفي حال وجود مُولِّد الضد D على سطوح خلايا الدم الحمراء، يوصَف الشخص بأنَّه موجب العامل الريزي سي Rh⁺. أمَّا في حال عدم وجوده، فيوصَف الشخص بأنَّه سالب العامل الريزي سي Rh⁻، ولا يوجد في بلازما دمه أجسام مضادة (Anti-D)، إلَّا أنَّه يُنتِجها في صورة استجابة مناعية إذا نُقلت إليه خلايا دم حمراء من شخص موجب العامل الريزي سي.

عند نقل خلايا دم حمراء من شخص إلى آخر، فإنَّه يُنظَر إلى مُولِّدات الضد التي على سطوح خلايا الدم الحمراء لدى المُتبرِّع Donor، وإلى الأجسام المضادة في بلازما الدم لدى المُستقبِل Recipient. فمثلاً: عند نقل خلايا دم حمراء من مُتبرِّع فصيلة دمه A إلى مُستقبِل فصيلة دمه B، فإنَّ الأجسام المضادة (Anti-A) التي في بلازما دم المُستقبِل ترتبط بمُولِّدات الضد A على سطوح خلايا الدم الحمراء للمُتبرِّع، مُسبِّبة تحللها؛ فتظهر على المُستقبِل أعراض عديدة، مثل: القشعريرة، والحُمى، وقد يصاب بقصور في وظائف الكلى، وقد يؤدي ذلك إلى وفاته. وفي سياق مُتَّصِل، إذا كان الشخص سالب العامل الريزي سي Rh⁻ فلا يُمكنه استقبال خلايا دم حمراء من مُتبرِّع موجب العامل الريزي سي Rh⁺؛ ذلك أنَّ جسمه سيكوِّن أجساماً مضادةً (Anti-D)



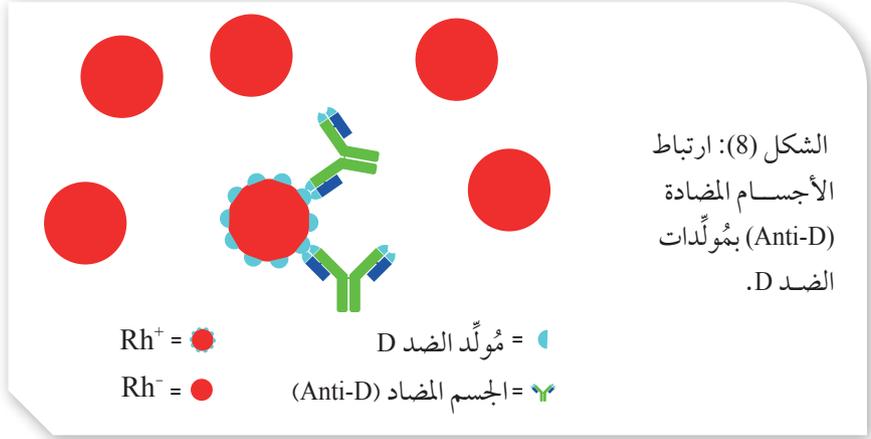
أنظم المعلومات التي

تعلمتها عن وظائف البروتينات، ثم أعد عرضاً تقديمياً عنها مدعماً بالصور من شبكة الإنترنت، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

✓ **أتحقَّق:** أذكر الأعراض التي

قد تظهر على شخص فصيلة دمه (A) عند نقل خلايا دم حمراء إليه من مُتبرِّع فصيلة دمه (B).

أفكر: يحتاج مريض فصيلة دمه O^- إلى نقل وحدتين من بلازما الدم. إذا توافرت وحدتا بلازما، إحداهما من مُتبرِّع فصيلة دمه AB^+ ، والأخرى من مُتبرِّع فصيلة دمه B^+ ، فهل يُمكن استخدام كلتا الوحدتين لنقل البلازما إليه، أم يُكتفى بإحدهما لعدم مُناسبة الأخرى لدمه؟ أبرّر إجابتي.



في بلازما دمه، بوصفها استجابةً مناعيةً، فترتبط الأجسام المضادة (Anti-D) في بلازما دم المُستقبل بموِّلدات الضد D على سطوح خلايا الدم الحمراء في دم المُتبرِّع، أنظر الشكل (8).

مثال 2

أصيب شخص فصيلة دمه A^- في حادث سير، واستدعت حالته نقل خلايا دم حمراء إليه، ورجب اثنان من أصدقائه في التبرُّع بخلايا دم حمراء له، وكانت فصيلة دم أحدهما AB^+ ، وفصيلة دم الآخر O^- . أي الصديقين يُمكنه فقط التبرُّع له؟ (علمًا بأن المصاب لم تُنقل إليه خلايا دم حمراء من قبل).

المعطيات:

المُتبرِّعان المُحتملان: AB^+ ، و O^- ، المُستقبل: A^- .

المطلوب:

تحديد المُتبرِّع الذي فصيلة دمه تُناسب الشخص المصاب (المُستقبل).

الحل:

(1) في حالة المُتبرِّع الذي فصيلة دمه AB^+ :

موِّلدات الضد لدى المُتبرِّع المُحتمل الأوَّل الذي فصيلة دمه AB^+	الأجسام المضادة لدى المُستقبل الذي فصيلة دمه A^-
B ، A	Anti-B
D	سيكوّن Anti-D (استجابة مناعية).

لا يُمكن للمُتبرِّع الأوَّل التبرُّع بالدم؛ لأنَّ الأجسام المضادة (Anti-B) من بلازما دم المُستقبل سترتبط بموِّلدات الضد B على سطوح خلايا الدم الحمراء من دم المُتبرِّع، مُسبِّبةً تحللها، وستظهر على المُستقبل (المصاب) أعراض عديدة، مثل: القشعريرة، والحُمى، وقد يصاب بقصور في وظائف الكلى، وقد يؤدي ذلك إلى وفاته.

في ما يتعلَّق بنظام Rh، سيكوّن المُستقبل أجسامًا مضادةً (Anti-D) - بوصفها استجابةً مناعيةً - ترتبط بموِّلدات الضد D على سطوح خلايا الدم الحمراء من دم المُتبرِّع.

(2) في حالة المُتبرِّع الذي فصيلة دمه O^- :

موِّلدات الضد لدى المُتبرِّع المُحتمل الثاني الذي فصيلة دمه O^-	الأجسام المضادة لدى المُستقبل الذي فصيلة دمه A^-
_____	Anti-B

ومن ثمَّ فإن المُتبرِّع الذي فصيلة دمه O^- هو الذي يُمكنه التبرُّع بالدم (بخلايا دم الحمراء) للمصاب؛ نظرًا إلى عدم وجود موِّلدات الضد B، و D على سطوح خلايا الدم الحمراء في دم هذا المُتبرِّع.

يحتاج شخص فصيلة دمه A^- إلى نقل وحدتين من بلازما الدم، وتقدّم اثنان من أصدقائه للتبرّع، أحدهما فصيلة دمه AB^+ ، والآخر O^- ، علمًا بأنّ المُتبرِّع من فصيلة الدم O^- لم يُكوّن أجسامًا مضادة $Anti-D$ ؛ لعدم تعرّضه سابقًا لمولّد الضد D . في هذه الحالة، أيُّ الصديقيْن يُمكنه فقط التبرّع له؟

المعطيات:

مُتبرِّعان مُحتمَلان لوحدتي البلازما فصيلة دم أحدهما AB^+ ، والآخر O^- ، المُستقبل: A^-

المطلوب:

تحديد وحدة بلازما الدم من المُتبرِّعين التي تُناسب الشخص المُستقبل.

الحل:

* عند نقل البلازما يجب الأخذ بعين الاعتبار الأجسام المضادة الموجودة في بلازما الشخص المُتبرِّع ومولّدات الضد لدى الشخص المُستقبل.

1. في حالة وحدة البلازما من المُتبرِّع الذي فصيلة دمه AB^+ :

الأجسام المضادة لدى المُتبرِّع الذي فصيلة دمه AB^+ : مُولّدات الضد لدى المُستقبل الذي فصيلة دمه A^- :	_____
A	

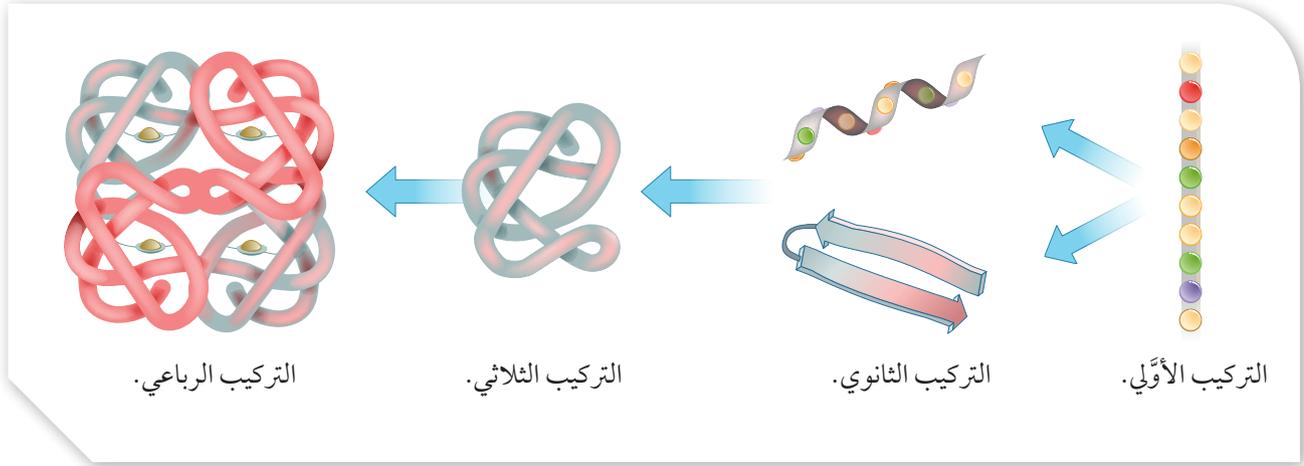
يمكن للمُتبرِّع الذي فصيلة دمه AB^+ أن يتبرّع بوحدة البلازما، لأنّ هذه البلازما لا تحتوي على أي نوع من الأجسام المضادة ضد فصائل الدم الأخرى.

2. في حالة وحدة البلازما من المُتبرِّع الذي فصيلة دمه O^- :

الأجسام المضادة لدى المُتبرِّع الثاني الذي فصيلة دمه O^- : مُولّدات الضد لدى المُستقبل الذي فصيلة دمه A^- :	Anti-A و Anti-B
A	

لا يمكن لهذا المُتبرِّع الذي فصيلة دمه O^- ، أن يتبرّع بوحدة البلازما، لأنّ هذه البلازما تحتوي على الأجسام المضادة $(Anti-A)$ ، التي سترتبط بمولّدات الضد A الموجودة على سطوح خلايا الدم في جسم المُستقبل الذي فصيلة دمه A^- ، مُسبِّبة تحلُّلها، وستظهر على المُستقبل أعراض عديدة، مثل: القشعريرة، والحُمّى، وقد يصاب بقصور في وظائف الكلى، وقد يؤدي ذلك إلى وفاته.

أما في ما يتعلّق بنظام Rh ، لا تحتوي هذه البلازما على أجسام مضادة $(Anti-D)$ ؛ لأن الشخص المُتبرِّع لم يتعرّض لمولّد الضد D سابقًا.



الشكل (9): مستويات تركيب البروتينات.

مستويات تركيب البروتينات Levels of Proteins Structure

توجد أربعة مستويات تركيبية للبروتينات، هي: التركيب الأولي Primary Structure، والتركيب الثانوي Secondary Structure، والتركيب الثلاثي Tertiary Structure، والتركيب الرباعي Quaternary Structure، أنظر الشكل (9).

التركيب الأولي Primary Structure

ترتبط الحموض الأمينية معاً بروابط تساهمية ببتيدية، ويُنزع جزيء ماء عند تكوين كل رابطة ببتيدية، فتتشكل سلسلة عديد الببتيد. ويوصف التسلسل الخطي للحموض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد بأنه التركيب الأولي للبروتين، وتكون مجموعة الأمين في بدايتها (تسمى الطرف N)، وتكون مجموعة الكربوكسيل في نهايتها (تسمى الطرف C)، أنظر الشكل (10).

يُمثل التركيب الأولي للبروتين الهيكل الأساسي لمستويات البروتين الأخرى، وهو لا يؤدي أي وظيفة في صورته الأولية.

✓ **أتحقق:** لماذا يُحتمل أن تختلف

سلسلتا عديد ببتيد، إحداهما عن الأخرى، بالرغم من تكوّنهما من الحموض الأمينية نفسها، واحتوائهما على العدد نفسه من هذه الحموض؟

مثال 4

سلسلة عديد ببتيد تتكوّن من (10)

حموض أمينية:

- أحسب عدد الروابط الببتيدية المتكوّنة.

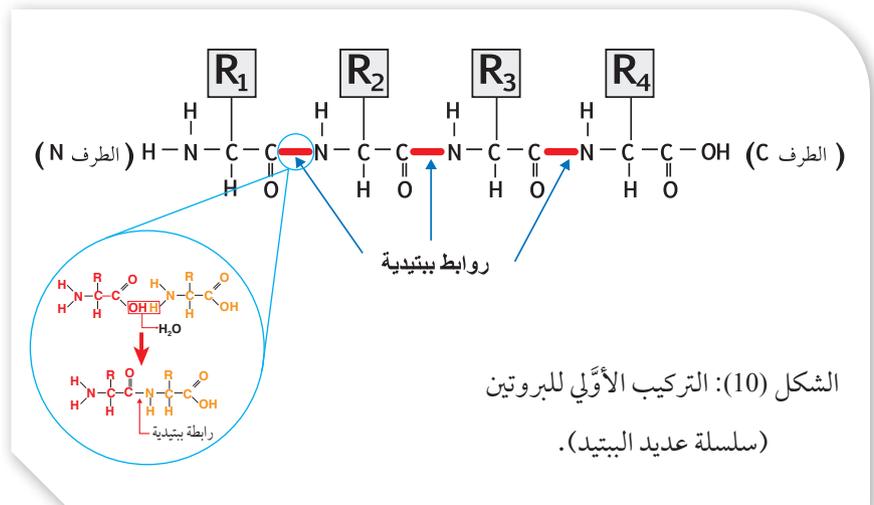
- أحسب عدد جزيئات الماء الناتجة.

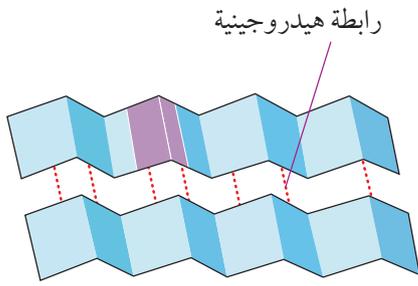
الحل:

- عدد الروابط الببتيدية المتكوّنة هو (9) روابط.

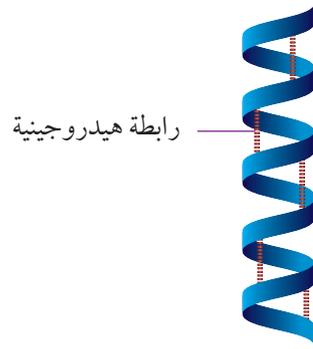
- عدد جزيئات الماء الناتجة هو

(9) جزيئات.





(ب) الصفيحة المطوية بيتا.



(أ) حلزون ألفا.

الشكل (11): التركيب
الثانوي للبروتين.

التركيب الثانوي Secondary Structure

ينتج التركيب الثانوي من التفاف سلسلة عديد بيتيد واحدة، وتكوّن روابط هيدروجينية في مناطق مُحدّدة منها، وهي روابط تعمل على تثبيت التركيب الثانوي واستقراره.

يوجد تركيبان ثانويان شائعان، أحدهما حلزوني يُسمّى حلزون ألفا α -Helix، والآخر يُسمّى الصفيحة المطوية بيتا β -Sheet. يتكوّن تركيب حلزون ألفا عند التفاف سلسلة عديد الببتيد، وتكوّن روابط هيدروجينية بين ذرّة الأكسجين في مجموعة الكربوكسيل في حمض أميني وذرّة الهيدروجين في مجموعة الأمين في حمض أميني آخر يبعد عن الحمض الأميني الأول أربعة حموض أمينية، أنظر الشكل (11/أ). أمّا تركيب الصفيحة المطوية بيتا فيتكوّن عند ارتباط جزأين أو أكثر من سلسلة عديد الببتيد نفسها بروابط هيدروجينية؛ إذ تكون هذه الأجزاء المكوّنة لسلسلة عديد الببتيد بجانب بعضها في شكل مُتعرّج (zig-zag)؛ ما يتيح لها تكوين الروابط الهيدروجينية في ما بينها، أنظر الشكل (11/ب).

التركيب الثلاثي Tertiary Structure

ينتج التركيب الثلاثي من طيّ التراكيب الثانوية في سلسلة عديد الببتيد التي تأخذ شكلاً ثلاثي الأبعاد. وتعمل أنواع مختلفة من الروابط تكون غالباً بين ذرّات السلاسل الجانبية R لسلسلة عديد الببتيد على تثبيت شكل التركيب الثلاثي، أنظر الشكل (12).

من الأمثلة على البروتينات ذات التركيب الثلاثي: بروتين الميوغلوبين الذي يحمل الأكسجين في العضلات، وينتج من طيّ التراكيب الثانوية لحلزون ألفا. وفي حال فقد أحد البروتينات تركيبه الثلاثي، فإنّ ذلك يُفقد القدرة على أداء وظيفته الحيوية، كما يحدث في الإنزيمات.

أفكر: أحدّد الذرّات التي تتكوّن بينها روابط هيدروجينية في حمضين أميين عند التفاف سلسلة عديد الببتيد، وتكوّن تركيب حلزون ألفا.

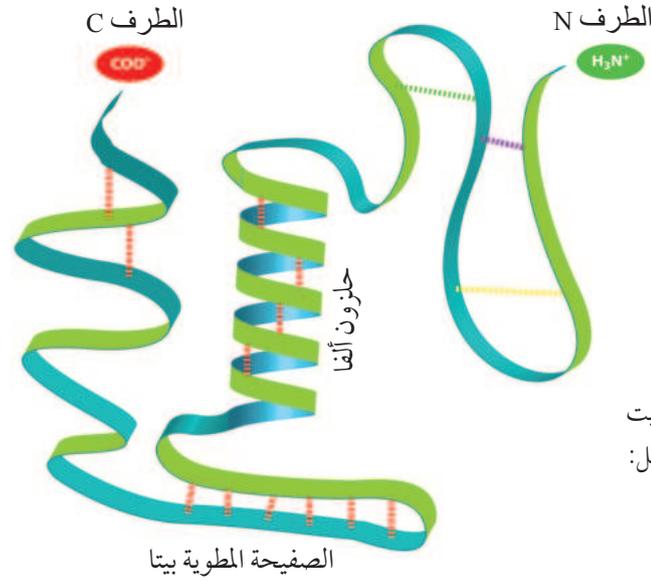


أنشئ مخطّطاً

مفاهيمياً باستخدام رسوم SmartArt لتوضيح مستويات تركيب البروتينات، ثم أضيف إليه تدريجياً ما سأتعلمه عنها في الصفحات التالية.

أفكر: ما التراكيب الثانوية التي نتج من طيّها بروتين الميوغلوبين؟

الشكل (12): التركيب الثلاثي للبروتين.



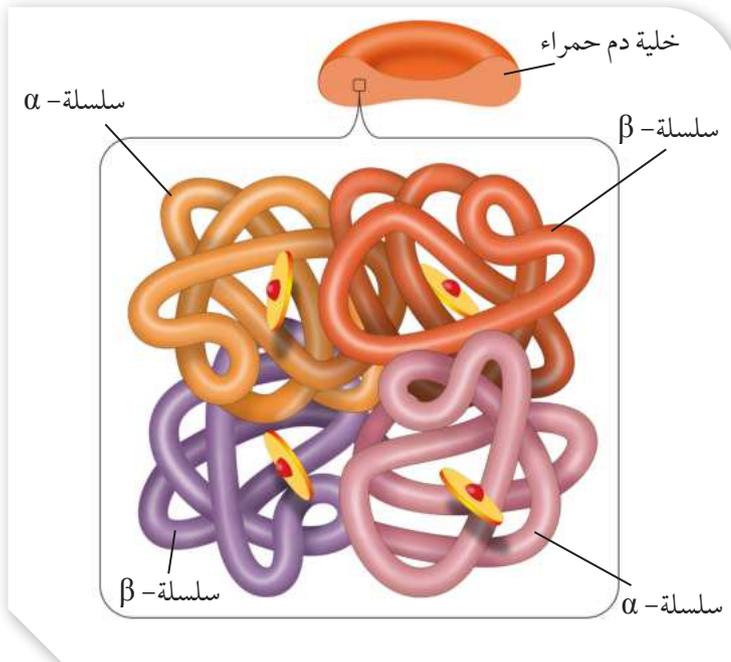
تعمل روابط مختلفة على تثبيت التركيب الثلاثي للبروتين، مثل:

- رابطه هيدروجينية.
- رابطه ثنائي الكبريتيد.
- رابطه أيونية.
- قوى ضعيفة، مثل قوى فاندرفال.

التركيب الرباعي Quaternary Structure

✓ **أتحقق:** كيف يتكوّن التركيب الثلاثي للبروتينات؟

يُطلق اسم التركيب الرباعي على البروتينات التي تتكوّن من سلسلتين أو أكثر من عديد الببتيد، خلافاً للتركيب الأوّلي والتركيب الثانوي والتركيب الثلاثي؛ إذ يتكوّن كلٌّ منها من سلسلة عديد ببتيد واحدة، علماً بأنّ التركيب الرباعي يُثبّت عن طريق روابط مختلفة، شأنه في ذلك شأن التركيب الثلاثي.



الشكل (13): التركيب الرباعي للهيموغلوبين.

من الأمثلة على البروتينات ذات التركيب الرباعي: الهيموغلوبين الذي يتألّف من أربع سلاسل ببتيدية؛ اثنتان منها من النوع α ، واثنتان أخريان من النوع β ، أنظر الشكل (13)، لكن ذلك لا يعني بالضرورة أنّ جميع البروتينات ذات التركيب الرباعي تتألّف من أربع سلاسل ببتيدية؛ فالكولاجين مثلاً هو من البروتينات ذات التركيب الرباعي، إلا أنّه يتكوّن من ثلاث سلاسل ببتيدية.

يُذكر أنّ سلسلتي ألفا وسلسلتي بيتا في الهيموغلوبين لا تعني حلزون ألفا والصفحة المطوية بيتا.

تصنيف البروتينات Classification of Proteins

تُصنّف البروتينات وفقاً لشكلها النهائي الثلاثي الأبعاد إلى نوعين، هما:

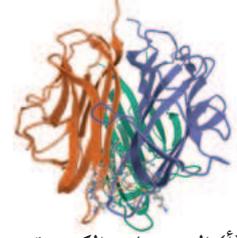
البروتينات الكروية Globular Proteins: يتكوّن هذا النوع من بروتينات تركيبها ثلاثي أو رباعي، مثل الهيموغلوبين ومعظم الإنزيمات، أنظر الشكل (14/أ).
تؤدي البروتينات الكروية دوراً في عمليات الجسم الحيوية، وتكون ذائبة في الماء؛ نظراً إلى وجود سلاسلها الجانبية R القطبية (المُحِبَّة للماء) في اتجاه الخارج مُواجهَةً المحاليل المائية التي تحيطها، ووجود سلاسلها الجانبية R غير القطبية (الكارهة للماء) في اتجاه الداخل.

البروتينات الليفية Fibrous Proteins: يتكوّن هذا النوع من بروتينات تركيبها ثنائي، أو ثلاثي، أو رباعي، ومن أمثلته: بروتين الفايبرين Fibrin الذي له دور في تجلُّط الدم، أنظر الشكل (14/ب).
لا تكون البروتينات الليفية غالباً ذائبة في الماء؛ لأنّ سلاسلها الجانبية R غير القطبية (الكارهة للماء) تكون في اتجاه الخارج مُواجهَةً المحاليل المائية.
توجد بروتينات تتكوّن من أجزاء ليفية وأخرى كروية، مثل بروتين الميوسين في العضلة الهيكلية.

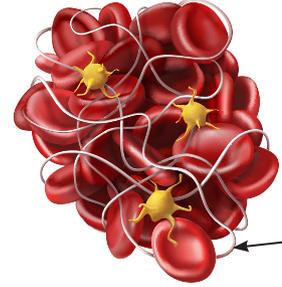
الليبيدات Lipids

لليبيدات وظائف عدّة في أجسام الكائنات الحيّة؛ إذ تُشكّل طبقة عازلة تحت جلد الإنسان وبعض الحيوانات؛ ما يحول دون فقدان الحرارة من أجسامهم، وتدخل في تركيب الأغشية البلازمية، والهرمونات الستيرويدية، وفي تركيب الفيتامينات الذائبة في الدهون (فيتامين A، وK، وE، وD)، وتُعدُّ مصدرَ طاقةٍ مُهِمّاً للكائنات الحيّة.
تُصنّف الليبيدات إلى أنواع عدّة، منها: الحموض الدهنية، والدهون الثلاثية، والليبيدات المُفسّرة، والستيرويدات. توجد صفة مشتركة بين الليبيدات جميعها، تتمثّل في عدم امتزاجها بالماء.

✓ **أتحقّق:** لماذا تكون البروتينات الكروية ذائبة في الماء؟



(أ) البروتينات الكروية.



بروتين
فايبرين

(ب) البروتينات الليفية.

الشكل (14): البروتينات الكروية، والبروتينات الليفية.



ألخصّ وظائف

الليبيدات التي درستها في جسم الكائن الحيّ بالاستعانة بصور من شبكة الإنترنت، ثم أستخدم برمجية Power point لعرضها أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

الربط بالصحة

تُجرى فحوص مخبرية لتعرّف مستويات بعض البروتينات والإنزيمات في الدم؛ ما يساعد على كشف الإصابة بمرض مُعيّن. فمثلاً: تُفحص عيّنة الدم للكشف عن إنزيم يُسمّى Alanine Aminotransferase (ALT)؛ وهو إنزيم يوجد في خلايا الكبد، ويعمل على تحويل الحمض الأميني ألانين إلى بيروفيت. وفي حال تسرّب هذا الإنزيم من الكبد إلى الدم نتيجة خلل في خلايا الكبد، فإنّ مستوياته في الدم سترتفع. أعدّ منشوراً لتوعية المجتمع المحلي بأهمية الفحوص الطبية الدورية في المحافظة على الصحة.

الحموض الدهنية Fatty Acids

تدخل الحموض الدهنية في تركيب معظم الليبيدات، ومنها ما يكون حُرًا. يتكوّن الحمض الدهني من مجموعة كربوكسيل (COOH)، وسلسلة هيدروكربونية.

تُصنّف الحموض الدهنية إلى نوعين، هما:

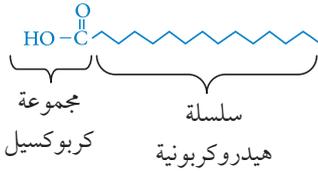
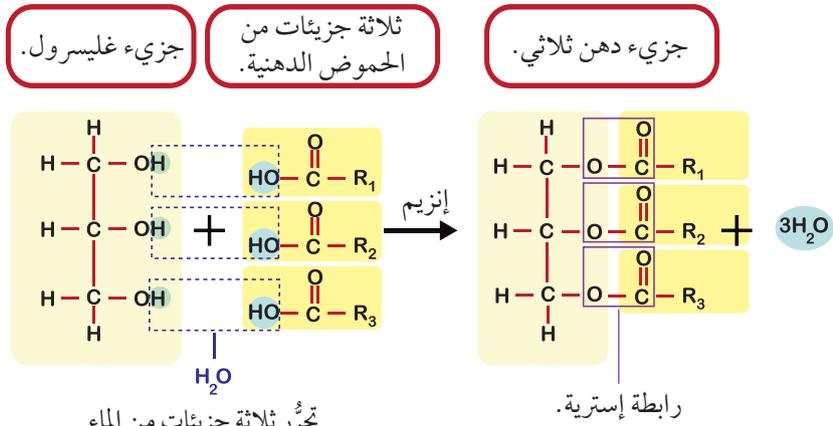
- الحموض الدهنية المُشبّعة: وفيها تكون الروابط جميعها أحادية بين ذرّات الكربون في السلسلة الهيدروكربونية، أنظر الشكل (15)، ومن أمثلتها: حمض البالميتك Palmitic Acid؛ وهو المُكوّن الرئيس لزيت النخيل.

- الحموض الدهنية غير المُشبّعة: وفيها توجد رابطة ثنائية واحدة على الأقل بين ذرّات الكربون في السلسلة الهيدروكربونية، أنظر الشكل (16)، ومن أمثلتها: حمض الأوليك Oleic Acid؛ وهو المُكوّن الرئيس لزيت الزيتون.

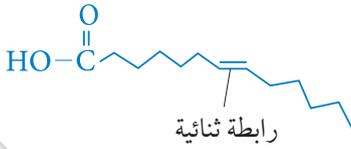
الدهون الثلاثية Triglycerides

الدهون الثلاثية Triglycerides: هي الليبيدات التي تتكوّن من اتحاد جزيء غليسول واحد مع ثلاثة جزيئات من الحموض الدهنية بروابط تساهمية إستيرية، أنظر الشكل (17).

تعتمد خصائص الدهون الثلاثية على خصائص الحموض الدهنية المُكوّنة لها؛ إذ تكون معظم الدهون الثلاثية غير المُشبّعة سائلة في درجة حرارة الغرفة، مثل معظم الزيوت النباتية، في حين تكون الدهون الثلاثية المُشبّعة صلبة في درجة حرارة الغرفة، وتُسمّى دهونًا، مثل: الزبدة، والسمن الحيواني.



الشكل (15): حمض دهني مُشبّع.



الشكل (16): حمض دهني غير مُشبّع.

الربط بعلم التصنيع الغذائي

تعمل بعض مصانع الزيوت على تحويل الزيوت السائلة إلى سمن نباتي، أو زبدة شبه صلبة، عن طريق عملية كيميائية تُسمّى هدرجة الزيوت، وذلك بإضافة الهيدروجين إلى الزيوت السائلة غير المُشبّعة؛ لتحويلها إلى زيوت مُشبّعة ذات قوام مرغوب فيه.

من الأمثلة على الدهون المُهدّجة صناعياً: السمن النباتي، والزبدة الصناعية (المارجرين)، وبعض أنواع زبدة الفول السوداني. وقد حدّرت مُنظّفات غذائية عدّة من استخدام الزيوت المُهدّجة في الغذاء؛ نظرًا إلى ما تُسببه من أمراضٍ للقلب، وتصلّبٍ للشرايين، وأوصت بضرورة قراءة بطاقة المعلومات على المواد الغذائية بعناية.



الليبيدات المُفسَّرة Phospholipids

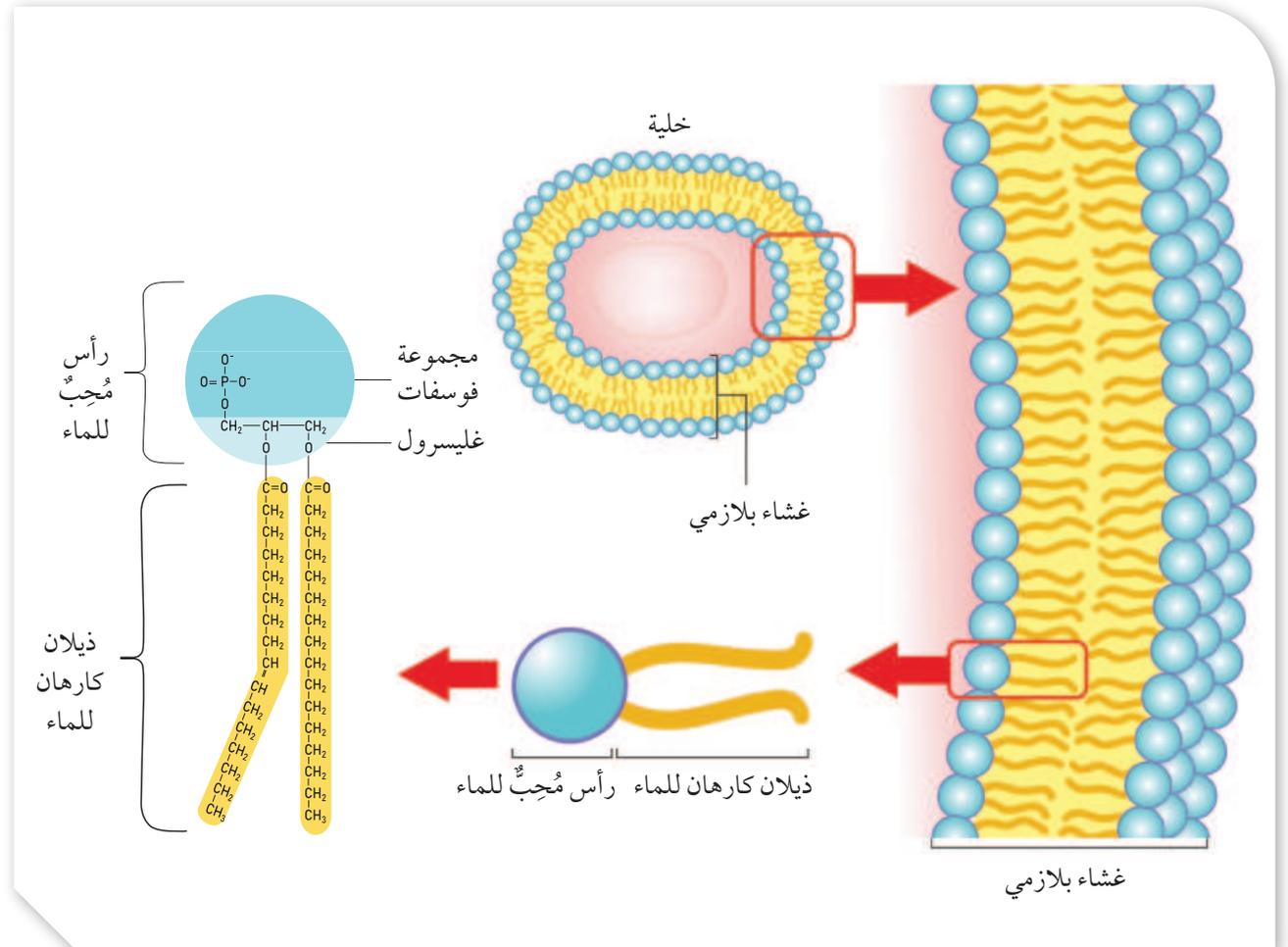
الليبيدات المُفسَّرة Phospholipids: هي الليبيدات التي تتكوّن من جزيء غليسرول مُرتبط بمجموعة فوسفات، فيتشكّل رأس قطبي مُحبّ للماء. وفي الوقت نفسه، يرتبط جزيء الغليسرول بجزيئين من الحموض الدهنية، فيتشكّل ذيلان كارهان للماء.

يحتوي الغشاء البلازمي على طبقة مُزدوجة من الليبيدات المُفسَّرة التي تترتب في صفين مُتقابلين. وفيها تُقابل الرؤوس القطبية الماء، في حين تتعد عنه الذيل الكارهة له، أنظر الشكل (18).

لا تمرّ المواد الذائبة في الماء بسهولة عبر الغشاء البلازمي؛ نظراً إلى وجود الجزء غير القطبي (الذيول الكارهة للماء) الذي يقع وسط الغشاء، ويُعوّق مرور هذه المواد؛ ما يُنظّم حركة المواد بين داخل الخلية وخارجها.

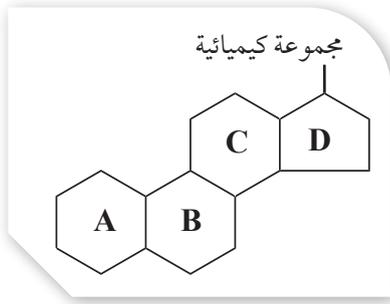
الشكل (18): توزيع الليبيدات المُفسَّرة في الغشاء البلازمي.

أفكر: لماذا تتّجه ذيول الحموض الدهنية إلى الداخل في الغشاء البلازمي؟



الستيرويدات Steroids

الستيرويدات Steroids: هي الليبيدات التي تتكوّن من أربع حلقات كربونية مُلتحمة؛ ثلاث منها سداسية، وواحدة خماسية، إضافةً إلى مجموعة كيميائية ترتبط بالحلقة الرابعة، وتختلف من ستيرويد إلى آخر، أنظر الشكل (19).



الشكل (19): ستيرويد.

✓ **أتحقّق**: أوضّح الفرق بين الدهون الثلاثية والستيرويدات من حيث التركيب.

يُعدُّ الكولسترول مثالاً على الستيرويدات، ويستطيع جسم الإنسان تصنيعه في الكبد، ويُمكن الحصول عليه من مصادر غذائية حيوانية. وهو يدخل في تركيب الأغشية البلازمية الحيوانية، والهرمونات الستيرويدية، مثل الألدوستيرون الذي يؤدي دوراً في تنظيم عمل الوحدة الأنبوبية الكلوية. وبالرغم من أهمية الكولسترول، فإنّ مستوياته العالية في الدم قد تكون لها صلة بأمراض القلب والأوعية الدموية.

الربط بعلم البحار

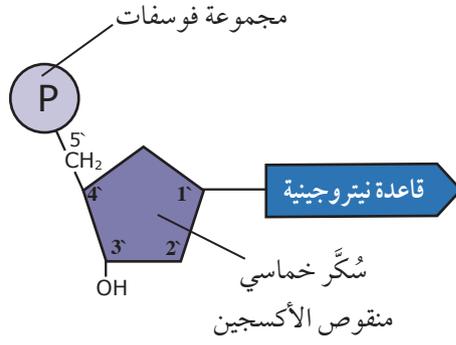


دور الليبيدات في تكثيف أسماك القرش على العيش في أعماق البحار

أودع الله تعالى خصائص عدّة في أسماك القرش التي تعيش في أعماق البحار تساعد على الطفو، منها: نسبة الليبيدات في أكبادها، وقوّة عضلاتها. وقد أشارت دراسات عديدة إلى أنّ أكباد أسماك القرش التي تعيش في أعماق البحار هي أكبر حجماً من أكباد مثيلاتها التي تعيش في المياه الضحلة، وأنّ نسبة الليبيدات في أكبادها أكثر أيضاً.

وجد العلماء أنّ نسبة الألياف العضلية في أجسام أسماك القرش هذه هي أقل من نسبتها في أجسام مثيلاتها التي تعيش في المياه الضحلة. وقد انتهت نتائج الدراسات في هذا المجال إلى أنّ نسبة الليبيدات المرتفعة تُقلّل من كثافة أجسام أسماك القرش؛ ما يُمكنها من الطفو، والحفاظ على ارتفاع مُناسب لها في الماء، من دون بذل مجهود عضلي كبير، وهو ما يُعدُّ وسيلة لتقليل استهلاك الطاقة في بيئاتها الفقيرة بالغذاء.



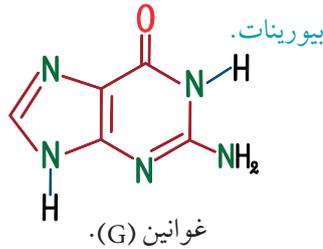
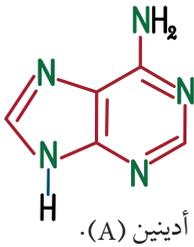


الشكل (20): تركيب نيوكليوتيد في جزيء DNA.

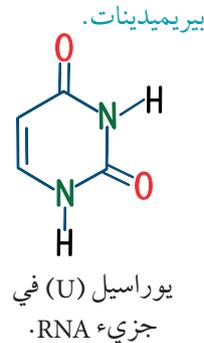
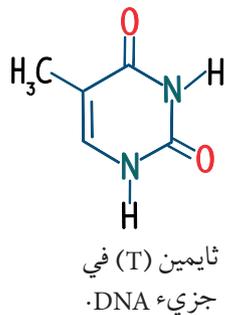
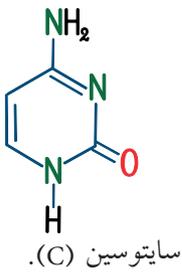
الحموض النووية Nucleic Acids

تحتوي خلايا الكائنات الحية على المادة الوراثية التي تُحدّد صفاتها، وتتكون المادة الوراثية من نوعين من الحموض النووية: حمض نووي ريبوزي منقوص الأكسجين DNA، وحمض نووي ريبوزي RNA.

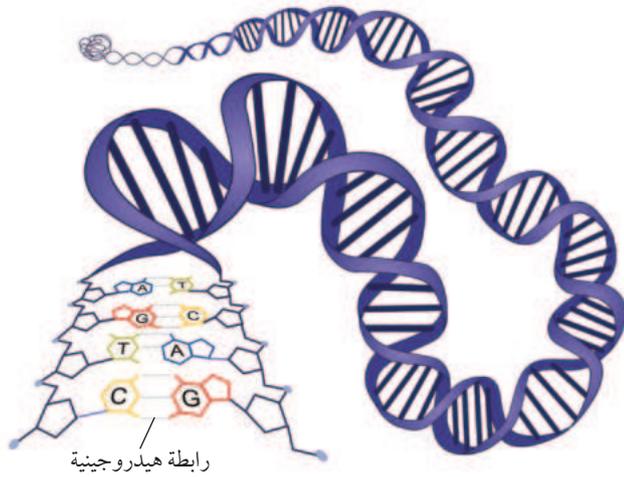
تتألف الحموض النووية من وحدات بنائية تُسمى النيوكليوتيدات Nucleotides، ويتكوّن كل نيوكليوتيد من إحدى القواعد النيتروجينية (أدينين، غوانين، ثايمين، سايتوسين، أو يوراسيل)، وسُكَّر خماسي، ومجموعة فوسفات، أنظر الشكل (20). تُصنّف القواعد النيتروجينية التي تدخل في تركيب النيوكليوتيدات إلى بيورينات Purines يتكوّن كلّ منها من حلقتين، وبيريميدينات Pyrimidines يتكوّن كلّ منها من حلقة واحدة، أنظر الشكل (21).



الشكل (21): البيورينات والبيريميدينات.

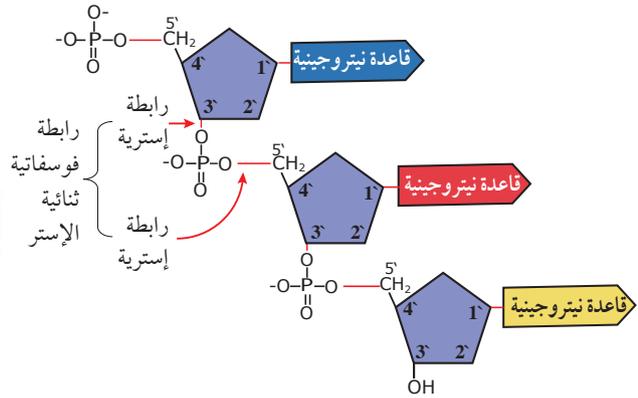


أي القواعد النيتروجينية تُعدّ من البيورينات؟ وأيها تُعدّ من البيريميدينات؟



A أدينين .
T ثايمين .
G غوانين .
C سايتوسين .

(ب)



(أ)

الشكل (22): جزيء DNA.

الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأوكسجين (Deoxyribonucleic Acid (DNA)

يحمل الحمض النووي DNA الصفات الوراثية للكائنات الحية، كما يحمل المعلومات الوراثية اللازمة لبناء البروتينات، ويعمل على نقل الصفات الوراثية من الآباء إلى الأبناء. وفي عام 1953م توصل العالمان واتسون وكريك Crick إلى بناء نموذج لجزيء DNA، ونالا جائزة نوبل في الفسيولوجيا والطب؛ تكريماً لهما على هذا الإنجاز.

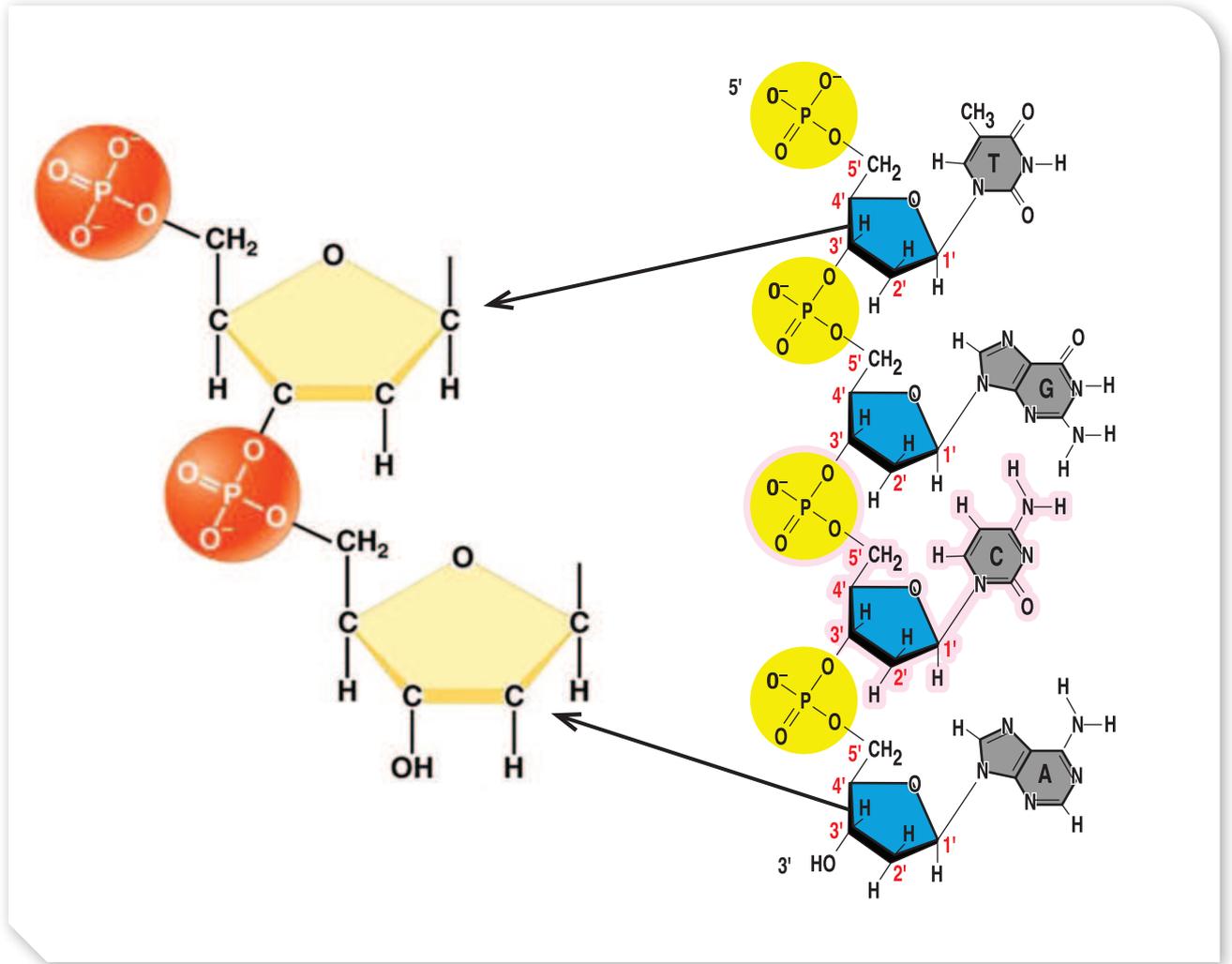
✓ **أتحقق:** أكتب تسلسل النيوكليوتيدات في سلسلة DNA المكتملة للسلسلة الآتية:

AACAGCTTG

ثم أصف تركيب جزيء DNA.

يتكوّن جزيء DNA من سلسلتين من النيوكليوتيدات، تلتفان على هيئة سُلّم حلزوني مُزدوج، حيث ترتبط النيوكليوتيدات المكوّنة للسلسلة الواحدة بعضها ببعض عن طريق **روابط فوسفاتية ثنائية الإستر Phosphodiester Bonds**، أنظر الشكل (22/أ).

ترتبط البيورينات في إحدى سلسلتي الحمض النووي DNA بالبيريميديئات المكتملة لها في السلسلة المقابلة عن طريق روابط هيدروجينية، حيث ترتبط القاعدة النيتروجينية الأدينين (A) مع الثايمين (T) برابطين هيدروجينيتين، في حين يرتبط السايتوسين (C) مع الغوانين (G) بثلاث روابط هيدروجينية، أنظر الشكل (22/ب). أما نسبة البيورينات إلى نسبة البيريميديئات في DNA فثابتة وفقاً لقاعدة تُعرف بقاعدة تشارغاف Chargaff؛ ذلك أنّ البيورين يرتبط دائماً بالبيريميدين المكتمل له



في السلسلة المُقابِلة. فمثلاً: إذا احتوت قطعة من DNA على (25%) من الأدينين، فإن نسبة الثايمين في السلسلة المُقابِلة تكون مُساوية لها.

أمّا مجموعة الفوسفات في النيوكليوتيد فتربط جزيء السُّكَّر بالآخر الذي يليه في السلسلة الواحدة من جزيء DNA. وتختلف نهايتا كل سلسلة من السلسلتين إحداهما عن الأُخرى؛ إذ تنتهي إحدى السلسلتين بمجموعة فوسفات مُرتبطة بذرّة الكربون رقم (5) في جزيء السُّكَّر، ويُرمز إلى هذه النهاية بالرمز (5')، في حين تنتهي السلسلة الأُخرى بمجموعة هيدروكسيل مُرتبطة بذرّة الكربون رقم (3) من جزيء السُّكَّر، ويُرمز إلى هذه النهاية بالرمز (3')، أنظر الشكل (23).

الشكل (23): جزء من سلسلة DNA. أُحدّد على الشكل نهايتي سلسلة DNA.

مثال 5

حلّلت باحثة قطعتي DNA، فوجدت أنّ نسبة الأدينين في القطعة الأولى هي (31%)، وأنّ نسبة السائتوسين في القطعة الثانية هي (27%). أيّ القطعتين تحوي نسبة أعلى من الثايمين؟

المعطيات:

$$27\% \times 2 = 54\%$$

القطعة الأولى من DNA تحوي ما نسبته (31%) من الأدينين، والقطعة الثانية من DNA تحوي ما نسبته

$$100\% - 54\% = 46\%$$

ومن ثمّ فإنّ نسبة الثايمين والأدينين معاً هي: (46%).

لإيجاد نسبة الثايمين، أقسم الناتج على 2:

$$46\% / 2 = 23\%$$

وبذلك فإنّ نسبة الثايمين هي: (23%).

ومن ثمّ فإنّ نسبة الثايمين في القطعة الأولى أعلى منها في القطعة الثانية.

من (31%) من الأدينين، والقطعة الثانية من DNA تحوي ما نسبته (27%) من السائتوسين.

المطلوب:

تحديد قطعة DNA التي فيها نسبة أعلى من الثايمين.

الحل:

نسبة الثايمين في DNA تساوي نسبة الأدينين؛ لذا، فإنّ نسبة الثايمين في القطعة الأولى هي (31%) ولإيجاد

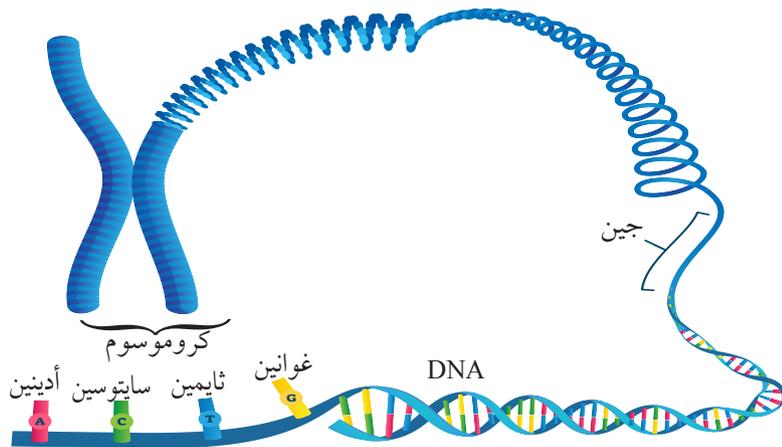
الجين Gene

يُمثّل الجين وحدة المعلومات الوراثية، وهو جزء من DNA يحتوي على تسلسل مُحدّد من النيوكليوتيدات، أنظر الشكل (24). تختلف الكروموسومات في ما بينها من حيث عدد الجينات؛ فقد يحمل بعضها آلاف الجينات، في حين يحمل بعضُ آخرُ جيناتٍ يقل عددها عن ألفٍ.

✓ **أتحقّق:**

ما المقصود بالجين؟

الشكل (24): الجين في المادة الوراثية.



الحمض النووي الرايبوزي (RNA) Ribonucleic Acid

يؤدي **الحمض النووي الرايبوزي (RNA)** دورًا مهمًا في عملية تصنيع البروتينات، ويتكوّن RNA غالبًا من سلسلة واحدة من النيوكليوتيدات، ولكنّ بعض الفيروسات تحتوي على RNA يتكون من سلسلتين. ويختلف RNA عن الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين (DNA) في أوجه عدّة، أنظر الجدول (3).

✓ **أتحقّق:** أقرّن بين DNA

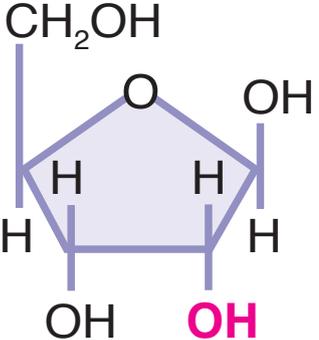
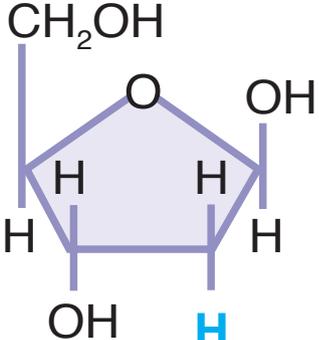
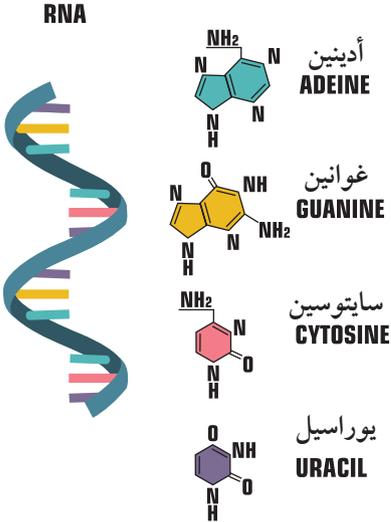
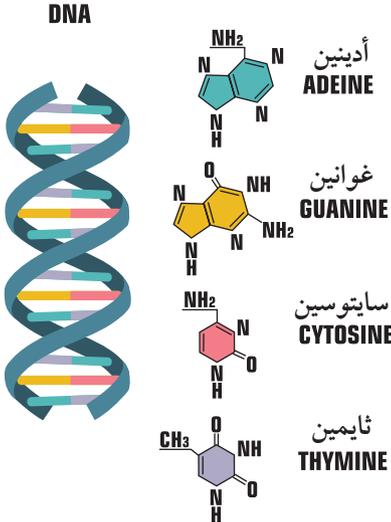
و RNA من حيث:

أ. وظيفة كلّ منهما.

ب. القواعد النيتروجينية الداخلة

في تركيب كلّ منهما.

الجدول (3): مقارنة بين DNA و RNA.

RNA	DNA	وجه المقارنة
 <p>السكّر الرايبوزي</p>	 <p>السكّر الرايبوزي منقوص الأكسجين</p>	تركيب السكّر الرايبوزي في كلّ منهما
<p>RNA</p>  <p>أدينين ADEINE</p> <p>غوانين GUANINE</p> <p>سايٲوسين CYTOSINE</p> <p>يوراسيل URACIL</p>	<p>DNA</p>  <p>أدينين ADEINE</p> <p>غوانين GUANINE</p> <p>سايٲوسين CYTOSINE</p> <p>ثايمين THYMINE</p>	القواعد النيتروجينية المكوّنة لكلّ منهما

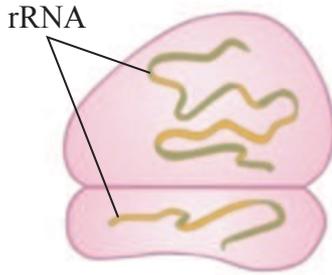
أنواع الحمض النووي الريبوزي Types of Ribonucleic Acid

للحمض النووي الريبوزي أنواع عدّة، يؤدي كلٌّ منها دورًا مختلفًا في عملية تصنيع البروتين التي تحدث في السيتوسول، وتحديدًا في الريبوسومات، أنظر المُخطّط الآتي:

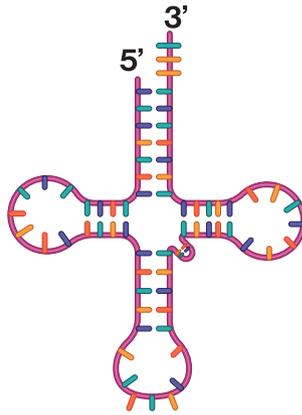
✓ **أتحقّق:** ما أنواع RNA؟

أنواع الحمض النووي الريبوزي

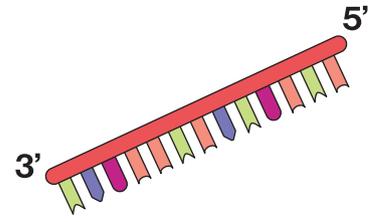
الحمض النووي الريبوزي الريبوسومي
Ribosomal RNA (rRNA)



الحمض النووي الريبوزي الناقل
Transfer RNA (tRNA)



الحمض النووي الريبوزي الرسول
Messenger RNA (mRNA)



يُصنع rRNA في النُوِيَّة ليدخل في تكوين الوحدات البنائية التي يتألّف منها الريبوسوم. تنتقل الوحدات البنائية إلى السيتوبلازم لتؤدي دورها في ترجمة التعليمات الوراثية وتصنيع البروتين، أنظر الشكل (26).

ينقل tRNA الحموض الأمينية الموجودة في السيتوبلازم إلى الريبوسوم، وفق تسلسل النيوكليوتيدات في جزيء mRNA؛ ما يؤدي إلى ارتباط الحموض الأمينية معًا لتصنيع البروتينات المطلوبة، في ما يُعرّف بعملية الترجمة.

ينقل التعليمات الوراثية التي تُحدّد نوع الحموض الأمينية المُكوّنة للبروتين المطلوب، وترتيبها من النواة إلى السيتوبلازم، عن طريق نسخ سلسلة DNA؛ ما يؤدي إلى إنتاج سلسلة mRNA مُكَمَّلة لسلسلة DNA الأصلية، أنظر الشكل (25).

ACCATCGGCATGACGAC

تسلسل النيوكليوتيدات في
سلسلة DNA المُراد نسخها.

الشكل (25): عملية النسخ.



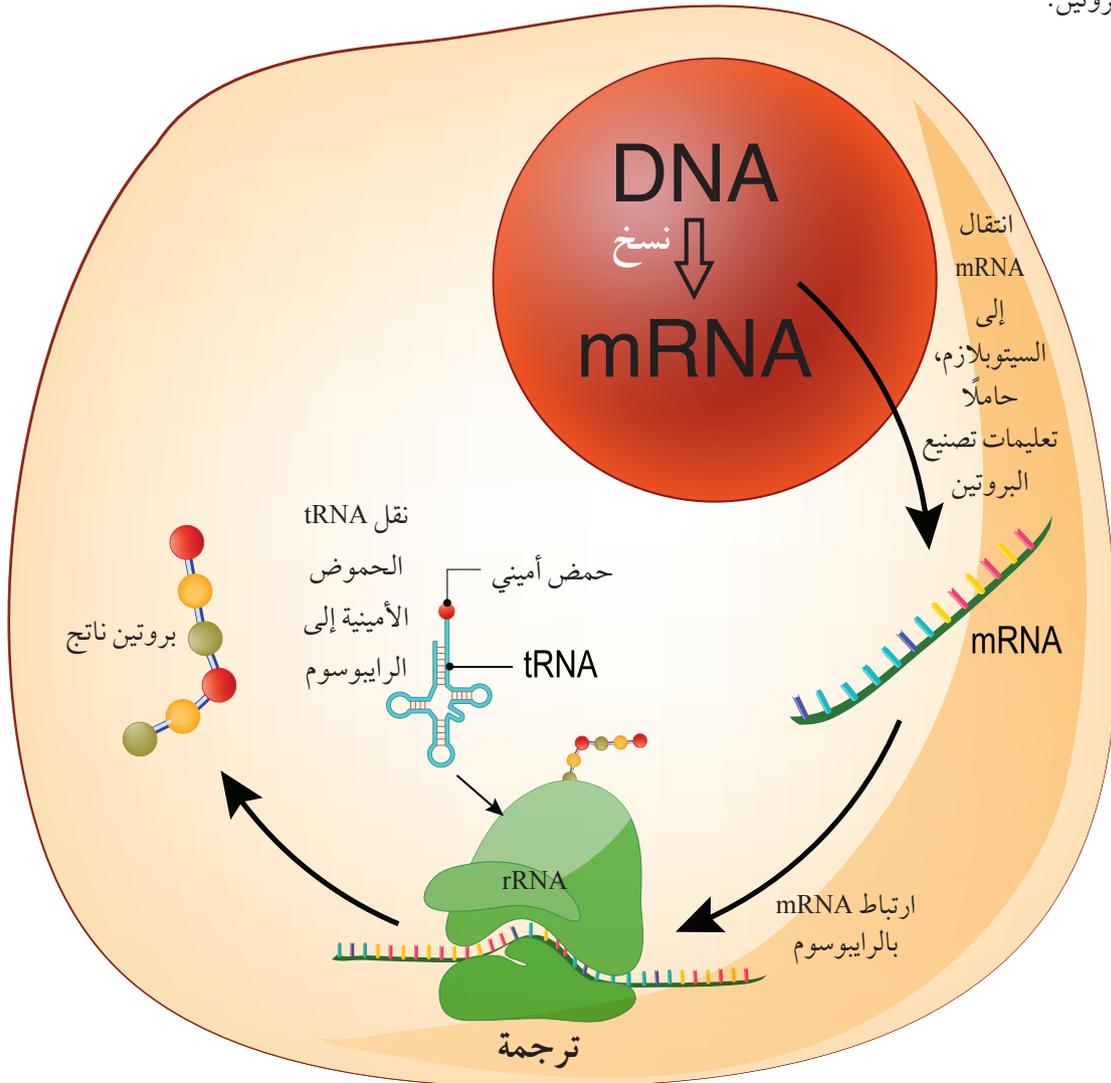
UGGUA?????G??G

تسلسل النيوكليوتيدات في سلسلة
mRNA الناتجة من عملية النسخ.

أكتب رمز النيوكليوتيد المناسب
مكان كل علامة استفهام في سلسلة
mRNA الناتجة من عملية النسخ.

يُبيّن الشكل (26) مراحل تصنيع البروتينات بصورة مختصرة، وسأتعرف
لاحقًا مراحل تكوينها مُفصّلًا.

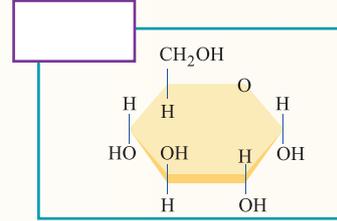
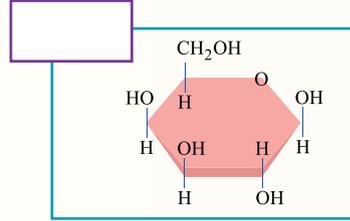
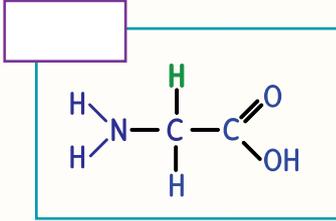
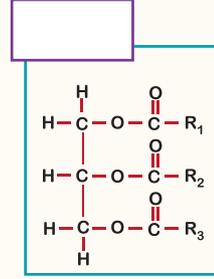
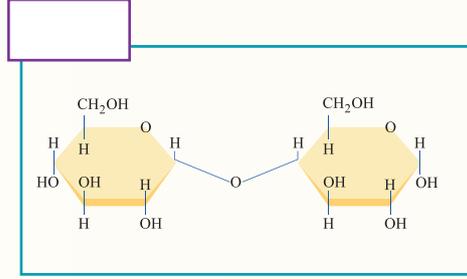
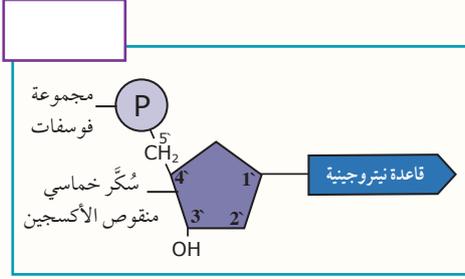
الشكل (26): مراحل تصنيع البروتين.
أحدّد الحموض النووية التي لها دور
في تصنيع البروتين.



مراجعة الدرس

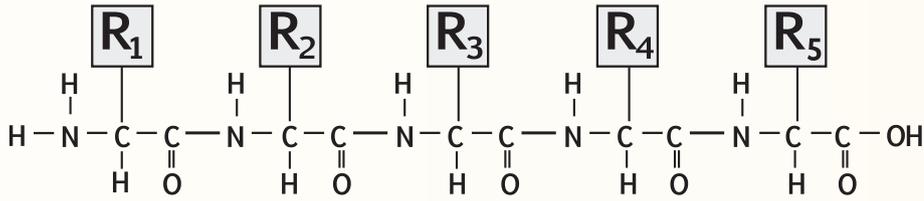
1. الفكرة الرئيسة: أذكر الأنواع الرئيسة للمركبات العضوية الحيوية، وأحدّد دورًا واحدًا لكل منها في أجسام الكائنات الحيّة.

2. أكتب في الصندوق المجاور لكل صيغة بنائية ممّا يلي اسم المركّب العضوي الذي تُمثّله، باستخدام المفاهيم الآتية: سُكَّر ثنائي، حمض أميني، دهن ثلاثي، غلاكتوز، نيوكليوتيد، غلوكوز.

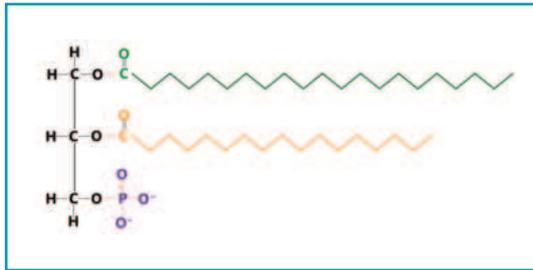


3. أذكر اثنين من أوجه الاختلاف بين الأميلوبكتين والغلايكوجين.

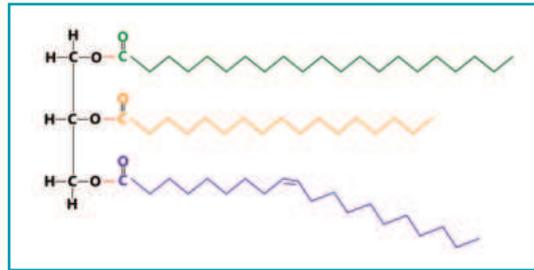
4. أحدّد عدد الحموض الأمينية وعدد الروابط الببتيدية التي توجد في سلسلة عديد الببتيد المُبيّنة في الشكل الآتي.



5. أصنّف المُركّبين العضويين الآتين إلى ليبيد مُفسّر، ودهن ثلاثي، وأفسّر إجابتي.



(ب)



(أ)

6. أُجيب عمّا يأتي:

أ. فيم يختلف التركيب الرباعي للبروتين عن التراكيب في المستويات الأخرى من حيث عدد سلاسل عديد الببتيد المُكوّنة لكل منها؟

ب. أيُّ مُكوّنات الستيرويد يُسبّب اختلاف ستيرويد عن آخر؟

7. أفسّر أهمية وجود الليبيدات في كبد سمكة قرش تعيش في أعماق البحار.

8. هل يُمكن لشخص فصيلة دمه A^- أن يتبرّع بخلايا دم حمراء لمريض فصيلة دمه B^- ؟ أبرّر إجابتي.

9. أحدّد اسم الرابطة التساهمية التي تربط بين كلِّ ممّا يأتي:

أ. الحموض الأمينية.

ب. الحموض الدهنية والجليسول.

10. ما نوع الروابط بين سلسلتي DNA؟

11. أفرار بين نهايتي سلسلة DNA .

12. يُمثّل الجدول الآتي بعض النتائج التي تُبيّن نسب كلِّ من القواعد النيتروجينية: (A)، و (T)، و (C)، و (G) التي

جمعها العالم إروين تشارغاف Erwin Chargaff عام 1949م في أثناء دراسته المادة الوراثية:

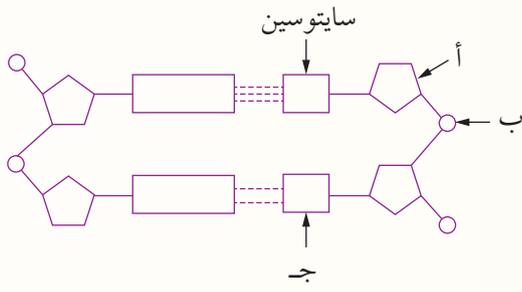
مصدر DNA	أدينين % (A)	ثايمين % (T)	غوانين % (G)	سايروسين % (C)
بكتيريا كروية	29.8	31.6	20.5	18.1
الخميرة	31.3	32.9	18.7	17.1
الإنسان	30.9	29.4	19.9	19.8
بكتيريا <i>E. coli</i>	24.7	23.6	26.0	25.7

أ. أحلّل البيانات: أيُّ الكائنات الحية يُعدُّ مصدرًا غنيًا بالأدينين؟

ب. أحسب: إذا كانت نسبة الثايمين في أحد الأنواع %32.9، فما نسبة السايروسين؟

ج. أستنتج: أذكر استنتاجين من الجدول.

13. لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أٌحددها:



1. اعتمادًا على الشكل المجاور الذي يمثل قطعة من

جزء DNA، فإن ما ترمز إليه الحروف (أ، ب، ج) على الترتيب، هو:

أ . سكر الرايبوز منقوص الأكسجين، مجموعة فوسفات، ثايمين.

ب. سكر الرايبوز منقوص الأكسجين، مجموعة فوسفات، غوانين.

ج. مجموعة فوسفات، سكر الرايبوز منقوص الأكسجين، غوانين.

د . مجموعة فوسفات، سكر الرايبوز منقوص الأكسجين، ثايمين.

2. الوحدات الأساسية المكوّنة للبروتينات والروابط التساهمية التي تربط بينها على التوالي هي:

أ . الحموض الدهنية، روابط ببتيدية. ب. الحموض الأمينية، روابط استيرية.

ج. السكريات الأحادية، روابط غلايكوسيدية. د . الحموض الأمينية، روابط ببتيدية.

3. جميع العبارات الآتية المتعلقة بالدهون الثلاثية المشبعة صحيحة ما عدا:

أ . من الأمثلة عليها: الزبدة، والسمن الحيواني.

ب. تحتوي روابط ثنائية متعددة في السلاسل الهيدروكربونية المكوّنة لحموضها الدهنية.

ج. صلبة في درجة حرارة الغرفة.

د . جميع الروابط بين ذرات الكربون في السلاسل الهيدروكربونية المكوّنة لحموضها الدهنية أحادية.

4. أيّ المواد الآتية ينتج عن تفاعلها مع ثاني أكسيد الكربون تعكّر ماء الجير؟

أ . المادة العضوية. ب. محلول هيدروكسيد الكالسيوم.

ج. أكسيد النحاس. د . الماء.

5. عدد جزيئات الماء المنزوعة عند بناء سلسلة عديد ببتيد تحتوي على 72 حمضًا أمينيًا، هو:

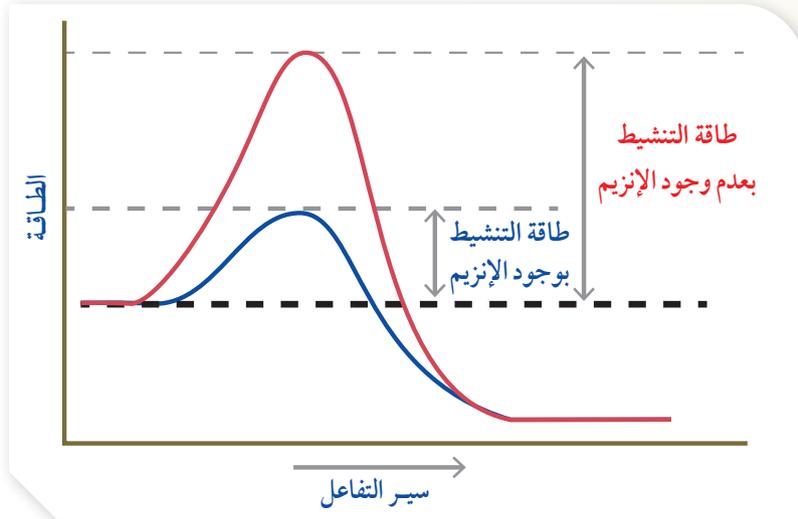
أ . 72 ب. 69 ج. 71 د. 73

Enzymes الإنزيمات

لاحظ العالم إدوارد بوخنر Buchner عند إضافته مُستخلَصًا من خلايا الخميرة إلى سُكَّر السُّكروز تحطَّم هذا السُّكَّر، وإنتاج كحول وغاز ثاني أكسيد الكربون. وقد أُطلق على المواد المُستخلَصة من الخلايا اسم الإنزيمات Enzymes، وهي تعني "داخل الخميرة". وقد نال هذا العالم جائزة نوبل في الكيمياء عام 1907م بعد هذا الاكتشاف.

وجد العلماء أنّ معظم التفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل أجسام الكائنات الحيّة تحتاج إلى **طاقة تنشيط** Activation Energy عالية؛ وهي الطاقة اللازمة لبدء التفاعل الكيميائي، وقد تبين لهم أنّ الإنزيمات تُسرِّع بعض التفاعلات الكيميائية عن طريق تقليل طاقة التنشيط، أنظر الشكل (27).

✓ **أنتحقّق:** ما المقصود بطاقة التنشيط؟



الشكل (27): تقليل طاقة التنشيط بوجود الإنزيم.

الفكرة الرئيسة:

للإنزيمات دور مهم في تحفيز التفاعلات الكيميائية وتسريعها، ولجزء حفظ الطاقة ATP أيضًا دور في بعض التفاعلات التي تُحفِّزها الإنزيمات.

نتائج التعلم:

- أوضّح دور الإنزيمات في التفاعلات الكيميائية في الخلية.
- أستقصي بعض العوامل المؤثرة في نشاط الإنزيم.
- أوضّح دور جزيئات حفظ الطاقة ATP في الخلية.

المفاهيم والمصطلحات:

Activation Energy	طاقة التنشيط
Active Site	الموقع النشط
Enzyme- Substrate Complex	مُعقّد الإنزيم - المادة المُتفاعلة
Coenzyme	مُرَافِق الإنزيم

الربط بعلم التصنيع

مساحيق الغسيل الحيوية Biological Washing Powders

استطاع الإنسان صناعة مساحيق غسيل حيوية تحتوي على إنزيمات تُحلّل المواد الموجودة في بقع الملابس مثلما تهضم الإنزيمات الهاضمة البروتينات، وذلك اعتمادًا على خصائص الإنزيمات؛ إذ تُحلّل الإنزيمات الموجودة في مسحوق الغسيل البقع؛ ما يؤدي إلى تنظيف الملابس. تعمل هذه المساحيق في درجات حرارة منخفضة؛ ما يُعدُّ وسيلة من وسائل توفير الطاقة.

آلية عمل الإنزيم Mechanism of Enzyme Action

درستُ سابقاً أنَّ معظم الإنزيمات بروتينات كروية الشكل، وأنَّ الإنزيمات عامَّة تُحَفِّز التفاعلات الكيميائية من دون أن تُستهلكَ فيها.

يوجد للإنزيم **موقع نشط** Active Site في صورة تجويف يتكوَّن من حموض أمينية مُعيَّنة، ويعمل قالباً ترتبط به المادة المُتفاعلة Substrate التي يُؤثِّر فيها الإنزيم، أنظر الشكل (28)، علماً بأنَّه قد يوجد للإنزيم أكثر من موقع نشط.

ترتبط المادة المُتفاعلة بالموقع النشط للإنزيم؛ فيتشكَّل **مُعقَّد الإنزيم - المادة المُتفاعلة** Enzyme - Substrate Complex.

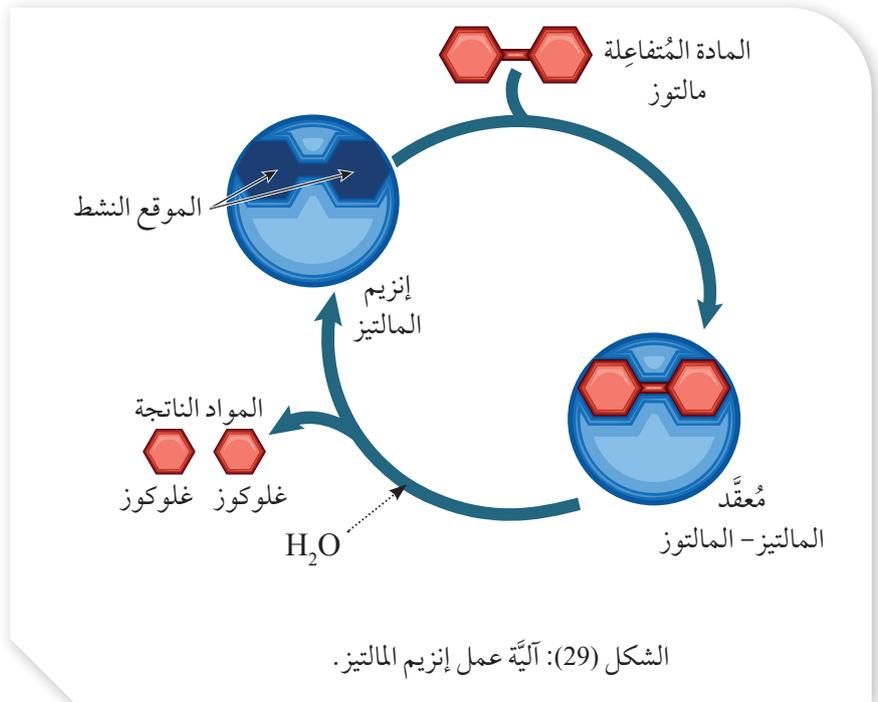
من الأمثلة على عمل الإنزيمات: إنزيم تصنيع الغلايكوجين Glycogen Synthase الذي يعمل على ربط الوحدات البنائية (الغلوكوز) لتكوين الغلايكوجين، وإنزيم المالتيز Maltase الذي يعمل على تسريع تفكُّك المالتوز إلى جزيئي غلوكوز، أنظر الشكل (29).



الشكل (28): الموقع النشط للإنزيم.

الربط بتكنولوجيا النانو

استخدام الإنزيمات المُستخلصة من الفواكه الاستوائية في صناعة الخلايا الشمسية تتطلب صناعة بعض الشرائح الرقيقة المُستخدمة في الخلايا الشمسية توافر درجات حرارة مرتفعة، ومبالغ مالية كثيرة. ولتقليل درجات الحرارة اللازمة لذلك، طوَّر باحثون تقنية عضوية تتضمَّن صناعة شرائح نانوية رقيقة من مادة أكسيد التيتانيوم، مستفيدين في ذلك من خصائص الإنزيمات؛ إذ تمكَّنوا من استخلاص إنزيم البابين من ثمار فاكهة البابايا الاستوائية، ثم استعملوه مع أكسيد التيتانيوم لإنتاج هذه الشرائح ذات المسامية الكبيرة؛ بُعِيَّة استخدامها في صناعة الخلايا الشمسية.

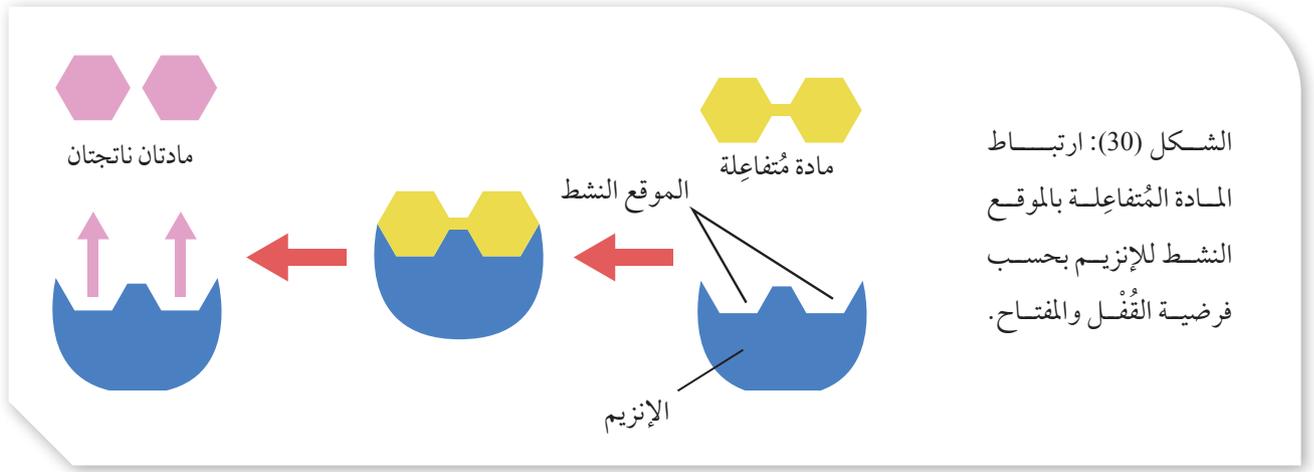


الشكل (29): آلية عمل إنزيم المالتيز.

تمثِّل آلية عمل الإنزيم بالمعادلة الآتية:



✓ **أتحقَّق:** ما أهمية الموقع النشط؟



الشكل (30): ارتباط المادة المُتفاعلة بالموقع النشط للإنزيم بحسب فرضية القفل والمفتاح.

الفرضيات التي تُفسّر ارتباط الإنزيم بالمادة التي يُؤثر فيها

Enzyme- Substrate Binding Hypothesis

وضع العلماء فرضيتين لتفسير عملية ارتباط المادة المُتفاعلة بالموقع النشط للإنزيم، هما: فرضية القفل والمفتاح Lock and Key Hypothesis، وفرضية التلاؤم المُستحث Induced Fit Hypothesis.

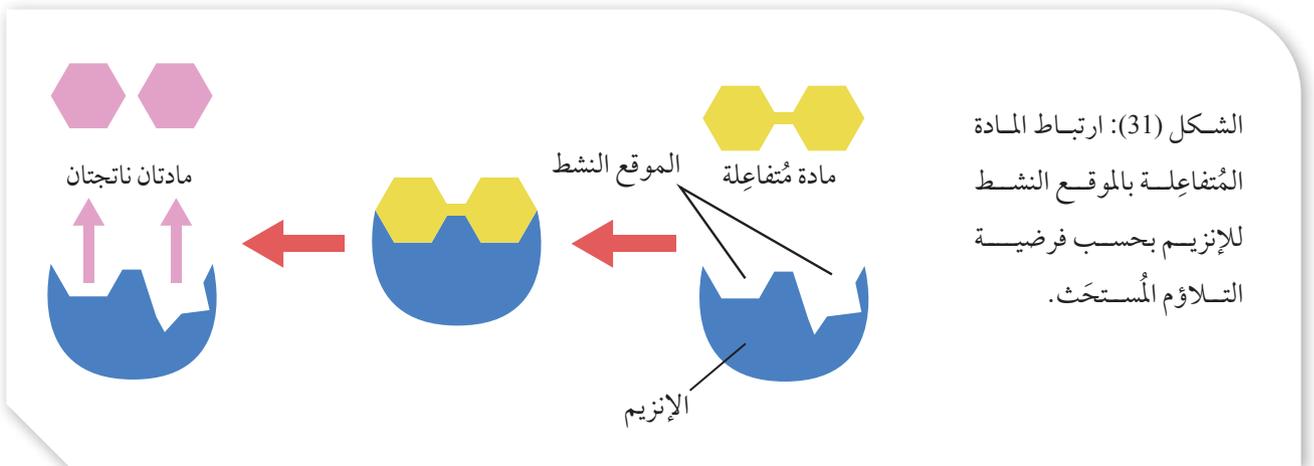
فرضية القفل والمفتاح Lock and Key Hypothesis

تقوم هذه الفرضية على أنّ شكل المادة المُتفاعلة يتوافق مع شكل الموقع النشط للإنزيم؛ لذا ترتبط المادة المُتفاعلة بالموقع النشط ارتباطاً كاملاً كما تتداخل مُسنّات المفتاح بالتجاويف المُتوافقة مع شكلها في القفل، أنظر الشكل (30).

فرضية التلاؤم المُستحث Induced Fit Hypothesis

تقوم هذه الفرضية على أنّ شكل الموقع النشط للإنزيم يتغيّر تغييراً بسيطاً ومؤقتاً عند ارتباط المادة المُتفاعلة به؛ لكي يُصبح مُناسباً لشكلها، أنظر الشكل (31).

✓ **أتحقّق:** أيّ الفرضيتين السابقتين تُفسّر إمكانية ارتباط إنزيم له موقع نشط واحد بمادة مُتفاعلة في تفاعل ما، وبمادة مُتفاعلة أخرى في تفاعل آخر؟



الشكل (31): ارتباط المادة المُتفاعلة بالموقع النشط للإنزيم بحسب فرضية التلاؤم المُستحث.

العوامل المؤثرة في نشاط الإنزيم Factors Affecting Enzyme Activity

تؤثر بعض العوامل في نشاط الإنزيمات، مثل: درجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني pH، وتركيز الإنزيم، وتركيز المادة المتفاعلة.

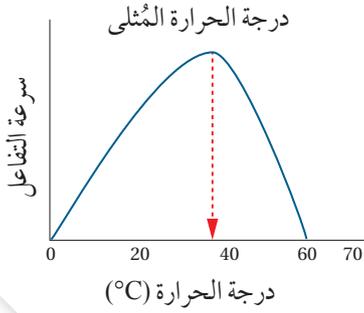
درجة الحرارة Temperature

يتأثر نشاط الإنزيم بدرجة حرارة الوسط الذي يحدث فيه التفاعل؛ فلكل إنزيم درجة حرارة مثلى تكون عندها سرعة التفاعل الذي يُحفّزه الإنزيم أعلى ما يُمكن. وعند ارتفاع درجة حرارة الوسط أكثر من درجة الحرارة المثلى، فإن شكل الموقع النشط يتغير، ويصبح غير مُتوافق مع المادة المتفاعلة التي يعمل عليها، فيقل نشاط الإنزيم تدريجياً باستمرار الارتفاع في درجة الحرارة حتى يفقد قدرته على العمل.

تعمل معظم الإنزيمات في جسم الإنسان بصورة مثلى عند درجات الحرارة التي تتراوح بين (35°C) و(40°C)؛ أي درجات الحرارة القريبة من درجة حرارة جسم الإنسان (37°C)، أنظر الشكل (32).

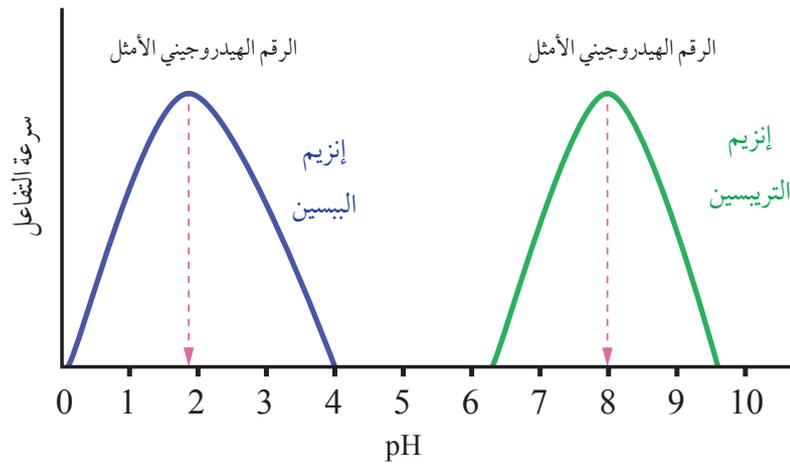
الرقم الهيدروجيني pH

يتأثر نشاط الإنزيم بالرقم الهيدروجيني pH للوسط الذي يحدث فيه التفاعل؛ فلكل إنزيم رقم هيدروجيني أمثل تكون عنده سرعة التفاعل الذي يُحفّزه الإنزيم أعلى ما يُمكن. فإذا تغير الرقم الهيدروجيني pH للوسط، فإن شكل الموقع النشط للإنزيم يتغير. أما الرقم الهيدروجيني الأمثل لعمل معظم الإنزيمات في جسم الإنسان فهو (pH = 6.0 - 8.0). فمثلاً: يعمل إنزيم التربيسين في الأمعاء عند الرقم الهيدروجيني (pH = 8.0) تقريباً. ويُعدُّ إنزيم الببسين (إنزيم هضم في المعدة) من الاستثناءات؛ إذ يعمل بأقصى فاعلية عند الرقم الهيدروجيني (pH = 1.5 - 2.0) تقريباً، أنظر الشكل (33).



الشكل (32): أثر درجة الحرارة في سرعة تفاعل يُحفّزه إنزيم.

أنتسب تأثر سرعة تفاعل يُحفّزه إنزيم بزيادة درجة الحرارة.

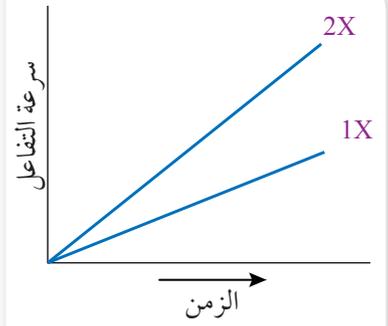


الشكل (33): أثر الرقم الهيدروجيني في سرعة تفاعلين يُحفّز أحدهما إنزيم الببسين، ويُحفّز الآخر إنزيم التربيسين.

تركيز الإنزيم وتركيز المادة المتفاعلة

Enzyme Concentration and Substrate Concentration

كلما زاد تركيز الإنزيم زادت سرعة التفاعل الكيميائي؛ إذ تتوفر أعداد أكبر من المواقع النشطة للارتباط بالمادة المتفاعلة. فعلى سبيل المثال، إذا قارنت سرعة التفاعل نفسه في حالتين مختلفتين، بحيث أستخدم في الحالة الأولى تركيز X من الإنزيم، وأضعف في الحالة الثانية تركيز الإنزيم ليصبح $2X$ ، مع إبقاء جميع العوامل الأخرى ثابتة؛ فإنني سألاحظ زيادة سرعة التفاعل في الحالة الثانية؛ إذ ستكون مثلي سرعة التفاعل في الحالة الأولى. أنظر الشكل (34).



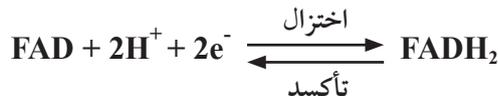
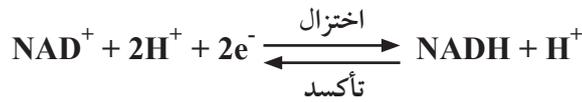
الشكل (34): سرعة التفاعل الكيميائي بوجود تراكيز مختلفة من الإنزيم.

كلما زاد تركيز المادة المتفاعلة زادت سرعة التفاعل الكيميائي، وعندما تُشغَل جميع المواقع النشطة المتوفرة في جزيئات الإنزيم بجزيئات المادة المتفاعلة لا تحدث أي زيادة في سرعة التفاعل (تثبت سرعة التفاعل) بصرف النظر عن مقدار الزيادة في تركيز المادة المتفاعلة، أنظر الشكل (35).

العوامل المساعدة ومُرافقات الإنزيمات Cofactors and Coenzymes

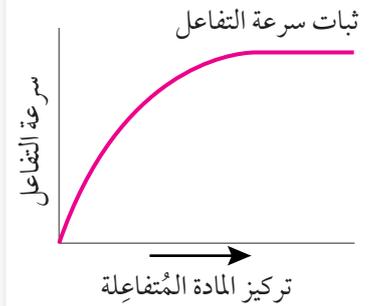
يتطلب عمل الإنزيمات في بعض التفاعلات توافر عوامل عديدة، تُسمى العوامل المساعدة Cofactors. وفي حال كانت العوامل المساعدة للإنزيمات مواد عضوية، فإنها تُسمى مُرافقات الإنزيمات Coenzymes.

من الأمثلة على مُرافقات الإنزيم: جزيئات Nicotinamide Adenine (NAD^+) Dinucleotide، وجزيئات Flavin Adenine Dinucleotide (FAD) التي تعمل بوصفها نواقل للإلكترونات في العديد من تفاعلات الأكسدة والاختزال في الخلية؛ إذ إنها تستقبل الإلكترونات ذات الطاقة الكبيرة مع البروتونات، فتُختزل إلى $NADH$ و $FADH_2$ ، ثم تتأكسد بفقدانها للإلكترونات إلى جزيئات أخرى في سلسلة نقل الإلكترون في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا في أثناء عملية التنفس الخلوي، أنظر المعادلتين الآتيتين.



من الأمثلة الأخرى على مُرافقات الإنزيم: جزيء $NADP^+$ Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate؛ وهو ناقل إلكترونات يُستخدم في تفاعلات البناء، مثل عملية البناء الضوئي.

✓ **أتحقَّق:** أذكر سبباً لثبات سرعة تفاعل كيميائي يُحفَّزه إنزيم ما.



الشكل (35): العلاقة بين تركيز المادة المتفاعلة وسرعة التفاعل.

✓ **أتحقَّق:** أكتب معادلة اختزال جزيء NAD^+ إلى $NADH$.

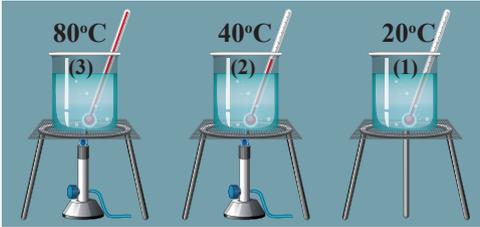
أثر الحرارة في نشاط إنزيم التربيسين

يُحفّز إنزيم التربيسين تحلّل Hydrolysis بروتين الحليب كازيين Casein الذي يُعطي الحليب لونه الأبيض، فيتحوّل إلى عديد بيتيد عديم اللون؛ ما يؤدي إلى اختفاء اللون الأبيض للحليب.

المواد والأدوات: 15 mL من إنزيم التربيسين، 15 mL من الحليب السائل، (3) أنابيب اختبار، مقياس درجة حرارة عدد (3)، حامل أنابيب اختبار، ماء من الصنبور، قلم تخطيط، (3) كؤوس سعة كلٌّ منها (250) mL، جليد، مخبران مُدرّجان، مصدرا حرارة.

إرشادات السلامة: استعمال الماء الساخن ومصدر الحرارة بحذر.

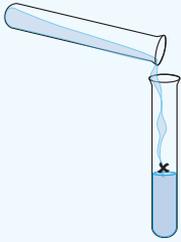
خطوات العمل:



1 أرّفم أنابيب الاختبار بالأرقام (1-3)، ثم أضع علامة X عليها، ثم أضع كل أنبوب على حامل أنابيب الاختبار.

2 أقيس: أضع في كل أنبوب اختبار 5 mL من الحليب.

3 أضع في الكأس الأولى ماءً درجة حرارته 20°C، ثم أضع في الكأس الثانية ماءً درجة حرارته 40°C، ثم أضع في الكأس الثالثة ماءً درجة حرارته 80°C، وأحرص على أن تظلّ درجة الحرارة في جميع الكؤوس ثابتة، وأستخدم التسخين، أو الجليد إذا لزم ذلك.



4 أضع أنبوب الاختبار الذي يحمل الرقم (1) في الكأس الأولى، ثم أضع أنبوب الاختبار الذي يحمل الرقم (2) في الكأس الثانية، ثم أضع أنبوب الاختبار الذي يحمل الرقم (3) في الكأس الثالثة، مع مراعاة ألا تكون العلامة X ظاهرة لي؛ أي أن تكون على الجهة الأخرى غير المُواجهة لنظري.

5 أجرب: أضيف إلى كل أنبوب 5 mL من إنزيم التربيسين.

6 ألاحظ بقاء لون الحليب أو اختفائه، ثم أحسبُ الوقت المُستغرق لظهور علامة X على أنابيب الاختبار في حال اختفاء لون الحليب، وأدوّن ملاحظاتي.

التحليل والاستنتاج:

1. أصنّف الأنابيب إلى أنابيب ظهرت عليها علامة X، وأنابيب لم تظهر عليها هذه العلامة.
2. أستنتج درجة الحرارة المُثلى لعمل إنزيم التربيسين.
3. أفسّر سبب عدم ظهور علامة X على أحد أنابيب الاختبار.
4. أتواصل: أناقش زملائي/ زميلاتي في النتائج التي توصلتُ إليها.

جزء حفظ الطاقة

Energy Storing Molecule ATP

تحتوي الخلايا على جزيء عضوي يُسمى أدينوسين ثلاثي الفوسفات (Adenosine Triphosphate (ATP)، وهو يُخزّن الطاقة اللازمة لمعظم العمليات التي تحدث داخل خلايا الكائنات الحيّة.

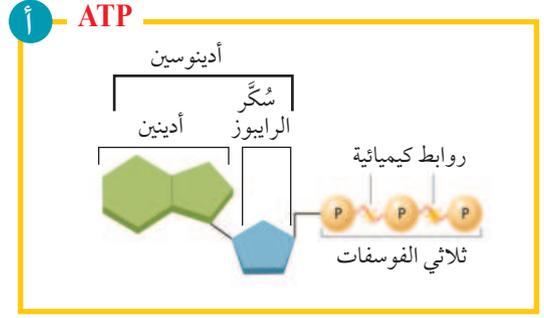
يتكوّن جزيء حفظ الطاقة ATP من القاعدة النيتروجينية أدينين Adenine، وسكّر الرايبوز، وثلاث مجموعات من الفوسفات التي تُخزّن الروابط بينها طاقة كيميائية، أنظر الشكل (36/أ).

يُنتج جزيء حفظ الطاقة ATP بفعل إنزيم إنتاج ATP ATP Synthase، عن طريق إضافة مجموعة فوسفات إلى جزيء أدينوسين ثنائي الفوسفات ADP في عملية تُسمى الفسفرة، وبذلك تُخزّن الطاقة الكيميائية في الرابطة بين مجموعتي الفوسفات. يُحفّز عملية الفسفرة إنزيم إنتاج ATP في عمليتي التنفّس الخلوي والبناء الضوئي. وعند تحطيم رابطة بين مجموعتي الفوسفات الثالثة والثانية بفعل إنزيم ATPase تتحرّر الطاقة المُخترَنة فيها، فينتج جزيء أدينوسين ثنائي الفوسفات ADP ومجموعة فوسفات حرّة، أنظر الشكل (36/ب).

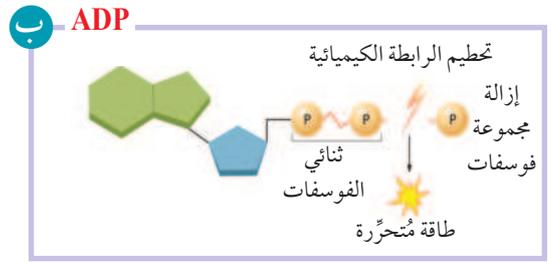
أما عند تحطيم الرابطة بين مجموعتي الفوسفات الثانية والأولى، فتحرّر الطاقة المُخترَنة فيها، وينتج جزيء أدينوسين أحادي الفوسفات AMP ومجموعة فوسفات حرّة، أنظر الشكل (36/ج).

✓ **أتحقّق:** كم مجموعة فوسفات تلزم لتحويل جزيء

AMP إلى جزيء ATP؟



تَحطيم (إنزيم ATPase)
إنتاج (فسفرة) (إنزيم إنتاج ATP)



تَحطيم
إنتاج (فسفرة)



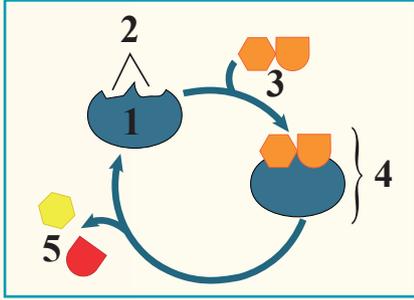
الشكل (36): جزيء حفظ الطاقة ATP.

أفكر: ممّ يتكوّن الأدينوسين؟

مراجعة الدرس

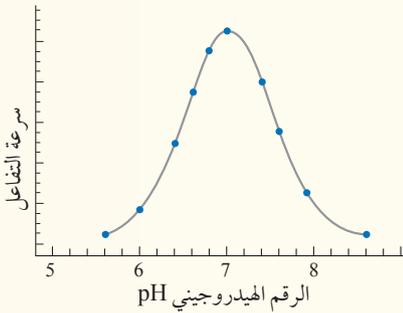
1. الفكرة الرئيسية: أَوْصَح دور الإنزيمات في التفاعلات الكيميائية.

2. أدرس الشكل المجاور الذي يُوَصِّح إحدى الفرضيات التي تُفسِّر عملية ارتباط المواد المُتفاعلة بإنزيم مُعَيَّن، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:
أ. أكتب اسم هذه الفرضية.



ب. أكتب اسم المفهوم الذي تشير إليه كلُّ من الأرقام الآتية: (1)، (2)، (3)، (4)، (5).

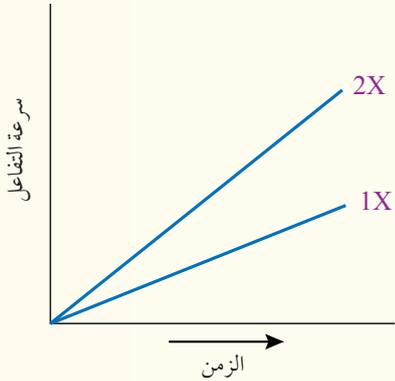
جـ. أَوْصَح: ماذا سيحدث لنشاط إنزيم يعمل في درجة حرارة مثلى 37°C إذا استُخدِم في تفاعل درجة حرارته 60°C ؟ أبرِّر إجابتي.



3. أدرس الرسم البياني المجاور الذي يُوَصِّح أثر الرقم الهيدروجيني للوسط في سرعة تفاعل يُحفِّزه إنزيم مُعَيَّن، ثم أجب عن السؤالين الآتيين:

أ. أحمِّد الرقم الهيدروجيني الأمثل لعمل هذا الإنزيم.

ب. أستنتج: كيف أعرف أنَّ هذا الإنزيم ليس إنزيم الببسين؟ أبرِّر إجابتي.

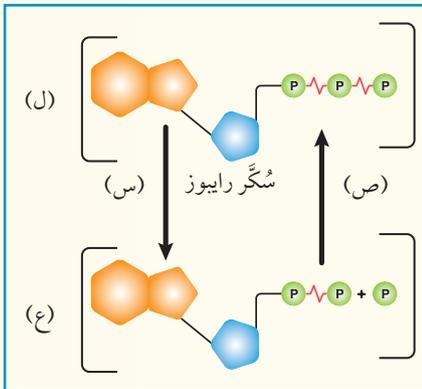


4. أدرس الرسم البياني المجاور الذي يُوَصِّح تأثير تركيز الإنزيم في سرعة تفاعل مُحفَّز بالإنزيم، ثم أصف العلاقة بين تركيز الإنزيم وسرعة التفاعل.

5. أدرس الشكل المجاور الذي يُمثِّل جزيء حفظ الطاقة في خلايا الكائن الحي، ثم أجب عن السؤالين الآتيين:

أ. ما اسم كلِّ من الجزيء المشار إليه بالرمز (ل)، والجزيء المشار إليه بالرمز (ع)؟

ب. أَوْصَح ما يحدث في كلِّ من العمليتين المشار إليهما بالرمز (س)، والرمز (ص)، ثم أذكر أسماء الإنزيمات المشاركة في كلِّ منهما.



6. لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أٌحدِّدها:

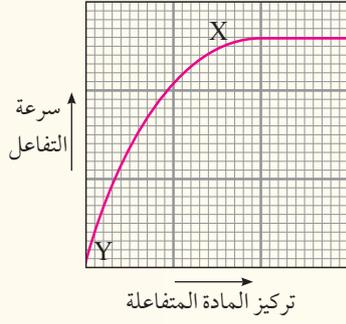
1. تعمل الإنزيمات على تسريع التفاعلات من خلال:

أ . توفير الطاقة الكيميائية اللازمة للتفاعل.

ب. تقليل طاقة التنشيط اللازمة لبدء التفاعل.

ج. تغيير شكل الموقع النشط دائماً عند تقليل طاقة التنشيط اللازمة لبدء التفاعل.

د . استبدال إحدى المواد المتفاعلة الضرورية للتفاعل.



2. يوضح الرسم البياني المجاور تأثير تركيز المادة المتفاعلة على معدل

سرعة التفاعل المُحفَّز بالإنزيم، يمثِّل الحرفان (X و Y) مراحل التفاعل،

أي العبارات الآتية تعبر عن المرحلة X من التفاعل؟

أ . في هذه المرحلة، يوجد فائض من جزيئات الإنزيم في المحلول.

ب. في هذه المرحلة، تكون المواقع النشطة للإنزيم مشبعة بالمادة المتفاعلة.

ج. في هذه المرحلة، قد يؤدي إضافة مزيد من المادة المتفاعلة إلى زيادة سرعة التفاعل.

د . في هذه المرحلة، يوجد نقص في المادة المتفاعلة في المحلول.

3. إذا كانت درجة الحرارة المثلى لإنزيم ما في إحدى الكائنات الحية بدائية النوى هي (50 °C)، فإن إحدى

العبارات الآتية تبيِّن ماذا يحدث خلال تعرض هذا الإنزيم لدرجة حرارة متزايدة من (22 °C) إلى (37 °C):

أ . شكل الإنزيم يصبح غير متوافق مع المادة المتفاعلة.

ب . تزداد سرعة التفاعل.

ج. يفقد الإنزيم قدرته على العمل.

د . تتناقص سرعة التفاعل.

4. يتكون جزيء حفظ الطاقة ATP من جميع ما يأتي ما عدا:

أ . القاعدة النيتروجينية غوانين.

ج. ثلاث مجموعات فوسفات.

ب. سكر رايبوز.

د . القاعدة النيتروجينية أدينين.

5. الإنزيم الذي له دور في تحفيز عملية فسفرة ADP:

أ . إنتاج ATP.

ج. المالتيز.

ب. ATPase.

د- ترپسين.

التفاعلات الكيميائية في الخلية

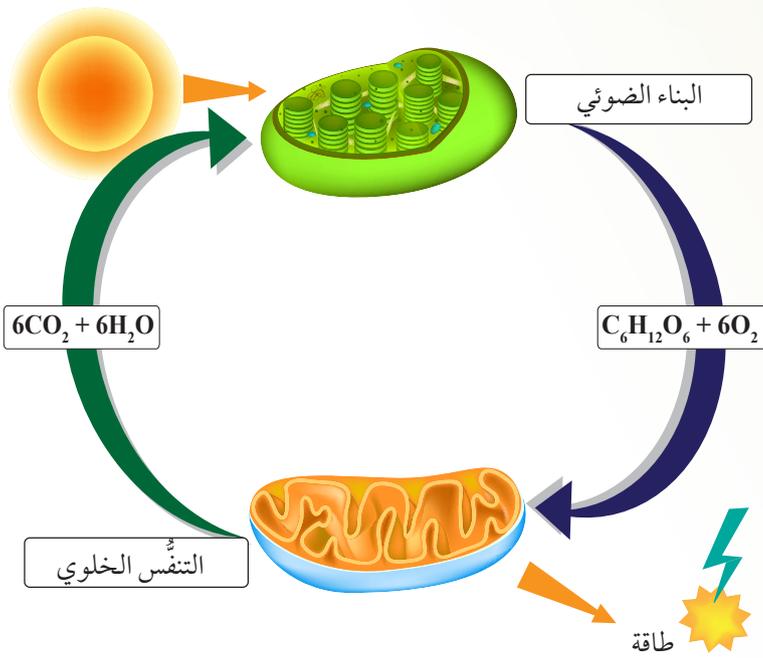
Chemical Reactions in the Cell

3

الدرس

عمليات الأيض Metabolism

تحدث داخل خلايا الكائن الحي آلاف التفاعلات الكيميائية التي تُعرَف بعمليات الأيض Metabolism، وتتضمَّن عمليات البناء Anabolism؛ وهي مجموعة التفاعلات الكيميائية التي تُبنى فيها جزيئات كبيرة ومُعقَّدة من جزيئات بسيطة، مثل عملية البناء الضوئي، وعمليات الهدم Catabolism؛ وهي مجموعة التفاعلات الكيميائية التي تُحطَّم فيها بعض الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات أبسط؛ لإنتاج الطاقة الكيميائية المُخزَّنة في روابطها، مثل عملية التنفُّس الخلوي، أنظر الشكل (37).



الشكل (37): التكامل بين عملية التنفُّس الخلوي وعملية البناء الضوئي.

الفكرة الرئيسة:

تحدث داخل الخلايا المُكوَّنة لأجسام الكائنات الحيَّة تفاعلات كيميائية عدَّة، منها ما يُخزَّن الطاقة في الروابط الكيميائية داخل المُركَّبات العضوية، ومنها ما يُحرَّر الطاقة المُخزَّنة اللازمة لأداء الأنشطة الحيوية.

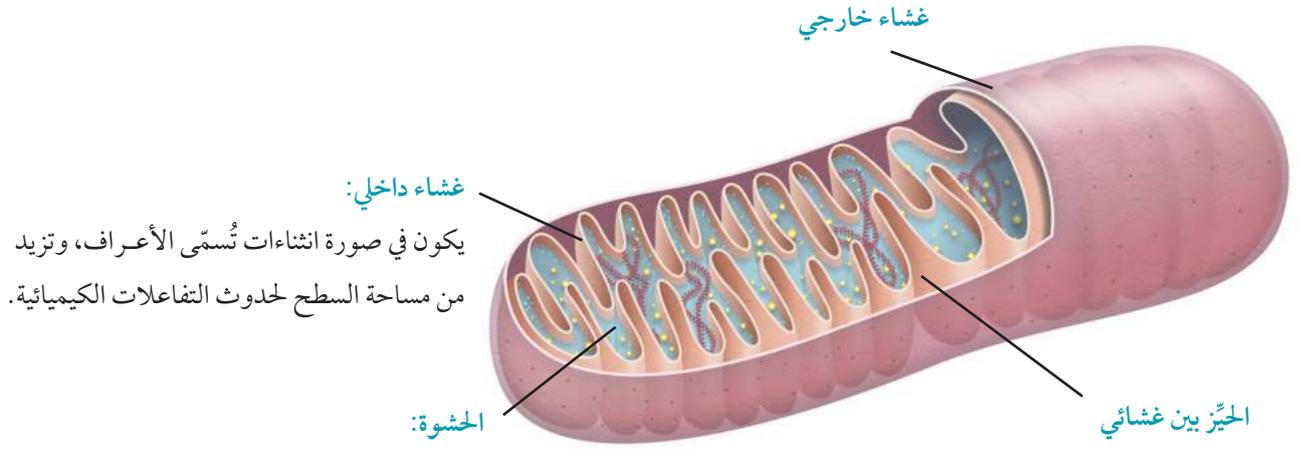
نتائج التعلُّم:

- أفسَّر أهمية عمليات الأيض للكائنات الحيَّة.
- أُبيَّن أهمية بعض العمليات التي تحدث في الخلية، مثل: البناء الضوئي، والتنفُّس الخلوي.
- أستقصي آليَّة حدوث كلِّ من: عملية البناء الضوئي، وعملية التنفُّس الخلوي.
- أقرَّنت بين عملية التنفُّس الهوائي وعملية التنفُّس اللاهوائي.

المفاهيم والمصطلحات:

Glycolysis	التحلُّل الغلايكولي
Krebs Cycle	حلقة كريس
Chemiosmosis	الأسموزية الكيميائية
	الفسفرة التأكسدية
Oxidative Phosphorylation	
Fermentation	التخمُّر
Photosystem	النظام الضوئي
Calvin Cycle	حلقة كالفن

✓ **أتحقَّق:** فيمَ يستفاد من عمليات البناء؟



يكون في صورة انشاءات تُسمى الأعراف، وتزيد من مساحة السطح لحدوث التفاعلات الكيميائية.

تمثل المنطقة الداخلية للميتوكوندريا، وتحتوي بعض الإنزيمات اللازمة لعملية التنفس الخلوي، إضافة إلى بعض البروتينات والرايبوسومات وDNA.

الشكل (38): تركيب الميتوكوندريا.

التنفس الخلوي Cellular Respiration

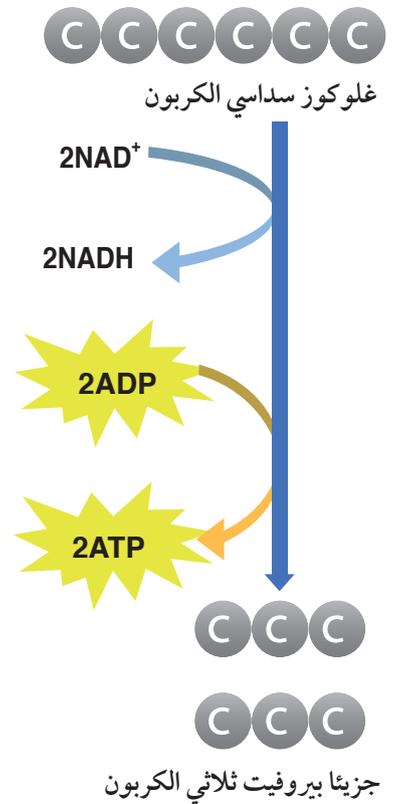
تحدث في عملية التنفس الخلوي سلسلة من التفاعلات، تشمل تحطيم المركبات العضوية (مثل الجلوكوز) داخل الخلايا لإنتاج الطاقة. وتحدث معظم تفاعلات التنفس الخلوي في الخلايا حقيقية النوى في الميتوكوندريا، أنظر الشكل (38).
تمثل تفاعلات التنفس الخلوي بالمعادلة الآتية:



تحدث عملية التنفس الخلوي على مرحلتين، هما: مرحلة التحلل الغلايكولي (السُّكَّري) في السيتوسول، ومرحلة التنفس الهوائي في الميتوكوندريا.

التحلل الغلايكولي Glycolysis

التحلل الغلايكولي Glycolysis: هو سلسلة من التفاعلات الكيميائية، تحدث في السيتوسول، ولا تحتاج إلى أكسجين. وفيها يتحطم كل جزيء جلوكوز إلى جزيئين من البيروفيت ثلاثي الكربون، ويُختزل جزيئا NAD^+ إلى جزيئي NADH ، وينتج جزيئا ATP ، أنظر الشكل (39).



الشكل (39): التحلل الغلايكولي.

التنفس الهوائي Aerobic Respiration

عند توافر الأكسجين، فإنَّ جزيئي البيروفيت ينتقلان إلى حشوة الميتوكوندريا. تشمل عملية التنفس الهوائي على ثلاث خطوات، هي: أكسدة البيروفيت إلى أستيل مُرافق إنزيم - أ، وحلقة كربس، والفسفرة التأكسدية.

أكسدة البيروفيت إلى أستيل مُرافق إنزيم - أ

يُنْتَجَ جزيء CO_2 من البيروفيت، فيتكوّن مُركّب ثنائي الكربون في الحشوة. بعد ذلك يتأكسد المُركّب ثنائي الكربون الناتج مُحتزلاً NAD^+ إلى $NADH$ ، ثم يرتبط به مُرافق إنزيم - أ (CoA)، فينتج أستيل مُرافق إنزيم - أ (Acetyl CoA)، أنظر الشكل (40). يُذكر أنّ هذه الخطوة تربط بين التحلل الغلايكولي وحلقة كربس.

حلقة كربس Krebs Cycle

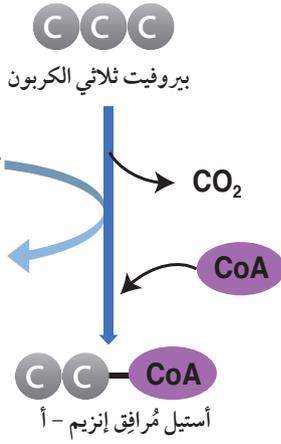
سُمّيت **حلقة كربس Krebs Cycle** بهذا الاسم نسبةً إلى العالم الذي أسهمته بحوثه في اكتشافها، وهي تُسمّى أيضًا حلقة حمض الستريك Citric Acid Cycle، وتحدث في الحشوة داخل الميتوكوندريا.

تبدأ حلقة كربس بتفاعل أستيل مُرافق إنزيم - أ ثنائي الكربون مع مُركّب رباعي الكربون يُسمّى أوغسالوأسيتيت Oxaloacetate، فينتج الستريت Citrate (مُركّب سداسي الكربون)، ثم يدخل الستريت في سلسلة من التفاعلات يفقد خلالها جزيئي CO_2 ، ليعاد إنتاج مُركّب أوغسالوأسيتيت.

في أثناء هذه التفاعلات تُحتزَل ثلاثة جزيئات من NAD^+ إلى $NADH$ ، ويُحتزَل جزيء واحد من FAD إلى $FADH_2$ ، وينتج جزيء واحد من ATP بصورة مباشرة.

يُذكر أنّه يجب أن تتم دورتان من حلقة كربس لكل جزيء غلوكوز، أنظر الشكل (41).

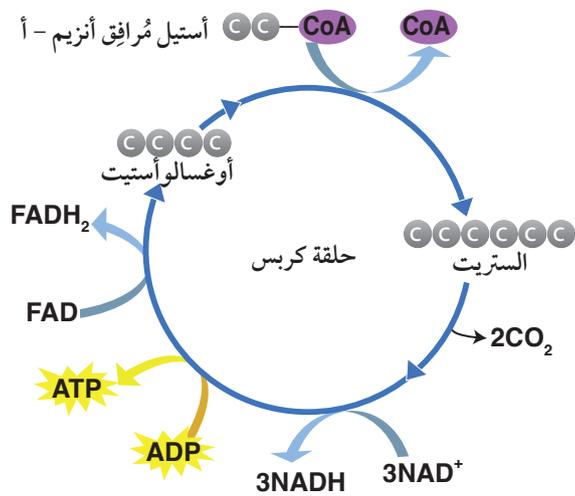
في ما يأتي تلخيص لنواتج تفاعلات التحلل الغلايكولي، وتفاعلات أكسدة البيروفيت إلى أستيل مُرافق إنزيم - أ، والتفاعلات التي تحدث في حلقة كربس لجزيء غلوكوز واحد: (6) جزيئات من CO_2 ، و(4) جزيئات من ATP ، و(10) جزيئات من $NADH$ ، وجزيئان من $FADH_2$.



الشكل (40): أكسدة جزيء واحد من البيروفيت. أُحدّد نواتج أكسدة جزيء واحد من البيروفيت إلى أستيل مُرافق إنزيم - أ.

أفكر: ما عدد جزيئات أستيل مُرافق إنزيم - أ التي تنتج من جزيء غلوكوز؟

✓ **أنتحقّق:** ما نواتج أكسدة جزيئي بيروفيت؟



ملحوظة: الستريت هو الشكل المتأين لحمض الستريك.

الشكل (41): حلقة كربس لدورة واحدة. أُحدّد نواتج دوري حلقة كربس.

الفسفرة التأكسدية (سلسلة نقل الإلكترون والأكسوزية الكيميائية)

Oxidative Phosphorylation (Electron Transport Chain and Chemiosmosis)

تتكوّن سلسلة نقل الإلكترون من مجموعة من المكوّنات، معظمها بروتينات ناقلة وإنزيمات. تستقبل هذه السلسلة الإلكترونات الناتجة من أكسدة $NADH$ و $FADH_2$ ، ثم تنقلها من بروتين ناقل إلى آخر. وفي نهاية السلسلة، تصل هذه الإلكترونات إلى مُستقبلها النهائي، وهو الأكسجين، ثم تتحد معه ومع البروتونات؛ فيتكوّن الماء. يؤدي انتقال الإلكترونات من $NADH$ و $FADH_2$ إلى الأكسجين خلال سلسلة نقل الإلكترون إلى ضخّ البروتونات (H^+) من الحشوة إلى الحيز بين غشائي، فينتج فرق في تركيز البروتونات بين الحيز بين غشائي والحشوة.

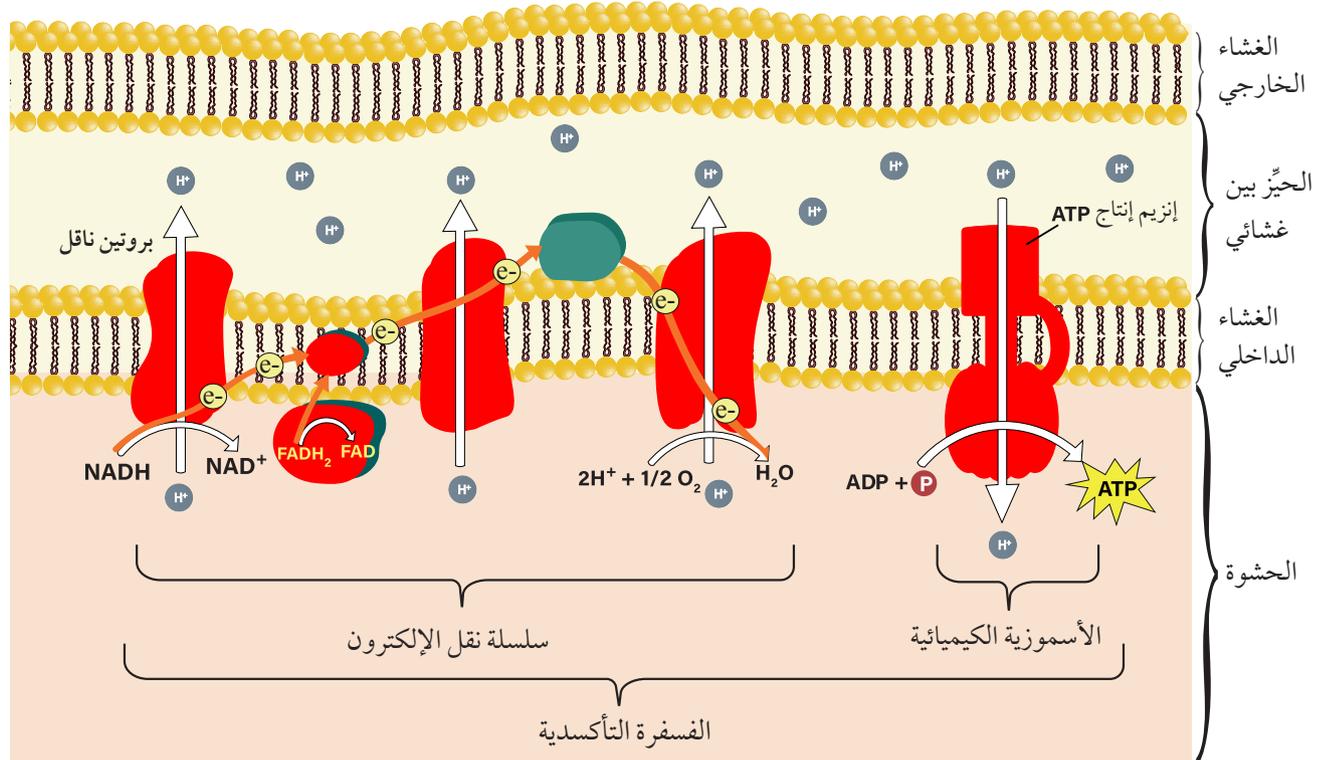
بعد ذلك تعود البروتونات (H^+) نتيجة لفرق التركيز على جانبي غشاء الميتوكوندريا الداخلي إلى داخل الحشوة عن طريق إنزيم إنتاج ATP ATP Synthase في عملية تُسمّى **الأكسوزية الكيميائية Chemiosmosis**، وتحدث فيها فسفرة جزئيات ADP إلى ATP.

يُطلق على عملية إنتاج ATP عن طريق سلسلة نقل الإلكترون والأكسوزية الكيميائية اسم **الفسفرة التأكسدية Oxidative Phosphorylation**، أنظر الشكل (42).



أستخدم برمجية

movie maker لتمثيل حركة البروتونات (H^+) من الحشوة إلى الحيز بين غشائي في أثناء عملية الفسفرة التأكسدية، وإحداث فرق في تركيز البروتونات بين الحيز بين غشائي والحشوة، ثم عودة البروتونات نتيجة فرق التركيز على جانبي غشاء الميتوكوندريا الداخلي (إلى داخل الحشوة) عن طريق إنزيم إنتاج ATP ATP synthase في عملية الأكسوزية الكيميائية، ثم عرضه أمام زملائي / زميلاتي في الصف.



الشكل (42): الفسفرة التأكسدية.

يُسهم كل جزيء من NADH في إنتاج (2.5) جزيء من ATP، في حين يُسهم كل جزيء من $FADH_2$ في إنتاج (1.5) جزيء من ATP. ملحوظة: يُعتمد الآتي لتسهيل العمليات الحسابية: عدد جزيئات ATP التي يُسهم جزيء NADH في إنتاجها هو (3)، وعدد جزيئات ATP التي يُسهم جزيء $FADH_2$ في إنتاجها هو (2).

مثال 6

أحسب عدد جزيئات ATP الناتجة من الفسفرة التأكسدية عند أكسدة جزيء واحد من الغلوكوز.

المعطيات:

عدد جزيئات الغلوكوز التي تأكسدت هو جزيء واحد.

الحل:

عدد جزيئات NADH الناتجة من التحلل الغلايكولي هو (2)، وعدد جزيئات NADH الناتجة من أكسدة حمض البيروفيت إلى أستيل مُرافق إنزيم - أ هو (2)، وعدد جزيئات NADH الناتجة من دورتي حلقة كربس هو (6)، فيكون المجموع (10) جزيئات NADH، وعدد جزيئات $FADH_2$ الناتجة من تفاعلات دورتي حلقة كربس هو (2).

بما أن كل جزيء NADH يُسهم في إنتاج (3) جزيئات ATP، وكل جزيء $FADH_2$ يُسهم في إنتاج جزيئي ATP، فإن عدد جزيئات ATP الناتجة من عملية الفسفرة التأكسدية هو:

$$(34) = (10 \times 3) + (2 \times 2) \text{ جزيئاتاً.}$$

✓ **أتحقق:** أحدد مكان حدوث العمليات الآتية في الخلية: التحلل الغلايكولي، أكسدة البيروفيت إلى مُرافق إنزيم - أ، حلقة كربس، الفسفرة التأكسدية.

التنفس اللاهوائي والتخمُّر Anaerobic Respiration and Fermentation

تعمل بعض الخلايا على أكسدة المواد العضوية وإنتاج الطاقة ATP، من دون استخدام الأكسجين، عن طريق التنفس اللاهوائي، والتخمُّر. تحدث عمليتا التنفس اللاهوائي والتخمُّر في السيتوسول.

التنفس اللاهوائي Anaerobic Respiration

يلجأ إلى هذا النوع من التنفس بعض أنواع البكتيريا؛ إذ تستخدم هذه الكائنات سلسلة نقل الإلكترون، ولكنها لا تستخدم الأكسجين مُستقبلاً نهائياً للإلكترونات. ومن الأمثلة عليها: بكتيريا اختزال الكبريتات التي تعيش في بيئة

تخلو من الأكسجين، وتستخدم الكبريتات مُستقبلاً نهائياً للإلكترونات، فينتج كبريتيد الهيدروجين H_2S (مُرَكَّب غير عضوي).

التخمُّر Fermentation

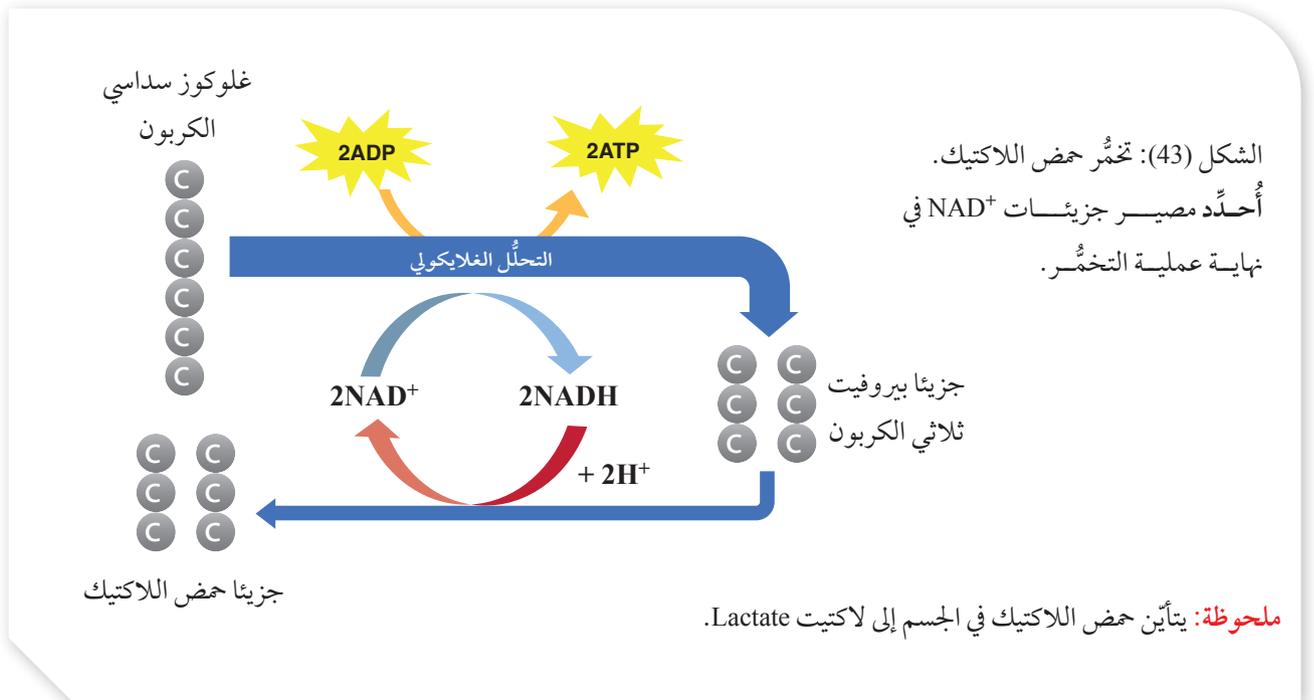
تحدث عملية التخمُّر Fermentation في السيتوسول عند عدم توافر كمّيات كافية من الأكسجين، وتبدأ بالتحلُّل الغلايكولي، ثم تنتقل الإلكترونات من NADH إلى البيروفيت (أو أحد مشتقاته) بوصفه مُستقبلاً نهائياً للإلكترونات؛ ليُعاد استخدام NAD^+ في التحلُّل الغلايكولي.

توجد أنواع عدّة من التخمُّر تُصنّف بناءً على الناتج النهائي من العملية، مثل: تخمُّر حمض اللاكتيك، والتخمُّر الكحولي.

تخمُّر حمض اللاكتيك (التخمُّر اللبني) Lactic Acid Fermentation

تعمل أنواع من البكتيريا وبعض الفطريات على تحويل البيروفيت إلى حمض اللاكتيك، في ما يُعرَف باسم تخمُّر حمض اللاكتيك. وكذلك تلجأ العضلات الهيكلية إلى هذه العملية عند عدم توافر كمّيات كافية من الأكسجين. ينتج من تفاعلات تخمُّر جزئيء واحد من الغلوكوز إلى حمض اللاكتيك جزيئان من ATP، وجزيئان من حمض اللاكتيك، أنظر الشكل (43).

✓ **أتحقّق:** أقرن بين التنفُّس اللاهوائي وعملية التخمُّر من حيث المُستقبل النهائي للإلكترونات.





استفاد الإنسان من البكتيريا والفطريات التي تُحوّل البيروفيت إلى حمض اللاكتيك في صناعة الألبان والأجبان؛ إذ تُحلّل هذه البكتيريا سُكّر اللاكتوز في الحليب، ثم تُحوّله إلى حمض اللاكتيك، فيتحوّل الحليب إلى لبن، أنظر الشكل (44).

الشكل (44): صناعة اللبن.

التخمُّر الكحولي Alcoholic Fermentation

يعمل فطر الخميرة وبعض أنواع البكتيريا اللاهوائية على تحويل البيروفيت إلى كحول إيثيلي Ethanol.

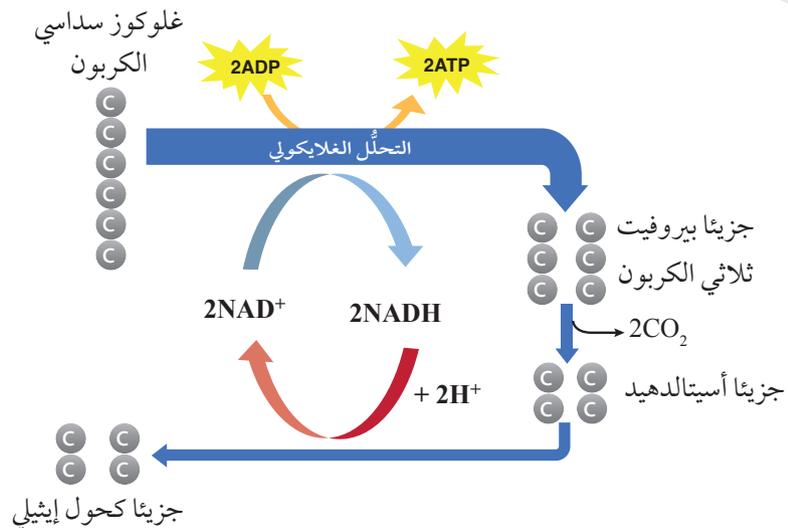
يتحوّل البيروفيت إلى مُركَّب ثنائي الكربون يُسمّى أسيتالدهيد، فيتحرَّر غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 ، ثم يُختزَل الأستالدهيد إلى كحول إيثيلي، أنظر الشكل (45).

✓ **أتحقَّق:**

أ. أُحدّد عدد جزيئات CO_2 الناتجة من عملية التخمُّر الكحولي لكل جزيء من الغلوكوز.

ب. أُحدّد أوجه التشابه والاختلاف بين عمليتي التخمُّر في كلٍّ من الخميرة وإحدى الخلايا العضلية.

الشكل (45): التخمُّر الكحولي.





تُستخدَم الخميرة في إعداد المُعجّنات؛ إذ يعمل غاز ثاني أكسيد الكربون المتحرّر من عملية التخمر الكحولي على زيادة حجم العجين، أنظر الشكل (46).

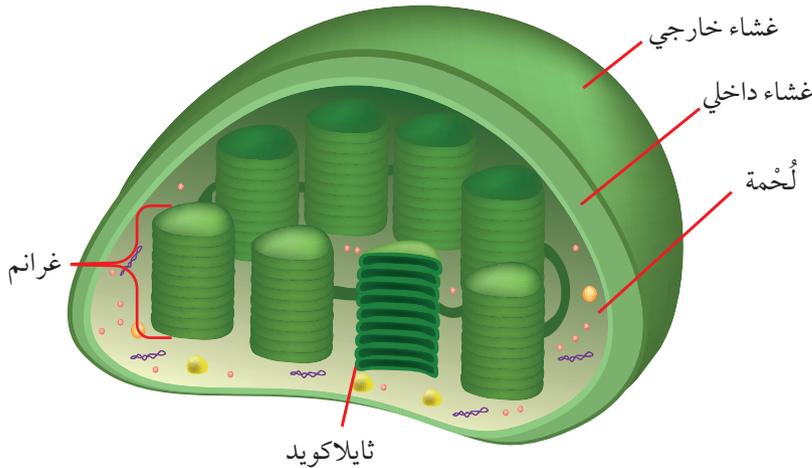
الشكل (46): زيادة حجم العجين.

البناء الضوئي Photosynthesis

تحدث في عملية البناء الضوئي سلسلة من التفاعلات، تشمل امتصاص الطاقة الضوئية، ثم تحويلها إلى طاقة كيميائية تُخترن في المركّبات العضوية. تُمثّل المعادلة الكيميائية الآتية المعادلة النهائية لعملية البناء الضوئي:

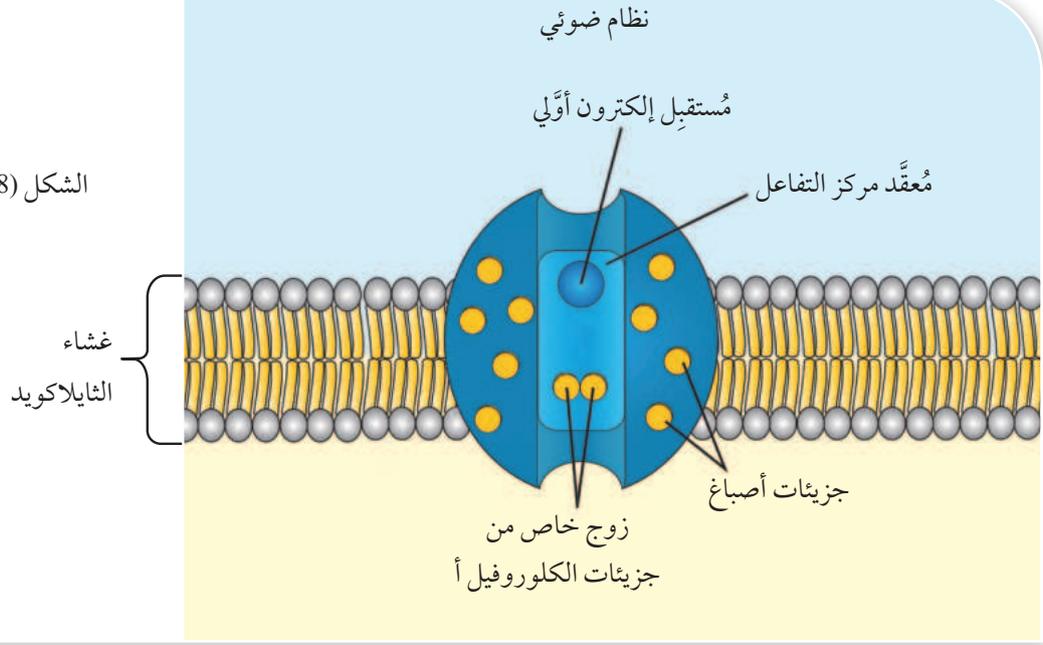


تحدث عملية البناء الضوئي في البلاستيدات الخضراء؛ وهي عُصَيّات تحوي غشاءين (داخلي، وخارجي) يحيطان بالثايلاكويدات Thylakoids؛ وهي مجموعة من الأكياس الغشائية على هيئة أقراص يترتّب بعضها فوق بعض، وتُسمّى الغرانا Grana (مفردها غرانم Granum)، وتمتلئ الفراغات المحيطة بها بسائل كثيف يُسمّى اللُّحمة Stroma، أنظر الشكل (47).



الشكل (47): بلاستيدة خضراء. تحتوي أغشية الثايلاكويدات على الكلوروفيل، وأصبغ أخرى، وبعض الإنزيمات، ونواقل للإلكترونات.

الشكل (48): نظام ضوئي.



النظامان الضوئيان الأول والثاني Photosystems: I and II

تحتوي أغشية الثايلاكويدات على نظامين ضوئيين، هما: النظام الضوئي الأول PS I، والنظام الضوئي الثاني PS II.

✓ **أتحقق:**

- علام يحتوي مُعقّد مركز التفاعل في النظام الضوئي؟
- ما سبب تسمية كل من النظام الضوئي الأول P700، والنظام الضوئي الثاني P680 بهذا الاسم؟

يتكوّن **النظام الضوئي Photosystem** من مُعقّد مركز تفاعل Reaction Center Complex يحتوي على زوج خاص من الكلوروفيل أ، ومُستقبل إلكترون أولي Primary Electron Acceptor. ويحاط مُعقّد مركز التفاعل بأصبغ أخرى، مثل: الكلوروفيل ب، والكاروتين، أنظر الشكل (48).

يُعرّف النظام الضوئي الأول بـ P700؛ لأنّ الكلوروفيل أ في مُعقّد مركز التفاعل يمتص الضوء الذي طوله الموجي 700 نانومتر بأقصى فاعلية. أمّا النظام الضوئي الثاني فيُعرّف بـ P680؛ لأنّ الكلوروفيل أ يمتص الضوء الذي طوله الموجي 680 نانومترًا بأقصى فاعلية.

مراحل عملية البناء الضوئي

تمرّ عملية البناء الضوئي بمرحلتين، هما: التفاعلات الضوئية Light Reactions التي تعتمد على الضوء، وتحدث في أغشية الثايلاكويدات. والتفاعلات التي لا تعتمد على الضوء، وتُسمّى أيضًا **حلقة كالفن Calvin Cycle**، وتحدث في اللّحمة.

التفاعلات الضوئية Light Reactions

تُصنّف التفاعلات الضوئية إلى مسارين، هما: مسار التفاعلات الضوئية اللاحلقة، ومسار التفاعلات الضوئية الحلقية.

مسار التفاعلات الضوئية اللاحلقة Non Cyclic Light Reactions Pathway

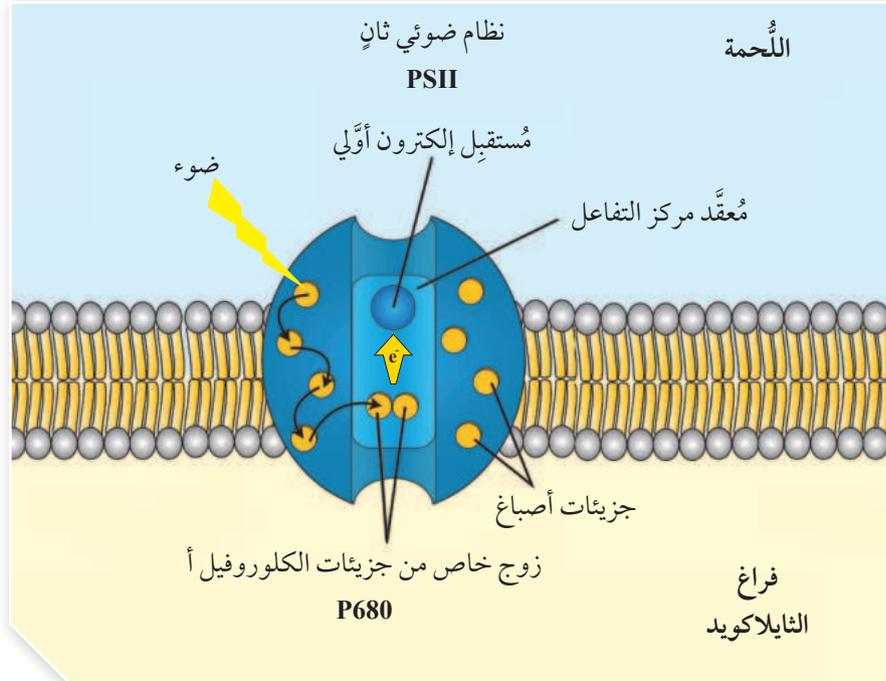
يُشارك النظام PSI والنظام PSII في التفاعلات الضوئية اللاحلقة؛ إذ تمتص جزيئات الصبغة الطاقة الضوئية وتستخدمها في استثارة الإلكترونات في كلٍّ من النظامين.

تبدأ التفاعلات الضوئية اللاحلقة بامتصاص جزيء صبغة واحد في النظام الضوئي الثاني PSII الطاقة الضوئية، فيستثار إلكترون فيه، وينتقل إلى مستوى طاقة أعلى.

تمرّ هذه الطاقة من جزيء صبغة إلى آخر حتى تصل إلى زوج الكلوروفيل أ في مُعقّد مركز التفاعل الثاني P680، فيستثار إلكترون فيه. ونظرًا إلى امتلاك زوج الكلوروفيل أ مقدرة خاصة على نقل الإلكترونات إلى جزيء مختلف؛ فإنّ هذا الإلكترون المستثار ينتقل إلى مُستقبل الإلكترون الأوّلي في النظام الضوئي، أنظر الشكل (49).

يعمل إنزيم على تحلّل الماء في فراغ الثايلاكويد، ويتج من تحلّل كل جزيء ماء إلكترونان، وبروتونان ($2H^+$)، ودّرة أكسجين، فتُعوّض الإلكترونات الناتجة من تحلّل الماء الإلكترونات التي فقدها زوج الكلوروفيل أ من مُعقّد مركز التفاعل في PSII.

أفكر: لماذا يُطلق على مسار التفاعلات الضوئية الذي يشترك فيه النظام PSI والنظام PSII اسم التفاعلات اللاحلقة؟



الشكل (49): امتصاص الضوء في النظام الضوئي الثاني.

وَفَقًا لقانون حفظ الطاقة، فإنَّ الطاقة لا تُفنى، ولا تُستحدث من العدم، لكنَّها تتحوَّل من صورة إلى أخرى بمشيئة الله.

ألاحظ تحوُّلات الطاقة من طاقة ضوئية إلى طاقة تمتلكها الإلكترونات المستثارة، ومنها إلى طاقة كيميائية تُخزَّن في جزيئات ATP.

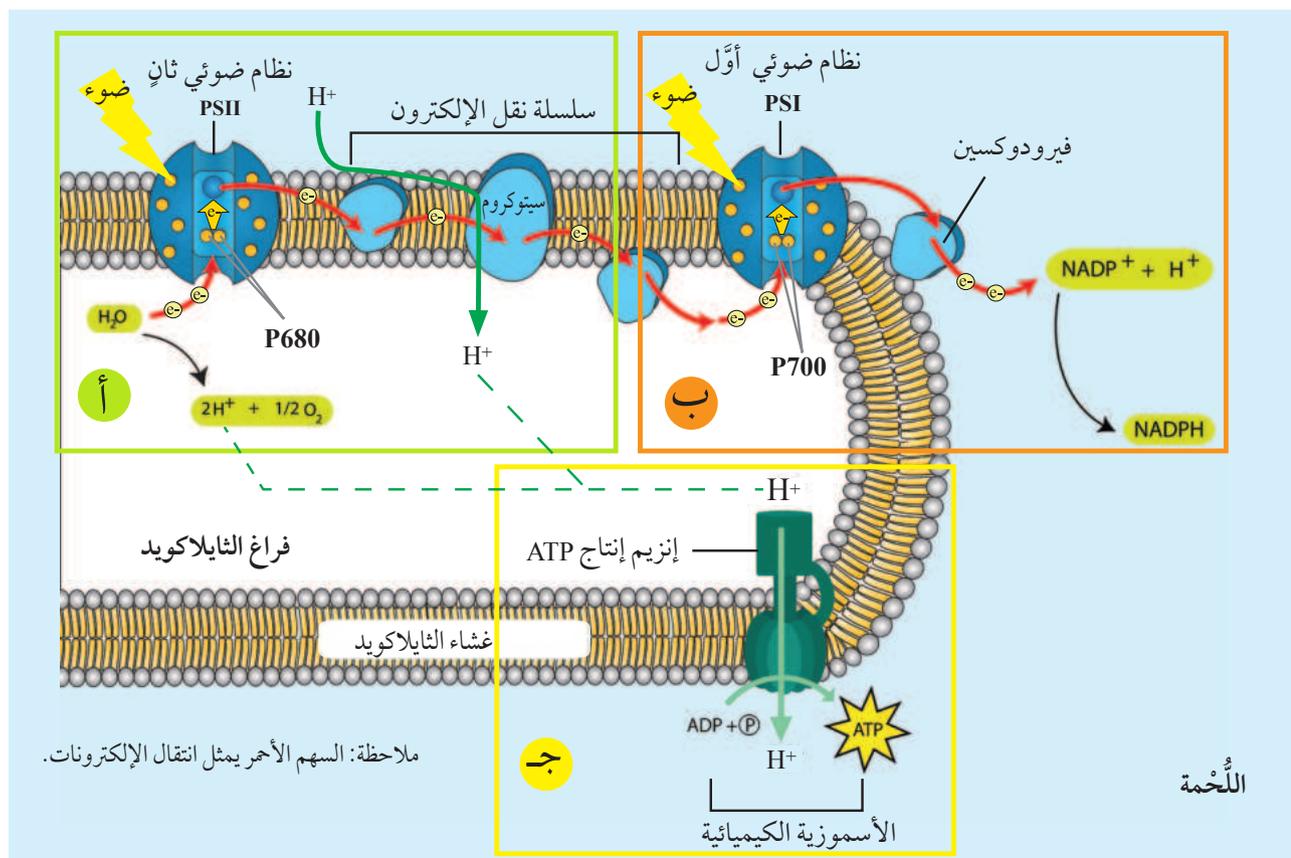
الشكل (50): التفاعلات الضوئية اللاحقية. ما المُستقبل النهائي للإلكترونات في التفاعلات اللاحقية؟

أما ذرَّة الأكسجين الناتجة من تحلُّل الماء، فإنَّها تتحد مع ذرَّة أكسجين أخرى ناتجة من تحلُّل جزيء آخر من الماء، فيتشكَّل جزيء أكسجين، أنظر الشكل (50/أ).

تنطلق الإلكترونات من مُستقبل الإلكترون الأوَّل في النظام الضوئي الثاني إلى النظام الضوئي الأوَّل خلال سلسلة نقل الإلكترون Electron Transport Chain التي تتكوَّن من نواقل للإلكترونات، أهمها السيتركرومات. وفي أثناء انتقالها، تفقد هذه الإلكترونات جزءًا من طاقتها، ويُستخدَم هذا الجزء من الطاقة في نقل البروتونات (H^+) من اللُّحمة إلى فراغ الثايلاكويد، فينتج فرق في تركيز البروتونات بين فراغ الثايلاكويد واللُّحمة، أنظر الشكل (50/أ، ب).

وبصورة مُشابهة، يمتص جزيء صبغة واحد في النظام الضوئي الأوَّل PSI الطاقة الضوئية، فيُستثار إلكترون فيه، وينتقل إلى مستوى طاقة أعلى.

تُمرَّر هذه الطاقة من جزيء صبغة إلى آخر حتى تصل إلى زوج الكلوروفيل أ في مُعقَّد مركز التفاعل في النظام الضوئي الأوَّل، فيُستثار إلكترون فيه. ونظرًا إلى امتلاك زوج الكلوروفيل أ مقدرة خاصة على نقل الإلكترونات إلى جزيء مختلف؛ فإنَّ هذا الإلكترون المُستثار ينتقل إلى مُستقبل الإلكترون الأوَّل في النظام الضوئي، ثم تنتقل هذه الإلكترونات من مُستقبل الإلكترون الأوَّل في هذا النظام (أي



النظام الضوئي الأول) عبر سلسلة نقل إلكترون أخرى وبروتين فيرودوكسين، لتصل إلى مُستقبلها النهائي، وهو $NADP^+$ ، فيُختَزَل باستخدام هذه الإلكترونات والبروتونات الموجودة في اللُّحمة إلى $NADPH$ ، أنظر الشكل (50/ب).

يُذَكَّر أنَّ الإلكترونات المفقودة من زوج الكلوروفيل أ في النظام الضوئي الأول إلى مُستقبل الإلكترون الأولي فيها تُعوَّض عن طريق الإلكترونات التي انتقلت إليها من النظام الضوئي الثاني.

تعود البروتونات (H^+) من فراغ الثايلاكويد إلى اللُّحمة نتيجة لفرق التركيز بينهما عن طريق إنزيم إنتاج ATP في عملية الأسموزية الكيميائية، وتحدث فيها فسفرة جزئية ADP إلى ATP، أنظر الشكل (50/ج).

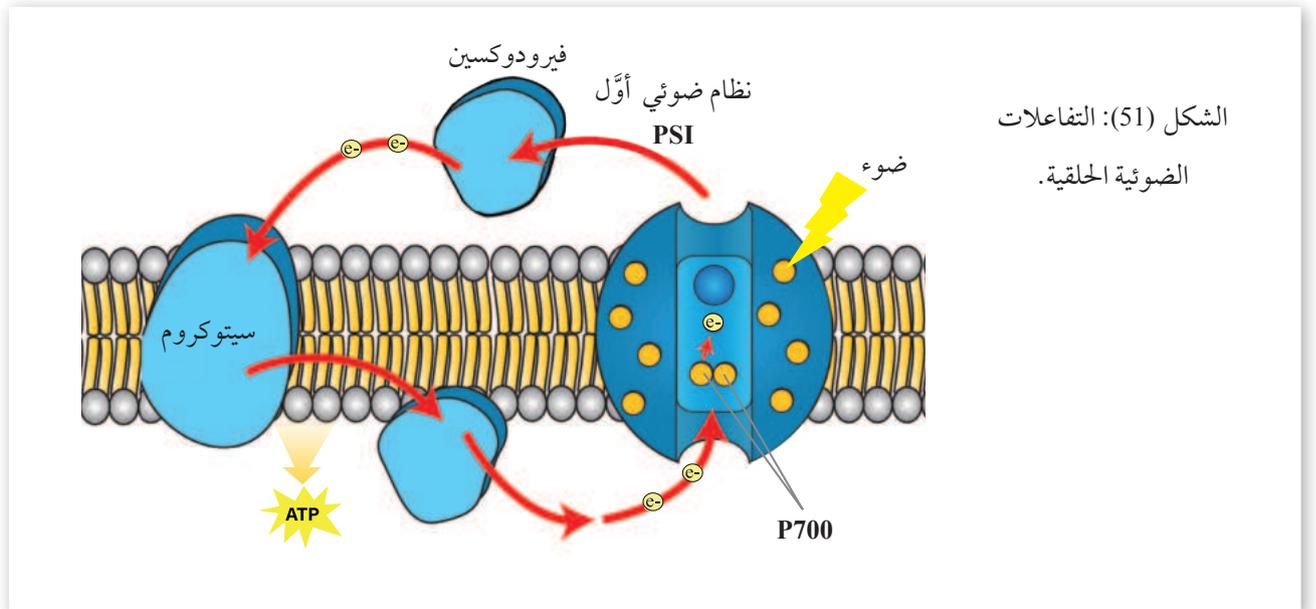
يُذَكَّر أنَّ نواتج التفاعلات الضوئية ATP و $NADPH$ تُستخدم في حلقة كالفن لاحقًا.

مسار التفاعلات الضوئية الحلقية Cyclic Light Reactions Pathway

تحدث التفاعلات الضوئية الحلقية في النظام الضوئي الأول فقط لإنتاج ATP. وفيها تسري الإلكترونات المستثارة بفعل الضوء من P700 إلى مُستقبل الإلكترون الأولي، ثم إلى بروتين فيرودوكسين، ثم تعود مرّةً أخرى عبر السيتوكروم إلى P700 في النظام الضوئي الأول الذي انطلقت منه؛ لذا أُطلق على هذه التفاعلات اسم التفاعلات الحلقية، وهي تعمل فقط على إنتاج ATP الذي يُستخدم في حلقة كالفن، أنظر الشكل (51).

✓ **أنحَقِّق:** أقارن بين مصير الإلكترونات المُنتَجة من مُعقَّد مركز التفاعل في كلٍّ من التفاعلات الضوئية اللاحلقية، والتفاعلات الضوئية الحلقية.

✓ **أنحَقِّق:** ما مصدر الإلكترونات التي تُعوَّض من النظام الضوئي الأول والنظام الضوئي الثاني؟



حلقة كالفن Calvin Cycle

تحدث تفاعلات حلقة كالفن في اللُّحمة؛ إذ تحتوي اللُّحمة على المواد والإنزيمات اللازمة لحدوثها.

تُمثّل هذه المرحلة مرحلة التصنيع التي تُستخدم فيها نواتج التفاعلات الضوئية ATP وNADPH لإنتاج مُركّبات عضوية. تمرُّ تفاعلات حلقة كالفن بثلاث مراحل، هي: مرحلة تثبيت الكربون، ومرحلة الاختزال، ومرحلة إعادة تكوين مُستقبل ثاني أكسيد الكربون، أنظر الشكل (52) الذي يُبيّن هذه المراحل، ويُلخّص ثلاث دورات من حلقة كالفن.

1- مرحلة تثبيت الكربون Carbon Fixation Phase

يربط إنزيم يُسمّى روبيسكو RuBisCO (3) جزيئات من CO_2 بـ (3) جزيئات من مُستقبل CO_2 وهو السُّكَّر الخماسي ريبيلوز ثنائي الفوسفات RuBP، فتنتج (3) جزيئات من مُركّب سداسي وسطي غير مستقر، لا يلبث أن ينشط كلٌّ منها إلى جزيئين من مُركّب ثلاثي الكربون يُسمّى حمض

الجليسرين أحادي الفوسفات PGA. يُطلق على عملية ربط CO_2 بالسُّكَّر الخماسي اسم تثبيت الكربون.

2- مرحلة الاختزال Reduction Phase

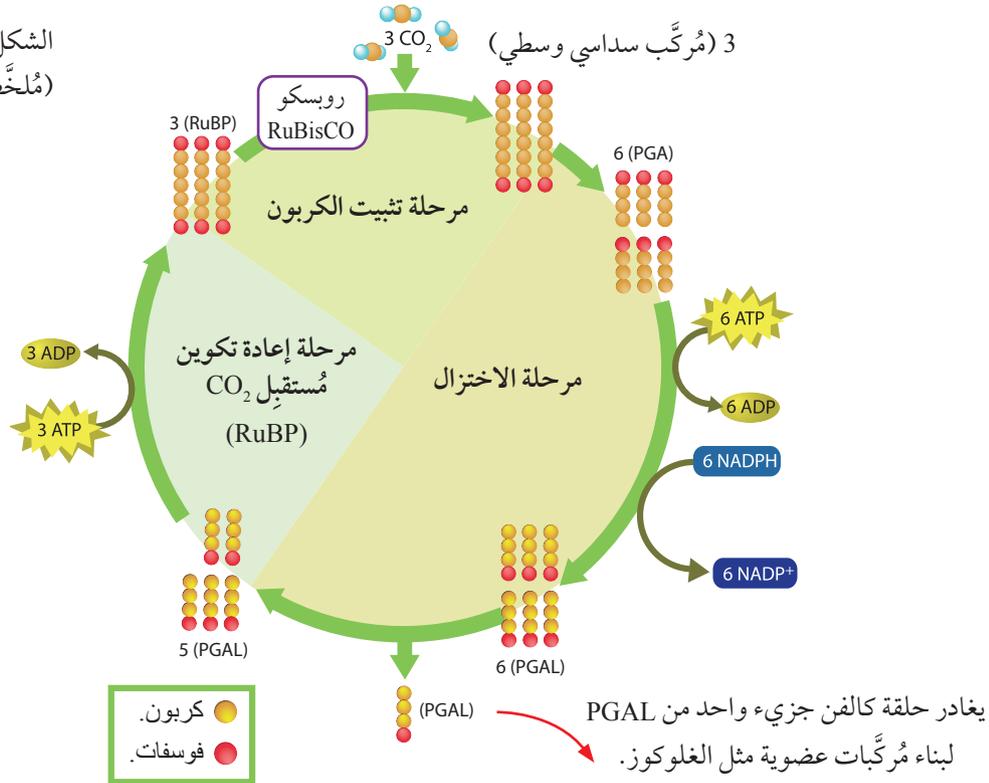
في هذه المرحلة يُختزل كل جزيء من حمض الجليسرين أحادي الفوسفات PGA إلى جليسر ألدهيد أحادي الفوسفات Phosphoglyceraldehyde (PGAL) باستخدام طاقة (6) جزيئات ATP و(6) جزيئات NADPH، فيكون الناتج (6) جزيئات جليسر ألدهيد أحادي الفوسفات PGAL. يغادر حلقة كالفن جزيء واحد من PGAL لبناء مُركّبات عضوية مثل الغلوكوز.

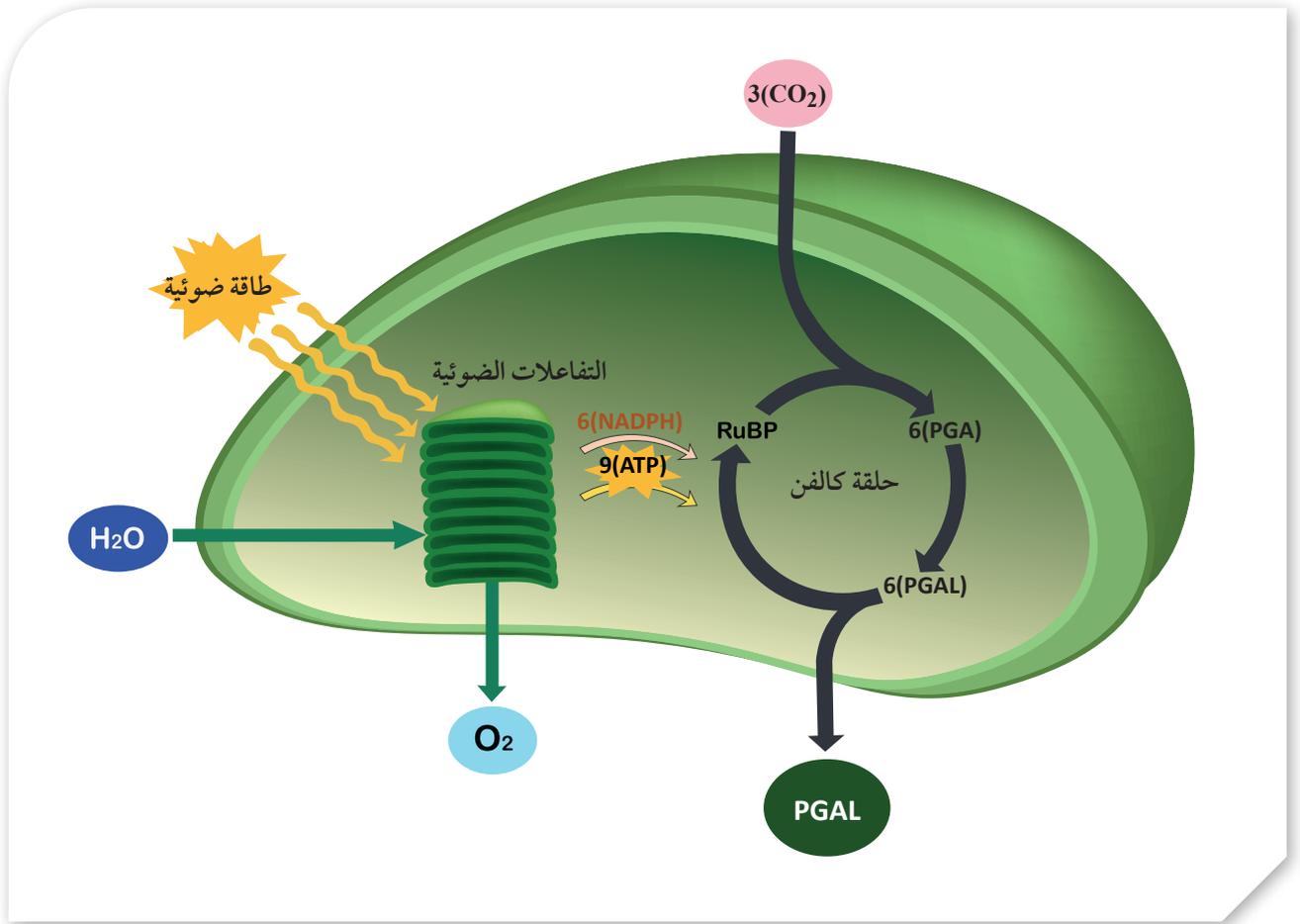
3- مرحلة إعادة تكوين مُستقبل CO_2 (ريبيلوز)

Regeneration of CO_2 Acceptor Phase (RuBP)

تدخل (5) جزيئات PGAL المُتبقية في سلسلة من التفاعلات المُعدّة لإعادة تكوين (3) جزيئات من السُّكَّر الخماسي ريبيلوز RuBP من جديد. ويُستهلك في أثناء ذلك (3) جزيئات ATP.

الشكل (52): حلقة كالفن.
(مُلخّص لثلاث دورات منها).





ويبين الشكل (53)، والبطاقتان أدناه مُلخَّصًا للتفاعلات الضوئية وحلقة كالفن.

الشكل (53): مُلخَّص التفاعلات الضوئية، وحلقة كالفن.

التفاعلات الضوئية (تعتمد على الضوء):

- تُستخدم فيها الطاقة الضوئية.
- يُستهلك الماء.
- يتحلل كل جزيء من الماء إلى 2H^+ و 2e^- و $\frac{1}{2}\text{O}_2$.
- ينتج O_2 .

حلقة كالفن (لا تعتمد على الضوء):

- لإنتاج جزيء PGAL يغادر حلقة كالفن:
- تُستهلك (3) جزيئات CO_2 .
- تُستهلك (9) جزيئات ATP.
- تُستهلك (6) جزيئات NADPH.
- لإنتاج جزيء غلوكوز: يتحد (2) جزيء PGAL أحدهما مع الآخر.

سؤال 7

إذا كان عدد جزيئات ATP المُستهلَكة في أثناء تفاعلات حلقة كالفن هو (36) جزيئاً، فأجيب عن الأسئلة الآتية:

1. ما عدد جزيئات PGAL النهائية الناتجة (التي ستغادر حلقة كالفن)؟
2. ما عدد جزيئات NADPH المُستهلَكة؟
3. ما عدد جزيئات الغلوكوز الناتجة؟

المعطيات:

عدد جزيئات ATP المُستهلَكة في حلقة كالفن هو (36) جزيئاً.

الحل:

1. تُستهلك (9) جزيئات ATP لإنتاج جزيء PGAL يغادر حلقة كالفن.
ومن ثمّ إذا استُهلك (36) جزيئاً من ATP فسيُنتج (4) جزيئات PGAL نهائية.
2. تُستهلك (6) جزيئات من NADPH لإنتاج جزيء PGAL يغادر حلقة كالفن.
ومن ثمّ فإن عدد جزيئات NADPH المُستهلَكة لإنتاج (4) جزيئات PGAL:
 $6 \times 4 = 24$
3. ينتج جزيء واحد من الغلوكوز من اتحاد جزيئين من PGAL.
ومن ثمّ فإن عدد جزيئات الغلوكوز الناتجة من (4) جزيئات PGAL:
 $\frac{4}{2} = 2$

✓ أتُحقِّق:

أ. أدرس الجدول الآتي الذي يُمثّل الجزيئات التي تُستهلك في تفاعلات حلقة كالفن لإنتاج جزيء واحد من الغلوكوز، ثم أكتب العدد اللازم من كل جزيء ورد ذكره في الجدول لإتمام هذه التفاعلات.

الجزيئات	CO ₂	ATP	NADPH
العدد اللازم		18	

ب. أحسب عدد ذرات الكربون في (5) جزيئات من PGAL، ثم أربط بينها وبين عدد ذرات الكربون في (3) جزيئات من السُّكَّر الخماسي ريبولوز ثنائي الفوسفات.

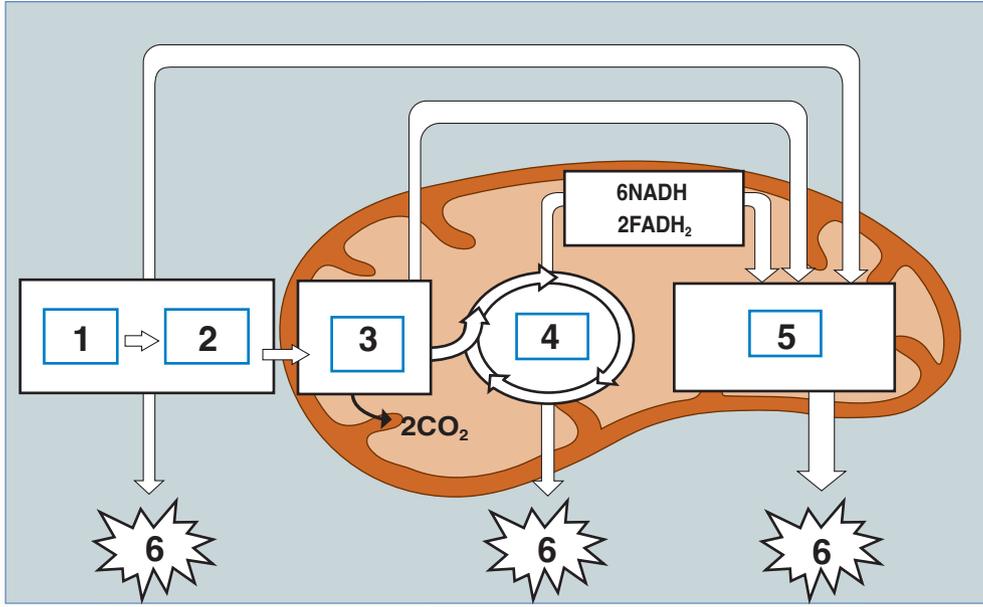
البناء الضوئي الصناعي Artificial Photosynthesis

للحدّ من المشكلات البيئية الناجمة عن استخدام الوقود الأحفوري، مثل: التغيّر المناخي، وظاهرة الاحتباس الحراري Global Warming التي سببها انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون، وتوفير ما يلزم من موارد البيئة عالمياً؛ تتوالى جهود العلماء لإيجاد تقنيات رخيصة ونظيفة تحاكي عملية البناء الضوئي صناعياً، مثل: تصنيع ورقة نبات صناعية يُمكنها امتصاص الطاقة الشمسية، وتحليل الماء لإنتاج الهيدروجين واستخدامه وقوداً، أو استخدامه في إنتاج أنواع وقود أخرى مُتجدّدة وآمنة ومستدامة.



مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: ما المقصود بعمليات الأيض؟
2. أدرس الشكل الآتي الذي يُبين مراحل التنفس الخلوي، ثم أجب عن السؤالين التاليين:



- أ . أكتب ما يشير إليه كل رقم من الأرقام (1-6) في الشكل، باستخدام المفاهيم الآتية:
 جزيئا بيروفيت، فسفرة تأكسدية، غلوكوز، ATP، دورتان من حلقة كريس، جزيئا أستيل مُرافق إنزيم - أ.
- ب . ما عدد جزيئات ATP الكلية الناتجة من أكسدة جزيء واحد من الغلوكوز؟
3. في أيِّ مراحل عملية البناء الضوئي يحدث كلُّ ممَّا يأتي:
 أ . تثبيت CO₂.
 ب . تحلُّل H₂O.
 جـ . اختزال حمض الغليسرين أحادي الفوسفات (PGA) إلى غليسريد أحادي الفوسفات (PGAL).
 د . إنتاج ATP.
4. أ . ما مُستقبل الإلكترونات النهائي في كلِّ ممَّا يأتي:
 1. سلسلة نقل الإلكترون في عملية التنفس الهوائي.
 2. عملية التنفس اللاهوائي لبكتيريا اختزال الكبريتات.
 ب . أذكر اسم المُركَّب الناتج من كلِّ منهما.

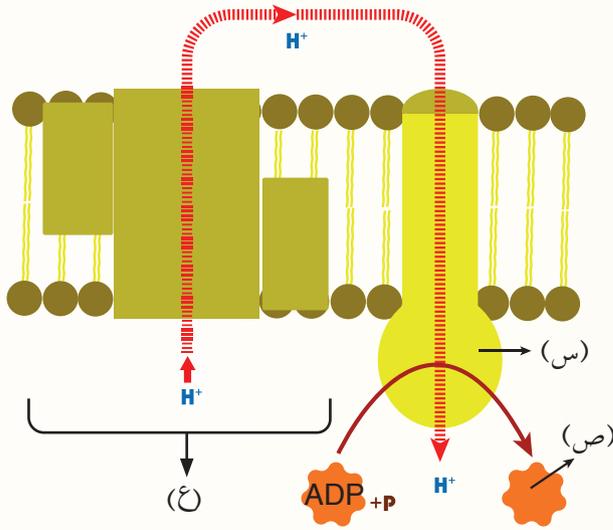
5. أوضّح أهمية كلِّ ممّا يأتي:

أ. عملية التخمر في إنتاج الطاقة.

ب. الماء في التفاعلات الضوئية اللاحقية في البناء الضوئي.

6. أدرس الشكل المجاور الذي يُمثّل عملية إنتاج ATP في كلِّ من الميتوكوندريا، والبلاستيدات الخضراء، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

أ. أذكر أسماء الأجزاء المشار إليها بالرموز: س، ص، ع، التي توجد في كلِّ من الميتوكوندريا، والبلاستيدات الخضراء.



ب. أوضّح آليّة عمل الأسموزية الكيميائية في إنتاج جزيئات ATP في كلِّ من الميتوكوندريا، والبلاستيدات الخضراء.

ج. ما أهمية الانثناءات (الأعراف) لتفاعلات سلسلة نقل الإلكترون في الميتوكوندريا؟

7. لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أحدها:

1. تُستخدم نواتج التفاعلات الضوئية NADPH، ATP لإنتاج المركبات العضوية في:

أ. حلقة كريس. ب. حلقة كالفن. ج. التخمر الكحولي. د. التخمر اللبني.

2. الجزء من البلاستيدات الخضراء الذي يحتوي على الكلوروفيل وأصبغ ونواقل إلكترونات:

أ. الغشاء الخارجي. ب. الغشاء الداخلي. ج. أغشية الثايلاكويد. د. اللّحمة.

3. يبلغ عدد جزيئات NADH الناتجة من تفكّك جزيئي غلوكوز خلال مرحلة التنفس الهوائي:

أ. 4. ب. 16. ج. 20. د. 18.

4. أي من الآتية لا تُعدّ من خطوات التنفس الهوائي:

أ. التحلل الغلايكولي. ب. حلقة كريس. ج. أكسدة البيروفيت إلى استيل مرافق-أ. د. الفسفرة التأكسدية.

5. ينتج من حلقة كالفن:

أ. ATP. ب. NADPH. ج. سكر الغلوكوز. د. الأكسجين.

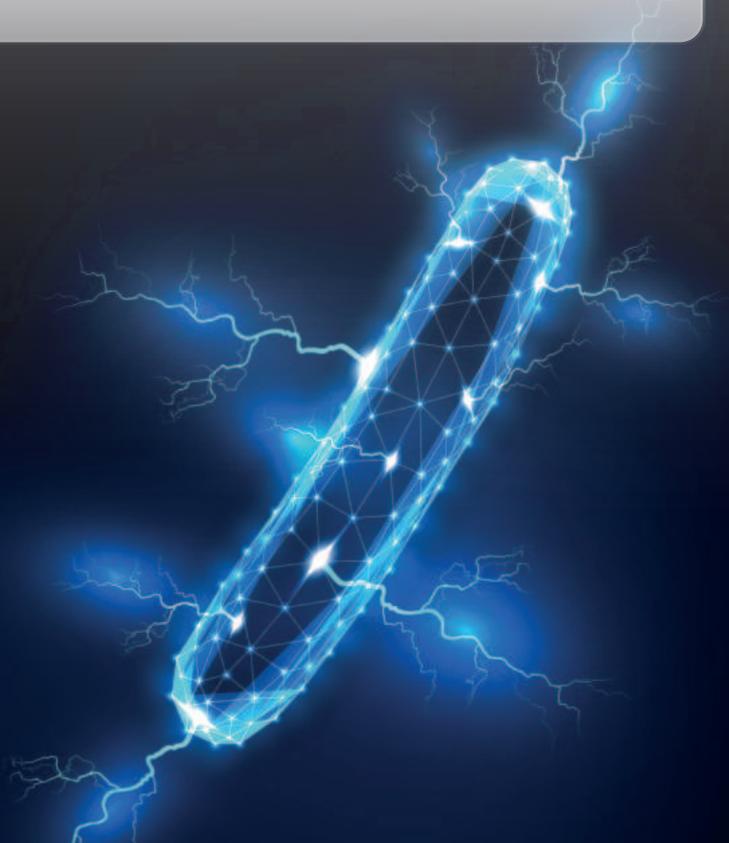
الإثراء والتوسُّع

البكتيريا والطاقة Bacteria and Energy

تعمل بعض الكائنات الحيّة الدقيقة اللاهوائية على إنتاج مواد عضوية في عملية تُسمّى البناء الكيميائي، إذ تُستخدم هذه الأنواع بعض المواد التي تتأكسد بسهولة، بوصفها مصدرًا للإلكترونات مثل H_2S ، بدلاً من الماء. ومن الأمثلة عليها: بعض الأثريات، وبكتيريا المياه الحارّة التي تعيش في بيئات لا يصلها الضوء، وبكتيريا الكبريت.

يُمكن لبعض أنواع البكتيريا اللاهوائية التي تعيش في المناجم وفي قاع البحيرات أن تحصل على الطاقة عن طريق استخدام الإلكترونات الناتجة من أكسدة المواد الموجودة في البيئة المحيطة. وقد اكتشف فريق بحث من جامعة ماساتشوستس الأمريكية أنّ بكتيريا جيوباكتر *Geobacter* تتخلّص من الإلكترونات التي توجد داخلها باستعمال شعيرات طويلة؛ وهي تراكيب تنتشر على سطح الخلايا البكتيرية، وتتكوّن من ألياف نانوية موصلة للكهرباء، ويُعتقَد أنّها تتكوّن من بروتينات تُشبه السييتوكرومات Cytochromes.

يسعى العلماء إلى الاستفادة من خصائص البكتيريا الموصلة للكهرباء في إنتاج تكنولوجيا حيّة وصديقة للبيئة، تُستخدم في المجالات الطبية، وتوليد الكهرباء، وتعقيم المياه الجوفية. أُصمّم مَطْوِيّةٌ أُخْص فيها عملية البناء الكيميائي.



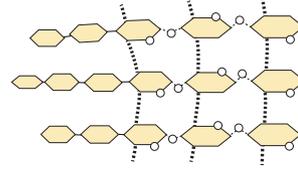
مراجعة الوحدة

السؤال الأول:

لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أعددتها:

1. أحد أنواع الكربوهيدرات الذي يُمثله الشكل المجاور

هو:



أ. السيليلوز.

ب. النشا.

ج. الغلايكوجين.

د. السُّكَّر الثنائي.

2. الكائنات الحيّة التي تستخدم الغلايكوجين في تخزين

الطاقة هي:

أ. الحيوانات.

ب. النباتات.

ج. الفطريات.

د. البكتيريا.

3. يُعدُّ الغلوكوز والغلكتوز من السُّكَّريات:

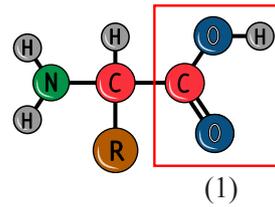
أ. الأحادية.

ب. الثنائية.

ج. الثلاثية.

د. المُتعدّدة.

4. يشير الرقم (1) في الشكل المجاور إلى:



أ. مجموعة كربوكسيل.

ب. مجموعة أمين.

ج. جزيء غليسرول.

د. مجموعة هيدروكسيل.

5. إحدى الخصائص الآتية تنطبق غالبًا على البروتينات

الليفية:

أ. الذوبان في الماء.

ب. وجود سلاسلها الجانبية R القطبية في اتجاه

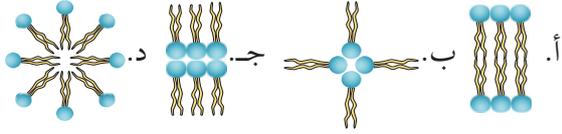
الخارج، مُواجهَةً للمحاليل المائية.

ج. من الأمثلة عليها الهيموغلوبين.

د. وجود سلاسلها الجانبية R غير القطبية في

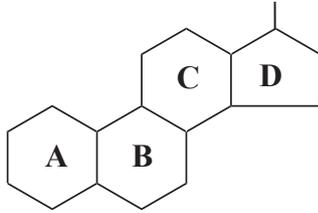
اتجاه الخارج، مُواجهَةً للمحاليل المائية.

6. الترتيب الصحيح لليبيدات المُفسَّرة في الغشاء البلازمي للخلية هو:



7. المُركَّب العضوي الحيوي الذي تُمثله الصيغة البنائية في

الشكل المجاور هو: مجموعة كيميائية



أ. السيليلوز.

ب. النشا.

ج. البروتين.

د. الستيرويد.

8. فصيلة دم المريض الذي يستقبل خلايا دم حمراء

من فصائل الدم جميعها، لكنّه لا يستطيع التبرُّع

بخلايا دم حمراء إلا لمرضى من فصيلة دمه

فقط، هي:

أ. O^+ ب. AB^- ج. O^- د. AB^+

9. إحدى العبارات الآتية صحيحة في ما يتعلّق

بالحموض النووية في الخلايا حقيقية النوى:

أ. احتواء RNA على القاعدة النيتروجينية يوراسيل.

ب. احتواء DNA على القاعدة النيتروجينية يوراسيل.

ج. احتواء RNA على القاعدة النيتروجينية ثايمين.

د. تكوُّن DNA من سلسلة واحدة، وتكوُّن RNA من

سلسلتين لولبيتين.

10. إحدى الآتية لا تُعدُّ جزءًا من النيوكليوتيدات:

أ. مجموعة فوسفات.

ب. الغليسرول.

ج. القاعدة النيتروجينية.

د. السُّكَّر الخماسي.

11. الدور الرئيس للتفاعلات في حلقة كربس هو:

أ. إنتاج الطاقة.

ب. إنتاج CO_2 .

ج. اختزال NAD^+ ، و FAD ؛ لاستخدامهما في

الفسفرة التأكسدية.

د. إنتاج أستيل مُرافق إنزيم _ أ.

مراجعة الوحدة

12. الطول الموجي للضوء الذي تمتصه صبغة النظام الضوئي الأول بأقصى فاعلية بوحدة النانومتر (nm) هو:
- أ. 860 ب. 700
ج. 680 د. 760
13. نواتج التفاعلات الضوئية التي تُستخدم في حلقة كالفن هي:
- أ. CO_2 ، ATP ب. O_2 ، NADPH
ج. ATP، NADPH د. ATP، H_2O
14. عدد جزيئات الغلوكوز المتأكسدة في حال أُنتج (12) جزيئاً من CO_2 في عملية التنفس الهوائي هو:
- أ. جزيء واحد. ب. جزيئان.
ج. ثلاثة جزيئات. د. أربعة جزيئات.
15. عملية فقدان جزيء NADH للإلكترونات تُسمى:
- أ. أكسدة. ب. اختزالاً.
ج. فسفرة. د. بناءً كيميائياً.
16. تُنتج جزيئات ATP من المراحل الآتية جميعها باستثناء:
- أ. حلقة كالفن. ب. حلقة كربس.
ج. الفسفرة التأكسدية. د. التحلل الغلايكولي.
17. مصدر الأكسجين المنطلق من عملية البناء الضوئي هو:
- أ. الهواء. ب. ثاني أكسيد الكربون.
ج. الغلوكوز. د. الماء.
18. يحتوي مُعقّد مركز التفاعل في النظام الضوئي على زوج خاص من:
- أ. الكلوروفيل-أ. ب. صبغة الكاروتين.
ج. الكلوروفيل-ب. د. الكلوروفيل-ج.
19. تمثل البروتينات أكثر من من الكتلة الجافة لمعظم الخلايا:
- أ. 20% ب. 30%
ج. 40% د. 50%
20. من الأمثلة على عمل الإنزيمات إنزيم تصنيع الغلايكوجين الذي يعمل على:
- أ. ربط الوحدات البنائية (الغلوكوز).
ب. ربط الوحدات البنائية (الغلاكتوز).
ج. ربط الوحدات البنائية (الفركتوز).
د. ربط الوحدات البنائية (الغلايكوجين).

السؤال الثاني:

بناءً على دراستي موضوع الحموض النووية، أُجيب عن السؤالين

الآتيين:

أ. أُصنّف الحمض النووي في الشكل المجاور إلى DNA أو RNA،

وأفسّر إجابتي.

ب. ما نسبة السيتوسين في قطعة من DNA إذا كانت نسبة

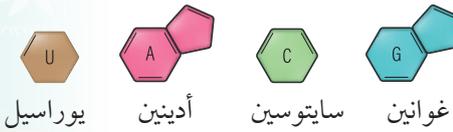
الغوانين فيها (42%)؟

السؤال الثالث:

مُتبرّع فصيلة دمه AB:

أ. ما مؤلّدات الضد على سطوح خلايا دمه الحمراء بحسب نظام ABO؟

ب. أفسّر: لماذا لا يُمكن لهذا المُتبرّع التبرّع بوحدة دم إلى مريض فصيلة دمه O؟



مراجعة الوحدة

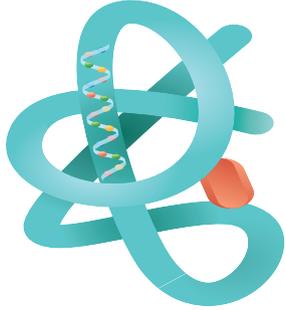
السؤال الرابع:

أصل بين المصطلح العلمي ورمز الوصف المناسب له في ما يأتي:

الرابطة الغلايكوسيدية	أ	الطاقة اللازمة لبدء التفاعل الكيميائي.
التحلل الغلايكولي	ب	بروتين يتصل بسلسلة أو أكثر من السكريات.
ATP	ج	رابطة تساهمية تربط بين الغليسرول والحموض الدهنية.
مُرافقات الإنزيم	د	تحطّم الجلوكوز لإنتاج جزيئي بيروفيت.
البيريميديونات	هـ	جزيء حفظ الطاقة الذي يتكوّن من الأدينين، وسكّر الرايبوز، وثلاث مجموعات من الفوسفات.
الرابطة الإستيرية	و	الهيكل الأساسي لمستويات البروتين.
البروتين السكّري	ز	يُكسب جدران الخلايا النباتية المرونة والقوّة.
طاقة التنشيط	ح	تحدث تفاعلاتها في اللّحمة داخل البلاستيدة.
حلقة كالفن	ط	قواعد نيتروجينية تتكوّن من حلقة واحدة، ويُمثّلها اليوراسيل، والثايمين، والسيتوسين.
البناء الضوئي الصناعي	ي	رابطة تساهمية تربط بين جزيئات الجلوكوز.
التركيب الأوّلي للبروتين	ك	تحدث تفاعلاتها في الحشوة داخل الميتوكوندريا.
حلقة كربس	ل	استخدام ورقة نبات صناعية قادرة على امتصاص الطاقة الشمسية، وتحليل الماء.
السيليلوز	م	عوامل مساعدة عضوية للإنزيمات.

السؤال الخامس:

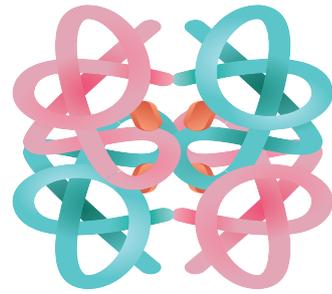
أحدّد مستوى تركيب كلّ من البروتينات الآتية:



(ج)



(ب)



(أ)

السؤال السادس:

أحدّد عدد الجزيئات الناتجة من أكسدة جزيء واحد من الجلوكوز في كل مرحلة من المراحل الوارد ذكرها في الجدول الآتي:

عدد جزيئات ATP الكلية	عدد جزيئات ATP الناتجة من الفسفرة التأكسدية	عدد جزيئات CO ₂ الناتجة	عدد جزيئات ATP الناتجة مباشرة	عدد جزيئات FADH ₂	عدد جزيئات NADH	المرحلة
						التحلل الغلايكولي
						أكسدة البيروفيت (جزيئان)
						حلقة كربس (دورتان)
مجموع جزيئات ATP						

دورة الخلية وتصنيع البروتينات

Cell Cycle and Proteins Synthesis

الوحدة

2

قال تعالى:

﴿ إِنَّا خَلَقْنَا الْإِنْسَانَ مِنْ نُطْفَةٍ أَمْشَاجٍ نَبْتَلِيهِ فَجَعَلْنَاهُ سَمِيعًا بَصِيرًا ﴾

(سورة الإنسان، الآية 2).



أتأمل الصورة

يؤدي الانقسام الخلوي دورًا في نمو الكائنات الحيّة وتكاثرها، وتُمثّل الصورة في الأعلى نموذجًا لخلايا ناتجة من انقسام خلوي. فما المراحل التي تمرُّ بها الخلية قبل انقسامها؟ ما الذي يضبط هذه المراحل؟ كيف تُصنّع الخلايا البروتينات التي تحتاج إليها؟

الفكرة العامة:

تمرُّ الخلية في أثناء حياتها بدورة تشمل مراحل عدَّة، وتعمل على تصنيع البروتينات اللازمة لأداء أنشطتها الحيوية، وتنظيم هذه الدورة.

الدرس الأوَّل: دورة الخلية.

الفكرة الرئيسة: تتألف دورة الخلية من مراحل وأطوار تُسهِّم في تنظيمها إشارات خلوية عديدة. وتكون جميع الخلايا الحيَّة دائمًا في مرحلة ما من دورة الخلية.

الدرس الثاني: الانقسام الخلوي وأهميته.

الفكرة الرئيسة: للانقسام الخلوي أنواع عدَّة، لكلٍّ منها أهميته في استمرار الحياة، وبقاء الأنواع الحيَّة المختلفة على سطح الأرض.

الدرس الثالث: تضاعف DNA والتعبير الجيني.

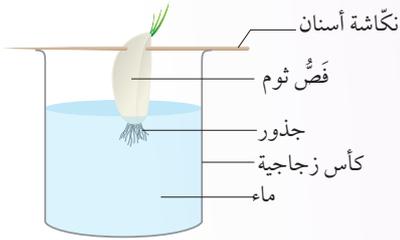
الفكرة الرئيسة: يمتاز جزيء DNA بقدرته على التضاعف، وتُعَدُّ المعلومات التي يحملها الأساس في عمليات تصنيع الخلية للبروتينات. تحدث عملية التعبير الجيني في الخلية، وهي تختلف بين الخلايا تبعًا لاختلاف الأنشطة والوظائف التي تقوم بها كلٌّ منها.

تجربة استخلاصية

الانقسام المتساوي في خلايا القمم النامية لجذور الثوم

تُسهّم دراسة الانقسام الخلوي إسهامًا كبيرًا في فهم كثير من العمليات الحيوية. وتُعَدُّ دراسة انقسام خلايا القمم النامية لجذور النباتات إحدى أسهل الطرائق لدراسة الانقسام الخلوي.

المواد والأدوات: كأس زجاجية صغيرة فيها ماء، نكّاشة أسنان، شرائح زجاجية وأغطيّتها، صبغة خلايا نباتية مثل السفرانين، مجهر ضوئي، مشرط، فصوص ثوم (يُمكن استخدام البصل)، ملقط، حمض الهيدروكلوريك (1M)، محلول من حمض الخليك والإيثانول (نسبة حمض الخليك إلى الإيثانول 1 إلى 3)، قفّازات، ورق تشيف، قلم رصاص، ماء، طبق بتري زجاجي.



إرشادات السلامة:

- استعمال المشرط والمواد الكيميائية بحذر.
- غسل اليدين جيدًا بعد انتهاء التجربة.

خطوات العمل:

- 1 أُجْرَب:** أُثَبَّتِ الفصّ الثوم على فُوّهة الكأس باستخدام نكّاشة الأسنان، مع مراعاة غَمْرَ الجذور فقط في الماء كما في الشكل المجاور؛ تجنّبًا لتعفن فصّ الثوم.
- 2 أَلْحِظ:** نمو الجذور بعد (3-4) أيام.
- 3 أُجْرَب:** أقطع (1-3) cm من نهايات القمم النامية للجذور، ثم أضعها في كأس تحوي محلول حمض الخليك والإيثانول مدّة (10) min. بعد ذلك أُسخّن محلول حمض الهيدروكلوريك في حَمّام مائي حتى تصبح درجة حرارته 60 °C.
- 4 أُجْرَب:** أغسل الجذور بالماء البارد مدّة تتراوح بين (4-5) min، ثم أنشّفها جيدًا بورق التشيف. بعد ذلك أنقلها إلى الكأس التي تحوي محلول حمض الهيدروكلوريك الساخن، وأتركها فيه مدّة (5) min.
- 5 أُجْرَب:** أنقل الجذور إلى طبق بتري باستخدام الملقط، وأغسلها بالماء البارد، ثم أنشّفها جيدًا بورق التشيف، ثم أضعها على شريحة زجاجية نظيفة. بعد ذلك أفضّ (2) mm من قمم الجذور النامية، ثم أبقها على الشريحة، وأنخلّص من بقية الجذور.
- 6** أضيف قطرة من الصبغة إلى القمم النامية على الشريحة، ثم أضع غطاء الشريحة، ثم أسحق العيّنة بالضغط عليها بلطف فوق غطاء الشريحة باستخدام الطرف العريض لقلم الرصاص.
- 7 أَلْحِظ:** الخلايا باستخدام المجهر الضوئي بعد تكبيرها 400 X، ثم أدوّن ملاحظاتي.

التحليل والاستنتاج:

1. أحسبُ النسبة المئوية لكل طور من أطوار الانقسام الخلوي.
2. أمثّل بيانيًا أعداد الخلايا في كل طور.
3. أتواصل: أناقش زملائي/ زميلاتي في النتائج التي توصلتُ إليها، ثم أقارنها بنتائجهم.

ما دورة الخلية؟ What is Cell Cycle?

لكل كائن حيٍّ على سطح الأرض دورة حياة، وكذلك الخلايا المُكوِّنة لهذه الكائنات؛ إذ إنَّ لكل خلية دورة حياة تمرُّ بها، وتبدأ منذ تكوُّن الخلية نتيجة انقسام خلية ما، وتنتهي عند انقسامها هي نفسها مُكوِّنةً خليتين جديدتين، وتُسمَّى هذه الدورة **دورة الخلية Cell Cycle**.

تختلف الخلايا في ما بينها من حيث مدَّة الدورة لكلِّ منها، ويعتمد ذلك على عوامل مختلفة، منها: نوع الخلية، والظروف التي تحيط بها. فمثلاً: تنقسم خلية قِمة نامية في جذر بصل كل 20 ساعة تقريباً، أنظر الشكل (1)، في حين تنقسم خلية طلائية في الأمعاء الدقيقة لإنسان كل (10-12) ساعة.

تمرُّ دورة الخلية بمرحلتين رئيسيتين، هما: المرحلة البينية، ومرحلة الانقسام الخلوي، وتحتوي كل مرحلة منهما أطواراً عدَّةً.

✓ **أتحقَّق:** أعرِّف دورة الخلية.

الشكل (1): بعض مراحل دورة الخلية في خلايا قِمة نامية لجذر بصل.

الفكرة الرئيسة:

تتألف دورة الخلية من مراحل وأطوار تُسهِّم في تنظيمها إشارات خلوية عديدة. وتكون جميع الخلايا الحيَّة دائماً في مرحلة ما من دورة الخلية.

تأجرات التعلُّم:

- أصف مراحل دورة الخلية.
- أوضِّح آليَّة تنظيم مراحل دورة الخلية وأطوارها.

المفاهيم والمصطلحات:

دورة الخلية	Cell Cycle
الطور الصفري	G ₀ Phase
الإشارات الخلوية	Cellular Signals
إشارات التقدُّم	Go-ahead Signals
إشارات التوقُّف	Stop Signals
إشارات الموت المُبرِّمَج للخلية	Apoptosis Signals
نقطة المراقبة	Checkpoint
السايكليينات	Cyclins
إنزيمات الفسفرة المُعتَمِدة على السايكليين	Cyclin-Dependent Kinases (Cdks)

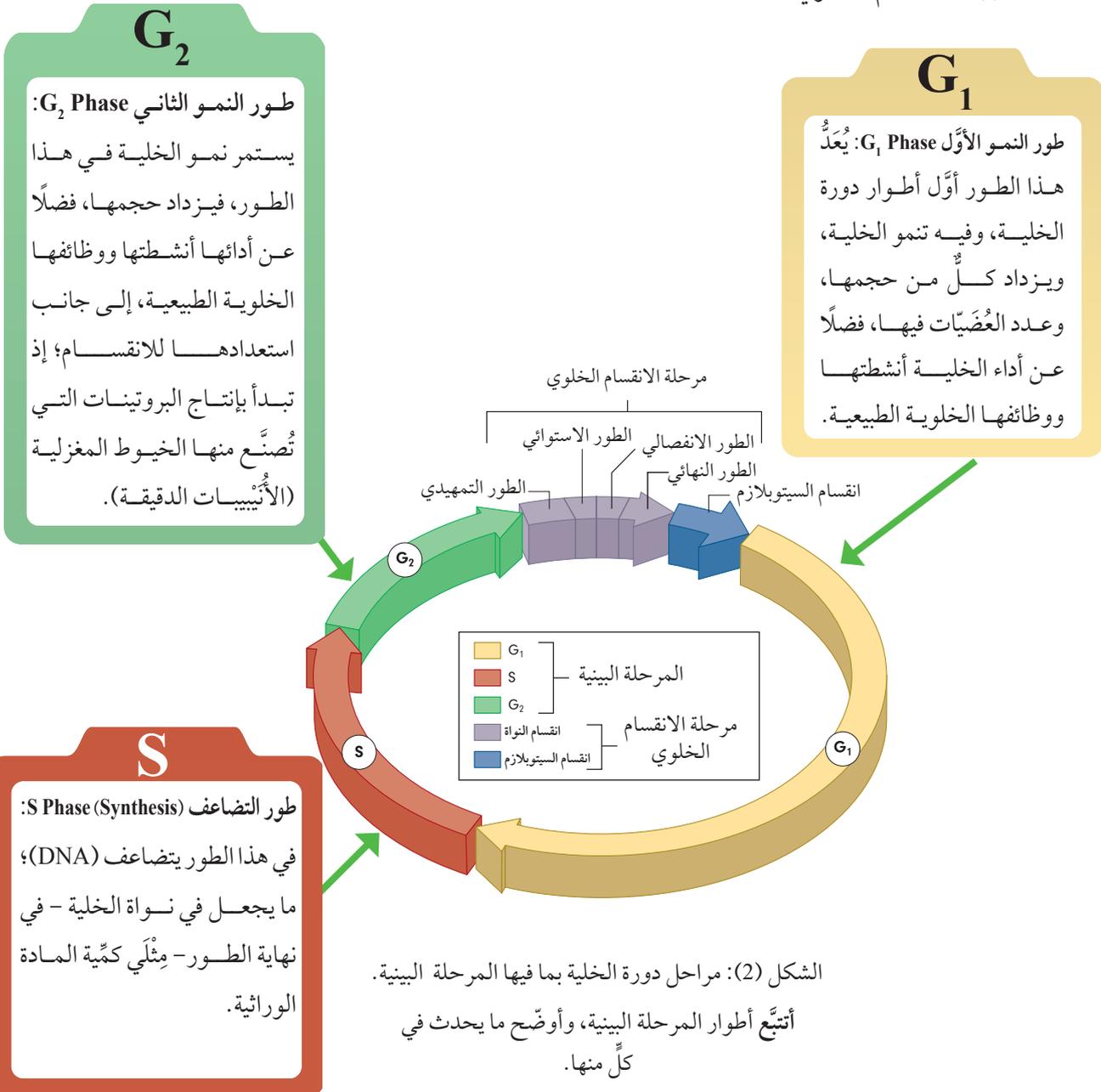
مراحل دورة الخلية Cell Cycle Phases

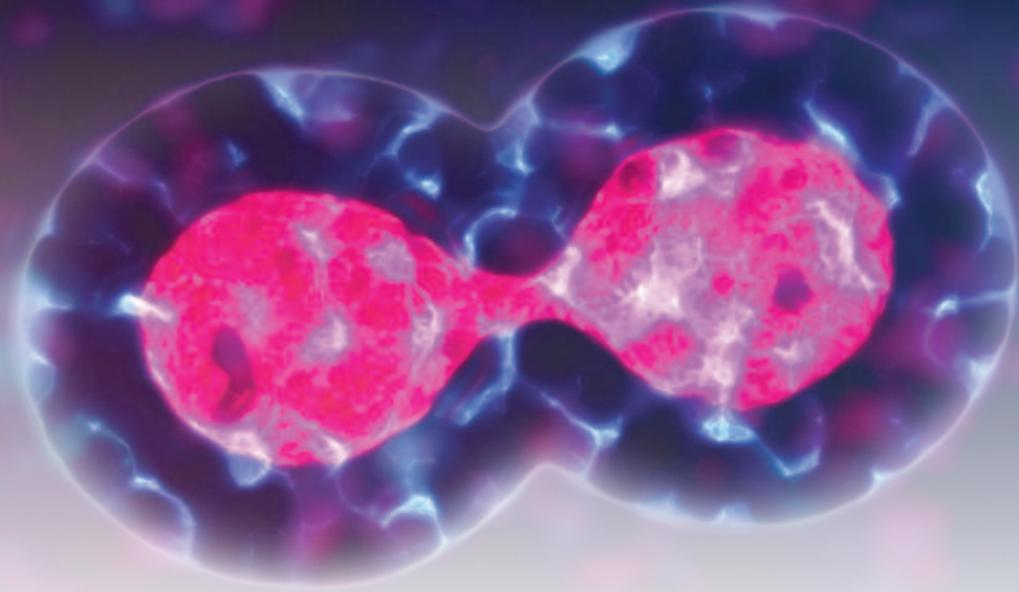
✓ **أتحقّق:** ما المراحل الرئيسية التي تمرُّ بها خلية جلد إنسان في دورة الخلية؟

تمرُّ دورة الخلية في الكائنات حقيقية النوى بمرحلتين رئيسيتين، هما: المرحلة البينية التي تتكوّن من طور النمو الأوّل (G_1)، وطور التضاعف (S)، وطور النمو الثاني (G_2)، ومرحلة الانقسام الخلوي (M) التي تتكوّن من أطوار عدّة، لكلٍّ منها سماته التي تُميّزه عن غيره من الأطوار.

المرحلة البينية Interphase

تتكوّن المرحلة البينية من أطوار عدّة، أنظر الشكل (2)، وتُمثّل غالبًا ما نسبته 90% من دورة الخلية؛ إذ تنمو في أثناءها الخلية، وتتضاعف مادة الوراثة (DNA) تمهيدًا للانقسام الخلوي.





مرحلة الانقسام الخلوي Phase (M)

تبدأ هذه المرحلة بعد طور النمو الثاني؛ ويحدث فيها انقسام النواة أي انقسام نواة الخلية إلى نواتين مُتماثلتين، وهو ما يحدث على نحوٍ مُشابهٍ في جميع الخلايا حقيقية النوى. يلي ذلك انقسام السيتوبلازم، أنظر الشكل (3)، ويختلف هذا الانقسام في الخلايا النباتية عنه في الخلايا الحيوانية.

الطور الصفري G_0

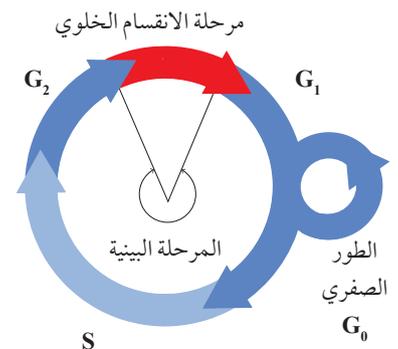
تختلف الخلايا بعضها عن بعض من حيث النشاط في الانقسام؛ فمنها ما يكون نشيطاً، ويكمل دورة الخلية كاملة، مثل الخلايا الطلائية المُبطَّنة للقناة الهضمية، ومنها ما يدخل في طور سكون يُسمَّى **الطور الصفري G_0** . تخرج الخلية من طور G_1 إلى هذا الطور في حال غياب الإشارات الخلوية (سأدرسها لاحقاً) التي تُحفِّز الخلية على الاستمرار في الدورة. ومن الأمثلة على الخلايا التي تدخل طور G_0 : الخلايا العصبية، والخلايا العصبية، أنظر الشكل (4).

تقوم الخلية في الطور الصفري بجميع وظائفها وأنشطتها باستثناء الأنشطة التي تُهيئها للانقسام، علماً بأنَّ بعض الخلايا لا تغادر هذا الطور بعد دخولها فيه، خلافاً لخلايا أخرى تتمكَّن من العودة إلى طور G_1 ، وإكمال دورة الخلية عند تحفيزها بالإشارات الخلوية المُناسبة، ومن الأمثلة على هذه الخلايا خلايا الكبد.

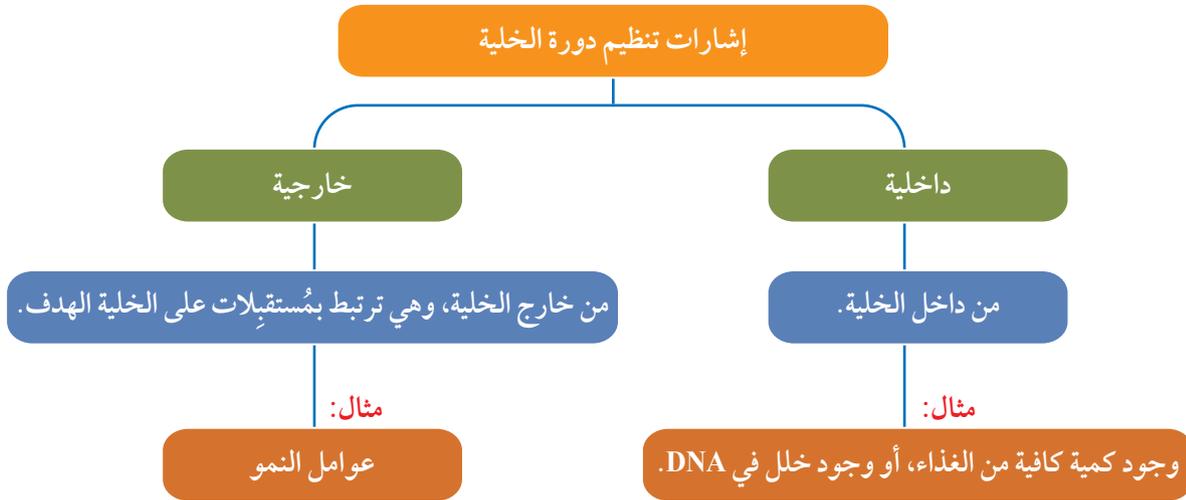
✓ **أتحقَّق:** أذكر أمثلة على بعض الخلايا التي تدخل الطور الصفري.

الشكل (3): انقسام السيتوبلازم بعد انقسام النواة.

✓ **أتحقَّق:** متى تبدأ مرحلة الانقسام الخلوي؟



الشكل (4): خروج الخلية من دورة الخلية، ودخولها الطور الصفري.



الشكل (5): إشارات تنظيم دورة الخلية.

تنظيم دورة الخلية Regulation of Cell Cycle

تعمل مجموعة من المواد الكيميائية على تنظيم دورة الخلية، ويُطلق على هذه المواد التي معظمها بروتينات اسم **الإشارات الخلوية Cellular Signals**، وهي تُصنّف بحسب مصدرها إلى إشارات داخلية، وإشارات خارجية، أنظر الشكل (5).

أفكر: لماذا لا تستجيب بعض الخلايا للإشارات الخارجية؟

تُصنّف هذه الإشارات بحسب آلية عملها إلى ثلاثة أنواع، هي: **إشارات التقدم Go-ahead Signals** التي تُحفّز انتقال الخلية إلى المرحلة اللاحقة أو الطور اللاحق، و**إشارات التوقف Stop Signals** التي تعمل على بقاء الخلية في الطور، وعدم انتقالها إلى الطور الذي يليه، وتُنشّط **إشارات الموت المُبرمج للخلية Apoptosis Signals** جينات تُسهّم في إنتاج إنزيمات تُحطّم مُكوّنات في الخلية؛ ما يؤدي إلى موتها.

✓ **أتحقّق:** ما أهمية الإشارات الخلوية في دورة الخلية؟

نقاط المراقبة Checkpoints

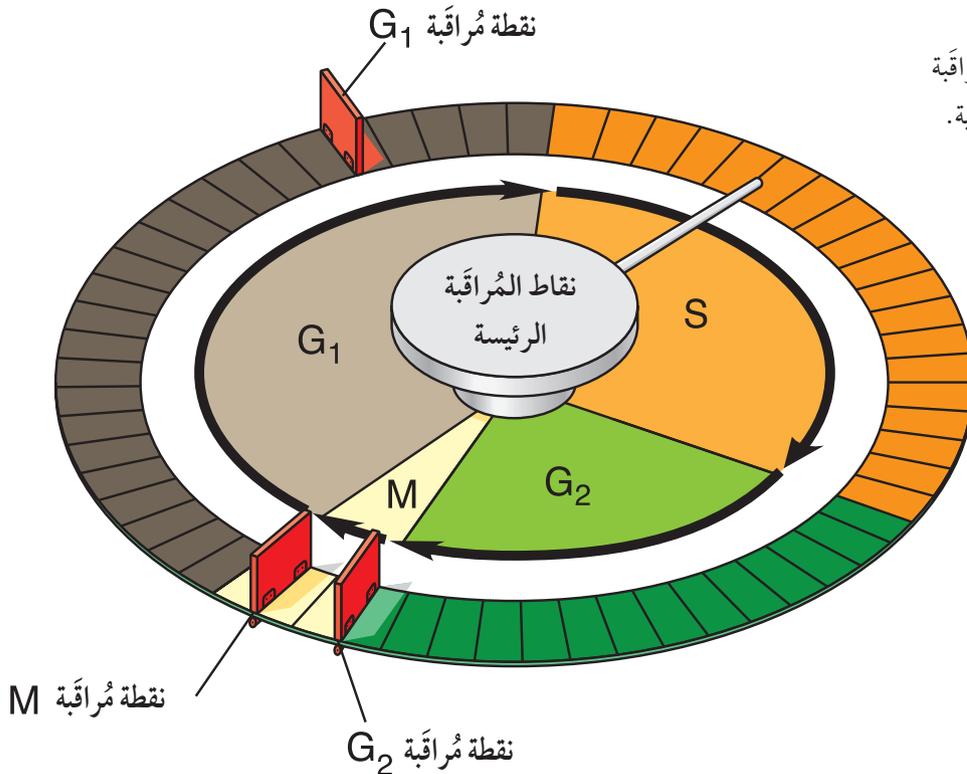
تُنظَّم الإشارات الخلوية دورة الخلية في نقاط مُحدَّدة، تُسمَّى كلُّ منها **نقطة**

مراقبة Checkpoint .

توجد نقاط مراقبة عديدة، ولكنَّ نقاط المراقبة: G_1 ، G_2 ، و M ، هي الرئيسة منها، أنظر الشكل (6).

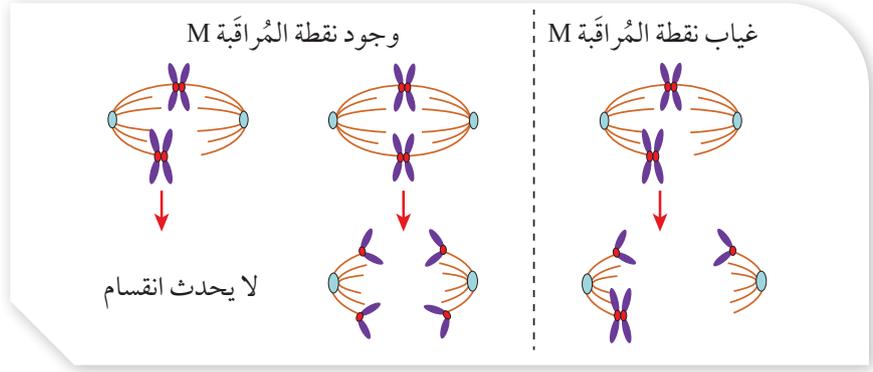
تُعَدُّ نقطة المراقبة G_1 أهم نقاط المراقبة؛ ذلك أنَّ الخلية في الطور G_1 تستقبل إشارات خلوية داخلية وخارجية تُحدِّد معًا الوقت المناسب لدخول الخلية طور التضاعف. وإذا لم تستقبل الخلية في نقطة المراقبة هذه إشارة تقدُّم، فقد لا تُكْمِل الخلية بقية الأطوار، وتخرج من دورتها إلى الطور الصفري. أمَّا نقطة المراقبة G_2 ففيها يُتَحَقَّق من انتهاء تضاعف DNA في طور التضاعف، ومن عدم وجود أخطاء في جزيئي DNA الناتجين من عملية تضاعف DNA. وفي حال وجود خطأ ما، فإنَّ دورة الخلية تتوقَّف عند نقطة المراقبة G_2 ؛ ما يتيح للخلية تصحيح الخطأ، أو يؤدِّي إلى موتها المُبرمج إن لم تستطع ذلك. يُسبِّب الموت المُبرمج في منع دخول الخلايا غير الطبيعية مرحلة الانقسام وازدياد أعدادها.

أفكر: ما الأخطاء التي يُحتمل ظهورها إذا اختفت نقطة المراقبة G_2 ؟



الشكل (6): نقاط المراقبة الرئيسة في دورة الخلية.

الشكل (7): الانقسام في حال ارتباط الكروماتيدات بالخيوط المغزلية، وفي حال عدم الارتباط بها.



وأما نقطة المراقبة M فتعمل ما بين الطور الاستوائي والطور الانفصالي. وفيها يُتحقق من ارتباط الكروماتيدات الشقيقة بالخيوط المغزلية على نحوٍ صحيح. وفي حال كانت بعض الكروماتيدات غير مُرتبطة بالخيوط المغزلية، فإنَّ الخلية تتوقف عن عملية الانقسام حتى ترتبط جميع الكروماتيدات بالخيوط المغزلية، أنظر الشكل (7).

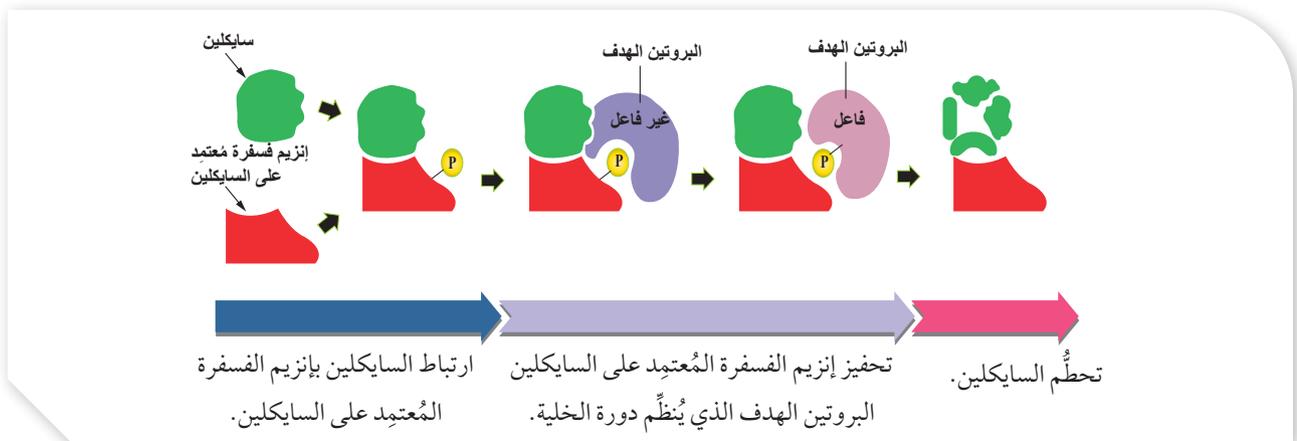
السايكليينات وإنزيمات الفسفرة المُعتمدة على السايكلين

Cyclins and Cyclin-Dependent Kinases (Cdks)

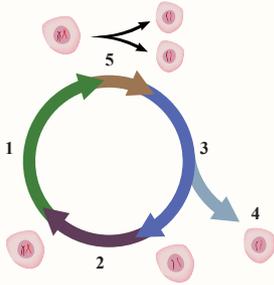
السايكليينات Cyclins هي مجموعة من البروتينات، توجد في معظم الخلايا حقيقية النوى، وتُصنَّع في أثناء دورة الخلية، وتُحطَّم خلالها سريعاً. تؤدي السايكليينات دوراً في تنظيم دورة الخلية؛ بتحفيزها إنزيمات تُسمى **إنزيمات الفسفرة المُعتمدة على السايكليينات Cyclin-Dependent Kinases (Cdks)**؛ إذ تعمل هذه الإنزيمات - بعد ارتباطها بالسايكلين - على إضافة مجموعة فوسفات إلى البروتين الهدف في عملية تُسمى الفسفرة. وقد تؤدي فسفرة البروتينات إلى تحفيزها أو تثبيطها بحسب حاجة الخلية، أنظر الشكل (8).

تتمثل أهمية ارتباط السايكلين بإنزيم الفسفرة المُعتمد على السايكلين في أمرين رئيسيين، هما: تحفيز الإنزيم، وإرشاده إلى البروتينات الهدف التي يعمل على فسفرتها.

الشكل (8): آلية عمل إنزيمات الفسفرة المُعتمدة على السايكلين.



مراجعة الدرس



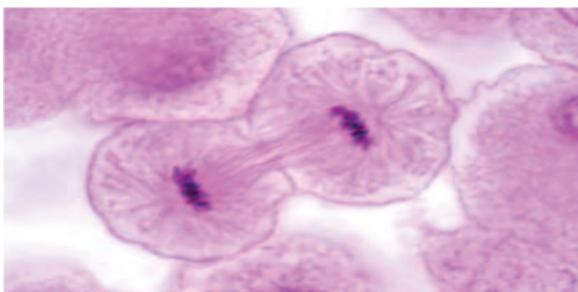
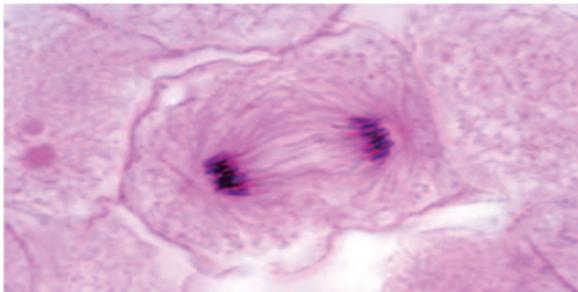
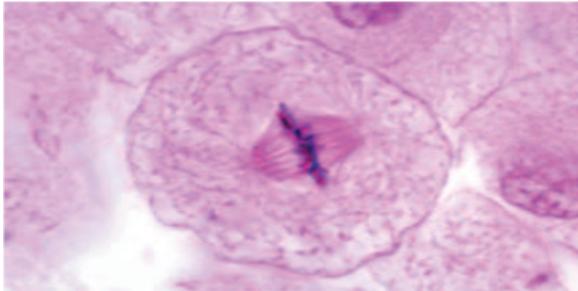
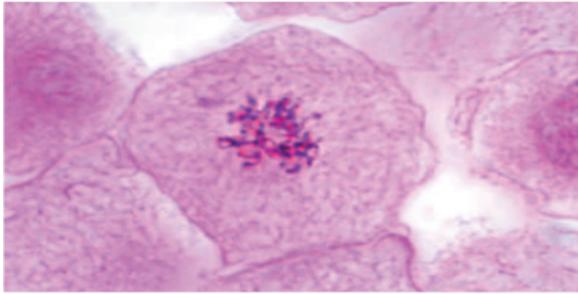
- الفكرة الرئيسية: ما مراحل دورة الخلية؟ ما أطوار كل مرحلة منها؟
- أفسر: لماذا تختلف الخلايا في ما بينها من حيث المدة الزمنية اللازمة لإكمال دورة الخلية؟
- أدرس الشكل المجاور الذي يُمثل دورة الخلية، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:
 - أكتب اسم الطور (في المرحلة البينية) الذي يشير إليه كل من الأرقام الآتية: 1، 2، 3.
 - ما رقم الطور (1 - 4) الذي لا يحدث فيه استعداد لعملية الانقسام؟
 - ما رقم الطور الأطول في المرحلة البينية لدورة الخلية الظاهرة في الشكل؟
- أتوقع: كيف يُسهم غياب نقاط المراقبة في ظهور الأورام السرطانية؟
- أقارن بين الطور الصفري وطور النمو الثاني كما في الجدول الآتي:

طور النمو الثاني	الطور الصفري	
		أداء الخلية أنشطتها الطبيعية:
		الزيادة في كمية DNA:
		أداء الخلية الأنشطة التي تُهيئها للانقسام:

- لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أحمدها:
 - توجد نقطة مراقبة G_2 في:
 - أ. نهاية طور النمو الأول.
 - ب. بداية طور النمو الأول.
 - ج. نهاية طور النمو الثاني.
 - د. بداية طور النمو الثاني.
 - تحتاج الخلية الطلائية في الأمعاء الدقيقة للإنسان لكي تنقسم مدة زمنية تقدر بـ:
 - أ. 18-20 ساعة.
 - ب. 7-9 ساعات.
 - ج. 13-16 ساعة.
 - د. 10-12 ساعة.
 - الإشارات الخلوية التي تقوم بتنشيط جينات في الخلية تسهم في إنتاج إنزيمات تحطم مكونات الخلية ومن ثم موتها هي:
 - أ. إشارات الموت المبرمج.
 - ب. إشارات التقدم.
 - ج. إشارات التوقف.
 - د. إشارات الثبات.
 - ما يحدث أثناء طور التضاعف (S):
 - أ. يزداد عدد العضيات.
 - ب. يتضاعف (DNA).
 - ج. يزداد حجم الخلية.
 - د. تُنتج البروتينات التي تُصنع منها الخيوط المغزلية.
 - دخل نسيج يتكون من أربعة خلايا في عملية الانقسام المتساوي، إذا كانت الخلية (أ) تحتوي على نصف المادة الوراثية الموجودة في الخلايا (ب، ج، د)، فإن الطور الذي توجد فيه الخلية (أ) هو:
 - أ. النمو الأول (G_1).
 - ب. النمو الثاني (G_2).
 - ج. التمهيدي.
 - د. الاستوائي.

الانقسام المتساوي Mitosis

يحدث انقسام متساوٍ في خلية ما لإنتاج خليتين مُطابقتين جينياً للخلية المُنقسِمة، وتحتوي كلٌّ منهما عدد كروموسومات هذه الخلية نفسه. تمرُّ الخلية في أثناء الانقسام المتساوي بأربعة أطوار رئيسة مُتتَابِعة، وهي: الطور التمهيدي، والطور الاستوائي، والطور الانفصالي، والطور النهائي، أنظر الشكل (9)، يليها انقسام السيتوبلازم لإنتاج خليتين مُنفصلتين.



الفكرة الرئيسة:

للانقسام الخلوي أنواع عدّة، لكلٍّ منها أهميته في استمرار الحياة، وبقاء الأنواع الحيّة المختلفة على سطح الأرض.

نتائج التعلّم:

- أوّضح أهمية الانقسام الخلوي في حياة الكائنات الحيّة.
- أصف مراحل الانقسام الخلوي في الخلية.
- أقرن بين الانقسام المتساوي والانقسام المُنصّف.
- أوّضح دور الانقسام المتساوي والانقسام الثنائي في تكاثر الكائنات الحيّة لاجنسياً.

المفاهيم والمصطلحات:

Regeneration

التجدد

الشكل (9): أطوار الانقسام المتساوي.

أطوار الانقسام المتساوي Phases of Mitosis

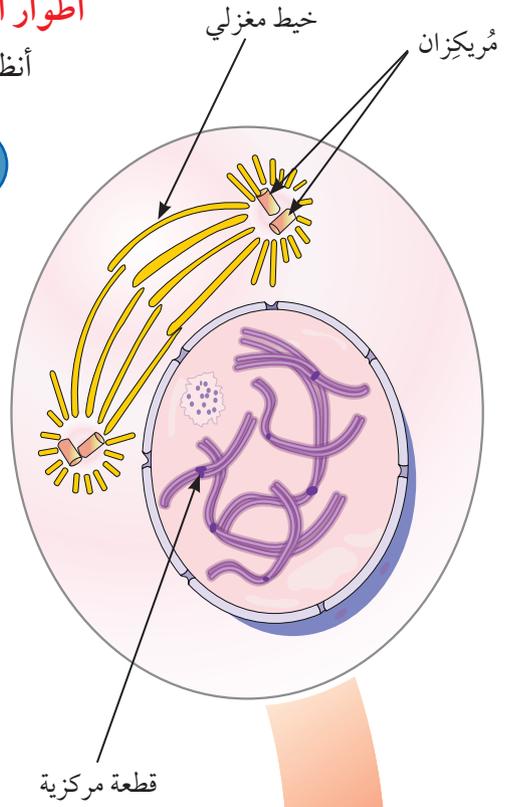
أنظر الشكل (10) الذي يُبين أطوار الانقسام المتساوي، وسمات كل طور.

الطور التمهيدي Prophase

1

تظهر الكروموسومات قصيرة وسميكة، ويتكوّن كلٌّ منها من كروماتيدين شقيقين يرتبطان معًا عن طريق قطعة مركزية (سنترومير).

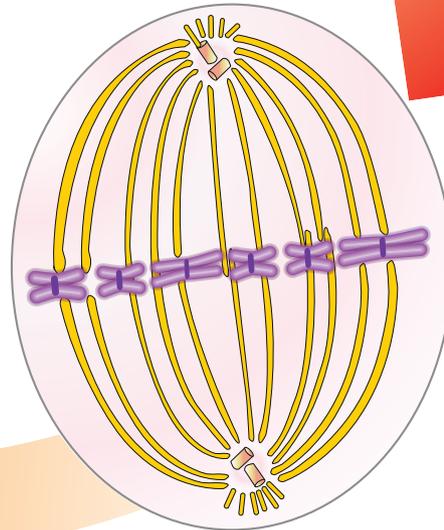
في نهاية هذا الطور يتفكك الغلاف النووي، وتختفي النوية، ويتحرّك الجسمان المركزيان Centrioles (الجسم المركزي تركيب يقتصر وجوده على الخلايا الحيوانية فقط، ويتكوّن كل جسم مركزي من تركيبين أسطوانيين، يُسمّى كلٌّ منهما مُركبًا) نحو قطبي الخلية المُتقابلين، وتبدأ الخيوط المغزلية بالامتداد من المُركبات إلى القطع المركزية في الكروموسومات لترتبط بها.



الطور الاستوائي Metaphase

2

ترتبط الخيوط المغزلية بالقطع المركزية فُيبل هذا الطور. ويمتاز هذا الطور بترتيب الكروموسومات في وسط الخلية.



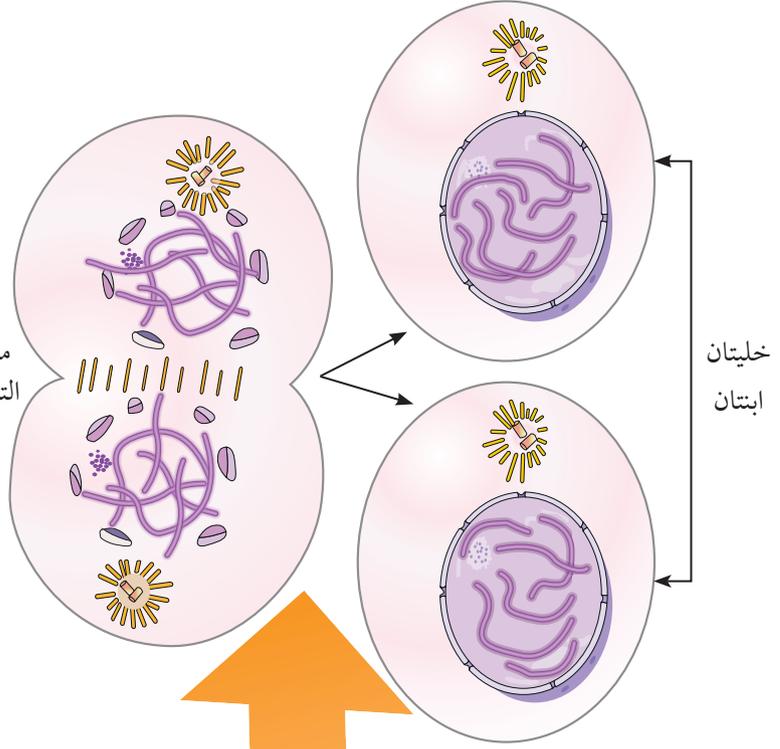
الشكل (10): أطوار الانقسام المتساوي، وسمات كل طور.

الطور النهائي Telophase

4

تتشكّل في هذا الطور نواتان ونُويّتان، ويبدأ الغلاف النووي بالظهور، وتصبح الكروموسومات أرفع وأطول تمهيداً لعودتها على شكل شبكة كروماتينية. وفي نهاية الطور يبدأ انقسام السيتوبلازم بعد وقت قصير من انقسام النواة.

منطقة التخصّر

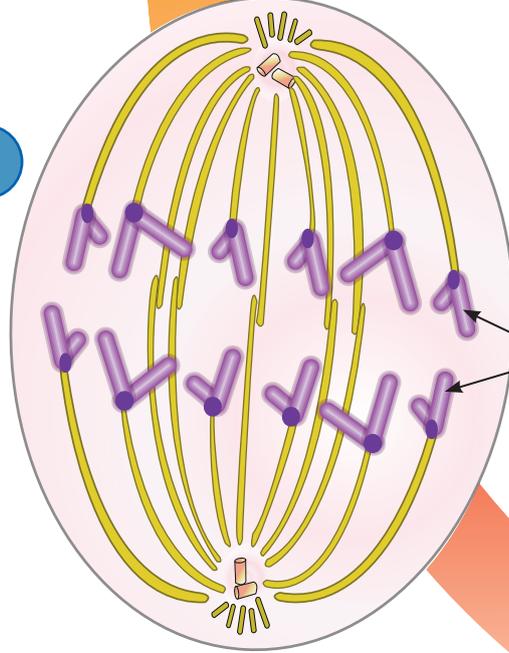


الطور الانفصالي Anaphase

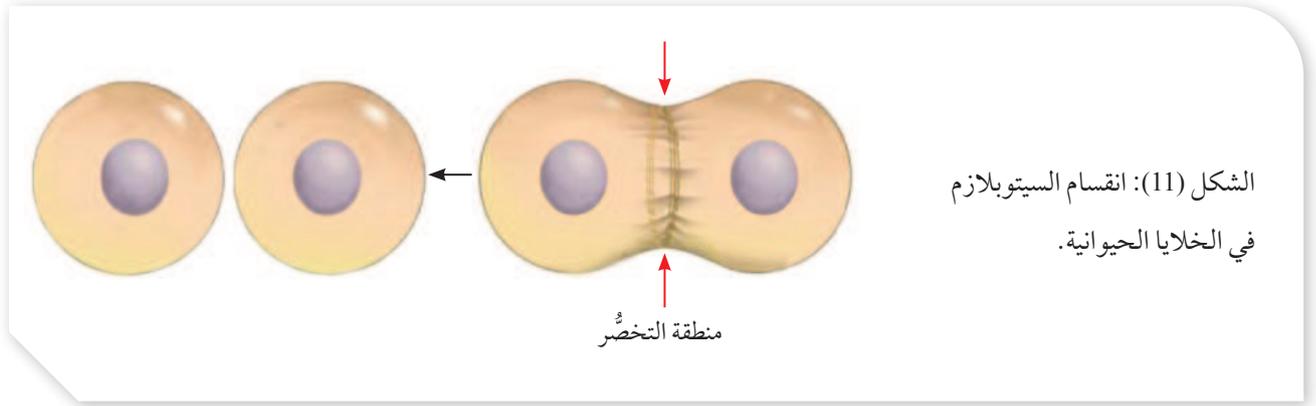
3

تنكمش الخيوط المغزلية في هذا الطور؛ ما يؤدي إلى سحب الكروماتيدات الشقيقة، وانفصال كل كروماتيدين شقيقين أحدهما عن الآخر، وتحرك كل منهما نحو أحد قطبي الخلية، فيصبح عند كل قطب مجموعة كاملة من الكروموسومات الابنة Daughter Chromosomes. يُذكر أنّ الكروماتيدات في هذا الطور يكون شكلها مشابهاً لشكل حرف (V) نتيجة عملية السحب.

كروموسومات ابنة



أفكر: في أيّ أطوار المرحلة البيئية تُصنّع البروتينات التي تدخل في تركيب الخيوط المغزلية؟



الشكل (11): انقسام السيتوبلازم في الخلايا الحيوانية.

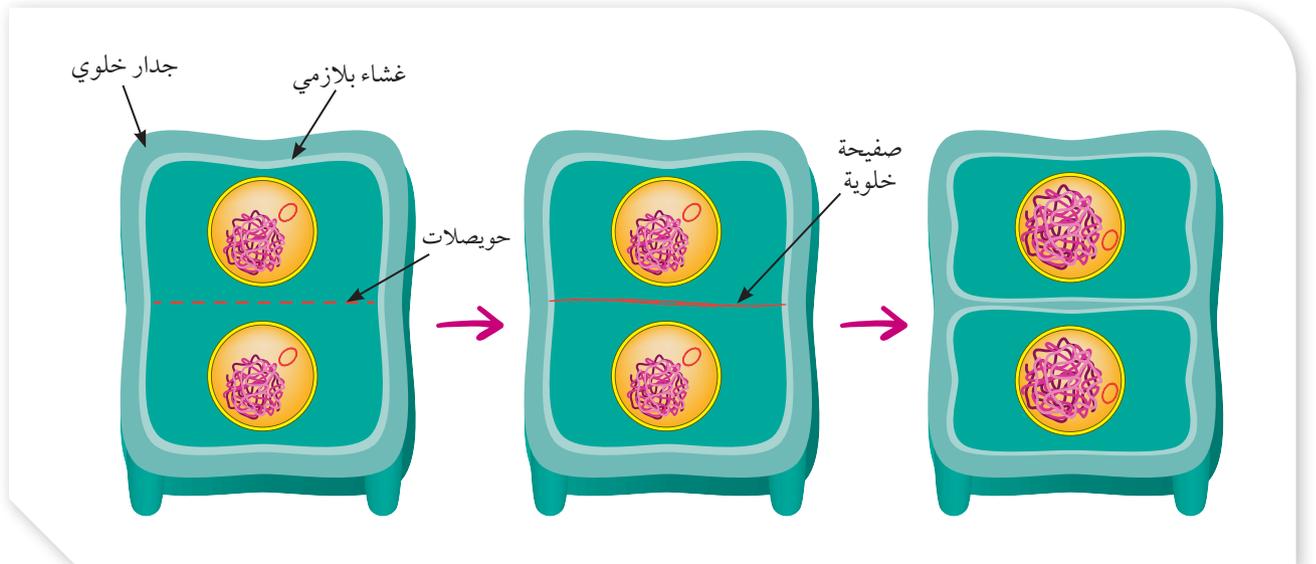
انقسام السيتوبلازم Cytokinesis

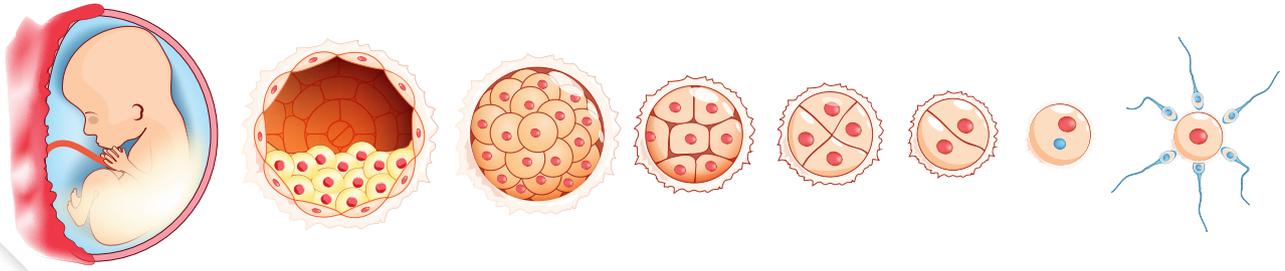
يختلف انقسام السيتوبلازم في الخلايا الحيوانية عنه في الخلايا النباتية؛ ففي الخلايا الحيوانية يحدث تخصُّر تدريجي وسط الخلية مُشكَّلاً أُخدوداً. يوجد في الجانب السيتوبلازمي للأخدود حلقة مُنقبضة من ألياف بروتين الأكتين الدقيقة وجزئيات بروتين الميوسين التي تعمل معاً على انقباض الحلقة، فيزداد التخصُّر، إلى أن ينتج من ذلك خليتان مُنفصلتان، أنظر الشكل (11).

✓ **أتحقَّق:** كيف ينقسم السيتوبلازم في الخلية الحيوانية؟

أما عملية انقسام السيتوبلازم في الخلايا النباتية فتختلف بسبب وجود الجُدُر الخلوية؛ إذ تصطفُّ وسط الخلية حويصلاتٌ من أجسام غولجي، ثم تندمج الحويصلات مُشكَّلةً صفيحةً خلوية. بعد ذلك يندمج الغشاء المحيط بالصفيحة الخلوية بالغشاء البلازمي للخلية، ثم ينشأ الجدار الخلوي من مُكوّنات في الصفيحة الخلوية. وبذلك تنتج خليتان مُنفصلتان، ومُطابقتان للخلية الأم، أنظر الشكل (12).

الشكل (12): انقسام السيتوبلازم في الخلايا النباتية.





الشكل (13): تطوّر جنين إنسان من بويضة مُخصَّبة بالانقسام المتساوي.

أهمية الانقسام المتساوي The Importance of Mitosis

للانقسام المتساوي أهمية كبيرة؛ فهو ضروري لنمو الكائنات الحيّة عديدة الخلايا، أنظر الشكل (13) الذي يبيّن دور الانقسام المتساوي في تطوّر جنين من بويضة مُخصَّبة (خلية واحدة) إلى إنسان يتكوّن جسمه من عدد كبير جدًّا من الخلايا. قال تعالى:

﴿وَلَقَدْ خَلَقْنَا الْإِنْسَانَ مِنْ سُلَالَةٍ مِّن طِينٍ ﴿١٣﴾ ثُمَّ جَعَلْنَاهُ نُطْفَةً فِي قَرَارٍ مَّكِينٍ ﴿١٤﴾ ثُمَّ خَلَقْنَا النُّطْفَةَ عَلَقَةً فَخَلَقْنَا الْعَلَقَةَ مُضْغَةً فَخَلَقْنَا الْمُضْغَةَ عِظْمًا فَكَسَوْنَا الْعِظْمَ لَحْمًا ثُمَّ أَنشَأْنَاهُ خَلْقًا آخَرَ فَتَبَارَكَ اللَّهُ أَحْسَنُ الْخَالِقِينَ ﴿١٥﴾﴾

(سورة المؤمنون، الآيات 12-14)

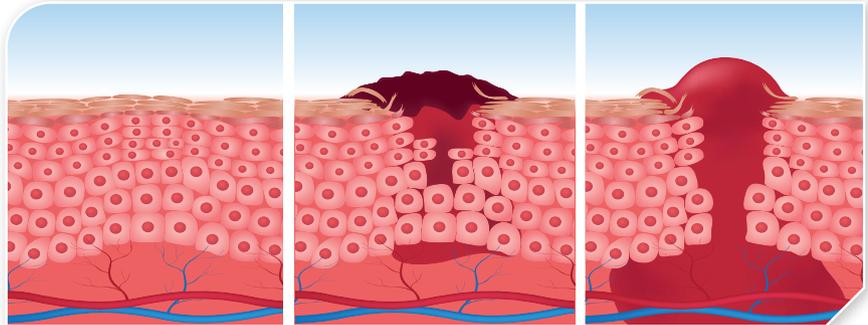
تتمثّل أهمية الانقسام المتساوي أيضًا في استبدال الخلايا التالفة، وتعويض الأنسجة التي تعرّضت لجرح، أو حرق، أو كشط، مثل: الجلد، والأنسجة المُبطّنة للأمعاء، أنظر الشكل (14).

✓ **أتحقّق:** ما أهمية الانقسام المتساوي في جسمي؟

يُذكر أنّ بعض الكائنات الحيّة عديدة الخلايا (مثل: السحلية، ونجم البحر) لديها قدرة على **التجدّد Regeneration**؛ أيّ تعويض أجزاءٍ فقدتها من أجسامها عن طريق الانقسام المتساوي، أنظر الشكل (15).



الشكل (15): سحلية تُجدّد ذيلًا عوّضًا عن ذيلها الأصلي المقطوع.

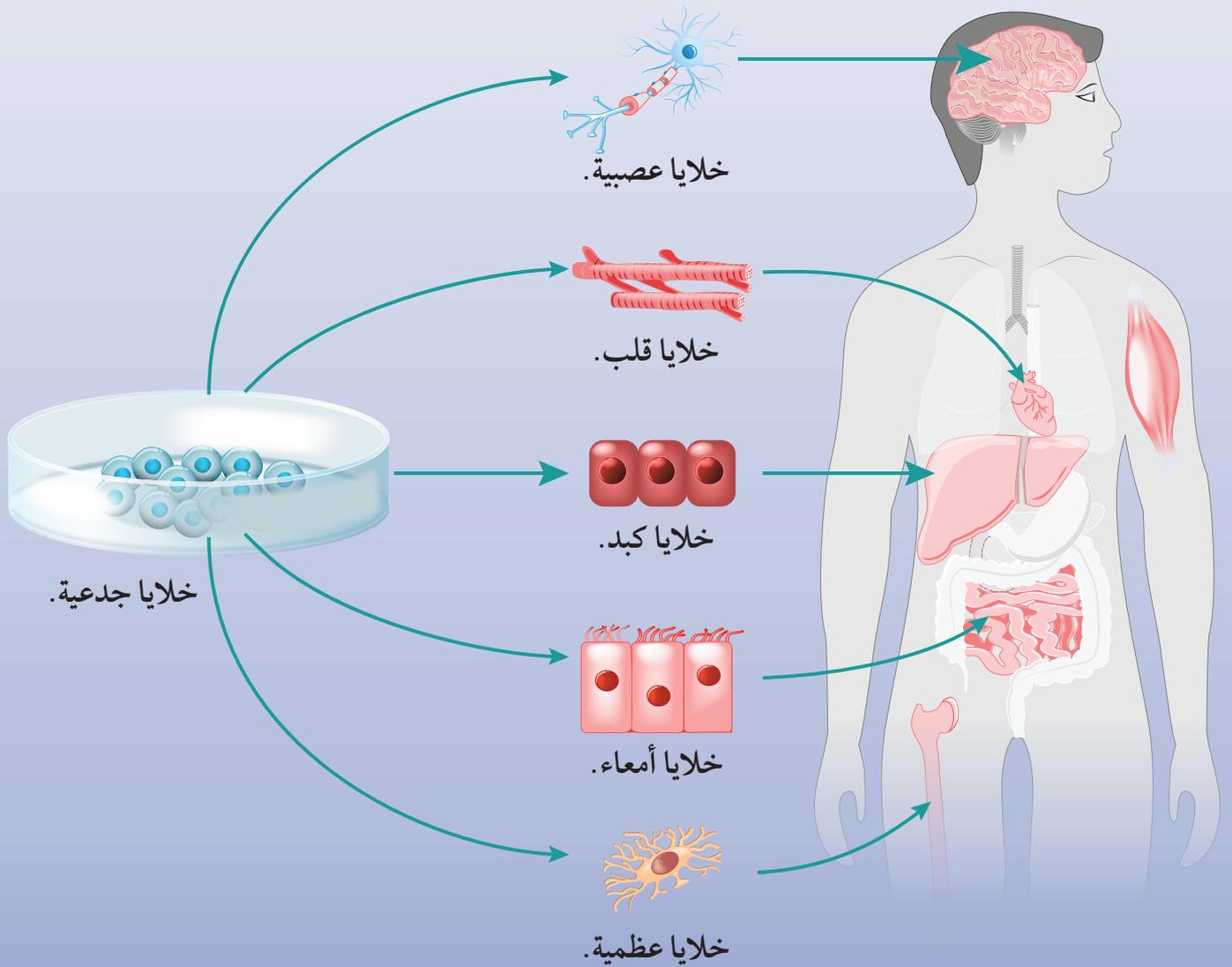


الشكل (14): تعويض الأنسجة التالفة بالانقسام المتساوي.



يوجد في المراحل الجنينية للكائن الحيّ خلايا جذعية غير مُتمايزة، وقد تنقسم هذه الخلايا لإنتاج خلايا تستمر بوصفها خلايا جذعية، وخلايا أخرى تتمايز؛ ما يجعلها خلايا مُتخصّصة، تتكوّن منها الأنسجة والأعضاء.

يُعدُّ استخدام الخلايا الجذعية في إنتاج أنسجة جديدة علاجًا واعدًا للأعضاء المُتضرّرة نتيجة الإصابة بأمراض مُتعدّدة، مثل بعض أمراض القلب والأعصاب. يوجد في الأردن عدد من المراكز والمؤسسات المُتقدّمة والرائدة في مجال بحوث الخلايا الجذعية وتطبيقاتها العلاجية، مثل مركز العلاج بالخلايا (Cell Therapy Center) التابع لمستشفى الجامعة الأردنية، وهي تضم نخبة من الخبرات العلمية والعملية التي تُطبّق أحدث الطرائق المُستخدمة عالميًا في مجال العلاج بالخلايا الجذعية.





(ب) تكاثر الهيدرا بالتبرعم.



(أ) تكاثر الخميرة بالتبرعم.



(ج) تكاثر نباتات بالأبصال.

الشكل (16): أمثلة على تكاثر كائنات حقيقية النوى لاجنسيًا.

يُعَدُّ الانقسام المتساوي أساسًا للتكاثر اللاجنسي في الكائنات الحيّة حقيقية النوى؛ سواء أكانت وحيدة الخلية مثل الخميرة، أنظر الشكل (16/ أ)، أم عديدة الخلايا مثل الهيدرا والنباتات، أنظر الشكل (16/ ب، ج).

يكون تكاثر الكائنات الحيّة لاجنسيًا أسرع من تكاثرها جنسيًا، ولكنّ الكائنات الحيّة الناتجة من التكاثر اللاجنسي تكون مُتماثلة جينيًا؛ ما يعني عدم وجود تنوع في صفات هذه الكائنات، وهو ما يجعل كلاً منها عُرضةً للتأثر بالظروف المحيطة بها على نحوٍ مُشابهٍ.

الانقسام المُنصّف Meiosis

يُعَدُّ الانقسام المُنصّف أحد أنواع الانقسام الخلوي الذي يؤدي إلى إنتاج الجاميتات؛ وهي خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية.

يمرّ الانقسام المُنصّف بمرحلتين أساسيتين، تسبقُ أُولاهما مرحلة بينية مُشابهة لتلك التي تسبق الانقسام المتساوي.



أعدّ عرضًا تقديميًا

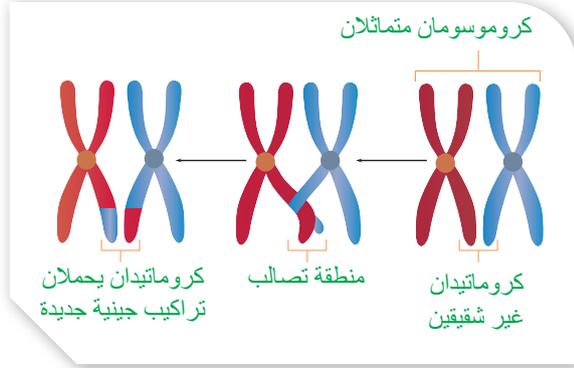
(Power Point) عمّا تعلّمته عن

أهمية الانقسام المتساوي ودوره في

تكاثر الكائنات الحيّة لاجنسيًا.

أطوار المرحلة الأولى من الانقسام المُنصّف Phases of Meiosis I

تمرُّ هذه المرحلة بأربعة أطوار، وتنتج في نهايتها خليتان تحويان نصف عدد كروموسومات الخلية الأم (المُنقسمة)، أنظر الشكل (17).



الشكل (18): عملية العبور.

الطور الاستوائي الأول

Metaphase I

تصطف أزواج الكروموسومات المتماثلة والمُرتبطة بالخيوط المغزلية على جانبي خطِّ وسط الخلية، من دون أن تترتب ترتيباً مُعيّناً، وإنما يكون ترتيبها عشوائياً؛ أي ليس شرطاً أن تكون جميع الكروموسومات التي من الأب على الجانب نفسه، وكذا الحال بالنسبة إلى الكروموسومات التي من الأم. وهذا يعني أنّ جهة ما قد تحوي كروموسومات من الأب والأم؛ ما يؤدي إلى حدوث تنوع جيني في الخلايا الناتجة من الانقسام.

الطور الانفصالي الأول

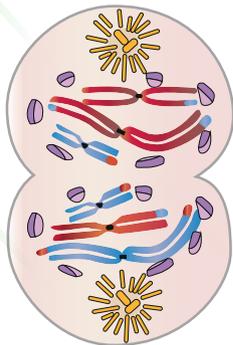
Anaphase I

تتفصل في هذا الطور أزواج الكروموسومات المتماثلة نتيجة انكماش الخيوط المغزلية، ويتجه كل كروموسوم من هذه الأزواج إلى أحد قطبي الخلية، في حين تظلُّ الكروماتيدات الشقيقة مُرتبطة ببعضها.

الطور النهائي الأول

Telophase I

يبدأ الغلاف النووي بالظهور في هذا الطور تزامناً مع تفكك الخيوط المغزلية، ثم يحدث انقسام للسيتوبلازم، فتنتج خليتان تحوي كلُّ منهما كروموسومات؛ بعضها من الأب، وبعضها الآخر من الأم.

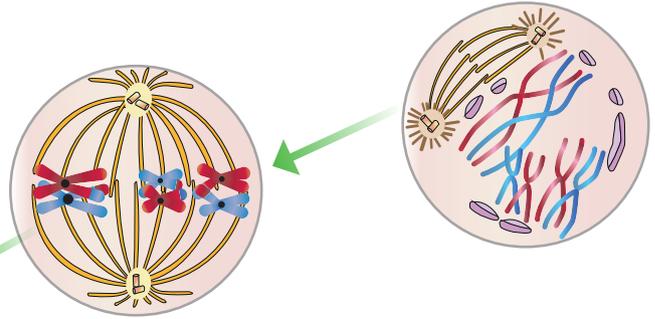


الطور التمهيدي الأول Prophase I

تظهر الكروموسومات قصيرة وسميكة، ويتكوّن كلُّ منها من كروماتيدين شقيقين، في حين يتفكك الغلاف النووي.

وقد يحدث تقاطع بين كروماتيدين غير شقيقين في كروموسومين متماثلين - بسبب قربهما من بعضهما - في نقاط تُسمّى كلُّ منها منطقة التصالب Chiasma فينتج عن ذلك تبادل أجزاء من المادة الوراثية بين هذين الكروماتيدين، في ما يُعرف بالعبور Crossing Over الذي تنتج منه تراكيب جينية جديدة تؤدي دوراً في التنوع الجيني، أنظر الشكل (18).

يتحرك كل زوج من المُريكزات نحو أحد قطبي الخلية المُتقابلين، وتبدأ الخيوط المغزلية بالامتداد من المُريكزات إلى القطع المركزية في الكروموسومات لترتبط بها.



الشكل (17): أطوار المرحلة الأولى من الانقسام المُنصّف.

أطوار المرحلة الثانية من الانقسام المُنصّف Phases of Meiosis II

✓ **أتحقّق:** خلية جنسية تحوي

(64) كروموسومًا:

- ما عدد الخلايا الناتجة في المرحلة الأولى من انقسامها انقسامًا مُنصّفًا؟
- ما عدد الكروموسومات في كلٍّ من الخلايا الناتجة؟

تدخل الخلايا المرحلة الثانية من الانقسام المُنصّف من دون حدوث تضاعف DNA. وفي هذه المرحلة تنفصل الكروماتيدات الشقيقة بعضها عن بعض، ويتحرّك كلٌّ منها نحو أحد قطبي الخلية، ثم يتكوّن الغلاف النووي الذي يتبعه حدوث انقسام للسيتوبلازم، فنتج أربع خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية، أنظر الشكل (19).

الطور النهائي الثاني

Telophase II

يتشكّل الغلاف النووي حول كل مجموعة كروموسومية، وتبدأ الخيوط المغزلية بالتفكك، ويحدث انقسام ثانٍ للسيتوبلازم، فنتج أربع خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية (1n).

الطور الانفصالي الثاني

Anaphase II

ينفصل كل كروماتيدين شقيقين أحدهما عن الآخر، ثم يتحرّك كلٌّ منهما نحو أحد قطبي الخلية.

الطور الاستوائي الثاني

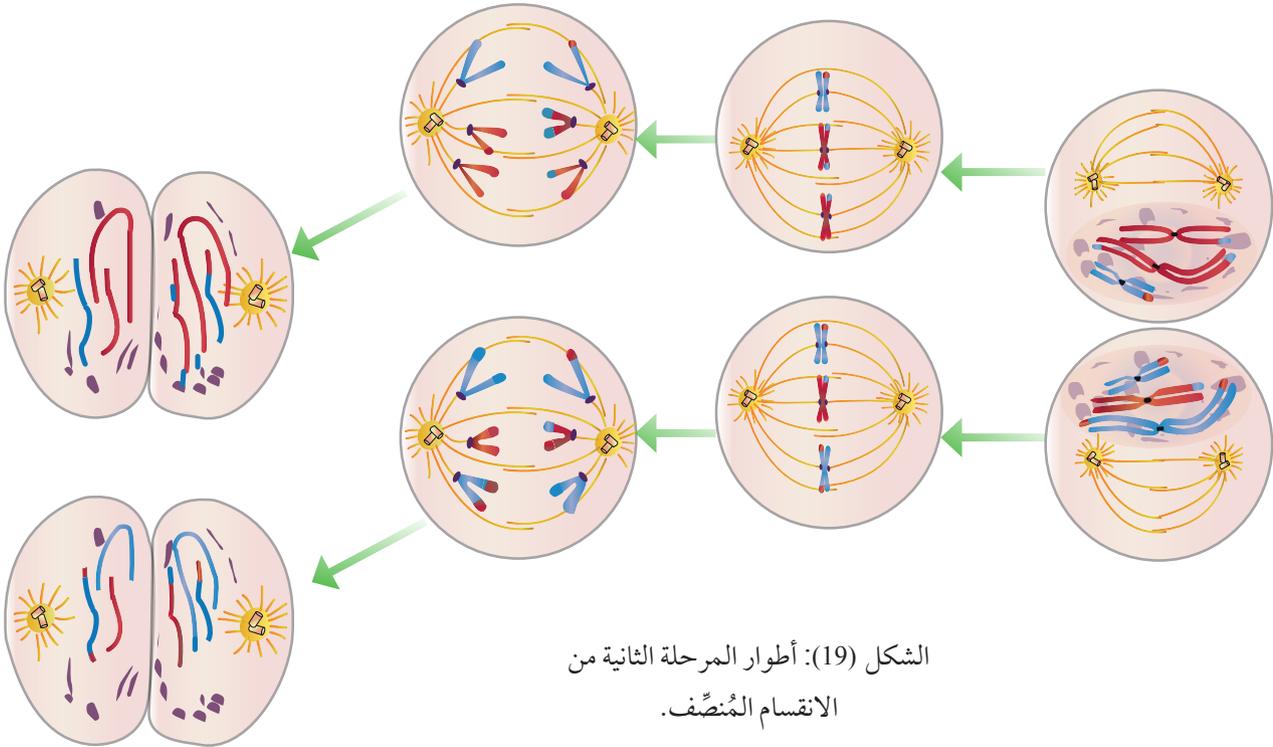
Metaphase II

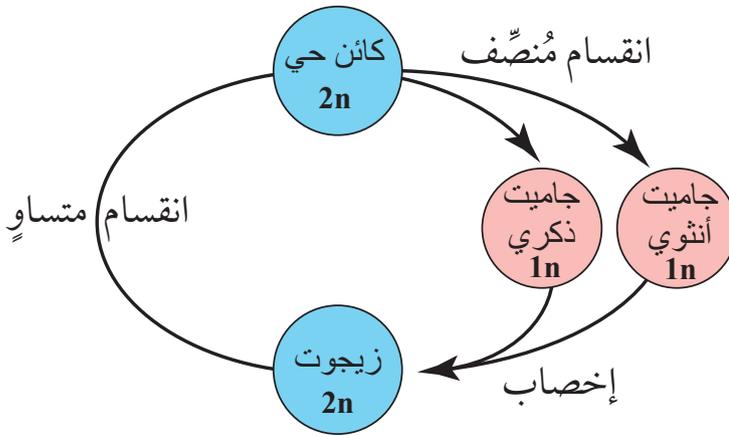
تترتّب الكروموسومات (لا يزال كلٌّ منها يتكوّن من كروماتيدين شقيقين) في منتصف الخلية.

الطور التمهيدي الثاني

Prophase II

يتفكك الغلاف النووي في هذا الطور، وتتجه المُرِكِزات إلى أقطاب الخلية المُتقابلة، وتبدأ الخيوط المغزلية بالظهور.





الشكل (20): أهمية الانقسام المُنصف.

أهمية الانقسام المُنصف The Importance of Meiosis

يؤدي انقسام خلية ثنائية المجموعة الكروموسومية انقسامًا مُنصفًا إلى إنتاج أربع خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية. فمثلًا: الخلايا المنوية الأولية في الإنسان هي ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n)؛ أي إنَّ كلاً منها تحوي 23 زوجًا من الكروموسومات (46 كروموسومًا). وبعد حدوث انقسام مُنصف -بمرحلتيه- تنتج أربع خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية (1n)، وهي تُسمى جاميتات ذكورية، ويحوي كلُّ منها 23 كروموسومًا. وعند حدوث عملية الإخصاب التي يندمج فيها الجاميت الذكري بالجاميت الأنثوي تتكوّن خلية ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n) تُسمى الزيجوت، أنظر الشكل (20)، وبذلك يُمكن المحافظة على ثبات عدد الكروموسومات في الكائن الحي الطبيعي.

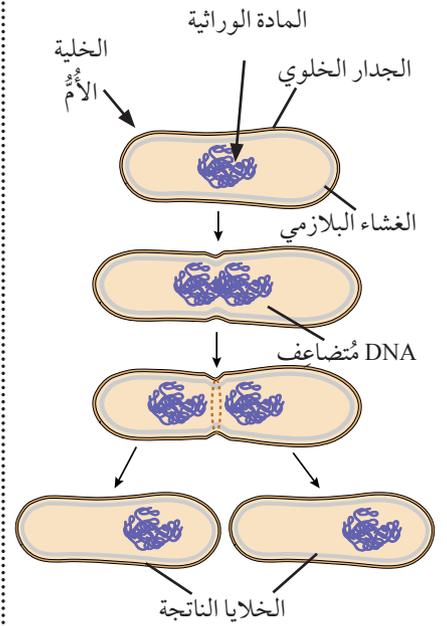
الانشطار الثنائي في الكائنات الحيّة بدائية النوى

Binary Fission in Prokaryotes

يتشابه الانشطار الثنائي والانقسام المتساوي من حيث نواتج العمليتين؛ إذ ينتج من كلِّ منهما خليتان مُطابقتان للخلية الأم المُنقسمة، ولكنَّ هاتين العمليتين تختلفان فعليًا في ما بينهما، أنظر الشكل (21) الذي يبيّن آليّة الانشطار الثنائي في البكتيريا.

تبدأ عملية الانشطار الثنائي بتضاعف كروموسوم البكتيريا، وهو كروموسوم حلقي، ثم يتحرّك الكروموسومان الناتجان من التضاعف في اتجاهين مُتقابلين، ضمن عملية يدخل فيها بروتين يُشبه الأكتين Actin-like Protein، فيظهر كروموسوم واحد عند كل طرف من طرفي الخلية المُتقابلين، ويحدث في أثناء هذه العملية نمو واستطالة للخلية. بعد ذلك ينغمد الغشاء البلازمي نحو الداخل، بالتزامن مع تكوّن الجدار الخلوي، ثم تنتج خليتان مُنفصلتان ومُشابهتان للخلية الأم.

✓ **أتحقّق:** أقرن بين الطور الانفصالي الأوّل والطور الانفصالي الثاني من حيث أبرز أحداث كلِّ منهما.

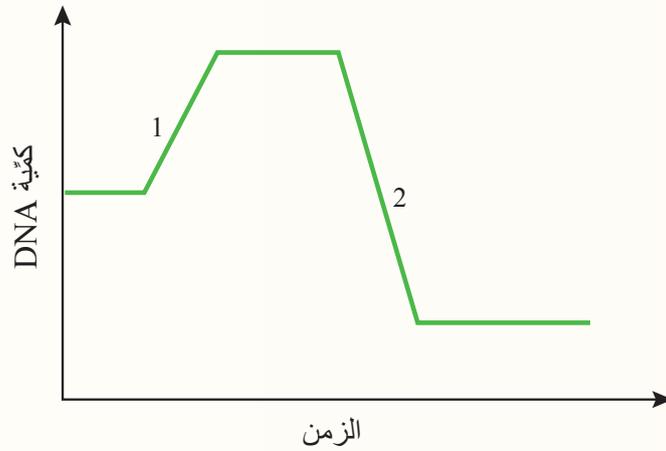


الشكل (21): الانشطار الثنائي في البكتيريا.

✓ **أتحقّق:** ما نتائج انقسام خلية جلد ونتائج انشطار خلية بكتيريا من حيث عدد الخلايا الناتجة من عملية انقسام واحدة؟

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: ما أنواع الانقسام الخلوي في الكائنات حقيقية النوى؟ ما أهمية كل نوع منها؟
2. أتوقع: ماذا يستفيد الكائن الحي إذا كان قادرًا على التكاثر جنسيًا ولا جنسيًا؟
3. أستنتج: إذا نَمَّيتْ خلايا خميرة على طبقتين غذائيتين مُناسبتين، ثم أضفْتُ إلى أحدهما مادة كيميائية توقف تضاعف المادة الوراثية، فكيف أستطيع تمييز الطبق الذي أضفْتُ إليه المادة الكيميائية؟
4. أقارن بين كلِّ ممَّا يأتي:
 - أ. عملية الانقسام المتساوي، وعملية الانشطار الثنائي من حيث آليَّة الانقسام.
 - ب. انقسام السيتوبلازم في الخلايا النباتية، وانقسامه في الخلايا الحيوانية.
 - ج. الخلايا الناتجة في الطور النهائي من الانقسام المتساوي، والخلايا الناتجة في الطور النهائي الأوَّل من الانقسام المُنصَّف من حيث عدد الكروموسومات في كلِّ منها.
5. أدرس الشكل الآتي الذي يُبيِّن كميَّة DNA في خلية تمرُّ بسلسلة من العمليات خلال مدَّة من الزمن، ثم أُجيب عن السؤاليْن التاليين:



- أ. هل يُمثِّل الرقم (1) انقسامًا مُنصَّفًا، أو انقسامًا متساويًا، أو إخصابًا، أو تضاعف DNA؟
- ب. ما نوع الانقسام الذي يُمثِّله الرقم (2)؟

6. لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أٌحددها:

1. في الانقسام الخلوي يبدأ انقسام السيتوبلازم بعد وقت قصير من انقسام:

- أ . النواة.
ب . الجدار الخلوي.
جـ . الخلية.
د . النُويَّة.

2. البروتين الذي يدخل في الحلقة المُنقبِضة التي تكوّن التخصر اللازم لانقسام السيتوبلازم:

- أ . الميوسين فقط.
ب . الميوغلوبين.
جـ . الأكتين فقط.
د . الميوسين والأكتين.

3. في أثناء دورة الخلية، إذا كانت كمية DNA في خلية ثنائية المجموعة الكروموسومية خلال طور النمو الأول هي (1X)، فإن كمية الـDNA في الخلية نفسها أثناء الطور الاستوائي في المرحلة الأولى من الانقسام المنصف هي:

- أ . 0.25X
ب . 0.5X
جـ . 1X
د . 2X

4. فحص أحد الطلبة مجموعة من الخلايا باستخدام المجهر، حيث كانت هذه الخلايا ثنائية المجموعة الكروموسومية (تتكون من 14 كروموسوم)، لاحظ الطالب خلية تحتوي على 7 كروموسومات (مُكوّنة من كروماتيدات شقيقة) تترتب في منتصف الخلية، أي من العبارات الآتية تصف هذه الخلية بدقة:

- أ . الخلية في الطور الاستوائي من الانقسام المتساوي.
ب . الخلية في الطور الاستوائي من المرحلة الأولى من الانقسام المُنصّف.
جـ . الخلية في الطور الاستوائي من المرحلة الثانية من الانقسام المُنصّف.
د . الخلية في الطور الانفصالي من الانقسام المتساوي.

5. تنتج الصفيحة الخلوية وسط الخلية النباتية من حويصلات مصدرها:

- أ . النواة.
ب . الجدار الخلوي.
جـ . أجسام غولجي.
د . الغشاء البلازمي.

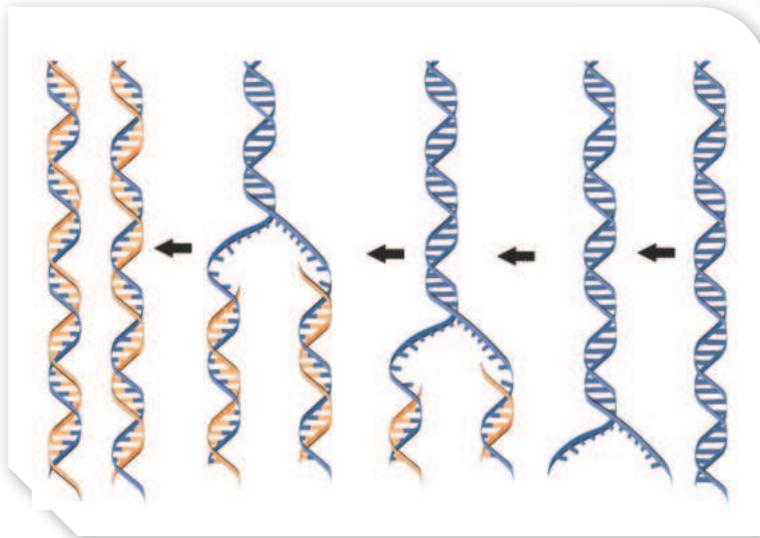
تضاعف DNA Replication DNA

درستُ سابقاً أنّ الخلية تمرُّ بطور التضاعف في أثناء المرحلة البينية من دورة الخلية. وفي هذا الطور تحدث عملية **تضاعف DNA** Replication، وهي عملية تُنظّمها إنزيمات عدّة.

تنتج من تضاعف جزيء DNA نسختان مُتماثلتان، تتكوّن كلّ منهما من سلسلتين؛ إحداهما من DNA الأصل (أي سلسلة أصلية)، والأخرى جديدة ومُكمّلة لها، تحمل التعليمات الوراثية كاملة.

يُطلق على عملية تضاعف DNA اسم **التضاعف شبه المُحافظ Semiconservative Replication**؛ لأنّ إحدى السلسلتين محفوظة، والأخرى جديدة، أنظر الشكل (22).

اقترح العالمان مسلسون وستال Meselson and Stahl نموذجاً لكيفية تضاعف DNA، استناداً إلى اكتشاف تركيب DNA على أيدي العالمين واتسون وكريك، والنتائج العملية التي توصل إليها علماء آخرون في هذا المجال.



الشكل (22): تضاعف DNA.

✓ **أتحقّق:** أيُّ أطوار الخلية يحدث فيه تضاعف DNA؟

الفكرة الرئيسة:

يمتاز جزيء DNA بقدرته على التضاعف، وتُعدُّ المعلومات التي يحملها الأساس في عمليات تصنيع الخلية للبروتينات. تحدث عملية التعبير الجيني في الخلية، وهي تختلف بين الخلايا تبعاً لاختلاف الأنشطة والوظائف التي تقوم بها كلّ منها.

نتائج التعلم:

- أبيّن دور العلماء في اكتشاف المادة الوراثية وتضاعفها.
- أتتبع آلية تضاعف DNA في الخلية.
- أصف آليات تصحيح اختلالات DNA.
- أستقصي آلية تصنيع البروتينات.
- أبيّن دور التعبير الجيني في تمايز الخلايا.

المفاهيم والمصطلحات:

DNA Replication	تضاعف DNA
التضاعف شبه المُحافظ	Semiconservative Replication
البروتينات المُرتبطة بالسلاسل المفردة	Single Strand Binding Proteins
سلسلة البدء	primer
السلسلة الرائدة	Leading Strand
السلسلة المُتأخّرة	Lagging Strand
التعبير الجيني	Gene Expression
تمايز الخلايا	Cell Differentiation



آلية تضاعف DNA Mechanism of DNA Replication

تبدأ عملية تضاعف جزيء DNA بانفصال سلسلتيه المتقابلتين؛ إذ تتحطم الروابط الهيدروجينية بين النيوكليوتيدات المتقابلة في السلسلتين بفعل إنزيم الهليكيز Helicase الذي يحتاج إلى طاقة ATP لإتمام هذه العملية، أنظر الشكل (23).

ينتج من هذا الانفصال سلسلتان مفردتان، ترتبط كل منهما ببروتينات خاصة تُسمى البروتينات المُرتبطة بالسلاسل المفردة **Single Strand Binding Proteins (SSBP)**، وهي تمنع عودة ارتباط السلسلتين إحداهما بالأخرى، علماً بأن كل سلسلة مفردة تُمثل قالباً لبناء سلسلة جديدة.

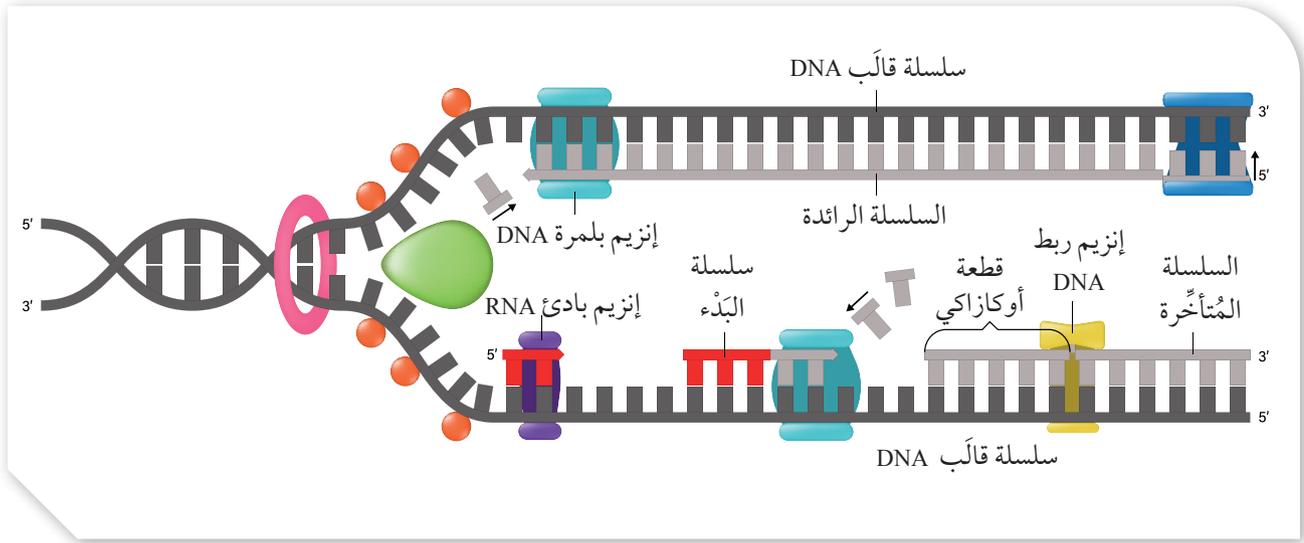
ولما كانت الإنزيمات المسؤولة عن تضاعف DNA غير قادرة على بدء هذه العملية، فإن إنزيم بادئ RNA primase يضيف قطعة صغيرة من RNA (تتكوّن من 5-10) نيوكليوتيدات، وتُسمى **سلسلة البدء primer** إلى كل سلسلة من سلسلتي DNA المُكتملتين؛ لتوفير نهاية 3' حرة، ثم يبدأ إنزيم آخر يُسمى إنزيم بلمرة DNA polymerase بإضافة نيوكليوتيدات مُكمّلة لنيوكليوتيدات السلسلة القالب.

يكون بناء سلسلة DNA المُكمّلة (الجديدة) مُتّجهاً دائماً من 5' إلى 3'، فتنتج سلسلة مُتصلة تُسمى **السلسلة الرائدة Leading Strand**، وتكون مُكمّلة لإحدى سلسلتي القالب، أنظر الشكل (24).

الشكل (23): عمل إنزيم الهليكيز، والبروتينات المُرتبطة بالسلاسل المفردة.

أفكر: ما النتائج المُتوقّعة من حدوث طفرة في البروتينات المُرتبطة بالسلاسل المفردة تمنعها من الارتباط بسلسلة DNA المفردة؟

✓ **أتحقّق:** ما دور إنزيم الهليكيز في عملية تضاعف DNA؟



الشكل (24): بناء السلسلة الرائدة،
والسلسلة المتأخرة.
أفسّر سبب تكوّن قطع أوكازاكي.

لا يستطيع إنزيم بلمرة DNA بناء سلسلة في اتجاه معاكس (أي من 3' إلى 5')؛ لذا فإنّ بناء السلسلة المُكمّلة للسلسلة القالب الأخرى يكون مختلفاً؛ إذ يكون على هيئة قطع غير مُتصلة تُسمّى قطع أوكازاكي Okazaki Fragments (نسبةً إلى العالم الذي اكتشفها)، وتُسمّى هذه السلسلة المُكمّلة **السلسلة المتأخرة Lagging Strand**، أنظر الشكل (24).

تحتاج عملية بناء السلسلة المتأخرة إلى أكثر من سلسلة بدء؛ إذ تُضاف سلسلة بدء جديدة في كل مرّة يفصل فيها إنزيم الهليكيز جزءاً من سلسلتي DNA الأصليتين إحداهما عن الأخرى، ليستأنف إنزيم بلمرة DNA عملية بناء قطع أوكازاكي من 5' إلى 3'.

بعد ذلك تُزال سلاسل البدء، وتوضّع نيوكليوتيدات DNA مكانها، ثم تُربط قطع أوكازاكي باستعمال إنزيم ربط DNA Ligase الذي يربط قطعاً بأخرى مجاورة عن طريق تكوين روابط فوسفاتية ثنائية الإستر. بعد انتهاء بناء السلسلة الرائدة والسلسلة المتأخرة، ينتج جزيئاً DNA مُتماثلان، يتكوّن كلُّ منهما من سلسلة أصلية، وأخرى جديدة مُكمّلة لها.

✓ **أتحقّق:** لماذا تُبنى إحدى سلسلتي DNA على شكل قطع غير مُتصلة؟



تختلف طريقة
تضاعف DNA في السلسلة
الرائدة عنها في السلسلة
المتأخرة. أنظّم المعلومات
التي تعلمتها عن تضاعف كلِّ
من السلسلتين، ثم أعدّ فلماً
قصيراً عن ذلك باستخدام
برنامج (movie maker)، ثم
أعرضه أمام زملائي / زميلاتي
في الصف.

محاكاة عملية تضاعف DNA

يتضاعف جزيء DNA مُنتِجًا نسختين مُتماثلتين، تتكوّن كلُّ منهما من سلسلتين؛ إحداهما أصلية (أي من DNA الأصل)، والأخرى جديدة ومُكمّلة لها. وتُعدُّ كل سلسلة أصلية في أثناء التضاعف قالبًا لبناء سلسلة مُكمّلة جديدة. وبينما يكون بناء إحدى السلسلتين مستمرًّا، يكون بناء السلسلة المُقابِلة مُتقطّعةً.

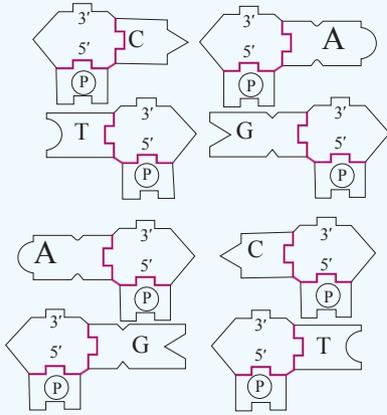
المواد والأدوات:

مقص، شريط لاصق، أقلام مُلوّنة، ورق مقوى.

إرشادات السلامة: استعمال المقص بحذر.

خطوات العمل:

1 أصمّم نموذجًا:



- أصمّم أشكالًا منفردة لأنواع النيوكليوتيدات المختلفة في جزيء DNA كما يظهر في الرسم المجاور، علمًا بأنَّ عدد النسخ يعتمد على طول سلسلتي DNA المراد نمذجة تضاعفهما.

- أفضِّ الأشكال على نحوٍ يجعل النيوكليوتيدات مُنفصلة.

- أرُتّب هذه النيوكليوتيدات في سلسلتين، مع مراعاة ربط كل نيوكليوتيد

بالنيوكليوتيد المجاور له في السلسلة نفسها، ثم أثبّت كل نيوكليوتيد باستخدام الشريط اللاصق.

- أضع النيوكليوتيدات في السلسلة المُقابِلة على نحوٍ يجعلها مُكمّلة للنيوكليوتيدات في السلسلة الأولى،

مع مراعاة أن تكون نهايتا 3' و5' مُتعاكِستين في السلسلتين المُتقابلتين.

2 ألاحظ الشكل الناتج.

- 3 أجرب استعمال النيوكليوتيدات المُتبقية لتمثيل تضاعف السلسلتين، وتكوين سلسلتين جديدتين.

- 4 أفصل السلسلتين إحداهما عن الأخرى جزئيًّا، ثم أضيف النيوكليوتيدات لبناء السلسلة المُقابِلة للسلسلة الأصلية، مع مراعاة أن يكون اتجاه الإضافة من 3' إلى 5' على سلسلة القالب؛ أي من 5' إلى 3' للنيوكليوتيدات المضافة.

التحليل والاستنتاج:

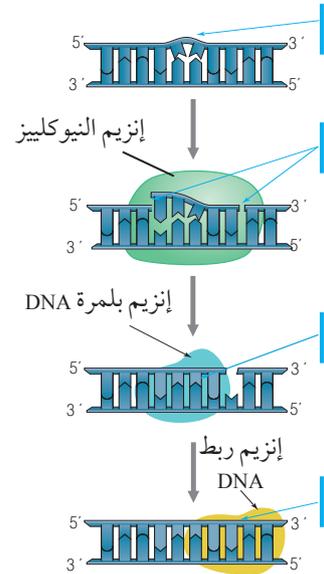
1. أقرن: أيُّ السلسلتين عملية بنائها مُتصلة منذ البداية؟ أيُّهما عملية بنائها مُتقطّعة؟
2. أتوقّع: أفصل الجزء المُتبقّي من السلسلتين المُتقابلتين، ثم أحدّد السلسلة التي قد يستمر بناؤها، وتلك التي سيتوقّف بناؤها، وتتطلّب البدء من جديد.
3. أستنتج: أيُّ السلسلتين رائدة؟ أيُّهما مُتأخّرة؟
4. أتواصل: أناقش زملائي/ زميلاتي في النتائج التي توصلتُ إليها.

تعمل إنزيمات عديدة على تحديد الجزء التالف من سلسلة DNA .

يقطع إنزيم النيوكلييز الجزء التالف من السلسلة.

يعمل إنزيم بلمرة DNA على سدّ الفجوة بنيوكليوتيدات مُكمّلة، مُستخدماً السلسلة غير التالفة قالباً.

يربط إنزيم ربط DNA نهايات النيوكليوتيدات المضافة بالسلسلة الأصلية.



تصحيح اختلالات DNA (DNA Damage Repair)

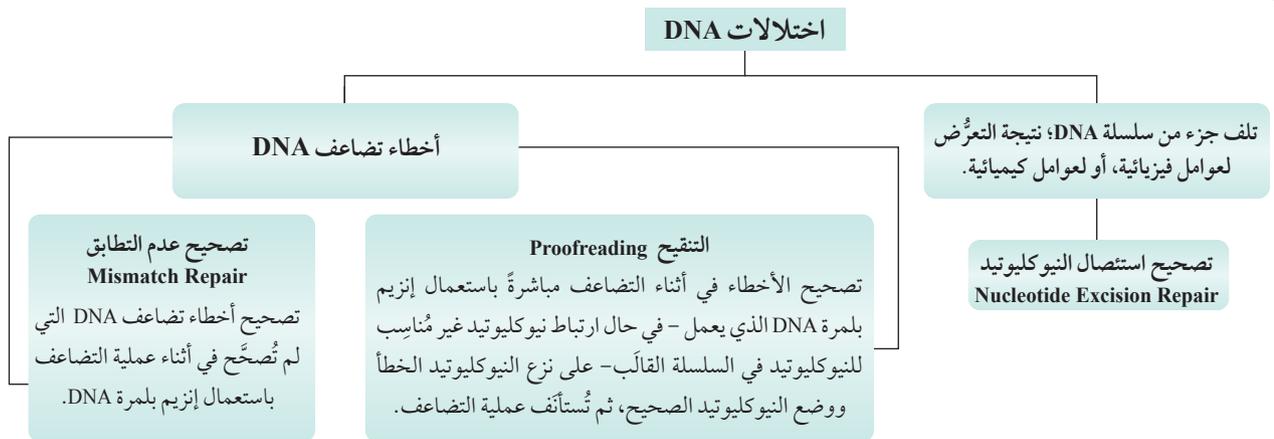
توجد آليات عديدة تعمل على تصحيح اختلالات DNA الناجمة عن تلف جزء من سلسلة DNA؛ نتيجة تعرّض الكائن الحيّ لعوامل كيميائية ضارّة، مثل: سموم بعض الفطريات، والتبغ، أو تعرّضه لعوامل فيزيائية، مثل: الأشعة السينية (X)، والأشعة فوق البنفسجية (UV). عندئذٍ، يُقَطَّع الجزء التالف من سلسلة DNA عن طريق إنزيم النيوكلييز Nuclease، ثم تُسدّ الفجوة الناتجة من عملية القطع بنيوكليوتيدات مُكمّلة للسلسلة المُقابِلة غير التالفة باستعمال إنزيم بلمرة DNA، وإنزيم ربط DNA. يُطلَق على آلية التصحيح هذه اسم تصحيح استئصال النيوكليوتيد Nucleotide Excision Repair، أنظر الشكل (25).

تجدر الإشارة إلى وجود آليات تستخدمها الخلية في تصحيح اختلالات تضاعف DNA. يُمثّل الشكل (26) مُلخّصاً لاختلالات DNA، وآليات تصحيحها في الخلية.

الشكل (25): تصحيح استئصال النيوكليوتيد.

✓ **أتحقّق:** ما الإنزيمات التي تعمل على سدّ الفجوات الناجمة عن قطع الجزء التالف من سلسلة DNA؟

الشكل (26): اختلالات DNA، وآليات تصحيحها.



تصنيع البروتينات Protein Synthesis

يُنظَّم DNA أنشطة الخلية والعمليات الحيوية التي تحدث فيها؛ ذلك أنه يحمل التعليمات اللازمة لتصنيع البروتينات في صورة نيوكليوتيدات وفق تسلسل مُعَيَّن، وتُسمَّى هذه التعليمات الشيفرة الوراثية. تؤدِّي البروتينات أدوارًا مُهمَّةً في أجسام الكائنات الحيَّة، وفي الخلايا المُكوِّنة لها، إضافةً إلى دورها في تنظيم دورة الخلية.

تمرُّ عملية تصنيع البروتينات بمرحلتين رئيسيتين، هما: النسخ Transcription، والترجمة Translation، وتوجد بينهما مرحلة يُعالج فيها الحمض النووي RNA، أنظر الشكل (27).

يُذكر أن عملية النسخ ضرورية أيضًا لإنتاج جميع أنواع الحمض النووي RNA، التي تختلف بطرائق معالجتها. إلا أن الحمض النووي mRNA هو من تحدث له عملية الترجمة لتصنيع البروتينات.

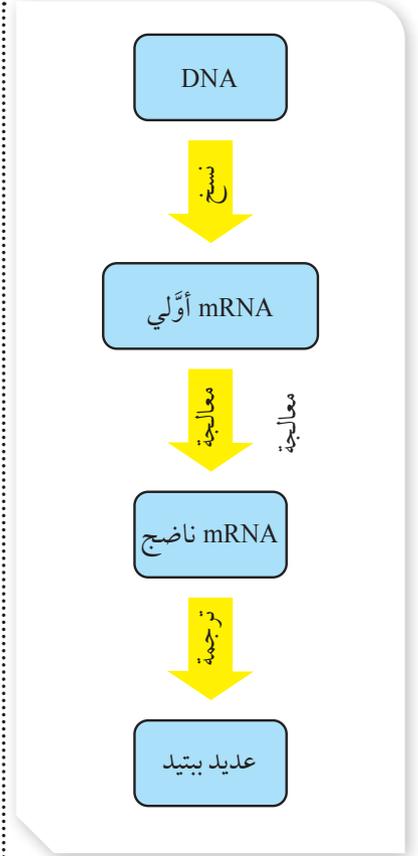
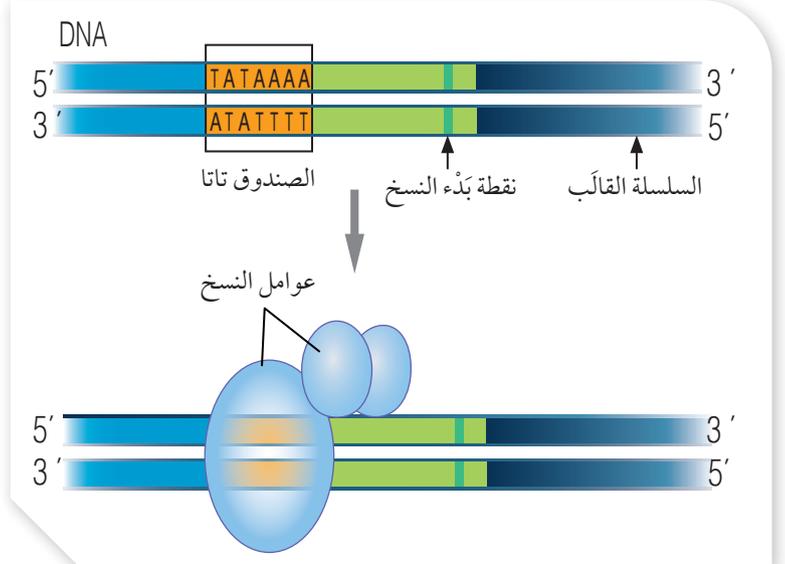
النسخ Transcription

يُطلق على عملية إنتاج جزيء RNA مُكْمَل لجزء من إحدى سلسلتي DNA باستعمال إنزيمات بلمرة RNA اسم النسخ Transcription. تحدث هذه العملية في النواة، وتتألف من ثلاث خطوات، هي: بدء عملية النسخ، واستطالة RNA، وانتهاء عملية النسخ.

بدء عملية النسخ Initiation of Transcription

تبدأ عملية النسخ عند تعرُّف بروتينات مُعيَّنة (تُسمَّى عوامل النسخ Transcription Factors) تسلسلاً مُعيَّناً من النيوكليوتيدات في DNA، وهو

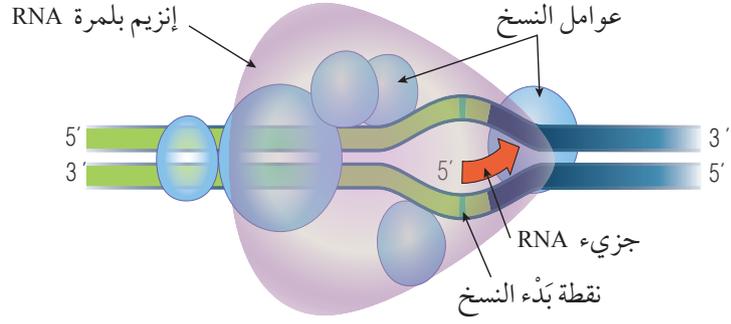
تسلسل يوجد قبل نقطة بدء النسخ، ومن الأمثلة عليه في الخلايا حقيقية النوى: الصندوق كات (CAAT BOX)، والصندوق تاتا (TATA BOX). وتُعزى تسمية كلٍّ منهما إلى النيوكليوتيدات المُكوِّنة لهما، أنظر الشكل (28).



الشكل (27): مراحل تصنيع البروتينات.

الشكل (28): تعرُّف عوامل النسخ تسلسل نيوكليوتيدات قبل نقطة بدء النسخ.

الشكل (29): بدء عملية
النسخ.



أفكر: ماذا سيحدث لعملية النسخ في حال عدم توافر أحد عوامل النسخ؟

يرتبط إنزيم بلمرة RNA بموقعه المناسب، وترتبط به عوامل نسخ أخرى؛ ما يؤدي إلى تكوّن مُعقّد بدء النسخ Transcription Initiation Complex. بعد ذلك يبدأ إنزيم بلمرة RNA بفكّ التفاف سلسلتي DNA، وتبدأ عملية نسخ mRNA الأولي من نقطة بدء النسخ على السلسلة القالب، أنظر الشكل (29).

استطالة RNA RNA Elongation

يبدأ إنزيم بلمرة RNA بالتحرك مُتَّجِهًا من 3' إلى 5' على سلسلة DNA القالب، ثم يضيف نيوكليوتيدات جديدة إلى النهاية 3' في جزيء RNA، أنظر الشكل (30). تحتوي النيوكليوتيدات المضافة إلى سلسلة RNA على قواعد نيتروجينية مُكمّلة للقواعد النيتروجينية في سلسلة DNA، غير أنّ القاعدة النيتروجينية المُكمّلة للأدينين تكون اليوراسيل في RNA، وذلك عوضًا عن الثايمين.

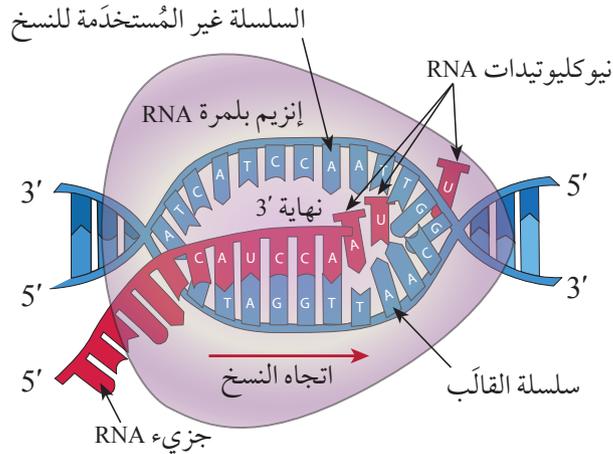
✓ **أتحقّق:** أوضّح مراحل عملية النسخ، ثم أكتب سلسلة RNA الناتجة من نسخ سلسلة DNA الآتية:

A T G G C T A C

انتهاء عملية النسخ Termination of Transcription

عند انتهاء عملية النسخ المطلوبة يتوقّف إنزيم بلمرة RNA عن العمل، ويتعد RNA المنسوخ عن سلسلة DNA القالب، ويُطلَق على RNA الناتج اسم mRNA الأولي.

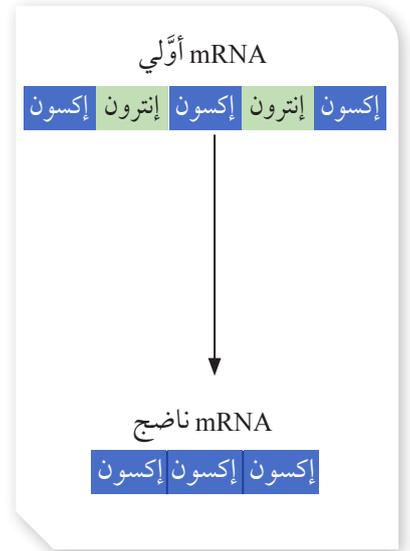
الشكل (30): استطالة RNA.



معالجة RNA Processing RNA

يخضع جزيء mRNA الأولي لعملية معالجة في النواة قبل أن يصبح جزيء mRNA ناضجاً mature mRNA يُمكن ترجمته.

تتضمن عملية المعالجة إزالة قطع من mRNA، تُسمى كلُّ منها الإنترون وهي أجزاء غير فاعلة في تصنيع البروتين المطلوب؛ ما يعني بقاء الأجزاء الفاعلة فقط في تصنيع البروتين المطلوب، التي يُعرف كلُّ منها باسم الإكسون Exon. بعد ذلك تُربط قطع الإكسون المُتبقية بعضها ببعض، فينتج جزيء mRNA ناضج يخرج من النواة إلى السيتوبلازم عن طريق الثقب النووية الموجودة في الغلاف النووي؛ تمهيداً لبدء عملية الترجمة، أنظر الشكل (31).



الشكل (31): معالجة mRNA الأولي.

الترجمة Translation

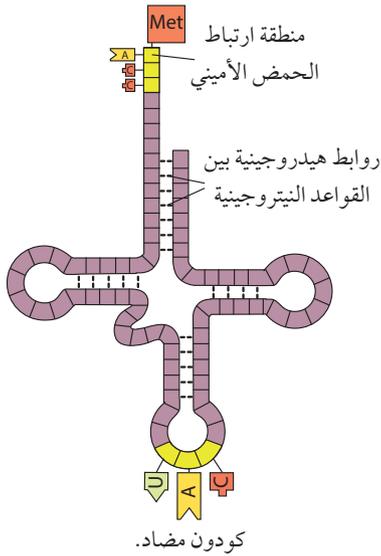
يُطلق على العملية التي تُستخدم فيها المعلومات الوراثية التي يحملها mRNA لتصنيع سلسلة عديد الببتيد اسم الترجمة Translation، ويُطلق على كل ثلاثة نيوكليوتيدات مُتتابعة في mRNA يُمكن أن تُترجم إلى حمض أميني أو إشارة وقف (Stop) اسم الكودون Codon، أنظر الشكل (32).

	U	C	A	G	
U	UUU } Phe فينيل ألاين UUC } UUA } Leu ليوسين UUG }	UCU } UCC } Ser سيرين UCA } UCG }	UAU } Tyr تايروسين UAC } *UAA Stop *UAG Stop	UGU } Cys سيسئين UGC } UGA Stop* UGG Trp تريبتوفان	U C A G
C	CUU } CUC } Leu ليوسين CUA } CUG }	CCU } CCC } Pro برولين CCA } CCG }	CAU } His هستيدين CAC } CAA } Gln غلوتامين CAG }	CGU } CGC } Arg أرغنين CGA } CGG }	U C A G
A	AUU } AUC } Ile إيسوليوسين AUA } *AUG Met ميتيونين Start	ACU } ACC } Thr ثريونين ACA } ACG }	AAU } Asn أسبارغين AAC } AAA } Lys لايسين AAG }	AGU } Ser سيرين AGC } AGA } Arg أرغنين AGG }	U C A G
G	GUU } GUC } Val فالين GUA } GUG }	GCU } GCC } Ala ألانين GCA } GCG }	GAU } Asp حمض أسبارتيك GAC } GAA } Glu حمض غلوتاميك GAG }	GGU } GGC } Gly غلايسين GGA } GGG }	U C A G

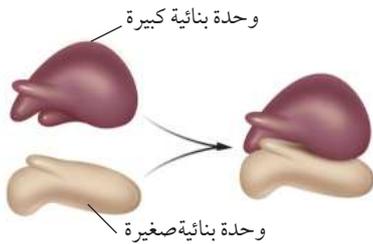
* كودونات البدء والانتها فقط للحفظ، وبقية الكودونات للاطلاع.

الشكل (32): الكودونات، ونواتج ترجمة كل منها.

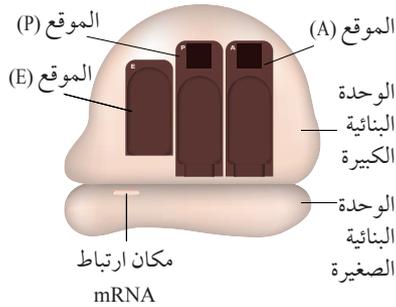
✓ **أتحقّق:** أين تحدث عملية
ترجمة mRNA؟



الشكل (33): تركيب tRNA.



الشكل (34): تركيب الرايبوسوم.



الشكل (35): مواقع ارتباط جزيئات tRNA في الرايبوسوم.

الشكل (36): مرحلة بدء الترجمة.

تشتمل أنواع RNA على نوع يُسمى RNA الناقل tRNA، وهو المُترجم في هذه العملية، أنظر الشكل (33) الذي يُبين تركيب tRNA.

تحدث عملية الترجمة بمساعدة الرايبوسومات؛ وهي تراكيب تتكوّن من البروتينات، والحمض النووي الرايبوسومي tRNA. ويتألّف كل رايبوسوم من وحدتين؛ إحداهما كبيرة، والأخرى صغيرة، وهما تجتمعان عند بدء عملية الترجمة، أنظر الشكل (34).

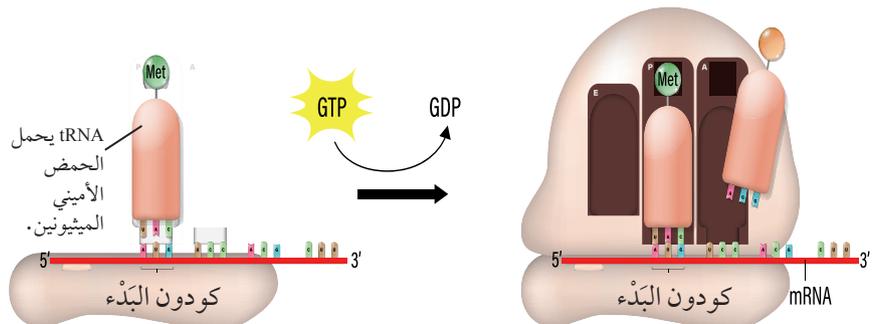
يحتوي الرايبوسوم الواحد على ثلاثة مواقع مُخصّصة لارتباط جزيئات tRNA، أنظر الشكل (35)، ويُسمى أحدها الموقع Peptidyl - tRNA (P)، وهو يرتبط بـ tRNA الحامل لسلسلة عديد الببتيد التي تتكوّن في أثناء عملية الترجمة. في حين يُسمى آخر الموقع Aminoacyl - tRNA Site (A)، وهو يرتبط بـ tRNA الذي يحمل الحمض الأميني الذي سيضاف إلى سلسلة عديد الببتيد. أمّا الموقع الثالث فيُسمى الموقع Exit site (E)، وهو موقع خروج جزيء tRNA الذي يغادر الرايبوسوم فارغاً بعد أن يوصل الحمض الأميني.

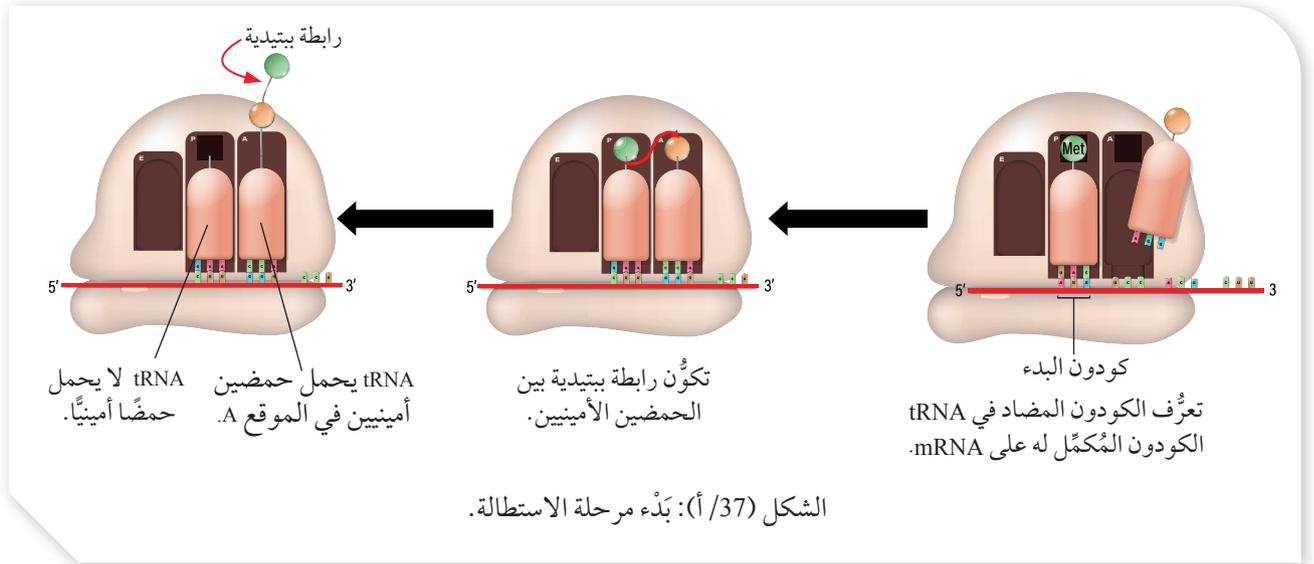
تمرّ عملية الترجمة بثلاث مراحل رئيسية، هي: مرحلة بدء الترجمة، ومرحلة استطالة سلسلة عديد الببتيد، ومرحلة انتهاء الترجمة.

مرحلة بدء الترجمة Initiation of Translation

يرتبط جزيء mRNA وجزيء tRNA البادئ (الذي يُمثّل تسلسل النيوكليوتيدات في موقع الكودون المضاد فيه UAC، ويحمل الحمض الأميني الميثيونين) بالوحدة البنائية الصغيرة، فتكوّن روابط هيدروجينية بين كودون البدء (AUG) في mRNA والكودون المضاد (UAC) في tRNA، يلي ذلك ارتباط الوحدة البنائية الكبيرة للرايبوسوم.

يُذكر أنّ هذه العملية تحتاج إلى عوامل مساعدة، وإلى الطاقة المُخزّنة في جزيئات غوانوسين ثلاثي الفوسفات GTP، أنظر الشكل (36).



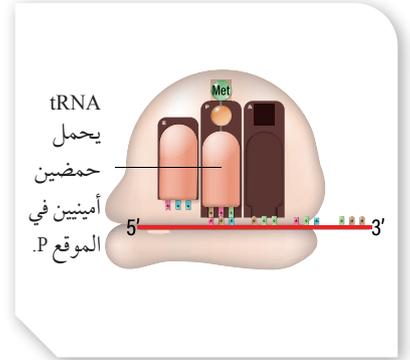


مرحلة استطالة سلسلة عديد الببتيد Polypeptide Elongation

يستطيع الكودون المضاد في أحد جزيئات tRNA أن يتعرف الكودون المكمل له في جزيء mRNA الموجود في الموقع (A). عندئذٍ، يستقبل الموقع (A) في الرايبوسوم جزيء tRNA الذي يحوي الكودون المضاد المكمل للكودون الثاني في جزيء mRNA، ويحمل الحمض الأميني الثاني، فتتكوّن رابطه ببتيدية بين مجموعة الكربوكسيل في الحمض الأميني الموجود في الموقع (P) ومجموعة الأمين في الحمض الأميني الذي يحمله جزيء tRNA الموجود في الموقع (A)، وبذلك يكون الموقع (A) في هذه اللحظة مشغولاً بـ tRNA، حاملاً حمضين أمينيين، في حين لا يحمل جزيء tRNA الموجود في الموقع (P) أي حمض أميني، أنظر الشكل (37/أ).

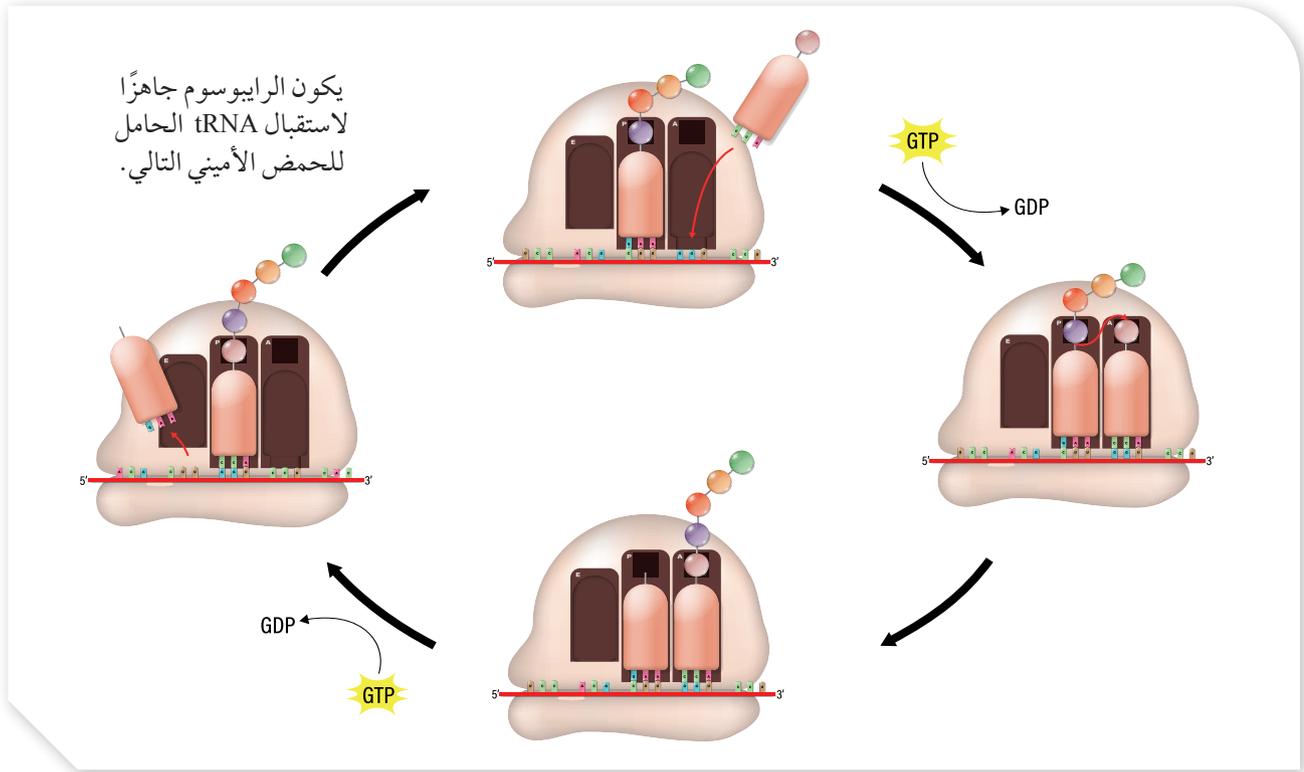
يتحرك الرايبوسوم إلى الداخل على سلسلة mRNA بمقدار كودون واحد من النهاية 5' إلى النهاية 3'؛ ما يؤدي إلى انتقال جزيء tRNA الموجود في الموقع (P) إلى الموقع (E) خارجاً من الرايبوسوم، وينتقل جزيء tRNA الموجود في الموقع (A) إلى الموقع (P)، فارغاً وجاهزاً لاستقبال جزيء tRNA جديد يحمل كودوناً مضاداً للكودون التالي في جزيء mRNA، أنظر الشكل (37/ب).

تتكرر الخطوات السابقة لإضافة الحموض الأمينية واحداً تلو الآخر. وتحتاج مرحلة استطالة سلسلة عديد الببتيد عند إضافة كل حمض أميني إلى الطاقة المخزنة في جزيئات GTP؛ لكي يتمكن الكودون المضاد في جزيء tRNA من التعرف الكودون في جزيء mRNA، وتحريك الرايبوسوم بعد تكوّن الرابطه الببتيدية، أنظر الشكل (38).



الشكل (37/ب): بدء مرحلة الاستطالة.

✓ **أتحقق:** ما الكودون المضاد في جزيء tRNA البادئ؟



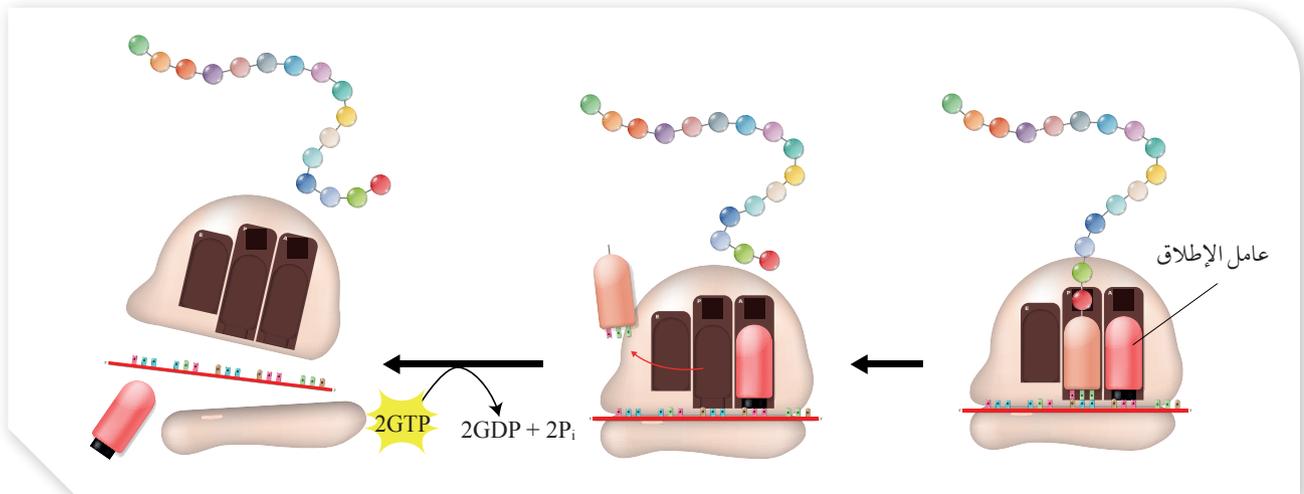
مرحلة انتهاء الترجمة Termination of Translation

الشكل (38): مرحلة استطالة سلسلة عديد الببتيد.
أنتج مرحلة استطالة سلسلة عديد الببتيد.

عند وصول الرايبوسوم إلى أحد كودونات الوقف: (UAA)، أو (UAG)، أو (UGA) في جزيء mRNA، فإن الموقع (A) في الرايبوسوم يستقبل عامل الإطلاق Release factor عوضاً عن جزيء tRNA، فيعمل هذا العامل على تحلل الرابطة بين سلسلة عديد الببتيد المُكوّنة وجزيء tRNA الموجود في الموقع (P)؛ ما يؤدي إلى تحرر سلسلة عديد الببتيد من الرايبوسوم، ثم انفصال الوحدة البنائية الكبيرة للرايبوسوم، وانفصال بقية المُكوّنات باستهلاك جزيئين من GTP، أنظر الشكل (39).

الشكل (39): مرحلة انتهاء الترجمة.

✓ **أتحقق:** ما مبدأ العمل الذي يعتمد عليه عامل الإطلاق؟



التعبير الجيني Gene Expression

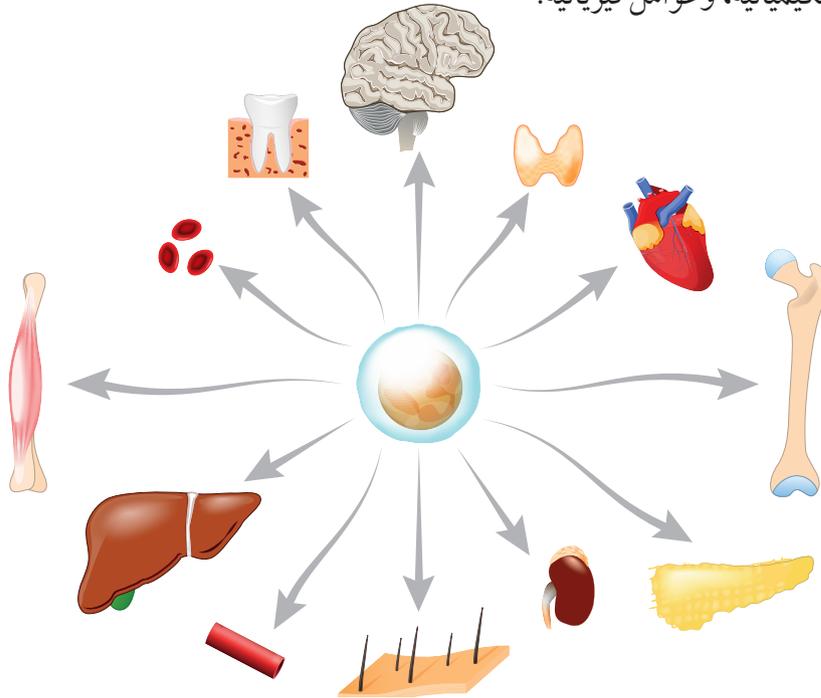
تستطيع الخلية تصنيع آلاف البروتينات المختلفة التي تؤدي كل منها وظيفة خاصة بها، غير أن الخلية لا تحتاج إلى هذه البروتينات كلها في الوقت نفسه؛ لذا تعتمد إلى تنظيم عملية تصنيع البروتينات، لا سيما وقت التصنيع، والكمية التي تلزمها، في عملية تسمى **التعبير الجيني Gene Expression**؛ وهي عملية تستخدم فيها الخلية المعلومات الوراثية التي يحملها الجين لبناء جزيء RNA، وتصنيع بروتين يؤدي وظيفة محددة في الخلية.

صحيح أن خلايا الكائن الحيّ عديد الخلايا تحوي كروموسومات تحمل الجينات نفسها، لكنّ تفعيل التعبير الجيني لجينات معينة دون غيرها يُسبب اختلاف البروتينات التي تصنعها خلية ما عن تلك التي تصنعها أخرى، استناداً إلى الوظيفة التي تؤديها كل خلية في الكائن الحيّ.

يؤثر التعبير الجيني في **تمايز الخلايا Cell Differentiation**. ويُعرّف التمايز بأنه عملية تتحوّل فيها الخلايا غير المتخصّصة إلى خلايا مُتخصّصة. فمثلاً: في مراحل تكوّن جنين الإنسان تتمايز الخلايا الناتجة من انقسام الزيجوت إلى خلايا مختلفة الأنواع، منها: خلايا الكبد، والخلايا العصبية، أنظر الشكل (40).

تتطلب عملية التمايز هذه تغيير نمط التعبير الجيني في الخلية، فيصبح للخلية نمط مُحدّد للتعبير الجيني، لا يتغيّر غالباً طوال مدّة حياة الخلية المُتخصّصة. يتأثر التعبير الجيني في الخلايا بعوامل داخلية (من جسم الكائن الحيّ نفسه) مثل الهرمونات، وعوامل خارجية (من البيئة المحيطة بالكائن الحيّ) مثل بعض المواد الكيميائية، وعوامل فيزيائية.

✓ **أتحقّق:** ما العوامل المؤثرة في عملية التعبير الجيني؟



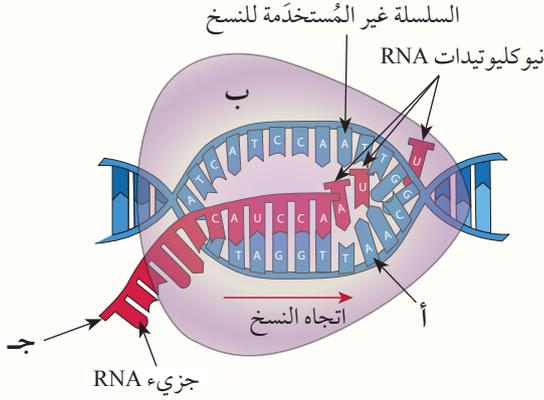
الشكل (40): تمايز الخلايا الجذعية إلى أنواع مختلفة.

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: فيمَ يستفاد من اختلاف التعبير الجيني بين الخلايا؟

2. ما المقصود بتضاعف DNA شبه المُحافظ؟

3. أدرس الشكل الآتي الذي يُبين إحدى خطوات النسخ في عملية تصنيع البروتين، ثم أُجب عن الأسئلة التي تليه:



أ. ما الخطوة التي يُبينها الشكل؟

ب. ماذا يُمثل كلُّ من الرمز (أ)، والرمز (ب) في الشكل؟

ج. ما نهاية السلسلة المشار إليها في الشكل بالرمز (ج)؟

4. لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أُحددها:

1. سبب احتواء الخلايا الجديدة على التعليمات الوراثية الكاملة بالرغم من حدوث انقسام، هو:

أ. كلتا سلسلتي DNA أصلية.

ب. تكوّن سلسلتين جديدتين.

ج. إحدى سلسلتي DNA أصلية.

د. نسخ الحمض النووي الريبوزي RNA.

2. ما يمنع عودة ارتباط سلسلتي DNA بعد الانفصال أثناء التضاعف:

أ. الروابط الهيدروجينية.

ب. تنافر البروتينات.

ج. بروتينات (SSBP).

د. إنزيمات البلمرة.

3. عدد النيوكليوتيدات التي تحويها سلسلة البدء التي تُوفر نهاية 3' حرّة، ليقوم إنزيم بلمرة DNA في عمله:

أ. (4-8).

ب. (5-10).

ج. (4-6).

د. (10-12).

4. إذا كانت نسبة الإنترونات في جزيء mRNA هي (75%)، فإن طول mRNA الناضج بالنسبة إلى mRNA الأولي:

أ. 1/2.

ب. 1/4.

ج. ضعفان.

د. أربعة أضعاف.

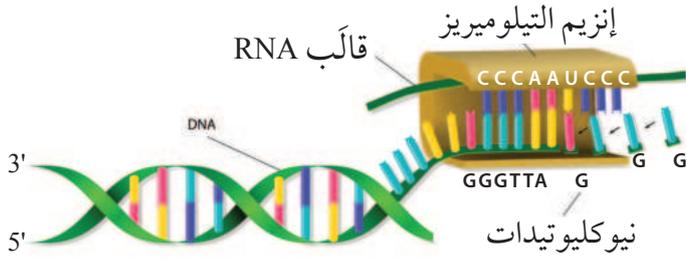
5. القاعدة النيتروجينية التي تدخل في تركيب جزيء الطاقة اللازم لعملية الترجمة:

أ. الغوانين.

ب. السيتوسين.

ج. الأدينين.

د. الثايمين.



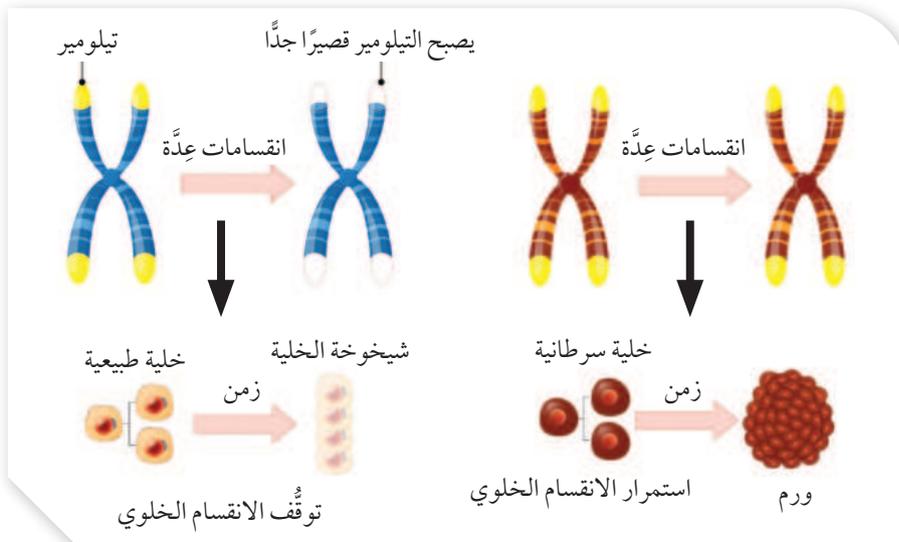
توجد في نهاية كروموسومات الخلايا حقيقية النوى سلاسل مُتكررة من النيوكليوتيدات الطرفية غير مُشفرة، تعمل على حماية الجينات في نهايات الكروموسومات من الضياع (الشطب) في أثناء الانقسامات المُتكررة للخلية، وتُعرّف باسم التيلومير Telomere.

تختلف الكائنات الحيّة حقيقية النوى في ما بينها من حيث عدد النيوكليوتيدات في التيلومير؛ ففي خلايا الإنسان الجسمية - مثلاً - توجد سلسلة من ستة نيوكليوتيدات (5'-TTAGGG-3')، والسلسلة المكملّة لها، تتكرّر عدداً من المرات يتراوح بين (100-1000) مرّة.

يوجد أيضاً إنزيم يُسمّى التيلوميريز telomerase، ويتكوّن من مُعقد (بروتين - RNA)، ويستخدم RNA الموجود فيه قالباً لإضافة سلسلة مُتكررة من النيوكليوتيدات إلى نهاية 3' في الكروموسوم، وهو ينشط في الخلايا الجنينية والخلايا الجسمية الجذعية، ولا ينشط في الخلايا الجسمية الطبيعيّة المُتمايزة.

بعد إضافة سلسلة مُتكررة إلى نهاية 3' في الكروموسوم، يضيف إنزيم بلمرة RNA البادئ سلسلة بدء إلى السلسلة المُتكررة، ثم يعمل إنزيم بلمرة DNA على إضافة النيوكليوتيدات المُكملة للسلسلة. تتكرّر هذه العملية مرّات عدّة للحفاظ على طول سلسلة التيلومير، إلّا أنّه لا يُمكن لمعظم الخلايا الجسمية القيام بهذه العملية؛ نظراً إلى عدم وجود إنزيم التيلوميريز فيها، فيقل طول سلسلة التيلومير في ظلّ الانقسامات الخلوية المُتكررة، وتقل قدرتها على الانقسام؛ ما يؤدي إلى شيخوخة الخلية أو موتها.

يُذكر أنّ إنزيم التيلوميريز يكون نشطاً في الخلايا السرطانية؛ ما يحافظ على طول التيلومير فيها، بالرغم من الانقسامات المُتكررة؛ لذا تستمر الخلايا في الانقسام.



أصمّم مطويّة تُعرض دور التيلوميريز في شيخوخة الخلايا.

السؤال الأول:

7. عدد مواقع ارتباط tRNA في الرايبوسوم هو:
 أ. 1 ب. 2 ج. 3 د. 4
8. للانقسام المتساوي أهمية مباشرة في كل مما يأتي باستثناء:
 أ. النمو.
 ب. التكاثر اللاجنسي.
 ج. تعويض الأنسجة التالفة.
 د. إنتاج الجاميتات.
9. الإنزيم الذي يفصل سلسلتي DNA هو إنزيم:
 أ. الربط. ب. بلمرة DNA.
 ج. الهيليكيز. د. بادئ RNA.
10. ينتج من تضاعف جزيء DNA شبه المحافظ جزيئان، يتكوّن كلُّ منهما من:
 أ. سلسلتين جديدتين.
 ب. سلسلتين؛ إحداها جديدة، والأخرى أصلية.
 ج. سلسلتين أصليتين.
 د. سلسلتين، كلُّ منهما تحوي أجزاء جديدة، وأخرى أصلية.
11. تحدث عملية تضاعف DNA في الخلايا حقيقية النوى في:
 أ. السيتوبلازم. ب. الرايبوسوم.
 ج. النواة. د. الشبكة الإندوبلازمية.
12. الإنزيم الذي يضيف النيوكليوتيدات المُكمّلة لنيوكليوتيدات السلسلة الأصلية في أثناء تضاعف DNA هو إنزيم:
 أ. بلمرة RNA. ب. بلمرة DNA.
 ج. الهيليكيز. د. النيوكلييز.
13. الروابط التي يُحطّمها إنزيم الهيليكيز بين سلسلتي DNA هي:
 أ. الببتيدية. ب. الأيونية.
 ج. التساهمية. د. الهيدروجينية.
- لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أعددّها:
 1. الطور (المرحلة) الذي تكون فيه الكروموسومات مكوّنة من كروماتيدات شقيقة هو:
 أ. G1. ب. G2. ج. S. د. M.
2. طور الانقسام المتساوي الذي يبدأ فيه الغلاف النووي بالاختفاء هو:
 أ. التمهيدي. ب. الاستوائي.
 ج. الانفصالي. د. النهائي.
3. طور الانقسام المتساوي الذي يبدأ فيه الغلاف النووي بالظهور هو:
 أ. التمهيدي. ب. الاستوائي.
 ج. الانفصالي. د. النهائي.
4. طور الانقسام المتساوي الذي تبدأ فيه الخيوط المغزلية الارتباط بالقطع المركزية هو:
 أ. التمهيدي. ب. الاستوائي.
 ج. الانفصالي. د. النهائي.
5. الإنزيم الذي يُمكنه تنقيح DNA في أثناء عملية التضاعف هو:
 أ. إنزيم بلمرة DNA.
 ب. إنزيم بلمرة RNA.
 ج. إنزيم الهيليكيز.
 د. البروتين المُرتبط بالسلاسل المفردة.
6. يكون الكودون المضاد في جزيء tRNA:
 أ. مُكمّلاً للكودون في جزيء DNA.
 ب. مُطابقاً للكودون في جزيء mRNA.
 ج. مُكمّلاً للكودون في جزيء mRNA.
 د. مُتماثلاً لجميع الحموض الأمينية.

مراجعة الوحدة

14. إحدى الآتية صحيحة في ما يتعلّق بالحمض النووي RNA:
- أ. يتكوّن نتيجة تضاعف DNA.
 - ب. يتكوّن من سلسلتين لولبيتين تلتفّ إحداهما على الأخرى في الخلايا حقيقية النوى.
 - ج. تدخل في تركيبه قاعدة نيتروجينية هي الثايمين.
 - د. ينتج من عملية النسخ.
15. بعد استخدام الحمض الأميني في أثناء تصنيع البروتين، فإنّ جزيء tRNA:
- أ. ينطلق مرّةً أخرى، فيرتبط بحمض أميني آخر مناسبٍ للكودون المضاد الذي يحمله.
 - ب. يُحطّم مباشرةً.
 - ج. يعود إلى النواة، ولا يغادرها.
 - د. يرتبط بأول حمض أميني يقابله.
16. جميع الآتية صحيحة في ما يتعلّق بعملية النسخ باستثناء:
- أ. عدم نسخ جزيء DNA كاملاً، واقتصار العملية على نسخ جينات مُعيّنة فقط.
 - ب. استخدام سلسلة واحدة فقط من DNA في عملية النسخ.
 - ج. أداء إنزيم بلمرة DNA دوراً في عملية النسخ.
 - د. اتجاه بناء سلسلة mRNA هو من 5' إلى 3'.
17. يعمل إنزيم بلمرة DNA على:
- أ. ربط قطع أوكازاكي بعضها ببعض.
 - ب. إضافة نيوكليوتيدات مُكمّلة لنيوكليوتيدات السلسلة القالب.
 - ج. فكّ التفاف السلاسل في DNA.
 - د. إنتاج جزيء RNA أولي.
18. تُكوّن قطع أوكازاكي:
- أ. السلسلة المتأخّرة.
 - ب. السلسلة الراجعة.
 - ج. جزيء RNA الأولي.
 - د. سلسلتي DNA.
19. اتجاه استطالة جزيء RNA خلال عملية النسخ هو:
- أ. 3' إلى 5'.
 - ب. 5' إلى 3'.
 - ج. 3' إلى 3'.
 - د. 5' إلى 5'.
20. اتجاه بناء سلسلة DNA هو:
- أ. 3' إلى 5'.
 - ب. 5' إلى 3'.
 - ج. 3' إلى 3'.
 - د. 5' إلى 5'.

مراجعة الوحدة

السؤال الثاني:

أقارن بين كلِّ ممَّا يأتي:

- أ- آليَّة التنقيح، وآليَّة تصحيح استئصال النيوكليوتيد من حيث الإنزيمات التي تشترك في كلِّ منهما.
ب- جزيء mRNA الأولي، وجزيء mRNA الناضج من حيث وجود الإنترونات، ووجود الإكسونات.

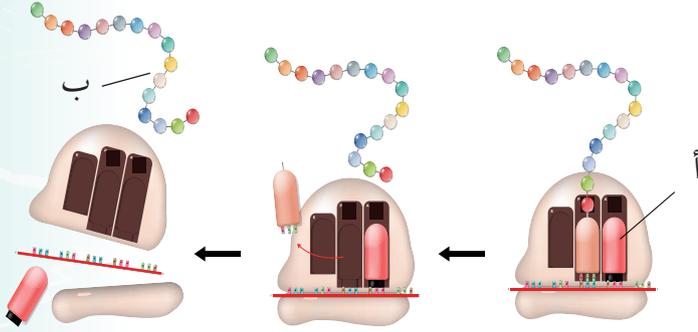
السؤال الثالث:

أعتمد الشكل المجاور، وأجيب عن السؤالين

الآتيين:

1. أيُّ مراحل تصنيع البروتينات يُمثِّلها الشكل؟

2. إلامَّ يرمز كلُّ من (أ)، و(ب)؟



السؤال الرابع:

أوضِّح أهمية tRNA في تصنيع البروتينات.

السؤال الخامس:

أتأمَّل في سلسلة mRNA الناضج الآتية، ثم أجيب عن السؤالين التاليين:

AUGGUUAGCUAGAUGACGGCUCCG

1. ما عدد الحموض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد الناتجة من ترجمة سلسلة mRNA؟

2. ما عدد جزيئات tRNA التي يُمكن استخدامها في ترجمة هذه السلسلة؟

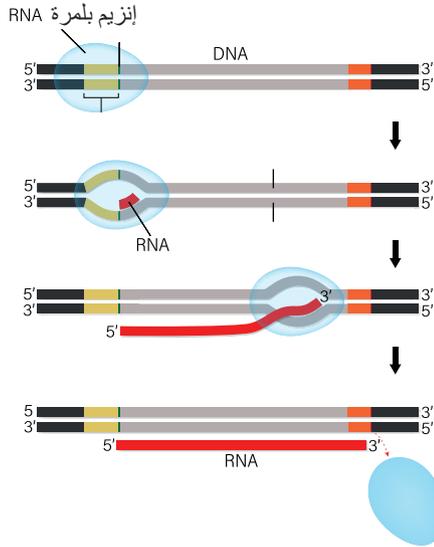
السؤال السادس:

أصِّل بين المصطلح العلمي والوصف المُناسب له في ما يأتي:

الكودون المضاد	يحمل المعلومات الوراثية من النواة إلى السيتوبلازم.
الرايوسوم	عملية فكِّ شيفرة mRNA، وتصنيع البروتين.
تضاعف DNA	ثلاث قواعد تكون في إحدى نهايات tRNA.
الكودون	تصنيع mRNA باستعمال إنزيم بلمرة RNA في النواة.
النسخ	ثلاث قواعد تُحدِّد الحمض الأميني الذي سيُستخدم في أثناء عملية الترجمة.
الترجمة	تحدث فيه عملية الترجمة.
mRNA	يصنع DNA نسخة عن نفسه.

السؤال السابع:

أوضح أي مراحل تصنيع البروتين الرئيسة التي يُمثلها الشكل الآتي، وأبين خطواتها.



السؤال الثامن:

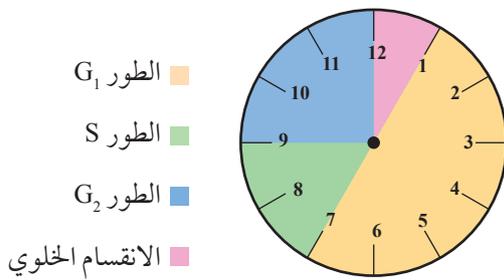
أنشئ جدولاً للمقارنة بين الانقسام المتساوي والانقسام المُنصف من حيث: الأهمية، وعدد الخلايا الناتجة، ونوع الخلايا التي يحدث فيها الانقسام، وعدد الكروموسومات في الخلايا الناتجة مقارنة بالخلية المُنقسمة.

السؤال التاسع:

أتوقع: إذا حدثت عملية العبور أكثر من مرة خلال الانقسام الواحد، وفي مواقع مختلفة من الكروموسوم نفسه، فما تأثير ذلك في التنوع الجيني للكائنات الحية؟

السؤال العاشر:

أدرس الشكل المجاور الذي يُبين دورة خلية يستغرق إكمالها 12 ساعة، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:



1. ما الطور الذي ستكون فيه الخلية الساعة 6:30؟
2. أحسب عدد الدقائق اللازمة لتضاعف DNA.
3. أتوقع: في أي طور ستكون الخلية بعد 7 ساعات من الساعة 9؟
4. في أي وقت تقريباً ستحدث عملية الانقسام الخلوي؟
5. في أي وقت/ أوقات يزداد عدد عُضَيَات الخلية؟

قال تعالى:

﴿سُبْحَانَ الَّذِي خَلَقَ الْأَزْوَاجَ كُلَّهَا مِمَّا تُثْبِتُ الْأَرْضُ

وَمِنْ أَنْفُسِهِمْ وَمِمَّا لَا يَعْلَمُونَ﴾ (سورة يس، الآية 36).



أتأمل الصورة

تُورث الصفات الوراثية عن طريق انتقال المادة الوراثية من الآباء إلى الأبناء، وتؤدّي العوامل البيئية دورًا في هذا التوارث. فما أنماط التوارث؟ كيف تُؤثّر العوامل البيئية في صفات الكائنات الحيّة؟

الفكرة العامة:

الجينات مسؤولة عن الصفات الوراثية. ونتيجةً لتأثير بعض العوامل؛ فقد يتغير تسلسل بعض النيوكليوتيدات في الجين؛ ما قد يؤثر في الصفات الوراثية.

الدرس الأول: وراثة الصفات المنديلية.

الفكرة الرئيسة: فسّرت نتائج تجارب العالم غريغور مندل انتقال بعض الصفات الوراثية من الآباء إلى الأبناء.

الدرس الثاني: الوراثة بعد مندل.

الفكرة الرئيسة: تُتوارث بعض الصفات الوراثية بأنماط تختلف عن تلك التي في الوراثة المنديلية.

الدرس الثالث: الطفرات والاختلالات الوراثية.

الفكرة الرئيسة: تُصنّف الطفرات إلى نوعين، هما: الطفرات الجينية، والطفرات الكروموسومية. وينتج من بعض الطفرات اختلالات وراثية.



تجربة استهلاكية

محاكاة توارث الأليلات باستخدام قطع النقود

تتحكّم الجينات في توارث الصفات الوراثية، وللجين الواحد أكثر من شكل، ويُسمّى كل شكل منها أليلاً.

R	r	♀ ♂
		R
		r

المواد والأدوات: قطعنا نقود.

إرشادات السلامة: إلقاء قطعتي النقود بحذر؛ لكيلا تصيب أحداً من الطلبة.

ملحوظة: تُنفذ التجربة ضمن مجموعات.

خطوات العمل:

rr	Rr	RR	أشكال الطرز الجينية المُتوقّعة لأفراد الجيل الأوّل
			النسبة المئوية المُتوقّعة.
			عدد مرّات ظهور الطراز الجيني عند إلقاء قطعتي النقود 5 مرّات.
			النسبة المئوية الناتجة من التجربة (5 مرّات).
			عدد مرّات ظهور الطراز الجيني عند إلقاء قطعتي النقود 50 مرّة.
			النسبة المئوية الناتجة من التجربة (50 مرّة).

1 أترض أنّ إحدى قطعتي النقود تُمثّل الطراز الجيني

لصفة لون الأزهار لأحد الأبوين في نبات البازيلاء، وأنّ القطعة الثانية تُمثّل الطراز الجيني للآخر؛ إذ تُمثّل الصورة في كل قطعة نقود مُستخدمة في هذه التجربة أليل لون الأزهار الأرجواني السائد R، وتُمثّل الكتابة أليل لون الأزهار الأبيض المُتنحّي r.

2 **أستنتج** الطراز الجيني لكلا الأبوين من مربع بانيت.

3 أكمل مربع بانيت، وأتوقّع الطرز الجينية والشكلية لأفراد الجيل الأوّل.

4 **أحسب** النسبة المئوية لكل طراز من الطرز الجينية في مربع بانيت، ثم أدوّن النتائج في خانة (النسبة المئوية المُتوقّعة)

في الجدول.

5 **أجرّب:** أُلقي قطعتي النقود معاً 5 مرّات، ثم أدوّن في كل مرّة الطراز الجيني الذي يُمثّل الطراز الجيني للفرد الناتج

من عملية التلقيح.

6 **أجرّب:** أُلقي قطعتي النقود معاً 50 مرّة، ثم أدوّن الطراز الجيني في كل مرّة.

7 **أحسب** النسب المئوية للطرز الجينية الناتجة، ثم أدوّن النتائج في خانة (النسبة المئوية الناتجة من التجربة) في الجدول.

التحليل والاستنتاج:

1. **أقارن** النسب المئوية المُتوقّعة بالنسب المئوية الناتجة من التجربة.

2. **أتوقّع** تأثير زيادة عدد مرّات إلقاء قطعتي النقود في الفرق بين النسب المئوية المُتوقّعة والنسب المئوية الناتجة من

التجربة، وأفسّر إجابتي.

3. **أتواصل:** أناقش زملائي في النتائج، ثم أذكر أمثلة من الواقع تدعم نتائج التجربة.

4. **أصنّم** تجربة لمحاكاة توارث الأليلات عند تلقيح نباتين، أحدهما غير مُتماثل الأليلات، والآخر مُتنحّ.

انتقال المعلومات الوراثية من الآباء إلى الأبناء

Passage of Genetic Information from Parents to Offspring

تتوارث الصفات في الكائنات الحيّة التي تتكاثر جنسياً عن طريق الجاميتات التي تنتج من الانقسام المُنصّف. وتحتوي كل خلية جسمية ثنائية المجموعة الكروموسومية ($2n$) في جسم الإنسان على 23 زوجاً من الكروموسومات، نصفها من الأمّ، ونصفها الآخر من الأب، في حين تكون الجاميتات أحادية المجموعة الكروموسومية ($1n$)، وتحتوي 23 كروموسوماً.

لكل كروموسوم في الخلية ثنائية المجموعة الكروموسومية كروموسوم مُماثل له، وهذا ينطبق على أزواج الكروموسومات، بدءاً بالزوج الأوّل، وانتهاءً بالزوج الثاني والعشرين؛ وهي الكروموسومات الجسمية، وفيها تشغل نفس الجينات المواقع نفسها على الكروموسومين المُتماثلين.

أمّا الزوج الثالث والعشرون فهو زوج من الكروموسومات الجنسية، يكون مُتماثلاً عند الأنثى (XX)، وغير مُتماثل عند الذكر (XY)، أنظر الشكل (1).

الفكرة الرئيسة:

فسّرت نتائج تجارب العالم غريغور مندل انتقال بعض الصفات الوراثية من الآباء إلى الأبناء.

نتائج التعلم:

- أوضح أنّ الجينات على الكروموسومات تُحدّد الطرز الشكلية في الأبناء.
- أفسّر دور الانقسام المُنصّف في التنوع الجيني.
- أفسّر نصبي قانوني مندل في الوراثة.
- أطبّق قانوني مندل عند حلّ مسائل عن الوراثة.

المفاهيم والمصطلحات:

الترتيب العشوائي للكروموسومات

Random Orientation of Chromosomes

قانون التوزيع الحر

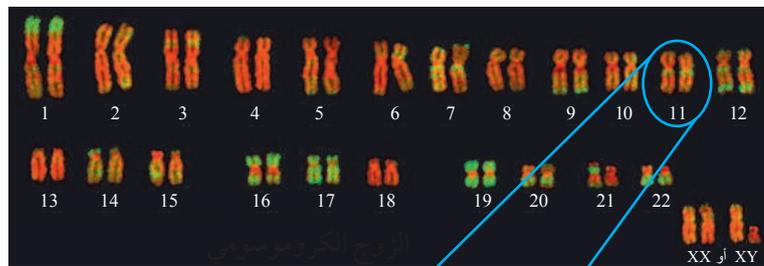
The Law Of Independent Assortment

الشكل (1): مُخطّط

كروموسومي

للكروموسومات في خلية

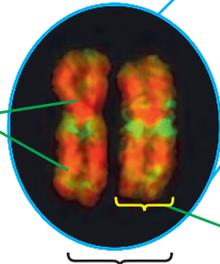
ثنائية المجموعة في الإنسان.



رقم (11).

الكروموسومات
الجنسية.

كروماتيدان
شقيقان.



كروموسوم واحد.

كروموسومان مُتماثلان، أحدهما من الأمّ، والآخر من الأب.

التنوع الجيني في الجاميتات Genetic Variation in Gametes

الربط بالتكنولوجيا

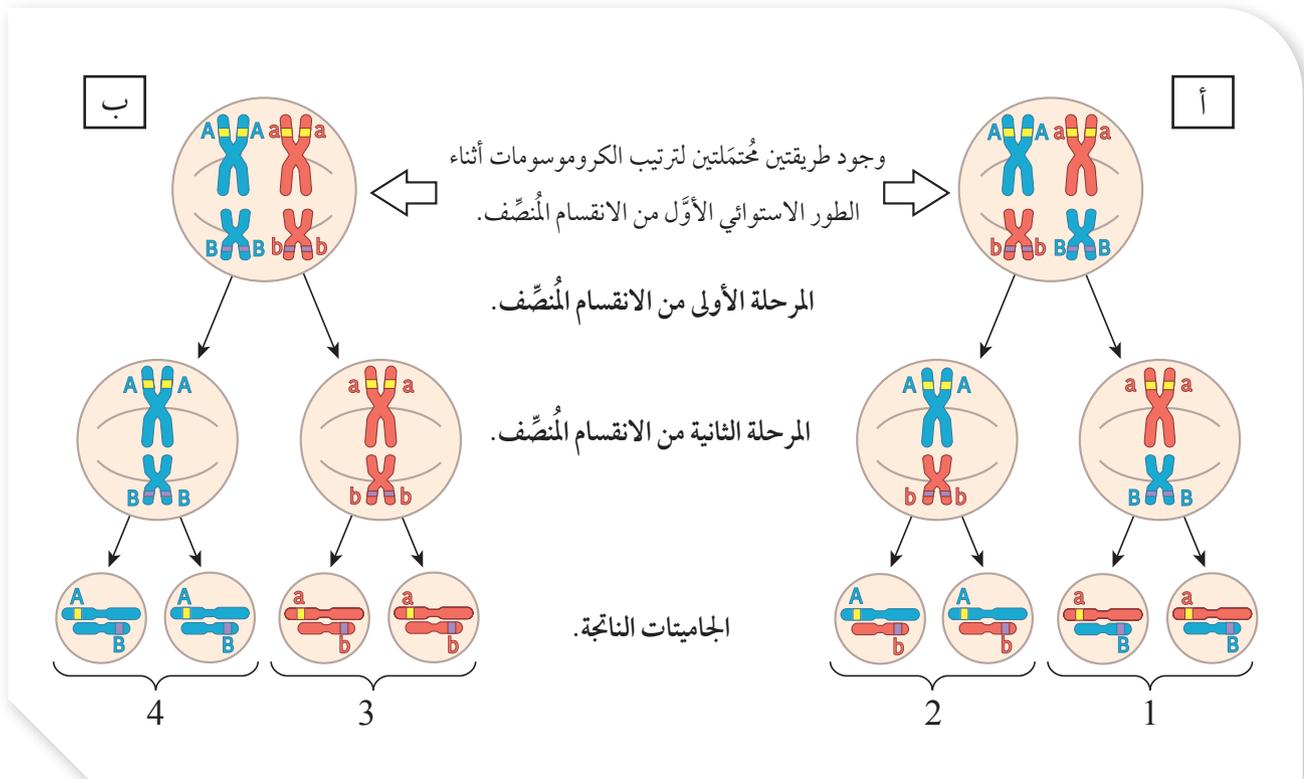
تصوير الكروموسومات تُحَفِّزُ الخلية للانقسام، ثم تضاف مادة كيميائية تعمل على إيقاف حركة الخيوط المغزلية؛ ما يُثَبِّتُ الخلية المنقسمة في الطور الاستوائي. بعد ذلك تُصَوَّرُ الكروموسومات في هذا الطور باستخدام كاميرا موصولة بمجهر.

✓ **أتحقق:** أوضِّح المقصود بالترتيب العشوائي للكروموسومات.

درستُ سابقًا عملية الانقسام المُنصَّف، وتعرَّفتُ أهميتها في تكوين الجاميتات في الكائنات الحيَّة التي تتكاثر جنسيًا. يؤدي الانقسام المُنصَّف دورًا في تنوع التراكيب الجينية في الكائنات الحيَّة؛ إذ يُؤثِّرُ **الترتيب العشوائي للكروموسومات** في توارث الأليلات المحمولة على كروموسومات مختلفة، في حين تُؤثِّرُ عملية العبور في توارث الأليلات المحمولة على الكروموسوم نفسه.

الترتيب العشوائي للكروموسومات Random Orientation of Chromosomes تترتَّبُ كروموسومات الأمِّ وكروموسومات الأب ترتيبًا عشوائيًا أثناء الطور الاستوائي الأوَّل في الانقسام المُنصَّف، أنظر الشكل (2) الذي يُمثِّلُ مُلخَّصًا لتكوين الجاميتات في خلية تحوي 4 كروموسومات لفرد طرازه الجيني AaBb، في دلالة على صفتين مختلفتين، مُفترِّضًا أنَّ كروموسومات أحد الأبوين تُمثِّلُها الكروموسومات ذات اللون الأزرق، وأنَّ كروموسومات الآخر تُمثِّلُها الكروموسومات ذات اللون الأحمر.

الشكل (2): الترتيب العشوائي للكروموسومات أثناء تكوين الجاميتات في خلية تحوي 4 كروموسومات لفرد طرازه الجيني AaBb.



ألاحظ أنّ الكروموسومات - بما تحمله من أليلات- تترتب أثناء الانقسام المنصف بطريقتين محتملتين، هما: الترتيب (أ) الذي يكون فيه الأليلان A و B (هما من أحد الأبوين) في جهتين مختلفتين، والترتيب (ب) الذي يكون فيه الأليلان A و B في الجهة نفسها، فتنتج 4 أنواع من الجاميتات، يحتوي كلٌّ منها على تركيب جيني يختلف عن التركيب الجيني للجاميتات الأخرى.

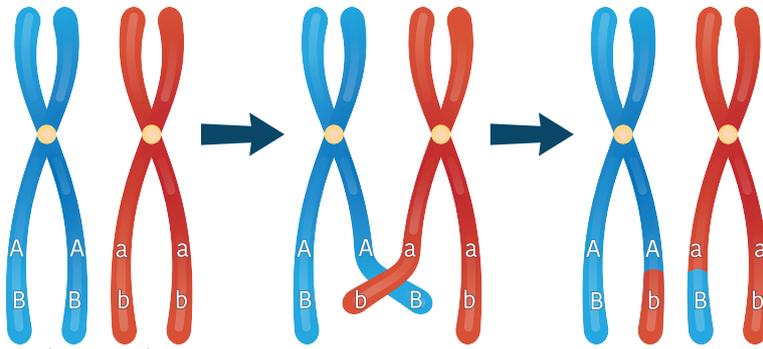
عملية العبور Crossing Over

يقصد بذلك تبادل أجزاء من المادة الوراثية بين كروماتيدين غير شقيقين في كروموسومين متماثلين أثناء الطور التمهيدي الأول من الانقسام المنصف؛ ما يؤدي إلى إنتاج تراكيب جينية جديدة في الجاميتات الناتجة من هذا الانقسام، أنظر الشكل (3).

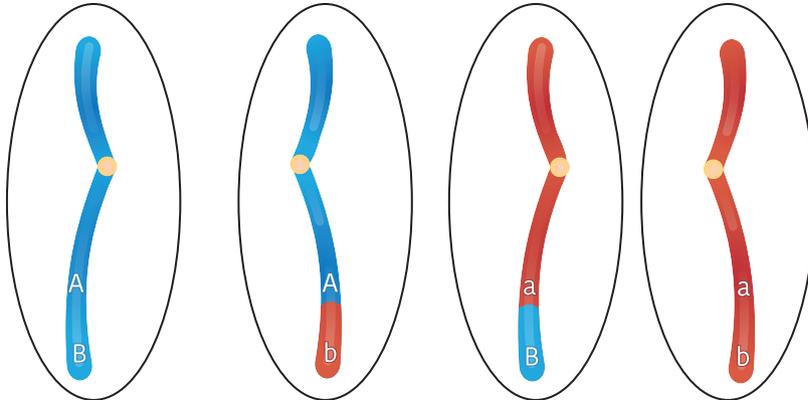
✓ **أتحقّق:** أوّضح المقصود بالعبور.

زوج الكروموسومات المتماثلة

كروموسوم من الأم
كروموسوم من الأب



كروماتيدان غير شقيقين



جاميت يحتوي على أليلات الأب (A,B) نفسها.

جاميت يحتوي على أليل من الأب (A)، وأليل من الأم (b).

جاميت يحتوي على أليل من الأب (B)، وأليل من الأم (a).

جاميت يحتوي على نفس أليلات الأم (a,b).

الشكل (3): عملية العبور. أحد الطرز الجينية للجاميتات الناتجة من حدوث عملية العبور.

الشكل (4): نبات البازيلاء.



وراثة الصفات المنديلية Mendelian Traits Inheritance

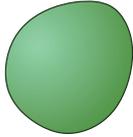
درس العالم مندل توارث صفات عديدة في نبات البازيلاء، أنظر الشكل (4)، وتوصّل في تجاربه إلى نتائج تُعدُّ أساسًا لدراسة توارث الصفات في الكائنات الحيّة الأخرى.

مبدأ السيادة التامة وقانون انعزال الصفات

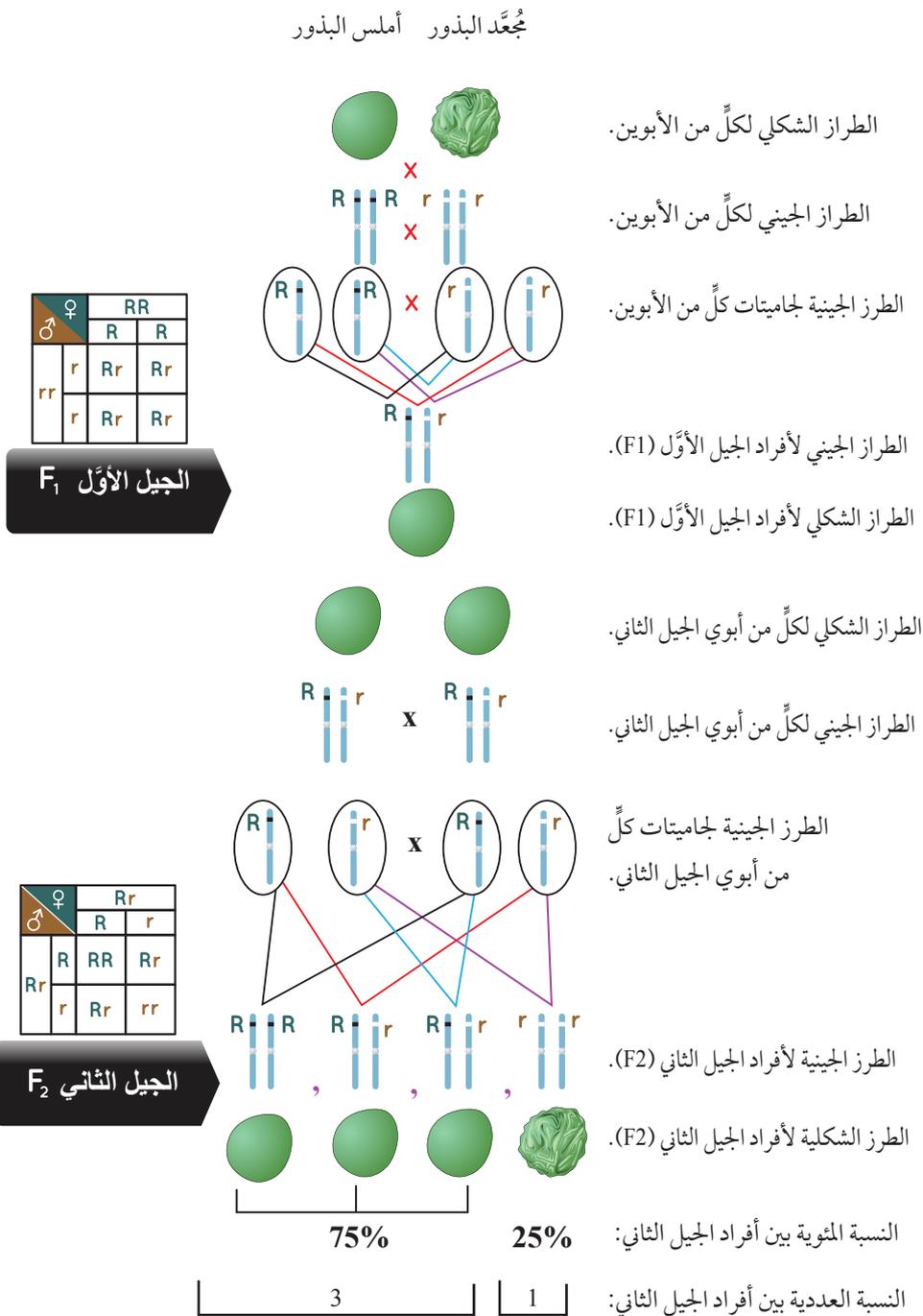
The Principle of Complete Dominance and the Law of Segregation

استقصى مندل وراثة صفات عديدة في نبات البازيلاء، أنظر الشكل (5)، وتبيّن ظهورها في الجيل الأوّل والجيل الثاني. ولأنّ عدد أفراد الجيل الأوّل الناتج كان كبيراً؛ فقد تقاربت نسب ظهور الصفات الوراثية الناتجة من عمليات التلقيح مع النسب المتوقّعة لظهورها.

الشكل (5): الصفات الوراثية التي درسها مندل في نبات البازيلاء. أحدّد الصفة السائدة لكلّ من موقع الزهرة، وشكل البذرة.

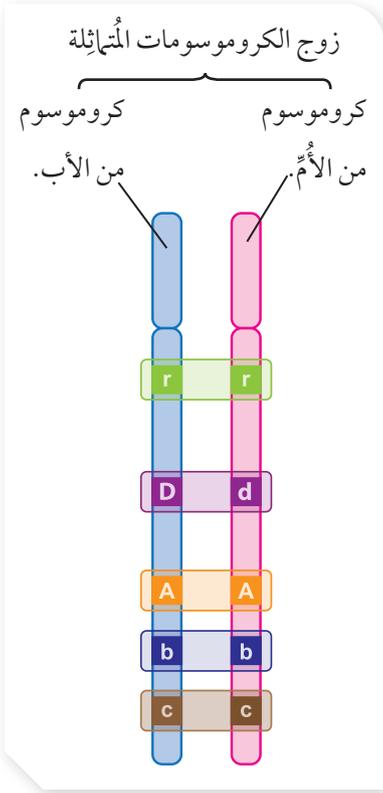
	شكل البذرة	لون البذرة	شكل القرن	لون القرن	لون الزهرة	موقع الزهرة	طول الساق
الصفة السائدة		أصفر		أخضر		محوري	
الصفة المتنحية		أخضر		أصفر		طرفي	

عمل مندل في إحدى تجاربه على تلقيح نباتي بازلاء، أحدهما أملس البذور، والآخر مُجعد البذور، ثم زرع البذور الناتجة، فظهر كل فرد من أفراد الجيل الأول (F1) أملس البذور، واختفت صفة البذور المُجعدة في الجيل الأول. وبعد التلقيح بين أفراد الجيل الأول ظهرت صفة البذور المُجعدة بين أفراد الجيل الثاني (F2) بنسبة 25%، أنظر الشكل (6).



الشكل (6): وراثة صفة شكل البذور في نبات البازلاء. أحسب النسبة المئوية لظهور صفة البذور المُجعدة بين أفراد كل من الجيل الأول، والجيل الثاني.

الشكل (7): كروموسومان مُتماثلان.
أدوّن الطرز الجينية مُتماثلة الأليلات،
وغير مُتماثلة الأليلات.



✓ **أتحقق:** أوّضح المقصود
بكلّ من السيادة التامة،
وقانون انعزال الصفات.

الشكل (8): تسلسل النيوكليوتيدات لأليل
سائد لصفة مُعيّنة (أ)، وتسلسلها لأليل
مُتنحّ للصفة نفسها (ب).

أقارن بين تسلسل النيوكليوتيدات في
الأليلين الآتين:

(أ) TAATGCTACGTACGGA

(ب) TAATGCTAGCTACGGA

استنتج مندل وجود عوامل تتحكّم في توارث الصفات، أُطلق عليها فيما بعد اسم الجينات، ويوجد لكل جين شكلان، يُسمّى كلُّ منهما أليلاً. فمثلاً: يوجد لجين صفة لون الأزهار في نبات البازيلاء أليلان، أحدهما سائد، ويُرمز إليه بحرف كبير (R)، ويُمثّل صفة اللون الأرجواني، والآخر مُتنحّ، ويُرمز إليه بحرف صغير (r)، ويُمثّل اللون الأبيض. وإذا اجتمع هذان الأليلان (السائد، والمُتنحّي)، فإنّ تأثير الأليل السائد يظهر، خلافاً لتأثير الأليل المُتنحّي؛ فإنّه لا يظهر، في ما يُعرّف بمبدأ السيادة التامة Principle of Complete Dominance. قد يكون الطراز الجيني للفرد الذي تظهر عليه الصفة السائدة مُتماثل الأليلات (RR)، أو غير مُتماثل الأليلات (Rr). أما الطراز الجيني للفرد الذي تظهر عليه الصفة المُتنحّيّة فيكون دائماً مُتماثل الأليلات (rr)، لكنّ ذلك لا يعني أنّ الطراز الجيني لفرد مُتماثل الأليلات لصفة وراثية مُعيّنة يُحتّم أن يكون مُتماثل الأليلات للصفات الوراثية الأخرى، أنظر الشكل (7). يختلف الأليل السائد والأليل المُتنحّي للصفة الوراثية الواحدة في تسلسل النيوكليوتيدات فيها، أنظر الشكل (8)؛ ما يُؤثّر في بناء البروتينات.

استنتج مندل من نتائج تجاربه قانون انعزال الصفات Law of Segregation الذي ينصّ على أن أليلي الصفة الواحدة ينفصلان أثناء تكوين الجاميتات.

الاحتمالات والوراثة Probabilities and Genetics

تُمثّل نتائج تجارب مندل قواعد الاحتمالات التي تنطبق على إلقاء قطع النقود، وتتمثّل أهمها في ما يأتي:

لا يتأثر احتمال حدوث الحدث باحتمال حدوثه في مرّات أخرى. فمثلاً: عند إلقاء قطعة نقد، فإنّ احتمال ظهور الصورة هو $\frac{1}{2}$ ، واحتمال ظهور الكتابة هو $\frac{1}{2}$. غير أنّ ظهور الصورة عند إلقاء قطعة النقد أوّل مرّة لا يعني بالضرورة ظهور الكتابة عند إلقاء قطعة النقد نفسها مرّة ثانية؛ فقد يتكرّر ظهور الصورة؛ ذلك أنّ إلقاء قطعة النقد في كل مرّة مستقل عن إلقائها في مرّات لاحقة، كما هو الحال عند الولادة؛ فاحتمال أن يكون المولود ذكراً هو $\frac{1}{2}$ ، واحتمال أن يكون أنثى هو $\frac{1}{2}$. وإذا كان المولود الأوّل ذكراً فليس بالضرورة أن يكون المولود الثاني أنثى؛ إذ إنّ احتمال أن يكون المولود الثاني ذكراً هو $\frac{1}{2}$ ، واحتمال أن يكون أنثى هو $\frac{1}{2}$.

تتراوح قيمة الاحتمال بين 0 و 1. فمثلاً: عند إيجاد جاميتات فرد طرازه الجيني tt، فإنّ احتمال ظهور الجاميت الذي يحوي الأليل t هو 1، واحتمال ظهور الجاميت الذي يحوي الأليل T هو 0، خلافاً لجاميتات فرد طرازه الجيني Tt؛ إذ إنّ احتمال ظهور الجاميت الذي يحوي الأليل T هو $\frac{1}{2}$ ، واحتمال ظهور الجاميت الذي يحوي الأليل t هو $\frac{1}{2}$.

أفكر: تزوج رجل بفتاة، وكان كلاهما يحمل صفة القدرة على ثني اللسان غير مُمَثِّل الأليلات (Dd). أجد احتمال إنجاب أنثى لا تحمل صفة القدرة على ثني اللسان لهذه العائلة.

يساعد علم الاحتمالات على التنبؤ باحتمال ظهور طراز جيني مُعَيَّن لدى الأفراد الناتجين. فعند تلقيح نباتي بازلاء، كلُّ منهما طويل الساق، وغير مُمَثِّل الأليلات، والطراز الجيني لكليهما هو Tt، فإنَّ احتمال إنتاج جاميت يحوي الأليل T هو $\frac{1}{2}$ ، واحتمال إنتاج جاميت يحوي الأليل t هو $\frac{1}{2}$ في كلا النباتين. لإيجاد احتمال إنتاج فرد طرازه الجيني tt، أحسبُ ناتج احتمال t من النبات الأوَّل × احتمال إنتاج الأليل t في النبات الثاني.

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$$

$\frac{1}{2} t$	$\frac{1}{2} T$	♀	♂
$\frac{1}{4} Tt$	$\frac{1}{4} TT$	$\frac{1}{2} T$	
$\frac{1}{4} tt$	$\frac{1}{4} Tt$	$\frac{1}{2} t$	

عند إيجاد احتمال إنتاج فرد طرازه الجيني Tt، فإنني أضع نَصْبَ عينيَّ أن هذا الفرد قد ينتج من اندماج الجاميت الذي يحوي الأليل T من الأب والجاميت الذي يحوي الأليل t من الأم، أو العكس، أنظر مربع بانيت المجاور.

✓ **أتحقَّق:** أجد احتمال إنتاج فرد طرازه الجيني (TT) لأبوين طرازهما الجيني (Tt).

لتحديد احتمال حدوث حدثين مستقلين معًا، فإنني أحسبُ ناتج احتمال حدوث الحدث الأوَّل ضرب احتمال حدوث الحدث الثاني.

مثال 1

أجرت باحثة تجارب عديدة لدراسة توارث صفة لون الريش بين أفراد نوع مُعَيَّن من الحمام، وكان الطراز الشكلي للون ريش أفراد الحمام غير مُوشَّح أو مُوشَّحًا. وقد خلَّصت الباحثة إلى النتائج المُبيَّنة في الجدول (1) والجدول (2):
- أستنتج الصفة السائدة، والصفة المُنتحية.
- أكتب الطرز الجينية لأفراد الجيل الأوَّل، باستخدام الرمز (a) والرمز (A).

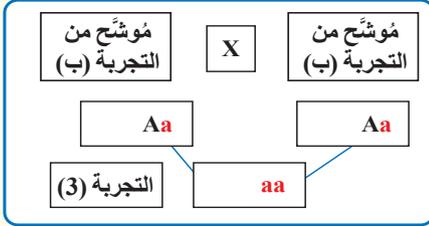
الجدول (2): تزاوجات عديدة لتتبع وراثته لون الريش بين أفراد الجيل الثاني في نوع من الحمام.		رقم التجربة	التزاوج بين أفراد الجيل الأوَّل (F ₁) الناتجين من التجارب: أ، ب، ج	الطرز الشكلية لأفراد الجيل الثاني (F ₂)
غير مُوشَّح	مُوشَّح			
0	34	1	المُوشَّح أ x غير المُوشَّح ج	
14	17	2	المُوشَّح ب x غير المُوشَّح ج	
9	28	3	المُوشَّح ب x المُوشَّح ب	
0	39	4	المُوشَّح أ x المُوشَّح ب	

الجدول (1): تزاوجات عديدة لتتبع وراثته لون الريش في نوع من الحمام.			الآباء	الطرز الشكلية لأفراد الجيل الأوَّل (F ₁)
رمز التجربة	مُوشَّح	غير مُوشَّح		
أ	مُوشَّح x مُوشَّح	36	0	
ب	مُوشَّح x غير مُوشَّح	38	0	
ج	غير مُوشَّح x غير مُوشَّح	0	35	

المعطيات: الطرز الشكلية لكل من الأبوين، صفات أفراد الجيل الأول وأعدادهم، صفات أفراد الجيل الثاني وأعدادهم.
المطلوب: الصفة السائدة، الصفة المتنحية، الطرز الجينية لأفراد الجيل الأول (F1).

الحل:

أحلل البيانات وأفسرها: أستنتج أن لون الريش الموشح صفة سائدة؛ لأن صفة لون الريش في جميع أفراد الجيل الأول الناتجين من التجربة (ب) هي الموشح. ومما يدعم استنتاجي أن صفة لون الريش غير الموشح ظهرت بنسبة 25% بين أفراد الجيل الثاني في التجربة (3).



مخطط	السبب	الاستنتاج
<p>غير موشح ناتج من التجربة (ج) X موشح ناتج من التجربة (ب)</p> <p>AA X aa</p> <p>100% Aa</p> <p>التجربة (1)</p>	<p>عند تزواج الحمام موشح الريش الناتج من التجربة (أ) مع حمام ناتج من التجربة (ج)، ولون ريشه غير موشح (متنح)، كان جميع أفراد الجيل الناتج موشحي الريش (سائد). فلو كان أفراد الجيل الناتج من التجربة (أ) غير متماثلي الأليلات (Aa)، لظهر بعض أفراد الجيل الثاني الناتج متنحيين.</p>	<p>لون الريش الموشح بين أفراد الجيل الأول في التجربة (أ) متماثل الأليلات (AA).</p>
<p>غير موشح ناتج من التجربة (ج) X موشح ناتج من التجربة (ب)</p> <p>Aa X aa</p> <p>50% Aa 50% aa</p> <p>التجربة (2)</p>	<p>عند تزواج أفراد الجيل الأول الناتج من التجربة (ب) مع حمام ناتج من التجربة (ج)، ولون ريشه غير موشح (متنح)، كان لون الريش غير موشح (متنح) لنصف أفراد الجيل الثاني الناتج.</p>	<p>لون الريش الموشح بين أفراد الجيل الأول الناتج من التجربة (ب) غير متماثل الأليلات (Aa).</p>
<p>موشح ناتج من التجربة (ب) X موشح ناتج من التجربة (ب)</p> <p>Aa X Aa</p> <p>AA Aa Aa aa</p> <p>75% موشح 25% غير موشح</p> <p>التجربة (3)</p>	<p>عند تزواج الحمام موشح الريش الناتج من التجربة (ب) مع حمام ناتج من التجربة (ب)، وموشح الريش، كانت نسبة أفراد الجيل الثاني الناتج من الحمام موشح الريش 75% و25% من الحمام غير موشح الريش (متنح).</p>	<p>الطرز الجيني للون الريش الموشح الناتج من التجربة (ب) غير متماثل الأليلات (Aa).</p>
<p>موشح ناتج من التجربة (ب) X موشح ناتج من التجربة (أ)</p> <p>Aa X AA</p> <p>AA Aa</p> <p>التجربة (4)</p> <p>100% موشح</p>	<p>عند تزواج الحمام موشح الريش الناتج من التجربة (أ) مع حمام ناتج من التجربة (ب)، وموشح الريش، وغير متماثل الأليلات، كان جميع أفراد الجيل الثاني الناتج من الحمام موشحي الريش.</p>	<p>الطرز الجيني للون الريش الموشح الناتج من التجربة (أ) متماثل الأليلات (AA).</p>

قانون التوزيع الحر Law Of Independent Assortment

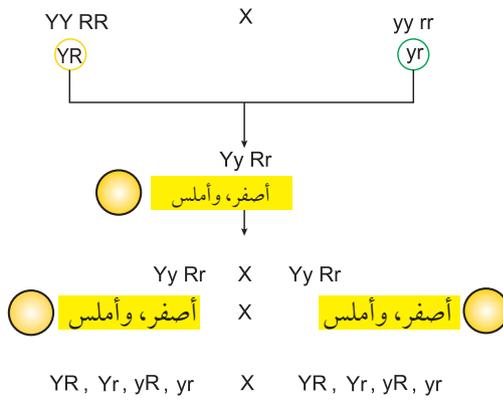
أجرى مندل تجربة درس فيها وراثته صفتين وراثيتين معاً في نبات البازيلاء، هما: لون البذور، وشكلها. في الجزء الأول من التجربة، عمل مندل على تلقيح نباتي بازيلاء، أحدهما أصفر، وأملس البذور، ومتمائل الأليلات لهاتين الصفتين، وطرزه الجيني YYRR، والآخر أخضر، ومُجَعَّد البذور، وطرزه الجيني yyrr. بعد أن زرع مندل البذور الناتجة، لاحظ أن جميع بذور النباتات في الجيل الأول صفراء، وملساء، وطرزها الجيني YyRr.

في الجزء الثاني من التجربة، عمل مندل على تلقيح أفراد الجيل الأول معاً، ثم زرع البذور الناتجة، ثم دَوَّن أعداد النباتات الناتجة وصفات كل منها، فكانت النسب بين النباتات الناتجة في التجربة مُقارِبة للنسب المُتَوَقَّعة المُبَيَّنَة في مربع بانيت، أنظر الشكل (9).

ظهرت صفات أفراد الجيل الثاني في مربع بانيت وفق النسب العددية الآتية:
9 نباتات صفراء، وملساء البذور: 3 نباتات صفراء، ومُجَعَّدَة البذور.
3 نباتات خضراء، وملساء البذور: 1 نبات أخضر، ومُجَعَّد البذور.

الوراثة وتحسين الإنتاج الزراعي
وظَّف المزارعون مبادئ الوراثة في تحسين الإنتاج منذ أمد بعيد لزيادة جودة المحاصيل وكمياتها، ومقاومة مُسبِّبات الأمراض؛ إذ اختاروا سلالات من النباتات تمتاز بصفات مرغوبة؛ لتكثيرها خضرياً. وكذلك اختاروا سلالات من الحيوانات تمتاز بصفات مرغوبة، وعملوا على تلقيحها خلطياً، ثم تلقيح أفراد النسل الناتج؛ لإنتاج أفراد يمتازون بأكثر من صفة مرغوبة، مثل الأبقار التي تُنتِج كميات وافرة من الحليب واللحوم. ولكن، يتعيَّن على المزارعين في هذه الحالة الانتباه إلى الصفات الأخرى؛ فقد تظهر صفات غير مرغوبة ومُستَحْيَة.

أخضر، ومُجَعَّد البذور، أصفر، وأملس البذور



الطرز الشكلي لكل من الأبوين.

الطرز الجيني لكل من الأبوين.

الطرز الجينية لجاميتات كل من الأبوين.

الطرز الجيني لأفراد الجيل الأول (F1).

الطرز الشكلي لأفراد الجيل الأول (F1).

الطرز الجيني لكل من أبوي الجيل الثاني.

الطرز الشكلي لكل من أبوي الجيل الثاني.

الطرز الجينية لجاميتات كل من أبوي الجيل الثاني.

تنظيم الطرز الجينية لأفراد الجيل الناتج من عمليات الإخصاب المُحتملة في مربع بانيت:

♀ \ ♂	1/4 YR	1/4 Yr	1/4 yR	1/4 yr
1/4 YR	YYRR (yellow, smooth)	YYRr (yellow, smooth)	YyRR (yellow, smooth)	YyRr (yellow, smooth)
1/4 Yr	YYRr (yellow, smooth)	YYrr (yellow, wrinkled)	YyRr (yellow, smooth)	Yyrr (yellow, wrinkled)
1/4 yR	YyRR (yellow, smooth)	YyRr (yellow, smooth)	yyRR (green, smooth)	yyRr (green, smooth)
1/4 yr	YyRr (yellow, smooth)	Yyrr (yellow, wrinkled)	yyRr (green, smooth)	yyrr (green, wrinkled)

احتمالات ظهور الصفات:

9/16: أصفر، وأملس.

3/16: أصفر، ومُجَعَّد.

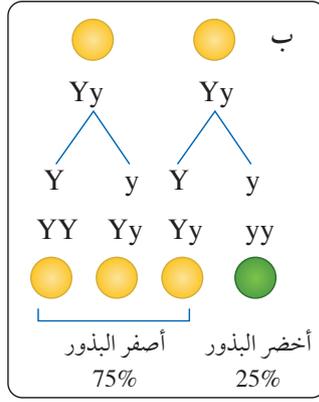
3/16: أخضر، وأملس.

1/16: أخضر، ومُجَعَّد.

الشكل (10): النسب المتوقعة عند دراسة كل صفة من الصفتين بصورة مستقلة عن الأخرى:

(أ): شكل البذور.

(ب): لون البذور.



أفكر: عمل باحث على تلقيح نباتي بازيلاء لتتبع وراثته صفتي طول الساق، ولون القرون. كان أليل طول الساق هو T، وأليل قصر الساق هو t، وأليل القرون الخضراء هو G، وأليل القرون الصفراء هو g. وقد استخدم الباحث مربع بانيت الآتي لتمثيل النتائج:

	tG	TG	♀
	1		♂
ttgg		Ttgg	

أ. أستنتج الطرز الجينية لكل من الأبوين.
ب. أجد احتمال ظهور أفراد لهم نفس الطراز الشكلي للفرد (1).

عند دراسة كل صفة على حدة من مربع بانيت في الشكل (9)، يتبين أن النسبة العددية بين البذور الصفراء والبذور الخضراء هي: 3 أصفر البذور: 1 أخضر البذور. وبذلك يكون احتمال ظهور لون البذرة الصفراء هو $\frac{3}{4}$ ، واحتمال ظهور لون البذرة الخضراء هو $\frac{1}{4}$ ، وعدد البذور الملساء بين أفراد الجيل الثاني هو 12 بذرة، وعدد البذور المجمعدة هو 4 بذور، وأن النسبة العددية بين البذور الملساء والبذور المجمعدة هي: 3 ملساء البذور: 1 مجمعدة البذور. ومن ثم، فإن احتمال ظهور البذور الملساء هو $\frac{3}{4}$ ، واحتمال ظهور البذور المجمعدة هو $\frac{1}{4}$ ؛ ما يعني أن النسب المتوقعة للصفة الواحدة لم تتأثر عند دراستها مع صفة أخرى، أنظر الشكل (10).

توصّل مندل من تجاربه إلى **قانون التوزيع الحر** Law of Independent Assortment الذي ينص على انفصال أليلي الصفة الواحدة أحدهما عن الآخر بصورة مستقلة عن انفصال أليلات الصفات الأخرى أثناء تكوين الجاميتات.

✓ **أتحقق:** أدون نصّ قانون التوزيع الحر.

مثال 2

عمل باحث على تلقيح نباتي بازيلاء، وكان الطراز الجيني لأحد هذين النباتين هو RrTt، والطراز الجيني للآخر هو RrTT. أجد احتمال إنتاج فرد طرازه الجيني هو RrTt.

المعطيات: الطرز الجينية لكل من الأبوين.

المطلوب: إيجاد احتمال إنتاج فرد طرازه الجيني هو RrTt.

الحل:

أجد الجاميتات واحتمالاتها لكل من النباتين:

النبات الأول: $\frac{1}{4} rT$ ، $\frac{1}{4} rT$ ، $\frac{1}{4} Rt$ ، $\frac{1}{4} RT$.

النبات الثاني: $\frac{1}{2} rT$ ، $\frac{1}{2} RT$.

أستنتج أن الطراز الجيني RrTt سينتج كما يأتي:

Rt من النبات الأول × rT من النبات الثاني + RT من النبات الأول × rT من النبات الثاني.

أجد ناتج الضرب والإضافة على النحو الآتي:

$$\left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}\right) + \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}\right)$$

$$\frac{2}{8} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8}$$

للتحقّق من صحّة النتائج، فإنني أجدها باستخدام مربع بانيت:

$\frac{1}{4} rt$	$\frac{1}{4} rT$	$\frac{1}{4} Rt$	$\frac{1}{4} RT$	
$\frac{1}{8} RrTt$	$\frac{1}{8} RrTT$	$\frac{1}{8} RRTt$	$\frac{1}{8} RRTT$	$\frac{1}{2} RT$
$\frac{1}{8} rrTt$	$\frac{1}{8} rrTT$	$\frac{1}{8} RrTt$	$\frac{1}{8} RrTT$	$\frac{1}{2} rT$



أنظّم المعلومات التي تعرّفتها عن قانون انزال الصفات، وقانون التوزيع الحر، ثم أعد عرضاً تقديمياً عنها، مدعماً بالصور من شبكة الإنترنت، ثم عرضه أمام زملائي / زميلاتي في الصف.

مثال 3

الصفة	الأليل
لون البذور الصفراء	Y
لون البذور الخضراء	y
موقع الأزهار المحورية	A
موقع الأزهار الطرفية	a

في تجربة لباحثة شملت دراسة توارث صفتين في نبات البازيلاء، أجرت الباحثة تلقياً لنبات بازيلاء محوري الأزهار، وأصفر البذور، مع نبات آخر مجهول الطراز الشكلي، فكانت الطرز الشكلية واحتمالاتها للأفراد الناتجين كما يأتي:

$\frac{1}{4}$: نباتات محورية الأزهار، و صفراء البذور.

$\frac{1}{4}$: نباتات محورية الأزهار، وخضراء البذور.

$\frac{1}{4}$: نباتات طرفية الأزهار، و صفراء البذور.

$\frac{1}{4}$: نباتات طرفية الأزهار، وخضراء البذور.

- ما الطرز الجينية لكلّ من الأبوين للصفاتين معاً؟

- ما الطرز الجينية لجاميتات كلّ من الأبوين؟

المعطيات: الطرز الشكلية لأحد الأبوين، الطرز الشكلية واحتمالاتها في الجيل الناتج من التجربة.

المطلوب: الطرز الجينية لكلّ من الأبوين، الطرز الجينية لجاميتات كلّ من الأبوين.

الحل:

أجد احتمالات ظهور كل صفة على حدة. بعد ذلك أستنتج الطرز الجينية لكلّ من الأبوين للصفاتين معاً، ثم أطبق قانون التوزيع الحر لاستنتاج الطرز الجينية لجاميتات كلّ من الأبوين.

محوري الأزهار: طرفي الأزهار أصفر البذور: أخضر البذور

$$\frac{1}{4} + \frac{1}{4} : \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \quad \frac{1}{4} + \frac{1}{4} : \frac{1}{4} + \frac{1}{4}$$

$$(1) : (1) \quad (1) : (1) \quad \text{النسب الوراثية}$$

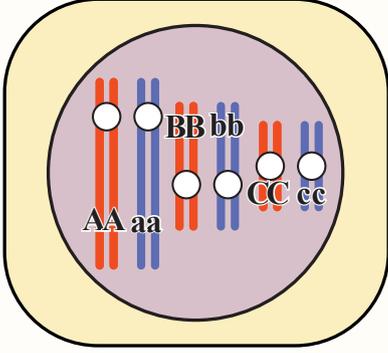
الطرز الجينية للأبوين لكل صفة على حدة:

$$Aa \times aa \quad Yy \times yy$$

النبات المجهول	أحد النباتين	
طرفي الأزهار، وأخضر البذور	محوري الأزهار، وأصفر البذور	الطرز الشكلية لكلّ من الأبوين للصفاتين معاً:
aayy	AaYy	الطرز الجينية لكلّ من الأبوين للصفاتين معاً:
ay	ay ، aY ، Ay ، AY	الطرز الجينية لجاميتات كلّ من الأبوين:

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: أوضِّح المقصود بكُلِّ من قانون انعزال الصفات، وقانون التوزيع الحر.



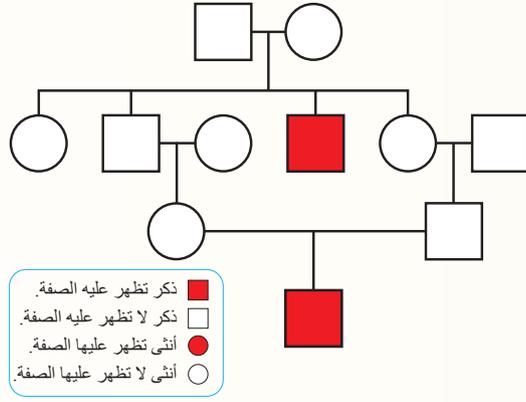
2. أستنتج عدد أنواع الجاميتات التي تحوي تراكيب جينية، يختلف بعضها عن بعض، وتنتج من انقسام مُنصّف للخلية التي يُمثلها الشكل المجاور.

3. يسود أليل لون العينين الأسود B على أليل لون العينين الأحمر b في نوع من الفئران. ما الطرز الجينية والشكلية للأفراد الناتجين من تزاوج فأر أسود العينين وغير مُتماثل الأليلات مع فأرة حمراء العينين؟

4. في نوع من النباتات، قد يكون لكل بتلة بقعة سوداء عند قاعدتها، أو قد تخلو البتلات من البقع السوداء. أُجريت ثلاث تجارب مُنفصلة، حدث في أولها تلقيح بين نباتين، كلاهما ذو بقعة سوداء عند قاعدة البتلات، وكانت بتلات جميع النباتات الناتجة ذات بقعة سوداء. أمّا في التجربة الثانية فحدث تلقيح بين نباتين، أحدهما بتلاته ذات بقعة سوداء، والآخر بتلاته عديمة البقعة، وكانت بتلات جميع النباتات الناتجة ذات بقعة سوداء. وأمّا في التجربة الثالثة فحدث تلقيح بين نباتين، أحدهما بتلاته ذات بقعة سوداء، والآخر بتلاته عديمة البقعة، فكانت بتلات نصف النباتات الناتجة ذات بقعة سوداء، وبتلات نصفها الآخر عديمة البقعة. أفسّر هذه النتائج باستخدام الرمز (a) والرمز (A).

5. أستنتج الطرز الجينية والطرز الشكلية للأفراد الناتجين من تلقيح نبات بازلاء طرفي الأزهار، وأخضر القرون، وغير مُتماثل الأليلات لصفة لون القرون، مع نبات بازلاء محوري الأزهار، وأخضر القرون، ومُتماثل الأليلات للصفتين، بافتراض أن أليل الموقع المحوري للزهرة هو (A)، وأليل الموقع الطرفي هو (a)، وأليل القرون الخضراء هو (G)، وأليل القرون الصفراء هو (g).

6. يسود في أحد أنواع الحيوانات أليل لون الفراء الرمادي على أليل لون الفراء الأبيض، ويسود أليل الذيل الطويل فيه على أليل الذيل القصير. إذا تزاوج ذكر سائد، ومُتماثل الأليلات للصفتين، وأنثى مُتنحية للصفتين، فأتوقع الطرز الجينية والطرز الشكلية الناتجة من تزاوج ذكر من أفراد الجيل الأوّل مع أنثى مُتنحية الأليلات للصفتين باستخدام الرمز (G,g) لصفة لون الفراء، والرمز (T,t) لصفة طول الذيل.



7. يُعدُّ سجل النسب أداة مفيدة لتتبع الصفات الوراثية المختلفة على مرّ الأجيال. يُمثّل الشكل المجاور سجل النسب لتتبع صفة وراثية في الإنسان. هل الصفة المُظلّلة سائدة أم مُتنحّية؟ أبرّر إجابتك.

8. لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أحددها:

1. عدد أشكال الأليلات لصفة مندلية سائدة نقية هو:

أ. صفر. ب. 1 ج. 2 د. 3

2. أُجري تلقيح بين نباتي بازلياء، وظهرت الأفراد بالصفات الشكلية والأعداد الآتية: 42 أرجواني الأزهار أملس البذور، 20 بيضاء الأزهار مُجعدّة البذور، 19 نبات أرجواني الأزهار مُجعدّ البذور، وباستخدام الرمز (a) لصفة البذور المُجعدّة، والرمز (A) لصفة البذور الملساء، والرمز (R) لصفة الأزهار الأرجوانية، والرمز (r) لصفة الأزهار البيضاء، فإن الطراز الجيني للنباتين الأبوين (للصفتين معاً) هو:

أ. aaRr/AaRr ب. AaRR/AaRr ج. AaRr/AaRr د. Aarr/AaRr

3. الطراز الجيني الصحيح لأحد الجاميتات التي ينتجها نبات طرازه الجيني AaBB هو:

أ. Aa ب. BB ج. AB د. Ab

4. إحدى الخصائص الآتية لنبات البازلياء ساعدت العالم مندل على استنتاج قانون انعزال الصفات:

أ. وجود ثلاثة أشكال للصفة الوراثية الواحدة. ب. وجود شكلين مختلفين للصفة الوراثية الواحدة.
 ج. وجود شكل واحد للصفة الوراثية الواحدة. د. وجود أربعة أشكال للصفة الوراثية الواحدة.

5. الطراز الجيني الذي تؤدي فيه عملية العبور إلى إنتاج طرز جينية جديدة:

أ. GGWW ب. GgWw ج. GGWw د. ggww

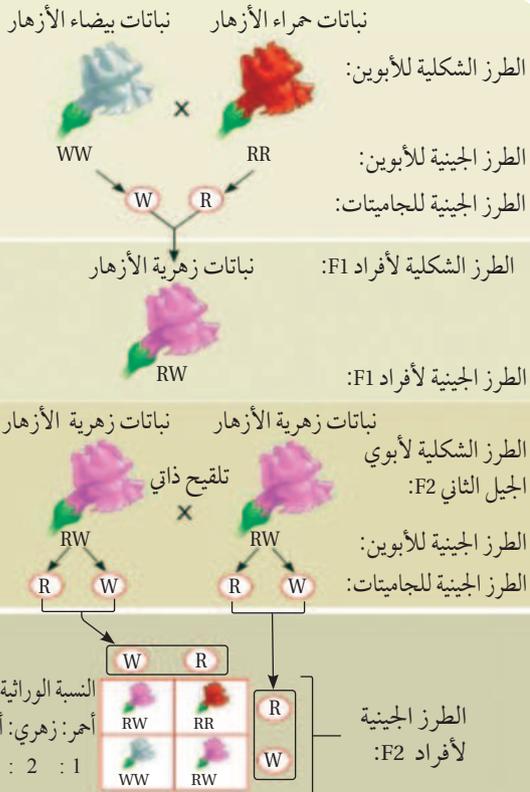
وراثة الصفات غير المندلية Non-Mendelian Traits Inheritance

تختلف نسب الصفات الوراثية الناتجة من بعض عمليات التزاوج عن تلك التي توصل إليها مندل، ومن أسباب ذلك: عدد الجينات المسؤولة عن الصفة، وتأثير الأليلات بعضها في بعض، ونوع الكروموسومات التي تحمل جينات صفة مُعيَّنة.

السيادة غير التامة Incomplete Dominance

تعلمت سابقاً أن السيادة غير التامة من أنماط الوراثة التي يظهر فيه أثر أليلي الصفة في الطراز الجيني غير متماثل الأليلات على الطراز الشكلي، فيظهر بصفةٍ وسطية. وهذا يعني أنه في حالة السيادة غير التامة ستظهر صفات جديدة تختلف عن صفات الأبوين؛ نتيجة عدم سيادة أليل على آخر بين الأليلين المكوِّنين للصفة الوراثية. وتظهر السيادة غير التامة في العديد من الكائنات الحية، ففي النباتات مثلاً تظهر هذه السيادة في لون أزهار نبات فم السمكة *Antirrhinum majus*، وتظهر السيادة غير التامة في العديد من الحيوانات كما في لون الريش للدجاج الأندلسي.

عند تلقيح نبات فم السمكة أحمر الأزهار متماثل الأليلات (RR) مع نبات آخر أبيض الأزهار متماثل الأليلات أيضاً (WW)، نتجت أفراد الجيل الأول (F1)



جميعها باللون الزهري (RW)، وعند تلقيح أفراد F1 ذاتياً نتجت أفراد الجيل الثاني (F2) التي تحمل الطرز الشكلية الآتية: نباتات حمراء الأزهار، ونباتات زهرية الأزهار، ونباتات بيضاء الأزهار، وبنسبة (1:2:1) على الترتيب، أنظر الشكل (11).

الشكل (11): توارث صفة لون الأزهار في نبات فم السمكة.

الفكرة الرئيسة:

تتوارث بعض الصفات الوراثية بأنماط تختلف عن تلك التي في الوراثة المندلية.

نتائج التعلم:

- أوضح بعض أنماط التوارث لصفات غير مندلية.
- أحل مسائل تطبيقية على بعض أنماط توارث الصفات غير المندلية.
- أقارن بين نتائج توارث صفات، جيناتها مرتبطة بأخرى غير مرتبطة.
- أتوصل إلى طريقة رسم الخريطة الجينية.
- أبين أثر البيئة في ظهور الصفات الوراثية.

المفاهيم والمصطلحات:

- Multiple Alleles الأليلات المتعددة
- الوراثة متعددة الجينات
- Polygenic Inheritance الصفات المرتبطة بالجنس
- Sex-Linked Traits
- الصفة المتأثرة بالجنس
- Sex-influenced Traits
- Linked Genes الجينات المرتبطة
- Genes Map خريطة الجينات
- درجة الحرارة المحورية
- Pivotal Temperature (T_p)
- Epigenetics الوراثة فوق الجينية

✓ **أنتحق:** أوضح ماذا ينتج إذا لقحت نباتاً زهري الأزهار مع نبات أبيض الأزهار.

	C^R	C^W
C^R	$C^R C^R$ 	$C^R C^W$ 
C^W	$C^R C^W$ 	$C^W C^W$ 

السيادة المُشتركة Codominance

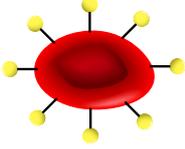
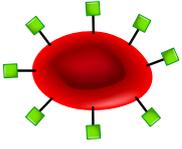
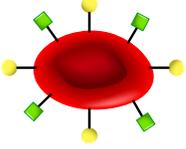
نمط من الوراثة يُعبّر فيه عن الأليلين معاً في حال كان الطراز الجيني غير مُتماثل الأليلات؛ إذ يظهر تأثير كلٍّ منهما في الطراز الشكلي على نحوٍ مستقل عن الآخر. من الأمثلة على هذا النمط: وراثه لون الأزهار في نبات الكاميليا؛ إذ يظهر تأثير أليل لون الأزهار الأبيض (C^W) وأليل لون الأزهار الأحمر (C^R) عند اجتماعهما معاً، فتكون الزهرة الواحدة بيضاء، ومُوشَّحة باللون الأحمر. وعند تلقيح نباتي كاميليا، كلاهما أزهاره بيضاء، ومُوشَّحة باللون الأحمر، فإنَّ الصفات والنسب لأفراد الجيل الناتج تكون على النحو الآتي:

1 نباتات حمراء الأزهار: 2 نباتات الزهرة فيها بيضاء، ومُوشَّحة بالأحمر: 1 نباتات بيضاء الأزهار، أنظر مربع بانيت أعلاه.

من الأمثلة أيضاً على هذا النمط: وراثه فصيلة الدم تبعاً لنظام MN. يتحكّم في هذه الصفة أليلان يُحمّلان على الزوج الكروموسومي رقم 4، وهما: الأليل (L^M)، والأليل (L^N)، ويكون الأليل (L^M) مسؤولاً عن إنتاج بروتين سُكّري يُسمّى مُولّد الضد M، في حين يكون الأليل (L^N) مسؤولاً عن إنتاج بروتين سُكّري يُسمّى مُولّد الضد N. تُحدّد فصيلة الدم وفق هذا النظام اعتماداً على نوع مُولّد الضد الموجود على سطح خلايا الدم الحمراء؛ فإذا كان مُولّد الضد هو M فقط، فإنَّ فصيلة الدم هي M، وإذا كان مُولّد الضد هو N فقط، فإنَّ فصيلة الدم هي N، وإذا وُجد الاثنان معاً، فإنَّ فصيلة الدم هي MN.

لتتبع توارث صفة فصيلة الدم في عائلةٍ، فصيلة الدم لكلا الزوجين فيها هي MN وفقاً لنظام MN، أنظر مربع بانيت المجاور. سادرس لاحقاً مثلاً آخر على وراثه السيادة المُشتركة، هو فصيلة الدم AB.

L^N	L^M	♀ / ♂
$L^M L^N \frac{1}{4}$ فصيلة الدم MN	$L^M L^M \frac{1}{4}$ فصيلة الدم M	L^M
$L^N L^N \frac{1}{4}$ فصيلة الدم N	$L^M L^N \frac{1}{4}$ فصيلة الدم MN	L^N

O	A	B	AB	فصيلة الدم (الطراز الشكلي)
				خلايا الدم الحمراء
ii	$I^A I^A$ أو $I^A i$	$I^B I^B$ أو $I^B i$	$I^A I^B$	الطراز الجيني

الشكل (12): الطرز الجينية لفصائل الدم بحسب نظام ABO. أدون فصيلة الدم التي يكون طرازها الجيني مُتماثل الأليلات دائماً.

الربط بعلم الدم

Hematology

توجد أنظمة عدّة لتحديد فصائل الدم، مثل: نظام لويس، ونظام MN. والنظامان الشائعان من هذه الأنظمة هما: نظام ABO، والعامل الريزيبي Rh. وكلا النظامين مهمّ في عمليات نقل الدم.

في بعض الأنظمة، ومنها نظام ABO، توجد مُولّدات الضد التي تُحدّد فصيلة الدم على سطوح خلايا الدم الحمراء.

الأليلات المتعدّدة Multiple Alleles

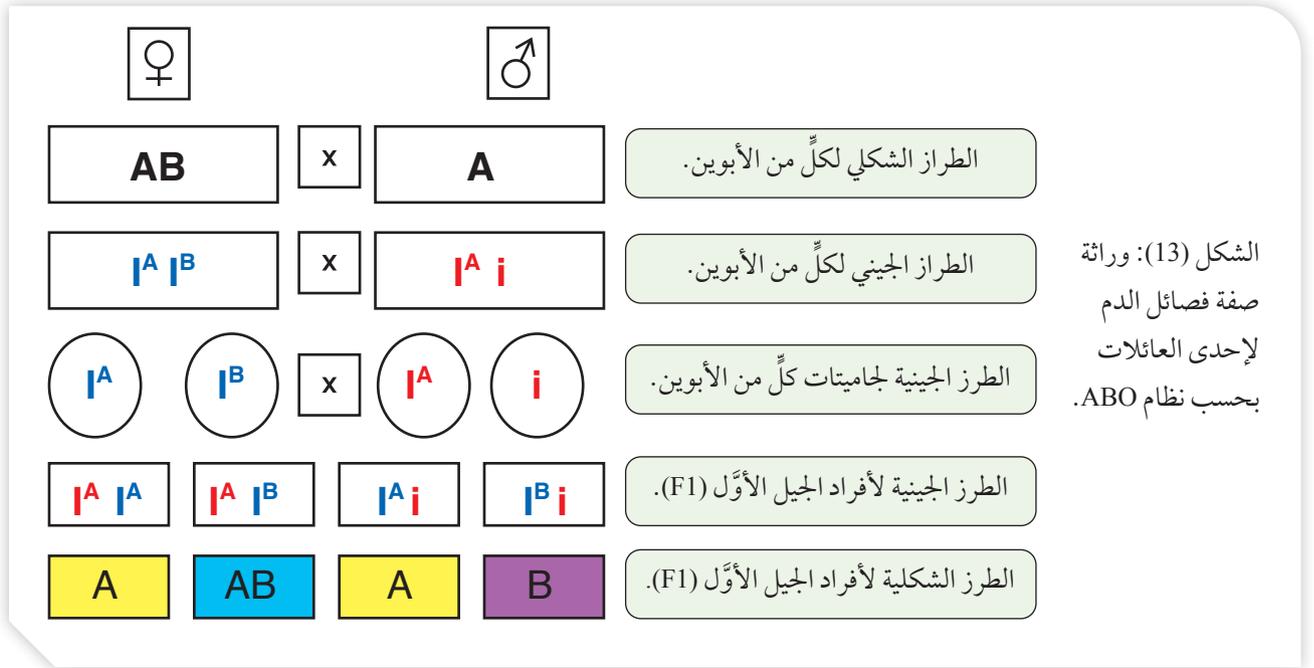
درست سابقاً أنّ فصائل الدم تتحدّد وفق أكثر أنظمة تحديد فصائل الدم استخداماً في المجال الطبي، وهو نظام ABO، بناءً على وجود أحد مُولّدي الضد A أو B، أو وجود كليهما، أو عدم وجودهما.

وفقاً لنظام ABO، تُعدّ وراثة فصائل الدم مثالاً على نمط وراثة الأليلات المتعدّدة Multiple Alleles. والأليلات المتعدّدة هي وجود أكثر من أليلين للجين الواحد.

يُرمز إلى الأليلات المسؤولة عن وراثة فصائل الدم وفق هذا النظام كما يأتي: I^A ، I^B ، i . ويكون الأليل I^A مسؤولاً عن إنتاج مُولّد الضد A، ويكون الأليل I^B مسؤولاً عن إنتاج مُولّد الضد B. أمّا الأليل i فغير مسؤول عن إنتاج أيّ منهما. تحتوي خلية الفرد الجسمية على أليلين فقط من هذه الأليلات، أحدهما من الأمّ، والآخر من الأب.

لتعرّف الطرز الجينية والطرز الشكلية لفصائل الدم وفق نظام ABO، أنظر الشكل (12).

✓ **أتحقّق:** أوّضح المقصود بالجين مُتعدّد الأليلات.



الشكل (13): وراثة
صفة فصائل الدم
لإحدى العائلات
بحسب نظام ABO.

لتتبع وراثة صفة فصائل الدم لإحدى العائلات، أنظر الشكل (13).
ألاحظ أن عدد الأليلات لصفة فصيلة الدم في كل جاميت هو أليل واحد، وأن الأليل I يسود على الأليل i سيادة تامة، في حين أن السيادة بين الأليل I^A والأليل I^B هي سيادة مشتركة.

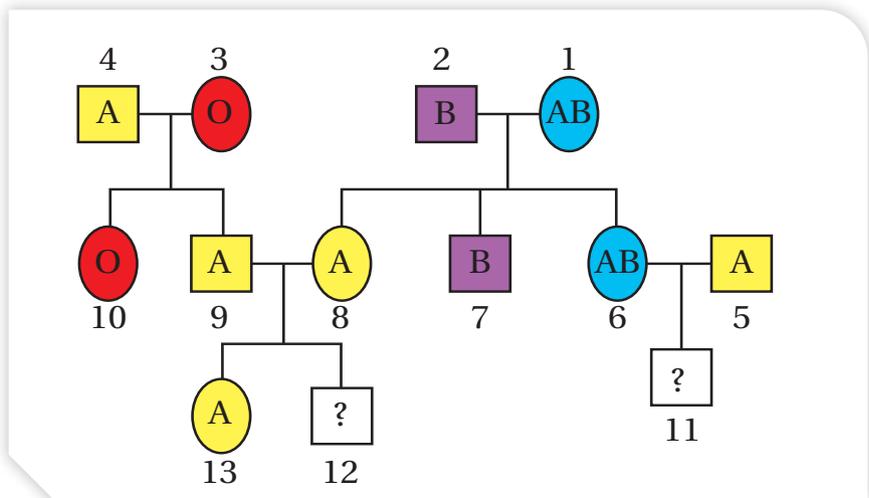
ألاحظ من الشكل أعلاه أن نسب فصائل الدم لأفراد الجيل الأول هي:

A : 50%

B : 25%

AB : 25%

يمكن أيضاً التعبير عن وراثة فصائل الدم وفق نظام ABO باستخدام سجل النسب، أنظر الشكل (14).



الشكل (14): سجل النسب لتوارث
صفة فصائل الدم.
أستنتج الطراز الجيني للفرد الذي
يحمل الرقم (2)، والطرز الجيني للفرد
الذي يحمل الرقم (4).
أفسّر سبب ظهور فصيلة الدم O
لدى الفرد الذي يحمل الرقم (10).
أتوقع الطرز الشكلية المحتملة للفرد
الذي يحمل الرقم (11)، والطرز الشكلية
المُحتملة للفرد الذي يحمل الرقم (12).



الإسلام والجينات المتعددة
بتعيّن على الإنسان التفكّر في الآيات
الدالة على قدرة الله تعالى، مثل اختلاف
الأفراد بعضهم عن بعض في لون الجلد،
وهي صفة وراثية متعددة الجينات.

قال تعالى: ﴿وَمِنْ آيَاتِهِ خَلْقَ السَّمَكَاتِ
وَالْأَرْضِ وَخَتْلَفَ السَّمَكَاتِ وَالْوَلَدِ إِنَّ فِي
ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّلْعَالَمِينَ﴾ (سورة الروم،
الآية 22).

مثال 4

تزوَّج شاب فصيلة دمه A بفتاة فصيلة دمها B، فأنجبا طفلين، فصيلة دم
أحدهما B، وفصيلة دم الآخر A. أستنتج الطرز الجينية للشاب والفتاة.
المعطيات: فصيلة دم الشاب A، فصيلة دم الفتاة B، فصيلة دم أحد الطفلين
A، فصيلة دم الطفل الآخر B.
المطلوب: استنتاج الطرز الجينية للشاب والفتاة.

الحل:

- فصيلة دم الشاب هي A، والطرز الجيني لفصيلة الدم A هو $I^A I^A$ ، أو $I^A i$.
ولأنّ فصيلة دم أحد طفليه هي B؛ فأستنتج أنّ الطراز الجيني للشاب هو غير
مُتماثل الأليلات ($I^A i$).
- فصيلة دم الفتاة هي B، والطرز الجيني لفصيلة الدم B هو $I^B I^B$ ، أو $I^B i$.
ولأنّ فصيلة دم أحد طفليها هي A؛ فأستنتج أنّ الطراز الجيني للفتاة هو غير
مُتماثل الأليلات ($I^B i$).

الوراثة مُتعددة الجينات Polygenic Inheritance

الوراثة مُتعددة الجينات Polygenic Inheritance نمط من الوراثة غير المندلية،
وفيه يتحكّم أكثر من جينين في الصفة الوراثية، وتكون الطرز الشكلية لهذه الصفة
مُتدرّجة بين الأفراد؛ بسبب تراكم تأثير الجينات التي تتحكّم فيها، ومن أمثلة هذا
النمط: وراثة لون الجلد في الإنسان ولون بذور نبات القمح، أنظر الشكل (15).

الشكل (15): تدرُّج لون الجلد في جسم الإنسان.



✓ **أتحقق:**

- أكتب طرازًا جينيًا تأثيره نفس تأثير الطراز الجيني AaBBCC.
- ما الطراز الجيني لأعمق لون للبشرة قد يظهر على جلد أبناء عائلة، يكون فيها للأب والأم الطراز الجيني AAbbCc نفسه؟

لتوضيح توارث صفة لون الجلد، أفترض أن ثلاثة جينات هي التي تتحكّم في هذه الصفة، بالرغم من أن عدد الجينات لهذه الصفة هو أكثر من ذلك، وأنّ الرموز: A,B,C، تُمثّل أليلات اللون الغامق، وأنّ الرموز: a,b,c، تُمثّل أليلات اللون الفاتح. وبحسب هذا الافتراض، فإنّ الطراز الجيني للون الجلد الغامق جدًّا هو AABBCC، والطراز الجيني للون الجلد الفاتح جدًّا هو aabbcc. أمّا اللون المتوسط للجلد فطرزه الجيني هو AaBbCc، و AABbcc، والطرز الجينية الأخرى التي تساويها في عدد الأليلات السائدة؛ لأنّ تأثير الأليلات السائدة متساوٍ، وبصورة مُتراكمة؛ إذ ينتج الطراز الشكلي للون الجلد من تراكم تأثير الأليلات السائدة؛ فكلّما كان عدد الأليلات السائدة أكثر كانت درجة اللون أعمق.

للتبّع وراثته صفة لون الجلد، وتعرّف الطرز الجينية المُتوقّعة، وتدرّج الطرز الشكلية الناتجة من تزاوج فردين، كلاهما مُتوسّط لون البشرة (AaBbCc)، أنظر الشكل (16) الذي تُمثّل فيه الدائرة البيضاء أليلاً مُتنحياً، وتُمثّل فيه الدائرة السوداء أليلاً سائداً، وألاحظ التدرّجات السبعة للون البشرة في الأفراد الناتجين.

		♂ AaBbCc							
		ABC	aBC	AbC	ABc	abC	Abc	aBc	abc
♀ AaBbCc	ABC	AABBCC	AaBBCC	AABbCC	AABBCC	AaBbCC	AABbCc	AaBBCC	AaBbCc
	aBC	AaBBCC	aaBBCC	AaBbCC	AaBBCC	aaBbCC	AaBbCc	aaBBCC	aaBbCc
	AbC	AABbCC	AaBbCC	AAbbCC	AABbCc	AabbCC	AAbbCc	AaBbCc	AabbCc
	ABc	AABBCC	AaBBCC	AABbCc	AABBcc	AaBbCc	AABbcc	AaBBcc	AaBbcc
	abC	AaBbCC	aaBbCC	AabbCC	AaBbCc	aaabbCC	AabbCc	aaBbCc	aaabbCc
	Abc	AABbCc	AaBbCc	AAbbCc	AABbcc	AabbCc	AABbcc	AaBbcc	Aabbcc
	aBc	AaBBCC	aaBBCC	AaBbCc	AaBBcc	aaBbCc	AaBbcc	aaBBcc	aaBbcc
	abc	AaBbCc	aaBbCc	AabbCc	AaBbcc	aaabbCc	Aabbcc	aaBbcc	aabbcc

الشكل (16): تسوارث صفة لون الجلد إذا كان كلا الأبوين غير مُتماثل الأليلات للجينات الثلاثة المسؤولة عنها في جسم الإنسان. أستنتج احتمال إنجاب فرد طرازه الجيني AaBBCC.

الطرز الشكلية واحتماله.
عدد الأليلات السائدة.

1/64	6/64	15/64	20/64	15/64	6/64	1/64
0	1	2	3	4	5	6

الوراثة والجنس Inheritance and Sex

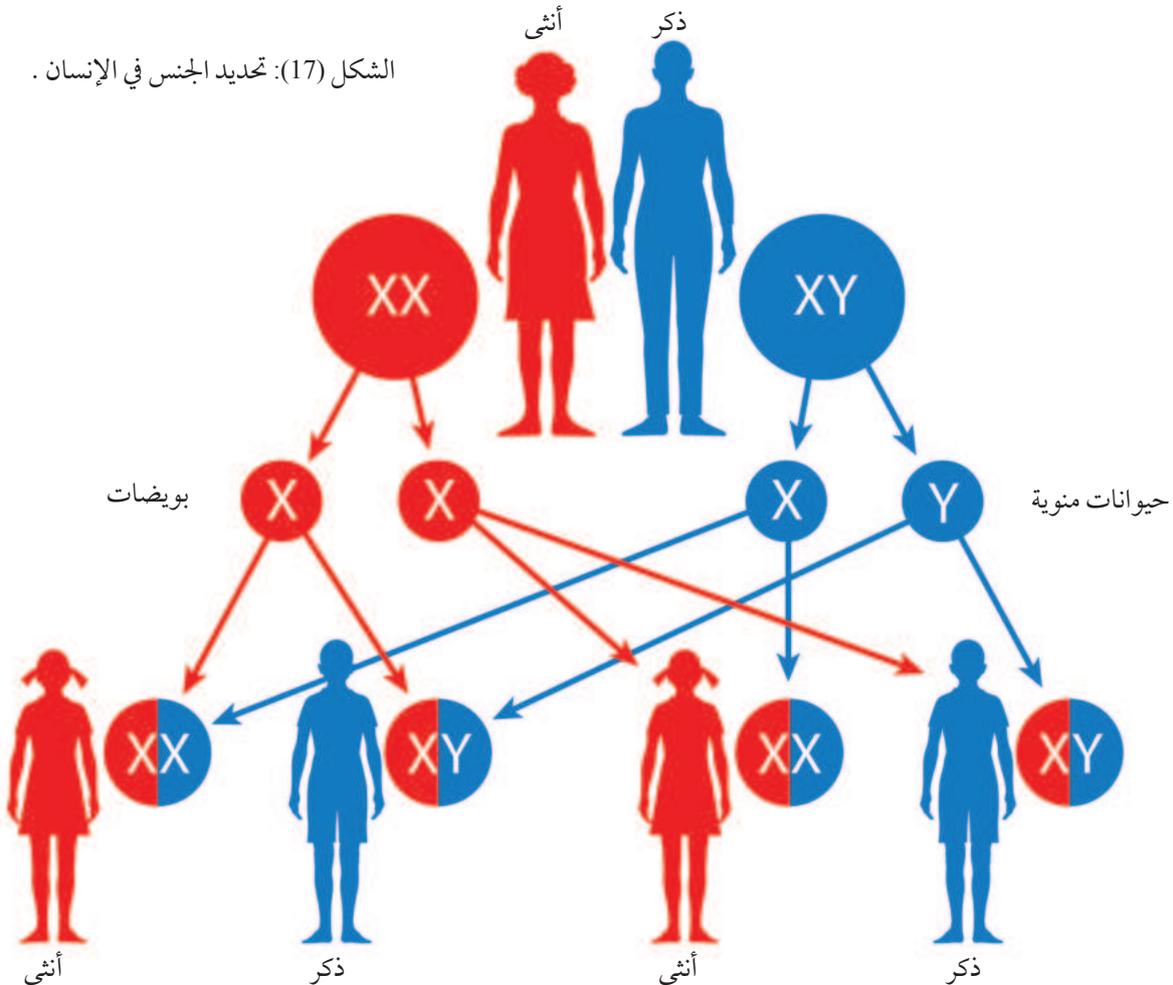
تحديد الجنس Sex Determination

يتحدّد الجنس في الإنسان وفق نظام X,Y؛ نظرًا إلى وجود نوعين من الكروموسومات الجنسية في الإنسان: الكروموسوم X، والكروموسوم Y. فإذا وُرث الفرد الكروموسومين الجنسيين X وX، كان جنس المولود أنثى، طرازها الكروموسومي الجنسي هو XX، وإذا وُرث الفرد الكروموسوم الجنسي X من أمّه، والكروموسوم الجنسي Y من أبيه، كان جنس المولود ذكرًا، طرازه الكروموسومي الجنسي هو XY، وأنظر الشكل (17)، وهذا يختلف عن تحديد الجنس في كائنات حيّة أخرى غير الإنسان. ففي الطيور مثلاً، يكون الطراز الكروموسومي الجنسي مُتماثلًا عند الذكر، وغير مُتماثل عند الأنثى.

✓ **أتحقّق:** أدون الطراز الكروموسومي الجنسي لذكر الإنسان.

لبعض الجينات دور في تحديد جنس الجنين في الإنسان، مثل جين Sex Determining Region Y Gene (SRY) الذي يُحمّل على الكروموسوم الجنسي Y؛ إذ إنّهُ يُؤثّر في تمايز الخصية أثناء تطوّر الجنين.

الشكل (17): تحديد الجنس في الإنسان .



الصفات المُرتبطة بالجنس Sex Linked Traits

الصفات المُرتبطة بالجنس Sex Linked Traits صفات تُحمَل جيناتها على الكروموسومات الجنسية. فمثلاً: الجينات المحمولة على الكروموسوم الجنسي X هي جينات مُرتبطة بالكروموسوم الجنسي (X) X-linked genes، والجينات المحمولة على الكروموسوم الجنسي Y هي جينات مُرتبطة بالكروموسوم الجنسي (Y) Y-linked genes.

يُذكر أنّ عدد الجينات المحمولة على الكروموسوم الجنسي X يزيد على عدد الجينات المحمولة على الكروموسوم الجنسي Y في الإنسان.

درس العالم توماس مورغان توارث صفة لون العينين في حشرة ذبابة الفاكهة *Drosophila melanogaster*، أنظر الشكل (18). وقد زاوج مورغان بين ذكر ذبابة

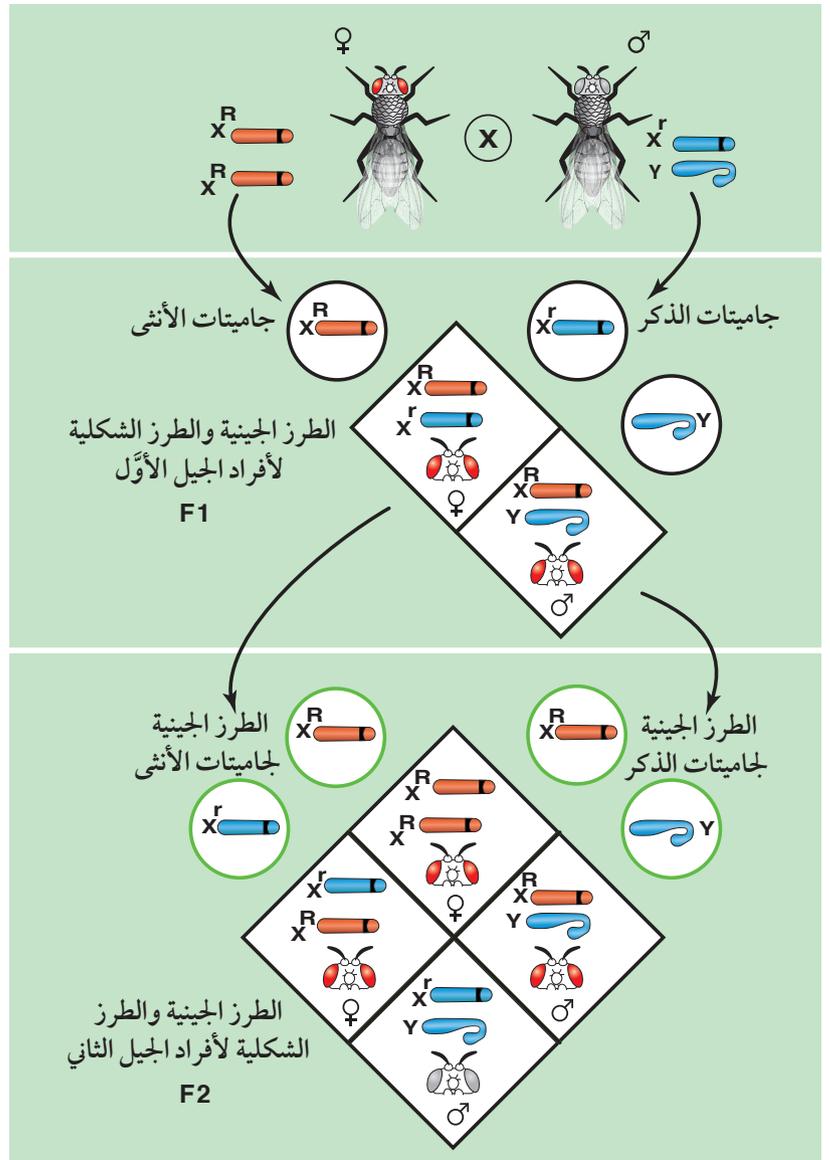
فاكهة أبيض العينين وأنثى حمراء العينين، فكان كل فرد ناتج أحمر العينين. استنتج مورغان من ذلك أنّ صفة اللون الأبيض للعينين مُنحّية، ثم عمل على تلقيح ذكر وأنثى من أفراد الجيل الأوّل، فظهرت صفة اللون الأبيض للعينين بنسبة 25%، وصفة اللون الأحمر للعينين بنسبة 75%، لكنّه لاحظ أنّ أعين جميع الإناث حمراء، وأنّ أعين نصف الذكور بيضاء، وأنّ أعين نصفهم الآخر حمراء، فاستنتج أنّ صفة لون العينين في ذبابة الفاكهة مُرتبطة بالجنس، وأنها تُحمَل على الكروموسوم الجنسي X، وأنّه لا يوجد أليل لهذه الصفة على الكروموسوم Y، أنظر الشكل (19).

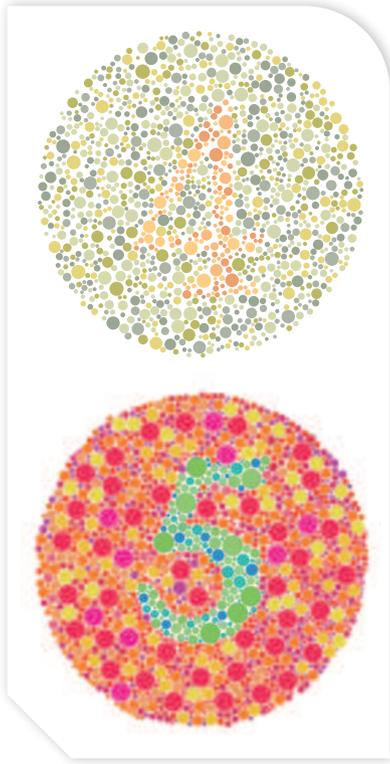
الشكل (19): توارث صفة لون العينين في حشرة ذبابة الفاكهة.

أفكر: أتوقع: أيّ الجنسين في الطيور تحتوي خلاياه الجسمية على عدد أكثر من الجينات؟ أبرّر إجابتي.



الشكل (18): العيون الحمراء والعيون البيضاء في ذبابة الفاكهة.





الشكل (20): شريحتان تُستخدمان في اختبار الكشف عن مرض عمى الألوان، علمًا بأنَّ الإنسان غير المصاب بعمى الألوان يُميِّز الأرقام الظاهرة في الشريحتين.

أفكر: أفسّر: يخضع الشخص لفحص عمى الألوان عند تقدُّمه بطلب للحصول على رخصة قيادة السيارة.

✓ **أتحقَّق:** ما المقصود بالصفة المرتبطة بالجنس؟

من الأمثلة على الصفات المتنحية المرتبطة بالكروموسوم الجنسي X عند الإنسان: الإصابة بمرض الضمور الشديد للعضلات (دوشين) Duchenne Muscular Dystrophy الناتج من غياب بروتين يُسمَّى ديستروفين Dystrophin، والإصابة بمرض نزف الدم Haemophilia الذي يستمر فيه نزيف الجروح لدى الشخص المصاب مدَّة أطول من المعدَّل الطبيعي؛ نتيجةً لحدوث خللٍ في عملية تحثُّر الدم، والإصابة بمرض عمى الألوان Color Blindness (عدم التمييز بين اللون الأحمر واللون الأخضر).

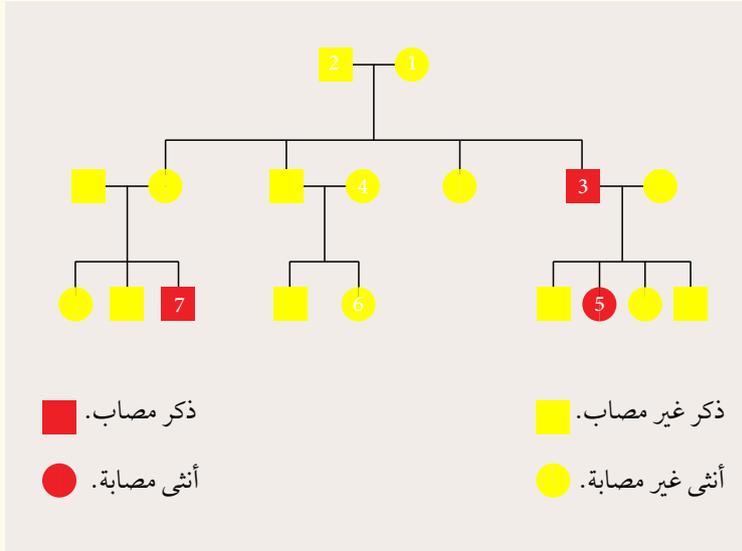
يوجد فحص خاص للكشف عن الإصابة بمرض عمى الألوان، أنظر الشكل (20) الذي يُمثِّل بعض الشرائح المُستخدمة في اختبار الكشف عن مرض عمى الألوان.

يُورث الأب الجينات المرتبطة بالجنس والمحمولة على الكروموسوم الجنسي X بناته من دون أبنائه؛ إذ يُورث أبنائه الذكور الكروموسوم الجنسي Y، في حين تُورث الأمُّ الجينات المرتبطة بالجنس الإناث والذكور من أبنائها؛ لأنَّها تُورثهم جميعًا الكروموسوم الجنسي X. وفي حال كانت الصفة المرتبطة بالكروموسوم الجنسي X مُتنحية، فإنَّ أليلاً واحداً لدى الذكر يكفي لظهور الصفة، في حين يلزم توافر أليلين مُتنحيين عند الأنثى لظهورها، وهذا يُفسِّر سبب ظهور الإصابة في الذكور أكثر منها في الإناث.

من الأمثلة الأخرى على الأمراض التي تُحمل أليالاتها على الكروموسومات الجنسية: مرض نزف الدم؛ إذ يسود أليل عدم الإصابة بمرض نزف الدم H على أليل الإصابة h. ولتعرَّف الطرز الجينية والطرز الشكلية لهذه الصفة، أنظر الجدول (3).

الجدول (3): الطرز الجينية والطرز الشكلية لصفة الإصابة بنزف الدم (مرض مُتنحٍ مرتبط بالجنس).					
X ^H Y	X ^h Y	X ^H X ^H	X ^H X ^h	X ^h X ^h	الطرز الجيني
ذكر غير مصاب.	ذكر مصاب.	أنثى غير مصابة، وهي مُتماثلة الأليلات.	أنثى غير مصابة، لكنَّها تحمل أليل المرض (لا تظهر عليها الأعراض).	أنثى مصابة.	الطرز الشكلي

مثال 5



يسود أليل عدم الإصابة بمرض نزف الدم H على أليل الإصابة به h. أعتمد الشكل المجاور الذي يُمثل سجل النسب، وأجيب عن الأسئلة الآتية:

أ - أستنتج الطراز الجينية للأفراد الذين يحملون الأرقام: (1)، و(2)، و(3).

ب- أستنتج الطراز الجيني للأنثى التي تحمل الرقم (6)، بافتراض أن الطراز الجيني للأنثى التي تحمل الرقم (4) هو $X^H X^h$.

ج- أفسر سبب إصابة الأنثى التي تحمل الرقم (5) والذكر الذي يحمل الرقم (7) بمرض نزف الدم.

المعطيات: صفة الإصابة بمرض نزف الدم مرتبطة بالجنس، سجل النسب.

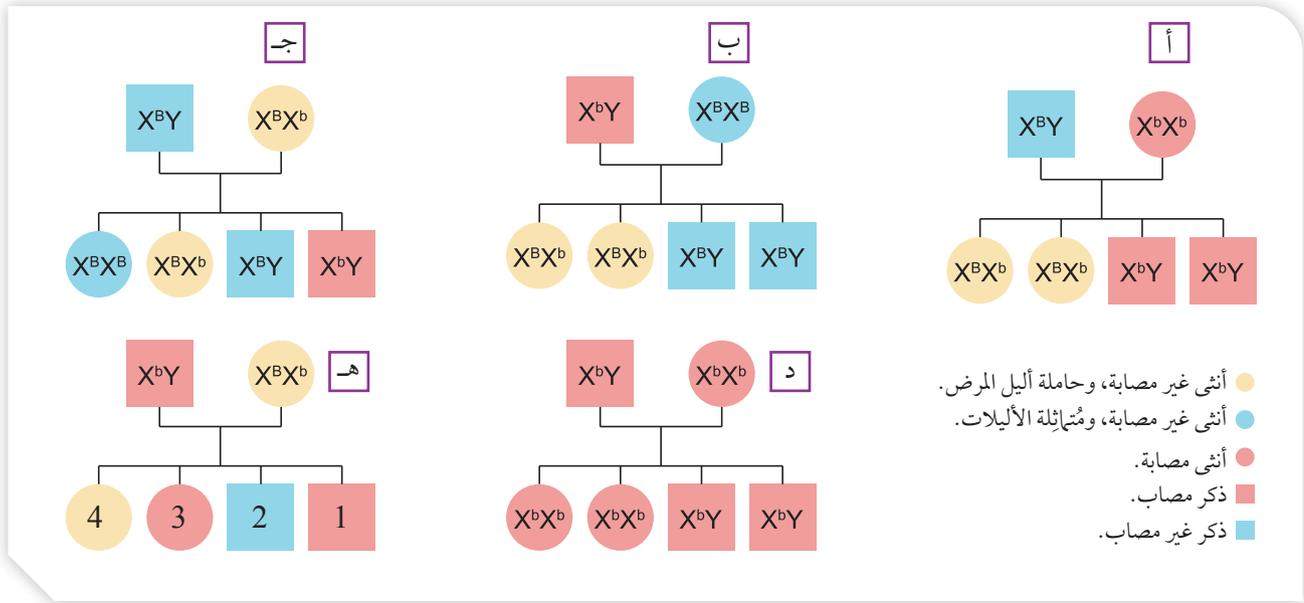
الحل:

أ . الأنثى التي تحمل الرقم (1) غير مصابة، وطرازها الجيني قد يكون $X^H X^H$ ، أو $X^H X^h$ ، والذكر الذي يحمل الرقم (3) ابن الأنثى التي تحمل الرقم (1)، وهو مصاب، وطرازه الجيني $X^h Y$ ، وقد وُثِرَت الكروموسوم Y من أبيه، والكروموسوم X^h من أمه. إذن، أستنتج أن الطراز الجيني للأنثى التي تحمل الرقم (1) هو $X^H X^h$ ، وأن الطراز الجيني للذكر الذي يحمل الرقم (2) هو $X^H Y$ ؛ لأنه غير مصاب، في حين أن الطراز الجيني للذكر الذي يحمل الرقم (3) هو $X^h Y$ ؛ لأنه مصاب.

ب . الأنثى التي تحمل الرقم (6) غير مصابة، وطرازها الجيني قد يكون $X^H X^H$ ، أو $X^H X^h$ ، وهي وُثِرَت الكروموسوم X^H من أبيها؛ لأنه غير مصاب، ولأن طرازه الجيني هو $X^H Y$ ، وقد تَورَثت من أمها التي تحمل الرقم (4) الكروموسوم X^H ، أو الكروموسوم X^h . إذن، أستنتج وجود احتمالين للطراز الجيني للأنثى التي تحمل الرقم (6)، هما: $X^H X^H$ ، أو $X^H X^h$.

ج . الأنثى التي تحمل الرقم (5) مصابة؛ لأنها وُثِرَت الكروموسوم X^h من أبيها الذي طرازه الجيني هو $X^h Y$ ، وورثت من أمها الكروموسوم X^h ؛ ما يعني أن أمها غير مصابة، وأنها تحمل أليل المرض. أما الذكر الذي يحمل الرقم (7) فمصاب، وطرازه الجيني هو $X^h Y$ ، وقد وُثِرَت الكروموسوم Y من أبيه، وورث الكروموسوم X^h من أمه؛ ما يعني أن أمه غير مصابة، وأنها تحمل أليل المرض الذي وُثِرَتته من أمها التي تحمل الرقم (1).

للتبُّع توارث صفة عمى الألوان في عائلات مختلفة، أنظر سجل النسب في الشكل (21).



الصفات المتأثرة بالجنس Sex-Influenced Traits

تسمى الصفة التي تُحمل أليلاتها على كروموسوم جنسي ما، ويتأثر تعبيرها بالهرمونات الجنسية **بالصفة المتأثرة بالجنس (Sex-Influenced Trait)**. تُعدُّ صفة الصلع المبكر (baldness) لدى الإنسان من الصفات المتأثرة بالجنس، حيث يتحكم فيها أليل يُحمل على الكروموسومات الجسمية، ولكن مستوى الهرمونات الجنسية الذكورية يؤدي إلى اختلاف في ترجمة بعض الطرز الجينية بين الذكور والإناث، أنظر الجدول (4).

يكون نمو الشعر طبيعياً عند كلٍّ من الذكر والأنثى في حال وجود طراز جيني متماثل الأليلات (HH) أما إذا كان الطراز الجيني (ZZ) فيبدأ تساقط الشعر عند كل منهما، ويصبح الذكر أصلع بعد سن البلوغ. وأما الطراز الجيني (HZ) فتختلف ترجمته إلى طراز شكلي باختلاف جنس الفرد، حيث تظهر صفة الصلع عند الذكر فقط، ولا تكون الأنثى صلعاء بسبب اختلاف مستوى الهرمونات الجنسية الذكورية لكل منهما، وهو ما يؤثر في ترجمة الطرز الجينية، ونظراً إلى هذا الاختلاف؛ فإنه يكفي وجود أليل صفة صلع واحد (Z) لظهور هذه الصفة عند الذكر، في حين يُشترط وجود أليلين (ZZ) لهذه الصفة حتى تظهر عند الأنثى.

الجدول (4) وراثة صفة الصلع عند الإنسان.

الطرز الجيني	الطرز الشكلي عند الذكور	الطرز الشكلي عند الإناث
ZZ	أصلع	صلعاء
HZ	أصلع	غير صلعاء
HH	غير أصلع	غير صلعاء

الشكل (21): توارث صفة عمى الألوان في خمس عائلات. أُفسِّر سبب إصابة الأبناء الذكور من العائلة (أ) بالمرض. أتوقع الطرز الجينية للأفراد الذين يحملون الأرقام (1-4) من العائلة (هـ).

✓ **أتحقَّق:** أقرن بين ترجمة الطراز الجيني (HZ) إلى طراز شكلي عند كل من الذكور والإناث في الإنسان.

ومن الجدير بالذكر، أن هناك العديد من الصفات المتأثرة بالجنس في الحيوانات،
مثل: صفة وجود شعر الذقن، وصفة وجود القرون في بعض أنواع الأغنام.

مثال 6

تزوج شاب أصلع غير متمائل الأليالات بفتاة شعرها طبيعي غير متمائلة الأليالات:

أ. أستنتج الطرز الجينية للشاب والفتاة.

ب. أستنتج الطرز الجينية، والشكلية المتوقعة للأبناء.

المعطيات: صفة الصلع الوراثي متأثرة بالجنس، الشاب أصلع غير متمائل الأليالات (HZ) والفتاة طبيعية الشعر غير متمائلة الأليالات (HZ).

المطلوب: استنتاج الطرز الجينية لكل من الشاب والفتاة، واستنتاج الطرز الجينية والشكلية المتوقعة للأبناء.

		♀		♂		
		HZ	X	HZ		الطرز الجيني للأبوين
		H, Z	X	H, Z		الطرز الجينية للجامينات
		HH	, HZ	, HZ	, ZZ	الطرز الجينية للأبناء
			└──────────┘			الطرز الشكلية للأبناء
		أنثى بشعر	أنثى بشعر	أنثى صلعاء		
		وذكر بشعر	وذكر أصلع	وذكر أصلع		

الجينات المرتبطة Linked Genes

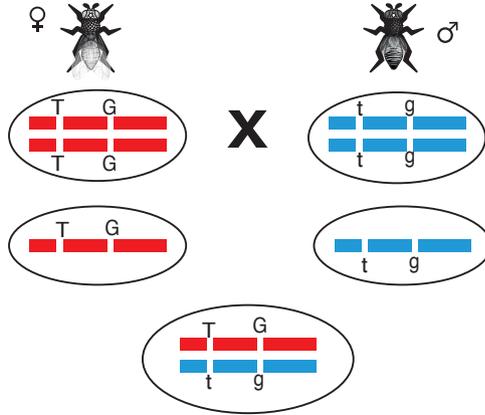
يحمل الكروموسوم الواحد جينات كثيرة؛ لأن عدد الكروموسومات في الخلية الواحدة أقل من عدد الجينات فيها. وتُتوارث الجينات القريبة من بعضها، والمحمولة على الكروموسوم نفسه، بوصفها وحدة واحدة، في ما يُعرف **بالجينات المرتبطة Linked Genes**، ومن أمثلتها: جينات صفتي لون الجسم وحجم الأجنحة في حشرة ذبابة الفاكهة. درس العالم توماس مورغان توارث صفتي لون الجسم وحجم الأجنحة في حشرة ذبابة الفاكهة، وتوصل إلى أن أليل لون الجسم الرمادي G يسود على أليل لون الجسم الأسود g، وأن أليل الأجنحة الطبيعية T يسود على أليل الأجنحة الضامرة t. أجرى مورغان تجربةً، زواج فيها بين ذكور ذبابة فاكهة، أجسامهم سوداء، وأجنحتهم ضامرة، وطرزهم الجيني هو ttgg، وإناث ذبابة فاكهة، أجسامها رمادية، وأجنحتها طبيعية، وهي متمائلة الأليالات للصفاتين، وطرزها الجيني هو TTGG. وقد لاحظ مورغان أن جميع أفراد الجيل الأول الناتج من عملية التزاوج يمتازون بأجسام رمادية، وأجنحة طبيعية، وأنهم غير متمائلي الأليالات للصفاتين، وطرزهم الجيني هو TtGg. بعد ذلك زواج بين إناث من أفراد الجيل الأول وذكور أجسامهم سوداء، وأجنحتهم ضامرة.

✓ **أتحقق:** ما المقصود بالجينات المرتبطة؟

لتعرّف الطرز الجينية والطرز الشكلية الناتجة من هذا التزاوج، أنظر الشكل (22).
ألاحظ أنّ نسب الطرز الشكلية لصفتي لون الجسم وحجم الأجنحة الناتجة تختلف
عن تلك المتوقعة في حال توارث هاتين الصفتين بحسب قانون التوزيع الحر.

الشكل (22): نتائج تجربة مورغان الخاصة بدراسة توارث صفتي حجم الجناح ولون الجسم في حشرة ذبابة الفاكهة.
أحدّد جاميتات أبوي الجيل الثاني الناتجة من عملية العبور.

ذكر أسود الجسم، وضامر الجناحين. أنثى رمادية الجسم، وطبيعية الجناحين.



الطرز الشكلي لكل من الأبوين.

الطرز الجيني لكل من الأبوين.

الطرز الجينية لجاميتات كل من الأبوين.

الطرز الجيني لأفراد الجيل الأوّل (F1):

الطرز الشكلي لأفراد الجيل الأوّل (F1):

الطرز الشكلي لكل من أبوي الجيل الثاني:

الطرز الجيني لكل من أبوي الجيل الثاني:

الطرز الجينية لجاميتات كل من أبوي

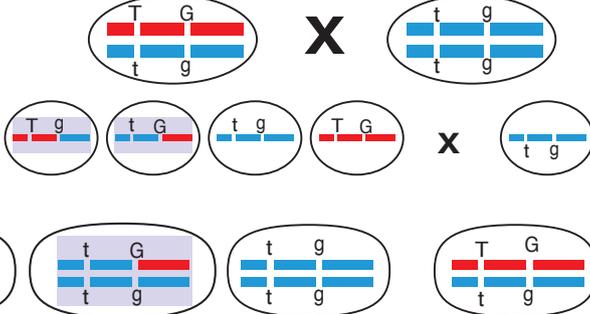
الجيل الثاني:

الطرز الجينية لأفراد الجيل الثاني (F2):

الطرز الشكلية لأفراد الجيل الثاني (F2):

أعداد الأفراد الناتجين من التجربة:

ذكر أسود الجسم، وضامر الجناحين. أنثى رمادية الجسم، وطبيعية الجناحين.



سوداء الجسم،
وطبيعية الجناحين.
185

رمادية الجسم،
وضامرة الجناحين.
206

سوداء الجسم،
وضامرة الجناحين.
944

رمادية الجسم، وطبيعية
الجناحين.
965

النسبة المئوية المتوقعة بين أفراد الجيل الثاني:	رمادية الجسم، وطبيعية الجناحين (تُشبه أبويها).	سوداء الجسم، وضامرة الجناحين (تُشبه أبويها).	رمادية الجسم، وضامرة الجناحين (لا تُشبه أبويها).	أنثى سوداء الجسم، وطبيعية الجناحين (لا تُشبه أبويها).
بحسب قانون التوزيع الحر:	25%	25%	25%	25%
عند توارث الصفتين معاً، بافتراض عدم انفصال الأليلات المرتبطة (عدم حدوث عبور):	50%	50%	0%	0%
عند توارث الصفتين معاً، بافتراض حدوث العبور:	41.96%	41.04%	8.96%	8.04%



استفاد العلماء من معرفتهم بالرياضيات في تفسير نتائج تجاربهم، وإيجاد نسبة التراكيب الجينية الجديدة الناتجة من عملية العبور بين الجينات المرتبطة وفق المعادلة الآتية:

عدد الأفراد الذين لا يُشبهون آباءهم (التراكيب الجديدة) / العدد الكلي

للأفراد الناتجين $\times 100\%$

بتطبيق هذه المعادلة على النتائج التي توصل إليها العالم مورغان، فإن:

$$391 / 2300 \times 100\% = 17\%$$

إذن، نسبة التراكيب الجينية الجديدة هي 17%.

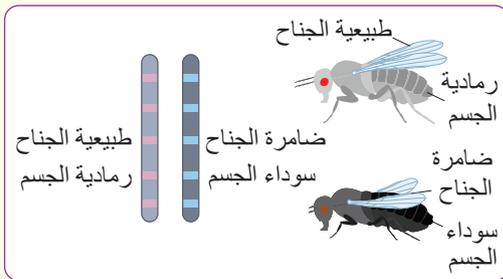
ونسبة ارتباط الصفتين معاً هي:

$$100\% - 17\% = 83\%$$

أجد نسبة الأفراد ذوي الأجسام الرمادية، والأجنحة الضامرة.

استنتج مورغان من تجارب عدّة أنّ صفتي لون الجسم وحجم الأجنحة مُرتبطتان، وأتّهما تُورّثان معاً بوصفهما وحدة واحدة؛ لأنّ معظم الأفراد الناتجين يُشبهون آباءهم في هاتين الصفتين. استنتج مورغان أيضاً أنّ نسبة الأفراد الذين لا يُشبهون آباءهم قليلة في هذه التجربة؛ نظراً إلى وجود آليّة تكسر هذا الارتباط، وتُسمّى عملية العبور، ولو كانت صفتا لون الجسم وحجم الأجنحة تُورّثان بحسب قانون التوزيع الحر لكانت نسبة الأفراد الذين يُشبهون آباءهم 50% من الأفراد الناتجين.

مثال 7



يكون حجم الجناح في حشرة ذبابة الفاكهة طبيعياً أو ضمراً، ويكون لون الجسم رمادياً أو أسوداً. زواج باحث

بين إنثى من هذه الحشرة، أجنحتها طبيعية، ولون أجسامها رمادي، وهي غير مُتماثلة الأليلات للصفتين، وذكور منها، أجنحتهم ضمارة، ولون أجسامهم أسود، فنتج أفراد صفاتهم وأعدادهم كما يأتي:

415 فرداً أجنحتهم طبيعية، ولون أجسامهم رمادي.

415 فرداً أجنحتهم ضمارة، ولون أجسامهم أسود.

82 فرداً أجنحتهم ضمارة، ولون أجسامهم رمادي.

88 فرداً أجنحتهم طبيعية، ولون أجسامهم أسود.

إذا افترضت أنّ أليل شكل الأجنحة الطبيعية هو T، وأنّ أليل شكل الأجنحة الضامرة هو t، وأنّ أليل لون الأجسام الرمادية هو G، وأنّ أليل لون الأجسام السوداء هو g، فأجيب عن السؤالين الآتيين:

أ . أذكر دليلاً من النتائج يُؤكّد أنّ قانون التوزيع الحر لا ينطبق على وراثته صفتي لون الأجسام وحجم الأجنحة.

ب . أجد نسبة الأفراد الناتجين من ذوي التراكيب الجينية الجديدة.

المعطيات: الطرز الشكلية للآباء، الطرز الشكلية لأفراد الجيل الأوّل، أعداد الأفراد الذين تظهر عليهم الطرز الشكلية.

المطلوب: دليل يُثبت أنّ الصفتين مُرتبطتان، نسبة الأفراد الناتجين من ذوي التراكيب الجينية الجديدة.

الحل:

أ. استنادًا إلى قانون التوزيع الحر، فإنَّ النسب المُتوقَّعة لا تنطبق على هذه النتائج، وهي:

1:1:1:1 إذا كان أحد الأبوين غير مُتماثل الأليلات للصفاتين، وكان الآخر مُتنحياً؛ إذ لم تتحقَّق هذه النسب.

ب. عدد الأفراد من ذوي التراكيب الجينية الجديدة = $88 + 82 = 170$ فردًا.

عدد الأفراد الكلي = $415 + 415 + 82 + 88 = 1000$ فرد.

نسبة الأفراد من ذوي التراكيب الجديدة = عدد الأفراد من ذوي

التراكيب الجديدة/عدد الأفراد الكلي $\times 100\%$

$$(170/1000) \times 100\% = 17\%$$

خريطة الجينات Genes Map

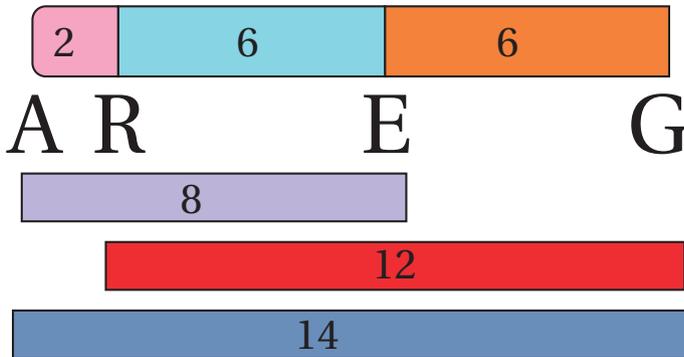
يوجد تناسب طردي بين نسبة الأفراد الناتجين من ذوي التراكيب الجينية الجديدة ونسبة حدوث العبور. يُمكن لعملية العبور أن تحدث في أيِّ نقطة بين الجينين المحمولين على الكروموسوم نفسه؛ فكلَّما زادت المسافة بين الجينين زاد احتمال حدوث عملية العبور بينهما.

وقد استفاد العلماء من نسبة ظهور التراكيب الجينية الجديدة في رسم خريطة تُبيِّن الجينات المحمولة على الكروموسوم، ومواقعها، وترتيبها، والمسافة بينها، وتُسمَّى **خريطة الجينات Genes Map**، أنظر الشكل (23).

يُطلق على وحدة قياس المسافة بين الجينات على الكروموسوم اسم وحدة الخريطة، وتُكافئ كل وحدة خريطة واحدة ما نسبته 1% من ظهور تراكيب جينية جديدة. فمثلاً: إذا ظهرت تراكيب جينية جديدة عند دراسة صفتين مُرتبطتين بنسبة 12%، فهذا يعني أنَّ المسافة بين الصفتين هي 12 وحدة خريطة.

أفكر: أتوقع تأثير حدوث عبور بين الكروماتيدات الشقيقتين في التراكيب الجينية للجاميتات.

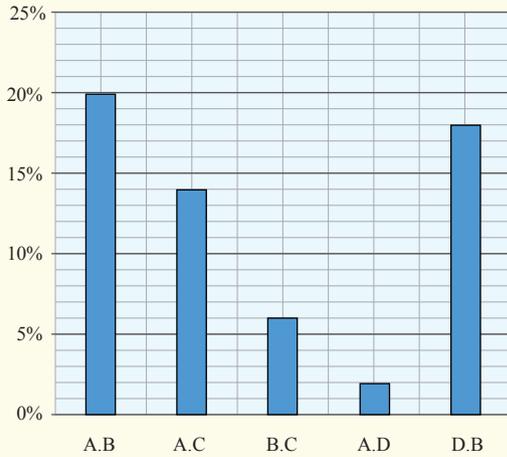
✓ **أتحقَّق:** أوضِّح المقصود بخريطة الجينات.



الشكل (23): ترتيب الجينات (A, R, E, G) على أحد الكروموسومات، والمسافة بينها. أُحدِّد المسافة بين كل جينين من الجينات الآتية: (R-E)، (A-G)، (R-G)، (A-R)، (A-E).

مثال 8

نسبة ظهور تراكيب جينية جديدة عند حدوث عبور بين الجينات



توصّلت إحدى الباحثات -بعد إجرائها تجارب عدّة- إلى أنّ الجينات: A ، B ، C ، D هي جينات مُرتبطة، ومحمولة على الكروموسوم نفسه. وكذلك توصّلت إلى نسبة ظهور تراكيب جينية جديدة عند حدوث عبور بين الجينات. وقد مثّلت الباحثة هذه النتائج بالرسم البياني المجاور، أحلّ البيانات، ثم أبيّن ترتيب الجينات على الكروموسوم، والمسافة بينها.

المعطيات: رسم بياني يُبيّن نسبة ظهور تراكيب جينية جديدة عند حدوث عبور بين الجينات.

المطلوب: ترتيب الجينات على الكروموسوم، المسافة بين الجينات.

الحل:

أستنتج أنّ المسافة بين الجين A والجين B هي 20 وحدة، وأنّ المسافة بين الجين A والجين C هي 14 وحدة، وأنّ المسافة بين الجين C والجين B هي 6 وحدات، وأنّ المسافة بين الجين D والجين A هي وحدتان، وأنّ المسافة بين الجين B والجين D هي 18 وحدة؛ لأنّ كل 1% من نسبة العبور تُكافئ وحدة مسافة واحدة على الكروموسوم.

أرسم خطأً يمثّل الكروموسوم، وأثبتّ موقع الجين B، ثم موقع الجين C على بُعد 6 وحدات.

أفترض أنّ الجين A موجود على يسار الجين C. للتأكد أنّ الموقع الذي اخترته للجين A صحيح، أجمع المسافة بين الجينين: A وC، والجينين: B وC، لاستخراج المسافة بين الجينين: A وB على الكروموسوم:

$$20 = 6 + 14$$

ولمّا كانت المسافة الناتجة من جمع المسافات على الترتيب المُقترح تساوي المسافة من معطيات السؤال، فإنّ الفرضية لموقع الجين A صحيحة.

أفترض أنّ موقع الجين D هو بين الجينين: A وC. وبذلك تكون المسافة بين الجينين: D وC هي 12 وحدة. للتأكد أنّ الموقع الذي اخترته صحيح، أجمع المسافة بين الجينين: D وC، والجينين: B وC:

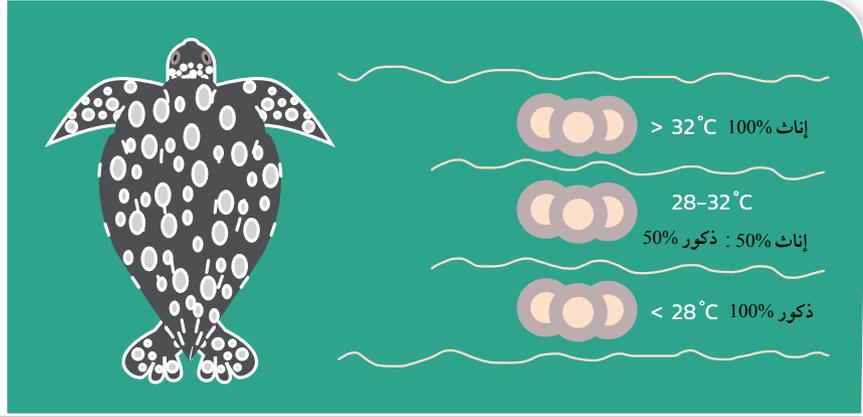
$$18 = 12 + 6$$

ولمّا كانت المسافة الناتجة من جمع المسافات على الترتيب المُقترح تساوي المسافة من معطيات السؤال، فإنّ الفرضية لموقع الجين D صحيحة.

A	D	C	B
2	12	6	

الشكل (24): جنس نوع من الزواحف،
تفقس بيوضه المُخصَّبة في درجات حرارة
حضانة مُتباينة.

أحدُّ الجنس الذي ينتج من فقس البيوض
المُخصَّبة في درجة حضانة أقل من 28°C .
أستنتج: ما درجة الحرارة المحورية في
هذا الشكل؟



أثر البيئة في تحديد جنس بعض الزواحف

Environmental Influence on Sex Determination of some Reptiles

✓ **أتحقَّق:** أوضِّح المقصود بتحديد
الجنس المُعتمد على درجة الحرارة.

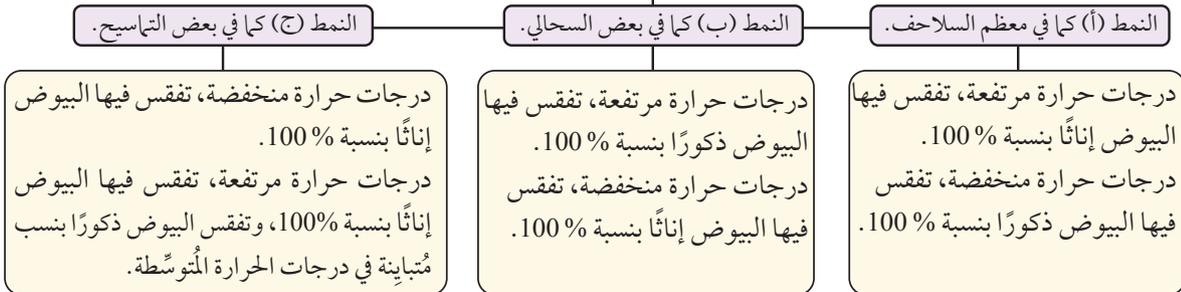
تتأثر بعض الصفات الوراثية بالعوامل البيئية، مثل: الحرارة، والتغذية،
والتعرُّض لأشعة الشمس مدَّة طويلة. فمثلاً: تتحكَّم درجة الحرارة في تحديد
الجنس في بعض الزواحف، مثل: بعض التماسيح، ومعظم السلاحف، وبعض
أنواع السحالي؛ فيتحَدَّد الجنس تبعاً لدرجة حرارة حضانة البيوض المُخصَّبة في مراحل
مُعيَّنة من التكوين الجنيني، ويُطلَق على هذه الدرجة اسم **درجة الحرارة المحورية**
Pivotal Temperature (T_p)، وهي درجة حرارة مُعيَّنة يحدث عندها تحول
فسيولوجي في الكائن الحي، مثل درجة الحرارة الثابتة اللازمة لإنتاج الذكور
والإناث في بعض أنواع الزواحف. ويُعرَف هذا النظام بتحديد الجنس المُعتمد على
درجة الحرارة **Temperature - dependent Sex Determination (TSD)**. فعند وضع
البيوض، فإنها لا تعرَّض لدرجة الحرارة نفسها بحسب موقعها، أنظر الشكل (24)؛ فيتأثر
نشاط الإنزيمات الضرورية لتصنيع الهرمونات الأنثوية والذكورية التي تؤدِّي دوراً
في تمايز كلٍّ من المبيض والخصية، مثل إنزيم أروماتيز.

✓ **أتحقَّق:** أوضِّح دور إنزيم
أروماتيز في تحديد جنس
الزواحف.

توجد ثلاثة أنماط لتحديد الجنس المُعتمد على درجة الحرارة في الزواحف، أنظر
الشكل (25). وفي هذه الأنماط تُحدَّد درجة الحرارة المحورية للجنس لأنواع مختلفة من
الزواحف بنسب متساوية.

الشكل (25): الأنماط الثلاثة لتحديد الجنس
المُعتمد على درجة الحرارة.
أستنتج النمط الذي يكون فيه لدرجات
الحرارة المرتفعة والمنخفضة التأثير نفسه.

أنماط تحديد الجنس المُعتمد على درجة الحرارة في أنواع مختلفة من الزواحف





الوراثة فوق الجينية Epigenetics دراسة تبحث في التعديلات على التعبير الجيني أو الطرز الشكلية في الكائن الحي، التي تحدث من دون تغيير تسلسل النيوكليوتيدات في الجين.

يُمكن تغيير التعبير الجيني في الجين بتنشيطه، فيكون جيناً نشطاً، أو بإيقافه عن العمل، فيكون جيناً صامتاً.

تُفسر الوراثة فوق الجينية تصنيع البروتينات التي تُميز خلية مُعيّنة دون غيرها من الخلايا. فمثلاً: الخلايا العصبية تصنع بروتينات تختلف عن تلك التي تصنعها خلايا أخرى في الجسم، بالرغم من أنّ جميع الخلايا الجسمية في الإنسان لها التسلسل نفسه من النيوكليوتيدات في جزيء DNA.

من الأمثلة على آليات الوراثة فوق الجينية التي تُؤثر في التعبير الجيني:

- 1- إضافة مجموعة الأستيل إلى بروتين الهستون؛ إذ يلتف جزيء DNA مشدوداً حول بروتين الهستون، ويُطلق على التركيب الناتج من ذلك اسم النيوكليوسوم، أنظر الشكل (26). تعمل إضافة مجموعة الأستيل إلى ذيول بروتين الهستون على ارتخاء التفاف جزيء DNA حول هذا البروتين، فيصبح الجين نشطاً، ويُمكن نسخه، أنظر الشكل (27).

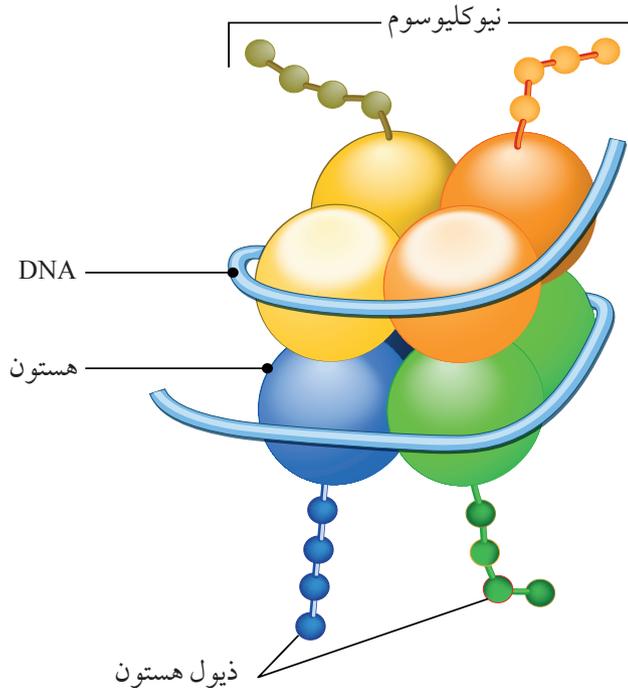
فك قفل الهاتف المحمول ببصمة الإصبع

قال تعالى:

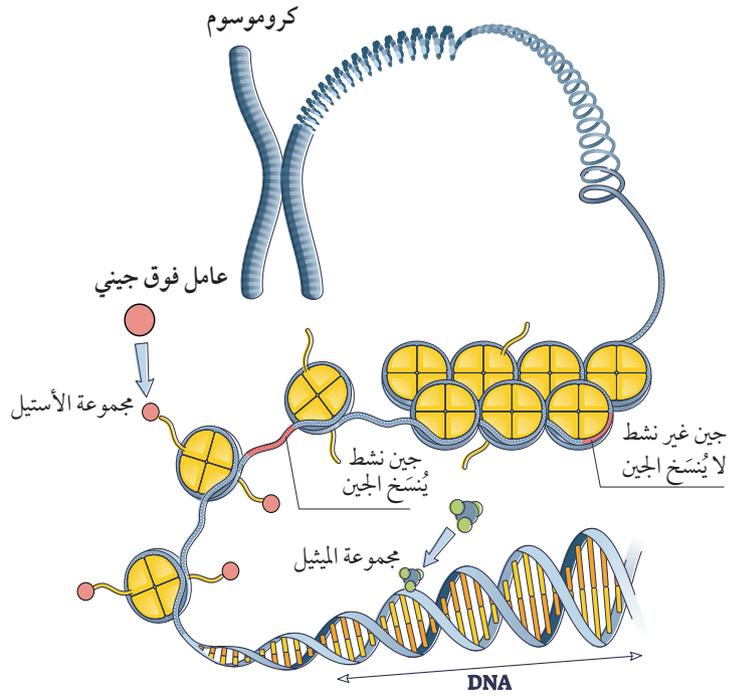
﴿يَلَىٰ قَدْرَيْنَ عَلَىٰ أَنَّ نُسْوَیٰ بِنَانَهُ﴾

(سورة القيامة، الآية 4).

عند محاولة فك قفل الهاتف المحمول ببصمة إصبع غير تلك التي استُخدم في تحديدها، فإنّ الهاتف سيظلُّ مُقفلاً؛ إذ تختلف بصمات الأصابع في اليد الواحدة للشخص نفسه، بالرغم من وجود الجينات نفسها في الأصابع جميعها. وبالمثل، تختلف بصمات الأصابع بين التوائم المُطابقة التي تنتج من بويضة مُخصَّبة واحدة، بالرغم من احتوائها على المادة الوراثية نفسها. وتفسير ذلك أنّ الأجنّة في الرحم تتعرّض لعوامل بيئية مختلفة (مثل: موقع الجنين في الرحم، وكثافة السائل الرهلي)؛ فتختلف الأصابع في ملامستها الغشاء الرهلي أثناء تشكُّل بصماتها في المراحل المبكرة من الحمل، ثم تظلُّ بعد ذلك ثابتة ومُميّزة طوال الحياة.



الشكل (26): تركيب النيوكليوسوم. أوضح تركيب النيوكليوسوم.



الشكل (27): عوامل فوق جينية.
أحدّد على الشكل العامل فوق الجيني الذي يمنع نسخ الجين.

2- إضافة مجموعة الميثيل إلى جزيء DNA، فيصبح الجين غير نشط، ولا يمكن نسخه (صامت)، أنظر الشكل (27).

الربط بالصحة

الوراثة فوق الجينية والسرطان

أحدثت الوراثة فوق الجينية سبقاً علمياً في ما يختصّ بتفسير أسباب الإصابة بالسرطان؛ فقد تُوّثر عوامل الوراثة فوق الجينية في الجينات المُشبّطة للأورام، فتصبح غير نشطة (صامتة)؛ ما يؤدي إلى انتشار الأورام.

وكذلك وجد العلماء أنّ عوامل الوراثة فوق الجينية في الخلايا السرطانية تُظهر نمطاً مختلفاً عنه في الخلايا الطبيعية؛ ما يدلُّ على أنّ هذا التغيُّر في النمط هو سبب الإصابة بالسرطان.

ولهذا، فإنّ الوراثة فوق الجينية تُمثّل ركيزة أساسية للتفكير في علاج يُفعل الجينات التي أوقفت نشاطها العوامل فوق الجينية.

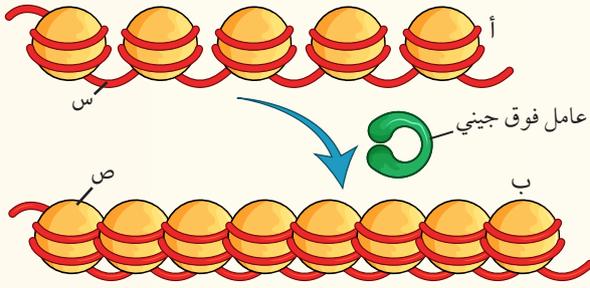
أجرى العلماء تجربة على نوع من الفئران، وذلك بإحضار مجموعتين من الأمّهات الحوامل اللاتي يحملن أجنةً مُتماثلة في طرزها الجينية، وتخصيص نظام غذائي مختلف لكلّ من الأمّهات في المجموعتين؛ إذ احتوى النظام الغذائي للأمّهات في المجموعة الأولى على حمض الفوليك الذي يُعدُّ مصدرًا لمجموعة الميثيل، خلافاً للنظام الغذائي للأمّهات في المجموعة الثانية الذي خلا من وجود حمض الفوليك، فكانت الفئران الناتجة من المجموعة الأولى ذات فراء بُنيّ، وغير سميّنة (طبيعية)، في حين كانت الفئران الناتجة من المجموعة الثانية ذات فراء أصفر، وسميّنة، ومصابة بأمراض أخرى. وقد فسّر العلماء ذلك بأنّ مجموعة الميثيل التي يجويها النظام الغذائي لفئران المجموعة الأولى تُمثّل عاملاً من عوامل الوراثة فوق الجينية.

تُفسّر الوراثة فوق الجينية الاختلاف في الصفات بين التوائم المُتطابقة؛ فقد يعاني أحد التوأمن أمراضاً مُعيّنة لا يعانيها الآخر، وقد يصبح أحدهما رياضياً والآخر رسّاماً، وقد يختلفان في السمات الشخصية، كأن يكون أحدهما خجولاً عكس الآخر. صحيح أنّهما يحملان ترتيب النيوكليوتيدات نفسه في جزيء DNA، لكنّها قد يختلفان في النظام الغذائي، والأنشطة البدنية والاجتماعية، والرعاية الطبية. ومن ثمّ، يوجد ارتباط لعوامل فوق جينية عند أحدهما تختلف عن تلك المُرتبطة عند الآخر في أيّ مرحلة من مراحل حياتها؛ ما يُغيّر التعبير الجيني لكلّ منهما. وقد أظهرت بعض الدراسات أنّه كلّما تقدّم الإنسان في السنّ ظهرت فروق أكثر في عوامل الوراثة فوق الجينية بين التوائم المُتطابقة.

مراجعة الدرس

- الفكرة الرئيسية: أُفسِّر: النسب الناتجة من توارث بعض الصفات الوراثية تختلف عن تلك التي توصل إليها مندل.
- أوضح المقصود بالسيادة المشتركة.

3. تزوج شاب فصيلة دمه AB، وغير مصاب بمرض عمى الألوان بفتاة فصيلة دمها A، وغير مصابة بالمرض نفسه، وكانت فصيلة دم والدها O، وكان مصاباً بهذا المرض. أُنوِّع الطرز الجينية والطرز الشكلية لأبناء الشاب والفتاة.



- يُمثِّل الشكل المجاور تأثير الوراثة فوق الجينية في التعبير الجيني. أدرس الشكل، ثم أجب عن السؤالين الآتيين:
 - أحدّد التركيب الذي يُمثِّله الرمز (س) والرمز (ص).
 - ب. أستنتج: في أيّ الخطوتين يكون الجين صامتاً: (أ) أم (ب)؟ أبرّر إجابتي.

5. لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أحددها:

1. إذا تزوج شاب طرازه الجيني للون البشرة ddGGTt من فتاة طرازها الجيني للون البشرة DdggTt فإن الطراز الجيني للابن الأفتح لوناً للبشرة من هذا التزاوج هو:

- أ . ddGgtt ب. Ddggtt ج. ddggTt د. ddggtt

2. إحدى العبارات الآتية تنطبق على الصفات المرتبطة بالجنس:

- أ . يحتاج ذكر ذبابة الفاكهة إلى أليلين مُتنحيين لظهور صفة العيون البيضاء.
- ب. تحتاج الدجاجة لأليلين مُتنحيين لظهور الصفة المرتبطة بالجنس.
- ج. يحتاج ذكر الانسان لأليل مُتنحٍ واحد للإصابة بنزف الدم.
- د . يحتاج ذكر الإنسان لأليلين مُتنحيين للإصابة بعمى الألوان.

3. وراثة فصيلة الدم تبعاً لنظام MN يُعدُّ مثلاً على:

- أ . السيادة التامة. ب. السيادة المشتركة. ج. الأليلات المتعددة. د. الصفات متعددة الجينات.

4. إذا وُضعت مجموعة من بيوض السلاحف وبيوض السحالي في بيئة درجة حرارتها (42 °C) فإنه من المُتوقَّع أن تفقس بيوض السلاحف والسحالي إلى:

- أ . ذكور سحالي + إناث سلاحف.
- ب. ذكور وإناث سحالي + ذكور سلاحف.
- ج. إناث سحالي + ذكور سلاحف.
- د. جميع البيوض تفقس إلى إناث.

5. تزوج شاب غير مصاب بمرض ضمور العضلات (دوشين) بفتاة غير مصابة أبوها مصاب بالمرض، إذا علمت أن أليل الإصابة بالمرض (d)، فإن احتمال إنجاب ذكر مصاب بالمرض من بين الذكور:

- أ . 1/2 ب. 1/4 ج. 1/8 د. 1/16

الطفرات Mutations

تُعرَّف الطفرة بأنها تغيُّر في المادة الوراثية. وهي تحدث أثناء تضاعف DNA، أو أثناء الانقسام، وتزيد فرصة حدوثها عند تعرُّض الكائن الحي لعوامل كيميائية ضارَّة، مثل: سموم بعض الفطريات، والتبغ، أو تعرُّضه لعوامل فيزيائية، مثل: الأشعة السينية X، والأشعة فوق البنفسجية UV. تُورث الطفرة في حال حدثت في الجامينات، أو في الخلايا التي تُنتجها، ويوجد نوعان رئيسان للطفرات، هما: الطفرات الجينية، والطفرات الكروموسومية، أنظر الشكل (28).

الطفرات الجينية Genetic Mutations

يُطلق على التغيُّر في تسلسل النيوكليوتيدات في جين مُعيَّن في جزيء DNA اسم **الطفرة الجينية Genetic Mutation**. وهي نوعان:

طفرة الاستبدال Substitution Mutation: استبدال زوج من النيوكليوتيدات في جزيء DNA، والاستعاضة عنه بزوج آخر؛ ما يؤدي إلى تغيُّر تسلسل النيوكليوتيدات في كودون واحد فقط من جزيء DNA.

طفرة الإزاحة Frameshift Mutation: حذف زوج أو أكثر من النيوكليوتيدات في جزيء DNA، أو إضافة زوج أو أكثر منها في جزيء DNA بأعداد ليست من مضاعفات الثلاثة؛ ما يؤدي إلى تغيُّر تسلسل النيوكليوتيدات في كودون أو أكثر في جزيء DNA.

الفكرة الرئيسة:

تُصنَّف الطفرات إلى نوعين، هما: الطفرات الجينية، والطفرات الكروموسومية. وينتج من بعض الطفرات اختلالات وراثية.

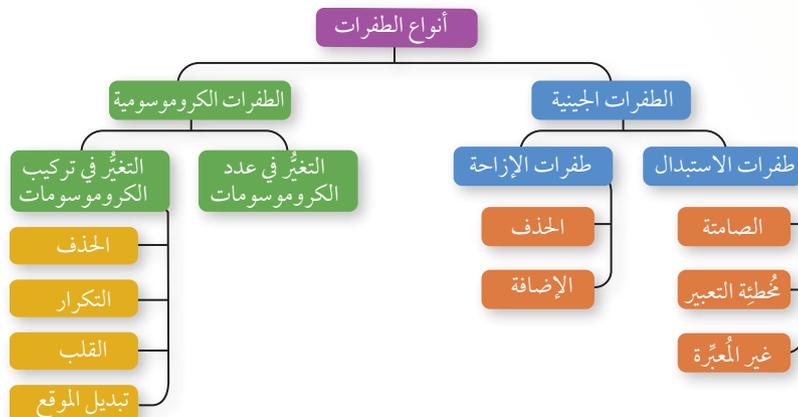
نتائج التعلم:

- أوَّضح مفهوم الطفرات.
- أستنتج مُسببات للطفرات وتأثيراتها في الكائن الحي.
- أُميِّز بين الطفرات الجينية والطفرات الكروموسومية.
- أصف أمراضًا تنتج من زوج من الجينات المُتَنحِيَّة، وأمراضًا أخرى تنتج من جين سائد.
- أُميِّز بين مُسببات بعض الاختلالات الوراثية لدى الإنسان وأعراضها.
- أصف طرائق للكشف عن الاختلالات الوراثية لدى الإنسان.

المفاهيم والمصطلحات:

الطفرة الجينية	Genetic Mutation
طفرة الاستبدال	Substitution Mutation
طفرة الإزاحة	Frameshift Mutation
الطفرة الكروموسومية	Chromosomal Mutation
تعدُّد المجموعة الكروموسومية	Polyploidy
الحذف	Deletion
التكرار	Duplication
القلب	Inversion
تبديل الموقع	Translocation

أفكر: حدثت طفرة في خلايا الأمعاء تسببت في إصابة شخص ما بمرض. أفسر سبب عدم إصابة ابن هذا الشخص بالمرض نفسه.



الشكل (28): أنواع الطفرات.

محاكاة الطفرة الجينية

يختلف تأثير الطفرة في سلسلة عديد الببتيد الناتجة تبعًا لاختلاف نوع الطفرة.

المواد والأدوات: ورقة، قلم.

ملحوظة: افترض أنّ كل حرف في النشاط يُمثّل نيوكليوتيدًا في إحدى سلسلتي جزيء DNA، وأنّ كل ثلاثة أحرف مُتتَابِعة تُمثّل كودونًا، وتُترجم إلى حمض أميني تُمثّله الكلمة، في حين تُمثّل الجملة سلسلة عديد الببتيد الناتجة من الترجمة.

خطوات العمل:

- 1 أكتب على الورقة الحروف الآتية بالترتيب: ر، س، م، و، ل، د، ش، ج، ر، و، ر، د.
- 2 أوّز الحروف على 4 مجموعات، ثم أرّف المجموعات (1-4)، مع مراعاة وضع 3 أحرف بالترتيب في كل مجموعة لتمثيل الكودون.
- 3 أوّز جملة باستخدام مجموعات الحروف الناتجة بالترتيب، بحيث تُمثّل المجموعة الأولى من الأحرف الكلمة الأولى في الجملة، وتُمثّل المجموعة الثانية من الأحرف الكلمة الثانية في الجملة، وهكذا، ثم أوّز الجملة الناتجة في الورقة.
- 4 أضع حرف (ع) بدل حرف (ل) في المجموعة الثانية، ثم أوّز الجملة الناتجة في الورقة.
- 5 أ حذف حرف (س) من مجموعة الأحرف التي تحمل الرقم (1)، ثم أعيد كتابة الأحرف منفصلة بعد الحذف، ثم أنشئ مجموعات جديدة ثلاثية الأحرف.
- 6 أوّز جملة وفق ترتيب المجموعات الجديد، ثم **أقارن** بين معنى الجملة الأصلية ومعنى الجملة الناتجة بعد التغيير.
- 7 أضيف حرف (ب) بعد حرف (س) إلى مجموعة الأحرف التي تحمل الرقم (1)، ثم أعيد كتابة الأحرف منفصلة بعد الإضافة، ثم أنشئ مجموعات جديدة ثلاثية الأحرف.
- 8 أوّز جملة وفق ترتيب المجموعات الجديد، ثم **أقارن** بين معنى الجملة الأصلية ومعنى الجملة الناتجة بعد التغيير.
- 9 **أفسّر** سبب وضوح معنى الجملة الناتجة بعد وضع حرف (ع) بدل حرف (ل).
- 10 **أقارن** الجمل التي كوّنتها بالجمال التي كوّنوها زملائي/ زميلاتي.

التحليل والاستنتاج:

1. **أصنّف** الطفرات التي تضمّنها النشاط إلى ما يأتي: طفرة استبدال زوج من النيوكليوتيدات، طفرة إزاحة بحذف زوج من النيوكليوتيدات، طفرة إزاحة بإضافة زوج من النيوكليوتيدات.
2. **أقارن** بين تأثير طفرة استبدال زوج بزواج من النيوكليوتيدات في جزيء DNA وطفرة إضافة زوج من النيوكليوتيدات إلى جزيء DNA في سلسلة عديد الببتيد الناتجة.
3. حدثت طفرة حذف زوج النيوكليوتيدات الذي يحمل الرقم (85) في جزء من جزيء DNA يتكوّن من (105) أزواج من النيوكليوتيدات. **أحسب** عدد الكودونات التي لم يطرأ عليها تغيير بسبب الطفرة.

تأثير الطفرات الجينية في سلسلة عديد الببتيد

Effect of Genetic Mutations on Polypeptide Chain

طفرة الاستبدال Substitution Mutation

تُصنّف طفرة الاستبدال بحسب تأثيرها في سلسلة عديد الببتيد الناتجة إلى ثلاثة

أنواع، أنظر الشكل (29)، هي:

الطفرة الصامتة Silent Mutation

ينتج من استبدال زوج بزواج من النيوكليوتيدات في جزيء DNA تغيّر كودون في جزيء mRNA، يُترجم إلى الحمض الأميني نفسه. ولأنّ الحمض الأميني قد يُشفر بأكثر من كودون؛ فإنّ هذه الطفرة لا تُؤثر في تسلسل الحموض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد الناتجة، أنظر الشكل (29/أ).

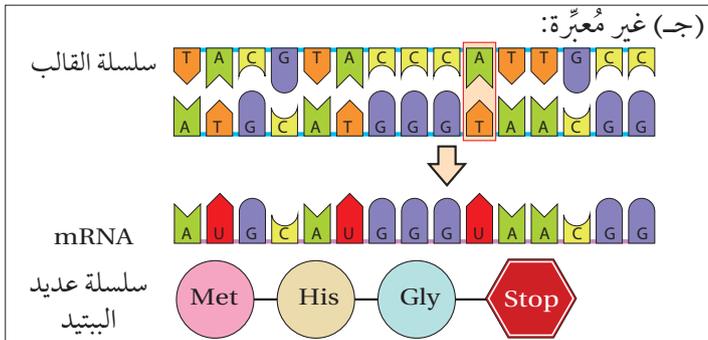
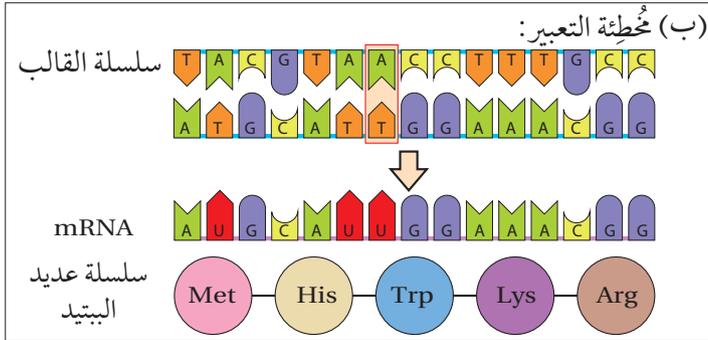
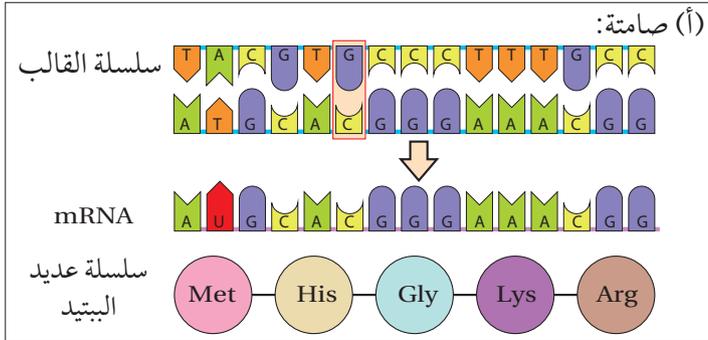
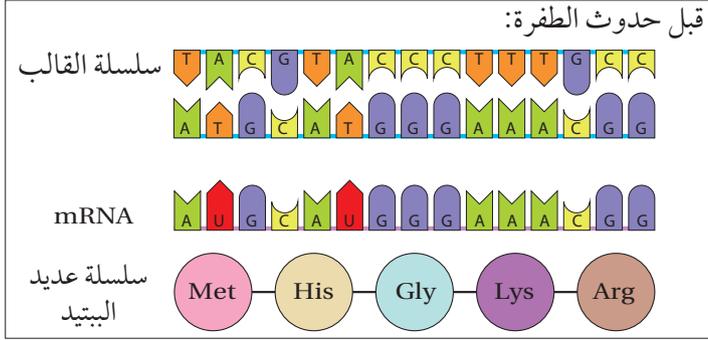
الطفرة مُخطئة التعبير Missense Mutation

ينتج من استبدال زوج بزواج من النيوكليوتيدات في جزيء DNA تغيّر كودون في جزيء mRNA، يُترجم إلى حمض أميني جديد؛ ما يؤدي إلى تغيّر حمض أميني واحد في تسلسل الحموض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد الناتجة، أنظر الشكل (29/ب).

الطفرة غير المُعبّرة Nonsense Mutation

ينتج من استبدال زوج بزواج من النيوكليوتيدات في جزيء DNA تغيّر الكودون في جزيء mRNA إلى كودون وقف الترجمة؛ فتنتج سلسلة عديد ببتيد غير مُكتملة، أنظر الشكل (29/ج).

الشكل (29): طفرة الاستبدال.



بعد حدوث الطفرة:

طفرة الإزاحة Frameshift Mutation

يتغير تسلسل جميع الكودونات التي تلي مكان حدوث طفرة الإزاحة؛ ما يؤدي إلى إنتاج سلسلة عديد ببتيد تحوي تسلسلاً من الحموض الأمينية يختلف في السلسلة الأصلية التي يراد بناؤها، أنظر الشكل (30/أ)، وقد ينتج كودون وقف الترجمة؛ فتنتج سلسلة عديد ببتيد غير مُكتملة، أنظر الشكل (30/ب).

الطفرات الكروموسومية

Chromosomal Mutations

يُطلق على التغيير في عدد الكروموسومات، أو تركيبها في الخلية، اسم **الطفرة الكروموسومية**

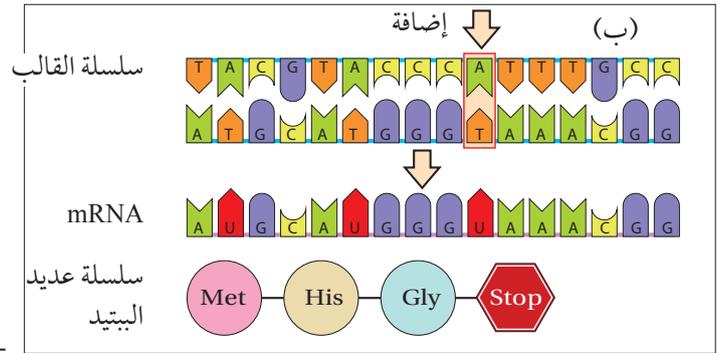
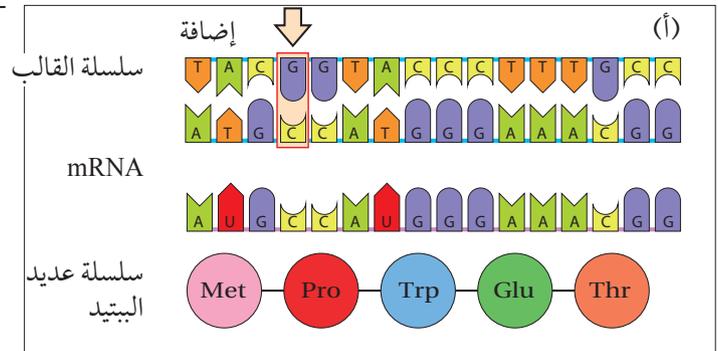
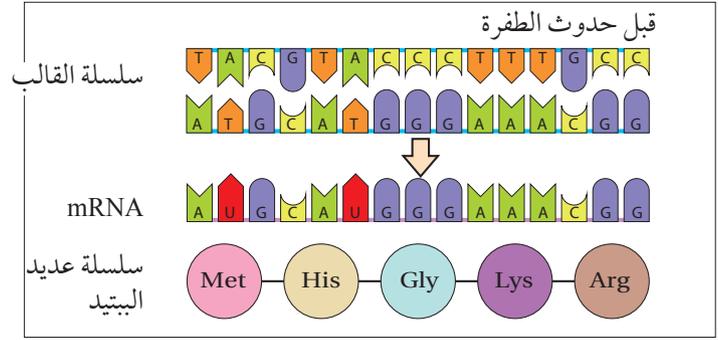
Chromosomal Mutation

التغيير في عدد الكروموسومات

Changes in Chromosome Number

درست سابقاً أنّ الجاميتات أحادية المجموعة الكروموسومية (1n) تنتج من انقسام مُنصف خلية ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n)، وأنّ الخلايا الناتجة من الانقسام المتساوي لخلية ثنائية المجموعة الكروموسومية تكون ثنائية المجموعة الكروموسومية، ولكن قد تحدث طفرات

تؤدي إلى اختلاف عدد الكروموسومات عن مضاعفات المجموعة الكروموسومية الواحدة Aneuploidy أو تعدد المجموعة الكروموسومية Polyploidy.



حدوث الطفرة

الشكل (30): طفرة الإزاحة.

أقارن بين سلسلة عديد الببتيد الناتجة بعد حدوث الطفرة وسلسلة عديد الببتيد التي يراد بناؤها.

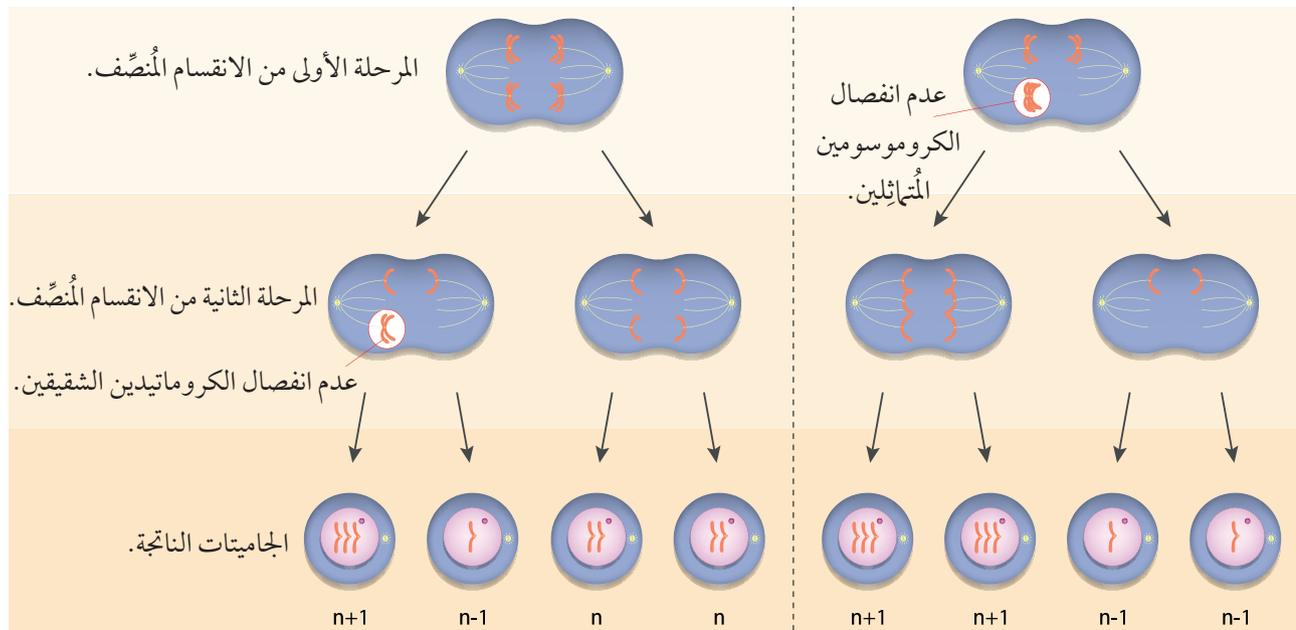
أفكر: أيهما يُحتمل أن يكون أكثر تأثيراً: حذف كودون أم حذف زوج من النيوكليوتيدات؟ أبرر إجابتي.

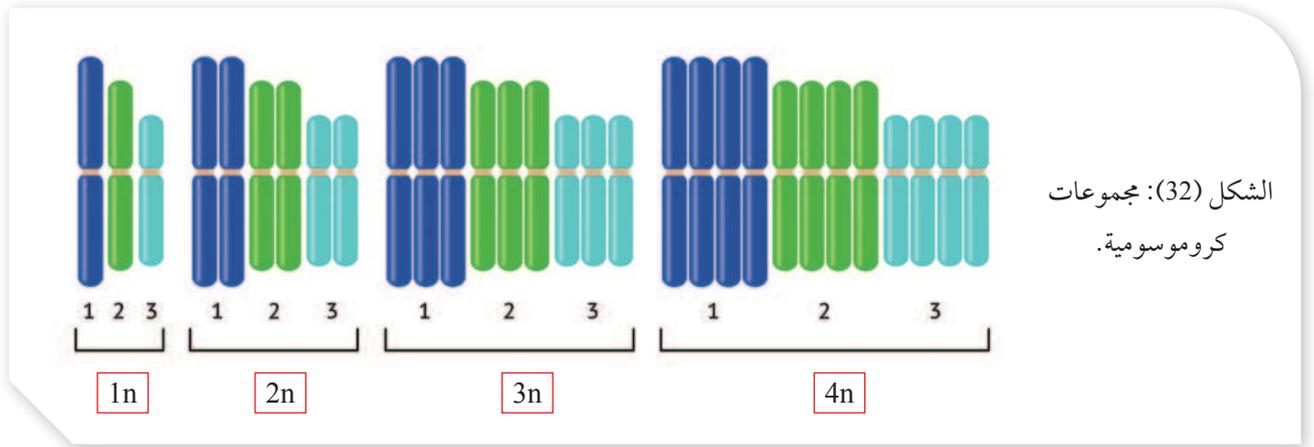
اختلاف عدد الكروموسومات عن مضاعفات المجموعة الكروموسومية الواحدة

Aneuploidy

يختلف عدد الكروموسومات في الخلية الجسمية عن مضاعفات المجموعة الكروموسومية الواحدة، كأن يكون عدد الكروموسومات في خلية جسمية للإنسان 47 كروموسومًا عوضًا عن 46 كروموسومًا؛ إذ يحدث أحيانًا عدم انفصال أحد أزواج الكروموسومات المتماثلة أثناء المرحلة الأولى من الانقسام المنصف، ويؤدي عدم حدوث انفصال للكروموسومين المتماثلين في المرحلة الأولى من الانقسام المنصف إلى إنتاج جاميتات لا تحتوي جميعها على العدد الطبيعي من الكروموسومات؛ إذ يكون عدد الكروموسومات في الجاميتات أكثر من العدد الطبيعي ($n+1$)، أو أقل منه ($n-1$). ونتيجة لعدم الانفصال؛ فإن بعض الجاميتات الناتجة تحوي نسختين من الكروموسوم نفسه، في حين يفتقر بعضها الآخر إلى وجود هذا الكروموسوم. وقد يحدث عدم انفصال لكروماتيدين شقيقين في أحد الكروموسومات ضمن إحدى الخلايا الناتجة من المرحلة الأولى أثناء المرحلة الثانية من الانقسام المنصف؛ ما يؤدي إلى إنتاج جاميتات تحوي العدد الطبيعي من الكروموسومات (n)، وجاميتات عدد الكروموسومات فيها أكثر من العدد الطبيعي للكروموسومات ($n+1$)، وجاميتات أخرى عدد الكروموسومات فيها أقل من العدد الطبيعي للكروموسومات ($n-1$)، أنظر الشكل (31).

الشكل (31): عدم انفصال كروموسومين متماثلين في المرحلة الأولى من الانقسام المنصف، وعدم انفصال كروماتيدين شقيقين في المرحلة الثانية من الانقسام المنصف.





الشكل (32): مجموعات كروموسومية.

إذا خُصِّب الجاميت غير الطبيعي الناتج في الشكل (31) مع آخر طبيعي نتجت بويضة مُحَصَّبة تحوي عددًا أكثر من العدد الطبيعي للكروموسومات $(2n+1)$ ، أو عددًا أقل من عددها الطبيعي $(2n-1)$ ، علمًا بأنَّ العدد الطبيعي يساوي $(2n)$.

تعدُّد المجموعة الكروموسومية Polyploidy

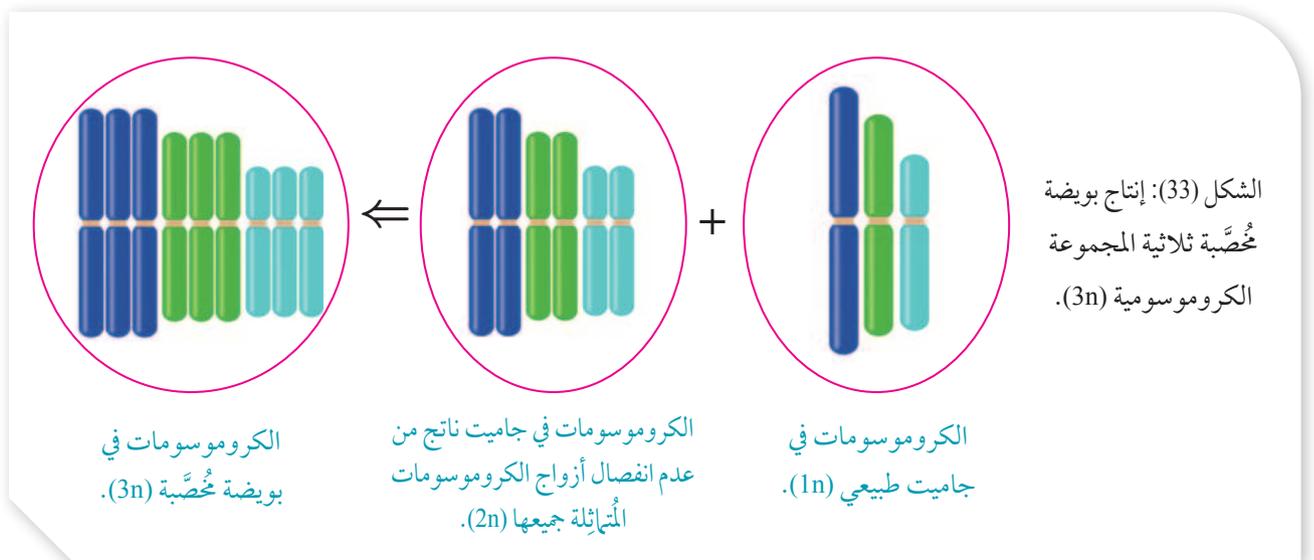
تحتوي بعض الكائنات الحيَّة على أكثر من مجموعتين من الكروموسومات في خلاياها الجسمية، في ما يُعرَف بتعدُّد المجموعة الكروموسومية Polyploidy، كأن تكون الخلايا ثلاثية المجموعة الكروموسومية $(3n)$ ، أو رباعية المجموعة الكروموسومية $(4n)$ ، أنظر الشكل (32).

تنتج الخلية ثلاثية المجموعة الكروموسومية $(3n)$ عند إخصاب جاميت ثنائي المجموعة الكروموسومية $(2n)$ ناتج من عدم انفصال أزواج الكروموسومات المتماثلة جميعها مع جاميت آخر طبيعي أحادي المجموعة الكروموسومية $(1n)$ ؛ فنتج بويضة مُحَصَّبة ثلاثية المجموعة الكروموسومية، أنظر الشكل (33).

✓ أنحقِّق:

- أوضح نتيجة عدم انفصال كروموسومين متماثلين أثناء المرحلة الأولى من الانقسام المنصف.
- أقيم: في أيِّ المرحلتين يُعدُّ حدوث عدم الانفصال أكثر خطورة؟ أبرِّر إجابتي.

أفكر: أتوقَّع عدد الكروموسومات في كل جاميت من الجاميتات الناتجة بافتراض عدم انفصال زوجين من الكروموسومات المتماثلة أثناء الانقسام المنصف.



الشكل (33): إنتاج بويضة مُحَصَّبة ثلاثية المجموعة الكروموسومية $(3n)$.

الكروموسومات في بويضة مُحَصَّبة $(3n)$.

الكروموسومات في جاميت ناتج من عدم انفصال أزواج الكروموسومات المتماثلة جميعها $(2n)$.

الكروموسومات في جاميت طبيعي $(1n)$.

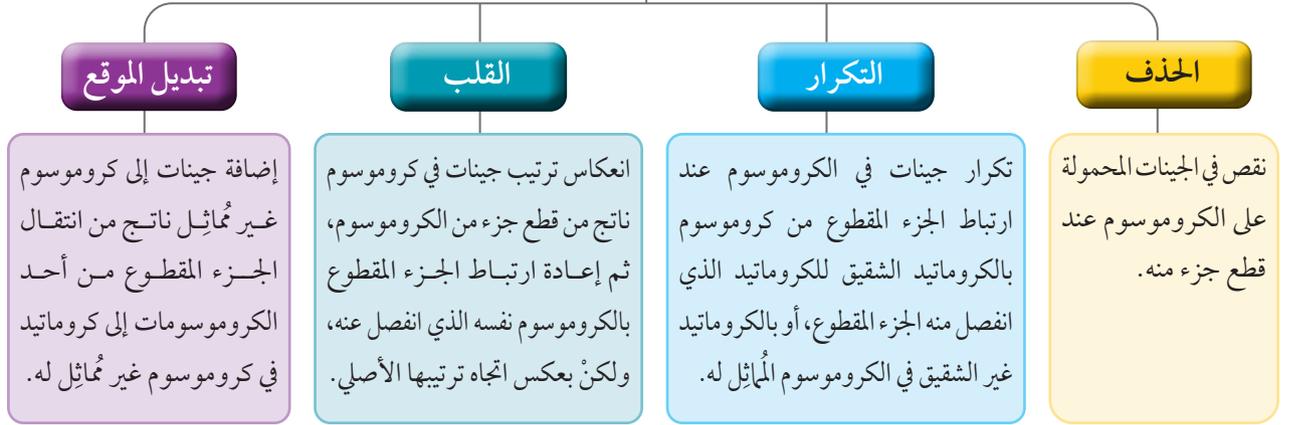


الشكل (34): نبات الكركديه الصيني
Hibiscus rosa مُتعدّد المجموعه
الكروموسومية .

تظهر حالة تعدّد المجموعه الكروموسومية في النباتات أكثر منها في الحيوانات، وقد تظهر بسبب عدم انقسام السيتوبلازم في البويضة المُخصّبة بعد تضاعف كروموسوماتها؛ فتنتج خلية رباعية المجموعه الكروموسومية ($4n$)، ثم تدخل هذه الخلية في انقسامات متساوية متتالية؛ فينتج جنين خلاياه مُتعدّده المجموعه الكروموسومية، أنظر الشكل (34) الذي يُبيّن نبات الكركديه الصيني *Hibiscus rosa* مُتعدّد المجموعه الكروموسومية.

✓ **أتحقّق:** أفسّر سبب وجود بويضة مُخصّبة ثلاثية المجموعه الكروموسومية.

التغيّر في تركيب الكروموسومات



التغيّر في تركيب الكروموسومات Changes in Chromosome Structure

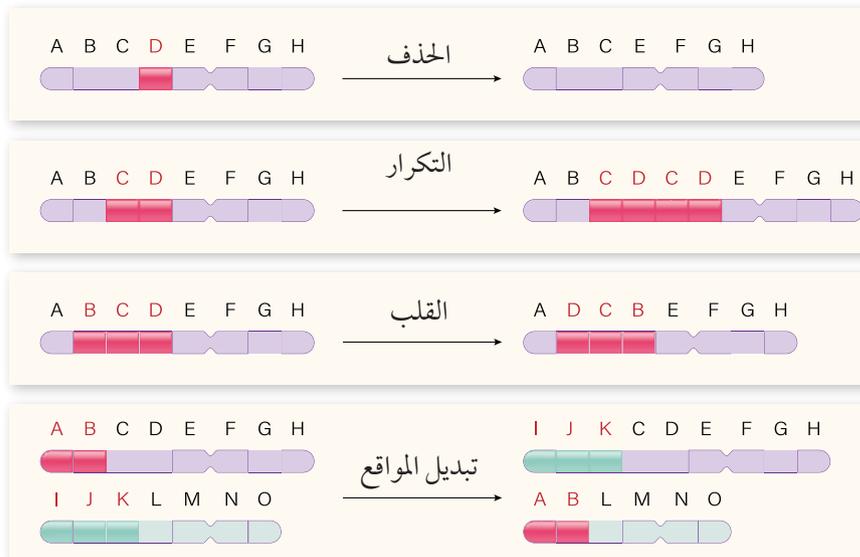
يحدث أثناء الانقسام المُنصف أحياناً قطع جزء من أحد الكروموسومات؛ ما يُسبب حدوث طفرات تُغيّر في تركيب الكروموسوم إما **بالحذف Deletion**، وإما **بالتكرار Duplication**، وإما **بالقلب Inversion**، وإما **بتبديل الموقع Translocation**، أنظر الشكل (35).

الشكل (35): طفرات تُغيّر في تركيب الكروموسوم.

✓ **أتحقّق:** ما أنواع الطفرات التي تؤدي إلى تغيّر في تركيب الكروموسوم؟

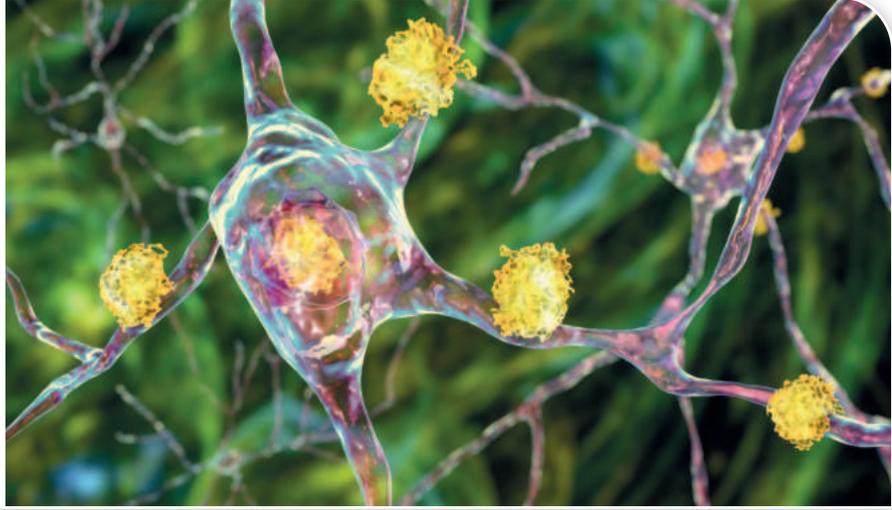
لتعرّف التغيّر في تركيب الكروموسوم بعد حدوث الطفرة، أنظر الشكل (36).

أفكر: أفسّر: قد تكون طفرة الحذف مميّزة لدى الذكر عند حدوثها في الكروموسوم X.



الشكل (36): طفرات تُغيّر في تركيب الكروموسوم.

الشكل (37): بروتين هنتنغتون في الخلايا العصبية.



اختلالات ناتجة من الطفرات Disorders Caused by Mutations

اختلالات ناتجة من الطفرات الجينية

Disorders Caused by Genetic Mutations

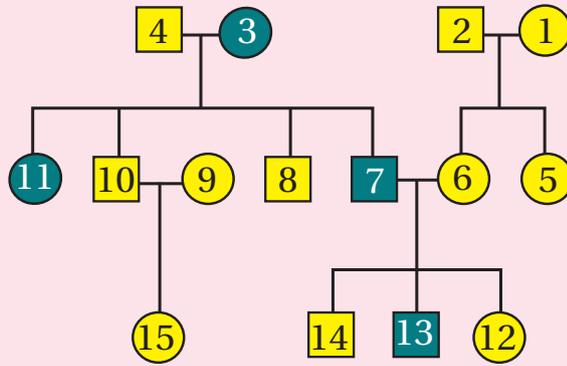
مرض هنتنغتون Huntington's Disease

مرض ينتج من طفرة في الجين *HTT* تؤدي إلى زيادة إنتاج بروتين يُسمى بروتين هنتنغتون الذي يتراكم في الخلايا العصبية، أنظر الشكل (37)، ويؤثر في وظائفها، وتتمثل بعض أعراضه في اضطرابات في الحركة، وضعف في الذاكرة.

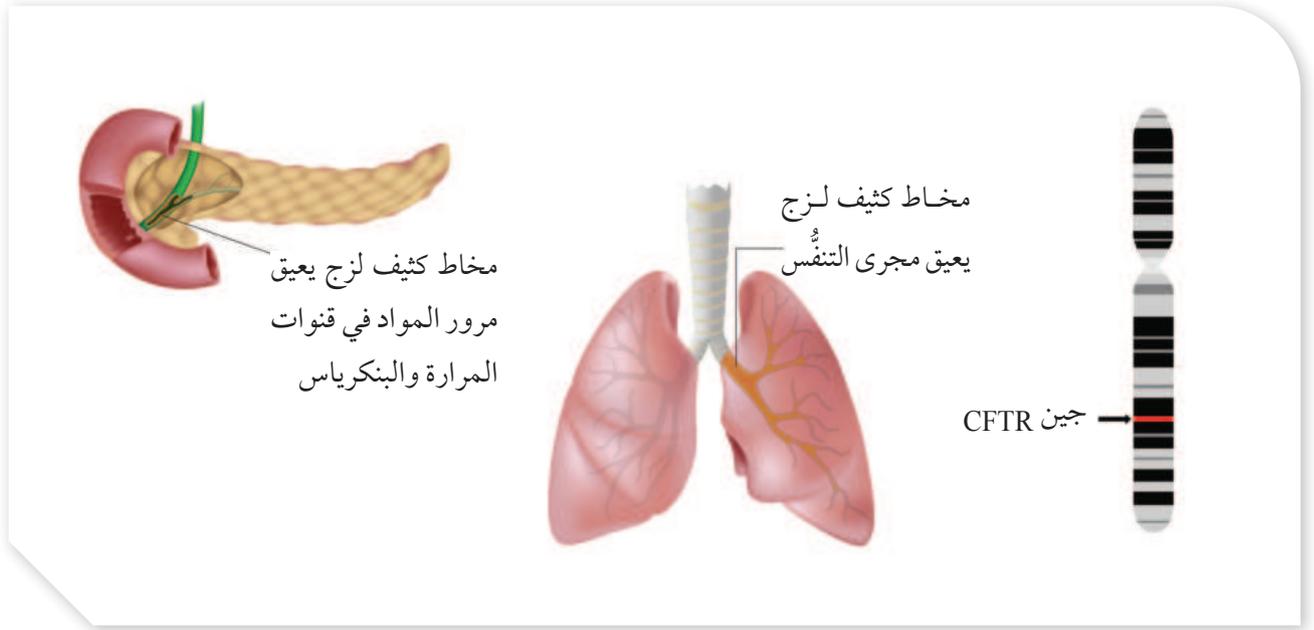
لا تظهر الأعراض على الشخص في أوقات مُبكرة من حياته، وإنما تبدأ بالظهور في سنّ الثلاثينيات أو الأربعينيات، ويُحتمل الأليل السائد المُسبب للمرض على الزوج الكروموسومي رقم (4)، وبذلك يكون الطراز الجيني للفرد المصاب مُتماثل الأليلات (HH)، أو غير مُتماثل الأليلات (Hh)، في حين يكون الطراز الجيني للفرد غير المصاب مُتماثل الأليلات (hh)، أنظر الشكل (38).

أفكر: أفسّر: يُمكن لشاب لا تظهر عليه أعراض مرض هنتنغتون إنجاب ذكور مصابين بهذا المرض.

الشكل (38): سجل نسب لتوارث مرض هنتنغتون. أكتب الطرز الجينية لجميع الأفراد الوارد ذكرهم في سجل النسب.



■ ذكر مصاب.
■ ذكر غير مصاب.
● أنثى مصابة.
● أنثى غير مصابة.



التليف الكيسي Cystic Fibrosis

ينتج هذا المرض من طفرة في الجين المحمول على الزوج الكروموسومي رقم (7)، يسمى **CFTR** (Cystic Fibrosis Transmembrane conductance Regulator) وهو مسؤول عن تنظيم انتقال الأيونات (مثل أيونات الكلورايد) في الأغشية البلازمية للخلايا الطلائية المنتجة للمخاط، والعرق، والدموع، والإنزيمات الهاضمة. يساعد نقل أيونات الكلورايد على ضبط حركة الماء في الأنسجة، ويؤدي حدوث طفرة في هذا الجين إلى خلل في القنوات الناقلة لأيونات الكلورايد؛ ما يُسبب الإصابة بمرض التليف الكيسي، الذي ينتج عنه تراكم المخاط الكثيف في بعض أجزاء جسم الفرد المصاب بالمرض، مثل: الرئتين، والبنكرياس، والقناة الهضمية. وهذا التراكم يؤدي إلى ظهور أعراض عدّة، منها: التهابات في الرئة، وسوء امتصاص المواد من الأمعاء الدقيقة إلى الدم، أنظر الشكل (39).

ويكون الفرد المصاب بمرض التليف الكيسي مُتماثل الأليلات، وطرازه الجيني هو (cc)، في حين يكون الفرد غير المصاب مُتماثل الأليلات (CC)، أو غير مُتماثل الأليلات (Cc).

✓ **أتحقق:** أذكر مثلاً على اختلال وراثي ينتج من أليل سائد، ومثلاً آخر على اختلال وراثي ينتج من اجتماع أليلين مُتنحيين.

الشكل (39): موقع جين CFTR على الكروموسوم رقم (7) وبعض أعراض مرض التليف الكيسي.

- أي أجزاء الجسم يتأثر بحدوث طفرة في الجين CFTR؟
- ما أعراض التليف الكيسي في كلٍ من هذه الأجزاء؟

اختلالات ناتجة من تغيير عدد الكروموسومات

Disorders Caused by a Change in the Number of Chromosomes

متلازمة داون Down Syndrome

يكون للذكر أو الأنثى من ذوي متلازمة داون ملامح وجه مميزة مثل الوجه المسطح، وقد يعاني مشكلات في القلب والجهاز الهضمي.

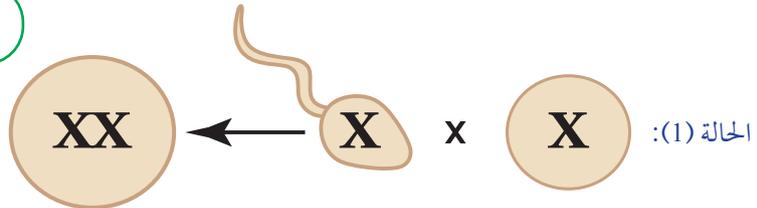
تحتوي كل خلية من الخلايا الجسمية لمن يعاني متلازمة داون على 47 كروموسوماً، ويحدث ذلك بسبب عدم انفصال زوج الكروموسومات الجسمية الذي يحمل الرقم (21) عند الأنثى أو الذكر؛ فينتج جاميت يحوي كروموسوماً جسيماً إضافياً، ويكون عدد الكروموسومات فيه $(n+1)$. وعند إخصابه مع جاميت طبيعي، عدد الكروموسومات فيه n ، تنتج بويضة مخصبة تحوي كروموسوماً جسيماً إضافياً، ويكون عدد الكروموسومات فيها $(2n+1)$ ، أنظر الشكل (40/ أ، ب).



أنظّم المعلومات التي تعلّمتها عن متلازمة داون، ثم أعدّ فلماً عنها باستخدام برمجية Movie Maker، مدعماً بالصور، ثم عرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

✓ **أتحقّق:** أوضّح الأعراض التي تظهر على شخص يعاني متلازمة داون.

أ



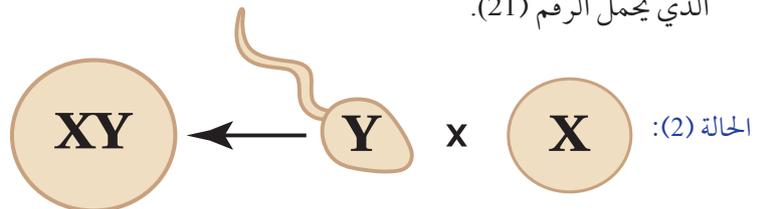
الحالة (1): 24 كروموسوماً $(n+1)$ إضافة الكروموسوم الذي يحمل الرقم (21). 23 كروموسوماً (n) 47 كروموسوماً $(2n+1)$ أنثى تعاني متلازمة داون.

الشكل (40):

أ. حالتنا إخصاب نتج من كل منهما ذكر وأنثى يعانيان متلازمة داون.
ب. أنثى تعاني متلازمة داون.

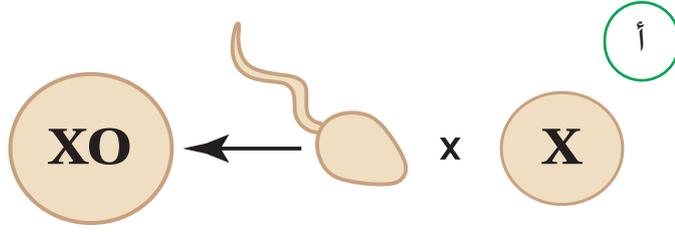
أستنتج: أيّ الجاميتات نتج من عدم انفصال الكروموسومين الجسامين في الحالة (1) والحالة (2)؟

ب

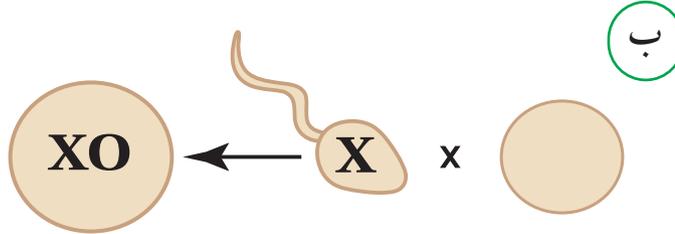


الحالة (2): 24 كروموسوماً $(n+1)$ إضافة الكروموسوم الذي يحمل الرقم (21). 23 كروموسوماً (n) 47 كروموسوماً $(2n+1)$ ذكر يعاني متلازمة داون.





23 كروموسوماً (n) 22 كروموسوماً جسيماً (n-1) 45 كروموسوماً (2n-1) أنثى تعاني متلازمة تيرنر.



22 كروموسوماً جسيماً. 23 كروموسوماً (n). 45 كروموسوماً (2n-1) أنثى تعاني متلازمة تيرنر.

الشكل (41): حالتا إخصاب نتج من كلٍّ منهما أنثى تعاني متلازمة تيرنر. أستنتج: أيُّ الجاميتات نتج من عدم انفصال الكروموسومين الجنسيين في الحالة (أ) والحالة (ب)؟

متلازمة تيرنر Turner Syndrome

تحدث هذه المتلازمة بسبب عدم انفصال زوج الكروموسومات الجنسية عند الذكر أو الأنثى؛ فينتج جاميت يحوي (n-1). وعند إخصابه مع جاميت طبيعي (n)، تنتج بويضة مُحَصَّبة (2n-1)، طرازها الكروموسومي الجنسي هو XO. تكون الأنثى المصابة بهذه المتلازمة قصيرة القامة، وعقيمة في أغلب الأحيان، وتعاني اضطرابات في القلب والأوعية الدموية، وضعفًا في السمع. أمّا عدد الكروموسومات في كل خلية من خلاياها الجسمية فيبلغ 45 كروموسوماً، أنظر الشكل (41).

الربط بالصحة

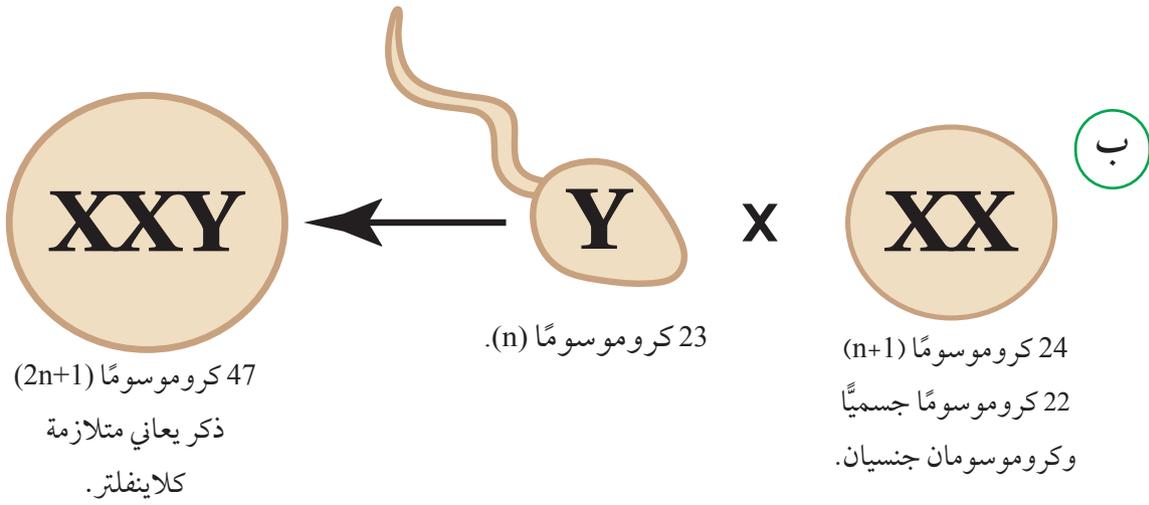
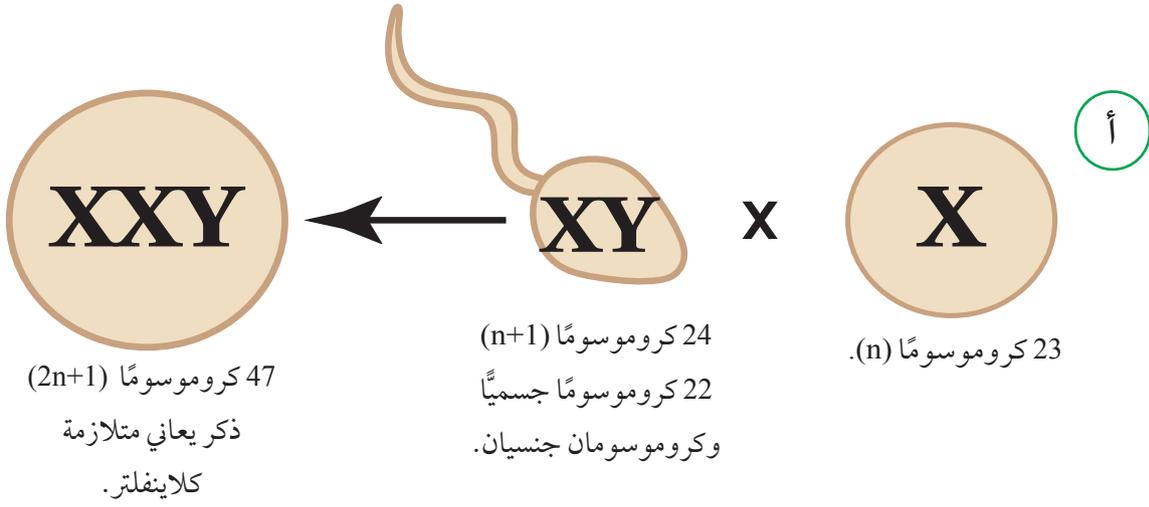
فحص ما قبل الزواج

اهتمت وزارة الصحة الأردنية ببرامج الوقاية من الأمراض الوراثية، مثل البرنامج الإلزامي لفحص ما قبل الزواج؛ للكشف عن مرض الثلاسيميا (فقر دم حوض البحر الأبيض المتوسط)؛ وهو فقر دم وراثي ناتج من طفرة جينية تؤدي إلى تكسّر خلايا الدم الحمراء. وقد أصبح هذا الفحص إلزامياً لكل المقبلين على الزواج، بدءاً بعام 2004م؛ ما أسهم في خفض أعداد المواليد المصابين بهذا المرض.

الربط بالمجتمع

أحاول أن أكون فاعلاً

يتباين الأفراد الذين يعانون متلازمة داون في قدراتهم العقلية، ويُحَفَّز الدعم المعنوي لهم من العائلة والمجتمع والمتخصّصين في تدريب هذه الفئة على مشاركتهم في أنشطة عديدة، وإكسابهم مهارات مُتنوّعة تُعدُّهم لدخول سوق العمل؛ كلٌّ بحسب قدراته وإمكاناته؛ إذ يُسهم التدريب في صقل شخصياتهم، ومنحهم فرصة الاندماج في المجتمع، وتوفير دخل مادي لهم؛ ما يساعدهم على تحقيق الذات، والاعتماد على النفس.



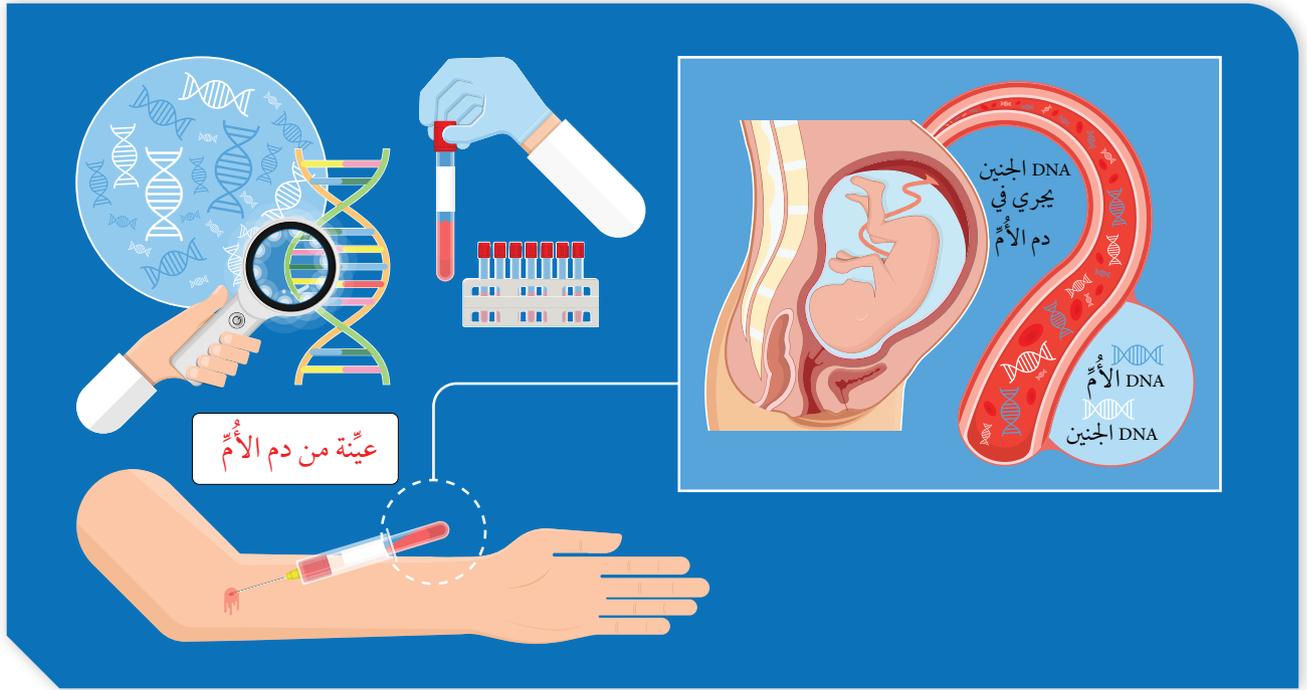
الشكل (42): حالتنا إخصاب نتج من كلٍّ منهما ذكر يعاني متلازمة كلاينفلتر.

أستنتج: أيُّ الحالتين تدلُّ على عدم انفصال الكروموسومين الجنسيين أثناء تكوين الجاميتات الذكرية؟ أبرر إجابتي.

متلازمة كلاينفلتر Klinefelter Syndrome

تحدث هذه المتلازمة بسبب عدم انفصال زوج الكروموسومات الجنسية عند الذكر أو الأنثى؛ فينتج جاميت يحوي (n+1). وعند إخصابه مع جاميت طبيعي (n)، تنتج بويضة مُحَصَّبة (2n+1)، أنظر الشكل (42)، ويبلغ عدد الكروموسومات في كل خلية من خلاياه الجسمية 47 كروموسوماً. من أعراض هذه المتلازمة: صعوبات في التعلُّم، وصغر في حجم الخصيتين.

أفكر: إذا أصيب أحد الأفراد بمتلازمة كلاينفلتر ومتلازمة داون، فأتوقع طرازه الكروموسومي الجنسي، وعدد كروموسوماته الجسمية.



الكشف عن الاختلالات الوراثية لدى الإنسان

Detection of Genetic Disorders in Human

يُمكن تشخيص الاختلال في عدد الكروموسومات بأخذ خلايا من الشخص تحتوي على نواة، ثم عمل مخطّط كروموسومي يُبيّن عدد الكروموسومات. بعد ذلك تُقارَن الكروموسومات بمُخطّط كروموسومي طبيعي؛ لتعرّف الخلل في عدد الكروموسومات (إن وُجد). يُمكن أيضًا الكشف عن وجود أليل يُسبّب اختلالاً وراثياً للشخص إذا كان تسلسل النيوكليوتيدات في هذا الأليل معروفًا.

تشخيص الاختلالات الوراثية لدى الجنين

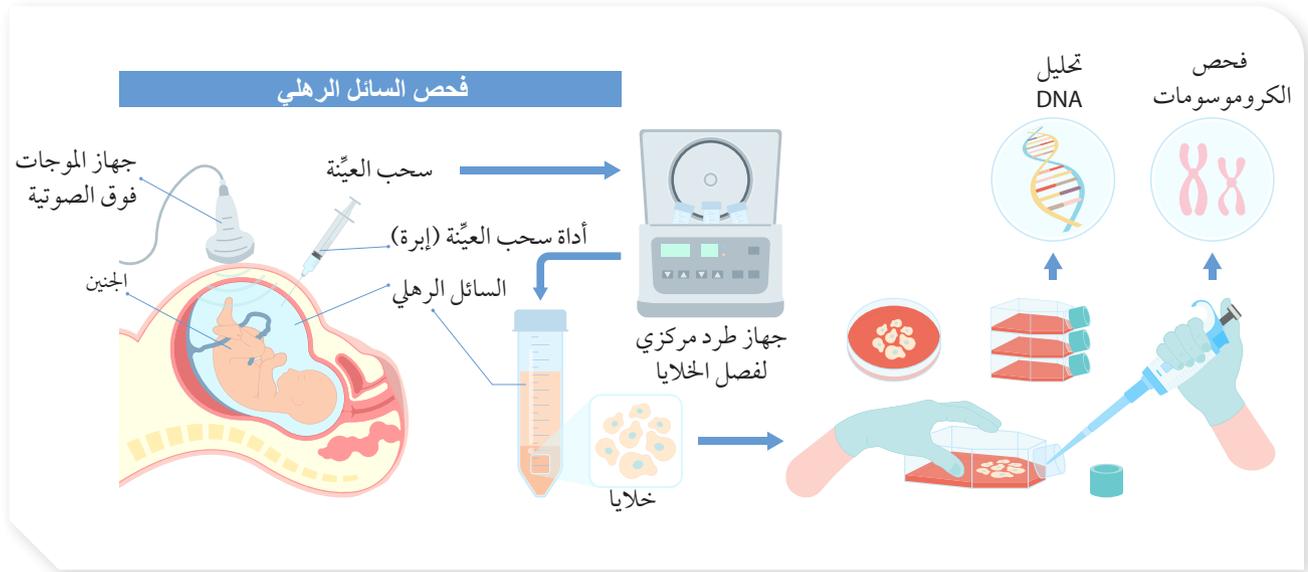
Detection of Genetic Disorders in Fetus

يُمكن الكشف عن الاختلالات الوراثية لدى الجنين بطرائق عدّة، منها: أخذ عيّنة دم من الأم الحامل بعد الأسبوع العاشر من الحمل؛ إذ يحتوي دمها على قطع صغيرة من DNA للجنين، يُمكن استخدامها في الكشف عن بعض الاختلالات لدى الجنين، أنظر الشكل (43).

تتشكّل حول الجنين طبقات من الأغشية لحمايته وتغذيته؛ إذ ينشأ الغشاء الرهلي Amnion حول الجنين مباشرة، وهو يحتوي على سائل يسمى السائل الرهلي (الأمنيوسي) Amniotic Fluid الذي يحمي الجنين من الصدمات، وينشأ خارجه غشاء الكوريون.

الشكل (43): أخذ عيّنة من دم الأم لفحص DNA للجنين.

أفكر: من الاختلالات الوراثية في عدد الكروموسومات الجنسية، وجود أنثى ثلاثية الكروموسوم الجنسي (X)، وطرزها الكروموسومي الجنسي هو (XXX)، وعدد الكروموسومات الكلي في خلاياها 47 كروموسومًا. أتوقع: أيّ حالتي الإخصاب الآتيتين قد ينتج منهما ولادة أنثى ثلاثية الكروموسوم الجنسي: (حيوان منوي يحوي 22 كروموسومًا جسميًا + كروموسوم جنسي Y) وبويضة (22 كروموسومًا جسميًا + كروموسومين جنسيين XX)، أم (حيوان منوي يحوي 22 كروموسومًا جسميًا + كروموسوم جنسي X) وبويضة (22 كروموسومًا جسميًا + كروموسومين جنسيين XX)؟



الشكل (44): فحص الاختلالات الوراثية بأخذ عيّنة من السائل الرهلي.

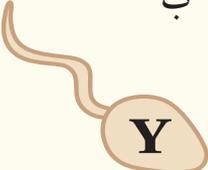
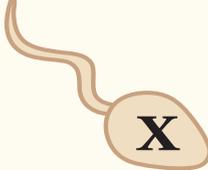
تُخرج من غشاء الكوريون بروزات إصبعية تُسمى الخملات الكوريونية، وهي تمتد إلى بطانة الرحم لتغذية الجنين منها؛ حيث يمكن أيضاً تشخيص الاختلالات الوراثية لدى الجنين بأخذ عيّنة من خملات الكوريون، أو من السائل الرهلي؛ إذ إنّ الكروموسومات الموجودة في خملات الكوريون هي نفسها الموجودة في خلايا الجنين، فضلاً عن احتواء السائل الرهلي على خلايا خاصة بالجنين، وهرمونات، ومواد أخرى ذات علاقة بنموه وفي كلتا الحالتين، تُؤخذ عيّنة عن طريق إبرة، ويُستخدم جهاز الموجات فوق الصوتية في تحديد المكان المناسب لأخذ العيّنة.

بعد ذلك تُفصل خلايا الجنين عن السائل الرهلي باستخدام جهاز الطرد المركزي، ثم تُزرع للحصول على كمية كافية منها. أمّا عيّنة خملات الكوريون فتحتوي غالباً على كمية كافية من الخلايا.

تُفحص خلايا العيّنتين لتعرّف عدد الكروموسومات، وتحليل DNA، لتحديد إن كان الجنين مصاباً باختلال وراثي (مثل: متلازمة داون، والتليف الكيسي) أم لا، أنظر الشكل (44) الذي يبيّن خطوات تشخيص الاختلالات الوراثية بأخذ عيّنة من السائل الرهلي.

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: أُصنِّف الطفرات الآتية إلى جينية وكروموسومية: الاستبدال، تبديل الموقع، إضافة زوج من النيوكليوتيدات، التكرار، القلب.
2. أُميِّز طفرة التكرار من طفرة تبديل الموقع.
3. أُقارن بين كلِّ مما يأتي:
- أ . متلازمة كلاينفلتر ومتلازمة تيرنر من حيث: جنس الفرد، وعدد الكروموسومات الجسمية والجنسية في الخلية الجسمية.
- ب. طفرة الاستبدال وطفرة الإزاحة من حيث التأثير.
4. أوظف البيانات الوارد ذكرها في الشكل (أ) والشكل (ب) في الإجابة عن الأسئلة الآتية:

<p>ب</p>  <p>24 كروموسومًا (n+1) إضافة الكروموسوم الذي يحمل الرقم (21).</p>	<p>أ</p>  <p>24 كروموسومًا (n+1) إضافة الكروموسوم الذي يحمل الرقم (21).</p>
---	--

- أ . أحسب عدد الكروموسومات في البويضة المُخصَّبة الناتجة من إخصاب الحيوان المنوي لبويضة طبيعية في الحالة (أ) والحالة (ب).
- ب. أحدد الجنس في كل بويضة مُخصَّبة ناتجة في كلتا الحالتين.
- ج. أستنتج اسم المتلازمة في كلتا الحالتين.
5. أفسر: يُعدُّ مرض هنتغتون ومرض التليف الكيسي من الأمراض غير المرتبطة بالجنس.

6. أهدد نوع كل من الطفرة رقم (1)، والطفرة رقم (2) في الشكل الآتي.

	قبل حدوث الطفرة	الطفرة (1)	الطفرة (2)
DNA	TTC	ATC	TCC
mRNA	AAG	UAG	AGG
	Lys	STOP	Arg

7. لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أهددها:

1. عدد الكروموسومات في حيوان منوي لذكر مصاب بالتليف الكيسي:

- أ. 45 ب. 46 ج. 23 د. 24

2. الطفرة الكروموسومية التي تحدث عندما ينفصل جزء من الكروموسوم ويتصل بكروموسوم مماثل له تدعى:

- أ. حذف. ب. تكرار. ج. قلب. د. تبديل الموقع.

3. كم نوعاً من الجاميتات ينتج عند عدم انفصال الكروماتيدات الشقيقة لأحد الكروموسومات ضمن إحدى الخلايا في أثناء المرحلة الثانية من الانقسام المنصف؟

- أ. 1 ب. 2 ج. 3 د. 4

4. تنتج الخلية ثلاثية المجموعة الكروموسومية (3n) من إخصاب جاميت طبيعي مع جاميت آخر يحوي:

- أ. n+2 ب. n+1 ج. 2n د. n-1

5. النبات الذي يُعدُّ مثلاً على عدم انقسام السيتوبلازم في البويضة المُخصَّبة بعد تضاعف الكروموسومات:

- أ. البابايا. ب. الصفصاف. ج. السلم. د. الكركديه الصيني.

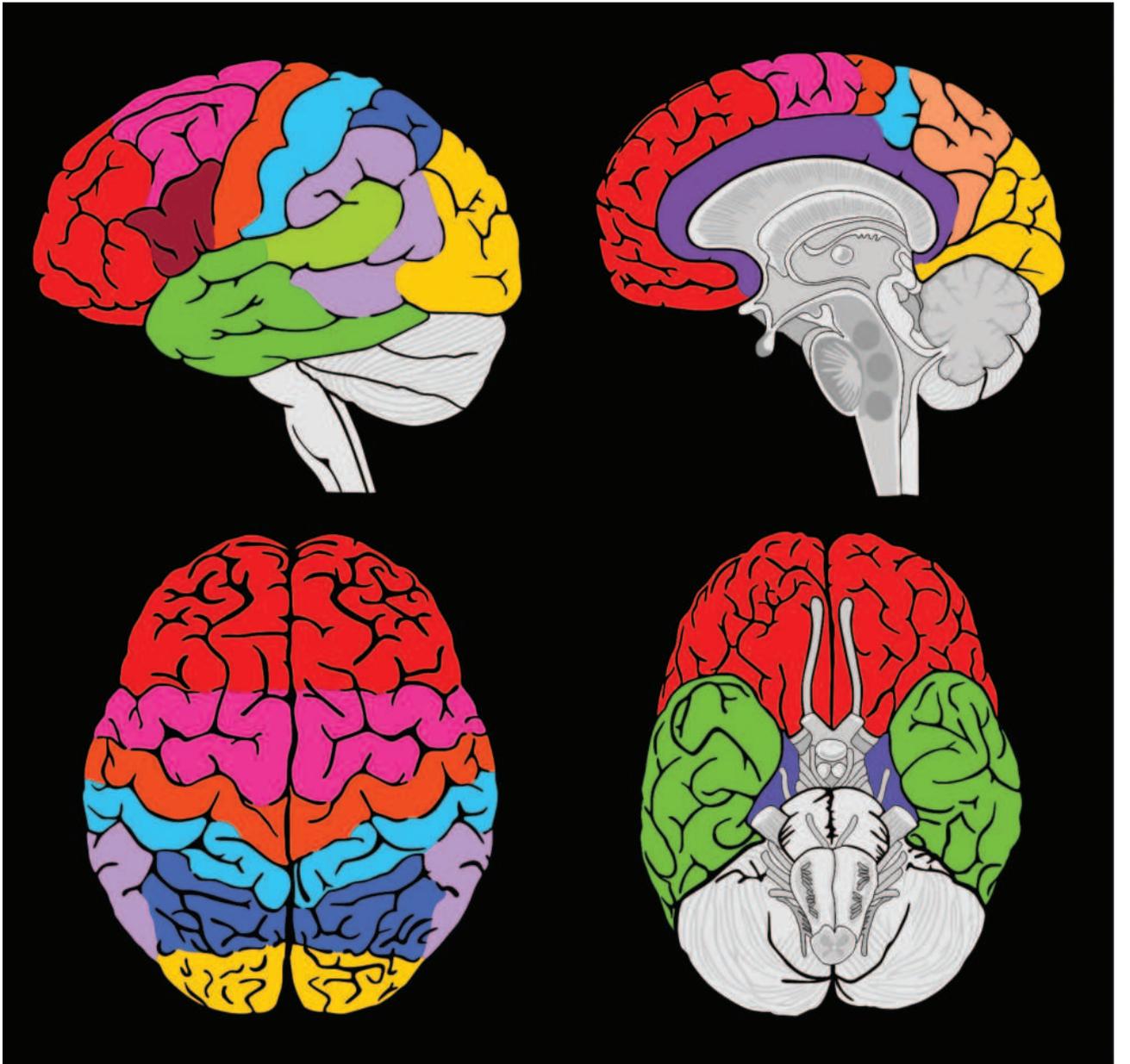
6. نوع الطفرة في تركيب الكروموسوم في الشكل المجاور هي:



- أ. حذف. ب. تكرار. ج. تبديل موقع. د. قلب.

الخرائط الدماغية Brain Maps

تُستخدم تكنولوجيا خرائط الدماغ ثلاثية الأبعاد في تشخيص الحالات المرضية المزمنة (مثل مرض باركنسون)، وتخطيط العمليات الجراحية (مثل عمليات أورام المخ)، وتحديد الموقع الدقيق لوظائف الدماغ الفردية (مثل: الكلام، والذاكرة، والحركة). وهي تُستخدم أيضًا قبل الإجراء الخاص بالعمليات الجراحية وأثناء ذلك؛ لتمييز أنسجة الدماغ السليمة من تلك المريضة.



السؤال الأوّل:

لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أحدّها:

1. أجرى باحث تلقيحًا لنباتات بازلاء بيضاء الأزهار وأخرى أرجوانية الأزهار، وغير مُتماثلة الأليلات. إذا كان عدد النباتات الناتجة هو 1200 نبات، فإنّ عدد النباتات بيضاء الأزهار هو:

- أ- 1200 نبات. ب- 600 نبات.
ج- 300 نبات. د- 900 نبات.

2. يسود أليل لون العيون الأسود B على أليل لون العيون الأحمر b. إحدى الآتية تُمثّل الطرز الشكلية للون العيين ونسبها في الأفراد الناتجين من تزاوج فأر أسود العيين وغير مُتماثل الأليلات وفأرة حمراء العيين:

- أ- 75% أسود: 25% أحمر.
ب- 50% Bb: 50% bb.
ج- 25% BB: 25% Bb: 50% bb.
د- 50% أسود: 50% أحمر.

3. أجرت باحثة تلقيحًا لنباتي بندورة، لون الساق في أحدهما أرجواني، وفي الآخر أخضر، فكانت جميع النباتات الناتجة أرجوانية الساق. إحدى الآتية تُفسّر نتائج التلقيح:

- أ- الطراز الجيني للنبات أخضر الساق هو Gg، والطراز الجيني للنبات أرجواني الساق هو gg.
ب- الطراز الجيني للنبات أخضر الساق هو GG، والطراز الجيني للنبات أرجواني الساق هو gg.
ج- الطراز الجيني للنبات أخضر الساق هو gg، والطراز الجيني للنبات أرجواني الساق هو GG.
د- الطراز الجيني للنبات أخضر الساق هو gg، والطراز الجيني للنبات أرجواني الساق هو Gg.

4. الطراز الجيني الذي ينتج منه عدد أنواع أكثر من الجاميتات هو:

- أ- Tt. ب- AATT.
ج- ggaatt. د- AAGGTT.

5. تزوّج شاب مصاب بعمى الألوان بفتاة غير مصابة بهذا المرض. لم تكن والدته الشاب مصابة بالمرض، وكان والده مصابًا به. أمّا والد الفتاة ووالدها فلم يكونا مصابين بالمرض. أنجب الزوجان طفلًا ذكرًا مصابًا بالمرض، وكان مصدر الأليل المسؤول عن ظهور إصابته بالمرض هو:

- أ- جدّه لأُمّه. ب- جدّه لأبيه.
ج- جدّته لأُمّه. د- جدّته لأبيه.

6. تُعدُّ وراثة لون الأزهار في نبات الكاميليا مثالًا على:

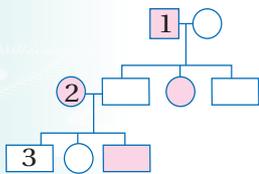
- أ- السيادة التامة.
ب- السيادة المُشتركة.
ج- الصفات المُرتبطة بالجنس.
د- الصفات مُتعدّدة الجينات.

7. تزوّج شاب فصيلة دمه B بفتاة فصيلة دمها A، فأنجبا ذكرًا فصيلة دمه AB، وأنثى فصيلة دمها O. إحدى الآتية تُمثّل الطرز الجينية للشاب والفتاة:

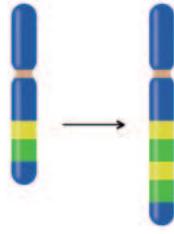
- أ- I^AI^A، I^Bi ب- I^AI^A، I^BI^B.
ج- I^Ai، I^Bi د- I^Ai، I^BI^B.

8. تتبّع باحث وراثة صفة مُعيّنة في عائلة، وصمّم لذلك سجل النسب الآتي الذي يُمثّل فيه المربع ذكرًا، وُتمثّل فيه الدائرة أنثى، ويدلّ فيه الشكل المُظلل على ظهور الصفة. الطرز الجينية للأفراد الذين يحملون الأرقام: (1, 2, 3) على الترتيب هي:

- أ- X^aY، X^AX^a، X^AY ب- X^aY، X^aX^a، X^AY
ج- X^AY، X^AX^A، X^aY د- X^aY، X^AX^a، X^aY



مراجعة الوحدة



9. نوع الطفرة الكروموسومية في الشكل المجاور هو:

- أ- حذف. ب- قلب.
ج- إضافة. د- تكرار.

10. الطفرة التي ينتج منها تغيير كودون في جزيء mRNA، يُترجم إلى الحمض الأميني الأصلي هي:

- أ . كروموسومية حذف. ب. جينية صامتة. ج. كروموسومية قلب. د. جينية غير مُعبّرة.

11. الاختلال الناتج من خلل في عدد الكروموسومات الجنسية هو:

- أ . التليّف الكيسي. ب. متلازمة داون. ج. مرض هنتنغتون. د. متلازمة تيرنر.

12. يمكن الكشف عن الاختلالات الوراثية لدى الجنين من خلال أخذ عينة دم من الأم الحامل بعد الأسبوع :

- أ . الرابع. ب. الثامن. ج. العاشر. د. التاسع.

13. في نوع من الطيور لون الجسم وطول الذيل صفتان مرتبطتان على نفس الكروموسوم، وعند إجراء تزاوج بين طير أسود

اللون طويل الذيل مع آخر أبيض اللون قصير الذيل، كان الأفراد الناتجون يحملون الصفات الشكلية والنسب الآتية:

45.5% طيور سوداء اللون طويلة الذيل، 45.5% طيور بيضاء اللون قصيرة الذيل، 4.5% طيور سوداء اللون قصيرة

الذيل، 4.5% طيور بيضاء طويلة الذيل. إذا علمت أن أليل اللون الأسود B سائد على الأبيض b، وأليل طول الذيل

T سائد على أليل قصر الذيل t، فتكون نسبة الأفراد الذين لا يشبهون الآباء:

- أ . 45.5% ب. 91% ج. 4.5% د. 9%

14. خلية تحوي 6 أزواج من الكروموسومات، إذا حدث فيها طفرة عدم انفصال زوج واحد من الكروموسومات في

المرحلة الأولى من الانقسام المنصف، فإن الجاميتات الناتجة:

أ . جاميتات تحمل 7 كروموسومات وجاميتات تحمل 5 كروموسومات.

ب. جاميتات تحمل 4 كروموسومات وجاميتات تحمل 2 كروموسومات.

ج. جاميتات تحمل 7 كروموسومات وجاميتات تحمل 5 كروموسومات وجاميتات تحمل 6 كروموسومات.

د . جاميتات تحمل 4 كروموسومات وجاميتات تحمل 2 كروموسومات وجاميتات تحمل 3 كروموسومات.

15. إذا كانت نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة (18%) وعدد الأفراد الكلي (900) فرد، فإن عدد الأفراد الذين يشبهون آبائهم:

- أ . 162 ب. 738 ج. 150 د. 700

16. إذا تزوج رجل فصيلة دمه (AB) من فتاة فصيلة دم أمها (B) ووالدها فصيلة دمه (O)، فإن نسبة إنجابها أبناء فصيلة

دمهم (B) هي:

- أ . 50% ب. 100% ج. 75% د. 25%

17. ظهور الأبناء بنسبة 1 : 3 بدلاً من النسبة 1:3:3:9 علمًا أن الطراز الجيني للأبوين $TtRr \times TtRr$ يدل على:

- أ . انعزال الصفات. ب. التوزيع الحر. ج. المرتبطة بالجنس. د. الجينات المرتبطة.

مراجعة الوحدة

18. كروموسوم في العنكب يحمل 4 جينات، إذا كانت نسبة التراكيب الجينية الجديدة الناتجة عن العبور هي: $(A-T) = 3\%$ وبين $(C-T) = 7\%$ ونسبة الارتباط بين $(R-A) = 92\%$ ونسبة الارتباط بين $(C-A) = 90\%$ والمسافة بين $(C-R) = 2$ وحدة خريطة، فإن الترتيب الصحيح لهذه الجينات هو:

أ. ARTC ب. ATRC ج. RCTA د. CTAR

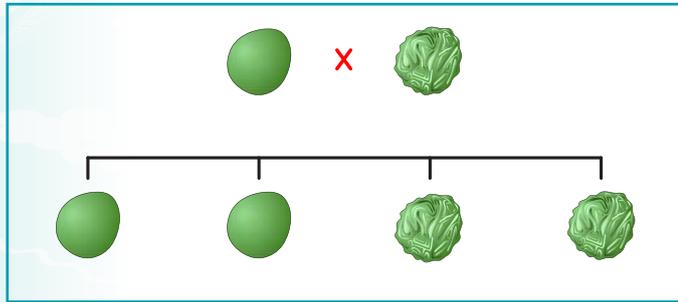
19. إذ أجري تلقيح بين نباتي كاميليا أحدهما أزهاره حمراء مُوشَّحة بالأبيض والآخر أبيض الأزهار، فإن احتمال إنتاج نباتات بيضاء الأزهار هو:

أ. $\frac{1}{4}$ ب. $\frac{1}{2}$ ج. $\frac{3}{4}$ د. 1

20. إذا كان الطراز الجيني لأحد الأبوين هو AaBB ونتج فرد طرازه الجيني (aaBB) بنسبة (50%)، فإن الطراز الجيني للأب الآخر هو:

أ. aaBb ب. aaBB ج. AaBb د. AAAbb

السؤال الثاني:



أعتمد الشكل المجاور الذي يُمثل البذور الناتجة عند تلقيح نباتي بازيلاء، أحدهما أملس البذور، والآخر مُجعد البذور، وأستنتج الطراز الجيني لكل من الأبوين باستخدام الرموز المناسبة.

السؤال الثالث:

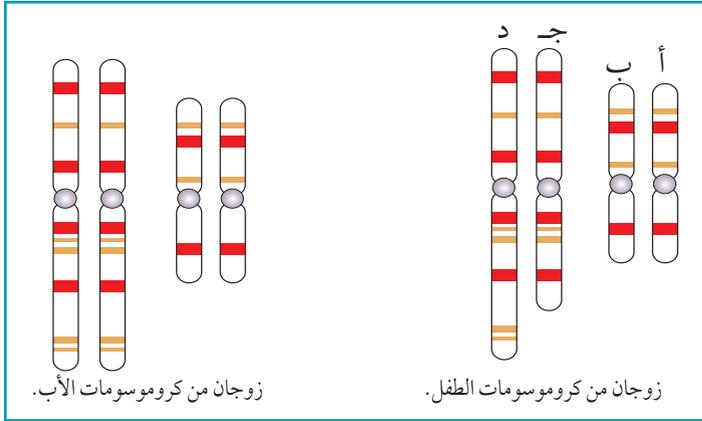
أوضِّح الفرق بين تأثير الطفرة وتأثير الوراثة فوق الجينية في تسلسل النيوكليوتيدات في جزيء DNA.

السؤال الرابع:

ينتج مرض وراثي من جين يرتبط بالجنس، ويُرمز إليه بالرمز (A). تزوّج شاب غير مصاب بهذا المرض بفتاة مصابة به، وكان والدها مصاباً به أيضاً، وأُمُّها غير مصابة به، وجدَّتها لأبيها مصابة به أيضاً. أَسْتنتج الطرز الجينية لكل من الشاب، والفتاة، ووالدة الفتاة، ووالد الفتاة.

السؤال الخامس:

تزوّج رجل مصاب بعمى الألوان بامرأة غير مصابة بهذا المرض، فأنجبا أنثى غير مصابة به. بعد ذلك تزوّج شاب غير مصاب بهذا المرض بالابنة، فأنجبا ثلاثة أبناء: ذكر مصاب بالمرض، وآخر غير مصاب به، وأنثى مصابة به وبمتلازمة تيرنر: أ- أَصمِّم سجل نسب يُبيِّن توارث صفة عمى الألوان في هذه العائلة. ب- أفسِّر سبب إصابة الأنثى المصابة بمتلازمة تيرنر بمرض عمى الألوان.



السؤال السادس:

يُمثّل الشكل المجاور زوجين من الكروموسومات لأب طبيعي، وطفله ذي القدرات العقلية المحدودة الذي يعاني ضعفاً في التحكم في العضلات. أتوقع نوع الطفرة التي حدثت للأُم أثناء تكوين الجاميت الذي نتج من إخصابه هذا الطفل.

السؤال السابع:

	A	B	C	D	E
A	-	29	13	21	6
B	29	-	16	8	35
C	13	16	-	8	19
D	21	8	8	-	27
E	6	35	19	27	-

يبيّن الجدول المجاور المسافات بين 5 جينات محمولة على كروموسوم بوحدة خريطة. أتوصّل إلى ترتيب الجينات على هذا الكروموسوم.

السؤال الثامن:

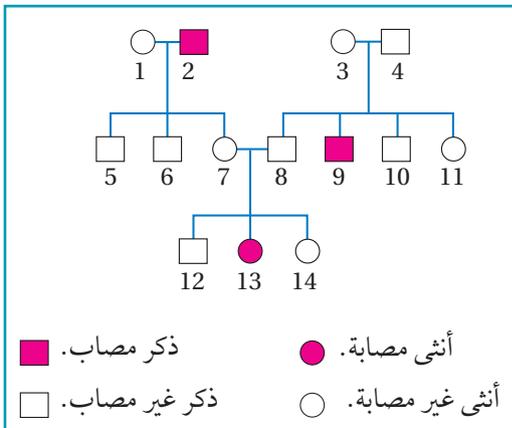
لُقّح نباتان، أحدهما بنفسجي الأزهار، وغير لامع الأوراق، والآخر أبيض الأزهار، ولامع الأوراق. كان أليل لون الأزهار البنفسجية وأليل الأوراق غير اللمعة محمولين على الكروموسوم نفسه، وكان جميع أفراد الجيل الأوّل الناتج من ذوي الأزهار البنفسجية والأوراق غير اللمعة. بعد ذلك لُقّح أفراد الجيل الأوّل مع نباتات بيضاء الأزهار، ولامعة الأوراق، فكان أفراد الجيل الثاني كما في الجدول الآتي:

الطرز الشكلية	بنفسجية الأزهار، وغير لامعة الأوراق	بيضاء الأزهار، ولامعة الأوراق	بنفسجية الأزهار، ولامعة الأوراق	بيضاء الأزهار، وغير لامعة الأوراق
عدد الأفراد الناتجين	50	46	12	10

أ. أحلّل البيانات: أي الصفات سائدة؟ أيها مُتنحّية؟

ب. أحسّب المسافة بين جيني الصفتين.

ج. أفسّر سبب ظهور هذه النتائج.



السؤال التاسع:

أحلّل الشكل المجاور الذي يُمثّل سجل النسب لورثة مرض لدى الإنسان، ثم أذكر دليلاً من الشكل يُؤكّد أنّ أليل الإصابة:

أ. مُتنحّ.

ب. محمول على كروموسوم جسمي.

التكنولوجيا الحيوية

Biotechnology

الوحدة

4

قال تعالى:

﴿وَقُلِ الْحَمْدُ لِلَّهِ سِيرِكُمْ أَيْنَهُ فَنَعْرِفُهَا وَوَمَا رَبُّكَ

بِغَفْلٍ عَمَّا تَعْمَلُونَ﴾ (سورة النمل، الآية 93).

أتأمل الصورة

أسهم تطوُّر أدوات البيولوجيا الجزيئية الحديثة، واستخدام قواعد البيانات الحاسوبية في تعرُّف تسلسل نيوكليوتيدات الجينوم البشري. فما علاقة ذلك بتقدُّم علم الأمراض والصيدلة؟

الفكرة العامة:

تُسهم علوم البيولوجيا الجزيئية والأدوات المخبرية والحواسيب في تطوير المُنتجات التي تساعد على تحسين حياة الإنسان.

الدرس الأول: أدوات التكنولوجيا الحيوية.

الفكرة الرئيسة: تُستخدَم في التكنولوجيا الحيوية أدوات وتقنيات تساعد في تعديل المادة الوراثية DNA، ونقلها، وتكثيرها، وفصلها.

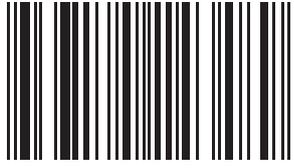
الدرس الثاني: تطبيقات التكنولوجيا الحيوية.

الفكرة الرئيسة: أسهم التقدم التكنولوجي وتطور المعرفة العلمية على المستوى الجزيئي للخلية في تحسين الخدمات في المجالات كافة، وإيجاد حلول لمشكلات مختلفة، ومن أهم التطبيقات: البصمة الوراثية، وهندسة الجينات.

تجربة استهلاكية

حل لغز الجريمة

تعدُّ بصمة DNA من التطبيقات المهمة في التحقيقات الجنائية التي تُسهم في التوصل إلى الجناة، وذلك بالمقارنة بين بصمة DNA لكل شخص من المشتبه بهم في جريمة مُعيَّنة، وبصمة DNA لعينات أُخذت من مسرح الجريمة.



المواد والأدوات:

صور مكبَّرة للرموز التجارية Barcodes المطبوعة على 6 مُنتجات مختلفة.
ملحوظة: يعمل الطلبة في هذه التجربة ضمن مجموعات رباعية أو خماسية.

خطوات العمل:

- 1 أضع 5 رموز تجارية في صندوق، ثم أصورّ الرمز التجاري السادس صورتين، ثم أحتفظ بإحدهما جانبًا، وأضع الأخرى في الصندوق.
- 2 **أجرب:** أسحب الرموز التجارية تبعًا من الصندوق، مع ملاحظة الخطوط التي عليها، ثم أدون ملاحظاتي.
- 3 **أقارن** الرموز التجارية بالرمز الذي احتفظتُ به جانبًا، ثم أحدد الرمز التجاري المُطابق له.

التحليل والاستنتاج:

- 1 **أستنتج:** إذا مثل الرمز التجاري الجانبي بصمة DNA لعينة من مسرح جريمة، ومثل كل رمز من الرموز التجارية في الصندوق بصمة DNA لمُشتبه به في الجريمة، فمن الجاني من الأشخاص المُشتبه بهم؟
- 2 **أتواصل:** أناقش زملائي/ زميلاتي في النتيجة التي توصلتُ إليها.

أدوات التكنولوجيا الحيوية Biotechnology Tools



الشكل (1): بعض المنتجات الغذائية.

تهتم التكنولوجيا الحيوية بتوظيف الكائنات الحيّة والمعلومات المتعلّقة بها في مجالات عدّة، واستخدامها في صنع بعض المتّجات وتطويرها لخدمة البشريّة. استخدم الإنسان بعض الكائنات الحيّة ومُنتجاتها منذ القَدَم لتحسين مناحي حياته،

مثل: إضافة الخميرة إلى الطحين لإعداد الخبز، وإدخال البكتيريا في عمليات التعدين وصناعة الألبان ومُنتجاتها، أنظر الشكل (1). وفي ظلّ التطوُّر في علم الوراثة والبيولوجيا الجزيئية، أصبح الإنسان يستخدم الكائنات الحيّة بعد تعديل المادة الوراثية فيها ومعالجتها، ثم ينقلها إلى كائن حيّ آخر، أنظر الشكل (2). تتطلّب التكنولوجيا الحيوية وجود أدوات ومواد مختلفة، مثل: إنزيمات الحمض النووي DNA، ونواقل الجينات.

الشكل (2): التكنولوجيا الحيوية الحديثة.

الفكرة الرئيسيّة:

تُستخدَم في التكنولوجيا الحيوية أدوات وتقنيات تساعد في تعديل المادة الوراثية DNA، ونقلها، وتكثيرها، وفصلها.

نتائج التعلُّم:

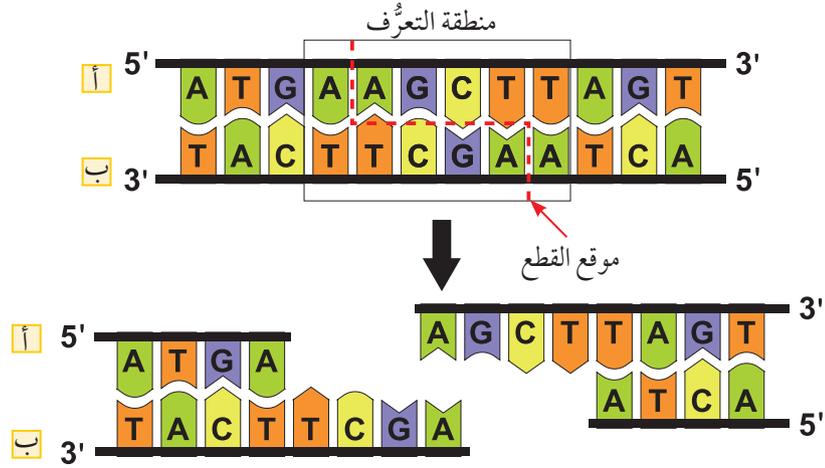
– أصف الأدوات المختلفة المُستخدَمة في معالجة DNA.
– أوّضح أهم التقنيات المُستخدَمة في التكنولوجيا الحيويّة.

المفاهيم والمصطلحات:

Restriction Enzymes	إنزيمات القطع المُحدّد
Sticky Ends	النهايات اللزجة
Blunt Ends	النهايات غير اللزجة
Plasmids	البلازميدات
Reverse Transcriptase	إنزيم النسخ العكسي
Polymerase Chain Reaction	تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسل
DNA sequencing	تسلسل الحمض النووي

الشكل (3): منطقة التعرف، وموقع القطع لإنزيم القطع المحدد Hind III.

أدوّن تسلسل النيوكليوتيدات في منطقة التعرف من 5' إلى 3' في السلسلة (أ) والسلسلة (ب).



إنزيمات الحمض النووي DNA DNA Enzymes

إنزيمات القطع المحدد Restriction Enzymes

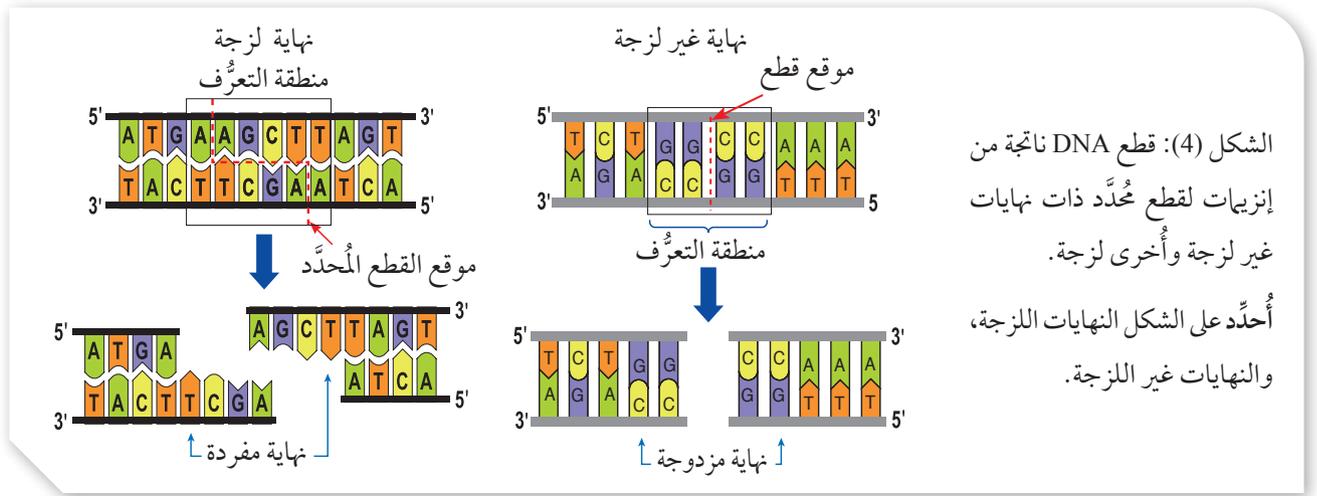
تُسمى الإنزيمات التي تقطع جزيء DNA في مناطق مُحددة؛ للحصول على الجين المطلوب **إنزيمات القطع المحدد Restriction Enzymes**، وهي إنزيمات مُتخصصة تتعرف تسلسلاً مُحدداً من النيوكليوتيدات في منطقة تُسمى منطقة التعرف، ويكون تسلسل النيوكليوتيدات في إحدى سلسلتي DNA (من النهاية 5' إلى النهاية 3') هو التسلسل نفسه للسلسلة المُقابلة لها (من النهاية 5' إلى النهاية 3') في منطقة التعرف، وتقطع هذه الإنزيمات جزيء DNA عند مواقع مُحددة بين نيوكليوتيدين متتاليين، تُسمى مواقع القطع، أنظر الشكل (3). وقد تتكرر مناطق تعرف إنزيم قطع مُحدد ما على جزيء DNA، فيقطع في أكثر من موقع، بحيث يُنتج أجزاءً مُتعددة الأطوال من DNA.

✓ **أتحقق:** أوضّح المقصود بإنزيمات القطع المحدد.

تنتج أنواع مختلفة من البكتيريا إنزيمات القطع للدفاع عن نفسها ضد أنواع مختلفة من الفيروسات، وتُسمى الإنزيمات تبعاً لجنس البكتيريا المُنتجة لها، ونوعها، وترتيب اكتشاف الإنزيم، أنظر الجدول (1).

الجدول (1): بعض أنواع إنزيمات القطع المحدد.

رقم الإنزيم بحسب ترتيب اكتشافه	السلالة الفرعية	السلالة	النوع	اسم الجنس للبكتيريا	إنزيم القطع المحدد
1	-	R	<i>coli</i>	<i>Escherichia</i>	EcoR I
1	-	H	<i>amyloliquefaciens</i>	<i>Bacillus</i>	BamH I
3	d	-	<i>influenzae</i>	<i>Haemophilus</i>	Hind III
1	-	-	<i>stuartii</i>	<i>Providencia</i>	Pst I



الشكل (4): قطع DNA ناتجة من إنزيمات لقطع محدّد ذات نهايات غير لزجة وأخرى لزجة. أُحدّد على الشكل النهايات اللزجة، والنهايات غير اللزجة.

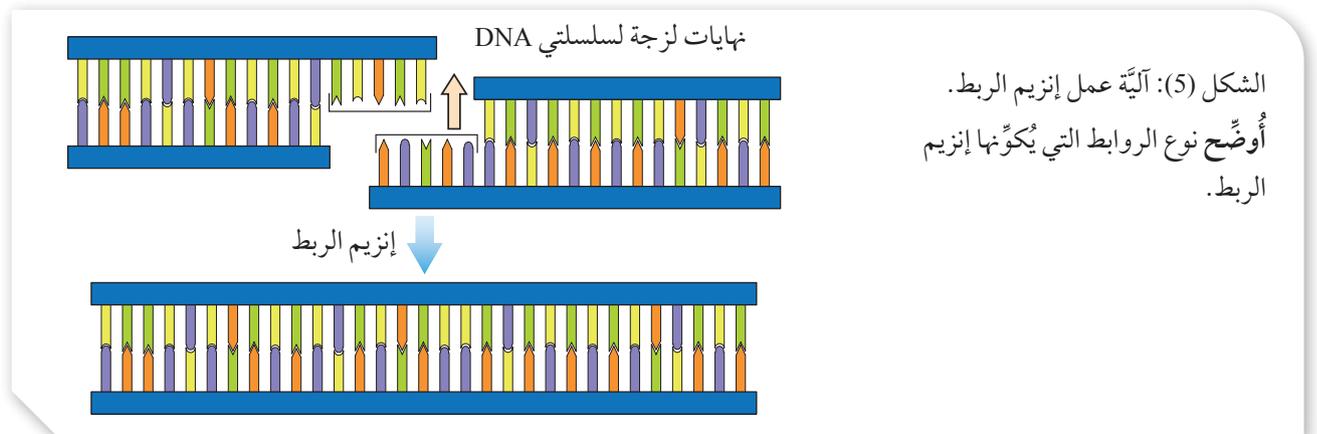
ينتج من بعض إنزيمات القطع المحدّد قطع من DNA ذات أطراف مفردة، وهي تتكوّن من سلسلة واحدة من النيوكليوتيدات، تُسمّى **النهايات اللزجة Sticky Ends**، ويسهل التحامها بنهاية لزجة مُتّمة لها من قطعة DNA أخرى. وكذلك ينتج من بعض إنزيمات القطع المحدّد قطع DNA مزدوجة تتكوّن نهاياتها من سلسلتين من النيوكليوتيدات، وتُسمّى **النهايات غير اللزجة Blunt Ends**، ويصعب التحامها بسلاسل أخرى؛ ما يحدّ من استخدامها في التكنولوجيا الحيوية، أنظر الشكل (4).

إنزيم الربط DNA Ligase

يُستخدم إنزيم الربط في التكنولوجيا الحيوية لربط الجين المعزول وإنتاج DNA مُعاد تركيبه، ولربطه بناقل جينات ينقل الجين المعزول إلى الخلية الحية المُستهدفة من التعديل الجيني، وذلك بتكوين روابط تساهمية فوسفاتية ثنائية الإستر بين نهايات سلسلتي DNA؛ ما يؤدّي إلى التحامها، أنظر الشكل (5).

إنزيم بلمرة DNA مُتحمّل الحرارة Taq DNA Polymerase

إنزيم يُستخدم في بلمرة DNA، ويُستخلص من نوع بكتيريا مُحبّة للحرارة *Thermus aquaticus* تعيش في الينابيع الحارّة؛ إذ يتحمل هذا الإنزيم درجات حرارة عالية، ويُعدّ الإنزيم الأساسي في تقنية تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل (PCR).



الشكل (5): آلية عمل إنزيم الربط. أوّضح نوع الروابط التي يُكوّنّها إنزيم الربط.

إنزيم النسخ العكسي Reverse Transcriptase

يُستخرج من الفيروسات إنزيم يسمى **إنزيم النسخ العكسي Reverse Transcriptase** الذي ينسخ قالب الحمض النووي الريبوزي RNA إلى نسخة من الحمض النووي (DNA)، وهو في الاتجاه المعاكس للاتجاه المعتاد لانتقال

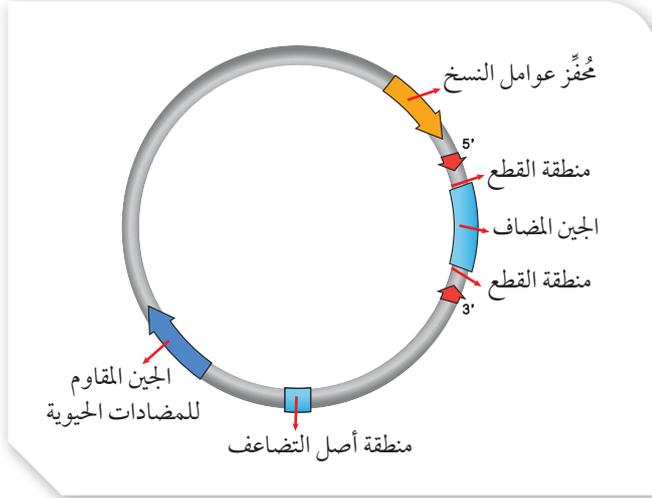
المعلومات الوراثية، ويُعدُّ هذا الإنزيم مهمًّا في تقنيات مقارنة التعبير الجيني من خلال عزل وإنتاج جين معين.

نواقل الجينات Vectors

تُستخدم نواقل الجينات لنقل الجين المرغوب فيه إلى الخلية الحية المُستهدفة، ومن الأمثلة على ذلك:

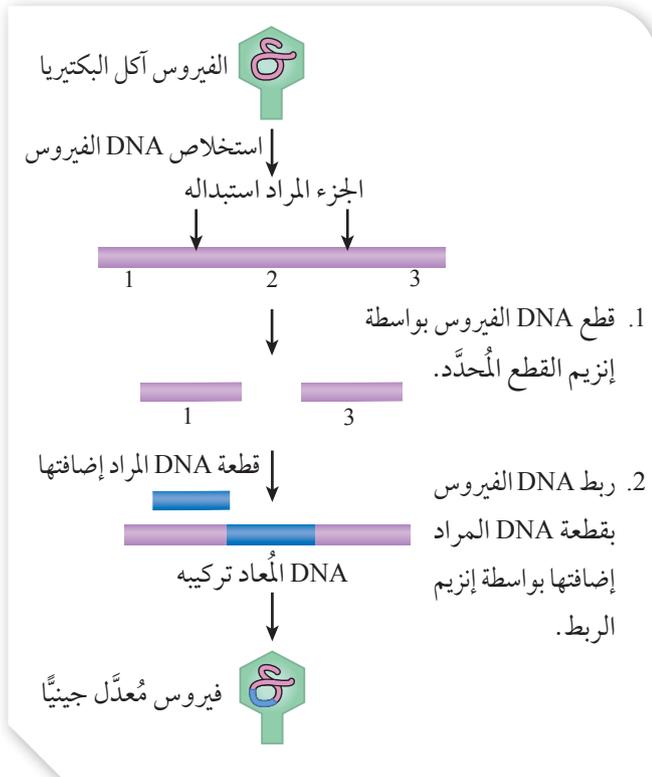
البلازميدات Plasmids: DNA حلقي في سيتوبلازم

البكتيريا، وهو يتضاعف بصورة مستقلة. تحتوي البلازميدات المُستخدمة في التكنولوجيا الحيوية على منطقة مُحفِّز عوامل النسخ Promoter، ومناطق تُعرِّف إنزيمات القطع المُحدَّد، وجينات لمقاومة أنواع مختلفة من المضادات الحيوية، ومنطقة أصل التضاعف Origin of Replication (ORI) التي تسمح بتضاعف البلازميد، أنظر الشكل (6).



الشكل (6): البلازميد المُعاد تركيبه.

الفيروسات آكلة البكتيريا Bacteriophages: تُستخدم بعض أنواع الفيروسات آكلة البكتيريا نواقل جينية عندما تكون قطع DNA المراد نقلها كبيرة الحجم بعد تعديلها جينياً باستخدام إنزيمات القطع المُحدَّد وإنزيم الربط، أنظر الشكل (7).



الشكل (7): التعديل الجيني للفيروس آكل البكتيريا.

الجُسيمات الدهنية Liposomes: حويصلات كروية من الليبيدات المفسفرة Phospholipids تُستعمل لنقل الأليالات السليمة أو الأدوية في المعالجة الجينية.

✓ **أتحقق:** أوضِّح دور منطقة أصل التضاعف في

البلازميد.

محاكاة عمل إنزيمات القطع المُحدّد

تُنتج أنواع مختلفة من البكتيريا إنزيمات القطع للدفاع عن نفسها ضد أنواع مختلفة من الفيروسات، وهي إنزيمات مُتخصّصة تتعرّف تسلسلاً مُحدّداً من النيوكليوتيدات، وتقطع جزيء DNA عند مواقع مُحدّدة بين نيوكليوتيدين متتاليين. وقد يتكرّر التسلسل الذي يتعرّفه إنزيم قطع مُحدّد ما على جزيء DNA، فيقطع في أكثر من موقع؛ ما يُوّدي إلى إنتاج أجزاء مُتعدّدة الأطوال من DNA.

المواد والأدوات: 4 نسخ من تسلسل جزيء DNA التالي، مقص، 4 أقلام مختلفة الألوان.



إرشادات السلامة: استعمال المقص بحذر.

موقع القطع	منطقة التعرّف	الإنزيم
5'-GAATTC-3' 3'-CTTAAG-5'	5'-GAATTC-3' 3'-CTTAAG-5'	EcoRI
5'-GGATCC-3' 3'-CCTAGG-5'	5'-GGATCC-3' 3'-CCTAGG-5'	BamHI
5'-AAGCTT-3' 3'-TTCGAA-5'	5'-AAGCTT-3' 3'-TTCGAA-5'	HindIII
5'-GGCC-3' 3'-CCGG-5'	5'-GGCC-3' 3'-CCGG-5'	HaeIII

خطوات العمل:

- 1 أعتد الجدول أعلاه، وأحدّد مناطق التعرّف وموقع القطع لكل إنزيم على جِدّة على نسخ جزيء DNA.
- 2 **الأحظ** قراءة تسلسل النيوكليوتيدات من 5' إلى 3' في كلتا السلسلتين في منطقة التعرّف لكل إنزيم قطع مُحدّد، ثم أدوّن ملاحظاتي.
- 3 ألوّن مناطق التعرّف ومواقع القطع لكل إنزيم قطع مُحدّد من الإنزيمات الوارد ذكرها في الجدول.
- 4 **أجرب:** أستعمل المقص لقص جزيء DNA في موقع القطع لكل إنزيم قطع مُحدّد من الإنزيمات الوارد ذكرها في الجدول.
- 5 **الأحظ** شكل القطع الناتجة من كل إنزيم قطع مُحدّد، ثم أدوّن ملاحظاتي.

التحليل والاستنتاج:

1. **أقارن** بين نهايات القطع الناتجة من استخدام إنزيمات القطع المُحدّد في النشاط.
2. **أفسّر** تعدّد القطع الناتجة أحياناً عند استخدام إنزيم قطع مُحدّد.
3. **أتوقّع:** أيّ القطع أكثر استخداماً في هندسة الجينات؟
4. **أفسّر** سبب استعمال إنزيم القطع المُحدّد نفسه لقطع الجين المرغوب، وقطع الناقل الجيني عند إنتاج DNA المُعاد تركيبه.

تقنيات التكنولوجيا الحيوية Biotechnology Techniques

تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسل (PCR) Polymerase Chain Reaction

تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسل (PCR) Polymerase Chain Reaction

عملية مضاعفة عيّنة صغيرة من DNA لإنتاج ملايين النسخ منها خلال ساعات عدّة باستخدام جهاز الدورية الحرارية، أنظر الشكل (8)، ويُعزى إلى العالم كاري موليس تطوير هذه التقنية.

لإتمام هذا التفاعل، يلزم وجود عيّنة DNA التي يراد مضاعفتها، وإنزيم البلمرة مُتحمّل الحرارة، وأعداد من النيوكليوتيدات الأربعة: A, T, G, C؛ لاستخدامها في بناء سلاسل جديدة، وسلاسل البدء Primers؛ وهي سلاسل مفردة من النيوكليوتيدات، قد يصل عددها إلى 20 نيوكليوتيداً أو أكثر، وهي تُصمّم وفق تسلسلات مُحدّدة، بحيث تكون مُتمّمة لتسلسل النيوكليوتيدات في بداية منطقة التضاعف، ثم ترتبط بها، فتصبح بداية السلسلة المراد بناؤها مزدوجة؛ لأنّ إنزيم بلمرة DNA مُتحمّل الحرارة يتطلّب وجود تسلسل DNA مزدوج لبدء بناء السلسلة المكّملة.

✓ **أتحقّق:** أوّضح المقصود بسلاسل البدء.



الشكل (8): جهاز الدورية الحرارية.

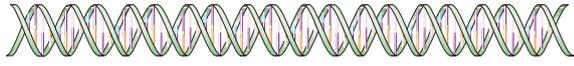
خطوات تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل:

توجد ثلاث مراحل أساسية لتفاعل البلمرة في كل دورة من دورات التفاعل، وتعتمد كل مرحلة على درجة حرارة مُعَيَّنة، أنظر الشكل (9).

الشكل (9): خطوات تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل.

أحسب عدد جزيئات DNA الناتجة بعد 5 دورات في جهاز الدورية الحرارية.

جزيء DNA يحتوي على المنطقة المراد مضاعفتها



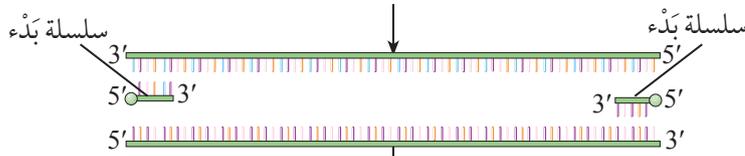
1 مرحلة الفصل Denaturation Stage: تحطيم الروابط الهيدروجينية التي تربط بين القواعد النيتروجينية في سلسلتي DNA

لفصل السلسلتين؛ ما يؤدي إلى إنتاج سلسلتين أحاديتين. وهذه المرحلة تتطلب توافر درجة حرارة تتراوح بين (94 - 96 °C).



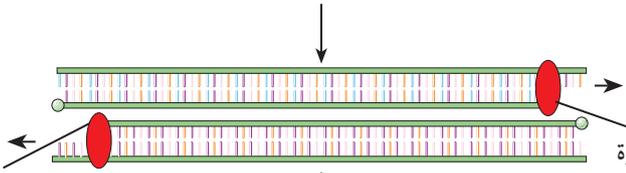
2 مرحلة الربط Ligation Stage: ربط النهاية المفردة للسلاسل الأحادية بسلاسل

البداء. وهذه المرحلة تتطلب توافر درجة حرارة تتراوح بين (55 - 65 °C).



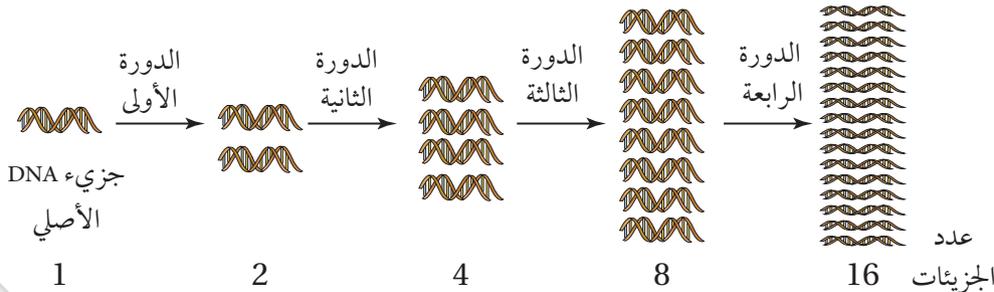
3 مرحلة الاستطالة Extending Stage: بناء جزيئات DNA جديدة وكاملة بواسطة إنزيم بلمرة

DNA مُتحمّل الحرارة. وهذه المرحلة تتطلب توافر درجة حرارة تتراوح بين (70 - 75 °C)، فينتج جزيئا DNA، في كلٍّ منهما سلسلة قديمة وأخرى جديدة.

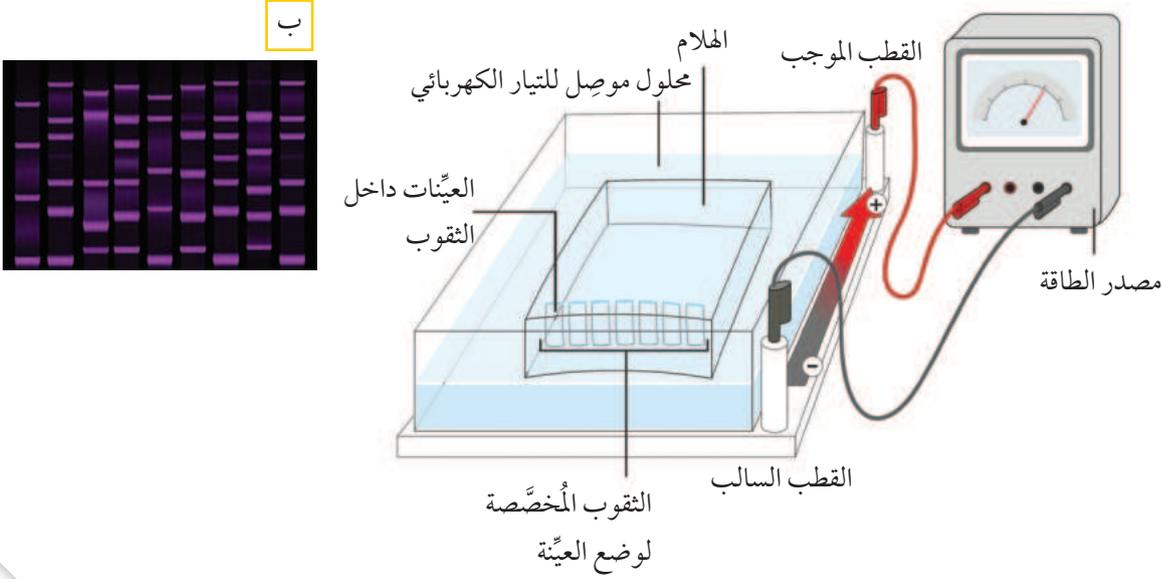


إنزيم بلمرة DNA مُتحمّل الحرارة

تتكرر هذه الخطوات في الدورة الجديدة لكل جزيء من جزيئي DNA الناتجين. وتكون عدد جزيئات DNA الناتجة = (2ⁿ)، حيث n هو عدد الدورات.



جهاز الفصل الكهربائي الهلامي



الفصل الكهربائي الهلامي Gel Electrophoresis

الشكل (10):
أ. الفصل الكهربائي الهلامي.
ب. صورة العينات الناتجة من الفصل الكهربائي الهلامي.

تُفصل قطع DNA اعتمادًا على شحنتها السالبة والاختلاف في أطوالها، باستخدام جهاز الفصل الكهربائي الهلامي الذي يحوي محلولًا موصلًا للتيار الكهربائي؛ إذ توضع عينات DNA داخل ثقوب في المادة الهلامية، ثم يوصل التيار الكهربائي مدّة مناسبة، أنظر الشكل (أ/10)؛ فتتحرك قطع DNA في اتجاه القطب الموجب، ثم يُفصل التيار الكهربائي، وترفع المادة الهلامية، وتوضع في محلول يحوي صبغة خاصة بـ DNA، ثم تُنقل المادة الهلامية إلى جهاز التصوير باستخدام الأشعة فوق البنفسجية UV؛ فتظهر خطوط تمثل قطع DNA على مسافات مختلفة من القطب السالب تبعًا لطول القطعة.

تناسب المسافة المقطوعة مع طول القطعة تناسبًا عكسيًا، وتُمثل مجموعة الخطوط الظاهرة خرائط قطع Restriction Maps، أنظر الشكل (ب/10)، تُستخدم في هندسة الجينات، ودراسة الطفرات، والتمييز بين الأفراد كما في البصمة الوراثية.

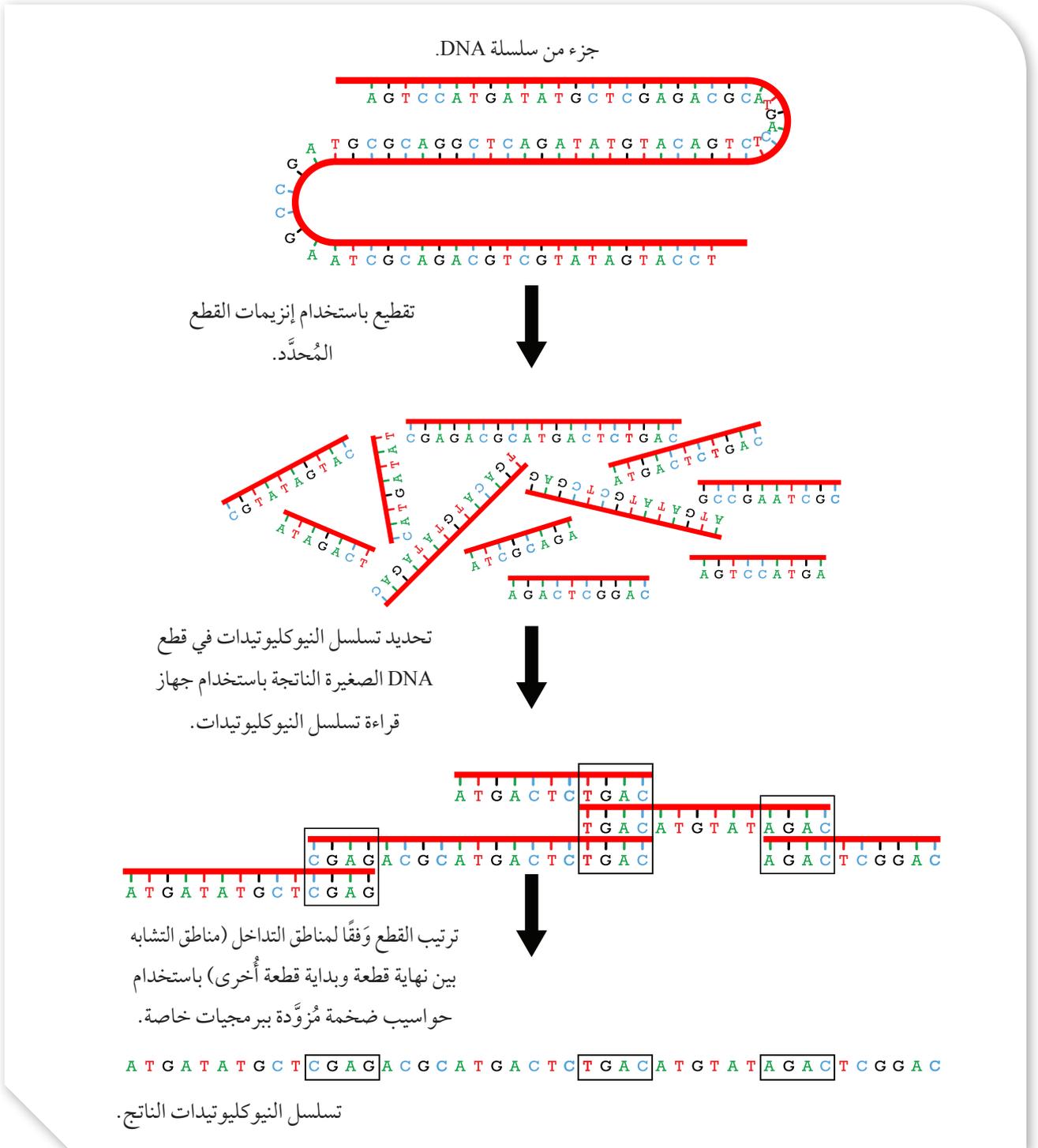
تحديد تسلسل الحمض النووي DNA (DNA sequencing)

يُطلق على عملية تحديد وقراءة تسلسل النيوكليوتيدات الكاملة المُكوّنة لجزء الحمض النووي (DNA) تسلسل الحمض النووي DNA sequencing. طوّرت أول تقنية آلية لتحديد تسلسل DNA، والتي تسمى تسلسل سانجر (Sanger sequencing) في السبعينيات من القرن العشرين من قبل العالم فريدريك سانجر، الذي حصل على جائزة نوبل في عام 1980م لهذا الإنجاز.

✓ **أتحقّق:** أربط بين أطوال قطع DNA والمسافة التي تقطعها على المادة الهلامية.

تطورت تقنيات التسلسل مع مرور الوقت، فظهرت تقنيات الجيلين الثاني والثالث منها، التي تعطي نتائج سريعة، إضافة إلى انخفاض تكلفتها. وفي حال كان حجم جزيء الـ DNA كبيراً فإنه يُقَطَّع بصورة عشوائية إلى قطع صغيرة، ثم يتم تحديد التسلسل لكل قطعة على حدة باستخدام جهاز قراءة تسلسل النيوكليوتيدات، وبعد ذلك يتم ترتيب القطع وفقاً لمناطق التداخل (مناطق التشابه بين نهاية قطعة وبداية قطعة أخرى) باستخدام حواسيب ضخمة مزودة ببرمجيات خاصة، أنظر الشكل (11).

الشكل (11): مُلخَّص لإحدى طرائق تحديد تسلسل النيوكليوتيدات في DNA. أدون تسلسل النيوكليوتيدات في مناطق التداخل.





الشكل (12): جهاز قراءة تسلسل النيوكليوتيدات.

تساعد الأجهزة الإلكترونية الحديثة، مثل جهاز قراءة تسلسل النيوكليوتيدات الظاهر في الشكل (12)، على تحديد تسلسل الآلاف أو مئات الآلاف من القطع، كل منها بطول حوالي 300 نيوكليوتيد، وتسهم أجهزة الحاسوب في تحديد أي من النيوكليوتيدات الأربعة (A, G, T, C) أُضيفَ في كل مرّة، ما يمثل معدلاً عالياً لتسلسل النيوكليوتيدات في الساعة، ويُحلّل تسلسل المجموعة الكاملة من القطع باستخدام برنامج حاسوبي «يربطها» معاً في تسلسل كامل، أنظر الشكل (13).

في كثير من الأحيان، تُستخدم تقنيات تسلسل الجيل الثاني، أو يُستبدل بها في بعض الحالات، تسلسل الجيل الثالث، حيث تكون كل تقنية جديدة أسرع وأقل تكلفة من سابقتها. في بعض التقنيات الجديدة، لا يتم قطع جزيء DNA إلى قطع أو تكثيره، بل يُقرأ تسلسل سلسلة واحدة طويلة جداً من DNA عن طريق تمريرها عبر غشاء يحوي مسامات دقيقة جداً (مسامات النانو) يمر خلاله تيار كهربائي، ما يسمح بتحديد القواعد النيتروجينية واحدة تلو الأخرى عن طريق استخدام ميزة فصل التيار الكهربائي في الغشاء الذي يحوي المسامات، إذ إن كل نوع من القواعد النيتروجينية أثناء مروره من المسامات يفصل التيار الكهربائي لمدّة زمنية مختلفة يحددها جهاز الحاسوب.

✓ **أتحقّق:** ما المواد والأدوات التي أسهمت في معرفة تسلسل النيوكليوتيدات في الحمض النووي DNA؟

✓ **أتحقّق:** أحلّل: تُمثّل الآتية نتائج تسلسل ثلاث قطع من DNA اعتماداً على مناطق التداخل، ما تسلسل النيوكليوتيدات الصحيح الناتج؟

TGCGCAGA

ATTTGC

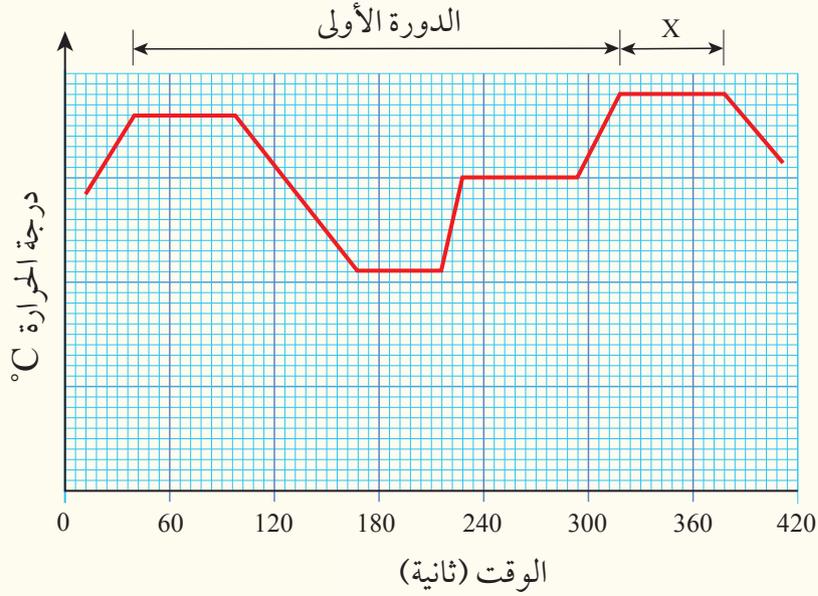
AGAGACCTAAG

الشكل (13): شاشة حاسوب تعرض تحليلاً للبيانات التي يتوصّل بها إلى معرفة تسلسل النيوكليوتيدات في DNA.



مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: أَسْتَتِج دور التقدُّم العلمي في الوراثة والبيولوجيا الجزيئية في تطوُّر التكنولوجيا الحيوية.
2. أَوْضِّح الطرق التي تستخدم لتحديد تسلسل الحمض النووي DNA.
3. يُسْتَعْمَل تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسِل لتكثير DNA ضمن ثلاث مراحل مختلفة. اعتمد المُخَطَّط الآتي، وأَوْضِّح ما يحصل في المرحلة X.



4. أَوْضِّح آليَّة الفصل الكهربائي الهلامي.
5. أَحْسِبْ عدد جزيئات DNA الناتجة من جزيء واحد بعد 8 دورات في جهاز الدورية الحرارية.
6. أكتب في الجدول الآتي وظائف الإنزيمات المُستخدَمة في التكنولوجيا الحيوية.

الوظيفة	الإنزيم
	إنزيم الربط.
	إنزيم بلمرة DNA مُتحمَّل الحرارة.
	إنزيمات القِطْع المُحدَّد.

7. لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أعددتها:

1 . يتعرّف كل إنزيم قطع:

أ . جيناً مُعيّناً .

ب . مجموعة (OH).

جـ . تتابعاً مُعيّناً من النيوكليوتيدات .

د . نهائيّ جزيء (DNA).

2 . الإنزيم الذي له دور مباشر في بناء سلسلة مُكمّلة لسلسلة (DNA) الأصلية في تفاعل PCR:

أ . Hind III .

ب . ربط (RNA).

جـ . بلمرة DNA مُتحمّل الحرارة .

د . ربط (DNA).

3 . جميع الآتية من خصائص البلازميد المُستخدم في مجال تكنولوجيا الجينات ما عدا:

أ . جزيء DNA حلقي .

ب . لديه القدرة على التضاعف .

جـ . يوجد في جميع سلالات البكتيريا .

د . يحتوي على جين مقاومة مضاد حيوي .

4 . إحدى العبارات الآتية صحيحة في وصف قطع (DNA) وحركتها في الهلام باستخدام الفصل الكهربائي الهلامي:

أ . الأكثر طولاً تتحرك مسافة أطول في الهلام .

ب . الأقل طولاً تتحرك مسافة أطول في الهلام .

جـ . القطع موجبة الشحنة تتحرك باتجاه الطرف السالب .

د . القطع سالبة الشحنة لا تتحرك في الهلام .

5 . درجات الحرارة المناسبة لربط سلاسل البدء بمُكمّلاتها في تفاعل (PCR) بالسلسيوس:

أ . °C (70-75) .

ب . °C (90-95) .

جـ . °C (55-65) .

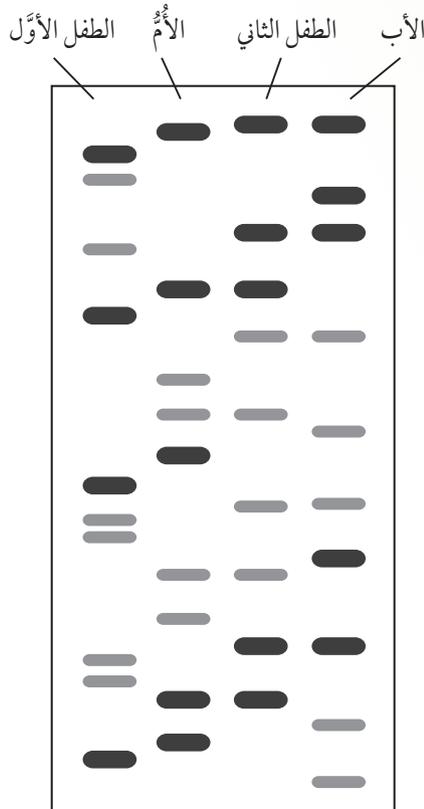
د . °C (80-90) .

للتكنولوجيا الحيوية العديد من التطبيقات التي تُستخدم في تحسين حياة الإنسان في مجالات مختلفة، منها: الجنائية، والطبية والزراعية وغيرها.

البصمة الوراثية DNA Fingerprinting

البصمة الوراثية DNA Fingerprint خريطة قطع تُبَيَّن توزيع قطع DNA في عينة DNA التي يراد تحليلها، وتُؤخذ من نواة خلية حيّة، مثل: خلايا الدم البيضاء، وجذور الشعر، والخلايا الطلائية.

تُعَدُّ هذه الخريطة باستخدام منطقة تحوي أعداداً مُتغيّرةً من تسلسلات DNA المتكرّرة Variable Number Tandem Repeats (VNTRs). وهي تختلف من شخص إلى آخر، وتتشابه فقط في التوائم المُتطابقة؛ لذا تُستخدم في القضايا القانونية، مثل: تحديد النسب، والتحقيق في الجرائم. وكذلك تُستخدم في تحديد هوية الضحايا في الكوارث الطبيعية. ففي حالة تحديد النسب، تُحلَّل هذه الخريطة، ثم تُقارَن بنتائج عينات الفحص للأبوين؛ إذ تكون بعض قطع DNA للطفل من الأم، وبعضها الآخر من الأب، والشيء نفسه ينطبق على العينات المجهولة التي تُؤخذ من مسرح الجريمة، أو من موقع الكارثة الطبيعية. أنظر الشكل (14).



الشكل (14): البصمة الوراثية لطفلين، وأمّ، وأب.

أستنتج: أيُّ الطفلين هو طفل لهذه العائلة؟

الفكرة الرئيسة:

أسهم التقدم التكنولوجي وتطور المعرفة العلمية على المستوى الجزيئي للخلية في تحسين الخدمات في المجالات كافة، وإيجاد حلول لمشكلات مختلفة، ومن أهم التطبيقات: البصمة الوراثية، وهندسة الجينات.

نتائج التعلم:

- أستقصي أثر هندسة الجينات في إنتاج مواد علاجية.
- أوضّح دور الجينوم البشري في تشخيص الاختلالات الجينية.

المفاهيم والمصطلحات:

DNA Fingerprint	البصمة الوراثية
Genetic Engineering	هندسة الجينات
Genetically Modified Organism	الكائن الحي المُعدَّل جينياً.
Recombinant DNA	معاد التركيب DNA
Gene Therapy	العلاج الجيني
Human Genome	الجينوم البشري
Bioinformatics	المعلوماتية الحيوية

استخلاص DNA من خلايا باطن الخد

المواد والأدوات: ماء، ملح طعام NaCl، 3 كؤوس زجاجية، أنبوب اختبار (سعة كلٌّ منهما 30 mL)، سائل غسيل الصحون، عصا زجاجية، حامل أنابيب، مخبر مُدرَّج (500 mL)، كحول إيثيلي مُبرَّد نسبة تركيزه 96%.

إرشادات السلامة:

- غسل اليدين جيّدًا قبل وبعد انتهاء التجربة.
- استعمال المواد الكيميائية والزجاجية بحذر.

خطوات العمل:

- 1 أُجَرَّب:** أحضّر في إحدى الكؤوس الفارغة محلولًا بإضافة ملعقة صغيرة من سائل غسيل الصحون إلى 3 ملاعق صغيرة من الماء.
- 2 أُجَرَّب:** أحضّر في كأس ثانية محلولًا ملحيًا بإضافة ملعقتين صغيرتين من ملح الطعام إلى 250 mL من الماء.
- 3** أتمضمض جيّدًا بـ 10 mL من المحلول الملحي، ثم أضعه في الكأس الثالثة.
- 4 أُنَبِّأ** بمحتويات الكأس الثالثة، ثم أدوّن إجابتي.
- 5** أنقل محتويات الكأس إلى أنبوب اختبار يحوي 5 mL من محلول سائل غسيل الصحون.
- 6 أُجَرَّب:** أحرّك الأنبوب نحو اليمين واليسار بلطف، ثم أضيف 5 mL من الكحول ببطء، مع مراعاة انسياب الكحول على الجدار الداخلي للأنبوب.
- 7 أُلَاحِظ:** أترك الأنبوب على حامل الأنابيب دقائق معدودة، وألاحظ الناتج الذي يتكوّن بين طبقتي الكحول ومحلول سائل غسيل الصحون، ثم أدوّن ملاحظاتي.
- 8 أُجَرَّب:** ألتقط الناتج باستخدام العصا الزجاجية، ثم أضعه في أنبوب اختبار.
- 9 أَتَوَقَّع** مُكوّنات الناتج.

التحليل والاستنتاج:

1. أربط بين تركيب الغشاء البلازمي واستخدام محلول سائل غسيل الصحون.
2. **أَتَوَقَّع:** ماذا يحدث إذا حرّكت الأنبوب حركة سريعة؟
3. **أُفسِّر:** ما مصدر جزيء DNA الموجود في الناتج؟
4. **أُنَبِّأ** بنتيجة التجربة إذا استُخدمت خلايا دم حمراء.

هندسة الجينات Genetic Engineering

يُطلق على عملية تعديل DNA للكائن الحي؛ ما يُغيّر المعلومات الوراثية فيه **هندسة الجينات Genetic Engineering**. وتبعاً لذلك، يتغيّر نوع البروتينات التي يُكوّنها، وكميّتها؛ ما يؤدي إلى إنتاج مواد جديدة، أو أداء وظائف جديدة.

تعتمد هذه العملية على عزل جينات مُحدّدة من DNA المُتبرّع، ثم إضافتها إلى DNA المُستقبل لإنتاج **DNA المُعاد تركيبه Recombinant DNA**. وهو جزيء DNA الذي تغيّر تركيبه.

يُطلق على الكائن الحي الذي نُقل إليه الجين اسم **الكائن الحي المُعدّل جينياً Genetically Modified Organism**. ومن تطبيقات هندسة الجينات تعديل البكتيريا المعروفة باسم *Escherichia coli* جينياً؛ لتكتسب صفة تكوين هرمون الإنسولين البشري الذي يتألّف من سلسلتين من الحموض الأمينية، ويُعدّ أول هرمون أُنتج اعتماداً على هندسة الجينات.

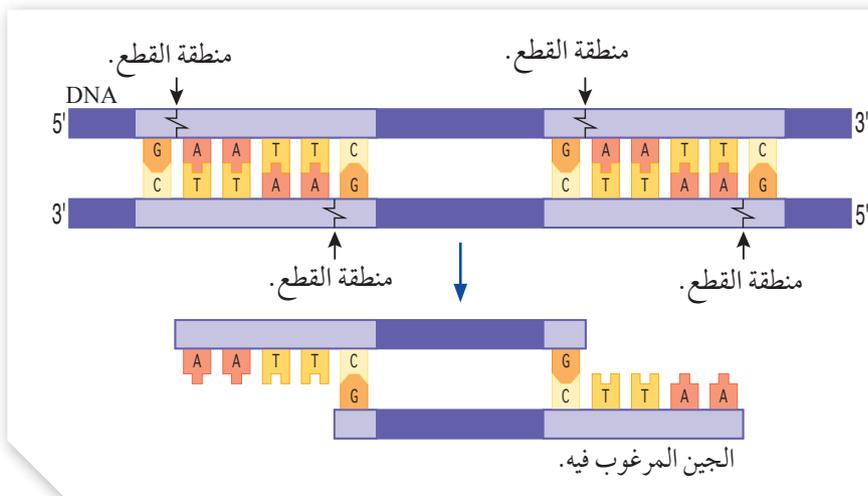
خطوات هندسة الجينات Genetic Engineering Steps

يُمكن تلخيص خطوات هندسة الجينات كما في المُخطّط المجاور.

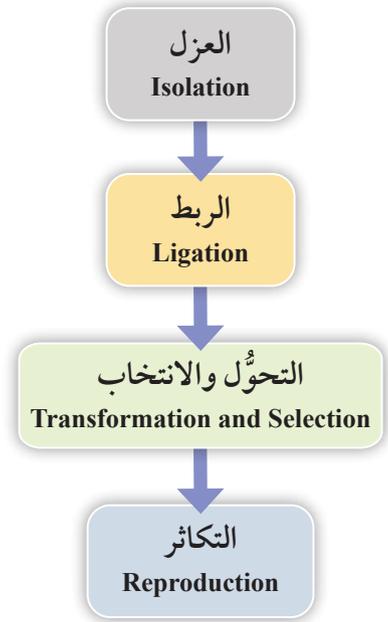
العزل Isolation

تمثّل هذه الخطوة في عزل الجين المرغوب الموجود على أحد كروموسومات كائن حي عن الجينات الأخرى. وقد استخدم العلماء ثلاث طرائق للعزل، هي: إنزيمات القطع المُحدّدة، وتصنيع سلسلة عديد النيوكليوتيد، والنسخ العكسي.

إنزيمات القطع المُحدّدة Restriction Enzymes: تقطع الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين في مناطق مُحدّدة؛ للحصول على الجين المطلوب، أنظر الشكل (15).



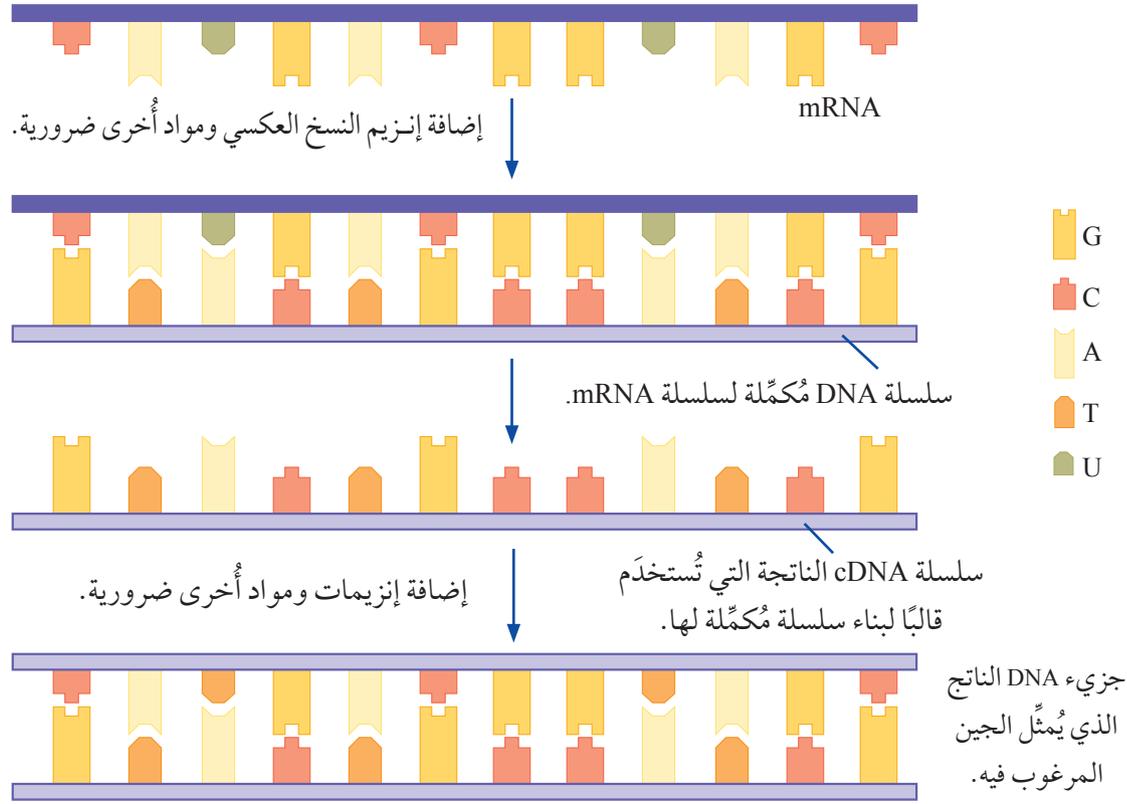
خطوات هندسة الجينات



أنظم المعلومات التي

تعلمتها عن إنزيمات القطع المُحدّدة، ثم أُعدّ عرضاً تقديمياً عن ذلك باستخدام برنامج power point، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

الشكل (15): قطع DNA لعزل الجين المرغوب باستخدام إنزيم قطع مُحدّدة.



الشكل (16): النسخ العكسي لعزل الجين المرغوب فيه. أقرن بين تسلسل النيوكليوتيدات في mRNA، وتسلسلها في سلسلة DNA المُكمّلة لنسخة القالب.

تصنيع سلسلة عديد النيوكليوتيد :Synthesis of a Polynucleotide Chain

يُمكن تصنيع سلسلة عديد النيوكليوتيد المسؤولة عن تصنيع بروتين مُعيّن باستخدام أدوات خاصة إذا كان تسلسل الحموض الأمينية في هذا البروتين معلومًا.

النسخ العكسي Reverse Transcription: عملية تتضمّن إنتاج نسخة DNA

مُكمّلة لسلسلة حمض نووي رايبوزي mRNA باستخدام إنزيم النسخ العكسي Reverse Transcriptase، ويُطلَق على سلسلة DNA الناتجة اسم سلسلة DNA المُكمّلة (cDNA) Complementary DNA. يُستخدم في هذه العملية حمض نووي رايبوزي mRNA من خلايا نشيطة في تصنيع بروتين مُعيّن. فمثلاً: يُستخلص mRNA من خلايا بيتا في جزر لانجرهانز في البنكرياس، وهي الخلايا المسؤولة عن تصنيع الإنسولين البشري، أنظر الشكل (16) الذي يبيّن طريقة النسخ العكسي.

✓ **أتحقّق:** ما طرائق عزل الجين المسؤول عن صفة مرغوبة؟

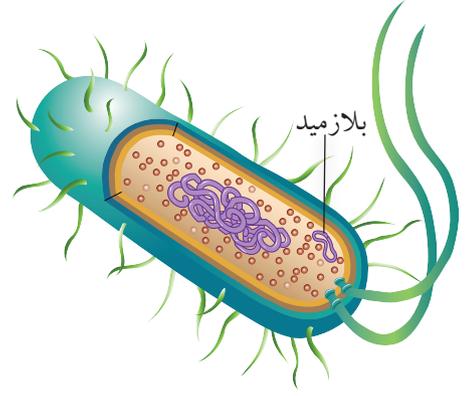
أفكر: أيّ الخلايا يُمكن استخدامها في استخراج الجين المسؤول عن تكوين الهرمون المانع لإدرار البول، والميوسين؟

الربط Ligation

يُستخدم في هذه الخطوة إنزيم الربط DNA Ligase لربط الجين المعزول بناقل جينات ينقل الجين المعزول إلى الخلية الحية المُستهدفة من التعديل الجيني مثل البكتيريا.

من النواقل المُستخدمة في هندسة الجينات البلازميد في البكتيريا، أنظر الشكل (17).

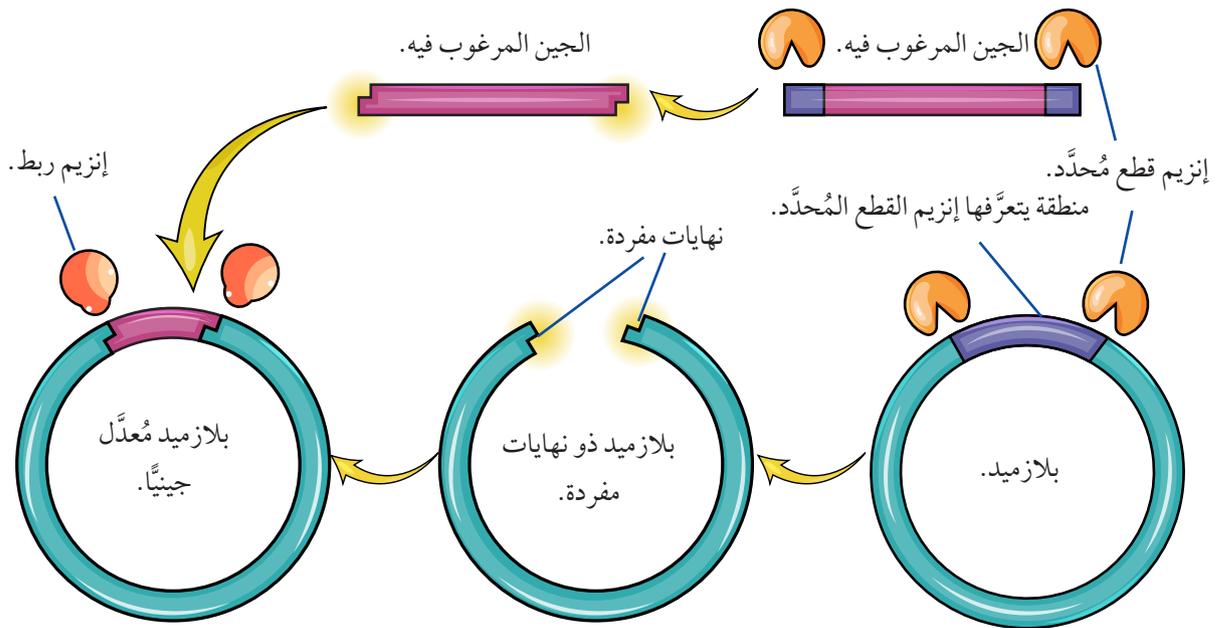
لتعرّف خطوات إنتاج البلازميد المُعدّل جينياً، أنظر الشكل (18).



الشكل (17): البلازميد في البكتيريا.

✓ **أتحقّق:** ما وظيفة إنزيم الربط في هندسة الجينات؟

الشكل (18): تعديل البلازميد جينياً.



يُضَاف إنزيم الربط DNA Ligase لربط النهايات المفردة في البلازميد، ونهايات الجين المرغوب فيه.

يُفتح البلازميد في منطقة التعرّف باستخدام نفس إنزيم قطع DNA المُحدّد الذي استُخدم في عزل الجين المرغوب فيه؛ لكي تتطابق النهايات المفردة في هذه المنطقة من البلازميد مع نهايات الجين المرغوب الناتج من عملية القطع.

التحوّل والانتخاب Transformation and Selection

يُعدّ إدخال البلازميد المُعدّل جينياً في الخلية البكتيرية المُستهدفة من التعديل الجيني عملية تحوّل؛ إذ تتحوّل الخلايا البكتيرية التي يدخلها البلازميد إلى خلايا مُعدّلة جينياً، ولكنّ البلازميد لا يدخل الخلايا البكتيرية جميعها.

يُطلق على عملية تعرّف الخلايا التي دخلها البلازميد اسم الانتخاب، ويستخدم العلماء لذلك طرائق عدّة، منها: إضافة جين آخر يُسمّى الجين العلامة Marker gene، ومن أمثلته: جين Green Fluorescent Protein (GFP) الموجود في نوع من قناديل البحر يُعرّف باسم *Aequorea victoria*، أنظر الشكل (19).

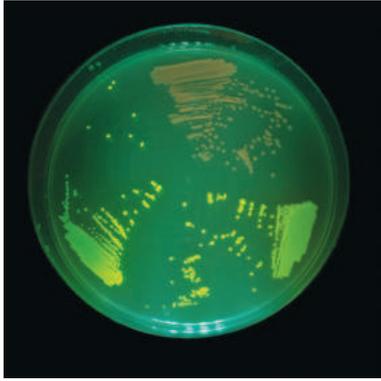
يُمكن انتخاب الخلايا التي استقبلت البلازميد المُعدّل جينياً الذي يحوي GFP بتعريضها للأشعة فوق البنفسجية، وهو ما يؤدي إلى توهّج هذه الخلايا باللون الأخضر؛ ما يدل على دخول البلازميد فيها، أنظر الشكل (20).

التكاثر Reproduction

تُحفّز الخلايا المُعدّلة جينياً إلى الانقسام؛ لكي تزداد أعدادها، وتبدأ إنتاج البروتين الذي تُعدّر عليها إنتاجه قبل عملية التعديل الجيني. بعد ذلك يُستخلص هذا البروتين الذي تُستخدم بعض أنواعه علاجاً للأفراد غير القادرين على إنتاجه، أنظر الشكل (21) الذي يبيّن خطوات هندسة الجينات لإنتاج هرمون الإنسولين البشري، ثم أنظر الجدول (2) الذي يحوي أمثلة على مواد أنتجت باستخدام البكتيريا المُعدّلة جينياً.



الشكل (19): قنديل البحر.



الشكل (20): طبق بتري يحوي بكتيريا مُعدّلة جينياً.

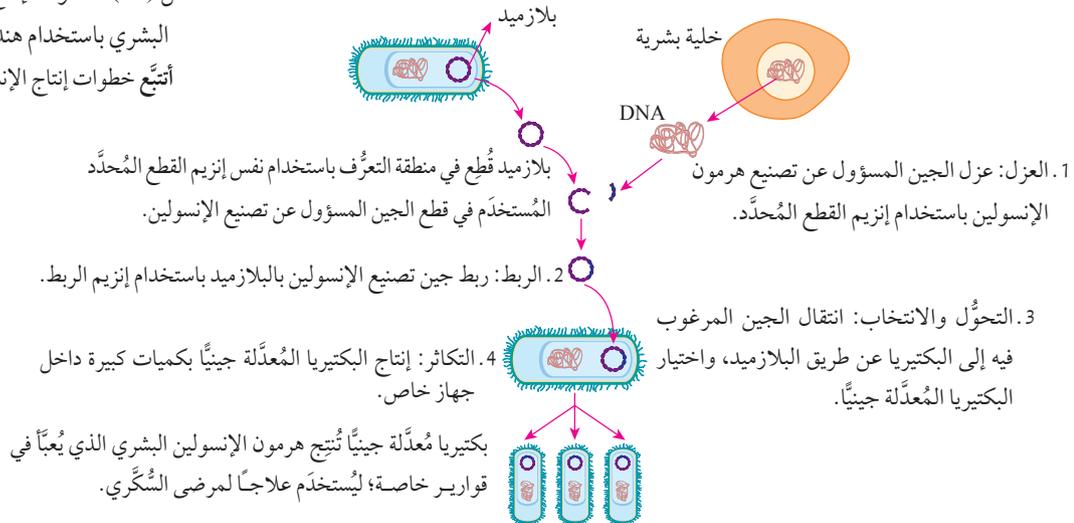
✓ **أتحقّق:** ما الفرق بين التحوّل والانتخاب؟

الجدول (2): مواد علاجية أنتجت باستخدام هندسة الجينات.

المادة المُنتجة	عامل التخثر الثامن Factor VIII	الإريثروبويتين Erythropoietin	هرمون النمو Growth Hormone
دواعي الاستخدام	علاج نوع من أنواع مرض نزف الدم.	علاج الأنيميا.	علاج القزّمة.

الشكل (21): خطوات إنتاج هرمون الإنسولين

البشري باستخدام هندسة الجينات. أتتبع خطوات إنتاج الإنسولين البشري.



تطبيقات طبية Medical Applications

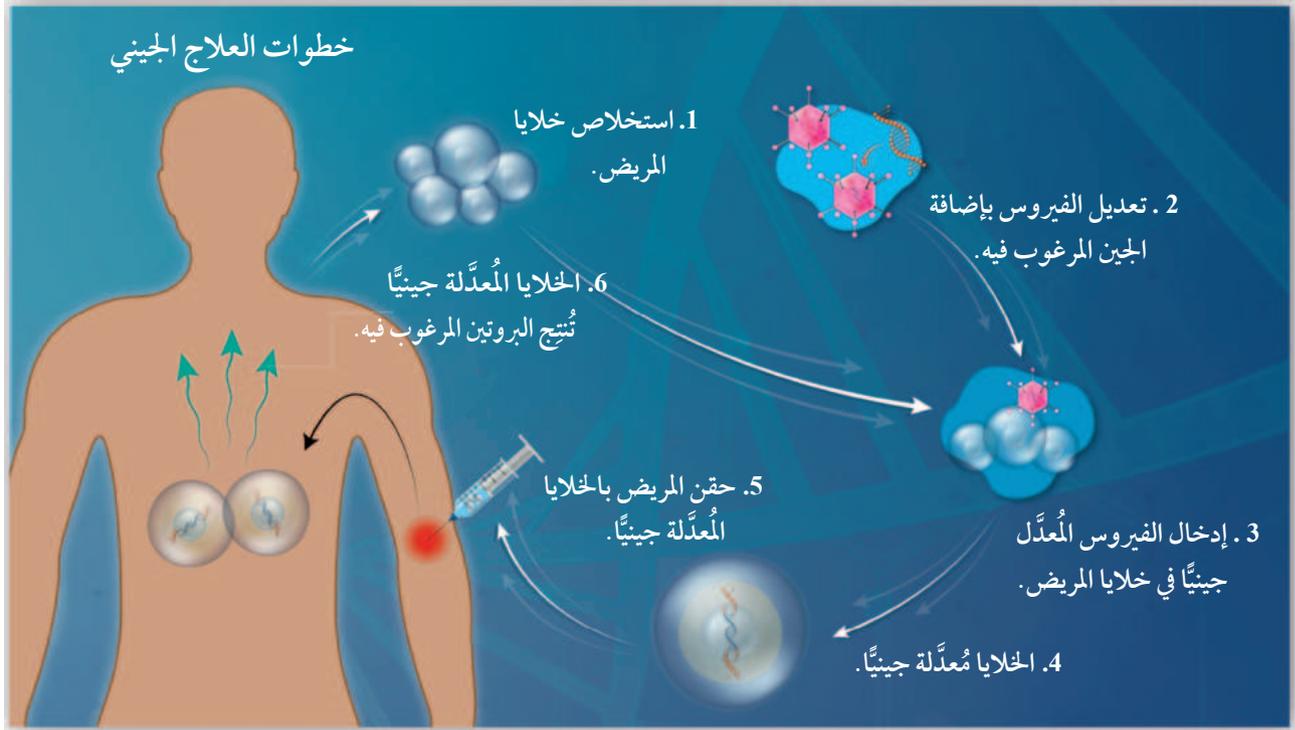
استُخدمت هندسة الجينات في إنتاج اللقاحات والبروتينات العلاجية، مثل: هرمون الأنسولين، وهرمون النمو، ومادة تُستعمل لعلاج العقم وتُسمى الفولستيم follistim. وكذلك استُخدمت في العلاج الجيني Gene Therapy بتثبيط الجين المسؤول عن إحداث المرض، أو بإدخال نسخة من الجين السليم في خلايا فرد مصاب بمرض وراثي ناتج من اجتماع جينين مُتَنَحِّين؛ لتعويض نقص البروتين الوظيفي في الخلايا.

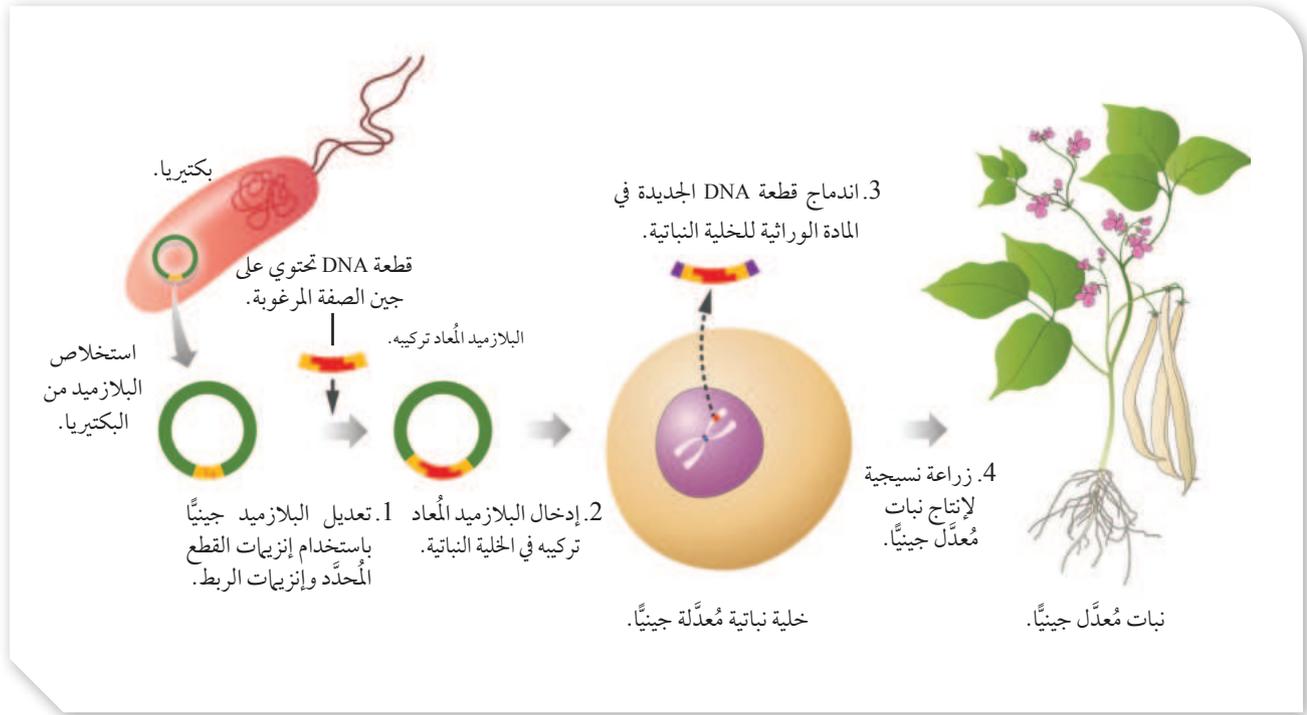
من الأمراض التي يُمكن معالجتها جينياً: مرض التليف الكيسي، وأنواع مُعيَّنة من نزف الدم، ومرض مناعي يُسمى ADA-SCID، أنظر الشكل (22) الذي يبيِّن خطوات العلاج الجيني.

من التحدّيات التي يُواجهها استخدام العلاج الجيني: التأكُّد من اندماج الجين المرغوب في المادة الوراثية للخلية التي تحتاج إليه، ثم التأكُّد أنّ الجين سيكون نشطاً، واختيار ناقل مناسب لا يُحدِّث ردود فعل مناعية.

تُؤكِّب المؤسسات الوطنية مناحي التطوُّر في التكنولوجيا الحيوية باستحداث تحُصَّصات جامعية لدراسة هندسة الجينات والتكنولوجيا الحيوية، فضلاً عن المؤسسات المُتخصَّصة في تقديم الرعاية الصحية للمرضى، مثل المركز الوطني للسكري والعُدَد الصم والوراثة، الذي تجرى فيه فحوص للكشف عن اختلالات وراثية لدى الأفراد، مثل: مرض دوشين، وحمى البحر الأبيض المُتوسِّط، وغير ذلك.

الشكل (22): خطوات العلاج الجيني. أتبَّع خطوات العلاج الجيني.





الشكل (23): خطوات التعديل الجيني في النبات.

تطبيقات زراعية Agricultural Applications

تُعدّل النباتات جينياً لإكسابها صفات مرغوبة، مثل: زيادة القيمة الغذائية للنبات، وملاءمة الظروف البيئية، ومقاومة الآفات الزراعية، وزيادة إنتاج المحاصيل الزراعية.

الربط بالصحة



اضطراب طيف التوحّد

استطاع العلماء معرفة السبب الجيني لاضطراب طيف التوحّد ASD بعد دراسة جين **Hoxd 4** و DNA المحيط به، وتقصي دوره في نمو الدماغ الخلفي في الأجنة وتطوره. وقد توصل العلماء إلى أنّ النمو غير الطبيعي في الجزء الخلفي من الدماغ يسهم في تطوّر اضطراب طيف التوحّد.

تعتمد هندسة الجينات في النبات على تعديل البلازميد جينياً، ونقله إلى بكتيريا تُهاجم خلايا النبات وتدخل خلاياه، ثم دمج الجين ذي الصفات المرغوبة في DNA للنبات؛ فتظهر الصفات الجديدة في النبات المُعدّل جينياً، أنظر الشكل (23).

من الأمثلة على استخدام هندسة الجينات في النباتات: تعديل نبات الأرز جينياً لإنتاج كمّيات أكثر من فيتامين A، وتعديل نبات القطن بإضافة جين مسؤول عن بروتين يُؤثّر في جهاز الحشرات الهضمي ليصبح محصولاً مُقاوماً للحشرات؛ ما يُقلّل الفاقد من المحصول بسبب الآفات الزراعية.

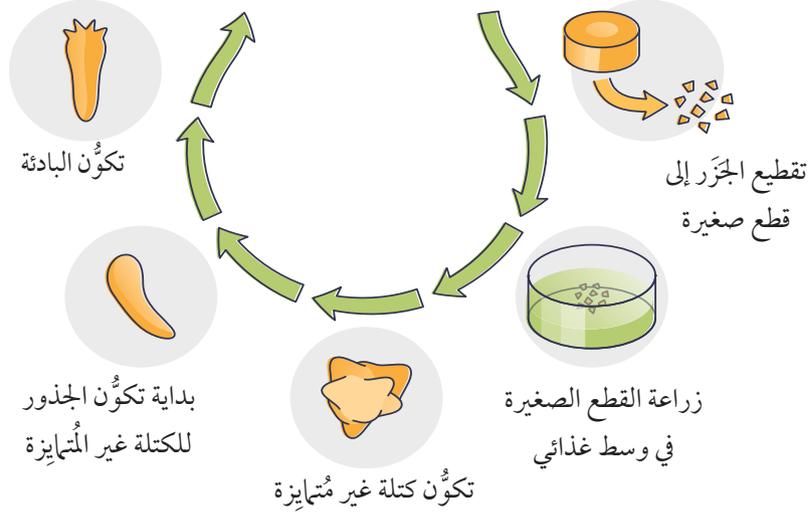
ومن الأمثلة على استخدام هندسة الجينات في تحسين الإنتاج الحيواني: تعديل بعض صفات الحيوان لزيادة إنتاجه من الحليب، أو البيض، أو اللحم، وزيادة مقاومة الأمراض في الحيوانات، واستخدام فئران التجارب المُعدّلة جينياً في دراسة تطوّر الأمراض وتأثير الأدوية.

نقل البادئة إلى وسط غذائي آخر، ثم تكوّن
نبات صغير يُنقل إلى التربة؛ فيتكوّن
نبات ناضج مُطابق للنبات الأم.

نبات الجزر الناضج



الشكل (24): تجربة العالم ستيوارد
لاستنساخ نبات الجزر.



الاستنساخ Cloning

يُقصد به إنتاج كائن حيّ مُتعدّد الخلايا من خلية واحدة، بحيث يتطابق وراثياً مع الكائن الحيّ الذي تبرّع بالخلية الأصلية المُستنسخة.

استنساخ النبات Plant Cloning

يُستنسخ نبات الأوركيد؛ نظراً إلى أهميته الاقتصادية، وصعوبة تكثيره خضرياً، وتُستنسخ نباتات أخرى؛ لخصائصها المُميّزة، مثل: جودة المحصول، ومقاومة مُسببات الأمراض النباتية.

استنسخ العالم ستيوارد F.C Steward نبات الجزر باستخدام خلايا الجذر لإنتاج نباتات جزر كثيرة، مُتماثلة وراثياً، ومُماثلة للنبات الأصلي. لتعرّف خطوات استنساخ نبات الجزر، أنظر الشكل (24).

استنساخ الحيوانات Animal Cloning

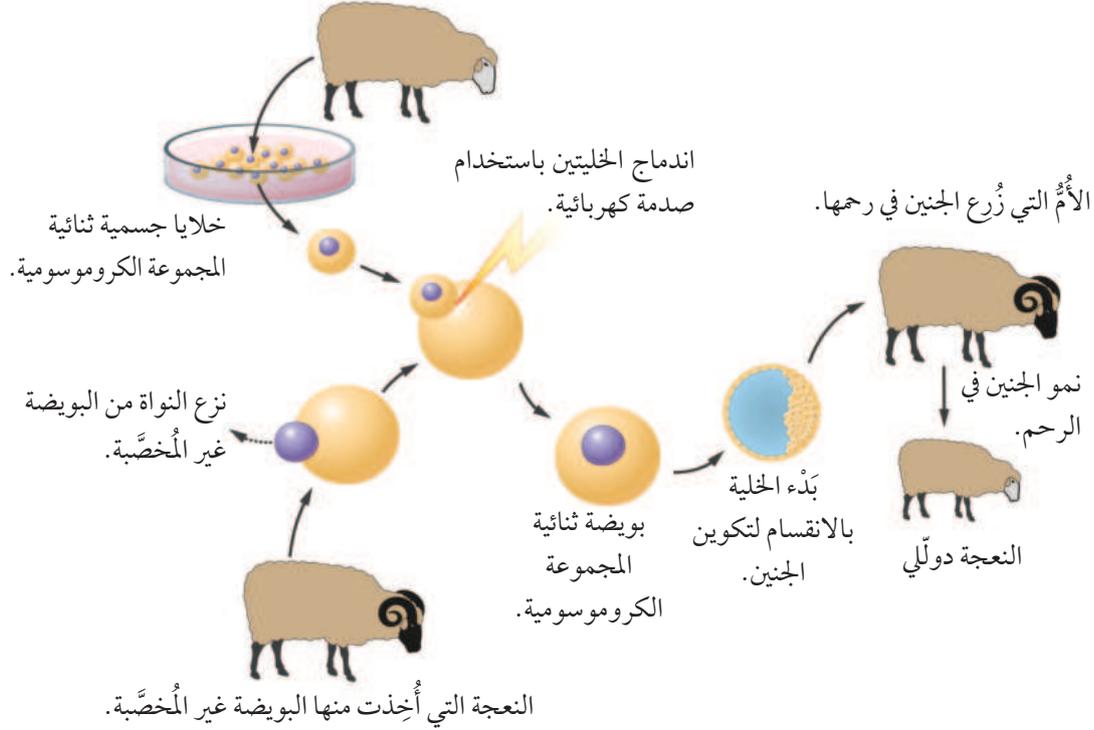
استنسخ العلماء الأغنام والبقر والقطط والفئران عن طريق استبدال نواة خلية جسمية سليمة ثنائية المجموعة الكروموسومية ومأخوذة من الحيوان المراد استنساخه بنواة بويضة غير مُخصّبة، ثم تحفيز البويضة ثنائية المجموعة الكروموسومية على الانقسام؛ فيتكوّن الجنين الذي يُزرع في رحم أنثى أخرى، وتكون صفات النسل الناتج مُماثلة لصفات الحيوان الذي أُخذت منه الخلية الجسمية.

الربط بالدين

أجمعت الهيئات والمؤسسات الشرعية كلها على تحريم الاستنساخ البشري؛ لما فيه من ضياع للأنسب، وللمحافظة على تماسك المنظومة المجتمعية. أمّا استنساخ النباتات والحيوانات لأغراض البحث العلمي، أو العلاج، أو زراعة الأعضاء، أو استخلاص العقاقير، فقد سُمح به ضمن حدود الاعتدال، وجلب المصالح، ودرء المفسد، وفقاً للضوابط الشرعية.

استنساخ النعجة دولي

النعجة التي أُخذت منها الخلية الجسمية
ثنائية المجموعة الكروموسومية.



الشكل (25): استنساخ النعجة دولي.

في عام 1996م، استُنسخَت النعجة دولي، وأنظر الشكل (25)، ومثَّل ذلك بداية عهد جديد لاستنساخ عدد من الكائنات الحيَّة.

مشروع الجينوم البشري Human Genome Project

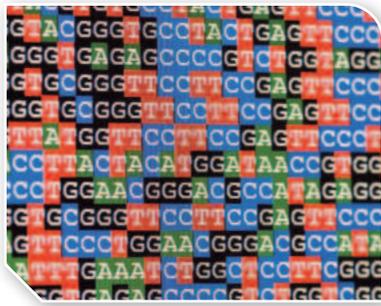
يقصد بمشروع الجينوم البشري Human Genome Project تحديد تسلسل النيوكليوتيدات في كامل DNA للإنسان، وتعرُّف مواقع الجينات وترتيبها في الكروموسومات جميعها.

بدأ مشروع الجينوم البشري عام 1990م بتضافر جهود بعض المؤسسات ومراكز البحوث في دول عدَّة، وأُعلِن عن انتهاء المشروع عام 2003م.

استنتج العلماء تشابه تركيب DNA في الأشخاص بما نسبته 99.9% تقريبًا، واحتواء الجينوم البشري ما يزيد على 3 مليارات من أزواج القواعد النيتروجينية، أنظر الشكل (26) الذي يُمثِّل النيوكليوتيدات في جزء من الجينوم البشري.

يُذكَر أنَّ العلماء توصلوا إلى معرفة التسلسل الكامل للنيوكليوتيدات في

الجينوم البشري Human Genome.



الشكل (26): النيوكليوتيدات في جزء من الجينوم البشري.

مشروعات جينوم أخرى Other Genomic Projects

مشروع الجينوم الشخصي Personal Genome Project

يهدف هذا المشروع إلى دراسة تسلسل الجينوم الشخصي الكامل لآلاف المشاركين حول العالم، وكذلك تعرّف الطرز الشكلية، والمعلومات الطبية، ودراسة العلاقات بين الجينات والبيئات المختلفة.

مشروع الألف جينوم One Thousand Genome Project

أنشئ مشروع الألف جينوم عام 2008م بوصفه خريطة مُفصّلة تُستخدم في مقارنة الجينوم البشري، ودراسة التنوع الوراثي في الأفراد باستعمال ألف عيّنة DNA لأفراد من مجتمعات مختلفة حول العالم بعد أخذ موافقتهم.

مشروع الجينوم لبعض الكائنات الحيّة Genome Project for some Organisms

درس العلماء جينوم بعض الكائنات الحيّة، مثل: أنواع من البكتيريا، والخميرة، وبعض أنواع الحيوانات والنباتات، بُعِيّة تعرّف تسلسل النيوكليوتيدات. يُذكر أنّ عدد الجينات في جينوم الكائنات الحيّة غير ثابت، وكذلك حجم الجينوم الذي يقاس بملايين القواعد النيتروجينية.

يستفاد من هذا المشروع في تشخيص الأمراض الوراثية، وتعرّف علاجاتها، وتحديد الأمراض التي تنتج من أليلات سائدة أو مُتنحّية، ويتحكّم فيها جين واحد، مثل: مرض هنتنغتون، والتليف الكيسي، فضلاً عن اكتشاف الجينات التي تُؤثر في أمراض أكثر تعقيداً، مثل: مرض السرطان، وأمراض القلب. وقد كان مشروع الجينوم البشري مدخلاً لعدد من مشروعات الجينوم المختلفة كما يُبيّن المُخطّط أعلاه.

المعلوماتية الحيوية Bioinformatics

يُقصد بالمعلوماتية الحيوية Bioinformatics استخدام الحاسوب في جمع تسلسل عدد كبير من النيوكليوتيدات، ومعالجتها، وتحليلها، ودراستها، أو استخدامه في جمع كمّ كبير من المعلومات المُتعلّقة بالعلوم الحياتية، أنظر الشكل (27)، وهذا يتطلّب توافر نظام ذي سعة وسرعة كبيرتين.

تعتمد المعلوماتية الحيوية على أجهزة حاسوب مُتطورة يُمكنها تخزين كمّ هائل من البيانات وإدارتها، وإنشاء قواعد بيانات Databases يُمكنها تخزين تسلسل النيوكليوتيدات في الجينوم، وتسلسل الحموض الأمينية في البروتين وتركيبها، وبناء

✓ **أتحقّق:** ما المقصود بالجينوم البشري؟



أنظم المعلومات التي

تعلمتها عن مشاريع الجينوم وأهميتها في تشخيص الأمراض وعلاجها. ثم أعدّ عرضاً تقديمياً عن ذلك باستخدام برنامج power point، ثم أعرضه أمام زملائي/زميلاتي في الصف.



الشكل (27): استخدام الحاسوب في تخزين المعلومات الحيوية، ومعالجتها، وفهمها.

✓ **أتحقق:** أفرن بين قاعدة بيانات BLAST وقاعدة بيانات COSMIC من حيث نوع البيانات في كلٍّ منهما.



أنظّم المعلومات التي تعلّمتهَا عن بعض تطبيقات التكنولوجيا الحيوية، ثم أعدّ عرضًا تقديميًا عنها مدعّمًا بالصور من شبكة الإنترنت، ثم عرضه أمام زملائي / زميلاتي في الصف.

✓ **أتحقق:** أوّضح المقصود بعلم المحتوى البروتيني.

أفكر: أفسّر: يُعدّ تحديد المحتوى البروتيني للإنسان أكثر صعوبة منه في البكتيريا.

نماذج ثلاثية الأبعاد لـ DNA والبروتينات المختلفة، وتصميم برامج محاكاة للعمليات الحيوية التي تحدث داخل الخلايا. فمثلاً: COSMIC هي قاعدة بيانات للطفرات الجسمية المسببة لمرض السرطان، و (BLAST) Basic Local Alignment Search Tool هي قاعدة بيانات تساعد على المقارنة السريعة بين تسلسلات الجينات على جزيئات DNA للكائنات المختلفة والتشابه الجيني بينها؛ ما يسهم في تعرّف وظائف الجينات، وتمييز الجينات المسببة للاختلالات الوراثية.

يُعدّ المركز الوطني لمعلومات التكنولوجيا الحيوية (NCBI) The National Center for Biotechnology Information قاعدة بيانات مُتخصّصة؛ إذ يضم بيانات الجينات المتسلسلة في بنك الجينات، وفهرسًا لمقالات البحوث الطبية الحيوية، فضلاً عن معلومات إضافية لها تعلّق بالتكنولوجيا الحيوية، علماً بأنّ هذه البيانات كافة متوفرة في شبكة الإنترنت، إلى جانب قواعد بيانات أخرى.

علم المحتوى البروتيني Proteomics

علم يدرس أنواع البروتينات المختلفة، ومدى وفرتها، وتركيبها، ووظائفها، وأثرها في جسم الكائن الحيّ. وهو يتضمّن معرفة تسلسل الحموض الأمينية في البروتين. اعتماداً على المعلوماتية الحيوية، يُمكن تعرّف الجين المسؤول عن إنتاج بروتين ما، وتحديد الأمراض الوراثية، وتشخيصها، وتطوير الأدوية المناسبة لعلاجها. يُعدّ مشروع رسم خريطة البروتينات للإنسان قاعدة بيانات مرجعية (Human Protein Reference Database (HPRD)، يستفاد منها في تعرّف عدد البروتينات، ووظائفها المختلفة، وعلاقة البروتينات بالأمراض.

القضايا الأخلاقية المرتبطة بالتكنولوجيا الحيوية

Ethics of Biotechnology

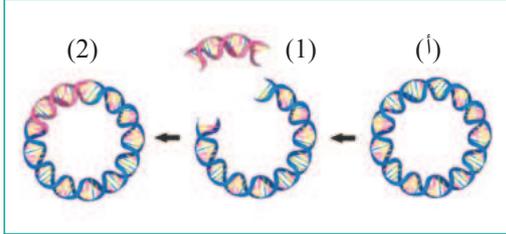
بالرغم من الإيجابيات العديدة لاستخدام التكنولوجيا الحيوية، فإنّه توجد آثار سلبية لها، مثل:

- تأثير الجين المنقول في الجينات الأخرى، مثل: زيادة نشاطها، أو تثبيط عملها.
- مهاجمة جهاز المناعة للناقل الجيني.
- التأثير في الأنظمة البيئية، وإصابة الإنسان أو الكائنات الحيّة الأخرى بالأمراض.
- إنتاج سلالات من الكائنات الحيّة لاستخدامها أسلحة بيولوجية في تدمير البشرية.
- تعديل صفات الأجنّة غير المرّضية، مثل: الذكاء، والجمال، والطول.

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: أوضِّح كيف تسهم هندسة الجينات في إنتاج موادَّ ضرورية في المحافظة على صحة الإنسان.

2. أدرس الشكل المجاور الذي يُمثِّل إحدى خطوات هندسة الجينات، ثم أجب عن السؤالين الآتيين:



أ. ما مصدر التركيب (أ)؟

ب. أحدد الإنزيم المُستخدَم في كلِّ من الخطوة رقم (1)، والخطوة رقم (2).

3. أخصِّص مزايا إنتاج محاصيل غذائية مُعدَّلة جينياً.

4. أصف خطوات التعديل الجيني في النبات.

5. لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أحددها:

1. جميع الآتية من التحديات التي يواجهها استخدام العلاج الجيني، ما عدا:

أ. التأكد من الجين المرغوب سيكون نشطاً.

ب. استخلاص خلايا المريض.

ج. اختيار ناقل مناسب لا يُحدِّث ردود فعل مناعية.

د. التأكد من اندماج الجين المرغوب في المادة الوراثية للخلية التي تحتاج إليه.

2. أي من الآتية لا يُعدُّ من تطبيقات التكنولوجيا الحيوية في المجال الطبي؟

أ. إنتاج اللقاحات.

ب. إنتاج نباتات مقاومة للملوحة.

ج. إنتاج هرمون الأنسولين.

د. إنتاج الفولستيم.

3. جميع الآتية من الآثار السلبية لاستخدام التكنولوجيا الحيوية ما عدا:

أ. مهاجمة الفيروس المُعدَّل جينياً جهازَ المناعة.

ب. إنتاج كائنات حية تؤثر في السلاسل الغذائية.

ج. إنتاج أسلحة بيولوجية.

د. معالجة مصاب بالتَّليُّف الكيسي جينياً.

4. أي الآتية تُستخدَم لتعرُّف البصمة الوراثية لضحايا الكوارث الطبيعية؟

أ. COSMIC.

ب. BLAST.

ج. VNTRs.

د. ADA-SCID.

5. أي الآتية مشروع يدرس العلاقات بين الجينات والبيئات المختلفة؟

أ. الجينوم الشخصي.

ب. الألف جينوم.

ج. الجينوم لبعض الكائنات الحية.

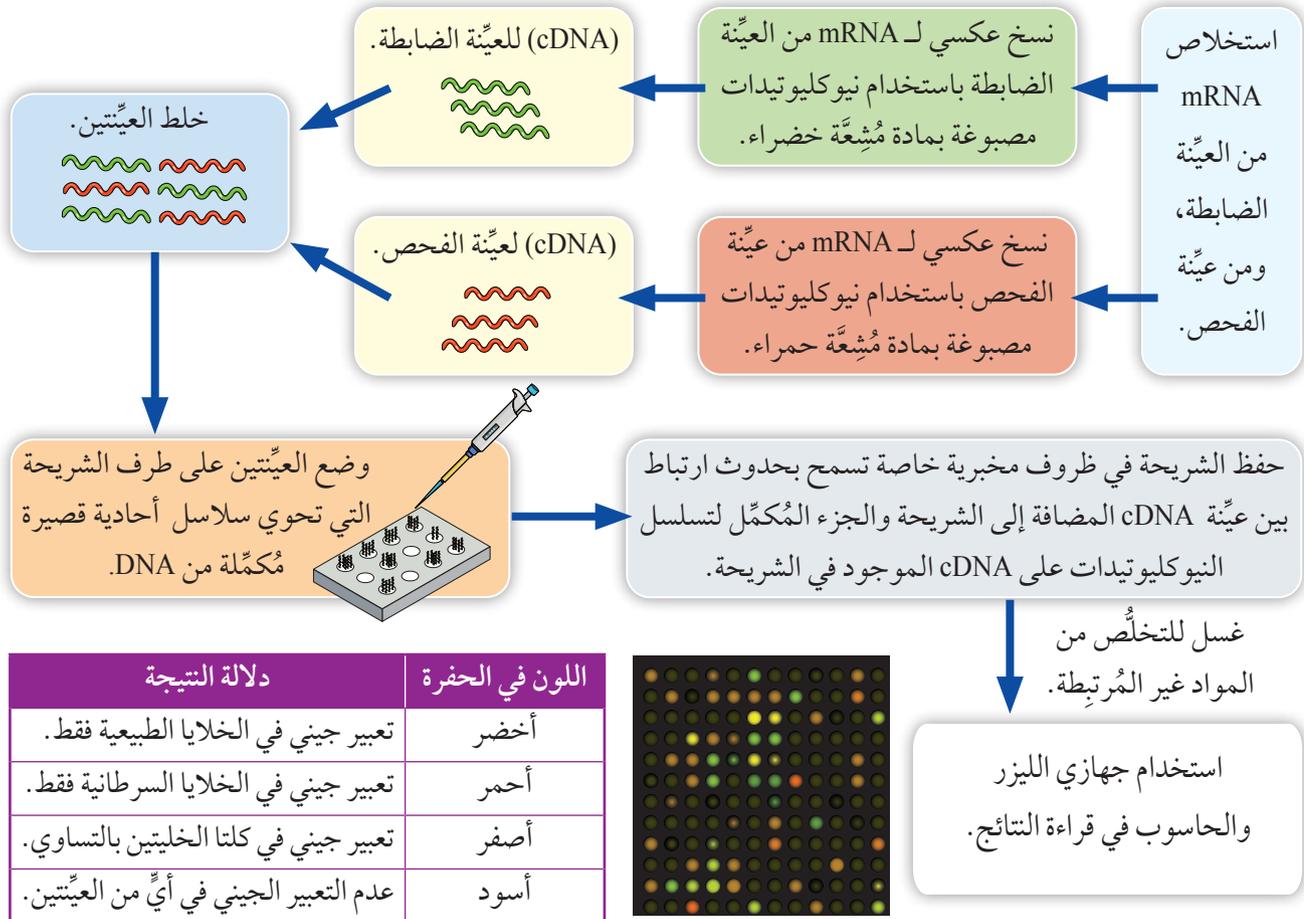
د. رسم خريطة البروتينات.

DNA Microarray and Gene Expression

تُمثل هذه المصفوفة تقنية تُستخدم في مجالات عدَّة، منها: مقارنة التعبير الجيني في الخلايا. والتعبير الجيني هو عملية تحدث عندما تستخدم الخلية التعليمات المحمولة في جزيء DNA لتصنيع بروتينات مُعيَّنة، وينقل هذه التعليمات جزيء mRNA. تفيد المقارنة في تقصي بعض الاختلالات الوراثية، والأمراض الناتجة منها، مثل بعض أنواع السرطان التي تُعزى إلى أسباب وراثية.

تُستخدم في هذه التقنية رقاقات خاصة من السيليكون أو الزجاج، تحوي ثقبًا كثيرةً يصل عددها إلى عشرات الآلاف، ويلتصق داخل كل ثقب منها سلاسل أحادية قصيرة من DNA مُكمَّلة لجزء من جين مُحدَّد. ونظرًا إلى وجود عدد كبير من الثقوب في الشريحة الواحدة؛ فإنه يُمكن الكشف عن التعبير الجيني لعدد كبير من الجينات في الوقت نفسه.

لتعرُّف خطوات استخدام مصفوفة DNA الدقيقة في مقارنة التعبير الجيني للخلايا، أنظر المُخطَّط الآتي:



مراجعة الوحدة

السؤال الأول:

- لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أٌحددها:
1. من خطوات هندسة الجينات التي تُستخدم فيها عملية النسخ العكسي:
أ. العزل. ب. الربط. ج. التحوُّل. د. الانتخاب.
 2. أُخذت عيّنة DNA من الكائن (أ) والكائن (ب)، ثم خُلِطت العيّنتان بإنزيم القطع EcoRI، فنتج من الكائن (أ) 4 قطع من DNA، ونتج من الكائن (ب) قطعتان من DNA. إحدى العبارات الآتية صحيحة في ما يتعلَّق بالإنزيم EcoRI:
أ. يحتوي جزيء DNA للكائن (أ) على مناطق تعرَّف للإنزيم EcoRI أكثر من جزيء DNA للكائن (ب).
ب. يحتوي جزيء DNA للكائن (أ) على مناطق تعرَّف للإنزيم EcoRI أقل من DNA للكائن (ب).
ج. جزيء DNA في الكائن (أ) أكبر منه في الكائن (ب).
د. جزيء DNA في الكائن (ب) يخلو من مناطق التعرُّف.
 3. جميع الآتية تُعدُّ من أدوات التكنولوجيا الحيوية باستثناء:
أ. إنزيم البلمرة مُتحمِّل الحرارة. ب. إنزيم الربط.
ج. الفصل الكهربائي الهلامي. د. البلازميدات.
 4. عمل باحث على تكثير جزء من DNA في تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسل. فإن عدد قطع DNA الناتجة بعد 10 دورات هو:
أ. 100 قطعة. ب. 1000 قطعة. ج. 10000 قطعة. د. 1024 قطعة.
 5. جميع الآتية صحيحة فيما يتعلق بأنزيم القطع المحدد (EcoRI) ما عدا:
أ. ينتج عن عمله قطع نهايات لزجة. ب. ينتج عن عمله قطع نهاياتها غير لزجة.
ج. يشير الحرف (R) من اسمه لسلسلة البكتيريا. د. أول إنزيم قطع مُحدَّد مكتشف من البكتيريا المُنتجة له.
 6. أي إنزيمات القطع المُحدَّد الآتية يحوي سلالة فرعية؟
أ. EcoR I. ب. Bam H I. ج. Hind III. د. Pst I.
 7. أي الآتية له دور في تعديل بلازמיד جينياً خلال خطوات هندسة الجينات في النباتات؟
أ. إنزيم قطع مُحدَّد. ب. جزيء (mRNA).
ج. إنزيم بلمرة (DNA) المُتحمِّل للحرارة. د. الزراعة النسيجية.
 8. ناقل الجينات المناسب في حال كان حجم الجين كبيراً:
أ. الفيروسات آكلة البكتيريا. ب. البلازميد.
ج. الجسيمات الدهنية. د. الجين العلامة.

9. أي مما يأتي يصف بشكل أفضل التسلسل الكامل للخطوات التي تحدث أثناء كل دورة من دورات تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل؟

- أ . الربط بسلاسل البدء، ثم تسخين الخليط إلى درجة حرارة عالية، ثم بناء جزيئات بواسطة إنزيم البلمرة.
- ب. تسخين الخليط إلى درجة حرارة عالية، ثم الربط بسلاسل البدء، ثم بناء جزيئات بواسطة إنزيم البلمرة.
- ج. بناء جزيئات بواسطة إنزيم البلمرة، ثم الربط بسلاسل البدء، ثم تسخين الخليط.
- د . تسخين الخليط إلى درجة حرارة عالية، ثم بناء جزيئات بواسطة إنزيم البلمرة ثم الربط بسلاسل البدء.

10. أي مما يأتي يغلق النهايات اللزجة للأجزاء المتعددة لإنتاج DNA معاد التركيب؟

- أ . إنزيمات القطع . ب. استنساخ الجينات . ج. إنزيم الربط . د . إنزيم بلمرة DNA.

11. أي مما يأتي يُستخدم لإنتاج سلسلة DNA المكملة (cDNA) من mRNA؟

- أ . إنزيمات القطع . ب. إنزيمات بلمرة DNA . ج. إنزيم ربط DNA . د . إنزيم النسخ العكسي.

12. تُفصل قطع من الحمض النووي DNA عن بعضها البعض عادةً بعملية:

- أ . الترشيح . ب. الطرد المركزي . ج. الفصل الكهربائي الهلامي . د . تفاعل PCR.

13. تُستخدم طريقة (سانجر) في:

- أ . استنساخ الحمض النووي . ب. تحديد تسلسل الحمض النووي.
- ج. تصنيع الحمض النووي . د . فصل أجزاء الحمض النووي.

14. في عام 1997م، استُنسخت النعجة دوللي. أي من العمليات الآتية استُخدمت في ذلك؟

- أ . استخدام الحمض النووي للميتوكوندريا من خلايا أنثى بالغة من نعجة أخرى.
- ب. مضاعفة الخلايا الجذعية البالغة من نخاع عظام الأغنام، وإلغاء تمايزها.
- ج. فصل الخلايا البلاستولية المبكرة للأغنام إلى خلايا منفصلة، ثم تحضين إحداها في نعجة بديلة.
- د . اندماج نواة خلية بالغة مع بويضة نعجة منزوعة النواة، يليه تحضين في نعجة بديلة.

15. أي من الأدوات والتقنيات الآتية لتكنولوجيا الحمض النووي لم تُربط ربطاً صحيحاً مع استخدامها؟

- أ . الفصل الكهربائي الهلامي - فصل قطع الحمض النووي.
- ب. إنزيم ربط الحمض النووي - قطع الحمض النووي، وإنشاء نهايات لزجة لقطع متعددة.
- ج. إنزيم بلمرة الحمض النووي - تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل.
- د . النسخ العكسي - إنتاج سلسلة DNA مُكملة (cDNA) من mRNA.

مراجعة الوحدة

16. استعاد أحد علماء الحفريات قطعة من الأنسجة من جلد محفوظ عمره 400 عام لطائر الدودو (طائر مُنقرض). لمقارنة منطقة معينة من الحمض النووي من العينة مع الحمض النووي من طيور حية، أي مما يأتي سيكون الأكثر فائدة في زيادة كمية الحمض النووي لطائر الدودو؟

- أ . تحليل هندسة الجينات .
ب . تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل (PCR) .
جـ . مصفوفة DNA الدقيقة .
د . الفصل الكهربائي الهلامي .

17. يُطلَق على الكائن الحي الذي نُقل إليه جين من كائن آخر الكائن:

- أ . معاد التركيب .
ب . المُعدَّل جينياً .
جـ . الناقل للجينات .
د . المُستنسخ .

18. أيّ ممّا يأتي يُعدُّ زوجاً من الكائنات المُعدَّلة وراثياً؟

- أ . نبات الخوخ المُلقح خلطياً والبكتيريا التي تُنتج الأنسولين البشري .
ب . نبات ذرة مُعدَّل وراثياً ونبات موز متعدد المجموعة الكروموسومية .
جـ . نبات الخوخ المُلقح خلطياً ونبات موز متعدد المجموعة الكروموسومية .
د . البكتيريا التي تُنتج الأنسولين البشري ونبات ذرة مُعدَّل وراثياً .

19. يكون العلاج الجيني ناجحاً في إحدى الحالات الآتية:

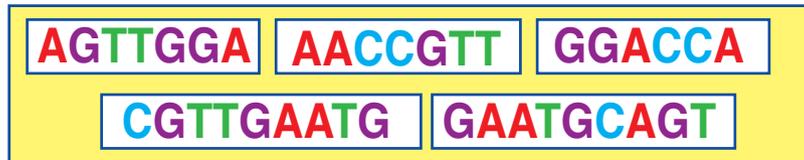
- أ . إذا أصابت الفيروسات التي تحمل الجين البديل خلايا الشخص المعالج .
ب . الجين البديل يتكاثر في خلايا الشخص المعالج .
جـ . التعبير عن الجين البديل في خلايا الشخص المعالج .
د . ربط الجين البديل بنجاح بالـ DNA الفيروسي .

السؤال الثاني:

أستنتج: كيف تُعدُّ البصمة الوراثية شكلاً من أشكال خرائط القطع؟

السؤال الثالث:

تُمثِّل الآتية نتائج تسلسل النيوكليوتيدات في قطع من DNA:

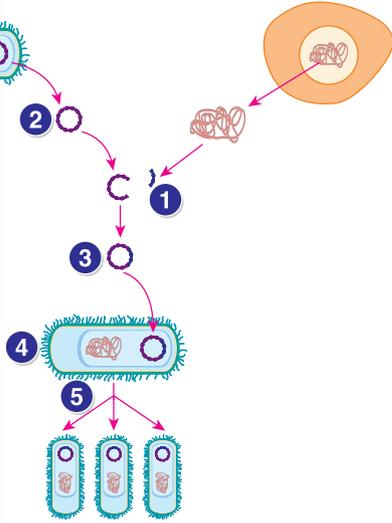


أُسلِّسِل: أرتَّب قطع DNA الناتجة وفقاً لمناطق التداخل، ثم أستنتج التسلسل الصحيح للنيوكليوتيدات.

مراجعة الوحدة

السؤال الرابع:

أدرس الشكل المجاور الذي يُمثّل بعض خطوات هندسة الجينات، ثم أجب عن السؤالين الآتيين:



1. ماذا يُمثّل كلٌّ من الأرقام: (1)، و (2)، و (3)، و (4)، و (5)؟

2. أفسّر: لا يُمكن للخلايا الناتجة من الخطوة الخامسة أن تُكوّن البروتين الجديد من دون حدوث تحوّل.

السؤال الخامس:

أ. أوضّح المقصود بمفهوم مشروع الجينوم البشري.

ب. أصف آليّة الاستنساخ في النبات.

السؤال السادس:

أفسّر: لا يُؤدّي استخدام العلاج الجيني دائماً إلى الشفاء من بعض الأمراض الوراثية.

السؤال السابع:

أفكّر: كيف يُؤدّي التسخين دوراً مُهمّاً في فصل سلاسل DNA في تفاعل بلمرة DNA المُتسلسل، ويؤدّي في الوقت نفسه دوراً في تثبيط إنزيم بلمرة DNA لدى بعض الكائنات الحيّة؟

السؤال الثامن:

أقارن بين المعالجة الجينية والكائنات المُعدّلة جينياً.

مسرح الجريمة المُشتبه به الأوّل المُشتبه به الثاني

■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■

السؤال التاسع:

يبيّن الشكل الآتي البصمة الوراثية لعينات وُجدت في مسرح جريمة، ولُشتبه بهما. أستنتج: أيُّ المُشتبه بهما هو الجاني؟

مسرّد المصطلحات

- الأسموزية الكيميائية **Chemiosmosis**: عودة البروتونات H^+ نتيجة فرق التركيز على جانبي الغشاء الخلوي عن طريق إنزيم إنتاج ATP. إشارات التقدّم **Go-ahead Signals**: إشارات تُحفّز انتقال الخلية إلى المرحلة اللاحقة أو الطور اللاحق. إشارات التوقّف **Stop Signals**: إشارات تعمل على بقاء الخلية في الطور أو المرحلة، وعدم انتقالها إلى المرحلة التالية أو الطور الذي يليه. الإشارات الخلوية **Cellular Signals**: مجموعة من المواد الكيميائية التي معظمها بروتينات، وهي تُصنّف بحسب مصدرها إلى إشارات داخلية، وإشارات خارجية. إشارات الموت المُبرمج للخلية **Apoptosis Signals**: إشارات تعمل على تنشيط جينات تُسهّم في إنتاج إنزيمات تُحطّم مُكوّنات في الخلية؛ ما يؤدي إلى موتها. الأليلات المتعدّدة **Multiple Alleles**: وجود أكثر من أليلين للجين الواحد. إنزيمات الفسفرة المعتمّدة على السايكلين **Cyclin-Dependent Kinases (Cdks)**: إنزيمات تعمل -بعد ارتباطها بالسايكلين- على إضافة مجموعة فوسفات إلى البروتين الهدف في عملية تُسمّى الفسفرة. وقد تؤدي فسفرة البروتينات إلى تحفيزها أو تثبيطها بحسب حاجة الخلية. إنزيم النسخ العكسي **Reverse Transcriptase**: إنزيم يُستخرج من الفيروسات ينسخ قالب الحمض النووي الريبوزي RNA إلى نسخة من الحمض النووي (DNA)، وهو في الاتجاه المعاكس للاتجاه المعتاد لانتقال المعلومات الوراثية، ويُعدّ هذا الإنزيم مهمّاً في تقنيات مقارنة التعبير الجيني مثل مصفوفة DNA الدقيقة. إنزيمات القطع المُحدّد **Restriction Enzymes**: إنزيمات مُتخصّصة تعرّف تسلسلاً مُحدّداً من النيوكليوتيدات في منطقة التعرّف، ويكون تسلسل النيوكليوتيدات في إحدى سلسلتي DNA من (5' إلى 3') هو التسلسل نفسه للسلسلة المُقابل لها. البروتينات المُربّطة بالسلاسل المفردة **Single Strand Binding Proteins (SSBP)**: بروتينات تمنع إعادة ارتباط السلسلتين إحداهما بالأخرى مرّة ثانية بعد فصلها عن طريق إنزيم الهيليكي. البصمة الوراثية **DNA Fingerprinting**: خريطة قُطع تُبيّن توزيع قُطع DNA في عيّنة DNA التي يراد تحليلها، وتُؤخّذ من نواة خلية حيّة، مثل: خلايا الدم البيضاء، وجذور الشعر، والخلايا الطلائية. البلازميدات **Plasmids**: هي DNA حلقي في سيتوبلازم البكتيريا، وهو يتضاعف بصورة مستقلة. التجدّد **Regeneration**: تعويض بعض الكائنات الحيّة عديدة الخلايا أجزاءً فقّدتها من أجسامها عن طريق الانقسام المتساوي. التحلّل الغلايكولي **Glycolysis**: المرحلة الأولى من التنفّس الخلوي؛ وهو سلسلة من التفاعلات الكيميائية التي تحدث في السيتوسول، ولا تحتاج إلى أكسجين. التخمر **Fermentation**: عملية تحدث في السيتوسول عند عدم توافر كمّيات كافية من الأكسجين. وهو يُصنّف إلى أنواع عدّة بحسب ناتجه النهائي، منها: تخمّر حمض اللاكتيك، والتخمّر الكحولي. الترتيب العشوائي للكروموسومات **Random Orientation of Chromosomes**: ترتيب كروموسومات الأُمّ وكروموسومات الأب ترتيباً عشوائياً أثناء الطور الاستوائي الأوّل في الانقسام المُنصف؛ ما يؤثر في توارث الأليلات المحمولة على كروموسومات مختلفة. تسلسل الحمض النووي **DNA sequencing**: عملية تحديد وقراءة تسلسل النيوكليوتيدات الكاملة المُكوّنة لجزيء الحمض النووي (DNA). تضاعف DNA **DNA Replication**: عملية تُنظّمها إنزيمات عدّة، وفيها تنتج نسختان مُتماثلتان من DNA لكل جزيء DNA تحدث له هذه العملية. تعدّد المجموعة الكروموسومية **Polyploidy**: احتواء بعض الكائنات الحيّة على أكثر من مجموعتين من الكروموسومات في خلاياها الجسمية، كأن تكون الخلايا ثلاثية المجموعة الكروموسومية (3n)، أو رباعية المجموعة الكروموسومية (4n). تفاعل إنزيم البلمرة المُتسلسل **Polymerase Chain Reaction (PCR)**: عملية مضاعفة عيّنة صغيرة من DNA وتكرارها لإنتاج ملايين النسخ منها خلال ساعات عدّة باستخدام جهاز الدورية الحرارية. التضاعف شبه المُحافظ **Semiconservative Replication**: تضاعف جزيء DNA، بحيث يحوي كل جزيء سلسلتين؛ إحداهما من DNA الأصل (أي سلسلة أصلية)، والأخرى جديدة ومُكمّلة لها. التعبير الجيني **Gene Expression**: عملية تستخدم فيها الخلية المعلومات الوراثية التي يحملها الجين لبناء جزيء RNA، أو تصنيع بروتين يؤدي وظيفة مُحدّدة في الخلية. تمايز الخلايا **Cell Differentiation**: عملية تتحوّل فيها الخلايا غير المُتخصّصة إلى خلايا مُتخصّصة.

الجينات المرتبطة **Linked Genes**: جينات بعضها قريب من بعض، وهي تُحمَل على الكروموسوم نفسه، وتُورث بوصفها وحدة واحدة، ومن أمثلتها جينات صفتي لون الجسم وحجم الأجنحة في ذبابة الفاكهة.

الجينوم البشري **Human Genome**: جميع التعليلات الوراثية اللازمة لبناء الجسم وأداء وظائفه.

حلقة كالفن **Calvin Cycle**: تفاعلات لا تحتاج إلى ضوء، وتحدث في اللُّحمة داخل البلاستيدة الخضراء.

حلقة كريس **Krebs Cycle**: الخطوة الثانية من عملية التنفس الهوائي، وهي تحدث في الحشوة داخل الميتوكوندريا، وتُسمى أيضًا حلقة حمض الستريك Citric Acid Cycle.

خريطة الجينات **Genes Map**: خريطة تُبين الجينات المحمولة على الكروموسوم ومواقعها، وترتيبها، والمسافة بينها.

الحمض النووي الريبوزي **Ribonucleic Acid (RNA)**: حمض نووي يؤدي دورًا مهمًا في عملية تصنيع البروتينات.

درجة الحرارة المحورية **Pivotal Temperature (T_p)**: درجة حرارة مُعيَّنة يحدث عندها تحول فسيولوجي في الكائن الحي، مثل درجة الحرارة الثابتة اللازمة لإنتاج الذكور والإناث في بعض أنواع الزواحف.

الدهون الثلاثية **Triglycerides**: أحد أنواع الليبيدات. وهي تتكوّن من اتحاد جزيء واحد من الغليسرول مع ثلاثة جزيئات من الحموض الدهنية بروابط تساهمية إستيرية.

دورة الخلية **Cell Cycle**: دورة تبدأ منذ تكوّن الخلية نتيجة انقسام خلية ما، وتنتهي بانقسامها هي نفسها، وإنتاج خليتين جديدتين.

الرابطة الفوسفاتية ثنائية الإستر **Phosphodiester Bond**: رابطة تربط النيوكليوتيدات بعضها ببعض داخل السلسلة الواحدة في الحمض النووي.

السايكليينات **Cyclins**: مجموعة من البروتينات، توجد في معظم الخلايا حقيقية النوى، وتُصنَّع في أثناء دورة الخلية، وتُحطَّم خلالها سريعًا. وهي تُصنَّف إلى أربعة أنواع رئيسية، تؤدي دورًا في تنظيم دورة الخلية؛ بتحفيزها إنزيمات الفسفرة المُعتمدة على السايكليين.

الستيرويدات **Steroids**: أحد أنواع الليبيدات. وهي تتكوّن من أربع حلقات كربونية مُلتحمة؛ ثلاث منها سداسية، وواحدة خماسية، إضافةً إلى مجموعة كيميائية ترتبط بالحلقة الرابعة، وتختلف من ستيرويد إلى آخر.

السلسلة الرائدة **Leading Strand**: سلسلة مُتصلة، يكون بناء سلسلة DNA المُكملة (الجديدة) فيها مُتَّجهاً دائماً من 5' إلى 3'، وتكون مُكملة لإحدى سلسلتي القالب.

السلسلة المُتأخّرة **Lagging Strand**: سلسلة تتكون على هيئة قطع غير مُتصلة تُسمى قطع أوكازاكي نظرًا لأن إنزيم بلمرة DNA لا يستطيع بناء سلسلة مُكملة في الاتجاه من 3' إلى 5'.

سلسلة البدء **Primer**: قطعة صغيرة من RNA تتكوّن من (10-5) نيوكليوتيدات يضيفها إنزيم بادئ RNA إلى كل سلسلة من سلسلتي DNA المُكملتين؛ لتوفير نهاية 3' حرة.

السُّكَّريات الأحادية **Monosaccharides**: أبسط أنواع الكربوهيدرات، وصيغتها العامة هي (CH₂O)_n، حيث n عدد ذرّات الكربون في السُّكَّر الأحادي.

السُّكَّريات الثنائية **Disaccharides**: سُكَّريات يتكوّن كلٌّ منها من وحدتين من السُّكَّريات الأحادية، ترتبطان معًا برابطة تساهمية غلايكوسيدية.

السُّكَّريات المُتعدّدة **Polysaccharides**: مُبلمرات تتكوّن من سُكَّريات أحادية (أو مشتقاتها) ترتبط في ما بينها بروابط تساهمية غلايكوسيدية.

الصفات المتأثرة بالجنس **Sex-Influenced Traits**: صفات تُحمَل جيناتها على الكروموسومات الجسمية، وتتأثر بالهرمونات الجنسية.

الصفات المرتبطة بالجنس **Sex Linked Traits**: صفات تُحمَل جيناتها على الكروموسومات الجنسية.

طاقة التنشيط **Activation Energy**: الطاقة اللازمة لبدء التفاعل الكيميائي.

الطور الصفري **G₀**: طور سكون تدخل فيه بعض الخلايا بعد أن تخرج من طور G₁ نتيجة غياب الإشارات الخلوية التي تُحفّزها على الاستمرار في دورة الخلية.

طفرة الإزاحة **Frameshift Mutation**: حذف زوج أو أكثر من النيوكليوتيدات في جزيء DNA، أو إدخال زوج أو أكثر منها في جزيء DNA بأعداد ليست من مضاعفات الثلاثة؛ ما يؤدي إلى تغيير تسلسل النيوكليوتيدات في أكثر من كودون من جزيء DNA.

طفرة الاستبدال **Substitution Mutation**: استبدال زوج من النيوكليوتيدات في جزيء DNA، والاستعاضة عنه بزواج آخر؛ ما يؤدي إلى تغيير تسلسل النيوكليوتيدات في كودون واحد فقط من جزيء DNA.

طفرة تبديل الموقع Translocation: إضافة جينات إلى كروموسوم غير مماثل؛ نتيجة انتقال الجزء المقطوع من أحد الكروموسومات إلى كروماتيد في كروموسوم غير مماثل له.

طفرة التكرار Duplication: تكرار جينات في الكروموسوم عند ارتباط الجزء المقطوع من كروموسوم بالكروماتيد الشقيق للكروماتيد الذي انفصل منه الجزء المقطوع، أو بالكروماتيد غير الشقيق في الكروموسوم المماثل له.

الطفرة الجينية Genetic Mutation: تغيير في تسلسل النيوكليوتيدات في جين مُعيّن من جزيء DNA.

طفرة الحذف Deletion: نقص في الجينات المحمولة على الكروموسوم عند قطع جزء منه.

طفرة القلب Inversion: انعكاس ترتيب الجينات في أحد الكروموسومات؛ نتيجة قطع جزء من هذا الكروموسوم، ثم إعادة ربط الجزء المقطوع بالكروموسوم نفسه الذي انفصل عنه، ولكن بصورة مقلوبة.

الطفرة الكروموسومية Chromosomal Mutation: تغيير في عدد الكروموسومات، أو تركيبها.

العلاج الجيني Gene Therapy: تثبيط الجين المسؤول عن إحداث المرض، أو إدخال نسخة من الجين السليم في خلايا فرد مصاب بمرض وراثي ناتج من اجتماع جينين مُنتحّين؛ لتعويض نقص البروتين الوظيفي في الخلايا.

الفسفرة التأكسدية Oxidative Phosphorylation: عملية إنتاج ATP عن طريق سلسلة نقل الإلكترون، والأسموزية الكيميائية، وهي تتضمن تفاعلات أكسدة واختزال.

قانون التوزيع الحر Law of Independent Assortment: انفصال أليلي الصفة الواحدة أحدهما عن الآخر بصورة مستقلة عن انفصال أليلات الصفات الأخرى أثناء تكوين الجاميتات.

الليبيدات المُفسّرة Phospholipids: أحد أنواع الليبيدات. وهي تتكوّن من جزيء غليسرول يرتبط بمجموعة فوسفات، وبجزيئين من الحموض الدهنية. الكائن المُعدّل جينيًا **Genetically Modified Organism:** كائن حي نُقل إليه جين أو أكثر لإكسابه صفة (أو صفات) مرغوبة.

مُرافق الإنزيم Coenzyme: عوامل عضوية مساعدة للإنزيمات، بعضها تؤدّي دورًا في تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تحدث في الخلية، مثل: NAD^+ و FAD المُستخدمة في عملية التنفس الخلوي، و $NADP^+$ المُستخدمة في عملية البناء الضوئي.

المركّبات العضوية الحيوية Bioorganic Compounds: مركّبات كيميائية توجد في أجسام الكائنات الحيّة، ويدخل في تركيبها بصورة أساسية ذرات الكربون والهيدروجين، ويدخل في تركيب بعضها أيضًا ذرات عناصر أخرى، مثل: النيتروجين، والأكسجين.

المعلوماتية الحيوية Bioinformatics: استخدام تكنولوجيا المعلومات وعلوم الحاسوب في دراسة العلوم الحياتية.

مُعقّد الإنزيم-المادة المُتفاعلة Enzyme-Substrate Complex: مركّب يتكوّن من ارتباط المادة المُتفاعلة بالموقع النشط في الإنزيم.

الموقع النشط Active Site: تجويف يتكوّن من حموض أمينية مُعيّنة، ويُمثّل مكان حدوث التفاعل، ويعمل قالبًا ترتبط به المادة التي يُؤثّر فيها الإنزيم.

النهايات غير اللزجة Blunt Ends: قطع من DNA تتكوّن نهاياتها من سلسلتين من النيوكليوتيدات.

النهايات اللزجة Sticky Ends: قطع من DNA ذات أطراف مفردة، وهي تتكوّن من سلسلة واحدة من النيوكليوتيدات، تُنتجها بعض إنزيمات القطع المُحدّد.

النظام الضوئي Photosystem: نظام أصباغ يوجد في أغشية الثايلاكويدات، وهو يتكوّن من مُعقّد مركز التفاعل الذي يحتوي على زوج خاص من الكلوروفيل أ، ومُستقبل إلكترون أولي. ويحاط مُعقّد مركز التفاعل بأصباغ أخرى، مثل: الكلوروفيل ب، والكاروتين.

نقاط المُراقبة Checkpoints: نقاط مُحدّدة تُستعمل في دورة الخلية لتنظيمها. وتوجد نقاط مُراقبة عديدة، ولكنّ نقاط المُراقبة: G_1 ، و G_2 ، و M هي الرئيسة منها.

هندسة الجينات Genetic Engineering: تعديل التركيب الوراثي للكائن الحي بإضافة جينات أو أجزاء منها، واستبدالها، وحذفها.

الوراثة فوق الجينية Epigenetics: دراسة تبحث في التعديلات على التعبير الجيني أو الطرز الشكلية في الكائن الحيّ، التي تحدث من دون تغيير تسلسل النيوكليوتيدات في الجين.

الوراثة مُتعدّدة الجينات Polygenic Inheritance: نمط من الوراثة غير المنديلية، وفيه يتحكّم أكثر من جينين في الصفة الوراثية، وتكون الطرز الشكلية لهذه الصفة مُتدرّجة بين الأفراد بسبب تراكم تأثير الجينات التي تتحكّم فيها، ومن أمثلة هذا النمط وراثة لون الجلد في الإنسان.

DNA المُعاد تركيبه Recombinant DNA: وهو جزيء DNA تغيير تركيبه باستخدام هندسة الجينات.

