سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

رؤية عمان 2040
بثقة نمضي
Moving Forward with Confidence

الأحياء

الصف الحادي عشر

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الأول

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية
1445 هـ - 2023 م

سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

الأحياء

الصف الحادي عشر

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الأول

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية 1445 هـ - 2023 م

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

مطبعة جامعة كامبريدج، الرمز البريدي CB2 8BS، المملكة المتحدة.

تشكل مطبعة جامعة كامبريدج جزءًا من الجامعة.
وللمطبعة دور في تعزيز رسالة الجامعة من خلال نشر المعرفة، سعيًا وراء
تحقيق التعليم والتعلم وتوفير أدوات البحث على أعلى مستويات التميز العالمية.

© مطبعة جامعة كامبريدج ووزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان.

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي
المسموح به قانونًا ولأحكام التراخيص ذات الصلة.
لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول على الإذن المكتوب من
مطبعة جامعة كامبريدج ومن وزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان.

الطبعة التجريبية ٢٠٢٣ م، طُبعت في سلطنة عُمان

هذه نسخة تمَّت مواءمتها من كتاب الطالب – الأحياء للصف الحادي عشر – من سلسلة كامبريدج للأحياء
لمستوى الدبلوم العام والمستوى المتقدم AS & A Level للمؤلفين ماري جونز، ريتشارد فوسبيري، دينيس تايلور،
جنيفر غريغوري.

تمت مواءمة هذا الكتاب بناءً على العقد الموقع بين وزارة التربية والتعليم ومطبعة
جامعة كامبريدج.
لا تتحمل مطبعة جامعة كامبريدج المسؤولية تجاه المواقع الإلكترونية
المستخدمة في هذا الكتاب أو دقّتها، ولا تؤكد أن المحتوى الوارد على تلك المواقع دقيق
وملائم، أو أنه سيبقى كذلك.

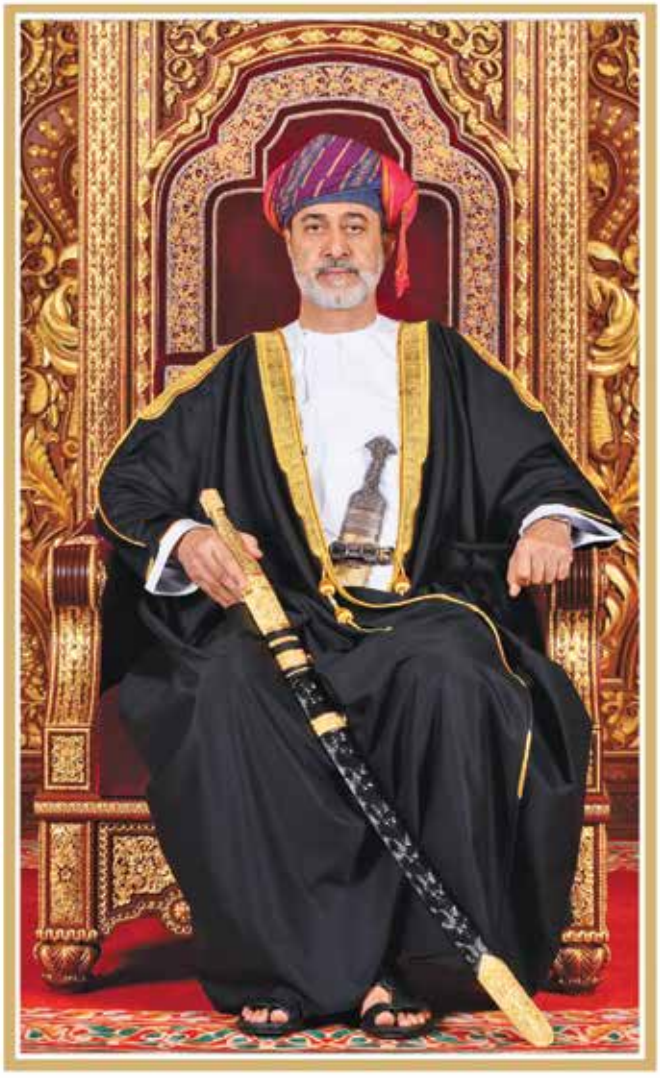
تمت مواءمة الكتاب

بموجب القرار الوزاري رقم ٢٠٢٢/١٢١ واللجان المنبثقة عنه

جميع حقوق الطبع والتأليف والنشر محفوظة لوزارة التربية والتعليم

**ولا يجوز طبع الكتاب أو تصويره أو إعادة نسخه كاملًا أو مجزّأ أو ترجمته
أو تخزينه في نطاق استعادة المعلومات بهدف تجاري بأي شكل من الأشكال
إلّا بإذن كتابي مسبق من الوزارة، وفي حال الاقتباس القصير يجب ذكر المصدر.**

المغفور له
السلطان قابوس بن سعيد
-طيّب الله ثراه-



حضرة صاحب الجلالة
السلطان هيثم بن طارق المعظم
-حفظه الله ورعاه-

سلطنـــــة عُمـــــان

(المحافظات والولايات)

النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

يا رَبَّنا احْفَظْ لنا جَلالَةَ السُّلْطان
وَالشَّعْبَ في الأَوْطان بِالْعِزِّ والأَمان
وَلْيَدُمْ مُؤَيَّدًا عاهِلاً مُمَجَّدًا
بِالنُّفوسِ يُفْتَدى

يا عُمانُ نَحْنُ مِنْ عَهْدِ النَّبي أَوْفِياءُ مِنْ كِرامِ الْعَرَبِ
فارْتَقي هامَ السَّماء وَامْلَئي الْكَوْنَ ضياء
وَاسْعَدي وَانْعَمي بِالرَّخاء

تقديم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على خير المرسلين، سيّدنا مُحمَّد، وعلى آله وصحبه أجمعين. وبعد:

لقد حرصت وزارة التربية والتعليم على تطوير المنظومة التعليمية في جوانبها ومجالاتها المختلفة كافة؛ لتُلبّي مُتطلّبات المجتمع الحالية، وتطلُّعاته المستقبلية، ولتتواكب مع المُستجدّات العالمية في اقتصاد المعرفة، والعلوم الحياتية المختلفة؛ بما يؤدّي إلى تمكين المخرجات التعليمية من المشاركة في مجالات التنمية الشاملة للسلطنة.

وقد حظيت المناهج الدراسية، باعتبارها مكوِّنًا أساسيًا من مكوِّنات المنظومة التعليمية، بمراجعة مستمرة وتطوير شامل في نواحيها المختلفة؛ بدءًا من المقرّرات الدراسية، وطرائق التدريس، وأساليب التقويم وغيرها؛ وذلك لتتناسب مع الرؤية المستقبلية للتعليم في السلطنة، ولتتوافق مع فلسفته وأهدافه.

وقد أولت الوزارة مجال تدريس العلوم والرياضيات اهتمامًا كبيرًا يتلاءم مع مستجدات التطور العلمي والتكنولوجي والمعرفي. ومن هذا المنطلق اتَّجهت إلى الاستفادة من الخبرات الدولية؛ اتساقًا مع التطوُّر المتسارع في هذا المجال، من خلال تبنّي مشروع السلاسل العالمية في تدريس هاتَين المادّتَين وفق المعايير الدولية؛ من أجل تنمية مهارات البحث والتقصّي والاستنتاج لدى الطلبة، وتعميق فهمهم للظواهر العلمية المختلفة، وتطوير قدراتهم التنافُسية في المسابقات العلمية والمعرفية، وتحقيق نتائج أفضل في الدراسات الدولية.

إن هذا الكتاب، بما يحويه من معارف ومهارات وقيَم واتجاهات، جاء مُحقِّقًا لأهداف التعليم في السلطنة، وموائمًا للبيئة العمانية، والخصوصية الثقافية للبلد، بما يتضمَّنه من أنشطة وصور ورسوم. وهو أحد مصادر المعرفة الداعمة لتعلُّم الطالب، بالإضافة إلى غيره من المصادر المختلفة.

نتمنّى لأبنائنا الطلبة النجاح، ولزملائنا المعلّمين التوفيق فيما يبذلونه من جهود مُخلِصة، لتحقيق أهداف الرسالة التربوية السامية؛ خدمة لهذا الوطن العزيز، تحت ظل القيادة الحكيمة لمولانا حضرة صاحب الجلالة السلطان هيثم بن طارق المعظّم، حفظه الله ورعاه.

والله ولي التوفيق...

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية

وزيرة التربية والتعليم

المحتويات

المقدمة xi

كيف تستخدم هذه السلسلة xiii

كيف تستخدم هذا الكتاب xv

الوحدة الأولى: تركيب الخلية

١-١ علم الخليّة واستخدام المجهر ٢٠

١-٢ الخلايا النباتيّة والخلايا الحيوانيّة كما تُرى بالمجهر الضوئي ٢٢

١-٣ حساب القياسات ومقدار التكبير ٢٨

١-٤ الخلايا النباتيّة والخلايا الحيوانيّة كما تُرى بالمجهر الإلكتروني ٣١

١-٥ البكتيريا ٤٩

١-٦ الفيروسات ٥٣

الوحدة الثانية: الجزيئات الحيوية

٢-١ الكيمياء الحيوية ٦٦

٢-٢ الكربوهيدرات ٦٨

٢-٣ الدهون ٧٦

٢-٤ البروتينات ٧٩

٢-٥ الماء ٩٠

الوحدة الثالثة: الإنزيمات

٣-١ ما هو الإنزيم؟ ١٠٥

٣-٢ طريقة عمل الإنزيمات ١٠٦

٣-٣ استقصاء سير تفاعل محفّز بالإنزيم .. ١٠٩

٣-٤ العوامل المؤثرة في عمل الإنزيم ١١١

٣-٥ مقارنة ألفة (تلاؤم) الإنزيمات ١١٤

٣-٦ مثبّطات الإنزيم ١١٥

٣-٧ الإنزيمات المثبتة ١١٧

الوحدة الرابعة: دورة الخلية والانقسام المتساوي

٤-١ النمو والتكاثر و دور الكروموسومات .. ١٢٨

٤-٢ دورة الخلية ١٣٠

٤-٣ الانقسام المتساوي ١٣١

٤-٤ دور التيلوميرات ١٣٧

٤-٥ دور الخلايا الجذعيّة ١٣٨

٤-٦ السرطانات ١٣٩

قائمة المصطلحات ١٤٧

الملحق رقم ١ ..... ١٥٣

المقدمة

يستند هذا الكتاب بشكل أساسيّ إلى كتاب علم الأحياء الذي كتب لمنهج كامبريدج (Cambridge AS & A Level Biology 9700). ويغطي الفصل الدراسي الأول من منهج سلطنة عمان لمادة الأحياء للصف الحادي عشر.

تعتمد دراسة الكتاب على جهودك الخاصة في التعلم، وعلى ما يوجهك المعلم إليه. وترتكز وحداته على المعارف والمهارات التي درستها في سنوات سابقة، كما ترتكز بعض الوحدات المتأخرة على المعرفة المتأتية من الوحدات التي عرضت قبلها.

تؤمّن الكثير من الأسئلة الواردة في المحتوى فهمًا أعمق للحقائق والمفاهيم، وبالتالي لن يكفي حفظ العبارات ومحتوى الرسوم التخطيطيّة، واسترجاعها، بل يفترض بك أن تطوّر فهمًا معمّقًا لكل مفهوم. وسيساعدك في تحقيق ذلك محاولتك الإجابة عن الأسئلة الواردة ضمن الوحدات وفي نهايتها.

من المهم جدًا إدراك أن جميع موضوعات الكتاب ترتبط بعضها ببعض، على الرغم من أنك ستدرسها على شكل سلسلة من الموضوعات المختلفة، وستحتاج إلى تكوين روابط بين المفاهيم المختلفة لتتمكّن من الإجابة عن بعض الأسئلة. على سبيل المثال، قد تتطلب الإجابة عن أحد الأسئلة الجمع بين المعرفة عن بناء البروتين والأمراض المعدية وعمليات النقل في الثدييات. وستلاحظ أن بعض المفاهيم الأساسيّة تتكرر باستمرار، ومنها:

- الخلايا كوحدات للحياة.
- العمليات الكيميائيّة الحيويّة.
- جزيء الوراثة DNA.
- الكائنات الحيّة في بيئاتها.
- الملاحظة والتجربة.

فكّر، أثناء تعلمك، في ما تعلمته سابقًا، ومدى ارتباطه بما تتعلمه الآن. ستجد في بعض أسئلة التفكير الواردة في نهاية الوحدات روابط معيّنة يمكنك التفكير فيها، وهي تحفزك على أن تفكر في طريقة تعلمك، بما يساعدك في تحقيق أقصى استفادة من وقتك وقدراتك أثناء تعلمك. يمكنك الاستفادة أيضًا من قوائم التقويم الذاتي الواردة في نهاية كل وحدة لتستكشف مدى فهمك لكل موضوع، وتعرف ما إذا كنت في حاجة إلى بذل مزيد من الجهد في دراسته.

تمثل المهارات العمليّة جزءًا مهمًا في كتاب الأحياء، وستطوّر مهاراتك مع إجرائك للأنشطة والاستقصاءات العمليّة المرتبطة بالموضوعات التي تدرسها.

يؤمّن كتاب التجارب العملية والأنشطة إرشادات عامة ذات صلة بكثير من المهارات التي تحتاج إلى تطويرها وأنت تجري الأنشطة والاستقصاءات العمليّة – ومن ذلك، رسم التمثيلات البيانيّة وتحليلها والتخطيط للتجارب – وحل المسائل المختلفة. كما يشتمل على الكثير من الشروح، بما فيها الشرح المفصّل عن كيفيّة إجراء جميع الاستقصاءات العمليّة التي يتضمنها المنهج.

ستكون دراستك لكتاب الأحياء هذا مثيرة للاهتمام، بخاصة مع الاكتشافات المتلاحقة والتقنيات الجديدة التي تعرضها وسائل الإعلام. لذا، نأمل أن تجد في ما ستدرسه الفائدة والمتعة اللتَين نتوخّاهما، وأن تطوّر مزيدًا من الاهتمام بعلم الأحياء باستمرار.

كيف تستخدم هذه السلسلة

تقدّم هذه المكوّنات (أو المصادر) الدعم للطلبة في الصف الحادي عشر في سلطنة عمان لتعلم مادة الأحياء واستيعابها، حيث تعمل كتب هذه السلسلة جميعها معًا لمساعدة الطلبة على تطوير المعرفة والمهارات العلمية اللازمة لهذه المادة. كما تقدّم الدعم للمعلمين لإيصال هذه المعارف للطلبة وتمكينهم من مهارات الاستقصاء العلمي.

يقدّم «كتاب الطالب» دعمًا شاملًا لمنهج الأحياء للصف الحادي عشر في سلطنة عمان، ويقدّم شرحًا للحقائق والمفاهيم والتقنيات العلمية بوضوح، كما يستخدم أمثلة من العالم الواقعي للمبادئ العلمية. والأسئلة التي تتضمنها كل وحدة تساعد على تطوير فهم الطلبة للمحتوى، في حين أن الأسئلة الموجودة في نهاية كل وحدة تحقق لهم مزيدًا من التطبيقات العلمية الأساسية.

يحتوي «كتاب التجارب العملية والأنشطة» على أنشطة وأسئلة نهاية الوحدة، والتي تمّ اختيارها بعناية، بهدف مساعدة الطلبة على تطوير المهارات المختلفة التي يحتاجون إليها أثناء تقدمهم في دراسة كتاب الأحياء. كما تساعد هذه الأسئلة الطلبة على تطوير فهمهم لمعنى الأفعال الإجرائية المستخدمة في الأسئلة، إضافة إلى دعمهم في الإجابة عن الأسئلة بشكل مناسب.

كما يحقّق هذا الكتاب للطلبة الدعم الكامل الذي سوف يساعدهم على تطوير مهارات الاستقصاء العملية الأساسية جميعها. وتشمل هذا المهارات تخطيط الاستقصاءات، واختيار الجهاز وكيفية التعامل معه، وطرح الفرضيات، وتدوين النتائج وعرضها، وتحليل البيانات وتقييمها.

يدعم دليل المعلم «كتاب الطالب» و «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، ويعزز الأسئلة والمهارات العملية الموجودة فيهما. ويتضمّن هذا الدليل أفكارًا تفصيلية للتدريس وإجابات عن كل سؤال ونشاط وارد في «كتاب الطالب» وفي «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، فضلًا عن الإرشادات التعليمية لكل موضوع، بما في ذلك خطة التدريس المقترحة، وأفكار للتعلم النشط والتقويم التكويني، والمصادر المرتبطة بالموضوع، والأنشطة التمهيدية، والتعليم المتمايز (تفريد التعليم) والمفاهيم الخاطئة وسوء الفهم. كما يتضمن أيضًا دعمًا مفصلًا لإجراء الاستقصاءات العملية وتنفيذها في «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، بما في ذلك فقرات «مهم» لجعل الأمور تسير بشكل جيد، إضافة إلى مجموعة من عينات النتائج التي يمكن استخدامها إذا لم يتمكن الطلبة من إجراء التجربة، أو أخفقوا في جمع النتائج النموذجية.

كيف تستخدم هذا الكتاب

خلال دراستك هذا الكتاب، ستلاحظ الكثير من الميزات المختلفة التي ستساعدك في التعلم. هذه الميزات موضحة على النحو الآتي:

أهداف التعلّم

تُمثّل هذه الأهداف مضمون كل وحدة دراسية، وتساعد على إرشاد الطلبة خلال دراسة «كتاب الطالب»، كما تشير إلى المفاهيم المهمة المطروحة في كل موضوع، ويتم التركيز عليها عند تقويم الطالب.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

تحتوي هذه الميزة على أسئلة وأنشطة تتمحور حول المعرفة القبلية للموضوعات التي ستحتاج إليها قبل البدء بدراسة الوحدة.

العلوم ضمن سياقها

تُقدّم هذه الميزة أمثلة وتطبيقات واقعية للمحتوى الموجود في كل وحدة دراسية، ما يعني أنها تشجع الطلبة على إجراء المزيد من البحث في الموضوعات المختلفة.

مهارة عملية

لا يحتوي هذا الجزء من الكتاب على تعليمات مفصلة لإجراء تجارب معيّنة، لكنك ستجد، في مربّعات النص هذه، توجيهات أساسية حول النشاط العملي الذي تحتاج إلى تطبيقه.

أسئلة

يتخلّل النص أسئلة تمنحك فرصة للتحقق من أنك قد فهمت الموضوع الذي قرأت عنه.

أمثلة

تحتوي على أمثلة محلولة توضّح كيفية استخدام صيغة رياضية معيّنة لإجراء عملية حسابية.

مصطلحات علمية

يتم تمييز المصطلحات الأساسية في النص عند تقديمها لأول مرة. ثم يتم تقديم تعريفات لها في الهامش تشرح معاني هذه المصطلحات.

سوف تجد أيضًا تعريفات لهذه المصطلحات في قائمة المصطلحات الواردة في نهاية هذا الكتاب.

أفعال إجرائية

لقد تمّ إبراز الأفعال الإجرائية الواردة في المنهج الدراسي بلون غامق في أسئلة نهاية الوحدة، ويمكن استخدامها في الاختبارات، خصوصًا عندما يتم تقديمها للمرة الأولى. وستجد في الهامش تعريفًا لها.

سوف تجد أيضًا التعريفات نفسها في قائمة المصطلحات الواردة في نهاية هذا الكتاب.

مهمّ

يتم في مربّعات النص هذه إدراج حقائق وإرشادات مهمّة للطلبة.

ملخّص

تحتوي مربّعات النص هذه على ملخّص للنقاط الرئيسية في نهاية كل وحدة.

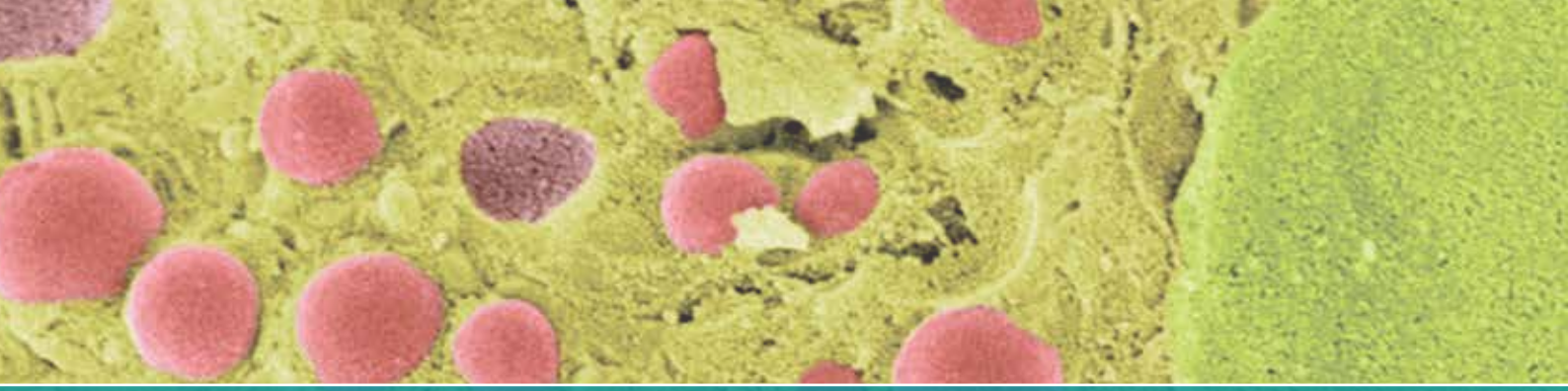
أسئلة نهاية الوحدة

تقيس هذه الأسئلة مدى تحقّق الأهداف التعليمية في الوحدة، وقد يتطلب بعضها استخدام معارف علمية من وحدات سابقة. تتوافر إجابات هذه الأسئلة في دليل المعلم.

قائمة تقييم ذاتي

تلي الملخّص عبارات تتضمّن عناوين منها: «أستطيع أن» التي تتطابق مع أهداف التعلم الموجودة في بداية الوحدة؛ و «أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد»، أو «متمكّن إلى حدٍّ ما» اللتَين تشيران إلى وجوب مراجعة ما تراه ضروريًا في هذا المجال. وقد تجد أنه من المفيد تقييم مدى ثقتك بكل من هذه العبارات أثناء عملية المراجعة.

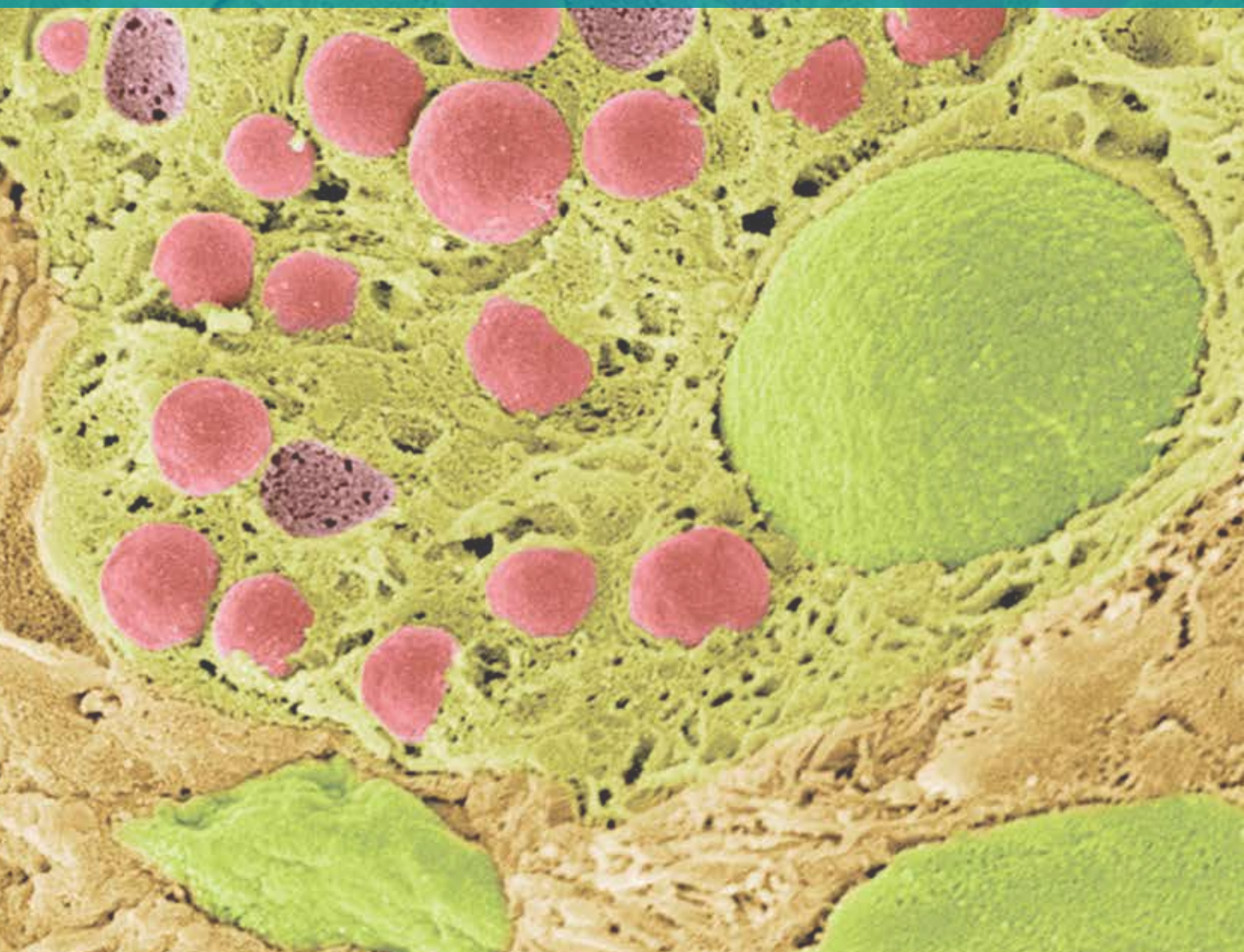
أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدٍّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا



الوحدة الأولى

تركيب الخلية

Cell structure



أهداف التعلّم

١-١ يُعِدّ شرائح مجهرية مؤقّتة لخلايا حية يمكن مشاهدتها بالمجهر الضوئي.

١-٢ يرسم خلايا حية من شرائح وصور مجهرية ضوئية.

١-٣ يحسب مقدار تكبير الرسوم والصور، ويحسب القياسات الحقيقية للعيّنات من مقياس الرسوم، والصور المجهريّة الضوئية، والرسوم المجهريّة الإلكترونيّة (بالمجهر الماسح والمجهر النافذ).

١-٤ يستخدم مقياس العدسة العينية ومقياس المنضدة لإجراء القياسات ويستخدم الوحدات المناسبة: المليمتر (mm)، والميكرومتر (µm)، والنانومتر (nm).

١-٥ يتعرّف على العضيّات والتراكيب الخلويّة الموجودة في الخلايا حقيقيّة النواة والتي يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئي ويحدّد تركيبها ووظائفها مقتصراً على:

- غشاء سطح الخلية
- النواة
- جهاز جولجي
- الميتوكندريا
- السنتريولات
- البلاستيدات الخضراء
- الجدار الخلوي
- غشاء الفجوة في الخلايا النباتيّة (التونوبلاست) وفجوة مركزية كبيرة دائمة في الخلايا النباتيّة.

١-٦ يتعرّف على العضيّات والتراكيب الخلويّة الموجودة في الخلايا حقيقيّة النواة والتي يمكن رؤيتها تحت المجهر الإلكتروني ويحدّد تركيبها ووظائفها مقتصراً على:

- الغلاف النووي والنوية
- الشبكة الاندوبلازمية الخشنة
- الشبكة الاندوبلازمية الناعمة
- العرف ووجود DNA حلقي صغير في الميتوكندريا
- الرايبوسومات (80S في السيتوبلازم و 70S في البلاستيدات الخضراء والميتوكندريا)
- الليسوسومات
- الأنيبيبات الدقيقة
- الأهداب
- الخملات
- الثايلاكويدات ووجود DNA حلقي صغير في البلاستيدات الخضراء
- الروابط البلازميّة.

١-٧ يصف ويفسّر الصور المجهريّة الضوئية والصور المجهريّة الإلكترونيّة ورسوم الخلايا النباتيّة والحيوانيّة النموذجية.

١-٨ يقارن تركيب الخلايا النباتيّة والخلايا الحيوانيّة النموذجيّة.

١-٩ يذكر أن الخلايا تستخدم ATP من عمليّة التنفس للعمليات التي تتطلّب الطاقة.

١-١٠ يحدّد خصائص التراكيب الأساسيّة للخليّة بدائيّة النواة كما توجد في بكتيريا نموذجيّة، بما في ذلك:

- أحادية الخلية
- قطر (1–5 µm) غالبًا
- جدران خلويّة من ببتيدوجلايكان
- DNA حلقي
- رايبوسومات 70S
- الافتقار لعضّيات محاطة بأغشية مزدوجة.

١-١١ يقارن تركيب الخليّة بدائيّة النواة كما هي في بكتيريا نموذجيّة بتركيب الخلايا حقيقيّة النواة النموذجيّة في النباتات والحيوانات.

١-١٢ يذكر أنّ جميع الفيروسات تراكيب غير خلويّة تحتوي على حمض نووي (DNA أو RNA) وغلاف بروتيني يعرف بالمحفظة، وأنّ لبعض الفيروسات غلافًا خارجياً مكونا من دهون مفسفرة.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

- اكتب قائمة بأسماء التراكيب التي يمكن أن توجد في الخليّة.
- حاول كتابة وظائف التراكيب التي أوردتها في القائمة.
- أيّ التراكيب توجد في الخلايا النباتيّة؟ وأيّها توجد في الخلايا الحيوانيّة؟
- هل توجد خلايا ليست حيوانيّة أو نباتيّة؟

العلوم ضمن سياقها

خلايا في الفضاء

شهدت السنوات المئة والخمسون الماضية تقدّمًا سريعًا في فهمنا للخلايا. ومع التطور التكنولوجي الذي ساعد في إجراء دراسات أكثر تفصيلًا للخلايا، تزايد الاهتمام بعلم الخلية وتطبيقاتها في الطب وإنتاج الغذاء والهندسة الوراثيّة وغيرها من المجالات أو التطبيقات الأخرى.

قام علماء الخلية في أوائل القرن العشرين بزراعة الخلايا في أطباق بتري مسطّحة (أسطح ثنائية الأبعاد)، وكانوا يعتمدون في رؤيتها على المجاهر الضوئيّة، ثم المجاهر الإلكترونيّة بعد وضعها على شرائح مسطّحة. لكن الخلايا ليست مسطحة، بل أجسام ثلاثيّة الأبعاد تحتوي على عُضيّات ثلاثيّة الأبعاد، تتجمع وتترابط لتكوّن أنسجة وأعضاء تشغل مساحة ثلاثيّة الأبعاد أيضًا. تؤدّي الطريقة التقليديّة لتنمية الخلايا أو زراعتها في بيئة ثنائيّة الأبعاد إلى ظروف نموّ غير طبيعيّة للخلايا، ولا تكوّن الأشكال والتراكيب التي يتوقّعها العلماء.

في ثمانينيّات القرن الماضي، أرادت الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (ناسا-NASA)، معرفة ما إذا كان يمكن للخلايا والأنسجة أن تنمو في ظروف الجاذبيّة الصغرى للفضاء، وذلك بهدف تطوير علاجات لرواد الفضاء في حال إصابتهم بجروح أو بمرض ما أثناء رحلاتهم الفضائيّة. وعملت على تطوير مفاعل حيوي ذي وعاء جداري دوّار RWV bioreactor لمحاكاة ظروف الجاذبيّة المنخفضة في الفضاء، والذي يزيل أو يقلّل أيّة قوى تؤثّر على زراعة الخلايا. وتبيّن أن هذا المفاعل الحيوي قد حسّن من زراعة الخلايا بصورة كبيرة. فالخلايا، من دون قوّة الجاذبيّة، قادرة على التمايز وتكوين أنسجة بطريقة طبيعيّة جدًا، تمامًا كما تنمو الأجنّة في الرحم.

وعلى الرغم من أنه جرى تطوير المفاعل الحيوي لمعرفة كيفيّة نموّ الخلايا في الفضاء، إلّا أنه يتمّ الاستفادة من هذا التطوّر الآن في زراعة الخلايا على الأرض، وفي دراسة نمو الخلايا السرطانية وانتقال مسبّبات الأمراض، وفي أبحاث اللقاحات والأدوية الجديدة. يعمل علماء الخليّة أيضًا مع روّاد الفضاء في محطة الفضاء الدوليّة (ISS-International Space Station) على دراسة الخلايا الحيوانيّة والنباتيّة والبكتيريا في بيئة السقوط الحرّ Free fall لمراقبة الاختلافات، وتحسين فهمنا حول الخلايا وطريقة نموّها. لا شكّ في أنّ التكنولوجيا الجديدة تواكب التكنولوجيا التقليديّة، القائمة على المجاهر الضوئيّة مثلًا، وذلك بهدف تحقيق اكتشافات وتطبيقات جديدة في مجال علم الخليّة.

الصورة ١-١ لوكا بارميتانو، رائد الفضاء الأوروبي في محطة الفضاء الدولية (ISS)، يجري تجربة في علم الخليّة للكشف عن كيفية تأثر تمايز الخلايا بالجاذبية الصغرى.

أسئلة للمناقشة

- اقترح تطوّرات تكنولوجيّة أخرى تزيد من فهمنا لعلم الخلية.
- لماذا تعتقد أنه من المهمّ فهم كيف تتأثر وتستجيب الخلايا في بيئات مختلفة؟

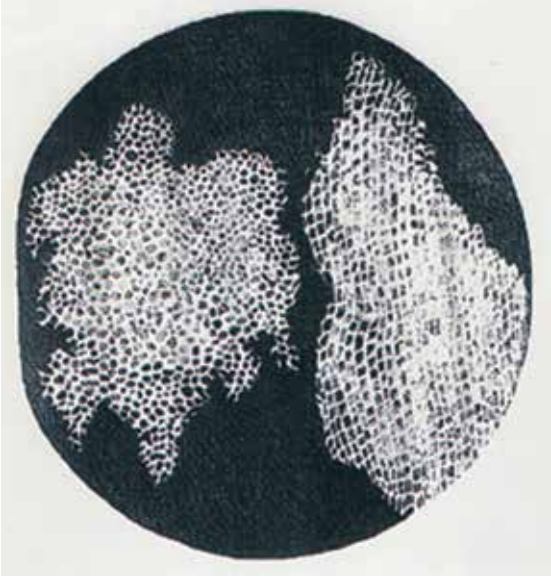
١-١ علم الخليّة واستخدام المجهر

حقّق العلماء في منتصف القرن التاسع عشر اختراقًا علميًا أساسيًا في فهم الحياة. لقد أدركوا أن الوحدة الأساسيّة للحياة هي **الخلية The cell**.

تعود أصول هذه الفكرة إلى بدايات استخدام المجهر، عندما فحص العالم الإنجليزي روبرت هوك Robert Hooke شرائح رقيقة من موادّ نباتيّة، كالفلّين، ورسم رسومًا مجهريّة للتراكيب المنتظمة التي شاهدها بالمجهر، كما في الصورة ١-٢.

مصطلحات علمية

الخليّة The Cell: الوحدة الأساسيّة لجميع الكائنات الحيّة. وهي محاطة بغشاء سطح الخلية (الغشاء البلازمي)، وتحتوي على المادّة الوراثيّة (DNA) وسيتوبلازم يحتوي على العضيات **Organelles**.



الصورة ١-٢ رسم لخلايا الفلين كما شاهدها روبرت هوك ونشرها عام 1665 م.

إذا تفحّصت الرسم، فسترى تراكيب منتظمة أطلق عليها هوك «خلايا». تبدو كلّ خليّة كصندوق فارغ يحيط به جدار. وقد اكتشف هوك الوحدة الأساسيّة لجميع الكائنات الحيّة ووصفها من دون أن يدرك ذلك.

وعلى الرغم من معرفتنا الآن أن خلايا الفلّين ميتة، فقد قدّم هوك وعلماء آخرون مشاهدات أخرى لخلايا في موادّ حيّة. ومع ذلك، لم تظهر النظريّة العامّة للخليّة إلّا بعد 200 عام على يد عالمَين ألمانيَّين. ففي عام 1838م، اقترح عالم النبات شلايدن Schleiden أنّ جميع النباتات تتكوّن من خلايا، وبعد عام من تاريخه أكّد عالم الحيوان شوان Schwann هذه النظرية على الحيوانات أيضًا. وسرعان ما تبيّن أن جميع الخلايا تنشأ من خلايا مماثلة موجودة سابقًا، بعمليّة الانقسام الخلوي.

لماذا الخلايا؟

يمكن تشبيه الخليّة بكيس تجري فيه أنشطة كيمياء الحياة، بمعزل عن البيئة المحيطة بها. ويحاط الكيس (الخليّة) بغشاء رقيق، وهو سمة تركيبية أساسية لجميع الخلايا لأنه يتحكّم بتبادل الموادّ بين الخليّة والبيئة المحيطة بها. يعمل الغشاء كحاجز، ولكنه يعمل أيضًا على تنظيم حركة الموادّ عبره في كلا الاتّجاهَين، وبالتالي يوصَف بأنه منفذ جزئيًّا Partially permeable. ولو كان الغشاء منفذًا كلّيًا، لَما وجدت حياة، إذ ستختلط الموادّ الكيميائيّة في الخليّة ببساطة مع الموادّ الكيميائيّة في محيطها أثناء الانتشار، وبالتالي سيماثل محتواها محتوى بيئتها المحيطة.

نوعان من الخلايا

خلال القرن العشرين، وعندما كان العلماء يدرسون خلايا البكتيريا وخلايا كائنات حية أكثر تعقيدًا مثل النباتات والحيوانات، بدأوا يدركون بوجود نوعَين مختلفَين من الخلايا بعضها بسيط جدًّا وبعضها الآخر كبير وأكثر تعقيدًا. تحتوي الخلايا المعقّدة على **نواة Nucleus** (جمعها: **نوى Nuclei**) محاطة بغشاءَين، وتوجد المادّة الوراثيّة DNA بداخلها؛ أمّا الخلايا البسيطة فلا يحاط DNA فيها بأغشية، بل يوجد حرًا في السيتوبلازم. تسمّى الكائنات الحيّة التي تتكوّن من خلايا تحتوي على نواة محاطة بغشاء **حقيقيّة النواة Eukaryotes**، وتسمّى الخلايا البسيطة التي تفتقر إلى نواة محاطة بغشاء **بدائيّة النواة Prokaryotes**. تشمل بدائيّة النواة البكتيريا والعتائق، وتشمل حقيقيّة النواة الحيوانات والنباتات والفطريات وبعض الكائنات الحيّة الأخرى.

أنواع المجاهر

أدّت دراسة الخلايا إلى ظهور فرع مهمّ من علم الأحياء يسمّى «علم الخليّة». يدرس العلماء الخليّة باستخدام العديد من الطرائق المختلفة، بما فيها استخدام أنواع من المجاهر أشهرها نوعان يختلفان اختلافًا جوهريًا: المجهر الضوئي والمجهر الإلكتروني. ويستخدم كلّ منهما شكلًا من أشكال الإشعاع لمشاهدة العيّنة. إذ يستخدم المجهر الضوئي الضوء مصدرًا للإشعاع، بينما يستخدم المجهر الإلكتروني (الماسح أو النافذ) الإلكترونات لذلك.

وحدات القياس

نحتاج إلى استخدام وحدات قياس صغيرة جدًا لقياس الأجسام بالمجهر. فبحسب الاتفاق الدولي، يجب استخدام النظام الدولي للوحدات (The International System of Units-SI units). ويمثل المتر (m) وحدة الطول الأساسيّة. كما تمّ إنشاء وحدات أخرى باعتماد أطوال أطول أو أقصر من المتر بآلاف المرّات. تستخدم البادئات للوحدات، على سبيل المثال البادئة «كيلو» تعني 1000 مرّة. وبالتالي 1 كيلومتر = 1000 متر. ويبيّن الجدول ١-١ وحدات القياس المرتبطة بدراسة الخليّة.

مصطلحات علمية

النواة Nucleus (جمعها: نوًى): وهي عضيّة كبيرة نسبيًا توجد في الخلايا حقيقيّة النواة، ولا توجد في الخلايا بدائيّة النواة. تحتوي النواة على DNA، وتتحكّم بالتالي بأنشطة الخليّة. وهي محاطة بغشاءَين يشكّلان معًا الغلاف النووي.

حقيقي النواة Eukaryote: كائن حي تحتوي خلاياه على نواة محاطة بغشاء وعضيات أخرى.

بدائي النواة Prokaryote: كائن حي لا تحتوي خلاياه على نواة محاطة بغشاء أو أيّة عضيات أخرى محاطة بغشاء.

جزء من المتر	الوحدة	الرمز
واحد من الألف = 0.001 = $10^{-3} = \frac{1}{1000}$	مليمتر	mm
واحد من المليون = 0.000001 = $10^{-6} = \frac{1}{1000000}$	ميكرومتر	µm
واحد من الألف مليون = 0.000000001 = $10^{-9} = \frac{1}{1000000000}$	نانومتر	nm

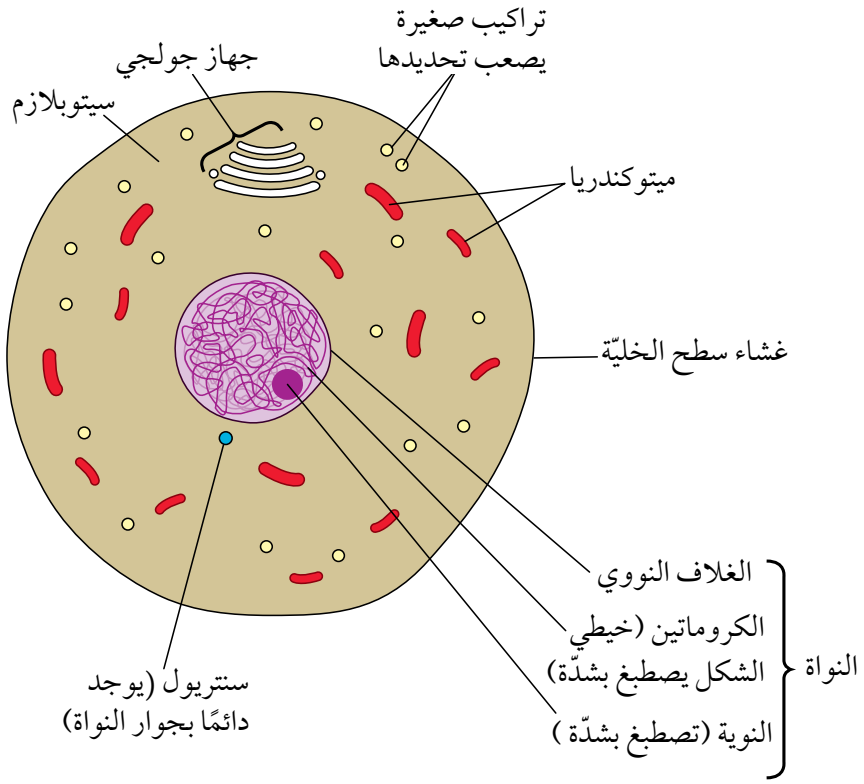
الجدول ١-١ وحدات القياس المرتبطة بدراسة الخلايا: 1 ميكرومتر هو جزء من ألف من المليمتر، و 1 نانومتر هو جزء من ألف من الميكرومتر

يبلغ قطر أصغر تركيب مرئي لعين الإنسان (50–100 µm) (كقطر الطرف الحادّ للدبوس تقريبًا). تتنوّع خلايا جسم الإنسان من حيث حجمها، إذ تتراوح بين (5–40 µm). ويصعب تخيّل مدى صغر حجم هذه الخلايا عندما تشاهد بوضوح مجهريًا. يبلغ قطر خلية البكتيريا (1 µm) تقريبًا، وأحد أصغر التراكيب التي ستدرسها في هذا الكتاب، الرايبوسوم، والذي يبلغ قطره (25 nm).

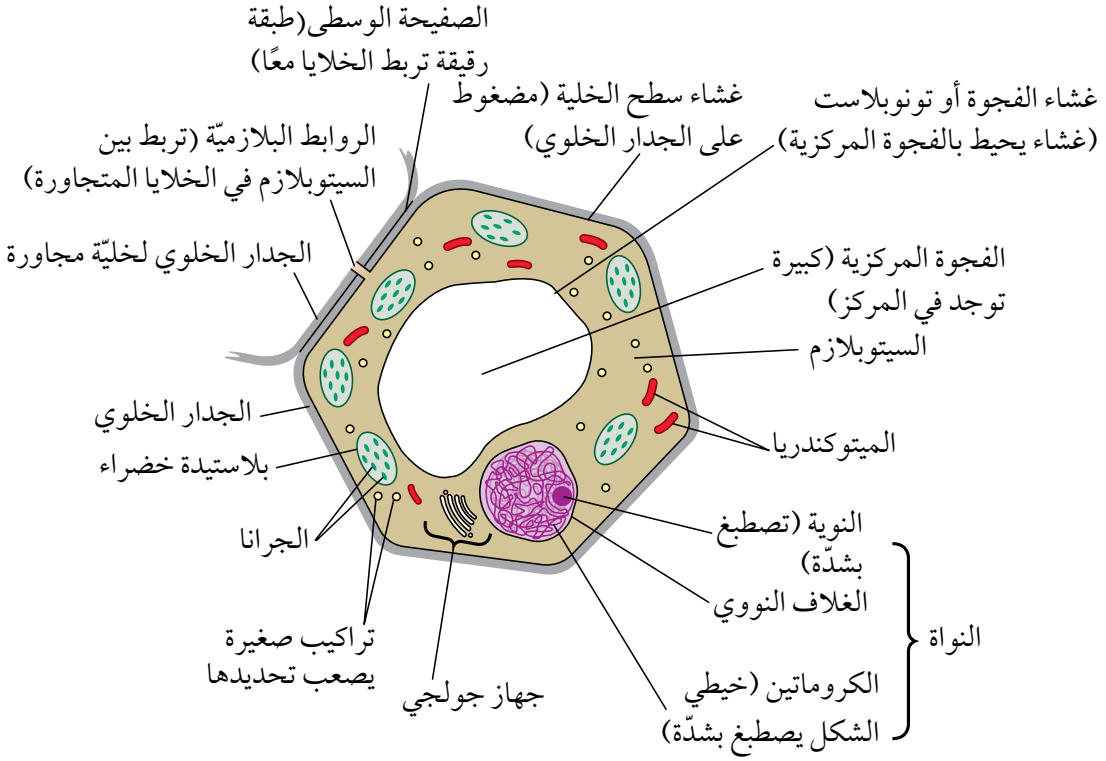
١-٢ الخلايا النباتيّة والخلايا الحيوانيّة كما تُرى بالمجهر الضوئي

تسمّى المجاهر التي تستخدم الضوء مصدرًا للإشعاع بالمجاهر الضوئيّة. لقد سبق أن استخدمت هذه المجاهر، وتعرف كيفية استخدامها. يبيّن الشكل ١-١ رسمًا لتركيب خليّة حيوانيّة عامّة، ويبيّن الشكل ١-٢ رسمًا لتركيب خليّة نباتيّة عامّة، كما تشاهدان بالمجهر الضوئي (تبيّن الخليّة العامّة التراكيب التي يمكن مشاهدتها في أيّة خليّة). الصورتان ١-٣ و١-٤ هما صورتان مجهريتان ضوئيتان. والصورة المجهرية الضوئية ١-٣ تبيّن خلايا من بطانة خد الإنسان، والصورة ١-٤ خلايا من ورقة نبات حزازي. وكلاهما مكبّرتان 400 مرة، وهو ما يعادل استخدام العدسة الشيئيّة الكبرى في المجهر الضوئي.

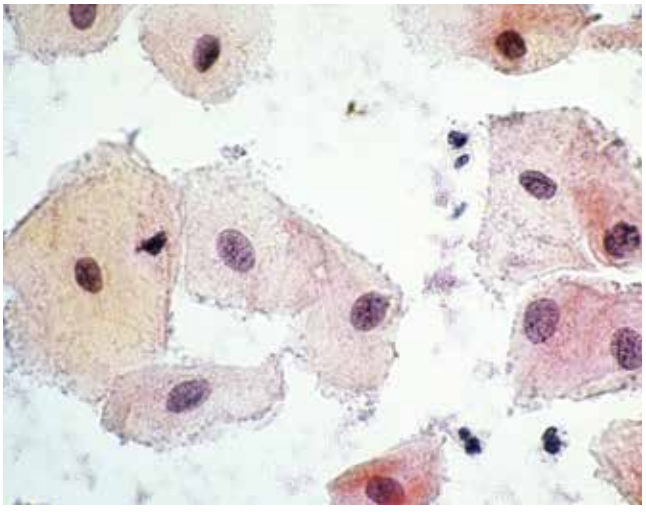
في الخليّة توجد مكوّنات كثيرة شفّافة وعديمة اللون، لذا يجب صبغها بصبغات ملوّنة ليمكن رؤيتها. خلايا الإنسان في الصورة ١-٣ مصبوغة، والكروماتين في النواة مصبوغ بشدة. لم تصبغ الخلايا النباتيّة في الصورة ١-٤ لاحتواء البلاستيدات الخضراء على الكلوروفيل، ويمكن بالتالي رؤيتها بسهولة بدون صبغها.



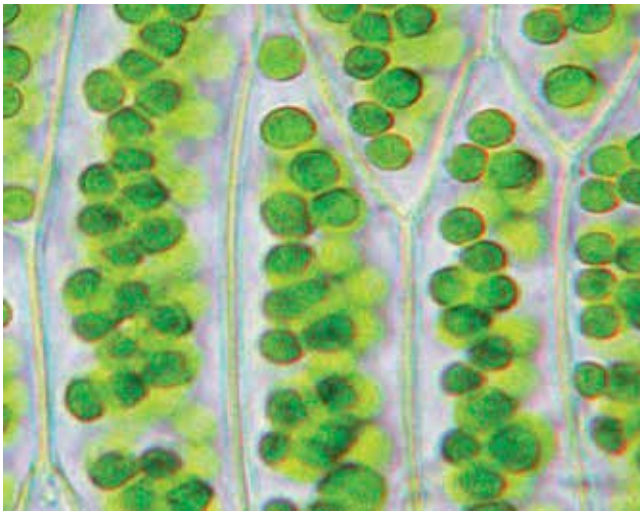
الشكل ١-١ تركيب خليّة حيوانيّة عامّة (قطرها 20 ميكرومتر) كما ترى بمجهر ضوئي عالي الجودة.



الشكل ١ – ٢ تركيب خليّة نباتيّة عامّة (قطرها **40 µm**) كما ترى بمجهر ضوئي عالي الجودة.



الصورة ١ – ٣ خلايا من بطانة خدّ الإنسان (**400 X**). يظهر في كلّ خليّة نواة مركزيّة، وهي سمة تركيبية في الخلايا الحيوانيّة. وهذه الخلايا جزء من نسيج طلائي حرشفي (مسطح).



الصورة ١ – ٤ خلايا من ورقة نبات حزازي قائم (**400 X**). تشاهد بلاستيدات خضراء كثيرة داخل كلّ خليّة، وتظهر الجرانا على شكل حبوب سوداء داخل البلاستيدات الخضراء (جرانا تعني حبيبات). تظهر الجدران الخلويّة بوضوح (تفتقر الخلايا الحيوانيّة لجدران خلويّة).

سؤال

(١) من خلال الشكلَين ١–١ و ١–٢، سَمِّ التراكيب التي:

أ. تشترك فيها الخلايا الحيوانيّة والخلايا النباتيّة.

ب. توجد فقط في الخلايا الحيوانيّة.

ج. توجد فقط في الخلايا النباتيّة.

خصائص تشترك فيها الخلايا الحيوانيّة والخلايا النباتيّة

غشاء سطح الخليّة

تحاط جميع الخلايا بغشاء رقيق جدًا يسمّى غشاء سطح الخلية **Cell surface membrane** أو الغشاء البلازمي **Plasma membrane**. وهذا الغشاء منفذ جزئيًّا ويتحكّم بتبادل الموادّ بين الخليّة والبيئة المحيطة بها.

النواة

النواة تركيب كبير نسبيًا تصطبغ بشدّة فتسهل بالتالي رؤيتها بالمجهر. تسمّى المادة التي تصطبغ بشدّة في النواة الكروماتين **Chromatin** (كروما تعني اللون). الكروماتين كتلة من الخيوط الملتفّة تتكثف أثناء الانقسام المتساوي على هيئة كروموسومات **Chromosomes**. يحتوي الكروماتين على **DNA** (الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين)، وهو الجُزيء الذي يحتوي على التعليمات (الجينات) التي تتحكّم في أنشطة الخليّة.

السيتوبلازم

تسمّى كل المادّة الحيّة داخل الخلية البروتوبلازم **Protoplasm**، وتسمّى المادة الحيّة المحيطة بالنواة السيتوبلازم **Cytoplasm**، وهكذا فإنّ السيتوبلازم + النواة = البروتوبلازم.

السيتوبلازم مادّة مائيّة، يتراوح قوامها بين السائل والمادّة الهلاميّة. يمكن فيه مشاهدة العديد من التراكيب الصغيرة التي تسمّى العضيات **Organelles**. ويمكن تعريف العضيّة بأنها جزء من الخليّة متميّز وظيفيًا وتركيبيًا، مثل الميتوكندريا وجهاز جولجي.

الميتوكندريا

الميتوكندريا **Mitochondria** (مفردها ميتوكندريون **Mitochondrion**) أكثر العضيات مشاهدة بالمجهر الضوئي، وقد أظهرت مقاطع الفيديو الملتقطة بالمجهر الضوئي قدرة الميتوكندريا على الحركة والانقسام وتغيير شكلها؛ وهي متخصّصة في القيام بعملية التنفّس الهوائي.

جهاز جولجي

في عام 1898م أدّى استخدام العالم كاميلو جولجي لصبغة خاصة تحتوي على الفضّة إلى اكتشاف جهاز جولجي Golgi apparatus. ويجمع جهاز جولجي الجُزيئات داخل الخليّة ويعالجها، خصوصًا البروتينات.

الفروق بين الخلايا الحيوانيّة والخلايا النباتيّة

أحد التراكيب الشائعة الموجودة في الخلايا الحيوانيّة وغير موجودة في معظم الخلايا النباتيّة هو السنتريول Centriole. كما تختلف الخلايا النباتيّة عن الخلايا الحيوانيّة باحتوائها على جدران خلويّة وفجوات مركزية كبيرة دائمة وبلاستيدات خضراء.

مصطلحات علمية

غشاء سطح الخلية
Cell surface membrane: غشاء رقيق جدًا يحيط بجميع الخلايا يبلغ سمكه 7 نانومتر تقريبًا. وهو شبه منفذ، ويتحكّم بتبادل الموادّ بين الخليّة والبيئة المحيطة بها.

الكروماتين
Chromatin: المادّة التي تتكوّن منها الكروموسومات. وهي تتكوّن من DNA وبروتينات ومقادير قليلة من RNA. وعندما تصبغ تبدو على شكل بقع أو ألياف داخل النواة.

الكروموسوم
Chromosome: يوجد في نواة الخلايا حقيقية النواة على هيئة تركيب يتكوّن من كروماتين ملتفّ بإحكام (DNA وبروتينات و RNA)، ويشاهد أثناء انقسام الخليّة. ويستخدم المصطلح DNA الحلقي ليشمل الخيط الدائري الملتف من DNA الموجود في الخليّة بدائيّة النواة.

السنتريولات

تبدو السنتريولات Centrioles بالمجهر الضوئي كتركيب صغير بالقرب من النواة (الشكل ١-١)؛ والتي سيتمّ مناقشتها لاحقًا في هذا الفصل.

الجدار الخلوي

تشاهد الخلايا النباتيّة بالمجهر الضوئي بسهولة أكبر من الخلايا الحيوانيّة، ويعود ذلك لكونها أكبر حجمًا، ويحيط بها **جدار خلوي** **Cell wall** بخلاف الخلايا الحيوانيّة. لاحظ أن الجدار الخلوي تركيب إضافي يوجد خارج غشاء سطح الخلية. والجدار الخلوي صلب نسبيًا لوجود ألياف من السليلوز (عديد تسكر)، والذي يُكسب الخليّة شكلًا محدّدًا، ويمنع انفجارها عندما يدخل إليها الماء بالإسموزيّة، مسبّبًا ارتفاع الضغط بداخلها بشكل كبير. وقد تدعم جدران الخليّة بسليلوز إضافي أو بمادّة صلبة تسمّى لجنين Lignin تمنحها مزيدًا من القوّة. فالجدران الخلويّة منفذة كليًا، بحيث تسمح للجُزيئات والأيونات أن تنتقل بحرّية.

الفجوات

الفجوات **Vacuoles** تراكيب كيسيّة الشكل محاطة بغشاء مفرد، الذي يتحكم بتبادل المواد بين الفجوة والسيتوبلازم. وبالرغم من أنه يوجد فجوات صغيرة مؤقّتة كفجوات البلعمة في الخلايا الحيوانيّة، فإننا نرى في الخلايا النباتيّة الناضجة غالبًا فجوة مركزية كبيرة ودائمة، وتحاط بغشاء يسمى **غشاء الفجوة (تونوبلاست)** **Tonoplast**. وتحتوي الفجوة المركزية على محلول يتكوّن من صبغات وإنزيمات وسكّريات ومركّبات عضويّة أخرى (بما فيها بعض الفضلات) وأملاح معدنيّة وأكسجين وثاني أكسيد الكربون.

وتساعد الفجوات المركزية على تنظيم الخصائص الأسموزيّة للخلايا النباتيّة (تدفّق الماء إلى الداخل وإلى الخارج)، بالإضافة إلى مجموعة واسعة من الوظائف الأخرى، على سبيل المثال؛ يمكن أن تحتوي على صبغات تلوّن بتلات بعض الأزهار، وأجزاء من بعض الخضار كالصبغة الحمراء في الشمندر.

البلاستيدات الخضراء

البلاستيدات الخضراء **Chloroplasts** عضيّات متخصّصة بعملية **التمثيل الضوئي** **Photosynthesis**، توجد في أجزاء النبات الخضراء، بخاصّة الأوراق. وهي عضيات كبيرة نسبيًا، لذا تشاهد بسهولة بالمجهر الضوئي، حتى إنه يمكن بالمجهر الضوئي رؤية حُبيبات **جرانا** **Grana** (مفردها **جرانوم** **Granum**) داخل البلاستيدات الخضراء (الشكل ١-٢)، وهي أجزاء من البلاستيدات الخضراء التي تحتوي على الكلوروفيل (الصبغة الخضراء التي تمتصّ الضوء أثناء عمليّة التمثيل الضوئي). ستناقش البلاستيدات الخضراء بمزيد من التفصيل لاحقًا.

تابع

البروتوبلازم
Protoplasm: المادّة الحيّة داخل الخليّة (السيتوبلازم + النواة).

السيتوبلازم
Cytoplasm: محتويات الخليّة باستثناء النواة.

العضيّة **Organelle**: تركيب متميّز وظيفيًا وتركيبيًا من الخليّة، على سبيل المثال الرايبوسوم والميتوكندريون.

الميتوكندريون
Mitochondrion (جمعها ميتوكندريا): العضية في الخلايا حقيقية النواة حيث تجري عملية التنفّس الهوائي.

الجدار الخلوي
Cell wall: الجدار الذي يحيط بخلايا بدائية النواة والنبات والفطريات. يحتوي الجدار على مادّة داعمة تحمي الخليّة من الضرر الميكانيكي، وتدعمها، وتحول دون انفجارها نتيجة الأسموزيّة إذا وجدت في محلول ذي جهد مائي مرتفع.

مصطلحات علمية (تابع)

الفجوة Vacuole: عضيّة موجودة في الخلايا حقيقيّة النواة. وتمثّل الفجوة المركزية الكبيرة والدائمة سمة تركيبية للخلايا النباتيّة، وهي تقوم بعدّة وظائف، تشمل تخزين الموادّ الكيميائيّة الحيويّة مثل الأملاح والسكّريات والفضلات. وقد تتكوّن الفجوات المؤقّتة مثل الفجوات البلعميّة في الخلايا الحيوانيّة.

غشاء الفجوة (تونوبلاست) Tonoplast: غشاء منفذ جزئيًا يحيط بالفجوات المركزية النباتيّة.

البلاستيدة الخضراء Chloroplast: عضيّة يحيط بها غلاف (غشاءان)، وتجري فيها عمليّة التمثيل الضوئي في الخلايا حقيقية النواة .

التمثيل الضوئي Photosynthesis: عملية إنتاج موادّ عضويّة من مواد غير عضويّة باستخدام طاقة الضوء.

الجرانا Grana (مفردها جرانوم Granum): كومة من الأغشية توجد داخل البلاستيدة الخضراء.

مهمّ

- غالبًا ما تكون الخليّة النباتيّة أكبر من الخليّة الحيوانيّة بكثير، بالرغم من الاختلاف الكبير في أحجام الخلايا.
- لا تخلط بين جدار الخليّة وغشاء سطح الخلية، فجدران الخلايا سميكة نسبيًا وصلبة، في حين أن الأغشية السطحية الخلويّة رقيقة جدًا. وجدران الخلايا منفذة كليًا، في حين أنّ أغشية سطح الخلية منفذة جزئيًا. ولجميع الخلايا غشاء سطح خلوي، لكن ليس للخلايا الحيوانيّة جدار خلوي.
- لا تقتصر الفجوات على الخلايا النباتيّة. قد تحتوي الخلايا الحيوانيّة على فجوات صغيرة مثل الفجوات البلعميّة، لكنها غالبًا ما تكون غير دائمة.

مهارات عملية ١-١

إعداد شرائح مجهريّة مؤقّتة

الطريقة الشائعة لفحص الموادّ بالمجهر الضوئي هي قطع شرائح رقيقة من المادّة المراد فحصها، تسمّى مقاطع، وملاحظتها بالمجهر الضوئي. ميزة هذه المقاطع أنها رقيقة بحيث يمرّ الضوء من خلالها. إذ يوضع المقطّع على شريحة زجاجيّة ويغطّى بغطاء شريحة لحمايته، ثمّ يمرّ الضوء عبره مكوّنًا صورة يمكن تكبيرها بعدسات المجهر الشيئيّة والعينيّة. يمكن فحص الموادّ الأحيائية وهي حيّة أو محفوظة. فالشرائح المعدّة تحتوي على عينة ميتة تُحفظ في حالة مماثلة للعينة الحية.

إن إعداد الشرائح المؤقّتة أسهل وأسرع من إعداد الشرائح الدائمة، وغالبًا ما تستخدم لفحص العيّنة الحيّة الطازجة التي تحتوي على خلايا حيّة، وفي كلا الحالتَين تصبغ الشرائح والعيّنات قبل وضعها على الشريحة الزجاجيّة. تذكّر الالتزام بالمعايير الصحية عند التعامل مع العينات البيولوجية، وبخاصة العينات الحيوانية.

الشرائح المؤقّتة للعيّنة الطازجة تفيد في إجراء فحص مجهري أولي سريع. ويمكن أحيانًا استخدام عيّنات مقطّعة كما في حالة فحص تركيب أنسجة الخشب. ويشيع استخدام عدد من الصبغات المؤقّتة، على سبيل المثال: محلول يوديد البوتاسيوم مفيد لعيّنات النبات، فهو يصبغ باللون الأزرق الداكن، ويلوّن النواة والجدار الخلوي باللون الأصفر الفاتح. ويستخدم محلول أزرق الميثيلين المخفّف لصبغ الخلايا الحيوانيّة، مثل خلايا باطن الخد. ستساعدك مشاهدة العينات بالمجهر الضوئي على فهم التراكيب وتذكّرها. يمكنك تعزيز فهمك عبر استخدام القلم الرصاص لتظهير الرسوم على ورق عادي. تذكّر دائمًا أن ترسم ما تراه، وليس ما تعتقد أنك يجب أن تراه.

الخطوات

ضع العيّنة الأحيائية على شريحة زجاجيّة نظيفة، وأضف قطرة أو قطرتَين من الصبغة. غَطِّ العيّنة لحماية عدسة المجهر وتفاديًا لجفاف العيّنة. كما يمكن تلافي جفاف العيّنة بإضافة قطرة من الجليسرين، ومزجها مع الصبغة.

- العينة الحيوانيّة المناسبة: خلايا من بطانة خدّ الإنسان، تؤخذ عبر كشط بطانة الخدّ باستخدام أعواد تنظيف الأذن.
- العينة النباتيّة المناسبة: خلايا بشرة البصل، خلايا بشرة الخسّ، خلايا طحلب الكلوريلا، أوراق نبات حزازي (لمزيد من المعلومات، انظر الاستقصاء العملي ١-١ في كتاب التجارب العملية والأنشطة)

مهارات عملية ١-٢

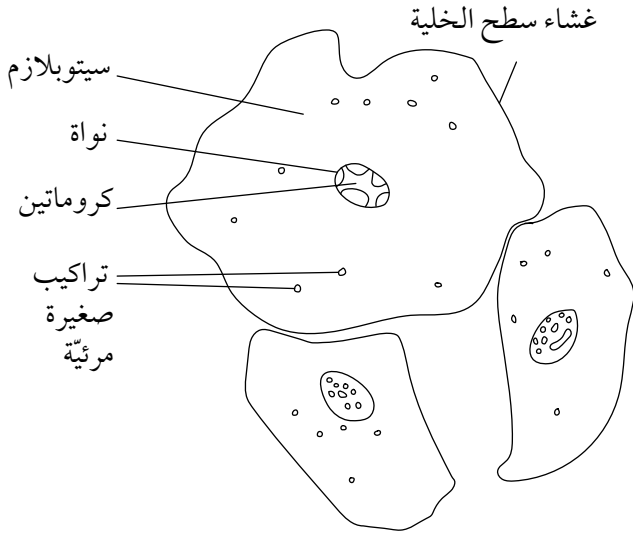
الرسم البيولوجي

لتعزيز تعلّمك، من المفيد إنشاء الرسوم والصور المجهريّة لبعض الشرائح المؤقتة والدائمة مع كتابة مسمياتها.

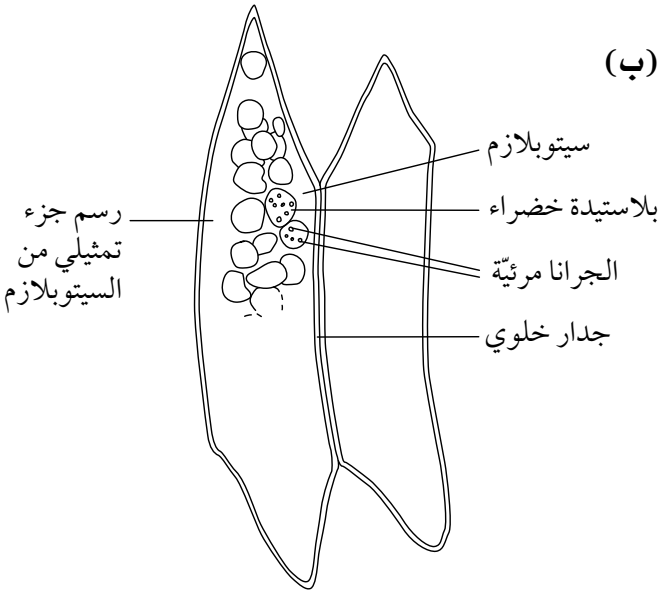
لا بد أنك تتذكّر من خلال الأنشطة العملية التي قمت بها سابقًا كيفية إنشاء رسم بيولوجي واضح.

يبيّن الشكل ١-٣ (أ و ب) أمثلة لتقنية الرسم الجيّد وتسمياته اعتمادًا على الصورتَين ١-٣ و ١-٤. لاحظ أنه يمكنك رسم جزء تمثيلي فقط من محتويات الخليّة من الصورة ١-٤ مع كتابة تسميات تفسّره.

(أ)



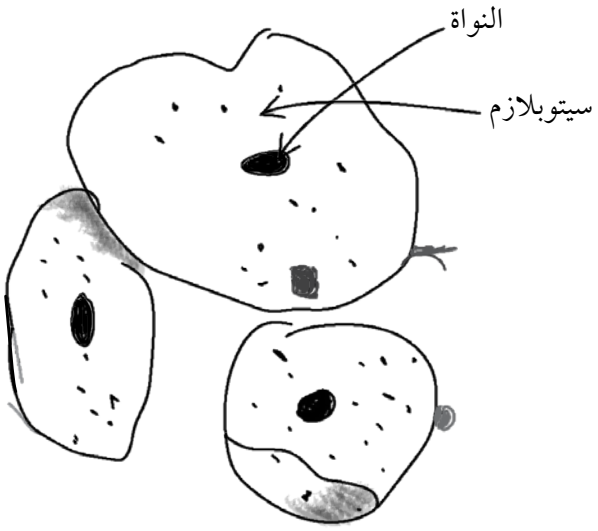
(ب)



الشكل ١-٣ أمثلة على تقنية الرسم الجيّد: (أ) رسم بقوّة تكبير عالية لثلاث خلايا حيوانيّة متجاورة من الصورة ١-٣. (ب) رسم بقوّة تكبير عالية لخليّتَين نباتيتَين متجاورتَين من الصورة ١-٤.

سؤال

(٢) طُلب إلى أحد الطلبة إنشاء رسم بقوة تكبير عالية لثلاث خلايا متجاورة من الصورة ١-٣. يبيّن الشكل ١-٤ أدناه الرسم الذي نفّذه الطالب. اقترح كيف يمكن تحسين الرسم في الشكل ١-٤.



الشكل ١-٤ رسم نفّذه أحد الطلبة بقوّة تكبير عالية لثلاث خلايا متجاورة من الصورة ١-٣.

انظر الاستقصاء العملي ١-١ في كتاب التجارب العملية والأنشطة

١-٣ حساب القياسات ومقدار التكبير

مقدار التكبير Magnification هو عدد مرّات تكبير صورة الجسم مقارنة بالقياس الحقيقي. لا بد أنك تتذكر استخدام الصيغة الآتية لحساب مقدار التكبير كما درستها في الصف التاسع.

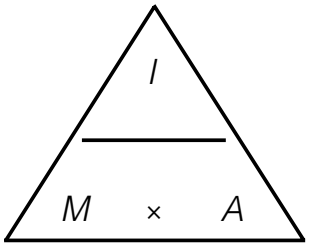
$$\text{مقدار التكبير} = \frac{\text{القياس المُشاهد}}{\text{القياس الحقيقي}} \quad \text{أو} \quad \boxed{M = \frac{I}{A}}$$

M = مقدار التكبير

I = قياس الصورة المشاهد Image size (يمكن قياسه بالمسطرة)

A = القياس الحقيقي Actual size (القياس الفعلي وهو قياس الخليّة قبل التكبير)

إذا كنت تعرف قيمتَين من القيم M، I، A يمكنك حساب القيمة الثالثة، على سبيل المثال: إذا كان قياس الصورة المشاهد ومقدار التكبير معروفَين، يمكنك حساب القياس الحقيقي للعيّنة باستخدام $A = \frac{I}{M}$ وإذا كتبت الصيغة في مثلّث كما هو مبيّن أدناه، وأخفيت القيمة المراد إيجادها، يجب أن يكون واضحًا كيف تجري العمليّة الحسابيّة الصحيحة.



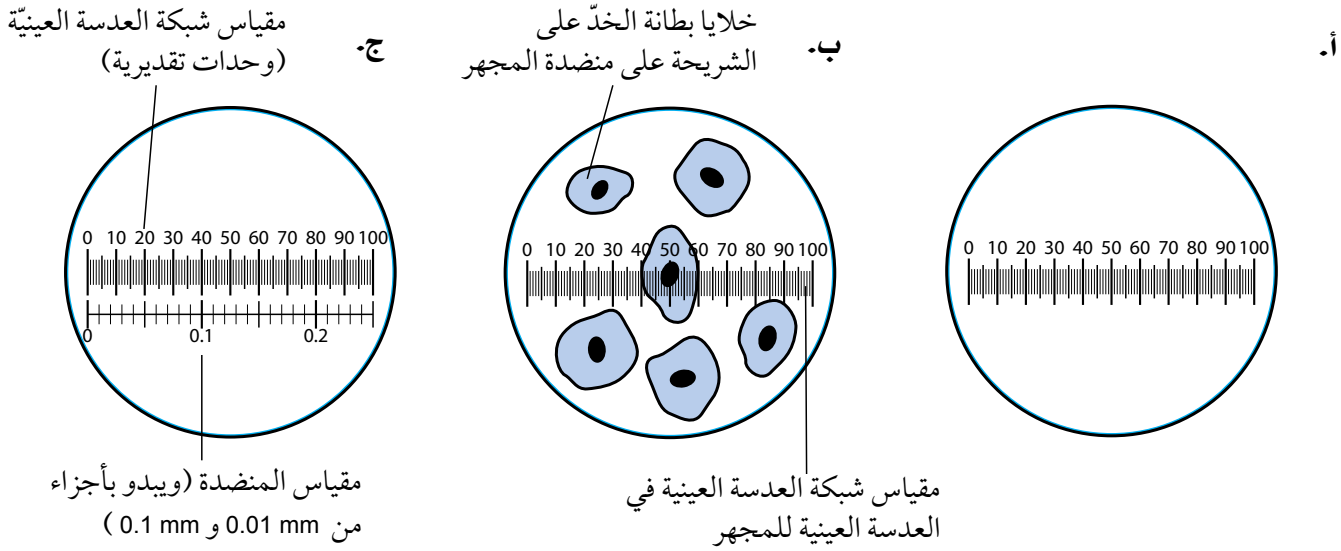
مصطلحات علمية

مقدار التكبير Magnification: عدد مرّات تكبير صورة الجسم مقارنة بالقياس الحقيقي؛ أو مقدار التكبير = قياس الصورة ÷ القياس الحقيقي (الفعلي) للعيّنة أو الجسم.

شبكة العدسة العينيّة Eyepiece graticule: مقياس صغير يوجد في العدسة العينيّة للمجهر.

قياس الخليّة

يمكن قياس حجم الخلايا والعضيات بداخلها بمقياس **شبكة العدسة العينيّة Eyepiece graticule**. يتكوّن هذا المقياس الشفاف من 100 جزء كما في الشكل ١-٥أ وعادة يوجد هذا المقياس داخل العدسة العينية بحيث يمكن رؤيته أثناء قياس العيّنة، كما في الشكل ١-٥ب، والذي يوضح وضعية المقياس فوق خليّة من بين 6 خلايا طلائيّة من بطانة الخدّ (مثل تلك المبيّنة في الصورة ١-٣). تقع الخلية المختارة بين الرقمَين 40 و 60



الشكل ١-٥ القياس المجهري. ثلاثة مجالات رؤية تُشاهد باستخدام عدسة شيئيّة بقوّة تكبير عالية (X 40): (أ) مقياس شبكة العدسة العينيّة يتكون من 100جزء. (ب) صور متراكبة لخلايا بطانة الخدّ الطلائيّة ومقياس شبكة العدسة العينيّة (ج) صورة متراكبة لمقياس شبكة العدسة العينيّة ومقياس المنضدة.

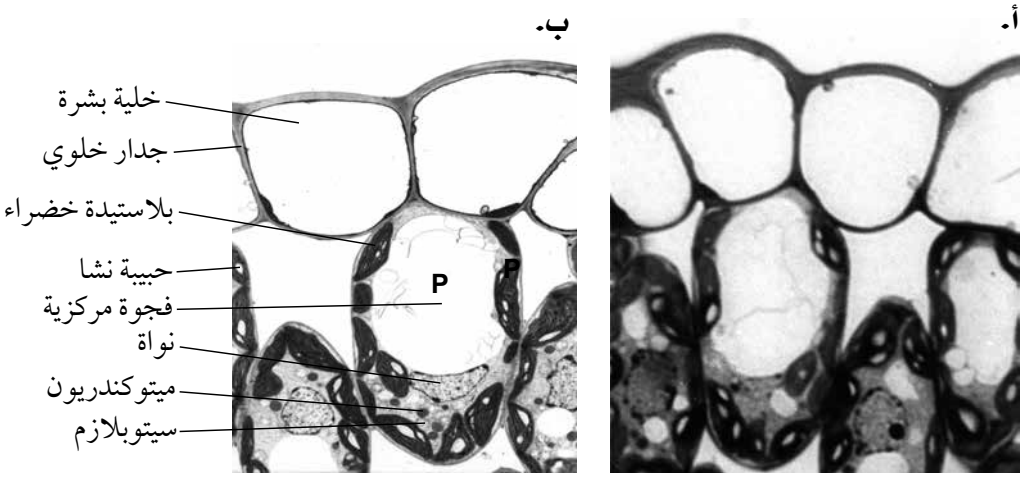
على المقياس، لذا فإنه يقيس قطر 20 وحدة عدسة عينيّة (الفرق بين 60 و 40). ويجب أولًا ضبط مقياس العدسة العينيّة لمعرفة القياس الحقيقي لهذه الوحدات.

لضبط مقياس شبكة العدسة العينيّة، توضع مسطرة شفافة صغيرة تسمى **مقياس المنضدة Stage micrometer** على منضدة المجهر، ويتم التركيز عليها. وقد يكون هذا المقياس محفورًا على شريحة زجاجيّة أو مطبوعًا على غشاء شفاف، وعادة ما يتضمن أجزاء فرعيّة من 0.1 و 0.01 مم. بعد ذلك، يمكن وضع صورة مقياس المنضدة ومقياس شبكة العدسة العينيّة الواحدة فوق الأخرى، كما في الشكل ١– ٥ج.

حساب مقدار التكبير

تبيّن الصورة ١–٥ **صورًا مجهريّة Micrographs** لمقطعَين من الخليّة النباتيّة نفسها، والفرق بينهما موضح في البند التالي. عند معرفة الطول الحقيقي (الفعلي) للخليّة في مثل هذه الصورة، يمكن حساب مقدار تكبيرها *M* باستخدام الصيغة الآتية:

$$M = \frac{I}{A}$$



الصورة ١–٥ صورة مجهريّة لقطاعَين من الخليّة النباتيّة نفسها كما يشاهدان: (أ) بالمجهر الضوئي؛ (ب) بالمجهر الإلكتروني. يشاهد كلاهما بمقدار التكبير نفسه (**750 X** تقريبًا).

مصطلحات علمية

مقياس المنضدة Stage micrometer: مقياس صغير جدًّا محفور على شريحة مجهريّة ومرسوم بدقة بأبعاد معروفة.

صورة مجهريّة Micrograph: صورة تلتقط باستخدام المجهر؛ الصورة المجهرية الضوئية تلتقط باستخدام المجهر الضوئي، والصورة المجهريّة الإلكترونيّة تلتقط باستخدام المجهر الإلكتروني.

مثال

١. في مقياس شبكة العدسة العينيّة المبيّن في الشكل ١–٥ يبلغ طول **100** وحدة **0.25 mm**، لذا تبلغ قيمة كل وحدة في العدسة العينيّة

$$\frac{0.25}{100} = 0.0025 \text{ mm}$$

أو بتحويل المليمتر (mm) إلى ميكرون (µm):

$$\frac{1000 \times 0.25}{100} = 2.5 \text{ µm}$$

يبلغ قطر الخليّة الذي يشاهد فوق المقياس في الشكل ١–٥ **20** وحدة عدسة عينيّة، لذا فإن قطرها الحقيقي هو:

$$20 \times 2.5 \text{ µm} = 50 \text{ µm}$$

وهذا القطر أكبر من قطر خلايا كثيرة لدى الإنسان، لأن هذه الخلايا طلائيّة مسطحة.

مثال

٢. افترض أنك تريد معرفة مقدار تكبير الخليّة النباتيّة P في الصورة ١- ٥ب. القياس الحقيقي للخليّة يبلغ 80 µm.

الخطوة ١: استخدم المسطرة لتقيس طول الخليّة (أبعد نقطتَين) في الصورة المجهريّة بالمليمتر. ستجد أنه 34 mm تقريبًا.

الخطوة ٢: حوّل المليمتر (mm) إلى ميكرومتر (µm) (من الأسهل أن يتم تحويل جميع القياسات إلى الوحدات نفسها- وفي هذه الحال الميكرومتر، µm)

1000 µm = 1 mm

طول الخلية بالميكرومتر = 1000 µm X 34

34000 µm =

الخطوة ٣: استخدم الصيغة لحساب مقدار التكبير

مقدار التكبير، M = قياس الصورة، / القياس الحقيقي

$= \frac{I}{A}$

$= \frac{34000\ \mu m}{80\ \mu m}$

= X 425

رمز مقدار التكبير (X) أمام العدد 425 يعني «مرة». لذا يكون مقدار التكبير «425 مرة».

مثال

٣. تبيِّن الصورة ١-٦ خليّة لمفاويّة مع شريط قياس لحساب مقدار التكبير.

الصورة ١-٦ خليّة لمفاويّة.

الخطوة ١: قس طول شريط القياس، ويبلغ هنا 36 mm.

الخطوة ٢: حوّل mm إلى µm.

طول الخلية بالميكرومتر = 1000 µm X 36

36000 µm =

الخطوة ٣: يمثل شريط القياس 6 µm. هذا هو القياس الحقيقي، A. استخدم الصيغة لحساب مقدار التكبير.

مقدار التكبير، M = قياس الصورة، / القياس الحقيقي،

$= \frac{I}{A}$

$= \frac{36000\ \mu m}{6\ \mu m}$

= X 6000

حساب القياس الحقيقي لجسم بعد تكبيره

لحساب القياس الحقيقي أو الفعلي لجسم، يمكن استخدام صيغة التكبير نفسها.

مثال

٤. تبين الصورة ١-٨ أجزاء من ثلاث خلايا نباتيّة مكبرة X 5600. افترض أننا نريد معرفة الطول الحقيقي للبلاستيدة الخضراء في صورة المجهر الإلكتروني.

الخطوة ١: استخدم المسطرة لقياس الطول المشاهد لصورة البلاستيدة الخضراء (I)، بالمليمتر. الطول الأقصى هو 20 mm.

الخطوة ٢: حوّل mm إلى µm.

طول البلاستيدة الخضراء بالميكرومتر

1000 X 20 = 20000 µm

الخطوة ٣: استخدم الصيغة لحساب الطول الحقيقي:

القياس الحقيقي A = قياس الصورة، / مقدار التكبير،

$= \frac{I}{M}$

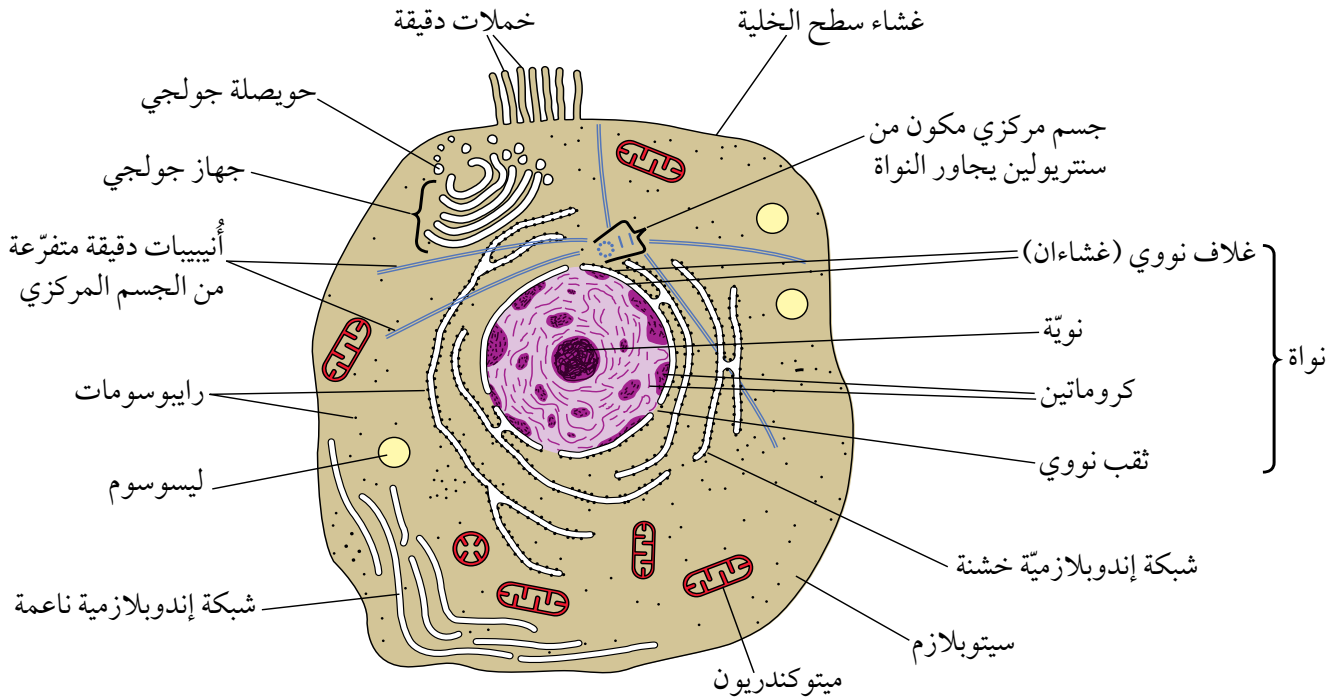
$= \frac{20000\ \mu m}{5600}$

= 3.6 µm

١-٤ الخلايا النباتيّة والخلايا الحيوانيّة كما تُرى بالمجهر الإلكتروني

يبيّن الشكلان ١-٦ و١-٧ والصورتان من ١-٧ و ١-٨ التركيب الدقيق (التفصيلي) للخليّة.

الصورة ١-٧ أجزاء من خليّتَين حيوانيتَين تمثيليّتَين (نموذجيّتَين) كما تُرى بالمجهر الإلكتروني النافذ. الخليّتان لكبد جرذ (**X 9600**). تظهر النواة بوضوح في إحدى الخليّتَين، ويصعب رؤية الحدود بين الخليّتَين لأن أغشية أسطح الخلايا رقيقة جدًا.

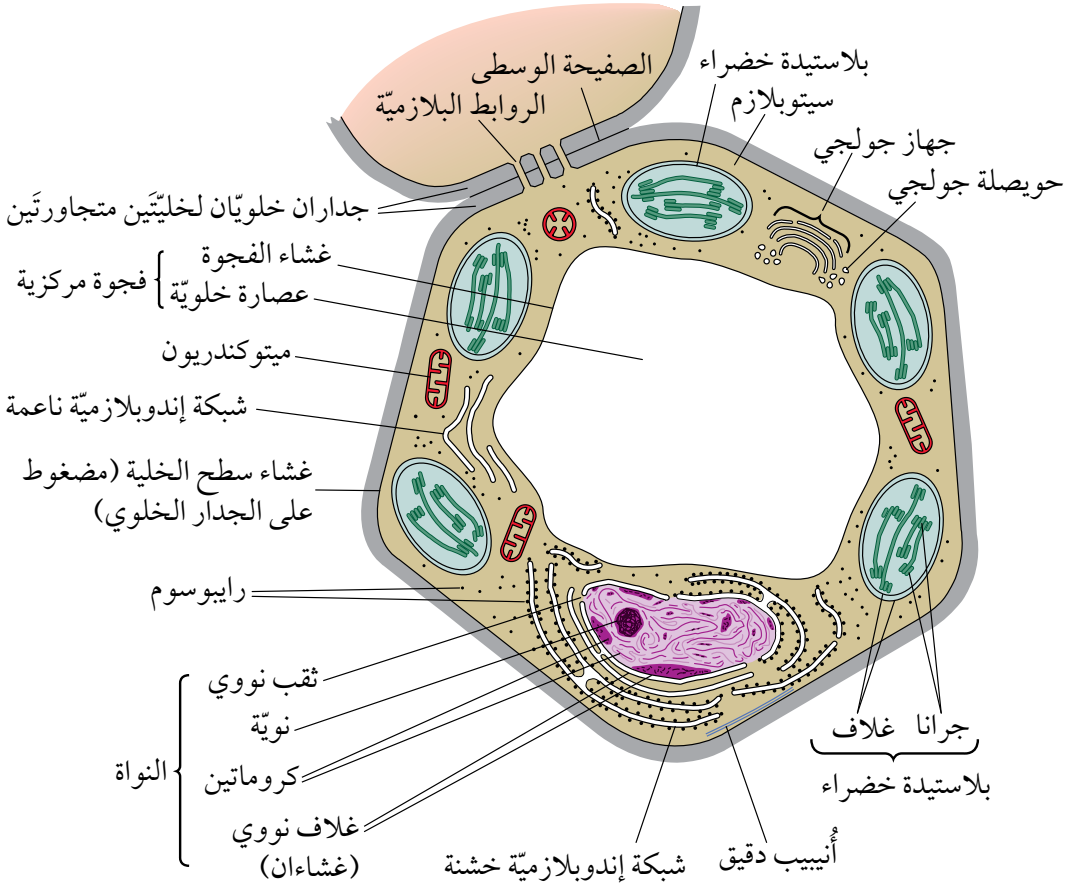


الشكل ١-٦ التركيب الدقيق لخليّة حيوانيّة نموذجيّة كما ترى بالمجهر الإلكتروني. يعتمد هذا الرسم على عدة صور مجهريّة لخلايا حيوانيّة. في الواقع، تكون الشبكة الإندوبلازميّة والرايبوسومات الحرة أوسع انتشارًا مما هو ظاهر. توجد أحيانًا حبيبات جلايكوجين في السيتوبلازم.

سؤال

(٣) قارن الشكل ١-٦ بالشكل ١-١. سَمِّ التراكيب في الخليّة الحيوانيّة التي يمكن رؤيتها بالمجهر الإلكتروني ولا تُرى بالمجهر الضوئي.

الصورة ١-٨ صورة مجهرية ملونة محسّنة للخلايا النباتية كما تُرى بالمجهر الإلكتروني النافذ ((TEM). وهي خلايا من قمة جذر نبات رشاد أذن الفأر Arabidopsis thaliana. تبدو البلاستيدات الخضراء أصغر مما هي في الخلايا النباتية الأخرى لأنها لا تزال في طور النمو ، وسوف يُثبط تطورها في الخلايا الجذرية بالأكسين (x5600).



الشكل ١–٧ التركيب الدقيق لخليّة نباتيّة نموذجيّة كما ترى بالمجهر الإلكتروني. يعتمد هذا الرسم على عدّة صور مجهريّة لخلايا نباتية. في الواقع، تكون الشبكة الإندوبلازميّة والرايبوسومات الحرة أوسع انتشارًا مما هو ظاهر.

سؤال

(٤) قارن الشكل ١– ٧ بالشكل ١–٢. سَمِّ التراكيب في الخليّة النباتيّة التي يمكن رؤيتها بالمجهر الإلكتروني ولا تُرى بالمجهر الضوئي.

غشاء سطح الخلية (الغشاء البلازمي)

غشاء سطح الخلية رقيق جدًا (7 nm تقريبًا). إلّا أنه، في حال رؤيته بصورة مكبّرة، يبدو مكوّنًا من ثلاث طبقات، أو من طبقتَين داكنتَين (مصبوغتَين بشدّة) تتخلّلهما مساحة ضيّقة فاتحة اللون (الصورة ١–٩). الغشاء مُنفِذ جُزئيًّا ويتحكّم في تبادل الموادّ بين الخليّة وبيئتها المحيطة. سيتم دراسة تركيب غشاء الخلية ووظيفته بالتفصيل في وحدة الغشاء البلازمي والنقل.

يبدو الغشاء كخطَّين داكنَين (كما هو موضح بواسطة المؤشر) تتخلّلهما مساحة فاتحة اللون.

الصورة ١–٩ صورة مجهرية لغشاء سطح خلية (X 250000). عند قوّة التكبير هذه، يبدو الغشاء كخطَّين داكنَين عند حافة الخليّة.

مصطلحات علمية

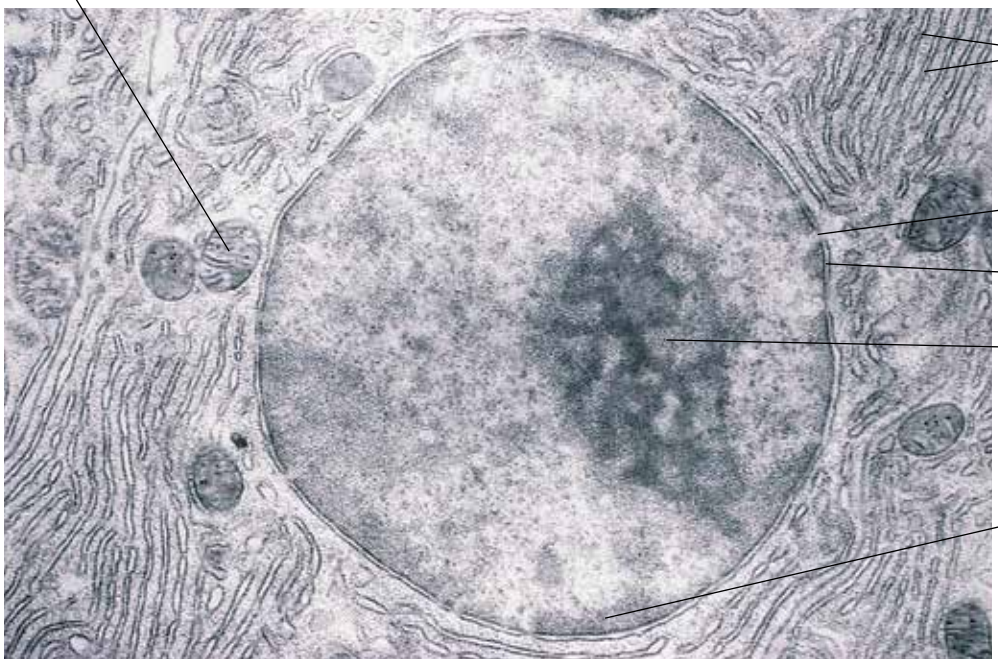
الخملات الدقيقة Microvilli (مفردها **خملة دقيقة Microvillus**): نتوءات على هيئة أصابع تمتدّ من سطح الخليّة فتزيد من مساحة سطح الخليّة لامتصاص أو إفراز أكثر كفاءة.

الخملات الدقيقة

الخملات الدقيقة Microvilli (مفردها **خملة دقيقة Microvillus**) نتوءات (بروزات)، على هيئة أصابع، وهي امتداد لغشاء سطح الخلية، وتوجد في بعض الخلايا الحيوانية، مثل الخلايا الطلائيّة التي تغطّي أسطح التراكيب. تزيد الخملات الدقيقة من مساحة سطح غشاء الخلية كما هو مبيّن في الشكل ١-٦، بما يفيد، على سبيل المثال، في إعادة الامتصاص في الأنابيب الملتوية القريبة من الكِلية، وامتصاص الطعام المهضوم في الخلايا المبطِّنة للأمعاء.

النواة

النواة هي العُضيّة الأكبر في الخليّة كما هو مبين في (الصورة ١-١٠).



الصورة ١-١٠ صورة للنواة بالمجهر الإلكتروني النافذ (TEM). هذه النواة لخليّة من بنكرياس خفاش (X 11000)، وهي دائرية الشكل محاطة بغلاف نووي مزدوج يحتوي على ثقوب نووية. وتبدو النوية مصبوغة بشدّة (داكنة اللون). ويمكن رؤية الشبكة الإندوبلازميّة الخشنة في السيتوبلازم.

سؤال

٥ **أ.** حدّد أطول قطر حقيقي للنواة المبيّنة في (الصورة ١-١٠) مُستخدمًا مقدار التكبير المذكور أسفل الشكل.

ب. القطر الذي حسبته للنواة المبيّنة في (الصورة ١-١٠) ليس بالضرورة أطول قطر لهذه النواة. اشرح ذلك.

الغلاف النووي

تُحاط النواة بغشاءَين يشكّلان معًا **الغلاف النووي** Nuclear envelope. والغشاء الخارجي من الغلاف النووي يكون على اتّصال مع الشبكة الإندوبلازميّة (الشكل ١-٦ والصورة ١-١٠).

يحتوي الغلاف النووي على ثقوب صغيرة كثيرة تسمّى **الثقوب النووية** Nuclear pores، تسمح بتبادل الموادّ بين النواة والسيتوبلازم وتتحكّم فيها. ومن أمثلة الموادّ التي تخرج من النواة عبر الثقوب RNA المرسال (mRNA) وRNA الناقل (tRNA) والرايبوسومات لبناء البروتينات. ومن أمثلة الموادّ التي تدخل عبر ثقوب النواة، البروتينات (لتساعد في صنع الرايبوسومات)، والنيوكليوتيدات، وأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)، وبعض الهرمونات مثل هرمون الغدّة الدرقيّة T3.

الكروموسومات والكروماتين

تحتوي النواة على الكروموسومات، التي تحتوي بدورها على المادّة الوراثيّة DNA. ينتظم DNA في وحدات وظيفيّة تسمّى الجينات، تتحكّم في أنشطة الخليّة والوراثة. وبذلك، فإن النواة تتحكّم في أنشطة الخليّة.

تتميز جُزيئات DNA بأنها طويلة جدًا، (تحتوي خليّة الإنسان مثلًا على مترَين تقريبًا من DNA)، والتي يجب طيّها بإحكام لمنع تشابكها. ويتمّ تحقيق ذلك من خلال تداخلها مع بروتينات خاصة تسمّى هستونات Histones. إنّ مجموعة DNA مع البروتين تسمّى الكروماتين. يحتوي الكروماتين أيضًا على بعض جُزيئات RNA، وهكذا، فإن الكروموسومات تتكوّن من الكروماتين.

عندما تكون الخليّة على وشك الانقسام، تنقسم المادة الوراثية أولًا، لذلك يكون لكلّ خليّة جديدة نواتها الخاصة. ويكون داخل النواة أيضًا تركيب يسمّى النويّة.

النويّة

تظهر **النويّة** Nucleolus على شكل تركيب كروي داكن اللون (الصورة ١-١٠). ويمكن أن توجد نوية أو أكثر في النواة، على الرغم من أن وجود نويّة واحدة هو الأكثر شيوعًا. الوظيفة الرئيسية للنويّة صنع الرايبوسومات، باستخدام المعلومات في DNA الموجود فيها. وهي تحتوي على لُبّ من DNA يتكوّن من كروموسوم واحد أو أكثر، تحتوي على الجينات التي تشفّر بناء RNA الرايبوسومي (rRNA) المستخدم في تكوين الرايبوسومات. وتحتوي أيضًا على الجينات اللازمة لبناء tRNA. وحول اللُّبّ مناطق أقل كثافة، يتمّ فيها تجميع الوحدات الرايبوسوميّة الفرعيّة، بربط rRNA مع البروتينات الرايبوسوميّة من السيتوبلازم. وكلّما ازداد عدد الرايبوسومات التي تبنيها الخليّة، تكون نويتها أكبر.

تتجمّع الأجزاء المختلفة للنوية أثناء بناء الرايبوسومات فقط، وهي تنفصل بعضها عن بعض أثناء الانقسام المتساوي، فيتوقّف بناء الرايبوسوم، وتختفي النويّة كتركيب.

مصطلحات علمية

الغلاف النووي Nuclear envelope: الغشاءان المتجاوران اللذان يحيطان بالنواة، وبه ثقوب نوويّة.

الثقوب النوويّة Nuclear pores: ثقوب توجد في الغلاف النووي وتتحكّم في تبادل الموادّ، مثل mRNA، بين النواة والسيتوبلازم.

النويّة Nucleolus: تركيب صغير واحد أو أكثر يوجد داخل النواة. تشاهد النويّة عادة كجسم شديد الاصطباغ، ووظيفتها استخدام تعليمات DNA الموجود فيها لبناء الرايبوسومات.

الشبكة الإندوبلازميّة

تبدو **الشبكة الإندوبلازميّة Endoplasmic reticulum** كثيرة التفاصيل بالمجهر الإلكتروني (الصور ١-١٠ و١-١١ و ١-١٤). تشكّل أغشية الشبكة أكياسًا (أنبوبية الشكل) يمكن أن تنتقل عبرها الجُزيئات، بشكل منفصل عن باقي السيتوبلازم. وتمتدّ هذه الشبكة لتتّصل بالغشاء الخارجي للغلاف النووي (الشكل ١-٦ و ١-٧).

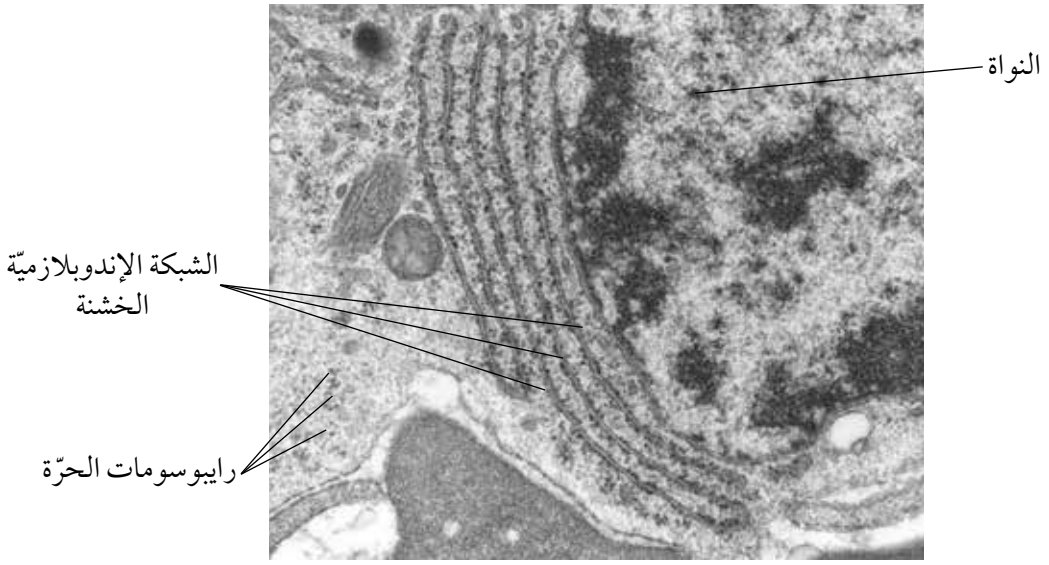
يوجد نوعان من الشبكة الإندوبلازميّة (ER): الشبكة الإندوبلازميّة الخشنة (Rough endoplasmic Reticulum: RER) والشبكة الإندوبلازميّة الناعمة (Smooth Endoplasmic Reticulum: SER).

مصطلحات علمية

الشبكة الإندوبلازميّة Endoplasmic reticulum (ER): شبكة من أكياس مسطّحة تمتدّ عبر سيتوبلازم الخلايا حقيقيّة النواة تنتقل عبرها الجُزيئات، بشكل منفصل عن باقي السيتوبلازم، وتمتدّ هذه الشبكة لتتّصل بالغشاء الخارجي للغلاف النووي.

الشبكة الإندوبلازميّة الخشنة

تسمّى الشبكة الإندوبلازميّة الخشنة بهذا الاسم لأنها مغطّاة بكثير من العُضيّات الصغيرة المسمّاة رايبوسومات (تعرض لاحقًا). وهي تبدو فقط كنقاط سوداء في (الصورة ١-١١) . الرايبوسومات هي مواقع بناء البروتين، ويمكن أن توجد أيضًا حرة في السيتوبلازم. وتقوم الشبكة الإندوبلازمية الخشنة بنقل البروتينات.



الصورة ١-١١ صورة بالمجهر الإلكتروني النافذ للشبكة الإندوبلازميّة الخشنة مغطاة بالرايبوسومات (النقاط السوداء) (X 17000). يمكن رؤية بعض الرايبوسومات الحرّة في السيتوبلازم جهة اليسار.

الشبكة الإندوبلازميّة الناعمة

للشبكة الإندوبلازميّة الناعمة مظهر أملس لعدم وجود رايبوسومات عليها. وتختلف وظيفتها عن وظيفة الشبكة الإندوبلازميّة الخشنة، فهي تصنع الدهون والستيرويدات مثل الكولسترول والهرمونات الجنسيّة: الإستروجين والتستوستيرون. وهي موقع تخزين أساسي للكالسيوم، بما يفسّر وفرتها في خلايا العضلات، حيث تشارك أيونات الكالسيوم في الانقباض العضلي. وتشارك الشبكة الإندوبلازميّة الناعمة في أيض الدواء في الكبد.

الرايبوسومات

الرايبوسومات Ribosomes عضيات صغيرة جدًا ولا تُرى بالمجهر الضوئي. وعند تكبيرها باستخدام المجهر الإلكتروني يمكن رؤيتها تتكوّن من وحدتَين: وحدة كبيرة ووحدة صغيرة. ويقاس هذا الحجم الصغير غالبًا بوحدات S (وحدات سفيدبرج). وهي وحدات تقيس سرعة ترسّب الموادّ في أجهزة الطرد المركزي عالية السرعة (جهاز الطرد المركزي الفائق). وكلّما كان ترسّب الموادّ أسرع، كان الرقم S أكبر. فتعرف رايبوسومات الخلايا حقيقيّة النواة بـ 80S، أمّا رايبوسومات الخلايا بدائيّة النواة فتعرف بـ 70S، وهي أصغر قليلًا من رايبوسومات حقيقية النواة. وتحتوي الميتوكندريا والبلاستيدات الخضراء أيضًا على رايبوسومات 70S.

تتكوّن الرايبوسومات من مقادير متساوية تقريبًا في الكتلة من RNA الرايبوسومي (rRNA) والبروتين، وقد تمّ معرفة تركيبها ثلاثي الأبعاد (الشكل ١-٨). تتيح الرايبوسومات لجميع الجُزيئات المتفاعلة في عمليّة بناء البروتين، مثل mRNA و tRNA والأحماض الأمينيّة والبروتينات المنظّمة بأن تتجمع معًا في مكان واحد.

الشكل ١-٨ نموذج حاسوبي لتركيب رايبوسوم خلايا الإنسان 80 S.

جهاز جولجي

جهاز جولجي Golgi appartus كومة من الأكياس الغشائية المسطّحة Cisternae (الصورة ١-١٢)، وقد نجد في الخليّة أكثر من جهاز جولجي واحد. تتكوّن كومة الأكياس هذه باستمرار عند أحد الأطراف من حويصلات تنتج من تبرعم أغشية الشبكة الإندوبلازميّة الخشنة، ثمّ تنفصل مرّة أخرى عند الطرف الآخر لتنشأ **حويصلات جولجي Golgi vesicles**. وتسمّى كومة الأكياس مع الحويصلات المرتبطة فيها جهاز جولجي **Golgi apparatus** أو معقّد جولجي **Golgi complex**.

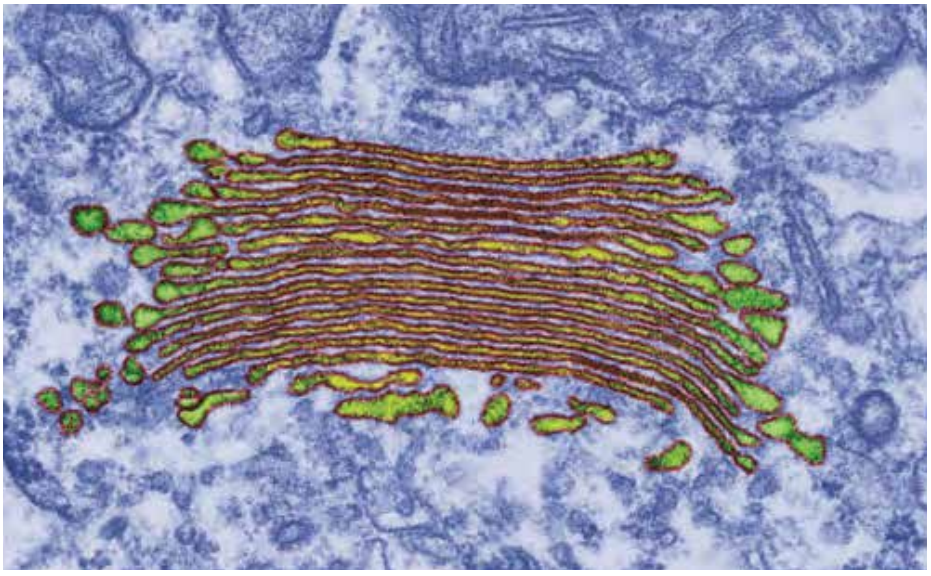
يجمع جهاز جولجي الجُزيئات، خصوصًا البروتينات، من الشبكة الإندوبلازميّة الخشنة، ويعالجها. وهو يستخدم في ذلك مئات الإنزيمات التي يحتويها. وتنتقل الجُزيئات بعد معالجتها إلى أجزاء أخرى من الخليّة أو إلى خارجها. ويسمّى إطلاق الجُزيئات إلى خارج الخليّة إفرازًا، ويسمّى المسار الذي تسلكه الجُزيئات مسارَ الإفراز.

مصطلحات علمية

الرايبوسوم Ribosome: عُضيّة صغيرة توجد بأعداد كبيرة في جميع الخلايا. يبلغ قطر رايبوسوم الخلايا بدائيّة النواة 20 nm تقريبًا، في حين يبلغ قطر رايبوسومات الخلايا حقيقيّة النواة 25 nm تقريبًا.

جهاز جولجي Golgi apparatus (أجسام جولجي Golgi bodies أو معقّد جولجي Golgi complex): عُضيّة توجد في الخلايا حقيقيّة النواة، وهي تتكوّن من كومة من الأكياس الغشائية المسطّحة، وتتشكّل باستمرار من أحد الطرفَين، ثم تنفصل لتكوّن حويصلات جولجي عند الطرف الآخر. ويعدّل جهاز جولجي التركيب الكيميائي للجُزيئات التي ينقلها، فعلى سبيل المثال: يمكنه إضافة السكّريات إلى البروتينات لتكوين البروتينات السكريّة.

حويصلات جولجي Golgi vesicles: تحمل محتوياتها إلى أجزاء أخرى من الخلية، غالبًا ما يكون غشاء سطح الخلية، ليتمّ إفرازها.



الصورة ١-١٢ جهاز جولجي كما يبدو بالمجهر الإلكتروني النافذ. يمكن رؤية حويصلات جولجي الصغيرة تتبرعم من أكياس الكومة المركزيّة كأسية الشكل (اللون الأخضر) وتنفصل عنها. قد تكوّن، هذه حويصلات إفرازيّة تطلق محتوياتها عند سطح الخليّة عن طريق الإخراج الخلوي.

وفيما يأتي أمثلة على وظائف جهاز جولجي:

- تستخدم حويصلات جولجي في بناء الليسوسومات.
- تضاف السكّريات إلى البروتينات لتكوين جُزيئات البروتينات السكّريّة.
- تضاف السكّريات إلى الدهون لتكوين الدهون السكّرية.البروتينات السكّرية والدهون السكّرية مكوّنات مهمّة للأغشية، وتمثّل جُزيئات مهمّة في الاتصال الخلوي.
- أثناء انقسام الخلية النباتيّة، يشارك جهاز جولجي في بناء جدران الخلايا الجديدة.
- في القناة الهضميّة وجهاز تبادل الغازات، تطلق الخلايا الكأسية مادّة ميوسين من جهاز جولجي وهي أحد المكوّنات الرئيسية للمخاط.

الليسوسومات

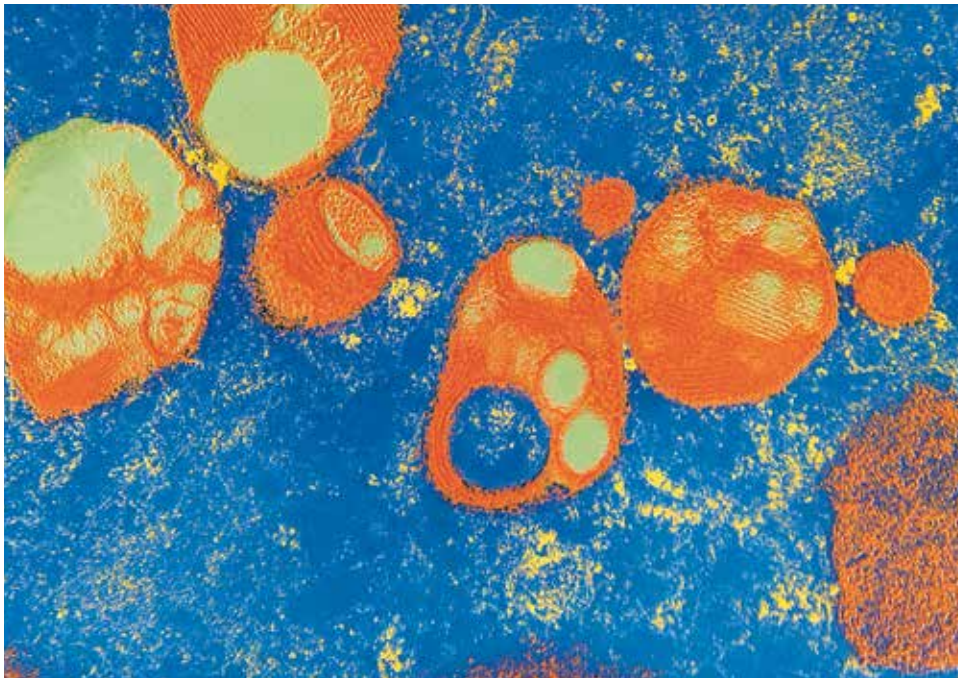
الليسوسومات Lysosomes حويصلات كروية بسيطة محاطة بغشاء مفرد، يبلغ قطرها في الخلايا الحيوانيّة عادة 0.1 - 0.5 µm (الصورة ١-١٣).

قد تعمل الفجوة المركزيّة الكبيرة في الخلايا النباتيّة عمل الليسوسوم، على الرغم من وجود تراكيب شبيهه بالليسوسومات كتلك التي في الخلايا الحيوانيّة، وتشاهد في السيتوبلازم.

تحتوي الليسوسومات على إنزيمات هاضمة، وهي تسمّى إنزيمات التحلُّل المائي Hydrolases، لأنها تحفّز تفاعلات التحلل المائي. يجب أن تبقى الإنزيمات منفصلة عن بقيّة مكوّنات الخليّة لتجنّب حدوث ضرر، إذ تقوم الليسوسومات بتحطيم (هضم) الموادّ والتراكيب غير المرغوب فيها مثل العُضيّات القديمة أو حتى الخلايا الكاملة. ويعمل التحلّل المائي بشكل سريع في وسط حمضي، له pH بين 4-5 مقارنة مع السيتوبلازم المحيط الذي له pH يساوي 7. وتحتوي الليسوسومات على أكثر من 60 إنزيمًا من بينها البروتييز والليبييز والنيوكلييز، والتي تفكِّك البروتينات والدهون والأحماض النوويّة على

مصطلحات علمية

الليسوسوم Lysosome: عُضيّة كرويّة الشكل توجد في الخلايا حقيقيّة النواة. وهي تحتوي على إنزيمات هاضمة (إنزيمات التحلّل المائي). وتؤدي وظائف تفكيك وهدم متنوعة، مثل إزالة عُضيّات الخليّة القديمة.



الصورة ١-١٣ الليسوسومات (باللون البرتقالي) في خليّة كلية فأر (**X 55000**) تحتوي على تراكيب خلويّة أثناء عمليّة الهضم. يبدو السيتوبلازم باللون الأزرق هنا.

التوالي. تصنّع الإنزيمات على الشبكة الإندوبلازميّة الخشنة (RER)، وتُرسل إلى الليسوسومات عبر جهاز جولجي. يمكن تصنيف أنشطة الليسوسومات في أربع فئات كما يأتي:

التخلّص من المواد غير المرغوب فيها في الخلية

يمكن أن تبتلع الليسوسومات مكوّنات الخليّة غير المرغوب فيها، مثل الجُزيئات أو العُضيّات الميتة أو المحطمة التي توجد داخل الخليّة.

الإدخال الخلوي

يحدث الإدخال الخلوي عندما يغلّف غشاء الخلية المادّة بالكامل خارج الخلية ثم تدفع إلى داخل الخلية، على سبيل المثال: عندما تبتلع خلايا الدم البيضاء البكتيريا. فقد تندمج الليسوسومات مع الفجوات البلعميّة المتشكّلة وتطلق إنزيماتها لهضم المحتويات (المزيد من التفصيل في وحدة الإنزيمات).

الإخراج الخلوي

يمكن أن يتمّ إطلاق إنزيمات الليسوسومات من الخليّة لتستخدم في الهضم خارج الخليّة؛ ومثال على ذلك، استبدال غضروف العظم أثناء النموّ. كما أن رؤوس الحيوانات المنوية تحتوي على ليسوسوم خاص هو الجسم القمي (الأكروسوم)، لهضم الخلايا المحيطة بالبويضة ليشكل مسارًا يمكّنه من الوصول إلى البويضة عند الإخصاب.

الهضم الذاتي

أحيانًا، يتمّ إطلاق محتويات الليسوسومات في السيتوبلازم، الأمر الذي يؤدّي إلى هضم الخليّة بأكملها (عمليّة التحلّل الذاتي). قد يكون هذا جزءًا من النموّ الطبيعي، كما هو الحال عندما يعاد امتصاص ذيل الشرغوف أثناء التحوّل، أو عندما يستعيد الرحم حجمه الطبيعي بعد الحمل، أو كما يحدث بعد وفاة الإنسان حيث تفقد الأغشية نفاذيتها الجُزئية.

الميتوكندريا

التركيب

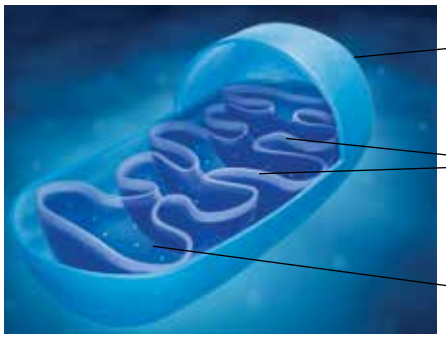
تبيّن الصورتان ١-٧ و ١-١٤ الميتوكندريون Mitochondrion (جمعه الميتوكندريا Mitochondria) كما يُرى بالمجهر الإلكتروني. يبلغ قطر الميتوكندريا عادة حوالي 1µm، وتكون على عدّة أشكال، وعلى الأغلب عصوية، كما في الصورة ١-١٤. وتحاط الميتوكندريا بغشاءَين (الغلاف)، ويكون الغشاء الداخلي منثنيًا مُكوّنًا بروزات (على شكل أصابع) تسمّى **الأعراف Cristae** (مفردها عرف Crista)، تمتدّ إلى داخل الميتوكندريا المسمّى الحشوة Matrix، والمساحة بين الغشاءَين تُسمى الحيّز بين غشاءَين كما في الشكل ١-٩.

تحتوي الميتوكندريا على رايبوسومات 70S وحمض نووي حلقي خاصة بها، لتمكنها من بناء البروتينات اللازمة للتنفس. عدد الميتوكندريا في تغيّر دائم؛ ولكونها مسؤولة عن التنفّس الهوائي، فالخلايا النشطة كخلايا الكبد والعضلات تحتاج إلى مقدار عالٍ من الطاقة، لذلك تكثر فيها الميتوكندريا، فقد تحتوي خليّة الكبد مثلًا على 2000 ميتوكندريون. وإذا كنت تمارس الرياضة بانتظام فإن عضلاتك ستصنع المزيد من الميتوكندريا.

مصطلحات علمية

أعراف Cristae (مفردها عرف Crista): طيّات من الغشاء الداخلي لغلاف الميتوكندريا حيث توجد جُزيئات من إنزيم ATP سينثيز، وسلاسل نقل الإلكترون، المرتبطة بعملية التنفّس الهوائي.

الصورة ١-١٤ الميتوكندريون (الوردي والأزرق) مع غشائها المزدوج (الغلاف)، ينثني الغشاء الداخلي ليشكّل الأعراف (X 20000) الميتوكندريون هي الموقع الذي تجري فيه عملية التنفس الهوائي. لاحظ أيضًا الشبكة الإندوبلازمية الخشنة.



الشكل ١-٩ رسم توضيحي حاسوبي (رقمي) للميتوكندريون.

وظائف الميتوكندريا ودور ATP

الوظيفة الرئيسية للميتوكندريا هي القيام بعمليّة التنفّس الهوائي، على الرغم من قيامها بوظائف أخرى من بينها تشكيل الدهون. تجري سلسلة من التفاعلات أثناء التنفّس التي تطلق الطاقة من جُزيئات غنيّة بالطاقة مثل السكّريات والدهون. وتتحوّل معظم الطاقة إلى جُزيئات ATP (**أدينوسين ثلاثي الفوسفات Adenosine triphosphate**)، الجُزيء الحامل للطاقة في جميع الخلايا الحيّة، والذي يعرف بعملة الطاقة المتداولة.

تحدث تفاعلات عملية التنفّس في محلول الحشوة وفي الغشاء الداخلي (الأعراف).

مصطلحات علمية

أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) Adenosine triphosphate: الجُزيء الذي يمثّل «العملة المتداولة العامة» للطاقة في جميع الكائنات الحيّة؛ والغرض من عملية التنفّس هو تكوين ATP.

ويحتوي محلول الحشوة على إنزيمات، بما في ذلك إنزيمات دورة كريبس Krebs cycle، كما توجد إنزيمات نقل الإلكترونات في الأعراف.

وبعد أن يتكوّن ATP يغادر الميتوكندريون. وبما أنه جُزيء صغير قابل للذوبان، يمكن أن ينتشر بسرعة في جميع أنحاء الخليّة بحسب الحاجة إلى الطاقة. وتنطلق الطاقة من ATP بتحطيمه إلى **ADP** (**أدينوسين ثنائي الفوسفات Adenosine diphosphate**)، في تفاعل تحلّل مائي. ثم يعاد تدوير ADP في الميتوكندريون مرّة أخرى ليتحوّل إلى ATP أثناء التنفّس الهوائي.

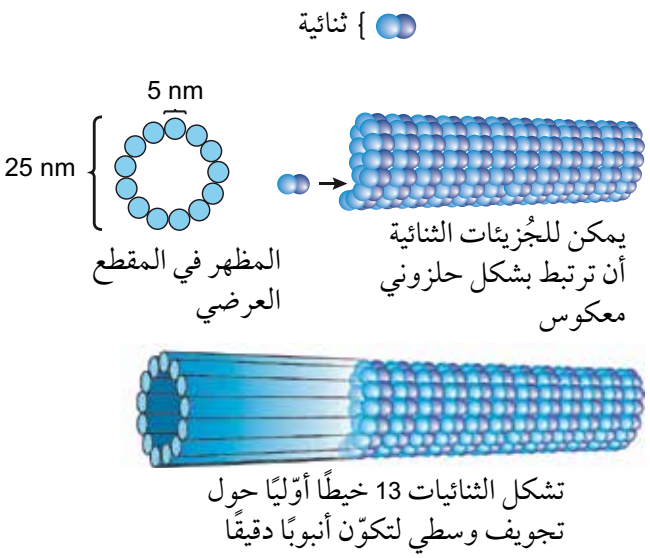
مصطلحات علمية

أدينوسين ثنائي الفوسفات (ADP) diphosphate

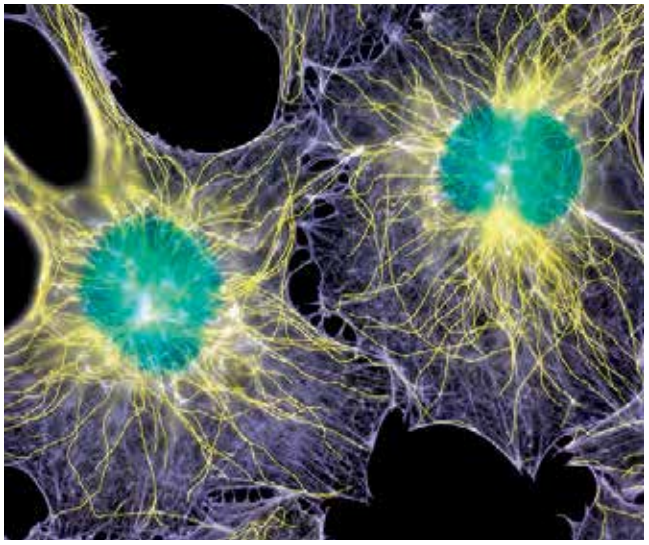
Adinosine: جزيء يتحوّل إلى ATP بإضافة الفوسفات (بتفاعل يسمّى الفسفرة) أثناء عملية التنفّس. والإنزيم المسؤول عن هذا التحوّل هو ATP سينثيز، ويتطلّب التفاعل طاقة.

الأُنيبيبات الدقيقة ومراكز تنظيمها

الأُنيبيبات الدقيقة Microtubules أنابيب طويلة نسبيًا صلبة مجوّفة توجد في السيتوبلازم. وهي صغيرة جدًا، إذ يبلغ قطرها 25 nm تقريبًا، وتشكّل مع خيوط الأكتين والخيوط الوسطية الهيكلَ الخلوي Cytoskeleton، الذي يؤمّن الدعم وتحديد شكل الخلية. وتتكوّن الأُنيبيبات الدقيقة من بروتين يسمّى التيوبيولين Tubulin، ينتظم على هيئة ثنائيات Dimers، تشمل وحدتَين من التيوبيولين يرتبطان معًا ويشكلان خيوطًا أولية، كما هو مبيّن في الشكل ١-١٠ و الصورة ١-١٥. والأسطوانة من الخيوط الأولية هي أنيبيب دقيق.



الشكل ١-١٠ تركيب الأُنيبيب الدقيق.



الصورة ١-١٥ تنظيم الأُنيبيبات الدقيقة (تبدو باللون الأصفر) في خليّتَين.

مصطلحات علمية

الأُنيبيبات الدقيقة Microtubules: أُنيبيبات صغيرة تتكوّن من بروتينات تسمى تيوبيولين، وتوجد في معظم الخلايا حقيقيّة النواة. وهي تؤدّي وظائف كثيرة متنوّعة، بما في ذلك دعم الخليّة وتحديد شكلها. تتكون خيوط المغزل من أنيبيبات دقيقة تساعد في فصل الكروماتيدات أو الكروموسومات أثناء الانقسام المتساوي أو الاختزالي.

وبالإضافة إلى وظيفة الدعم، تؤدّي الأُنيبيبات الدقيقة عدّة وظائف أخرى أهمّها:

- انتقال الحويصلات الإفرازيّة والعُضيّات أو مكوّنات خلوية أخرى على طول الأسطح الخارجيّة للأُنيبيبات مشكّلة نظام نقل داخل الخلايا، كما في حركة حويصلات جولجي أثناء الإخراج الخلوي.
- استخدام خيوط المغزل المكوّنة من الأُنيبيبات أثناء الانقسام المتساوي أو الاختزالي، في فصل الكروماتيدات أو الكروموسومات بعضها عن بعض.
- تشكل الأُنيبيبات الدقيقة جزءًا من تركيب السنتريولات.
- تشكل الأُنيبيبات الدقيقة جزءًا رئيسيًا من آليّة حركة الأسواط والأهداب.

يتم تكوين الأُنيبيبات الدقيقة من جزيئات تيوبيولين عبر مواقع خاصّة في الخلايا تسمّى مراكز تنظيم الأُنيبيبات الدقيقة (Microtubule organizing centres MTOCs). وسيناقش ذلك بالتفصيل في البند التالي حول السنتريولات. إن الأُنيبيبات الدقيقة بسيطة التركيب، لذا يمكن أن تتكوّن أو أن تتحطّم بسهولة في مراكز تنظيم الأنيبيبات الدقيقة، استنادًا إلى حاجة الجسم إلى ذلك.

السنتريولات

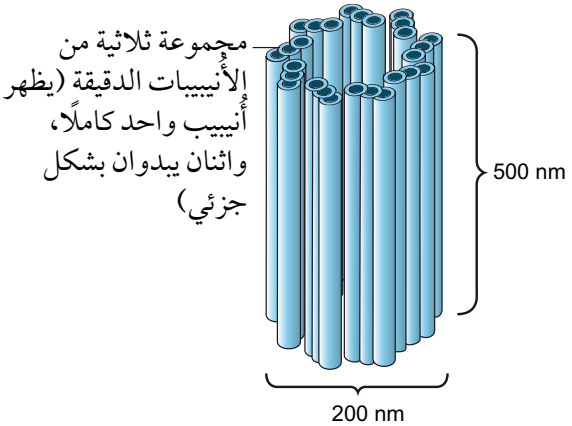
يبين المجهر الإلكتروني وجود **سنتريولين** **Centrioles** خارج نواة الخليّة الحيوانيّة وليس سنتريولا واحدًا كما يبدو بالمجهر الضوئي (قارن الشكلَين ١-١ و ١-٦). وهما متقاربان، ويشكّل أحدهما زاوية قائمة بالنسبة إلى الآخر، في منطقة تسمّى **الجسم المركزي (السنتروسوم)** **Centrosome** ولا يوجد الجسم المركزي والسنتريولات في معظم الخلايا النباتيّة.

وللسنتريول شكل أسطوانة مجوّفة طولها 500 nm تقريبًا، مكوّنة من حلقة من أُنيبيبات قصيرة تصطفّ على هيئة دائرة. يحتوي كلّ سنتريول على 9 ثلاثيات من الأُنيبيبات الدقيقة (الشكل ١-١١ والصورة ١-١٦).

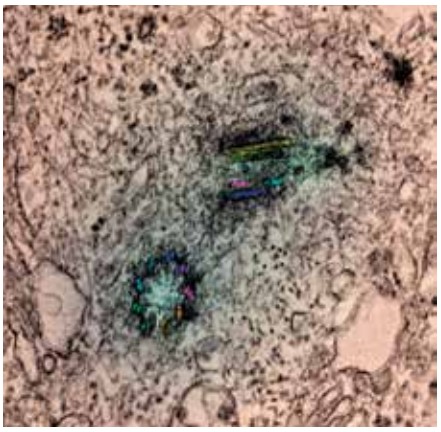
مصطلحات علمية

السنتريول
Centriole: واحد من تركيبَين أسطوانيَّين صغيرَين يتكوّن من الأُنيبيبات الدقيقة، في الخلايا الحيوانيّة، في منطقة قريبة من النواة تسمّى الجسم المركزي (السنتروسوم). ويوجد التركيبان أيضًا عند قاعدة الأهداب والأسواط.

الجسم المركزي (السنتروسوم)
Centrosome: المركز الرئيسي لتنظيم الأُنيبيبات الدقيقة في الخلايا الحيوانيّة.



الشكل ١-١١ تركيب السنتريول. يتكوّن من 9 مجموعات من الأُنيبيبات الدقيقة، وتتكوّن كلّ مجموعة من 3 أُنيبيبات.



الصورة ١-١٦ قطاع عرضي وقطاع طولي في السنتريول بألوان غير حقيقية (X 330000).

تعمل السنتريولات مع الأجسام المركزية كمراكز لتنظيم الأنبيبيات الدقيقة أثناء الانقسام المتساوي. وقد تتحول السنترويولات إلى أجسام قاعدية Basal bodies لتشكل قاعدة تمتد منها الأنيبيبات الدقيقة المكونة للأهداب والأسواط، وبالتالي تساعدها على الحركة المجدافية أو الموجية.

الأهداب والأسواط

الأهداب Cilia (مفردها **هُدْب Cilium**) و**الأسواط Flagella** (مفردها **سوط Flagellum**) لها تراكيب متماثلة، فهي امتدادات من غشاء سطح الخلية في العديد من الخلايا حقيقية النواة وتُحدث حركة موجية. الأسواط طويلة ويوجد منها عادة واحد أو اثنان لكل خلية، في حين أن الأهداب قصيرة وغالبًا ما تكون عديدة.

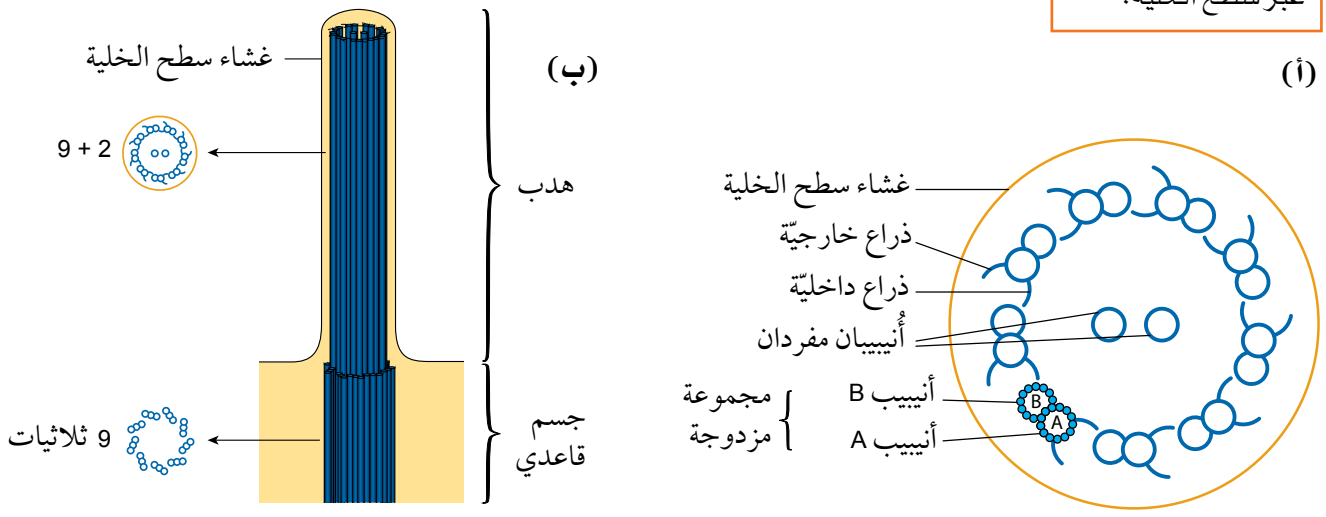
التركيب

الأهداب والأسواط تراكيب معقّدة جدًا تتكوّن من أكثر من 600 عديد ببتيد مختلف، ما يؤدّي إلى تحكّم دقيق في كيفية تحرّكها. يبيّن الشكل ١-١٢ تركيب الهدب. يتكوّن الهُدب من أُنيبيبَين دقيقَين مركزيَين منفردَين محاطَين بحلقة دائرية من 9 مجموعات من الأُنيبيبات الدقيقة المزدوجة؛ يسمّى هذا التركيب النمط «9+2». تحتوي كل مجموعة مزدوجة من الأُنيبيبات الدقيقة على أُنيبيب A وأُنيبيب B، وأمّا جدار الأُنيبيب A فهو عبارة عن حلقة كاملة من 13 خيطًا أوّليًا، في حين أنّ الأُنيبيب B المرفق هو عبارة عن حلقة غير مكتملة مكوّنة من 10 خيوط أوّلية فقط، ويبين هذا الشكل أن لكلّ أُنيبيب A أذرعًا داخليّة وأذرعًا خارجيّة مكوّنة من بروتين داينين Dynein، وهي ترتبط بالأُنيبيب B من مجموعة الأُنيبيبات

مصطلحات علمية

الأسواط Flagella (مفردها **سوط Flagellum**): امتدادات من سطح بعض الخلايا الحيوانية وخلايا العديد من الكائنات أحادية الخلية، تتحرك بشكل موجي ما يؤدّي إلى التنقل أو تحريك السائل حولها فوق سطح الخلية؛ تشبه في تركيبها الأهداب لكنها أطول منها.

الأهداب Cilia (مفردها **هدب Cilium**): تراكيب تشبه السوط تمتد من سطح العديد من الخلايا الحيوانيّة، والعديد من الكائنات أحاديّة الخليّة؛ تتحرّك بشكل موجي ما يؤدّي إلى التنقل أو تحرُّك السوائل حولها عبر سطح الخليّة.



الشكل ١-١٢ تركيب الهدب. (أ) مقطع عرضي في الهدب. لاحظ الترتيب «9+2» للأنيبيبات الدقيقة. (ب) مقطعان عرضيان في الهدب (9+2) وفي الجسم القاعدي (9 ثلاثيات).

المزدوجة المجاورة أثناء الحركة. إذا تخيّلت الأُنيبيب بثلاثة أبعاد، فسيكون هناك صفّان من عدّة مئات من أذرع داينين على امتداد محيط كل أُنيبيب. التركيب الأسطواني داخل غشاء سطح الخلية يسمّى الخيط المحوري Axoneme. وهكذا الأسواط لها تركيب مماثل كما في الشكل ١-١٢.

عند قاعدة كل هُدب وسوط يوجد تركيب يسمّى الجسم القاعدي Basal body كما في الشكل ١-١٢ب، الذي ينمو منه الأهداب التي توضحها الصورة ١-١٧، والأسواط.

الصورة ١-١٧ صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح للأهداب في الجهاز التنفسي.

آلية حركة الأهداب

تنتج حركة الأهداب من تلامس أذرع بروتين الداينين Dynein بعضها مع بعض وتحرّكها على امتداد الأُنيبيبات الدقيقة المجاورة، الأمر الذي يولّد القوّة اللازمة لتحريك الهدب. كما تنزلق المجموعات المزدوجة للأُنيبيبات المتجاورة وتتراكم فوق بعضها، لتتحوّل الحركة الانزلاقيّة إلى انحناء بواسطة أجزاء أخرى من الهُدب.

وظائف الأهداب

تستخدم الكائنات أحاديّة الخليّة الأهداب للتنقّل. يمكنك بسهولة العثور على مقاطع فيديو على شبكة الإنترنت عن هذه الحركة. وفي الفقاريات، توجد الأهداب النابضة على بعض الخلايا الطلائيّة، كتلك التي تبطّن المسالك التنفسيّة. ويكون على المليمتر المربّع الواحد من سطح هذه المسالك أكثر من 10 ملايين هُدب، وهي تساعد المخاط على إزالة الترسبات مثل الغبار والبكتيريا من الجهاز التنفّسي.

البلاستيدات الخضراء

تبيّن الصورة ١-١٨ و الشكل ١-١٣ تركيب البلاستيدة الخضراء Chloroplast كما تُرى بالمجهر الإلكتروني. تميل البلاستيدات الخضراء إلى أخذ شكل متطاول بقطر 3-10 µm تقريبًا (مقارنة مع قطر 1 µm للميتوكندريا)، وهي محاطة بغشاءَين، مثل الميتوكندريا، يشكّلان غلاف البلاستيدة.

الوظيفة الأساسيّة للبلاستيدة القيام بعملية التمثيل الضوئي، وخلال المرحلة الأولى من عملية التمثيل الضوئي (مرحلة التفاعلات الضوئيّة) تمتصّ صبغات التمثيل الضوئي، خصوصًا الكلوروفيل طاقة الضوء. وتوجد هذه الصبغات على أغشية البلاستيدة الخضراء.

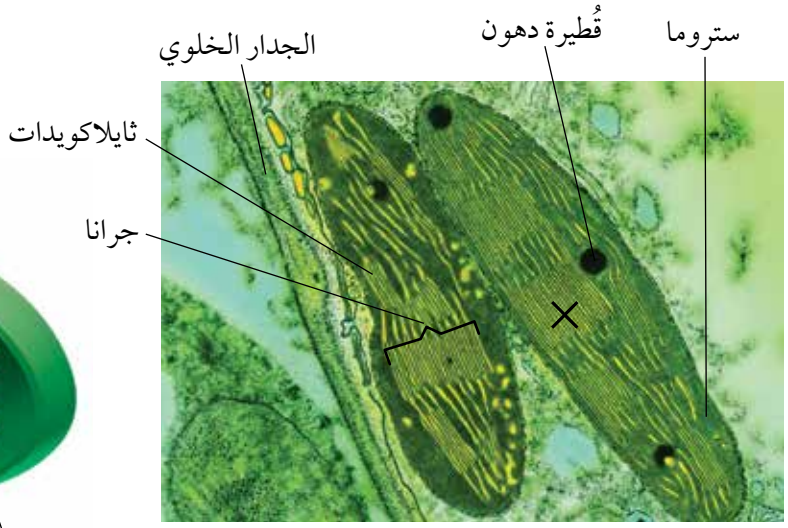
تتكوّن البلاستيدة الخضراء من نظام هو بمثابة أكياس غشائية مسطّحة مليئة بسائل تسمّى **الثايلاكويدات Thylakoids**، تنبسط لتأخذ شكل صفائح ثلاثيّة الأبعاد. وتشكّل الثايلاكويدات تراكيب دائرية الشكل يتراكم بعضها فوق بعض على شكل كومة من قطع معدنية، مشكّلة تراكيب تسمّى جرانا Grana (جرانا تعني حُبيبات).

المرحلة الثانية من عملية التمثيل الضوئي هي مرحلة التفاعلات اللاضوئيّة التي تحدث في الستروما Stroma وتُستخدم الطاقة المتولّدة في المرحلة الأولى من التفاعلات لتحويل غاز ثاني أكسيد الكربون إلى سكّريات. والسكريات المتكوّنة قد تُخزّن على شكل حُبيبات نشا في الستروما (الصورة ١-١٨).

يمكن أيضًا رؤية قطيرات من الدهون في الستروما، والتي تبدو في صور المجهر الإلكتروني على شكل كرات داكنة (الشكل ١-١٣). وهي تمثّل مخزون الدهون التي تُستخدم لبناء الأغشية، أو التي تشكّلت من تحطم الأغشية الداخليّة للبلاستيدات المسنّة.

مصطلحات علمية

الثايلاكويد
Thylakoid: كيس مسطّح محاط بغشاء مملوء بسائل، وهو موقع التفاعلات الضوئيّة في عملية التمثيل الضوئي في البلاستيدة الخضراء.



الصورة ١-١٨ صورة مجهرية تظهر اثنين من البلاستيدات الخضراء (X 16000). تتوزع الثايلاكويدات (الصفراء) داخل الستروما (الأخضر الداكن) وتتراص في مواقعها فوق بعضها لتكون الجرانا. تمثل الدوائر السوداء فيما بين الثايلاكويدات قطيرات دهنية. يشار إلى البلاستيدة الخضراء X في كتاب التجارب العملية والأنشطة.

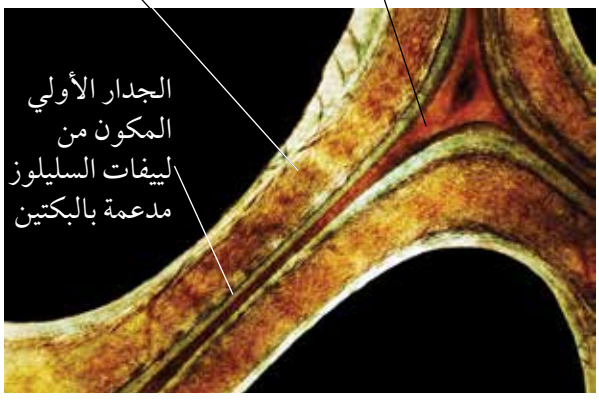
الشكل ١-١٣ رسم توضيحي حاسوبي (رقمي) للبلاستيدة الخضراء.

ولدى البلاستيدات الخضراء كما في الميتوكندريا، آليتها في بناء ما تحتاج إليه من البروتينات، بما في ذلك رايبوسومات 70 S و DNA الحلقي. ويمكن رؤية الرايبوسومات في الستروما كنقاط سوداء في صور المجهر الإلكتروني.

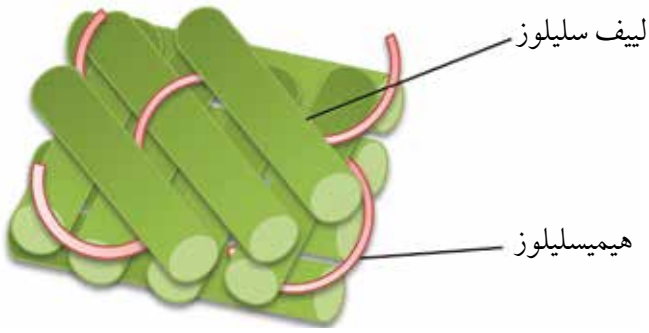
الجدران الخلوية

التركيب

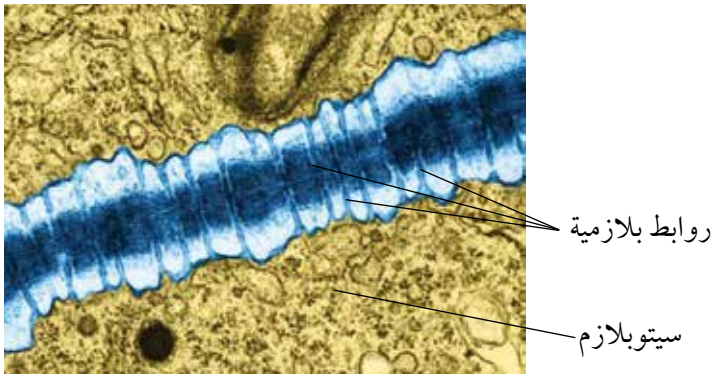
الجدران الأولى التي تتكوّن في الخلايا النباتيّة تسمّى الجدران الأوليّة Primary walls، وهي صلبة نسبيًا. يتكوّن الجدار الأولي من ألياف متوازية من عديد التسكر، السليلوز، تمتدّ عبر حشوة من عديد التسكر أخرى مثل البكتين والهيميسليلوز كما في الشكل ١-١٤ والصورة ١-١٩. إن ألياف السليلوز غير مرنة، ولها قوّة شدّ عالية، بما يعني أنه يصعب قطعها إذا تمّ سحب كلّ طرف. كما يجعل من الصعب تمدّد الجدار الخلوي، عندما يدخل الماء إلى الخليّة بالإسموزيّة.



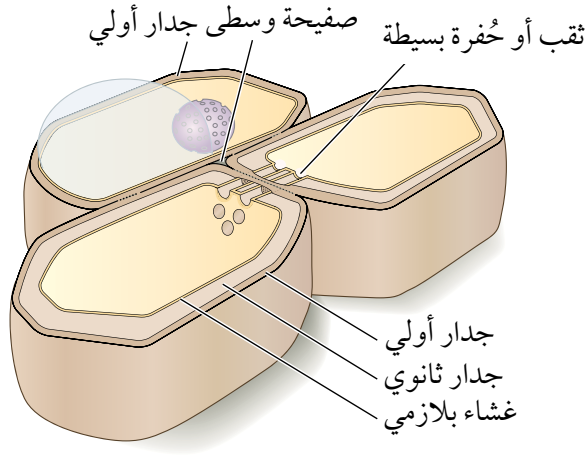
الصورة ١-١٩ صورة مجهرية الكترونية ملونة بالمجهر النافذ لجدران خلايا نباتية. تبين الصورة الصفيحة الوسطى (بالاحمر) وهي تركيب مشترك بين خليتين متجاورتين؛ كما يظهر الجدار الخلوي الأولي (بالأخضر) والجدار الخلوي الثانوي (بالبرتقالي).



الشكل ١-١٤ تتكون كل طبقة من طبقات السليلوز في جدار الخلية الأولى من ليفيات سليلوز المتوازية. تمتد الطبقات في اتجاهات مختلفة لتكون تركيبًا قويًا متقاطع الطبقات .



الصورة ١-٢٠ صورة ملونة محسنة بالمجهر الإلكتروني النافذ TEM للروابط البلازمية بين خليتين من نبات الطحالب Chara.



الشكل ١-١٥ رسم توضيحي لخلايا نباتية قد كونت جدارًا ثانويًا بالإضافة إلى الجدار الأولي.

تضاف طبقات أخرى من السليلوز إلى الطبقة الأولى من الجدار الأولي في معظم الخلايا، مكوّنة جدارًا ثانويًا Secondary wall كما في الشكل ١-١٥. وفي هذه الطبقة تكون ألياف السليلوز متوازية أيضًا، لكن الألياف في الطبقات المختلفة تمتدّ باتجاهات مختلفة، مكوّنة بالنتيجة تركيبًا متقاطعًا أقوى من ذي قبل كما في الشكل ١-١٤.

تصبح بعض الجدران الخلويّة Cell walls أقوى وأكثر صلابة بإضافة اللجنين Lignin إليها. ومن أمثلة ذلك الأوعية الخشبيّة والنسيج الإسكليرنشيمي Sclerenchyma. يضيف اللجنين قوّة الضغط إلى قوّة الشدّ (فيمنع الالتواء)، وهو ما يعطي الخشب (الخشب الثانوي) القوّة اللازمة لدعم الأشجار الصغيرة والكبيرة. ترتبط الخلايا النباتيّة مع الخلايا المجاورة بواسطة ثقوب تحتوي على خيوط رفيعة من السيتوبلازم، تسمّى **الروابط البلازميّة Plasmodesmata** (مفردها **رابطة بلازميّة Plasmodesma**) والتي يبطّنها غشاء سطح الخليّة كما في الشكل ١-١٥ والصورة ١-٢٠. ويعتقد أن هذه الثقوب تنظم الحركة عبرها.

الوظائف

يمكن تلخيص بعض الوظائف الرئيسية لجدران الخلايا بما يأتي:

- يُكسب الخلايا المفردة والنبات ككل القوّة الميكانيكيّة والدعم. ومن وسائل الدعم التخشيب أو اللجننة، أما الأنسجة الممتلئة فهي وسيلة أخرى من الدعم التي تعتمد على الجدران القويّة للخلايا.
- تمنع الجدران الخلويّة انفجار الخلايا بالإسموزيّة، عند وجود الخلايا في محلول ذات جهد ماء مرتفع.
- يُساعد ترتيب ألياف السليلوز باتّجاهات مختلفة على تحديد أشكال الخلايا أثناء نموّها.
- يسمّى نظام ترابط الجدران الخلويّة في النبات الممرّ خارج خلوي Apoplast، وهو مسار نقل (غير حي) رئيسي للماء والأيونات غير العضويّة وموادّ أخرى.
- تساعد الارتباطات الحيّة عبر جدران الخلايا المتجاورة، والتي تسمّى الروابط البلازميّة، في تكوين مسار نقل (حي) آخر عبر النبات يسمّى الممرّ داخل خلوي Symplast.
- تكون جدران الخليّة في البشرة الداخليّة للجذور مشرّبة بمادّة سوبرين Suberin العازلة للماء، وتشكّل حاجزًا أمام حركته، بما يساعد في تنظيم حركة الماء والأملاح المعدنيّة الممتصّة.
- غالبًا ما تتكوّن، على الجدران الخارجيّة لخلايا البشرة، طبقة عازلة للماء من الكيوتين الشمعي Waxy cutin ومن الكيوتكل Cuticle، تقلّل من تبخر الماء.

مصطلحات علمية

الرابطة البلازميّة Plasmodesma (الجمع: الروابط البلازمية **Plasmodesmata**): تركيب يشبه الثقب يوجد في جدران الخليّة النباتيّة. تنتظم الروابط البلازمية في الخلايا النباتيّة المتجاورة لتشكّل مسارًا يشبه الأنبوب عبر جدران الخليّة، ما يسمح بمرور الموادّ من خليّة إلى أخرى. تحتوي الثقوب على شبكة إندوبلازميّة، وهي مبطّنة بغشاء سطح الخليّة.

الفجوات

الفجوات Vacuoles في الخلايا الحيوانيّة صغيرة جدًا، وتشمل الفجوات البلعميّة والفجوات الغذائية وفجوات الالتهام الذاتي. وهي غالبًا ما تكون تراكيب مؤقتة غير موجودة دائمًا.

تؤدّي الفجوة المركزية عدّة وظائف في الخلايا النباتيّة المختلفة، ومن ذلك:

الدعم

يكون المحلول في الفجوة مركّزًا نسبيًا، لذلك يدخل الماء إلى الفجوة بالإسموزيّة مسبّبًا تضخمّها وزيادة الضغط فيها، وتسمّى الخليّة الممتلئة Turgid cell. وتساعد الأنسجة المنتفخة في دعم سيقان النباتات التي تفتقر إلى الخشب (يوضح الذبول أهميّة ذلك).

النشاط الليسوسومي

قد تحتوي الفجوات على إنزيمات التحلّل المائي، فتعمل عمل الليسوسومات.

نتاجات الأيض الثانويّة

تحتوي النباتات على مجموعة واسعة من الموادّ الكيميائيّة المسمّاة نتاجات الأيض الثانويّة، والتي بالرغم من أنها ليست ضروريّة للنموّ والتطوّر، إلّا أنها تساعد في البقاء على قيد الحياة بوسائل مختلفة. هذه المواد غالبًا ما تخزن في الفجوات، ومن الأمثلة على وظائفها:

- الأنثيوسيانينات Anthocynins صبغات تعطي معظم الألوان الأحمر والأرجواني والوردي والأزرق للأزهار والثمار، وهي تجذب الملقّحات وناثرات البذور كالحشرات.
- بعض أشباه القلويات والعفص أو التانينات Tannins تمنع آكلات الأعشاب من أكل النبات.
- يمكن أن يتراكم السائل الحليبي اللاتكس Latex في الفجوات، كما في أشجار المطاط والتين. ويحتوي لاتكس خشخاش الأفيون على أشباه قلويات مثل المورفين الذي يشتقّ منه الأفيون والهيروبين.

تخزين الغذاء

يمكن أن تخزّن الفجوات موادّ غذائيّة وأملاحًا معدنيّة في داخلها، ومثال ذلك تخزين الشمندر السكّري وكذلك الفجوات المخزنة للبروتينات شائع في البذور أيضًا.

الترسّبات

يمكن أن تخزّن الفجوات ترسّبات مثل بلورات أوكسالات الكالسيوم.

النمّو في الحجم

امتصاص الماء إلى داخل الفجوة المركزية بالإسموزيّة مسؤول عن معظم الزيادة في حجم الخلايا النباتيّة أثناء النموّ. ويمكن أن تحتلّ الفجوة المركزية حتى ثلث الحجم الكلّي للخليّة.

مهارات عملية ١-٣

يكون العمل في مجموعات من **10** أفراد. تنسخ كل مجموعة نسخة واحدة من الجدول على بطاقة من الورق المقوّى.

البداية	تحدث عملية التمثيل الضوئي في هذه العُضيّة
البلاستيدة الخضراء	توجد الكروموسومات في هذا التركيب في الخلايا حقيقيّة النواة
النواة	توجد على الشبكة الإندوبلازميّة الخشنة وحرة في السيتوبلازم
الرايبوسومات	يحتوي هذا التركيب على السليلوز كمادّة داعمة
الجدار الخلوي	يكوّن الرايبوسومات
النويّة	موقع بناء ATP في عملية التنفس الهوائي
الميتوكندريون	يكوّن الليسوسومات
جهاز جولجي	تتّصف بنمط التركيب "9+2" للأُنيبيبات الدقيقة
الهُدْب	يحتوي بشكل أساسي على إنزيمات هاضمة
الليسوسوم	النهاية

اقطع البطاقة بحيث يحتوي كل جزء منها على مصطلح واحد ووصف واحد (صفّ واحد أفقي من الجدول). وسيكون هناك بالتالي عشر بطاقات.

اخلط البطاقات ثم خذ واحدة منها. يقرأ الطالب الذي يحمل بطاقة **البداية** الوصف، ويقرأ طالب آخر المصطلح العلمي الصحيح المطابق للوصف من بطاقته. ثم يقرأ الطلبة الوصف من بطاقاتهم. ويستمرّ الأمر كذلك حتى الوصول إلى بطاقة **النهاية**. سيساعدك معلّمك في الإجابة عن أي سؤال.

يمكن إعادة خلط البطاقات وتكرار النشاط للتأكّد من مهارتك في إنجاز العملية بشكل أسرع في المرّة القادمة.

١-٥ البكتيريا

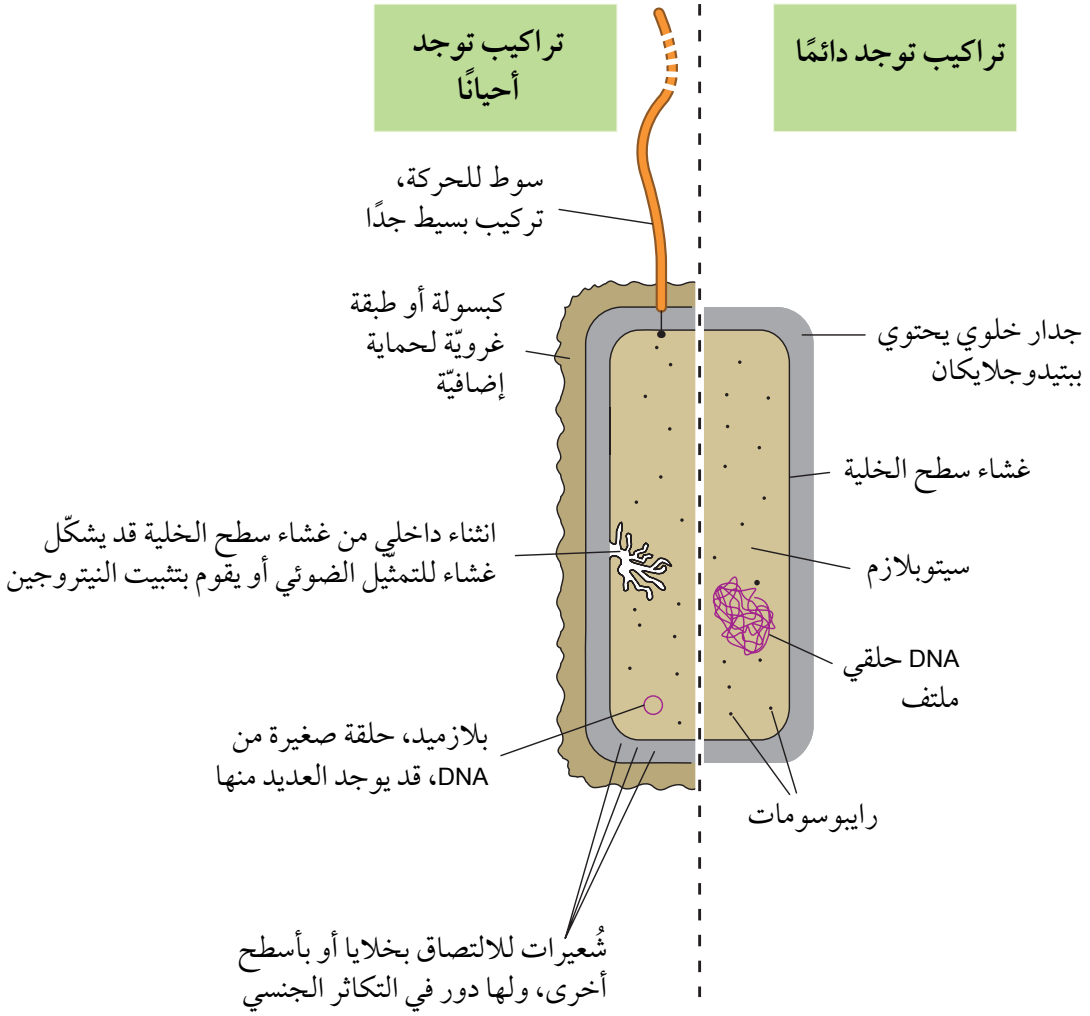
مصطلحات علمية

البكتيريا Bacteria (مفردها **خليّة بكتيريوم Bacterium**): مجموعة من الكائنات الحيّة الدقيقة بدائيّة النواة أحاديّة الخليّة، تتّصف بعدّة ميزات مثل القدرة على تكوين الأبواغ، والتي تميزها عن العتائق Archaea.

تذكّر أن هناك نوعَين رئيسيَين من الخلايا: حقيقية النواة مثل الخلايا الحيوانية والنباتية التي درستها، وبدائية النواة كالبكتيريا والتي خلاياها أبسط بكثير من تلك الموجودة في حقيقيّة النواة. فبدائية النواة أصغر حجمًا بنحو 1000 مرّة من حقيقية النواة، وتفتقر إلى النواة المحاطة بغشاء مزدوج. كما تنقسم إلى مجموعتَين تعرفان باسم البكتيريا والعتائق Archaea. وسنعرض البكتيريا فقط في هذا الكتاب.

تركيب البكتيريا

يبيّن الشكل ١-١٦ تركيب خليّة بكتيريوم **Bacterium** (جمعها: بكتيريا **Bacteria**) نموذجية. يبيّن الجانب الأيمن من الرسم التراكيب التي توجد دائمًا، ويبيّن الجانب الأيسر التراكيب التي يمكن أن توجد في البكتيريا أحيانًا.



الشكل ١-١٦ رسم تخطيطي لبكتيريوم. يبلغ قطر الخلايا بشكل عام 1-5 µm تقريبًا.

جدار الخليّة

يحتوي جدار خليّة البكتيريا على مادّة قوية (صلبة) تسمّى **ببتيدوجلايكان** **Peptidoglycan**. وبالتالي يؤمّن لها الحماية وهو ضروري لبقائها على قيد الحياة، كما يمنع انتفاخ الخليّة وانفجارها إذا دخل الماء إليها بالإسموزيّة.

مصطلحات علمية

ببتيدوجلايكان
Peptidoglycan:
عديد تسكر متّحد مع أحماض أمينيّة، وهو يكسب جدار البكتيريا صلابة.

غشاء سطح الخلية

تحاط الخلايا البكتيريّة بغشاء سطح الخلية مثل كل الخلايا.

السيتوبلازم

لا يحتوي السيتوبلازم على أيّة عُضيّة محاطة بغشاء.

DNA الحلقي الملتف

جُزيء DNA في البكتيريا حلقي، يوجد في منطقة نووية تسمّى نظير النواة Nucleoid، والتي تحتوي أيضًا على بروتينات وكمّيات صغيرة من RNA. وهي، بخلاف نواة حقيقيّة النواة، ليست محاطة بغشاء مزدوج. قد يوجد أكثر من نسخة واحدة من جُزيء DNA في الخليّة.

الرايبوسومات

رايبوسومات البكتيريا هي رايبوسومات 70 S، أصغر قليلًا من رايبوسومات 80 S في حقيقيّة النواة.

السوط

تستطيع بعض البكتيريا السباحة لوجود سوط أو سوطَين فيها. أسواط البكتيريا أبسط تركيبًا بكثير من أسواط حقيقيّة النواة. فسوط البكتيريا عبارة عن أسطوانة مجوّفة بسيطة مكوّنة من بروتين متطابق الجُزيئات، وهو تركيب صلب لا ينحني، بعكس السوط في حقيقيّة النواة. وله شكل موجة، ويعمل عبر دوران قاعدته كالمروحة ليدفع البكتيريا في بيئتها السائلة، وبالتالي تتحرّك البكتيريا إلى الأمام.

انثناء غشاء سطح الخلية نحو الداخل

ينثني غشاء سطح الخلية في بعض البكتيريا إلى داخل الخليّة مكوّنًا سطحًا إضافيًا تحدث عليه تفاعلات كيميائيّة حيويّة. على سبيل المثال: يحتوي الغشاء المنثني في البكتيريا الخضراء المزرقّة على صبغات التمثيل الضوئي بما يتيح إمكانيّة حدوث عمليّة التمثيل الضوئي. وفي بعض البكتيريا يحدث تثبيت النيتروجين على الغشاء المنثني. تثبيت النيتروجين هو القدرة على تحويل نيتروجين الهواء إلى مركّبات نيتروجينيّة، مثل الأمونيا، داخل الخليّة. ولا تستطيع الخلايا حقيقيّة النواة القيام بتثبيت النيتروجين.

الكبسولة

يحاط الجدار الخلوي لبعض البكتيريا بطبقة إضافيّة، تأخذ شكل كبسولة Capsule أو طبقة غرويّة Slime layer. الكبسولة تركيب محدّد يتكوّن غالبًا من عديد التسكّر، والطبقة الغرويّة أكثر تشتّتًا ويسهل إزالتها. وكلا الطبقتَين تساعدان على حماية البكتيريا من الجفاف. وقد تكون لهما وظائف حماية أخرى، فعلى سبيل المثال، تساعد الكبسولة في حماية بعض البكتيريا من المضادات الحيويّة؛ وتمنع بعض الكبسولات خلايا الدم البيضاء المسمّاة الخلايا البلعمية (الأكولة) من ابتلاع البكتيريا المسبّبة للمرض.

البلازميد

البلازميد Plasmid حلقة من DNA منفصلة عن DNA الرئيسي في الخليّة، وهو يحتوي على جينات قليلة، كما قد تحتوي الخليّة على عدة بلازميدات. ولجينات البلازميدات وظائف كثيرة مفيدة، إذ تحتوي البلازميدات عادة على الجينات التي تؤمّن مقاومة لمضادات حيويّة معيّنة مثل البنسلين. ويمكن للبلازميدات أن تتضاعف بشكل مستقلّ عن DNA الكروموسومي، كما يمكن أن تنتقل بسرعة من خليّة إلى أخرى. إن DNA البلازميد غير مرتبط ببروتينات ويشار إليه باسم DNA «المجرّد».

مصطلحات علمية

البلازميد Plasmid: حلقة صغيرة من DNA في خليّة بكتيريوم. تحتوي غالبًا على جينات تؤمّن مقاومة للمضادات الحيويّة.

الشُّعيرات

الشُّعيرات Pili (مفردها: شُعيرة Pilus) وهي عصي بروتينيّة دقيقة، تختلف في طولها وصلابتها، وقد نجد العديد منها على سطح الخليّة يصل أحيانًا إلى عدّة مئات. هذه الشُّعيرات تُستخدم للالتصاق والتفاعل مع خلايا أو سطوح أخرى، كما تساعد في نقل الجينات، بما فيها البلازميدات، من خليّة بكتيريا إلى أخرى أثناء الاقتران Conjugation.

مقارنة الخلايا بدائيّة النواة بالخلايا حقيقيّة النواة

يقارن الجدول الآتي الخلايا بدائيّة النواة بالخلايا حقيقيّة النواة:

بدائيّة النواة	حقيقيّة النواة
قطرها النموذجي 1 - 5 µm.	يصل قطر الخلايا إلى 40 µm، وحجمها أكبر بـ 1000 مرّة من حجم بدائيّة النواة.
DNA حلقي حرّ في السيتوبلازم، وغير محاط بغشاء مزدوج.	DNA خطي يوجد داخل النواة المحاطة بغلاف نووي (غشاءان).
يوجد رايبوسومات 70S (أصغر من تلك في حقيقيّة النواة).	يوجد رايبوسومات 80 S (أكبر من تلك في بدائيّة النواة).
أنواع العُضيّات قليلة جدًا. ولا توجد عُضيّات محاطة بغشاء.	أنواع العُضيّات كثيرة. • بعض العُضيّات محاطة بغشاء مفرد (على سبيل المثال: الليسوسومات، جهاز جولجي، الفجوات، الشبكة الإندوبلازميّة). • بعضها محاط بغلاف من غشاءَين (على سبيل المثال: النواة، الميتوكندريا، البلاستيدات الخضراء). • بعضها غير محاط بغشاء (على سبيل المثال: الرايبوسومات، السنتريولات، الأنيبيبات الدقيقة).
يحتوي الجدار الخلوي على ببتيدوجلايكان (عديد التسكّر متّحد مع أحماض أمينيّة).	الجدار الخلوي موجود أحيانًا في النباتات والفطريات على سبيل المثال، وهو يحتوي على سليلوز أو لجنين في النباتات وكيتين (عديد التسكّر يحتوي على النيتروجين مماثل للسليلوز) في الفطريات.
الأسواط بسيطة وتفتقر إلى الأنيبيبات الدقيقة، تمتد خارج غشاء سطح الخلية، لذا فهي خارج الخليّة.	الأهداب والأسواط معقّدة مع ترتيب بنمط «9+2» للأنيبيبات الدقيقة، وهي محاطة بغشاء سطح الخلية، لذا تكون داخل الخلايا.
يحدث انقسام الخليّة عبر الانشطار الثنائي (انشطار الخليّة إلى قسمَين)، ولا تتضمّن خيوط المغزل.	يحدث انقسام الخليّة بالانقسام المتساوي أو الاختزالي، ويتضمّن خيوط المغزل.
يقوم بعضها بتثبيت النيتروجين.	لا يقوم أيّ منها بتثبيت النيتروجين.

الجدول ١ – ٢ مقارنة الخلايا بدائيّة النواة بالخلايا حقيقيّة النواة

سؤال

٦ اكتب قائمة بالسّمات التركيبيّة التي تشترك فيها بدائيّة النواة وحقيقيّة النواة. اشرح بإيجاز سبب أهميّة كل تركيب كتبته.

١-٦ الفيروسات

عام 1892 م، اكتشف العالم الروسي دمتري إيفانوفسكي Dmitry Ivanovsky وجود بعض العوامل التي تؤدّي إلى انتقال أمراض محدّدة. وهي، خلافًا للبكتيريا، يمكن أن تمرّ عبر مرشّحات دقيقة جدًا. كان هذا أول دليل على وجود الفيروسات. **الفيروسات Viruses** «جُسيمات» أصغر بكثير من البكتيريا، وتقع على الحدّ الفاصل بين ما نعتقد أنه حيّ وغير حيّ. ليس للفيروسات تركيب خلوي، على العكس من بدائيّة النواة وحقيقيّة النواة. أي أنها غير محاطة بغشاء منفذ جزئيًا ولا تحتوي على سيتوبلازم ورايبوسومات. وهي بسيطة جدًا في تركيبها، إذ تتكوّن فقط من:

- جُزيء ذاتي التكاثر من DNA أو RNA (الجينوم أو التعليمات الجينيّة الكاملة).
- غلاف واقٍ من جُزيئات البروتين يسمّى المحفظة Capsid.
- لبعض الفيروسات طبقة خارجيّة شبيهة بغشاء تسمّى الغلاف Envelope، تتكوّن من **دهون مفسفرة Phospholipids** وقد تبرز البروتينات من الغلاف.

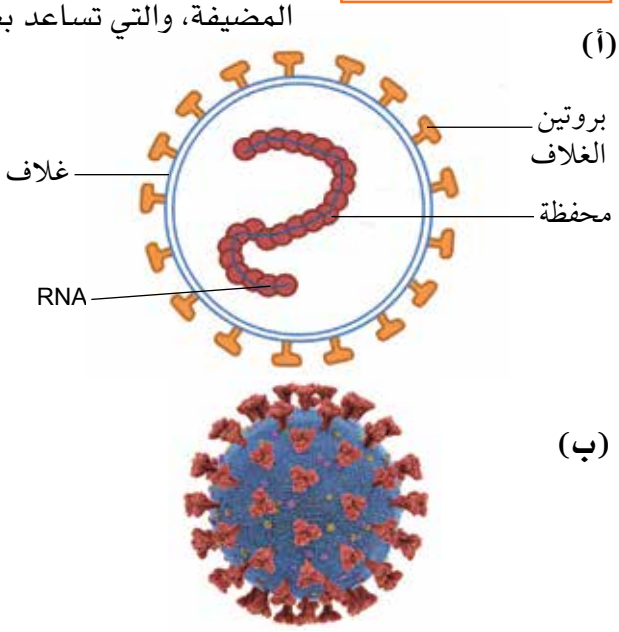
الشكل١-١٧ والصورة ١-٢١ يبيّنان تركيب فيروس كورونا سارس-كوفيد-2 له غلاف. عادة ما يكون للفيروسات شكل متماثل جدًا. يبين الشكل ١-١٧ أ المحفظة التي تتكون من جُزيئات بروتين منفصلة، يسمّى كلّ منها كابسومير Capsomere.

يتراوح حجم الفيروسات بين 20 nm و 300 nm (أصغر 50 مرّة تقريبًا في المتوسط من البكتيريا). جميع الفيروسات متطفّلة لأنها تتكاثر فقط عبر إصابة الخلايا (الدخول إلى خلايا مضيفة) والاستيلاء عليها (استخدام عُضيّاتها وإنزيماتها لبناء بروتينات فيروسية وإنتاج فيروسات جديدة). يتولّى DNA أو RNA الفيروس آليّة بناء البروتين في الخليّة المضيفة، والتي تساعد بعد ذلك على تكوين جُزيئات فيروس جديدة.

مصطلحات علمية

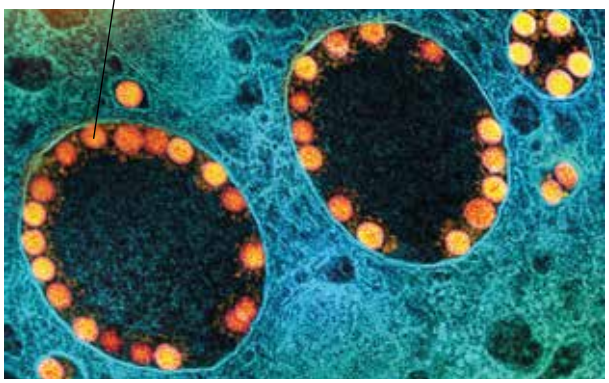
الفيروس Virus: صغير جدًا مُعْدٍ (20-300 nm) يتكاثر فقط داخل الخلايا الحيّة، وهو يتكوّن من جُزيء DNA أو RNA (الجينوم) محاط بغلاف بروتيني يعرف بالمحفظة، وأحيانًا بغلاف دهني.

الدهن المفسفر Phospholipid: دهن مضاف إليه فوسفات. يتكوّن الجُزيء الواحد من جليسرول وجُزيئَي أحماض دهنيّة ومجموعة (الفوسفات). تشكل طبقة مزدوجة من الدهون المفسفرة التركيب الأساسي لجميع أغشية الخلايا.



الشكل ١-١٧ (أ) تركيب فيروس كورونا (سارس-كوفيد-2) بغلاف. (ب) نموذج لجسيم فيروس كورونا (سارس-كوفيد-2). الفيروس هو فيروس **RNA**. المحفظة تحيط بـ **RNA**.

جسيمات فيروس كورونا (سارس-كوفيد - 2) ضمن حويصلات جولجي في خلية مصبوغة



الصورة ١-٢١ صورة ملونة مشاهدة بالمجهر الإلكتروني لخلية مصابة بفيروس كورونا (سارس-كوفيد-2). جُسيمات الفيروس هي التراكيب الكرويّة ذات اللون الذهبي. وتوجد ضمن حويصلات جولجي في هذه الخلية من ظهارة الأنف. قطر جُسيم الفيروس **80 nm** تقريبًا.

ملخّص

الوحدة الأساسية للحياة هي الخليّة. أبسط الخلايا هي الخلايا بدائيّة النواة؛ أمّا الخلايا حقيقيّة النواة فهي أكثر تعقيدًا وأكبر حجمًا من الخلايا بدائيّة النواة.
لا يمكن رؤية الخلايا بوضوح إلّا بالمجهر. يستخدم المجهر الضوئي الضوء مصدرًا للإضاءة، في حين يستخدم المجهر الإلكتروني الإلكترونات.
يمكن قياس الخلايا بالمجهر الضوئي باستخدام مقياس شبكة العدسة العينيّة أو مقياس المنضدة، والصيغة $A = \frac{I}{M}$. يمكن معرفة القياس الحقيقي للجسم (A) أو مقدار تكبيره (M)، إذا عرف قياس الصورة (I) وعرف مقدار A أو M.
تحاط جميع الخلايا بغشاء منفذ جزئيًّا، وهو يتحكّم في تبادل الموادّ بين الخليّة والبيئة المحيطة بها. تحتوي جميع الخلايا على مادّة وراثيّة على شكل DNA، وريبوسومات لبناء البروتين.
تحتوي النواة في الخلايا حقيقية النواة على DNA خطّي (ليس حلقيًا) مرتبط بالبروتينات و RNA لتكوين الكروماتين.
يحتوي سيتوبلازم الخلايا حقيقيّة النواة على العديد من العُضيّات، بعضها مُحاط بغشاء أو غشاءَين. تشمل عُضيّات الخلايا حقيقيّة النواة الشبكة الإندوبلازميّة، وريبوسومات 80 S، والميتوكندريا، وتحتوي الخلايا الحيوانيّة أيضًا على جسم مركزي وسنتريولات، وقد تحتوي على أهداب. تحتوي الخلايا النباتيّة على جدار خلوي يحتوي على سليلوز، وقد تحتوي على بلاستيدات خضراء، وغالبًا ما تحتوي على فجوة مركزيّة كبيرة.
تفتقر الخلايا بدائيّة النواة إلى نواة محاطة بغشاء، كما تتضمّن ريبوسومات أصغر (70 S) من التي في الخلايا حقيقيّة النواة. كما تفتقر إلى عُضيّات محاطة بغشاء، والـ DNA الموجود فيها حلقي يكون حرًا في السيتوبلازم.
ليس للفيروسات تركيب خلوي، وهي صغيرة وبسيطة جدًا، وتتكوّن من جُزيء DNA أو RNA، ومن محفظة، وأحيانًا من غلاف خارجي.

أسئلة نهاية الوحدة

١ أيّ من التراكيب الخلويّة الآتية يمكن رؤيته بالمجهر الضوئي؟

أ. الميتوكندريون. **ب.** الرايبوسوم.

ج. الشبكة الإندوبلازميّة الخشنة. **د.** الشبكة الإندوبلازميّة الناعمة.

٢ أيّ من التراكيب الآتية يوجد في الخلايا الحيوانيّة ولا يوجد في معظم الخلايا النباتيّة؟

أ. غشاء سطح الخلية.

ب. السنتريول.

ج. البلاستيدة الخضراء.

د. جهاز جولجي.

تابع

٣ اذكر **عشرة** تراكيب يمكن أن تجدها في صورة مجهر إلكتروني لخلية حيوانية قد تكون غير موجودة في خليّة بكتيريوم.

٤ ميّز بين أزواج المصطلحات الآتية:

أ. المجهر الضوئي والمجهر الإلكتروني.

ب. النواة والنويّة.

ج. الكروماتين والكروموسوم.

د. الشبكة الإندوبلازميّة الناعمة والشبكة الإندوبلازميّة الخشنة.

هـ. بدائيّة النواة وحقيقيّة النواة.

و. الجدار الخلوي وغشاء سطح الخلية.

ز. المحفظة والجدار الخلوي.

ح. الغشاء والغلاف.

ط. المحفظة والكابسومير.

٥ اذكر:

أ. **ثلاث** عُضيّات تفتقر إلى غشاء.

ب. **ثلاث** عُضيّات يحيط بكلّ منها غشاء مفرد.

ج. **ثلاث** عُضيّات يحيط بكلّ منها غشاء مزدوج (غلاف).

٦ حدّد التركيب أو العضية الخلوية التي تتناسب مع الوصف أدناه:

أ. بناء الليسوسومات.

ب. بناء الرايبوسومات.

ج. موقع بناء البروتين.

د. يمكن أن تنطلق منه الحويصلات بالتبرعم وتشكّل الجهاز الجولجي.

هـ. يمكنه نقل البروتين المتكوّن حديثًا في أنحاء الخليّة.

و. تبني ATP في الخلايا الحيوانيّة والخلايا النباتيّة.

ز. تتحكّم في نشاط الخلايا لأنها تحتوي على DNA.

ح. تقوم بعمليّة التمثيل الضوئي.

ط. يمكن أن تعمل كنقطة انطلاق لظهور الأُنيبيبات الدقيقة في خيوط المغزل أثناء انقسام الخليّة.

ي. تحتوي على الكروماتين.

ك. حاجز شبه مُنفِذ يبلغ سمكه نحو 7nm تقريبًا.

ل. عُضيّة ولا تحاط بغشاء.

م. عُضيّة بنمط تركيبي «9+2» من الأُنيبيبات الدقيقة.

أفعال إجرائية

حدّد **Identify**: سمِّ؛ اختر؛ تعرف.

تابع

٧ تبيّن صورة المجهر الإلكتروني النافذ أجزاء من خليّتَين من النسيج العمادي في ورقة نبات.

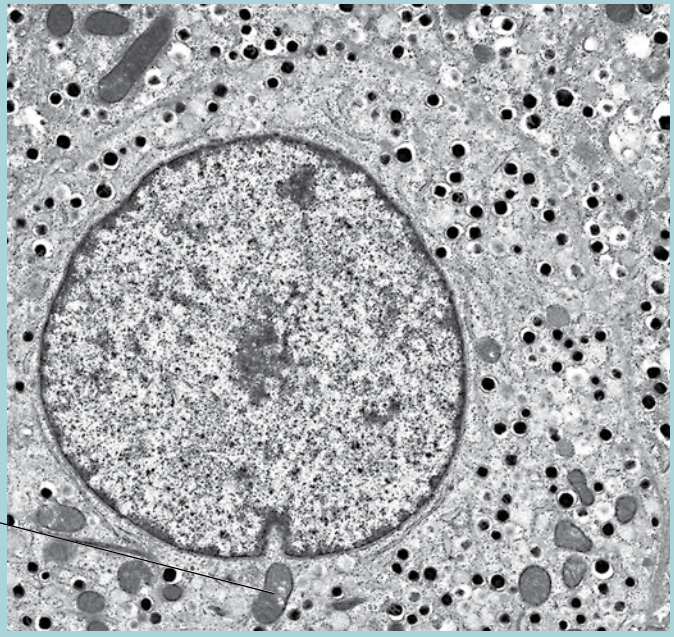
تابع

انقل الجدول الآتي إلى دفترك، وحدّد التراكيب التي يرمز إليها من (أ) إلى (ي)، واكتب جملة مختصرة حول وظائفها.

الرمز	اسم التركيب	وظيفته
أ		
ب		
ج		
د		
هـ		
و		
ز		
ح		
ط		
ي		

تابع

٨ تبيّن صورة المجهر الإلكتروني أجزاء من خليّة إفرازيّة من البنكرياس. تحتوي الخليّة على عدّة حويصلات إفرازيّة، هي حويصلات جولجي. وهي تبدو على شكل تراكيب دائريّة صغيرة ذات محتويات حلقية سوداء، وقوّة التكبير (X 8000).



أ. انقل الجدول إلى دفترك واحسب القياسات الحقيقية (الفعلية) للتراكيب الواردة فيه. استخدم مسطرة مدرّجة بالمليمترات للمساعدة، عارضًا قياساتك وحساباتك. عندما تحصل على الإجابات، أكمل الجدول بالمعلومات المطلوبة. قدّم إجاباتك بالميكرومتر.

التركيب	القطر المشاهد (مقاس بالمسطرة)	القياس الحقيقي
أطول قطر لحويصلة جولجي		
أطول قطر للنواة		
أطول طول للميتوكندريون الموضّحة في الشكل		

أفعال إجرائية

احسب **Calculate**: استخلص، من الحقائق المعطاة، المعلومات أو الأرقام.

قدّم **Give**: استخرج إجابة من مصدر معيّن أو من الذاكرة.

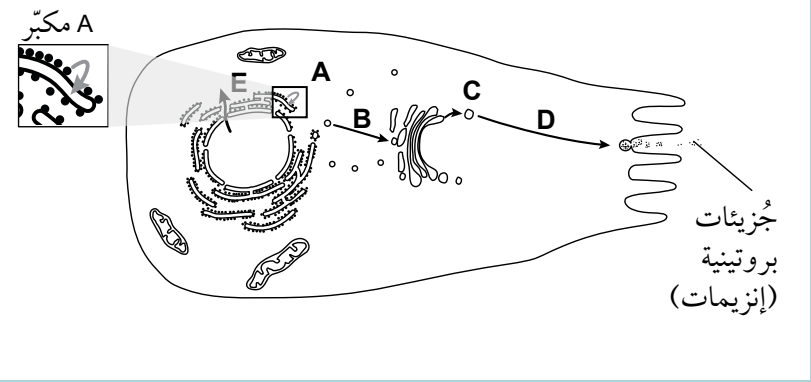
ب. ارسم رسمًا تخطيطيًا لأجزاء تمثيليّة من الخليّة واكتب عليه المسميات كاملة. لا ضرورة لرسم كل الأجزاء، يكفي تبيان تراكيب العُضيّات الرئيسية. استخدم صفحة كاملة من الورق العادي وقلم الرصاص الحادّ. استفد من الصورة ١-٦ والشكل ١-٧ في هذا الكتاب، ومن الرسم التخطيطي المبسّط في الجزئية (د) أدناه للمساعدة في تحديد التراكيب.

ج. غالبًا ما تبدو الميتوكندريا في خلايا البنكرياس عصوية الشكل ثلاثيّة الأبعاد. اقترح سبب رؤية بعض الميتوكندريا في صور المجهر الإلكتروني دائريّة.

تابع

د. يمثّل الشكل رسمًا تخطيطيًا يعتمد على صورة بالمجهر الإلكتروني لخليّة إفرازيّة من البنكرياس. يختص هذا النوع من الخلايا بإفراز البروتينات إلى البيئة المحيطة. بعض البروتينات إنزيمات هاضمة في عصارة البنكرياس. الخليّة نشطة جدًّا، وتحتاج إلى مقدار كبير من الطاقة. تبيّن الأسهم A, B, C, D المسار الذي تسلكه جزيئات البروتين.

لاحظ أن السهم A يبدو مكبرًا في رسم تخطيطي منفصل.



١. صف بإيجاز ما يحدث في كلّ من المراحل A, B C, D.

٢. يبيّن السهم E مسار جُزيء أو تركيب يغادر النواة عبر الغلاف النووي. سمِّ جُزيئًا أو تركيبًا يغادر النواة بالمسار E.

٣. يمرّ الجُزيء أو التركيب الذي حدّدته في الجزئية (٢) عبر الغشاء النووي. سمِّ التركيب في الغلاف النووي الذي يمرّ عبره الجُزيء أو التركيب.

٤. سمِّ الجُزيء الذي يغادر الميتوكندريون لتأمين الطاقة للخليّة.

أفعال إجرائية

اقترح **Suggest**: طبّق المعرفة والفهم على المواقف التي تتضمّن مجموعة من الإجابات الصحيحة من أجل تقديم المقترحات.

صِف **Describe**: قدّم الخصائص والميزات الرئيسية.

٩ تسمّى إحدى التقنيات المستخدمة لاستقصاء نشاط العُضيّات الخلويّة الطرد المركزي التفاضلي. يكون النسيج في هذه التقنية متجانسًا (مطحونًا في خلاط)، فيوضع في أنابيب ويتمّ تدويره في جهاز الطرد المركزي، بما يجعل العضيات تترسّب عند قاع الأنابيب. أكبر العضيات تكون الأسرع ترسّبًا، وبتكرار العمليّة بسرعات عالية، يمكن فصل العُضيّات بعضها عن بعض وفقًا لحجمها. عولجت بعض أنسجة الكبد بهذه التقنية لفصل الرايبوسومات والنوى والميتوكندريا، وجرى تدوير جهاز الطرد المركزي عند 1000 g و 10000 g و 100000 g (تمثل g قوّة الجاذبيّة).

تابع

أفعال إجرائية

اذكر State: عبّر بكلمات واضحة.

أ اذكر أيًّا من الرواسب الثلاثة (1000 g أو 10000 g أو 100000 g) تتوقّع أن تجد فيها الآتي:

١. الرايبوسومات.

٢. النواة.

٣. الميتوكندريا.

ب يحتوي نسيج الكبد على ليسوسومات كثيرة. لماذا يجعل ذلك من دراسة الميتوكندريا أمرًا صعبًا باستخدام تقنية الطرد المركزي التفاضلي؟ اقترح السبب.

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول كالآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أُعِدُ شرائح مجهرية مؤقّتة لخلايا حية يمكن مشاهدتها بالمجهر الضوئي.	١-٢			
أرسم خلايا حية من شرائح وصور مجهرية ضوئية.	١-٢			
أحسب مقدار تكبير الرسوم والصور، وأحسب القياسات الحقيقية للعيّنات من مقياس الرسوم، والصور المجهريّة الضوئية، والرسوم المجهريّة الإلكترونيّة (بالمجهر الماسح والمجهر النافذ).	١-٣			
أستخدم مقياس العدسة العينية ومقياس المنضدة لإجراء القياسات وأستخدم الوحدات المناسبة: المليمتر (mm)، والميكرومتر (µm)، والنانو متر (nm).	١-٣			
أتعرّف على العضيّات والتراكيب الخلويّة الموجودة في الخلايا حقيقيّة النواة والتي يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئي وأحدّد تركيبها ووظائفها مقتصراً على: • غشاء سطح الخلية • النواة • جهاز جولجي • الميتوكندريا • السنتريولات • البلاستيدات الخضراء • الجدار الخلوي • غشاء الفجوة في الخلايا النباتيّة (التونوبلاست) وفجوة مركزية كبيرة دائمة في الخلايا النباتيّة.	١-٤			
أتعرّف على العضيّات والتراكيب الخلويّة الموجودة في الخلايا حقيقيّة النواة والتي يمكن رؤيتها تحت المجهر الإلكتروني وأحدّد تركيبها ووظائفها مقتصراً على: • الغلاف النووي والنوية • الشبكة الاندوبلازمية الخشنة • الشبكة الاندوبلازمية الناعمة • العرف ووجود DNA حلقي صغير في الميتوكندريا. • الرايبوسومات (80S في السيتوبلازم و 70S في البلاستيدات الخضراء الميتوكندريا).	١-٤			

قائمة تقييم ذاتي (تابع)

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
• الليسوسومات • الأنيبيبات الدقيقة • الأهداب • الخملات • الثايلاكويدات ووجود DNA حلقي صغير في البلاستيدات الخضراء • الروابط البلازميّة.	١-٤			
أصف وأفسّر الصور المجهريّة الضوئية والصور المجهريّة الإلكترونيّة ورسوم الخلايا النباتيّة والحيوانيّة النموذجية.	١-٤			
أقارن تركيب الخلايا النباتيّة والخلايا الحيوانيّة النموذجيّة.	١-٤			
أذكر أن الخلايا تستخدم ATP من عمليّة التنفس للعمليات التي تتطلّب الطاقة.	١-٤			
أحدّد خصائص التراكيب الأساسيّة للخليّة بدائيّة النواة كما توجد في بكتيريا نموذجيّة، بما في ذلك: • أحادية الخلية • قطر (1-5 µm) غالبا • جدران خلويّة من ببتيدوجلايكان • حلقي DNA • رايبوسومات 70S • الافتقار لعضّيات محاطة بأغشية مزدوجة.	١-٥			
أقارن تركيب الخليّة بدائيّة النواة كما هي في بكتيريا نموذجيّة بتركيب الخلايا حقيقيّة النواة النموذجيّة في النباتات والحيوانات.	١-١، ١-٥			
أذكر أنّ جميع الفيروسات تراكيب غير خلويّة تحتوي على حمض نووي (DNA أو RNA) وغلاف بروتيني يعرف بالمحفظة، وأنّ لبعض الفيروسات غلافًا خارجياً مكونا من دهون مفسفرة.	١-٦			

الوحدة الثانية

الجزيئات الحيوية

Biological molecules

أهداف التعلّم

٢-١ يصف اختبار بندكت شبه كمّي على محلول سكر مختزل عن طريق معايرة الاختبار، ويستخدم النتائج (الزمن لبدء تغيير اللون أو المقارنة بمعايير اللون) لتقدير التركيز.

٢-٢ يصف اختبارًا للكشف عن السكريات غير المختزلة باستخدام التحلّل المائي الحمضي ومحلول بندكت.

٢-٣ يصف ويرسم الأشكال الحلقيّة لكل من سكر ألفا جلوكوز وبيتا جلوكوز.

٢-٤ يعرّف المصطلحات الآتية: مونومر، بوليمر، جزيء كبير، سكر احادي، سكر ثنائي، عديد التسكر.

٢-٥ يذكر دور الروابط التساهمية في ربط الجزيئات الصغيرة معًا لتكوين البوليمرات.

٢-٦ يذكر أنّ الجلوكوز والفركتوز والمالتوز سكريات مختزلة وأنّ السكروز سكر غير مختزل.

٢-٧ يصف تكوين الرابطة الجلايكوسيديّة عن طريق التكثيف، مع الإشارة إلى السكريات الثنائية، بما في ذلك سكر السكروز و عديدة التسكر.

٢-٨ يصف تكسّر الرابطة الجلايكوسيديّة في عديدة التسكر والسكريات الثنائية عن طريق التحلّل المائي، مع الإشارة إلى اختبار السكر غير المختزل.

٢-٩ يصف التركيب الجزيئي لعديد التسكر النشا (أميلوز وأميلوبكتين) والجلايكوجين ويربط تركيبهما بوظائفهما في الكائنات الحيّة.

٢-١٠ يصف التركيب الجزيئي لعديد التسكر السليلوز ويبيّن كيف يساهم ترتيب جزيئات السليلوز في وظيفة جدران الخلايا النباتيّة.

٢-١١ يذكر أنّ الدهون الثلاثيّة جزيئات غير قطبيّة كارهة للماء، ويصف التركيب الجزيئي للدهون الثلاثيّة بالإشارة إلى الأحماض الدهنيّة (المشبعة وغير المشبعة) والجليسرول وتكوين روابط الإستر.

٢-١٢ يربط التركيب الجزيئي للدهون الثلاثيّة بوظائفها في الكائنات الحيّة.

٢-١٣ يصف التركيب الجزيئي للدهون المفسفرة مع الإشارة إلى رؤوس الفوسفات (المحبة) للماء (القطبيّة) وذيول الأحماض الدهنيّة الكارهة للماء (غير القطبيّة).

٢-١٤ يصف ويرسم:

- التركيب العام للحمض الأميني
- تكوين وكسر الرابطة الببتيدية.

٢-١٥ يشرح معنى المصطلحات الآتية: التركيب الأولي، والتركيب الثانوي، والتركيب الثالثي، والتركيب الرابعي للبروتينات.

٢-١٦ يصف أنواع الروابط التي تحافظ على شكل جزيئات البروتين:

- التفاعلات الكارهة للماء
- الرابطة الهيدروجينيّة
- الرابطة الأيونيّة
- الرابطة التساهمية بما في ذلك روابط ثنائي الكبريتيد.

٢-١٧ يذكر أنّ البروتينات الكرويّة قابلة للذوبان بشكل عام، ولها أدوار وظيفية، وأنّ البروتينات الليفيّة غير قابلة للذوبان بشكل عام، ولها أدوار تركيبيّة.

٢-١٨ يصف تركيب جزيء الهيموجلوبين كمثال على بروتين كروي بما في ذلك تكوين تركيبه الرابعي من سلسلتي ألفا (جلوبين ألفا) وسلسلتي بيتا (جلوبين بيتا) ومجموعة هيم.

٢-١٩ يربط تركيب الهيموجلوبين بوظيفته بما في ذلك أهميّة الحديد في مجموعة الهيم.

٢-٢٠ يصف تركيب جزيء الكولاجين كمثال على البروتين الليفي، وترتيب جزيئات الكولاجين لتكوين ألياف الكولاجين.

٢-٢١ يربط تركيب جزيئات الكولاجين وألياف الكولاجين بوظيفتها.

٢-٢٢ يشرح كيفيّة تكوين الروابط الهيدروجينيّة بين جزيئات الماء ويربط خصائص الماء بأدواره في الكائنات الحيّة، مقتصرًا على: الإذابة والسعة الحراريّة النوعيّة العالية والحرارة الكامنة للتبخّر.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

تذكّر كيف ترتبط الذرّات بعضها في بعض لتكوين الجزيئات؛ وأفضل طريقة للقيام بذلك من خلال رسم أو تكوين نماذج لبعض الجزيئات البسيطة. سوف تحتاج إلى تبيان كيفيّة ارتباط ذرّات الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين في روابط تساهمية. فتذكّر أنه يمكن للكربون تكوين أربع روابط، والنيتروجين ثلاث روابط، والأكسجين رابطتَين، والهيدروجين رابطة واحدة. يجب ترتيب الروابط بالاتجاه الصحيح (استفد من الأشكال ٢-١٠، ٢-١٤، ٢-٢١، ٢-٢٤).

يمكنك الاستفادة من مجموعة النماذج الجاهزة (حقائب النماذج)، أو كرات معجون النمذجة (صلصال التشكيل) الملوّنة، أو حبوب الهُلام الملوّنة، لتمثيل الذرّات. استخدم اللون الأسود للكربون، والأبيض للهيدروجين، والأحمر للأكسجين، والأزرق للنيتروجين. صِل الكرات أو حبّات الهُلام بعيدان قصيرة مثل أعواد الأسنان أو أعواد الثقاب أو القش. تمثّل الأعواد الروابط التساهمية.

حاول تكوين نماذج من هذه الجزيئات أو رسمها:

- ميثان، CH_4
- ماء، H_2O
- إيثانول، C_2H_5OH
- هيدروكربون، مثال، C_3H_8
- أمونيا، NH_3
- حمض الخليك، CH_3COOH

العلوم ضمن سياقها

مشكلة طي البروتينات من الحاسوب ديب بلو (Deep blue) إلى برنامج ألفازيرو (AlphaZero) وما بعدهما

في عام 1962 م حصل العالمان جون كندرو John Kendrew وماكس بيروتز Max Perutz، من جامعة كامبريدج، على جائزة نوبل في الكيمياء تقديرًا لعملهما في التركيب الثلاثي الأبعاد لبروتينَي ميوجلوبين وهيموجلوبين. وقد مثّل الإنجاز خطوة حيويّة في فهم آليّة عمل البروتينات. وفي عام 1997 م، أي بعد 35 سنة، خسر بطل العالم كاسبروف Kasparov في الشطرنج مباراته أمام الكمبيوتر ديب فلو Deep blue. فما الرابط بين الحدثَين؟

تكمن الإجابة في تطبيقات الذكاء الاصطناعي. فحاسوب IBM ديب فلو، يمثّل مَعلمًا مهمًا في مسار تطوير الذكاء الاصطناعي. وأحد أكثر برامج الحاسوب إثارة هو ألفازيرو AlphaZero الذي طوّره العالم البريطاني ديميس هاسابيس Demis Hassabis، والقادر على التعلّم الذاتي. فقد علّم هذا البرنامج نفسه ليكون أفضل لاعب شطرنج على الإطلاق، وحقّق ذلك في غضون أربع ساعات بلعب ملايين المباريات ضد نفسه، مستخدمًا تقنية التعلّم المعزّز عبر تقنية التجربة والخطأ.

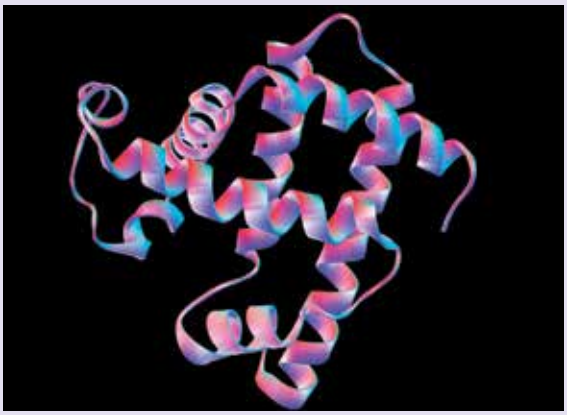
كيف يمكن لحاسوب كهذا أن يفيد الإنسان؟ في العالم مشكلات كثيرة كالتغير المناخي مثلًا، وهي بالغة التعقيد بما لا يستطيع دماغ الإنسان تحليلها وسبر أغوارها، في حين قد يساعد الذكاء الاصطناعي على ذلك. وقد بدأ هذا الذكاء الاصطناعي على معالجة بعض هذه المشكلات، مثل الجزيئات الحيوية.

على سبيل المثال: اقترح ديميس هاسابيس أن ألفازيرو وبرامج الحاسوب المماثلة قد تكون قادرة عل تصميم أدوية أكثر فاعليّة. وأنّ إحدى المشكلات الرئيسيّة في علم الأحياء تكمن في ما يسمّى «مسألة طَيّ البروتينات»، وتتمثّل في محاولة معرفة القواعد التي تحكم طَيّ البروتينات في أشكال ثلاثيّة الأبعاد، والضروريّة لفهم وظائفها. إن معرفة التركيب الأولي للبروتين وبيئته الكيميائيّة (مثل الرقم الهيدروجيني pH ودرجة الحرارة) سيمكن العلماء من التنبّؤ بكيفيّة طَيّ البروتين، ولهذا الأمر عدة تطبيقات حيوية، ومثال على ذلك، عندما يتسبب الخلل في طي البروتينات بكثير من الأمراض والاختلالات، بما فيها الزهايمر وباركنسون والتليّف الكيسي، وفي شهر ديسمبر من عام 2018 م فاز برنامج ألفا فولد في مسابقة دوليّة للتنبّؤ بتركيب البروتين بدقّة أكبر من التنبّؤات السابقة.

وبعد 60 عامًا تقريبًا من العمل الرائد للعالِمَين كندرو وبيروتز، اقترب العلماء من هدف التنبّؤ بكيفيّة طيّ البروتينات، ويبدو أن الذكاء الاصطناعي هو الوحيد القادر على تقديم جميع الإجابات (الشكل ٢-١).

أسئلة للمناقشة

- ما المشكلات المحتملة في استخدام الذكاء الاصطناعي؟
- هل تعتقد أن فوائد استخدام الذكاء الصناعي تفوق أيّة مشاكل محتملة؟ وضِّح إجابتك.



الشكل ٢-١ مشكلة طَيّ البروتين.

٢-١ الكيمياء الحيويّة

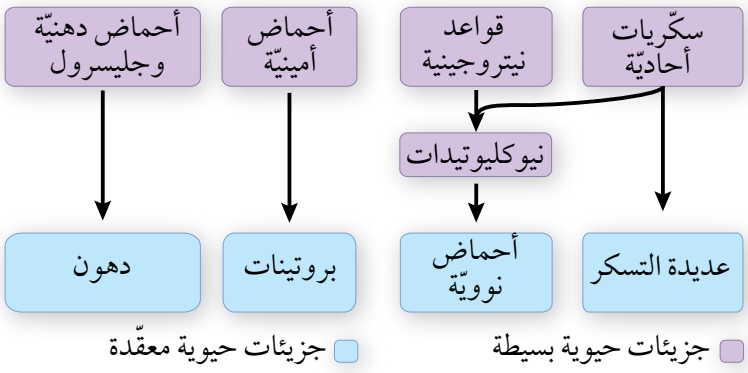
تبحث الكيمياء الحيويّة في التفاعلات الكيميائيّة للجُزيئات الحيوية (العضوية)، وتسمى تلك التفاعلات التي تحدث في الجسم بالأيض. قد تعتقد أن الكيمياء الحيوية موضوع معقّد، لكنها في الواقع تتّصف ببساطة كلّية. فعلى سبيل المثال، يستخدم في صنع البروتينات 20 حمضًا أمينيًا شائعًا فقط، بينما يمكن أن يوجد، نظريًا، ملايين البروتينات. وهذا التنوُّع المحدود من الجُزيئات، يجعل من السهل التحكّم في عمليات الأيض.

الارتباط الوثيق بين تركيب الجزيئات ووظائفها ميزة أخرى للكيمياء الحيوية، وهذا ما سيتم توضيحه بمزيد من التفصيل في هذه الوحدة، وذلك باستخدام أمثلة لجُزيئات في الكائنات الحية، وسيتم تفسير كيف أنّ قدرتها على أداء أدوار مختلفة هي نتيجة مباشرة لتركيبها.

الوحدات البنائية للحياة

توجد أربعة عناصر تُعدّ الأكثر شيوعًا في الكائنات الحيّة، وتمثّل أكثر من 99 % من الذرّات الموجودة فيها، وترتيبها من حيث الوفرة: الأكسجين، والكربون، والهيدروجين، والنيتروجين. وللكربون أهميّة خاصة لأن ذرّاته يمكن أن ترتبط معًا مُشَكّلة سلاسل طويلة أو تراكيب حلقيّة، الأمر الذي يجعلها تشكل الهياكل الأساسيّة للجزيئات الحيوية (الجزيئات التي تحتوي على الكربون). ويتّصل بهياكل الكربون ذرّات أخرى مختلفة.

تمثل الجزيئات الحيوية البسيطة الوحدات البنائية الأساسيّة لجزيئات حيوية معقدة (الشكل ٢-٢).



الشكل ٢-٢ الوحدات البنائية الأساسيّة للحياة جزيئات حيوية بسيطة تتّحد معًا لتكوّن جزيئات معقدة.

المونومرات والبوليمرات والجزيئات الكبيرة

الجُزيء الكبير Macromolecule جُزيء عملاق. يوجد في الكائنات الحيّة: ثلاثة أنواع من الجزيئات الكبيرة:

- عديدة التسكر Polysaccharides
- البروتينات (عديدة الببتيد Polypeptides)
- الأحماض النوويّة (عديدة النيوكليوتيد Polynucleotides). سوف تدرسها بالتفصيل في الصف الثاني عشر.

توصف الجُزيئات الكبيرة بأنها **بوليمرات Polymers** لأنها تتكوّن من وحدات متكرّرة عديدة ومتشابهة. وتسمّى الوحدات **مونومرات Monomers**. ترتبط المونومرات بعضها ببعض بروابط تساهمية تنشأ من تشارك الإلكترونات بين الذرات. ومن أمثلتها الرابطة الجلايكوسيدية، والرابطة الببتيديّة.

يتمّ تكوين البوليمرات من المونومرات بتكرار التفاعل نفسه مرّات عديدة. ويتضمّن التفاعل ارتباط مونومرَين أحدهما مع الآخر من خلال إزالة جُزيء ماء، في ما يسمّى **تفاعل التكثيف Condensation reaction**. ويمكن تفكيك جزيء البوليمر بتفاعل عكسي بإضافة جزيء ماء، في ما يسمّى **تحلّل مائي Hydrolysis**. ستدرس عدة أمثلة على التكثيف والتحلّل المائي في هذه الوحدة.

تتكوّن المونومرات، والتي بدورها تكوّن عديدة التسكُّر والبروتينات والأحماض النوويّة، من سكّريات أحاديّة وأحماض أمينيّة ونيوكليوتيدات على التوالي (الشكل ٢-٢). يبيّن هذا الشكل أيضًا دور القواعد النيتروجينية (ليست مونومر) في النيوكليوتيدات، ودور الأحماض الدهنيّة والجليسرول في تكوين الدهون (ليس بوليمر).

من الأمثلة على بوليمرات تتكوّن بشكل طبيعي، السليلوز والمطّاط، وتوجد أمثلة كثيرة على بوليمرات منتجة صناعيًا، مثل البوليستر والبولي إيثلين وكلوريد عديد الفينيل والنايلون. وتتكوّن جميع هذه البوليمرات من مونمرات أساسها الكربون، وتحتوي على آلاف ذرّات الكربون المرتبطة معًا.

مصطلحات علمية

الجُزيء الكبير Macromolecule: جُزيء كبير (عملاق) مثل عديد التسكُّر وبروتين وحمض نووي.

البوليمر Polymer: جُزيء كبير يتكوّن من وحدات عديدة متكرّرة ومتشابهة مرتبطة مع بعضها على شكل سلسلة. والوحدات المكونة صغيرة وبسيطة وتسمّى مونومرات. ومن الأمثلة على البوليمرات الحيوية، عديدة التسكر والبروتينات والأحماض النوويّة.

المونومر Monomer: جُزيء بسيط نسبيًا يمثّل الوحدة البنائية الأساسية لبناء البوليمر. ترتبط العديد من المونومرات معًا بروابط تساهمية لتكوين البوليمر، وعادة عبر تفاعلات التكثيف. ومن الأمثلة الشائعة للمونومرات، السكّريات الأحاديّة والأحماض الأمينيّة والنيوكليوتيدات.

تفاعل تكثيف Condensation reaction: تفاعل كيميائي يتضمّن ارتباط جُزيئَين معًا عبر إزالة جُزيء ماء.

التحلّل المائي Hydrolysis: تفاعل كيميائي تتكسر فيه الرابطة الكيميائيّة بإضافة جُزيء ماء، ويستخدم عادة لتفكيك الجزيئات المعقّدة إلى جزيئات بسيطة.

٢-٢ الكربوهيدرات

تحتوي جميع الكربوهيدرات على الكربون والهيدروجين والأكسجين، ويشير المقطع «هيدرات» من الاسم إلى الماء (H_2O). وتبلغ نسبة ذرّات الهيدروجين إلى الأكسجين في الجزيء 1:2 بما يعادل نسبتها في الماء. لذا يمكن أن تكتب الصيغة الجُزيئيّة العامة للكربوهيدرات $C_x(H_2O)_y$. وتقسم الكربوهيدرات إلى ثلاث مجموعات رئيسيّة: السكّريات الأحاديّة، والسكّريات الثنائيّة، وعديدة التسكر.

السكّريات الأحاديّة

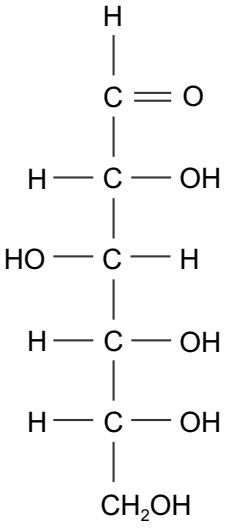
السكّريات الأحاديّة Monosaccharides سكّريات تذوب بسهولة في الماء مكوّنة محلولاً حلو المذاق. وهي تتكوّن من جُزيء سكّر مفرد، وصيغتها الجُزيئيّة العامة $(CH_2O)_n$. ويمكن تقسيم السكّريات الأحادية إلى ثلاثة أنواع رئيسيّة تبعًا لعدد ذرّات الكربون في الجُزيء: سكّريات ثلاثيّة (3C)، سكّريات خماسيّة (5C)، سكّريات سداسيّة (6C). والسكّريات السداسيّة الشائعة، هي جلوكوز وفركتوز وجالاكتوز. ويوجد نوعان شائعان من السكّريات الخماسيّة هما: رايبوز ورايبوز منقوص الأكسجين.

مصطلحات علمية

السكّر الأحادي
Monosaccharide: جُزيء يتكوّن من وحدة سكّر مفردة، وصيغته العامة $(CH_2O)_n$.

الصيغة الجزيئيّة والصيغة التركيبية

يمكن كتابة الصيغة الجزيئيّة للسكّريات السداسية بالشكل $(C_6H_{12}O_6)$، وهذا يعني وجود 6 ذرّات كربون و 12 ذرّة هيدروجين و 6 ذرّات أكسجين في الجُزيء. ويمكن تبيان ترتيب الذرات في جزيء ما من خلال رسم تخطيطي يعرف بالصيغة التركيبية. يبيّن الشكل ٢-٣ الصيغة التركيبية الأكثر شيوعًا لسكر الجلوكوز.

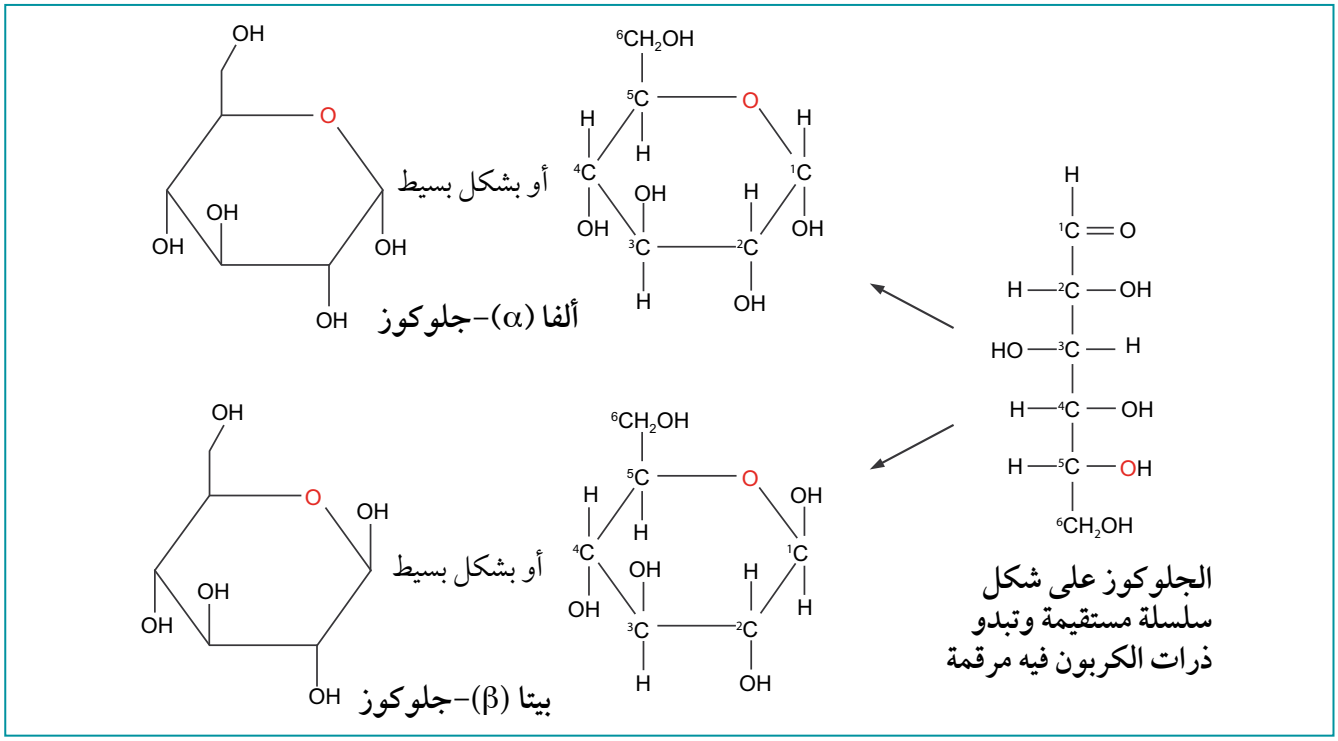


الشكل ٢-٣ الصيغة التركيبية المستقيمة للجلوكوز.
تسمّى (OH–) مجموعة الهيدروكسيل، ويوجد في الجلوكوز خمس مجموعات منها.

التراكيب الحلقيّة

يتمثّل أحد المظاهر المهمّة في تركيب السكّريات الخماسيّة والسداسيّة في أن سلسلة الكربون طويلة بما يكفي لأن تنغلق على نفسها لتشكل تركيبًا حلقيًا أكثر ثباتًا. وعندما يشكّل الجلوكوز مثل هذه الحلقة، ترتبط ذرّة الكربون رقم 1 بالأكسجين في ذرّة الكربون رقم 5 (الشكل ٢-٤). لذلك تحتوي الحلقة على الأكسجين، ولا تكون ذرة الكربون رقم 6 جزءًا من الحلقة.

الشكل ٢-٤ يبيّن أن مجموعة الهيدروكسيل (OH–) على ذرّة الكربون رقم 1 قد توجد أعلى أو أسفل مستوى الحلقة. ويسمّى شكل الجلوكوز الذي تكون فيه هذه المجموعة أسفل الحلقة ألفا (α)– جلوكوز، ويسمّى الشكل الذي تكون فيه فوق الحلقة بيتا(β)–جلوكوز. كما يسمّى الشكلان من المادة الكيميائيّة نفسها الآيزوميرات (المتشكلات) Isomers. وللتنوّع الإضافي الذي يؤمّنه وجود النظيرَين ألفا وبيتا أهميّة كبيرة كما ستشاهد في تراكيب النشا والجلايكوجين والسليلوز.



الشكل ٢-٤ الصيغ التركيبية المستقيمة والحلقية للجلوكوز. في الغالب، وبهدف التبسيط، لا تُكتب ذرات C و H في الصيغ التركيبية الحلقية.

سؤال

(١) الصيغة الجزيئيّة للسكّر السداسي $C_6H_{12}O_6$ أو $(CH_2O)_6$. ما الصيغة الجزيئيّة للسكّر:

أ. الثلاثي؟ ب. الخماسي؟

وظائف السكّريات الأحاديّة في الكائنات الحيّة

للسكّريات الأحاديّة وظيفتان رئيسيتان:

الوظيفة الأولى: تستخدم كمصدر للطاقة في عمليّة التنفس، لوجود عدد كبير من روابط كربون– هيدروجين فيها. وعندما تتفكّك هذه الروابط ينطلق مقدار كبير من الطاقة التي تنقل لتُسهم في بناء ATP (أدينوسين ثلاثي الفوسفات) من خلال إضافة مجموعة الفوسفات إلى ADP (أدينوسين ثنائي الفوسفات) أثناء عمليّة التنفس. والسكّر الأحادي الأكثر أهميّة في أيض الطاقة هو الجلوكوز.

الوظيفة الثانية: تعمل السكّريات الأحاديّة كوحدات بنائية لجُزيئات كبيرة. على سبيل المثال، يستخدم سكر الجلوكوز لتكوين عديدة التسكُّر، مثل النشا والجلايكوجين والسليلوز. والرايبوز (سكّر خماسي) أحد الجزيئات المستخدمة في تكوين RNA (الحمض النووي الرايبوزي) و ATP، والرايبوز منقوص الأكسجين (سكر خماسي أيضًا) ويدخل في تركيب DNA (الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين).

السكّريات الثنائيّة والرابطة الجلايكوسيدية

مصطلحات علمية

سكّر ثنائي Disaccharides: جُزيء سكّر يتكوّن من سكّرَين أحاديَين مرتبطيَن معًا برابطة جلايكوسيدية.

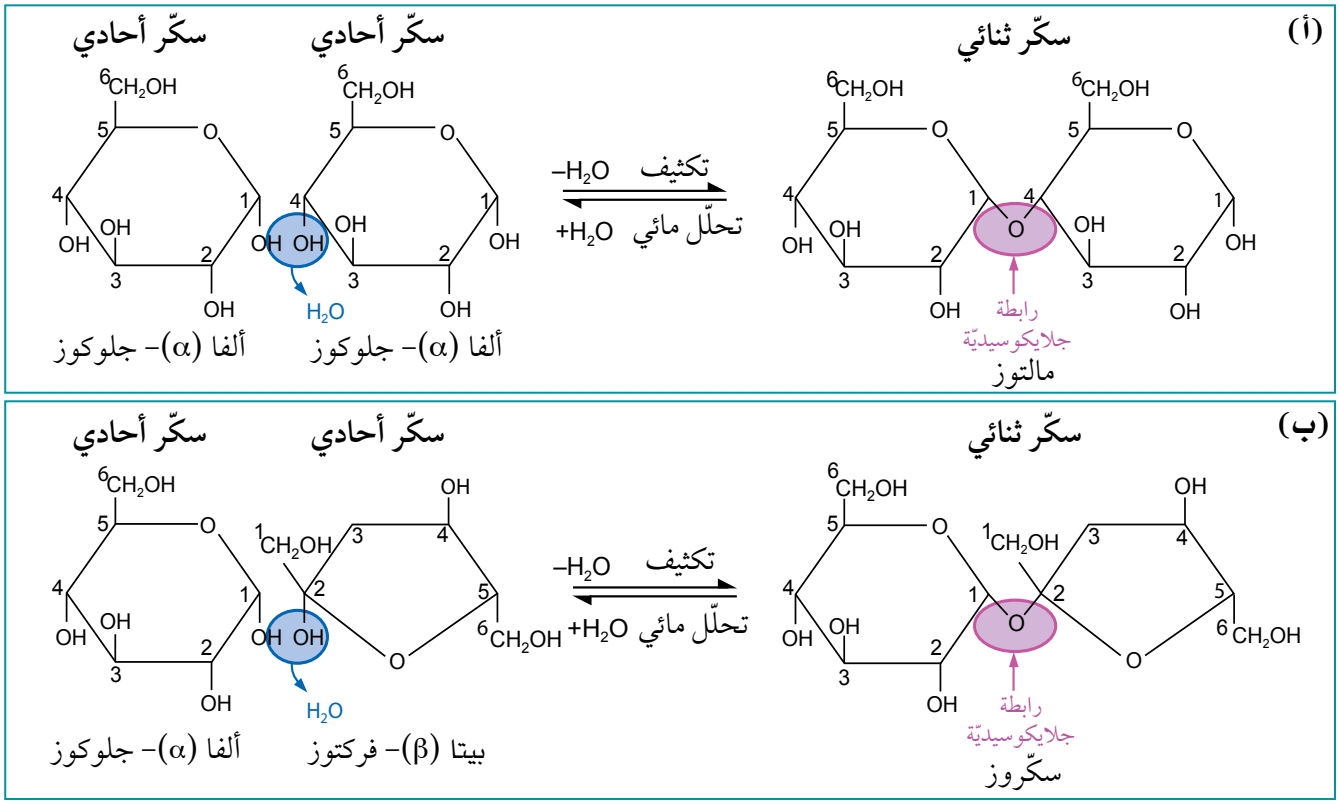
الرابطة الجلايكوسيدية Glycosidic bond: ارتباط C- O- C، بين جُزَيئَي سكّر، تتكون من خلال تفاعل تكثيف، وهي رابطة تساهمية.

تتشكّل **السكّريات الثنائيّة Disaccharides**، من ارتباط اثنَين من سكّرَين أحاديَين. ومن الأمثلة على السكّريات الثنائيّة الأكثر شيوعًا هي: مالتوز (جلوكوز + جلوكوز)، سكّروز (جلوكوز + فركتوز)، ولاكتوز (جلوكوز + جالاكتوز). السكّروز هو السكّر الذي يتم نقله في النباتات، ويُعرف بسكّر المائدة الذي نستخدمه في حياتنا اليومية لتحلية الطعام ويباع في المتاجر. واللاكتوز هو السكّر الموجود في الحليب، وبالتالي فهو مكوّن مهم في النظام الغذائي لصغار الثدييات.

عمليّة ارتباط اثنَين من السكريات الأحادية مثال على تفاعل التكثيف (الشكل ٢-٥)، ويبيّن أيضًا العمليّة العكسيّة (تفكيك السكّريات الثنائيّة إلى اثنَين من المونومرات)، وهي مثال على تفاعل التحلّل المائي. لاحظ أن لسكر الفركتوز تركيبًا حلقيًا مختلفًا عن سكر الجلوكوز.

في كل تفاعل تكثيف، تصطفّ مجموعتا هيدروكسيل (OH–) إحداهما بجانب الأخرى، وترتبط إحداهما مع ذرّة هيدروجين من المجموعة الأخرى مكوّنة جُزيء ماء. وهذا يتيح إمكانيّة تشكيل «جسر» أكسجين بين الجُزيئَين الأمر الذي يؤدّي إلى تماسكهما معًا وتكوين سكّر ثنائي. ويسمّى «الجسر» **رابطة جلايكوسيدية Glycosidic bond**.

يضاف الماء في التحلّل المائي أثناء هضم السكّريات الثنائيّة وعديدة التسكر، وعندما تتفكك إلى سكّريات أحاديّة.



الشكل ٢-٥ تكوّن سكّر ثنائي من سكّرَين أحاديَين بعمليّة تكثيف. (أ) يتكوّن المالتوز من جُزَيئَي سكر ألفا (α)- جلوكوز. ويمكن أن يتكرّر هذا عدة مرّات لتكوين عديد التسكر. لاحظ في هذا المثال تكوّن رابطة جلايكوسيدية بين ذرّتَي الكربون 1 و 4 من جُزَيئَي الجلوكوز المتجاورَين. (ب) يتكوّن السكّروز من جُزيء ألفا (α)- جلوكوز وجُزيء بيتا (β)- فركتوز.

مهارات عملية ٢-١

الكشف عن السكّريات

١. السكّريات المختزلة

تسمّى السكّريات المختزلة بهذا الاسم لأنها تقوم بنوع من التفاعل الكيميائي يسمّى اختزالًا، وهي تتأكسد فيه. السكّريات المختزلة تشمل جميع السكّريات الأحاديّة وبعض السكّريات الثنائيّة، والسكّر الشائع الوحيد غير المختزل هو السكّروز.

قدرة بعض السكّريات على الاختزال هي أساس **اختبار بندكت Benedict's test** للكشف عن السكّر. يستخدم الاختبار كاشف بندكت، والذي هو كبريتات النحاس الثنائي (II) في محلول قلوي، ويتّصف بلونه الأزرق المميّز. تختزل السكّريات المختزلة كبريتات النحاس الثنائي (II) الزرقاء الذائبة إلى أكسيد النحاس الأحادي (I) غير الذائب بنّي محمر (قرميدي) اللون (راسب).

$$Cu^{2+} + \text{سكّر مختزل} \rightarrow Cu^{+} + \text{سكّر مؤكسد}$$

أزرق — بنّي محمر (قرميدي)

الخطوات

أضف كاشف بندكت إلى المحلول الذي تختبره، وسخّنه في حمام مائي. إذا وجد السكّر المختزل، فسيتحوّل لون المحلول تدريجيًا إلى الأخضر فالأصفر فالبرتقالي وصولًا إلى بنّي محمر عند تشكل أكسيد النحاس الأحادي غير الذائب وترسبه.

وعند استخدام كميّة زائدة من كاشف بندكت للتفاعل مع كل السكّر الموجود، فإن شدّة اللون الأحمر الناتج ترتبط بتركيز السكّر المختزل، لذا يمكن أن يفيد الاختبار كاختبار شبه كمّي. يمكن تقدير تركيز محلول السكّر المختزل باستخدام معايير اللون القياسيّة المعدّة بمقارنة اللون مع الألوان الناتجة من الاختبارات على محاليل مختزلة بتراكيز معروفة. يمكن أيضًا قياس الزمن المستغرق لحدوث أول تغيير في اللون.

بدلًا من ذلك، يمكن استخدام مقياس الألوان لقياس الاختلافات البسيطة في اللون بشكل أكثر دقّة.

الصورة ٢-١ أنبوبة الاختبار (أ) في الشكل أعلاه تحتوي على كاشف بندكت، بلونه الأزرق الزاهي الذي يمكن مشاهدته بوضوح. تُظهر أنابيب الاختبارات الثلاثة المتبقية (ب، ج، د) اللون الناتج للكاشف في محاليل سكر جلوكوز بتراكيز مختلفة (0.1% و 1% و 3% على التوالي) بعد التسخين، يبدو المحلول أزهى من قبل وغير شفاف في أنبوبة الاختبار النهائية (د) مما هو في الأنابيب الأخرى بسبب ترسب أكسيد النحاس فيها.

مصطلحات علمية

اختبار بندكت Benedict's test: اختبار للكشف عن السكّريات المختزلة. تسخن المادة غير المعروفة مع كاشف بندكت، والتغيّر في اللون من المحلول الأزرق الصافي إلى تكوّن راسب أخضر أو أصفر، أو أحمر، أو بنّي، يدلّ على وجود السكّريات المختزلة مثل سكر الجلوكوز.

٢. السكّريات غير المختزلة

بعض السكريات الثنائية مثل السكروز غير مختزلة، لذلك ستحصل على نتيجة سلبية عند إجراء اختبار كاشف بندكت. وفي هذه الحالة يجب إجراء اختبار للكشف عن السكّر غير المختزل.

في اختبار السكّريات غير المختزلة، يتم تفكيك السكّر الثنائي أولًا إلى جُزَيئَي السكّر الأحادي المكوّنَين. والتفاعل الكيميائي هو تحلّل مائي، يمكن تحقيقه بإضافة حمض الهيدروكلوريك. وستكون السكّريات المكوّنة سكّريات مختزلة يكشف عنها باختبار بندكت بعد معادلة الحمض.

تابع

الخطوات

نفّذ اختبار بندكت على المحلول، فإذا كانت النتيجة سلبيّة، يمكن البدء مرّة أخرى بعيّنة جديدة من المحلول. سخّن المحلول مع حمض الهيدروكلوريك، فإذا احتوى على سكّر غير مختزل، فسيتم تفكيكه إلى سكّريات أحاديّة. يحتاج كاشف بندكت إلى بيئة قلويّة ليعمل، لذا يجب معادلة المحلول بإضافة مادة قلويّة مثل هيدروكسيد الصوديوم. أضف كاشف بندكت وسخّن كما سبق، ثم لاحظ أي تغيّر في اللون. إذا تغيّر المحلول إلى الأحمر، يكون السكّر غير المختزل موجودًا. وإذا وجد كل من السكّر غير المختزل والسكّر المختزل، فسيكون الراسب أثقل من الذي تكوّن في اختبار بندكت. وإذا استمر عدم تغير اللون، فلن يكون هناك أي نوع من السكّر.

(انظر الاستقصاء العملي ٢-٢ في كتاب التجارب العملية والأنشطة لمزيد من المعلومات).

سؤال

(٢) أ. لماذا تحتاج إلى استخدام المزيد من كاشف بندكت لتعرف تركيز محلول السكّر؟

ب. أوجز كيف يمكنك استخدام كاشف بندكت لتقدير تركيز محلول من السكر المختزل.

عديدة التسكر

عديدة التسكر Polysaccharides بوليمرات مكوّنة من ارتباط العديد من جزيئات السكّريات الأحاديّة بالتكثيف. ويضاف كل سكّر أحادي عن طريق رابطة جلايكوسيديّة، كما في السكّريات الثنائيّة. وقد يتكوّن الجُزيء النهائي من عدة آلاف من السكّريات الأحادية، مُشكّلة جُزيئًا كبيرًا. وعديدة التسكُّر الأكثر أهميّة هي النشا والجلايكوجين والسليلوز، وجميعها بوليمرات من الجلوكوز، ليست حلوة المذاق.

مصطلح علمي

عديد التسكر Polysaccharides: بوليمر تكون وحداته سكّريات أحاديّة مرتبطة معًا بروابط جلايكوسيديّة.

الجلايكوجين Glycogen: عديد التسكر يتكوّن من العديد من جزيئات الجلوكوز المرتبطة معًا والتي تشكّل مخزونًا للجلوكوز في خلايا الكبد والعضلات.

النشا والجلايكوجين

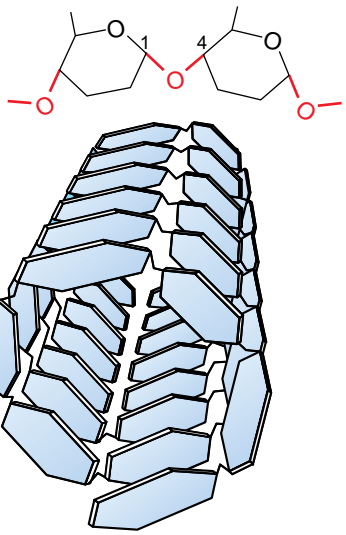
سكر الجلوكوز هو المصدر الرئيسي لطاقة الخلايا، لذا من المهمّ للكائنات الحيّة تخزينه في الشكل المناسب. إذا تراكم الجلوكوز في الخلايا، فسيذوب ليرتفع تركيز محتويات الخليّة كثيرًا، الأمر الذي يؤثّر بشكل خطير على خصائص إسموزيّة الخليّة. والجلوكوز أيضًا جُزيء متفاعل يتداخل مع الخصائص الكيميائيّة الطبيعيّة للخليّة. يتم تجنُّب هذه المشكلات عن طريق تحوُّل الجلوكوز بتفاعلات التكثيف إلى عديدة التسكُّر التي يتم تخزينها. وعديدة التسكُّر المختزنة تكون متوافقة ومتراصّة وغير متفاعلة وغير قابلة للذوبان. عديدة التسكُّر المختزنة في النباتات هي النشا Starch، وفي الحيوانات هي **الجلايكوجين Glycogen**. وعند الحاجة، تؤمّن الجلوكوز سريعًا عن طريق تفاعلات التحلّل المائي الإنزيميّة.

النشا Starch مزيج من أميلوز وأميلوبكتين. يتكوّن الأميلوز Amylose من تفاعلات تكثيف بين جزيئات ألفا- جلوكوز (الشكل ٢-١٥أ). وبذلك، يتم بناء سلسلة طويلة غير متفرّعة مكوّنة من عدة آلاف من جزيئات 1, 4 جلوكوز المرتبطة (الرابطة 1,4 تعني الترابط

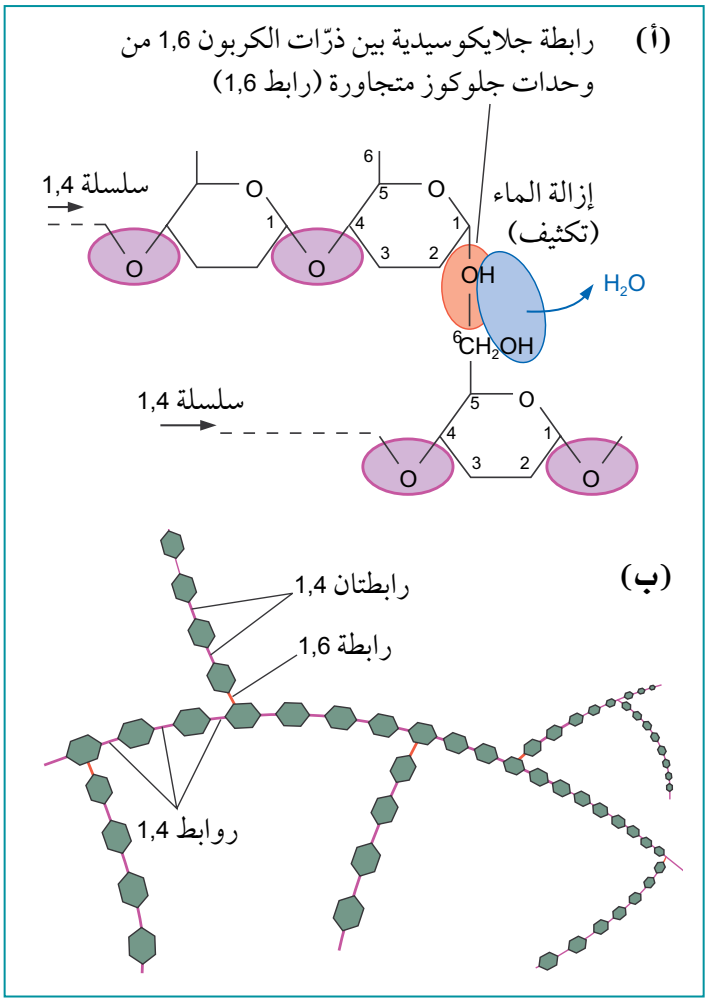
بين جزيئات الجلوكوز وتحديدًا بين ذرّات الكربون 1 و 4 في وحدات الجلوكوز المتتالية). تكون السلاسل منحنية وملتفّة في تراكيب حلزونيّة مثل اللوالب، لذا يكون الجُزيء النهائي متراصًّا كما في الشكل ٢-٦.

يتكوّن الأميلوبكتين Amylopectin أيضًا من العديد من جزيئات 1,4 ألفا-جلوكوز، لكن السلاسل أقصر من تلك التي في الأميلوز، وتحتوي أيضًا على روابط 1,6 تبدأ هذه بالتفرّع من على جانبَي السلسلة (الشكل ٢-٧).

يكوّن مزيج جزيئات الأميلوز والأميلوبكتين حُبيبات نشا كبيرة نسبيًا، وتوجد عادة في البلاستيدات الخضراء وفي أعضاء التخزين في النبات مثل درنات البطاطس وبذور الحبوب والبقوليات (الصورة ٢-٢). يمكن رؤية حُبيبات النشا بسهولة بالمجهر الضوئي، بخاصة عندما تكون



الشكل ٢-٦ ترتيب جزيئات ألفا-جلوكوز في الأميلوز. تؤدّي روابط 1, 4 إلى دوران السلسلة والتفافها. تبدو الروابط الجلايكوسيدية بالأحمر، وقد حذفت مجموعات الهيدروكسيل.



الشكل ٢-٧ التركيب المتفرّع (المتشعب) للأميلوبكتين والجلايكوجين. (أ): تشكيل رابطة 1, 6 يكوّن نقطة التفرع. (ب): التركيب العام لجُزيء الأميلوبكتين أو الجلايكوجين. يختلف الأميلوبكتين والجلايكوجين فقط في مقدار التفرّع في سلاسل الجلوكوز المكوّنة لهما. يكون الجلايكوجين أكثر تفرعًا من الأميلوبكتين.

الصورة ٢-٢ صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح بألوان زائفة لشريحة بطاطس طازجة تبيّن خلايا تحتوي على حُبيبات نشا أو عُضيّات تحتوي على نشا (بالأحمر) (X 260).

مصبوغة. ويمثّل مسح قطع من درنة بطاطس طازجة على شريحة زجاجيّة وصبغها باليود (محلول يوديد البوتاسيوم) طريقة سريعة لإعداد عيّنة للفحص المجهري.

لا يوجد النشا في الخلايا الحيوانيّة، التي تختزن الكربوهيدرات على شكل جلايكوجين، وتشبه جزيئاته كثيرًا تلك التي في الأميلوبكتين لأنها تتكوّن من سلاسل من 1,4 ألفا- جلوكوز مرتبطة بروابط 1,6 مكوّنة نقاط تفرع (الشكل ٢-٧). تتجمّع جزيئات الجلايكوجين معًا لتشكّل حُبيبات تشاهد في خلايا الكبد وخلايا العضلات، حيث تشكّل مخزونًا احتياطيًا للطاقة.

أسئلة

٣ ما نوع التفاعل الكيميائي الذي يحدث عند تكوين الجلوكوز من النشا والجلايكوجين؟

٤ اذكر خمس طرائق تتشابه فيها الصيغ التركيبية للجلايكوجين والأميلوبكتين.

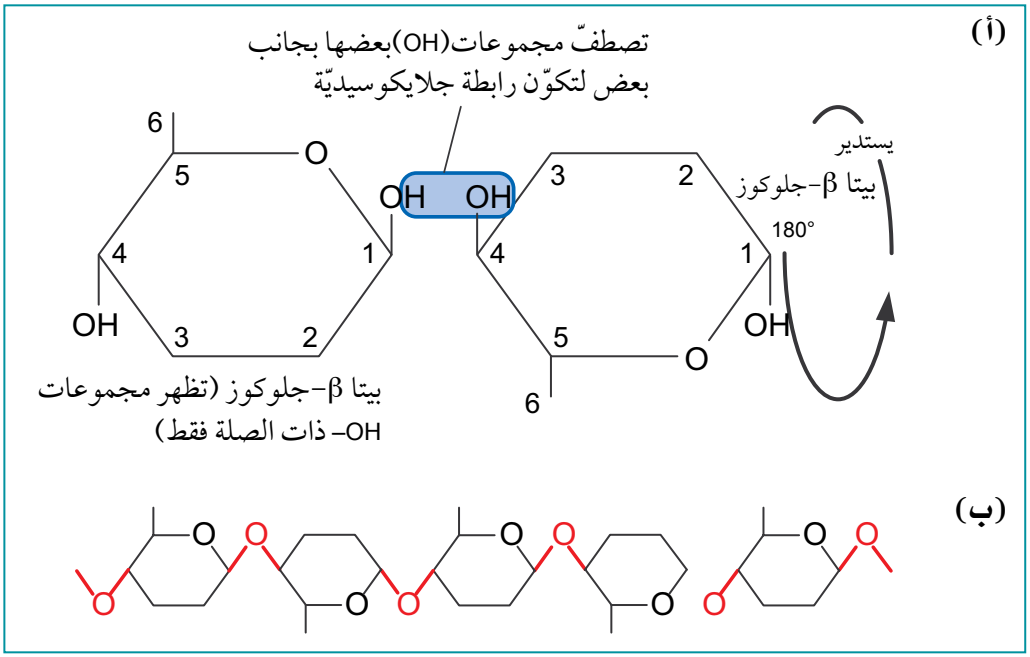
مصطلحات علمية

السليلوز Cellulose: عديد تسكر يتكوّن من وحدات بنائية من بيتا-جلوكوز، ويستخدم لتقوية جدران الخلايا النباتيّة.

السليلوز

السليلوز Cellulose هو الجُزيء العضوي الأكثر وفرة على كوكب الأرض، وذلك لوجوده في جدران الخلايا النباتيّة، ولبطء معدّل تفكّكه في الطبيعة. وللسليلوز دور تركيبي لأنه جُزيء قوي ميكانيكيًا، على العكس من النشا والجلايكوجين، والفرق الوحيد، أن السليلوز بوليمر يتكوّن من جُزيئات بيتا-جلوكوز، في حين يتكوّن النشا والجلايكوجين من جزيئات ألفا-جلوكوز.

تذكّر أن مجموعة (OH-) على ذرّة الكربون 1 تتّجه نحو الأعلى فوق الحلقة في β-جلوكوز (الشكل ٢-٤). ولتكوين رابطة الجلايكوسيدية مع ذرّة الكربون 4، (حيث مجموعة OH- المتجهة نحو أسفل الحلقة)، يجب أن ينقلب جُزيء جلوكوز واحد (يستدير 180°) بالنسبة إلى الجُزيء الآخر، وبالتالي سترتبط وحدات الجلوكوز المتتالية عند 180° بعضها ببعض (الشكل ٢-٨).



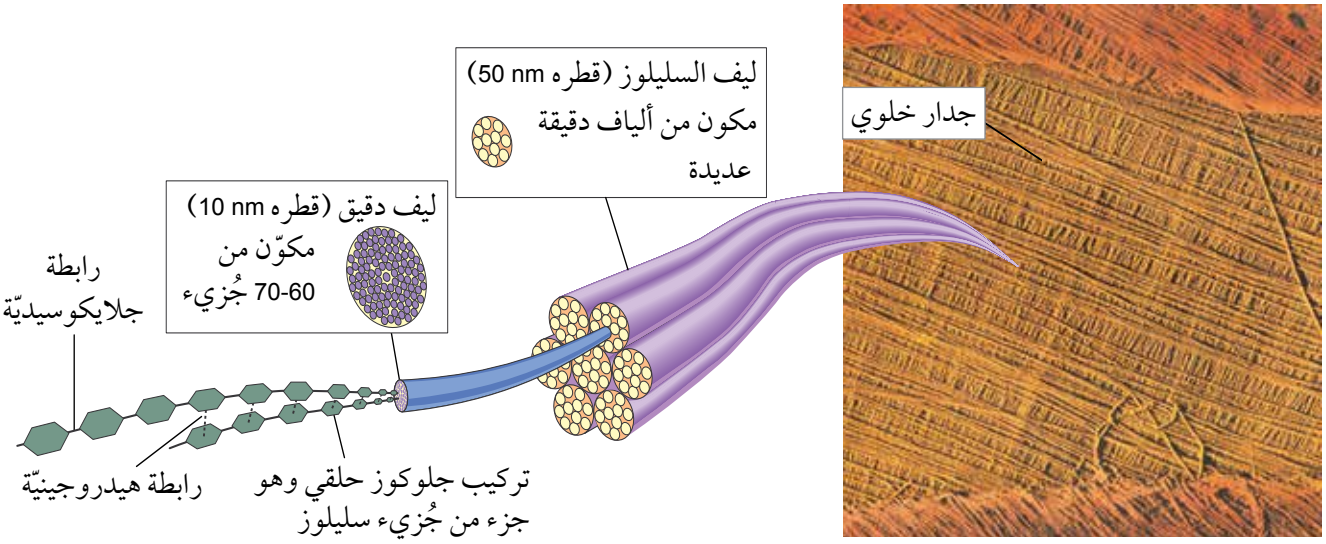
الشكل ٢-٨ (أ) يصطفّ جُزيئان من بيتا (β)- جلوكوز أحدهما بجانب الآخر ليكوّنا رابطة 1,4. لاحظ أن جُزيء جلوكوز واحد يجب أن يستدير 180° بالنسبة إلى الجُزيء الآخر. (ب) ترتيب وحدات بيتا β-جلوكوز في السليلوز. الروابط الجلايكوسيديّة مبينة باللون الأحمر، وحذفت مجموعات الهيدروكسيل.

ينتج من هذا الترتيب لجزيئات بيتا β-جلوكوز جُزيء قوي، لأن ذرّات الهيدروجين من مجموعة OH- تنجذب بشكل ضعيف إلى ذرّات الأكسجين في جُزيء السليلوز نفسه (أكسجين في حلقة الجلوكوز)، وإلى ذرّات الأكسجين في مجموعات (OH-) في الجزيئات المجاورة أيضًا. وهذه الروابط ضعيفة في شكلها الفردي، لكن يوجد الكثير منها (بسبب العدد الكبير من مجموعات (OH-)، لتؤمّن بمجموعها قوّة هائلة. ويتشابك 60-70 جُزيء سليلوز بإحكام عن طريق الروابط الهيدروجينيّة لتشكيل حزمًا تسمّى الألياف الدقيقة Microfibrils. وتتماسك الألياف الدقيقة بدورها بعضها ببعض عن طريق الروابط الهيدروجينيّة أيضًا لتشكّل حزمًا تسمّى الألياف Fibres (الشكل ٢-٩).

يحتوي الجدار الخلوي عادةً على عدّة طبقات من الألياف تمتد في اتجاهات مختلفة لزيادة القوّة (الشكل ٢-٩). ويشكّل السليلوز 20-40 % تقريبًا من مكوّنات الجدار الخلوي، وتساعد جزيئات أخرى على ربط ألياف السليلوز، ويكوّن بعضها مادة خلالية شبيهة بالصمغ حول الألياف، بما يزيدها قوّة.

تتّصف ألياف السليلوز بقوّة شدّ عالية مساوية تقريبًا لقوّة الشد للفولاذ، أي أنه عند سحب الألياف من كلا الطرفَين سيكون من الصعب مدّها أو كسرها. وتجعل قوّة الشدّ العالية لألياف السليلوز الخليّة قادرة على تحمّل الضغط المرتفع بداخلها نتيجة الإسموزيّة. وبدون الجدار الخلوي هذا تنفجر الخليّة عندما تكون في محلول مخفّف. يساعد هذا الضغط داخل الخلية في تأمين الدعم للنبات بجعل الأنسجة صلبة، وهي مسؤولة عن توسّع الخليّة أثناء النموّ.

ويساعد ترتيب الألياف حول الخليّة في تحديد شكل الخليّة أثناء نموّها. وبالرغم من قوّة الألياف، إلّا أنها تتّصف بنفاذية كلية، الأمر الذي يؤمّن حريّة حركة الماء والمواد المذابة.



الشكل ٢-٩ تركيب السليلوز.

سؤال

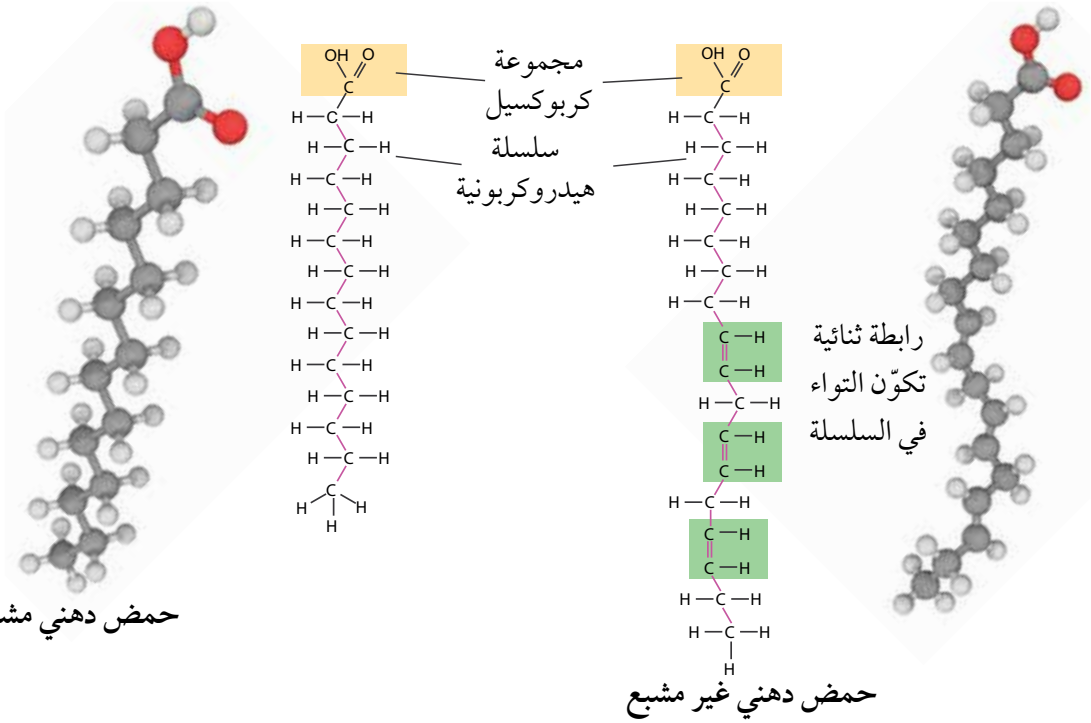
٥ ارسم جدولًا يبيّن ثلاثة اختلافات للصيغة التركيبية بين سكر الأميلوز والسليلوز.

٢-٣ الدهون

الدهون Lipids مجموعة متنوعة جدًا من المواد الكيميائيّة. وجميعها جزيئات عضويّة غير قابلة للذوبان في الماء. تتكوّن معظم الدهون من أحماض دهنيّة مرتبطة مع كحول، والدهون الأكثر شيوعًا هي الشحوم والزيوت. غالبًا ما تكون الشحوم صلبة والزيوت سائلة عند درجة حرارة الغرفة، لكنها من الناحية الكيميائيّة متشابهة جدًا.

الأحماض الدهنيّة

الأحماض الدهنيّة Fatty acids عبارة عن سلسلة هيدروكربونية طويلة متصلة بالمجموعة الحمضية -COOH (الشكل ٢-١٠). وتتكون السلسلة الهيدروكربونية من ذرّات الكربون المرتبطة مع الهيدروجين، وغالبًا ما يتراوح عدد ذرّات الكربون فيها 12–20.



الشكل ٢-١٠ تركيب حمض دهني غير مشبع وآخر مشبع. يظهر إلى جانبَي كل نموذج صورة له. يظهر فيها الهيدروجين باللون الأبيض، والكربون بالرمادي، والأكسجين بالأحمر.

وتحتوي سلاسل بعض الأحماض الدهنيّة على روابط ثنائية بين ذرّات الكربون المتجاورة، مثال هذه: -C=C-. وتوصف مثل هذه الأحماض بأنها غير مشبعة، لأنها لا تحتوي على الكميّة القصوى المحتملة من الهيدروجين، وتشكل دهون غير مشبعة Unsaturated fats. الروابط الثنائية تجعل الأحماض الدهنيّة والدهون تنصهر بسهولة. لذا تكون معظم الزيوت غير مشبعة. فإذا احتوت جُزيئاتها على أكثر من رابطة ثنائية، يكون الحمض الدهني أو الدهن عديدًا غير مشبع، أمّا إذا وجدت رابطة واحدة فقط، فيكون أحاديًا غير مشبع.

غالبًا ما تكون الدهون الحيوانيّة مشبعة (لا تحتوي جُزيئاتها على روابط ثنائية)، وتكون على شكل دهنيات صلبة، في حين تكون الدهون النباتيّة غير مشبعة، وتكون سائلة، مثل زيت الزيتون وزيت دوّار الشمس.

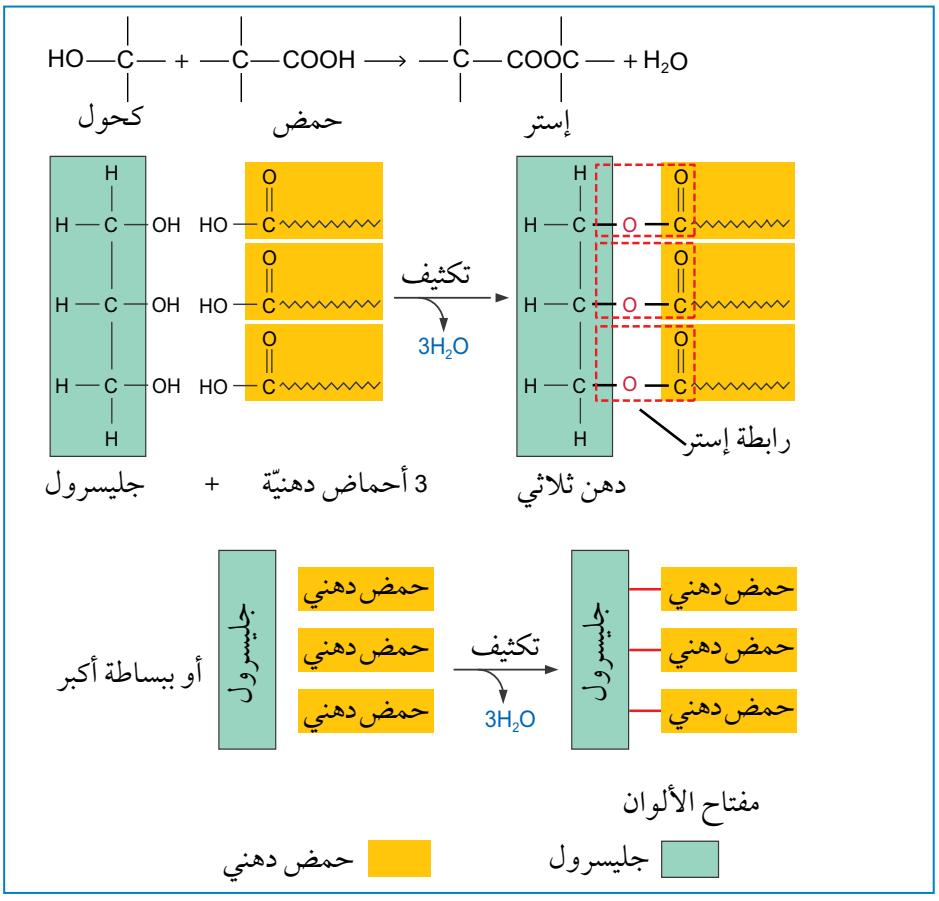
الكحولات والإسترات

الكحولات Alcohols سلسلة من الجزيئات العضويّة تحتوي على مجموعة هيدروكسيل OH– ترتبط بذرّة كربون. الجليسرول كحول يحتوي على ثلاث مجموعات هيدروكسيل (الشكل ٢-١١).

ينتج من التفاعل بين الحمض والكحول مادة كيميائيّة تسمّى إستر Ester، ويسمّى الرابط الكيميائي بين الحمض والكحول **رابطة الإستر Ester bond**.

مصطلحات علمية

رابطة الإستر Ester bond: رابطة كيميائيّة تمثّل بالشكل –COO– وتتكوّن عندما يتفاعل الحمض مع الكحول.



الشكل ٢-١١ تكوين الدهن الثلاثي من الجليسرول وثلاثة جزيئات أحماض دهنيّة.

تتفاعل مجموعة COOH– جُزيء الحمض مع مجموعة OH– جُزيء الكحول لتكوين رابطة إستر –COO– في تفاعل تكثيف ينتج فيه الماء. يمكن أن يتحوّل الإستر الناتج مرّة أخرى إلى حمض وكحول بتفاعل عكسي يضاف فيه الماء، وهو تفاعل يسمّى التحلّل المائي.

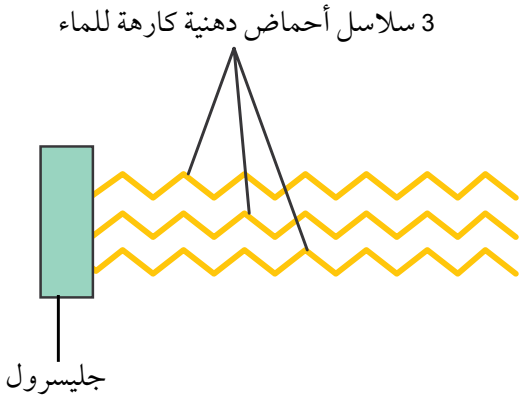
مصطلحات علمية

الدهون الثلاثية Triglycerides: نوع من الدهون يتكوّن عند ارتباط ثلاثة جزيئات أحماض دهنيّة مع الجليسرول، وهو كحول به ثلاث مجموعات هيدروكسيل (OH–).

الدهون الثلاثية

أكثر الدهون شيوعًا هي **الدهون الثلاثيّة Triglycerides** (الشكل ٢-١٢)، وهي عبارة عن الشحوم والزيوت. الدهن الثلاثي هو إستر يتكون نتيجة اتحاد ثلاثة أحماض دهنية وجليسرول. يحتوي الجليسرول على ثلاث مجموعات هيدروكسيل، يمكن لكل منها المشاركة في تفاعل تكثيف مع حمض دهني واحد. وعندما يتكوّن الدهن الثلاثي كما في

الشكل (٢-١١)، فإن الجُزيء النهائي يكون محتويًا على ثلاث سلاسل أحماض دهنيّة وثلاث روابط إسترية. ويمكن أن يختلف أطوال السلاسل اعتمادًا على الأحماض الدهنيّة المستخدمة. الدهون الثلاثيّة غير قابلة للذوبان في الماء، لكنها قابلة للذوبان في بعض المذيبات العضويّة مثل الإيثانول، وذلك لأن سلسلة الهيدروكربون غير قطبيّة، تتضمّن توزيعًا متساويًا للشحنة الكهربائيّة. وبالتالي، فهي كارهة للماء ولا تختلط بحريّة مع جزيئات الماء. يبيّن الشكل ٢-١٢ رسمًا تخطيطيًا مبسّطًا للدهون الثلاثيّة.



الشكل ٢-١٢ تمثيل تخطيطي لجُزيء دهن ثلاثي.

وظائف الدهون الثلاثيّة

تمثّل الدهون الثلاثيّة مخزونًا عاليًا للطاقة لأنها تحتوي على عدد كبير من روابط الكربون-الهيدروجين، والذي يفوق عدد تلك الموجودة في الكربوهيدرات. وينتج عن أكسدة كتلة معيّنة من الدهون الثلاثية مقدارًا من الطاقة أكثر ممّا تعطيه الكتلة نفسها من الكربوهيدرات.

تخزّن الدهون الثلاثيّة في عدة أماكن من جسم الإنسان، بخاصة تحت الجلد وحول الكليتَين. والدهون الثلاثيّة الموجودة تحت الجلد تعمل كعازل يحول دون فقدان الحرارة. وتلك الموجودة في الحيوانات مثل الحيتان، تؤدّي وظيفة مماثلة، إضافة إلى مساعدتها على الطفو فوق سطح الماء.

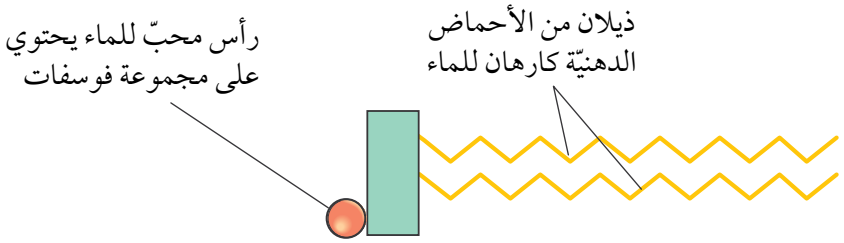
الصورة ٢-٣ يحصل جرذ الصحراء الكنغري على الماء من أيض الطعام.

والدهون الثلاثيّة مصدر لماء الأيض، فعندما تتأكسد في التنفس، تتحوّل إلى ثاني أكسيد الكربون والماء. ولهذا الماء أهميّة في المواطن البيئيّة شديدة الجفاف. فعلى سبيل المثال: لا يشرب جرذ الصحراء الكنغري الصورة ٢-٣ الماء مطلقًا، بل يعتمد في بقائه على ماء الأيض من الأطعمة المحتوية على الدهون الثلاثيّة.

الدهون المفسفرة

الدهون المفسفرة Phospholipids نوع خاص من الدهون، يتّصف الجُزيء فيها بخاصيّة غير اعتياديّة تتمثّل بكون إحدى نهايتَيه (طرفَيه) لها قابلية الذوبان في الماء. ويعود ذلك إلى أن مجموعة فوسفات حلّت محل أحد جزيئات الأحماض الدهنيّة الثلاثة. وهذه المجموعة قطبيّة، ويمكنها بالتالي الذوبان في الماء. فمجموعة الفوسفات محبّة للماء، وتكوّن رأس الدهن المفسفر المحبّ للماء.

ما زال ذَيلا الهيدروكربون المتبقّيان كارهَين للماء (الشكل ٢-١٣)، ستظهر الأهمية البيولوجية لهذا الترتيب للرأس المحب للماء وللذيول الكارهة للماء عندما تدرس تركيب أغشية الخلايا في الصف ١١ الفصل الدراسي الثاني.



الشكل ٢-١٣ تمثيل تخطيطي لجُزيء دهن مفسفر. قارن هذا بالشكل ٢-١٢.

٢-٤ البروتينات

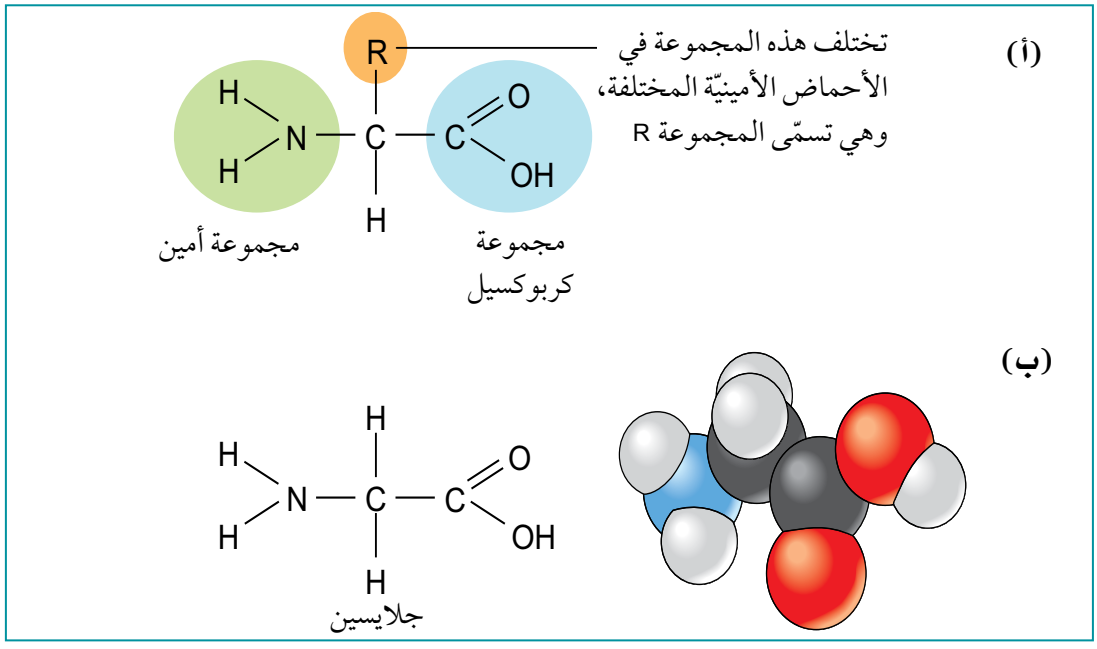
البروتينات Proteins نوع من الجُزيئات الحيوية العملاقة في الكائنات الحيّة ومهمّة لها، إذ تمثل البروتينات أكثر من 50 % من الكتلة الجافة لمعظم الخلايا. وللبروتينات عدة وظائف مهمّة للجسم هي:

- معظم الإنزيمات هي بروتينات.
- البروتينات مكوّنات أساسيّة لأغشية الخليّة.
- بعض الهرمونات هي بروتينات على سبيل المثال الإنسولين والجلوكاجون.
- الصبغات الحاملة للأكسجين، الهيموجلوبين والميوجلوبين هي بروتينات.
- الأجسام المضادة التي تهاجم الكائنات الحيّة الدقيقة وتدمّرها هي بروتينات.
- الكولاجين بروتين يكسب العديد من أنسجة الحيوان القوّة، مثل العظام وجدران الشرايين.
- الشعر والأظفار والطبقات السطحيّة من الجلد تحتوي على بروتين الكيراتين.
- الأكتين والميوسين هي البروتينات المسؤولة عن انقباض العضلات.
- بروتينات التخزين على سبيل المثال الكازين في الحليب والألبومين (الزلال) في بياض البيض.

وبالرغم من التنوّع الهائل في وظائف البروتينات، فإنها تتكوّن جميعها من المونمرات الأساسيّة نفسها، وهي الأحماض الأمينيّة.

الأحماض الأمينيّة

يبيّن الشكل ٢- ١٤ التركيب العام لجميع الأحماض الأمينيّة، وتركيب الجلايسين، الذي هو أبسط حمض أميني. لجميع الأحماض الأمينيّة ذرّة كربون مركزيّة ترتبط بمجموعة أمين NH_2– ومجموعة الكربوكسيل الحمضية (COOH–)، واللتَين تعطيان للأحماض الأمينيّة اسمها. المكوّن الثالث الذي يرتبط دائمًا بذرّة الكربون هو ذرّة الهيدروجين. تختلف الأحماض الأمينيّة عن بعضها بالمجموعة الرابعة من الذرّات المرتبطة بالكربون المركزي، وتسمّى المجموعة R.

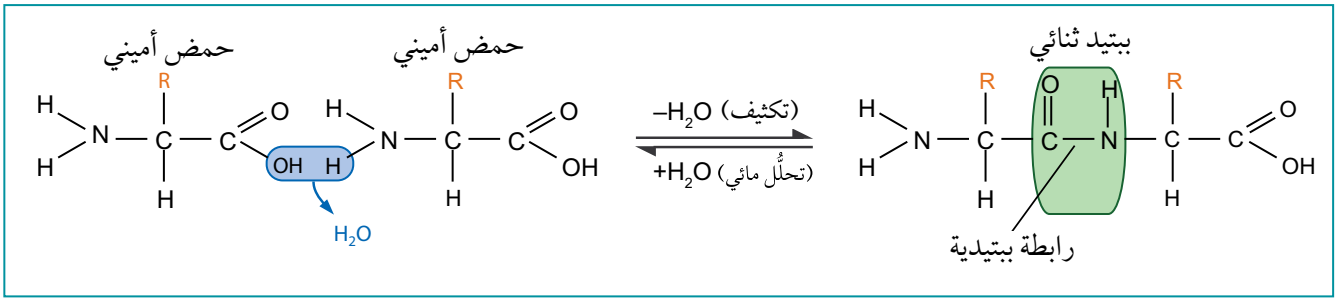


الشكل ٢-١٤ (أ) التركيب العام للحمض الأميني. (ب) تركيب أبسط حمض أميني جلايسين، والذي فيه الهيدروجين هو المجموعة R.

مرفق الملحق 1 لـ 20 حمضًا أمينيًا في نهاية الكتاب. وهو يبيّن المجموعات R لكل نوع من الأحماض الأمينية المختلفة التي توجد في جميع بروتينات الكائنات الحيّة، ولا يطلب تذكّرها. يبيّن الملحق أيضًا الاختصارات المكوّنة من ثلاثة أحرف لأسماء الأحماض الأمينيّة باللغة الإنجليزية، وهناك العديد من الأحماض الأمينيّة الأخرى التي جرى تصنيعها في المختبرات.

الرابطة الببتيديّة

يبيّن الشكل ٢-١٥ كيف يرتبط حمضان أمينيان أحدهما بالآخر، حيث يفقد أحدهما مجموعة هيدروكسيل (OH–) من مجموعة الكربوكسيل، ويفقد الآخر ذرّة هيدروجين من مجموعة الأمين. وينتج عن ذلك وجود ذرّة كربون من الحمض



الشكل ٢-١٥ ترتبط الأحماض الأمينيّة معًا بفقدان جُزيء ماء لتكوين رابطة ببتيديّة.

الأميني الأول حرّة يمكّنها الارتباط مع ذرّة نيتروجين من الحمض الثاني في **رابطة ببتيديّة Peptide bond**. وتكوّن ذرّة الأكسجين وذرّتا الهيدروجين المزالتان من الحمضَين الأمينيَين جُزيء ماء. وقد تعرّفت على دور تفاعلات التكثيف في تكوين روابط جلايكوسيدية (الشكل ٢-٥)، وفي تكوين الدهون الثلاثيّة (الشكل ٢-١١).

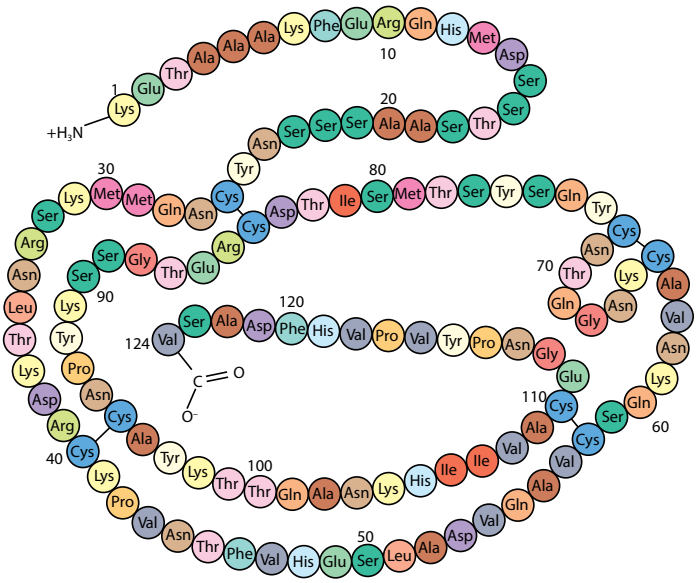
الجُزيء الجديد المتكوّن من حمضَين أمينيَّين مرتبطَين يسمّى الببتيد الثنائي Dipeptide. ويسمّى الجُزيء المكوّن من عدة أحماض أمينيّة ترتبط معًا بروابط ببتيديّة **عديد الببتيد Polypeptide**. عديد الببتيد مثال آخر على البوليمر والجُزيء الكبير مثل عديد التسكر. وقد يتكوّن البروتين من سلسلة عديد الببتيد واحدة فقط، أو قد يتكوّن من سلسلتَين أو من عدة سلاسل.

في الخلايا الحية، يتمّ بناء البروتين في الرايبوسومات (ستدرسه بالتفصيل في الصف الثاني عشر).

يمكن أن تتفكّك البروتينات إلى أحماض أمينيّة بكسر الروابط الببتيديّة، في تفاعل تحلّل مائي يتضمّن إضافة الماء (الشكل ٢-١٥). ويحدث هذا التفاعل بشكل طبيعي في المعدة والأمعاء الدقيقة أثناء هضم البروتينات في الطعام، ومن ثم يتمّ امتصاص الأحماض الأمينية الناتجة إلى مجرى الدم.

التركيب الأولي

قد يحتوي جُزيء عديد الببتيد أو البروتين على عدة مئات من الأحماض الأمينيّة المرتبطة في سلسلة طويلة. وتسمّى أنواع الأحماض الأمينيّة في السلسلة والتسلسل الذي توجد فيه **التركيب الأولي Primary structure** (الشكل ٢-١٦).



الشكل ٢-١٦ التركيب الأولي للرايبونيوكليز. وهو إنزيم يوجد في العصارة البنكرياسية، الذي يقوم بالتحلل المائي لـ RNA. لاحظ وجود مجموعة أمين ($^{+}NH_3$-) في أحد طرفَي سلسلة الحمض الأميني، ووجود مجموعة كربوكسيل (^{-}COO-) في الطرف الآخر. وتُعرف هاتان المجموعتان بطرفَي الأمين والكربوكسيل أو بالنهايتَين N و C على التوالي. لاحظ الاختصارات المكوّنة من ثلاثة أحرف للأحماض الأمينيّة، وهي موضحة في الملحق 1.

مصطلحات علمية

الرابطة الببتيديّة Peptide bond: رابطة تساهمية تربط الأحماض الأمينيّة المتجاورة معًا في البروتينات. وهي رابطة C-N بين جُزيئَين من الأحماض الأمينيّة تشكّلت بتفاعل تكثيف.

عديد الببتيد Polypeptide: سلسلة طويلة من الأحماض الأمينيّة تكوّنت بتفاعلات تكثيف بين أحماض أمينيّة مفردة ارتبطت معًا بروابط ببتيدية. تتكوّن البروتينات من سلسلة عديد ببتيد واحدة أو من عدة سلاسل.

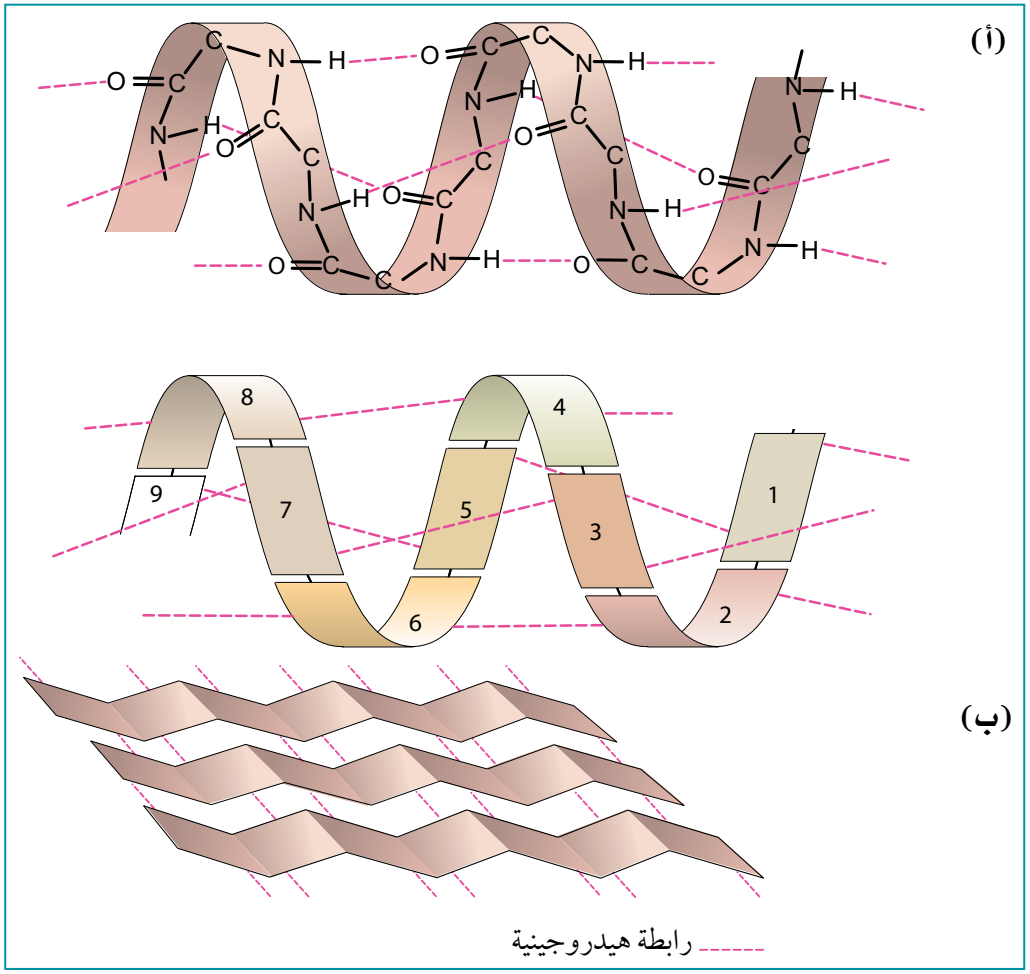
التركيب الأولي Primary structure: تسلسل الأحماض الأمينيّة في عديد الببتيد أو البروتين.

يوجد عدد هائل من الاحتمالات المختلفة للتراكيب الأوليّة. وتغيير حمض أميني واحد في سلسلة مكوّنة من آلاف الأحماض الأمينيّة قد يغيّر خصائص عديد الببتيد أو البروتين.

التركيب الثانوي

قد تؤثر الأحماض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد بعضها على بعض عندما تنطوي السلسلة. يوضح الشكل ٢-١٧أ كيف يمكن أن تنطوي سلسلة عديد الببتيد على شكل حلزوني يسمى **ألفا (α)- اللولبي α-helix** . يتم تثبيت هذا الشكل في مكانه بواسطة روابط هيدروجينية بين أكسجين مجموعة (C=O) لأحد الأحماض الأمينية والهيدروجين في مجموعة (NH–) للحمض الأميني المتقدم أربعة مراتب عنه، أي أنه يسبقه بثلاثة أحماض أمينية كما هو موضح في الشكل ٢-١٧أ، حيث الأرقام من 1 إلى 9 تشير إلى وحدات الأحماض الأمينية.

يمكن أن تؤدي الرابطة الهيدروجينية في بعض الأحيان، إلى أن قطعتَين أو أكثر من سلسلة عديد الببتيد تصطفان إحداهما بجانب الأخرى وتكوّنان تركيبًا مستويًا (مسطح) يسمى صفيحة **بيتا(β)- المطوية (المثناة) β-pleated sheet** (الشكل ٢-١٧ب). في بعض الأحيان



الشكل ٢-١٧ التركيب الثانوي للبروتين. (أ) تركيب ألفا(α)- اللولبي. لا تظهر فيه المجموعات **R**. (ب) صفيحة بيتا (β) - المطوية تركيب ثانوي آخر شائع. يحافظ كلا التركيبَين على شكله من خلال روابط هيدروجينيّة بين الأحماض الأمينيّة.

مصطلحات علمية

ألفا (α) - اللولبي
α–helix: تركيب لولبي يتكوّن من سلسلة عديد الببتيد مثبّتة في مكانها بروابط هيدروجينيّة. ألفا–اللولبي مثال على التركيب الثانوي في البروتين.

صفيحة بيتا (β) - المطوية (المثناة)
β-Pleated sheet: تركيب يشبه الصفيحة يتكوّن من رابطة هيدروجينيّة بين سلسلتَي عديد ببتيد متوازيتَين. صفيحة–بيتا المطوية مثال على التركيب الثانوي في البروتين.

لا يوجد ترتيب منتظم لعديد الببتيد. كل هذا يتوقف على مجموعات R الموجودة في سلسلة عديد الببتيد. يمكن تمثيل بروتين ألفا(α)- اللولبي في الرسوم التوضيحية على شكل لفائف أو أسطوانات، بينما تمثل: صفائح بيتا (β)- المطوية على شكل أسهم، واللفائف غير المنتظمة على شكل أشرطة (الشكلان ٢-١٨ و٢-١٩).

يسمى الشكل الذي تنطوي به سلسلة عديد الببتيد **بالتركيب الثانوي Secondary structure** للبروتين. يمكن أن يتأثر التركيب الثانوي بالتغيرات في درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني pH، حيث يسهل تفكيك الروابط الهيدروجينية. ويترتب على ذلك عواقب كبيرة على الكائنات الحية.

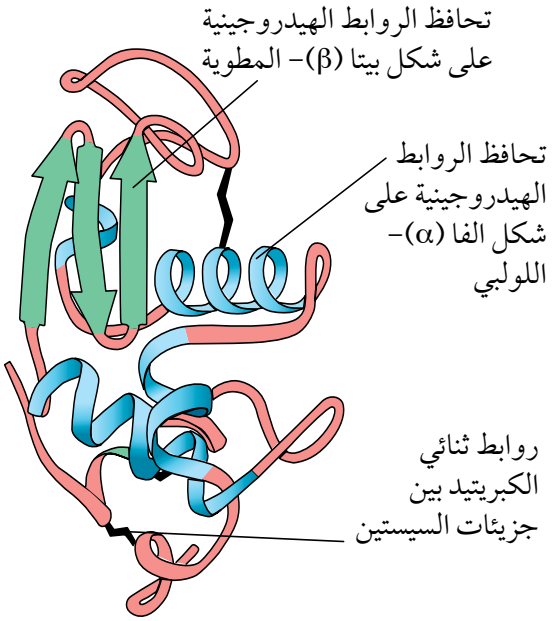
التركيب الثالثي

في العديد من البروتينات، يكون التركيب الثانوي نفسه ملتفًا أو مثبتًا في مكانه بواسطة التفاعلات المختلفة بين الأحماض الأمينية في أجزاء مختلفة من سلسلة عديد الببتيد، لتكوين تركيب ثلاثي الأبعاد. يوضح الشكلان ٢-١٨ و٢-١٩ أمثلة على **التركيب الثالثي Tertiary structure** للبروتين.

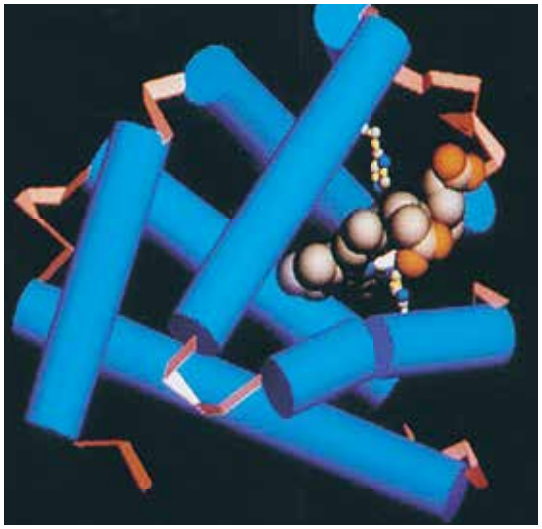
مصطلحات علمية

التركيب الثانوي Secondary structure: تركيب جُزيء البروتين الناتج من الالتفاف أو الطي المنتظم لسلسلة الأحماض الأمينيّة ليكون ألفا (α)- اللولبي أو صفيحة بيتا (β) - المطوية (المشاة).

التركيب الثالثي: Tertiary structure: تركيب متراص لجُزيء البروتين ينتج من التفاف ثلاثي الأبعاد لسلسلة الأحماض الأمينيّة.



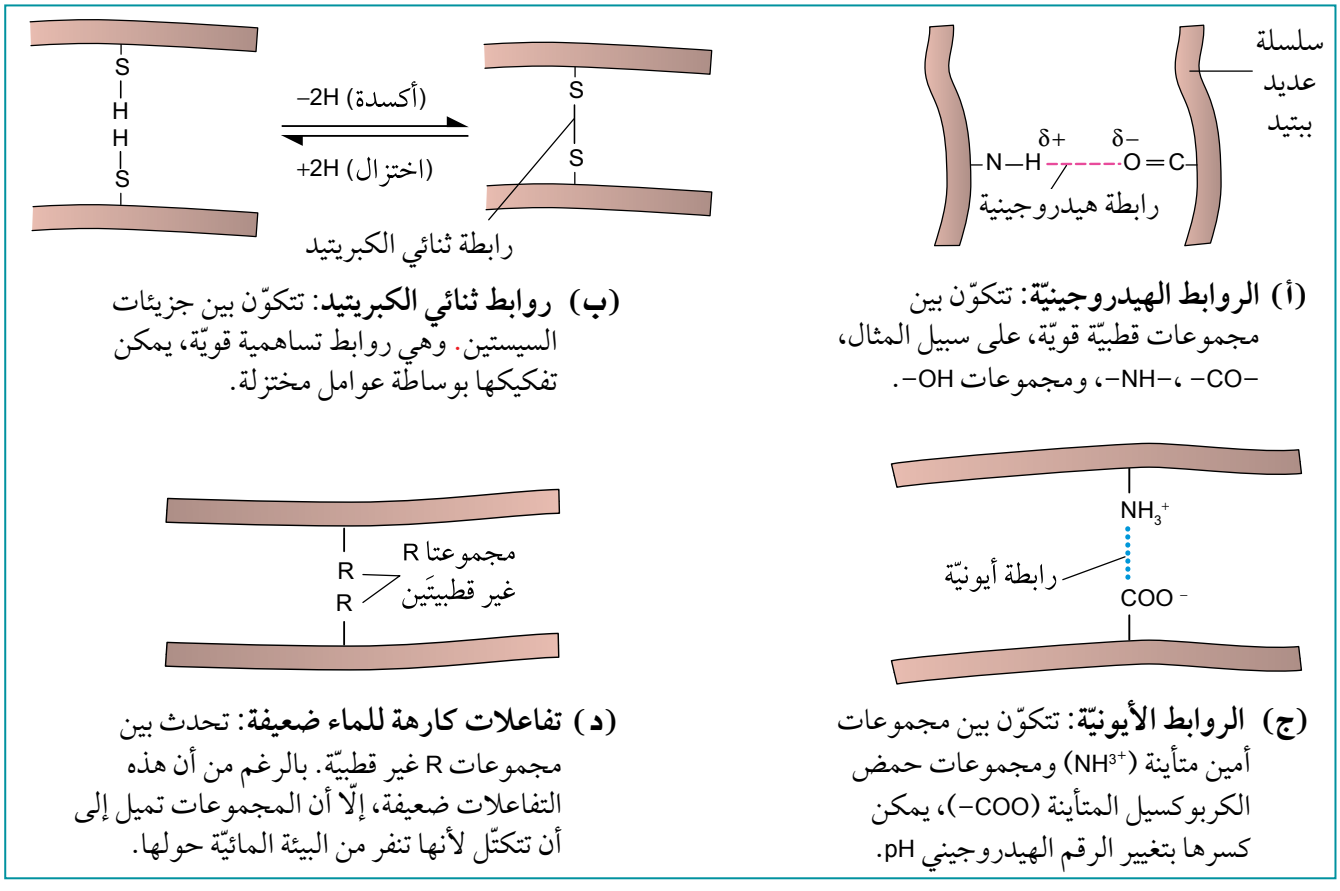
الشكل ٢-١٨ التركيب الثانوي والثالثي لليزوزيم. يبدو ألفا (α)- اللولبي على شكل لفائف زرقاء، وصفيحة بيتا (β)- المطوية على شكل أسهم خضراء، ولفائف عشوائيّة على شكل أشرطة حمراء، والتعرجات السوداء هي روابط ثنائي الكبريتيد.



الشكل ٢-١٩ رسم حاسوبي يبيّن التركيبَين الثانوي والثالثي لجُزيء الميوجلوبين. الميوجلوبين هو المادة التي تُكسب اللحوم لونها الأحمر، وهي توجد في العضلات، حيث تعمل كجُزيء يختزن الأكسجين. الأسطوانات الزرقاء هي ألفا (α)- اللولبي، وهي مرتبطة بأجزاء سلسلة عديد الببتيد، والتي هي لفائف غير منتظمة (تبدو باللون الأحمر)، وفي يمين الوسط مجموعة هيم تحتوي على الحديد.

يبيّن الشكل ٢-٢٠ الأنواع الأربعة للروابط أو التفاعلات التي تساعد في استقرار والحفاظ على البروتينات المطوية بأشكالها المحددة، وقد عرضت بشكل منفصل للتوضيح:

- الروابط الهيدروجينيّة ضعيفة بمفردها، لكن وجود مجموعة منها معًا يمكن أن يشكّل تركيبًا قويًا. ويمكن أن تتكوّن بين مجموعة متنوّعة من مجموعات R (الشكل ٢-٢٠أ).
- روابط ثنائي الكبريتيد تتكوّن بين مونمرَين من الحمض الأميني السيستين Cysteine؛ وكلاهما يحتويان على ذرّات الكبريت Sulfer. تتكوّن رابطة ثنائي الكبريتيد عندما ترتبط ذرّات الكبريت المتجاورة للسيستين معًا برابطة تساهمية، وهذه رابطة قويّة (الشكل ٢-٢٠ب). (حاول تحديد روابط ثنائي الكبريتيد الأربع في الرايبونيوكليز في الشكل ٢-١٦).
- الروابط الأيونيّة بين مجموعات R تحتوي على مجموعات أمين وكربوكسيل (أي أحماض أمينيّة فيها مجموعات R تحتوي على مجموعات أمين أو كربوكسيل) (الشكل ٢-٢٠ج).
- تحدث تفاعلات كارهة للماء بين مجموعات R غير القطبيّة. مجموعات R هذه كارهة للماء، لذا تميل إلى تجنّب الماء ما أمكن. إذا وجد البروتين في بيئة مائيّة نموذجيّة داخل الخليّة، تميل مجموعات R الكارهة للماء إلى أن تتجمّع بدون الماء. يتأثّر الشكل العام للعديد من البروتينات بهذه التفاعلات الكارهة للماء (الشكل ٢-٢٠د).
- تكون مجموعات R الكاره للماء متجهة عادة باتجاه مركز البروتينات بعيدة عن مواجهة البيئة المائيّة الخارجيّة، وتكون مجموعات R المحبّة للماء محيطة بها، ومتجهة إلى الخارج وعلى اتصال مع البيئة المائيّة.



(أ) الروابط الهيدروجينيّة: تتكوّن بين مجموعات قطبيّة قويّة، على سبيل المثال، –CO–، –NH–، ومجموعات OH–.

(ب) روابط ثنائي الكبريتيد: تتكوّن بين جزيئات السيستين. وهي روابط تساهمية قويّة، يمكن تفكيكها بوساطة عوامل مختزلة.

(ج) الروابط الأيونيّة: تتكوّن بين مجموعات أمين متأينة (NH^{3+}) ومجموعات حمض الكربوكسيل المتأينة (COO–)، يمكن كسرها بتغيير الرقم الهيدروجيني pH.

(د) تفاعلات كارهة للماء ضعيفة: تحدث بين مجموعات R غير قطبيّة. بالرغم من أن هذه التفاعلات ضعيفة، إلّا أن المجموعات تميل إلى أن تتكتّل لأنها تنفر من البيئة المائيّة حولها.

الشكل ٢- ٢٠ الأنواع الأربعة من الروابط المهمّة في تركيب البروتين الثالثي: (أ) الرابطة الهيدروجينية، وهي مهمّة أيضًا في التركيب الثانوي. (ب) روابط ثنائي الكبريتيد. (ج) الروابط الأيونيّة. (د) التفاعلات الكارهة للماء.

التركيب الرابعي

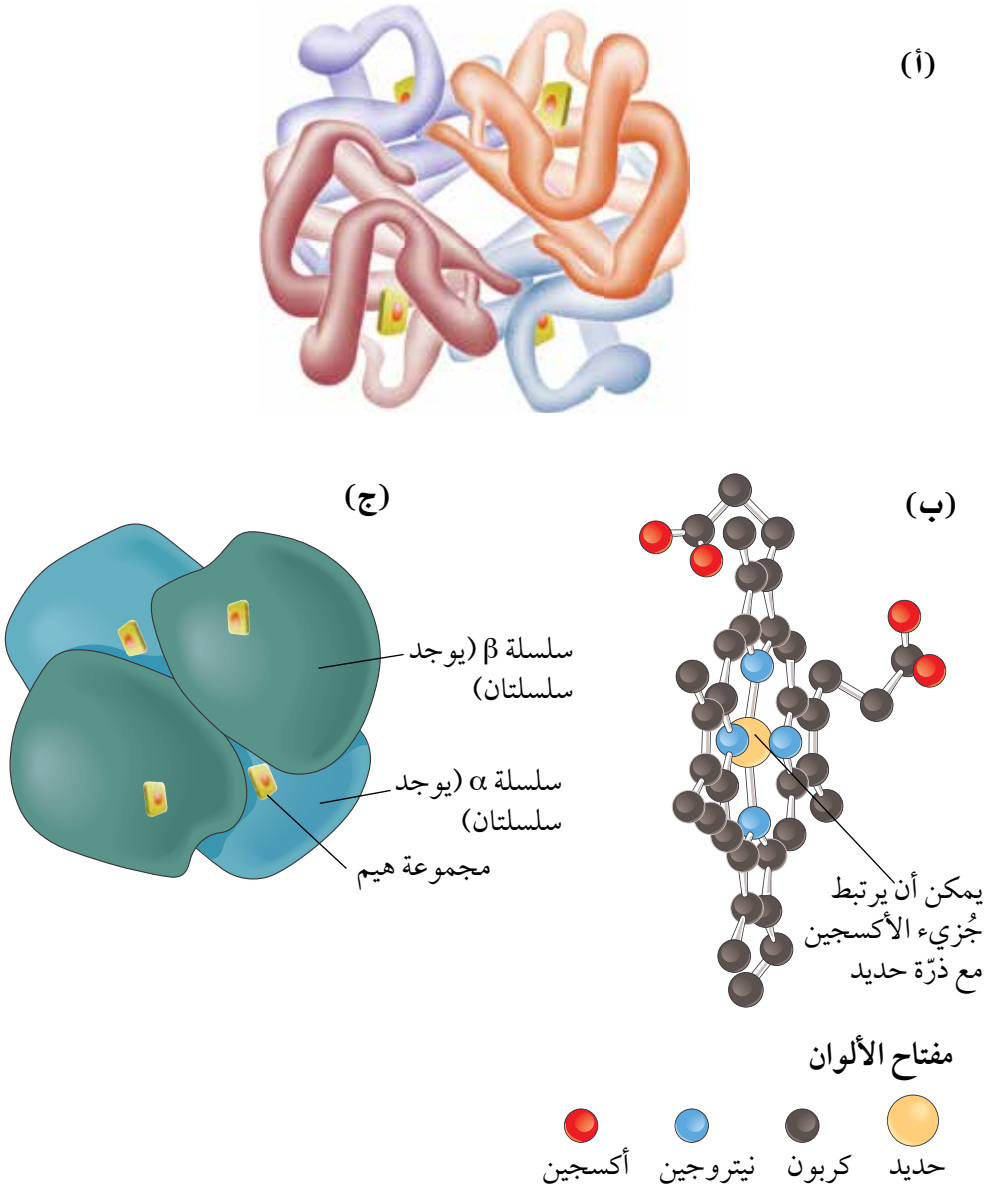
تتكوّن العديد من جزيئات البروتين من سلسلتَي عديد ببتيد أو أكثر. ويسمّى التركيب العام المتكوّن من سلاسل عديدة الببتيد المختلفة **التركيب الرابعي** **Quaternary structure** للبروتين، ومثاله **الهيموجلوبين** **Haemoglobin**. يحتوي جُزيء الهيموجلوبين على أربع سلاسل عديدة الببتيد (الشكل ٢-٢١).

ترتبط التراكيب الرابعية معًا بالأنواع الأربعة نفسها من الروابط كما في التراكيب الثالثية.

مصطلحات علمية

التركيب الرابعي
Quaternary structure: الترتيب ثلاثي الأبعاد لسلسلتَين أو أكثر من عديد ببتيد.

الهيموجلوبين
Haemoglobin: الصبغة الحمراء الموجودة في خلايا الدم الحمراء، والتي تحتوي جزيئاتها على أربع ذرّات حديد داخل بروتين كروي مكوّن من أربع سلاسل عديدة الببتيد. وهو مرتبط بشكل عكسي مع الأكسجين.



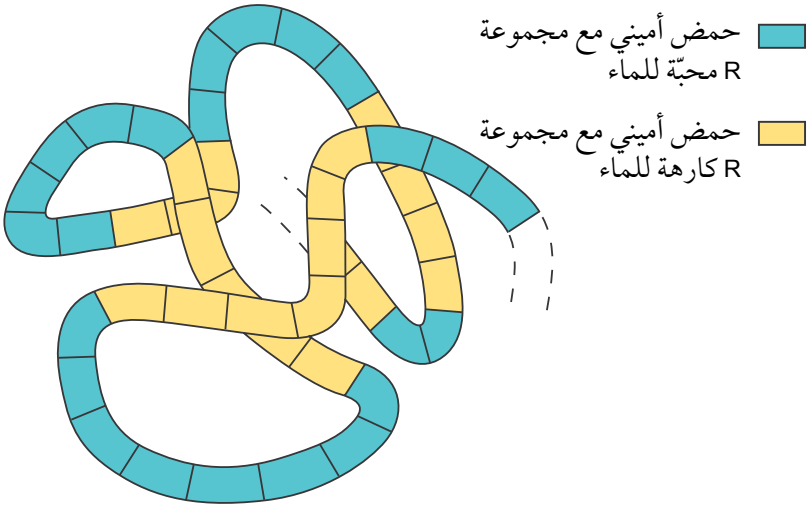
الشكل ٢-٢١ الهيموجلوبين. (أ) يحتوي كل جُزيء هيموجلوبين على أربع سلاسل عديد ببتيد. تبدو سلسلتا α (ألفا) بالأرجواني والأزرق، وسلسلتا β (بيتا) بالبني والبرتقالي. تحتوي كل سلسلة عديد ببتيد على حلقة هيم تبدو بالأصفر والأحمر. (ب) تحتوي مجموعة الهيم على ذرّة حديد، والتي يمكن أن ترتبط بشكل عكسي مع جُزيء الأكسجين. (ج) جُزيء الهيموجلوبين الكامل شبه كروي.

البروتينات الكرويّة والبروتينات الليفيّة

يسمّى البروتين الذي تلتف جزيئاته لتكون على شكل كرة، مثل الهيموجلوبين أو الميوجلوبين، **بروتينًا كرويًا Globular protein**. تلتف البروتينات الكرويّة عادة بحيث تتجه مجموعات R الكارهة للماء غير القطبيّة فيها نحو مركز الجُزيء، بعيدًا عن البيئة المائيّة المحيطة. وبذلك تكون جزيئات الماء مفصولة عن مركز جُزيء البروتين الملتف. وتبقى مجموعات R المحبّة للماء القطبيّة إلى الخارج من الجُزيء. لذلك، تكون البروتينات الكرويّة عادة قابلة للذوبان في الماء، لأن جزيئات الماء تتجمّع حول مجموعات R المحبّة للماء المتجهة إلى الخارج (الشكل ٢-٢٢).

مصطلحات علمية

البروتين الكروي Globular protein:
بروتين جزيئاته ملتفة على شكل شبه كروي، وغالبًا ما تكون له أدوار وظيفيّة، كما يكون قابلًا للذوبان في الماء، وله نشاط أيضي. مثل الأنسولين والهيموجلوبين والإنزيمات.



الشكل ٢ - ٢٢ مقطع في جزء من جُزيء بروتين كروي. تلتف سلسلة عديد الببتيد مع مجموعات R محبّة للماء إلى الخارج، ومجموعات R كارهة للماء إلى الداخل، ويجعل هذا الترتيب الجُزيء قابلًا للذوبان في الماء.

للعديد من البروتينات الكرويّة دور في تفاعلات الأيض، فشكلها المحدّد مفتاح عملها. الإنزيمات، هي أحد البروتينات الكروية.

الكثير من جزيئات البروتين لا تلتف على شكل كرة، بل يكوّن خيوطًا طويلة، وهذه تسمّى البروتينات الليفيّة. البروتينات الليفية عادة ليست قابلة للذوبان في الماء، ومعظمها له أدوار تركيبيّة. على سبيل المثال، البروتين الليفي كيراتين يكوّن الشعر والأظافر والطبقات الخارجيّة من الجلد، ويجعل هذه التراكيب مقاومة للماء. الكولاجين، مثال آخر على البروتين الليفي.

الهيموجلوبين- بروتين كروي

الهيموجلوبين هو الصبغة الحاملة للأكسجين الموجودة في خلايا الدم الحمراء، وهو بروتين كروي. ولقد عرفت سابقًا أنه مكوّن من أربع سلاسل عديد ببتيد، لذا يتّصف بتركيب رابعي. وتسمّى كل سلسلة بروتين بالجلوبين،

(هناك تشابه بين التركيب الثالثي للهيموجلوين والميوجلوبين بسبب وجود جلوبين في كل منهما) (الشكل ٢-١٩ والشكل ٢-٢١). يوجد ثلاثة أنواع من الجلوبين، نوعان منها يُستخدمان في بناء الهيموجلوبين، ويعرفان بـ ألفا-جلوبين وبيتا-جلوبين. تتكوّن سلسلتا هيموجلوبين من ألفا-جلوبين وتُسمّيان سلسلتَي ألفا، والسلسلتان الأخريان تُسمّيان سلسلتَي بيتا مكوّنتَين من بيتا -جلوبين.

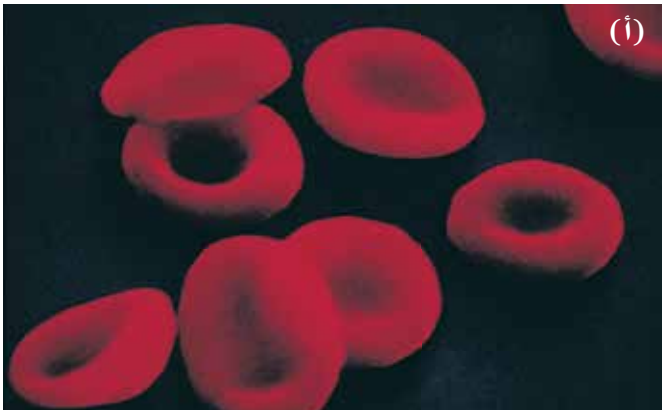
لجُزيء الهيموجلوبين شكل كروي تقريبًا (الشكل ٢-٢١)، تتراصّ فيه سلاسل عديدة الببتيد الأربع في كتلة متماسكة. ومجموعات R الكارهة للماء تتجه نحو مركز الجُزيء، بينما تتجه مجموعات R المحبّة للماء نحو الخارج.

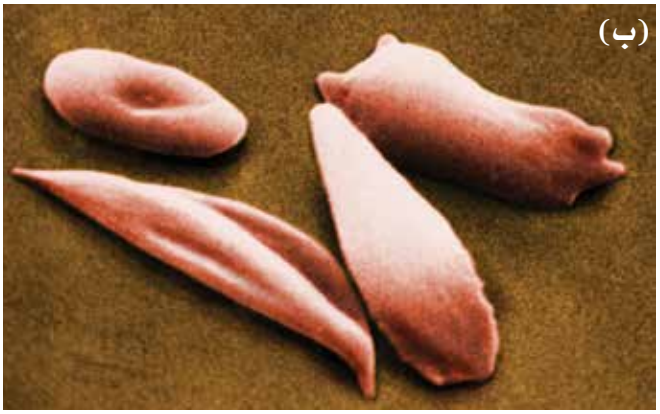
التفاعلات بين مجموعات R الكارهة للماء داخل الجُزيء مهمّة في الحفاظ على شكله الصحيح الثلاثي الأبعاد. ومجموعات R المحبّة للماء المتجهة نحو الخارج على سطح الجُزيء مهمّة في الحفاظ على قابليته للذوبان. في المرض الوراثي المُسمّى فقر الدم المنجلي، يستبدل حمض أميني قطبي واحد على سطح سلسلة بيتا بحمض أميني آخر. يغيّر هذا الاستبدال من طي جزيء الهيموجلوبين ويجعله أقل قابليّة للذوبان، ويسبّب أعراضًا مضرّة وخطرة (الصورة ٢-٤).

تحتوي كل من سلاسل عديدة الببتيد الأربع للهيموجلوبين على مجموعة هيم (الشكل ٢-٢١ب). تُعدّ مجموعة الهيم جزءًا أساسيًا ومهمًّا في تركيب البروتين على الرغم من أنها ليست مكوّنة من أحماض أمينيّة، وتسمّى مجموعة مساعدة Prosthetic group.

تحتوي كل مجموعة هيم على ذرّة حديد. يمكن أن يرتبط جُزيء أكسجين واحد مع كل ذرّة حديد، لذا يمكن لجُزيء هيموجلوبين كامل، مع أربعة جزيئات هيم، حمل أربعة جزيئات أكسجين (ثماني ذرّات أكسجين) في الوقت نفسه.

مجموعة الهيم مسؤولة عن لون الهيموجلوبين. ويتغيّر هذا اللون بناء على ارتباط ذرّات الحديد بالأكسجين أو عدم ارتباطها. فإذا كانت مرتبطة، يسمّى الجُزيء أوكسيهيموجلوبين ويكون بلون الأحمر الفاتح. وإذا لم تكن مرتبطة يكون اللون أحمر مائلًا إلى الزرقة.





الصورة ٢-٤ (أ) صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح لخليّة دم حمراء في الإنسان (**X 3300**). تحتوي كل خليّة على **250** مليون جُزيء هيموجلوبين. (ب) صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح لخليّة دم حمراء لشخص مصاب بفقر الدم المنجلي. يمكن ملاحظة خليّة طبيعيّة وثلاث خلايا مصابة بالمرض (**X 3300**).

الكولاجين- بروتين ليفي

الكولاجين Collagen هو البروتين الأكثر توافرًا في الإنسان والحيوانات. وهو **بروتين ليفي Fibrous protein** غير قابل للذوبان (الشكل ٢-٢٣ والصورتان ٢-٥ و ٢-٦)، يوجد في الجلد، والأوتار، والغضاريف، والعظام، والأسنان، وجدران الأوعية الدمويّة.

يتكوّن جُزيء الكولاجين من ثلاث سلاسل عديد ببتيد. ترتبط السلاسل الثلاث معًا بروابط هيدروجينيّة وبعض الروابط التساهمية (الشكل ٢-٢٣أ و ب).

ويتفاعل كل جُزيء كولاجين ثلاثي السلاسل عديدة الببتيد مع جزيئات الكولاجين المجاورة والممتدة بشكل مواز له (الشكل ٢-٢٣ج). تربط الروابط التساهمية الجزيئات المتجاورة هذه مكوّنة ليفيات. وتشكل العديد من الليفيات معًا ألياف الكولاجين.

ميزة الكولاجين أنه مرن، لكنه في الوقت نفسه يتّصف بقوّة شدّ هائلة. أيّ أنه قادر على تحمّل قوى سحب كبيرة من دون أن يتمدَّد أو ينكسر. تصطف الألياف في الأوتار في حزم متوازية على طول الوتر، في اتجاه قوة الشد (التوتر). ويمكن أن يتحمل وتر العرقوب Achille tendon عند الإنسان قوّة سحب تبلغ 300 نيوتن للمليمتر المربّع الواحد في مساحة المقطع العرضي، توازي ربع قوّة شدّ الفولاذ المعتدل تقريبًا.

وتشكّل ألياف الكولاجين في الجلد طبقات، تمتدّ كل طبقة في اتجاه مختلف باتجاهات مختلفة في الطبقات المختلفة، كالسليلوز في جدران الخلايا النباتية؛ وهكذا يمكن للجلد أن يقاوم قوى الشدّ (التوتر) من عدة اتجاهات.

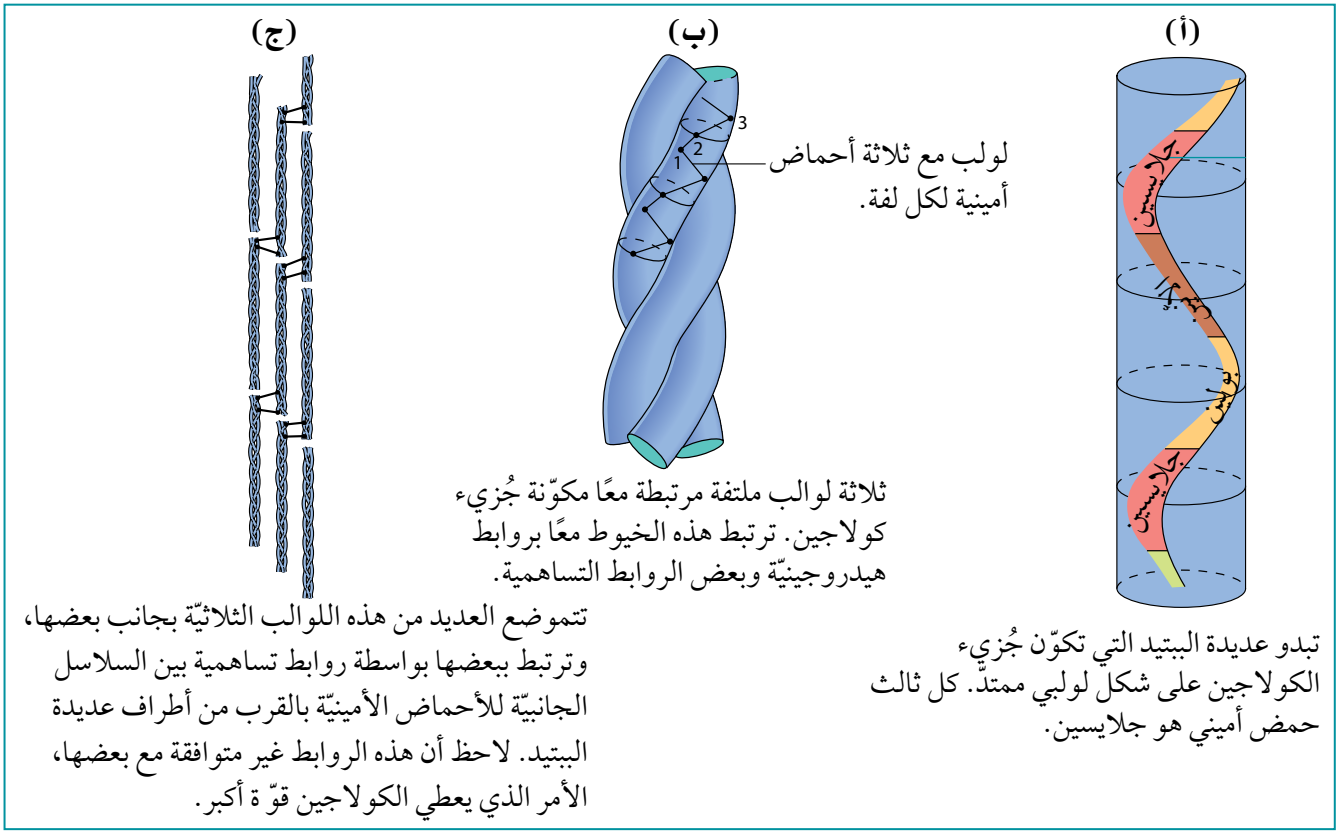
مصطلحات علمية

الكولاجين Collagen: البروتين التركيبي الرئيسي في الإنسان والحيوانات، ويسمّى «الألياف البيضاء». وهو الوحدة الأساسيّة في تكوين الألياف المكوّنة من سلاسل ببتيدات متعددة ثلاثيّة ملتفة حول بعضها مُشكّلةً "لولبًا ثلاثيًا" بقوّة شدّ عالية.

بروتين ليفي Fibrous protein: بروتين تتّصف جزيئاته بأنها طويلة نسبيًا وتركيبها رقيق، وهو بشكل عام غير قابل للذوبان وغير نشط أيضيًا، ووظيفته تركيبيّة. على سبيل المثال، الكيراتين والكولاجين.

الصورة ٢-٥ صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح لليفات الكولاجين (X 17000). يتكوّن كل ليف من العديد من اللوالب الثلاثيّة التي تتموضع موازية لبعضها. الشكل المخطط الظاهر نتيجة للطريقة المنتظمة في ترتيب اللوالب، مع فجوات متتالية بين الجزيئات كما في الشكل ٢-٢٣ (ج) تبدو قاتمة.

الصورة ٢-٦ صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح لألياف الكولاجين عند الإنسان (X 2000). يتكوّن كل ليف من ليفيات عديدة متموضعة بجانب بعضها، وهذه الألياف كبيرة بما يكفي لأن تشاهد بالمجهر الضوئي.



تبدو عديدة البيتيد التي تكوّن جُزيء الكولاجين على شكل لولبي ممتدّ. كل ثالث حمض أميني هو جلايسين.

ثلاثة لوالب ملتفة مرتبطة معًا مكوّنة جُزيء كولاجين. ترتبط هذه الخيوط معًا بروابط هيدروجينيّة وبعض الروابط التساهمية.

تتموضع العديد من هذه اللوالب الثلاثيّة بجانب بعضها، وترتبط ببعضها بواسطة روابط تساهمية بين السلاسل الجانبيّة للأحماض الأمينيّة بالقرب من أطراف عديدة البيتيد. لاحظ أن هذه الروابط غير متوافقة مع بعضها، الأمر الذي يعطي الكولاجين قوّة أكبر.

الشكل ٢-٢٣ الكولاجين. تبدأ الرسوم التخطيطيّة والصور المجهريّة بأحجام صغيرة جدًا، وتصل إلى أحجام أكبر منها. وهكذا، فإن سلاسل عديدة البيتيد الثلاث مثل تلك التي تبدو في (أ) تكوّن جُزيء الكولاجين الظاهر في (ب) والعديد من جزيئات الكولاجين المكوّنة لليف تبدو في (ج).

أسئلة

٦ اذكر **ثلاثة** أوجه تشابه وثلاثة أوجه اختلاف بين السليلوز والكولاجين.

٧ انقل الجدول أدناه على دفترك، واملأ الفراغات في العمود الثاني من الجدول باستخدام المصطلحات الآتية:

محب للماء هيموجلوبين رابطة أيونية
كاره للماء سكر ثنائي رابطة ثنائي الكبريتيد

كوّن مع زميلك جدولاً مماثلاً بجمل مختلفة تعتمد على الموضوعات الواردة في هذا الفصل. طبّقه على طلبة آخرين.

٨ لقد ناقشت مسألة طَيّ البروتين الواردة في بداية الوحدة كيف يحاول العلماء التنبّؤ بالأشكال النهائيّة للبروتينات اعتمادًا على معرفتهم بتراكيبها الأوليّة. ما المعلومات المتوافرة عن الأحماض الأمينيّة والبروتينات التي قد تكون ذات صلة لوضعها في برنامج كمبيوتر يعمل لتكوين هذه التنبّؤات؟

الوصف	المصطلح
مصطلح عن النفور من الماء	
يتفكّك من خلال تفاعل اختزال	
يتكون عن طريق تفاعل تكثيف	
خاصيّة البروتينات الكرويّة	
لها سلسلتا ألفا وسلسلتا بيتا	
يمكن تفكيكها عن طريق تغيّرات في الرقم الهيدروجيني pH	

٢-٥ الماء

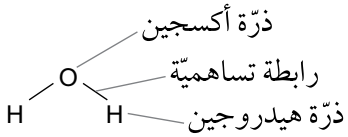
الماء أهمّ مركّب كيميائي حيوي، وبدونه لا توجد حياة على الأرض. وهو مهمّ لسببَين: أولًا، أنه مكوّن رئيسي للخلايا، فعادة ما يمثّل 70%-95% من كتلة الخليّة، و 60% من جسم الإنسان. وثانيًا، أنه يؤمّن بيئة للكائنات الحيّة التي تعيش في الماء، فثلاثة أرباع سطح الأرض مغطّى بالماء.

وبالرغم من أن الماء جُزيء بسيط، إلّا أنه يتّصف ببعض الخصائص المدهشة. على سبيل المثال، يمكن لجزئ الماء أن يوجد في حالة غازية في درجات حرارة الأرض بسبب ارتباطه مع جزئيات ماء أخرى بروابط هيدروجينية. أيضًا الماء سائل يؤمّن وسطًا للجزيئات والأيونات لتختلط، والوسط الذي يمكن أن تتطوّر فيه الحياة.

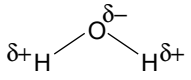
الرابطة الهيدروجينيّة لجزيئات الماء تجعل من الصعب فصل جزيئاته، الأمر الذي يؤثّر على خصائصه الفيزيائيّة. على سبيل المثال: الطاقة اللازمة لكسر الروابط الهيدروجينيّة تجعل من الصعب نسبيًا تحويل الماء من سائل إلى غاز. فإن تحويله أكثر صعوبة من تحويل المركبات المماثلة التي تفتقر إلى الروابط الهيدروجينيّة، مثل كبريتيد الهيدروجين، والذي هو غاز في درجات حرارة الهواء العاديّة.

ثنائيات القطب والروابط الهيدروجينيّة

عندما تتماسك الذرّات في الجزيئات معًا بواسطة الروابط التساهمية، فإن الإلكترونات تتشارك بعضها مع بعض. وكل زوج من الإلكترونات يشكل رابطة تساهمية واحدة. على سبيل المثال: تتشارك كل من ذرّتَي الهيدروجين في جُزيء الماء بزوج من الإلكترونات مع ذرّة أكسجين، مُشكّلة جزيئًا بالصيغة H_2O.

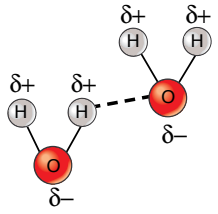


إلّا أنَّه، لا يتم تقاسم الإلكترونات بشكل متساوٍ تمامًا. ففي الماء، تحصل ذرّة الأكسجين على مقدار أكبر بقليل من حصّتها العادلة، وبذلك تمتلك شحنة سالبة جزئية، تكتب δ– (دلتا سالب). وتحصل ذرّات الهيدروجين على مقدار أقلّ بقليل من حصّتها العادلة، لذا تكون شحنتها موجبة جزئية تكتب δ+ (دلتا موجب). ويسمّى هذا التوزيع غير المتكافئ للشحنة ثُنائي القطب.



في الماء، ينجذب الأكسجين سالب الشحنة في جُزيء إلى الهيدروجين موجب الشحنة في الجُزيء الآخر. ويسمّى هذا التجاذب أو الاستقطاب **رابطة هيدروجينيّة Hydrogen bond**.

وتظهر الرابطة الهيدروجينيّة في الرسم التخطيطي تقليديًا على شكل منقّط أو خطّ متقطّع.



مصطلحات علمية

رابطة هيدروجينيّة Hydrogen bond: رابطة ضعيفة نسبيًا تتشكّل من خلال التجاذب (الاستقطاب) بين مجموعة بشحنة موجبة جزئية تحتوي على ذرّة هيدروجين ($H^{\delta+}$) ومجموعة أخرى بشحنة سالبة جزئية تحتوي على ذرة أكسجين ($O^{\delta-}$)، على سبيل المثال بين المجموعتَين $-O^{\delta-}H^{\delta+}-$.

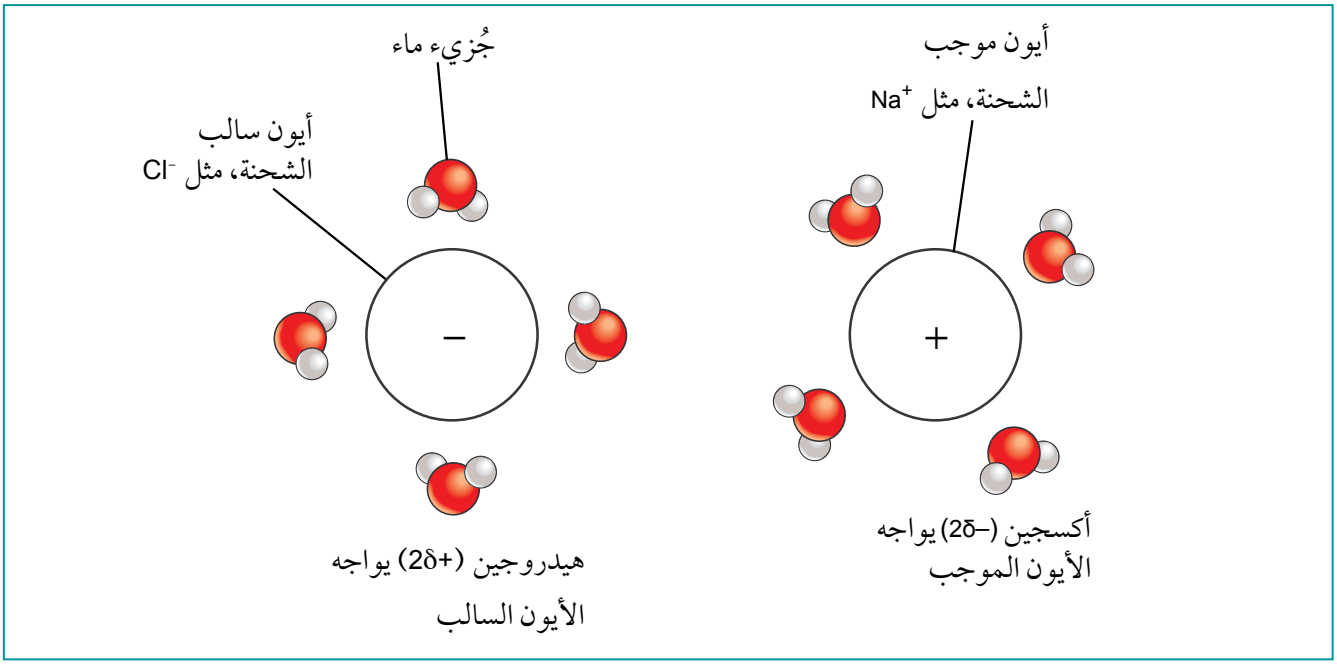
الرابطة الهيدروجينية أضعف بكثير من الرابطة التساهمية، إلّا أن تأثيرها مهم جدًّا.

تحدث ثنائيات القطب في العديد من الجزيئات المختلفة، بخاصة عند وجود مجموعة OH–، CO–، NH–. ويمكن أن تشكّل ثنائيات القطب روابط بين هذه المجموعات، لأن جزء الشحنة السالبة في مجموعة ينجذب إلى جزء الشحنة الموجبة في المجموعة الأخرى. وهذه الروابط مهمة جدًّا في تركيب الكربوهيدرات والبروتينات وخصائصها.

الجزيئات التي تحتوي على مجموعات ثنائيّة القطب، مثل السكّريات، تسمّى جزيئات قطبيّة Polar molecules. تنجذب الجُزيئات القطبيّة إلى جزيئات الماء، لأن جزيئات الماء ثنائيّة القطب. هذه الجزيئات محبّة للماء، وقابلة للذوبان فيه؛ أمّا الجُزيئات التي لا تحتوي على ثنائيات القطب فتسمّى غير قطبيّة، وهي لا تنجذب إلى الماء، وبالتالي فهي كارهة للماء. هذه الخصائص تساعد على تكوّن أغشية الخلايا.

الماء كمذيب

الماء مذيب ممتاز للأيونات والجزيئات القطبيّة (الجزيئات ذات التوزيع غير المتكافئ للشحنة، مثل السكّريات والجليسرول)، وذلك لأن جزيئات الماء تنجذب إلى الأيونات والجزيئات القطبيّة، فتتجمّع حولها وتفصلها عن بعضها (الشكل ٢– ٢٤). وهذا ما يحصل عندما تذوب مادة كيميائيّة في الماء. فبمجرد وجود مادة كيميائيّة في المحلول، يكون لجزيئاتها وأيوناتها الحريّة في التحرك والتفاعل مع المواد الكيميائيّة الأخرى. تحدث معظم العمليات في الكائنات الحيّة في المحلول بهذه الطريقة. وحقيقة أن الجزيئات والأيونات تذوب في الماء، تجعله مثاليًا كوسط ناقل، كما، في الجهاز الدوري والجهاز اللمفاوي في الحيوانات، وفي أوعية الخشب واللحاء في النباتات.



الشكل ٢–٢٤ توزيع جزيئات الماء حول الأيونات في محلول. لاحظ أيّة ذرّات من جزيئات الماء تواجه الأيونات.

كما، تكون الجُزيئات غير القطبيّة مثل الدهون غير قابلة للذوبان في الماء. وإذا أُحيطت بالماء، تُدفع معًا ويتم إبعادها، بواسطة جُزيئات الماء التي تنجذب بعضها إلى بعض. وهذا مهم، خصوصًا في التفاعلات الكارهة للماء وفي تركيب البروتين وتركيب الأغشية، فتزيد من استقرار البروتينات والأغشية.

السعة الحراريّة النوعية العالية للماء

السعة الحرارية Heat capacity للمادة هي كميّة الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارتها بمقدار معيّن. أما السعة الحرارية النوعية للماء فهي كميّة الطاقة الحراريّة اللازمة لرفع درجة حرارة (1 g) من الماء درجة سيليزية واحدة.

للماء سعة حرارية نوعيّة Specific heat capacity عالية نسبيًا، ولرفع درجة حرارة السائل، يجب أن تكتسب الجزيئات طاقة، وأن تتحرّك بالتالي بسرعة كبيرة. لكن الروابط الهيدروجينيّة التي تميل إلى جعل جزيئات الماء تلتصق بعضها ببعض، تجعل من الصعب على الجزيئات التحرّك بحرّية. لذلك يجب كسر هذه الروابط للسماح بحرّية الحركة. وهذا يفسّر سبب الحاجة إلى المزيد من الطاقة لرفع درجة حرارة الماء أكثر ممّا لو لم توجد روابط هيدروجينيّة. فالرابطة الهيدروجينيّة تسمح للماء بتخزين المزيد من الطاقة لتحقيق ارتفاع معيّن في درجة الحرارة، وهو ما كان ليتحقق لولا ذلك.

للسعة الحرارية ذات النوعيّة العالية تأثيرات حيويّة ومهمّة للماء، لأنها تجعل الماء أكثر مقاومة للتغيّرات في درجة الحرارة. وهذا يعني أن درجة الحرارة داخل الخلايا والأجسام تكون أكثر ثباتًا ممّا هي في الهواء المحيط. ونتيجة لذلك، تعمل التفاعلات الحيويّة بمعدّلات ثابتة نسبيًا، وتكون أقلّ عرضة للتأثر سلبًا بدرجات الحرارة القصوى. وهذا يعني أيضًا أن درجة حرارة المسطّحات المائيّة الكبيرة، مثل البحيرات والمحيطات، تكون بطيئة التغيّر مقارنة مع التغيّرات في درجة حرارة الهواء، وتوفر بالتالي مواطن بيئيّة مستقرّة للكائنات الحيّة المائيّة.

الحرارة الكامنة العالية للتبخّر

الحرارة الكامنة للتبخّر هي مقياس للطاقة الحراريّة اللازمة لتبخّر السائل، وتحويله من سائل إلى غاز. وفي حالة الماء، تعني التغيّر من ماء سائل إلى بخار ماء.

للماء حرارة تبخّر كامنة عالية نسبيًا، وهذا نتيجة لسعته الحراريّة النوعيّة العالية. وحقيقة أن جزيئات الماء تميل إلى الالتصاق ببعضها بواسطة روابط هيدروجينيّة، يعني أن كمّيات كبيرة نسبيًا من الطاقة لازمة لحدوث التبخّر، لأنه يجب تفكيك الروابط الهيدروجينيّة لتتمكن الجزيئات من الانتشار على شكل غاز. وتسبّب الطاقة التي تنتقل إلى جزيئات الماء أثناء عملية التبخر بخسارة طاقة مماثلة من محيطها تتدنّى معها الحرارة، فتحصل بالتالي عملية التبريد. وهذا مهمّ وحيويّ إذ يعني أنه يمكن للكائنات الحيّة استخدام التبخر كآليّة تبريد، كما في التعرّق أو اللهاث عند بعض الحيوانات. ويمكن أن تفقد كميّة كبيرة من الطاقة مع فقدان نسبة قليلة من الماء، بما يقلّل من خطر الإصابة بالجفاف. ويمكن أن يكون مهمًا أيضًا في تبريد أوراق النبات أثناء النتح.

والعكس صحيح عندما يتغيّر الماء من سائل إلى جليد، حيث يجب أن تفقد جزيئات الماء كميّة كبيرة نسبيًا من الطاقة، ممّا يقلّل من احتمال تجمّد الماء. وهذه ميزة للكائنات الحيّة المائيّة. كما يجعل من غير المرجّح تجمّد أجسام الكائنات الحيّة، والتي تتّصف بوجود محتوى عال من الماء فيها.

سؤال

(٩) أذكر خاصيّة للماء تسمح بحدوث كل مما يلي في الجزئيات (**أ**، **ب**، **ج**) واشرح أهمية كل منها:

أ. تبريد الجلد أثناء التعرّق.

ب. نقل الجلوكوز والأيونات في الثدييات

ج. تقلّبات درجات الحرارة تكون أقل بكثير في المواطن البيئية المتمثلة بالبحيرات والمحيطات، ممّا هي في المواطن البيئية على اليابسة.

ملخّص

تتكوّن الجُزيئات الحيوية (العضوية) الكبيرة من جُزيئات صغيرة. ترتبط الجزيئات الصغيرة معًا عبر تفاعلات تكثيف، تتضمّن إزالة الماء. تسمّى العمليّة العكسيّة، إضافة الماء، بالتحلّل المائي، وتستخدم لتفكيك الجزيئات الكبيرة مرّة أخرى إلى جزيئات صغيرة. تتكوّن عديدة التسكر من سكّريات أحاديّة، والبروتينات عديدة الببتيد من أحماض أمينيّة، والدهون من أحماض دهنيّة وجليسرول. تتكوّن عديدة التسكر والبروتينات من تكرار وحدات بنائية متماثلة أو متشابهة تسمّى مونومرات، وهي بالتالي بوليمرات. وهذه تتجمّع لتكوّن جزيئات عملاقة تسمّى الجزيئات الكبيرة.

تمثل الكربوهيدرات بالصيغة العامة $C_x(H_2O)_y$، وتشمل السكّريات الأحادية والسكّريات الثنائيّة وعديدة التسكر. ترتبط السكّريات الأحاديّة بروابط جلايكوسيديّة لتكوين السكّريات الثنائيّة وعديدة التسكر. السكّريات الأحاديّة (ومثالها سكر الجلوكوز) والسكّريات الثنائيّة (ومثالها سكر السكّروز) شديدة القابليّة للذوبان في الماء، وتسمّى السكّريات (حلوة المذاق). وهي مصادر مهمّة للطاقة في الخلايا، ووحدات بناء مهمّة للجزيئات الكبيرة مثل عديدة التسكر.

قد تكون السكّريات على شكل سلاسل مستقيمة أو تراكيب حلقيّة، وقد توجد في أشكال مختلفة من النظائر مثل ألفا(α)- جلوكوز وبيتا-جلوكوز.

يمكن استخدام كاشف بندكت للكشف عن السكّريات المختزلة والسكّريات غير المختزلة، وهذا الاختبار شبه كمّي.

تشمل عديدة التسكر النشا والجلايكوجين والسليلوز. النشا مركّب تخزين الطاقة في النباتات. يتكوّن النشا من نوعَين من الجزيئات، أميلوز وأميلوبكتين. ويتكوّن كلاهما من ألفا(α)- جلوكوز. الأميلوز جُزيء غير متفرع، بينما الأميلوبكتين تركيب متفرع.

الجلايكوجين مركّب تخزين الطاقة في الحيوانات. وهو يتكوّن من ألفا(α)- جلوكوز. يشبه بتركيبه تركيب أميلوبكتين لكن مع مزيد من التفرع. السليلوز بوليمر من جزيئات بيتا(β)- جلوكوز. تتجمّع الجزيئات معًا بروابط هيدروجينيّة لتكوين ألياف قويّة ميكانيكيًا ذات قوّة شدّ عالية، وتوجد في جدران الخلايا النباتيّة.

الدهون مجموعة متنوّعة من المواد الكيميائيّة، وأكثرها شيوعًا الدهون الثلاثيّة (الدهون والزيوت). تتكوّن الدهون الثلاثيّة بالتكثيف بين ثلاثة جزيئات من الأحماض الدهنيّة والجليسرول. تربط روابط الإستر الأحماض الدهنيّة بالجليسرول. الدهون الثلاثيّة كارهة للماء، ولا تختلط معه، وهي بمثابة مركّبات تخزين الطاقة، بالإضافة إلى وظائف أخرى مثل العزل للحرارة والطفو (العوم) في الثدييات البحريّة. تحتوي الدهون المفسفرة على رأس فوسفات محبّ للماء، وذيلَين من الأحماض الدهنيّة كارهَين للماء، وهذا مهمّ في تكوين الأغشية.

البروتينات سلاسل طويلة من الأحماض الأمينيّة تنطوي في أشكال محددة. ترتبط الأحماض الأمينيّة معًا بروابط ببتيديّة.

تحتوي البروتينات على أربعة مستويات من التركيب: أولي وثانوي وثالثي ورابعي. التركيب الأساسي عبارة عن سلسلة من الأحماض الأمينيّة في البروتين. وهذ يحدّد إلى حدّ كبير الطريقة التي ينطوي بها، وبالتالي شكله ثلاثي الأبعاد ووظيفته.

يتشكل التركيب الثانوي نتيجة للروابط الهيدروجينيّة بين الأحماض الأمينيّة ومن الأمثلة عليها ألفا(α)- اللولبي وصفيحة بيتا (β)- المطوية. المزيد من انشاء البروتينات يكوّن التركيب الثالثي، وغالبًا ما يتكوّن البروتين من أكثر من سلسلة عديد الببتيد. يكوّن الارتباط بين السلاسل المختلفة التركيب الرابعي للبروتين. التركيبان الثالثي والرابعي محدّدان جدًا، ومثبّتان في مكانهما بروابط هيدروجينيّة، وروابط ثنائي الكبريتيد (وهي تساهمية) وروابط أيونيّة والتفاعلات الكارهة للماء.

قد تكون البروتينات كرويّة أو ليفية. من الأمثلة على البروتين الكروي الهيموجلوبين. معظم البروتينات الكرويّة قابلة للذوبان ولها أدوار وظيفيّة. يحتوي الهيموجلوبين على مجموعة غير بروتينيّة (مساعدة) وهي مجموعة الهيم، والتي تحتوي على الحديد، وترتبط مع الأكسجين. جزيئات البروتين الليفي على سبيل المثال الكولاجين الذي يكون خيوطًا طويلة. البروتينات الليفيّة غير قابلة للذوبان، ولها دور تركيبي. يتّصف الكولاجين بقوّة شدّ عالية، وهو البروتين الحيواني الأكثر شيوعًا، إذ يوجد في مجموعة واسعة من الأنسجة.

تابع

الرابطة الهيدروجينيّة بين جزيئات الماء تكسبه خصائص فريدة.
يكون الماء سائلًا في معظم درجات الحرارة على سطح الأرض. وللماء سعة حراريّة نوعيّة عالية، تجعل الماء السائل مقاومًا نسبيًا للتغيّرات في درجة الحرارة. يعمل الماء كمذيب للأيونات والجزيئات القطبيّة، ويؤدّي إلى تجمّع الجزيئات غير القطبيّة معًا. للماء درجة حرارة كامنة للتبخّر عالية نسبيًا، ما يؤدي إلى حدوث عملية التبريد.

أسئلة نهاية الوحدة

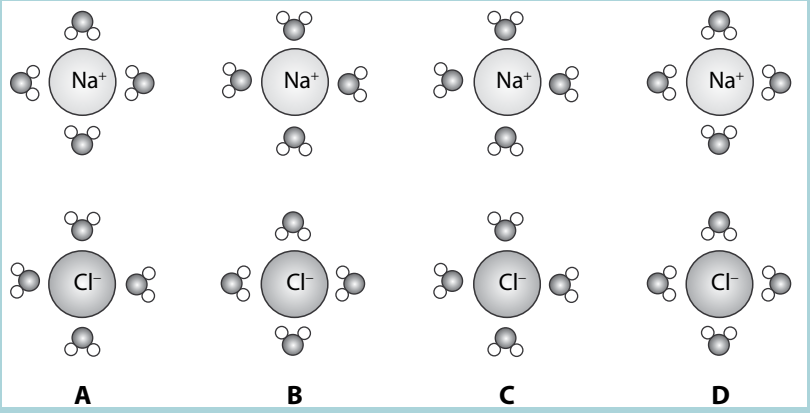
١ ما المصطلح المناسب الذي يصف كلًّا من الكولاجين والهيموجلوبين؟

أ. الإنزيمات
ب. البروتينات الليفيّة
ج. البروتينات الكرويّة
د. الجزيئات الكبيرة

٢ ما نوع التفاعل الكيميائي الذي يتضمّن تكوين روابط ثنائي الكبريتيد؟

أ. التكثيف
ب. التحلّل المائي
ج. الأكسدة
د. الاختزال

٣ أيّ رسم تخطيطي يمثّل أفضل ترتيب لجزيئات الماء حول أيونات الصوديوم (Na+) والكلوريد (Cl-) في المحلول؟



تابع

٤ انقل الجدول التالي إلى دفترك وأكمله بوضع علامة «✓» أو «✗» في المربع الصحيح.

	بروتين كروي (مثال هيموجلوبين)	بروتين ليفي (مثال كولاجين)	سكّر أحادي	سكّر ثنائي	جلايكوجين	نشا	سليلوز	دهون
مونومر								
بوليمر								
جُزيء كبير								
عديد التسكُّر								
يحتوي على وحدات بنائية تشكل سلاسل متفرعة								
يحتوي على أحماض أمينيّة								
مكوّن من أحماض دهنية وجليسرول								
يحتوي على روابط جلايكوسيديّة								
يحتوي على روابط ببتيديّة								
إحدى وظائفه الرئيسيّة أنه يعمل مخزنًا للطاقة								
غير قابل للذوبان في الماء عادة								
له وظيفة تركيبيّة عادة								
يمكن أن يكوّن تراكيب بشكل لولبي أو بشكل لولبي جزئي.								
يحتوي على كربون وهيدروجين وأكسجين فقط								

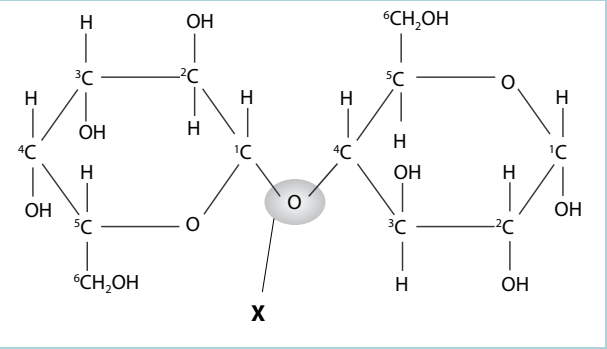
تابع

٥ انقل الجدول إلى دفترك وأكمل كلا العمودَين. يبيّن الجدول بعض وظائف البروتينات، مع أمثلة من البروتينات التي تؤدّي هذه الوظائف.

الوظيفة	مثال
تركيبيّة	1 2
إنزيم	
	إنسولين
	هيموجلوبين وميوجلوبين
دفاع	
	أكتين وميوسين
تخزين	

٦ اذكر **ثلاث** خصائص للسكّريات الأحاديّة.

٧ يبيّن الرسم التخطيطي سكّرًا ثنائيًا يسمّى سكر لاكتوز. ذرّات الكربون مرقّمة. اللاكتوز سكّر مختزل يوجد في الحليب، وهو مكوّن من تفاعل بين سكّرَين أحاديَين الجلوكوز والجالاكتوز.



أ. اقترح **وظيفتَين** للاكتوز.

ب. ما الاسم الذي يطلق على التفاعل بين السكّرَين الأحاديَين الذي ينتج منه تكوين سكر اللاكتوز؟

ج. حدّد الرابطة X الموضّحة في الرسم التخطيطي.

د. ارسم رسومًا تخطيطيّة تبيّن تراكيب جزيئات منفصلة من سكر الجلوكوز وسكر الجالاكتوز.

هـ. باستخدام الرسم التخطيطي، هل يستخدم الشكل ألفا أو بيتا من سكر الجلوكوز لتكوين سكر اللاكتوز. اشرح إجابتك.

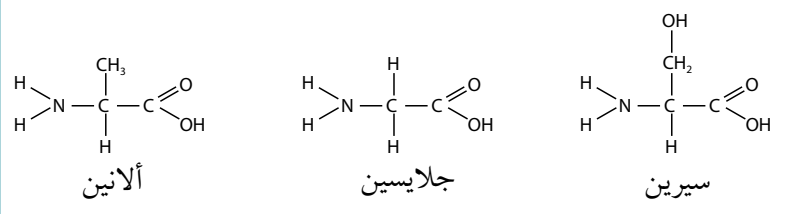
و. السكّروز سكّر ثنائي مثل سكر اللاكتوز. إذا أعطيت محلولًا من سكر اللاكتوز، ومحلولًا من سكر السكّروز، فاذكر باختصار كيف يمكنك التمييز بينهما.

أفعال إجرائية

اشرح Explain: اعرض الأهداف أو الأسباب / اجعل العلاقات بين الأشياء واضحة / توقّع لماذا و/ أو كيف وادعم إجابتك بأدلّة ذات صلة.

تابع

٨ **أ.** يبيّن الرسم التخطيطي الآتي الصيغ التركيبية لثلاثة أحماض أمينيّة.



١. ارسم رسمًا تخطيطيًا يبيّن الصيغة التركيبية لببتيد ثلاثي بالتسلسل الآتي: ألانين – جلايسين – سيرين

٢. ما اسم تسلسل الأحماض الأمينيّة في البروتين؟

٣. ما المادة، باستثناء الببتيد الثلاثي، التي تتكوّن عندما ترتبط هذه الأحماض الأمينية معًا؟

٤. ارسم حلقة حول ذرّة أو مجموعة ذرّات تكوّن مجموعة R يمكن أن ترتبط برابطة هيدروجينيّة مع مجموعة R أخرى.

٥. ارسم حلقة حول الرابطة (الروابط) الببتيديّة التي رسمتها في الرسم التخطيطي في الجزء (١)، وسمّها.

٦. ارسم حلقة حول مجموعة الذرّات التي ترتبط برابطة هيدروجينيّة مع مجموعة – CO – في ألفا (α)-لولبي. سمّ هذه المجموعة A.

ب. اذكر ثلاث ميزات مشتركة بين ألفا (α)-لولبي وصفائح بيتا (β).

ج. يمكن وصف البروتين بأنه بوليمر. اذكر معنى المصطلح **بوليمر**.

د. يمثل (س) و (ص) حمضَين أمينيَّين مختلفَين.

١. اكتب تسلسلات جميع الببتيدات الثلاثية المحتملة التي يمكن أن تتكوّن من هذَين الحمضَين الأمينيَّين فقط.

٢. انطلاقًا من إجابتك على (د١)، ما صيغة حساب عدد الببتيدات الثلاثية المختلفة التي يمكن أن تتكوّن من الحمضَين الأمينيَّين المختلفَين فقط؟

تابع

٩ انقل الرسمَين التخطيطيَّين A و B.

أ. سمِّ الرسمَين، محدّدًا أيّهما، يمثّل جزيء دهن وأيّهما يمثّل جُزيء دهن مفسفر.

ب. ١. بالنسبة إلى الجُزيء A، وضّح، على الرسم التخطيطي، أين يمكن أن يحدث التحلّل المائي إذا تمّ هضم الجُزيء

٢. سمّ نواتج الهضم.

ج. لكل جُزيء رأس وذيول مرتبطة به. سمّ رأس الجُزيء B لتحدّد طبيعته الكيميائيّة.

د. أيّ من الجزيئَين قابل للذوبان في الماء؟ اشرح إجابتك.

هـ. اذكر وظيفة واحدة لكل جُزيء.

١٠ أ. انقل الجدول إلى دفترك وأكمله لتلخيص بعض الاختلافات بين الكولاجين والهيموجلوبين.

	كولاجين	هيموجلوبين
١		
٢		
٣		
٤		
٥		

استخدم ما يأتي لإرشادك.

الصف ١ اذكر ما إذا كان كرويًا أم ليفيًا.

الصف ٢ اذكر ما إذا كان حلزونًا بشكلٍ كامل أم حلزونًا بشكلٍ جزئي.

الصف ٣ اذكر نوع اللولب.

الصف ٤ اذكر ما إذا كانت توجد مجموعة بديلة أم لا.

الصف ٥ اذكر ما إذا كان قابلاً للذوبان في الماء أم لا.

ب. اذكر **طريقة** يرتبط فيها تركيب الهيموجلوبين بوظيفته.

ج. للهيموجلوبين تركيب رابعي. ماذا يعني هذا؟

د. اذكر خمسة عناصر توجد في الهيموجلوبين.

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول كالآتي:

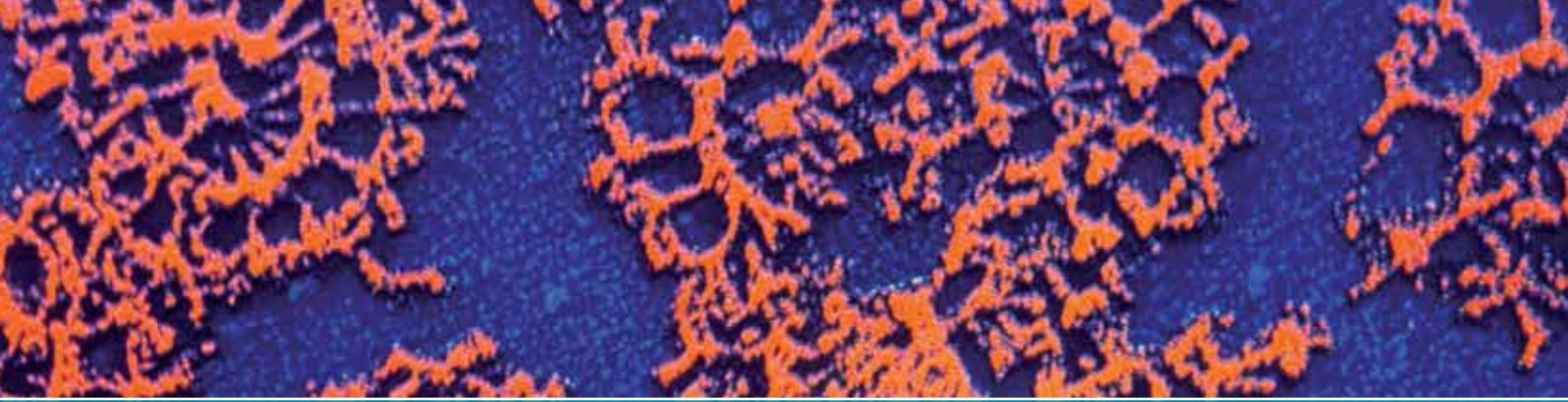
أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أصف اختبار بندكت شبه كمّي على محلول سكر مختزل عن طريق معايرة الاختبار، ويستخدم النتائج (الزمن لبدء تغيير اللون أو المقارنة بمعايير اللون) لتقدير التركيز.	٢-٢			
أصف اختبارًا للكشف عن السكريات غير المختزلة باستخدام التحلّل المائي الحمضي ومحلول بندكت.	٢-٢			
أصف وأرسم الأشكال الحلقيّة لكل من سكر ألفا جلوكوز وبيتا جلوكوز.	٢-٢			
أعرّف المصطلحات الآتية: مونومر، بوليمر، جزيء كبير، سكر احادي، سكر ثنائي، عديد التسكر.	١-٢			
أذكر دور الروابط التساهمية في ربط الجزيئات الصغيرة معًا لتكوين البوليمرات.	٢-٢			
أذكر أنّ الجلوكوز والفركتوز والمالتوز سكريات مختزلة وأنّ السكروز سكر غير مختزل.	٢-٢			
أصف تكوين الرابطة الجلايكوسيديّة عن طريق التكثيف، مع الإشارة إلى السكريات الثنائية، بما في ذلك سكر السكروز و عديدة التسكر .	٢-٢			
أصف تكسّر الرابطة الجلايكوسيديّة في عديدة التسكر والسكريات الثنائية عن طريق التحلّل المائي، مع الإشارة إلى اختبار السكر غير المختزل.	٢-٢			
أصف التركيب الجزيئي لعديد التسكر النشا (أميلوز وأميلوبكتين) والجلايكوجين ويربط تركيبهما بوظائفهما في الكائنات الحيّة.	٢-٢			
أصف التركيب الجزيئي لعديد التسكر السليلوز ويبيّن كيف يساهم ترتيب جزيئات السليلوز في وظيفة جدران الخلايا النباتيّة.	٢-٢			

تابع

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أذكر أنّ الدهون الثلاثيّة جزيئات غير قطبيّة كارهة للماء، وأصف التركيب الجزيئي للدهون الثلاثيّة بالإشارة إلى الأحماض الدهنيّة (المشبعة وغير المشبعة) والجليسرول وتكوين روابط الإستر.	٢-٣			
أربط التركيب الجزيئي للدهون الثلاثيّة بوظائفها في الكائنات الحيّة.	٢-٣			
أصف التركيب الجزيئي للدهون المفسفرة مع الإشارة إلى رؤوس الفوسفات (المحبة) للماء (القطبيّة) وذيول الأحماض الدهنيّة الكارهة للماء (غير القطبيّة).	٢-٣			
أصف وأرسم: • التركيب العام للحمض الأميني • تكوين وكسر الرابطة الببتيدية.	٢-٤			
أشرح معنى المصطلحات الآتية: التركيب الأولي، والتركيب الثانوي، والتركيب الثالثي، والتركيب الرابعي للبروتينات.	٢-٤			
أصف أنواع الروابط التي تحافظ على شكل جزيئات البروتين: • التفاعلات الكارهة للماء • الرابطة الهيدروجينيّة • الرابطة الأيونيّة • الرابطة التساهمية بما في ذلك روابط ثنائي الكبريتيد.	٢-٤			
يذكر أنّ البروتينات الكرويّة قابلة للذوبان بشكل عام، ولها أدوار وظيفية، وأنّ البروتينات الليفيّة غير قابلة للذوبان بشكل عام، ولها أدوار تركيبيّة.	٢-٤			
أصف تركيب جزيء الهيموجلوبين كمثال على بروتين كروي بما في ذلك تكوين تركيبه الرابعي من سلسلتي ألفا (جلوبين ألفا) وسلسلتي بيتا (جلوبين بيتا) ومجموعة هيم.	٢-٤			
أربط تركيب الهيموجلوبين بوظيفته بما في ذلك أهميّة الحديد في مجموعة الهيم.	٢-٤			

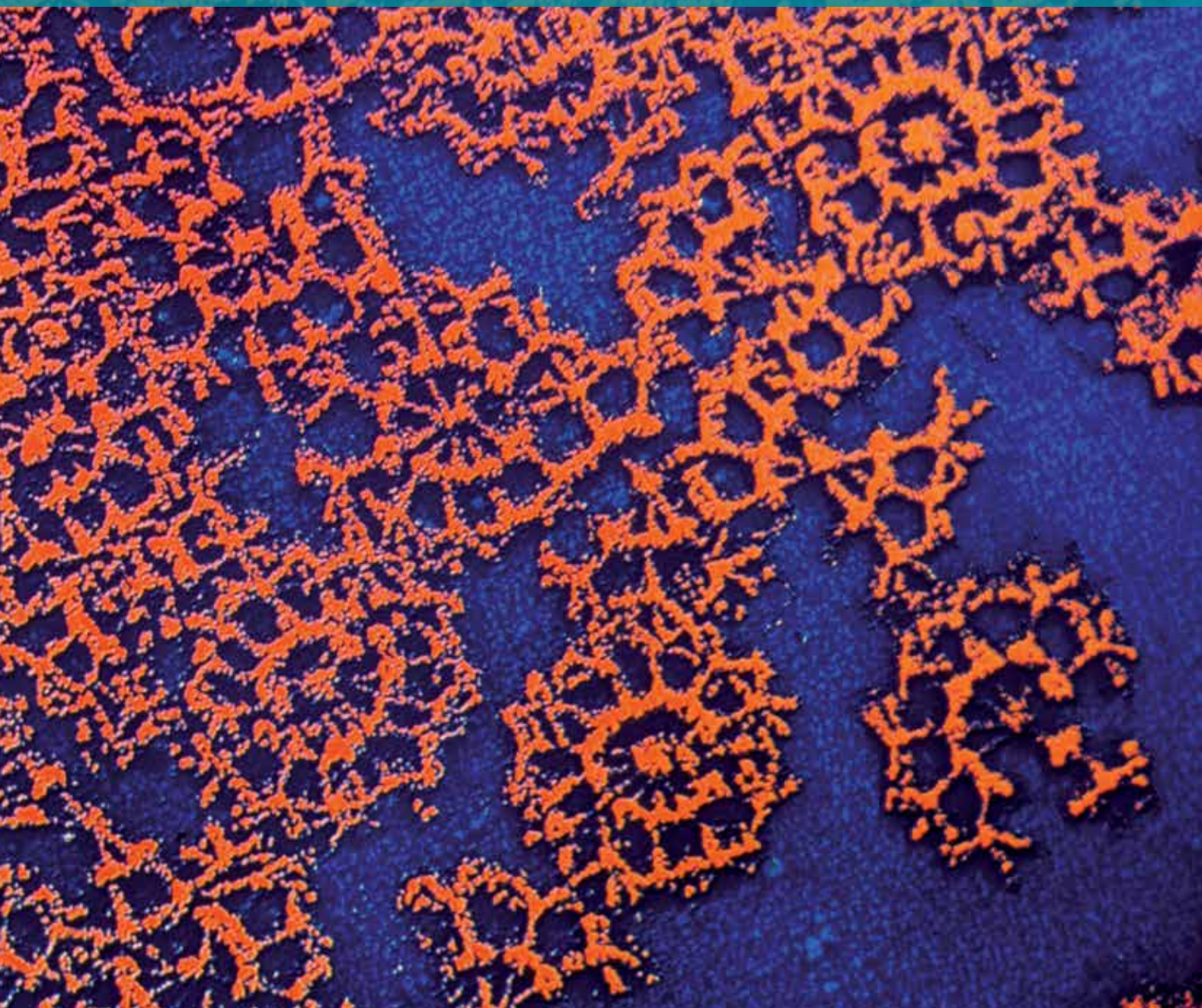
تابع

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أصف تركيب جزيء الكولاجين كمثال على البروتين الليفي، وترتيب جزيئات الكولاجين لتكوين ألياف الكولاجين.	٢-٤			
أربط تركيب جزيئات الكولاجين وألياف الكولاجين بوظيفتها.	٢-٤			
أشرح كيفيّة تكوين الروابط الهيدروجينيّة بين جزيئات الماء ويربط خصائص الماء بأدواره في الكائنات الحيّة، مقتصرًا على: الإذابة والسعة الحراريّة النوعيّة العالية والحرارة الكامنة للتبخّر.	٢-٥			



الوحدة الثالثة

الإنزيمات Enzymes



أهداف التعلّم

٣-١ يذكر أنّ الإنزيمات بروتينات كرويّة تحفّز التفاعلات داخل الخلايا أو تفرز لتحفّز التفاعلات خارج الخلايا.

٣-٢ يشرح طريقة عمل الإنزيمات من حيث الموقع النشط، ومعقد الإنزيم - المادة المتفاعلة، وتخفيض طاقة التنشيط وتخصصية الإنزيمات، وفقًا لفرضية التلاؤم المستحث.

٣-٣ يشرح كيف يستقصي سير التفاعلات المحفّزة بالإنزيم عن طريق قياس معدل تكوّن النواتج باستخدام الكتاليز ومعدل اختفاء المادّة المتفاعلة باستخدام الأميليز.

٣-٤ يلخّص استخدام مقياس الألوان لقياس سير التفاعلات المحفّزة بالإنزيم التي تتضمّن تغيّرات في اللون.

٣-٥ يستقصي ويشرح تأثير العوامل الآتية في معدل التفاعلات المحفّزة بالإنزيم:

- تركيز الإنزيم
- تركيز المادة المتفاعلة
- تركيز المثبّط.

٣-٦ يشرح أنّ أقصى سرعة للتفاعل (V_{max}) تستخدم لاشتقاق ثابت ميكاليليس و مينتين (K_m)، الذي يستخدم لمقارنة تلاؤم الإنزيمات المختلفة مع موادها المتفاعلة.

٣-٧ يشرح تأثير المثبّطات العكسيّة، التنافسيّة وغير التنافسيّة، على نشاط الإنزيمات.

٣-٨ يصف الطرق المختلفة للنشاط بين الإنزيم المثبّت بالألجينات (أو الصمغ الهلامي الألجيني) والإنزيم نفسه الحرّ في محلول، ويذكر ميزات استخدام الإنزيمات المثبّتة.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

- الإنزيمات عوامل حفّازة. تحقّق من فهمك لمصطلح العامل الحفّاز بذكر خاصّيتَين مهمّتَين للعوامل الحفّازة.
- معظم الإنزيمات بروتينات. انطلاقًا ممّا درست عن البروتينات في الوحدة الثانية، ناقش خصائص البروتينات التي تجعلها مناسبة لتعمل كعوامل حفّازة في الخلايا الحيّة.

العلوم ضمن سياقها

أفضل وسائل الدفاع، الهجوم

تمتلك خنفساء بومبارديه (الخنفساء القاذفة) Bombardier beetle استراتيجيّة دفاع مثيرة وناجحة تحميها من الحيوانات المفترسة مثل العناكب والضفادع، الصورة ٣-١، وتعتمد على السرعات الفائقة للتفاعلات المحفّزة بالإنزيم. فعندما تتعرّض لتهديد من مفترس، تطلق من مؤخرة بطنها رذاذًا كيميائيًا حارًا جدًا، تقذف به مهاجمها، مترافقًا مع صوت قرقعة مرتفع. كما يمكن للخنفساء أن تدير مؤخرة بطنها لترشّ رذاذها بدقة في كل الاتجاهات. وأثناء ترنّح الحيوان المفترس نتيجة هذا الهجوم المفاجئ، تهرب الخنفساء.

ما العمل الذي تقوم به الإنزيمات في حالة الدفاع هذه؟ يوجد في جوف هذه الخنفساء حُجرة للمزج الكيميائي، يطلق في داخلها بيروكسيد الهيدروجين والهيدروكينون. ويعمل إنزيما الكتاليز والبيروكسيديز الموجودان في الحجرة على تسريع تفاعلات هذَين المركّبَين بملايين المرات. ونتيجة للتفاعل، يتفكك بيروكسيد الهيدروجين إلى أكسجين وماء، حيث يستخدم الأكسجين لأكسدة الهيدروكينون إلى كينون. وتتصف هذه التفاعلات بكونها عنيفة، تطلق قدرًا كبيرًا من الحرارة التي تبخّر 20 % تقريبًا من السائل الناتج. وفي غضون أجزاء من الثانية، وبشكل مباغت، يتمّ إطلاق مزيج من الغاز والسائل المغلي (الحار جدًا) ذي الرائحة الكريهة، عبر صمّام فتحة خاصة.

سؤال للمناقشة

- هناك من يقول إن إجراء بحث في آليّة الدفاع عند خنفساء بومبارديه مضيعة للوقت وهدرًا للمال. برّر أهمّية إجراء الأبحاث في ذلك.

الصورة ٣-١ خنفساء بومبارديه ترش رذاذًا كيميائيًا حارّا جدًّا على أصبع أحد الباحثين.

٣-١ ما هو الإنزيم؟

الإنزيم Enzyme عامل حفّاز حيوي. هو عامل حفّاز لأنه يسرع التفاعل الكيميائي من دون أن يتغير في نهاية التفاعل، ويُعدّ حيويًا لأن كل الإنزيمات تتكون من جزيئات حيوية، ومعظمها بروتينات. في هذه الوحدة سوف نتطرق فقط إلى الإنزيمات البروتينية.

ومن الخصائص المهمّة أيضًا:

- الإنزيمات البروتينية كرويّة، تنطوي على هيئة أشكال محددة.
- تحفز الإنزيمات معظم تفاعلات الأيض في الكائنات الحية، لذا فالإنزيمات ضروريّة للحياة.
- تنتهي كثير من أسماء الإنزيمات بالمقطع (-يز) – ase، على سبيل المثال أميليز Amylase سينثيز ATP Synthase.

مصطلحات علمية

الإنزيمات Enzymes: هي جزيئات غالبًا بروتينية، ينتجها الكائن الحي وتعمل كعوامل حفّازة حيوية في التفاعل الكيميائي عن طريق خفض طاقة التنشيط.

سؤال

١ استقصى أحد الطلبة تأثير عدة عوامل حفّازة مختلفة على معدل تحلل بيروكسيد الهيدروجين إلى ماء وأكسجين. يُحكم على سرعة التفاعل من خلال كمية الرغوة التي شكلتها محتويات الأنبوبة عند إضافة عامل حفّاز (الأكسجين هو نتاج التفاعل ويشكل فقاعات).

استخدم الطالب بُرادة الحديد وثاني أكسيد المنغنيز كعوامل حفّازة غير عضويّة، واستخدم إنزيم الكتاليز المحضر صناعيًا (متوافر تجاريًا)، وقطعًا من الكبد ومن درنة البطاطس، وكلاهما يحتويان على الكتاليز الذي يحفز تفكيك بيروكسيد الهيدروجين.

أظهرت النتائج ما يأتي:

- إنزيم الكتاليز والكبد والبطاطس أكثر كفاءة بكثير من العوامل الحفّازة غير العضويّة.
- إنزيم الكتاليز النقي أكثر كفاءة من الكبد والبطاطس.
- الكبد أكثر كفاءة من البطاطس.
- الكبد المطحون أكثر كفاءة من قطع الكبد.

فسِّر نتائج الطالب.

الإنزيمات داخل الخلية والإنزيمات خارج الخلية

ليست جميع الإنزيمات تعمل داخل الخلايا، فالتي تعمل منها داخل الخلايا تسمّى إنزيمات داخل خلوية Intracellular؛ أمّا الإنزيمات التي تفرزها الخلايا لتحفز تفاعلات خارج الخلايا فتسمّى إنزيمات خارج خلوية Extracellular. الإنزيمات الهاضمة في القناة الهضمية جميعها إنزيمات خارج خلوية. وبعض الكائنات الحيّة تفرز إنزيمات إلى خارج أجسامها، فالفطريات على سبيل المثال، تفرز الإنزيمات إلى خارج أجسامها لهضم الطعام في الوسط الغذائي الذي تنمو عليه.

٣-٢ طريقة عمل الإنزيمات

تكون جزيئات الإنزيمات ملتفة في أشكال دقيقة ثلاثيّة الأبعاد، كما هو الحال في جميع البروتينات الكرويّة. ومجموعات R المحبة للماء، وهي السلاسل الجانبيّة الموجودة على السطح الخارجي للجزيء، تجعل هذه الجزيئات قابلة للذوبان في الماء في السيتوبلازم.

فرضيّة التلاؤم المستحث

لقد درست في الصف التاسع فرضية القفل والمفتاح Lock-and-key hypothesis التي تصف كيفية تفاعل الإنزيم مع المادة المتفاعلة. ووفقًا لهذه النظرية، فإن **الموقع النشط Active site** للإنزيم له شكل محدد، يتناسب تمامًا مع المادة المتفاعلة ليسمح بارتباطها، وهذا يعني أن الإنزيم يتّصف بالتخصصيّة.

في عام 1959 م، عُدّلت فرضية القفل والمفتاح في ضوء الدليل على أن جزيئات الإنزيم أكثر مرونة ممّا تقترحه فرضيّة القفل والمفتاح. تُعرف الفرضيّة الحديثة لطريقة عمل الإنزيم باسم **فرضيّة التلاؤم المستحث Induced-fit hypothesis**، والتي تفترض أنه يمكن للإنزيم، وأحيانًا للمادة المتفاعلة، أن يغيّر شكله تغييرًا طفيفًا، عند دخول المادة المتفاعلة إلى الإنزيم، لضمان التلاؤم المثالي؛ الأمر الذي يجعل نشاطه أكثر كفاءة. وفي الموقع النشط، عندما يرتبط الإنزيم بالمادة المتفاعلة، تتكوّن روابط مؤقتة بين المادة المتفاعلة وبعض مجموعات R من الأحماض الأمينيّة في الإنزيم، فينتج معقد الإنزيم-المادة المتفاعلة.

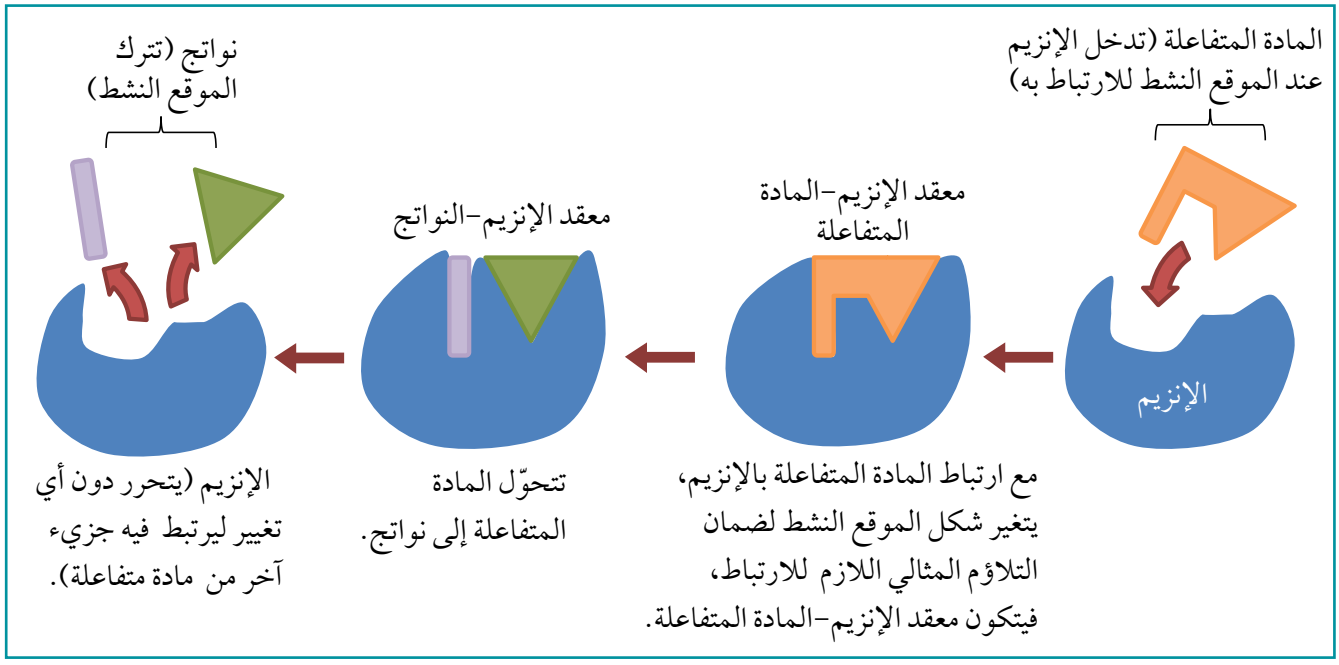
مصطلحات علمية

الموقع النشط Active site: منطقة على جُزيء الإنزيم ترتبط فيها المادة المتفاعلة.

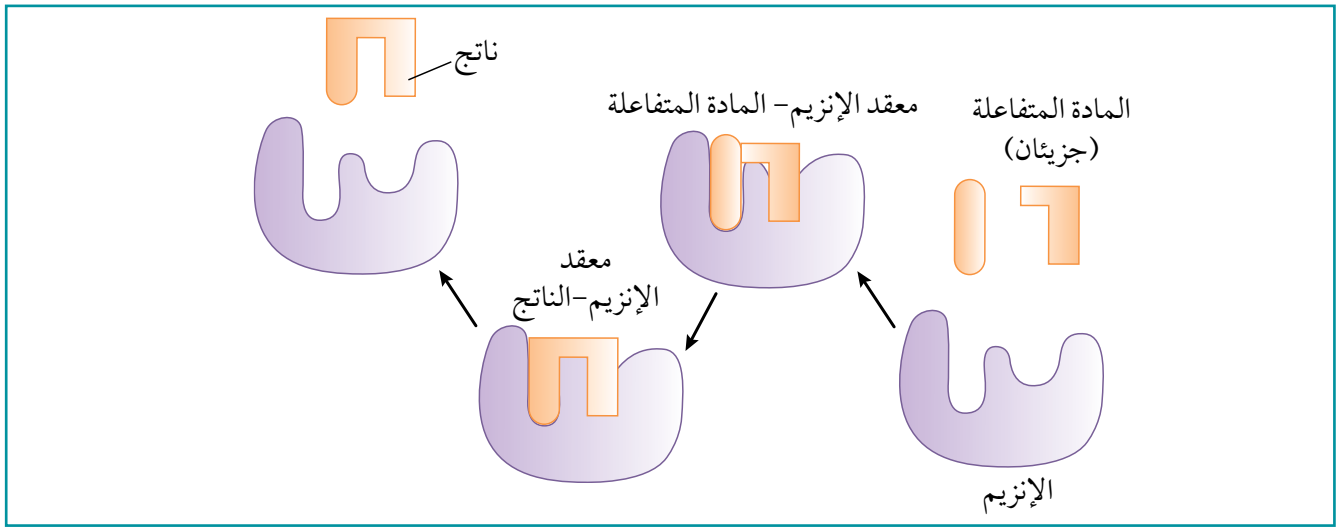
فرضيّة التلاؤم المستحث Induced-fit hypothesis: فرضيّة في عمل الإنزيم تنصّ على أن للمادة المتفاعلة شكلًا متمّمًا لشكل الموقع النشط في الإنزيم، لكنه لا يلائمه كليًّا أو يمكن أن تغيّر المادة المتفاعلة شكلها أحيانًا لتحقيق التلاؤم المثالي، من دون أن يفقد الإنزيم تخصصيّته.

يمكن أن يحفز الإنزيم تفاعلًا يتفكك فيه جُزيء المادة المتفاعلة إلى جزيئَين أو أكثر حسب فرضية التلاؤم المستحث، كما يبيّن الشكل ٣-١. وقد يحفز أيضًا تفاعلًا يرتبط فيه جزيئان معًا، ومثال على ذلك تكوين ثنائي الببتيد من حمضَين أمينيَّين، كما هو موضّح في الشكل ٣-٢. يبيّن هذا الرسم أيضًا معقد الإنزيم-الناتج الذي يتكوّن لمدّة قصيرة قبل تحرّر الناتج. وعندما يكتمل التفاعل، يترك الناتج الموقع النشط، من دون أن يحدث أي تغيّر في الإنزيم، بحيث يصبح متاحًا الآن ليرتبط فيه أي جُزيء آخر من مادة متفاعلة.

يمكن أن يكون معدل التفاعل الكلي مرتفعًا جدًا. على سبيل المثال: يمكن أن يرتبط جُزيء إنزيم الكتاليز مع جزيئات بيروكسيد الهيدروجين ويفكّكها إلى ماء وغاز الأكسجين، مطلقًا النواتج بمعدل 10 ملايين جُزيء في الثانية.



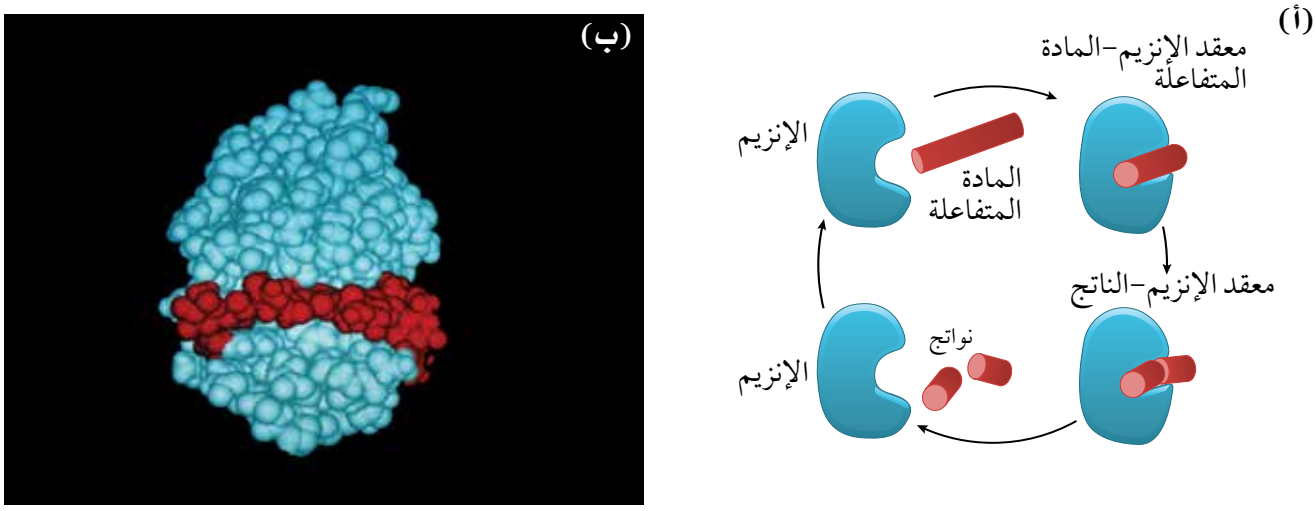
الشكل ٣-١ كيفية تحفيز الإنزيم تفكيك جزيء المادة المتفاعلة إلى جزيئَين ناتجين.



الشكل ٣-٢ رسم تخطيطي يوضح كيفية تحفيز الإنزيم ارتباط جزيئَين معًا. لاحظ أن الإنزيم قد تغير شكله قليلًا عند ارتباطه بالمادة المتفاعلة، ولكنه يعود إلى شكله السابق بعد تحفيز التفاعل.

مثال الليزوزيم

يظهر تفاعل المادة المتفاعلة مع الموقع النشط، بما في ذلك التغيير الطفيف في شكل الإنزيم (التلاؤم المستحث) الناتج من ارتباط المادة المتفاعلة، بوضوح من خلال إنزيم الليزوزيم Lysozyme. يتشكّل الليزوزيم في الدموع واللعاب وإفرازات أخرى، وهو يعمل كدفاع طبيعي ضد البكتيريا، وذلك عن طريق تفكيك سلاسل الببتيدوجلايكان Peptidoglycan المكونة لجدران خلايا البكتيريا. لقد تم توضيح التركيب الثالثي للإنزيم في الوحدة الثانية. يبيّن الشكل ٣-٣أ تفكيك سلاسل الببتيدوجلايكان في جدار خليّة البكتيريا في الموقع النشط لإنزيم الليزوزيم.



الشكل ٣-٣ يفكّك الليزوزيم في تفاعل تحلل مائي سلسلة ببتيدوجلايكان. (أ) يبيّن الرسم التخطيطي تكوين معقد الإنزيم- المادة المتفاعلة ومعقد الإنزيم- الناتج وتحرير النواتج. (ب) يبيّن النموذج الفراغي ارتباط المادة المتفاعلة بالموقع النشط للإنزيم. المادة المتفاعلة سلسلة ببتيدوجلايكان تنزلق بدقة في التجويف (الموقع النشط)، وتتفكك بفعل الإنزيم. تعطي العديد من هذه السلاسل صلابة لجدران الخلايا البكتيريّة؛ وعندما تتفكك السلاسل تفقد الجدران صلابتها وتنفجر الخليّة البكتيرية بالإسموزيّة.

الإنزيمات تخفض طاقة التنشيط

تزيد الإنزيمات من معدل حدوث التفاعلات الكيميائيّة. وبدون الإنزيمات ستحدث معظم التفاعلات في الخليّة الحيّة ببطء شديد لدرجة يصعب معها وجود الحياة.

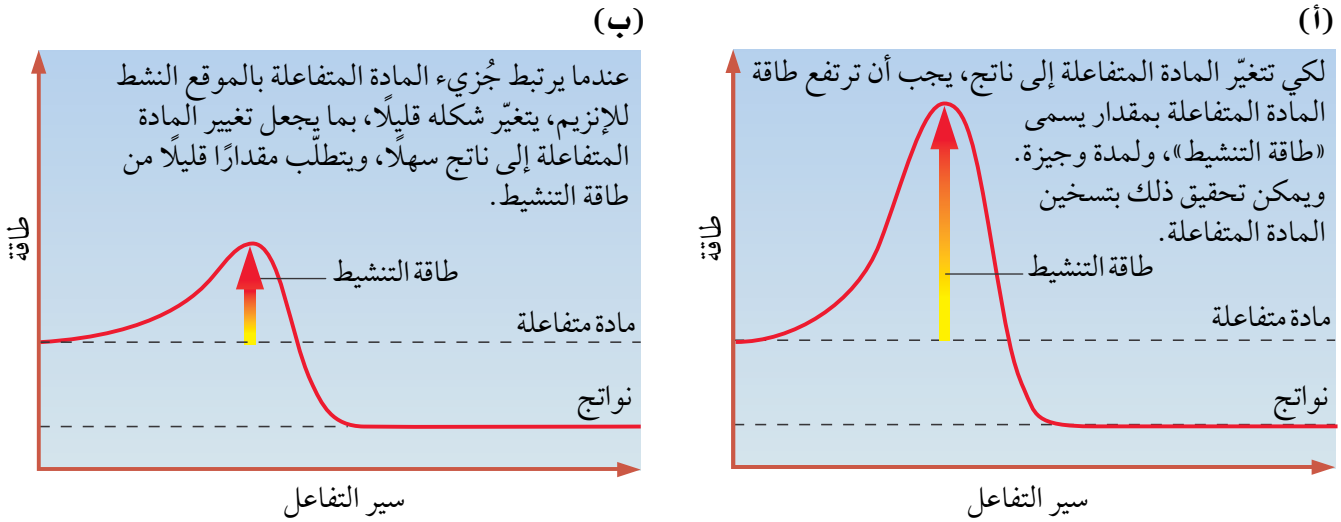
لا تتحوّل المادة المتفاعلة في كثير من التفاعلات إلى نواتج قبل تزويدها ببعض الطاقة. تسمّى هذه الطاقة **طاقة التنشيط** Activation Energy الشكل ٣-٤أ.

يمثّل تسخين المواد إحدى وسائل توفير الطاقة الإضافيّة اللازمة، على سبيل المثال: يلزم تسخين كاشف بندكت ومحلول السكّر معًا في اختبار بندكت للكشف عن السكّر المختزل، لكي يتفاعلا.

تتجاوز الإنزيمات هذا الأمر لأنها تخفض طاقة تنشيط التفاعلات التي تحفزها، كما هو مبين في الشكل ٣-٤ب. وهي تقوم بذلك باحتواء المادة أو المواد المتفاعلة بطريقة يمكن لجزيئاتها أن تتفاعل بسهولة. وكنتيجة لذلك، تحدث التفاعلات المحفزة بالإنزيمات بسرعة في درجة حرارة أقل بكثير ممّا تحتاج إليه مع أية طريقة أخرى.

مصطلحات علمية

طاقة التنشيط
Activation energy:
الطاقة التي يجب توفيرها لحدوث التفاعل. تخفض الإنزيمات طاقة التنشيط اللازمة لتحويل المادة المتفاعلة إلى ناتج.



الشكل ٣-٤ طاقة التنشيط. (أ) بدون الإنزيم. (ب) بوجود الإنزيم.

٣-٣ استقصاء سير تفاعل محفّز بالإنزيم

قياس معدل تكوّن الناتج

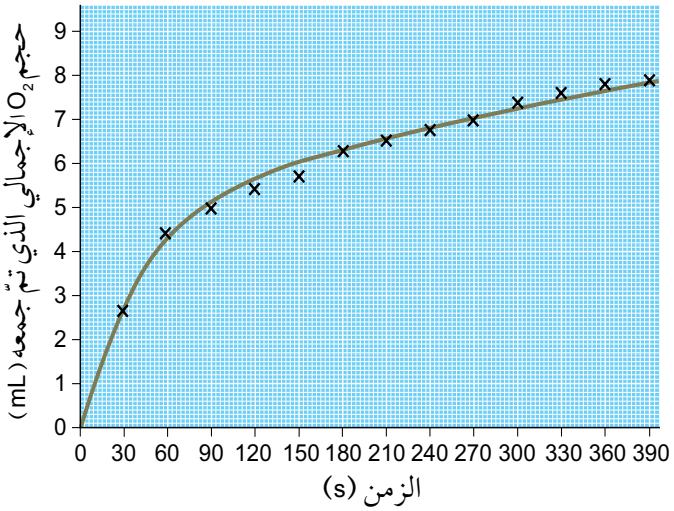
يمكن إجراء استقصاء عن سير التفاعل الذي يتحكم فيه الإنزيم بقياس معدل تكوّن الناتج من المادة المتفاعلة. يبيّن الشكل ٣-٥ نتائج مثل هذا الاستقصاء باستخدام إنزيم الكتاليز. يوجد هذا الإنزيم في أنسجة معظم الكائنات الحيّة، وهو يحفز تفكيك بيروكسيد الهيدروجين إلى ماء وغاز الأكسجين (يتكوّن بيروكسيد الهيدروجين أحيانًا داخل الخلايا، وهو سام لذا يجب التخلّص منه بسرعة). ويمكن جمع حجم غاز الأكسجين المتحرّر وقياسه، لذا يسهل متابعة التفاعل.

حالما يمتزج الإنزيم بالمادة المتفاعلة، تتحرر فقاعات غاز الأكسجين O_2 الذي يمكن جمعه بكميات كبيرة، وقياسه في الدقيقة الأولى من التفاعل. ومع استمرار التفاعل، ينخفض معدل تحرير غاز O_2 تدريجيًا، ويتباطأ التفاعل إلى أن يتوقف كليًّا.

يبدأ التفاعل سريعًا، فعند بداية مزج الإنزيم والمادة المتفاعلة، يكون عدد جزيئات المادة المتفاعلة كبيرًا، بحيث يحتوي كل جُزيء إنزيم على جُزيء من المادة المتفاعلة في موقعه النشط. ويعتمد المعدل الذي يحدث به التفاعل على:

- عدد جزيئات الإنزيم المتوافرة.
- السرعة التي يستطيع بها الإنزيم تحويل المادة المتفاعلة إلى ناتج، وإطلاقه، ثم الارتباط بجزيء آخر من المادة المتفاعلة.

ومع تحويل المزيد من المادة المتفاعلة إلى ناتج، ينخفض عدد جزيئات هذه المادة للارتباط بالإنزيمات.



الشكل ٣-٥ سير التفاعل المحفز بالإنزيم. أُضيف الكتاليز إلى بيروكسيد الهيدروجين في الزمن 0. جُمع الغاز المتحرّر في حقنة غاز، وتمّت قراءة الحجم كل 30 s.

وقد تكون جزيئات الإنزيمات في «انتظار» وصول جزيئات المادة المتفاعلة لترتبط في مواقعها النشطة. وعند انخفاض عدد جزيئات المادة المتفاعلة يتباطأ التفاعل إلى أن يتوقف نهائيًا.

يكون منحنى التمثيل البياني، كما هو مبيّن في الشكل ٣-٥ أعلى ميلًا في بداية التفاعل. ويكون معدل التفاعل الذي يتحكم به الإنزيم سريعًا دائمًا في بدايته، ويسمّى هذا المعدّل بالمعدّل الأولي للتفاعل.

استخدام مقياس الألوان لقياس سير التفاعل الذي يتحكم به الإنزيم

إذا كانت الطريقة المستخدمة لقياس سير التفاعل الذي يتحكم به الإنزيم تتضمّن تغيّر اللون، فإن مقياس الألوان **Colorimeter** يمكن أن يستخدم لقياس تغيّر اللون كميًّا، وهذه الطريقة تتوافر فيها قيمٌ عددية (رقمية) يمكن أن يتمّ تمثيلها بيانيًا.

مصطلحات علمية

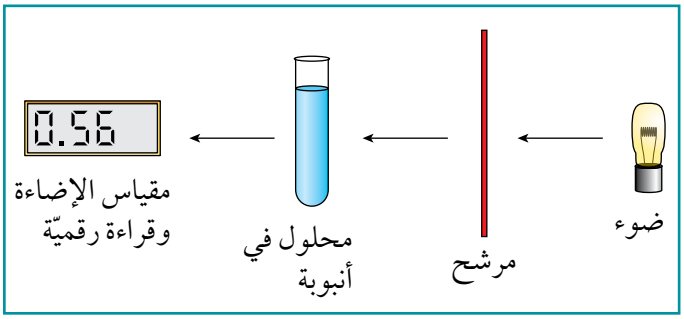
مقياس الألوان Colorimeter: أداة تقيس لون المحلول بقياس امتصاص أطوال موجيّة مختلفة من الضوء.

مقياس الألوان أداة تقيس لون المحلول بقياس امتصاص أطوال موجيّة مختلفة من الضوء. كلما زاد تركيز المادة المسبِّبة للون زاد الامتصاص. يبيّن الشكل ٣-٦ المكوّنات الرئيسيّة لمقياس الألوان.

في تجربة النشا الموصوفة في المهارات العملية (٣-١)، يمكن قياس شدة اللون الأزرق القاتم الناتج من اختبار اليود باستخدام مقياس الألوان. يعمل اللون كمقياس لكميّة النشا المتبقيّة. تبيّن الصورة ٣-٢ النطاق النموذجي للألوان.

إذا أُجري القياس على مدى أوقات زمنيّة معيّنة، يمكن رسم منحنى «كميّة النشا المتبقيّة» مقابل «الزمن».

من السهل مراقبة سير هذا التفاعل عند مزج النشا ومحلول اليود وإنزيم الأميليز في أنبوبة واحدة، ثم أخذ قراءات منتظمة لمزيج اللون في هذه الأنبوبة بمقياس الألوان. لكن ذلك لا يُعدّ مثاليًا، لأن اليود يتداخل مع معدل التفاعل ويبطئه.



الشكل ٣-٦ رسم تخطيطي يبيّن كيف يعمل مقياس الألوان.

الصورة ٣-٢ صورة لمجموعة من الألوان التقطت من اختبار اليود أثناء تجربة تستقصي هضم النشا بفعل إنزيم الأميليز. تبيّن الأنابيب تزايد الزمن لهضم النشا من اليسار إلى اليمين.

مهارات عملية ٣-١

قياس معدل اختفاء المادة المتفاعلة

يسهل علينا في بعض الأحيان قياس معدل اختفاء المادة المتفاعلة بدل معدل ظهور الناتج. ومن الأمثلة الجيدة على ذلك، استخدام الأميليز. يفكك هذا الإنزيم النشا إلى السكّر المختزل المالتوز بعمليّة التحلل المائي، فيتفاعل النشا مع محلول اليود لينتج لونًا أزرق قاتمًا، ويمكن أخذ عيّنات صغيرة في أوقات معروفة أثناء التفاعل للكشف عن النشا باستخدام محلول اليود. ومع تحوّل النشا إلى مالتوز، ينخفض تركيز النشا في المزيج المتفاعل. وبالتالي، يتغيّر لون العيّنات قيد الاختبار من الأزرق القاتم إلى البنّي، ثم البنّي الباهت، وصولًا في النهاية إلى زوال اللون. يمكن تحديد الوقت الذي تطلبه اختفاء النشا كليًا، إلى أن يعطي اختبار اللون نتيجة عديمة اللون. ويمكن أيضًا اختيار نقطة نهاية مناسبة، كتحديد الوقت المستغرق لظهور اللون البنّي الباهت في اختبار اليود.

سؤال

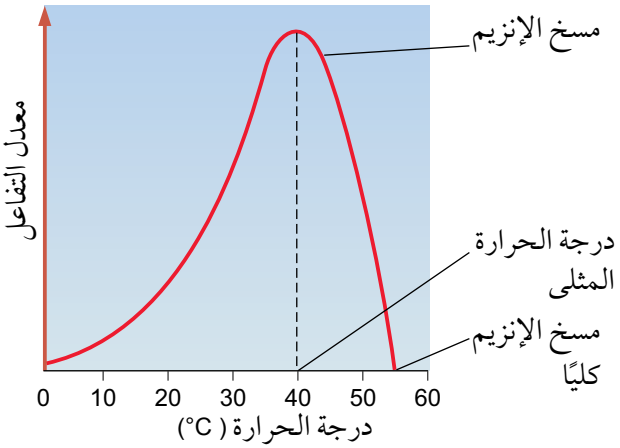
٢ **أ.** ارسم المنحنى المتوقع الذي يمثل كميّة النشا المتبقيّة مقابل زمن اختبار هضم النشا بفعل الأميليز.

ب. كيف يمكن استخدام هذا المنحنى لحساب معدل التفاعل الأولي؟

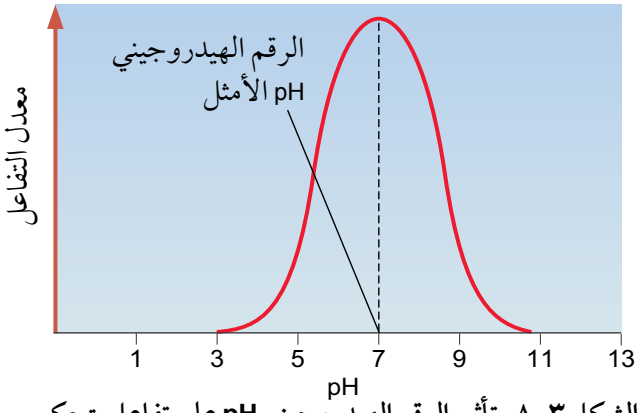
٣-٤ العوامل المؤثرة في عمل الإنزيم

تأثير درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني pH على معدل نشاط الإنزيم

سبق أن درست في الصف التاسع، تأثير درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني pH على الإنزيمات. يبيّن الشكل ٣-٧ تأثير درجة الحرارة على إنزيم نموذجي، ويتضمن تأثير ارتفاع درجة الحرارة على تغيير طبيعة الإنزيم (مسخ). يبيّن الشكل ٣-٨ تأثير الرقم الهيدروجيني pH على إنزيم نموذجي. توجد أيضًا عوامل أخرى يمكن أن تؤثر على معدل تفاعل الإنزيمات، نعرضها تاليًا بمزيد من التفصيل.



الشكل ٣-٧ تأثير درجة الحرارة على تفاعل يتحكم به الإنزيم.



الشكل ٣-٨ تأثير الرقم الهيدروجيني pH على تفاعل يتحكم به الإنزيم. يعتمد الرقم الهيدروجيني pH الأمثل على الإنزيم: في هذه الحالة، الرقم الهيدروجيني pH الأمثل هو 7.

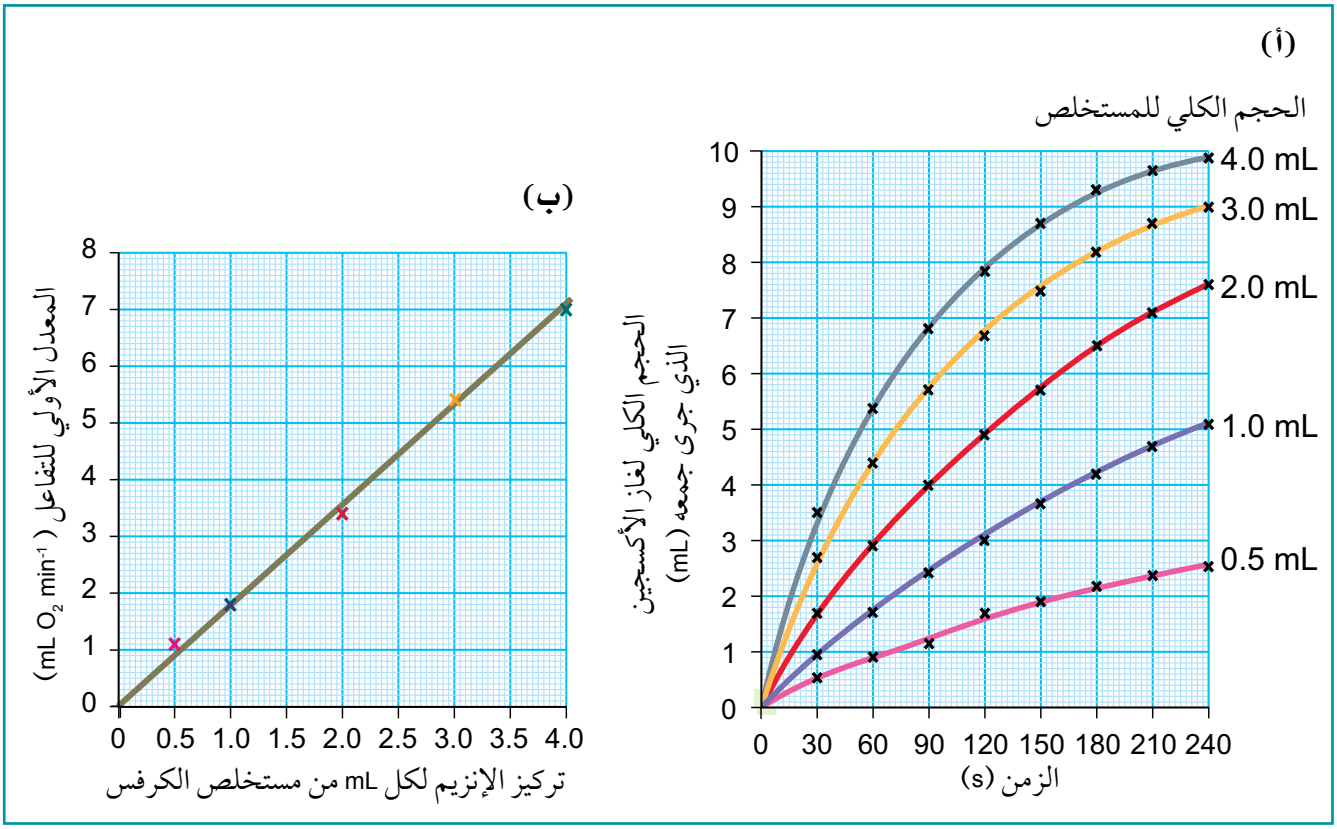
تأثير تركيز الإنزيم على معدل نشاط الإنزيم

يبيّن الشكل ٣-٩أ نتائج استقصاء يتضمّن إنزيم الكتاليز والمادة المتفاعلة بيروكسيد الهيدروجين. فالكتاليز يوجد في مستخلص من نبات الكرفس، بحيث أضيفت تراكيز مختلفة من محلول الكتاليز إلى محاليل بيروكسيد الهيدروجين، وقد جرى تحضير التراكيز المختلفة عن طريق تغيير الحجم الأولي لمستخلص الكرفس، ثم استكمالها بالماء المقطّر إلى الحجم القياسي. وكانت كميّة بيروكسيد الهيدروجين (المادة المتفاعلة) نفسها في بداية جميع التفاعلات الخمسة.

يسهل ملاحظة التشابه في شكل جميع المنحنيات الخمسة كما هو موضّح في الشكل ٣- ٩أ. ففي كل حالة كان التفاعل يبدأ بسرعة كبيرة (منحنى حاد)، ثم يتباطأ تدريجيًا (استقرار المنحنى).

يمكن مقارنة معدلات هذه التفاعلات الخمسة لمعرفة تأثير تركيز الإنزيم على معدل التفاعل. من الأفضل ملاحظة المعدل في بداية التفاعل مباشرة، لأنه مع بدء التفاعل تتفاوت كميّة المادة المتفاعلة في كل تفاعل، وذلك لأن المادة المتفاعلة تتحوّل إلى ناتج بمعدلات مختلفة في كل من التفاعلات الخمسة. وهكذا، يمكن التأكد من تماثل تركيز المادة المتفاعلة في جميع الأنابيب في البداية فقط. وبحساب المعدلات الأوليّة، يمكن التأكد أن الاختلاف في معدلات التفاعل ناتجة فقط من الاختلاف في تركيز الإنزيم وليس من الاختلاف في تركيز المادة المتفاعلة.

بإمكاننا حساب ميل المنحنى بعد 30 ثانية من بدء التفاعل لحساب المعدل الأولي للتفاعل لتركيز كل إنزيم. يمكننا بعد ذلك رسم تمثيل بياني آخر كما هو موضّح في الشكل ٣-٩ب، بحيث يبيّن المعدل الأولي للتفاعل مقابل تركيز الإنزيم.



الشكل ٣-٩ تأثير تركيز الإنزيم على معدل التفاعل المحفز بالإنزيم.(أ) أضيفت أحجام مختلفة من مستخلص الكرفس تحتوي على إنزيم الكتاليز إلى الحجم نفسه من بيروكسيد الهيدروجين. أضيف الماء المقطر ليكون الحجم الكلي للمزيج نفسه في كل حالة.(ب) حساب معدل التفاعل لتركيز كل إنزيم في أول 30 ثانية.

يبيّن هذا التمثيل البياني أن المعدل الأولي للتفاعل يزداد خطيًا. وفي هذه الظروف، يتناسب معدل التفاعل طرديًا مع تركيز الإنزيم. وهو ما يُفترض حدوثه؛ فكلما زادت كمية الإنزيم زادت المواقع النشطة المتاحة لارتباط المادة المتفاعلة. ومع وفرة المادة المتفاعلة، يزداد المعدل الأولي للتفاعل خطيًا مع تركيز الإنزيم.

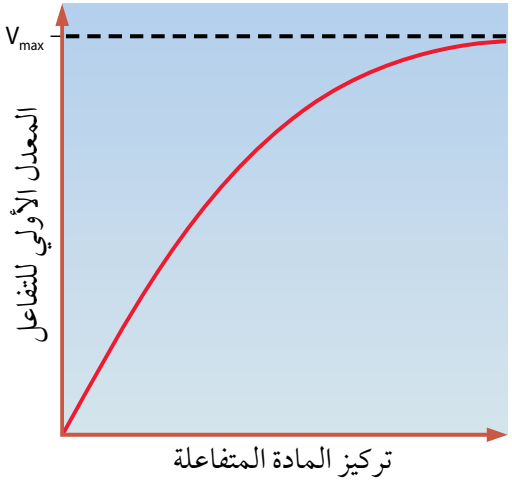
تأثير تركيز المادة المتفاعلة على نشاط الإنزيم

يبيّن الشكل ٣-١٠ نتائج استقصاء يتضمّن استخدام إنزيم الكتاليز وبيروكسيد الهيدروجين كمادة متفاعلة. إذ يظهر تباين حجم بيروكسيد الهيدروجين، بينما يبقى حجم الكتاليز ثابتًا. وتمّ تمثيل منحنيات غاز الأكسجين المتحرر مقابل الزمن لكل تفاعل، وكذلك المعدل الأولي للتفاعل لأول 30 ثانية. ثم تمّ تمثيل المعدلات الأوليّة للتفاعل مقابل تركيز المادة المتفاعلة.

يزداد المعدل الأولي للتفاعل أيضًا بازدياد تركيز المادة المتفاعلة، وهو أمر متوقع؛ فكلما ازداد عدد جزيئات المادة المتفاعلة ازداد عدد مرات دخولها إلى المواقع النشطة. إلّا أنه مع استمرار زيادة تركيز المادة المتفاعلة، والحفاظ على تركيز الإنزيم ثابتًا، ستمتلئ جميع المواقع النشطة للإنزيم. وإذا أضيف المزيد من المادة المتفاعلة، لا يستطيع الإنزيم ببساطة أن يعمل بسرعة، حيث إن جزيئات المادة المتفاعلة سوف «تنتظر» لترتبط بالموقع النشط. يعمل الإنزيم **بالسرعة القصوى** الممكنة له، والمسماة V_{max}، حيث V تعني السرعة، و $_{max}$ تعني القصوى.

مصطلحات علمية

السرعة القصوى V_{max}: السرعة النظرية القصوى لتفاعل يتحكم به الإنزيم، وتتحقق عندما تكون جميع المواقع النشطة للإنزيم ممتلئة.



الشكل ٣-١٠ تأثير تركيز المادة المتفاعلة على معدل تفاعل محفز بالإنزيم.

سؤال

(٣) ارسم رسمًا يبيّن التمثيل البياني في الشكل ٣- ٩ب فيما لو لم يتوافر فائض من بيروكسيد الهيدروجين.

٣-٥ مقارنة ألفة (تلاؤم) الإنزيمات

الألفة هي مقياس لقوة التجاذب بين شيئين، وتعني الألفة العالية وجود تجاذب قوي. وألفة الإنزيم هي مقياس قوة الجذب بين الإنزيم والمادة المتفاعلة. فكلما زادت ألفة الإنزيم للمادة المتفاعلة، زاد احتمال بقاء المادة المتفاعلة في الموقع النشط لفترة كافية لاستكمال التفاعل، وعمومًا كلما زادت الألفة زاد عمل الإنزيم.

ثمة تباين هائل في السرعة التي تعمل بها الإنزيمات المختلفة، إذ يمكن لجُزيء الإنزيم النموذجي تحويل 1000 جُزيء تقريبًا من المادة المتفاعلة إلى ناتج في غضون ثانية واحدة. ومن الإنزيمات السريعة المعروفة كربونيك أنهيدريز Carbonic anhydrase، حيث يمكن لهذا الإنزيم إزالة 600 000 جُزيء من غاز ثاني أكسيد الكربون من أنسجة التنفّس في الثانية، أي أسرع 10^7 مرات تقريبًا من سرعة التفاعل بدون وجود الإنزيم. وهو يتّصف بهذه الكفاءة العالية لأن تراكم غاز ثاني أكسيد الكربون في الأنسجة يكون مميتًا بسرعة كبيرة.

لقد درست، في الموضوع السابق، أن مؤشّر السرعة القصوى التي يعمل بها الإنزيم يكون في حالة V_{max} وبالتالي عندما تكون جميع جزيئات الإنزيم مرتبطة بجزيئات المادة المتفاعلة، أي جميع المواقع النشطة مشبعة.

لإيجاد قيمة V_{max} يتم قياس معدل التفاعل الأولي لتراكيز المادة المتفاعلة المختلفة، ينتج منه منحنى كما هو مبيّن في الشكلَين ٣-١٠ و ٣-١١.

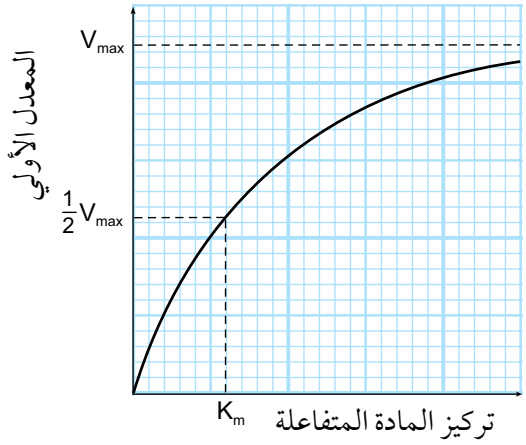
سؤال

٤ يجب قياس معدل التفاعل لكل اختبار لتركيز المادة المتفاعلة بأسرع وقت ممكن. اشرح السبب.

يعرف تركيز المادة المتفاعلة عند قيمة ½ V_{max} باسم **ثابت ميكاليس-مينتين** **Michaelis-Menten Constant** (K_m)، وهو يعبّر عن تركيز المادة المتفاعلة التي يعمل عندها الإنزيم بنصف معدله الأقصى، ويمثل مقياسًا لألفة الإنزيم لمادته المتفاعلة. فكلما كانت ألفة الإنزيم أعلى، كان تركيز مادته المتفاعلة اللازم للوصول إلى ½ V_{max} أقل، وكانت قيمة K_m أقل.

مصطلحات علمية

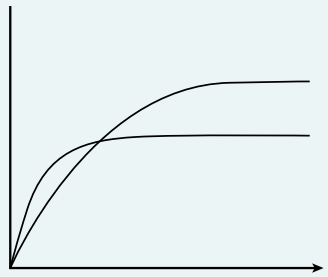
ثابت ميكاليس-مينتين (K_m)
Michaelis-Menten Constant: تركيز المادة المتفاعلة التي يعمل فيها الإنزيم بنصف سرعته القصوى (½ V_{max})، وهو يستخدم لقياس كفاءة الإنزيم. كلما انخفضت قيمة K_m، زادت كفاءة الإنزيم.



الشكل ٣-١١ رسم بياني يبيّن تأثير تركيز المادة المتفاعلة على المعدل الأولي لتفاعل الإنزيم، وتظهر فيه K_m، ½ V_{max}، V_{max}.

سؤال

(٥) يبيّن الشكل ٣-١٢ نتائج تجربتَين. كان الهدف من التجربتَين مقارنة ألفة إنزيمَين مختلفَين للمادتَين المتفاعلتَين. الإنزيم (أ) له ألفة أعلى للمادة المتفاعلة من الإنزيم (ب). المنحنيان يمثلان نتائج الإنزيم (أ) والإنزيم (ب).



الشكل ٣-١٢ مقارنة بين ألفة إنزيمَين مختلفَين لمادتيهما المتفاعلتَين.

أ. انقل الشكل ٣-١٣ إلى دفترك، ثم:

١. اكتب تسمية المحاور بشكل مناسب.

٢. اكتب تسمية المنحنى الخاص بالإنزيم (أ)، والمنحنى الخاص بالإنزيم (ب).

ب. ١. أيّ من الإنزيمَين له ثابت ميكاليس-مينتين K_m أعلى من الآخر؟

٢. أيّ من الإنزيمَين له V_{max} أعلى من الآخر؟

٣. أيّ من الإنزيمَين احتاج إلى تركيز أعلى من المادة المتفاعلة ليصل إلى V_{max}؟

٤. أيّ من الإنزيمَين احتاج إلى تركيز أعلى من المادة المتفاعلة ليشبع مواقعه النشطة؟

٣-٦ مثبّطات الإنزيم

التثبيط التنافسي العكسي

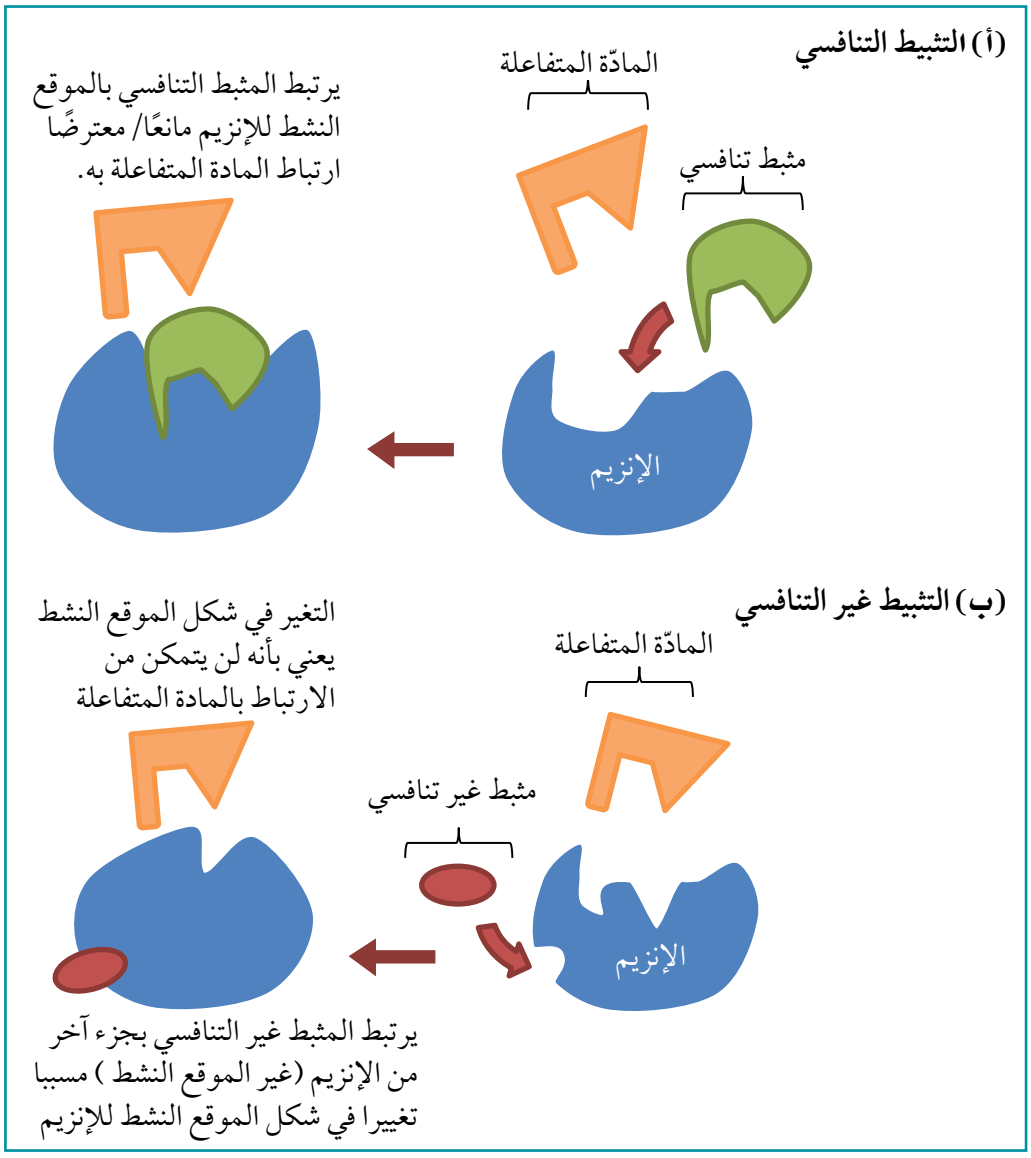
لقد درست سابقًا أن للموقع النشط للإنزيم شكلًا متممًا مع مادته المتفاعلة. لكن، قد يكون لجزيء ما شكل شبيه بالمادة المتفاعلة يدخل الموقع النشط للإنزيم، الأمر الذي يؤدي إلى تثبيط عمل الإنزيم.

إذا ارتبط الجزيء المثبّط في الموقع النشط لمدّة وجيزة، فسيحدث تنافس بينه وبين المادة المتفاعلة على الموقع. وإذا كانت جزيئات المادة المتفاعلة أكثر من الجزيئات المثبّطة، فستفوز جزيئات المادة المتفاعلة بسهولة في التنافس، وبالتالي لن تتأثر وظيفة الإنزيم كثيرًا. لكن إذا ارتفع تركيز المادة المثبّطة أو انخفض تركيز المادة المتفاعلة، ينخفض احتمال ارتباط المادة المتفاعلة بموقع نشط فارغ، الأمر الذي يؤدي إلى تثبيط وظيفة الإنزيم، فيما يسمّى **التثبيط التنافسي** **Competitive inhibition** الشكل ٣-١٣أ. وهو عكسي أي قابل للعكس أحيانًا عبر زيادة تركيز المادة المتفاعلة. ويوضّح الشكل ٣-١٣ الفرق بين التثبيط التنافسي والتثبيط غير التنافسي.

من الأمثلة على التثبيط التنافسي ما يحدث في علاج شخص شرب إيثيلين جلايكول Ethylene glycol عن طريق الخطأ. يُستخدم هذا المركّب كمضاد للتجمّد، وهو يتحوّل بسرعة في الجسم إلى حمض أوكساليك Oxalic acid، الذي يمكن أن يسبب تلفًا كلويًا مُستدامًا. إلّا أن الموقع النشط للإنزيم الذي يحوّل إيثيلين جلايكول إلى حمض أوكساليك يستقبل أيضًا الإيثانول. فإذا تمّ إعطاء الشخص المصاب بالتسمّم جرعة كبيرة من الإيثانول، يعمل الإيثانول كمثبّط تنافسي، يبطئ تأثير الإنزيم على إيثيلين جلايكول لمدة تكفي لإفراز إيثيلين جلايكول من الجسم.

مصطلحات علمية

التثبيط التنافسي **Competitive inhibition**: عندما تخفض الجزيئات المثبطة من معدل نشاط الإنزيم بالتنافس مع جزيئات مادة متفاعلة على الموقع النشط للإنزيم. يخفض ارتفاع تركيز المادة المتفاعلة من درجة التثبيط، وبالمقابل يزيد ارتفاع تركيز الجزيئات المثبطة من درجة التثبيط.



الشكل ٣-١٣ تثبيط الإنزيم: (أ) التثبيط التنافسي (ب) التثبيط غير التنافسي، كلا النوعين قابلان للعكس.

التثبيط غير التنافسي العكسي

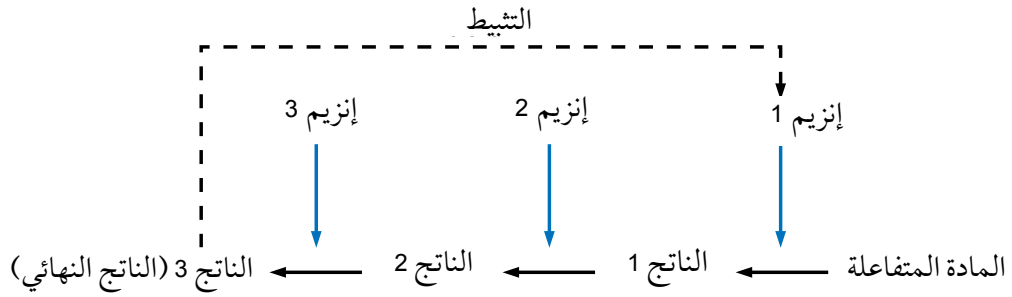
التثبيط غير التنافسي هو نوع آخر من التثبيط القابل للعكس. في هذا النوع من التثبيط، يرتبط الجزيء المثبّط بجزء آخر من الإنزيم غير الموقع النشط. ويمكن أن يؤثر، بشكل خطر، على الترتيب الطبيعي للروابط الهيدروجينيّة والتفاعلات الكارهة للماء التي تحافظ على الشكل ثلاثي الأبعاد لجُزيء الإنزيم، ما يسبب تغييرًا في شكل الموقع النشط للإنزيم، فيثبّط بالتالي قدرة الإنزيم على استقبال المادة المتفاعلة داخل الموقع النشط. ومع ارتباط الجزيء المثبّط بالإنزيم تتوقف وظيفة الأخير. وهكذا، فإن جُزيء المادة المتفاعلة والجزيء المثبّط غير متنافسَين على الموقع النشط، فيما يُعدّ مثالًا على **التثبيط غير التنافسي Non-competitive inhibition** كما هو مبين في الشكل ٣-١٣ب، ولن يكون لزيادة تركيز المادة المتفاعلة أيّ تأثير على التثبيط، بخلاف التثبيط التنافسي.

مصطلحات علمية

التثبيط غير التنافسي Non-competitive inhibition: عندما تُخفض الجزيئات المثبطة من معدل نشاط الإنزيم، لكن الزيادة في تركيز المادة المتفاعلة لا تخفض من درجة التثبيط. ترتبط المثبطات غير التنافسية الكثيرة في أجزاء من جُزيء الإنزيم غير الموقع النشط.

يمكن أن يكون تثبيط الإنزيم ضارًا، أو حتى مميتًا، ولكن في كثير من الأحيان يكون التثبيط ضروريًا. على سبيل المثال، يجب التحكّم بتفاعلات الأيض بحيث لا يتاح لأيّ إنزيم العمل من دون أن يتوقف عند نقطة ما، وإلّا فإن المزيد من النواتج ستتكوّن باستمرار.

يمثّل استخدام الناتج النهائي في سلسلة التفاعلات، كمثبّط غير تنافسي قابل للعكس، طريقة في التحكم بتفاعلات الأيض، كما هو مبين في الشكل ٣-١٤. ويثبّط الناتج النهائي الإنزيم في بداية سلسلة التفاعلات (الإنزيم 1 في الشكل ٣-١٤). ومع زيادة كمية الناتج النهائي يبدأ نشاط الإنزيم بالتباطؤ تدريجيًا؛ ولكن قد يفقد الناتج النهائي ارتباطه بالإنزيم (تفاعل عكسي)، ولذلك، إذا استخدم الإنزيم في مكان آخر فإنه يعود إلى حالته النشطة، ويكوّن المزيد من النواتج النهائيّة. تسمّى هذه الطريقة لتنظيم كمية الناتج النهائي المتكوّن، تثبيط الناتج النهائي.



الشكل ٣-١٤ تثبيط الناتج النهائي. مع ارتفاع مستويات الناتج 3، سيكون هناك تثبيط متزايد للإنزيم 1، وسينخفض تكوّن الناتج 1، وكذلك الناتجان 2 و 3. يتسبب انخفاض مستوى الناتج 3 في زيادة نشاط الإنزيم 1، لذلك يزيد تكوّن النواتج 1، 2، 3 مرة أخرى، وتستمر الدورة. يتحكم تثبيط الناتج النهائي بدقة في مستويات الناتج 3، وهو مثال على آليّة التغذية الراجعة.

٣-٧ الإنزيمات المثبتة

مصطلحات علمية

الإنزيمات المثبتة Immobilised enzymes: إنزيمات يتمّ تثبيتها على سطح ما أو يتمّ حصرها داخل كريات (حبيبات) هلام آجار.

للإنزيمات مجموعة هائلة من التطبيقات التجاريّة، على سبيل المثال: في الطب وتكنولوجيا الغذاء والعمليات الصناعيّة. والإنزيمات مرتفعة الثمن، لذلك لا ترغب أيّة شركة في معاودة شرائها إذا كان بإمكانها إعادة تدويرها بطريقة أو بأخرى. وإحدى أفضل الطرائق المتّبعة في خفض التكاليف هي استخدام **الإنزيمات المثبتة Immobilised enzymes**، بحيث يتمّ تثبيت هذه الإنزيمات بطريقة ما لمنعها من الانتشار بحريّة في المحلول.

يمكن تثبيت اللاكتيز باستخدام كريات (حبيبات) الألجينات كما في الشكل ٣-١٥. فالمادة المتفاعلة للاكتيز هي السكّر الثنائي اللاكتوز. يمرر الحليب داخل عمود (أسطوانة) يحتوي على كريات (حبيبات) محتوية على اللاكتيز كما في الشكل ٣-١٦. فيقوم اللاكتيز بتحليل اللاكتوز في الحليب إلى الجلوكوز والجالاكتوز، فيصبح الحليب خاليًا من اللاكتوز، حيث يستخدم في صنع ألبان مخصّصة للأشخاص الذين لايستطيعون هضم اللاكتوز.

للإنزيمات المثبتة ميزات عديدة وواضحة مقارنة بالإنزيمات غير المثبتة. فعند مزج اللاكتيز (غير المثبت) مع الحليب، سيصعب الحصول على اللاكتيز مرة أخرى (لغرض استخدامه)، وسيكون الحليب ملوثًا بالإنزيمات؛ بينما

يؤمّن استخدام الإنزيمات المثبتة الحفاظ على الإنزيمات وإعادة استخدامها، والحصول على منتج خالٍ من الإنزيمات (غير ملوّث بها).

ميزة أخرى للإنزيمات المثبتة تتمثّل في أنها أكثر تحمّلًا لتقلّب درجات الحرارة، ولتغيّر الرقم الهيدروجيني pH مقارنة بالإنزيمات في محاليل (غير المثبتة). وربّما يعود هذا إلى أن جزيئاتها مترسّخة بقوة عبر الألجينات المثبتة فيها، وبالتالي فإن طبيعتها لا تتغير بسهولة. وقد يكون السبب أيضًا أنّ الجزيئات الموجودة في الكريات (الحبيبات) ليست مكشوفة بالكامل لتقلّبات الحرارة والرقم الهيدروجيني pH.

سؤال

٦ لخص ميزات استخدام الإنزيمات المثبتة بدل محاليل الإنزيمات (غير المثبتة).

مهارات عملية ٣-٢

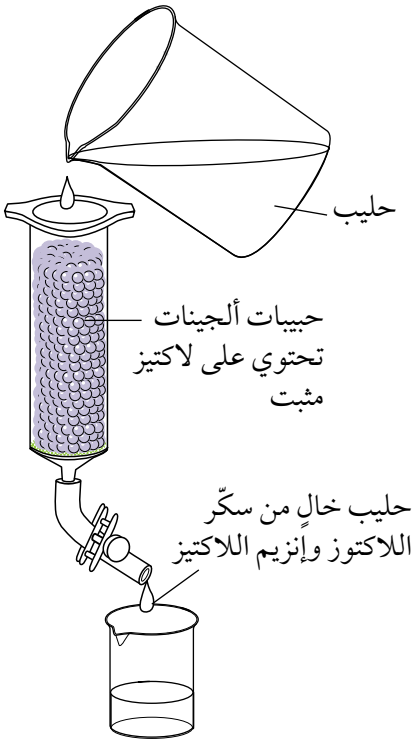
الإنزيمات المثبتة

الشكل ٣-١٥ إنزيم مثبت في الألجينات.

يبيّن الشكل ٣-١٥ إحدى الطرائق التي يمكن فيها تثبيت الإنزيمات. يمزج الإنزيم مع محلول ألجينات الصوديوم، ثم تضاف قطرات صغيرة من هذا المزيج إلى محلول كلوريد الكالسيوم. تتفاعل ألجينات الصوديوم وكلوريد الكالسيوم على الفور، مكوّنة هلامًا يحوّل كل قطرة إلى حبيبة صغيرة. تحتوي حبيبات الهلام على الإنزيم، الذي يحفظ فيها أو يثبت.

يمكن تعبئة هذه الحبيبات برفق في أسطوانة، والسماح للسائل الذي يحتوي على المادة المتفاعلة بالتقطّر بانتظام فوقها كما هو مبين في الشكل ٣-١٦.

وحالما تلامس المادة المتفاعلة سطح الحبيبات، تحفز الإنزيمات في الحبيبات تفاعلًا يحوّل المادة المتفاعلة إلى مادة ناتجة. ثم يهبط الناتج إلى أسفل الأسطوانة، ويتقطّر إلى الخارج من قاع الأسطوانة حيث يمكن جمعه وتنقيته.



الشكل ٣-١٦ استخدام إنزيم مثبت لتعديل الحليب.

ملخّص

الإنزيمات بروتينات كرويّة تحفز تفاعلات الأيض. لكل إنزيم موقع نشط يتميز بتركيب مرن يمكن أن يغيّر شكله قليلًا ليتلاءم بدقة مع جُزيء المادة المتفاعلة، والذي يسمّى فرضيّة التلاؤم المستحث.

قد تشارك الإنزيمات في تفاعلات تفكك الجزيئات أو ربط الجزيئات معًا؛ وهي تقوم بذلك عبر خفض طاقة تنشيط التفاعلات التي تحفزها.

يمكن تتبّع سير التفاعل الإنزيمي بقياس معدل تكوّن الناتج أو معدل اختفاء المادة المتفاعلة. كما يمكن رسم مسار المنحنى ورسم الزمن على المحور (س). يكون المنحنى أعلى ميلًا في بداية التفاعل عندما يكون تركيز المادة المتفاعلة هو الأعلى، ويسمّى هذا المعدل، المعدل الأولي للتفاعل.

يؤثر تركيز الإنزيم وتركيز المادة المتفاعلة على معدل نشاط الإنزيمات.

كلما زاد تركيز الإنزيم زاد معدل التفاعل، بشرط وجود جزيئات كافية من المادة المتفاعلة. تتباطأ المعدلات مع زيادة استخدام جزيئات المادة المتفاعلة أثناء التفاعلات الإنزيميّة.

يمكن قياس كفاءة الإنزيم بإيجاد القيمة المعروفة باسم ثابت ميكاليس-مينتين K_m. ولإجراء ذلك، يجب أولًا تحديد المعدل الأقصى للتفاعل V_{max}. يتضمّن تحديد V_{max} إيجاد المعدلات الأوليّة للتفاعلات عند تراكيز مختلفة للمادة المتفاعلة، مع بقاء تركيز الإنزيم ثابتًا.

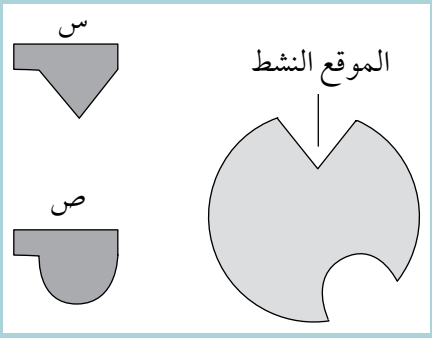
تتأثر الإنزيمات بوجود المثبّطات التي تعيق نشاطها أو توقفه. فللمثبّطات التنافسيّة شكل شبيه بجزيئات المادة المتفاعلة الطبيعيّة، وهي تتنافس مع المادة المتفاعلة على الموقع النشط للإنزيم. التثبيط التنافسي قابل للعكس، لأن المثبّط يمكن أن يدخل الموقع النشط ويغادره.

ترتبط المثبّطات غير التنافسيّة العكسيّة في مكان آخر من الإنزيم غير الموقع النشط، مسبّبة تغيّرًا في الموقع النشط للتركيب الثانوي والثالثي للإنزيم.

يمكن أن تكون الإنزيمات مثبتة، على سبيل المثال: عبر حصرها في حبيبات هلام (ألجينات)، وهو أمر مفيد تجاريًا لأنه يمكن إعادة استخدام الإنزيم، كما يمكن فصل الناتج عن الإنزيم (لا يتلوث به). وغالبًا ما يجعل التثبيت الإنزيمات أكثر استقرارًا.

أسئلة نهاية الوحدة

١ يبيّن الرسم التخطيطي إنزيمًا ومثبّطَين للإنزيم س، ص. أيّ من العبارات أدناه تصف المثبّطَين؟



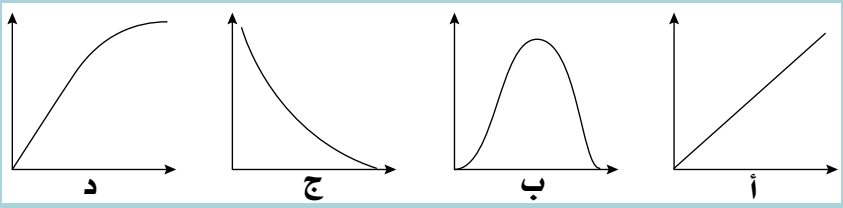
أ. س، ص مثبّطان تنافسيّان.

ب. س، ص مثبّطان غير تنافسيَّين.

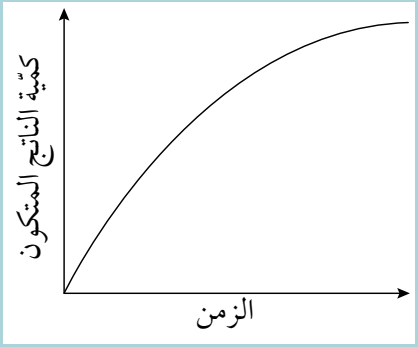
ج س مثبّط تنافسي، ص مثبّط غير تنافسي.

د س مثبّط غير تنافسي، ص مثبّط تنافسي.

٢ في تفاعل يتحكّم به الإنزيم، أيّ من التمثيلات البيانيّة الآتية يبيّن تأثير تركيز المادة المتفاعلة على معدل التفاعل، إذا افترضنا استمرار سير التفاعل حتى اكتماله؟



٣ يبيّن التمثيل البياني مسار هضم أميليز اللعاب للنشا. لماذا يتباطأ هذا التفاعل؟



أ. يثبّط المالتوز الناتج النهائي.

ب. تتغيّر طبيعة (مسخ) إنزيم أميليز اللعاب.

ج. يتشبّع أميليز اللعاب تدريجيًا بالنشا.

د. يتناقص عدد جزيئات المادة المتفاعلة المتبقية للارتباط في جزيئات أميليز اللعاب.

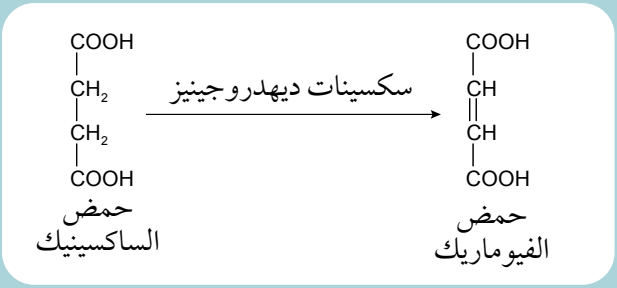
تابع

٤ الإنزيم ذو الألفة العالية للمادة المتفاعلة معه يتصف بقيمة:

أ. K_m مرتفعة.
ب. V_{max} مرتفعة.
ج. K_m منخفضة.
د. V_{max} منخفضة.

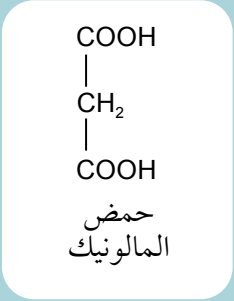
٥ انقل التمثيل البياني في السؤال 3 إلى دفترك، وارسم خطًا يمكن من خلاله حساب المعدل الأولي للتفاعل.

٦ يحدث التفاعل المبيّن أثناء التنفّس الهوائي. ويحفز إنزيم سكسينات ديهدروجينيز التفاعل.



أ. اكتب تسمية المادة المتفاعلة في هذا التفاعل.

ب. يثبّط جُزيء حمض المالونيك المبيّن أدناه التفاعل المبيّن أعلاه؛ وهو لا يرتبط بشكل دائم في الإنزيم. صف كيف يرتبط حمض المالونيك في إنزيم سكسينات ديهدروجينيز.



ج. ترتبط المعادن (الفلزات) الثقيلة كالرصاص والزئبق، بشكل دائم، مع مجموعات SH– من الأحماض الأمينيّة الموجودة في الإنزيمات. يمكن أن توجد مجموعات SH– هذه في الموقع النشط أو في أي مكان آخر في الإنزيم.

١. اكتب تسمية الحمض الأميني الذي يحتوي على مجموعات SH–.

٢. لماذا قد يثبّط ارتباط المعادن الثقيلة في مجموعات SH– نشاط الإنزيم؟ اشرح وظيفة هذه المجموعات في البروتينات.

تابع

٧ لديك ثلاثة محاليل (أ، ب، ج): يحتوي أحد هذه المحاليل على إنزيم الأميليز، ويحتوي المحلول الثاني على النشا، أمّا المحلول الثالث فيحتوي على الجلوكوز. النشا مادة متفاعلة مع الإنزيم، والناتج هو المالتوز. لديك أيضًا كاشف واحد فقط، هو محلول بندكت، والمواد والأدوات المختبرية المعتادة.

أفعال إجرائية

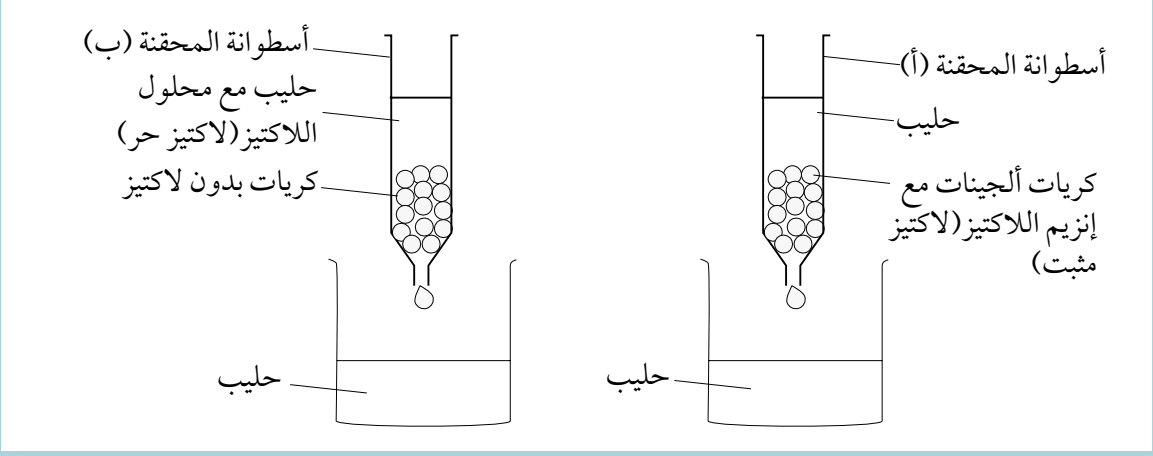
لخص outline: ضع الخطوط العريضة أو النقاط الرئيسية.

أ. لخص الإجراء الذي ستتبعه لتحديد المحاليل الثلاثة.

ب. ما نوع التفاعل الذي يحفزه الإنزيم؟

٨ اللاكتيز هو إنزيم يحفّز التحلّل المائي للاكتوز إلى سكر الجلوكوز وسكر الجالاكتوز. يستخدم اللاكتيز في الصناعة لإنتاج مشتقات الحليب الخالية من اللاكتوز. ويمكن تثبيت هذا الإنزيم باستخدام كريات أو حبيبات الإلجينات.

أرادت طالبة أن تستقصي مدى فاعلية (أو كفاءة) استخدام اللاكتيز المثبت مقارنة بفاعلية اللاكتيز الحر. وقبل أن تبدأ الاستقصاء، اختبرت احتواء عيّنة الحليب على الجلوكوز. ثم قامت بإعداد الأدوات والمواد أدناه:



تم تمرير عينتَي الحليب عبر أسطوانة كل من المحقنتَين (أ) و (ب) لثلاث مرات، وتم قياس مستويات الجلوكوز في الحليب المتجمع بعد كل مرَّة من تمريره عبر كل محقنة. تظهر النتائج في الجدول أدناه:

عدد المرات التي مر فيها الحليب عبر المحقنة	مستويات الجلوكوز الموجود في الحليب (mg/L)	
	مع لاكتيز حر	مع لاكتيز مثبت
0	0	0
1	246	148
2	342	302
3	400	400

أ. لماذا قامت الطالبة الباحثة بقياس مستوى الجلوكوز في الحليب قبل تمريره في المحقنة؟

ب. سمِّ متغيّرَين (أو عاملَين) يجب على الطالبة أن تضبطهما.

تابع

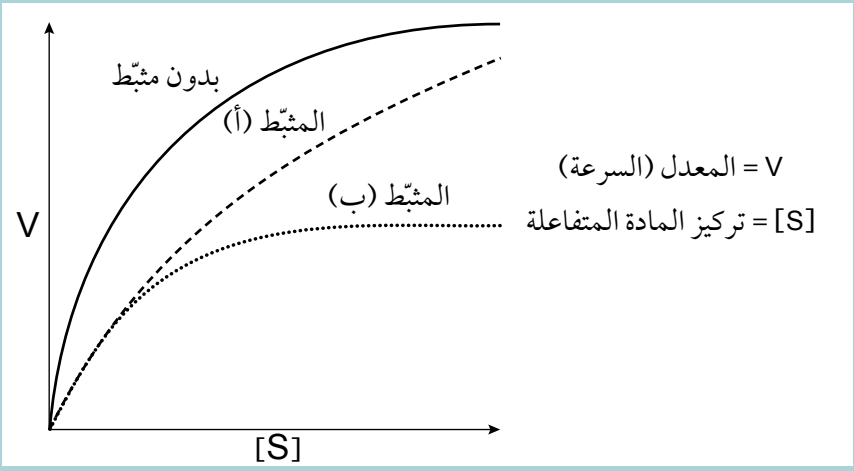
ج. مثِّل البيانات الواردة في الجدول بيانيًّا.

د. صف النمط المبين في التمثيل البياني، واشرحه.

يمكن أن يكون استخدام اللاكتيز المثبت في الحبيبات أكثر فاعلية من إضافة إنزيم اللاكتيز مباشرةً إلى حليب البقر.

هـ. اقترح ثلاثة أسباب تبرر أن استخدام الإنزيم (اللاكتيز) المثبت أكثر فعالية من الإنزيم (اللاكتيز) الحر، كما جاء في العبارة أعلاه.

٩ أُجري استقصاء حول مثبّطَين للإنزيم نفسه المثبّط (أ) والمثبّط (ب)، لمعرفة ما إذا كانا تنافسيَّين أو غير تنافسيَّين. وللتأكّد من ذلك، تمّ قياس معدل تفاعل الإنزيم في تراكيز مختلفة من المادة المتفاعلة [S]، من دون مثبّط، ومع المثبّط (أ)، ومع المثبّط (ب). تبدو أدناه التمثيلات البيانيّة للبيانات. تبيّن التمثيلات البيانيّة أن أحد المثبّطَين تنافسي، والآخر غير تنافسي.



انقل التمثيلات البيانيّة إلى دفترك.

أ. اكتب على التمثيل البياني (بدون مثبّط) المسميات K_m، $\frac{1}{2}V_{max}$، V_{max}

ب. وضّح تأثير المثبّط (أ) على V_{max} و K_m للإنزيم.

ج. وضّح تأثير المثبّط (ب) على V_{max} و K_m للإنزيم.

د. أيّ مثبّط تنافسي، وأيّهما غير تنافسي؟ اشرح إجابتك.

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول كالآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أذكر أنّ الإنزيمات بروتينات كرويّة تحفّز التفاعلات داخل الخلايا أو تفرز لتحفّز التفاعلات خارج الخلايا.	٣-١			
أشرح طريقة عمل الإنزيمات من حيث الموقع النشط، ومعقد الإنزيم- المادة المتفاعلة، وتخفيض طاقة التنشيط وتخصصية الإنزيمات، وفقًا لفرضية التلاؤم المستحث.	٣-٢			
أشرح كيف أستقصي سير التفاعلات المحفّزة بالإنزيم عن طريق قياس معدل تكوّن النواتج باستخدام الكتاليز ومعدل اختفاء المادّة المتفاعلة باستخدام الأميليز.	٣-٣			
ألخّص استخدام مقياس الألوان لقياس سير التفاعلات المحفّزة بالإنزيم التي تتضمّن تغيّرات في اللون.	٣-٣			
أستقصي وأشرح تأثير العوامل الآتية في معدل التفاعلات المحفّزة بالإنزيم: • تركيز الإنزيم • تركيز المادة المتفاعلة • تركيز المثبّط.	٣-٤			
أشرح أنّ أقصى سرعة للتفاعل (V_{max}) تستخدم لاشتقاق ثابت ميكاليليس و مينتين (K_m)، الذي يستخدم لمقارنة تلاؤم الإنزيمات المختلفة مع موادها المتفاعلة.	٣-٥			
أشرح تأثير المثبّطات العكسيّة، التنافسيّة وغير التنافسيّة، على نشاط الإنزيمات.	٣-٦			
أصف الطرق المختلفة للنشاط بين الإنزيم المثبّت بالألجينات (أو الصمغ الهلامي الألجيني) والإنزيم نفسه الحرّ في محلول، وأذكر ميزات استخدام الإنزيمات المثبّتة.	٣-٧			

الوحدة الرابعة

دورة الخلية والانقسام المتساوي

The cell cycle and mitosis

أهداف التعلّم

٤-١ يصف تركيب الكروموسوم مقتصرًا على:

- DNA
- بروتينات الهستون
- الكروماتيدات المتطابقة (الشقيقة)
- السنترومير
- التيلوميرات.

٤-٢ يشرح أهميّة الانقسام المتساوي في إنتاج خلايا جديدة متماثلة جينيًا خلال:

- نمو الكائنات الحيّة متعدّدة الخلايا.
- استبدال الخلايا التالفة أو الميتة.
- إصلاح الأنسجة عن طريق استبدال الخلايا.
- التكاثر اللاجنسي.

٤-٣ يلخص دورة الخليّة، بما في ذلك:

- الطور البيني (النمو في طورَي G_1 و G_2 وتضاعف DNA في الطور S)
- الانقسام المتساوي
- انقسام السيتوبلازم.

٤-٤ يحدّد دور التيلوميرات في منع فقدان الجينات من نهايات الكروموسومات أثناء تضاعف DNA.

٤-٥ يحدّد دور الخلايا الجذعيّة في استبدال الخلايا وإصلاح الأنسجة عن طريق الانقسام المتساوي.

٤-٦ يشرح كيف يمكن أن يؤدّي الانقسام الخلوي غير المنضبط إلى تشكل ورم.

٤-٧ يصف سلوك الكروموسومات في الخلايا النباتيّة والخلايا الحيوانيّة أثناء دورة الخلية والانقسام المتساوي وسلوك الغلاف النووي وغشاء سطح الخلية والخيوط المغزليّة المرتبطة بالانقسام المتساوي (يتوقع تسمية الأطوار الرئيسية للانقسام المتساوي: الطور التمهيدي، الطور الاستوائي، الطورالانفصالي، الطور النهائي).

٤-٨ يفسّر الصور المجهريّة والرسوم والشرائح المجهريّة للخلايا في أطوار مختلفة من دورة الخليّة بما يتضمن الأطوار الرئيسية للانقسام المتساوي.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

يحدث الانقسام المتساوي قبل انقسام السيتوبلازم، أثناء نمو الكائنات الحيّة متعددة الخلايا، بحيث تحتوي كل خليّة جديدة على نواة مطابقة لنواة الخلية الاصلية.

ناقش مع زميلك بإيجاز أهميّة ذلك، ثم أجب عمّا يلي:

- اذكر **أربع** سمات تركيبيّة لنواة خلية حقيقيّة النواة.
- أوجز وظيفة كل سمة ذكرتها (أو اذكر مثالًا على وظيفتها).

العلوم ضمن سياقها

لماذا نكبر ونشيخ؟

ما الفائدة من إطالة عمر الإنسان؟ سؤال شغل الكيميائيين الأوائل الصورة ٤-١، وجعلوا نصب أعينهم هدفَين رئيسيَّين:

- معرفة كيفيّة تحويل المعادن «الرخيصة» (مثل الرصاص) إلى معادن «ثمينة» (مثل الذهب والفضة).
- اكتشاف إكسير الحياة، الذي يحقق الشباب الدائم.

مع بداية القرن العشرين، اعتقد العلماء أن هذه الأهداف مجرّد أحلام مستحيلة، غير أنهم اليوم، مصرّون على تحدّي فكرة أن الشيخوخة أمر لا مفر منه.

فلماذا تشيخ الكائنات الحيّة وتموت؟ لقد عاد الاهتمام بمسألة الشيخوخة مع اكتشاف التيلوميرات عام 1978م. فالتيلوميرات تسلسلات واقية من النيوكليوتيدات، توجد في نهايات الكروموسومات، والتي تقصر في كل مرة تنقسم فيها الخلية، الأمر الذي يؤدي الى تراجع تدريجي للكائن الحي تنتج عنه الشيخوخة.

تستطيع بعض الخلايا تجديد التيلوميرات باستخدام إنزيم تيلوميريز. ويُعتقد أن الخلايا السرطانيّة قادرة على ذلك بهدف جعلها لا تموت. لذلك، قد يكون ممكنًا منع شيخوخة الخلايا الطبيعيّة، وذلك بالحفاظ على نشاط إنزيم التيلوميريز.

الصورة ٤-١ لوحة زيتيّة من القرن التاسع عشر لكيميائي يعمل في مختبره.

سؤال للمناقشة

قد تثير مسألة إبطاء عملية الشيخوخة أو إمكانية منع حدوثها، قضايا معنويّة وأخلاقيّة. حاول تحديد بعض هذه القضايا ومناقشتها.

٤-١ النمو والتكاثر ودور الكروموسومات

تنمو جميع الكائنات الحيّة وتتكاثر. وهي تتكوّن من خلايا، ما يعني أن الخلايا يجب أن تكون قادرة على النمو والتكاثر، عن طريق الانقسام ونقل نسخ كاملة من جيناتها إلى الخلايا «الناتجة». لذلك، يجب أن تكون هذه العمليّة منضبطة بدقة كبيرة، بحيث لا تُفقد أية معلومات جينيّة حيويّة.

لقد درست في الوحدة الأولى أن النواة من أكثر التراكيب تمييزًا في الخلايا حقيقيّة النواة، والتي تكتسب أهمّية لتحكّمها في أنشطة الخليّة، ولاحتوائها على المادة الجينية، DNA، والتي تعمل كمجموعة من التعليمات أو شفرة الحياة.

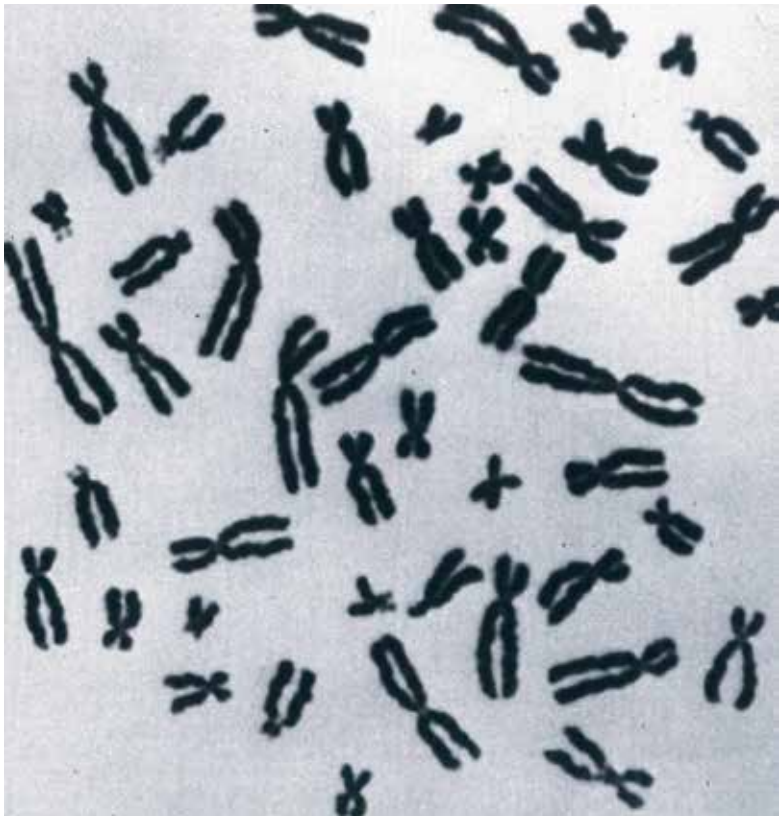
تكون جميع الخلايا في أجسام الكائنات الحيّة متعددة الخلايا متطابقة جينيًا. ويعود ذلك إلى أنها تنتج من خلية واحدة هي الزيجوت، والتي تكونت من اندماج مشيج من الأب ومشيج من الأم. وعندما يبدأ الزيجوت عمليّة النمو، فإنه ينقسم إلى خليتَين بنواتَين متطابقتَين، عبر نوع من الانقسام يسمّى الانقسام المتساوي، الذي كنت قد تعلّمته في الصف العاشر، حيث تتكرر عمليّة انقسام الخليّة في دورة تسمّى دورة الخلية بشكل مستمر، بهدف تكوين جميع خلايا الجسم التي يصل عددها في الإنسان البالغ إلى 30 تريليون خليّة تقريبًا.

تنتج الأمشاج، وهي خلايا أحاديّة المجموعة الكروموسومية (تحتوي فقط على نصف عدد الكروموسومات)، بنوع خاص من الانقسام الخلوي يسمّى الانقسام الاختزالي الذي كنت قد درسته في الصف العاشر، وفي الصف الثاني عشر ستتعلمه بمزيد من التفصيل.

الكروموسومات

قبل انقسام الخليّة حقيقيّة النواة، يصبح عددٌ من التراكيب الخيطيّة مرئيًا بشكل تدريجي في النواة، إذ تصطبغ بشدة بصبغات معيّنة. وقد أطلق عليها اسم الكروموسومات قبل معرفة وظيفتها، حيث جاء الاسم من مقطعين: «كرومو» وتعني ملوّن و «سومات» وتعني أجسام.

عدد الكروموسومات سمة مميزة لنوع الكائن الحي. على سبيل المثال، يوجد في خلايا الإنسان 46 كروموسومًا، في حين أن عددها في خلايا ذبابة الفاكهة 8 كروموسومات فقط. تمثل الصورة ٤-٢ صورة مجهريّة لمجموعة الكروموسومات في خليّة إنسان.



الصورة ٤-٢ صورة مجهرية لمجموعة من الكروموسومات لخلية ذكر الإنسان قبل انقسام الخليّة مباشرة، حيث يتكوّن كل كروموسوم من كروماتيدَين مرتبطَين معًا عبر السنترومير. لاحظ الحجوم المختلفة للكروموسومات والمواقع المختلفة للسنترومرات.

تركيب الكروموسومات

مصطلحات علمية

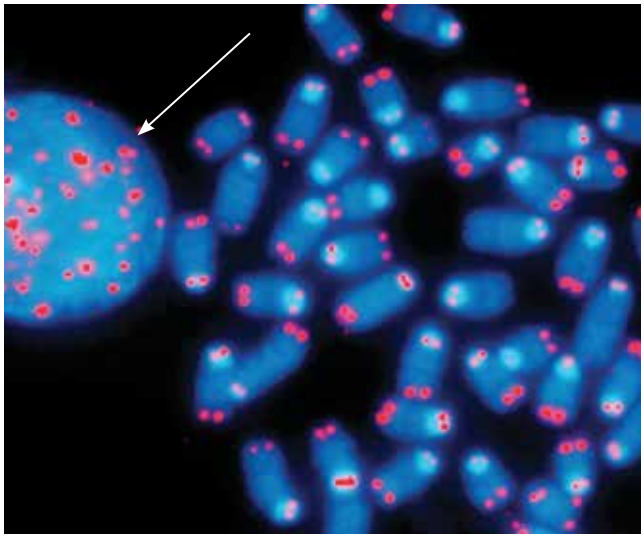
الكروماتيد Chromatid: أحد جُزأَي الكروموسوم المتطابقَين والمرتبطَين معًا عبر السنترومير، يتكوّن أثناء الطور البيني عن طريق تضاعف جزيء DNA.

من الضروري معرفة تركيب الكروموسومات قبل دراسة الانقسام المتساوي. يبيّن الشكل ٤-١ رسمًا تخطيطيًا مبسّطًا لتركيب الكروموسوم قبل انقسام الخليّة مباشرة.

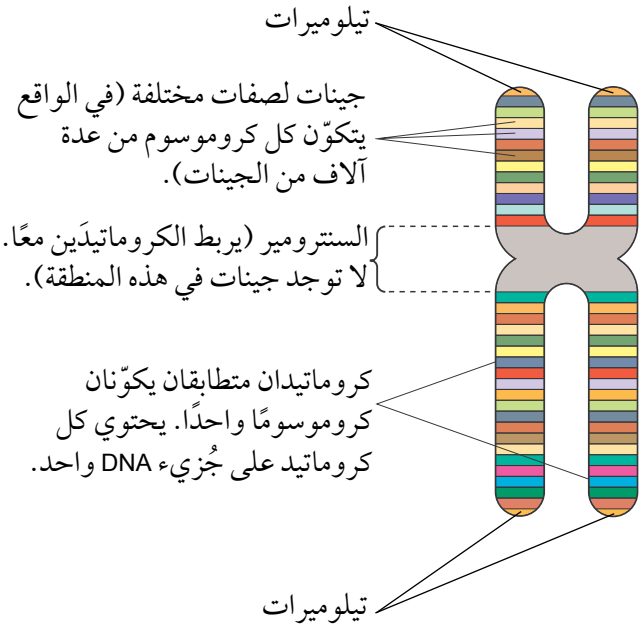
يكون الكروموسوم على هيئة تركيب مزدوج، ويتكوّن من تركيبَين متطابقَين مرتبطَين معًا هما **الكروماتيدان Chromatids**. ويُطلق على الكروماتيدَين المتطابقَين في كل كروموسوم اسم الكروماتيدَين الشقيقَين Sister chromatids. ويعود وجود كروماتيدَين في الكروموسوم إلى أن كل جُزيء DNA في النواة يكوّن نسخة مطابقة له أثناء الطور البيني، وهو المدّة المستغرقة بين انقسامَين متساويَين. يحتوي كل كروماتيد على نسخة من نسختَي DNA المذكورتَين، وترتبط الكروماتيدات الشقيقة معًا في منطقة ضيقة تسمّى سنترومير، لتشكّل كروموسومًا واحدًا. ويمكن أن يوجد السنترومير في أيّة منطقة على امتداد الكروموسوم، وموقع السنترومير يميّز كل كروموسوم.

DNA هو جُزيء الوراثة، وهو يتكوّن من سلسلة من الجينات، بحيث كل جين يمثل وحدة وراثة واحدة. ويكون جُزيئا DNA في الكروماتيدَين الشقيقَين متطابقَين، الأمر الذي يعني أن الجينات على الكروماتيدَين متطابقة أيضًا. ويمثل تطابق الكروماتيدَين الشقيقَين الأساس في عمليّة الانقسام المتساوي، وعندما تنقسم الخليّة، ينتقل كروماتيد واحد إلى خليّة ناتجة، في حين ينتقل الكروماتيد الآخر إلى الخليّة الناتجة الأخرى، لتكون الخليّتان الناتجتان متطابقتَين. تخزن معلومات كثيرة في DNA، لذا يجب أن يكون جُزيئًا طويلًا يرتكز على دعامات مكونة من جزيئات بروتين تسمى الهستونات Histones، والتي تمنع تشابك خيوط DNA. ويسمى التركيب من DNA والبروتينات الكروماتين، والذي تتكون منه الكروموسومات.

تتصف الكروموسومات أيضًا بصفتَين أساسيتَين ضروريتَين لانقسام الخلية هما: وجود السنترومير والتيلوميرات فيها. لاحظ السنترومير في الشكل ٤-١ والصورة ٤-٢. ويمكن مشاهدة التيلوميرات إذا صبغت الكروموسومات بشكل مناسب الصورة ٤-٣. ستتعلّم السنترومير ودور التيلوميرات لاحقًا في هذه الوحدة.



الصورة ٤-٣ تيلوميرات إنسان كما تبدو بصبغة فلورية بالمجهر الضوئي. تبدو الكروموسومات بالأزرق، والتيلوميرات بالزهري ويشير السهم إلى خلية وهي في الطور البيني. (X 4000)



الشكل ٤-١ رسم تخطيطي مبسّط لتركيب كروموسوم.

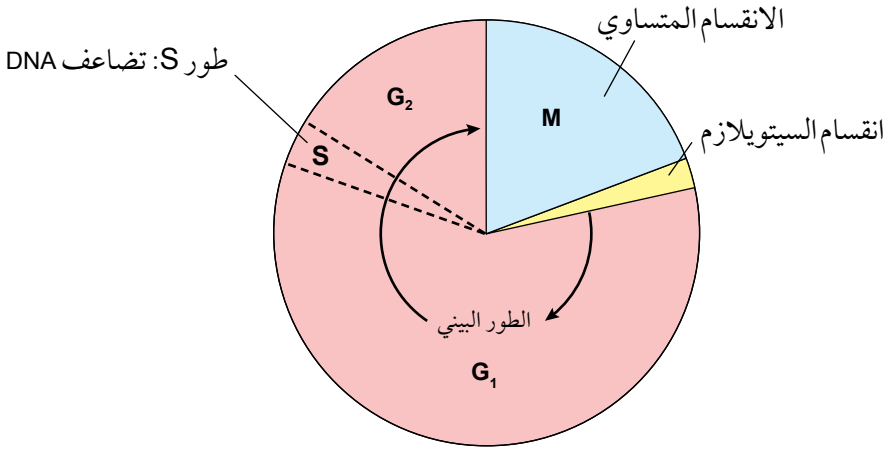
٢-٤ دورة الخليّة

دورة الخليّة Cell cycle، عمليّة منضبطة بدقّة تحدث في جميع الخلايا، وتتضمّن: الطور البيني، والطور M، وانقسام السيتوبلازم. الطور M، الذي سيتم تناوله في هذه الوحدة هو طور **الانقسام المتساوي Mitosis**، يبين الشكل ٤-٢ دورة الخلية.

مصطلحات علمية

دورة الخليّة Cell cycle: تسلسل الأحداث من انقسام الخليّة إلى الانقسام التالي، وتتكوّن من الطور البيني، والانقسام المتساوي، وانقسام السيتوبلازم.

الانقسام المتساوي Mitosis: انقسام المادة الجينية الأصلية الأمر الذي يضمن للخليّتين الناتجتَين من انقسام الخلية الأصلية أن تحتوي كل منهما على العدد والنوع نفسيهما من الكروموسومات كما في الخليّة الأصلية.



الشكل ٤-٢ دورة الخلية. يحدث تضاعف DNA أثناء الطور البيني: S تعني Synthesis، G تعني Gap، M تعني Mitosis

الطور البيني

يشكل الطور البيني Interphase 90 % من دورة الخلية، والذي يقسم إلى ثلاثة أطوار هي الطور G_1 (first gap) والطور S (synthesis)، والطور G_2 (second gap).

أثناء الطور G_1 تُكوِّن الخلية RNA والإنزيمات وبروتينات أخرى تحتاج إليها للنمو، وفي الطور S يتضاعف DNA في النواة، ليصبح كل كروموسوم مكونًا من كروماتيدَين متطابقَين. وأثناء الطور G_2 تستمر الخليّة في النمو، ويجري تدقيق تركيب DNA الذي تكوّن أثناء طور S، وإصلاح أي خطأ فيه. كما تجري الاستعدادات للبدء بعمليّة الانقسام، على سبيل المثال: تحدث زيادة كبيرة في إنتاج بروتين تيوبيولين Tubulin اللازم لتكوين الأنيبيبات الدقيقة المكوّنة لخيوط المغزل.

الانقسام المتساوي

يحدث بعد الطور البيني الانقسام المتساوي، والذي يسمّى الطور M (تعود M إلى Mitosis)، الذي به تنقسم المادة الوراثية لينتج نواتَين متطابقتَين جينيًا.

انقسام السيتوبلازم

بعد الطور M تخضع الخلية بأكملها للانقسام منتجة خليتين متطابقتين جينيًا. في الخلايا الحيوانيّة يتخصر غشاء سطح الخلية بين النواتَين الجديدتَين، مكونًا شقّ انقسام Cleavage furrow في وسط الخلية؛ تسمّى هذه العملية

انقسام السيتوبلازم Cytokinesis. أمّا في الخلايا النباتيّة، فتتكوّن جُدُر خلويّة جديدة بين النواتَين الجديدتَين. يكون طول مدّة دورة الخليّة متغيّرًا كثيرًا، اعتمادًا على الظروف البيئيّة ونوع الخليّة. وفي المتوسط، تنقسم خلايا قمة جذر البصل مرة كل 20 ساعة، وتنقسم الخلايا الطلائيّة في أمعاء الإنسان مرة كل 10 ساعات تقريبًا.

مثال

إذا توافرت عيّنة مكوّنة من 25000 خليّة لوحظ منها أربع خلايا فقط تمر في عمليّة انقسام متساوٍ. ما متوسط دورة الخليّة في الكائن الحي الذي أخذت منه هذه العيّنة، إذا استغرق الانقسام المتساوي 30 دقيقة؟

أولًا، احسب مؤشر الانقسام المتساوي. وهو ببساطة عدد الخلايا التي تمر في عمليّة الانقسام المتساوي مقسومًا على العدد الكلي للخلايا.

$$\text{مؤشر الانقسام المتساوي} = \frac{\text{عدد الخلايا التي تمر في عمليّة الانقسام المتساوي}}{\text{العدد الكلي للخلايا}}$$

$$\frac{4}{25000} = 0.00016$$

استخدم هذا الرقم وطبق الصيغة أدناه لتقدير مدة الدورة الكليّة للخليّة.

$$\text{مدة الدورة الكليّة للخليّة} = \frac{\text{مدة الانقسام المتساوي}}{\text{مؤشر الانقسام}}$$

$$= \frac{0.5 \text{ ساعة}}{0.00016} = 3125 \text{ ساعة}$$

يمكن حساب مدة الدورة هذه بالأيام بالقسمة على 24:

$$= \frac{3125}{24} = 130.21 \text{ يومًا}$$

٤-٣ الانقسام المتساوي

إحدى أفضل الطرائق لوصف أحداث الانقسام المتساوي هي من خلال ملاحظة الرسوم التخطيطية كما يوضح في الشكل ٤-٣. وبالرغم من أن العملية متواصلة، إلّا أنها تقسم عادة إلى أربعة أطوار رئيسيّة: الطور التمهيدي Prophase، والطور الاستوائي Metaphase، والطور الانفصالي Anaphase، والطور النهائي Telophase.

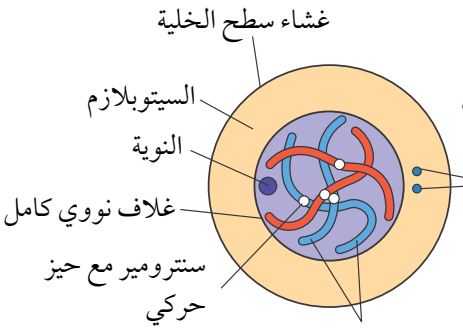
تحتوي معظم النوى على العديد من الكروموسومات، لكن الرسوم التخطيطيّة في الشكل ٤-٣ تبيّن بشكل مبسّط خليّة تحتوي فقط على أربعة كروموسومات. وقد استخدمت الألوان للتمييز بين الكروموسومات من الأم أو من الأب، بحيث تمت التجربة على خليّة حيوانيّة كمثال. لاحظ أن الغلاف النووي يختفي خلال نهاية الطور التمهيدي؛ فهو يتحلّل إلى حويصلات صغيرة لا تُرى بالمجهر الضوئي، ويعاد تجميعها أثناء الطور النهائي، كما في الشكل ٤-٣. ولذلك، لا تبيّن الرسوم التخطيطيّة للطور الاستوائي والطور الانفصالي الغلاف النووي. ومع اكتمال الطور النهائي، تنقسم الخليّة عن طريق تخصُّر السيتوبلازم، في عمليّة تسمّى انقسام السيتوبلازم. ومع تغيّر شكل الخليّة، وتكوّن خليتَين جديدتَين، تزداد مساحة سطح الخليّة، فيلزم تكوين غشاء سطح خلية جديد.

يتطابق سلوك الكروموسومات في الخلايا النباتيّة مع سلوكها في الخلايا الحيوانيّة، ومع ذلك تختلف الخلايا النباتيّة بطريقتَين:

- لا تحتوي الخلايا النباتيّة على أجسام مركزية (سنتروسومات).
- يجب أن يتكوّن جدار خلوي جديد بين النواتَين الناتجتين، بعد الانقسام المتساوي.

ما يكتسب أهميّة خاصة هنا هو سلوك الكروموسومات. تمثل الصورتان ٤-٤، ٤-٥ الانقسام المتساوي في الخلايا الحيوانية والنباتية على التوالي كما تُرى بالمجهر الضوئي.

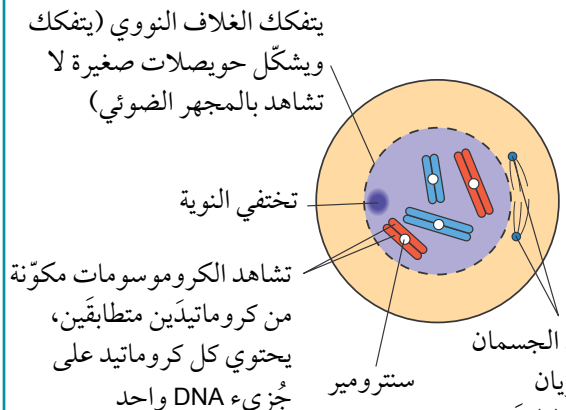
بداية الطور التمهيدي



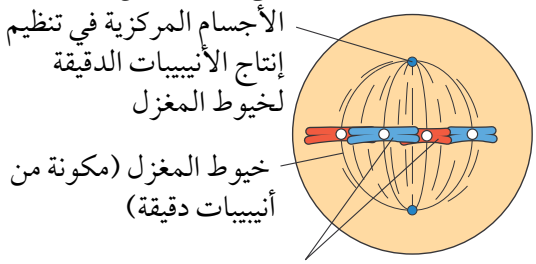
يتكوّن جسمان مركزيان (بتضاعف الجسم المركزي الأصلي أثناء طور S من دورة الخليّة)

يبدأ ظهور الكروموسومات على شكل لفائف من الكروماتين، وتقصر وتسمك بما يكفي لأن تشاهد عندما تصبغ، ومازال لا يشاهد بوضوح أن كل كروموسوم مكوّن من كروماتيدين.

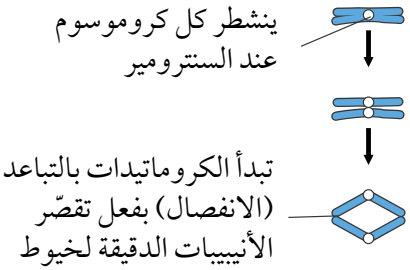
نهاية الطور التمهيدي



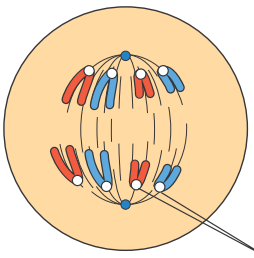
الطور الاستوائي



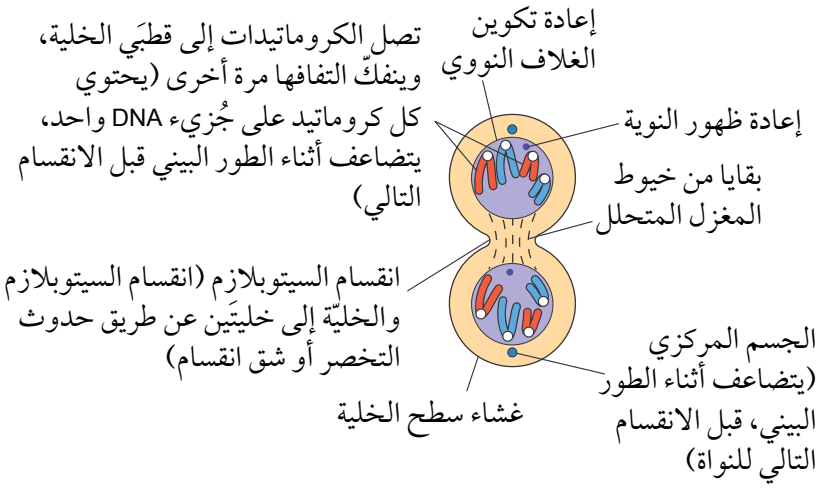
انفصال الكروماتيدات



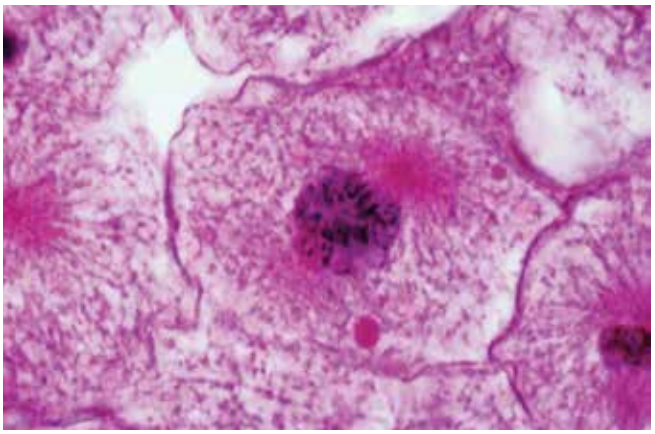
الطور الانفصالي



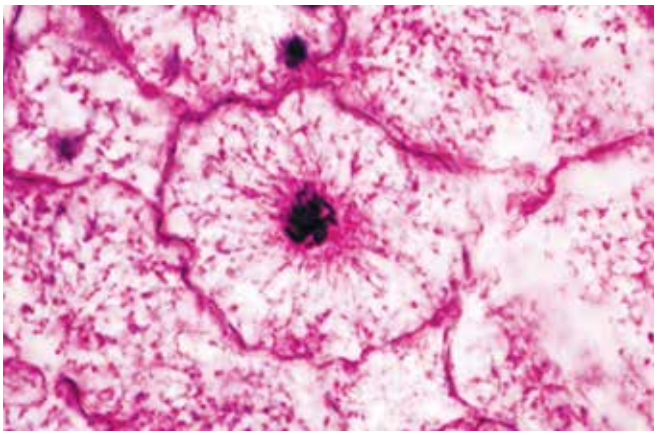
الطور النهائي



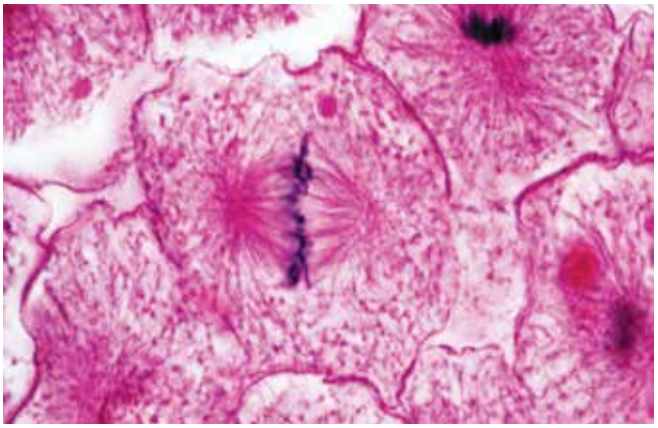
الشكل ٤-٣ الانقسام المتساوي وانقسام السيتوبلازم في الخليّة الحيوانيّة.



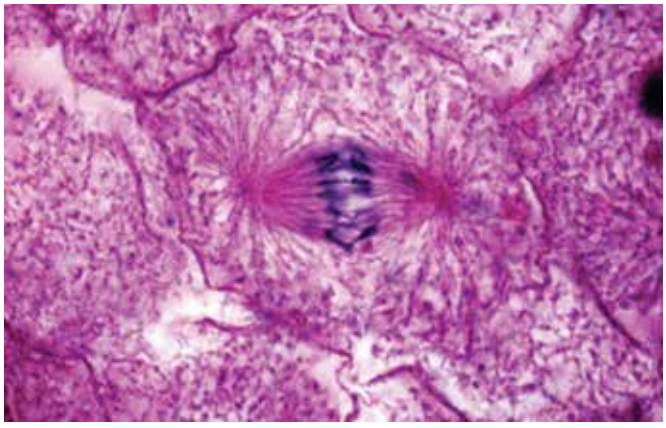
(أ) بداية الطور التمهيدي.



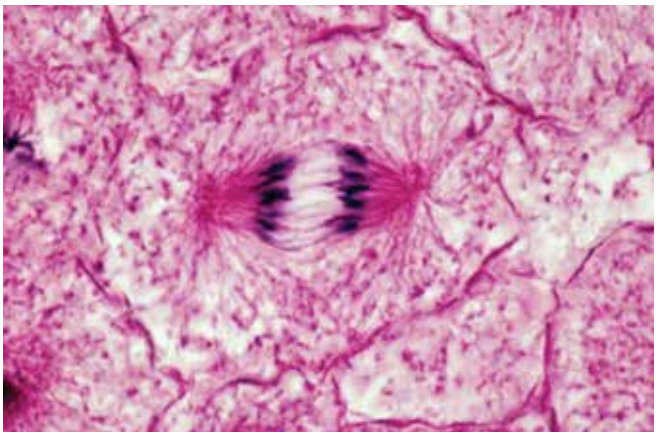
(ب) نهاية الطور التمهيدي.



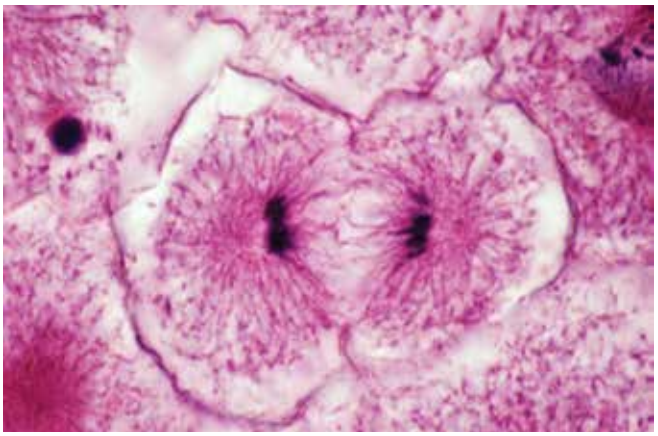
(ج) الطور الاستوائي. تشاهد خيوط المغزل (الأنيبيبات الدقيقة) بوضوح الآن، ويتموضع الجسمان المركزيان على الطرفَين المتقابلَين للخلية في مركز الأنيبيبات الدقيقة حيث تنتظم على شكل نجمة من الأنيبيبات الشعاعيّة.



(د) بداية الطور الانفصالي.

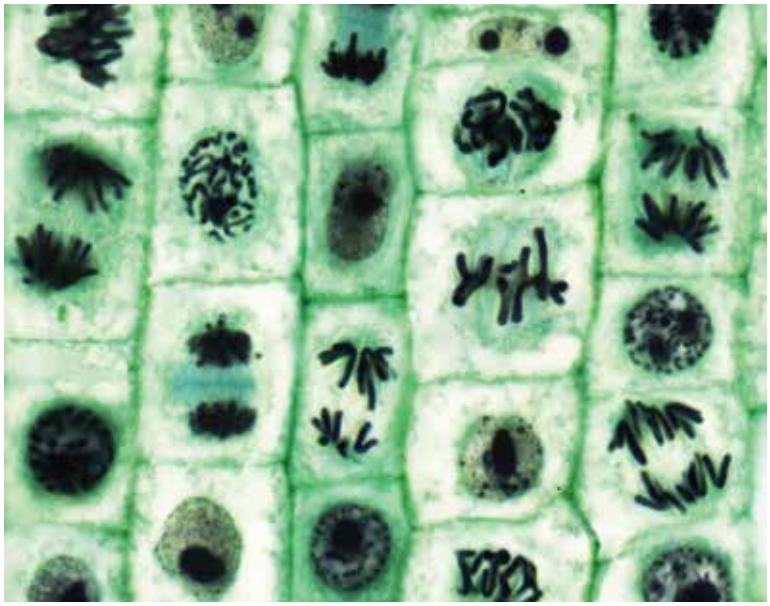


(هـ) نهاية الطور الانفصالي.



(و) الطور النهائي وبداية انقسام السيتوبلازم.

الصورة ٤-٤ أطوار الانقسام المتساوي وانقسام السيتوبلازم في خليّة حيوانيّة (سمكة بيضاء) (X 900). الكروموسومات مصطبغة بلون غامق.



الصورة ٤-٥ قطاع طولي في قمة جذر البصل يبيّن أطوار الانقسام المتساوي. وانقسام السيتوبلازم النموذجي للخلايا النباتيّة (X 400). حاول تحديد الأطوار، استنادًا إلى المعلومات الواردة في الصورة ٤-٤.

الأجسام المركزية والسنتريولات والسنتروميرات

مصطلحات علمية

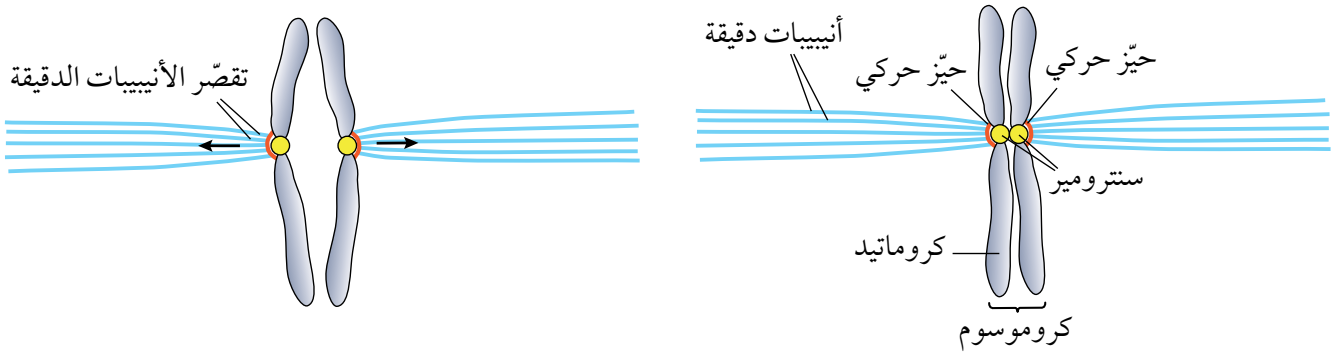
الحيز الحركي Kinetochores:
تركيب بروتيني يوجد في سنترومير الكروماتيد ترتبط به خيوط المغزل أثناء الانقسام المتساوي.

درست في الوحدة الأولى أن الجسم المركزي عُضيّة توجد في الخلايا الحيوانيّة وتعمل كمركز تنظيم للأنيبيبات الدقيقة. وهذه الأجسام المركزية تشكّل خيوط المغزل المكوّن من الأنيبيبات الدقيقة، والذي هو ضروري لفصل الكروماتيدات بعضها عن بعض.

يتكوّن كل جسم مركزي من زوج من السنتريولات ينظمان معًا الأنيبيبات الدقيقة في الخلايا الحيوانية. الانقسام المتساوي في الخلايا النباتية يحدث بدون الجسم المركزي.

يربط السنترومير الكروماتيدَين الشقيقَين انظر الصورة ٤-٢، والشكل ٤-٤. وله أيضًا دور في فصل الكروماتيدات أثناء الانقسام المتساوي، ففي الطور الاستوائي ترتبط خيوط المغزل بـ**حَيزَين حركيَّين Kinetochores** في السنترومير لكل كروماتيد من الكروموسوم الواحد كما هو موضّح في الشكل ٤-٤.

يتكون الحيز الحركي من جزيئات بروتينية تربط السنترومير بخيوط المغزل، أثناء الطور البيني قبل الانقسام المتساوي. تتقاصر الأنيبيبات الدقيقة المرتبطة بالسنترومير، الأمر الذي يؤدّي إلى انشطار السنترومير وانفصال الكروماتيدات الشقيقة بعضها عن بعض ليصبح لكل كروماتيد سنترومير منفصل. ومع تقصّر الأنيبيبات الدقيقة يتم سحب سنترومير كل كروماتيد باتجاه أحد قطبَي الخلية، ساحبًا خلفه بقية الكروماتيد، التي تأخذ الشكل < أو > أثناء الطور الانفصالي كما هو موضّح في الشكل ٤-٣ والصورتين ٤-٤ و ٤-٥.



الشكل ٤-٤ دور السنترومير والحيز الحركي والأنيبيبات الدقيقة أثناء الانقسام المتساوي.

أهميّة الانقسام المتساوي

نمو الكائنات الحيّة متعددة الخلايا

تحتوي الخليتان الناتجتان من الانقسام المتساوي على عدد الكروموسومات نفسه الذي في الخلية الأصلية؛ فهما متطابقتان جينيًا (أي أنهما مستنسختان). ويعني ذلك إمكانيّة نمو الكائنات الحيّة متعددة الخلايا من الزيجوت أحادي الخليّة. فقد يحدث النمو في جميع أنحاء الجسم كما في الحيوانات، أو ينحصر في مناطق معيّنة كما في الأنسجة المولدة في أماكن النمو في النبات.

استبدال خلايا الأنسجة التالفة أو الميّتة

يمكن تحقيق ذلك من خلال الانقسام المتساوي الذي يتبعه انقسام الخلية، إذ تموت الخلايا باستمرار ويعوّض بخلايا مطابقة. ففي جسم الإنسان على سبيل المثال، تكون عملية استبدال الخلايا سريعة خصوصًا في الجلد وبطانة القناة الهضميّة. كما تستطيع بعض الحيوانات إعادة تكوين جميع أجزاء الجسم ثانية، على غرار ما يفعله نجم البحر في تكوين أذرع جديدة.

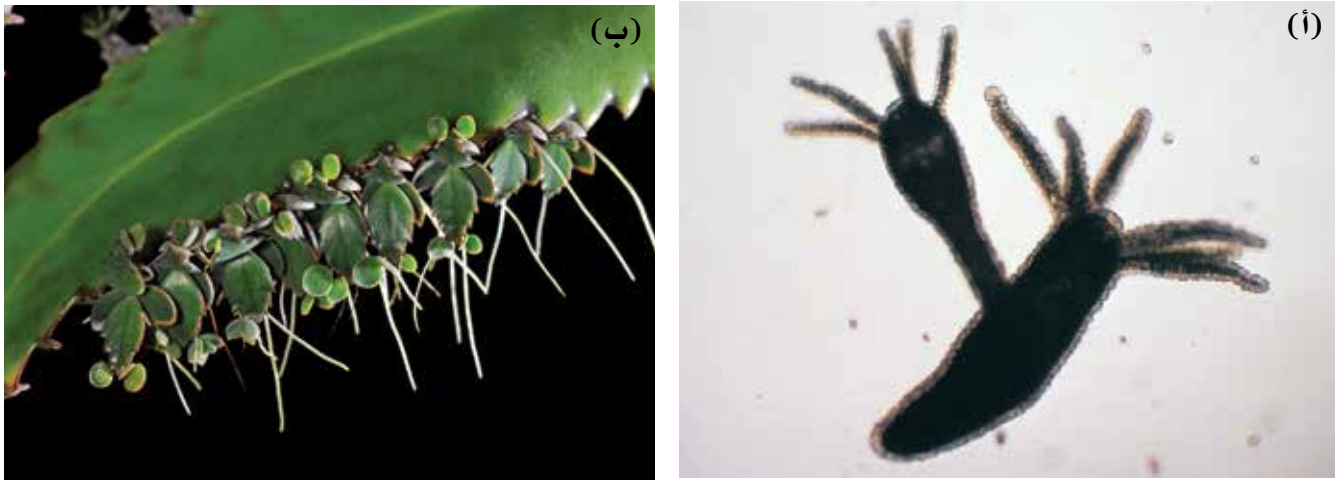
مصطلحات

التكاثر اللاجنسي: **Asexual reproduction** تكوين أفراد جديدة من كائن حي واحد.

التكاثر اللاجنسي

الانقسام المتساوي أساس **التكاثر اللاجنسي** **Asexual reproduction**، ويتمثل بتكوين أفراد جديدة من كائن حي واحد، فيكون النسل الناتج مطابقًا جينيًا لهذا الفرد. ويمكن أن يكون التكاثر اللاجنسي على عدة أشكال.

يحدث التكاثر اللاجنسي في الكائنات الحيّة أحاديّة الخليّة مثل الأميبا، عن طريق الانقسام المتساوي، حيث ينتج من كل انقسام متساوٍ كائن حي جديد مطابق للخليّة الأصليّة؛ فيما يحدث التكاثر اللاجنسي في بعض الكائنات الحيّة متعددة الخلايا، بخاصة في بعض أنواع النباتات، عن طريق التبرعم كما في الصورة ٤-٦. حيث، يتكوّن نمو خارجي أو برعم مرتبط بساق الكائن الأصلي (النبات الأم)، وعندما ينضج ينفصل عن النبات الأصلي فيسقط ليكون كائنًا حيًّا جديدًا مستقلًا. ويمكن أن تتكون الدرنات والبصيلات بطريقة مماثلة، لتكوِّن نباتات جديدة. يمثِّل التكاثر اللاجنسي من خلايا مفردة أو مجموعة من الخلايا شكلًا من أشكال الاستنساخ، وهو مهم في الزراعة والتكنولوجيا الحيويّة وهندسة الجينات.



الصورة ٤-٦ (أ) التكاثر اللاجنسي بالتبرعم في الهيدرا (X 60) ***Hydra***. تعيش الهيدرا في المياه العذبة، وتصطاد فريستها بمجساتها. والبرعم الذي ينمو من جانبها مطابق جينيًا للهيدرا الأم، ثم ينفصل في النهاية ليعيش مستقلًا. (ب) التكاثر اللاجنسي في نبات كالانشو بيناتا **Kalanchoe pinnata**، بحيث يكوّن النبات أفرادًا جديدة مطابقة جينيًا على امتداد حواف الأوراق.

الاستجابة المناعيّة

يعتمد استنساخ الخلايا اللمفاوية التائية (T) والخلايا اللمفاوية البائية (B) أثناء الاستجابة المناعيّة على الانقسام المتساوي.

أسئلة

١ لخص دور الانقسام المتساوي في التكاثر اللاجنسي.

٢ تحتوي خليّة إنسان على 46 كروموسومًا. في دورة الخلية:

أ. ما عدد الكروماتيدات عندما تبدأ هذه الخليّة عمليّة الانقسام المتساوي.

ب. ما عدد جزيئات DNA في هذه الخليّة؟

ج. ما عدد الحيزات الحركية في هذه الخليّة؟

د. ما عدد الكروموسومات في نواة كل خليّة ناتجة بعد الانقسام المتساوي؟

هـ. ما عدد الكروماتيدات في نواة هذه الخليّة بعد تضاعف DNA؟

٣ ارسم رسمًا تخطيطيًا مبسّطًا لخليّة تحتوي على زوج واحد من الكروموسومات:

أ. في الطور الاستوائي من الانقسام المتساوي.

ب. في الطور الانفصالي من الانقسام المتساوي.

٤ اذكر وظيفتَين للسنتروميرات أثناء الانقسام المتساوي.

٥ جرى تحضير شرائح رقيقة من كبد فأر بالغ، وصبغت الخلايا لإظهار الكروموسومات. وأثناء فحص عيّنة من 75000 خليّة، وجدت 9 خلايا في حالة الانقسام المتساوي. احسب طول دورة الخليّة بالأيام في خلايا كبد الفأر، بافتراض أن الانقسام يستغرق ساعة واحدة.

مهارات عملية ٤-١

استقصاء الانقسام المتساوي باستخدام مهروس قمة الجذر

يقتصر النمو في النباتات على مناطق تسمّى الأنسجة المولدة. ومن الأمثلة المناسبة للدراسة النسيج المولّد في قمة الجذر، الذي يكون خلف قلنسوة الجذر الواقية مباشرة. بحيث يوجد في هذا النسيج المولّد منطقة انقسام للخلايا تحتوي على خلايا صغيرة خلال عمليّة الانقسام المتساوي.

يمكنك دراسة شرائح دائمة لقمم الجذر محضرة تجاريًا، ويمكنك أيضًا إعداد شرائح مؤقتة لها. فعمل شرائح رقيقة من النبات أمر صعب، لكن البديل عن ذلك هو استخدام الهرس، التي تتضمن صبغ قمة الجذر ثم هرسها بلطف، بحيث تنتشر الخلايا على شكل طبقة رقيقة يمكن فيها مشاهدة الخلايا المفردة وهي تنقسم بوضوح.

الإجراء (الطريقة)

توفر قمة الجذر في الثوم والبصل والفول وتباع الشمس مادة مناسبة، إذ يمكن تنمية الأبصال أو البذور المعلقة باستخدام دبوس تثبيت فوق الماء لمدة أسبوع أو أسبوعَين. تُنزع قمم الجذور (1 cm تقريبًا)، وتوضع في صبغة مناسبة مثل حمض الأورسين الخلي الدافئ، فتصطبغ الكروموسومات بلون أرجواني داكن. ويمكن هرس قمة الجذر المصبوغة على شكل طبقة رقيقة من الخلايا على شريحة زجاجيّة باستخدام أداة غير حادة مثل نهاية مقبض إبرة مثبتة.

يفترض أن تشاهد خلايا تشبه تلك التي في (الصورة ٤-٥) وأن ترسمها (لاحظ أن (الصورة ٤-٥) تبيّن قطاعًا طوليًا في قمة الجذر وليس مهروسًا)، كما يمكن استخدام الصورة أيضًا لرسم بعض الرسوم مع شرحها لأطوار الانقسام المتساوي المختلفة.

(راجع الاستقصاء العملي ٤-١ إعداد مهروس قمة الجذر في كتاب «التجارب العملية والأنشطة» للحصول على مزيد من التفاصيل).

٤-٤ دور التيلوميرات

مصطلحات علمية

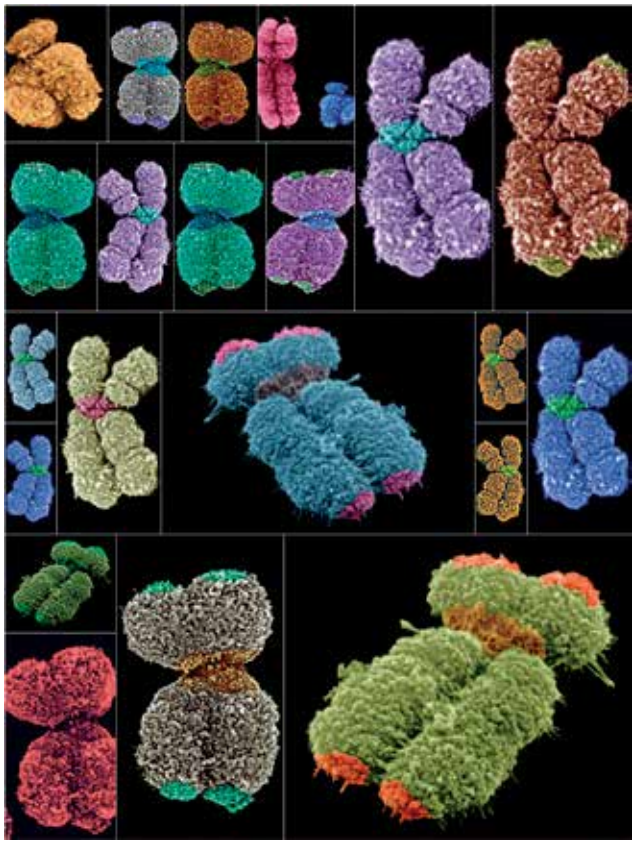
التيلومير Telomere: سلسلة قصيرة متكررة من قواعد نيتروجينية على جزيء DNA في نهاية الكروموسوم. تحمي الجينات من قصر الكروموسوم الذي يحدث مع نهاية كل انقسام خلوي.

لقد درست سابقًا أن DNA يتضاعف أثناء طور S من دورة الخليّة. فإنزيم النسخ لا يستطيع أن يعمل حتى نهاية شريط جزيء DNA ويكمل التضاعف، لأنه يتوقف قبل النهاية بقليل، وإذا لم يتم نسخ جزء من DNA، يضيع ذلك الجزء من المعلومات، كما يضيع جزء آخر من المعلومات من نهاية جزيء DNA أثناء كل انقسام لاحق خلال الانقسامات المتتالية للخلية، وفي النهاية، يؤدي فقدان جينات حيويّة إلى موت الخليّة.

تتمثل الوظيفة الرئيسيّة **للتيلوميرات Telomeres** في التأكد من شمول نهايات جزيء DNA في عمليّة تضاعفه، ومن دون أن تهمل. توجد التيلوميرات عند نهايات الكروموسومات انظر الصورة ٤-٧، وأيضًا الصورة ٤-٢، وقد تمّ تشبيهها بالأطراف البلاستيكيّة في نهايات رباط الحذاء. إذ تتكوّن التيلوميرات من سلسلة قصيرة متكررة من قواعد نيتروجينية على جزيء DNA في نهاية الكروموسوم.

تتمثل مهمة التيلوميرات في إطالة جزيء DNA، وهي لا تحتوي على جينات، لكنها تتيح لإنزيم النسخ إتمام نسخ جميع DNA الذي يحتوي على الجينات. وطالما تضاف قواعد جديدة إلى التيلومير في كل دورة خلية لتحل محل تلك التي لم يتمّ نسخها، لا تفقد أيّة معلومات حيويّة من DNA (أي DNA بدون التيلومير)، وبالتالي تكون الخليّة قادرة على مواصلة الانقسام بنجاح. يسمّى الإنزيم الذي يؤدي دور إضافة قواعد إلى التيلومير، إنزيم تيلوميريز.

بعض الخلايا لا تعوّض النقص في التيلوميرات عند كل انقسام، إذ تميل إلى أن تكون خلايا «متمايزة» تمامًا. وتصبح تيلوميراتها أقصر فأقصر مع كل انقسام، بحيث لا يعود DNA الحيوي محميًا، فتموت الخليّة. وقد تكون هذه إحدى أطوار الشيخوخة التي يشيخ فيها الإنسان ويموت. وهذا يقترح أنه بالحيلولة دون فقدان التيلوميرات سيكون العلماء قادرين على إبطاء أو حتى منع عمليّة الشيخوخة (انظر «لماذا نكبر ونشيخ؟» في بداية هذه الوحدة).



الصورة ٤-٧ صورة ملوّنة بالمجهر الإلكتروني الماسح لكروموسومات الإنسان تبيّن مواقع التيلوميرات في نهاية الكروموسومات. تبدو الكروماتيدات والسنترومير مرئيّة بوضوح، وتحتوي التيلوميرات على تسلسلات قصيرة متكررة من قواعد نيتروجينية على جزيء DNA في نهاية الكروموسوم؛ ومع تضاعف الخلايا، وتقدّمها في العمر، تقصر التيلوميرات تدريجيًا، لكن هذا الأمر لا ينطبق على الخلايا الجذعيّة.

٤-٥ دور الخلايا الجذعيّة

مصطلحات علمية

الخليّة الجذعيّة Stem cell: خليّة غير متخصصة نسبيًا تحتفظ بقدرتها على الانقسام بعدد غير محدود من المرات، ولديها القدرة على أن تصبح خليّة متخصصة مثل خلية دم أو خليّة عضليّة.

الخليّة الجذعيّة Stem cell، خليّة يمكنها الانقسام لعدد غير محدود من المرات بالانقسام المتساوي. وعندما تنقسم، يكون لدى كل خليّة جديدة القدرة على أن تبقى خليّة جذعيّة أو أن تتطوّر (تتمايز) إلى خليّة متخصصة مثل خلية دم أو خليّة عضليّة.

للخلايا الجذعية القدرة Potency على إنتاج أنواع مختلفة من الخلايا؛ فالخلايا الجذعيّة القادرة على إنتاج أي نوع من الخلايا توصف بأنها كاملة القدرات Totipotent. والزيجوت الذي يتكوّن من اندماج حيوان منوي مع بويضة في عمليّة الإخصاب هو كامل القدرات، كما هو الحال مع جميع الخلايا حتى مرحلة 16 خليّة أثناء التكوين الجنيني عند الإنسان. بعد ذلك، تصبح مهمّة بعض الخلايا محصورة في تكوين المشيمة، في حين تفقد خلايا أخرى هذه القدرة، على الرغم من محافظتها على إنتاج جميع الخلايا التي ستؤدي إلى تكوين الجنين ثم الإنسان البالغ لاحقًا. لذلك، توصف هذه الخلايا الجذعيّة الجنينيّة بأنها عالية القدرات Pluripotent.

ومع تكوين الأنسجة والأعضاء، تزيد الخلايا من اختصاصها (تمايزها). يوجد أكثر من 200 نوع مختلف من الخلايا في جسم الإنسان البالغ.

كلما أصبحت الخلايا «متخصصة» بأدوار معيّنة، فقدت قدرتها على الانقسام، لذلك معظم الخلايا في الكائن الحي البالغ لا تنقسم. ومع ذلك، للنمو والإصلاح، من الضروري أن تبقى مجموعات صغيرة من الخلايا الجذعيّة القادرة على إنتاج خلايا جديدة. لقد فقدت الخلايا الجذعيّة لدى البالغ بعض قدرتها التي كانت في الخلايا الجذعيّة الجنينيّة، ولم تعد عالية القدرات. إذ هي قادرة فقط على إنتاج أنواع قليلة من الخلايا، لذا توصف بأنها متعدّدة القدرات Multipotent. والخلايا الجذعيّة في نخاع العظم، تتبع لهذا النوع؛ فهي قادرة على مضاعفة أعدادها مرات ومرات، لكن يمكنها إنتاج خلايا دم فقط، مثل خلايا الدم الحمراء، والخلايا وحيدة النواة والمتعادلة واللمفاويّة.

ولأن عمر خلايا الدم الناضجة قصير نسبيًا، فمن الضروري وجود هذا النوع من الخلايا الجذعيّة. على سبيل المثال: يُفقد يوميًا 250 مليار خليّة دم حمراء تقريبًا و 20 مليار خليّة دم بيضاء، ويجب تعويضها.

توجد الخلايا الجذعيّة عند الإنسان البالغ في جميع أجزاء الجسم؛ في نخاع العظم، والجلد، والأمعاء، والقلب، والدماغ. ويقدم الباحثون في مجال الخلايا الجذعيّة بعض التطبيقات الطبيّة المفيدة، ومنها العلاج بالخلايا الجذعيّة وذلك بإدخال خلايا جذعيّة بالغة جديدة في الأنسجة التالفة لمعالجة المرض أو الإصابة. ومن أمثلة هذا العلاج، زراعة نخاع العظم، الذي يستخدم لمعالجة أمراض الدم ونخاع العظم وسرطانات الدم (اللوكيميا). ويؤمل في المستقبل أن تكون الخلايا الجذعيّة قادرة على علاج حالات مثل مرض السكّري وتلف العضلات والأعصاب، واضطرابات الدماغ مثل أمراض باركنسون وهنتنغتون. ولهذا السبب أجريت تجارب على تنمية أنسجة وأعضاء جديدة من خلايا جذعيّة معزولة في المختبر.

سؤال

٦ نتيجة للانقسام المتساوي، تحتوي أكثر من 200 نوع من الخلايا المختلفة على المجموعة نفسها للجينات الموجودة في الزيجوت. تتحكم الجينات في جميع أنشطة الخلايا. اقترح الألية التي تجعل الخلايا مختلفة؟

٤-٦ السرطانات

السرطان هو الاسم الذي يطلق على مجموعة من الأمراض التي تنتج من الانقسام غير المنضبط للخلايا. تتسبب **السرطانات Cancers** في البلدان ذات الدخل المرتفع بحالة وفاة واحدة من كل أربع وفيات تقريبًا. فعلى الصعيد العالمي، تسبب السرطانات حالة وفاة واحدة من بين كل ست وفيات (9.610 ملايين حالة وفاة في عام 2018 م)، الأمر الذي يجعل السرطانات في المرتبة الثانية المسببة للوفاة بعد أمراض القلب والأوعية الدمويّة. ولأنه يوجد أكثر من 200 نوع من السرطان، لم يعد الباحثون يفكرون في السرطان كمرض واحد.

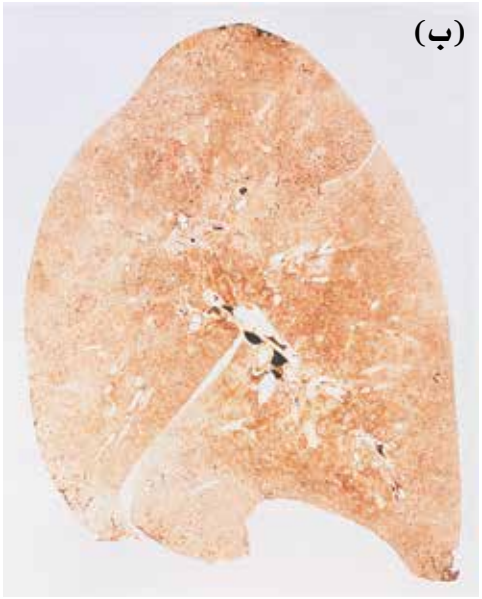
يبدأ السرطان بطفرة جينية تصيب الجينات التي تتحكم في انقسام الخلايا. يمكن أن تحدث هذه الطفرات الجينية أثناء عمليّة تضاعف الكروموسومات عند التعرّض لمادة مسرطنة، أو وراثتها. يزيل جهاز المناعة في الجسم غالبًا الخلايا التي تحتوي على **DNA** تالف، أو تصبح الخلايا الطافرة غير قادرة على البقاء على قيد الحياة. ومع ذلك، فالخلايا الطافرة يمكنها أحيانًا أن تستمر بالانقسام والنمو. ولأن الطفرة تصيب الجينات التي تتحكم في انقسام الخلايا، فسوف ينتج من الانقسام المتساوي اللاحق غير المنضبط كتلة من الخلايا غير المتخصصة، تسمّى الورم. وإلى حين اكتشاف وجود الورم يكون قد احتوى على مليار خليّة سرطانيّة تقريبًا.

يسمّى العامل الذي يسبب السرطان، مثل الأسبستوس، **مادة مسرطنة Carcinogen**. تظهر الصورة ٤-٨ ورمًا في رئة مريض توفي بسرطان الرئة مقارنة مع رئة سليمة (من مريض توفي بسبب آخر). ويقتل سرطان الرئة على مستوى العالم أشخاصًا أكثر من أي سرطان آخر.

مصطلحات علمية

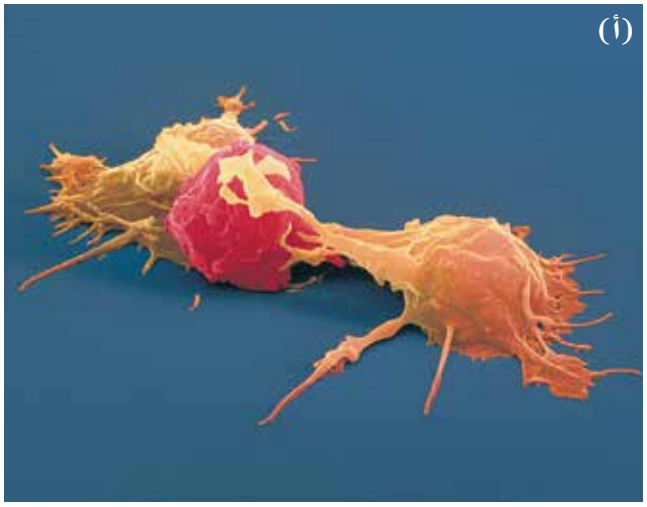
السرطانات Cancers: مجموعة من الأمراض تنتج عن تعطيل في آليات التحكّم المعتادة التي تنظم الانقسام الخلوي. إذ تنقسم بعض الخلايا بشكل غير منضبط وتشكّل أورامًا، قد تنفصل عنها خلايا تنتقل وتكوّن أورامًا في مناطق أخرى في الجسم (ورم ثانوي خبيث).

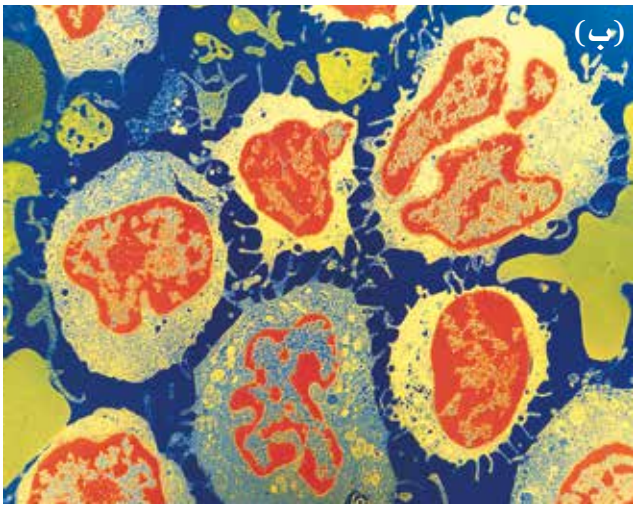
المادة المسرطنة Carcinogen: مادة أو عامل بيئي يمكن أن يسبب السرطان.



الصورة ٤-٨ (أ) رئة مريض توفي بسرطان الرئة تبيّن تراكمات ورميّة مستديرة (المنطقة البيضاء في أسفل الصورة). ظهور ترسبات القطران الأسود في جميع أنحاء الرئة تدل على أن المريض كان مدمنًا على التدخين. (ب) قطاع في رئة إنسان سليم، لا تظهر ترسبات من القطران الأسود.

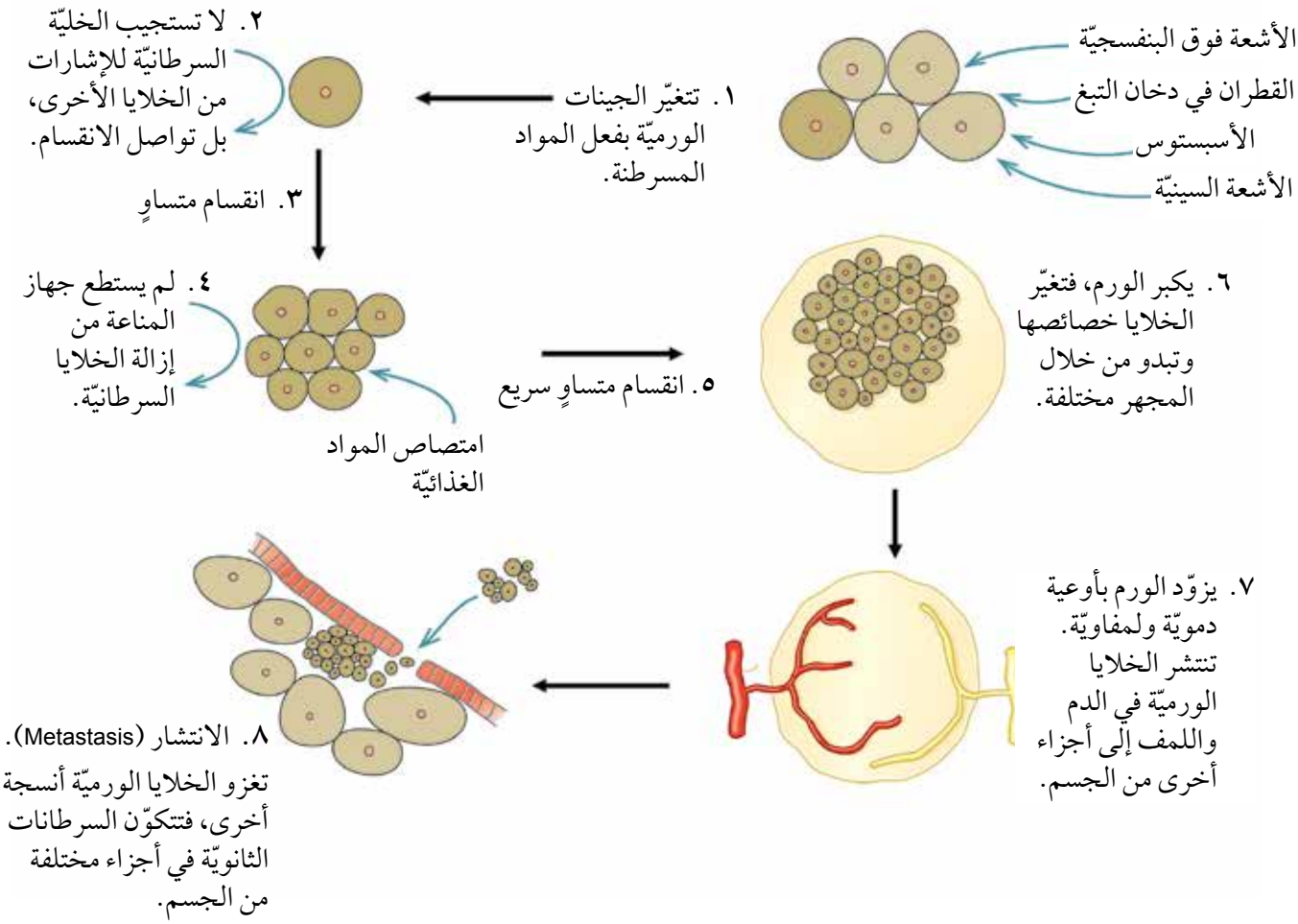
وقد ثبت أن تدخين السجائر والنرجيلة والسيجار يعرّض الخلايا للعديد من المواد المسرطنة، وهو السبب الرئيسي لسرطان الرئة. يمكن أن تكون الأورام حميدة Benign وغير سرطانيّة، أو خبيثة Malignant وسرطانيّة. الأورام الحميدة أورام بطيئة النمو وذات حدود واضحة المعالم. ويمكن أن تكون هذه الأورام غير ضارة نسبيًا، كالثآليل مثلًا، أو يمكن أن يتطلب استئصالها جراحيًا إذا كان لها تأثير على الأنسجة المجاورة، كما في حالة ورم الدماغ. ونظرًا إلى أن الأورام تكون سليمة حول الحواف، فإنها بمجرد إزالتها لن تعود مرة أخرى. أما الأورام الخبيثة فلها سلوك مختلف، إذ تظهر الخلايا السرطانيّة عادة تغيّرات غير طبيعيّة كما في الصورة ٤-٩، ويمكن لخلايا حواف (أطراف) الأورام الخبيثة أن تنفصل وتنتشر من مكان المنشأ إلى أجزاء أخرى في الجسم لتغزو الخلايا، الأمر الذي يعني أنه قد يكون من الصعب استئصال الورم نهائيًا، وقد تدعو الحاجة إلى علاج إضافي مثل العلاج بالأشعة أو العلاج الكيميائي. يظهر الشكل ٤- ٥ خطوات تطوّر السرطان.





الصورة ٤-٩ (أ) أ. صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح بألوان زائفة لخليّة سرطانيّة (بالأحمر) وخلايا دم بيضاء (بالبرتقالي والأصفر). تتجمّع خلايا الدم البيضاء في موقع السرطان كاستجابة مناعيّة، وتتدفق حول الخليّة السرطانيّة لتقتلها باستخدام مواد كيميائيّة سامة (X 4500). (ب) صورة بالمجهر الإلكتروني النافذ بألوان زائفة لخلايا دم بيضاء غير طبيعيّة من دم شخص مصاب بسرطان الدم مشعر الخلايا Hairy-cell leukemia (تحول الدم المشعر إلى لون أبيض). تبدو خلايا الدم البيضاء مغطاة بامتدادات سيتوبلازميّة مميّزة شبيهة بالشعر. اللوكيميا مرض ينتج بسببه نخاع العظم والأعضاء المكوّنة للدم الأخرى خلايا دم بيضاء كثيرة من أنواع معيّنة؛ وتثبّط هذه الخلايا غير الناضجة وغير الطبيعيّة عمليّة الإنتاج الطبيعيّة لخلايا الدم البيضاء والحمراء، وتزيد من قابليّة المريض للإصابة بالعدوى (X 6400).

إحداث طفرات نتيجة التعرض لمواد
مسرطنة، مثل:



الشكل ٤-٥ مراحل تطوّر السرطان.

سؤال

(٧) يجري البحث عن طرائق تثبّط عمل إنزيم تيلوميريز في الخلايا السرطانيّة. اشرح سبب ذلك.

ملخّص

تتكوّن الكروموسومات من الكروماتين. يتكوّن الكروماتين بشكل رئيسي من DNA ملتف حول جزيئات بروتين تسمّى هستونات.
تصبح الكروموسومات مرئية أثناء الانقسام المتساوي، وتشاهَد مكوّنة من كروماتيدَين مرتبطَين معًا عبر السنترومير. يحتوي كل كروماتيد على جُزيء DNA واحد.
تنمو الكائنات الحيّة متعددة الخلايا بفعل الانقسام الخلوي لتكوين خلايا ناتجة متطابقة جينيًا.
أثناء الانقسام الخلوي، يحدث أولًا الانقسام المتساوي، ثم انقسام السيتوبلازم. وينتج عن الانقسام المتساوي خليتان في كل منهما نواتان متطابقتان جينيًا. يشمل الانقسام المتساوي أربعة أطوار: الطور التمهيدي، الطور الاستوائي، الطور الانفصالي، الطور النهائي.
يستخدم الانقسام المتساوي في النمو والإصلاح والتكاثر اللاجنسي وفي استنساخ الخلايا أثناء الاستجابة المناعيّة.
المدّة المستغرقة بين انقسام الخلية الأول والذي يليه تسمّى دورة الخليّة، وهي تشمل أربعة أطوار: الطور G1 ويحدث فيه النمو، والطور S عندما يتضاعف DNA، والطور G_2 وهو يستمر فيه النمو، والطور M وهو عندما يحدث الانقسام المتساوي.
تختتم نهايات الكروموسومات بمناطق خاصة من DNA تسمّى تيلوميرات؛ وثمّة حاجة إلى التيلوميرات لمنع فقدان الجينات من نهايات الكروموسومات أثناء تضاعف DNA.
تفقد العديد من الخلايا قدرتها على الانقسام، لكن خلايا معيّنة تسمّى الخلايا الجذعيّة تحتفظ بهذه القدرة. الخلايا الجذعيّة ضروريّة للنمو من مرحلة الزيجوت إلى مرحلة البلوغ، ولاستبدال الخلايا وإصلاح الأنسجة عند الفرد البالغ.
يمكن ملاحظة سلوك الكروموسومات أثناء الانقسام المتساوي في الشرائح المحضرة المصبوغة لقمة الجذر، سواء في قطاعات أو في مهروس لقمة الجذر كاملة.
السرطانات أورام ناتجة من الانقسام المتساوي المتكرر غير المنضبط، ويعتقد أنها تبدأ نتيجة لحدوث طفرة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ تتكوّن الكروموسومات أثناء الطور التمهيدي من الانقسام المتساوي من كروماتيدَين.

في أيّ طور من دورة الخليّة يتكوّن الكروماتيد الثاني؟

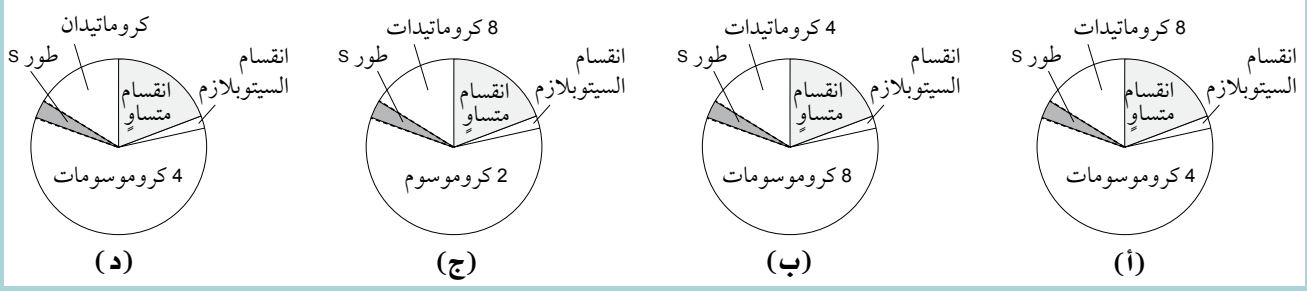
أ. M. **ب.** G_2.

ج. G_1. **د.** S

٢ تتمّ الموازنة بين نمو الخلايا وانقسامها أثناء دورة الخليّة: أيّ عمود يبيّن العواقب التي تترتّب على الخطأَين المبيّنَين في الجدول؟

الخطأ	ما ينتج من الخطأ			
	أ	ب	ج	د
تسريع معدّل النمو من دون تسريع دورة الخليّة	خلايا كبيرة الحجم	خلايا كبيرة الحجم	خلايا صغيرة	خلايا صغيرة
تسريع دورة الخليّة من دون تسريع معدّل النمو	خلايا كبيرة الحجم	خلايا صغيرة الحجم	خلايا كبيرة	خلايا صغيرة

٣ تمرّ خليّة تحتوي على أربعة كروموسومات بدورة الخليّة التي تتضمّن الانقسام المتساوي: أيّ رسم تخطيطي صحيح يبين التغيّرات في عدد الكروماتيدات أثناء الطور البيني؟



٤ تشير قدرة الخليّة إلى الإمكانية المختلفة للخلايا الجذعيّة على:

أ. نسخ نفسها بعدد كبير.

ب. التمايز إلى أنواع مختلفة من الخلايا.

ج. إنتاج أنواع مختلفة من خلايا الدم.

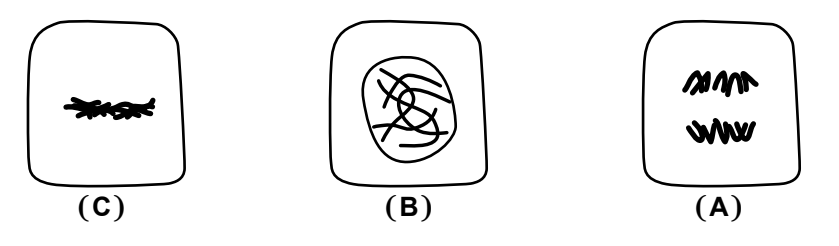
د. تحفيز نمو الأنسجة.

تابع

٥ كيف تختلف الخلايا الجذعية كاملة القدرات عن الخلايا الجذعية متعدِّدة القدرات؟

٦ ميّز بين المصطلحات الآتية: الجسم المركزي، سنتريول، سنترومير.

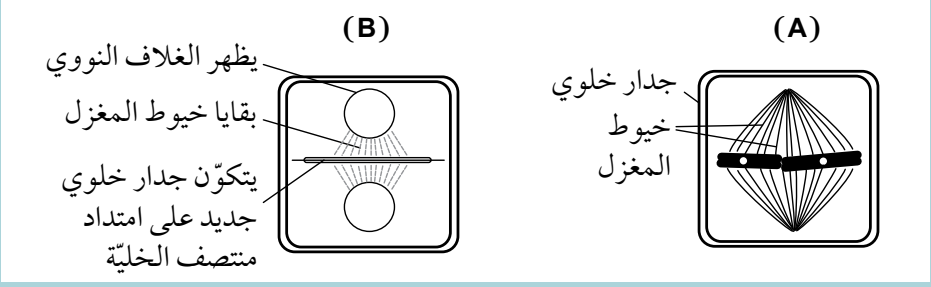
٧ يبيّن الرسم التخطيطي ثلاث خلايا (كتبت تسميتها **A**، **B**، **C**) من قمة جذر، جرى صبغها لإظهار الكروموسومات:



أ. حدّد طور الانقسام المتساوي الذي تبيّنه كل خليّة.

ب. صف ما يحدث في كل طور.

٨ **أ.** يبيّن الرسم التخطيطي (**A**) خليّة نباتيّة خلال انقسام متساوٍ (يظهر كروموسومان فقط للتبسيط):



١. ما طور الانقسام المتساوي الظاهر في الرسم التخطيطي (**A**)؟

٢. ارسم الخلية نفسها التي في بداية الطور التمهيدي.

ب. يبيّن الرسم التخطيطي (**B**) الخليّة نفسها في الطور النهائي. بدأت الخليّة بالانقسام وتكوّن جدار خلوي جديد، يمتدّ من منتصف الخليّة. انقل الرسم التخطيطي إلى دفترك وأضف رسومًا للكروموسومات كما تظهر في هذا الطور.

ج. يبيّن الرسم التخطيطي (**C**) كروموسومات في خليّة حيوانيّة.

(C)

ارسم رسمًا تخطيطيًا يبيّن كيف ستبدو النواة في الطور الانفصالي من الانقسام المتساوي.

تابع

٩ لقد درست في الوحدة الأولى أن الأنيبيبات الدقيقة أنابيب صغيرة مكوّنة من وحدات صغيرة من بروتين تيوبيولين مرتبطة معًا. الكولشيسين مادة كيميائيّة طبيعية ترتبط في جزيئات تيوبيولين فتحول دون تكوين الأنيبيبات الدقيقة:

أ. ما سبب تداخل ارتباط الكولشيسين في جزيئات تيوبيولين مع تكوين الأنيبيبات الدقيقة؟

ب. ما التركيب أو التراكيب المشاركة في الانقسام المتساوي وتتكون من أنيبيبات دقيقة؟

ج. عندما تشاهد الخلايا المعالجة بالكولشيسين، تبدو جميع الخلايا المنقسمة في الطور نفسه من الانقسام المتساوي. اقترح اسم هذا الطور، مع ذكر الأسباب.

١٠ ميّز، بين العبارات الصحيحة والعبارات الخاطئة؟

أ. تتضاعف السنتروميرات قبل طور M من بدء دورة الخليّة.

ب. تحتوي الكروماتيدات الشقيقة على DNA متطابق.

ج. تمتد الأنيبيبات الدقيقة المتصلة بحيز حركي محدد إلى كلا قطبَي الخلية.

د. بلمرة الأنيبيبات الدقيقة وإزالة بلمرتها ميزة للطور S من دورة الخليّة.

هـ. الحيّز الحركي موجود في الجسم المركزي.

و. التيلوميرات هي مواقع ارتباط الأنيبيبات الدقيقة أثناء الانقسام المتساوي.

ز. تبقى الكروماتيدات الشقيقة مقترنة عند اصطفافها على خط استواء الخلية في الطور الاستوائي.

١١ **أ.** توصف الأورام السرطانية بأنها أمراض وراثية. اشرح السبب.

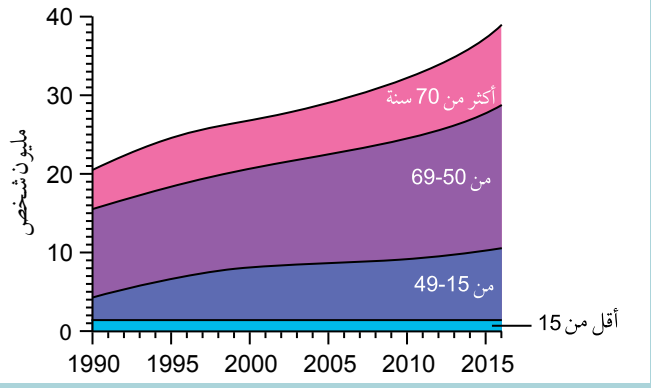
ب. عرّف مصطلح المادة المسرطنة.

ج. يبيّن الرسم التخطيطي الآتي عدد المصابين بالسرطان في جميع أنحاء العالم، مقسّمين إلى فئات عمريّة مختلفة. ويبيّن أيضًا التغيّرات بين عامي 1990 و 2016 م.

١. اذكر الفئة العمريّة التي يكون فيها مرض السرطان أكثر شيوعًا.

٢. اقترح سبب إصابة هذه الفئة العمريّة بأكبر عدد من حالات مرض السرطان.

٣. علّق على التغيّرات الإجماليّة المبيّنة بين عامي 1990 و 2016 م.



أفعال إجرائية

عرّف **Define**: ضع الخطوط العريضة أو النقاط الرئيسية.

علّق **Comment**: أعطِ رأيًا مستنيرًا.

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول كالآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أصف تركيب الكروموسومات مقتصرًا على: • DNA • بروتينات الهستون. • الكروماتيدات المتطابقة (الشقيقة). • السنترومير. • التيلوميرات.	٤-١			
أشرح أهميّة الانقسام المتساوي في إنتاج خلايا جديدة متماثلة جينيًا خلال: • نمو الكائنات الحيّة متعدّدة الخلايا. • استبدال الخلايا التالفة أو الميتة. • إصلاح الأنسجة من طريق استبدال الخلايا. • التكاثر اللاجنسي.	٤-٣			
ألخِّص دورة الخليّة، بما في ذلك: • الطور البيني (النمو في طوري G_1 و G_2 وتضاعف DNA في الطور S • الانقسام المتساوي. • انقسام السيتوبلازم.	٤-٢			
أحدّد دور التيلوميرات في منع فقدان الجينات من نهايات الكروموسومات أثناء تضاعف DNA.	٤-٤			
أحدّد دور الخلايا الجذعيّة في استبدال الخلايا وإصلاح الأنسجة عن طريق الانقسام المتساوي.	٤-٥			
أشرح كيف يمكن أن يؤدّي الانقسام الخلوي غير المنضبط إلى تشكل ورم.	٤-٦			
أصف سلوك الكروموسومات في الخلايا النباتيّة والخلايا الحيوانيّة أثناء دورة الخلية والانقسام المتساوي وسلوك الغلاف النووي وغشاء سطح الخلية والخيوط المغزليّة المرتبطة بالانقسام المتساوي (أتوقع تسمية الأطوار الرئيسية للانقسام المتساوي: الطور التمهيدي، الطور الاستوائي، الطورالانفصالي، الطور النهائي).	٤-٣			
أفسّر الصور المجهريّة والرسوم والشرائح المجهريّة للخلايا في أطوار مختلفة من دورة الخليّة بما يتضمن الأطوار الرئيسية للانقسام المتساوي.	٤-٢			

مصطلحات

الأفعال الإجرائية

احسب Calculate: استخلص، من الحقائق المعطاة، المعلومات أو الأرقام.

اذكر State: عبّر بكلمات واضحة.

اشرح أو فسِّر Explain: اعرض الأهداف أو الأسباب/اجعل العلاقات بين الأشياء واضحة/توقّع لماذا و/أو كيف، وادعم إجابتك بأدلّة ذات صلة.

اقترح Suggest: طبّق المعرفة والفهم على المواقف التي تتضمّن مجموعة من الإجابات الصحيحة من أجل تقديم المقترحات

حدّد Identify: سمِّ، اختر، تعرّف.

صِف Describe: قدّم الخصائص والميزات الرئيسية.

علّق comment: أعطِ رأيًا مستنيرًا.

عرّف Define: ضع الخطوط العريضة أو النقاط الرئيسية.

قدّم Give: استخرج إجابة من مصدر معيّن أو من الذاكرة.

قوِّم Assess: أصدر حكمًا مفيدًا أو مستنيرًا.

قارن Compare: حدّد أوجه التشابه و/أو الاختلاف معلّقًا عليها.

لخص Outline: ضع الخطوط العريضة أو النقاط الرئيسية.

بيّن أنّ (Show that): قدّم دليلًا منظّمًا يؤدّي إلى نتيجة معينة.

ناقش Discuss: اكتب حول الموضوع بطريقة منظمة.

مصطلحات علمية

اختبار بندكت Benedict's test: اختبار للكشف عن السكّريات المختزلة. تسخن المادة غير المعروفة مع كاشف بندكت، والتغيّر في اللون من المحلول الأزرق الصافي إلى تكوّن راسب أخضر أو أصفر، أو أحمر، أو بنّي، يدلّ على وجود السكّريات المختزلة مثل سكر الجلوكوز. (ص ٧١)

أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)

Adenosine triphosphate: الجُزيء الذي يمثّل «العملة المتداولة العامة» للطاقة في جميع الكائنات الحيّة؛ والغرض من عملية التنفّس هو تكوين ATP. (ص ٤٠)

أدينوسين ثنائي الفوسفات (ADP) Adinosine diphosphate: جزيء يتحوّل إلى ATP بإضافة الفوسفات (بتفاعل يسمّى الفسفرة) أثناء عملية التنفّس. والإنزيم المسؤول عن هذا التحوّل هو ATP سينثيز، ويتطلّب التفاعل طاقة. (ص ٤١)

الأسواط Flagella (مفردها سوط **Flagellum**): امتدادات من سطح بعض الخلايا الحيوانية وخلايا العديد من الكائنات أحادية الخلية، تتحرك بشكل موجي ما يؤدّي إلى التنقل أو تحريك السائل حولها فوق سطح الخلية؛ تشبه في تركيبها الأهداب لكنها أطول منها. (ص ٤٣)

أعراف Cristae (مفردها عرف **Crista**): طيّات من الغشاء الداخلي لغلاف الميتوكندريا حيث توجد جُزيئات من إنزيم ATP سينثيز، وسلاسل نقل الإلكترون، المرتبطة بعملية التنفّس الهوائي. (ص ٤٠)

ألفا (α)- اللولبي α–helix: تركيب لولبي يتكوّن من سلسلة عديد الببتيد مثبّتة في مكانها بروابط هيدروجينيّة. ألفا-اللولبي مثال على التركيب الثانوي في البروتين. (ص ٨٢)

الإنزيمات Enzymes: هي جزيئات، غالبًا ما تكون بروتينية، ينتجها الكائن الحي وتعمل كعوامل حفّازة حيوية في التفاعل الكيميائي عن طريق خفض طاقة التنشيط. (ص ١٠٥)

الإنزيمات المثبتة Immobilised enzymes: إنزيمات يتمّ تثبيتها على سطح ما أو يتمّ حصرها داخل كريات (حبيبات) هلام آجار. (ص ١١٧)

الانقسام المتساوي Mitosis: انقسام المادة الجينية الأصلية الأمر الذي يضمن للخليَتين الناتجتَين من انقسام الخلية الأصلية أن تحتوي كل منهما على العدد والنوع نفسَيهما من الكروموسومات كما في الخليّة الأصلية. (ص ١٣٠)

الأهداب Cilia (مفردها هدب **Cilium**): تراكيب تشبه السوط تمتد من سطح العديد من الخلايا الحيوانيّة، والعديد من الكائنات أحاديّة الخليّة؛ تتحرّك بشكل موجي ما يؤدّي إلى التنقل أو تحرُّك السوائل حولها عبر سطح الخليّة. (ص ٤٣)

الأُنيبيبات الدقيقة Microtubules: أُنيبيبات صغيرة تتكوّن من بروتينات تسمى تيوبيولين، وتوجد في معظم الخلايا حقيقيّة النواة. وهي تؤدّي وظائف كثيرة متنوّعة، بما في ذلك دعم الخليّة وتحديد شكلها. تتكون خيوط المغزل من أنيبيبات دقيقة تساعد في فصل الكروماتيدات أو الكروموسومات أثناء الانقسام المتساوي أو الاختزالي. (ص ٤١)

ببتيدوجلايكان Peptidoglycan: عديد تسكر متّحد مع أحماض أمينيّة، وهو يكسب جدار البكتيريا صلابة. (ص ٥٠)

بدائي النواة Prokaryote: كائن حي لا تحتوي خلاياه على نواة محاطة بغشاء أو أيّة عضيات أخرى محاطة بغشاء. (ص ٢١)

البروتوبلازم Protoplasm: المادّة الحيّة داخل الخليّة (السيتوبلازم + النواة). (ص ٢٥)

البروتين الكروي Globular protein: بروتين جزيئاته ملتفة على شكل شبه كروي، وغالبًا ما تكون له أدوار وظيفيّة، كما يكون قابلًا للذوبان في الماء، والهيموجلوبين والإنزيمات. (ص ٨٦)

البروتين الليفي Fibrous protein: بروتين تتّصف جزيئاته بأنها طويلة نسبيًا وتركيبها رقيق، وهو بشكل عام غير قابل للذوبان وغير نشط أيضيًا، ووظيفته تركيبيّة على سبيل المثال، الكيراتين والكولاجين. (ص ٨٨)

البكتيريا Bacteria (مفردها خليّة بكتيريوم **Bacterium**): مجموعة من الكائنات الحيّة الدقيقة بدائيّة النواة أحاديّة الخليّة، تتّصف بعدّة ميزات مثل القدرة على تكوين الأبواغ، والتي تميزها عن العتائق Archaea. (ص ٤٩)

البلازميد Plasmid: حلقة صغيرة من DNA في خليّة بكتيريوم. تحتوي غالبًا على جينات تؤمّن مقاومة للمضادات الحيويّة. (ص ٥١)

البلاستيدة الخضراء Chloroplast: عضيّة يحيط بها غلاف (غشاءان)، وتجري فيها عمليّة التمثيل الضوئي في الخلايا حقيقية النواة. (ص ٢٥)

البوليمر Polymer: جُزيء كبير يتكوّن من وحدات عديدة متكرّرة ومتشابهة مرتبطة مع بعضها على شكل سلسلة. والوحدات المكونة صغيرة وبسيطة وتسمّى مونومرات. ومن الأمثلة على البوليمرات الحيوية، عديدة التسكر والبروتينات والأحماض النوويّة. (ص ٦٧)

التثبيط التنافسي Competitive inhibition: عندما تخفض الجزيئات المثبطة من معدل نشاط الإنزيم بالتنافس مع جزيئات مادة متفاعلة على الموقع النشط للإنزيم. يخفض ارتفاع تركيز المادة المتفاعلة من درجة التثبيط، وبالمقابل يزيد ارتفاع تركيز الجزيئات المثبطة من درجة التثبيط. (ص ١١٥)

التثبيط غير التنافسي Non-competitive inhibition: عندما تُخفض الجزيئات المثبطة من معدل نشاط الإنزيم، لكن الزيادة في تركيز المادة المتفاعلة لا تخفض من درجة التثبيط. ترتبط المثبّطات غير التنافسيّة الكثيرة في أجزاء من جُزيء الإنزيم غير الموقع النشط. (ص ١١٦)

التحلّل المائي Hydrolysis: تفاعل كيميائي تتكسر فيه الرابطة الكيميائيّة بإضافة جُزيء ماء، ويستخدم عادة لتفكيك الجزيئات المعقّدة إلى جزيئات بسيطة. (ص ٦٧)

التركيب الأولي Primary structure: تسلسل الأحماض الأمينيّة في عديد الببتيد أو البروتين. (ص ٨١)

التركيب الثانوي Secondary structure: تركيب جُزيء البروتين الناتج من الالتفاف أو الطي المنتظم لسلسلة الأحماض الأمينيّة ليكون ألفا (α)- اللولبي أو صفيحة بيتا (β) - المطوية (المشاة). (ص ٨٣)

التركيب الثالثي Tertiary structure: تركيب متراص لجُزيء البروتين ينتج من التفاف ثلاثي الأبعاد لسلسلة الأحماض الأمينيّة. (ص ٨٣)

التركيب الرابعي Quaternary structure: الترتيب ثلاثي الأبعاد لسلسلتَين أو أكثر من عديد ببتيد. (ص ٨٥)

تفاعل تكثيف Condensation reaction: تفاعل كيميائي يتضمّن ارتباط جُزيئَين معًا عبر إزالة جُزيء ماء. (ص ٦٧)

التكاثر اللاجنسي Asexual reproduction: تكوين أفراد جديدة من كائن حي واحد. (ص ١٣٥)

التمثيل الضوئي Photosynthesis: عملية إنتاج موادّ عضويّة من مواد غير عضويّة باستخدام طاقة الضوء. (ص ٢٥)

التيلومير Telomere: سلسلة قصيرة متكررة من قواعد نيتروجينية. على جزيء DNA في نهاية الكروموسوم. تحمي الجينات من قصر الكروموسوم الذي يحدث مع نهاية كل انقسام خلوي. (ص ١٣٧)

الثايلاكويد Thylakoid: كيس مسطّح محاط بغشاء مملوء بسائل، وهو موقع التفاعلات الضوئيّة في عملية التمثيل الضوئي في البلاستيدة الخضراء. (ص ٤٥)

ثابت ميكاليس-مينتين Michaelis-Menten Constant (K_m): تركيز المادة المتفاعلة التي يعمل فيها الإنزيم بنصف سرعته القصوى (V_{max} ½)، وهو يستخدم لقياس كفاءة الإنزيم. كلما انخفضت قيمة K_m، زادت كفاءة الإنزيم. (ص ١١٤)

الثقوب النوويّة Nuclear pores: ثقوب توجد في الغلاف النووي وتتحكّم في تبادل الموادّ، مثل mRNA، بين النواة والسيتوبلازم. (ص ٣٥)

الجدار الخلوي Cell wall: الجدار الذي يحيط بخلايا بدائية النواة والنبات والفطريات. يحتوي الجدار على مادّة داعمة تحمي الخليّة من الضرر الميكانيكي، وتدعمها، وتحول دون انفجارها نتيجة الأسموزيّة إذا وجدت في محلول ذي جهد مائي مرتفع. (ص ٢٥)

الجرانا Grana (مفردها جرانوم **Granum**): كومة من الأغشية توجد داخل البلاستيدة الخضراء. (ص ٢٥)

الجُزيء الكبير Macromolecule: جُزيء كبير (عملاق) مثل عديد التسكّر وبروتين وحمض نووي. (ص ٦٧)

الجسم المركزي (السنتروسوم) **Centrosome:** المركز الرئيسي لتنظيم الأُنيبيبات الدقيقة في الخلايا الحيوانيّة. (ص ٤٢)

الجلايكوجين Glycogen: عديد التسكر يتكوّن من العديد من جزيئات الجلوكوز المرتبطة معًا والتي تشكّل مخزونًا للجلوكوز في خلايا الكبد والعضلات. (ص ٧٢)

جهاز جولجي Golgi apparatus (أجسام جولجي **Golgi bodies** أو معقّد جولجي **Golgi complex**): عُضيّة توجد في الخلايا حقيقيّة النواة، وهي تتكوّن من كومة من الأكياس الغشائية المسطّحة، وتتشكّل باستمرار من أحد الطرفَين، ثم تنفصل لتكوّن حويصلات جولجي عند الطرف الآخر. ويعدّل جهاز جولجي التركيب الكيميائي للجُزيئات التي ينقلها، فعلى سبيل المثال: يمكنه إضافة السكّريات إلى البروتينات لتكوين البروتينات السكريّة. (ص ٣٧)

حقيقي النواة Eukaryote: كائن حي تحتوي خلاياه على نواة محاطة بغشاء وعضيات أخرى. (ص ٢١)

حويصلات جولجي Golgi vesicles: تحمل محتوياتها إلى أجزاء أخرى من الخلية، غالبًا ما يكون غشاء سطح الخلية، ليتمّ إفرازها. (ص ٣٧)

الحيز الحركي Kinetochore: تركيب بروتيني يوجد في سنترومير الكروماتيد ترتبط به خيوط المغزل أثناء الانقسام المتساوي. (ص ١٣٤)

الخليّة The Cell: الوحدة الأساسيّة لجميع الكائنات الحيّة. وهي محاطة بغشاء سطح الخلية (الغشاء البلازمي)، وتحتوي على المادّة الوراثيّة (DNA) وسيتوبلازم يحتوي على العضيات **Organelles**. (ص ٢٠)

الخليّة الجذعيّة Stem cell: خليّة غير متخصصة نسبيًا تحتفظ بقدرتها على الانقسام بعدد غير محدود من المرات، ولديها القدرة على أن تصبح خليّة متخصصة مثل خلية دم أو خليّة عضليّة. (ص ١٣٨)

الخملات الدقيقة Microvilli (مفردها خملة دقيقة **Microvillus**): نتوءات على هيئة أصابع تمتدّ من سطح الخليّة فتزيد من مساحة سطح الخليّة لامتصاص أو إفراز أكثر كفاءة. (ص ٣٥)

الدهن المفسفر Phospholipid: دهن مضاف إليه فوسفات. يتكوّن الجُزيء الواحد من جليسرول وجُزيئَي أحماض دهنيّة ومجموعة (الفوسفات). تشكل طبقة مزدوجة من الدهون المفسفرة التركيب الأساسي لجميع أغشية الخلايا. (ص ٥٣)

الدهون الثلاثية Triglycerides: نوع من الدهون يتكوّن عند ارتباط ثلاثة جزيئات أحماض دهنيّة مع الجليسرول، وهو كحول به ثلاث مجموعات هيدروكسيل (OH–). (ص ٧٧)

دورة الخليّة Cell cycle: تسلسل الأحداث من انقسام الخليّة إلى الانقسام التالي، وتتكوّن من الطور البيني، والانقسام المتساوي، وانقسام السيتوبلازم. (ص ١٣٠)

رابطة الإستر Ester bond: رابطة كيميائيّة تمثّل بـ –COO– وتتكوّن عندما يتفاعل الحمض مع الكحول. (ص ٧٧)

الرابطة الببتيديّة Peptide bond: رابطة تساهمية تربط الأحماض الأمينيّة المتجاورة معًا في البروتينات. وهي رابطة C-N بين جُزيئَين من الأحماض الأمينيّة تشكّلت بتفاعل تكثيف. (ص ٨١)

الرابطة البلازميّة Plasmodesma (الجمع: الروابط البلازمية **Plasmodesmata**): تركيب يشبه الثقب يوجد في جدران الخليّة النباتيّة. تنتظم الروابط البلازمية في الخلايا النباتيّة المتجاورة لتشكّل مسارًا يشبه الأنبوب عبر جدران الخليّة، ما يسمح بمرور الموادّ من خليّة إلى أخرى. تحتوي الثقوب على شبكة إندوبلازميّة، وهي مبطّنة بغشاء سطح الخليّة. (ص ٤٧)

الرابطة الجلايكوسيدية Glycosidic bond: ارتباط C- O- C، بين جُزَيئَي سكّر، تتكون من خلال تفاعل تكثيف، وهي رابطة تساهمية. (ص ٧٠)

رابطة هيدروجينيّة Hydrogen bond: رابطة ضعيفة نسبيًا تتشكّل من خلال التجاذب (الاستقطاب) بين مجموعة بشحنة موجبة جزئية تحتوي على ذرّة هيدروجين ($H^{\delta+}$) ومجموعة أخرى بشحنة سالبة جزئية تحتوي على ذرة أكسجين ($O^{\delta-}$)، على سبيل المثال بين المجموعتَين $-O^{\delta-}\ H^{\delta+}$-. (ص ٩٠)

الرايبوسوم Ribosome: عُضيّة صغيرة توجد بأعداد كبيرة في جميع الخلايا. يبلغ قطر رايبوسوم الخلايا بدائيّة النواة 20 nm تقريبًا، في حين يبلغ قطر رايبوسومات الخلايا حقيقيّة النواة 25 nm تقريبًا. (ص ٣٧)

السرطانات Cancers: مجموعة من الأمراض تنتج عن تعطيل في آليات التحكّم المعتادة التي تنظم الانقسام الخلوي. إذ تنقسم بعض الخلايا بشكل غير منضبط وتشكّل أورامًا، قد تنفصل عنها خلايا تنتقل وتكوّن أورامًا في مناطق أخرى في الجسم (ورم ثانوي خبيث). (ص ١٣٩)

السرعة القصوى V_{max}: السرعة النظرية القصوى لتفاعل يتحكم به الإنزيم، وتتحقق عندما تكون جميع المواقع النشطة للإنزيم ممتلئة. (ص ١١٣)

السكّر الأحادي Monosaccharide: جُزيء يتكوّن من وحدة سكّر مفردة، وصيغته العامة $(CH_2O)_n$. (ص ٦٨)

سكّر ثنائي Disaccharides: جُزيء سكّر يتكوّن من سكّرَين أحاديَين مرتبطَين معًا برابطة جلايكوسيدية. (ص ٧٠)

السليلوز Cellulose: عديد تسكر يتكوّن من وحدات بنائية من بيتا- جلوكوز، ويستخدم لتقوية جدران الخلايا النباتيّة. (ص ٧٤)

السنتريول Centriole: واحد من تركيبَين أسطوانيَّين صغيرَين يتكوّن من الأُنيبيبات الدقيقة، في الخلايا الحيوانيّة، في منطقة قريبة من النواة تسمّى الجسم المركزي (السنتروسوم). ويوجد التركيبان أيضًا عند قاعدة الأهداب والأسواط. (ص ٤٢)

السيتوبلازم Cytoplasm: محتويات الخليّة باستثناء النواة. (ص ٢٥)

الشبكة الإندوبلازميّة Endoplasmic reticulum (ER): شبكة من أكياس مسطّحة تمتدّ عبر سيتوبلازم الخلايا حقيقيّة النواة تنتقل عبرها الجُزيئات، بشكل منفصل عن باقي

السيتوبلازم، وتمتدّ هذه الشبكة لتتّصل بالغشاء الخارجي للغلاف النووي. (ص ٣٦)

شبكة العدسة العينيّة Eyepiece graticule: مقياس صغير يوجد في العدسة العينيّة للمجهر. (ص ٢٨)

صفيحة بيتا (β) - المطوية (المثناة) β-Pleated sheet: تركيب يشبه الصفيحة يتكوّن من رابطة هيدروجينيّة بين سلسلتَي عديد ببتيد متوازيتَين. صفيحة- بيتا المطوية مثال على التركيب الثانوي في البروتين. (ص ٨٢)

صورة مجهريّة Micrograph: صورة تلتقط باستخدام المجهر؛ الصورة المجهرية الضوئية تلتقط باستخدام المجهر الضوئي، والصورة المجهريّة الإلكترونيّة تلتقط باستخدام المجهر الإلكتروني. (ص ٢٩)

طاقة التنشيط Activation energy: الطاقة التي يجب توفيرها لحدوث التفاعل. تخفض الإنزيمات طاقة التنشيط اللازمة لتحويل المادة المتفاعلة إلى ناتج. (ص ١٠٨)

عديد الببتيد Polypeptide: سلسلة طويلة من الأحماض الأمينيّة تكوّنت بتفاعلات تكثيف بين أحماض أمينيّة مفردة ارتبطت معًا بروابط ببتيدية. تتكوّن البروتينات من سلسلة عديد ببتيد واحدة أو من عدة سلاسل. (ص ٨١)

عديد التسكر Polysaccharides: بوليمر تكون وحداته سكّريات أحاديّة مرتبطة معًا بروابط جلايكوسيديّة. (ص ٧٢)

العضيّة Organelle: تركيب متميّز وظيفيًا وتركيبيًا من الخليّة، على سبيل المثال الرايبوسوم والميتوكندريون. (ص ٢٥)

غشاء سطح الخلية Cell surface membrane: غشاء رقيق جدًا يحيط بجميع الخلايا يبلغ سمكه 7 نانومتر تقريبًا. وهو شبه منفذ، ويتحكّم بتبادل الموادّ بين الخليّة والبيئة المحيطة بها. (ص ٢٤)

غشاء الفجوة (تونوبلاست) Tonoplast: غشاء منفذ جزئيًا يحيط بالفجوات المركزية النباتيّة. (ص ٢٥)

الغلاف النووي Nuclear envelope: الغشاءان المتجاوران اللذان يحيطان بالنواة، وبه ثقوب نوويّة. (ص ٣٥)

الفجوة Vacuole: عضيّة موجودة في الخلايا حقيقيّة النواة. وتمثّل الفجوة المركزية الكبيرة والدائمة سمة تركيبية للخلايا النباتيّة، وهي تقوم بعدّة وظائف، تشمل تخزين الموادّ الكيميائيّة الحيويّة مثل الأملاح والسكّريات والفضلات. وقد تتكوّن الفجوات المؤقّتة مثل الفجوات البلعميّة في الخلايا الحيوانيّة. (ص ٢٥)

فرضيّة التلاؤم المستحث Induced-fit hypothesis: فرضيّة في عمل الإنزيم تنصّ على أن للمادة المتفاعلة شكلًا متمّمًا لشكل الموقع النشط في الإنزيم، لكنه لا يلائمه كليًا أو يمكن أن تغيّر المادة المتفاعلة شكلها أحيانًا لتحقيق التلاؤم المثالي، من دون أن يفقد الإنزيم تخصصيّته. (ص ١٠٦)

الفيروس Virus: صغير جدًا (20-300 nm)، مُعْدٍ يتكاثر فقط داخل الخلايا الحيّة، وهو يتكوّن من جُزيء DNA أو RNA (الجينوم) محاط بغلاف بروتيني يعرف بالمحفظة، وأحيانًا بغلاف دهني.(ص ٥٣)

الكروماتيد Chromatid: أحد جُزأَي الكروموسوم المتطابقَين والمرتبطَين معًا عبر السنترومير، يتكوّن أثناء الطور البيني عن طريق تضاعف جزيء DNA. (ص ١٢٩)

الكروماتين Chromatin: المادّة التي تتكوّن منها الكروموسومات. وهي تتكوّن من DNA وبروتينات ومقادير قليلة من RNA. وعندما تصبغ تبدو على شكل بقع أو ألياف داخل النواة. (ص ٢٤)

الكروموسوم Chromosome: يوجد في نواة الخلايا حقيقية النواة على هيئة تركيب يتكوّن من كروماتين ملتفّ بإحكام (DNA وبروتينات و RNA)، ويشاهد أثناء انقسام الخليّة ويستخدم المصطلح DNA الحلقي ليشمل الخيط الدائري الملتف من DNA الموجود في الخليّة بدائيّة النواة. (ص ٢٤)

الكولاجين Collagen: البروتين التركيبي الرئيسي في الإنسان والحيوانات، ويسمّى «الألياف البيضاء». وهو الوحدة الأساسيّة في تكوين الألياف المكوّنة من سلاسل ببتيدات متعددة ثلاثيّة ملتفة حول بعضها مُشكّلةً «لولبًا ثلاثيًا» بقوّة شدّ عالية. (ص ٨٨)

الليسوسوم Lysosome: عُضيّة كرويّة الشكل توجد في الخلايا حقيقيّة النواة. وهي تحتوي على إنزيمات هاضمة (إنزيمات التحلّل المائي). وتؤدي وظائف تفكيك وهدم متنوعة، مثل إزالة عُضيّات الخليّة القديمة. (ص ٣٨)

المادة المسرطنة Carcinogen: مادة أو عامل بيئي يمكن أن يسبب السرطان. (ص ١٣٩)

مقدار التكبير Magnification: عدد مرّات تكبير صورة الجسم مقارنة بالقياس الحقيقي؛ أو مقدار التكبير = قياس الصورة ÷ القياس الحقيقي (الفعلي) للعيّنة أو الجسم. (ص ٢٨)

مقياس الألوان Colorimeter: أداة تقيس لون المحلول بقياس امتصاص أطوال موجيّة مختلفة من الضوء. (ص ١١٠)

مقياس المنضدة Stage micrometer: مقياس صغير جدًا محفور على شريحة مجهريّة ومرسوم بدقة بأبعاد معروفة. (ص ٢٩)

الموقع النشط Active site: منطقة على جُزيء الإنزيم ترتبط فيها المادة المتفاعلة. (ص ١٠٦)

المونومر Monomer: جُزيء بسيط نسبيًا يمثّل الوحدة البنائية الأساسية لبناء البوليمر. ترتبط العديد من المونومرات معًا بروابط تساهمية لتكوين البوليمر، وعادة عبر تفاعلات التكثيف. ومن الأمثلة الشائعة للمونومرات، السكّريات الأحاديّة والأحماض الأمينيّة والنيوكليوتيدات. (ص ٦٧)

الميتوكندريون Mitochondrion (جمعها ميتوكندريا): العضية في الخلايا حقيقية النواة حيث تجري عملية التنفّس الهوائي. (ص ٢٥)

النواة Nucleus (جمعها: نوًى): وهي عضيّة كبيرة نسبيًا توجد في الخلايا حقيقيّة النواة، ولا توجد في الخلايا بدائيّة النواة. تحتوي النواة على DNA، وتتحكّم بالتالي بأنشطة الخليّة. وهي محاطة بغشاءَين يشكّلان معًا الغلاف النووي. (ص ٢١)

النويّة Nucleolus: تركيب صغير واحد أو أكثر يوجد داخل النواة. تشاهد النويّة عادة كجسم شديد الاصطباغ، ووظيفتها استخدام تعليمات DNA الموجود فيها لبناء الرايبوسومات. (ص ٣٥)

الهيموجلوبين Haemoglobin: الصبغة الحمراء الموجودة في خلايا الدم الحمراء، والتي تحتوي جزيئاتها على أربع ذرّات حديد داخل بروتين كروي مكوّن من أربع سلاسل عديدة الببتيد. وهو مرتبط بشكل عكسي مع الأكسجين. (ص ٨٥)

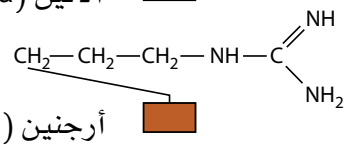
الملحق رقم ١

مجموعات R في الأحماض الأمينية

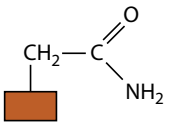
بيّن الشكل ٢- ١٤ أ التركيب العام للحمض الأميني. وتبيّن القائمة أدناه عشرين حمضًا أمينيًا، والمجموعة R من جزيء كل حمض فقط، حيث لا يظهر إلّا قسم من الجزيء والذي تم تمثيله بمستطيل بنّي اللون.

ألانين (Ala)

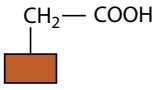
أرجنين (Arg)



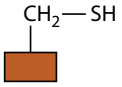
أسبارجين (Asn)



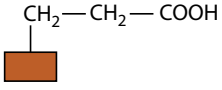
حمض الأسبارتيك (Asp)



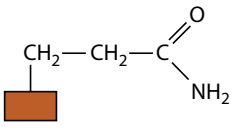
سيستين (Cys)



حمض الجلوتاميك (جلوتاميت) (Glu)

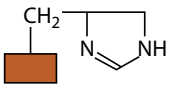


جلوتامين (Gln)

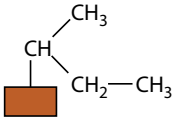


جلايسين (Gly)

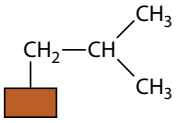
هستيدين (His)



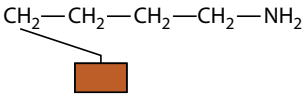
آيزوليوسين (Ile)



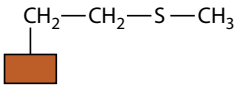
ليوسين (Leu)



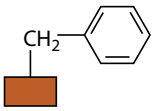
لايسين (Lys)



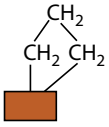
مثيونين (Met)



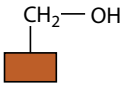
فينيل ألانين (Phe)



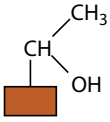
برولين (Pro)



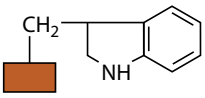
سيرين (Ser)



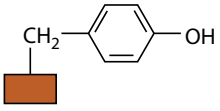
ثريونين (Thr)



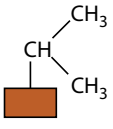
تربتوفان (Trp)



تيروسين (Tyr)



فالين (Val)



شكر وتقدير

يتوجه المؤلفون والناشرون بالشكر الجزيل إلى جميع من منحهم حقوق استخدام مصادرهم أو مراجعهم. وبالرغم من رغبتهم فى الإعراب عن تقديرهم لكل جهد تم بذله، وذكر كل مصدر تم استخدامه لإنجاز هذا العمل، إلا أنه يستحيل ذكرها وحصرها جميعًا. وفي حال إغفالهم لأي مصدر أو مرجع فإنه يسرهم ذكره في النسخ القادمة من هذا الكتاب.

Images in order of appearance:

Steve Gschmeissner/SPL; NASA/SPL; Print Collector/Getty Images; ISM/ Phototake; Dr Gopal Murti/SPL/GettyI Images; Biomedical Imaging Unit, University of Southampton (x2); unknown source; Medimage/SPL; Biophoto Associates/ SPL (x2); Don Fawcett/SPL; NIBSC/SPL; Pasieka/Getty Images; Dennis Kunkel Microscopy/SPL; Dr Gopal Murti/SPL; CNRI/SPL; ARTUR PLAWGO/SPL; Unknown Source; LOUISE HUGHES/SPL; NIBSC/Getty Images; Dr Kari Lounatmaa/ Getty Images; ARTUR PLAWGO/SPL; POWER AND SYRED/SPL; SCIENCE SOURCE/SPL; Excellent Dream/Shutterstock; NATIONAL INSTITUTE OF ALLERGY AND INFECTIOUS DISEASES/NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH/ SPL; KTSDESIGN/SPL; Dr David Furnless, Keele University/Getty Images; Steve Gschmeissner/SPL; Christ Frost/Getty Images; Alfred Pasieka/SPL/Getty Images; MARTYN F. CHILLMAID/SPL; Dr Jeremy Burgess/SPL; Biophoto Associates/ SPL; Unknown Source; Tom Mchugh/SPL; Dr Arthur Lesk/SPL; Omikron/SPL (x2); Steve Gschmeissner/SPL; J. Gross, Biozentrum/SPL; Wolfgang Baumeister/ SPL; Nature Production/naturepl.com; Div. of Computer Research & Technology, National Institute of Health/SPL; Richard Fosbery; Sciepro/GI; Will Brown/ Chemical Heritage Foundation/SPL; Biophoto Associates; NCI CENTER FOR CANCER RESEARCH/NATIONAL CANCER INSTITUTE/SPL; MICHAEL ABBEY/SPL (x6); STEVE GSCHMEISSNER/SPL; Eric Grave/SPL; Adrian davies/Alamy Stock Photo; SCIENCE PHOTO LIBRARY; James Steveson/SPL; SCIENCE PHOTO LIBRARY; Eye of Science/SPL; SCIENCE PHOTO LIBRARY

SPL = SCIENCE PHOTO LIBRARY

رقم الإيداع ٦٣٣٢ / ٢٠٢٣ م

طبع بالمطابع العالمية - سلطنة عُمان - ت : ٢٤٨١٥٧٧١

الأحياء – كتاب الطالب

يساعد البحث المكثف على تلبية الاحتياجات الحقيقة للطلبة الذين يدرسون مادة الأحياء. حيث تضمن الأسئلة الواردة في نهاية كل وحدة الشعور بالثقة أثناء عملية التقييم، وفرصًا أكثر للتفكير، و تساعد قوائم المراجعة الخاصة بالتقييم الذاتي؛ على أن تصبح مسؤولاً عن عملية التعلم.

يؤمّن كتاب الطالب مجموعة من أسئلة الاستقصاء، مثل الأنشطة العملية وأسئلة المناقشة، والتي تساعدك على تطوير مهارات القرن الحادي والعشرين.

- بعض الميزات مثل «قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة»، والملخصات، وكيفية التعلم النشط، وبناء المهارات، تمنح فرصًا للتفكير.
- ميزات «العلوم ضمن سياقها»، من تفسير الأفكار ضمن سياق العالم الواقعي، إضافة إلى مناقشة المفاهيم مع الطلبة الآخرين.
- تعمل الأسئلة ذات الجزئيات المتعددة الموجودة في نهاية كل وحدة على التحضير لخوض الامتحانات بثقة.
- تساعد أسئلة الاستقصاء، مثل الأنشطة العملية والعمل ضمن مجموعات، وأسئلة المناقشة، على تطوير مهارات القرن الحادي والعشرين.

يشمل منهج الأحياء للصف الحادي عشر من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب التجارب العملية والأنشطة
- دليل المعلّم

www.moe.gov.om

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS