المركز الوطني لتطوير المناهج
National Center for Curriculum Development

المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

AWA2EL
LEARN 2 BE

العلوم الحياتية

الصف الثاني عشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الأول

12

فريق التأليف

موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

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

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

@nccdjor feedback@nccd.gov.jo www.nccd.gov.jo

قـرَّرت وزارة التربيـة والتعليـم تدريـس هذا الكتـاب في مدارس المملكـة الأردنية الهاشـمية جميعها، بنـاءً على قـرار المجلس الأعلى للمركـز الوطنـي لتطوير المناهج في جلسـته رقـم ( )، تاريخ م، وقـرار مجلس التربية والتعليـم رقم ( )، تاريـخ م، بـدءًا من العام الـدراسي م.

© Harper Collins Publishers Limited 2021.
- Prepared Originally in English for the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan
- Translated to Arabic, adapted, customised and published by the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan

ISBN:

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
( )

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج
العلـوم الحياتيـة، الصـف الثانـي عشـر، الفـرع العلمـي: كتـاب الطالـب، الفصـل الأول/ المركـز الوطنـي لتطويـر المناهـج.- عمـان: المركـز، 2021
( ) ص.
ر.إ
الواصفات: / العلوم الحياتية/ / المناهج/ / التعليم الثانوي/
يتحمل المُؤلِّف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مُصنَّفه، ولا يُعبِّر هذا المُصنَّف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية.

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

الطبعة الأولى (التجريبية) 1443 هـ / 2022 م

قائمة المحتويات

المقدمة 5

الوحدة الأولى: كيمياء الحياة

Chemistry of Life 7

الدرس 1: الدرس الأول: المُركَّبات العضوية.

Organic Compounds 10

الدرس 2: الإنزيمات وجزيء حفظ الطاقة ATP

Enzymes and Energy Storing Molecule ATP 30

الدرس 3: التفاعلات الكيميائية في الخلية

Chemical Reactions in Cell 39

الإثراء والتوسُّع: البكتيريا والطاقة 57

مراجعة الوحدة 58

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

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

يُعَدُّ هذا الكتاب واحدًا من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعْنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحَلِّ المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وَفق أفضل الطرائق المُتَّبَعة عالميًّا؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها لحاجات أبنائنا الطلبة والمعلِّمين.

جاء هذا الكتاب مُحقِّقًا لمضامين الإطار العام والإطار الخاص للعلوم، ومعاييرها، ومُؤشِّرات أدائها المُتمثِّلة في إعداد جيل محيط بمهارات القرن الواحد والعشرين، وقادر على مواجهة التحديات، ومُعتَزٍّ -في الوقت نفسه- بانتمائه الوطني. وتأسيسًا على ذلك، فقد اعتُمِدت دورة التعلُّم الخماسية المنبثقة من النظرية البنائية التي تمنح الطالب الدور الأكبر في العملية التعلُّمية التعليمية، وتُوفِّر له فرصًا عديدةً للاستقصاء، وحَلِّ المشكلات، والبحث، واستخدام التكنولوجيا وعمليات العلم، فضلًا عن اعتماد منحى STEAM في التعليم الذي يُستعمَل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة، وفي قضايا البحث.

يتألَّف الكتاب من ثلاث وحدات، يَتَّسِمُ محتواها بالتنوع في أساليب العرض، هي: كيمياء الحياة، وعمليات حيوية في النبات، والأنظمة البيئية. يضم الكتاب أيضًا العديد من الرسوم، والصور، والأشكال التوضيحية، والأنشطة، والتجارب العملية التي تُنمّي مهارات العمل المخبري، وتساعد الطلبة على اكتساب مهارات العلم، مثل: الملاحظة العلمية، والاستقصاء، ووضع الفرضيات، وتحليل البيانات، والاستنتاج القائم على التجربة العلمية المضبوطة، وصولًا إلى المعرفة التي تُعِين الطلبة على فهم ظواهر الحياة من حولنا.

روعي في تأليف الكتاب التركيز على مهارات التواصل مع الآخرين، ولا سيَّما احترام الرأي والرأي الآخر، وتحفيز الطلبة على البحث في مصادر المعرفة المختلفة؛ فلغة الكتاب تُشجِّع الطالب أنْ يتفاعل مع المادة العلمية، وتحثُّه على بذل مزيد من البحث والاستقصاء. وقد تضمَّن الكتاب أسئلة متنوعة تراعي الفروق الفردية، وتُنمّي لدى الطلبة مهارات التفكير وحَلِّ المشكلات.

أُلحِقَ بالكتاب كتابٌ للأنشطة والتجارب العملية، يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب؛ لتساعده على تنفيذها بسهولة، إضافةً إلى أنشطة إثرائية، وأسئلة مثيرة للتفكير.

ونحن إذ نُقدِّمُ الطبعة الأولى (التجريبية) من هذا الكتاب، فإنّا نأمل أنْ يُسهِم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصية الطالب، وتنمية اتجاهـات حُبِّ التعلُّم ومهارات التعلُّم المستمرلديه، فضلاً عن تحسين الكتاب؛ بإضافة الجديد إلى المحتوى، وإثراء أنشطته المتنوعة، والأخذ بملاحظات المعلِّمين.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الوحدة 1

كيمياء الحياة

Chemistry of Life

AWA2EL
LEARN 2 BE

قال تعالى:

﴿فَلْيَنظُرِ ٱلْإِنسَٰنُ مِمَّ خُلِقَ﴾ (سورة الطارق، الآية 5).

أتأمَّل الصورة

تتكوَّن أجسام الكائنات الحيَّة جميعها من مُركَّبات عضوية، وهي مُركَّبات تُسهِم إسهامًا فاعلًا في العمليات الحيوية اللازمة لاستمرار الحياة، أتأمل الصورة التي تُبيِّن إنزيم تصنيع جزيء حفظ الطاقة (ATP) في الغشاء الداخلي للميتوكندريا، فمّ تتكون الأجزاء الظاهرة في الصورة؟ وما أهميتها في حياة الكائنات الحية؟

الفكرة العامة:

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

الدرس الأول: المُركَّبات العضوية.

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

الدرس الثاني: الإنزيمات وجزيئات حفظ الطاقة.

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

الدرس الثالث: التفاعلات الكيميائية في الخلية.

الفكرة الرئيسة: تحدث داخل جسم الكائن الحيِّ تفاعلات كيميائية عِدَّة، منها ما يُخزِّن الطاقة في الروابط الكيميائية داخل المُركَّبات العضوية، ومنها ما يُحرِّر الطاقة المُخزَّنة اللازمة لأداء الأنشطة الحيوية.

الكشف عن وجود الكربون في المُركَّبات العضوية

الكربون عنصر مهم يدخل في تركيب المُركَّبات العضوية جميعها، ويُمكِن الكشف عنه في المادة العضوية عن طريق تسخينها مع أكسيد النحاس؛ إذ يتأكسد الكربون (إنْ وُجِد)، وينتج غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 الذي يتفاعل مع ماء الجير (محلول هيدروكسيد الكالسيوم)، مُسبِّبًا تعكُّره وتكدُّره.

المواد والأدوات:

كأسان زجاجيتان، سعة كلٍّ منهما 5) mL) ، وفي كلٍّ منهما 4) mL) من ماء الجير الرائق؛ سُكَّر مائدة؛ ملح طعام؛ أكسيد نحاس؛ أنبوبا اختبار، سعة كلٍّ منهما 10) mL) ؛ حاملا أنابيب اختبار زجاجيان؛ سِدادتا أنابيب اختبار مطّاطيتان مثقوبتان من المنتصف؛ أنبوبا وصل زجاجيان رفيعان على شكل حرف L ، مصدر حرارة (موقد بنسن).

إرشادات السلامة: استعمال مصدر الحرارة والأنابيب الساخنة بحذر.

ملحوظة: يُحضَّر ماء الجير الرائق بإذابة هيدروكسيد الكالسيوم في ماء مُقطَّر حتى الإشباع، ثم تصفيته.

خطوات العمل:

1. **أقيس:** أَزِن 2) g) من سُكَّر المائدة و 6) g) من أكسيد النحاس، ثم أضع المادتين اللتين وزنتهما في أنبوب الاختبار الأوَّل.
2. **أُصمِّم نموذجًا:** أُدخِل أحد طرفي أنبوب الوصل الزجاجي في ثقب السِّدادة، ثم أُثبِّتها على فتحة أنبوب الاختبار، ثم أُعلِّق أنبوب الاختبار بالحامل، ثم أضعه على المِنْصَب فوق مصدر الحرارة.
3. **أُجرِّب:** أغمس الطرف الثاني من أنبوب الوصل في ماء الجير الرائق الموجود في الكأس الزجاجية الأولى.
4. **أُلاحِظ:** أُوقد لهب بنسن تحت أنبوب الاختبار الأوَّل مدَّة 5) min) ، مُلاحِظًا ما يحدث لماء الجير في الكأس الزجاجية.
5. **أقيس:** أَزِن 2) g) من ملح الطعام و 6) g) من أكسيد النحاس، ثم أضع المادتين اللتين وزنتهما في أنبوب الاختبار الثاني.
6. أُكرِّر الخطوات من الرقم 2) إلى الرقم 5).
7. **أُقارِن** ما يحدث لماء الجير في الكأسين الزجاجيتين في أثناء التفاعل، ثم أُدوِّن النتائج التي توصَّلْتُ إليها.

التحليل والاستنتاج:

1. **أُفسِّر** النتائج التي توصَّلْتُ إليها.
2. **أتوقَّع** سبب استخدام ملح الطعام في الأنبوب الثاني.
3. **أتواصل:** أُناقِش زملائي/ زميلاتي في النتائج التي توصَّلْتُ إليها.

الدرس 1

المُركَّبات العضوية
Organic Compounds

الفكرة الرئيسة:

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

نتاجات التعلُّم:

- أُوضِّح دور عنصر الكربون في تكوين أجسام الكائنات الحيَّة.
- أُقارِن بين تراكيب الأنواع الرئيسة من المُركَّبات العضوية وخصائص كلٍّ منها.

المفاهيم والمصطلحات:

المُركَّبات العضوية Organic Compounds

السُّكَّريات الأُحادية Monosaccharides

السُّكَّريات الثنائية Disaccharides

السُّكَّريات المُتعدِّدة Polysaccharides

الدهون الثلاثية Triglycerides

الليبيدات المُفسفَرة Phospholipids

الستيرويدات Steroids

الرابطة الفوسفاتية الثنائية الإسترية Phosphdiester Bond

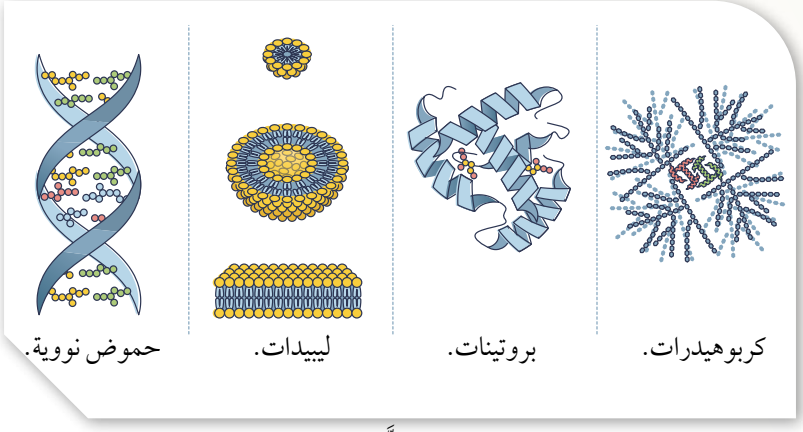
ما المُركَّبات العضوية؟

تحتوي أجسام الكائنات الحيَّة جميعها على ذَرّات عناصر مهمة، منها: الهيدروجين، والكربون، والأكسجين، والنيتروجين، والكالسيوم، والفسفور، إضافةً إلى ذَرّات عناصر أُخرى تحتاج إليها هذه الكائنات بكمِّيات بسيطة. ويُعَدُّ الكربون العنصر الأساس الذي يدخل في تركيب المُركَّبات العضوية جميعها.

المُركَّبات العضوية Organic Compounds

مُركَّبات كيميائية ترتبط فيها ذَرّات الكربون بروابط تساهمية؛ إمّا بعضها مع بعض، وإمّا مع ذَرّات عناصر أُخرى، مثل: الهيدروجين، والنيتروجين، والأكسجين.

توجد في أجسام الكائنات الحيَّة أربعة أنواع رئيسة من المُركَّبات العضوية، هي: الكربوهيدرات Carbohydrates، والبروتينات Proteins، والليبيدات Lipids، والحموض النووية Nucleic Acids، أنظر الشكل (1).

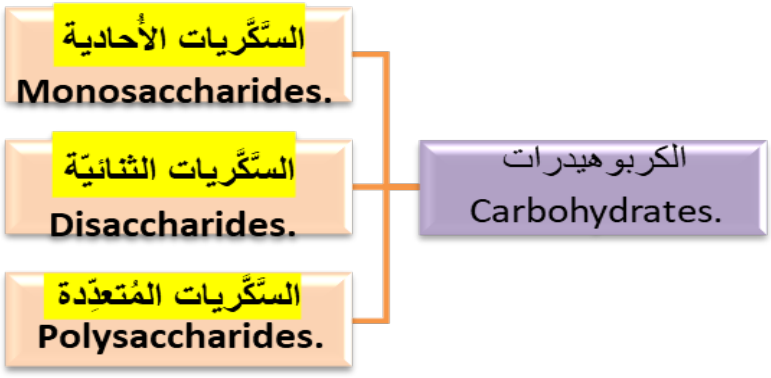


الشكل (1): مُركَّبات عضوية.

✓ **أتحقَّق:** ما أنواع المُركَّبات العضوية الرئيسة في جسم الإنسان؟

الكربوهيدرات Carbohydrates

تتكـوَّن الكربوهيـدرات مـن ذَرّات كربـون وهيدروجـين وأكسـجين، وهـي تُصنَّـف بحسـب عـدد الوحـدات التـي تتألَّـف منهـا إلى ثلاثـة أنـواع رئيسـة، أنظـر الشـكل (٢).



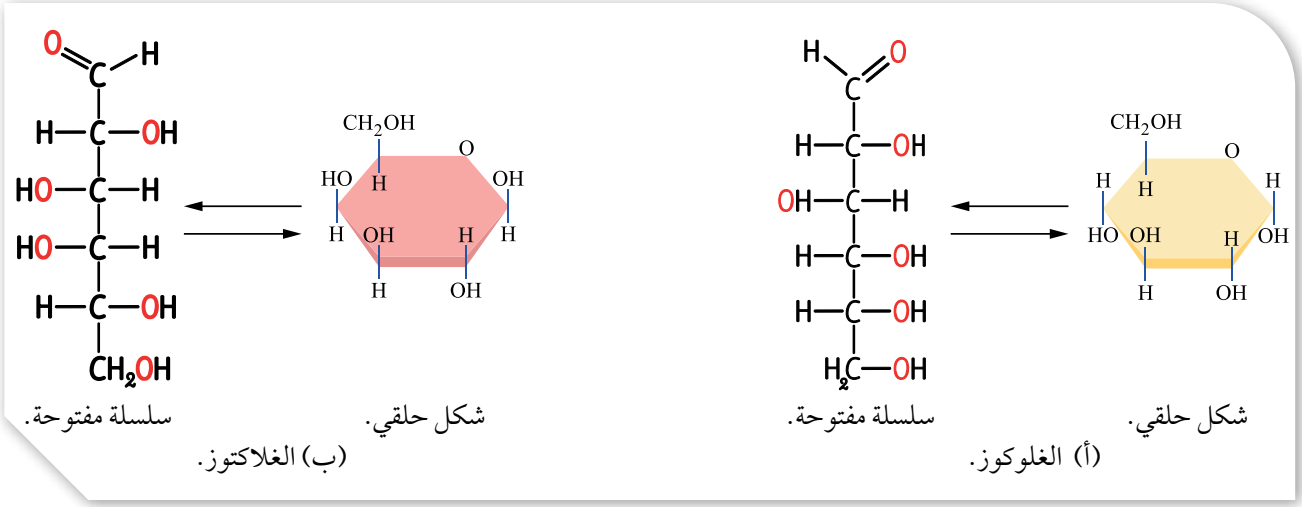
الشكل (2): تصنيف الكربوهيدرات

السُّكَّريات الأُحادية Monosaccharides

يُعَـدُّ هـذا النـوع أبسـط أنـواع الكربوهيـدرات، وهـو يـذوب في الماء بسـهولة لأنَّـه مـن المـواد المُحِبَّـة لـه Hydrophilic، ويمتـاز بمذاقـه الحلـو. أمّـا صيغتـه العامـة فهـي $(CH_2O)n$، حيـث n عـدد ذَرّات الكربـون في السُّـكَّر الأُحـادي.

تكـون الصيغـة البنائيـة للسُّـكَّريات الأُحاديـة عـلى شـكل حلقـي، أو سلسـلة مفتوحـة غـير مُتفرِّعـة. ويُعَـدُّ هـذا النـوع مـن السُّـكَّريات وحـدات بنائيـة لأنـواع الكربوهيـدرات الأُخـرى، ومـن الأمثلـة عليـه: الغلوكـوز الـذي يُمثِّـل المصـدر المبـاشر للطاقـة في أجسـامنا، أنظـر الشـكل (3).

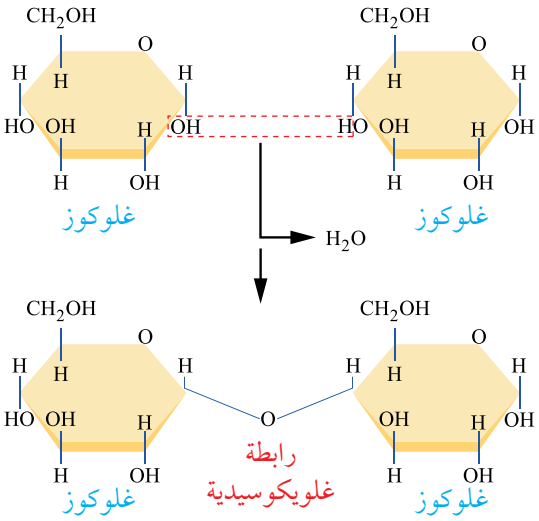
أُفكِّر: يتكـوَّن السُّـكَّر الأُحـادي الرايبوز مـن عشـر ذَرّات هيدروجيـن، فما عـدد ذَرّات الكربـون فيـه؟



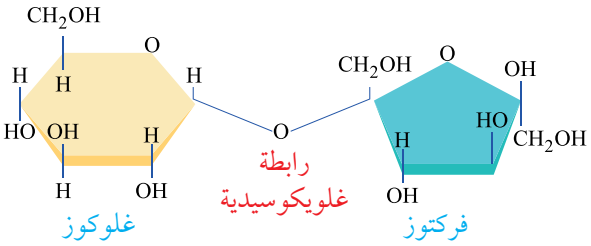
الشكل (3): السُّكَّريات الأُحادية: (أ): الغلوكوز. (ب): الغلاكتوز

السُّكَّريات الثنائية Disaccharides

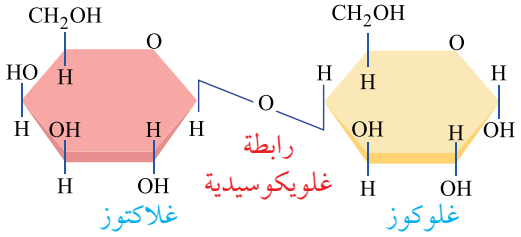
يتكـوَّن هـذا النـوع مـن وحدتـين مـن السُّـكَّريات الأُحاديـة، ترتبطـان معًـا برابطـة تسـاهمية غلايكوسـيدية Glycocidic Bond، ويحـدث الارتبـاط بتفاعلِ تكثيـفٍ Condensation ينتـج منـه جـزيء مـاء، أنظـر الشـكل (4/ أ) الـذي يُبـيِّن تفاعـل التكثيـف لإنتـاج سُـكَّر المالتـوز. ومـن الأمثلـة عـلى السُّـكَّريات الثنائيـة أيضًـا: اللاكتـوز، والسّـكروز.



(أ) المالتوز (سُكَّر الشعير).



(ب) اللاكتوز (سُكَّر الحليب)



(ج) السّكروز (سُكَّر المائدة).

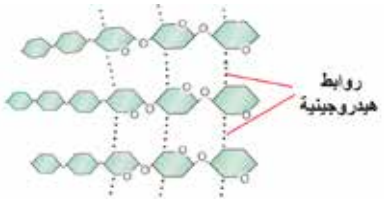
الشكل (4): السُّكَّريات الثنائية: (أ): المالتوز. (ب): اللاكتوز. (ج): السّكروز.

✓ **أتحقَّق:** أُقارِن بين اللاكتوز والسّكروز من حيث السُّكَّريات الأُحادية التي تُكوِّن كُلًّا منهما.

السُّكَّريات المُتعدِّدة Polysaccharides

يتكـوَّن هـذا النـوع بارتبـاط ثـلاث وحـدات بنائيـة أو أكثـر مـن السُّـكَّريات الأُحاديـة بروابـط تسـاهمية غلايكوسـيدية، لـكلٍّ منهـا خصائـص تُميِّزهـا، أنظـر الجـدول (1).

الجدول (1): السُّكَّريات المُتعدِّدة.

المثال	الصيغة البنائية	الوظيفة والأهمية
النشـا: يحتـوي النشـا علـى نوعيـن مـن السُّـكَّريات المُتعـدِّدة، همـا: - الأميلـوز، وهـو ذو سلاسـل غيـر مُتفرِّعـة. - الأميلوبكتيـن، وهـو ذو سلاسـل مُتفرِّعـة فـي بعـض المواقـع.	 أميلوز. أميلوبكتين.	تخزين سُكَّر الغلوكوز في النباتات.
الغلايكوجـين: يتكوَّن الغلايكـوجين مـن سلاسـل كثيرة التفرُّع.	 غلايكوجين.	تخزين سُكَّر الغلـوكوز في أكبـاد الحيـوانات وعضلاتها.
السـيليلوز: يتكـوَّن السـيليلوز مـن ألياف دقيقـة، تتألَّـف كلٌّ منهـا مـن سلاسـل مُتوازِيـة، وغيـر مُتفرِّعـة مـن الغلوكـوز، وترتبـط فـي مـا بينهـا بروابـط غلايكوسـيدية. أمّـا سلاسـل الغلوكـوز فترتبـط معًـا بروابـط هيدروجينيـة.	 سيليلوز	الإسهـام في تركيب الجُدُر الخلـوية في النبـاتات؛ ما يُكسِبها القوَّة والمرونة.

الربطُ بالكيمياءِ

المجموعـة الوظيفيـة: مجموعـة مـن الـذَّرّات في المُركَّـب العضـوي، تُسـهِم في تمييـز مُركَّـب عـن غـيره مـن المُركَّبـات. ومـن أمثلتهـا:

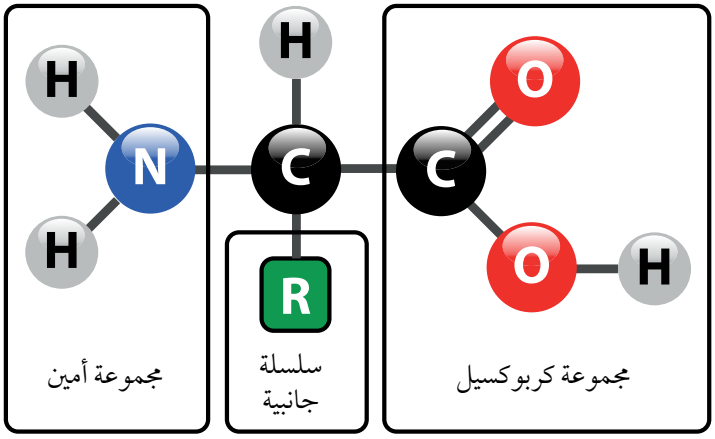
- مجموعة الهيدروكسيل (OH).
- مجموعة الكربوكسيل (COOH).
- مجموعة الأمين (NH_2).
- مجموعة الفوسفات (PO_4^{3-}).

✓ **أتحقَّق:** أُقارِن الـروابط الموجـودة بين جزيئـات الغلوكـوز في السلسـلة الواحـدة مـن السيليلوز بالروابـط الموجـودة بين سلاسـل الغلوكوز المُتوازِية في السيليلوز

البروتينات Proteins

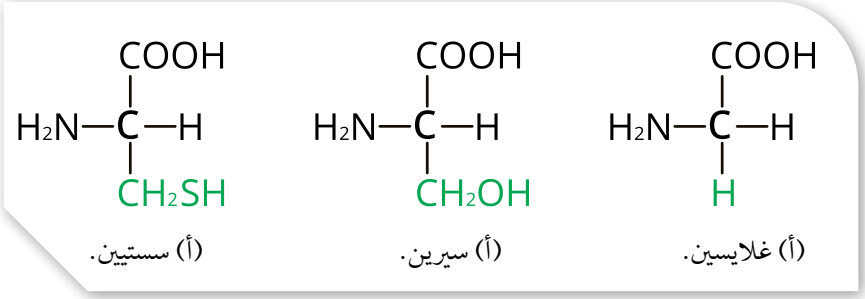
تتألَّف البروتينات من وحدات بنائية أساسية تُسمّى الحموض الأمينية Amino Acids، وترتبط معًا بروابط تساهمية ببتيدية.

تشترك الحموض الأمينية – في ما بينها– في صيغتها العامة التي تحوي نوعين من المجموعات الكيميائية، هما: مجموعة الكربوكسيل (COOH)، ومجموعة الأمين (NH_2)، إضافةً إلى سلسلة جانبية يُرمَز إليها بالرمز R، وتختلف من حمض أميني إلى آخر؛ ما يجعل لكلٍّ منها خصائص تنفرد بها عن غيرها، أنظر الشكل (5).



الشكل (5): الصيغة البنائية العامة للحموض الأمينية.

يحتوي الحمض الأميني غلايسين Glycine على أبسط مجموعة جانبية R، وهي ذَرَّة الهيدروجين H، في حين تحتوي السلسلة الجانبية في الحموض الأمينية الأُخرى على الكربون، مثل:السيرين CH_2OH، والسستيين CH_2SH، أنظر الشكل (6).



(أ) غلايسين. (أ) سيرين. (أ) سستيين.

الشكل (6): بعض أنواع الحموض الأمينية.

أُحدِّد السلسلة الجانبية في كل حمض أميني ورد ذكره في الشكل.

يدخل في تركيب البروتينات عشرون حمضًا أمينيًّا، ويستطيع جسم الإنسان فقط تصنيع أحد عشر حمضًا أمينيًّا منها. أمّا الحموض التسعة الأُخرى فيحصل عليها الجسم من الغذاء، وهي تُسمّى الحموض الأمينية الأساسية. تُصنَّف الحموض الأمينية وَفقًا لخصائص المجموعات الجانبية التي تحويها إلى مجموعتين رئيستين، هما: الحموض الأمينية المُحِبَّة للماء، والحموض الأمينية الكارهة للماء.

✓ **أتحقَّق:** ما الذي يُميِّز حمضًا أمينيًّا من آخر؟

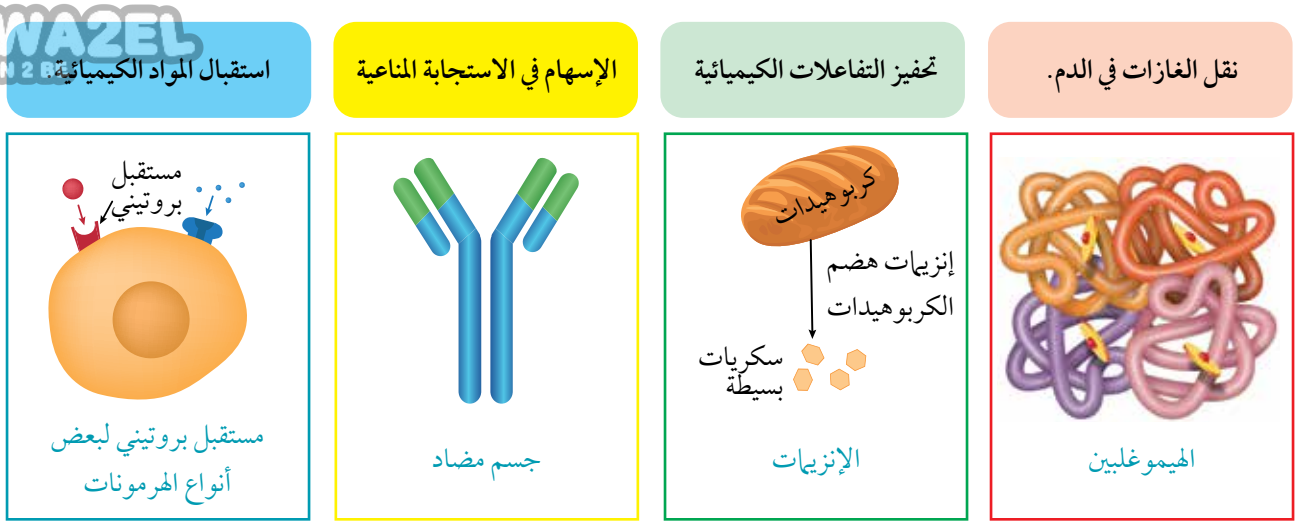
الربطُ بالصِّحةِ

أثر حمض التربتوفان في تحسين المزاج.

يحتاج جسم الإنسان إلى الحمض الأميني تربتوفان Tryptophane، الذي يُعَدَّ أحد الحموض الأمينية الأساسية التي تدخل في تصنيع الناقل العصبي الهرموني السيروتونين، ويُسمّى أيضًا هرمون السعادة.

وقد أشارت دراسات منشورة إلى أنَّ الحمض الأميني تربتوفان يُسهِم في تحسين المزاج وتخفيف التوتُّر لدى الأشخاص من مختلف الأعمار، فضلًا عن وجود علاقة بين احتواء حليب الأطفال الرُّضَّع على هذا الحمض وخلودهم إلى النوم براحة وهدوء.

تُمثِّل البروتينات أكثر من 50% من الكتلة الجافة لمعظم الخلايا، وهي تؤدّي وظائف مختلفة في أجسام الكائنات الحيَّة، مثل ألياف الكولاجين التي تمنح الغضاريف المرونة والقوَّة، أنظر الشكل (7) الذي يُبيِّن وظائف أُخرى للبروتينات.



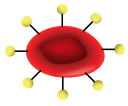
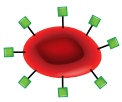
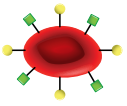
الشكل (7): بعض وظائف البروتينات.

قد ترتبط البروتينات بالسُّكَّريات، مُكوِّنةً بروتينات سُكَّرية Glycoproteins تُسمّى مُولِّدات الضد Antigens، وتوجد على سطوح خلايا الجسم، ولا يُسبِّب وجودها في الحالات الطبيعية حدوث استجابة مناعية ضدها في الجسم، في حين تُسبِّب مُولِّدات الضد غير الذاتية (مُولِّدات الضد الغريبة التي تدخل الجسم) حدوث استجابة مناعية ضدها في الجسم.

من الأمثلة على مُولِّدات الضد في جسم الإنسان: مُولِّد الضد (A) الذي يوجد على سطوح خلايا الدم الحمراء لدى كل شخص فصيلة دمه (A) بحسب نظام ABO لفصائل الدم. ووَفقًا لهذا النظام، فإنَّه توجد أربع فصائل لدم الإنسان، هي: A، B، AB، O، وذلك بناءً على وجود أحد مُولِّدي الضد A، أو B، أو كليهما، أو عدم وجودهما، أنظر

الجدول (2) الذي يُبيِّن مُولِّدات الضد على سطوح خلايا الدم الحمراء والأجسام المضادة في البلازما لفصائل الدم الأربع بحسب نظام ABO.

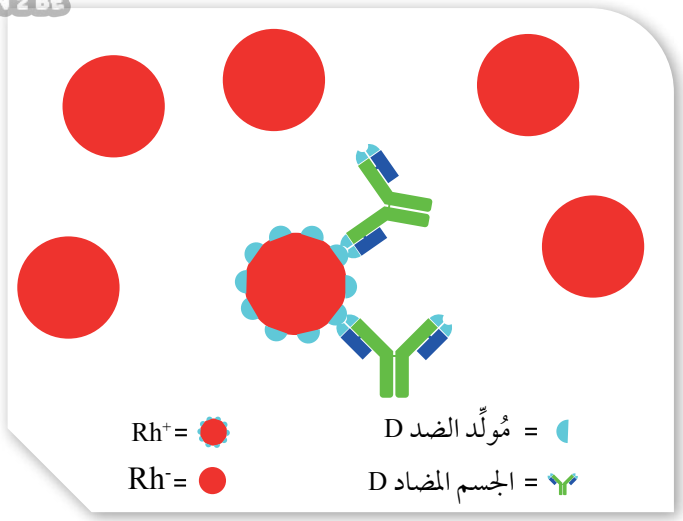
الجدول (2): فصائل الدم بحسب نظام ABO.

	O	A	B	AB
فصيلة الدم				
مُولِّد الضد على سطوح خلايا الدم الحمراء	لا يوجد	A	B	
الجسم المضاد في البلازما	Anit-A Anit-B	Anit-B	Anit-B	ABO

يوجد نظام آخر يُعرَف بنظام العامل الريزيسي Rh، ويشير إلى وجود نوع من مُولِّدات الضد يُسمّى مُولِّد الضد D. وفي حال وجود هذا النوع على سطوح خلايا الدم الحمراء، يوصَف الشخص بأنَّه موجب العامل الريزيسي Rh^+. أمّا في حال عدم وجوده، فيوصَف الشخص بأنَّه سالب العامل الريزيسي Rh^-، وهو شخص لا توجد أجسام مضادة D (Anti-D) في دمه، لكنَّه يُنتِجها في صورة استجابة مناعية إذا نُقِل إليه دم موجب العامل الريزيسي.

عند نقل الدم من شخص إلى آخر، فإنَّه يُنظَر إلى مُولِّدات الضد A ، وB، و D لدى المُتبرِّع Donor، وإلى الأجسام المضادة في بلازما الدم لدى المُستقبِل Recipient. فمثلًا، عند نقل دم من مُتبرِّع فصيلة دمه A إلى مُستقبِل فصيلة دمه B، فإنَّ الأجسام المضادة A من دم المُستقبِل ترتبط بمُولِّدات الضد A على سطوح خلايا الدم الحمراء للمُتبرِّع، مُسبِّبةً تحلُّلها؛ فتظهر على المُستقبِل أعراض عديدة، مثل: القشعريرة، والحُمّى، وقد يصاب بقصور في وظائف الكُلى. أمّا في حال إعطاء المُستقبِل دمًا من فصيلة لا تُوافِق فصيلة دمه فقد يؤدّي ذلك إلى وفاته.

وفي سياق مُتَّصِل، إذا كان الشخص من ذوي العامل الريزيسي السالب Rh^- فلا يُمكِنه استقبال دم مُتبرِّع من ذوي العامل الريزيسي الموجب Rh^+؛ ذلك أنَّ جسمه سيُكوِّن أجسامًا مضادةً D (Anti-D) بوصفها استجابةً مناعيةً، فترتبط الأجسام المضادة D بمُولِّدات الضد D من دم المُتبرِّع، أنظر الشكل (8).



الشكل (8): ارتباط الأجسام المضادة بمُولِّدات الضد D.

أُفكِّر: يحتاج شخص فصيلة دمه O- إلى نقل حقيبتين من بلازما الدم. إذا توافرت حقيبتا بلازما، إحداهما من مُتبرِّع فصيلة دمه AB+، والأُخرى من مُتبرِّع فصيلة دمه B+، فهل يُمكِن استخدام الحقيبتين معًا لنقل البلازما إليه، أم يُكتفى بإحداهما لعدم مُناسَبة الأُخرى لدم المريض؟ أُبرِّر إجابتي.

مثال

إذا أُصيب شخص فصيلة دمه A- في حادث سير، واستدعت حالته نقل دم إليه، ورغب اثنان من أصدقائه التبرُّع بالدم له، وكانت فصيلة دم أحدهما AB+ وفصيلة دم الآخر O-، فأيُّ الصديقين يُمكِنه فقط التبرُّع بالدم؟ (علمًا بأنَّ المصاب لم يُنقَل إليه دم من قبلُ).

المعطيات:

المُتبرِّعان المُحتمَلان: AB+، و O-، المُستقبِل A-.

المطلوب:

تحديد فصيلة الدم التي تُناسِب الشخص المصاب (المُستقبِل).

الحل:

يجب دراسة كلٍّ من مُولِّدات الضد لدى المُتبرِّعين المُحتمَلين، والأجسام المضادة لدى المُستقبِل.

مُولِّدات الضد لدى المُتبرِّع الأوَّل AB+	الأجسام المضادة لدى المُستقبِل A-
A	لا يوجد

B ◄ ارتباط ► B

سيُكوِّن المُستقبِل أجسامًا مضادةً D، بوصفها استجابةً مناعيةً، ترتبط بمُولِّدات الضد D من دم المُتبرِّع.

D ◄ ارتباط ► D

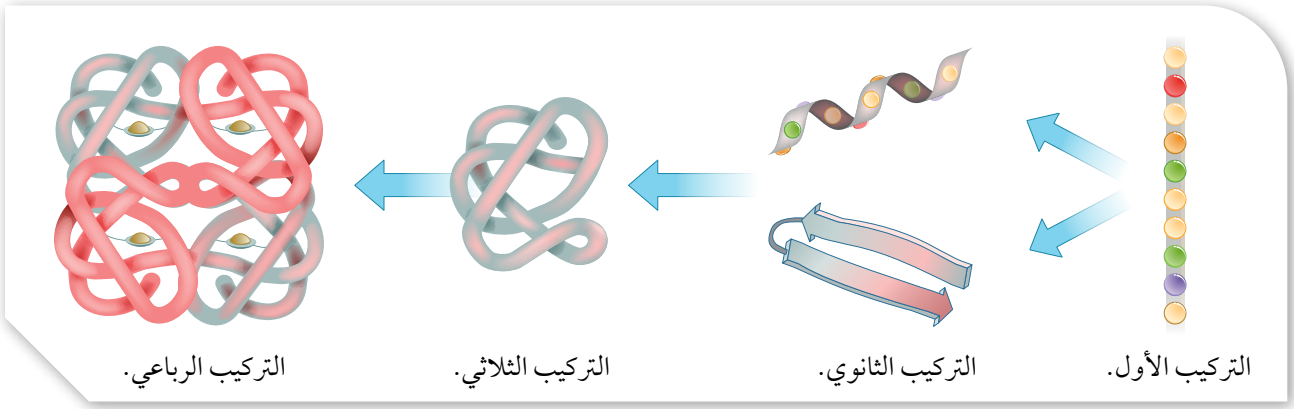
مُولِّدات الضد لدى المُتبرِّع الثاني O-	الأجسام المضادة لدى المُستقبِل A-
لا يوجد	B
لا يوجد	–

إذن، يُمكِن للمصاب استقبال دم من المُتبرِّع الثاني الذي فصيلة دمه O-؛ نظرًا إلى عدم وجود مُولِّدات الضد B و D في دم هذا المُتبرِّع.

مستويات تركيب البروتينات Levels of Proteins Structure

تختلف البروتينات بعضها عن بعض تبعًا لاختلاف الحموض الأمينية التي تدخل في تركيبها، وعددها، وتسلسلها.

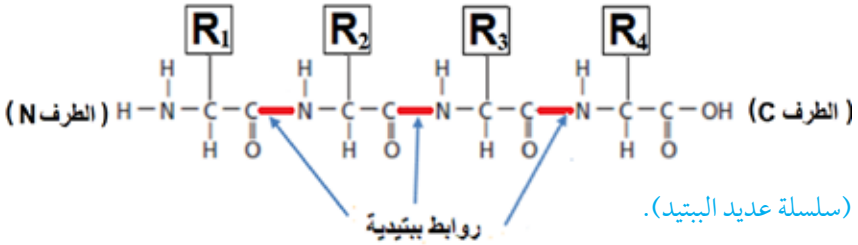
توجد أربعة مستويات تركيبية للبروتينات، هي: التركيب الأوَّلي Primary Structure، والتركيب الثانوي Secondary Strucrture، والتركيب الثلاثي Tertiary Structure، والتركيب الرباعي Quaternary Structure، أنظر الشكل (9).



الشكل(9): مستويات تركيب البروتينات.

التركيب الأوَّلي Primary Structure

سلسلة يرتبط فيها كل حمض أميني بآخر برابطة تساهمية ببتيدية، مُشكِّلةً سلسلة عديد الببتيد. يُعَدُّ هذا التركيب وصفًا لتسلسل الحموض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد؛ إذ تكون مجموعة الأمين في بدايتها (تُسمّى الطرف N)، وتكون مجموعة الكربوكسيل في نهايتها (تُسمّى الطرف C)، أنظر الشكل (10).



الشكل (10): التركيب الأوَّلي.

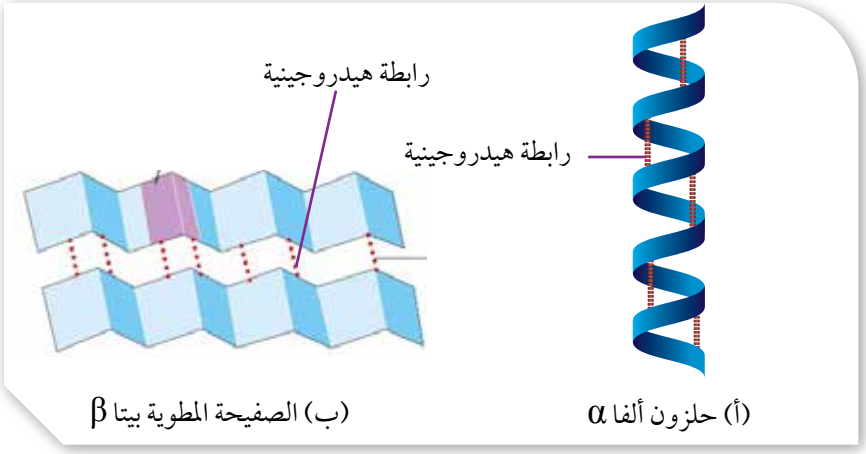
يُمثِّل البروتين الأوَّلي الهيكل الأساسي لمستويات البروتين الأُخرى، وهو لا يؤدّي أيَّ وظيفة في صورته الأوَّلية.

✓ **أتحقَّق:** لماذا يُحتمَل أنْ تختلف سلسلتا عديد ببتيد، إحداهما عن الأُخرى، بالرغم من تكوُّنهما من الحموض الأمينية نفسها، واحتوائهما على العدد نفسه من هذه الحموض؟

التركيب الثانوي Secondary Structure

ينتج التركيب الثانوي من التفاف سلسلة عديد ببتيد واحدة، وتكوُّن روابط هيدروجينية في مناطق مُحدَّدة منها، وهي روابط تعمل على تثبيت التركيب الثانوي واستقراره.

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

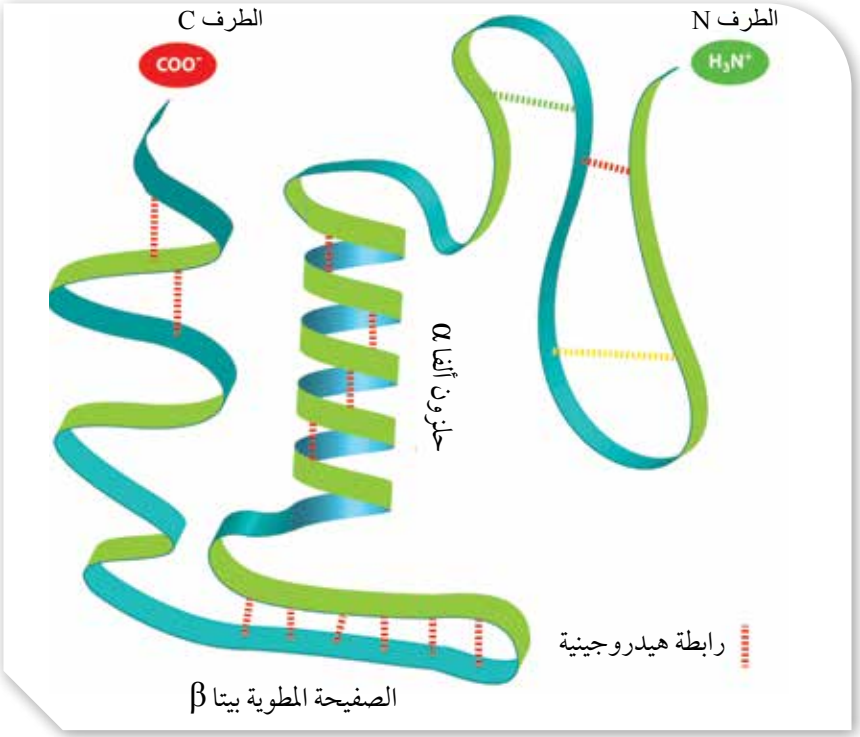


الشكل (11): التركيب الثانوي للبروتين.

التركيب الثلاثي Tertiary Structure

ينتج التركيب الثلاثي (هو شكل ثلاثي الأبعاد) من طَيِّ التركيب الثانوي لسلسلة عديد الببتيد، ويُمكِن تثبيت شكل هذا التركيب عن طريق أنواع مختلفة من الروابط بين ذَرّات السلاسل الجانبية R لسلسلة عديد الببتيد، أنظر الشكل (12).

من الأمثلة على البروتينات ذات التركيب الثلاثي: بروتين الكيراتين الذي يُكوِّن الأظافر والشعر، وينتج من طَيِّ التركيب الثانوي لحلزون ألفا α. وفي حال فَقَدَ أحد البروتينات تركيبه الثلاثي، فإنَّ ذلك يُفقِده القدرة على أداء وظيفته الحيوية.



الشكل (12): التركيب الثلاثي للبروتين.

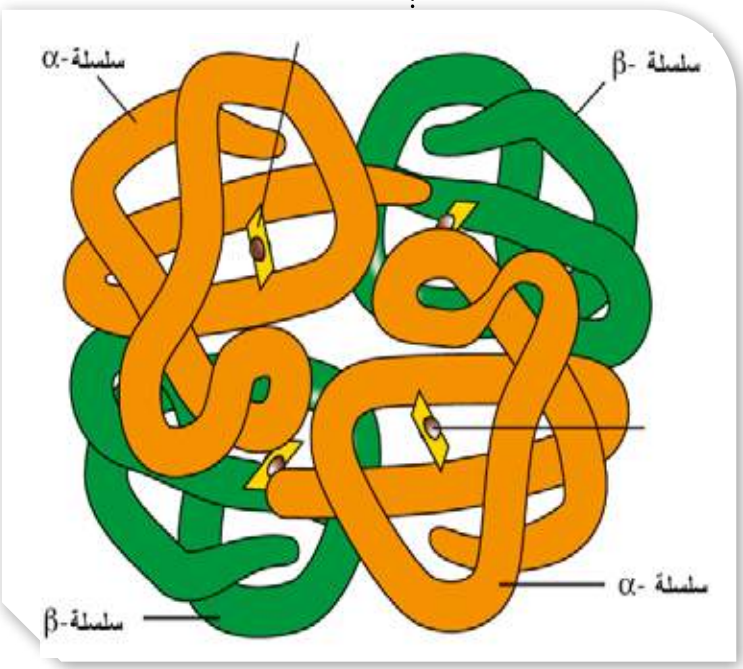
التركيب الرباعي Quaternary structure

يُطلَق اسم التركيب الرباعي على البروتينات التي تتكوَّن من سلسلتين أو أكثر من عديد الببتيد، خلافًا للتركيب الأوَّلي والتركيب الثانوي والتركيب الثلاثي؛ إذ يتكوَّن كلٌّ منها من سلسلة عديد ببتيد واحدة، علمًا بأنَّ التركيب الرباعي يُثبَّت عن طريق روابط مختلفة، شأنه في ذلك شأن التركيب الثلاثي.

أتحقَّق: كيف يتكوَّن التركيب الثلاثي للبروتينات؟

من الأمثلة على البروتينات ذات التركيب الرباعي: الهيموغلوبين الذي يتألَّف من أربع سلاسل ببتيدية؛ اثنتان منها من النوع α، واثنتان أُخريان من النوع β، أنظر الشكل (13)، لكنَّ ذلك لا يعني بالضرورة أنَّ جميع البروتينات ذات التركيب الرباعي تتألَّف من أربع سلاسل ببتيدية؛ فالكولاجين مثلًا هو من البروتينات ذات التركيب الرباعي، لكنَّه يتكوَّن من ثلاث سلاسل ببتيدية.

يُذكَر أنَّه لا يوجد ارتباط بين سلستي ألفا وسلسلتي بيتا في الهيموغلوبين، وحلزون ألفا والصفيحة المطوية بيتا.



الشكل (13): التركيب الرباعي للهيموغلوبين.

تصنيف البروتينات Classification of Proteins

تُصنَّف البروتينات وَفقًا لشكلها النهائي الثلاثي الأبعاد إلى نوعين، هما:

- **البروتينات الكروية Globular Proteins**: يتكوَّن هذا النوع من بروتينات تركيبها ثلاثي أو رباعي، مثل الهيموغلوبين ومعظم الإنزيمات.

تؤدّي البروتينات الكروية دورًا في عمليات الجسم الحيوية، وتكون ذائبة في الماء ؛ نظرًا إلى وجود سلاسلها الجانبية R القطبية (المُحِبَّة للماء) في اتجاه الخارج مُواجِهةً المحاليل المائية التي تحيطها، ووجود سلاسلها الجانبية R غير القطبية (الكارهة للماء) في اتجاه الداخل.

- **البروتينات الليفية Fibrous Proteins**: يتكوَّن هذا النوع غالبًا من بروتين ثانوي التركيب، ومن النادر أنْ يكون البروتين ثلاثي التركيب أو رباعي التركيب، ومن أمثلته: الكيراتين، والكولاجين.

تكون البروتينات الليفية في الماء غير ذائبة في الماء ؛ لأنَّ سلاسلها الجانبية R غير القطبية (الكارهة للماء) تكون في اتجاه الخارج مُواجِهةً المحاليل المائية.

توجد بعض البروتينات التي تتكوَّن من أجزاء ليفية وأُخرى كروية، مثل بروتين الميوسين في العضلة الهيكلية.

الليبيدات Lipids

تُعَدُّ الليبيدات مصدرَ طاقةٍ مهمًّا للكائنات الحيَّة، وهي تؤدّي وظائف عديدة في أجسام الكائنات الحيَّة؛ إذ تُشكِّل طبقة عازلة تحت جلد الإنسان وبعض الحيوانات؛ ما يحول دون فقدان الحرارة من أجسامهم، وتدخل في تركيب الأغشية البلازمية، والهرمونات الستيرويدية، وفي تركيب الفيتامينات الذائبة في الدهون (فيتامين A، وK، وE، وD). أمّا الصفة المشتركة التي تجمع بين الليبيدات جميعها فهي عدم امتزاجها بالماء.

تُصنَّف الليبيدات إلى مجموعات عِدَّة، منها: **الحموض الدهنية Fatty Acids**، **والدهون الثلاثية Triglycerides**، **والليبيدات المُفسفَرة Phospholipids**، **والستيرويدات Steroids**.

أُفكِّر: لماذا لا يذوب الشعر عند غسله بالماء؟

أتحقَّق: لماذا تكون البروتينات الكروية ذائبة في الماء؟

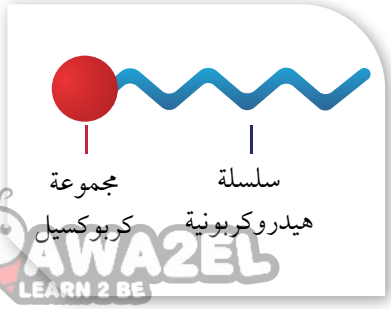
الحموض الدهنية Fatty Acids

تدخل الحموض الدهنية في تركيب معظم الليبيدات، ومنها ما يكون حُرًّا.

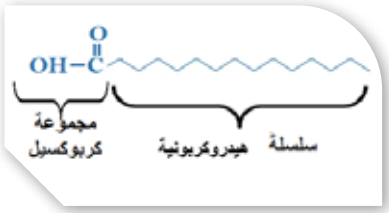
يتكوَّن الحمض الدهني من مجموعة كربوكسيل (COOH)، وسلسلة هيدروكربونية (R)، أنظر الشكل (14).

تُصنَّف الحموض الدهنية إلى نوعين، هما:

- **الحموض الدهنية المُشبَعة**: وفيها تكون الروابط جميعها أُحادية بين ذرّات الكربون في السلسلة، أنظر الشكل (15)، ومن أمثلتها: حمض البالميتك Palmitic Acid؛ وهو المُكوِّن الرئيس لزيت النخيل.
- **الحموض الدهنية غير المُشبَعة**: وفيها توجد رابطة ثنائية واحدة على الأقل بين ذرّات الكربون في السلسلة، أنظر الشكل (16)، ومن أمثلتها: حمض الأوليك Oleic Acid؛ وهو المُكوِّن الرئيس لزيت الزيتون.



الشكل (14): حمض دهني.

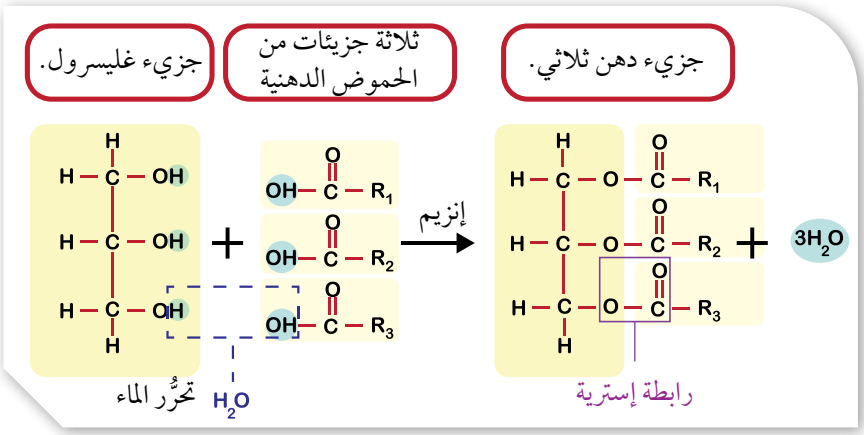


الشكل (15): حمض دهني مُشبَع.

الشكل (16): حمض دهني غير مُشبَع.

الدهون الثلاثية Triglycerides

تتكوَّن الدهون الثلاثية من اتحاد جزيء غليسرول واحد مع ثلاثة جزيئات من الحموض الدهنية بروابط تساهمية إسترية، أنظر الشكل (17).



الشكل (17): كوُّن دهن ثلاثي.

أُوضِّح السبب الذي يؤدّي إلى إنتاج ثلاثة جزيئات ماء عند تكوُّن جزيء دهن ثلاثي.

تعتمد خصائص الدهون الثلاثية على خصائص الحموض الدهنية المُكوِّنة لها؛ إذ تكون معظم الدهون الثلاثية غير المُشبَعة سائلة في درجة حرارة الغرفة في الأيام المُعتدِلة، مثل معظم الزيوت النباتية، في حين تكون الدهون الثلاثية المُشبَعة صُلْبة في درجة حرارة الغرفة في الأيام المُعتدِلة، وتُسمّى دهونًا، مثل: الزبدة، والسمن الحيواني.

الربط بعلم التصنيع الغذائي

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

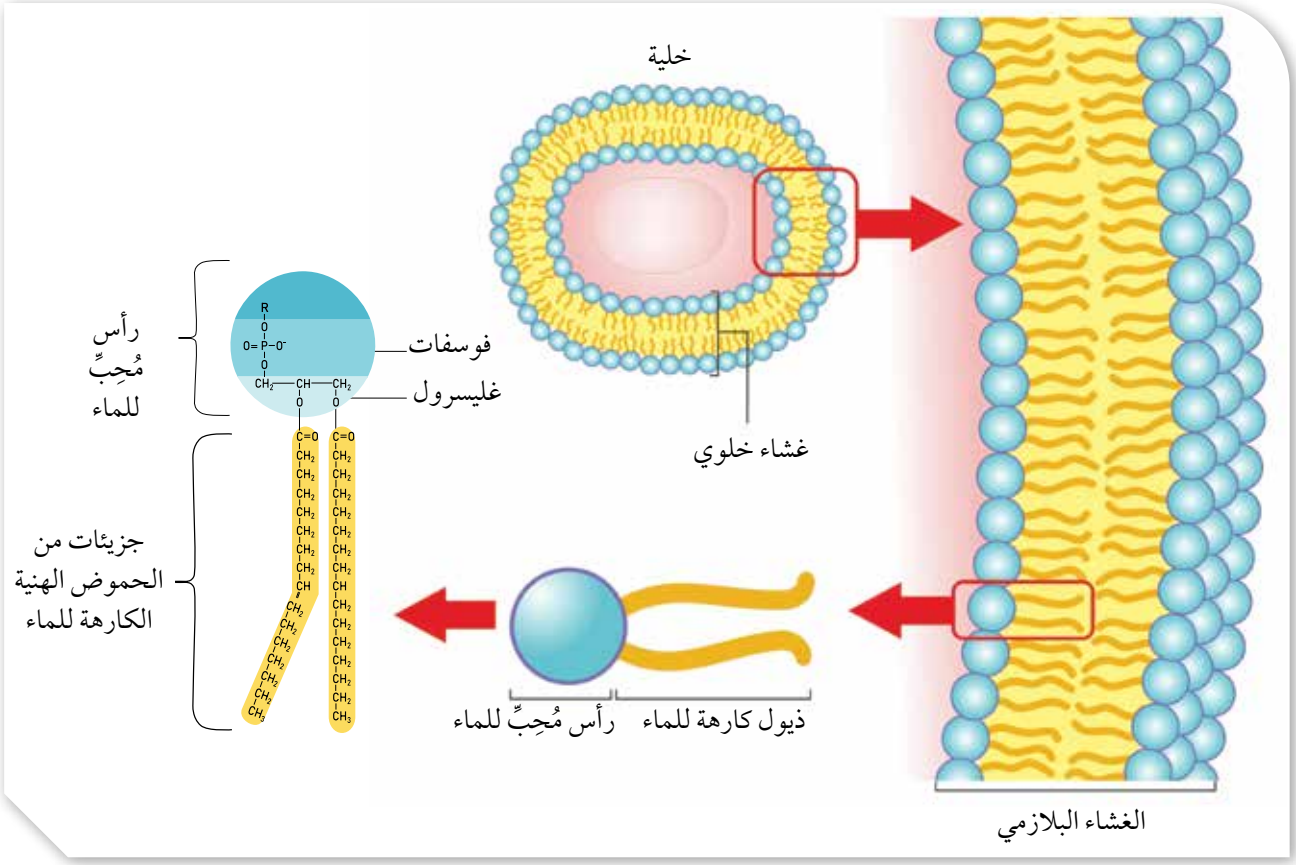
من الأمثلة على الدهون المُهدرَجة صناعيًّا: السمن النباتي، والزبدة الصناعية (المارجرين)، وبعض أنواع زبدة الفول السوداني. وقد حذَّرت مُنظَّمات غذائية عِدَّة من استخدام الزيوت المُهدرَجة في الغذاء؛ نظرًا إلى ما تُسبِّبه من أمراضٍ للقلب، وتصلُّبٍ للشرايين.

الشرايين، وأوصت بضرورة قراءة بطاقة المعلومات على المواد الغذائية بعناية.

الليبيدات المُفسفَرة Phospholipids

تتكوَّن الليبيدات المُفسفَرة من جزيء غليسرول مُرتبِط بمجموعة فوسفات، فيتشكَّل رأس قطبي مُحِبٌّ للماء. وفي الوقت نفسه، يرتبط جزيء الغليسرول بجزيئين من الحموض الدهنية، فيتشكَّل ذيلان كارهان للماء.

يحتوي الغشاء البلازمي على طبقة مُزدوَجة من الليبيدات المُفسفَرة التي تترتَّب في صفَّين مُتقابِلين. وفيها تُقابِل الرؤوس القطبية الماء، في حين تبتعد عنه الذيول الكارهة له، أنظر الشكل (18).



الشكل (18): توزيع الليبيدات المُفسفَرة في الغشاء الخلوي.

أفكِّر: لماذا تتَّجِه ذيول الحموض الدهنية إلى الداخل في الغشاء الخلوي؟

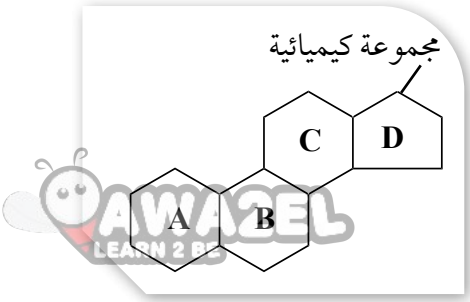
لا تمرُّ المواد الذائبة في الماء بسهولة عبر الغشاء البلازمي؛ نظرًا إلى وجود الجزء غير القطبي (الذيول الكارهة للماء) الذي يقع وسط الغشاء، ويُعوِّق مرور هذه المواد؛ ما يُنظِّم الحركة بين المواد داخل الخلية وخارجها.

أتحقَّق: مِمَّ تتكوَّن الذيول في طبقة الليبيدات المُفسفَرة؟

الستيرويدات Steroids

يتكـوَّن السـتيرويد مـن أربـع حلقـات كربونيـة مُلتحِمـة؛ ثـلاث منهـا سداسـية، وواحـدة خماسـية، إضافـة إلى مجموعـة كيميائيـة ترتبـط بالحلقـة الرابعـة، وتختلـف مـن سـتيرويد إلى آخـر، أنظـر الشـكل (19).

يُعَـدُّ الكولسـترول مثـالًا عـلى السـتيرويدات، ويسـتطيع جسـم الإنسـان تصنيعـه في الكبـد، ويُمكِـن الحصـول عليـه مـن مصـادر غذائيـة حيوانيـة. وهو يدخـل في تركيـب الأغشـية البلازميـة الحيوانيـة، والهرمونـات السـتيرويدية، مثـل الألدوسـتيرون الـذي يـؤدّي دورًا في تنظيـم عمـل الوحـدة الأنبوبيـة الكلويـة. وبالرغـم مـن أهميـة الكولسـترول، فـإنَّ مسـتوياته العاليـة في الـدم قـد يكـون لهـا صلـة بأمـراض القلـب والأوعيـة الدمويـة.



الشكل (19): ستيرويد.

أتحقَّـق: أُوضِّـح الفـرق بـين الدهـون الثلاثـية والسـتيرويدات مـن حيث التركيب.

الربطُ بعلمِ البحار

دور الليبيدات في تكيُّف أسماك القرش على العيش في أعماق البحار

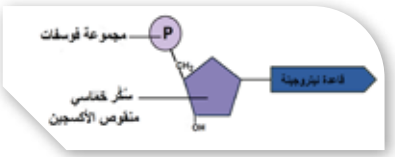
يوجـد نوعـان مـن العوامـل التـي تَحْكـم قـدرة أسـماك القـرش عـلى الطفـو، همـا: نسـبة الليبيـدات في أكبادهـا، وقـوَّة عضلاتهـا. وقـد أشـارت دراسـات عديـدة إلى أنَّ أكبـاد أسـماك القـرش التـي تعيـش في أعـماق البحـار هـي أكـبر حجـمًا مـن أكبـاد مثيلاتهـا التـي تعيـش في الميـاه الضحلـة، وأنَّ نسـبة الليبيـدات في أكبادهـا أكثـر أيضًـا.

وفي السـياق نفسـه، وجـد العلـماء أنَّ نسـبة الألياف العضليـة في أجسـام أسـماك القـرش التـي تعيـش في أعـماق البحار هـي أقـل مـن نسـبتها في أجسـام مثيلاتهـا التـي تعيـش في الميـاه الضحلـة. وقـد انتهـت نتائـج الدراسـات في هـذا الشـأن إلى أنَّ نسـبة الليبيـدات المرتفعـة تُقلِّـل مـن كثافـة أجسـام أسـماك القـرش؛ مـا يُمكِّنهـا مـن الطفـو، والحفـاظ عـلى ارتفـاع مُناسِـب لهـا في المـاء، مـن دون بـذل مجهـود عضـلي كبـير، وهـو مـا يُعَـدُّ وسـيلة لتقليـل اسـتهلاك الطاقـة في بيئاتهـا الفقـيرة بالغـذاء.

الحموض النووية Nucleic Acids

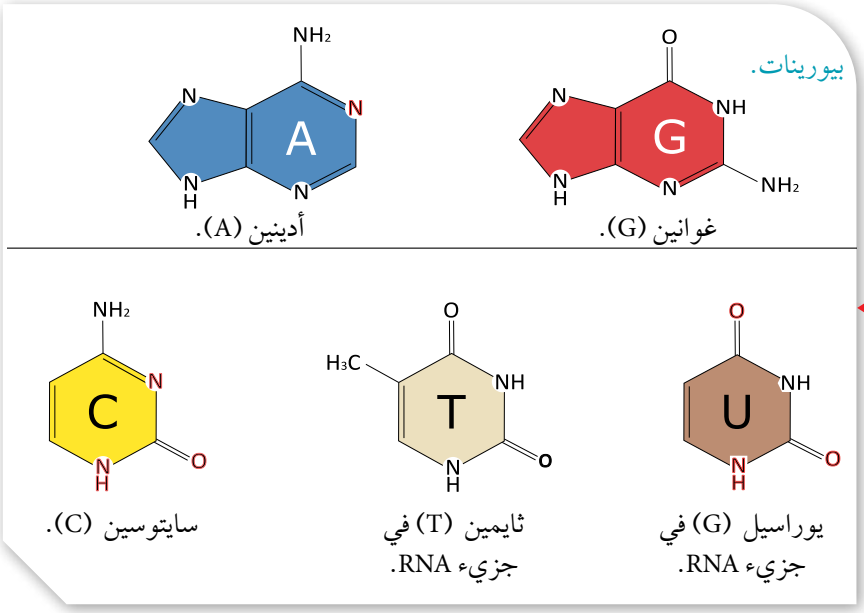
درسْتُ سابقًا أنَّ الحموض النووية نوعان: حمض نووي رايبوزي منقوص الأكسجين DNA، وحمض نووي رايبوزي RNA.

تتألَّف الحموض النووية من وحدات بنائية تُسمّى النيوكليوتيدات Nucleotides، ويتكوَّن كل نيوكليوتيد من إحدى القواعد النيتروجينية، وسُكَّر خماسي، ومجموعة فوسفات، أنظر الشكل (20).



الشكل (20): تركيب نيوكليوتيد في جزيء DNA.

تُصنَّف القواعد النيتروجينية التي تدخل في تركيب النيوكليوتيدات إلى بيورينات Purines يتكوَّن كلٌّ منها من حلقتين، وإلى بيريميدينات Pyrimidines يتكوَّن كلٌّ منها من حلقة واحدة، أنظر الشكل (21).



الشكل (21): البيورينات والبيريميدينات.

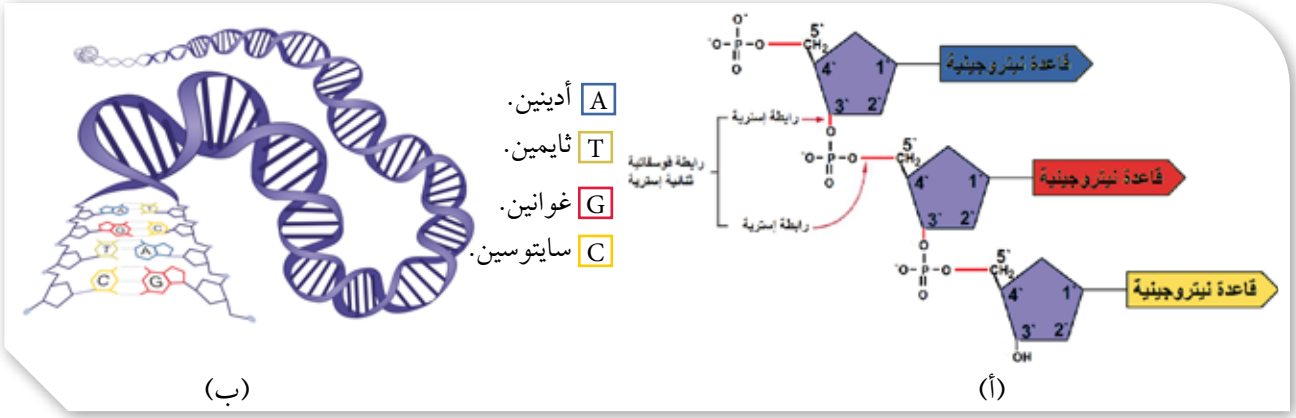
أيُّ القواعد النيتروجينية تُعَدُّ من البيورينات؟ أيُّها تُعَدُّ من البيريميدينات؟

يعمل الحمض النووي DNA على نقل الصفات الوراثية من الآباء إلى الأبناء. ويُبيِّن الشكل (22) جزيء DNA الذي يتكوَّن من سلسلتين من النيوكليوتيدات، تلتفّان على هيئة سُلَّم حلزوني مُزدوَج. وترتبط النيوكليوتيدات بعضها ببعض في السلسلة الواحدة عن طريق روابط فوسفاتية ثنائية إستيرية Phosphdiester Bond، أنظر الشكل (22/ أ).

ترتبط البيورينات في إحدى سلسلتي الحمض النووي DNA بالبيريميدينات المُتمِّمة لها في السلسلة المُقابِلة عن طريق روابط هيدروجينية. أمّا نسبة البيورينات إلى نسبة البيريميدينات في DNA فثابتة وَفقًا لقاعدةٍ تُعرَف بقاعدة تشارغاف Chargaff؛ ذلك أنَّ البيورين يرتبط

دائـمًا بالبيريميديـن المُتمِّـم لـه في السلسـلة المُقابِلـة، فمثـلًا، إذا احتـوت قطعـة مـن DNA عـلى 25% مـن الأدينـين، فـإنَّ نسـبة الثايمـين في السلسـلة المُقابِلـة تكـون مُسـاوِية لهـا.

في عـام 1953م، توصَّـل العالِـمان واتسـون Watson وكريـك Crick إلى بنـاء نمـوذج لجـزيء DNA، ونـالا جائـزة نوبـل في العلـوم تكريـمًا لهـما عـلى هـذا الإنجـاز، أنظـر الشـكل (22/ ب).



الشكل (22): جزيء DNA.

يتكـوَّن الحمـض النـووي RNA غالبًـا مـن سلسـلة واحـدة مـن النيوكليوتيـدات، ولكـنَّ بعـض الفيروسـات تحتوي عـلى RNA من سلسـلتين. يوجـد في RNA القاعـدة النيتروجينيـة يوراسـيل بـدلًا مـن الثايمـين، ويـؤدّي جـزيء RNA دورًا مهـمًّا في عمليـة تصنيـع بروتينـات الخليـة.

أتحقَّق: أُقارِن بين DNA و RNA من حيث:

أ- وظيفة كلٍّ منهما.

ب- القواعد النيتروجينية الداخلة في تركيب كلٍّ منهما.

مثال

حلَّل باحث قطعتي DNA، فوجد أنَّ نسبة الأدينين في القطعة الأولى هي 31%، وأنَّ نسبة السايتوسين في القطعة الثانية هي 27%. أيُّ القطعتين تحوي نسبة أعلى من الثايمين؟

المعطيات:

القطعة الأولى من DNA تحوي ما نسبته (31%) من الأدينين، والقطعة الثانية من DNA تحوي ما نسبته (27%) من السايتوسين.

المطلوب:

تحديد قطعة DNA التي فيها نسبة أعلى من الثايمين.

الحل:

نسبة الثايمين في DNA تساوي نسبة الأدينين. ومن ثَمَّ، فإن نسبة الثايمين في القطعة الأولى هي (31%)

لإيجاد نسبة الثايمين في القطعة الثانية، أحسُبُ نسبة السايتوسين والغوانين فيها:

27% X 2 = 54%.

ثم أطرح هذه النسبة من 100%:

100% - 54% = 46%.

إذن، نسبة الثايمين والأدينين معا هي 46%.

لإيجاد نسبة الثايمين، أَقسِم الناتج على 2:

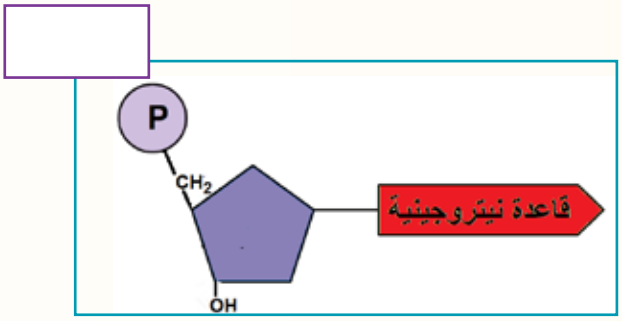
46% / 2= 23%.

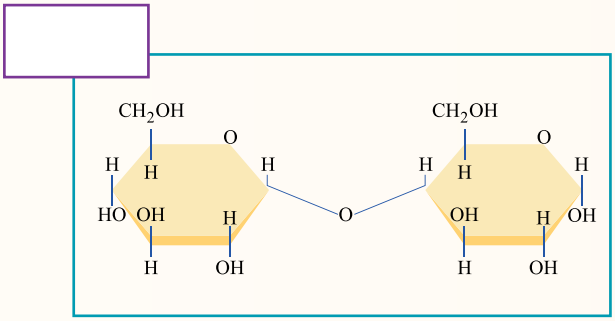
إذن، نسبة الثايمين هي (23%).

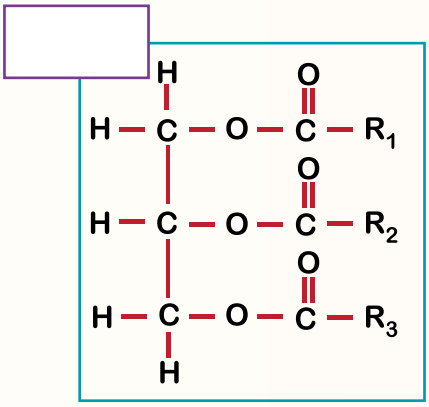
وبذلك، فإنَّ نسبة الثايمين في القطعة الأولى أعلى منها في القطعة الثانية.

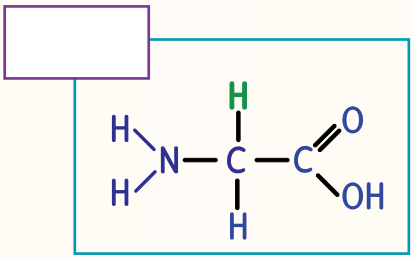
1. أكتب في الصندوق المجاور لكل صيغة بنائية ممّا يلي اسم المُركَّب العضوي الذي تُمثِّله، مُستخدِمًا المفاهيم الآتية:

السُّكَّر الثنائي، الحمض الأميني، الدهن الثلاثي، النيوكليوتيد.



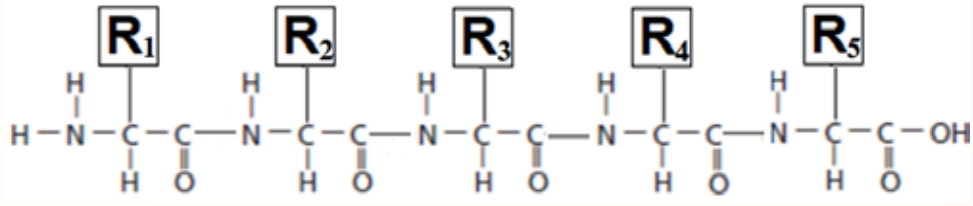




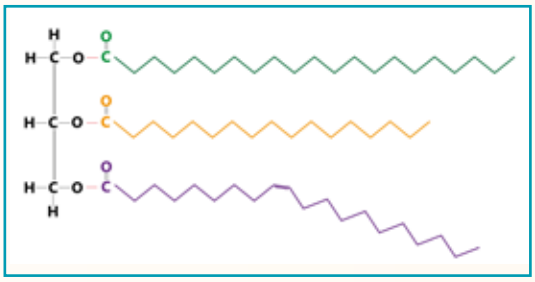


2. **أذكر** اثنين من أوجه الاختلاف بين الأميلوبكتين والغلايكوجين.

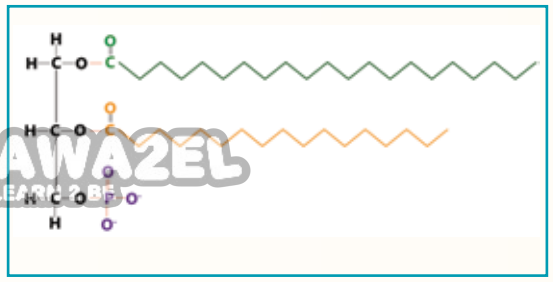
3. أُحدِّد عدد الحموض الأمينية والروابط الببتيدية التي توجد في سلسلة عديد الببتيد المُبيَّنة في الشكل الآتي.



4. **أُصنِّف** المُركَّبين العضويين الآتيين إلى ليبيد مُفسفَر، ودهن ثلاثي، مُفسِّرًا إجابتي.



(أ)



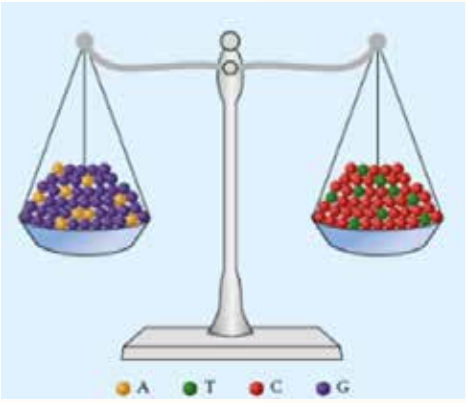
(ب)

5.

أ- فيمَ يختلف التركيب الرباعي للبروتين عن التراكيب في المستويات الأُخرى؟

ب- أيُّ مُكوِّنات الستيرويد تُسبِّب اختلاف ستيرويد عن آخر؟

6. **أُفسِّر** أهمية وجود الليبيدات في كبد سمكة القرش التي تُمكِّنها من العيش في أعماق البحار.



7. هل يُمكِن لشخص فصيلة دمه A- أنْ يتبرَّع بالدم لمريض فصيلة دمه B-؟ أُبرِّر إجابتي.

8. تُمثِّل الكرات في الشكل المجاور البيورينات والبيريميدينات كما هو مُوضَّح في مفتاح الشكل. ماالقاعدة العلمية التي يُعبِّر عنها الشكل؟ أُوضِّح هذه القاعدة.

9. أُحدِّد اسم الرابطة التساهمية التي تربط بين كلٍّ ممّا يأتي:

أ- السُّكَّريات الأُحادية.

ب- الحموض الأمينية.

ج- الحموض الدهنية والغليسرول.

الدرس 2 الإنزيمات وجزيء حفظ الطاقة ATP

Enzymes and Energy Storing Molecule ATP

الفكرة الرئيسة:

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

نتاجات التعلُّم:

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

المفاهيم والمصطلحات:

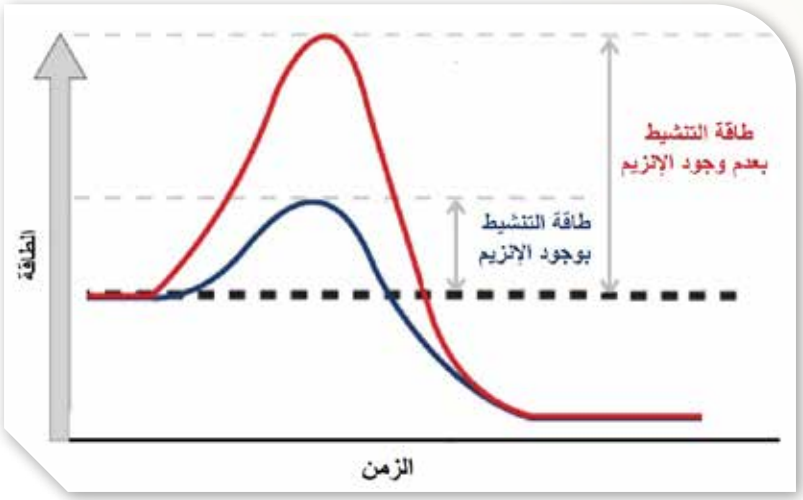
طاقة التنشيط	Activation energy
الموقع النشط	Active Site
مُعقَّد الإنزيم- المادة المُتفاعِلة	Enzyme- substrate complex
مُرافِق الإنزيم	Coenzyme

الإنزيمات Enzymes

لاحظ إدوارد بوخنر Buchner عند إضافته مُستخلَصًا من خلايا الخميرة إلى سُكَّر السُّكَّروز هضم هذا السُّكَّر، وإنتاج كحول ثاني أكسيد الكربون وغاز ثاني أكسيد الكربون. وقد أُطلِق على المواد المُستخلَصة من الخلايا اسم الإنزيمات Enzymes، وهي تعني "داخل الخميرة". وقد نال إدوارد بوخنر جائزة نوبل عام 1907م لقاء هذا الاكتشاف.

وفي سياق مُتَّصِل، وجد العلماء أنَّ معظم التفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل أجسام الكائنات الحيَّة تحتاج إلى طاقة تنشيط Activation energy عالية؛ وهي الطاقة اللازمة لبَدْء التفاعل الكيميائي، وقد تَبيَّن لهم أنَّ الإنزيمات Enzymes تُسرِّع بعض التفاعلات الكيميائية عن طريق تقليل طاقة التنشيط، أنظر الشكل (23).

أتحقَّق: ما المقصود بطاقة التنشيط؟



الشكل (23): تقليل طاقة التنشيط بوجود لإنزيم.

آليَّة عمل الإنزيم Mechanism of Enzyme Action

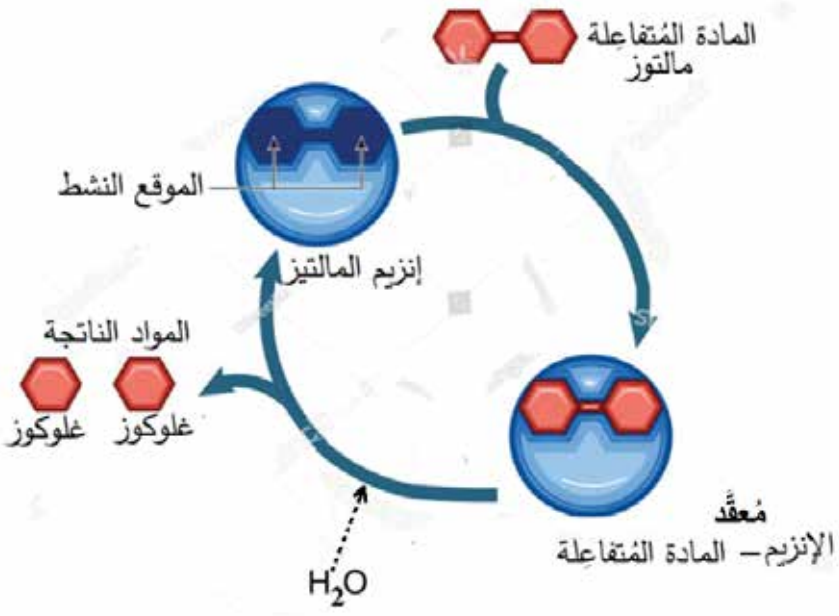
درسْتُ سابقًا أنَّ معظم الإنزيمات هي بروتينات كروية الشكل، **وأنَّ** الإنزيمات عامَّة تُحفِّز التفاعلات الكيميائية من دون أنْ تُستهلَك فيها.

يوجد للإنزيم **موقع نشط Active Site** في صورة تجويف يتكوَّن من حموض أمينية مُعيَّنة، ويعمل قالبًا ترتبط به المادة التي يُؤثِّر فيها الإنزيم Substrate ، وتُمثِّل إحدى المواد المُتفاعِلة، أنظر الشكل (24)، علمًا بأنَّه قد يوجد للإنزيم أكثر من موقع نشط.

الشكل (24): الموقع النشط في الإنزيم.

ترتبط المادة المُتفاعِلة بالموقع النشط في الإنزيم؛ فيتشكَّل مُركَّب يُسمّى **مُعقَّد الإنزيم- المادة المُتفاعِلة Enzyme- Substrate Complex**.

من الأمثلة على عمل الإنزيمات: إنزيم تصنيع الغلايكوجين Glycogen Synthase الذي يعمل على ربط الوحدات البنائية (الغلوكوز) لتكوين الغلايكوجين، وإنزيم المالتيز Maltase الذي يؤدّي إلى تفكُّك المالتوز إلى جزيئي غلوكوز بوصف ذلك نواتج للتفاعل، أنظر الشكل (25).



◀ الشكل (25): آليَّة عمل إنزيم المالتيز.

أتحقَّق: ما أهمية الموقع النشط؟

تُمثَّل آليَّة عمل الإنزيم بالمعادلة الآتية:

المادة المُتفاعِلة + إنزيم ⟷ (مُعقَّد الإنزيم – المادة المُتفاعِلة) ⟵ إنزيم + المادة الناتجة

مالتوز + إنزيم المالتيز ⟷ (مُعقَّد المالتيز – المالتوز) ⟵ إنزيم المالتيز + (2) غلوكوز

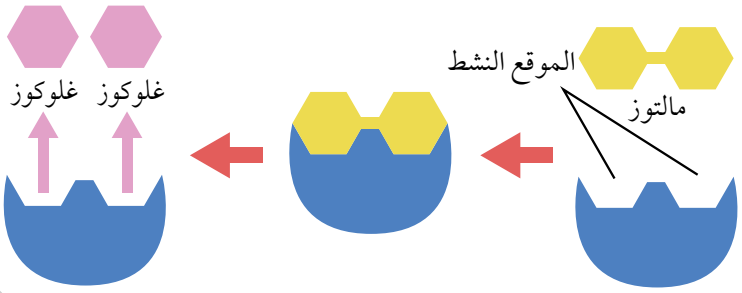
الفرضيات التي تُفسِّر ارتباط الإنزيم بالمادة التي يُؤثِّر فيها

Enzyme- Substrate Binding Hypothesis

وضع العلماء فرضيتين لتفسير عملية ارتباط المادة المُتفاعِلة بالموقع النشط للإنزيم، هما: فرضية القُفْل والمفتاح Lock-and-Key Hypothesis، وفرضية التلاؤم المُستحَث Induced-Fit Hypothesis.

فرضية القُفْل والمفتاح Lock and Key Hypothesis

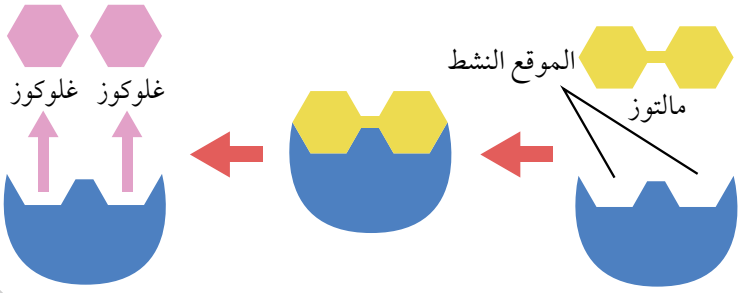
تقوم هذه الفرضية على أنَّ شكل المادة المُتفاعِلة والموقع النشط للإنزيم مُتتامّان؛ إذ ترتبط المادة المُتفاعِلة بالموقع النشط ارتباطًا كاملًا كما تتداخل مُسنَّنات المفتاح بالتجاويف المُتمِّمة لها في القُفْل، أنظر الشكل (26).



الشكل (26): ارتباط المادة المُتفاعِلة بالموقع النشط للإنزيم بحسب فرضية القُفْل والمفتاح.

فرضية التلاؤم المُستحَث Induced Fit Hypothesis

تنصُّ هذه الفرضية على أنَّ شكل الموقع النشط للإنزيم يتغيَّر تغيُّرًا بسيطًا ومُؤقَّتًا عند ارتباط المادة المُتفاعِلة به؛ لكي يُصبِح مُتمِّمًا لشكلها، أنظر الشكل (27).



الشكل (27): ارتباط المادة المُتفاعِلة بالموقع النشط للإنزيم بحسب فرضية التلاؤم المُستحَث.

أتحقَّق: أيُّ الفرضيتين السابقتين تُفسِّر ارتباط بعض الإنزيمات في أكثر من مادة؟

العوامل المُؤثِّرة في نشاط الإنزيم

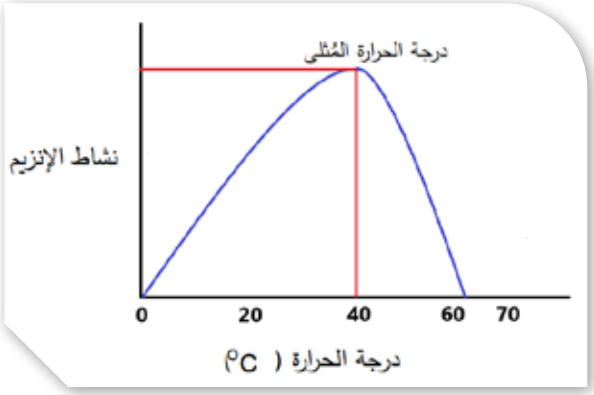
Factors Affecting Enzyme Activity

تُؤثِّر بعض العوامل في مُعدَّل نشاط الإنزيمات، مثل: درجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني pH.

درجة الحرارة Temperature

يتأثَّر نشاط الإنزيم بدرجة حرارة الوسط الذي يحدث فيه التفاعل؛ فلكل إنزيم درجة حرارة مُثلى يكون عندها مُعدَّل سرعة التفاعل الذي يُحفِّزه الإنزيم أعلى ما يُمكِن. وعند ارتفاع درجة حرارة الوسط أكثر من درجة الحرارة المُثلى، فإنَّ شكل البروتين المُكوِّن للإنزيم يتغيَّر؛ ما يؤدّي إلى تغيُّر شكل الموقع النشط، فيقل نشاط الإنزيم تدريجيًّا حتى يفقد قدرته على العمل.

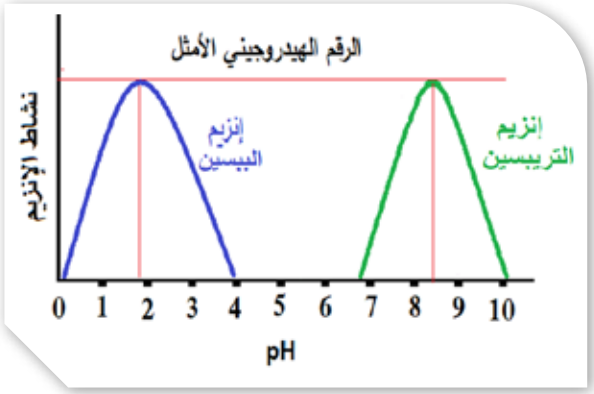
تُؤثِّر معظم الإنزيمات في جسم الإنسان بصورة مُثلى عند درجات الحرارة التي تتراوح بين (35 °C) و(40°C)؛ أيْ درجات الحرارة القريبة من درجة حرارة جسم الإنسان (37°C)، أنظر الشكل (28).



الشكل (28): أثر الحرارة في نشاط الإنزيم.
أتتبَّع تأثُّر نشاط الإنزيم بتغيُّر درجة الحرارة.

الرقم الهيدروجيني pH

يتأثَّر نشاط الإنزيم بالرقم الهيدروجيني pH للوسط الذي يحدث فيه التفاعل؛ فلكل إنزيم رقم هيدروجيني أمثل يكون عنده مُعدَّل سرعة التفاعل الذي يُحفِّزه الإنزيم أعلى ما يُمكِن. أمّا الرقم الهيدروجيني الأمثل لعمل معظم الإنزيمات في جسم الإنسان فهو (pH=8-6)، ولكنْ توجد بعض الاستثناءات. فمثلًا، يعمل إنزيم البيسين (إنزيم هضم في المعدة) بأقصى فاعلية عند الرقم الهيدروجيني (pH=2-1.5 تقريبًا، في حين يعمل إنزيم التريبسين في الأمعاء عند الرقم الهيدروجيني (pH=8) تقريبًا، أنظر الشكل (29).

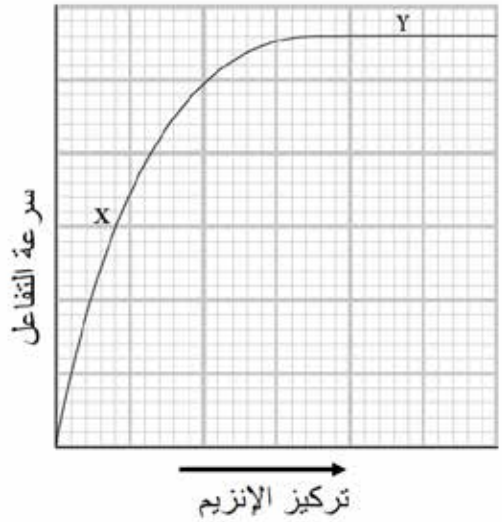


الشكل (29): أثر الرقم الهيدروجيني في نشاط إنزيم البيبسين وإنزيم التريبسين.

تركيز الإنزيم وتركيز المادة المُتفاعِلة

Substrate Concentration and Enzyme Concentration

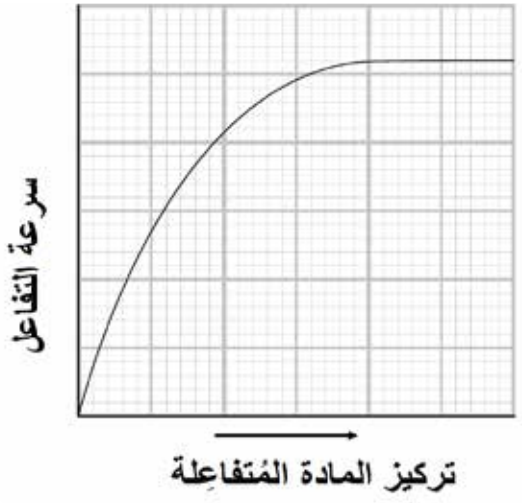
كلَّما زاد تركيز الإنزيم زادت سرعة التفاعلات الكيميائية؛ فكلَّما زاد تركيز الإنزيم توافرت أعداد أكبر من المواقع النشطة للتفاعل مع المادة المُتفاعِلة. أمّا عند استهلاك المادة المُتفاعِلة، فإنَّ مُعدَّل سرعة التفاعل يَثْبُت بصرف النظر عن مقدار الزيادة في تركيز المادة المُتفاعِلة ، أنظر الشكل (30).



الشكل (30): العلاقة بين تركيز الإنزيم ومُعدَّل سرعة التفاعل.
أُحدِّد: أيُّ المرحلتين يَثْبُت عندها مُعدَّل سرعة التفاعل مهما زاد تركيز الإنزيم: X أم Y؟

أتحقَّق: أذكر سببين لثبات سرعة تفاعل كيميائي يُحفِّزه إنزيم ما.

كلَّما زاد تركيز المادة المُتفاعِلة زادت سرعة التفاعل الكيميائي، وصولًا إلى أن تُشغّل جميع المواقع النشطة المتوافرة في جزيئات الإنزيم بجزيئات المادة المُتفاعِلة. بعد ذلك لا تحدث أيُّ زيادة في سرعة التفاعل بصرف النظر عن مقدار الزيادة في تركيز المادة المُتفاعِلة، أنظر الشكل (31).



الشكل (31): العلاقة بين تركيز المادة المُتفاعِلة ومُعدَّل سرعة التفاعل.

نشاط

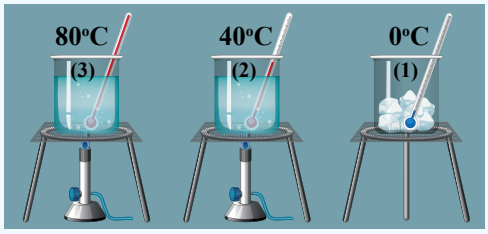
أثر الحرارة في نشاط إنزيم التريبسين

يُحفِّز إنزيم التريبسين تحلُّل Hydrolysis بروتين الحليب كازيين Casein الذي يُعطي الحليب لونه الأبيض، فيتحوَّل إلى عديد ببتيد عديم اللون؛ ما يؤدّي إلى اختفاء اللون الأبيض للحليب.

المواد والأدوات: mL (15) من إنزيم التريبسين؛ mL (15) من الحليب السائل؛ (3) أنابيب اختبار؛ ميزان حرارة؛ حامل أنابيب اختبار؛ ماء من الصنبور؛ قلم تخطيط ثابت؛ (3) كؤوس، سعة كلٍّ منها mL (250)؛ جليد؛ ملقطان؛ مخباران مُدرَّجان؛ مصدرا حرارة.

إرشادات السلامة: استعمال المياه الساخنة ومصدر الحرارة بحذر.

خطوات العمل:



1. أُرقِّم أنابيب الاختبار بالأرقام (1-3)، ثم أضع علامة X عليها، ثم أضع كل أنبوب على حامل أنابيب الاختبار.
2. **أقيس:** أضع في كل أنبوب اختبار mL (5) من الحليب.
3. أضع في الكأس الأولى ماء الصنبور، ثم أضع في الكأس الثانية ماءً درجة حرارته 40°C، ثم أضع في الكأس الثالثة ماءً درجة حرارته 80°C، وأحرص أنْ تظلَّ درجة الحرارة في جميع الكؤوس ثابتة، مُستخدِمًا الجليد إذا لزم ذلك.

4. أضع أنبوب الاختبار الذي يحمل الرقم (1) في الكأس الأولى، ثم أضع أنبوب الاختبار الذي يحمل الرقم (2) في الكأس الثانية، ثم أضع أنبوب الاختبار الذي يحمل الرقم (3) في الكأس الثالثة، مُراعِيًا ألّا تكون العلامة x ظاهرة لي؛ أيْ أنْ تكون على الجهة الأُخرى غير المُواجِهة لنظري.
5. **أُجرِّب:** أُضيف إلى كل أنبوب mL (5) من إنزيم التريبسين.
6. **أُلاحِظ** بقاء لون الحليب أو اختفاءَه، ثم أحسُبُ الوقت المُستغرَق لظهور علامة X على أنابيب الاختبار في حال اختفاء لون الحليب، مُدوِّنًا ملاحظاتي.

التحليل والاستنتاج:

1. **أُصنِّف** الأنابيب إلى أنابيب ظهرت عليها علامة X، وأنابيب لم تظهر عليها هذه العلامة.
2. **أستنتج** درجة الحرارة المُثلى لعمل إنزيم التريبسين.
3. **أُفسِّر** سبب عدم ظهور علامة X على أحد أنابيب الاختبار.
4. **أتواصل:** أُناقِش زملائي/ زميلاتي في النتائج التي توصَّلْتُ إليها.

استخدام الإنزيمات المُستخلَصة من الفواكه الاستوائية في صناعة الخلايا الشمسية

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

العوامل المساعدة ومرافقات الإنزيمات Cofactors and Coenzymes

يتطلَّب عمل الإنزيمات في بعض التفاعلات توافر عوامل عديدة، تُسمّى العوامل المساعدة Cofactors. وفي حال كانت العوامل المساعدة للإنزيمات مواد عضوية، فإنَّها تُسمّى **مُرافِقات الإنزيمات Coenzymes**.

من الأمثلة على مُرافِقات الإنزيم: جزيئات NAD+ Nicotinamide Adenine Dinucleotide، وجزيئات FAD: Flavin Adenine Dinucleotide التي تعمل بوصفها نواقل للإلكترونات في عديد من تفاعلات الأكسدة والاختزال في الخلية؛ إذ إنَّها تستقبل الإلكترونات ذات الطاقة الكبيرة مع البروتونات، فتُختزَل إلى NADH و$FADH_2$ ، ثم تتأكسد – بفقدانها الإلكترونات– إلى جزيئات أُخرى، مثل البروتينات الناقلة في سلسلة نقل الإلكترون المُرتبِطة بالغشاء الداخلي للميتوكندريا في أثناء عملية التنفُّس الخلوي، أنظر المعادلتين الآتيتين.

$$NAD^+ + H^+ + 2e^- \underset{\text{تأكسد}}{\overset{\text{اختزال}}{\rightleftharpoons}} NADH$$

$$FAD + 2H^+ + 2e^- \underset{\text{تأكسد}}{\overset{\text{اختزال}}{\rightleftharpoons}} FADH_2$$

من الأمثلة الأُخرى على مُرافِقات الإنزيم: جزيء $NADP^+$؛ وهو ناقل إلكترونات يُستخدَم في تفاعلات البناء، مثل عملية البناء الضوئي.

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

جزيء حفظ الطاقة ATP Energy Storing Molecule

تحتوي الخلايا على جزيء عضوي يُسمّى أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP Adenosine Triphosphate ، وهو يُخزِّن الطاقة اللازمة لمعظم العمليات التي تحدث داخل خلايا الكائنات الحيَّة.

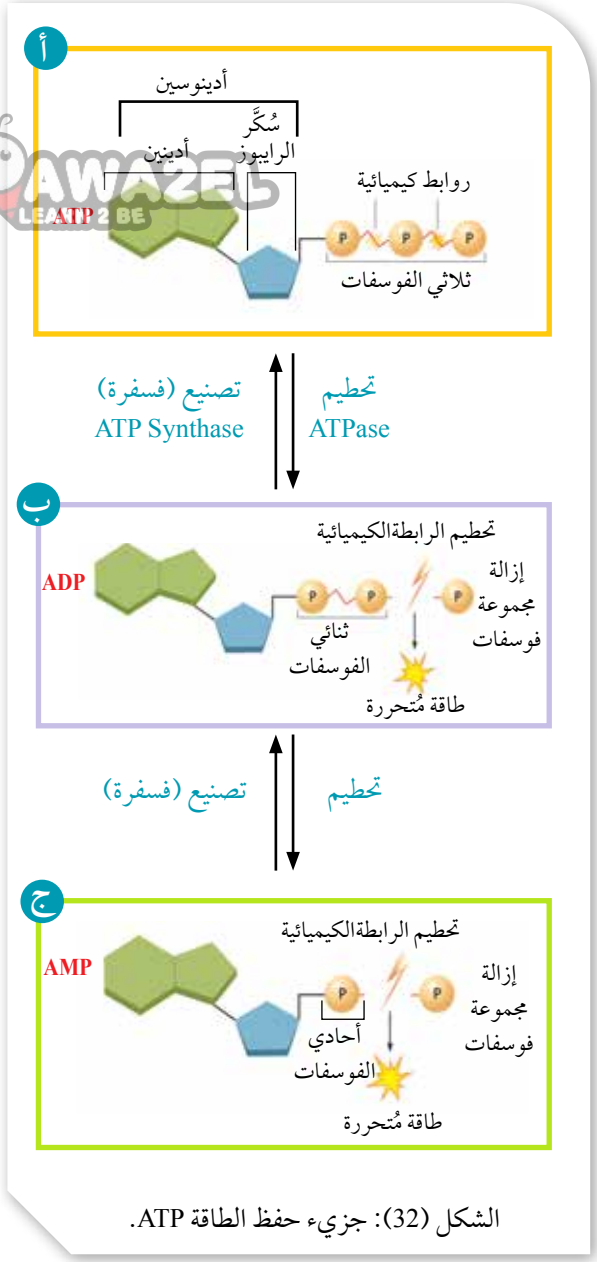
يتكوَّن جزيء حفظ الطاقة ATP من القاعدة النيتروجينية أدينين Adenine، وسُكَّر الرايبوز، وثلاث مجموعات من الفوسفات التي تُخزِّن الروابط بينها طاقة كيميائية، أنظر الشكل (32).

عند تحطيم رابطة بين مجموعتي الفوسفات الثانية والثالثة بفعل إنزيم ATP_{ase}، تتحرَّر الطاقة المُختزَنة فيها، ويتكوَّن جزيء أدينوسين ثنائي الفوسفات. ADP أمّا عند تحطيم الرابطة بين مجموعتي الفوسفات الثانية والأولى، فينتج مُركَّب أدينوسين أُحادي الفوسفات AMP.

يتكوَّن جزيء حفظ الطاقة ATP من القاعدة النيتروجينية أدينين Adenine، وسُكَّر الرايبوز، وثلاث مجموعات من الفوسفات التي تُخزِّن الروابط بينها طاقة كيميائية. يُصنَّع جزيء حفظ الطاقة ATP بفعل إنزيم ATP Synthase، عن طريق إضافة مجموعة فوسفات إلى جزيء أدينوسين ثنائي الفوسفات ADP في عملية تُسمّى الفسفرة. وفيها تُخزَّن الطاقة الكيميائية في الرابطة، ويُحفِّزها (أيْ عملية الفسفرة) إنزيم تصنيع (ATP synthase) في عمليتي التنفُّس الخلوي والبناء الضوئي،

أنظر الشكل (32/ أ)، وعند تحطيم رابطة بين مجموعتي الفوسفات الثالثة و الثانية بفعل إنزيم ATP_{ase} ، تتحرَّر الطاقة المُختزَنة فيها، ويتكوَّن جزيء أدينوسين ثنائي الفوسفات ADP ، أنظر الشكل (32/ ب).

أمّا عند تحطيم الرابطة بين مجموعتي الفوسفات الثانية والأولى، فينتج مُركَّب أدينوسين أُحادي الفوسفات AMP، أنظر الشكل (32/ ج).



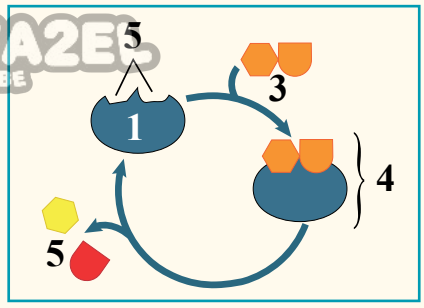
الشكل (32): جزيء حفظ الطاقة ATP.

أُفكِّر: مِمّ يتكوّن جزيء الأدينوسين؟

أتحقَّق: كم مجموعة فوسفات تَلزم لتحويل جزيء AMP إلى جزيء ATP؟

مراجعة الدرس

1. أدرس الشكل المجاور الذي يُوضِّح إحدى الفرضيات التي تُفسِّر عملية ارتباط المواد المُتفاعِلة بإنزيم مُعيَّن، ثم أُجيب عن الأسئلة الآتية:



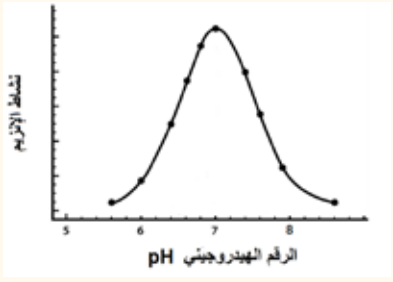
أ- أكتب اسم هذه الفرضية.

ب- أكتب اسم المفهوم الذي تشير إليه كلٌّ من الأرقام الآتية: 1، 2، 3، 4، 5.

ج- **أُوضِّح**: ماذا يحدث للموقع النشط إذا ارتفعت درجة الحرارة أكثر من درجة الحرارة المُثلى التي يعمل فيها؟

د. **أُفسِّر**: لماذا يتوقَّف عمل الإنزيم عند ارتفاع درجة حرارة التفاعل أكثر بكثير من درجة الحرارة المُثلى؟

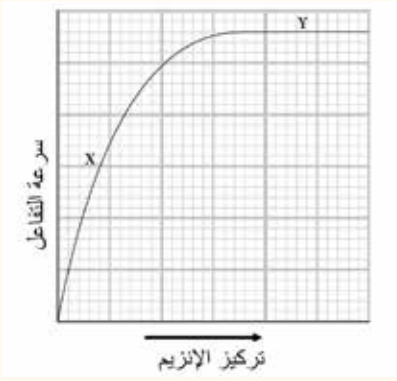
2. أدرس الرسم البياني المجاور الذي يُوضِّح أثر الرقم الهيدروجيني للوسط في نشاط إنزيم مُعيَّن، ثم أُجيب عن السؤالين الآتيين:



أ- أُحدِّد الرقم الهيدروجيني الأمثل لعمل هذا الإنزيم.

ب- أستنتج: كيف أعرف أنَّ هذا الإنزيم ليس إنزيم الببسين، مُبرِّرًا إجابتي؟

3. أدرس الرسم البياني المجاور الذي يُوضِّح تأثير تركيز الإنزيم في سرعة تفاعل مُحفَّز بالإنزيم، ثم أُحدِّد في ما يأتي العبارة التي تُطابِق الجزء X أو الجزء Y على الرسم البياني:



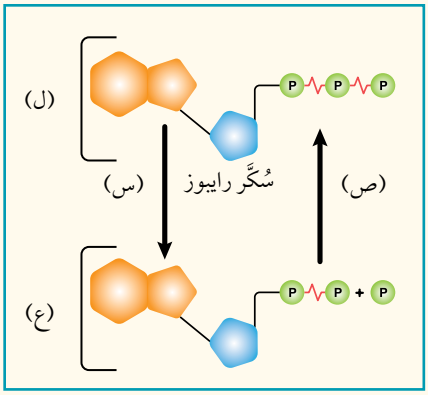
أ- في هذه المرحلة، كلَّما زاد تركيز الإنزيم زادت سرعة التفاعل.

ب- في هذه المرحلة، تُستهلَك المواد المُتفاعِلة جميعها.

جـ- في هذه المرحلة، تَثْبُت سرعة التفاعل بصرف النظر عن مقدار الزيادة في تركيز الإنزيم.

د- في هذه المرحلة، قد تؤدّي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة مُعدَّل سرعة التفاعل.

4. أدرس الشكل المجاور الذي يُمثِّل جزيء حفظ الطاقة في خلايا الكائن الحيِّ، ثم أُجيب عن السؤالين الآتيين:



أ- ما اسم كلٍّ من الجزيء المشار إليه بالرمز (ل)، والجزيء المشار إليه بالرمز (ع)؟

ب- ما العمليتان المشار إليهما بكلٍّ من الرمز (س)، والرمز (ص)؟

التفاعلات الكيميائية في الخلية
Chemical Reactions in Cell

الدرس 3

الفكرة الرئيسة:

تحدث داخل جسم الكائن الحيِّ تفاعلات كيميائية عِدَّة، منها ما يُخزِّن الطاقة في الروابط الكيميائية داخل المُركَّبات العضوية، ومنها ما يُحرِّر الطاقة المُخزَّنة اللازمة لأداء الأنشطة الحيوية.

نتاجات التعلُّم:

- أُبيِّن أهمية عمليات الأيض للكائنات الحيَّة.
- أُبيِّن أهمية بعض العمليات التي تحدث في الخلية، مثل: البناء الضوئي، والتنفُّس الخلوي.
- أستقصي آليَّة حدوث كلٍّ من عملية البناء الضوئي، وعملية التنفُّس الخلوي.
- أُميِّز عملية التنفُّس الهوائي من عملية التنفُّس اللاهوائي.

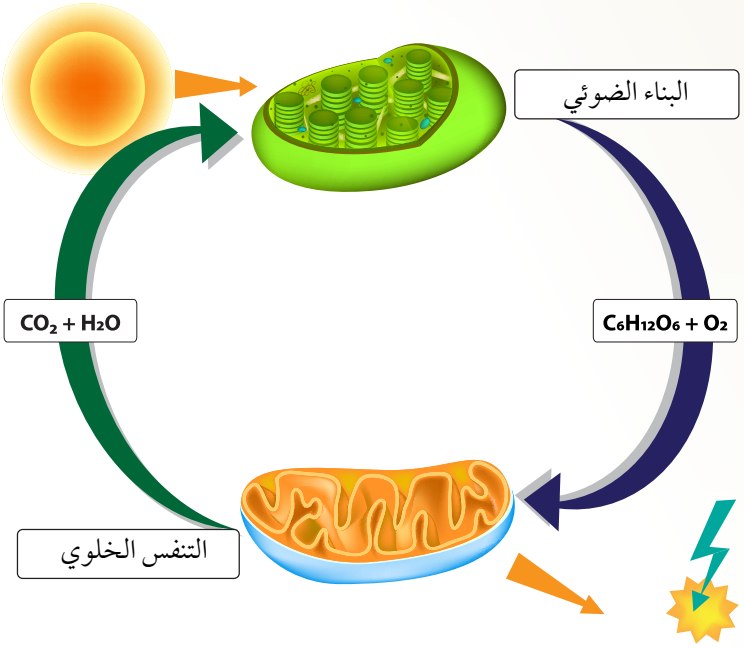
المفاهيم والمصطلحات:

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

عمليات الأيض Metabolism

تحدث داخل خلايا الكائن الحيِّ آلاف التفاعلات الكيميائية التي تُعرَف بعمليات الأيض Metabolism، وتتضمَّن عمليات البناء Anabolism؛ وهي مجموعة التفاعلات الكيميائية التي تُبْنى فيها جزيئات كبيرة ومُعقَّدة من جزيئات بسيطة، مثل عملية البناء الضوئي.

وتتضمَّن عمليات الهدم Catabolism تحطيم بعض الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات أبسط؛ لإنتاج الطاقة الكيميائية المُخزَّنة في روابطها، مثل عملية التنفُّس الخلوي، أنظر الشكل (33).



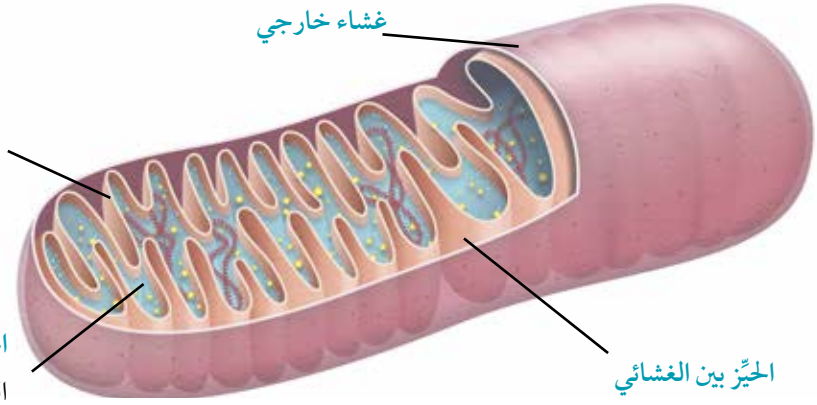
الشكل (33): التكامل بين عملية التنفُّس الخلوي وعملية البناء الضوئي.

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

التنفُّس الخلوي Cellular Respiration

تحدث في عملية التنفُّس الخلوي سلسلة من التفاعلات، تشمل تحطيم المُركَّبات العضوية (مثل الغلوكوز) داخل الخلايا لإنتاج الطاقة. وتحدث معظم تفاعلات التنفُّس الخلوي في الخلايا حقيقية النوى في الميتوكندريا، أنظر الشكل (34).

الشكل (34): تركيب الميتوكندريا.



تُمثَّل تفاعلات التنفُّس الخلوي بالمعادلة الآتية:

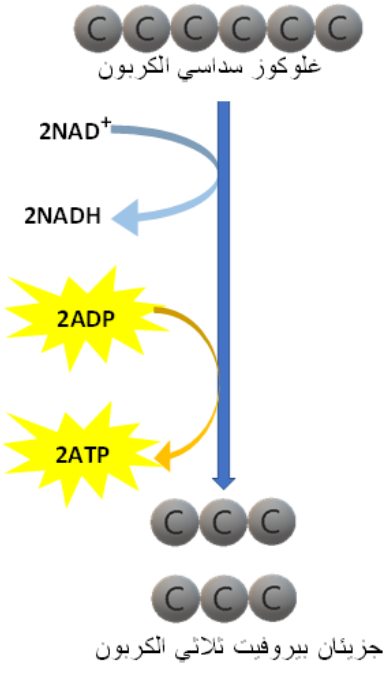
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \xrightarrow{\text{إنزيمات}} 6CO_2 + 6H_2O + ATP$$

ناتج ثانوي

تحدث عملية التنفُّس الخلوي على مرحلتين، هما: مرحلة التحلُّل الغلايكولي (السُّكَّري) في السيتوبلازم، ومرحلة التنفُّس الهوائي في الميتوكندريا.

التحلُّل الغلايكولي Glycolysis

التحلل الغلايكولي Glycolysis سلسلة من التفاعلات الكيميائية، تحدث في السيتوبلازم، ولا تحتاج إلى أكسجين. وفيها يتحطَّم كل جزيء غلوكوز إلى جزيئين من البيروفيت ثلاثي الكربون، ويُختزَل جزيئا NAD^+ إلى جزيئي NADH، فينتج جزيئا ATP، أنظر الشكل (35).



الشكل (35): التحلُّل الغلايكولي.

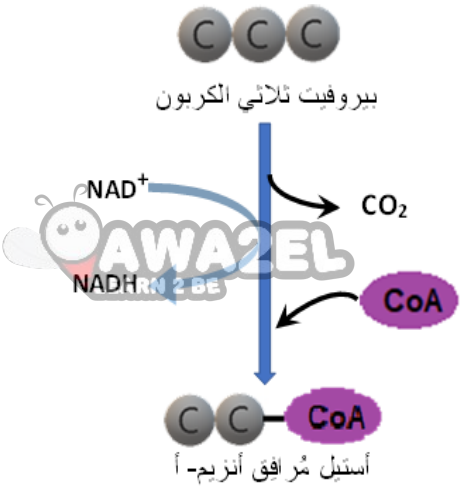
التنفُّس الهوائي Aerobic Respiration

إذا توافر الأكسجين، فإنَّ جزيئي البيروفيت ينتقلان إلى حشوة الميتوكندريا.

تشتمل عملية التنفُّس الهوائي على ثلاث خطوات، هي: أكسدة البيروفيت إلى أستيل مُرافِق إنزيم – أ، وحلقة كربس، والفسفرة التأكسدية.

● أكسدة البيروفيت إلى أستيل مُرافِق إنزيم – أ

يُنتزَع جزيء CO_2 من البيروفيت، فيتكوَّن أستيل ثنائي الكربون في الحشوة. بعد ذلك يتأكسد الأستيل الناتج مُختزِلًا NAD^+ إلى NADH، ثم يرتبط مُرافِق إنزيم – أ (CO-A) بالأستيل، فينتج جزيء أستيل مُرافِق إنزيم – أ (Acetyl CoA)، أنظر الشكل (36). تربط هذه الخطوة بين **التحلل الغلايكولي وحلقة كرب**.



الشكل (36): أكسدة جزيء واحد.
أُحدِّد نواتج أكسدة جزيء واحد من البيروفيت من البيروفيت إلى أستيل مُرافِق إنزيم – أ.

أُفكِّر: كم عدد جزيئات أستيل مُرافِق إنزيم – أ التي تنتج من جزيء غلوكوز؟

أتحقَّق: ما نواتج أكسدة جزيئي بيروفيت؟

● حلقة كربس Krebs Cycle

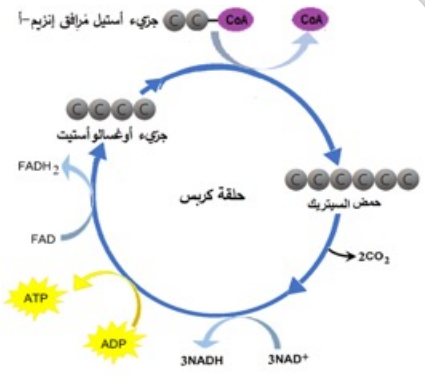
سُمِّيت **حلقة كربس** Krebs Cycle بهذا الاسم نسبةً إلى العالِم الذي توصَّل إلى التفاعلات التي تحدث فيها، وهي تُسمّى أيضًا حلقة حمض السيتريك Citric Acid Cycle، وتحدث في الحشوة داخل الميتوكندريا.

تبدأ حلقة كربس بتفاعل جزيء أستيل مُرافِق إنزيم – أ ثنائي الكربون مع مُركَّب رباعي الكربون يُسمّى أوغسالوأستيت Oxaloacetate، فينتج حمض سيتريك سداسي الكربون، ويتحرَّر مُرافِق إنزيم – أ، ثم يدخل حمض السيتريك في سلسلة من التفاعلات يفقد خلالها جزيئي CO_2، ليعاد إنتاج مُركَّب أوغسالوأستيت رباعي الكربون.

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

يُذكَر أنَّ حلقة كربس يجب أنْ تتكرَّر مرَّتين؛ لأنَّ كل جزيء غلوكوز يتحطَّم إلى جزيئي بيروفيت في أثناء عملية التحلُّل الغلايكولي، أنظر الشكل (37).

في ما يأتي تلخيص لنواتج تفاعلات التحلُّل الغلايكولي، وتفاعلات أكسدة البيروفيت إلى أستيل مُرافِق إنزيم – أ، والتفاعلات التي تحدث في حلقة كربس: (6) جزيئات من CO_2، (4) جزيئات من ATP، (10) جزيئات من NADH، وجزيئان من $FADH_2$.



الشكل (37): حلقة كربس ذات الدورة الواحدة.
أُحدِّد نواتج دورتي حلقة كربس.

(الفسفرة التأكسدية) سلسلة نقل الإلكترون والأسموزية الكيميائية
Oxidative Phosphorylation (Electron Transport Chain and Chemiosmosis)

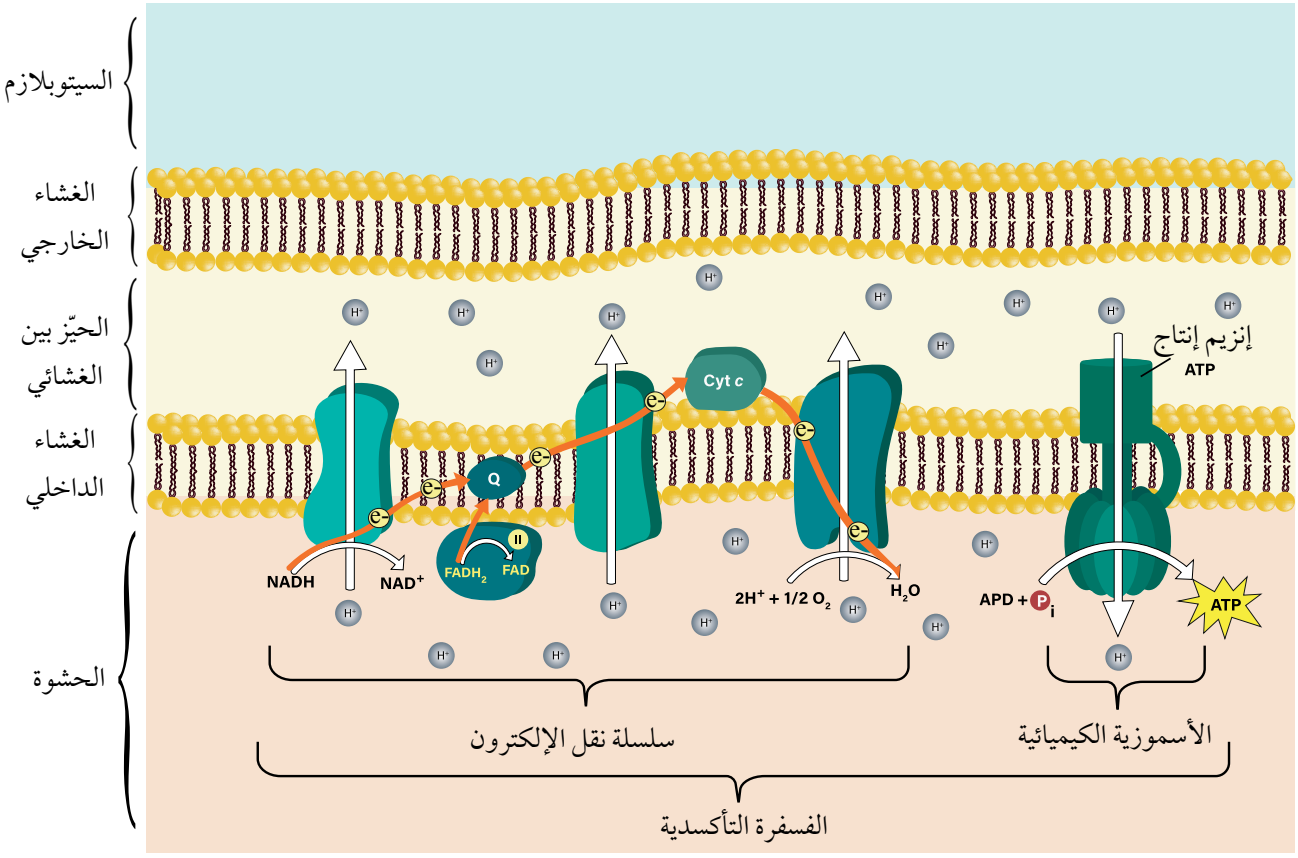
تتكوَّن سلاسل نقل الإلكترونات من مجموعة من البروتينات الناقلة والإنزيمات، وتُستخدَم طاقة الإلكترونات الناتجة

من أكسدة NADH و $FADH_2$ في أثناء انتقالها من ناقل بروتيني إلى آخر في ضَخِّ البروتونات (H^+) من الحشوة إلى الحيِّز بين الغشاءين، فينتج فرق في تركيز البروتونات بين الحيِّز بين الغشاءين والحشوة. وما إنْ تصل الإلكترونات إلى مُستقبِلها النهائي (الأكسجين)، حتى يُختزَل الأكسجين باتحاده مع الإلكترونات والبروتونات الموجودة في الحشوة؛ فيتكوَّن الماء.

بعد ذلك تعود البروتونات (H^+) نتيجة فرق التركيز على جانبي غشاء الميتوكندريا الداخلي إلى داخل الحشوة عن طريق إنزيم تصنيع ATP (ATP synthase) في عملية تُسمّى الأسموزية الكيميائية Chemiosmosis، وتحدث فيها فسفرة جزيئات ADP إلى ATP.

يُطلَق على عملية تصنيع ATP عن طريق سلسلة نقل الإلكترون والأسموزية الكيميائية اسم الفسفرة التأكسدية Oxidative Phosphorylation، أنظر الشكل (38).

الشكل (38): الفسفرة التأكسدية.



يُوفِّر كل جزيء من NADH طاقة تكفي لإنتاج (2.5) جزيء من ATP ، في حين يُوفِّر كل جزيء من $FADH_2$ طاقة تكفي لإنتاج (1.5) جزيء من ATP .

ملحوظة: يُعتمَد الآتي لتسهيل العمليات الحسابية: الطاقة في كل جزيء من NADH تكفي لإنتاج ATP (3)، والطاقة في كل جزيء من $FADH_2$ تكفي لإنتاج ATP (2).

مثال

أحسُبُ عدد جزيئات ATP الناتجة من سلسلة نقل الإلكترون عند أكسدة جزيء واحد من الغلوكوز.

المعطيات:

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

الحل:

عدد الجزيئات ATP الناتجة من سلسلة نقل الإلكترون:

(2x2) + (10x 3) = (34) جزيئًا.

أتحقَّق: أُحدِّد مكان حدوث العمليات الآتية في الخلية: التحلُّل الغلايكولي، أكسدة البيروفيت وإنتاج مُرافِق إنزيم - أ، حلقة كربس، الفسفرة التأكسدية.

التنفُّس اللاهوائي والتخمُّر Anaerobic Respiration and Fermentation

تعمل بعض الخلايا على أكسدة المواد العضوية وإنتاج الطاقة ATP، من دون استخدام الأكسجين، عن طريق التنفُّس اللاهوائي، والتخمُّر. وتحدث عمليات التنفُّس اللاهوائي والتخمُّر في السيتوبلازم.

التنفُّس اللاهوائي Anaerobic Respiration

يلجأ إلى هذا النوع من التنفُّس بعضُ أنواع البكتيريا التي تعيش في بيئة تخلو من الأكسجين؛ إذ تَستخدم هذه الكائنات سلسلة نقل الإلكترون بوصفها مُستقبِلًا نهائيًّا للإلكترونات من دون استخدام الأكسجين في ذلك. ومن الأمثلة عليها: بكتيريا اختزال الكبريتات التي

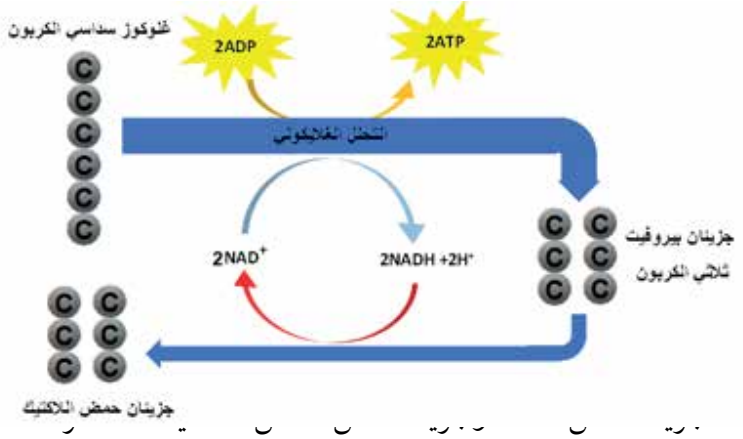
تعيش في المياه الحارَّة، وتَستخدم الكبريتات مُستقبِلًا نهائيًّا للإلكترونات، فينتج كبريتيد الهيدروجين H_2S؛ وهو مُركَّب غير عضوي يُمثِّل ناتجًا ثانويًّا بدل الماء.

التخمُّر Fermentation

تحدث عملية **التخمُّر Fermentation** في السيتوبلازم عند فَقْدِ الأكسجين أو قِلَّته عند عدم توافر كمِّيات كافية من الأكسجين، وتبدأ بالتحلُّل الغلايكولي، ثم تنتقل الإلكترونات من NADH إلى البيروفيت (مُركَّب عضوي) بوصفه مُستقبِلًا نهائيًّا للإلكترونات؛ ليعاد استخدام NAD^+ في التحلُّل الغلايكولي.

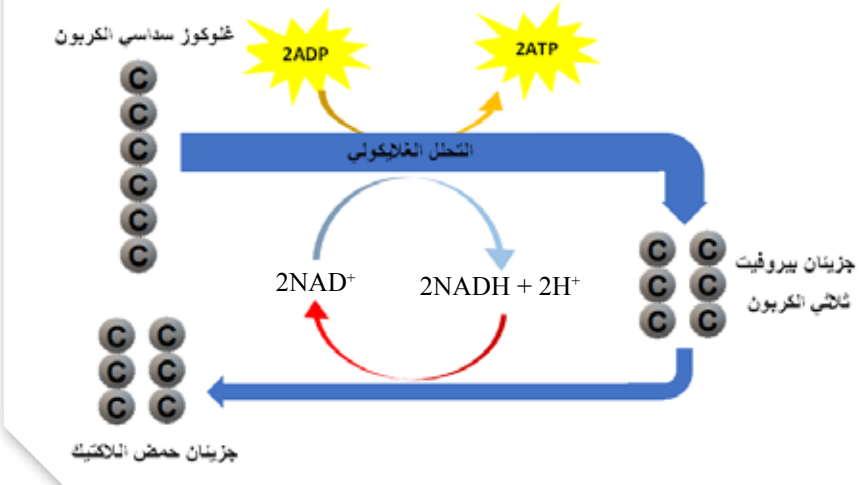
يوجد نوعان من التخمُّر بناءً على الناتج النهائي من العملية، هما: تخمُّر حمض اللاكتيك، والتخمُّر الكحولي.

تخمُّ



إلى حم
تلجـ
مـن ا
يـ
اللاكـ
(39).

✓ **أتحقَّق:** أُقارِن بين التنفُّس اللاهوائي وعملية التخمُّر من حيث المُستقبِل النهائي للإلكترونات.



الشكل (39): تخمُّر حمض اللاكتيك.
أُحدِّد مصير جزيئات NAD^+ في نهاية عملية التخمُّر

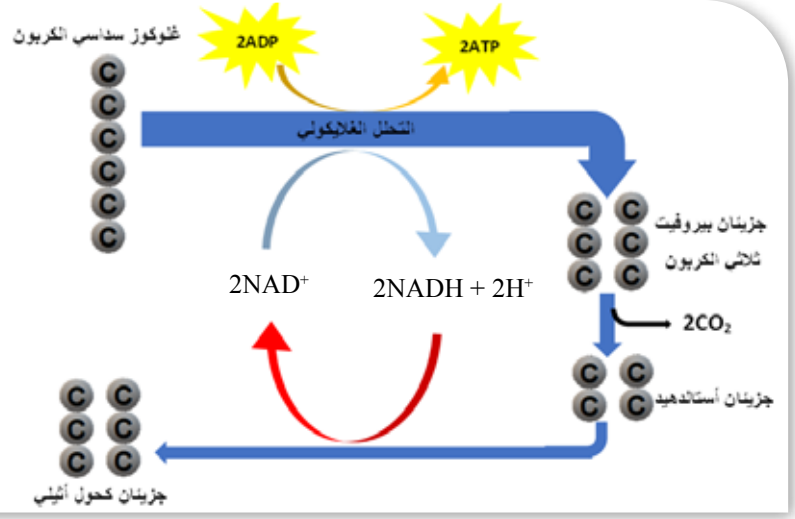
استفاد الإنسان من البكتيريا والفطريات التي تعمل على تخمُّر حمض اللاكتيك في صناعة الألبان والأجبان؛ إذ تُحلِّل هذه البكتيريا سُكَّر اللاكتوز في الحليب، ثم تُحوِّله إلى حمض اللاكتيك، فيتحوَّل الحليب إلى لبن، أنظر الشكل (40).

الشكل (40): صناعة اللبن.

التخمُّر الكحولي Alcoholic Fermentation

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

تحدث هذه العملية على مرحلتين؛ الأولى: تحويل البيروفيت إلى مُركَّب ثنائي الكربون يُسمّى الأسيتالدهيد، وتحرير غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2. والثانية: اختزال الأسيتالدهيد إلى كحول إيثيلي، أنظر الشكل (41).



الشكل (41): التخمُّر الكحولي.

أتحقَّق:

أ- أُحدِّد عدد جزيئات CO2 الناتجة من عملية التخمُّر الكحولي لكل جزيء من الغلوكوز.

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

تُستخدَم الخميرة في إعداد المُعجِّنات؛ إذ يعمل غاز ثاني أكسيد الكربون المُتحرِّر من عملية التخمُّر الكحولي على زيادة حجم العجين وارتفاعه، أنظر الشكل (42).

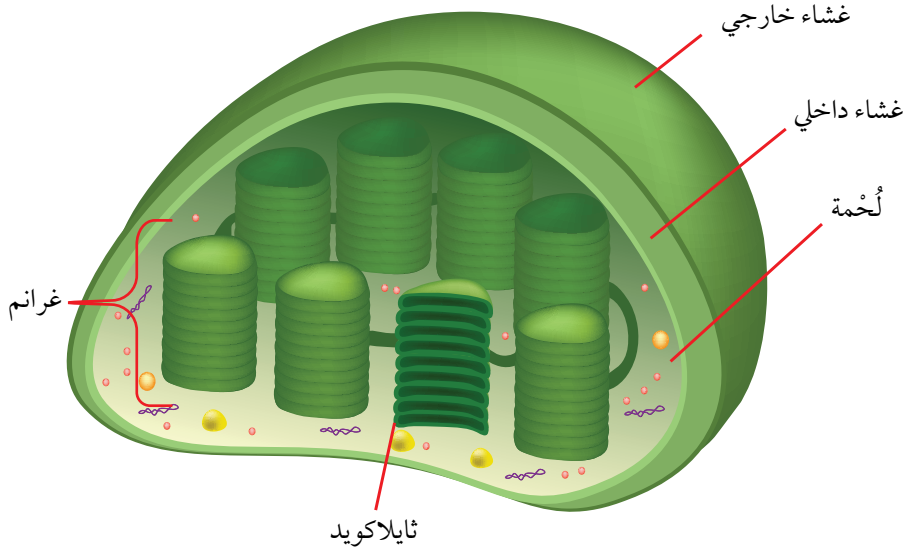
الشكل (42): رفع العجين.

البناء الضوئي Photosynthesis

تحدث في عملية البناء الضوئي سلسلة من التفاعلات، تشمل امتصاص الطاقة الضوئية، ثم تحويلها إلى طاقة كيميائية تُختزَن في المُركَّبات العضوية. ويُمكِن تمثيل هذه العملية بالمعادلة الكيميائية الآتية:

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow{\text{ضوء + صبغة كلوروفيل}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

تحدث عملية البناء الضوئي في البلاستيدات الخضراء؛ وهي عُضَيّات تحوي غشاءين (داخلي، وخارجي) يحيطان بالثايلاكويدات Thylakoids؛ وهي مجموعة من الأكياس الغشائية على هيئة أقراص يترتَّب بعضها فوق بعض، وتُسمّى الغرانا Grana (مفردها غرانم Granum)، وتمتلئ الفراغات المحيطة بها بسائل كثيف يُسمّى اللُّحْمة Stroma، أنظر الشكل (43).



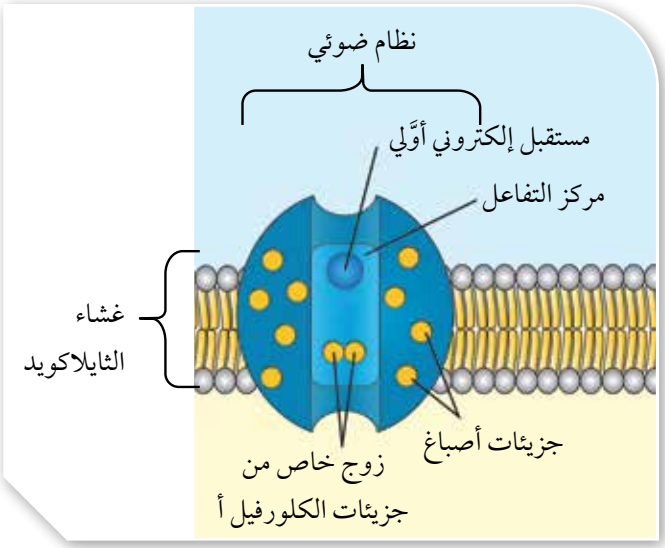
الشكل (43): بلاستيدة خضراء. تحتوي أغشية الثايلاكويدات على الكلوروفيل، وأصباغ أُخرى تمتص الطاقة الضوئية، وبعض الإنزيمات، ونواقل للإلكترونات.

النظام الضوئي الأوَّل والنظام الضوئي الثاني

Photosystems PS I and PS II

تحتوي أغشية الثايلاكويدات على **نظامين ضوئيين Photosystems**، هما: النظام الضوئي الأوَّل PS I، والنظام الضوئي الثاني PS II، ويعتمد ذلك على الطول الموجي للضوء الذي تمتصه صبغة الكلوروفيل في كلٍّ من النظامين.

يتألَّف النظام الضوئي من مركز تفاعل Reaction Center Complex، ويحتوي على زوج خاص من الكلوروفيل أ، ومُستقبِل إلكترون أوَّلي Primary Electron Acceptor. ويحاط مركز التفاعل بأصباغ أُخرى، مثل: الكلوروفيل ب، والكاروتين، أنظر الشكل (44).



الشكل (44): نظام ضوئي.

يُعرَف النظام الضوئي الأوَّل بـ P700؛ لأنَّ الكلوروفيل أ في مركز التفاعل يمتص الضوء الذي طوله الموجي 700 نانومتر بأقصى فاعلية. أمّا النظام الضوئي الثاني فيُعرَف بـ P680؛ لأنَّ الكلوروفيل أ يمتص الضوء الذي طوله الموجي 680 نانومترًا بأقصى فاعلية.

مراحل عملية البناء الضوئي

تمرُّ عملية البناء الضوئي بمرحلتين، هما: التفاعلات الضوئية Light Reactions التي تحتاج إلى الضوء، وتحدث في أغشية الثايلاكويدات. والتفاعلات اللاضوئية (تُسمّى أيضًا حلقة كالفن Calvin Cycle) التي لا تحتاج إلى الضوء، وتحدث في اللُّحْمة.

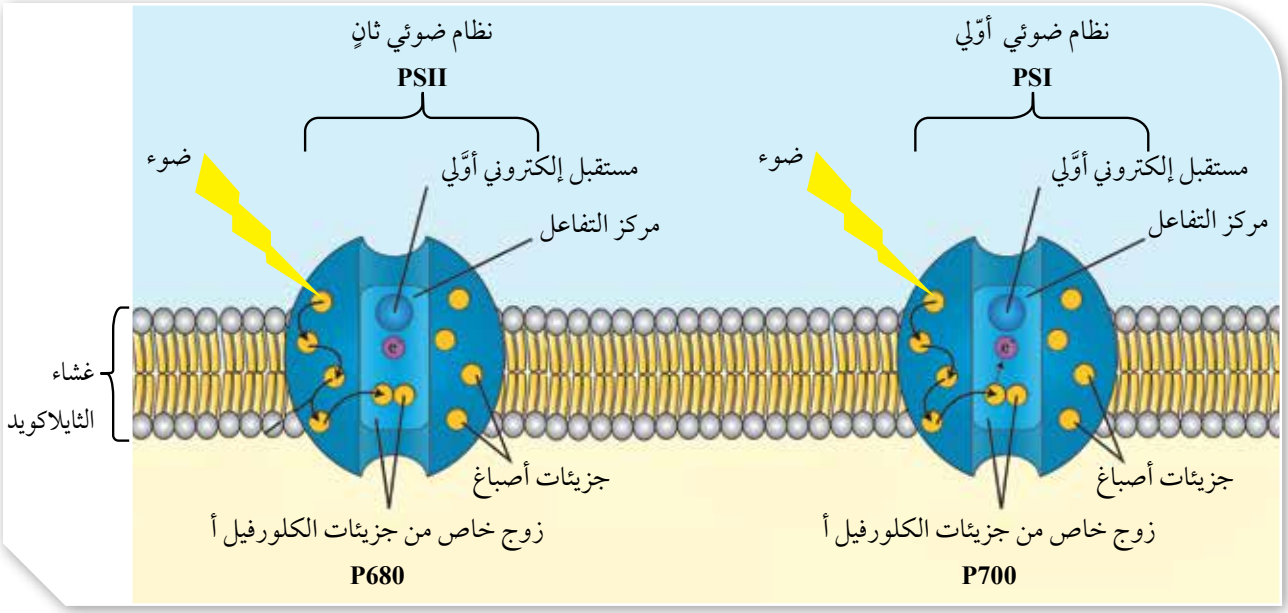
التفاعلات الضوئية Light Reactions

تُصنَّف التفاعلات الضوئية إلى مسارين، هما: مسار التفاعلات الضوئية اللاحلقية، ومسار التفاعلات الضوئية الحلقية.

● مسار التفاعلات الضوئية اللاحلقية Non Cyclic Light Reactions Pathway

يُشارِك النظام PS I والنظام PS II في التفاعلات الضوئية اللاحلقية؛ إذ تمتص جزيئات صبغة الكلوروفيل وأصباغ أُخرى الطاقة الضوئية في كلٍّ من النظامين، فينتقل إلكترون من كل جزيء صبغة إلى مستوى طاقة أعلى، ثم تسري الطاقة من جزيء صبغة إلى آخر حتى تصل إلى زوج الكلوروفيل أ في مركز التفاعل في كلا النظامين؛ ما يجعله قادرًا على نقل الإلكترونات المستثارة (الواحد تلو الآخر) إلى مُستقبِل الإلكترون الأوَّلي في كل نظام، أنظر الشكل (45).

الشكل (45): امتصاص الضوء في النظام الضوئي الأوَّل، والنظام الضوئي الثاني.



تؤدّي الطاقة الضوئية أيضًا إلى تحلُّل جزيء ماء إلى إلكترونين، وبروتونين ($2H^+$)، وذرَّة أكسجين.

تنطلق الإلكترونات من مُستقبِل الإلكترون الأوَّلي في النظام الضوئي الثاني إلى النظام الضوئي الأوَّل، ضمن سلسلة نقل الإلكترون Electron Transport Chain التي تتكوَّن من نواقل إلكترونات، أهمُّها السيتوكرومات Cytochromes؛ ما يُعوِّض الإلكترونات التي فَقَدَها النظام الضوئي الأوَّل. أمَّا الإلكترونات المفقودة من زوج الكلوروفيل أ في النظام

الضوئي الثاني فتُعوَّض عن طريق الإلكترونين الناتجين من تحلُّل الماء.

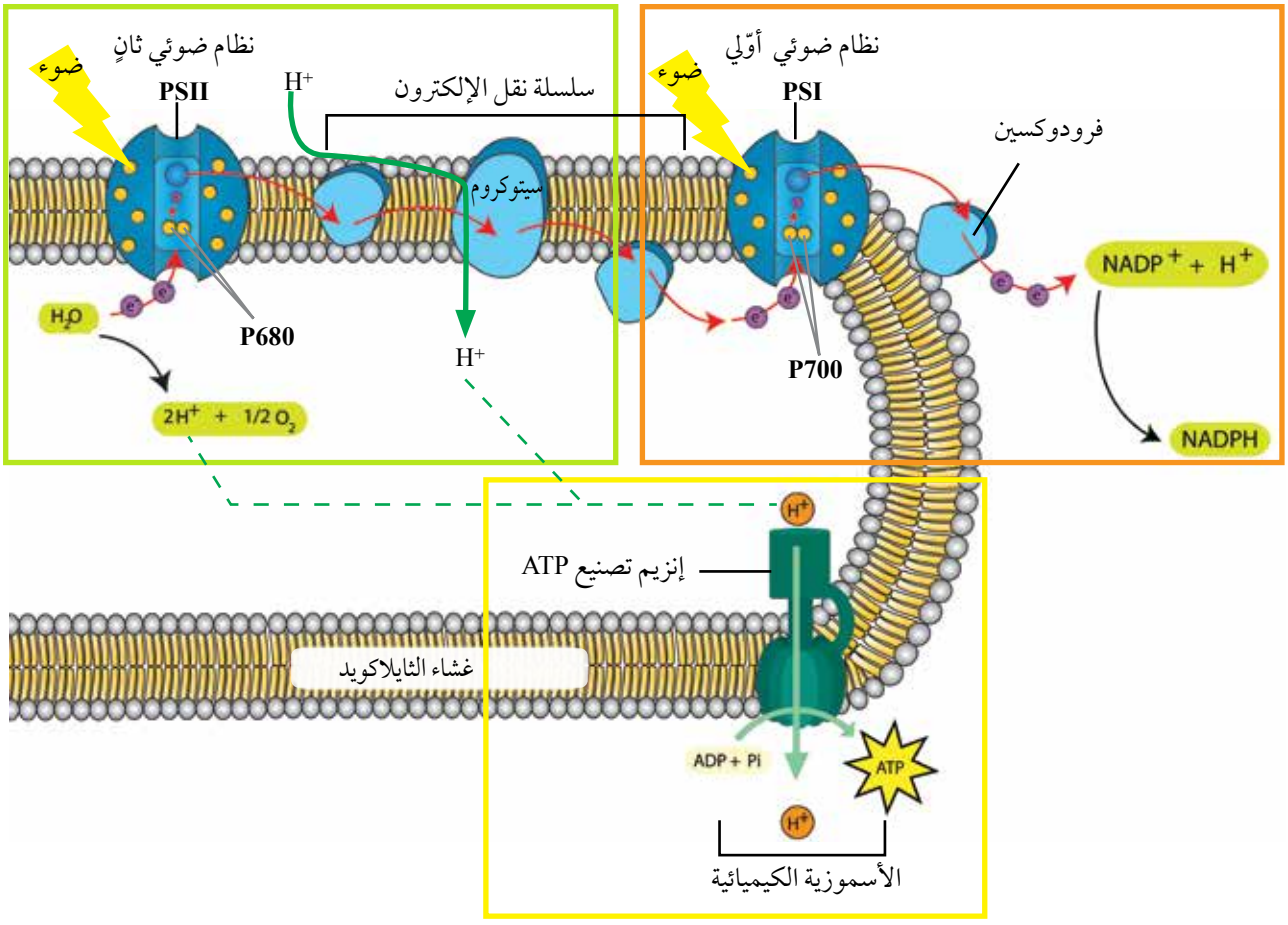
تنتقل الإلكترونات المستثارة من مُستقبِل الإلكترون الأوَّلي في النظام الضوئي الأوَّل إلى $NADP^+$، ضمن سلسلة نقل إلكترون أُخرى، بواسطة بروتين يُسمّى الفيرودوكسين Ferrodoxin، فيُختزَل $NADP^+$ باستخدام الإلكترونات والبروتونات الناجمة عن تحلُّل الماء؛ لينتج NADPH.

في أثناء انتقال الإلكترونات عبر سلسلة نقل الإلكترون يُستخدَم جزء من طاقتها في نقل البروتونات (H^+) من اللُّحْمة إلى داخل فراغ الثايلاكويد، فينتج فرق في تركيز البروتونات بين داخل الثايلاكويد وخارجه. وتُستخدَم الطاقة الناتجة من هذا الفرق في عملية فسفرة جزيئات ADP إلى ATP عن طريق الأسموزية الكيميائية كما هو الحال في عملية التنفُّس الخلوي، أنظر الشكل (46).

الشكل (47): التفاعلات الضوئية اللاحلقية.

ما مصدر O_2 الناتج من عملية البناء الضوئي؟

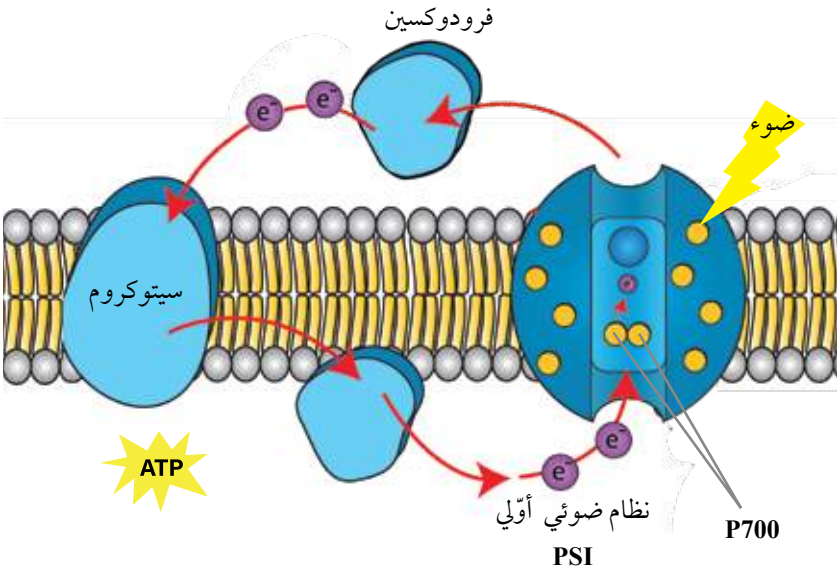
ما المُستقبِل النهائي للإلكترونات في التفاعلات اللاحلقية $NADP^+$؟



يُذكَر أنَّ نواتج التفاعلات الضوئية ATP وNADPH تُستخدَم في حلقة كالفن.

● مسار التفاعلات الضوئية الحلقية Cyclic Light Reactions Pathway

تَستخدم التفاعلات الضوئية الحلقية النظام الضوئي الأوَّل فقط لإنتاج ATP. وفيها تسري الإلكترونات المستثارة بفعل الضوء من P700 إلى مُستقبِل الإلكترون الأوَّلي، ثم إلى بروتين الفيرودوكسين، ثم تعود مَرَّة أُخرى عبر السيتوكروم إلى P700 في النظام الضوئي الأوَّل الذي انطلقت منه؛ لذا أُطلِق على هذه التفاعلات اسم التفاعلات الحلقية، وهي تعمل فقط على إنتاج ATP الذي يُستخدَم في حلقة كالفن، أنظر الشكل (47).



الشكل (47): التفاعلات الضوئية الحلقية.

حلقة كالفن Calvin Cycle

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

تُمثِّل هذه المرحلة مرحلة التصنيع التي تُستخدَم فيها نواتج التفاعلات الضوئية ATP وNADPH لاختزال ثاني أكسيد الكربون، وإنتاج مُركَّبات عضوية.

تمرُّ تفاعلات حلقة كالفن بثلاث مراحل، هي: مرحلة تثبيت الكربون، ومرحلة إعادة تكوين مُستقبِل ثاني أكسيد الكربون، ومرحلة الاختزال، أنظر الشكل (48).

أتحقَّق: أُقارِن بين مصير الإلكترونات المُنطلِقة من مركز التفاعل في كلٍّ من التفاعلات الضوئية اللاحلقية، والتفاعلات الضوئية الحلقية.

1- مرحلة تثبيت الكربون
Carbon Fixation Phase

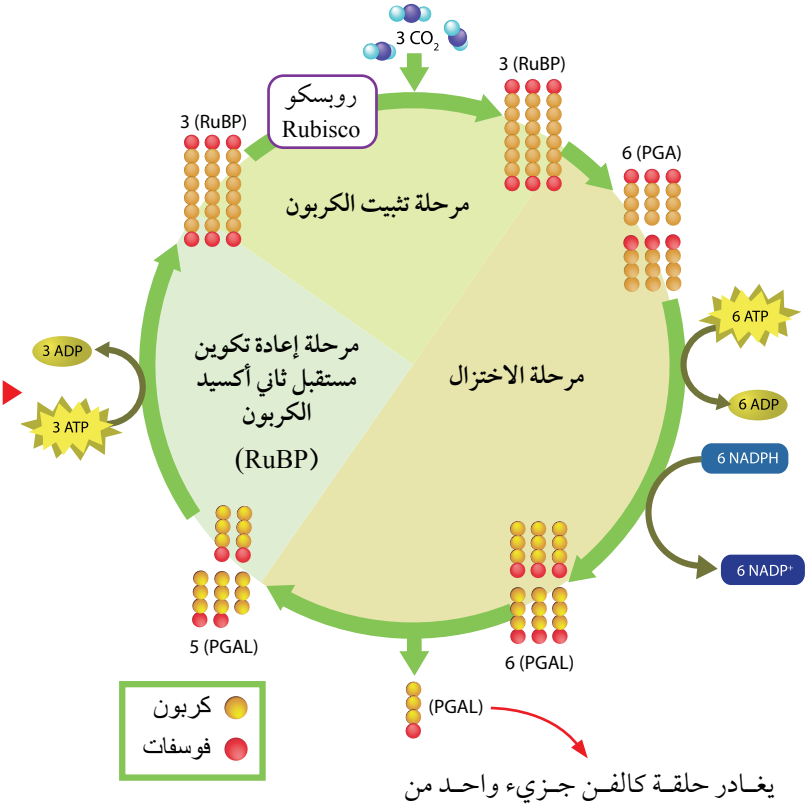
يربط إنزيم يسمى روبسكو Rubisco ثلاثة جزيئات من CO_2 مع ثلاثة جزيئات من مستقبل CO_2 وهو السكر الخماسي ريبيولوز ثنائي الفوسفات RuBp لينتج (3) جزيئات من سكر سداسي وسطي غير مستقر، لا يلبث أن ينشطر كل منها إلى جزيئين من مركب ثلاثي الكربون يسمى حمض الغليسرين أحادي الفوسفات PGA. وتسمى عملية ربط CO_2 مع السكر الخماسي عملية تثبيت الكربون.

2- مرحلة الاختزال Reduction phase

ويتم في هذه المرحلة اختزال كل جزيء من حمض غليسرين أحادي الفوسفات PGA إلى مركب يسمى غليسر ألدهيد أحادي الفوسفات PGAL باستخدام الطاقة من (6) جزيئات ATP و(6) جزيئات NADPH ، فيكون الناتج (6) جزيئات غليسر ألدهيد أحادي الفوسفات PGAL. يغادر حلقة كالفن جزيء واحد من PGAL لبناء مركبات عضوية مثل الغلوكوز.

3- مرحلة إعادة تكوين مستقبل CO_2 (ريبيولوز)
Rgenerating of CO_2 Acceptor phase (RuBP)

تدخل خمسة جزيئات PGAL المتبقية في سلسلة من التفاعلات المعقدة لإعادة تكوين ثلاثة جزيئات من السكر الخماسي ريبيولوز RuBP من جديد . يستهلك خلالها (3) جزيئات ATP.

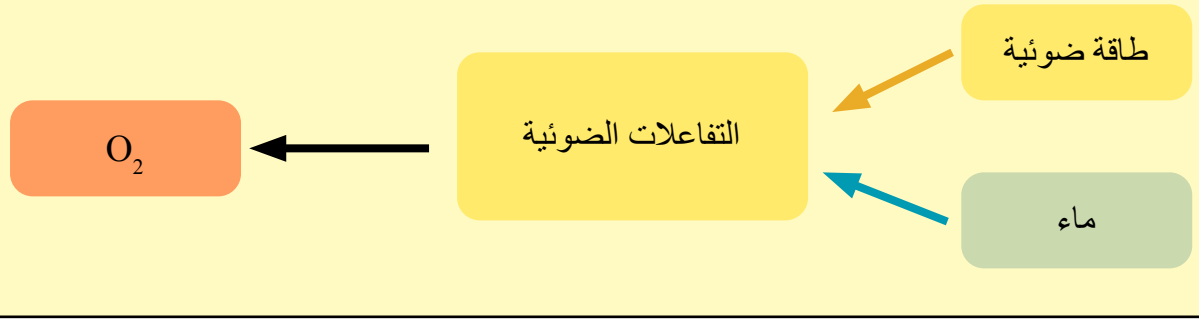


الشكل (48): حلقة كالفن.
تكرَّر حلقة كالفن مَرَّتين لإنتاج جزيء واحد من الغلوكوز.

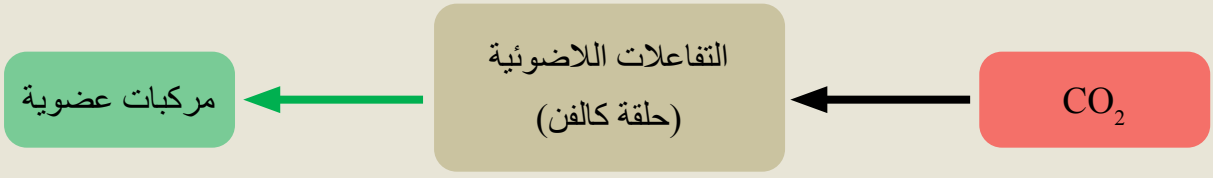
يغادر حلقة كالفن جزيء واحد من PGAL كل (3) دورات لبناء مركبات عضوية مثل الغلوكوز.

التفاعلات الضوئية: تعتمد على الضوء

- تستخدم الطاقة الضوئية.
- تصنّع ATP وNADPH.
- تحلل الماء إلى $2H^+$ و $2e^-$ و $1/2O_2$.
- ينتج الماء كناتج ثانوي.



ATP + NADH



التفاعلات اللاضوئية (حلقة كالفن): لا تعتمد على الضوء

- تستخدم ATP وNADPH.
- تستخدم CO_2.
- تصنّع مركبات عضوية.

الشكل (49): ملّخّص التفاعلات الضوئية واللاضوئية.

مثال

إذا كان عدد جزيئات ATP المُستهلَكة في أثناء حلقة كالفن هو 36 جزيئًا، فأُجيب عن الأسئلة الآتية:

1- كم مَرَّةً تكرَّرت تفاعلات حلقة كالفن؟

2- كم عدد جزيئات NADPH المُستهلَكة؟

3- كم عدد جزيئات ATP المُستهلَكة؟

4- كم عدد جزيئات PGAL الناتجة؟ التي تغادر **حلقة كالفن واحدة؟**

5- كم عدد جزيئات الغلوكوز الناتجة؟

المعطيات:

1- عدد جزيئات CO_2 المُثبَّتة في كل حلقة تفاعل (حلقة كالفن) هو (3) جزيئات.

2- المُستهلَك في كل حلقة هو (9) جزيئات من ATP (6) جزيئات مصدرها التفاعلات الضوئية اللاحلقية، و3 جزيئات مصدرها التفاعلات الضوئية الحلقية).

3- المُستهلَك في كل حلقة هو (6) جزيئات من NADPH، مصدرها التفاعلات الضوئية اللاحلقية.

4- إنتاج جزيء واحد من PGAL يتطلَّب توافر (9) جزيئات من ATP، و(6) جزيئات من NADPH، و(3) جزيئات من CO_2، و(3) جزيئات من السُّكَّر الخماسي ريبولوز ثنائي الفوسفات.

5- إنتاج جزيء واحد من الغلوكوز يتطلَّب حدوث حلقتين لكالفن (يَلزم توافر (18) جزيئًا من ATP، و(12) جزيئًا من NADPH، وتثبيت (6) جزيئات من CO_2).

الحل:

1- تكرَّرت تفاعلات حلقة كالفن 4 مَرّات: $\frac{9}{36}$ = 4 مَرّات.

2- عدد جزيئات NADPH المُستهلَكة هو 24 جزيئًا: 4×6 = 24 جزيئًا.

3- عدد جزيئات ATP المُستهلَكة هو 36 جزيئًا: 4×9 = 36 جزيئًا.

4- عدد جزيئات PGAL الناتجة (بوصفها ناتجًا نهائيًّا) هو 4 جزيئات.

5- عدد جزيئات الغلوكوز الناتجة هو جزيئان: $\frac{2}{4}$ = 2.

✓ أتحقَّق:

أ- أدرس الجدول الآتي الذي يُمثِّل الجزيئات التي تُستهلَك في دورتين من حلقة كالفن لإنتاج جزيء واحد من الغلوكوز، ثم أكتب العدد اللازم من كل جزيء ورد ذكره في الجدول لإتمام دورتين من حلقة كالفن.

الجزيئات	CO_2	ATP	NADPH
العدد اللازم		18	

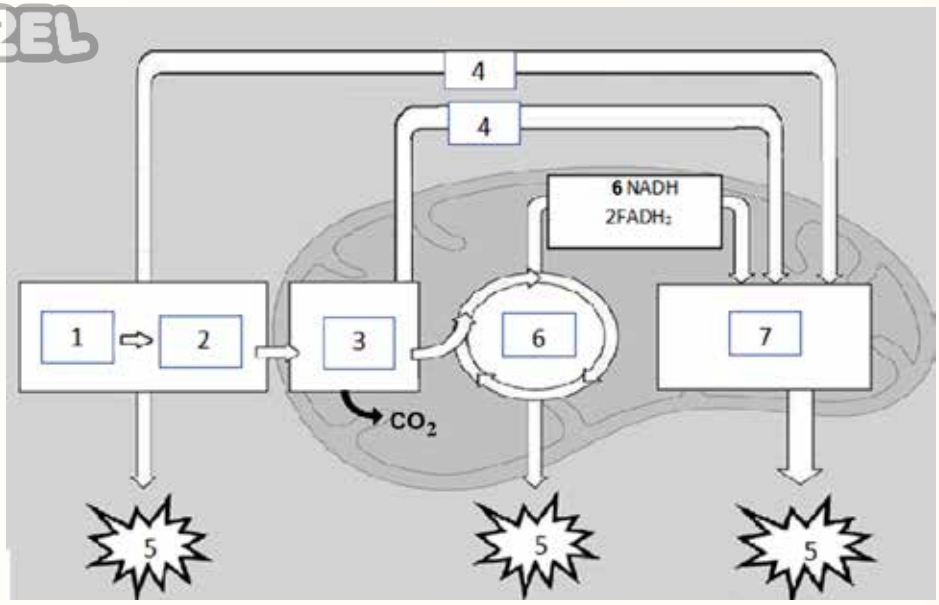
ب- أحسُبُ عدد ذَرّات الكربون في 5 جزيئات من PGAL ، ثم أربط بينها وبين عدد ذَرّات الكربون في 3 جزيئات من السُّكَّر الخماسي ريبولوز ثنائي الفوسفات.

الربطُ بالتكنولوجيا

البناء الضوئي الصناعي Artificial Photosynthesis

للحَدِّ من المشكلات البيئية الناجمة عن استخدام الوقود الأحفوري، مثل: التغيُّر المناخي، وظاهرة الاحتباس الحراري Global warming التي سببها انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون، وتوفير ما يَلزم من موارد البيئة عالميًّا؛ تتوالى جهود العلماء لإيجاد تقنيات رخيصة ونظيفة تحاكي عملية البناء الضوئي صناعيًّا، مثل: تصنيع ورقة نبات صناعية يُمكِنها امتصاص الطاقة الشمسية، وتحليل الماء لإنتاج الهيدروجين واستخدامه وَقودًا، أو استخدامه في إنتاج أنواع وَقود أُخرى مُتجدِّدة وآمنة ومستدامة؛ وإنتاج الغذاء والأسمدة والأدوية بكفاءة أكبر من كفاءة طاقة الكتلة الحيوية لأوراق النباتات.

1. أدرس الشكل الآتي الذي يُبيِّن مراحل التنفُّس الخلوي، ثم أُجيب عن السؤالين التاليين:



أ. أكتب ما يشير إليه كل رقم من الأرقام (7-1) في الشكل، مُستخدِمًا المفاهيم الآتية:

جزيئا بيروفيت، فسفرة تأكسدية، NADH، غلوكوز، ATP، دورتان من حلقة كربس، جزيئا أستيل مُرافِق إنزيم أ–.

ب. أحسُبُ عدد جزيئات ATP الكلية الناتجة من أكسدة جزيء واحد من الغلوكوز.

2. في أيِّ مراحل عملية البناء الضوئي يحدث كلٌّ ممّا يأتي:

أ. تثبيت CO_2.

ب. تحلُّل H_2O.

ج. اختزال حمض الغليسرين أُحادي الفوسفات (PGA) إلى غليسر ألدهيد أُحادي الفوسفات (PGAL).

د. إنتاج ATP.

3. أ. ما مُستقبِل الإلكترونات النهائي لكلٍّ ممّا يأتي:

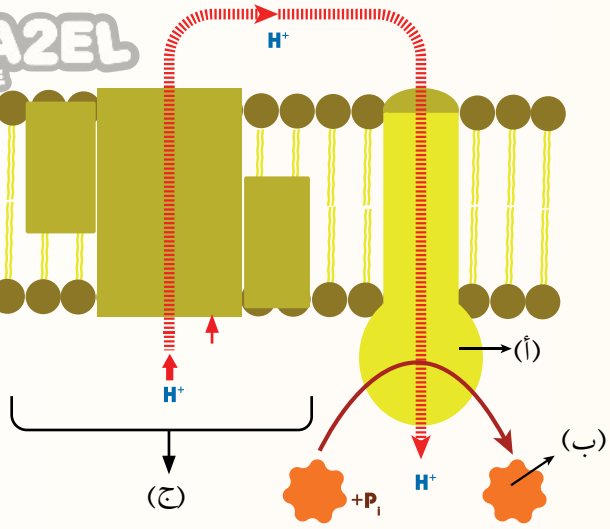
1. سلسلة نقل الإلكترون في التنفُّس الهوائي.

2. عملية التنفُّس اللاهوائي لبكتيريا المياه الحارَّة.

ب. أذكر اسم المُركَّب الناتج في كلٍّ منهما.

4. أُوضِّح أهمية التخمُّر في إنتاج الطاقة عند فَقْدِ الأكسجين، ودور الماء في عملية التنفُّس الهوائي.

5. أدرس الشكل المجاور الذي يُمثِّل التكامل بين عمليتي التنفُّس الخلوي والبناء الضوئي، ثم أُجيب عن الأسئلة الآتية:



أ. أذكر أسماء الأجزاء المشار إليها بالرموز: أ، ب، ج، التي توجد في كلٍّ من الميتوكندريا، والبلاستيدة الخضراء.

ب. أُوضِّح آليَّة عمل الأسموزية الكيميائية في تصنيع جزيئات ATP في كلٍّ من الميتوكندريا، والبلاستيدة الخضراء.

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

د. مِمَّ يتكوَّن مركز التفاعل في النظام الضوئي للبلاستيدة؟

البكتيريا والطاقة Bacteria and energy

تعمل بعض الكائنات الحيَّة الدقيقة اللاهوائية على إنتاج مواد عضوية في عمليةٍ تُسمّى البناء الكيميائي؛ إذ تَستخدم هذه الأنواع بعض المواد التي تتأكسد بسهولة، بوصفها مصدرًا للإلكترونات مثل H_2S، بدلًا من الماء. ومن الأمثلة عليها: بعض أنواع الأثريات، وبكتيريا المياه الحارَّة التي تعيش في بيئات لا يصلها الضوء، وبكتيريا تأكسد الكبريت.

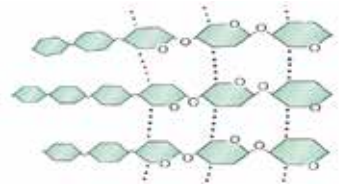
يُمكِن لبعض أنواع البكتيريا اللاهوائية التي تعيش في المناجم وفي قاع البحيرات أنْ تحصل على الطاقة عن طريق استخدام الإلكترونات الموجودة في البيئة المحيطة. وقد اكتشف باحثون من جامعة ماساتشوستس الأمريكية أنَّ بكتيريا جيوباكتر Geobacter تتخلَّص من الإلكترونات التي توجد داخلها باستعمال شعيرات طويلة؛ وهي تراكيب تنتشر على سطح الخلايا البكتيرية، وتتكوَّن من ألياف نانوية موصِلة للكهرباء ويُعتقَد أنَّها تتكوَّن من بروتينات تُشبِه السيتوكرومات Cytochromes.

يسعى العلماء إلى الاستفادة من خصائص البكتيريا الموصِلة للكهرباء في إنتاج تكنولوجيا حيَّة وصديقة للبيئة، تُستخدَم في المجالات الطبية، وتوليد الكهرباء، وتعقيم المياه الجوفية.

السؤال الأوَّل:

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

1. أحد أنواع الكربوهيدرات الذي يُمثِّله الشكل المجاور هو:

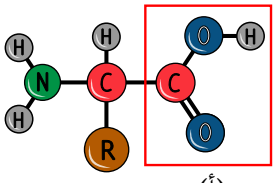


أ. السيليلوز.
ب. النشا.
جـ. الغلايكوجين.
د. السُّكَّر الثنائي.

2. الغلايكوجين من السُّكَّريات المُتعدِّدة التي تُستخدَم لتخزين الطاقة في:
أ. الحيوانات. ب. النباتات.
جـ. الفطريات. د. البكتيريا.

3. يُعَدُّ الغلوكوز والغلاكتوز من السُّكَّريات:
أ. الأُحادية. ب. الثنائية.
جـ. الثلاثية. د. المُتعدِّدة.

4. يشير الحرف (أ) في الشكل المجاور إلى:

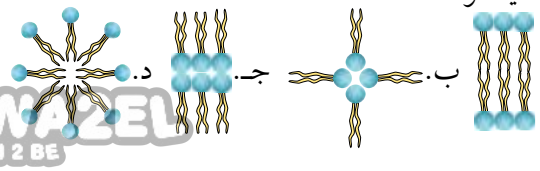


(أ)

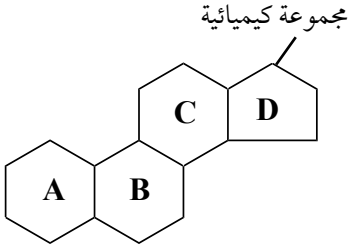
أ. مجموعة كاربوكسيل.
ب. مجموعة أمين.
ج. جزيء غليسرول.
د. مجموعة هيدروكسيل.

5. إحدى الخصائص الآتية تنطبق على البروتينات الليفية:
أ. الذوبان في الماء.
ب. وجود سلاسلها الجانبية R القطبية في اتجاه الخارج، مُواجِهةً للمحاليل المائية التي تحيط بها.
جـ. من الأمثلة عليها الهيموغلوبين.
د. وجود سلاسلها الجانبية R غير القطبية في اتجاه الخارج، مُواجِهةً للمحاليل المائية.

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


أ. ب. جـ. د.

7. الصيغة البنائية التي يُمثِّلها الشكل المجاور هي للمُركَّب العضوي:



أ. السيليلوز.
ب. النشا.
ج. البروتين.
د. الستيرويد.

8. فصيلة دم الشخص الذي يستقبل الدم من فصائل الدم جميعها، لكنَّه لا يستطيع التبرُّع بالدم إلّا لأشخاص من فصيلة دمه فقط، هي:
أ. O^+ ب. AB^+ جـ. O^- د. AB^+

9. إحدى العبارات الآتية غير صحيحة في ما يتعلَّق بالحموض النووية RNA وDNA:
أ. احتواء RNA على القاعدة النيتروجينية يوراسيل.
ب. احتواء DNA على القاعدة النيتروجينية يوراسيل.
جـ. احتواء RNA على القاعدة النيتروجينية ثايمين.
د. تكوُّن DNA من سلسلة واحدة، وتكوُّن RNA من سلسلتين لولبيتين.

10. إحدى الآتية لا تُعَدُّ جزءًا من النيوكليوتيدات:
أ. الفوسفات. ب. الغليسرول.
جـ. القاعدة النيتروجينية. د. السُّكَّر الخماسي.

11. الدور الرئيس للتفاعلات في حلقة كربس هو:
أ. إنتاج الطاقة.
ب. إنتاج CO_2.
جـ- اختزال +NAD، وFAD؛ لاستخدامهما في الفسفرة التأكسدية.
د- إنتاج مُركَّب رباعي الكربون وحمض سيتريك في السيتوبلازم.

12. الطول الموجي الذي تمتص عنده صبغة النظام الأوَّل الضوء بأقصى فاعلية بوحدة النانومتر (nm) هو:

أ. 860 ب. 700 جـ. 680 د. 76

13. مصدر الطاقة الذي يُنتِج المواد العضوية في حلقة كالفن هو:

أ. CO_2 ،ATP ب. O_2 ،NADPH جـ. ATP ،NADPH د. H_2O ،ATP

14. إحدى العبارات الآتية تنطبق على الكائنات الحيَّة التي تقوم بعملية البناء الكيميائي:

أ. عدم إنتاجها جزيئات مُركَّبات عضوية. ب. استخدامها الضوء مصدرًا للطاقة.

جـ. تمثّل أنواعا من النباتات. د. استخدامها H_2S مصدرًا للإلكترونات بدل الماء.

15. إذا أُنتِج 12 جزيئًا من CO_2 في عملية تنفُّس هوائي، فإنَّ عدد جزيئات الغلوكوز المتأكسدة هو:

أ. جزيء واحد. ب. جزيئان. جـ. ثلاثة جزيئات. د. أربعة جزيئات.

16. عملية فقدان الإلكترونات جزيء NADH تُسمّى:

أ. أكسدةً. ب. اختزالًا. جـ. فسفرةً. د. بناءً كيميائيًّا.

17. تُنتَج جزيئات ATP من العمليات الآتية جميعها باستثناء:

أ. حلقة كالفن. ب. حلقة كربس. جـ. سلسلة نقل الإلكترون. د. التحلُّل الغلايكولي.

18- مصدر الأكسجين المُنطلِق من عملية البناء الضوئي هو:

أ. الهواء. ب. ثاني أكسيد الكربون. جـ. الغلوكوز. د. الماء.

السؤال الثاني:

أَصِل بين المصطلح العلمي والوصف المُناسِب له في ما يأتي:

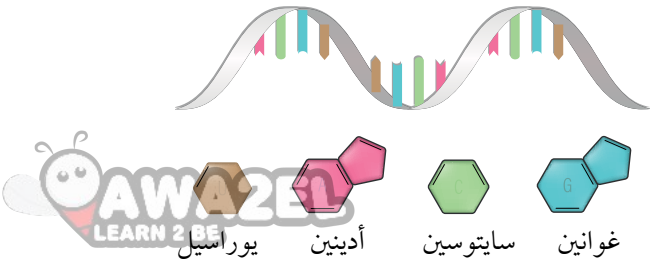
الرابطة الغلايكوسيدية	أ	الطاقة اللازمة لبَدْء التفاعل الكيميائي.
التحلُّل الغلايكولي	ب	بروتين يتصل بسلسلة أو أكثر من السُّكَّريات.
ATP	ج	رابطة تساهمية تربط بين الغليسرول والحموض الدهنية.
مُرافِقات الإنزيم	د	تحلُّل الغلوكوز لإنتاج جزيئي بيروفيت.
بيرمدين	هـ	جزيء حفظ الطاقة الذي يتكوَّن من الأدينين، وسُكَّر الرايبوز، وثلاث مجموعات من الفوسفات.
الرابطة الإسترية	و	بروتين أوَّلي.
البروتينات السُّكَّرية	ز	السيليلوز.
طاقة التنشيط	ح	تحدث تفاعلاتها في اللُّحْمة داخل البلاستيدة.
حلقة كالفن	ط	قواعد نيتروجينية تتكوَّن من حلقة واحدة، ويُمثِّلها الأدينين والغوانين.
البناء الصناعي	ي	رابطة تساهمية تربط بين جزيئات الغلوكوز.
يتكوَّن من سلسلة من الحموض الأمينية	ك	تحدث تفاعلاتها في الحشوة داخل الميتوكندريا.
حلقة كربس	ل	استخدام ورقة نبات صناعية قادرة على امتصاص الطاقة الشمسية، وتحليل الماء.
تمنح جدران الخلايا النباتية المرونة والقوَّة	م	عوامل مساعدة عضوية للإنزيمات.

السؤال الثالث:

بناءً على دراستي الحموض النووية، أُجيب عن السؤالين الآتيين:

أ. أُصنِّف الحمض النووي في الشكل المجاور إلى DNA وRNA، مُفسِّرًا إجابتي.

ب. ما نسبة السايتوسين في قطعة من DNA إذا كانت نسبة الغوانين فيها(42%)؟



السؤال الرابع:

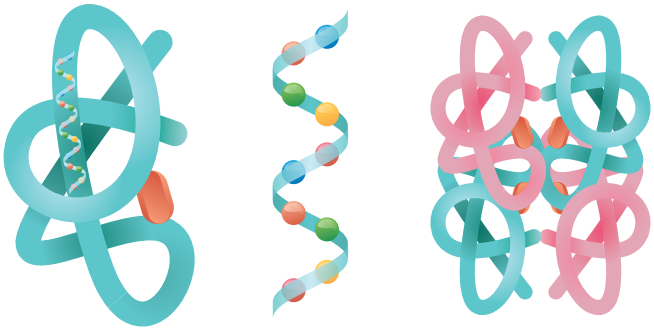
شخص فصيلة دمه AB:

أ . ما أنواع مُولِّدات الضد على سطح خلايا دمه الحمراء بحسب نظام ABO؟

ب. **أُفسِّر**: لماذا يحدث تحلُّل في الدم لدى شخص فصيلة دمه O عند نقل دم إليه من الشخص الذي فصيلة دمه AB؟

السؤال الخامس:

أُحدِّد مستوى تركيب كلٍّ من البروتينات الآتية:

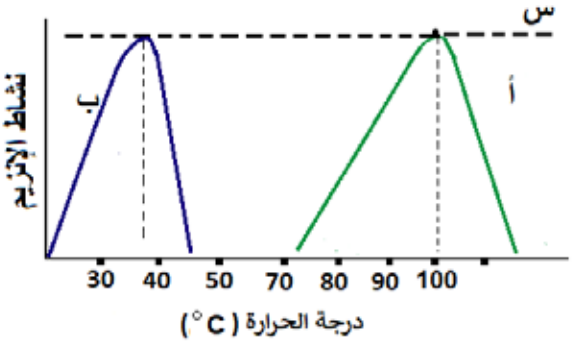


السؤال السادس:

يُمثِّل الشكل المجاور العلاقة بين نشاط إنزيمات مُعيَّنة لكائنين حيَّين مختلفين (أ، ب):

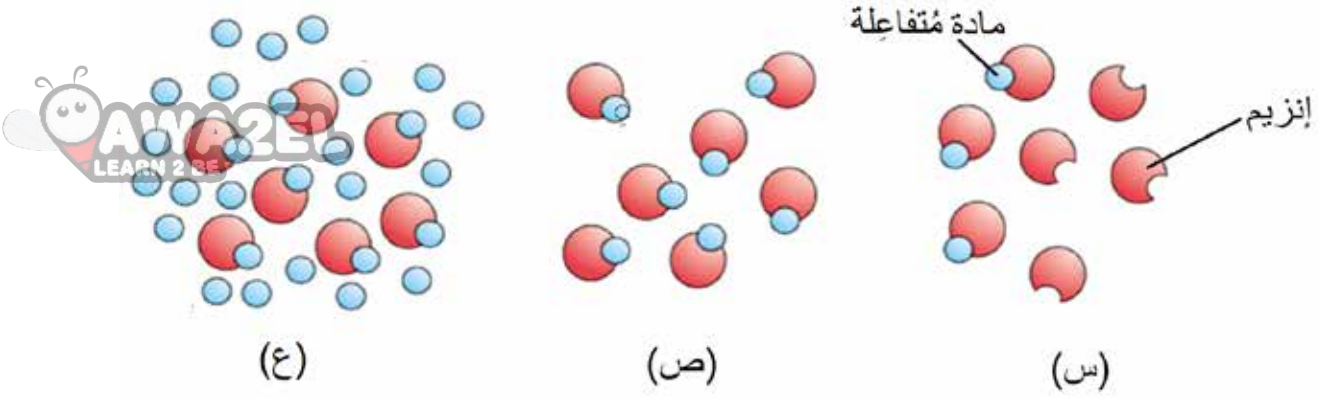
أ. ماذا تُسمّى درجة الحرارة التي يصل فيها نشاط الإنزيم إلى النقطة س؟

ب. أيُّ الكائنين يُمثِّل بكتيريا تعيش في المياه الحارَّة، مُفسِّرًا إجابتي؟



السؤال السابع:

أدرس الشكل الآتي الذي يُبيِّن أثر زيادة تركيز المادة المُتفاعِلة في مُعدَّل سرعة التفاعل، ثم أُجيب عن السؤالين التاليين:



أ. أيُّ الحالات (س، ص، ع) يُمكِن فيها زيادة مُعدَّل سرعة التفاعل عند زيادة تركيز المادة المُتفاعِلة؟

ب. أُحدِّد الحالة التي يكون فيها الإنزيم مُشبَعًا بالمادة المُتفاعِلة.

السؤال الثامن:

أُحدِّد عدد الجزيئات الناتجة من كل مرحلة من المراحل الوارد ذكرها في الجدول الآتي:

المرحلة	عدد جزيئات NADH	عدد جزيئات $FADH_2$	عدد جزيئات ATP الناتجة مباشرةً	عدد جزيئات CO_2 الناتجة	عدد جزيئات ATP الناتجة من سلسلة نقل الإلكترون	عدد جزيئات ATP الكلية
التحلُّل الغلايكولي						
أكسدة البيروفيت (جزيئان)						
حلقة كربس (دورتان)						
مجموع جزيئات ATP						

السؤال التاسع:

في أشهر زمنية مُحدَّدة من عام 1930م، وصف أطبّاء التغذية للأشخاص من ذوي الوزن الزائد كمِّياتٍ قليلةً من مُركَّب يُسمّى داينيتروفينول Dinitrophenol: DNP بوصفه عَقّارًا يساعدهم على فقدان الوزن الزائد، ولكنْ سرعان ما حُظِر هذا المُركَّب بعد تسبُّبه في وفاة بعضهم.

يجعل هذا المُركَّب غشاء الميتوكندريا الداخلي نفّاذًا للبروتونات H^+؛ فتتسرَّب من منطقة الحيِّز بين الغشائي إلى داخل الحشوة.

أُفسِّر: كيف يُسبِّب هذا المُركَّب لبعض متعاطيه الجفاف، والإنهاك الشديد، وفقدان الوزن، والموت المُفاجِئ؟

السؤال العاشر:

ينتج من تفاعلات حلقة كالفن مُركَّباتٌ عضويةٌ تَختزن الطاقة:

أ. **أُفسِّر**: لماذا تعتمد حلقة كالفن على التفاعلات الضوئية؟

ب. أُوضِّح العمليات التي تحدث في مرحلة الاختزال داخل حلقة كالفن.

السؤال الحادي عشر:

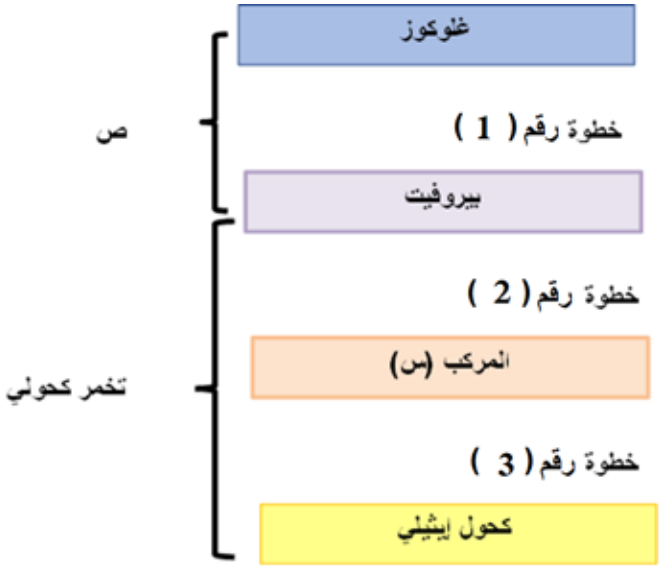
أُحدِّد أوجه التشابه والاختلاف بين كلٍّ ممّا يأتي:

أ. التنفُّس الخلوي في خلية عضلية للاعب في بداية سباق طويل المسافة (ماراثون)، والتنفُّس الخلوي في الخلية العضلية نفسها لهذا اللاعب في نهاية السباق.

ب. التفاعلات الضوئية الحلقية، والتفاعلات الضوئية اللاحلقية.

السؤال الثاني عشر

أدرس المُخطَّط المجاور الذي يُبيِّن خطوات عملية التخمُّر الكحولي، ثم أُجيب عن الأسئلة الآتية:



أ . ما اسم المرحلة المشار إليها بالرمز (ص)؟ أين تحدث؟

ب. ما اسم المُركَّب المشار إليه بالرمز (س)؟

ج. ما رقم الخطوة التي يُنتَج فيها غاز ثاني أكسيد الكربون؟

د. كم جزيئًا من الكحول الإثيلي ينتج من تحطُّم جزيء واحد من الغلوكوز؟

هـ. أُوضِّح كيف يستفاد من عملية التخمُّر الكحولي في صناعة المُعجِّنات.

السؤال الثالث عشر:

أُقارِن بين سلسلة نقل الإلكترون، والأسموزية الكيميائية في كل من الميتوكندريا والبلاستيدة الخضراء، مستعينًا بالجدول الآتي.

اسم العُضَيَّة / وجه المقارنة	الميتوكندريا	البلاستيدة
عملية الأيض التي تحدث فيها		
مصدر الطاقة		
مصدر الإلكترونات في سلسلة نقل الإلكترون		
استخدامات طاقة الإلكترونات في سلسلة نقل الإلكترون		
اتجاه حركة البروتونات H^+ في أثناء الأسموزية الكيميائية		
المُستقبِل النهائي للإلكترونات		

السؤال الرابع عشر:

أختار في ما يأتي من المجموعة الأولى ما يُناسِب العبارات في المجموعة الثانية، علمًا بأنَّه يُمكِن تكرار الاختيار من المجموعة الأولى، أو عدم الاختيار منها أصلًا:

المجموعة الأولى:

أ. التفاعلات الضوئية.

ب. التفاعلات اللاضوئية (كالفن).

ج. حلقة كربس.

د. التحلُّل الغلايكولي.

هـ. لا شيء ممّا ذُكِر.

المجموعة الثانية:

1. تحدث في السيتوبلازم.
2. يتحلَّل الماء.
3. ينتج البيروفيت.
4. ينتج السُّكَّر.
5. ينتج الأكسجين.

السؤال الخامس عشر:

أُنظِّم جدولًا للمقارنة بين بروتين الهيموغلوبين وبروتين الكولاجين، من حيث: عدد السلاسل، والذائبية في الماء، والشكل النهائي الثلاثي الأبعاد، والوظيفة الحيوية.

السؤال السادس عشر:

أ. كيف تُؤثِّر الحرارة في الشكل الثلاثي الأبعاد لزُلال البيض عند سلقه؟

ب. ما دور إنزيم التريبسين في هضم الزُّلال وتحويله إلى حموض أمينية قابلة للامتصاص؟