التّغذية

في النباتات والحيوانات

باتيا جلعاد

راحيل نوسينبوس

رونيت نعمان نئمان

نوريت باشان

© جميع الحقوق محفوظة لوزارة التربية

صدر بتمويل مركز تخطيط وتطوير المناهج التعليمية في وزارة التربية
وإدارة مركز تدريس العلوم، مركز التربية العلمية التكنولوجية على اسم عاموس دي - شليط

الجامعة العبرية في القدس مركز تدريس العلوم

وزارة التربية، السكرتارية التربوية، مركز تخطيط وتطوير المناهج التعليمية

إدارة مركز تدريس العلوم، مركز التربية العلمية التكنولوجية على اسم عاموس دي - شليط

2011

באישור
אגף ספרי לימוד
משרד החינוך
אישור מס': 4279
אושר בתאריך: 20.2.11

■ **طاقم التأليف:**

باتيا جلعاد، راحل نوسينبوس، رونيت نعمان - نئمان، نوريت بشان

■ **استشارة علمية:**

بروفسور اهود زيف، كلية الطب، الجامعة العبرية في القدس - الفصل الخامس (التنفس الخلوي).
بروفسور افراهم م. مئير رحمه الله، الجامعة العبرية في القدس - الفصل الثالث (التركيب الضوئي).
بروفسور زخاريا مدار، كلية العلوم الزراعية، الغذاء وعلوم البيئة المحيطة، الجامعة العبرية في القدس - الفصلان الثاني والرابع (مكوِّنات الغذاء وعملية الهضم عند الإنسان).
بروفسور بتي شفارتس، كلية العلوم الزراعية، الغذاء وعلوم البيئة المحيطة، الجامعة العبرية في القدس - الفصل السادس (التغذية وصحة الإنسان).
بروفسور حاييم تجاري، كلية العلوم الزراعية، الغذاء وعلوم البيئة المحيطة، الجامعة العبرية في القدس - الفصل الرابع (الحيوانات المجترة).

■ **الرسومات، التصميم والإنتاج:** نعومي افشتين، يوليا اجرنوفيش، إيلي راتنر - ستوديو جدعون دان.

■ **الرسومات الكريكاتيرية:** جدعون دان.

■ **فحص الصور:** رونيت نعمان - نئمان.

■ **معالجة حقوق الطبع:** رونيت نعمان - نئمان، شوشانا هرئيل.

■ **أعدت الكتاب للطباعة:** شوشانا هرئيل.

■ **تركيز التجربة:** رونيت نعمان - نئمان.

■ **باقة شكر**

لكل الذين قرأوا، قدموا ملاحظاتهم ولفتوا انتباهنا في مراحل الكتابة المختلفة:
د. روت أمير، مركز تدريس العلوم، الجامعة العبرية في القدس.
د. نوعا أبو العافية، مركز تخطيط وتطوير المناهج التعليمية، وزارة التربية.
د. نيطع عورفي، مركز تخطيط وتطوير المناهج التعليمية، وزارة التربية.
السيدة ميخال أونجر، مختصة نفسية بالتغذية، على ملاحظاتها حول موضوع اضطرابات التغذية.

لمعلمي التجربة وتلاميذهم الذين ساعدونا في استخلاص العبر للصيغة النهائية:
سيلفي إفن، سارة زيلبرفلد (الشاملة يهود)، ياعيل أوستر (المدرسة الدينية بني عكيفا موديعين، مكابيم رعوت)، نوريت باشان (ثانوية جفعات جونن، القدس)، هيليت اورن (المدرسة الزراعية، كفار هيروك، رمات هشارون)، نطع دجان (أميت، كفار باتيا، رعنانا)، مورين سهر (الشاملة عراد)، روتي كلاين، شلوميت روبين (ثانوية الدد، نتانيا).

للمصورين الذين صورهم تزين الكتاب (تفصيل الأسماء في نهاية الكتاب).
لطاقم تطوير تطبيق الحاسوب في تدريس العلوم والزراعة، كلية العلوم الزراعية، الغذاء وعلوم البيئة المحيطة، الجامعة العبرية في القدس، على موافقتهم استعمال المواد التي طوروها (تفصيل الفعاليات في نهاية الكتاب).
لمركز تخطيط وتطوير المناهج التعليمية، على موافقتهم استعمال المواد التي طوروها (تفصيل في نهاية الكتاب).

© جميع الحقوق على المواد التي أُدخلت في هذا الكتاب محفوظة لأصحابها.

ممنوع طباعة، نسخ، تصوير، ترجمة أو تخزين في مجمّع معلومات بكل طريقة أو وسيلة أخرى أي قسم أو مادة من هذا الكتاب.

إلى القراء الكرام

تحتاج جميع الكائنات الحية إلى تزويد مستمر في المواد المطلوبة لبقائها والتي تحصل عليها خلال عملية التغذية. يعرض كتاب "التغذية في النباتات والحيوانات" التجانس والتباين بين الكائنات الحية المختلفة بطريقة الحصول على المواد الغذائية.

يصف الكتاب المواد التي تغذي الكائنات الحية وطرق تغذيتها: في النباتات - عملية التركيب الضوئي واستيعاب الأملاح المعدنية وفي الحيوانات - استيعاب الغذاء، هضمه والطرق التي تُستغل بها المواد الغذائية لاستخراج الطاقة في الخلايا. ينتهي الكتاب في فصل واسع عن التغذية وصحة الإنسان.

يُتيح موضوع التغذية بحث عمليات تحدث في جميع مستويات التنظيم البيولوجي: ابتداءً من عمليات تحدث في الخلايا، عبر عمليات تحدث في الأعضاء والكائن الحي الكامل وحتى العمليات التي تحدث في مستوى النظام البيئي.

يتطرق الكتاب بشكل واسع إلى تدخُّل الإنسان في تغذية النباتات والحيوانات.

تظهر في الكتاب أقسام ثابتة فيها قِطع توسُّع ومضامين متعلقة بطريقة مباشرة بالمنهج التعليمي وتعرض أهميتها وعلاقتها بالمواضيع العليمية:

"نافذة البحث" — قِطع بحث محتلنة كثيرة، ترافقها أسئلة لتحليل نتائج البحث.

"قصة اكتشاف" — قصص تُثير الاهتمام عن اكتشافات مهمة متعلقة بالموضوع التعليمي.

"قليلًا من المعلومات" — قصص تربط بين الموضوع والحياة اليومية.

"توسُّع" — مضامين أكثر من المطلوب في المنهج التعليمي.

"أسئلة" — متنوعة وموسَّعة حول مستويات التفكير، وهي تُتيح استعمال متنوع لمهارات التفكير.

"صراع ذهني بيولوجي -أخلاقي" — تتجلى هذه الصراعات من المضامين التعليمية وتحتاج إلى اتخاذ قرار قيمي من خلال استعمال التبرير (الحُجج) والتنور المعرفي.

المواضيع الأساسية في الفصل

مصطلحات مهمة في الفصل

علاقة بموضوع

ربط الموضوع التعليمي بالمواضيع الأساسية.

الفكرة المركزية

ربط الموضوع التعليمي بالأفكار المركزية في البيولوجيا.

للمزيد عن

توجيه إلى المواضيع الموسَّعة في الكتاب.

أبرزنا **بلون** مصطلحات المنهج العليمي (تظهر هذه المصطلحات في قائمة أيضًا في نهاية كل فصل).

نأمل أن يساعدكم هذا الكتاب في توسيع معرفتكم حول التغذية في الطبيعة وتغذية الإنسان، لكي يُثير حب استطلاعكم العلمي وليشجعكم على التفكير الناقد لموضوع التغذية في الطبيعة عامةً وعلى الغذاء الذي تتناولونه خاصةً.

قراءة ممتعة وتعلُّم مثمر!

طاقم التطوير والترجمة

محتويات الكتاب

9 أ التغذية أساس الحياة

10 أ.1. التغذية حاجة مشتركة للجميع

11 أ.2. معنى المصطلح "غذاء"

11 أ.3. طرق التغذية: من أين تحصل الكائنات الحية على المواد التي تحتاجها لبقاؤها؟

12 أ.4. مصير المواد الغذائية في الكائنات الحية

13 أ.5. الطاقة في عمليات التغذية

14 المواضيع الأساسية في الفصل

14 مصطلحات مهمة في الفصل

15 ب مكونات الغذاء — مواد البناء الأساسية للكائنات الحية

مواد عضوية

17 ب1. كربوهيدرات

18 ب1.1 أحادية السكر

19 ب1.2 ثنائي السكر

21 ب1.3 متعددة السكريات

25 ب2. ليبيدات

25 ب2.1 الحوامض الدهنية — المواد الأساسية التي تبني الليبيدات

27 ب2.2 تريجلتسيريدات - دهنيات (fats) وزيوت (oils)

28 ب2.3 فوسفوليبيدات

28 ب2.4 ستروئيدات

29 ب3. بروتينات

33 ب4. فيتامينات

مواد غير عضوية

38 ب5. أملاح معدنية

41 ب6. ماء

43 المواضيع الأساسية في الفصل

44 مصطلحات مهمة في الفصل

45 ج عملية التركيب الضوئي — إنتاج مواد عضوية في النبات

46 ج1. نظرة عُلْويّة على عملية التركيب الضوئي
49 ج2. كيف نعرف؟ خطوات أولى في بحث عملية التركيب الضوئي
51 ج3. ملاءمة النبات لتنفيذ عملية التركيب الضوئي
51 ج1.3 ملاءمة النبات لاستيعاب معظم الضوء
53 ج2.3 ملاءمة الورقة لاستيعاب CO_2 وتقليص فقدان الماء
56 ج4. كلوروبلاستيدات واستيعاب الضوء
56 ج1.4 كلوروبلاستيدات
57 ج2.4 كلوروفيل
57 ج3.4 الكلوروفيل وابتلاع الضوء
60 ج5. مراحل عملية التركيب الضوئي
60 ج1.5 مرحلة استيعاب الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية
63 ج2.5 مرحلة تثبيت ثاني أكسيد الكربون–CO_2
65 ج6. نواتج عملية التركيب الضوئي: نقل، إدخار، واستغلالها في النبات
69 ج7. عوامل تؤثر على عملية التركيب الضوئي
69 ج1.7 تأثير شدة الضوء على وتيرة عملية التركيب الضوئي
70 ج2.7 تأثير CO_2 على وتيرة التركيب الضوئي
72 ج3.7 تأثير درجة الحرارة على وتيرة التركيب الضوئي
72 ج4.7 تأثير كمية الماء في التربة ورطوبة الهواء على وتيرة التركيب الضوئي
73 ج8. تدخُّل الإنسان: ازدياد عملية التركيب الضوئي بواسطة تغيير عوامل بيئية محيطة
74 ج9. تغذية النبات بالأملاح المعدنية وأهميتها لتطوره ولحدوث عملية التركيب الضوئي
77 ج1.9 تأثير الأملاح المعدنية على أداء النبات
79 ج2.9 تغذية النبات في الزراعة — تزبيل وتسميد
83 ج10. استيعاب ماء وأملاح معدنية بواسطة جذور النبات
83 ج1.10 ملاءمة الجذور لاستيعاب الماء والأملاح المعدنية بكمية قصوى
84 ج2.10 استيعاب ماء وأملاح معدنية من التربة
87 المواضيع الأساسية في الفصل
88 مصطلحات مهمة في الفصل

89 د التغذية والهضم في الكائنات الحية غير ذاتية التغذية

90 د1. مبادىء مبنى وأداء الجهاز الهضمي

96 د2. جهاز الهضم عند الإنسان

96 د1.2 الهضم في الفم

98 د2.2 انتقال الغذاء في المريء

99 د3.2 الهضم في المعدة

103 د4.2 الهضم في الأمعاء الدقيقة

105 د5.2 الإمتصاص في الأمعاء الدقيقة

108 د6.2 نشاطات في الأمعاء الغليظة

110 د3. العمليات الأيضية لنواتج الهضم

110 د1.3 الكبد — مفرق طرق مركزي في عمليات تبادل المواد في الجسم

112 د2.3 عمليات أيضية (تبادل مواد) في الخلايا

115 د4. الهضم في الحيوانات المجترة

115 د1.4 مبنى وأداء الجهاز الهضمي في الحيوانات المجترة

118 د2.4 العمليات الخاصة التي تحدث في الكرش

125 د5. نجاعة التغذية في بقرة الحليب

125 د1.5 أنواع الغذاء لتغذية حيوانات مجترة

126 د2.5 نجاعة إنتاج الحليب — التوازن السليم

130 المواضيع الأساسية في الفصل

132 المصطلحات المهمة في الفصل

133 هـ من مواد عضوية إل طاقة متوافرة — التنفس الخلوي

134 هـ1. نظرة إلى التنفس لخلوي

135 هـ2. ال ATP وسيط في انتقال الطاقة الذي يتم في الخلايا

138 هـ3. اشتراك ال ATP في عمليات تستهلك طاقة

140 هـ4. مسارات لإستخراج الطاقة في التنفس الخلوي

141 هـ1.4 الجليكوليزا — تحليل الجلوكوز إلى حامض الفيروبيك

142 هـ2.4 المسار الأول: استخراج الطاقة باشتراك الأكسجين — تنفس خلوي هوائي

150 هـ3.4 المسار الثاني: استخراج الطاقة دون اشتراك الأكسجين — تخمر وتنفس خلوي لا هوائي

157 هـ5. عملية التركيب الضوئي هي ليست عملية تنفس عند النباتات

160 المواضيع الأساسية في الفصل

161 المصطلحات المهمة في الفصل

163 **٩ التغذية وصحة الإنسان**

164 **و1.** موازنة الطاقة

165 **و1.1** عندما نأكل فإننا نستوعب طاقة

166 **و1.2** في الحياة — نستغل طاقة

169 **و1.3** توازن بين استيعاب الطاقة واستغلالها

171 **و2.** تنظيم استهلاك الغذاء

171 **و2.1** مركز الجوع ومركز الشبع

172 **و2.2** عوامل تؤثر على استهلاك الغذاء

175 **و3.** تغذية حكيمة ومتوازنة

175 **و3.1** هل توجد قاعدة "للتغذية الصحيحة"؟

176 **و3.2** الهرم الغذائي

183 **و3.3** مساهمة النشاط الجسماني لحياة صحية

187 **و4.** مشاكل التغذية في العالَم - الوفرة مقابل النقص

187 **و4.1** سوء التغذية

189 **و4.2** البدانة — وباء القرن الـ 21

192 **و4.3** الأخطار الكامنة في الوزن الزائد

195 **و4.4** تخفيف الوزن — وصفة غذائية (حِمية) قليلة الطاقة

196 **و5.4** اضطرابات في تناول الطعام

198 المواضيع الأساسية في الفصل

199 المصطلحات المهمة في الفصل

200 **ملحق**

جدول 1: فيتامينات في الإنسان — وظائفها في الجسم، مصادرها وتأثير نقص أو فائض في الفيتامينات

جدول 2: عناصر الأملاح المعدنية الضرورية في الحيوان والإنسان، مصادرها، وظائفها وعلامات النقص أو الفائض في الأملاح المعدنية

204 قاموس المصطلحات

222 دليل المصطلحات

228 مصادر وحقوق طبع

أ

التغذية أساس الحياة

أ1. التغذية حاجة مشتركة للجميع
أ2. معنى المصطلح "غذاء"
أ3. طرق التغذية: من أين تحصل الكائنات الحية على المواد التي تحتاجها لبقاؤها؟
أ4. مصير المواد الغذائية في الكائنات الحية
أ5. الطاقة في عمليات التغذية

المواضيع الأساسية في الفصل
مصطلحات مهمة في الفصل

الفصل الأول: التغذية أساس الحياة

أ1. التغذية حاجة مشتركة للجميع

تحتاج جميع الكائنات الحية - النباتات، الحيوانات الفطريات والبكتيريا إلى مواد، لكي تنمو، تتطور ولتنفِّذ وظائفها. تُستعمل المواد لاستخراج الطاقةلعمليات الحياة، وتُستعمل أيضًا كمادة خام لبناء خلايا وأنسجة وللأداء السليم لعمليات بيوكيميائية تتم في الكائن الحي. يحتاج الكائن الحي إلى طاقة لتنفيذ عمليات الحياة المختلفة، مثل: بناء مواد جديدة، حركة، نقل مواد عبر أغشية الخلايا، نقل رسائل في الجهاز العصبي وغير ذلك.

علاقة بموضوع

بيولوجيا الإنسان:
اتزان بدني، بيئة محيطة داخلية وخارجية.

في كل كائن حي، تحدث تغيُّرات كثيرة كل الوقت، لكن على الرغم من ذلك، يتم الحفاظ على بيئة محيطة داخلية ثابتة - **اتزان بدني** - وعلى نظام وترتيب داخلي. يحتاج كل من الحفاظ على اتزان بدني وعلى ترتيب نظام داخلي إلى **مواد وطاقة**.

العملية التي بواسطتها يستطيع الكائن الحي الحصول على مواد نسمِّيها **تغذية** ، وهي حاجة مشتركة لجميع الكائنات الحية سواءً كانت بكتيريا، فطريات، نباتات أو حيوانات.

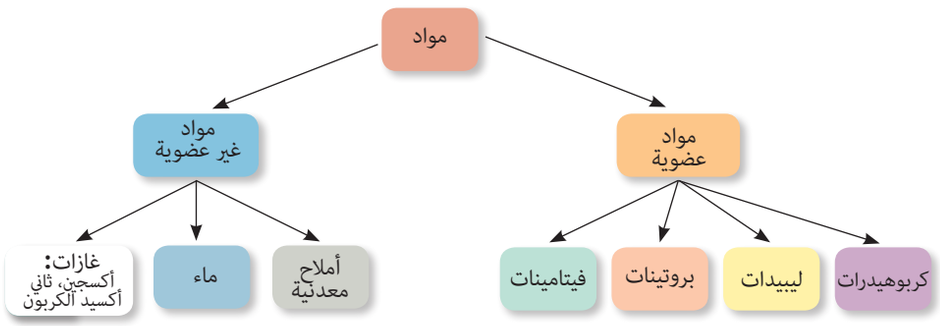
نقسِّم عادةً المواد الضرورية لبقاء الكائنات الحية إلى مجموعتين: مواد عضوية ومواد غير عضوية.

المواد العضوية مبنية من هيكل ذرات كربون مرتبطة بذرات هيدروجين وعادةً بذرات أكسجين أيضًا.

في قسم من المواد العضوية يوجد عناصر إضافية، مثل: النيتروجين، الفوسفور والكبريت.

تنتمي إلى المواد العضوية كل من الكربوهيدرات (السكريات)، الليبيدات (التي نسميِّها في حياتنا اليومية دهنيات)، البروتينات حوامض النواة والفيتامينات (تنتمي حوامض النواة إلى المواد العضوية أيضًا، لكن بما أنها تُبنى من نواتج تحليل مواد عضوية أخرى، لا نعتبرها عادةً من بين مكونات الغذاء).

مواد غير عضوية، هي جميع المواد في الطبيعة التي ليست مركبات كربون وهيدروجين، مثل:
الأملاح المعدنية، الماء والغازات في الهواء كثاني أكسيد الكربون والأكسجين (انظروا الرسمة أ - 1).



الرسمة أ - 1: المواد الضرورية لبقاء الكائنات الحية.

أ2. معنى المصطلح "غذاء"

الكلمة **غذاء** معروفة لنا من الحياة اليومية على أنها "الشيء" الذي نحصل عليه من البيئة المحيط بنا، نشتريه من الدكان ونأكله. كما هو الأمر عندنا، فالحيوانات تحتاج إلى غذاء أيضًا، وهي تحصل عليه من أكل النباتات، افتراس حيوانات أخرى، أو تعتمد على الإنسان الذي يزودها بالطعام.

أما بالنسبة للنباتات، المصطلح "غذاء" له معانٍ تبدو لنا كأنها متناقضة:

نقول عادةً "أن النباتات (وبكتيريا معينة) تُنتِج غذائها بذاتها"، لكننا نعرف أنه من الضروري ري النباتات بمحلول أملاح معدنية مختلفة نسمِّيها "محلول غذاء".

لكي نفهم هذا التناقض، نفحص، ما هو الغذاء؟

الغذاء هو كل ما يستخدمه الكائن الحي كمصدر لمواد البناء، للنمو، لأداء الوظيفة ولإستخراج الطاقة(مواد عضوية ومواد غير عضوية). العملية التي بواسطتها تستطيع الكائنات الحية الحصول على غذائها نسمِّيها **تغذية**.

فيما بعد، نتعلم أن عملية تغذية النبات تعتمد على إنتاج مواد عضوية بشكل ذاتي، حيث تحتاج هذه العملية إلى استيعاب ماء وأملاح معدنية من التربة.

أ3. طرق التغذية: من أين تحصل الكائنات الحياة على المواد التي تحتاجها لبقاؤها؟

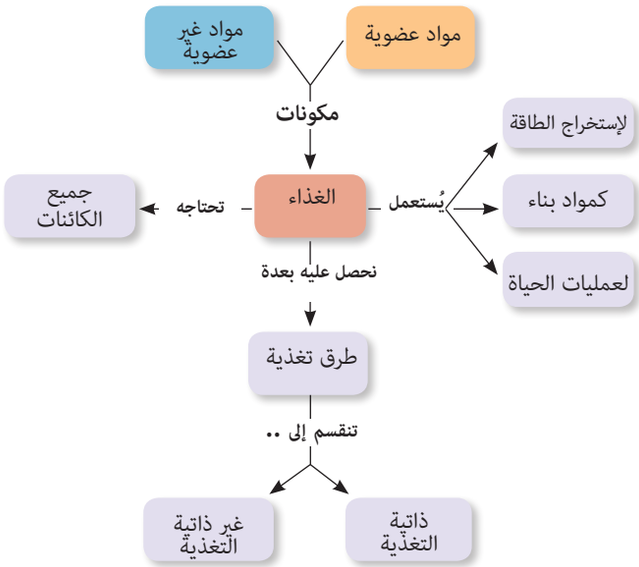
تستوعب جميع الكائنات الحية، من البيئة المحيطة، **المواد غير العضوية**، مثل: الماء، الأملاح المعدنية والغازات. أما بالنسبة لطريقة الحصول على **مواد عضوية**، فإننا نقسِّم الكائنات الحية إلى مجموعتين: كائنات حية **ذاتية التغذية**، وهي تُنْتِج بذاتها، على الأغلب خلال عملية التركيب الضوئي، مواد عضوية من مواد غير عضوية. أما الكائنات الحية **غير ذاتية التغذية**، فهي غير قادرة على إنتاج مواد عضوية من مواد غير عضوية بسيطة، لذا يجب أن تحصل على مواد عضوية في غذاؤها.

علاقة بموضوع

الخلية - مبنى ونشاط: *مبنى الخلايا وعمليات في الخلية.*

علم البيئة: *طرق التغذية، مُنْتِجات، مستهلكات.*

نباتات وبكتيريا معينة هي كائنات حية ذاتية التغذية، أما الإنسان، الحيوانات، الفطريات ومعظم البكتيريا هي غير ذاتية التغذية.
لذا، على الرغم من أن الكائنات الحية تحتاج إلى نفس المواد وتتم في خلاياها عمليات متشابهة، إلا أنها تختلف عن بعضها بطرق التغذية- ذاتية التغذية أو غير ذاتية التغذية وبنوع المواد التي يجب الحصول عليها من البيئة المحيطة.
يجسد الرسم التخطيطي للمصطلحات (الرسمة أ- 2) العلاقة بين مواد التغذية، استعمالاتها وطرق الحصول عليها.



الرسمة أ - 2: العلاقة بين المواد الغذائية استعمالاتها وطرق الحصول عليها

أ4. مصير المواد الغذائية في الكائنات الحية

فكرة مركزية

تجانس وتباين
على الرغم من أن هناك تباين بين الكائنات الحية المختلفة في الحجم، الشكل، طريقة الحياة، أو مكان نموها، إلا أنها مبنية من نفس مواد البناء الأساسية.

يحتاج الأداء السليم للخلايا إلى تزويد مستمر في المواد العضوية وغير العضوية. مواد غذائية كثيرة مبنية من جزيئات عضوية كبيرة ومعقدة وهي لا تستطيع أن تدخل البيئة الداخلية للجسم والخلايا، لذا في البداية، يجب أن تمر هذه الجزيئات الكبيرة بعملية تحليل إلى مواد بناء أساسية: البروتينات إلى حوامض أمينية، الليبيدات إلى حوامض دهنية وجليتسيرول، الكربوهيدرات إلى أحادية السكر، وبهذا الشكل تستطيع المواد الغذائية أن تدخل عبر غشاء الخلية.

وهكذا يَنْتُج تنوع كبير من الجزيئات العضوية التي تبني غذاء كائن حي معين، حيث تتحلل في جسمه إلى عدد قليل من مواد البناء الأساسية التي تُبنى منها جزيئات عضوية جديدة خاصة به.

الإنسان على سبيل المثال، لا يستطيع أن يستغل بروتينات حليب البقرة كما هي لبناء الخلايا في جسمه. تتحلل بروتينات حليب البقرة في الجهاز الهضمي للإنسان إلى حوامض أمينية ومن الحوامض الأمينية تُبنى بروتينات خاصة للإنسان.
إضافةً إلى ذلك، قد تتحول في جسم الكائن الحي مواد عضوية من مجموعة معينة إلى مواد عضوية من مجموعة أخرى. مثلًا: يمكن أن نبني الدهنيات من الكربوهيدرات الموجودة في الغذاء، وكلنا نعرف أن تناول كميات كبيرة من الحلويات، يؤدي في نهاية الأمر إلى السمنة الزائدة.

وفي النباتات أيضًا، تتحول مواد عضوية من مجموعة معينة إلى مواد عضوية من مجموعة أخرى. فمن الكربوهيدرات التي تَنْتُج في عملية التركيب الضوئي ومن الأملاح المعدنية التي يستوعبها النبات من البيئة المحيطة، يستطيع النبات أن يبني جميع المواد العضوية التي يحتاجها.

أ5. الطاقة في عمليات التغذية

كما ذكرنا، المواد العضوية الموجودة في الغذاء— كربوهيدرات، دهنيات وبروتينات — تزوِّد الكائن الحي بمواد بناء أساسية يحتاجها وبمواد مختلفة تُنظِّم نشاطه، والأهم من ذلك أن المواد العضوية هي مصدر **لاستخراج الطاقة** المطلوبة للكائن الحي لكي تتم فيه عمليات الحياة.

ما هي الطاقة؟ على الرغم من أهمية مصطلح الطاقة لفهم العمليات التي تتم في جميع مستويات التنظيم في الطبيعة، إلا أنه لا يوجد تعريف واحد متفق عليه لمصطلح الطاقة. أحد التعريفات هو القدرة على تنفيذ عمل، لكن هذا التعريف غير مقبول على الجميع.

تظهر الطاقة في الطبيعة بأشكال مختلفة، مثل: طاقة حرارية، طاقة كيميائية، طاقة ضوئية وطاقة حركة. يمكن أن يتحول شكل معين من الطاقة إلى شكل آخر وهذا التغيير نسمِّيه **تحولات الطاقة**.

في قسم من العمليات التي نبحثها في هذا الكتاب، تتم تحولات للطاقة: في عملية التركيب الضوئي التي تتم في النبات، تتحول طاقة ضوئية إلى طاقة كيميائية في الكربوهيدرات، أما في خلايا العضلات، تتحول طاقة كيميائية إلى طاقة حركة وطاقة حرارية.

قد تتم عملية **انتقال الطاقة** من جسم إلى آخر، أو من مادة إلى أخرى دون أن يتغيَّر شكل الطاقة. مثلًا: في عمليات استخراج الطاقة التي تتم في كل خلية من خلايا الجسم، تنتقل الطاقة الكيميائية الموجودة في جزيء الجلوكوز إلى طاقة كيميائية في جزيئات الـ **ATP**.

كما تعلمتم وفي هذا الكتاب أيضًا نتوسع في هذا الموضوع، تُستعمل جزيئات الـ **ATP** كوسيط طاقة وهي تُتيح تنفيذ عمليات مختلفة (في الخلية) تحتاج إلى طاقة لكي تحدث، مثل: بناء مواد،نقل مواد عبر غشاء الخلية، انقباض خلايا عضلات وغير ذلك.

تشكل الكائنات الحية بهذه الطريقة نظامًا لتحويل وانتقال الطاقة: من طاقة ضوئية نستغلها في عملية التركيب الضوئي إلى طاقة كيميائية في المواد الغذائية، ومن ثم إلى طاقة كيميائية في جزيئات الـ **ATP** ولأشكال طاقة أخرى، مثل: طاقة الحركة وطاقة حرارية.

سؤال أ - 1:

أمامكم أزواج من المصطلحات: اكتبوا جملة أو اثنتان تصف العلاقة بينهما

1. مواد عضوية — عنصر الكربون.
2. ذاتية التغذية — تركيب ضوئي.
3. غير ذاتية التغذية— سلسلة غذائية.
4. مواد عضوية وغير عضوية — تعريف غذاء.
5. عمليات هضم — بيئة داخلية.
6. انتقال طاقة — **ATP**.
7. تحولات طاقة — طاقة حرارية.

في هذا الكتاب، نبحث أسئلة متعلقة بالتغذية والغذاء، مثل:

- لأي الأغراض تُستعمل المواد الغذائية في الحيوان والنبات؟ وماذا يحدث في حالة نقص مواد غذائية؟
- في أي عملية في النبتة يتم إنتاج مواد عضوية من مواد غير عضوية؟ وما هي العوامل التي تؤثر على هذه العملية؟
- ما هي العملية التي تؤدي إلى مواد غذائية مبنية من جزيئات كبيرة أن تدخل خلايا الجسم؟
- كيف يمكن أن يكون النبات مصدر طاقة كاف لحيوان نباتي كتلته كبيرة (مثل: بقرة وجَمَل)؟
- كيف يستطيع الإنسان أن يؤثر على تغذية النباتات والحيوانات؟
- ما هي العملية المشتركة للنباتات والحيوانات التي تُتيح استخراج طاقة متوافرة من المواد الغذائية لإحتياجات الخلية؟
- كيف تؤثر كمية وجودة الغذاء على صحة الإنسان؟

المواضيع الأساسية في الفصل

- تُستعمل المواد الغذائية مصدر لاستخراج طاقة لعمليات الحياة، مادة خام لبناء خلايا وأنسجة، وهي ضرورية لتنفيذ عمليات بيوكيميائية مختلفة بشكل سليم.
- التغذية هي عملية بواسطتها تستطيع كائنات حية مختلفة الحصول على مواد غذائية ضرورية لبقاؤها.
- تنقسم المواد الغذائية إلى قسمين: مواد عضوية هيكلها ذرات كربون مرتبطة بها ذرات هيدروجين وفي معظم الحالات أكسجين أيضًا، مثل: الكربوهيدرات، الليبيدات، البروتينات والفيتامينات، ومواد غير عضوية غير مبنية من كربون وهيدروجين، مثل: الماء، الأملاح المعدنية، الأكسجين وثاني أكسيد الكربون.
- تنقسم الكائنات الحية إلى مجموعتين بحسب الطريقة التي تحصل بها على المواد الغذائية العضوية: كائنات حية غير ذاتية التغذية (مستهلكات)، يجب على هذه الكائنات الحية أن تحصل على مركبات عضوية أثناء عملية التغذية، وكائنات حية ذاتية التغذية (مُنْتِجات) قادرة على تنفيذ عملية التركيب الضوئي وإنتاج مواد عضوية (كربوهيدرات وغيرها) من مواد غير عضوية.
- بعد تحليل المواد العضوية إلى مواد بناء أساسية، تتحول المواد الأخيرة في جسم الكائن الحي إلى مواد عضوية أخرى لبناء الخلايا.
- تظهر الطاقة في الطبيعة بأشكال مختلفة — طاقة حرارية، طاقة كيميائية، طاقة ضوئية وطاقة حركة. يمكن أن يتحول شكل معين من الطاقة إلى طاقة أخرى. مثلًا: في عملية التركيب الضوئي، تتحول طاقة ضوئية إلى طاقة كيميائية.
- في عمليات استخراج الطاقة في الخلايا، تنتقل الطاقة الكيميائية من مواد عضوية إلى طاقة كيميائية في جزيئات الـ **ATP**. تُتيح جزيئات الـ **ATP** تنفيذ عمليات تستهلك طاقة في الخلايا.

مصطلحات مهمة في الفصل

كائنات حية ذاتية التغذية — تحولات طاقة — غذاء
كائنات حية غير ذاتية التغذية — مواد عضوية — انتقال طاقة
تغذية — مواد غير عضوية

حوامض دهنية ضرورية

فيتامينات

مكونات الغذاء

مواد عضوية

كربوهيدرات

مكوِّنات الغذاء - مواد البناء الأساسية للكائنات الحية

ب

كولسترول

مواد عضوية
ب1. كربوهيدرات
ب2. ليبيدات
ب3. بروتينات
ب4. فيتامينات
مواد غير عضوية
ب5. أملاح معدنية
ب6. ماء
المواضيع الأساسية في الفصل
مصطلحات مهمة في الفصل

بروتينات

سكر أحادي

متعدد السكريات

أحماض أمينية

مواد إدخارية

ليبيدات

مواد غير عضوية

جلوكوز

تريجلتسيريدات

الفصل الثاني: مكوِّنات الغذاء — مواد البناء الأساسية للكائنات الحية

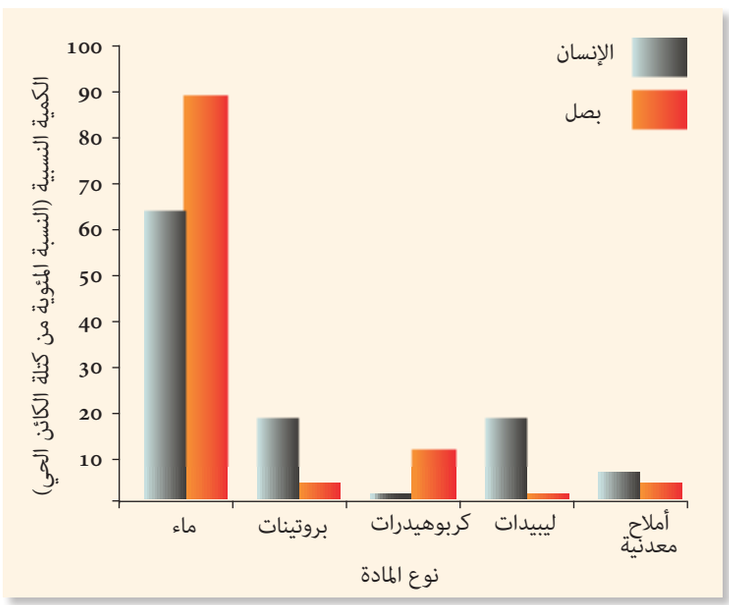
علاقة بموضوع

علم البيئة:
سلسلة غذائية.

تعيش حيوانات مختلفة، نباتات مختلفة، بكتيريا وفطريات مع بعضها في بيئات حياتية مختلفة. المواد التي تبني جسمًا كائنًا حيًّا معينًّا تُستعمل كغذاء لكائن حي آخر.
نتعرف في هذا الفصل على المواد التي تبني أجسام جميع الكائنات الحية وهذا يعني المبنى الكيميائي الأساسي ووظائفها في الكائنات الحية.

من المهم الانتباه إلى الكائنات الحية غير ذاتية التغذية التي يوجد بينها تشابه كبير جدًا في مجموعات المواد التي تكوِّن جسمها وبين مكونات غذاءها. على الرغم من ذلك، من المهم أن تتذكروا أن مكونات الغذاء لا تُستخدم في الكائن الحي كما هي موجودة في الغذاء، بل تتحلل إلى مواد بناء أساسية لبناء الكائن الحي ومكونات جسمه.

ما هي المواد التي تبني الكائنات الحية؟!



الرسمة ب - 1: المواد الأساسية التي تبني الكائنات الحية (على سبيل المثال: الإنسان والبصل) والنسب الكمية بينها.

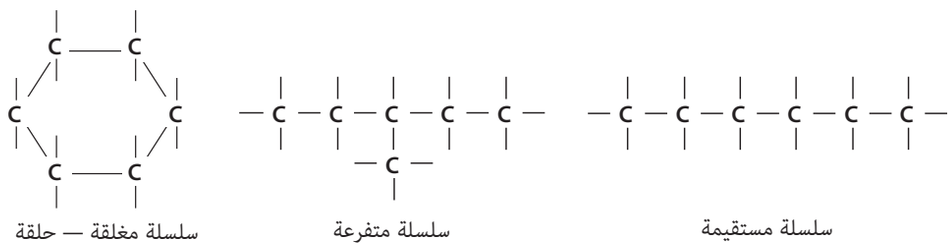
الفكرة المركزية

التجانس والتباين:
الكائنات الحية المختلفة مبنية من نفس المواد.

تصف الرسمة ب - 1 مجموعات المواد التي تبني جسم الإنسان كممثِّل للحيوانات والبصل كممثِّل للنباتات. نلاحظ في الرسمة أن الكائنات الحية المختلفة مبنية من نفس مجموعات المواد، لكنها تختلف عن بعضها في النسب الكمية.

المواد العضوية

المواد العضوية هي مركبات تعتمد على الصفات الخاصة لذرة الكربون. الكربون هو مكون أساسي ومهم في الكائنات الحية وهو يشكِّل أكثر من نصف المادة الجافة الموجود فيها (المادة الجافة هي مجموع المواد في الكائن الحي باستثناء الماء). قدرة الترابط الخاصة لذرة الكربون هي التي تكسبها وظيفة مركزية في الكائنات الحية. تستطيع كل ذرة كربون أن تكوِّن أربعة روابط ثابتة. وهذه الروابط يمكن أن تكون أحادية (فردي)، ثنائية (زوجي) وثلاثي، مما يؤدي ذلك إلى زيادة التنوع في مبنى المواد التي تستطيع أن تكوِّنها.
إضافة إلى ذلك، تستطيع ذرات الكربون المرتبطة ببعضها أن تبني سلاسلًا، أحيانًا تكون طويلة جدًا.
قد تتفرع هذه السلاسل أو تكوِّن مباني خاصة (مثلًا: حلقات) كما نرى ذلك في الرسمة ب - 2.
تُستعمل السلاسل والحلقات كهيكل ترتبط به ذرات هيدروجين، أكسجين وعناصر أخرى، وهكذا يتحول عدد المباني إلى لا نهائي. نعرف اليوم حوالي 10 مليون مركب عضوي يختلف في المبنى وكل الوقت نكتشف مركبات جديدة.



الرسمة ب -2: مباني مركبات كربونيةمختلفة: ترتبط كل ذرة كربون بأربعة ذرات أخرى وتكوِّن سلاسل مستقيمة، سلاسلة متفرعة وحلقات.

نتعرف في البنود القادمة على أنواع المواد العضوية وصفاتها.

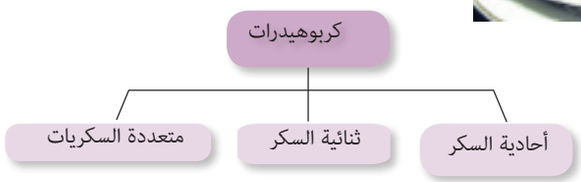
ب1. كربوهيدرات

في معظم المجتمعات، المكون الأساسي للغذاء عند الإنسان هو الكربوهيدرات: الرز في الصين، البسطا في ايطاليا وأنواع خبز مختلفة في جميع أنحاء العالَم.
استعينوا بالرسمة ب - 1، ثم قدِّروا كتلة الكربوهيدرات من كتلة جسم الإنسان.
هل تفاجئتم؟
كما رأيتم، تشكل كمية الكربوهيدرات جزءًا صغيرًا نسبيًا من جسم الأنسان.
إذن إلى أين "تختفي" الكربوهيدرات؟
معظم الكربوهيدرات التي يستهلكها الإنسان والحيوانات تُستغل كمصدر لاستخراج طاقة متوافرة (ATP) خلال عملية التنفس الخلوي.

الكربوهيدرات (carbohydrates) هي مركبات عضوية شائعة في الطبيعة. تشكل الكربوهيدرات مكونًا أساسيًا في مبنى جدار الخلية، لذا فهي تشكِّل مكونًا أساسيًا في الكتلة الجافة للنباتات والبكتيريا (في النبات: 60%-70%). (نقيس الكتلة الجافة بعد تجفيف النسيج في الفرن بشكل مطلق، وهي مقياس لكتلة الكائن الحي دون الماء الذي يحتويه). أما في الحيوانات والإنسان، كمية الكربوهيدرات نسبة للكتلة الجافة العامة للجسم هي أقل بكثير من النباتات.

إضافةً إلى كون الكربوهيدرات مصدرًا أساسيًا لاستخراج طاقة متوافرة في جميع الكائنات الحية، فإنَّ الكربوهيدرات تُستعمل كمادة إدخارية. فيتم تخزينها في النباتات كنشا وفي الحيوان كجليكوجين.
كما أن الكربوهيدرات تُشكل جزءًا من مبنى حوامض النواة (**DNA** وَ**RNA**) وهي مرتبطة أيضًا بالليبيدات (دهنيات) أو بالبروتينات بمبانٍ مختلفة في الخلية.

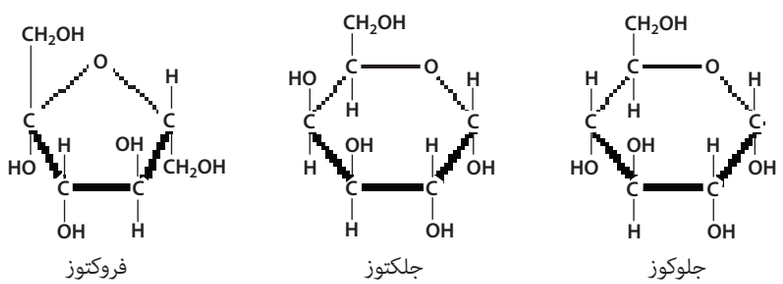
الصيغة العامة للكربوهيدرات هي $C_x(H_2O)_y$، حيث نتعرف منها على النسب الكمية بين العناصر: النسبة بين ذرات الهيدروجين والأكسجين في الكربوهيدرات مماثلة للنسبة بين الأكسجين والهيدروجين في جزيء الماء ومن هنا ينبع اسمها: كربوهيدرات - كربون وماء. تنقسم الكربوهيدرات إلى ثلاث مجموعات أساسية بحسب عدد وحدات السكر الأساسية التي تبنيها (الرسمة ب - 3).



الرسمة ب - 3: المجموعات الثلاث الأساسية للكربوهيدرات

ب1.1 أحادية السكر

أحاديات السكر هي مواد البناء الأساسية للكربوهيدرات. لأحاديات السكر الشائعة يوجد هيكل مكوَّن من 5 أو 6 ذرات كربون مرتبة في الفراغ كحلقات خماسية أو سداسية (في مبنى الحلقة الواحدة، يوجد ذرة أكسجين واحدة والذرات الأخرى هي كربون).
مبنى أحاديات السكر بلوري، مذاقها حلو وهي تذوب جيدًا في الماء.
يوجد أهمية غذائية لثلاثة أحاديات سكر وهي: جلوكوز، جلكتوز وفروكتوز وصيغتها العامة متماثلة $C_6H_{12}O_6$، لكن تختلف عن بعضها بترتيب الذرات في الجزيء، كما نلاحظ ذلك في الرسمة ب - 4.



الرسمة ب - 4: صيغ المبنى لأحاديات السكر الثلاثة الشائعة.

المعروف والشائع من بين أُحاديات السكر هو الجلوكوز (سكر العنب). وهو يُستخدم كمصدر طاقة أساسي في عملية التنفس الخلوي عند النباتات والحيوانات.
الجلوكوز موجود بشكل حر في الثمار المختلفة، بالأساس في العنب، التين والتمر وفي العسل أيضًا.
الجلوكوز هو مادة البناء الأساسية لسكريات معقدة وهو مادة خام لمركبات أخرى.
الجلكتوز غير موجود في الطبيعة كأحادي سكر بحد ذاته، بل هو جزء من سكر الحليب - اللاكتوز (ثنائي سكر).
الفروكتوز موجود في العسل، الفواكه الخضروات وفي رحيق الأزهار. الفروكتوز هو السكر الأكثر حلاوةً . (أحلى من الجلوكوز بضعف ونِصف).

في معظم الكائنات الحية، تستطيع إنزيمات معينة أن تغيِّر الجلوكتوز والفروكتوز إلى جلوكوز وهكذا تستغلها كمصدر للطاقة.

قليلًا من المعلومات عن ...

أهمية السكر لمخ الإنسان

تستطيع معظم خلايا الحيوانات والإنسان أن تستخرج طاقة من تحليل وأكسدة الجلوكوز ومن تحليل وأكسدة حوامض دهنية، أما خلايا الجهاز العصبي فهي تستطيع أن تستغل الجلوكوز فقط كمصدر طاقة. إنَّ النقص في تزويد الجلوكوز للمخ يؤدي إلى فقدان الوعي والموت خلال دقائق. يجب أن نعرف أيضًا أن فائض جلوكوز في الدم يؤدي إلى أضرار مختلفة. لذا يوجد أهمية كبرى للحفاظ على مستوى جلوكوز سليم في الدم.

سؤال ب - 1:

إحدى ظواهر الانخفاض الحاد في مستوى السكر في الدم (هيبوجليكيما، هيبو= منخفض جدًا، جليكيميا= سكر) هي البلبلة.

أ. لماذا، بحسب رأيكم، يؤدي مستوى منخفض للجلوكوز في الدم إلى بلبلة؟

ب. ما هي توصياتكم لعلاج شخص تبدو عليه ظواهر هيبوجليكيميا؟

فكرة مركزية

التنظيم والاتزان البدني:
يتم الحفاظ على مستوى الجلوكوز في الدم بمجال قيم ضيق.

هناك أحاديات سكر أخرى شائعة، مثل: الريبوز والديؤكسي ريبوز التي تختلف قليلًا في مبناها الكيميائي عن أحاديات السكر التي تعرفنا عليها. يتم إنتاج الريبوز والديؤكسي ريبوز في كل خلية حية وهي تشكل مكونًا مهمًا في مبنى حوامض النواة. ويشترك الريبوز أيضًا في بناء مركبات أخرى في عالَم الأحياء، مثلًا الـ **ATP**.

ب2.1 ثنائي السكر

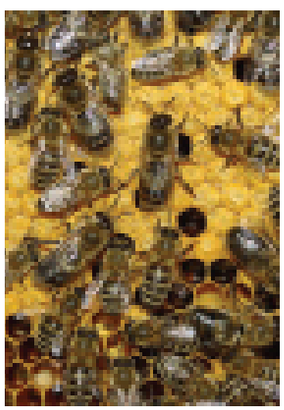
ثنائي السكر مبني من وحدتَيْ أُحادي سكر مرتبطة ببعضها. مذاقه حلو وهو يذوب في الماء. **السكروز** هو أحد ثنائيات السكر الشائعة في الطبيعة، وعندما نقول في حياتنا اليومية "سكر"، فإننا نقصد السكروز الموجود بكثرة في قصب السكر، الشمندر، الجزر وفي معظم الفواكه وأيضًا في السائل الذي تفرزه شجرة القيقب (التي نُنْتِج منها العصير المركّز لشراب القيقب). السكروز مبني من أحاديْ سكر وهما الجلوكوز والفركتوز.

قليلًا من المعلومات عن ...

العسل

يحتوي رحيق الأزهار على سكريات مختلفة، من بينها السكروز. لإنتاج 0.5 كغم عسل لتغذية اليرقات والنحل البالغ في خلية نحل، في أشهر الشتاء، نحتاج إلى 160,000 نحلة لكي تجمع رحيق من 2 مليون زهرة. يوجد إنزيمات خاصة في لعاب "ومعدة" النحل، وهي تقوم بتحليل السكروز الموجود في رحيق الأزهار إلى فروكتوز وجلوكوز. ينتقل معظم الرحيق الذي تمَّ تحليله من "معدة النحلة" عبر المريء إلى الفم ومن هناك إلى خلية النحل (حيث يُستعمل قسم قليل منه لتغذية النحلة).

الرحيق الذي تمَّ تحليله ونقله هو مائي، لذا تقوم مجموعة من النحل برفرة جناحها فوقه لتبخّر الماء منه وللحصول على محلول فيه تركيز عالٍ من السكريات. يساهم هذا التركيز العالي في منع تطور البكتيريا التي تضر بالعسل.



الملتوز هو ثنائي سكر، نجده في بذور نباتات مختلفة في مراحل إنبات مختلفة وفي الحيوانات كناتج وسطي أثناء تحليل النشا. الملتوز مبني من وحدتَيْ جلوكوز.

اللاكتوز أو سكر الحليب هو ثنائي سكر موجود في حليب الثدييات وهو يحسِّن استيعاب الكالسيوم من الحليب في الجهاز الهضمي.

يتم تنشيط هضم اللكتوز بواسطة الإنزيم لاكتاز الموجود في الأمعاء وهو يحلِّل اللاكتوز إلى مكوِّناته - جلوكوز وجلكتوز.

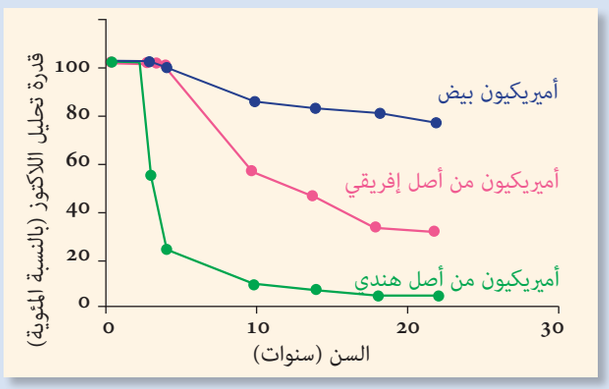
نافذة البحث

عدم تحمل سكر الحليب

في مجموعات مختلفة من بني البشر، معروفة ظاهرة عدم تحمل اللاكتوز. الأشخاص الذين يعانون من هذه الظاهرة ينقصهم بشكل جزئي أو مطلق الإنزيم لاكتاز الذي يحلِّل سكر الحليب. إذا كان في غذاء هؤلاء الأشخاص مواد غذائية تحتوي على اللاكتوز (مثلًا: مُنْتَجات الحليب)، فإنهم يعانون من اضطرابات في الهضم، بما في ذلك إسهال وإطلاق غازات. يؤدي اللاكتوز الذي لم يُحلَّل إلى ارتفاع الضغط الأسموزي في الأمعاء، مما يؤدي ذلك إلى تراكم المياه التي تؤدي إلى الإسهال. إضافة إلى ذلك، اللاكتوز الذي لم يُحلل ويصل بشكل كامل الأمعاء الغليظة، تُحلِّله بكتريا الأمعاء ونواتج التحليل هي غازات تؤدي إلى عدم راحة وإلى آلام. نوصي الأشخاص الذين يعانون من عدم تحمل اللاكتوز أن يقللوا من استهلاك الحليب ومنتجاته وأن يستعملوا بدائل (مثلًا: حليب الصويا، ومُنْتَجات التوفو)، أو يستعملوا مُنْتَجات قليلة اللاكتوز وفقًا للظاهرة الموجودة عندهم.

سؤال ب- 2:

تصف الرسمة 5 قدرة هضم اللاكتوز بالنسبة المئوية عند ثلاث مجموعات مختلفة.



الرسمة ب - 5: قدرة تحليل اللاكتوز بالنسبة المئوية عند ثلاث مجموعات بأعمار مختلفة.

أ. بناءً على رسمة ب - 5، سجِّلوا المميز المشترك لجميع أنواع المجموعات الثلاث حول قدرة هضم اللاكتوز. ما هي أهمية هذا المميز؟

ب. ما هي الفروق الملحوظة بين المجموعات الثلاث في سن 20؟ اقترحوا شرحًا ممكنًا لهذه الفروق.

ج. هل، بحسب رأيكم، الفروق التي ذكرتموها في بند ب تنبع بالأساس من عوامل وراثية أو عوامل بيئية محيطة للتغذية؟ اشرحوا إجاباتكم.

د. هل نستطيع، بحسب رأيكم، مساعدة الأشخاص الذين يعانون من نقص في إنزيم لاكتاز، من خلال تزويدهم بإنزيم لاكتاز عبر الفم؟ اشرحوا.

ب3.1 متعددة السكريات

متعددة السكريات هي جزيئات مبنية من وحدات كثيرة جدًا من أحاديات سكر متماثلة أو مختلفة مرتبطة ببعضها.

بعكس أحاديات السكر وثنائيات السكر، فإنَّ متعددة السكريات لا يوجد لها مذاق حلو ولا تذوب في الماء، لكن لديها القدرة على امتزاز جزيئات ماء، وفي هذه الحالة يكبر حجمها.

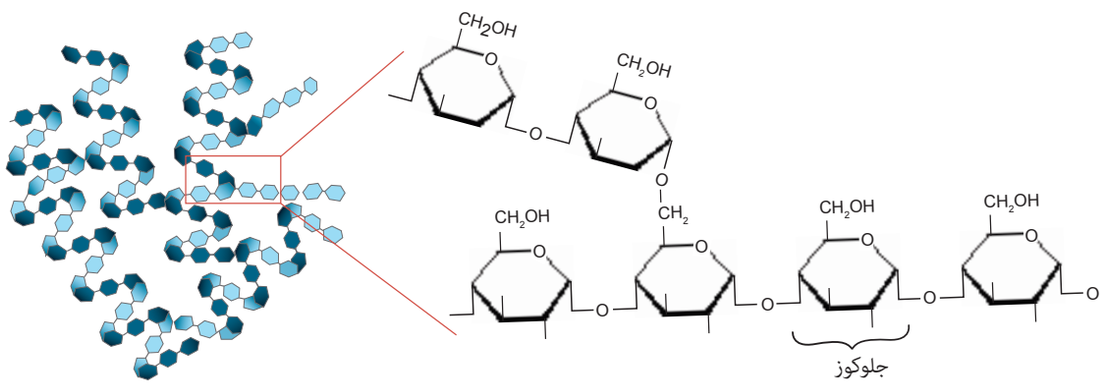
متعددة السكريات التي وحدة بنائها الأساسية جلوكوز هي: نشا، جليكوجين وسيلولوز. تختلف هذه المواد عن بعضها بنوع الرابط الكيميائي بين وحدات البناء الأساسية، أو بشكل تفرع السلسلة.

تنقسم متعددة السكريات الشائعة في الكائنات الحية بحسب وظيفتها إلى مجموعتين:

متعددة سكريات تُستخدم كمواد إدخارية ومتعددة سكريات تُستخدم كمواد بناء.

المادة الإدخارية هي مادة يبنيها الكائن الحي، يخزنها ويستعملها وقت الحاجة، وتُستعمل المواد الناتجة من تحليل المادة الإدخارية كمصدر للطاقة وكمواد لبناء الكائن الحي.

الجليكوجين هو مادة إدخارية في الحيوانات. الجليكوجين مبني من وحدات جلوكوز كثيرة مرتبطة ببعضها بسلسلة متفرعة (الرسمة ب -6).



الرسمة ب - 6: على اليسار: قطعة جليكوجين متفرعة وهي مبنية من وحدات جلوكوز كثيرة. انتبهوا إلى المبنى اللولبي.
على اليمين: تكبير مقطع من السلسلة.

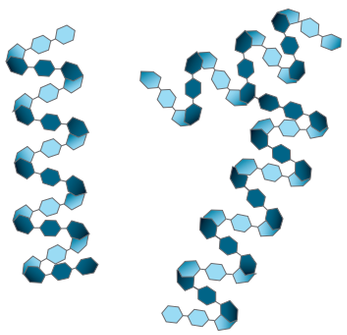
يوجد في جسم الإنسان مخزن صغير للمادة الإدخارية جليكوجين. يتم تخزين الجليكوجين على شكل حبيبات في سيتوبلازما الخلية. نجده بكميات كبيرة بالأساس في الأنسجة التي تستهلك طاقة كثيرة، مثل: الكبد، العضلات والكلى. يشكل الجليكوجين حوالي 3%-5% من كتلة نسيج الكبد وَ 0.5%-1% من كتلة نسيج العضلات.

عندما ينخفض تركيز السكر في الدم، مثلًا: بعد مرور عدة ساعات على وجبة معينة، فإنَّ الجليكوجين يتحلل إلى وحدات جلوكوز تخرج إلى الدم.

سؤال ب - 3:

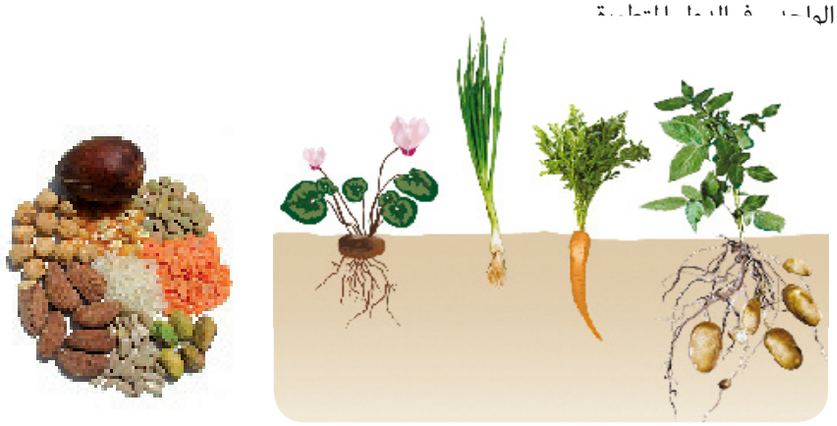
من المعروف أنه يوجد عند الإنسان اضطراب وراثي نادر جدًا نسمّيه "ظاهرة إدخار الجليكوجين" يتراكم الجليكوجين في هذا المرض ولا يستطيع الجسم أن يحلّله. يجب على هؤلاء الأشخاص الذين يعانون من هذا المرض أن يحافظوا على تناول جلوكوز كل عدة ساعات، كما يجب عليهم أثناء النوم أن تكون أجسامهم مرتبطة بأنبوبة تغذية تقوم بتزويد أجسامهم بالجلوكوز. دون هذا الجهاز، قد يموت هؤلاء الأشخاص أثناء نومهم. اشرحوا أهمية تنفيذ هذه الإجراءات لهؤلاء الأشخاص الذين يعانون من هذا المرض. تطرقوا أثناء شرحكم إلى وظيفة الجلوكوز.

النشا هو مادة تخزين في النباتات. وكما هو الأمر مع الجليكوجين، فإنَّ النشا متعدد السكريات وهو مبني من وحدات جلوكوز كثيرة مرتبطة ببعضها بسلاسل لولبية.
قسم من سلاسل النشا متفرعة (كما هو الأمر في سلاسل الجليكوجين) والقسم الآخر غير متفرع. (الرسمة ب - 7).
يتراكم النشا في الخلايا ويُستغل كمصدر جلوكوز متوافر للنبتة في ساعات الليل التي لا تتم فيها عملية التركيب الضوئي.
يتراكم النشا أيضًا في أقسام مختلفة في النبات، مثلًا: في الأقسام التي تُشكل أعضاء تخزين، حيث يتم تخزينه بالأساس في عضيات تخزين موجودة داخل الخلية.
يتم تخزين المواد الإدخارية في البذور أيضًا ،لكي يستغلها الجنين أثناء نموه. أحيانًا، نجد في البذور مواد إدخارية أخرى ليست متعددة السكريات كالدهنيات أو البروتينات.
تصف الرسمة ب - 8 أعضاء تخزين وبذور مختلفة.



الرسمة ب - 7: قطعة من سلسلة متفرعة ومن سلسلة غير متفرعة للنشا.
السلاسل مبنية من وحدات جلوكوز كثيرة وهي ذات مبنى لولبي.

يعتبر النشا مادة غذاء أساسية في تغذية الإنسان، وهو يشكل حوالي 60%-70% من استهلاك الكربوهيدرات في اليوم الوا[illegible]



الرسمة ب - 8: أعضاء إدخارية مختلفة. من اليمين إلى اليسار: درنات بطاطا، جزر، بصل عصا الراعي وبذور نباتات أخرى.

سؤال ب - 4:

من المعروف لكم أن النبات هو كائن حي ذاتي التغذية، هذا يعني يُنْتِج بذاته مواد عضوية من مواد غير عضوية . لماذا يحتاج جنين النبات الموجود في البذرة إلى مخزن من المواد الغذائية؟

ما هي الصفات التي بفضلها يُستخدم النشا والجليكوجين كمواد إدخارية؟!

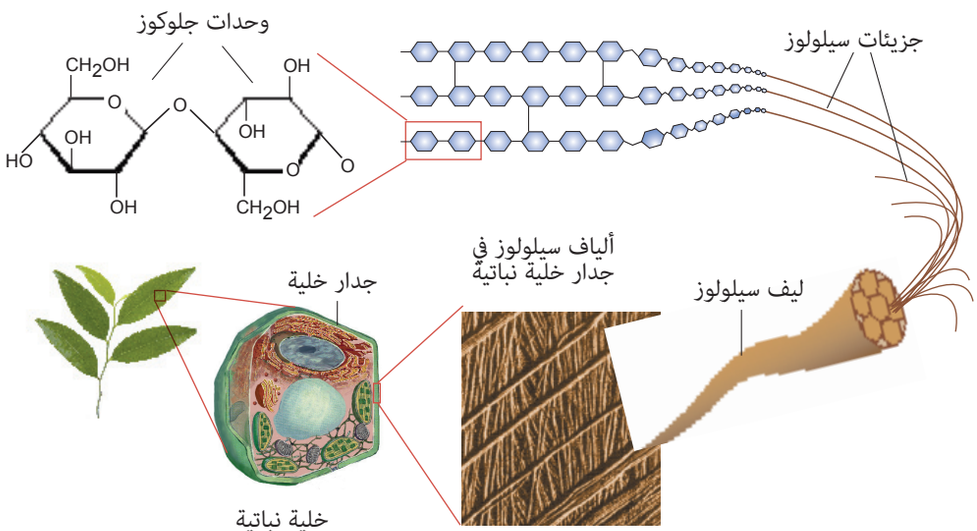
تنبع حسنات النشا والجليكوجين كمواد إدخارية من مبناها الجزيئي:

- اثناهما مبنيان من سلاسل وحدات جلوكوز، وينتظم كل واحد منهما في الفراغ في مبنى لولبي. يمكن رزم المبنى اللولبي في حجم صغير.
- لا يذوبان في الماء، لذا لا يؤثران على الضغط الأسموزي في الخلية.
- تتحلل بمساعدة إنزيمات بوتيرة سريعة إلى مواد البناء الأساسية - جزيئات الجلوكوز.

استخدام متعددة السكريات كمواد بناء

السيلولوز هو جزيء متعدد السكريات ويشكل مكونًا أساسيًا في بناء جدار الخلية النباتية، وهو المركب الكربوني الشائع في الطبيعة. يحتوي السيلولوز على حوالي 50% من كمية الكربون العامة الموجودة في الغلاف الحياتي. جزيئات السيلولوز طويلة وغير متفرعة وهي مبنية من وحدات جلوكوز كثيرة ترتبط فيما بينها بترابط هيدروجيني. تنتظم جزيئات السيلوز بمبانٍ من ألياف (الرسمة ب - 9).

هذا المبنى يُكسب جدران الخلايا النباتية المرونة من ناحية والمتانة والصمود الكيميائي والآلي من ناحية أخرى.



الرسمة ب - 9: مباني من ألياف في النبات، كما يتم التعبير عنها في مستويات التنظيم من الكائن الحي حتى الجزيء.
في الطرف العلوي: مقطع من جزيء السيلولوز المبني من وحدات جلوكوز كثيرة.

للمزيد عن

أهمية الألياف في تغذية الإنسان:
انظروا الفصل السادس، بند الهرم الغذائي، صفحات 177-178.

هضم السيلولوز:
انظروا الفصل الرابع، صفحات 118-119.

الإنسان وحيوانات كثيرة، لا يستطيعون هضم السيلولوز، لأن أجسامهم لا تحتوي على الإنزيمات المطلوبة لتحليل الروابط الخاصة بين وحدات الجلوكوز في جزيء السيلولوز. لذا السيلولوز عكس النشا، لأن الإنسان لا يستطيع أن يستغل السيلولوز كمصدر للطاقة أو كمصدر لمواد بناء أساسية.

على الرغم من الإنسان لا يستطيع أن يهضم السيلولوز، إلا أن هناك توصية كبيرة جدًّا من منظمة الصحة العالمية أن نستهلك غذاء غني بالألياف بسبب مساهمتها لصحة الإنسان. هذه الألياف نسمِّيها **ألياف غذائية** وهي مخلوط لمتعددات سكريات نباتية، مثل: السيلولوز والليجنين.

مقارنة مع الإنسان الذي لا يستطيع استغلال السيلولوز، تعتمد تغذية الحيوانات المجترة (مثلًا: الأبقار) بالأساس على غذاء غني بالسيلولوز.

سؤال ب-5:
ما هي الأفضلية للنبات من أن إدخار السكريات في البذرة يتم كمتعددة سكريات وليس كأحادية سكريات؟

سؤال ب-6:
كيف يمكن أن نشرح وجود الملتوز في البذور، مثلًا: بذور حبوب النجيليات، في مراحل الإنبات بالذات.

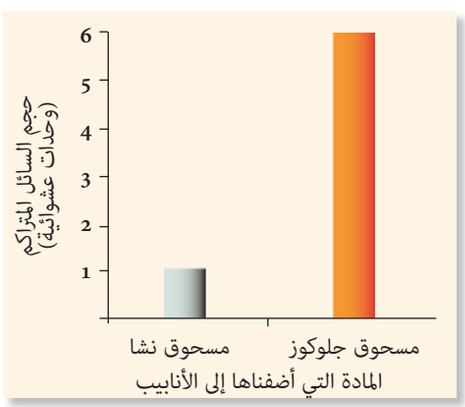
سؤال ب-7:
تعرض الرسمة ب - 10 رسومًا بيانية. يوجد رسم بياني واحد فقط يعرض بالشكل الصحيح التغيير في كمية النشا والجلوكوز، مع مرور الوقت، خلال عملية إنزيماتية لإنتاج النشا. ما هي الرسمة الصحيحة؟ علِّلوا اختياركم.

الرسمة ب - 10: التغييرات في كمية الجلوكوز والنشا، مع مرور الوقت، خلال عملية إنزيماتية لإنتاج النشا.
انتبهوا! رسم بياني واحد صحيح فقط

سؤال ب -8:
قارنوا بين سيلولوز، ملتوز، فروكتوز وجليكوجين بحسب المميزات الآتية: نوع الكربوهيدرات، الحلاوة (نعم / كلا)، ذائبة في الماء، وجودها في النباتات والحيوانات ووظيفتها. ركزوا إجاباتكم في جدول.

سؤال ب -9:
تعرض الرسمة ب - 11 نتائج تجربة. قام باحث بتقطيع مكعبات كوسا متماثلة بالكبر. أدخل 10 مكعبات كوسا إلى كل أنبوبة من الأنابيب الست، ثم أدخل مسحوق جلوكوز إلى 3 منها، أما الأنابيب الأخرى، فقد أضاف إليها مسحوق نشا بنفس كتلة الجلوكوز التي أضافها في الأنابيب الثلاثة الأولى.
بعد مرور ساعة، قاس حجم السائل الذي تراكم في الأنابيب.
تمعنوا في الرسمة وأجيبوا عن الأسئلة الآتية:

أ. اقترحوا عنوانًا مناسبًا للرسمة.
ب. صفوا نتائج التجربة
ج. اشرحوا نتائج التجربة من خلال استعمال المصطلحين ذائبة واسموزا.
تطرقوا إلى الفروق بين النشا والجلوكوز.
د. هل ، بحسب رأيكم، كان من المتوقع أن نحصل على سائل في أنبوبة النشا؟
اقترحوا شرحًا لوجود سائل في هذه الأنبوبة.
هـ. لماذا استعمل الباحث 3 أنابيب في كل فحص؟



الرسمة ب - 11: نتائج التجربة.

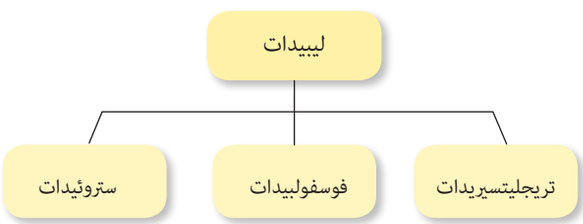
ب2. ليبيدات

الليبيدات في حياتنا اليومية، نسمِّيها دهنيات ويوجد فكرة سلبية عنها وهي تعتبر عند معظمنا مادة "غير صحية". جزء من تصورنا السلبي عنها صحيح، لأن الاستهلاك الزائد لليبيدات يؤدي إلى السمنة وقد يؤدي إلى أمراض في الأوعية الدموية والقلب. وتُشير بعض الأبحاث إلى أن هناك علاقة بين الاستهلاك الزائد لليبيدات وبين تطور أنواع أمراض سرطان مختلفة.
على الرغم من ذلك، من المهم أن نعي أن استهلاك الليبيدت بكمية معينة ضروري للصحة، لذا عندما نقوم بحمية غذائية لتخفيف الوزن، يجب أن تشتمل التغذية على ليبيدات.
تؤدي التغذية التي ينقصها ليبيدات، في المرحلة الأولى، إلى جفاف جلد الوجه وإلى تساقط الشعر.
ومع مرور الوقت، تؤذي الجهاز العصبي وجهاز المناعة وتؤدي إلى مشاكل في ضغط الدم وغير ذلك.

ما هي الليبيدات؟

كما ذكرنا، في حياتنا اليومية نسمِّي عادةً **الليبيدات** باسم دهنيات، لكن الدهنيات هي مجموعة ثانوية في المجموعة الواسعة المسماة ليبيدات. الليبيدات هي مجموعة مواد عضوية متنوعة جدًا من ناحية المكونات والمبنى الكيميائي. الصفة المشتركة لجميع الليبيدات أنها لا تذوب في الماء. (هيدروفوبية **hydro**=ماء، **phobos**=تكره). معظم الليبيدات مكونة من سلاسل أو من حلقات ذرات كربون وهيدروجين وهي تشتمل على عناصر أخرى، مثل: الأكسجين والفوسفور. المجموعات الأساسية لليبيدات هي تريجليتسيريدات، فوسفوليبيدات وسترئويدات (الرسمة ب - 2).

يوجد لليبيدات وظائف متنوعة: فهي تُستعمل مصدر طاقة، مادة حماية وعزل، تكوِّن أغشية الخلايا والعضيات، تُذيب فيتامينات معينة وهي مادة خام لإنتاج مواد مختلفة في الكائنات الحية.
فيما بعد، نعرض أمثلة عن وظائف مجموعات الليبيدات المختلفة، لكن في البداية، نتعرف على المواد الأساسية التي تبني معظم الليبيدات.

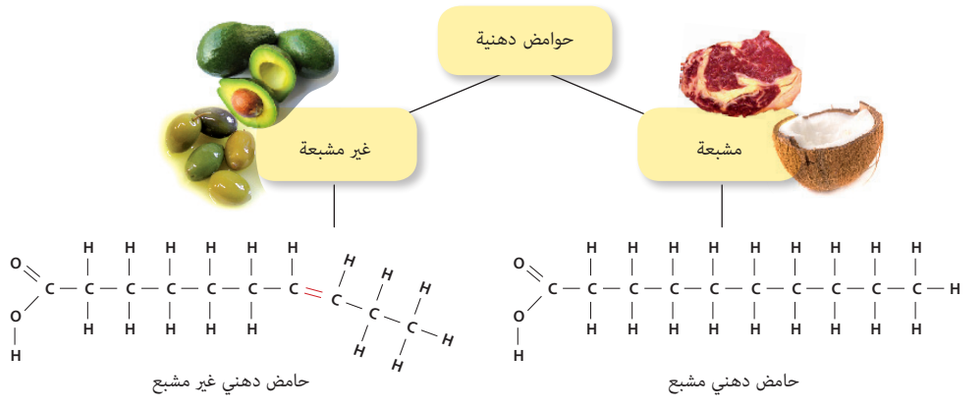


الرسمة ب- 12: المجموعات الأساسية لليبيدات.

ب1.2 الحوامض الدهنية — المواد الأساسية التي تبني الليبيدات

مواد البناء الأساسية لليبيدات كثيرة وهي جزيئات **حوامض دهنية**. لا نجد هذه الجزيئات في الطبيعة بشكل حر، بل هي مرتبطة بمركبات أخرى. الحوامض الدهنية مبنية من هيكل فيه من 2 حتى 36 ذرة كربون مرتبطة ببعضها. ترتبط مجموعة كربوكسيلية (**COOH**)، بالكربون الأخير الموجود في طرف السلسلة. أما باقي الكربونات أو قسم منها فهي مرتبطة بذرات هيدروجين (انظروا الرسمة ب- 13).
تنقسم الحوامض الدهنية إلى مجموعتين: **حوامض دهنية مشبعة وحوامض دهنية غير مشبعة**. في الحوامض الدهنية المشبعة، جميع ذرات الكربون في الهيكل (باستثناء ذرتي الكربون الموجودتان في الطرفين) مرتبطة كل واحدة منها بذرتَيْ هيدروجين، وهذا يعني أنها مشبعة بجميعَ ذرات الهيدروجين الممكنة.
مبنى جزيئات الحوامض الدهنية المشبعة هو مستقيم. في الحوامض الدهنية غير المشبعة، يوجد رابط ثنائي (زوجي) بين ذرتَيْ كربون متجاورتين. يمكن أن يكون أكثر من رابط ثنائي في حوامض دهنية غير مشبعة، وهي تتميز بمبنى منحني. قسم من الحوامض الدهنية المشبعة، يوجد لها تأثير سلبي على صحة الإنسان.

للمزيد عن
الحوامض الدهنية المشبعة وتأثيرها السلبي على صحة الإنسان:
انظروا الفصل السادس، صفحات 193-192



الرسمة ب- 13: حوامض دهنية مشبعة (سلاسل مستقيمة) وغير مشبعة (منحنية)

حوامض دهنية ضرورية

يستطيع جسم الإنسان أن يُنْتِج بذاته معظم الحوامض الدهنية من مواد أخرى. لماذا، إذن، التغذية التي لا يوجد فيها ليبيدات بتاتًا، قد تؤذي أداء جسم الإنسان، حتى لو كانت التغذية متنوعة وتحتوي على عدد كاف من السعرات الحرارية؟ السبب لذلك أن الجسم لا يستطيع أن يبني حامضين دهنيين بذاته وهو بحاجة إليهما ويجب الحصول عليها من الغذاء.

هذه الحوامض الدهنية نسمّيها **حوامض دهنية ضرورية**. الحامضان الدهنيان الضروريان هما: حامض اللينوليك وحامض اللينولنيت، وهما غير مشبعان وقد سُمِّي الأول أومجا - 6 والثاني أومجا 3، يُشير الاسم أومجا إلى مكان الرابط الثنائي (الزوجي) في سلسلة الكربونات.

يوجد للحوامض الدهنية الضرورية وظائف مهمة في إنتاج الهورمونات، تخثر الدم، الحفاظ على ضغط دم سليم، بناء أغشية الخلايا وغير ذلك، وفي حالة نقصها فإنّ أداء الجسم يتضرر.

يحتوي حليب الأم على كميات كبيرة من الحوامض الدهنية الضرورية، وهذا الأمر يُشير إلى أهميتها الكبرى للتطور السليم للطفل، وقد أشارت الأبحاث إلى أن النقص في حوامض دهنية ضرورية عند الأطفال والحيوانات الصغيرة، يعيق النمو ويؤدي إلى ضرر غير قابل للتصحيح (غير منعكس) في الجهاز العصبي.

حامض اللينوليك- ينتمي إلى مجموعة الحوامض الدهنية التي نسمِّيها أومجا **6** وهو موجود في زيوت النباتات مثل،: زيت الذرة، زيت القرطم، زيت عباد الشمس، الأفوكادو وغير ذلك.

حامض اللينولنيت - ينتمي إلى مجموعة الحوامض الدهنية التي نسمِّيها أومجا 3 وهو موجود بالأساس في الأسماك التي تعيش في أعماق البحار كالسلمون والتونا، كما نجد هذا الحامض الدهني في جوز الملك (جوز كاليفورنيا)، في زيت الكتان وفي زيت الكانولا.

يحتوي الغذاء الغربي على كميات كبيرة جدًا من حوامض أومجا 6 وعلى كميات قليلة من حوامض أومجا 3. تُشير الأبحاث إلى أن الأداء السليم للجسم يحتاج إلى نسبة متوازنة بين استهلاك حوامض أومجا 3 وحوامض أومجا 6. إنَّ النقص في التوازن بين هذين الحامضين الدهنيين يؤذي أداء الجهاز العصبي، القلب والجلد لذا يوصي المختصون في التغذية، اليوم، الإكثار من تناول الأغذية الغنية بحوامض أومجا 3 وتقليل الأغذية الغنية بأومجا 6.

سؤال ب-10:

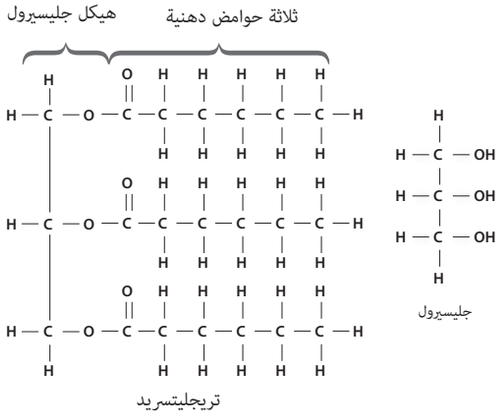
يستطيع جسم الإنسان أن يُنْتِج معظم الحوامض الدهنية بذاته بمساعدة إنزيمات مناسبة موجودة في أجسامنا. بناءً على ما تعلَّمتموه حتى الآن، من أي المواد الخام يستطيع الجسم أن يبني حوامض دهنية؟ اشرحوا إجاباتكم.

ب2.2 تريجليتسيريدت — دهنيات (fats) وزيوت (oils)

كما ذكرنا، في حياتنا اليومية نسمِّي عادةً جميع الليبيدات باسم دهنيات، لكن بحسب ما سنتعلَّمه في هذا البند، من الناحية العلمية، يتطرق المصطلح دهنيات فقط إلى قسم من **التريجليتسريدات** (التي هي إحدى المجموعات الثلاث الرئيسية لليبيدات). التريجليتسريدات (تري = ثلاثة) هي الشائعة من بين الليبيدات. نلاحظ في الرسمة ب - 14 أن التريجلتسريدات مبنية من هيكل جليسيرول مرتبطة به ثلاثة حوامض دهنية.

تحتوي جميع التريجليتسريدات على حوامض دهنية مشبعة وغير مشبعة، لكن بنسب مختلفة. إنَّ نوع الحوامض الدهنية التي تبني التريجلتسريدات هو الذي يحدد صفات التريجلتسريد:

إذا كانت معظم الحوامض الدهنية مشبعة، فإن ذلك يؤدي إلى أن تكون المادة صلبة في درجة حرارة الغرفة، وعندئذ نسمِّيه **دهنًا**. لكن إذا كانت معظم الحوامض الدهنية غير مشبعة فإن ذلك يؤدي إلى أن تكون المادة سائلة في درجة حرارة الغرفة، وعندئذ نسمِّيه **زيتًا** (الرسمة ب- 15).



الرسمة ب-14: مبنى جليسيرول (على اليمين)ومثال لمبنى تريجليتسيريد (على اليسار)

الدهنيات موجودة بالأساس في المواد الغذائية التي مصدرها من الحيوان، مثل: اللحوم، البيض ومنتجات الحليب، من بينها الزبدة، لكن نجدها أيضًا في بعض النباتات، مثل: ثمار جوز الهند والنخيل. الزيوت موجودة بالأساس في النباتات، مثل: ثمار الزيتون والأفوكادو، لكن في الحيوانات أيضًا، مثل: الطيور والأسماك.

في معظم الكائنات الحية تقريبًا، تُستعمل التريجلتسيريدات مخازن طاقة طويلة الأمد. يتم في الحيوانات تخزين كميات كبيرة من التريجلتسيريدات على شكل قطرات من الدهنيات في خلايا النسيج الدهني. في قسم من النباتات، مثل: الفستق، الجوز واللوز، تشكل التريجلتسريدات معظم مواد التخزين للجنين الموجود في البذرة.

تنبع الملاءمة بين التريجلتسيريدات وبين وظيفتها كمخازن للطاقة مما يلي:

- قيمة الطاقة العالية — كمية الطاقة التي نستخرجها من غرام واحد تريجلتسريدات (دهن أو زيت) أكبر بكثير من كمية الطاقة التي نستخرجها من غرام واحد نشا أو جليكوجين.
- عدم الذائبية في الماء — التريجلتسيريدات كما هو الأمر في المواد المتعددة السكريات، لا تذوب في الماء، لذا فهي لا تغيِّر التركيز الأسموزي في الخلايا.

الرسمة ب - 15: رسم تخطيطي لحوامض دهنية في الزيت (زيت الزيتون) وفي الدهن (زبدة).

يوجد للتريجلتسيريدات وظائف إضافية في الأنسجة الدهنية في الحيوانات: حماية أنسجة وأعضاء داخلية في الجسم من إصابات فيزيائية، عزل الجسم عن درجات حرارة منخفضة في البيئة المحيطة، من خلال طبقات دهنية تتراكم تحت الجلد.(عند الحيوانات التي تعيش في بيوت تنمية باردة جدًا، مثل: الحوت والدب القطبي).

للمزيد عن

قيمة طاقة الليبيدات:
انظروا الفصل السادس، صفحة 165.

سؤال ب - 11:
في أي حالات من المتوقع تحليل تريجلتسيريدات في أجسام الكائنات الحية؟ أعطوا مثالًا واحدًا في النباتات ومثالًا واحدًا في الحيوانات.

سؤال ب-12:
مادة الإدخار الأساسية في النباتات هي النشا، أما في الحيوانات فهي الليبيدات. اشرحوا، ما هي الأفضلية للحيوانات من الليبيدات كمادة للإدخار؟

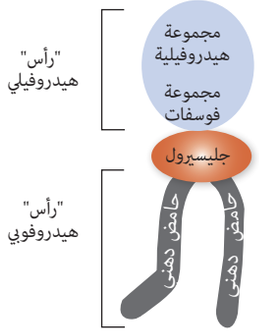
علاقة بموضوع

الخلية - مبنى ونشاط: *الأغشية البيولوجية مبنية من طبقة مزدوجة من الفوسوليبيدات.*

ب3.2 فوسفوليبيدات

تُستعمل **الفوسوليبيدات** كمادة أساسية في بناء أغشية بيولوجية: أغشية خلايا وأغشية عضيات داخل الخلايا.

نلاحظ في الرسمة ب - 16 أن الفوسفوليبيدات مبنية من هيكل جليسيرول مرتبط بطرف واحد بحامضيين دهنيين يشكلان "ذنب هيدروفوبي"، وفي الطرف الثاني مرتبطة مجموعة فوسفورية (فوسفات) ومجموعة كيميائية إضافية تشكل "رأس أو طرف هيدروفيلي"



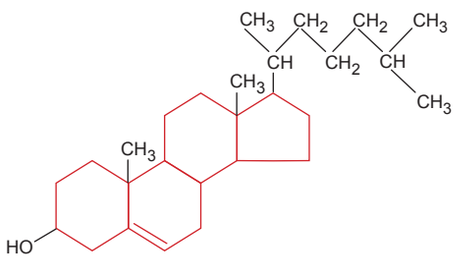
الرسمة ب - 16: مبنى تخطيطي للفوسفوليبيد

ب4.2 ستروئيدات

مجموعة إضافية من الليبيدات هي **الستروئيدات.** هذه المواد عكس التريجلتسريدات والفوسفوليبيدات، لأنها لا تحتوي على حوامض دهنية. في جميع الستروئيدات يوجد هيكل ثابت وهو مكون من أربع حلقات كربونية متلاصقة، وتختلف الستروئيدات عن بعضها في المجموعات المرتبطة بالهيكل وبالأماكن (الكربونات) التي ترتبط بها هذه المجموعات. من بين المواد المختلفة التي تنتمي إلى الستروئيدات هي: الكولسترول، هورمون **D** وهورمونات التناسل.

الستروئيد الشائع في أنسجة الحيوانات هو **الكولسترول.** نعرض مبناه في الرسمة ب - 17. من المهم أن نعرف أن الكولسترول غير موجود في النباتات(من هنا الكولسترول موجود في مواد غذائية مصدرها من الحيوان فقط).

لدينا فكرة سيئة عن الكولسترول، لأنه مرتبط بأمراض الأوعية الدموية والقلب. تشير الأبحاث الطبية إلى أن هناك علاقة بين مستوى كولسترول عالٍ في الدم وبين ارتفاع خطورة الإصابة بنوبة قلبية، لكن الحقيقة أن مستوى منخفض جدًا للكولسترول في الدم هو أيضًا غير مرغوب.



الرسمة ب - 17: الصيغة البنائية للكولسترول.أشرنا **إلى هيكل الستروئيد بلون.**

للمزيد عن

الكولسترول وعلاقته بصحة الإنسان: *انظروا الفصل السادس، صفحات 192-193.*

يوجد **للكولسترول** وظائف مهمة في جسم الإنسان -

- هو أحد مكونات أغشية الخلايا ويوجد له وظيفة في تنظيم مرونتها.
- هو مادة خام لإنتاج مواد كثيرة من بينها هورمونات ستروئيدية (على سبيل المثال هورمونات التناسل استروجن وطوستسطرون)، فيتامين **D** وأملاح المرارة.

قليلًا من المعلومات عن ...

ستروئيدات في الرياضة والطب

عندما نتحدث عن الستروئيدات في سياق الرياضة، فإننا نتحدث عن مواد اصطناعية مبناها يشبه مبنى هورمونات التناسل الذكرية (ستروئيدات بناء). تحفز هذه المواد نمو عضلات وتزيد من ظهور الصفات الجنسية الثانوية "الرجولية". نستعمل الستروئيدات في الطب في حالات فيها جسم الرجل لا يُنْتِج طوستطرون بكمية كافية.

من المهم أن نعرف أنه عندما نستعمل الستروئيدات دون رقابة طبية، قد يؤدي ذلك إلى عوارض جانبية مختلفة، مثل: إيقاف النمو عند الشباب، تضمر الخصيتين عند الرجال، ظهور صفات خارجية "رجولية" عند النساء، أنواع سرطانات مختلفة، إصابة عضلة القلب وغير ذلك.

نستعمل في الطب أيضًا مجموعة أخرى من الأدوية الستروئيدية التي تؤثر على جهاز المناعة وتمنع من إنتاج مواد متعلقة بردود فعل للحساسية، مثل: الربو والإلتهابات كالتهاب المفاصل.

سؤال ب -13:

أ. لخصوا الصفات المشتركة لجميع اللبيدات.

ب. لخصوا لكل مجموعة من اللبيدات ما يلي: وحدات البناء، ووظائفها االأساسية في النباتات والحيوانات. نظِّموا إجاباتكم في جدول.

ب3. بروتينات

يوجد للبروتينات وظائف مركزية ومهمة في الكائنات الحية، حيث يشير إلى ذلك اسم البروتينات – **protein** – في اليونانية الذي معناه الأول أو الأولي. يمكن تجسيد أهمية البروتينات الكبيرة للكائنات الحية، من خلال الأضرار الكثيرة التي قد يسببها عدم أداء بروتينٍ واحد. على الرغم من وجود نشاط لعشرات الآلاف من البروتينات المختلفة في الجسم، إلا أنه عادةً لا يمكن أن نجد في الجسم بروتين بديل لبروتين معين لا يقوم بوظيفته في الجسم، وذلك بسبب الوظيفة الخاصة لكل بروتين.

تقوم **البروتينات** بوظائف كثيرة في الكائنات الحي. تقريبًا في كل نشاط يحدث في خلايا الكائنات الحية، نجد بروتين واحد أو أكثر يشترك في هذا النشاط. تنوع البروتينات في الطبيعة هائل جدًا، وفي الخلية الواحدة نجد آلاف البروتينات التي تعمل بجانب بعضها. معظم كتلة البروتينات في أجسام الكائنات الحية هي **بروتينات بنائية .** وهي تُستخدم لبناء خلايا الجسم وأنسجته كالجولجن في الأوتار، في الجلد في العظام والغضاريف والكارتين في الأظافر والشعر. أما باقي كتلة البروتينات فهي **بروتينات وظيفية** تقوم بنشاطات متنوعة في الكائنات الحية. عندما يحدث نقص في الكربوهيدرات والدهنيات، فإن البروتينات تُستخدم كمصدر للطاقة أيضًا.

علاقة بموضوع

الخلية مبنى ونشاط:
إنزيمات، قنوات، ناقلات.

البروتينات الوظيفية الأساسية هي:

- **الإنزيمات** التي تعمل كمنشطات بيولوجية وتُتيح حدوث تفاعلات كيميائية في أجهزة بيولوجية بوتيرة مناسبة، على الرغم من الشروط المعتدلة التي تسودها.
- **الهورمونات وبروتينات أخرى مسؤولة عن التنظيم**، تشكل إشارات إلى تغيُّرات في مستويات النشاطات في الخلية، أو مستقبلات لإشارات مختلفة.
- **القنوات والناقلات** الموجودة في غشاء الخلية وفي أغشية عضيات داخل الخلية، تُستخدم لعبور ونقل مواد عبر الأغشية.
- **المضادات** التي تشترك في حماية الجسم من العوامل الغريبة ومن الخلايا السرطانية.
- **بروتينات النقل** التي تنقل مواد من عضو إلى آخر (مثلاً: الهيموغلوبين).
- **بروتينات تخثر الدم** التي تساعد على منع فقدان دم أثناء حدوث جُرح في الجسم، حيث يتم ذلك من خلال إيقاف النزيف (من بينها عوامل التخثر والفيبرونجين).
- **بروتينات تقوم بملاءمة وبتنسيق الحركة** وهي تُكسب الخلايا والحيوانات القدرة على الانقباض، وعلى تغيير الشكل والحركة (على سبيل المثال الأكتين والميوزين).
- **بروتينات تشترك في الحفاظ على التركيز الأسموزي في الدم والسوائل** بين الخلايا. البروتين الأساسي المسؤول عن ذلك هو الألبومين.

قليلًا من المعلومات عن ...

سوء التغذية والنقص في بروتين ألبومين

عند قبائل معينة في أفريقيا، بالأساس عند أطفال حديثي السن، ينتشر مرض شائع بسبب نقص بروتين معين في الغذاء. يتميز هؤلاء الأطفال المصابين بهذا المرض ببطن منفوخ جدًا. يظهر هذا المرض عادةً بعد عدة شهور من الفطام الإضراري لهؤلاء الأطفال من حليب الأم والذي يحدث في معظم الحالات في أعقاب ولادة طفل جديد وبسبب الانتقال إلى غذاء غني في الكربوهيدرات وفقير في البروتينات. يعاني الأطفال المصابين بهذا المرض من إعاقة في النمو، من مشاكل في جهاز المناعة بسبب عدم إنتاج مضادات ومن مشاكل تراكم سوائل، حيث يتم التعبير عنها بانتفاخ البطن أيضًا.

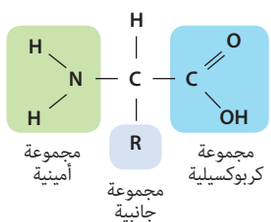
لماذا تتراكم السوائل؟

في حالة نقص بروتينات في الغذاء تَنْتُج في الجسم كمية قلية من الألبومين. نتيجةً لذلك ينخفض التركيز الأسموزي في الدم ونتيجةً لذلك ينخفض الفرق بين تركيز السائل داخل الأوعية الدموية وخارجها ويتراكم ماء في الفراغات الموجودة بين الخلايا. هذه المياه تُنْتج وذمة (تجمُّع سائل) ومع مرور الوقت هي المسؤولة عن ظاهرة البطن المنفوخ الذي نراه عند الأطفال الذين يعانون من الجوع.

الحوامض الأمينية، هي مواد البناء الأساسية للبروتينات. كل البروتينات في جميع الكائنات الحية - الحيوانات، البكتيريا، الفطريات والنباتات مبنية من 20 حامضًا أمينيًا مختلفًا. يوجد مبنى مشترك لجميع الحوامض الأمينية. نلاحظ في الرسمة ب - 18 أنها مبنية من ذرة كربون في الوسط ترتبط بمجموعة كربوكسيلية **(COOH)**، بمجموعة أمينية **(NH_2)**، بذرة هيدروجين **(H)** وبمجموعة جانبية أشرنا إليها في الرسمة بالحرف **R**.

الفكرة المركزية

التجانس والتباين: *يعتمد التنوع الكبير للبروتينات على عدد قليل من الحوامض الأمينية*



الرسمة ب -18: مبنى عام للحامض الأميني

انتبهوا! الحوامض الأمينية مبنية من ذرات كربون، هيدروجين وأكسجين كما هو الأمر في الجلوكوز والحوامض الدهنية، لكن إضافةً إلى كل ذلك، يوجد في كل حامض أميني ذرة **نيتروجين** واحدة على الأقل. تختلف الحوامض الأمينية عن بعضها بالمجموعة الجانبية وتختلف المجموعات الجانبية عن بعضها في المبنى، الكبر، الشحنة الكهربائية التي تحملها، بقدرتها على إنتاج روابط كيميائية وبنشاطها الكيميائي. قوى الجذب والتنافر بين المجموعات الجانبية في البروتين هي التي تحدد المبنى الفراغي للبروتين.

تستطيع النباتات إنتاج جميع الحوامض الأمينية (20 حامضًا أمينيًا) من الكربوهيدرات التي نَتَجت في عملية التركيب الضوئي مع إضافة نيتروجين تحصل عليه النبتة من النيترات الموجود في التربة (مركبات نيتروجين وأكسجين) . أما الإنزيمات في جسم الإنسان والحيوانات الأخرى، تستطيع أن تُنْتج قسمًا من الحوامض الأمينية. يستطيع الإنسان والحيوان إنتاج هذه الحوامض الأمينية بشكل ذاتي من مواد وسطية تَتَّجُ خلال عملية التنفس الخلوي ومسارات بيوكيميائية أخرى، لذا غير ضروري أن تكون في المواد الغذائية. لا يستطيع الجسم أن يُنْتج 8 حوامض أمينية من 20 حامضًا بسبب نقص من الإنزيمات التي يحتاجها الجسم لبناء هذه الحوامض الأمينية. الحوامض الأمينية التي **لا يستطيع** الجسم أن يُنْتجها بذاته نسمِّيها **حوامض أمينية ضرورية.** أما باقي الحوامض الأمينية فهي تَنْتُج في الجسم ونسمِّيها حوامض **أمينية غير ضرورية.**

من المهم أن نذكر أن بناء البروتينات في الجسم يحتاج إلى **جميع** الحوامض الأمينية (20 حامضًا) والمصطلح "ضروري" يتطرق فقط إلى الحاجة لاستيعابها من الغذاء.

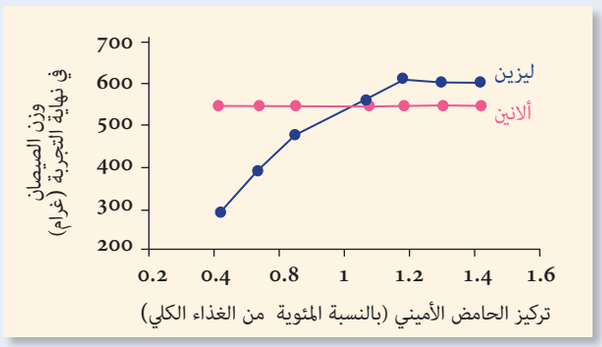
معظم أنواع الغذاء التي مصدرها من الحيوان (اللحوم، البيض ومُنْتَجات الحليب) تحتوي على جميع الحوامض الأمينية الضرورية. نجد الحوامض الأمينية الضرورية في مواد غذائية مصدرها من النبات، لكن كل نوع غذاء مصدره من النبات ينقصه قسم من الحوامض الأمينية الضرورية. لكي يحصل الإنسان الذي تعتمد تغذيته على النباتات أو الغذاء الطبيعي، على جميع الحوامض الأمينية الضرورية، يجب عليه أن يتناول موادًا غذائية من مصادر مختلفة.

سؤال ب -14:

في بعض المدارس، يحصل الأطفال على مواد غذائية مصدرها من النبات. في هذه المدارس، يجب أن يحصل هؤلاء الأطفال في وجبة الغذاء على بقوليات، حبوب النجيليات ومُنْتَجات الحليب (مثل: البرغل، العدس واليوجورت) اشرحوا السبب.

نافذة البحث

لكي نفحص تأثير حامضان أمينيان (ليزين وألنين) على تطور صيصان، نُفِّذ البحث الآتي:
أخذ الباحث 7 مجموعات من الصيصان في كل منها 10 صيصان. وقد حصلت هذه المجموعات على غذاء يختلف عن بعضه في تركيز الليزين، وبالمقابل حصلت 7 مجموعات أخرى من الصيصان على غذاء يختلف عن بعضه في تركيز الألنين.
أما باقي شروط التجربة فبقيت متماثلة، مثل: عُمر الصيصان (أسابيع)، وزنها ، قيمة السعرات الحرارية للغذاء ومكوناته الإضافية وظروف المعيشة الأخرى. بعد مرور خمسة أشهر منذ بداية التجربة، قام الباحث بتوزين الصيصان. أمامكم الرسمة ب - 19 التي تعرض نتائج التجربة.



الرسمة ب - 19: تأثير تراكيز مختلفة من اليزين والأنين في الغذاء على وزن الصيصان

سؤال ب - 15:

أ. لماذا شدَّد الباحث أن تكون 10 صيصان في كل مجموعة تجربة ولم يكتفِ في صوص واحد في كل مجموعة؟

ب. في إحدى مجموعات الصيصان التي حصلت على ليزين، لم يتغيَّر تقريبًا وزن صوص واحد خلال التجربة، أما باقي الصيصان التسعة في نفس المجموعة، فقد ارتفع وزنها بمقدار متساوٍ تقريبًا. الإمكانيات الممكنة أمام الباحث هي:

1. إخراج معطيات هذا الصوص من حِساب المعدل.

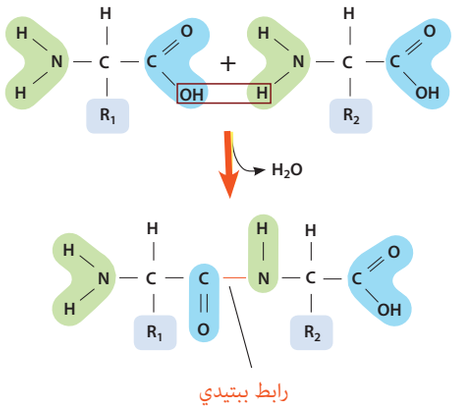
2. ادخال معطيات هذا الصوص في حِساب المعدل.

اختاروا الإمكانية التي ترونها صحيحة، ثم علِّلوا اختياركم.

ج. ما هي أهمية الحفاظ على شروط متماثلة في جميع مجموعات التجربة باستثناء كمية الحامض الأميني في الغذاء؟

د. اعتمدوا على نتائج التجربة وخمِّنوا الحامضي الأميني الضروري للصيصان، هل الليزين أم الألانين؟ اشرحوا إجاباتكم.

هـ. ما هو تركيز الحامض الأميني الضروري الذي من الأفضل إضافته إلى الغذاء؟ كيف توصلتم إلى هذا الاستنتاج؟



الرسمة ب-20: تكوين رابط ببتيدي بين حامضين أمينيين

الرسمة ب -21: مبنى فراغي لبروتين

البروتين هو سلسلة من الحوامض الأمينية المرتبطة ببعضها **برابط ببتيدي** (الرسمة ب -20).
المبنى الفراغي لجزيء البروتين معقد، نحصل عليه من انحناء، انعطاف وطي السلسلة (انظروا الرسمة ب - 21). يتم تحديد المبنى الفراغي للبروتين بحسب الحوامض الأمينية الموجودة في السلسلة، ويتم تصميمه وتثبيته بواسطة الروابط بينها (إضافة للروابط الببتيدية).

علاقة بموضوع

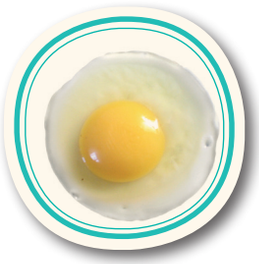
الخلية مبنى ونشاط:
المبنى الفراغي للبروتين ضروري لأدائه، مثلا: الإنزيمات.

نشاط البروتينات الوظيفية (انزيمات، مستقبلات، مضادات، ناقلات) متعلق بمبناها الفراغي وبالملاءمة بين البروتين والمادة التي يعمل عليها: الإنزيم ملائم بشكل خاص لمادة معينة، المضاد ملائم لأنتجين (جسم غريب) معين. وأيضًا صفات البروتينات البنائية متعلقة بمبناها الفراغي. بكلمات أخرى، تقريبًا كل تغيير في مبنى البروتين يؤدي إلى تغيير في أدائه.

الفكرة المركزية

ملاءمة بين المبنى والوظيفة:
المبنى الفراغي السليم للبروتين هو شرط مهم لأداء وظيفته.

الظروف المحيطة الموجود فيها البروتين لها تأثير كبير على مبناه الفراغي. في ظروف متطرفة، مثل: درجة حرارة عالية، تركيز أملاح عالٍ وتغيير في درجة الحامضية ، يفقد البروتين مبناه الطبيعي الفراغي وفي معظم الحالات يفقد نشاطه البيولوجي أيضًا. فقدان المبنى الفراغي الطبيعي للبروتين نسمِّيه هدم المبنى، مثلا: عندما نقلي بيضة، فإن البروتين ألبومين الموجود في المحلول السائل الشفاف يمر بعملية هدم، يتخثر ويتحول إلى صلب أبيض.



سؤال ب -16:
اشرحوا، كيف يؤثر تسلسل الحوامض الأمينية في البروتين على وظيفته؟

سؤال ب-17:
جميع البروتينات، في جميع الكائنات الحية مبنية من نفس الحوامض الأمينية. ما معنى هذه الحقيقية:

أ. من ناحية قدرة الكائنات الحية أن تتغذى الواحدة على الأُخرى؟

ب. كيف يستطيع الإنسان أن يستفيد من الحقيقة أن الشيفرة الوراثية لبناء البروتينات متماثلة في جميع الكائنات الحية؟ أعطوا مثالًا واحدًا على الأقل.

علاقة بموضوع

الخلية مبنى ونشاط:
الشيفرة الوراثية هي معلومات لبناء بروتينات.

ب4. فيتامينات

في سنة 2003، نُشرت عناوين ضخمة في جميع الصحف في البلاد: " مرض غريب أصاب 10 أطفال في مناطق مختلفة في البلاد"، يعاني جميع الأطفال المصابين من ظواهر متشابهة، في البداية أُصيبوا هؤلاء الأطفال في الجهاز الهضمي، أما في مرحلة متأخرة، ظهرت عندهم تشنجات، مشاكل في قدرة تركيز العينين، لا مبالاة ومشاكل عصبية أخرى.

بناءً على الظواهر التي يعاني منها أحد الأطفال، اعتقدت طبيبة الأعصاب التي عالجته أنه يعاني من مرض "بري - بري" الناجم عن نقص في **فيتامين B_1** (ثيامين).

هذا المرض معروف منذ أكثر من 1000 سنة، وقد كان شائعًا بالأساس في جنوب شرق آسيا وقد راح ضحيته مليون شخص.

معنى المرض "بري -بري" باللغة الأجنبية هو ضعف متطرف.

بدأت الطبيبة بحقن الطفل بفيتامين B_1 وبعد الحقنة الأولى، تحسن وضع الطفل بشكل كبير جدًا.

عند بحث الظاهرة، اتضح أن هذا الطفل يتغذي على غذاء مصدره من النبات كبديل لحليب الأم، وقد أُصيب هذا الطفل كسائر الأطفال الذين أُصيبوا بالمرض الغريب. أشارت فحوصات مكونات هذا الغذاء البديل لحليب الأم أنه لا يحتوي على فيتامين B_1 بتاتًا، على الرغم من أنه سُجِّلت على علبة الغذاء أنه يحتوي على هذا الفيتامين بمستوى كاف. تعبر هذه الحالة عن التأثير الحاسم للفيتامينات على الأداء والصحة وحتى على حياة الكائن الحيّ أيضًا.

ما هي الفيتامينات؟ ولماذا هي ضرورية جدًا لصحة الكائن الحي ⁉

الفيتامينات، هي مجموعة مكونة من 13 مادة عضوية يحتاجها الإنسان والحيوان بكميات قليلة جدًا (**vita** – معناها حياة باللغة اللاتينية; **amin** – أعطي هذا الاسم من الافتراض الخاطئ في الماضي أن الفيتامينات تنتمي إلى مجموعة الحوامض الأمينية).

تختلف الفيتامينات عن الكربوهيدرات، الدهنيات والبروتينات، فهي لا تُستعمل كمصدر للطاقة وهي ليست مادة خام لبناء خلايا وأنسجة، لكنها ضرورية للأداء السليم لعمليات بيوكيميائية كثيرة تتم في جسم الكائن الحي. وقد تعلّمنا ذلك من الأطفال الذين مرضوا بسبب نقص مستمر في أحد الفيتامينات.

أصبح من المعروف اليوم أن كل نوع من أنواع الفيتامينات له نشاط خاص(يمكنكم قراءة ذلك في جدول 1 في الملحق الذي يظهر في نهاية الكتاب). النقص المستمر في فيتامين معين أو فائض كبير فيه، قد يؤدي إلى خلل في الأداءالسليم للخلايا وأنسجة الجسم.

تحتاج النباتات الفيتامينات كما يحتاجها الإنسان والحيوان. تستطيع النباتات أن تُنْتِج بذاتها الفيتامينات من مواد خام مختلفة، لكن الإنسان والحيوانات لا تُنْتِج بذاتها معظم الفيتامينات. ولا تُنْتِج بشكل كافٍ الفيتامينات الأخرى، لذا يجب أن يحتوي غذائها على فيتامينات.

ما هو مصدر الفيتامينات في تغذية الإنسان والحيوان ⁉

النبات هو مصدر معظم الفيتامينات للإنسان والحيوان (الرسمة ب - 22). نجد الفيتامينات بالأساس في الأوراق الخضراء، وداخل قشرة الفواكة والخضروات ونجدها قليلًا في أعضاء التخزين عند النباتات.

الفيتامين B_{12} هو الفيتامين الوحيد الذي لا نجده في النبات، ويمكن الحصول عليه فقط من مُنْتَجات مصدرها من الحيوان، مثل، الكبد، اللحوم، الأسماك، الطيور، البيض، الحليب ومنتجاته.

الرسمة ب-22: المصدر الأساسي لمعظم الفيتامينات هو النبات

النباتيون والأشخاص الذين يتناولون المواد الغذائية الطبيعية، يحصلون على كميات قليلة من الفيتامينات، لذا يجب عليهم الحصول على فيتامينات من خلال تناول أقراص أو حقن تحتوي على فيتامينات. عندما تكون التغذية متوازنة، لا نحتاج إلى إضافة فيتامينات إلى الغذاء أو إضافة مواد غذائية صناعية تحتوي على فيتامينات. في الدول التي فيها التغذية فقيرة في الفيتامينات وغير متوازنة، فإنهم يضيفون فيتامينات إلى مُنْتَجات غذاء شائعة، مثل: الطحين، حبوب الصباح، حليب وزيوت الطعام. في البلاد، يضيف المنتجون فيتامينات إلى حليب قليل الدسم، مرجرين (زبدة نباتية صناعية) وإلى مُنْتَجات كثيرة أخرى.

تختلف الفيتامينات عن بعضها بالمبنى الكيميائي. نقسمها عادةً إلى مجموعتين بحسب ذائبيتها: فيتامينات تذوب في الدهنيات (فيتامينات **A, D, E** وَ **K**) وفيتامينات تذوب في الماء (فيتامينات من مجموعة **B** وفيتامين **C**)**.** صفة الذائبية للفيتامينات هي التي تحدد مدى انتشارها في المواد الغذائية المختلفة، كما أنها تحدد طريقة امتصاصها في الجسم وعملية هدمها وبنائها (العملية الأيضية) وطريقة تخزينها في الجسم. الفيتامينات التي تذوب في الماء ليست ثابتة من ناحية كيميائية. فقد تتحلل في الحرارة، الهواء أو الضوء، لذا يجب استعمال وسائل خاصة للحفاظ عليها. لا تتراكم هذه الفيتامينات في الجسم، لذا من المهم أن نستهلك بشكل دائم مواد غذائية تحتوي على هذه الفيتامينات، ويجب أن نزيد من استهلاكها في فترتي النمو والحمل. الفيتامينات التي تذوب في الماء لا تتراكم في الجسم تقريبًا، لذا لا توجد مشكلة التراكم الزائد لهذه المجموعة من الفيتامينات.

قليلًا من المعلومات عن ...

الفيتامينات وتشوهات (عيوب) في الجنين

ينتمي **حامض الفوليك** (فيتامين B_9) والثيامين (فيتامين B_1) إلى مجموعة فيتامينات **B** التي تذوب في الماء**.** نشرت دائرة الأدوية والغذاء الأميركية (الـ **FDA**) تعليمات مفادها أنه يجب إضافة حامض الفوليك إلى النساء في سن الخصوبة وخاصة أثناء الحمل. إنَّ إغناء المواد الغذائية المختلفة بهذا الفيتامين أدى إلى انخفاض كبير جدًا في الإجهاض النابع من عدم اغلاق العمود الفقري عند الجنين. اتضح أنّ هذه التشوهات تحدث بشكل مباشر بسبب النقص في حامض الفوليك**.**

سؤال ب - 18:

أثر نقص فيتامين B_1 في مادة غذائية مصدرها من النبات وبديلة للحليب على أطفال تتراوح أعمارهم عدة أشهر، أما الأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين سنتين إلى ثلاث سنوات والذين تغذوا على نفس الغذاء فقد تأثروا أقل من المجموعة الأولى. ما هو السبب لذلك؟

سؤال ب - 19:

المرض الذي أصاب الأطفال نسمِّيه "بري- بري"، وقد كان هذا المرض شائعًا جدًا في آسيا في القرن الـ 19وفي بداية القرن الـ 20. استعينوا بالمعلومات الموجودة في الإنترنيت واشرحوا سبب ارتفاع تكرارية هذا المرض في تلك الفترة.

سؤال ب -20:

في التجربة التي أُجريت على نبتة Arabidopsis thaliana، وجد الباحثون نباتات شاذة تميزت بنمو بطيء وبإزهار قليل ومتأخر. لكي يفهم الباحثون المشكلة، قاموا بفحص مواد مختلفة في هذه النباتات مقارنة مع نباتات عادية. الفرق الوحيد الذي كان بين المجموعتين هو كمية فيتامين **C** المنخفضة عند النباتات التي كان نموها بطيء. خمَّن الباحثون أن سبب المشكلة عند هذه النباتات هو طفرة وليس نقص من البيئة المحيطة. على ماذا اعتمد الباحثون في تخمينهم؟

Arabidopsis thaliana

الفيتامينات التي تذوب في الدهنيات أكثر ثباتًا من الفيتامينات التي تذوب في الماء وعادةً لا تتحلل في الحرارة، الهواء أو الضوء. تلتصق هذه الفيتامينات بالدهنيات في جميع عمليات الهضم، الامتصاص، النقل وتخزينها في الجسم. وهي تُخزن في الجسم بكميات أكبر بكثير من الفيتامينات التي تذوب في الماء. في الفترة التي يكون فيها الغذاء فقيرًا في فيتامينات تذوب في الدهنيات، فإنَّ الجسم يستغل مخازن هذه الفيتامينات لعدة أسابيع وحتى لعدة أشهر. في حالة نقص هذه الفيتامينات بشكل مستمر، تظهر عوارض النقص. على الرغم من ذلك، التراكم الزائد لهذه الفيتامينات في الجسم، قد يكون أكثر ضررًا من نقصها.
الفيتامينان **A** وَ**D** هما مثالان لفيتامينات تذوب في الدهنيات.

فيتامين D

يساعد **فيتامين D** في الحفاظ على مستويات سليمة للكالسيوم والفوسفور في الدم. إنَّ النقص المستمر في هذا الفيتامين يؤدي إلى مستويات منخفضة جدًا في الكالسيوم والفوسفور في الدم، ونتيجةً لذلك تبدأ عمليات تحليل العظام. عند الأطفال تؤدي هذه الحالة إلى تطور عظام بشكل غير سليم (كساح الأطفال)، أما عند الكبار يؤدي هذا المرض إلى آلام في الظهر، إلى ضعف العضلات وإلى آلام وكسور في العظام. يَنْتُج معظم الفيتامين **D** المطلوب لجسم الإنسان والحيوان من الكولسترول الموجود في الجلد، ويتم هذا الإنتاج بتأثير الأشعة فوق البنفسجية من الشمس. لذا من المهم أن ينكشف الجسم أحيانًا إلى أشعة الشمس، على الرغم من خطر سرطان الجلد. بالمقابل، من المهم الحصول على هذا الفيتامين من خلال المواد الغذائية، لأنه في معظم الحالات، الكمية التي تَنْتُج في الجسم بتأثير أشعة الشمس لا تكون كافية.
مصادر فيتامين **D** في الغذاء: الكبد، صفار البيض، مُنْتجات الحليب، الأسماك، مثل: السردين، السلمون والتونا (الرسمة ب - 23).

الرسمة ب - 23: مصادر فيتامين D.
انتبهوا: يُضاف الفيتامين إلى المرجرين وحبوب الصباح خلال عملية الإنتاج

سؤال ب -21:

تعمل سميرة في مجال الحاسوب، عُمرها 35 سنة، نشيطة وتعمل كل يوم من الصباح حتى المساء في الصناعات المتقدمة المسماة (High Tec). في نهاية الأسبوع تستريح عادةً في البيت. تهتم سميرة بأناقتها وجمالها، لذا فهي لا تأكل تقريبًا موادًا غذائية مصدرها من الحيوان أو غذاءً غنيًا بالدهنيات. في الفترة الأخيرة، تعاني سميرة من آلام في العظام وخاصةً في الظهر. ذهبت سميرة إلى الطبيبة بعد أن طلبت منها إجراء فحوصات كثيرة. في نهاية الفحوصات، اتضح أن مستوى كمية الكالسيوم منخفض في دم سميرة، وقد اعتقدت الطبيبة أن سميرة تعاني من نقص في فيتامين **D**.

أ. ما الذي أدى إلى اعتقاد الطبيبة أن سميرة تعاني من نقص في فيتامين **D**؟

ب. أين من المتوقع أن نجد في العالَم نسبة مئوية كبيرة من السكان الذين يعانون من عوارض نقص فيتامين **D**؟ للإجابة عن هذا السؤال، نوصي الاستعانة بالمعلومات الكثيرة الموجودة في الإنترنيت.

سؤال ب -22:

أُجريت فحوصات على الحليب الذي يتم تسويقه في فصل الشتاء، وقد وجد الفاحصون أن كمية فيتامين **D** في هذا الحليب أقل بحوالي 50% من كمية الفيتامين **D** الموجود في الحليب الذي يتم تسويقه في فصل الصيف. اشرحوا هذا المكتشف.

للمزيد عن
الفيتامينات:
انظروا الفصل السادس، الهرم الغذائي، صفحات 178-179 والملحق في الصفحات 200-201.

فيتامين A

يذوب **فيتامين A** في الدهنيات أيضًا. وهو ضروري للرؤية بشكل عام وللرؤية في الليل بشكل خاص. فيتامين **A** ضروري أيضًا لتمايز الخلايا الطلائية، لذا فهو ضروري لأداء الجلد والأنسجة المخاطية التي تغلف جهاز الهضم وجهاز البول. يؤثر فيتامين **A** على النمو، التكاثر ورد فعل جهاز المناعة أيضًا، كما أن فيتامين **A** ومشتقاته تحمي مكونات الجسم من تأثير المواد المؤكسدة (لذا فهو ينتمي إلى مجموعة المواد المعرّفَة على أنها مضادات التأكسد).

الرسمة ب -24: مواد غذائية غنية في فيتامين A وفي ß كاروتين

تنقسم مصادر فيتامين **A** في الغذاء إلى قسمين (الرسمة ب - 24):

غذاء من الحيوان —نجد فيتامين **A** بصيغته الفعَّالة في المواد الغذائية التي مصدرها من الحيوان وغنية في الدهنيات، مثل: الكبد، الكلى، دهنيات الحليب (كالزبدة واللبن ذا الدسم العالي) والبيض.

غذاء من النبات — نجد فيتامين **A** بصيغته غير الفعَّالة كمادة **بروفيتامين (قبل ـالفيتامين)**، بالأساس كمادة **ß** كاروتين. نجد **ß** كاروتين بالأساس في الخضروات والفواكه البرتقالية اللون، مثل: الجزر، البطاطا، القرع، المشمش، الشمام وفي الخضروات ذات اللون الأخضر الغامق، مثل: السبانخ، البروكلي، والبقدونس. في العمليات الإنزيماتية التي تحدث في الجهاز الهضمي، يتحول ß كاروتين إلى فيتامين فعَّال.

قليلًا من المعلومات عن ...

العمى الليلي وفيتامين A

إنَّ تأثير فيتامين **A** على الرؤية في الظلام متعلق بكونه مكوِّنًا في المادة الصبغية التي نسمِّيها رودودبسين الموجودة في العين، في الخلايا المسؤولة عن الرؤية في الظلام. الضوء الذي يصل الشبكية، تبتلعه المادة الصبغية رودوبسين ويؤدي إلى حدوث عمليات تقوم بتحليله. عندما يكون نقص في فيتامين **A** لا نستطيع الرؤية في الليل. بما أن فيتامين **A** هو مادة تتحلل مع مرور الوقت، لذا يجب الحصول عليه بشكل دائم من المواد الغذائية. في الماضي، أوصت وزارة الصحة على إضافة الفتامينين **A** وَ**D** إلى المواد الغذائية التي يحصل عليها الأطفال الذين تتراوح أعمارهم حتى سن سنة واحدة. ابتداءً من سنة 2007، أوصت وزارة الصحة على إضافة فيتامين **D** فقط، وذلك بسبب الأبحاث التي أشارت إلى أن الأطفال يحصلون على كمية كافية من فيتامين **A** في غذائهم.

إنَّ النقص في فيتامين **A** يشكل مشكلة طبية كبيرة في مناطق واسعة في العالَم الثالث (الدول الفقيرة). يقدِّر الأطباء أنه في كل سنة يصبح حوالي نِصف مليون طفل أعمى في هذه الدول بسبب النقص في فيتامين **A.** بما أن النقص فيه يؤذي جهاز المناعة، يقدِّر الأطباء أن حوالي 3 مليون طفل يموت في كل سنة، في دول آسيا بطريقة غير مباشرة بسبب النقص في فيتامين **A.**

سؤال ب -23:

اقترح باحثون فكرة إغناء الأرز في ß كاروتين بطرق الهندسة الوراثية. يعتقد الباحثون أن إضافة الجين ß كاروتين إلى نبتة الأرز سوف يؤدي إلى زيادة إنتاج ß كاروتين وإلى تقليل حوالي 25% من حالات الموت الناجمة من النقص في فيتامين **A**.

أ. ما هي مكونات الغذاء الناقصة - بحسب رأيكم- في دول العالَم الثالث، وما هي المواد الشائعة التي ينقصها في فيتامين **A**؟

ب. لماذا - بحسب رأيكم - تمَّ اختيار نبتة الأرز بالذات لتنفيذ التغيُّرات الوراثية؟

سؤال ب - 24:

تتميز وجبات الغذاء الإسرائيلية بكمية عالية في فيتامين **C** ، لكن لا يوجد توصية من وزارة الصحة بأن نحد من استهلاك هذا الفيتامين، أما بالنسبة لفيتامين **A** فقد أوصت وزارة الصحة عدم إعطائه للأطفال. ما هو - بحسب رأيكم - السبب للفرق بتوجه وزارة الصحة للفيتامينين؟

سؤال ب - 25:

يوصي مختصي التغذية بتحضير سلطة الخضروات في وقت قريب جدًا بقدر الإمكان من وقت تناولها، كما يوصون عدم تقطيعها إلى قِطع صغيرة جدًا وعدم تقشيرها. اشرحوا هذه التوصية.

هل تحتاج جميع الحيوانات نفس الفيتامينات ؟!

تختلف الحيوانات عن بعضها بأنواع الفيتامينات التي تحتاجها في غذائها. مثلا: يحتاج الإنسان، القرد وخنزير البحر فيتامين **C**، أما باقي الحيوانات، فإنها تستطيع على ما يبدو أن تُنْتِجها بذاتها. تحتاج الحيوانات المجترة إلى الفيتامينين **A** وَ **E** في غذائها، لكن فيتامين **K** المهم لعملية تخثر الدم ومعظم الفيتامينات من المجموعة **B** (بما في ذلك فيتامين B_{12})، فإنها تحصل عليها من الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في كرشها.

في الحيوانات غير المجترة (بما في ذلك الإنسان)، يَنْتُج فيتامين B_{12} وفيتامين **K** بواسطة كائنات حية دقيقة. لكن كمية الفيتامينات من هذا النوع التي يحصل عليها الجسم لا تكون كافية عادةً، لأن الكائنات الحية الدقيقة موجودة في الأمعاء الغليظ وإمتصاص المواد منه إلى الدم قليلة جدًا، لذا يجب الحصول على هذه الفيتامينات في الغذاء.

سؤال ب-26:

يوجد علاقة متبادلة من نوع تكافل بين الحيوانات والكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في الأمعاء الغليظ. اشرحوا هذه العبارة، من خلال التطرق إلى مساهمة كل واحد من المشتركين في هذه العلاقة المتبادلة.

النقص الشديد أو الاستهلاك الزائد للفيتامينات، قد يخل في التوازن الحساس المطلوب للأداء السليم للجسم ولصحته.يمكنكم التعلُّم عن أضرار النقص والاستهلاك الزائد للفيتامينات المختلفة من جدول 1 في الملحق (صفحات 200 - 201).

مواد غير عضوية

ب5. أملاح معدنية

في كل اسبوع، يزور حوالي 10 أطفال قسم الدم والأورام السرطانية في مستشفى الأطفال في المركز الطبي لينيادو الموجود في نتانيا. يعاني هؤلاء الأطفال من عوارض فقر الدم، نمو بطيء، اضطرابات في الانتباه والتركيز وتلوثات متكررة. العامل المشترك لجميع هذه العوارض هو النقص الحاد في الحديد. العدد الكبير للذين يحصلون على علاج غير مفاجيء، لأنه وُجد أن **40%-60%** من مجموع الأطفال في إسرائيل يعانون من نقص في الحديد. تزداد تكرارية النقص في الحديد كلما كان الوضع الاجتصادي (الاجتماعي - اقتصادي) للعائلة منخفض. ليس فقط الحيوانات والإنسان يحتاج إلى الحديد، بل النباتات أيضًا. إنَّ النقص المستمر في الحديد عند النباتات يؤذي الكلوروفيل الذي يشترك الحديد في بناؤه. تفقد أوراق النبتة لونها الأخضر تدريجيًا حتى تصبح بيضاء تقريبًا (انظروا الرسمة ب - 25). هذه النبتة لا تستطيع القيام بعملية التركيب الضوئي، وتفقد تدريجيًا القدرة على إنتاج مواد عضوية. والنقص المتكرر في الحديد يؤدي إلى موت النبتة.

الرسمة ب -25: أوراق من نباتات فاصولياء نمَّت في تربة فيها تركيز حديد مختلف

ينتمي الحديد إلى **الأملاح المعدنية** التي هي عناصر أو مركبات غير عضوية بسيطة وضرورية لتطور الكائنات الحية بشكل سليم. المصدر الأولي للأملاح المعدنية على الكرة الأرضية هو المناجم، لذا فهي موجودة بكثرة في الصخور، التربة، المحيطات والبحار الموجودة على قشرة الكرة الأرضية.

علاقة بموضوع

علم البيئة:
سلاسل الغذاء.

تستوعب النباتات الأملاح المعدنية من التربة (التي نتجت من تفكيك الصخور) بمساعدة الجذور وهي تخزنها في أنسجتها. يستوعب الإنسان والحيوان الأملاح المعدنية المختلفة من الغذاء الذي يتغذى عليه، مثل: النباتات والحيوانات التي قامت بتخزين الأملاح المعدنية في أنسجتها. لذا يمكن أن نعتبر النباتات على أنها حلقة وصل في نقل الأملاح المعدنية من التربة إلى الحيوان والإنسان. تشكل الأملاح المعدنية حوالي **4%** من وزن النبات الجاف (تشكل عناصر الكربون، الهيدروجين، والأكسجين حوالي **96%** من المادة الجافة).
تحتاج الكائنات الحية الأملاح المعدنية بكميات قليلة نسبيًا ولا تستطيع أن تقوم الكائنات الحية بوظائفها في حالة نقص في الأملاح المعدنية.

ما هي أهمية الأملاح المعدنية في الكائنات الحية ؟!

- **الأملاح المعدنية تشكل مواد بناء:** النيتروجين، على سبيل المثال، يشترك في بناء الحوامض الأمينية وحوامض النواة. ويشترك الفوسفور في بناء حوامض النواة، بعض البروتينات والفوسفوليبيدات. وفي الحيوانات، يشترك الكالسيوم، المغنيزيوم والفلور في بناء الأسنان والعظام.

- الأملاح المعدنية هي جزء من مركبات ذات أهمية فسيولوجية: فوسفور في الـ **ATP**، حديد في الهيموغلوبين ومغنيزيوم في الكلوروفيل.
- تشترك الأملاح المعدنية في تفعيل العضلات ونقل المحفزات العصبية: يشترك الكالسيوم، الصوديوم والبوتاسيوم في هذه النشاطات.
- تشترك الأملاح المعدنية في تنفيذ التفاعلات البيوكيميائية: مثلاً: يقوم النحاس بتفعيل إنزيمات تقوم بعمليات تأكسد - اختزال.
- تساهم الأملاح المعدنية في التركيز الأسموزي للخلايا والأنسجة وفي النسبة بين الحامض - القاعدة: هذه الوظيفة مهمة في النباتات أيضًا للحفاظ على ضغط طروجور المطلوب لثبات النبات ولحركات معينة في النبتة مثل فتح الثغور.

نقسِّم عادةً الأملاح المعدنية إلى مجموعتين بحسب الكمية التي نستهلكها من كل واحد منها:
ميكرو أملاح معدنية – هي أملاح معدنية يحتاجها الكائن الحي بكميات قليلة جدًا. هذه الأملاح المعدنية مهمة بالأساس لتفعيل تفاعلات بيوكيميائية وهورمونالية.
ماكرو أملاح معدنية– هي أملاح معدنية يحتاجها الكائن الحي بكميات أكبر من المجموعة السابقة، وهي تشترك بالأساس في بناء مبنى الكائن الحي.
على الرغم من تقسيم الأملاح المعدنية بحسب الكميات المطلوبة منها، فإنّنا لا نقصد أن هناك علاقة بين كمية المادة وبين أهميتها للبقاء السليم للكائن الحي، مثلاً: تحتوي جميع الحوامض الأمينية على نيتروجين. الإنزيم الذي يبني الحامض الأميني مثيونين يحتاج بشكل ضروري إلى عنصر الخارصين لكي يقوم بوظيفته. بمساعدة جزيء واحد من الإنزيم تُبنى آلاف الجزيئات من الحامض الأميني مثيونين. من هنا كمية الخارصين المطلوبة أقل بعدة أضعاف من كمية النيتروجين المطلوبة. مع ذلك، النقص في الخارصين يؤذي نشاط الإنزيم وبدونه لا يتم بناء الحامض الأميني (حتى لو كان النيتروجين موجود بكثرة).
التقسيم إلى ماكرو أملاح معدنية وإلى ميكرو أملاح معدنية يختلف عند الحيوانات والنباتات.

كما هو الأمر في الفيتامينات، فإنَّ معظم الأملاح المعدنية ضرورية للأداء السليم للجسم، لكن عندما نستهلكها بكميات كبيرة قد تؤدي إلى ضرر. مثلًا: الصوديوم هو ملح معدني ضروري، وهو أحد مكوِّنات ملح الطعام، وهو يشترك في توازن الماء والأملاح في الجسم وفي نشاط العضلات والأعصاب. لكن يؤدي الاستهلاك الزائد للصوديوم إلى ضغط دم عال، والنقص الحاد فيه يؤدي إلى تشويه العضلات. لذا كما كانت التوصية حول استهلاك الفيتامينات، فإننا نوصي بالتركيز على تغذية متنوعة تحتوي على جميع الأملاح المعدنية المطلوبة، ويجب أن لا نستهلك منها كميات كبيرة دون موافقة طبية.
في جدول 2 في الملحق، ستجدون مصادر، وظائف وتأثير نقص أو فائض أملاح معدنية على الإنسان والحيوان.

سؤال ب -27:
اليود هو عنصر ضروري لنشاط هورمونات الغدة الدرقية. النقص الحاد في اليود يؤدي إلى تضخم الغدة الدرقية وهذه الظاهرة نسمِّيها الدراق.
ابحثوا في ملحق الكتاب وفي الإنترنيت معلومات عن اليود كعنصر ضروري في التغذية.
أ. اذكروا ظاهرتين إضافيتين متعلقتين بنقص اليود في التغذية.
ب. ما هي المصادر التي يحصل الإنسان منها على اليود؟
ج. ما هي الطرق المتبعة لمنع النقص في اليود عند السكان؟

سؤال ب-28:
اذكروا 3 أسباب، على الأقل، لماذا يوصي الأطباء تناول الخضروات بكثرة؟

للمزيد عن
وظائف الأملاح المعدنية في النباتات:
انظروا الفصل الثالث، بند تغذية الأملاح المعدنية في الصفحات 74-76.

نافذة البحث

يشكل الكالسيوم عند جميع الفقريات مادة أساسية لبناء العظام ويتغيَّر استهلاكه بحسب العمر ومرحلة التطور. في الطيور، على سبيل المثال، مستوى الكالسيوم الذي يجب أن نزود الصيصان به يختلف عن المستوى الذي يجب أن نزود به الدجاجات التي تضع بيضًا والدجاجات كبيرة السن. يؤدي الخلل في تزويد الكالسيوم إلى عوارض نقص الكالسيوم في جسم الطير: تصبح عظام الطير قابلة للإنكسار، يقل عنده تناول الغذاء ويحدث عنده انضمار عام. عند الدجاجات التي تضع بيضًا، تصبح قشرة البيضة دقيقة وقابلة للإنكسار ويؤدي النقص الحاد في الكالسيوم إلى إيقاف عملية وضع البيض.

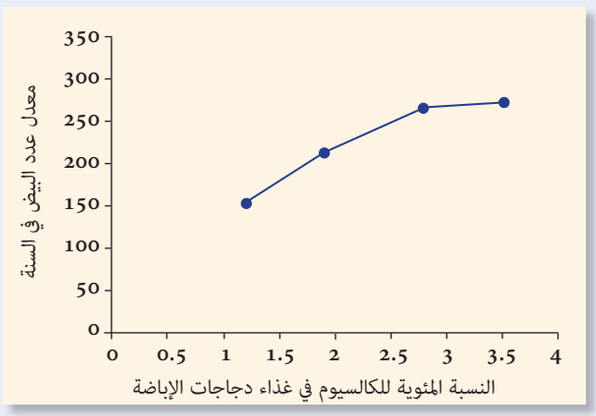
سؤال ب -29:

فحص باحثون تأثير نسبة الكالسيوم في غذاء دجاجات تضع بيضًا على معدل عدد البيض الذي تضعه في السنة الواحدة. تعرض الرسمة ب - 26 نتائج هذه التجربة:

أ. صفوا العلاقة بين نسبة الكالسيوم في غذاء دجاجات تضع بيضًا وبين معدل عدد البيض الذي تضعه في السنة الواحدة.

ب. ادّعى الباحثون أنه عندما تكون نسبة الكالسيوم في الغذاء أقل من **3%**، فإنه يصبح عاملًا محددًا للإباضة. هل تدعم نتائج التجربة ادعائهم؟ على ماذا اعتمد ادعاء الباحثون؟

ج. خمِّنوا، ماذا يمكن أن يكون العامل المحدد لمعدل البيض السنوي عندما يكون تركيز الكالسيوم أكثر من **3%**؟



الرسمة ب -26: تأثير النسبة المئوية للكالسيوم في غذاء دجاجات الإباضة على معدل عدد البيض السنوي

سؤال ب -30:

في سن البلوغ (من سن **9** سنوات حتى **18** سنة)، كمية الكالسيوم اليومية الموصى بها للذكور والإناث هي **1,300** ملغم . في نفس الأجيال، كمية الحديد الموصى بها للذكور هي من **8–11** ملغم لليوم الواحد وللإناث **15** ملغم لليوم الواحد.

أ. هل يمكن الاستنتاج من هذه التوصيات أن الكالسيوم أهم من الحديد للجسم؟ علِّلوا إجاباتكم.

ب. لماذا كمية الحديد الموصى بها لإستهلاك الإناث أكثر من الكمية الموصى بها لإستهلاك الذكور؟

ج. استهلاك كمية الحديد الموصى بها في فترة الحمل هو ضعفَي الكمية الموصى بها لنساء تتراوح أعمارها من **19-50** سنة . اشرحوا، لماذا من المهم استهلاك الحديد بكمية عالية في فترة الحمل بشكل خاص؟

ب6. الماء

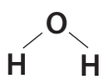
وصل السؤال الآتي إلى أحد منتديات متدينين في الإنترنيت:
"نحن مجموعة من الصائمين بودنا أن نخرج في جولة تعليمية، في غور الأردن(في شهر يوليو). خلال يوم الصوم، سوف نقوم بنشاطات مختلفة، مثل: جولات ترجّل على الأقدام وجولات بالسيارات، وسنقوم أيضًا بمشاهدات وغير ذلك. بحسب رأي الطبيب، يجب علينا أن نشرب كميات سوائل كثيرة خلال اليوم. نرجو من حضرتكم توجهينا والإجابة عن السؤال الآتي: هل من المسموح أن نشرب ماء قبل أن تظهر لدينا علامات الضعف؟ وما هي الكمية المسموحة للشرب؟
الإجابة عن السؤال:
"كل من يتواجد في غور الأردن، يُسمح له أن يشرب خلال الصوم حتى إنْ لم يَقُم بأي نشاط جسماني وحتى إذا لم يشعر بالعطش، وخاصةً إذا قال الطبيب: إنَّ تناول السوائل ضروري بسبب الخطر على الحياة"

لماذا يشكل النقص في الماء خطرًا كبيرًا، وهذا الموقع للمتدينين يسمح تناول الماء في حالات معينة وحتى في يوم صوم؟

الماء هو مورد ضروري للكائن الحي والنقص الحاد فيه قد يؤدي إلى صدمة وحتى إلى موت تنبع أهمية الماء أولًا من كونه المكون الأساسي في أجسام **جميع** الكائنات الحية. البيئة المحيطة الداخلية. في الكائن الحي هي بالأساس بيئة مائية، والماء هو المكون الأساسي للسائل الذي يحيط كل خلية، السائل الموجود داخل الخلية وأجهزة النقل في الكائن الحي. يشكل الماء حتى **90%** من وزن نباتات معينة وحوالي **70%-60%** من وزن جسم الإنسان (انظروا الرسمة ب - 1) . فقط كائنات حية قليلة تستطيع البقاء فترات طويلة نسبيًا دون ماء، لكن عندئذٍ فهي تقوم بعمليات أيضية قليلة جدًا (مثلًا: بكتريا في حالة أبواغ وبذور النباتات).

وظائف الماء في الكائن الحي

الماء هو مادة غير عضوية ذو مبنى بسيط جدًا (انظروا الرسمة ب -27). كل جزي ماء مبني من ذرتين هيدروجين مرتبطتين بذرة أكسجين واحدة برابط قوي.

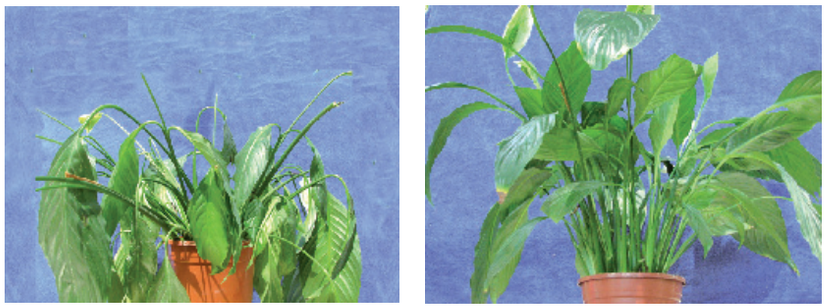


الرسمة ب-27: صيغة بنائية لجزيء الماء

- **الماء مذيب:** تتم تفاعلات كيميائية كثيرة في الخلايا عندما تكون المواد في محلول مائي، ويتم أيضًا نقل المواد من مكان إلى آخر داخل الخلية ذاتها ، أو عبر أغشية الخلايا عندما تكون مذابة في ماء فقط.
- **الماء ناقل مواد:** في الكائنات الحية المتعددة الخلايا الكبيرة والمتطورة، تنتقل المواد من مكان إلى آخر بواسطة أجهزة نقل تعتمد على المحاليل المائية. ويتم إبعاد المواد الضارة من الجسم بواسطة الماء وجهاز الإفراز.
- **أداء أيضي للماء:** في قسم من العمليات الكيميائية التي تتم في الخلايا، يشترك الماء كمادة متفاعلة أو كناتج.
- **الحفاظ على بيئة محيطة ثابتة:** يقوم الماء بوظيفة الحفاظ على البيئة من التغيُّرات في الضغط الأسموزي والـ **pH**، وذلك بفضل قدرته على الانتقال عبر أغشية الخلايا وفقًا لمنحدر التراكيز.

علاقة بموضوع

بيولوجيا الإنسان: *يتم نقل نواتج الهضم، الأجسام المضادة والفضلات في جسم الإنسان، في بيئة مائية، في جهاز النقل.*



الرسمة ب - 28: نبتة منتصبة (على اليمين) ونبتة منكمشة على اليسار.

- **الدعامة والحفاظ على الثبات:** في أعضاء النبتة حديثة السن يكون تطور الأنسجة الداعمة قليلًا وانتصابها متعلق بشكل كبير جدًا بالماء الذي يملئ الفجوة العصارية التي تحتل قسم كبير من حجم الخلية. من السهل أن نميِّز أهمية وظيفة الماء عندما نتمعَّن في النباتات التي لم يتم ريها وهي منكمشة وذبلة (الرسمة ب - 28).
- **تنظيم درجة حرارة الجسم:** يقوم الماء بوظيفة مركزية بتنظيم درجة حرارة جسم الحيوانات والإنسان. يتم التنظيم من خلال عملية تبخر الماء من الجلد (العرق) وجهاز التنفس (الزفير)، ومن خلال استيعاب الحرارة في الأماكن التي تَنْتُج فيها، ثم نقلها بسائل الدم إلى السطح الخارجي للجسم وهناك تنطلق الحرارة إلى البيئة المحيطة الخارجية. وفي النباتات أيضًا، يقوم الماء بوظيفة مهمة للحفاظ على عدم ارتفاع درجة حرارة النبتة من خلال عملية النتح.

للمزيد عن
تنظيم درجة الحرارة في النبات: *انظروا الفصل الثالث، صفحة 53 (النتح).*

استيعاب وفقدان الماء بواسطة الكائن الحي

تستوعب الحيوانات الماء المطلوب لها من خلال تناول الشراب والغذاء، وتفقد الماء خلال عملية التبخر عبر الجلد (العرق) وجهاز التنفس (الزفير)، وأيضًا من خلال إفراز البول والبراز. يوجد حيوانات تفقد ماء خلال عملية اللهث (تبخر الماء عبر اللسان)، وذلك جزء من آلية الحفاظ على درجة حرارة جسم ثابتة. تستوعب النباتات معظم الماء المطلوب لها مباشرةً من التربة عبر الجذور. يتبخر معظم الماء إلى الهواء بالأساس عبر الثغور في عملية النتح.

في الكائن الحي ذاته، يَنْتُج قسم من الماء الذي يستهلكه كناتج مرافق لعملية الأيض (تبادل مواد).

سؤال ب -31:

في الماضي، اعتاد الجنود في الجيش على نظام "الانضباط في شرب الماء"، وهذا يعني، تحديد كمية الماء المسموح شربه. أُلغيت هذه التعليمات بعد إصابة جنود كثيرون "بضربة شمس"، حيث تعتبر هذه الإصابة خطيرة بسبب ارتفاع درجة حرارة الجسم إلى أكثر من 40^oC. تطرقوا إلى وظائف الماء واشرحوا، لماذا أُلغيت هذه التعليمات؟

سؤال ب-32:

معروف للجميع أنه يجب الإكثار من شُرب الماء ، وهناك توصية أن نشرب في اليوم الواحد من 8-12 كأسًا من السوائل. لكن في حالات نادرة، عند شُرب كميات ماء أكثر بكثير من المذكورة أعلاه، فقد يحدث "تسمم ماء". في هذه الحالة، يدخل ماء من أوعية الدم إلى أعضاء مثل الرئتين وإلى الخلايا. اشرحوا هذه الظاهرة.

سؤال ب -33:
هل ، بحسب رأيكم، حيوانات مائية تشرب ماءً؟ علِّلوا إجاباتكم.

سؤال ب-34:
ما هي أهمية الري في المزروعات الزراعية؟

المواضيع الأساسية في الفصل

- الكربوهيدرات هي المركبات الشائعة في الطبيعة. وهي مبنية من ذرات كربون، هيدروجين وأكسجين.
- تنقسم الكربوهيدرات إلى أحادية السكر، ثنائية السكر ومتعددة السكريات.
- يُسخدم الجلوكوز (أحادي السكر) كمصدر طاقة أساسي في عملية التنفس الخلوي في النباتات والحيوانات.
- أحادي السكر هو مادة بناء أساسية لجميع الكربوهيدرات، ثنائي السكر مبني من وحدتين من أحادي السكر. أحاديات السكر وثنائيات السكر، جميعها حلوة المذاق وتذوب في الماء.
- متعددة السكريات مبنية من وحدات كثيرة لأحادي السكر. لا يذوب في الماء وليس حلوًا. يُستخدم قسم معين من متعددة السكريات كمواد إدخارية كالنشا في النباتات والجليكوجن في الحيوانات. ويُستخدم قسم آخر من متعددة السكريات كمواد لبناء الخلايا، مثلاً: السيلولوز الذي يبني جدار الخلية في النباتات.
- اللبيدات هي مركبات متنوعة جدًا، وهي تحتوي على ذرات كربون، هيدروجين وأكسجين. الصفة المشتركة لجميع اللبيدات أنها لا تذوب في الماء.
- المجموعات الثلاث الرئيسية للبيدات هي: التريجلتسيريدات، الفوسفولبيدات والستروئيدات. مواد البناء الأساسية لمعظم الفوسفولبيدات هي الحوامض الدهنية. تنقسم الحوامض الدهنية إلى مجموعتين: حوامض دهنية مشبعة وحوامض دهنية غير مشبعة.
- يستطيع جسم الإنسان أن يبني بذاته معظم الحوامض الدهنية باستثناء حامضين دهنيين ضروريين ومن هنا جاء اسمها.
- التريجلتسيريدات (دهنيات وزيوت) مبنية من هيكل جليسيرول مرتبطة به ثلاثة حوامض دهنية.
- الدهنيات مبنية من تريجلتسيريدات، تحتوي بالأساس على حوامض دهنية مشبعة. مصدرها في معظم الحالات من الحيوانات وهي صلبة في درجة حرارة الغرفة.
- الزيوت مبنية من تريجلتسيريدات، تحتوي بالأساس على حوامض دهنية غير مشبعة. مصدرها في معظم الحالات من النباتات وهي سائلة في درجة حرارة الغرفة.
- الفوسفولبيدات مبنية من هيكل جليسيرول مرتبط به حامضان دهنيان (ذنب) ومجموعة هيدروفيلية (رأس). الفوسولبيدات هي المكون الأساسي للأغشية.
- الستروئيدات مبنية من أربع حلقات كربونية وهي موجودة في أغشية خلايا حقيقية النواة وتعتبر مواد خام لبناء مواد مختلفة من بينها الهورمونات.
- تقوم البروتينات بوظائف كثيرة في الكائن الحي: بروتينات بنائية وبروتينات وظائفية.
- مواد البناء لجميع أنواع البروتينات هي **20** حامضًا أمينيًا وهي مبنية من ذرات كربون، هيدروجين وأكسجين، ويوجد فيها دائمًا ذرة نيتروجين واحدة على الأقل.
- تستطيع النباتات أن تُنْتِج جميع أنواع الحوامض الأمينية من نواتج عملية التركيب الضوئي ومن النيترات (مركبات نيتروجين -أكسَجين) التي مصدرها من التربة. لا يستطيع الإنسان أن يُنْتِج بشكل ذاتي ثمانية حوامض أمينية. هذه الحوامض الأمينية نسمّيها حوامض أمينية ضرورية، لذا يجب على الإنسان أن يحصل عليها من الغذاء.

- تتميز جزيئات البروتينات بمبنى فراغي، حيث يتم تحديد المبنى الفراغي بحسب تسلسل الحوامض الأمينية التي تبني البروتين وبحسب الروابط التي تَنْتُج بين المجموعات الجانبية للحوامض الأمينية القريبة والبعيدة عن بعضها. ومن المعروف أن نشاط البروتين متعلق بمبناه الفراغي.
- الفيتامينات هي مواد عضوية ضرورية لحدوث عمليات بيوكيمائية في الكائن الحي. يذوب قسم من الفيتامينات في الماء (مثلًا: فيتامينات من نوع **B** وفيتامين **C**) ويذوب القسم الآخر من الفيتامينات في الدهن(مثلًا: فيتامين **A** وفيتامين **D**). تستطيع النباتات أن تُنْتِج الفيتامينات بذاتها، أما الحيوانات فيجب أن تحصل على معظم أنواع الفيتامينات من الغذاء.
- الأملاح المعدنية هي عناصر أو مركبات غير عضوية ضرورية لأداء جميع الكائنات الحية، قسم منها مواد بناء، قسم منها لتنفيذ نشاطات بيوكيميائية وقسم منها للحفاظ على التركيز الأسموزي وعلى النسبة بين الحامض والقاعدة.
- نحتاج قسم من الأملاح المعدنية بكميات كبيرة، حيث نسمِّيها ماكرو أملاح معدنية، وقسم منها نحتاجه بكميات قليلة جدًا نسمِّيها ميكرو أملاح. المصدر الأساسي للأملاح المعدنية هو مناجم التربة.
- الماء هو المكون الأساسي في أجسام جميع الكائنات الحية، يُستخدم في الكائنات الحية كمذيب، ناقل مواد ويشترك في عمليات بيوكيميائية كثيرة، كما أنه يحافظ على ضغط أسموزي وَ **pH** سليمين، وينظِّم درجة الحرارة، وفي النباتات يحافظ على الثبات(الدعامة) أيضًا.

مصطلحات مهمة في الفصل

جلوكوز	بروتينات
جليسيرول	تريجلتسيريدات
ثنائي السكر	كولسترول
فيتامينات (فيتامين **A**, فيتامين **D**)	ليبيدات
سكر أحادي	ماء
حوامض أمينية (ضرورية وغير ضرورية)	أملاح معدنية
حوامض دهنية ضرورية	كربوهيدرات
حوامض دهنية (مشبعة وغير مشبعة)	كربون
مواد إدخارية	متعدد السكريات
مواد عضوية	مكونات الغذاء
مواد غير عضوية	سيلولوز

عملية التركيب الضوئي - إنتاج مواد عضوية في النبات

ج

ج1. نظرة علوية على عملية التركيب الضوئي
ج2. كيف نعرف؟ خطوات أولى في بحث عملية التركيب الضوئي
ج3. ملاءمة النبات لتنفيذ عملية التركيب الضوئي
ج4. كلوروبلاستيدات واستيعاب الضوء
ج5. مراحل عملية التركيب الضوئي
ج6. نواتج عملية التركيب الضوئي: نقلها، تخزينها واستغلالها في النبات
ج7. عوامل تؤثر على عملية التركيب الضوئي
ج8. تدخُّل الإنسان: ازدياد عملية التركيب الضوئي من خلال تغيير عوامل البيئة المحيطة
ج9. تغذية النباتات بالأملاح المعدنية وأهميتها لتطوره ولحدوث عملية التركيب الضوئي.
ج10. استيعاب ماء وأملاح معدنية بواسطة جذور النبات
المواضيع الأساسية في الفصل
مصطلحات مهمة في الفصل

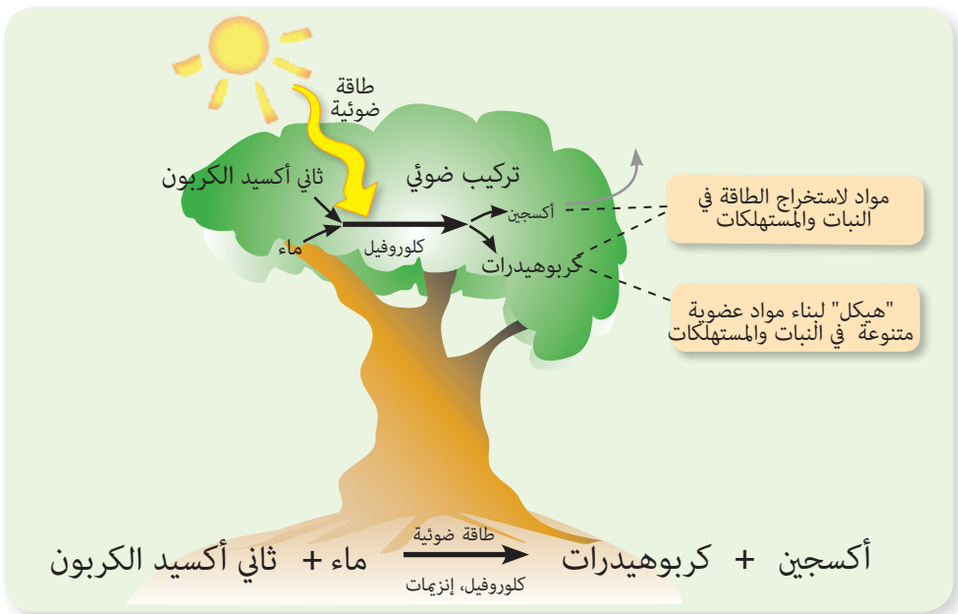
كائنات حية ذاتية التغذية
ثاني أكسيد الكربون (CO_2)
طاقة كيميائية
مواد إدخارية
أملاح معدنية
ثغور
تركيب كيميائي
تحولات طاقة
أكسجين (O_2)
كلوروفيل
كلوروبلاستيدات
تركيب ضوئي
عوامل خارجية
شعيرات ماصة

الفصل الثالث: عملية التركيب الضوئي - إنتاج مواد عضوية في النبات

ج1. نظرة عُلْويّة على عملية التركيب الضوئي

كما تعلَّمنا في الفصل الأول، تحتاج جميع الكائنات الحية إلى مواد عضوية لبقاؤها. كما تعرفون، النباتات هي ذاتية التغذية، وهذا يعني أنها تُنْتِج مواد عضوية بذاتها، وذلك عكس الكائنات الحية غير ذاتية التغذية التي يجب عليها أن تحصل على مواد عضوية من مصدر خارجي خلال تغذيتها.

في عملية **التركيب الضوئي**، تُنْتِج كائنات حية ذاتية التغذية - نباتات، طحالب وقسم من البكتيريا - مواد عضوية (كربوهيدرات) وأكسجين من مواد غير عضوية بسيطة (ماء وَ CO_2) وذلك من خلال استغلال الطاقة الضوئية التي يتم استيعابها بالكلوروفيل الموجود في الخلايا الخضراء (الرسمة ج - 1). تتغذى الكائنات الحية غير ذاتية التغذية (المستهلكات) على مواد عضوية تَنْتُج في عملية التركيب الضوئي.



الرسمة ج - 1: أهمية عملية التركيب الضوئي لعالَم الأحياء.

عند حدوث عملية التركيب الضوئي تتحول مواد غير عضوية، من خلال استغلال الطاقة الضوئية، إلى مواد عضوية تُستعمل للبناء ولإستخراج الطاقة. كما يَنْتُج الأكسجين الذي يشترك في عملية التنفس الخلوي الهوائي.

يعتقد الكثيرون أن عملية التركيب الضوئي من أهم العمليات التي تحدث على سطح الكرة الأرضية.
تبرز أهميتها الخاصة في المجالات الثلاثة الآتية:

1. تحويل طاقة ضوئية إلى طاقة كيميائية.
2. بناء "هيكل كربوني".
3. انطلاق أكسجين.

1. تحويل طاقة ضوئية إلى طاقة كيميائية: الضوء هو مصدر الطاقة الأولي لجميع أنظمة الحياة على سطح الكرة الأرضية. يوجد له أفضلية مهمة، لأن الشمس "مورد لا يتناقص" في المدى القريب والبعيد. يُقَدِّر العلماء أن العمليات النووية في الشمس، ستستمر في الحدوث ملايين السنين.

يوجد للضوء كمصدر طاقة للكائنات الحية عدة سيئات واضحة:

- جميع العمليات البيوكيميائية التي تحدث في الخلايا، الضوء غير مناسب لها كمصدر طاقة مباشر. الطاقة الكيميائية (ATP) هي الطاقة المناسبة للعمليات التي تحدث في الخلايا.
- الكائنات الحية غير ذاتية التغذية، لا يوجد لديها آليات لتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية.
- الضوء غير متوافر دائمًا: خلال اليوم، يوجد ساعات ظلام، وفي فصول السنة المختلفة توجد تغيُّرات في توافر الضوء وشدته، لكن الحاجة إلى الطاقة متواصلة ودائمة.
- لا يمكن تخزين الطاقة الضوئية مدة زمنية طويلة، أما الطاقة الكيميائية تُخزن في مواد، مثل: النفط، السكر أو الطحين (النشا).

من هذه السيئات، تنبع أهمية تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية. يمكن استغلال الطاقة الكيميائية بعد مرور مدة زمنية طويلة على إنتاجها، كما يمكن استغلالها في مكان آخر أيضًا. هذا يعني أن عملية التركيب الضوئي لا تُقيد الكائن الحي بمصدر الطاقة الأولي - الضوء، وهي تزوِّد الكائنات الحية بمصدر طاقة يمكن استغلاله **بزمن** آخر وفي **مكان** آخر.

مثلًا: يتغذى الإنسان بطريقة مباشرة أو غير مباشرة على مواد نَتَجت في النباتات أثناء عملية التركيب الضوئي. تستعمل البذرة التي تنبت مواد إدخارية نَتَجت خلال عملية التركيب الضوئي في النبتة التي تطورت فيها الثمار والبذور قبل مدة زمنية طويلة. كذلك الأمر بالنسبة لاستعمال مواد الوقود (النفط والفحم) في يومنا هذا، فقد نَتَجت هذه المواد في عملية التركيب الضوئي التي حدثت في فترات قديمة جدًا وفي أماكن بعيدة.

من الجدير بالمعرفة أن حوالي **1%-2%** فقط من الطاقة الضوئية الكلية التي تصل من الشمس تتحول إلى طاقة كيميائية أثناء عملية التركيب الضوئي. تكفي هذه النسبة القليلة، لكي نزوِّد موادًا عضوية لمعظم الكائنات الحية التي تعيش على سطح الكرة الأرضية.

2. بناء "هيكل كربوني": ناتج عملية التركيب الضوئي هو هيدروكربون يُستعمل "كهيكل كربوني" لبناء الكربوهيدرات المختلفة ومواد عضوية أخرى، مثل: البروتينات، الدهنيات وحوامض النواة. تُستعمل نواتج التركيب الضوئي أولًا في المُنْتِجات - الكائنات الحية التي نَتَجت فيها للبناء ولاستخراج الطاقة، لكن يستغل هذه النواتج كل من يتغذى عليها في الشبكة الغذائية، مثل: المستهلكات المختلفة والمحلِّلات.

إنَّ القدرة على استعمال هيكل أساسي يَنْتُج في عملية التركيب الضوئي لإنتاج أنسجة عضلات الأسد أو حليب البقرة، تُشير إلى تجانس كبير في المواد الكيميائية في عالَم الأحياء.

عدد أنواع المركّبات العضوية في أجسام الكائنات الحية هو قليل، لذا تستطيع الكائنات الحية أن تتغذى على بعضها.

علاقة بموضوع

علم البيئة:
مُنْتِجات، مستهلكات ومحلِّلات في الشبكة الغذائية.

فكرة مركزية

تجانس وتباين
من أنواع قليلة من المركبات، يتم بناء تنوع هائل جدًا من المواد.

3. انطلاق أكسجين: يساعد الأكسجين الجزيئي(O_2) الذي ينطلق خلال عملية التركيب الضوئي على استخراج طاقة متوافرة (ATP) بكمية كبيرة من مواد عضوية خلال عملية التنفس الخلوي الهوائي، الذي سنتعلَّم عنه في الفصل الخامس بشكل مفصَّل.

دون اشتراك الأكسجين، يمكن استخراج كمية قليلة من الطاقة المتوافرة من المواد العضوية. معظم الكائنات الحية (باستثناء عدد قليل من البكتيريا والفطريات) لا تستطيع البقاء دون أكسجين. يشكل تركيز الأكسجين حوالي **21%** من الغلاف الجوي.

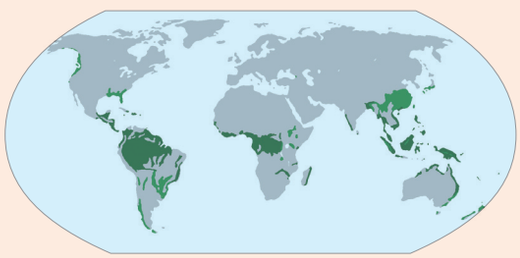
ومن الجدير بالمعرفة أن معظم الأكسجين الموجود في الهواء اليوم مصدره من الماء الذي يعتبر من المواد المتفاعلة في عملية التركيب الضوئي.

هناك جانب إضافي لعملية التركيب الضوئي وهو تأثيرها على توازن CO_2 في الغلاف الجوي. ينبعث CO_2 خلال عملية التنفس الخلوي التي تنفِّذها معظم الكائنات الحية وفي أعقاب احتراق الوقود. بفضل النباتات التي تستوعب ثاني أكسيد الكربون CO_2 وتستعمله لبناء الهيكل الكربوني، لا يرتفع تركيز الـ CO_2 في الهواء. وأصبح معروفًا أن ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون له تأثير سلبي على البيئة المحيطة، نفصِّل ذلك فيما بعد (صفحة 71).

قليلًا من المعلومات عن...

الغابات المطرية (الماطرة) هي "الرئة" الخضراء للعالَم

إنَّ تقليص مساحات الغابات المطرية يُثير مشكلة عالمية. الغابة المطرية هي أحد الأنظمة البيئية المعقدة على سطح الكرة الأرضية. المساحة العامة للغابات المطرية حوالي 20 مليون كيلو متر مربع. وهي مركَّزة في ثلاث مناطق أساسية (أميركا الجنوبية، غرب إفريقيا وجنوب شرق آسيا) كما نرى ذلك في الرسمة ج - 2.



الرسمة ج - 2: انتشار الغابات المطرية في العالَم.
انتبهوا! تقع المناطق الثلاث في خط الإستواء.

في السنوات الأخيرة من القرن العشرين، كانت وتيرة **قطع الغابات** حوالي 20 ألف كيلو متر مربع في السنة (وهذا أقل بقليل من مساحة دولة إسرائيل). حتى بداية القرن العشرين، غطّت الغابات المطرية حوالي 14% من مساحة اليابسة للكرة الأرضية، لكن اليوم تشكل 6% من مساحة اليابسة للكرة الأرضية.

سؤال ج -1:

تُقلق وتيرة قطع كل من يبحث جودة البيئة المحيطة. اكتبوا أربع نتائج ممكنة لتقليص مساحات الغابات.

سؤال ج-2:

لكي نفهم أهمية عملية التركيب الضوئي لتغذية الإنسان، اكتبوا قائمة مفصَّلة للمواد الغذائية التي نتناولها خلال اليوم.

أ. أي مواد غذائية تأكلونها تعتمد بطريقة مباشرة على عملية التركيب الضوئي؟ أعطوا أمثلة.

ب. أي مواد غذائية تأكلونها تعتمد بطريقة غير مباشرة على عملية التركيب الضوئي؟ أعطوا أربعة أمثلة. واشرحوا علاقتها بعملية التركيب الضوئي.

تغذية ذاتية - مع ضوء ودون ضوء (تغذية كيميائية)

تنقسم الكائنات الحية ذاتية التغذية إلى مجموعتين بحسب مصدر الطاقة الذي تستغله:

1. كائنات حية تستغل الضوء كمصدر للطاقة. تشتمل هذه المجموعة على النباتات، الطحالب وبكتيريا معينة ونسمِّي هذه المجموعة **ذاتية التغذية ضوئية**.
2. كائنات حية لا تستغل الضوء كمصدر طاقة لبناء مواد عضوية، بل تستغل مركبات غير عضوية موجودة في بيئتها المحيطة، مثل: أمونيا (NH_3) وكبريتيد الهيدروجين(H_2S). تنتمي مجموعة صغيرة من البكتيريا إلى هذه المجموعة ونسمِّيها **ذاتية التغذية كيميائية**. عملية بناء المواد العضوية من خلال استغلال طاقة مصدرها من مواد غير عضوية نسمِّيها **تركيب كيميائي**.

انتبهوا! مصدر الكربون للمركبات العضوية في المجموعتين هو CO_2 من الهواء.

ج2. كيف نعرف؟
خطوات أولى في بحث عملية التركيب الضوئي

على الرغم من أن عملية التركيب الضوئي التي عرضناها في الرسمة ج 1- تبدو بسيطة، إلا أنها عملية معقدة جدًا. احتاج العلماء سنوات كثيرة، لكي يكتشفوا تفاصيل العملية وحتى يومنا هذا ما زال العلماء يبحثون عملية التركيب الضوئي.

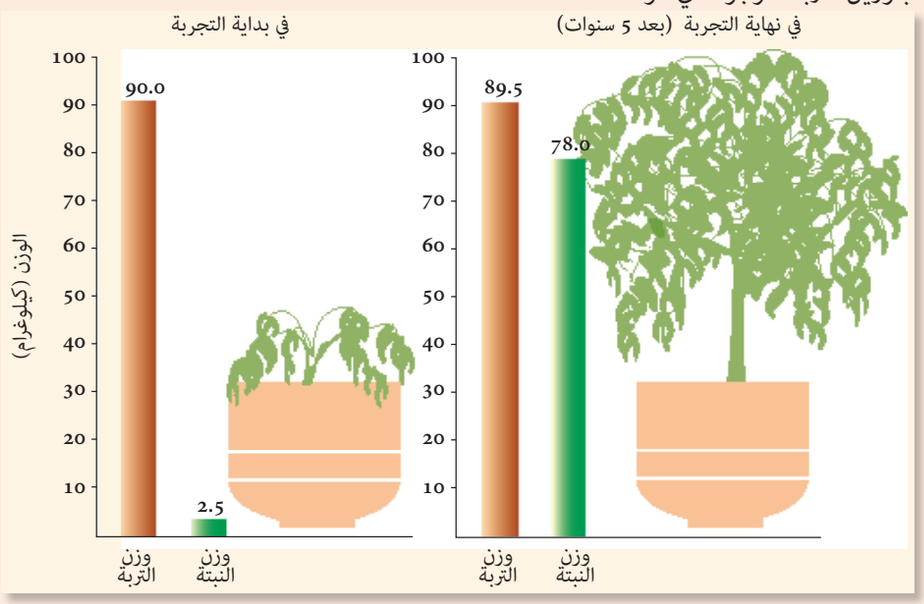
اعتقد الإنسان في قديم الزمان أن النبات يتغذى من التربة. اعتمد هذا الاعتقاد على تجربة حياة الإنسان: النباتات تنمو في التربة ومن المعروف أنها تحتاج إلى ماء لكي تنمو وتتطور. أما الهواء فلم يعرف الإنسان شيئًا عن مكوِّناته الكيميائية، لذا لم يفترض الإنسان أن هناك "شيء" في الهواء يستغله النبات لإنتاج مواد.

قصة اكتشاف

غذاء من التربة

يُعتبر الباحث البلجيكي فلمي ***فان-هيلمونط*** (**Van Helmont** 1577-1644) أول من نفَّذ تجربة هدفها فحص مصدر المواد التي تبني الشجرة. في التجربة التي أُجريت في سنة 1636 (الرسمة ج- 3)، قام فان - هيلمونط بتوزين شتلة واحدة من شجرة الصفصاف وكمية من التربة، ثم وضع التربة في وعاء وغرس فيها الشتلة.

بعد خمس سنوات، أخرج فان - هيلمونط شجرة الصفصاف من الوعاء، ثم قام بتوزينها وبالموازة قام بتوزين التربة الموجودة في الوعاء.



الرسمة ج - 3: التجربة التي نفَّذها فان - هلمونط لكي يبحث مصدر مادة الشجرة

تصف الرسمة أعلاه نتائج تجربة فان هيلمونط، وقد استنتج منها أن *"75.5 كغم من الشجرة مع الجذور نَتَجت من الماء فقط"*.

هذا الاستنتاج غير صحيح، لكن مئات السنين التي مرَّت منذ أن نفَّذ فان -هلمونط تجربته، لم تقلل من أهمية الإستنتاج الإضافي الذي ينبع من التّجربة التي نفَّذها: **التربة ليست مصدر مادة الشجرة!**

كل هذا من الماء فقط
(هكذا فكر فان - هيلمونط)

سؤال ج -3:

أ. ماذا كان سؤال البحث الذي سأله فان - هيلمونط؟ وماذا كانت فرضيته؟ اعتمدوا في إجاباتكم على وصف التجربة.

ب. ما هي النتائج التي اعتمد عليها فان - هيلمونط في استنتاجه؟ اشرحوا.

ج. هل التجربة التي نفَّذها فان - هيلمونط هي تجربة كميّة أم نوعيّة (كيفيّة)؟ اشرحوا إجاباتكم.

د. هل تفي تجربة فان - هيلمونط بمعايير التجربة العلمية في يومنا هذا؟علِّلوا ادعاءتكم، من خلال التطرق إلى المكونات المطلوبة لتنفيذ التجربة العلمية.

هـ. ماذا تقترحون لتحسين التجربة؟ اشرحوا اقتراحاتكم.

مع مرور الوقت، لم ينجح استنتاج فان -هلمونط أنْ يثبت أنّ الماء هو مصدر مادة الشجرة، لأن معرفتنا عن العناصر الكيميائية تُشير إلى أنه لا توجد إمكانية لإنتاج مواد عضوية تحتوي على عنصر كربون (C) من الهيدروجين والأكسجين اللذين يكوِّنان الماء.

بعد مرور 100 سنة على اكتشاف فان - هيلمونط، وهذا يعني حتى سنة 1873، اكتشف عالِم آخر أن النبات يستعمل CO_2 من الهواء، لكي يُنْتِج مواد عضوية.

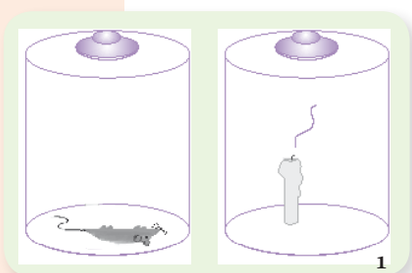
قصة اكتشاف

النباتات تنقي الهواء

ساهم الباحث الإنجليزي ***جوزيف بريستل*** (Joseph Priestley 1733-1804) مساهمة مهمة جدًا في فهم أهمية عملية التركيب الضوئي. بحث بريستل صفات الهواء، تصف الرسمة ج - 4، قسم من تجاربه. في التجربة الأولى، أشعل شمعة داخل وعاء مغلق، ووجد أن الهواء الموجود داخله "يتلف" ولا يُتيح للشمعة الاستمرار في عملية الاحتراق، وكذلك الأمر يحدث، إذا أدخلنا إلى الوعاء فأرًا بدل الشمعة.

كَتَبَ بريستل:

"من الواضح أنه يوجد في الطبيعة ترتيبات معينة لمنع هذا التلف "(تلف الهواء) وترتيبات أخرى لتحويل الهواء مرة أخرى إلى هواء مناسب لاحتراق الشمعة. أنا فخور جدًا باكتشاف الطريقة التي تحقق فيها الطبيعة هذا الهدف..... بتاريخ 17 أغسطس 1771، وَضَعتُ نبتة نعنع في وعاء يحتوي على هواء، اشتعلت فيه الشمعة وانطفأت. بتاريخ 27 من نفس الشهر، أدخلت شمعة مشتعلة إلى نفس الوعاء، ووجدت أن الشمعة استمرت في الاشتعال بشكل جيد. نفَّذت هذه التجربة ثمان مرات أخرى على الأقل خلال الصيف. ..... وجدت أنه يكفي خمسة أيام أو ستة أيام ، لكي تعود صفات الهواء السابقة."



في تجارب أخرى، أدخل بريستل فأرًا إلى الوعاء الذي ينمو فيه نبات نعنع وبيَّن أن الفأر بقي على قيد الحياة.

الرسمة ج - 4: تجارب جوزيف بريستل.

1. أدخل بريستل الشمعة إلى الوعاء، انطفأت الشمعة بعد مرور زمن قصير. أدخل فأرًا إلى نفس الوعاء، مات الفأر بعد مرور زمن قصير.
2. أدخل نبتة إلى وعاء فيه شمعة مشتعلة، انطفأت الشمعة بَعد عدّة أيام، أشعل الشمعة في الوعاء، استمرت الشمعة مشتعلة مدة زمنية طويلة، وعندما أدخل فأرًا بدل الشمعة، بقي الفأر على قيد الحياة.

سؤال ج -4:

أ. تطرقوا إلى ما كتبه بريستل، ثم اكتبوا الفرضية التي فحصها بريستل في القسم 2، في الرسمة ج - 4؟

ب. بناءً على نتائج التجربة المعروضة في الرسمة، اشرحوا، كيف استنتج بريستل قدرة النبات على "تصحيح تلف الهواء"؟

ج. هل يمكن أن نستنتج استنتاجًا آخر؟ ادعموا ادعاءكم بناءً على نتائج التجربة كما تظهر في الرسمة.

يوجد معنى كبير جدًا لإكتشاف بريستل، لأن ما يحدث في وعاء مغلق فيه شمعة، فأر أو نبتة يحدث في الغلاف الحياتي أيضًا: يستهلك الفأر والشمعة أكسجين ويُطلقان CO_2. وكذلك الأمر بالنسبة للنبتة، فهي تستهلك أكسجين وتُطلق CO_2. لكن بما أن **الضوء يسقط على النبتة**، فهي تستوعب CO_2 وتُطلق أكسجين بكمية أكبر من الكمية التي تستهلكها في عملية التنفس التي تتم بالموازاة.

نعرض خلال الفصل أبحاث أخرى ساهمت في فهم عملية التركيب الضوئي.

ج3. ملاءمة النبات لتنفيذ عملية التركيب الضوئي

يوجد مميزان مركزيان لمبنى وطريقة حياة النبات:

1. النبات ثابت في مكانه، ولا يستطيع أن "يبحث" بشكل فعَّال عن احتياجاته: طاقة ومواد.
2. الموارد التي يحتاجها النبات الذي يعيش في اليابسة، غير موجودة بكثرة في بيئته المحيطة: في كل لتر هواء، يوجد أقل من 0.5 ملل CO_2. الماء غير متوافر دائمًا في البيئة المحيطة القريبة للنبات وأيضًا الضوء غير متوافر كل ساعات اليوم وشدته تتغيَّر في فصول السنة المختلفة.

في مبنى النبات، يوجد صفة بارزة تجعله ملائمًا لجمع الموارد التي يحتاجها لتنفيذ عملية التركيب الضوئي - ضوء، ماء وَ CO_2، هذه الصفة هي وجود أعضاء تنتشر في الفراغ، وهي ذات مساحة سطح خارجي كبير جدًا نسبةً لحجمها. الأوراق والجذور تُبرز مبادئ المبنى بشكل جيد.

نتعلم في هذا البند عن ملاءمة الأوراق لتنفيذ عملية التركيب الضوئي، أما عن ملاءمة الجذور لهذه العملية، نتعلم، فيما بعد في نهاية الفصل، في بند ج 1.10 (صفحة 83).

ج1.3 ملاءمة النبات لاستيعاب معظم الضوء

إذا تمعَّنا حولنا، نلاحظ في معظم النباتات أن مبنى النبتة وترتيب الأوراق ملائمًا لاستيعاب معظم الضوء.

ما هو المشترك لترتيب الأوراق على الساق في النباتات المختلفة

كما تلاحظون في الرسمة ج - 5، ترتيب الأوراق على الساق ليس عشوائيًا. الأوراق مرتبة بطريقة لا تحجب الضوء عن بعضها ، فهي مرتَّبة بزاوية ملائمة لاستيعاب معظم الضوء في مساحة سطح خارجي عظمى ولمدة زمنية طويلة خلال اليوم.

الرسمة ج - 5: تنوع ترتيب الأوراق في النبات.

سؤال ج-5:

في الغابات المطرية، يوجد تنوع كبير جدًا لأنواع نباتات متسلقة ونباتات ذات أوراق كبيرة جدًا. اشرحوا الأفضليات التي تكسبها هذه الصفات للنباتات التي تنمو في بيت التنمية هذا؟

الفكرة المركزية

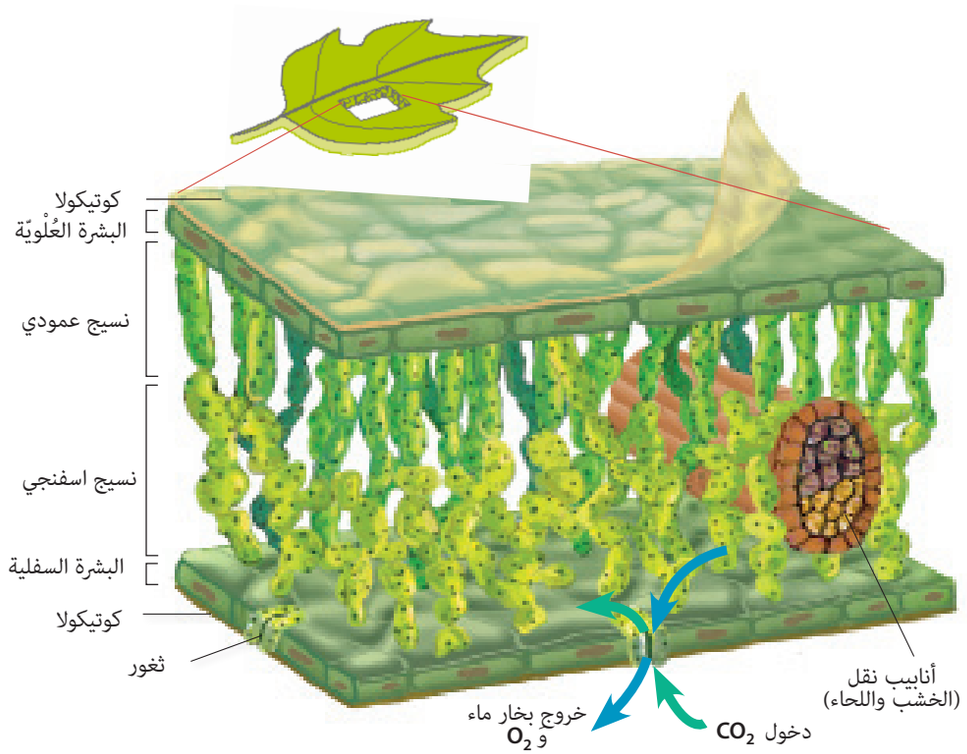
التجانس والتباين:
في النباتات المختلفة، ترتيب الأوراق مختلف، لكنه ملائم لاستيعاب معظم الضوء.

كيف يتلاءم مبنى الورقة مع استيعاب الضوء؟!

تتميز معظم الأوراق بصفتين بارزتين ويمكن أن نراهما دون أي جهد أو أجهزة خاصة:

الصفة الأولى أن مبنى الورقة المسطح يكوِّن مساحة سطح خارجي كبيرة جدًا نسبةً للحجم، والصفة الثانية هي اللون الأخضر الذي تكتسبه النباتات بسبب صبغة الكلوروفيل التي سنتعلم عنها فيما بعد. هاتان الصفتان ضروريتان لاستيعاب الضوء - مصدر الطاقة لعملية التركيب الضوئي.

إذا نظرنا إلى داخل الورقة (الرسمة ج - 6)، فإننا نكتشف أن المبنى الداخلي للورقة أيضًا يتلاءم مع استيعاب الضوء والعمليات المتعلقة بعملية التركيب الضوئي.



الرسمة ج - 6: مقطع في قسم من الورقة وتبادل الغازات بين الورقة والبيئة المحيطة.
انتبهوا ! الأسهم في الرسمة، تُمثِّل فقط اتجاه حركة الغازات التي تنبع من التركيب الضوئي والنتح، ولا تمثِّل الاتجاه العكسي الذي ينبع من عملية التنفس.

في معظم نباتات اليابسة، نلاحظ أن سطح الورقة مغطاة بطبقة شمعية نسمِّيها **كوتيكولا**. هذه الطبقة شفافة للضوء وغير نفاذة للماء تقريبًا. تساعد شفافية الكوتيكولا على استيعاب الضوء بشكل ناجع. وكَوْنها غير نفاذة للماء مهم جدًا لمنع فقدان ماء من مساحة السطح الخارجي للورقة.

نجد تحت الكوتيكولا طبقة خلايا خارجية نسمِّيها **البشرة**، وفي معظم الحالات تكون طبقة خلايا واحدة. خلايا ..... خلايا متلاصقة وشفافة، تساعد الشفافية على دخول الضوء بشكل جيد. وخلايا البشرة هي التي تُفرز الكوتيكولا. نجد تحت البشرة العلوية طبقة خلايا تشبه الأعمدة، ومن هنا جاء اسمها **نسيج عمودي**. هذه الخلايا غنية بالكلوروبلاستيدات التي تتم فيها عملية التركيب الضوئي.

تحت هذه الطبقة، نجد طبقة خلايا شكلها غير متجانس ويوجد بينها فراغات كبيرة، ومن هنا جاء اسمها **نسيج اسفنجي**. تساعد هذه الفراغات على تبادل غازات ناجع بين الخلايا والبيئة المحيطة، وتحتوي الخلايا ذاتها على كلوروبلاستيدات كثيرة.

نلاحظ في مقطع الورقة حزمة أنابيب نقل. نسيج النقل في النبتة مبني من نوعَيْ أنابيب:

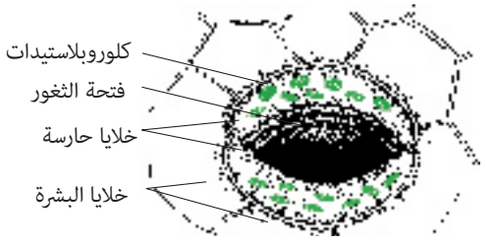
الخشب واللحاء. يتم في أنابيب الخشب نقل الماء والأملاح المعدنية من الجذور إلى جميع أقسام النبتة، أما في أنابيب اللحاء، يتم نقل نواتج عملية التركيب الضوئي إلى الأعضاء التي لا تنفذ عملية التركيب الضوئي أو للإدخار. ينتشر جهاز النقل في جميع أنحاء النبتة وهو يربط فيما بينها.

للمزيد عن
نقل الماء والأملاح المعدنية: انظروا بند ج - 10 صفحة.

ج2.3 ملاءمة الورقة لاستيعاب CO_2 وتقليص فقدان الماء

عند معظم الحيوانات يوجد جهاز خاص لنقل الغازات، لكن هذا الأمر غير موجود عند النباتات بتاتًا، وهذا يعني لا يوجد عند النبات جهاز خاص لنقل الغازات. تتم حركة الهواء بين النبات وبيئته المحيطة بواسطة الانتشار.

يتم تبادل الغازات بين النبات وبيئته المحيطة (الرسمة ج 6-) عبر فتحات خاصة موجودة في نسيج البشرة نسمِّيها **ثغور**. كل فتحة ثغور محاطة بخليتين حارستيين (الرسمة ج - 7) تنظمان كبر الفتحة. عندما تكون الخلايا الحارسة مليئة بالماء، فإن فتحات الثغور تكون مفتوحة، وعندما يكون نقص في الماء، فإنَّ فتحات الثغور تكون مغلقة.



الرسمة ج - 7: ثغور مفتوحة.

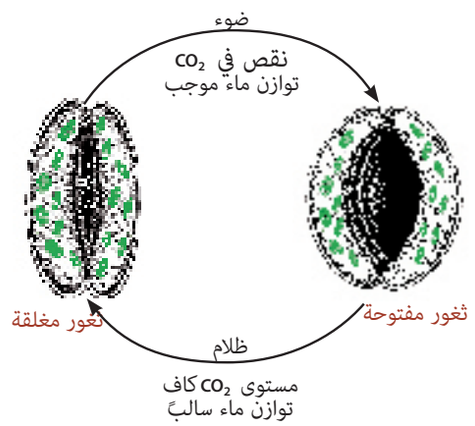
داخل الورقة، بين نسيج الخلايا العمودية وبين نسيج الخلايا الاسفنجية، يوجد نظام متواصل مكوَّن من فراغات مليئة بالهواء وهذه الفراغات مرتبطة بالبيئة المحيطة بواسطة فتحات الثغور.

في الفراغات بين الخلايا تكون الرطوبة عالية (حوالي 100%). طالما فتحات الثغور مفتوحة، يتم استيعاب CO_2 عبرها، لكن في نفس الوقت، ينطلق بخار ماء عبرها وفقًا لمنحدر التراكيز، من خلال عملية نسمِّيها **النتح**.

عندما تكون الثغور مغلقة، لا ينطلق بخار ماء، لكن في نفس الوقت، لا يتم استيعاب CO_2 وتنخفض وتيرة عملية التركيب الضوئي. هذه هي "المصيبة" الكبرى للنباتات: استيعاب مورد نادر واحد وهو ال CO_2, متعلق بفقدان مورد غالٍ جدًا آخر وهو الماء.

من الجدير بالمعرفة أنّه يتبخر 90% من الماء الذي يستوعبه النبات عبر فتحات الثغور على الرغم من أن الثغور تحتل 1% فقط من مساحة الورقة (كما هو معروف، الكوتيكولا تقلص بشكل ملحوظ من تبخر الماء عبر مساحة السطح الخارجي للورقة).

العوامل الأساسية التي تنظِّم فَتْح الثغور هي: مستوى الـ CO_2 في الفراغات الموجودة بين خلايا الورقة، الضوء وتوازن الماء في النبات (كمية الماء التي يستوعبها النبات عبر جذوره بالمقارنة مع كمية الماء التي يفقدها في عملية النتح). في معظم النباتات تكون الثغور مفتوحة في الظروف الآتية: وجود ضوء، مستوى CO_2 منخفض في الورقة وتوازن ماء موجب في النبات، لكن الثغور تكون مغلقة في الظروف الآتية: في الظلام، أو عندما يكون مستوى CO_2 في الورقة مرتفع جدًا، أو عندما يكون توازن الماء في النبات سالبًا (الرسمة ج - 8). يَنْتُج من ذلك أن مراقبة فتح واغلاق الثغور هو حل وسط بين الحاجة إلى استيعاب CO_2 وبين الحاجة إلى تقليص فقدان الماء.



الرسمة ج - 8: تأثير عوامل مختلفة على فتح الثغور.

تساعد الثغور في الحفاظ على توازن الماء في نباتات اليابسة التي فيها مورد الماء نادر جدًا، وهكذا تساهم الثغور في الحفاظ على الإتزان البدني في النبات.

في بيئات محيطة جافة، يوجد ملاءمات إضافية بين الورقة وتقليص فقدان الماء: **أوراق صغيرة**، مكان الثغور في البشرة السفلية، ثغور غائرة **وشعيرات** على الورقة في منطقة الثغور

قد تتسم عملية النتح على أنها سيئة وضرورية وهذا يعني ظاهرة جانبية تؤدي إلى فقدان الماء عند فتح الثغور لاستيعاب CO_2. لكن عملية النتح لها وظيفة مهمة كونها القوة الأساسية التي تؤدي إلى حركة الماء والأملاح المعدنية من الجذور إلى أقسام النبتة التي تقع فوق سطح التربة (انظروا بند ج 4.7, صفحة 72). يساعد تبخر الماء في انطلاق الحرارة أيضًا وفي الحفاظ على درجة حرارة داخلية في النبات.

علاقة بموضوع
علم البيئة: *ملاءمة للحياة في بيئة محيطة جافة.*

يفصِّل جدول ج-1 الأقسام الداخلية للورقة ووظائفها في عملية التركيب الضوئي.

جدول ج-1: أقسام الورقة، أنسجتها ووظائفها في عملية التركيب الضوئي

قسم من الورقة أو النسيج	الوصف	الوظيفة
كوتيكولا (في نباتات اليابسة)	• طبقة مادة غير نفّاذة للماء والغازات. تغطي مساحة السطح الخارجي للورقة • الكوتيكولا شفافة.	• تقليل فقدان الماء وحماية السطح الخارجي للورقة من الجفاف. • تساعد على استيعاب كمية كبيرة من الضوء.
البشرة	• خلايا متلاصقة، شفافة وعديمة اللون (باستثناء الخلايا التي تُغلق الثغور). • فتحات — الثغور.	• دخول كمية كبيرة من الضوء. • استيعاب CO_2.
نسيج عمودي	• تقع في الطرف العلوي للورقة، تتميز بخلايا تشبه الأعمدة وهي تحتوي على كمية كبيرة من الكلوروبلاستيدات.	• استيعاب كمية كبيرة من الضوء وتنفيذ عملية التركيب الضوئي.
نسيج اسفنجي	• خلايا فيها كلوروبلاستيدات كثيرة. • فراغات هواء كبيرة بين الخلايا.	• استيعاب معظم الضوء وتنفيذ عملية التركيب الضوئي. • تبادل غازات وتراكم الـ CO_2 الذي دخل عبر الثغور.
نسيج نقل	نوعان من أنابيب النقل: • أنابيب خشب. • أنابيب لحاء.	• نقل ماء وأملاح معدنية من الجذور إلى خلايا الورقة. • نقل نواتج عملية التركيب الضوئي من الأوراق إلى سائر أعضاء النبتة.

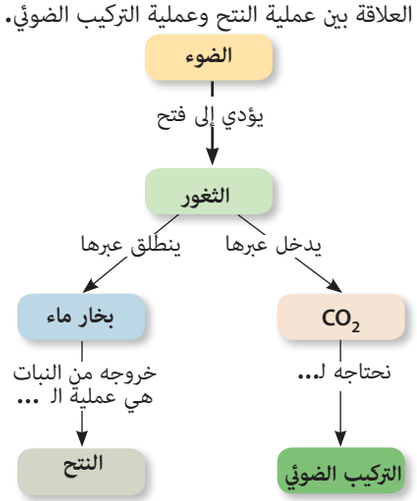
الفكرة المركزية

تنظيم الاتزان البدني: *تنظيم اتزان الماء في النبتة والحفاظ على الاتزان البدني بواسطة الثغور وعملية النتح.*

ملاءمة بينم المبنى والوظيفة: *ملاءمة النبات لظروف الجفاف.*

سؤال ج -6:

تصف الرسمة ج-9 العلاقة بين عملية النتح وعملية التركيب الضوئي. صوغوا جملاً تصف هذه العلاقة.



الرسمة ج - 9: رسم تخطيطي للمصطلحات: العلاقة بين عملية النتح وعملية التركيب الضوئي.

عملية التركيب الضوئي مع ثغور مغلقة

إنَّ تنظيم فتح الثغور هو حل لتقليص مشكلة فقدان الماء أثناء استيعاب CO_2. لكن نجاعة هذا الحل محدودة، لأن اغلاق الثغور يقلل من عملية التركيب الضوئي (الرسمة ج - 8).

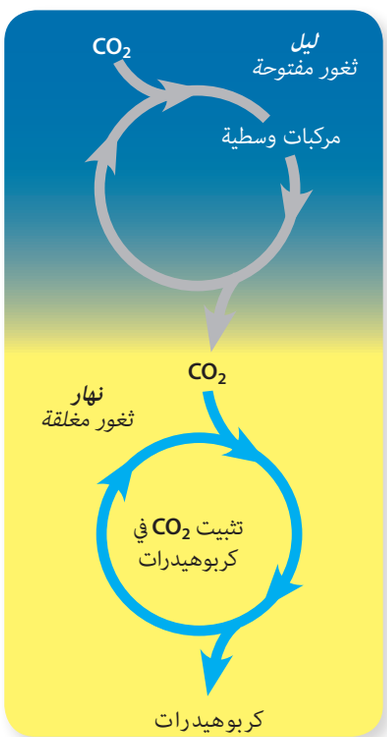
يوجد حل خاص لتقليل فقدان الماء أثناء استيعاب CO_2 ، وقد وُجد هذا الحل عند مجموعة نباتات قليلة نسمِّيها **نباتات CAM**.

هذه النباتات ملائمة لظروف الحرارة والجفاف، لذا هي شائعة في المناطق الصحراوية. تنتمي إلى هذه المجموعة نباتات لحمية مختلفة مثل: الصبار، الغسول، المخلدة وغير ذلك.

غسول

صبار

الخاص في نباتات الـ CAM أنها تفتح ثغورها في الليل فقط، عندما تكون الرطوبة عالية نسبيًا ودرجة الحرارة منخفضة، وهكذا تفقد كمية ماء قليلة أثناء عملية النتح. ثاني أكسيد الكربون CO_2 الذي يتم استيعابه في الليل عبر الثغور، يرتبط بشكل مؤقت بمركبات تتراكم في الفجوة العصارية الموجودة في الخلية (الرسمة ج - 10).



الرسمة ج - 10: عملية التركيب الضوئي في نباتات الـ CAM أثناء اليوم.

في النهار، في ساعات الضوء، تكون الثغور مغلقة وينطلق ثاني أكسيد الكربون CO_2 من المركبات الخاصة التي ارتبط بها أثناء الليل، ثم يدخل إلى الكلوروبلاستيدات بواسطة عملية بيوكيمائية نسمِّيها دورة كلفن (سنتعلم عنها فيما بعد)، يمر ثاني أكسيد الكربون CO_2 بعملية تثبيت مع جزيء عضوي وهكذا يصبح جزءًا من هيدروكربون.

كما هو الأمر في جميع النباتات، فإن نباتات الـ CAM تقوم أيضًا بعملية التركيب الضوئي أثناء النهار. في معظم النباتات ، يؤدي إغلاق الثغور إلى توقف عملية التركيب الضوئي، لكن في نباتات الـ CAM تستمر عملية التركيب الضوئي على الرغم من إغلاق الثغور. يتم ذلك بفضل الفرق بين زمن استيعاب ثاني أكسيد الكربون CO_2 وربطه الأولي الذي يتم في الليل عندما تكون الثغور مفتوحة وبين عملية التركيب الضوئي التي تتم خلال النهار عندما تكون الثغور مفتوحة.

سؤال ج -7:

قارنوا بين ما يحدث في النهار والليل في نباتات الـ CAM بحسب المميزات الآتية:

وضع الثغور، مدى فقدان الماء، استيعاب CO_2 من البيئة المحيطة، العملية التي يشترك فيها CO_2 وحدوث عملية التركيب الضوئي.

سؤال ج -8:

اقترحوا مبنى ورقة مثالي وملائم لما يلي: أ. ظروف الصحراء، ب. غابة استوائية متشابكة. تطرّقوا في اقتراحكم إلى مبنى الورقة، مكان الثغور، محتوى الماء في الورقة، إضافات مختلفة على الأوراق وترتيبها في النبتة. علِّلوا، لماذا المبنى الذي اقترحتموه يُكسب الورقة ملاءمة كبيرة إلى بيئتها المحيطة؟

ج4. كلوروبلاستيدات واستيعاب الضوء

ج1.4 كلوروبلاستيدات

الفكرة المركزية

التجانس والتباين:
جميع خلايا الكائنات الحية لها مميزات مشتركة، لكن خلايا مختلفة لها مبانٍ خاصة ملائمة لأدائها.

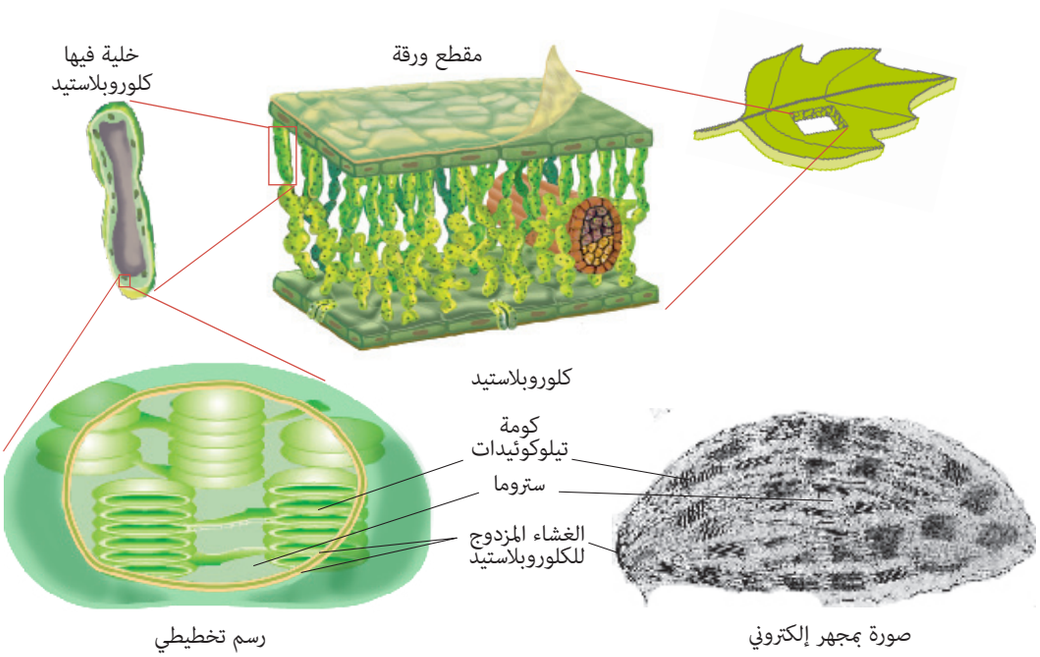
كما تعرفون، أحد الفروق بين الخلية النباتية والخلية الحيوانية هو وجود عضيات خاصة نسمِّيها كلوروبلاستيدات. الكلوروبلاستيدات هي عضيات لونها أخضر، نجدها في خلايا الورقة وفي خلايا الأقسام الخضراء في النبات، تتم فيها عملية التركيب الضوئي. طول الكلوروبلاستيد حوالي 5-7 ميكرومتر وعرضه حوالي 2 ميكرومتر. يتراوح عددها بين 50 إلى 200 في كل خلية.

الفكرة المركزية

ملاءمة بين المبنى والوظيفة:
الأقسام في الكلوروبلاستيدات وزيادة مساحة السطح الخارجي للأغشية نسبة إلى حجمها.

المبنى الداخلي للكلوروبلاستيدات معقد، وقد اتضح مبناها عندما نجحوا بمشاهدتها بمساعدة المجهر الإلكتروني. الكلوروبلاستيد محاط بغلاف من غشائين، كل واحد منهما شبه نفاذ وهما يُنظمان حركة الجزيئات إلى داخل وخارج الكلوروبلاستيد. الغشاء الداخلي يحيط محلول مائي يحتوي على مكونات مختلفة وعلى إنزيمات تشترك في عملية التركيب الضوئي. هذا المحلول نسمِّيه سترووما. في داخل السترووما، يوجد مبانٍ غشائية تشبه أكياس صغيرة مغلقة ومسطحة وهي مرتَّبة بأكوام مرتبطة فيما بينها. هذه الأكياس نسمِّيها تيلوكوئيدات (الرسمة ج - 11).

كما رأيتم، يوجد **أقسام** في مبنى الكلوروبلاستيدات: قسم واحد داخل التيلوكوئيدات والقسم الثاني هو السترووما التي تحيطها. كما سنرى فيما بعد، في كل قسم، تتم مرحلة من مراحل عملية التركيب الضوئي، يؤدي وجود الأقسام إلى بيئات منفردة ومختلفة، كما أنه يُتيح تنفيذ ناجع للعمليات المختلفة بشكل موازٍ.



الرسمة ج - 11: مبنى الكلوروبلاستيد ومكانه في مستويات تنظيم النبتة.
على اليمين في أسفل الرسمة: تصوير بمجهر إلكتروني (تكبير مقداره حوالي 10,000 ضعف).
على اليسار في أسفل الرسمة: رسم تخطيطي.

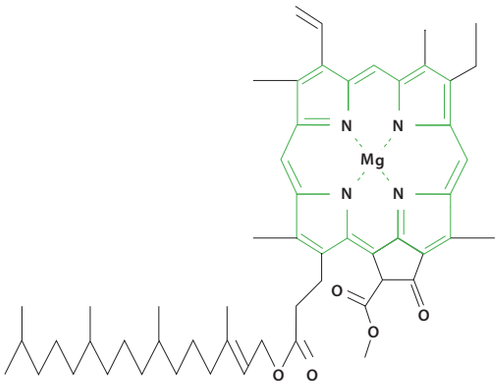
ينبع اللون الأخضر للكلوروبلاستيدات وجميع الأقسام الخضراء في النبتة من جزيئات **صبغة الكلوروفيل** الموجود فيها.

ج2.4 كلوروفيل

كما تلاحظون في الرسمة ج - 12، جزيء الكلوروفيل مبني من قسمين:" رأس" وَ "ذنب". الرأس مبني من حلقات تشتمل على ذرات كربون ونيتروجين وفي مركز المبنى يوجد ذرة **مغنيزيوم** تقوم بتثبيتها.

الذّنَب مبني من سلسلة ذرات كربون. يشترك "الرأس" في استيعاب الضوء ويقوم الذّنَب بتوجية وربط الكلوروفيل بأغشية التيلوكوئيدات وهكذا يكون الكلورفيل موجهًا إلى داخل التيلوكوئيد. تتيح مساحة السطح الخارجي الكبيرة التي تكوِّنها أكياس التيلوئوكيدات إلى ارتباط جزيئات كلوروفيل كثيرة.

جزيء الكلوروفيل هو مركب عضوي، لذا الكلوروفيل ذاته يشكل ناتج غير مباشر لعمليات التركيب الضوئي في النبات.



الرسمة ج - 12: مبنى تخطيطي لجزيء الكلوروفيل: رأس (اللون الأخضر) وذنب (اللون الأسود).

قليلًا من المعلومات عن ...

الكلوروبلاستيدات، الكلوروفيل والبطاطا

عندما نترك حبات بطاطا زمن كبير جدًا في الضوء، فإن لون حبات البطاطا البني يتحول إلى أخضر؟ ما هو الشرح لهذه الظاهرة؟

درنة حبة البطاطا هي ساق يعيش داخل الأرض وهو ثخين وخلاياه تحتوي على عضيات لتخزين النشا نسمِّيها بلاستيدات النشا. الكلوروبلاستيدات وبلاستيدات النشا هما اثنان من عائلة كبيرة لعضيات النبات التي نسمِّيها بلاستيدات. في ظروف بيئة محيطة معينة، يتحول نوع معين من البلاستيدات إلى نوع آخر يختلف في المبنى، محتوى الصبغيات والأداء.

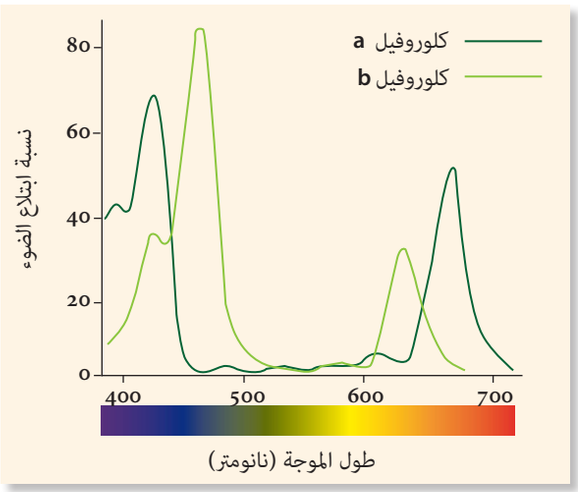
عندما تتعرض درنة البطاطا إلى الضوء، تتحول بلاستيدات النشا إلى كلوروبلاستيدات وتبدأ الأخيرة في إنتاج الكلوروفيل الذي يكسب درنة البطاط اللون الأخضر. من الجدير بالمعرفة أنه عندما تتعرض درنة البطاطا إلى الضوء، فإن ذلك يؤدي إلى ارتفاع إنتاج مادة سامة نسمِّيها سولنين. مادة السلونين موجودة بشكل طبيعي في درنات البطاطا وهي موجودة بكمية يستطيع جسمنا أن يعالجها ويتخلص منها. عندما تتعرض درنة البطاطا إلى الضوء، فإن ذلك يؤدي إلى ارتفاع مستوى السلونين بعشرة أضعاف. يتركز معظم السلونين بالأساس بالقرب من قشرة الدرنات التي لونها أخضر، لذا يجب قطع طبقة سميكة من القشرة قبل استعمال البطاطا.

ج3.4 الكلوروفيل وابتلاع الضوء

كما ذكرنا، الطاقة الضوئية هي شرط ضروري لحدوث عملية التركيب الضوئي. أشعة الشمس هي مصدر الطاقة الضوئية التي تنتشر في الفراغ كأمواج. عندما تسقط أشعة ضوء، تبدو لنا عديمة اللون، لكن عندما تمر عبر منشور، فإنها تتحلل وتَنْتُج ألوان كثيرة. الألوان المختلفة هي أمواج تختلف عن بعضها بطول الموجة وبالطاقة التي تحملها. تسلسل أطوال الأمواج نسمِّيه **طيفًا**. أشرطة الألوان وأطوال الأمواج التي تظهر في أسفل الرسمة ج - 13 هي طيف الضوء المرئي.

تبتلع كل صبغية أمواج ضوء بأطوال خاصة بها وتعكس أو تمرر أطوال أمواج أخرى. يتم تحديد لون الصبغية بحسب أطوال أمواج الضوء المنعكسة التي تصل عيوننا. يبتلع الكلوروفيل الضوء بشكل خاص كما هو الأمر عند الصبغيات الأخرى التي تبتلع الضوء بشكل خاص أيضًا. عندما يبتلع جزيء الكلوروفيل الضوء، يحدث تغيير كيميائي في الجزيء وهذه هي المرحلة الأولى في عمية التركيب الضوئي.

عندما نضيء على محلول كلوروفيل استخلصناه من ورقة نبات، نلاحظ بواسطة جهاز نسمِّيه طيف الابتلاع أطوال الأمواج (ألوان الضوء) التي يبتلعها المحلول والتي لا يبتلعها. الصورة التي نحصل عليها نسمِّيها **طيف الابتلاع**. بحسب الرسم البياني لطيف ابتلاع الكلوروفيل (الرسمة ج - 13) الذي يبيِّن نسبة الابتلاع بحسب أطوال الأمواج، يمكن أن نستنتج الألوان التي يبتلعها الكلوروفيل والألوان التي يعكسها (التي تكسبه اللون). انتبهوا! نلاحظ في الرسمة ج - 13 أن هناك نوعان أساسيان من الكلوروفيل في النبات: كلوروفيل **a** وكلوروفيل **b**. وهما يختلفان عن بعضهما قليلًا في المبنى، لذا يوجد اختلاف بينهما في طيف الابتلاع أيضًا.



الرسمة ج - 13: طيف ابتلاع كلوروفيل a وكلوروفيل b في محلول.
تحت محور X يوجد طيف ألوان الضوء المرئي

سؤال ج -9:

تمعَّنوا في الرسمة ج - 13 وسجِّلوا:

أ. في أي أطوال أمواج يبتلع الكلوروفيل الضوء بكمية عظمى؟ ما هي ألوان الضوء في هذه الأطوال من الأمواج ؟

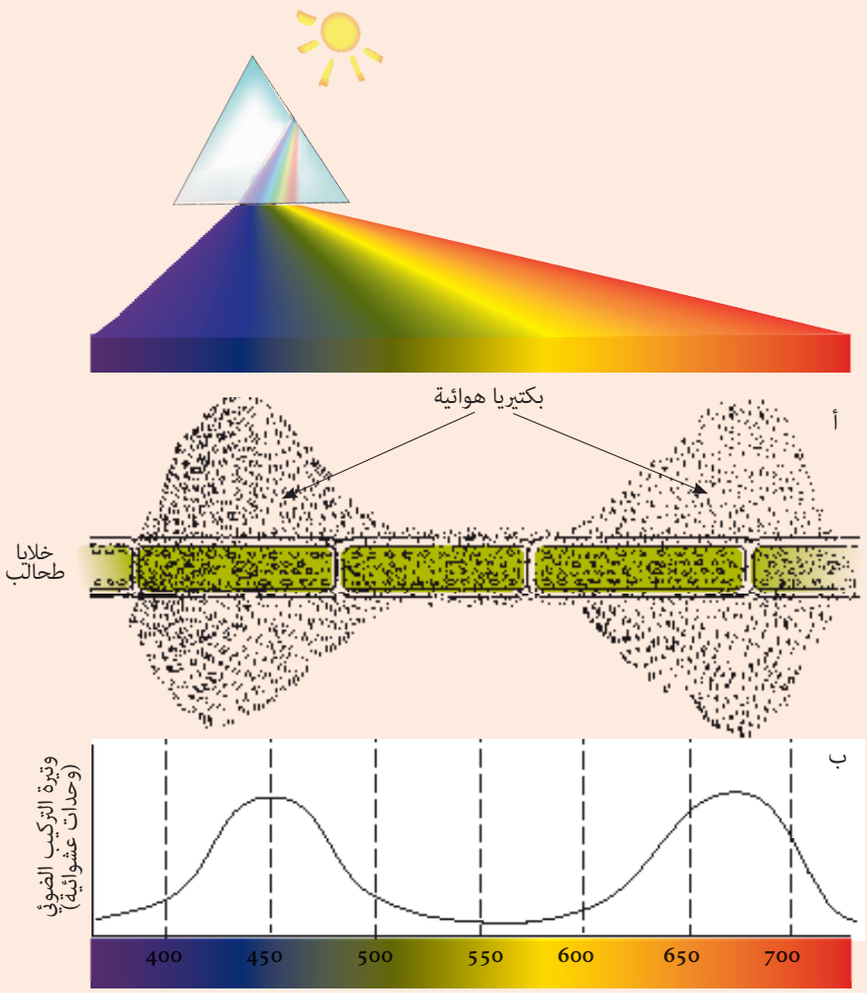
ب. ما هي أطوال الأمواج التي لا يبتلعها الكلوروفيل تقريبًا؟ ما هي ألوان الضوء في هذه الأطوال من الأمواج ؟ ما هي العلاقة بين هذه الحقيقة ولون الورقة؟

قصة اكتشاف

هل أمواج الضوء التي يبتلعها الكلوروفيل (طيف الابتلاع) هي نفس أطوال الأمواج الفعَّالة في عملية التركيب الضوئي (طيف النشاط)؟

الباحث الألماني **تيئودور انجلمن** (**Theodor Engelmann**) هو الذي بيَّن في سنة 1882 العلاقة بين أطوال الأمواج التي يبتلعها الكلوروفيل وبين أطوال الأمواج الفعَّالة في عملية التركيب الضوئي.
بحث انجلمن مستوى نشاط عملية التركيب الضوئي في طحالب خضراء، خلاياها مرتَّبة في سطر كالخيط. أضاء انجلمن الطحالب الطويلة بضوء مرَّ عبر منشور زجاجي، وهكذا تمَّ الفصل بين مكونات الضوء وقد تمَّت إضاءة أقسام مختلفة من الطحالب بأمواج ضوئية بألوان مختلفة. عرف انجلمن أن الأكسجين ينطلق أثناء عملية التركيب الضوئي، لذا اختار الأكسجين كدلالة لحدوث العملية. لتمييز الأكسجين، أضاف إلى جهاز التجربة بكتيريا هوائية تحتاج إلى الأكسجين لنموها وهي تتحرك إلى مناطق فيها كمية كبيرة من الأكسجين.

تمَّ استعمال تركيز البكتيريا حول الخلايا كمقياس لوتيرة عملية التركيب الضوئي. يوجد وصف لهذه النتائج في القسم الأول من الرسمة ج - 14، وقد استنتج منها انجلمن أن عملية التركيب الضوئي تتم بالأساس في أطوال الأمواج الضوئية الحمراء والزرقاء. أطوال الأمواج الفعَّالة في عملية التركيب الضوئي نسمِّيها **طيف النشاط**. وجد انجلمن أن هناك ملاءمة بين طيف الابتلاع (أطوال الأمواج التي يبتلعها الكلوروفيل) وبين طيف النشاط (أطوال الأمواج التي فيها وتيرة انطلاق الأكسجين من الخلايا عالية). تُشير هذه الملاءمة إلى أن الكلوروفيل هو الصبغة الفعَّالة في عملية التركيب الضوئي.



الرسمة ج - 14: أ. نتائج تجربة انجلمن **ب.** طيف نشاط عملية التركيب الضوئي الذي ينبع من النتائج.

سؤال ج -10:

أ. ماذا يحدث لو استعمل انجلمن ضوءًا أبيض دون أن يمرره عبر المنشور؟ علِّلوا.

ب. اقترحوا طريقة إضافية لفحص طيف نشاط عملية التركيب الضوئي.

ج. ما هي الأفضلية للنبات الذي يوجد فيه نوعان من الكلوروفيل: **a** وَ **b**؟ اعتمدوا في إجاباتكم على تجربة انجلمن وعلى الرسمة ج - 13.

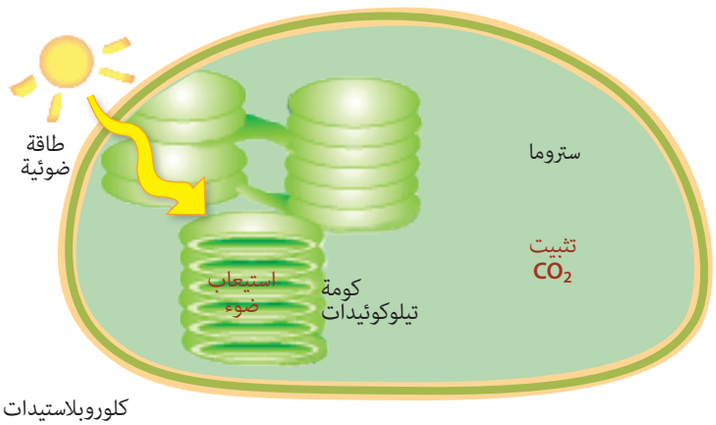
د. كيف من المتوقع أن ينمو نباتًا مضاءًا بلون أخضر فقط؟ اشرحوا.

ج5. مراحل عملية التركيب الضوئي

ساهمت سنوات كثيرة من البحث (المستمر حتى يومنا هذا)، لكي يفهم الباحثين المراحل الأساسية في عملية التركيب الضوئي والعلاقة بينها. اتضح أن عملية التركيب الضوئي مكونة من مرحلتين، تتم هاتين المرحلتين في أقسام مختلفة من الكلوروبلاستيدات (انظروا الرسمة ج - 15).

المرحلة 1: استيعاب الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية (في التيلوكوئيدات).

المرحلة 2: تثبيت CO_2 بمساعدة نواتج مرحلة استيعاب الضوء (في الستروما).



الرسمة ج -15: مرحلتا عملية التركيب الضوئي.
المرحلة الأولى: يتم استيعاب الضوء في التيلوكوئيدات بالقرب من أغشيتها. المرحلة الثانية: يتم تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2 في الستروما.

نعرف اليوم تفاصيل كثيرة عن هاتين المرحلتين ولدينا إجابات عن أسئلة، مثل: ما هي وظيفة الضوء في العملية؟ لأي غرض نحتاج الضوء؟ ما هو مصدر الأكسجين المنبعث في العملية؟ كيف تَنْتُج كربوهيدرات من CO_2؟

للإجابة عن هذه الأسئلة، يجب علينا أن نعرف معلومات عن هاتين المرحلتين.

ج1.5 مرحلة استيعاب الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية

الضوء هو مصدر الطاقة لعملية التركيب الضوئي، لكن تنتهي وظيفة الضوء خلال أقل من أجزاء من الثانية: وظيفة الضوء هي **تهييج (إثارة) جزيء الكلوروفيل**. في أعقاب التهيُّج، يترك إلكترون جزيء الكلوروفيل. جزيء الكلوروفيل الذي بقي مع إلكترون أقل، يوجد لديه ميل قوي جدًا لجذب الكترونات (مُؤَكْسد قوي - انظروا قائمة المصطلحات فيما بعد). جزيئات الكلوروفيل المهيَّجة، تجذب إليها الكترونات من جزيئات الماء وتؤدي إلى تحليل الماء إلى أيونات هيدروجين وأوكسجين:

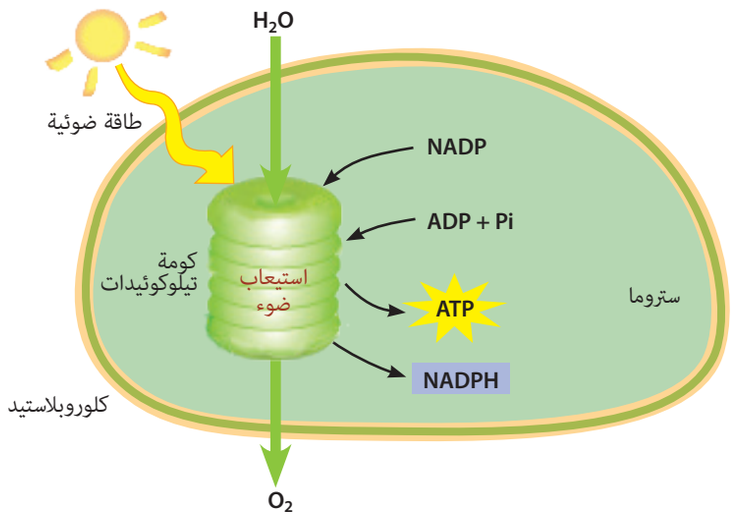
$$2H_2O \longrightarrow 4H^+ + 4\bar{e} + O_2$$

تنتقل الإلكترونات من جزيئات الماء إلى جزيئات الكلوروفيل وهكذا "يُكمل" الكلوروفيل الإلكترونات التي تنقصه. في هذه الحالة، تستطيع جزيئات الكلوروفيل أن تستوعب وجبة ضوء إضافية.

الإلكترونات التي أُبعدت من الكلوروفيل تنتقل عبر سلسلة من الناقلات الموجودة في غشاء التيلوكوئيد. إنَّ انتقال الإلكترونات من ناقل إلى آخر يؤدي إلى إطلاق الطاقة بشكل تدريجي. تُستعمل الطاقة المنبعثة أثناء انتقال الإلكترونات عبر سلسلة الناقلات **لإنتاج ATP** من **ADP** وفوسفات **(Pi)**.

للمزيد عن
ناقلات الهيدروجين وإنتاج ATP: *انظروا الفصل الخامس، بند ه.4, صفحة 141.*

في نهاية سلسلة الناقلات في غشاء التلوكوئيد، ترتبط الإلكترونات وأيونات الهيدروجين التي انطلقت من الماء بناقل الهيدروجين - جزيء الـ **NADP** الذي يتحول في أعقاب الارتباط إلى **NADPH.**
عند بناء الـ **ATP** والـ **NADPH** يكتمل **تحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية** كما هو معروض في الرسمة **ج**-16. من هنا فصاعدًا ، عملية التركيب الضوئي متعلقة بهاتين المادتين، بـ CO_2 وبإنزيمات.



الرسمة ج-16: وصف تخطيطي لمرحلة استيعاب طاقة ضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية في الـ ATP وفي ناقل هيدروجينات مختزَل (NADPH) من خلال انطلاق أكسجين. الأكسجين والهيدروجين هما ناتجا عملية تحليل الماء.

مصطلحات

عمليات التأكسد - الاختزال

تتم عمليتا التأكسد والاختزال "معًا". في كثير من العمليات (لكن ليس كلها) يشترك أكسجين ومن هنا جاء اسم التأكسد.
يمكن أن يتم التأكسد - الاختزال بإحدى الطرق الآتية:
1) رِبْح وخسارة إلكترون. الذي يربح يمر بعملية اختزال والذي يخسر يمر بعملية تأكسد.
2) رِبْح وخسارة هيدروجين. الذي يربح يمر بعملية اختزال والذي يخسر يمر بعملية تأكسد.
3) رِبْح وخسارة أكسجين. في هذه المرة، الذي يربح يمر بعملية تأكسد والخاسر يمر بعملية اختزال.

المؤكسد هو مادة تجذب (تربح) إلكترونات والمختَزِل هو مادة تخسر إلكترونات.
عندما يُؤكسد مركّب معين مركب آخر، فإن المادة الأولى تُختزل وبالعكس.
يرافق عمليتي التأكسد والاختزال انطلاق طاقة.
عملية التركيبَ الضوئي هي عملية اختزال جزيء ثاني أكسيد الكربون CO_2 بمساعدة هيدروجين جزيء الماء.

ناقل هيدروجين

في عمليات تأكسد - اختزال بيولوجية كثيرة، ينتقل هيدروجين بمساعدة مادة وسيطة نسمِّيها **ناقل هيدروجين**. يستوعب ناقل الهيدروجين ذرات الهيدروجين (يُختزَل) وينقلها إلى غايتها وهناك يخسرها (مختَزِل ويتأكسد بذاته)، والآن هو مستعد لتنفيذ العملية مرة أخرى ...
ناقل الهيدروجين في عملية التركيب الضوئي هو **NADP.**

المختَزِل هو الذي دائمًا يعطي أزاهارًا ($\bar{e}$)

ماذا يحدث مع الأكسجين الناتج من عملية تحليل جزيء الماء؟

الأكسجين (O_2) الناتج من تحليل الماء، يخرج بعملية انتشار من المكان الذي نَتَج فيه في الكلوروبلاسيدات إلى السيتوبلازما ومنها إلى الفراغات الموجودة بين الخلايا. ثم ينتشر من هذه الفراغات إلى الأتمسفيرا (الغلاف الجوي) عبر الثغور وفقًا لمنحدر التراكيز. تستغل الكائنات الحية الأكسجين في **عملية التنفس الخلوي**.

إنَّ تحليل الماء بمساعدة الضوء ليس مهمة تلقائية، لأنه يوجد مياه كثيرة من حولنا وفي أجسام الكائنات الحية، وعلى الرغم من ذلك، فإن الضوء لا يحلِّلها بشكل مباشر. تُشير هذه الحقيقة إلى أهمية الكلوروفيل الكبيرة في هذه العملية.

للمزيد عن

تنفس خلوي هوائي: *انظروا الفصل الخامس، بند هـ 2.4، صفحات 142—150.*

قصة اكتشاف

مصدر الأكسجين المنبعث في عملية التركيب الضوئي

ما هو مصدر الأكسجين المنبعث في عملية التركيب الضوئي؟ يوجد ذرات أكسجين في المادتين ماء وثاني أكسيد الكربون CO_2، وهما مادتان متفاعلتان في عملية التركيب الضوئي. أيُّهما هو مصدر الأكسجين الذي هو أحد نواتج عملية التركيب الضوئي؟ كثير من الباحثون طرحوا هذا السؤال.

للإجابة عن هذا السؤال، أجرى الباحثان **روبين وكامين** (**Ruben & Kamen**) في سنة **1941** تجاربًا، وقد قام الباحثان بتنمية طحالب في ماء يحتوي على أكسجين "ثقيل" (وزنه الجزيئي هو **18** وليس **16** كما هو الأمر في الأكسجين العادي). عند متابعة الأكسجين "الثقيل" بواسطة أجهزة خاصة، اتضح أن الأكسجين المنبعث من الطحالب هو أكسجين "ثقيل" (الرسمة ج - 17). لكن عندما قام الباحثان بتزويد الطحالب بثاني أكسيد كربون CO_2 فيه أكسجين ثقيل، فإنَّ الأكسجين الناتج كان عاديًا.

استنتج الباحثان أن الماء هو مصدر الأكسجين المنبعث.

$$n(CO_2) + 2n(H_2O^{*18}) \xrightarrow[\text{كلوروفيل، إنزيمات}]{\text{طاقة ضوئية}} (CH_2O)_n + nO_2^{*18} + n(H_2O)$$

الرسمة ج-17: الصيغة العامة لعملية التركيب الضوئي التي أبرزنا فيها الأكسجين "الثقيل".

انتبهوا! في الصيغة المعروضة في الرسمة ج - 17، يظهر الماء كمادة متفاعلة وكناتج أيضًا. يُتيح لنا الأكسجين المشار إليه أن"نرى" أن هذه الجزيئات ليست نفس الجزيئات، لذا سجَّلناهما في كلا طرفي الصيغة. في صيغة عملية التركيب الضوئي المتبعة، نحذف جزيئات الماء في النواتج ووفقًا لذلك نطرحَ عدد جزيئات الماء في المواد المتفاعلة كما هو الأمر في الصيغ الكيميائية.

نكتب صيغة عملية التركيب الضوئي المتبعة كالتالي:

$$n(CO_2) + n(H_2O) \xrightarrow[\text{كلوروفيل، إنزيمات}]{\text{طاقة ضوئية}} (CH_2O)_n + nO_2$$

سؤال ج -11:

أ. في أي ناتج يظهر الأكسجين الثقيل إذا كان الأكسجين "الثقيل" في ثاني أكسيد الكربون CO_2 ؟

ب. اشرحوا نتائج تجربة روبين وكامين بمساعدة المادة التي تعلَّمتموها عن مرحلة استيعاب الضوء.

ج2.5 مرحلة تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2

الـ **ATP** والـ **NADPH** اللذان نتجا في مرحلة استيعاب الضوء، يتم استعمالهما في المرحلة الثانية لعملية التركيب الضوئي، وهذا يعني في مرحلة تثبيت ثاني أكسيد الكربون.

كيف يَنْتُج كربوهيدرات من ثاني أكسيد الكربون CO_2 ؟!

في الأبحاث التي أُجريت في سنوات الخمسينيات من القرن العشرين، نجح الباحثون في معرفة المراحل التي يَنْتُج فيها "هيكل كربوني" من جزيئات CO_2، وقد وجدوا في "الهيكل الكربوني" عدة ذرات كربون مرتبطة ببعضها. هذه العملية دائرية ونسمِّيها "دورة كلفن"، على اسم الباحث الذي اكتشفها - **ملفين كلفن** (**Melvin Calvin 1911-1997**) وهي تتم في الستروما الموجود في الكلوروبلاستيدات.

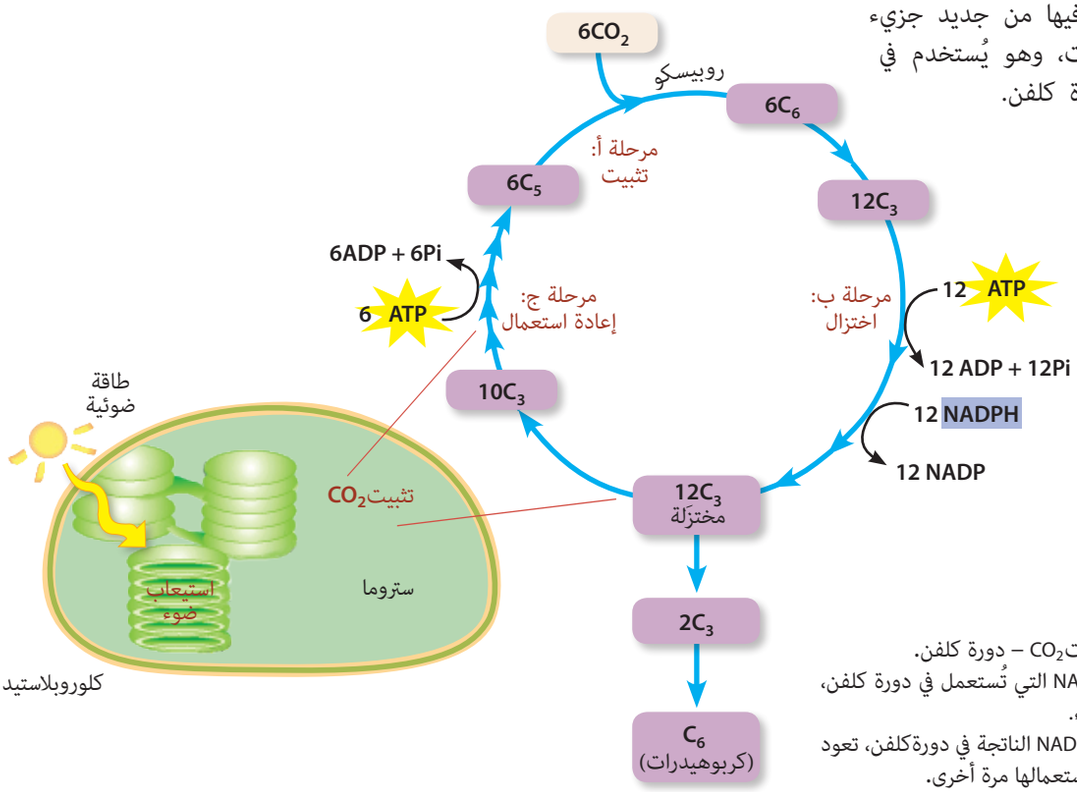
يمكن تقسيم تسلسل التفاعلات في دورة كلفن إلى ثلاث عمليات أساسية: تثبيت CO_2، اختزال وإعادة استعمال.

من المهم ن نذكر أنه في الواقع هناك مراحل وسطية كثيرة. كما هو الأمر في كل دورة، فإنَّ لدورة كلفن لا توجد بداية ولا نهاية، لكن لكي نتمكن من الشرح نبدأ من عملية التثبيت (انظروا الرسمة ج - 18).

العملية الأولى في الدورة هي عملية **تثبيت CO_2**، حيث يرتبط فيها جزي CO_2 بجزيء سكر مكوَّن من 5 ذرات كربون. يتم تنشيط هذه العملية بواسطة إنزيم خاص نسمِّيه **روبيسكو**. يتحلل الجزيء المكوَّن من 6 كربونات مباشرةً إلى جزيئين كل واحد منهما 3 كربونات.

العملية الثانية في الدورة هي عملية **الاختزال** التي فيها ناقل الهيدروجين المختَزَل (**NADPH**) ينقل الهيدروجينات إلى جزيئات مكونة من 3 كربونات. ناتج المرحلتين الأولتين هو جزيئات مختزلة مكونة من 3 ذرات كربون. يخرج جزيئان من الدورة ويرتبطان ببعضهما لإنتاج سكر أحادي مكون من 6 كربونات. وتستمر باقي الجزيئات المختزلة إلى المرحلة القادمة.

العملية الثالثة في الدورة هي عملية إعادة الاستعمال التي يَنْتُج فيها من جديد جزيء مكوَّن من 5 كربونات، وهو يُستخدم في الدورة القادمة من دورة كلفن.



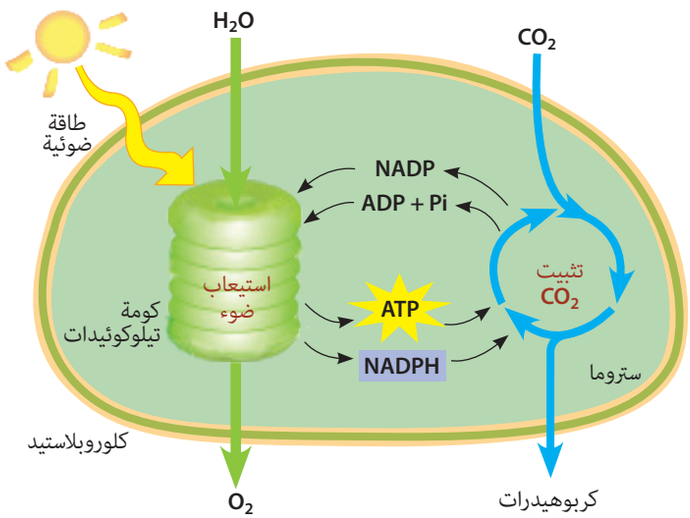
الرسمة ج-18: مرحلة تثبيت CO_2 – دورة كلفن.
جزيئات الـ ATP والـ NADPH التي تُستعمل في دورة كلفن، يتم إنتاجها في مرحلة الضوء.
جزيئات الـ ADP, Pi والـ NADP الناتجة في دورةكلفن، تعود إلى مرحلة الضوء لكي يتم استعمالها مرة أخرى.

نلاحظ في الرسمة أيضًا العمليات التي فيها نواتج مرحلة استيعاب الضوء(مثل: **ATP** وَ **NADPH**) تُستغل في دورة كلفن. يتم استغلال **NADPH** في عملية اختزال جزيئات مكونة من 3 ذرات كربون.عمليات الاختزال وإعادة الاستعمال، هي عمليات تحتاج طاقة وتحدث مع حدوث تحليل جزيئات الـ **ATP**.

الـ **NADP**, الـ **ADP** والـ **Pi** (مجموعة الفوسفور) الناتجة تصبح الآن جاهزة، لكي تُستعمل مرة أخرى في مرحلة استيعاب الضوء.

تتم دورة كلفن في جميع الكائنات الحية التي تقوم بعملية التركيب الضوئي، ابتداءً من البكتيريا حتى النباتات البذرية. الإنزيم روبيسكو الذي يُثبت ثاني أكسيد الكربون CO_2، هو إنزيم خاص لدورة كلفن ويعتبر البروتين الشائع (الأكثر انتشارًا) في الطبيعة، ففي الأوراق، يشكّل هذا الإنزيم حوالي **65%** من جميع البروتينات المذابة.

الآن، نستطيع تلخيص مرحلَتَيْ عملية التركيب الضوئي (الرسمة ج-19):



الرسمة ج - 19: مراحل عملية التركيب الضوئي داخل الكلوروبلاستيدات

المرحلة 1: مرحلة استيعاب الضوء وتحويله إلى طاقة كيميائية في الـ **ATP** وفي ناقل الهيدروجين (**NADPH**)، من خلال تحليل ماء وانطلاق (O_2).

المرحلة 2: مرحلة تثبيت CO_2 من خلال استغلال نواتج المرحلة الأولى وإنتاج كربوهيدرات جديدة.

هل تحتاج مرحلة تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2 إلى ضوء ؟!

تَبيَّن في تجارب مختلفة أن عمليات تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2 غير متعلقة مباشرةً في الضوء كمصدر طاقة. لكن من المهم أنْ نتذكر أنّ نواتج مرحلة استيعاب الضوء تُستغل في عملية تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2, لذا دون هذه النواتج، لا تتم هذه المرحلة. وقد وُجِدَ أيضًا أن الضوء مطلوب لتفعيل قسم من الإنزيمات التي تعمل في مرحلة تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2، لذا لا تستطيع أن تستمر هذه المرحلة مدة زمنية طويلة في الظلام.

تتم عملية التركيب الضوئي بتسلسل واحد: تتم مرحلَتَيْ عملية التركيب الضوئي في نفس الوقت، وحدوث كل واحدة منهما متعلق بحدوث الأُخرى.

سؤال ج - 12:
ما هو مصدر الطاقة التي تُستخدم لبناء جزيئات الـ **ATP** في المرحلة الأولى من عملية التركيب الضوئي؟ لأي مادة "تتحول الطاقة" في نهاية عملية التركيب الضوئي؟

سؤال ج - 13:
ما هي نواتج مرحلة استيعاب الضوء؟ أي منها تشترك في مرحلة تثبيت ثاني أكسيد الكربون؟

سؤال ج - 14:
تتحلل جزيئات ماء في عملية التركيب الضوئي. اشرحوا، ما هي أهمية التحليل:
أ. لحدوث عملية التركيب الضوئي؟
ب. لبقاء أنظمة بيئية؟

سؤال ج - 15:
يحتوي جزيء الكربوهيدرات الذي يَنْتُج في عملية التركيب الضوئي على كربون، هيدروجين وأكسجين. ما هو مصدر كل عنصر من هذه العناصر؟

سؤال ج - 16:
نرى أغشية كثيرة في الرسم التخطيطي وفي صورة مبنى الكلوروبلاستيدات (الرسمة ج-11). ما هي أفضليات هذا المبنى لأداء الكلوروبلاستيدات؟

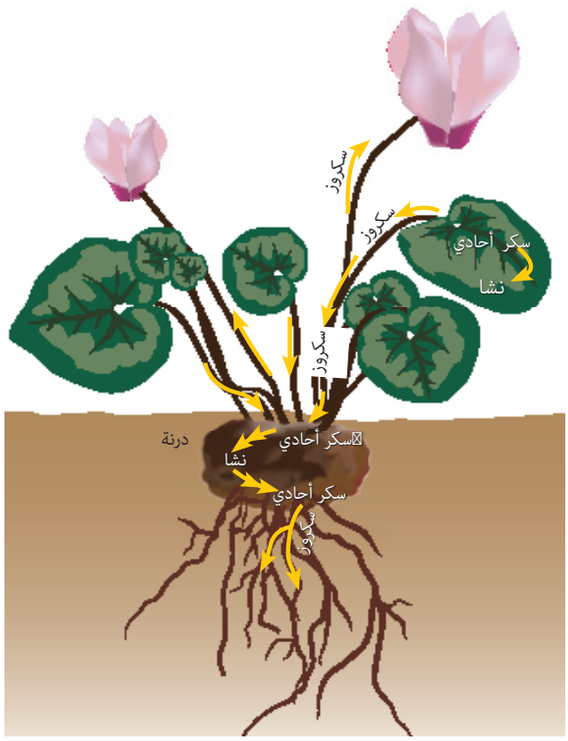
ج6. نواتج عملية التركيب الضوئي: نقل، إدخار واستغلالها في النبات

علاقة بموضوع
الخلية — مبنى ونشاط: *استخراج طاقة متوافرة في التنفس الخلوي الهوائي.*

كما ذكرنا، الناتج الأولي لعملية التركيب الضوئي هو سكر أحادي مكون من 6 ذرات كربون.
يُستغل هذا الجزيء عادةً لبناء الكربوهيدرات التي تُستخدم في هذه الخلايا لاستخراج طاقة متوافرة، لبناء خلايا للإدخار. في خلايا التركيب الضوئي، يَنْتُج في الكلوروبلاستيدات تخزين مؤقت لهذا السكر.

تُنقل الكربوهيدرات غير المستغلة في خلايا التركيب الضوئي إلى **أنابيب اللحاء** كمحلول سكروز (انظروا الرسمة ج - 20). يتم نقل السكروز من الأقسام التي يَنْتُج فيها، مثل: الأوراق والسيقان الخضراء إلى أقسام النبتة التي لا يتم فيها إنتاج كربوهيدرات، أو أنّ الإنتاج فيها أقل من المطلوب، مثل:قمم النمو، **براعم، أزهار**، أوراق حديثة السن، أوراق مظللة، سيقان، جذور، , **ثمار وأعضاء إدخار**، ، مثل: درنات، جذور ثخينة،أبصال **وبذور**. وفي هذه الأنسجة أيضًا، تُستغل الكربوهيدرات كمادة خام لاستخراج طاقة متوافرة، لبناء خلايا وللإدخار. في هذه الأعضاء يكون الإدخار مدة زمنية طويلة.

الكربوهيدرات التي تُستخدم للإدخار هو النشا الذي يُنْتَج من كربوهيدرات بسيطة وهو يشكّل مادة إدخار أساسية في النبات.



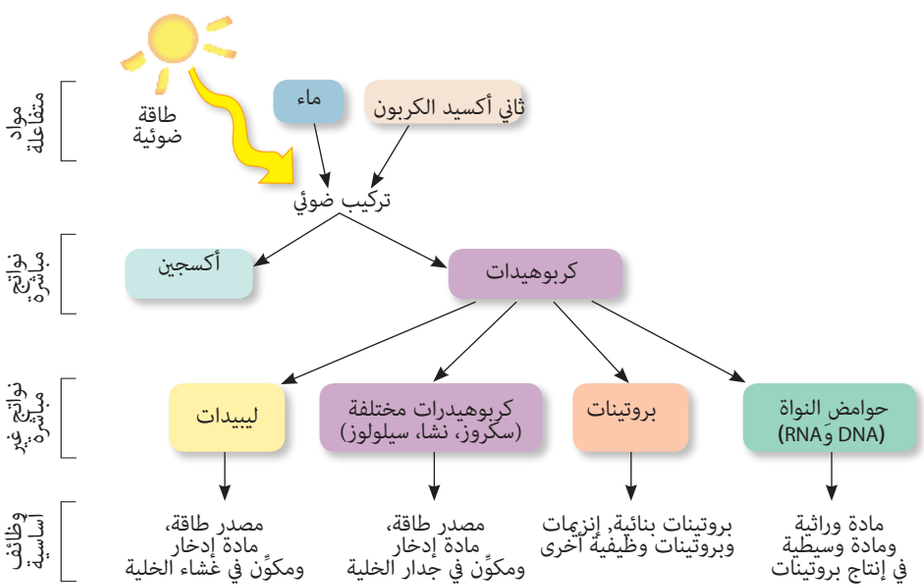
الرسمة ج - 6: نقل نواتج عملية التركيب الضوئي وإدخارها في النبات

في فترات مختلفة، في حياة النبات، يمكن أن تتحول أعضاء إدخار إلى مصادر تغذية لأقسام أخرى في النبات، مثلًا: البصل والدرنات في النباتات الأرضية (جيوفيتات) تستوعب في مرحلة معينة كربوهيدرات من الأوراق، وفي مرحلة أخرى تُستخدم الدرنات والبصل كمصدر لتغذية سائر أقسام النبات.

عندما تكون كمية المادة العضوية الناتجة في عملية التركيب الضوئي محدودة، فهناك تنافس بين الأعضاء المختلفة في النبات على هذه المواد. يستغل المزارع هذه المعرفة، لكي يحسِّن جودة الناتج المرغوب له. يقلل المزارع من هذا التنافس ويوجِّه المواد العضوية إلى الثمرة أو عضو الإدخار بوسائل مختلفة، مثل: التفريد (إزالة عدد معين من الثمار)، التقليم وغير ذلك.

قسم قليل من الكربوهيدرات التي نَتَجت في عملية التركيب الضوئي، يمر بتغييرات ويُستغل لبناء مواد عضوية أخرى، مثل: الليبيدات، البروتينات وحوامض النواة. يتم بناء المواد العضوية من الكربوهيدرات في أنسجة تقوم بعملية التركيب الضوئي وفي الأنسجة التي أُعِدَّت إليها.

تصف الرسمة ج- 21 النواتج غير المباشرة لعملية التركيب الضوئي ووظائفها المركزية.



الرسمة ج-21: نواتج مباشرة ونواتج أساسية لعملية التركيب الضوئي في النبات ووظائفها.

انتبهوا! في معظم الحالات، تحتاج هذه العمليات أملاح معدنية، حيث يتم استيعابها من التربة.

قليلًا من المعلومات ...

من يستفيد أيضًا من النواتج العضوية لعملية التركيب الضوئي؟

قسم قليل من مواد الإدخار التي أنتجها النبات هي بذل جهد النبات لبقاء الأجيال القادمة للنبتة، مثلاً: في البذرة، تقوم مواد الإدخار بتزويد البادرة بجميع احتياجاتها في المراحل الأولى للإنبات والنمو.

المواد الموجودة في الثمار هي غذاء غني وجذاب لكل من يتغذى عليها ولكل من يقوم بنشر البذور. يوجد أمثلة كثيرة تُشير إلى أن أكل الثمار لا يضر فقط في قدرة البذرة على الإنبات، بل يساعد على ذلك. هذا مثال لعلاقة متبادلة من نوع تكافل: يستفيد آكلوا الثمار وهكذا تُنشر بذور النباتات إلى أماكن بعيدة (وهكذا يقلل من التنافس مع نبتة الأم ويزيد من إمكانية النمو في مساحات جديدة). وأحيانًا تحصل البذور على علاج "ينشِّط الإنبات" (مثلاً: تصبح القشرة لينة). تساعد مواد الإدخار الموجودة في البذرة والثمرة على انتشار النبات وتضمن استمرارية الأجيال القادمة.

يستغل الإنسان جهد النباتات في الأجيال القادمة لإنتاج مواد غذائية في الزراعة.

حقول القمح، الأرز ، الذرة، المراعي وكروم الفواكه هي "مصانع" لعملية التركيب الضوئي التي نحصل منها على محاصيل نباتات وأقسام نبات (أوراق، درنات، ثمار، بذور) نستعملها كغذاء للإنسان وللحيوان الذي ينميه.

علاقة بموضوع

علم البيئة:
علاقة متبادلة من نوع تكافل.

سؤال ج -17:

عند تنمية نباتات معينة لأغراض تجارية، مثل: العنب، الصبار، الخوخ والنخيل، يقوم المزارع عادة بعملية تفريد الثمار صغيرة السن (تقليل عدد الثمار) . أُجري في مصر بحث لفحص تأثير مدى تفريد ثمار النخيل، بعد اسبوعين من الإخصاب، على وزن ثمرة التمر المنفردة وعلى تركيز السكر فيها. عرضنا النتائج في الجدول ج - 2.

جدول ج -2: تأثير تفريد ثمار التمر على وزن الثمرة المنفردة وعلى تركيز السكر فيها

تفريد الثمار (%)	وزن ثمرة واحدة (غم)	تركيز السكر (%)
0	15.2	30
10	16.3	32.6
20	16.8	33.4
30	18.2	35

أ. ماذا يمكن أن نتعلم من المعطيات عن العلاقة بين عدد الثمار، كبرها وتركيز السكر فيها؟
ب. ما هو الشرح البيولوجي الذي يعتمد عليه علاج تفريد الثمار؟

سؤال ح -18:

اذكروا عدة أمثلة لمواد غذائية نأكلها وتحتوي على نشا. في كل مثال، اذكروا النبات الذي حصلنا منه على الغذاء؟ وفي أي عضو في النبات يتم إدخار النشا؟

صراع ذهني

عملية التركيب الضوئي لإنتاج الوقود – هل تدعم أو لا تدعم ذلك؟

في سنة 2008 ، طارت طائرة تجارية، وقد عَمل أحد محركاتها بواسطة مخلوط وقود عادي مع وقود استُخلص من نبات زينة ينمو في جنوبَ أميركا وإفريقيا (اسمه جتروفا). نجحت عملية طيران الطائرة. من نواتج عملية التركيب الضوئي للنبات، نستخرج "وقود بيولوجي" (ايثانول) كوقود بديل للغاز والنفط. في الماضي، استُخرج "وقود بيولوجي" من نباتات، مثل: الصويا أو الذرة، لكن أفضلية نبات الجتروفا أن نموه بسيط وهو لا يحتاج إلى كميات مياه كثيرة أو تسميد كثير. نحتاج إلى إيجاد مصدر نباتي كبديل للوقود الأحفوري (وقود نَتَجت قبل ملايين السنين من بقايا كائنات حية صغيرة جدًا)، مثل: النفط، الفحم والغاز الطبيعي، بسبب تناقص مجمعات الوقود الموجودة في جوف الأرض، التي مصدرها من عمليات التركيب الضوئي التي حدثت في فترات زمنية قديمة جدًا. توجد حسنات بارزة لاستعمال "الوقود البيولوجي"، لكن توجد لذلك جوانب سلبية كثيرة.

سؤال ج -19:

يدعي بعض المختصين أن هناك حاجة لاستعمال"الوقود البيولوجي" (المسماة أيضًا "وقود أخضر" أو "بيوغاز") وتقليص استعمال الوقود الأحفوري. يدعي المعارضون لهذا الاستعمال أنه يجب الاستمرار في استعمال الوقود الأحفوري ما زال هذا الوقود متوافرًا.

أ. ابحثوا في الإنترنيت عن تعليلات تدعم استعمال "الوقود البيولوجي" وعن تعليلات لا تدعم هذا الاستعمال. صيغوا تبريرًا واحدًا يدعم استعمال الوقود البيولوجي وتبريرًا (حُجاجًا) واحدًا لا يدعم ذلك.

ب. ما هو موقفكم الشخصي إزاء هذا الموضوع؟ اعرضوه كتبرير لكي يساعدكم على اقناع المعارضين لموقفكم الشخصي؟

مصطلحات - صراع ذهني وتبرير (حُجَج)

الصراع الذهني هو قضية تُثير نقاشًا بسبب وجود تناقض بين قيم مختلفة.

التبرير (الحُجَج) هو عبارة تهدف إلى اقناع الآخر بدعم موقف المبرر (الشخص الذي يقدم التبرير).

التبرير مكون من قسمين:

- **ادعاء**(أو استنتاج) - هو العبارة الأساسية التي يرغب المبرر التعبير عنها.
- **تعليل** - شرح يدعم الادعاء (أو الاستنتاج).

يمكن أن يشتمل التبرير على أكثر من تعليل واحد، وبقدر الإمكان يجب عليه الاعتماد على دلائل.

نستعمل أحيانًا التبرير لكي نقنع الآخر أن يغيِّر موقفه. في هذه الحالة، يواجه المبرر ادعاءات مضادة له بشكل موزون وناقد. يستطيع تبرير أن يَدْحض تبريرًا مضادًا له، من خلال تقديم تعليل يزعزع الملاءمة بين تعليلات المضاد له، أو يقدم تعليلًا ودلائل إضافية تُقوِّي موقفه. فيما يلي عدة أمثلة:

- تبرير يدعم تطوير شارع عابر إسرائيل:

  من الأفضل الاستمرار في تطوير شارع عابر إسرائيل (ادعاء)، لأنه "يقرب" المناطق النائية إلى المركز، وهكذا نحسِّن الاقتصاد ومستوى الحياة (تعليل).

- تبرير مضاد لتطوير شارع عابر إسرائيل:

  غير مُجد أن نفتح هذا الشارع (ادعاء)، لأنه يضر النباتات والحيوانات وبيوت التنمية التي يمر فيها (تعليل).

- تبرير لدحض تبرير المعارضين:

  من المهم الاستمرار في تطوير شارع عابر إسرائيل (ادعاء)، لكن يجب إيجاد حلول تقلص الضرر في النباتات والحيوانات إلى الحد الأدنى (تعليل للدحض).

ج7. عوامل تؤثر على عملية التركيب الضوئي

أدت أهمية عملية التركيب الضوئي بشكل عام وأهميتها للزراعة بشكلٍ خاص إلى بحث تأثير عوامل مختلفة على وتيرة عملية التركيب الضوئي. ساعدت هذه الأبحاث على فهم أُسس هذه العملية بشكل جيد، وفهم العوامل التي تؤثر عليها وبالأساس فهم العوامل التي تعمل في نفس الوقت.

العوامل التي تؤثر على عملية التركيب الضوئي هي **عوامل داخلية وعوامل خارجية - البيئة المحيطة.**

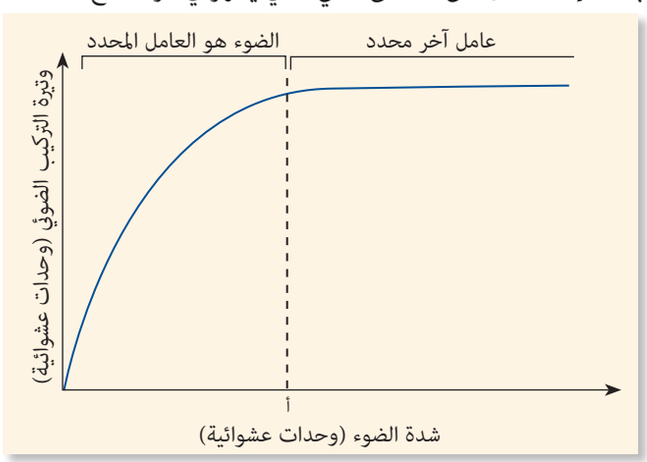
العوامل الداخلية على سبيل المثال هي: عدد الكلوروبلاستيدات في الورقة، كمية الكلوروفيل في الورقة، مبنى الورقة، كثافة الثغور ومكانها في الورقة وعُمْر الورقة.

عوامل البيئة المحيطة الأساسية هي: شدة الضوء وجودته، تركيز الـ CO_2، درجة الحرارة، وبطريقة غير مباشرة كمية الماء ورطوبة الهواء أيضًا. نتعلم فيما بعد أن الأملاح المعدنية المتوافرة للنبات تؤثر على عملية التركيب الضوئي.

ج1.7 تأثير شدة الضوء على وتيرة عملية التركيب الضوئي

الضوء هو مصدر الطاقة لعملية التركيب الضوئي. يمكن أن نسأل: هل كلما ازدادت شدة الضوء تزداد وتيرة عملية التركيب الضوئي ونحصل على كمية أكبر من النواتج؟

عندما نبحث تأثير شدة الإضاءة على وتيرة عملية التركيب الضوئي في النباتات المختلفة (بحيث تبقى جميع العوامل الأخرى ثابتة)، فإننا نحصل على المنحنى التالي الذي يظهر في الرسمة ج - 22.



الرسمة ج-22: وتيرة التركيب الضوئي بشدة ضوء مختلفة.
المنحنى هو نموذج عام، لذا لا تظهر فيه وحدات. نحصل على قيم مختلفة في النباتات المختلفة.

نلاحظ في الرسمة ج - 22 أنه في شدة ضوء منخفضة (حتى النقطة أ)، يؤدي ارتفاع شدة الضوء إلى ارتفاع وتيرة عملية التركيب الضوئي، لكن عندما تكون شدة الضوء عالية (بعد النقطة أ)، فإن ارتفاع الضوء لا يؤثر على وتيرة التركيب الضوئي، وتبقى الوتيرة ثابتة حتى حدٍّ معين.

كيف نشرح ذلك؟ يعتمد الشرح على مبدأ **العامل المحدد.** في شدة ضوء منخفضة (حتى النقطة أ)، الضوء هو العامل المحدد في العملية (لا يوجد ضوء كاف)، لذا يؤدي ارتفاع شدة الضوء إلى ارتفاع وتيرة العملية. أما في شدة ضوء عالية (بعد النقطة أ) ، الضوء ليس عاملًا محددًا(يوجد ضوء كاف)، لذا لا ترتفع وتيرة العملية عندما نرفع شدة الإضاءة. ابتداءً من هذه النقطة وفيما بعد، يوجد عامل آخرٌ (أحد العوامل التي تؤثر على عملية التركيب الضوئي) يشكل عاملًا محدِّدًا (مستواه منخفض).

علاقة بموضوع

علم البيئة:
شروط، موارد وعوامل محددة.

ماذا يمكن أن يكون العامل الذي كميته غير كافية؟ وكيف نعرف الآن أنه هو العامل المحدد؟ الطريقة البسيطة للإجابة عن هذا السؤال، هي إضافة العامل الذي نخمن أن مستواه منخفض ونفحص تأثير إضافته. مثال على ذلك: إذا أضفنا CO_2 في المرحلة التي لا تزيد فيها إضافة الضوء من عملية التركيب الضوئي (من النقطة أ في الرسمة ج - 22 وما بعد ذلك)، ووجدنا أن إضافة CO_2 أدت إلى ارتفاع وتيرة عملية التركيب الضوئي، عندئذٍ نستنتج أن الـ CO_2 هو العامل المحدد للعملية على الرغم من شدة الضوء العالية.

سؤال ج-20:

في أي بيوت تنمية تكون شدة الضوء عاملًا محددًا لعملية التركيب الضوئي؟

ج2.7 تأثير CO_2 على وتيرة التركيب الضوئي

CO_2 هو مادة متفاعلة مركزية في عملية التركيب الضوئي. وهو أساس الهيكل الكربوني للمواد العضوية التي مصدرها من عملية التركيب الضوئي. رأينا في الرسمة ج - 22 أن الضوء عامل محدد لعملية التركيب الضوئي ابتداءً من شدة ضوء معينة. كذلك الأمر بالنسبة لتأثير CO_2 على وتيرة عملية التركيب الضوئي: إذا أدى ارتفاع تركيز CO_2 إلى ازدياد العملية، فإن ذلك يعني أن CO_2 هو العامل المحدد. أما إذا لم يؤدِّ ارتفاع تركيز CO_2 إلى ازدياد العملية، فإن ذلك يعني أن CO_2 ليس عاملًا محددًا. ويمكن الافتراض أن هناك عاملًا آخر يحدد العملية، مثل: درجة الحرارة، الضوء أو أملاح معدنية معينة.

نافذة البحث

لكي يفحصوا تأثير تركيز CO_2 في الهواء على وتيرة التركيب الضوئي، أُجريت تجربة فيها نُميت نباتات ذُرة في تراكيز CO_2 مختلفة. نُميت النباتات في أوعية مغلقة وشفافة، وقد كانت مكشوفة للتغيُّرات الطبيعية للنهار والليل. في كل وعاء، نُميت حوالي 30 شتلة في ظروف متماثلة باستثناء تركيز CO_2 في الهواء الذي تمّ إدخاله إلى داخلها. خلال التجربة، فُحصت وتيرة عملية التركيب الضوئي في نباتات الذُّرة. عرضنا نتائج التجربة في جدول ج -3.

جدول ج -3: تأثير تركيز CO_2 على وتيرة عملية التركيب الضوئي في نباتات الذُّرة

تركيز الـ CO_2 الذي أُدخل إلى الوعاء (ملغم CO_2 في اللتر)	وتيرة التركيب الضوئي في نباتات الذُّرة (ملغم من الـ CO_2 الذي تمّ استيعابه في 100 سنتمتر مربع من مساحة الأوراق في الساعة)
100	15
200	32
300	46
400	49
600	53
700	53

سؤال ج -21:

أ. اعرضوا معطيات الجدول ج - 3 برسم بياني. ما هي أفضلية العرض البياني؟

ب. صفوا النتائج التي عرضتموها في الرسم البياني في بند أ، ثم اشرحوها بمساعدة المصطلح "عامل محدد".

ج. بناءً على المعطيات وعلى معلوماتكم عن عملية التركيب الضوئي، اقترحوا شرحًا لتأثير تركيز الـ CO_2 الذي أُدخل إلى الوعاء على وتيرة التركيب الضوئي في نباتات الذُّرة.

د. بعد مرور حوالي شهر، قاس الباحثون الكتلة الجافة لنباتات الذرة. الكتلة الجافة، هي كتلة كل المادة التي يحتويها النسيج النباتي دون الماء. وقد وُجدت الكتلة الكبرى في النباتات التي نمَّت في وعاء أُدخل فيه التركيز الأكبر من الـ CO_2. اشرحوا النتائج التي حصلوا عليها.

هـ. لماذا فُحصت الكتلة الجافة وليس الكتلة الكلية للنباتات؟

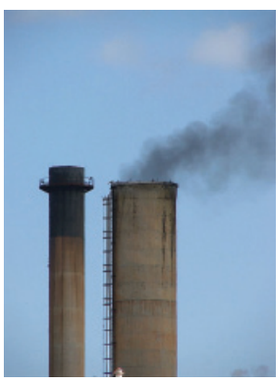
و. **أُدخل** CO_2 إلى الأوعية بوتيرة ثابتة خلال اليوم. على الرغم من ذلك، أشارت فحوصات الـ CO_2 في ساعات مختلفة من اليوم أن تركيزه في الهواء داخل الأوعية لم يَبْق ثابتًا. اشرحوا هذا المُكتشف.

ز. اقترحوا طريقة إضافية لقياس وتيرة التركيب الضوئي في هذه التجربة.

قليل من المعلومات...

التركيب الضوئي، تركيز CO_2 في الغلاف الجوي وتأثير الدفيئة (الاحتباس الحراري)

تأثير الدفيئة هي ظاهرة تنبع من احتباس الطاقة الحرارية بالغلاف الجوي. تنعكس أشعة حرارية عن الغلاف الجوي إلى سطح الكرة الأرضية بسبب وجود غازات مختلفة في الغلاف الجوي، من بينها ثاني أكسيد الكربون وميثان. تؤدي ظاهرة الدفيئة إلى إنتاج ظروف درجة حرارة مريحة على سطح الكرة الأرضية.



في السنوات الأخيرة، يتحدث الباحثون عن **ازدياد تأثير الدفيئة** نتيجةً لارتفاع تركيز الغازات المختلفة في الغلاف الجوي. التأثيرات الضارة لارتفاع معدل درجة الحرارة للكرة الأرضية تُثير القلق.

يُعتبر CO_2 أحد العوامل التي تزيد من تأثير الدفيئة. ارتفع تركيز CO_2 في الغلاف الجوي من 0.0275%– (في الفترة التي كانت قبل الصناعة) إلى 0.0380%-0.0400% في سنوات الـ 2000، بالأساس نتيجةً لحرق الوقود على يد الإنسان ولقطع الغابات التي تقلل من الكمية العالمية لثاني أكسيد الكربون CO_2 الذي تستوعبه النباتات، وفي الحالات التي نحرق فيها الأشجار، فإن تركيز CO_2 يزداد في الغلاف الجوي.

انتبهوا! النسبة المئوية للغاز CO_2 في الهواء في الفترتين الحالية وقبل ظهور الصناعة هي منخفضة جدًا ولا تختلف عن بعضها كثيرًا (الفرق بين الفترتين أقل من 5 أجزاء من مئة من النسبة المئوية)، لكن هذا التغيير كبير جدًا! تركيز CO_2 اليوم أكبر بـ 30% بالمقارنة مع تركيزه في الفترة التي كانت قبل الصناعة.

يطالب سياسيون وعلماء في كل العالَم أن يتم تقليل انبعاث CO_2 من مصادر صناعية ملوثة.

إلى جانب الجوانب السلبية الواضحة لازدياد تأثير الدفيئة، يوجد ربح معين لارتفاع تركيز CO_2.

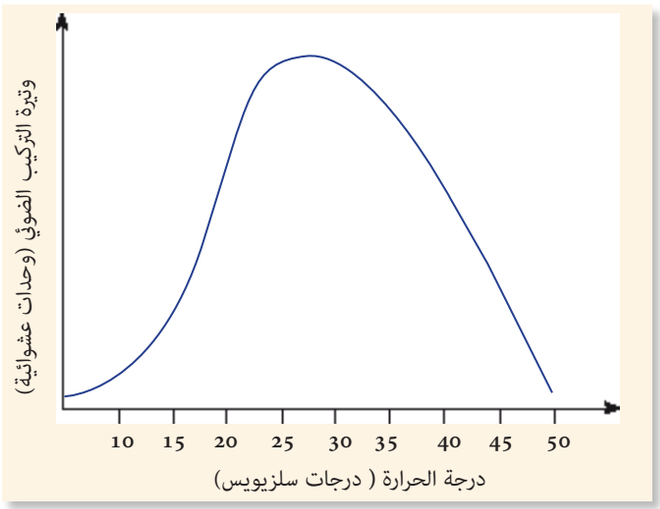
أثبتت أبحاث أن تركيز CO_2 في الهواء يشكل عاملًا محددًا لعملية التركيب الضوئي ، حيث يؤدي ارتفاع تركيزه إلى ارتفاع محاصيل نباتات معينة.

علاقة بموضوع

علم البيئة:
الإنسان يؤثر على بيئته المحيطة ويغيّرها.تؤثر عوامل لا أحيائية على نمو نباتات.

ج3.7 تأثير درجة الحرارة على وتيرة التركيب الضوئي

تبيِّن الرسمة ج -23 أن نموذج تأثير درجة الحرارة على وتيرة التركيب الضوئي يختلف عن تأثير شدة الضوء وتركيز CO_2. في درجات حرارة عالية جدًا أو منخفضة جدًا تكون وتيرة التركيب الضوئي منخفضة، وبين طرفَيْ درجة الحرارة، يوجد مجال درجات حرارة مُثْلى، وذلك متعلق بنوع النبات.



الرسمة ج - 23: تأثير درجة الحرارة على وتيرة التركيب الضوئي.

ينبع تأثير درجة الحرارة على التركيب الضوئي من تأثيرها على إنزيمات كثيرة تشترك في العملية. كما تعلَّمتم، إذا كانت درجة الحرارة أعلى من درجة الحرارة المثلى، فإنها تؤثر على المبنى الفراغي للبروتينات وعلى أدائها أيضًا. أما في درجات حرارة أقل من درجة الحرارة المُثْلى، فإن المبنى الفراغي للإنزيمات لا يتأثر تقريبًا، لكن وتيرة حركة الجزيئات تكون بطيئة واحتمال الإلتقاء بين جزيئات الانزيم والمادة التي يعمل عليها يكون منخفضًا، لذا وتيرة العملية تكون منخفضة.

علاقة بموضوع

الخلية — مبنى ونشاط: *تأثيؤدرجة الحرارة على نشاط الإنزيم.*

ج4.7 تأثير كمية الماء في التربة ورطوبة الهواء على وتيرة التركيب الضوئي

تؤثر كمية الماء في التربة ورطوبة الهواء على عملية التركيب الضوئي بطريقة غير مباشرة. كما رأينا في بند ج2.3، فإنَّ عملية التركيب الضوئي متعلقة بفتح الثغور. بما أن فتح الثغور يتأثر من توازن الماء في النبتة، ويتأثر توازن الماء من كمية الماء في التربة ومن رطوبة الهواء، فإنَّ هذه العوامل تؤثر على وتيرة عملية التركيب الضوئي بطريقة غير مباشرة أيضًا.

عندما تكون رطوبة الهواء منخفضة، فإن وتيرة النتح عبر الثغور تكون عالية وتنخفض كمية الماء في النبات. في هذه الحالة تُغلق الثغور ويتم تثبيط (إعاقة) عملية التركيب الضوئي. يعتمد شرح العلاقة بين وتيرة النتح ورطوبة الهواء على الحقيقة الفيزيائية أن وتيرة انتشار الماء (من سطح معين) ترتفع كلما قلت النسبة المئوية لبخار الماء في الهواء الموجود حول السطح.

عندما تكون رطوبة الهواء عالية، فإن وتيرة النتح عبر الثغور تكون منخفضة نسبيًا ويبقى توازن الماء موجبًا. في هذه الحالة، تبقى الثغور مفتوحة وتستمر عملية التركيب الضوئي. عندما يهب ريح، فإنه يدفع الهواء الرطب من حول الثغور ويحل محله هواء جاف، تزداد وتيرة النتح، تنخفض كمية الماء في النبات، تُغلق الثغور وتقل وتيرة التركيب الضوئي. عندما تكون كمية ماء كبيرة في التربة، فإنَّ الثغور تبقى مفتوحة وتستمر عملية التركيب الضوئي (انظروا الرسمة ج - 8).

رأينا أن شدة الإضاءة، تركيز ثاني أكسيد الكربون، درجة الحرارة، كمية الماء ورطوبة الهواء، قد تكون عوامل محددة لتنفيذ عملية التركيب الضوئي. فيما بعد، نبيِّن أن تركيز الأملاح المعدنية في النبتة له تأثير على عملية التركيب الضوئي أيضًا.

سؤال ج-22:

يعيش مزارعان في منطقتين مختلفتين في البلاد، وقد زرعا اثناهما في نفس الوقت بذورًا اشتُريت من نفس المصدر. تفاجئ الاثنان واكتشفا فرق كبير جدًا في كمية المحاصيل التي حصل كل واحد منهما عليها. ماذا يمكن أن تكون الأسباب أن أحدهما حصل على محاصيل قليلة؟

ج8. تدخُّل الإنسان: ازدياد عملية التركيب الضوئي بواسطة تغيير عوامل بيئية محيطة

إسرائيل هي دولة نصف صحراوية وأقسام منها هي صحراوية. على الرغم من البداية الصعبة في الزراعة، إلا أن إسرائيل توصلت خلال الـ 60 سنة منذ قيام الدولة إلى إنجازات كثيرة: من سنوات الخمسينيات حتى سنوات الألفين ارتفعت محاصيل القمح من 200 كغم للدونم الواحد في السنة إلى 800 كغم للدونم الواحد في السنة، ارتفع محصول الأفوكادو من أقل من 0.7 طن للدونم الواحد في السنة إلى أكثر من 2 طن للدونم الواحد في السنة، ارتفع محصول البندورة في الحقل المفتوح من 3 أطنان للدونم الواحد في السنة إلى 6-8 أطنان للدونم الواحد في السنة، أما محصول البندورة في الدفيئة، يصل إلى 30 طنًا للدونم الواحد في السنة.

لا يحدث كل ذلك بشكل عشوائي، الهدف من الزراعة الحديثة (إسرائيل هي إحدى الدول الرائدة في هذا المجال) أن تزداد كميات المحاصيل وأن تكون ملائمة لاحتياجات السوق. تعتمد الزراعة الحديثة على مبادئ وأبحاث علمية وعلى المعرفة التي تراكمت من تجربة المزارعين.

علاقة بموضوع

علم البيئة:

الزراعة هي نوع من أنواع تدخُّل الإنسان في الطبيعة.

أحد المبادئ الذي يساعد المزارعين على زيادة المحاصيل من كل وحدة مساحة هو تقليل تأثير العوامل التي تحدد وتيرة التركيب الضوئي، وذلك من خلال خلق ظروف مُثلى لتنفيذ عملية التركيب الضوئي. أحد الأمثلة على ذلك هو تنمية الخضروات والأزهار **في بيوت تنمية** نعرفها في حياتنا اليومية باسم دفيئات.

ما هي أفضلية التنمية في بيوت النمية؟ ⁉

في الحقول المفتوحة تكون قُدْرَة تأثير المزارعين، على العوامل البيئية المحيطة التي تؤثر على المحاصيل، محدودة. أما تنمية نباتات في بيوت تنمية مغلقة وشفافة، فإنها تساعد المزارعين في السيطرة ومراقبة العوامل اللا أحيائية التي تؤثر على النمو، مثل: درة الحرارة، رطوبة الهواء، عدد ساعات الإضاءة، تركيز CO_2 في الدفيئة، كمية المياه والأملاح المعدنية في وسط النمو. تساعد مراقبة العوامل على ازدياد كمية المحصول وجودته، كما أنها تساعد على توجيه دورة حياة النبات، مثلًا: زمن نضوج المحصول. تساعد هذه السيطرة على تسويق محاصيل طازجة من الخضروات، الفواكه والأزهار في موسم يكون الطلب عالٍ، حتى لو كان الحديث عن مواسم نمو غير طبيعي.

سؤال ج -23:

أ. ما هي محدوديات نمو نباتات في بيت التنمية بالمقارنةً مع تنمية النباتات في حقل مفتوح؟

ب. اذكروا أنواع نباتات غير ملائمة للنمو في بيوت التنمية. اشرحوا إجاباتكم.

يتم التأثير على العوامل التي تحدد وتيرة التركيب الضوئي بواسطة التنمية في بيوت التنمية، لكن لا يتم هذا في بيوت التنمية فقط، بل أيضًا من خلال علاج مختلف في مساحات مفتوحة. مثال على ذلك: تحدث في البيارات أحيانًا مشكلة عندما تصل أشجار الحمضيات إلى مرحلة من المتوقع أن تكون فيها المحاصيل عالية، لكن المحاصيل تكون أقل بكثير من المتوقع. وُجِدَ أن السبب لذلك هو كثافة عالية للأغصان والأوراق التي تمنع مرور الضوء.

الحل الذي يقوم به المزارعون هو تقليم وقطع الغصون، لكي تدخل كمية ضوء كبيرة إلى الغصون الداخلية للشجرة. بعد تنفيذ ذلك، ترتفع كمية المحصول مرةً أخرى.

كما تعلَّمتم، تحتاج النباتات إلى كميات ماء كبيرة لنموها. يحاول المزارعون تحسين تزويد المياه من خلال الري بطرق مختلفة، مثل: قنوات ماء، رشاشات وأنابيب تنقيط، ومن خلال تغطية التربة لتقليل التبخر منها. ستتعلمون في البند التالي أن النباتات تحتاج إلى أملاح معدنية أيضًا، لكي تنمو بالشكل السليم. لأن المخزون الطبيعي للعناصر والأملاح المعدنية في الأراضي الزراعية غير كافٍ، لذا يقوم المزارعون بتزويد النباتات بأملاح معدنية ضرورية.

سؤال ج -24:

أحيانًا تختلف غاية المزارعون في توجيه تدخلهم عن الاحتياجات الطبيعية للنبات. أعطوا مثالين لذلك.

ج9. تغذية النبات بالأملاح المعدنية وأهميتها لتطوره ولحدوث عملية التركيب الضوئي

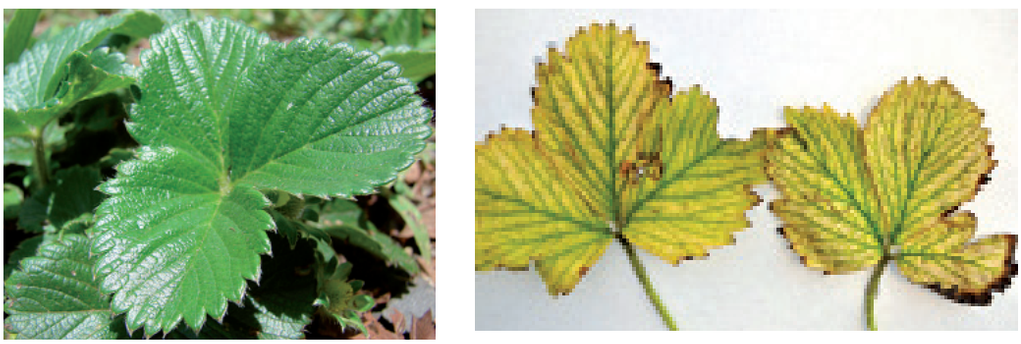
يحتاج تنفيذ عملية التركيب الضوئي، نمو النبات والأداء السليم للنبات إلى ماء، CO_2 وضوء، إضافةً إلى ذلك تحتاج هذه العمليات إلى أملاح معدنية. عملية استيعاب الأملاح المعدنية من التربة ودمجها في المواد العضوية في النبتة نسمِّيها **تغذية النبات بالأملاح المعدنية**.

يوجد 13 عنصرًا معدنيًا ضروريًا لتطوير النبات. دونها لا يستطيع النبات أن يُكمل دورة حياته، كما لا يستطيع دونها أن يبني موادًا عضوية أخرى من الهيكل الكربوني الذي يَنْتُج في عملية التركيب الضوئي، ولا يستطيع تفعيل عمليات مختلفة.

لبناء البروتينات، على سبيل المثال، يحتاج النبات إلى نيتروجين، لبناء جزيئات الكلوروفيل يحتاج إلى مغنيسيوم، لتقوية جدران الخلايا ولحدوث عمليات في الخلية يحتاج النبات إلى كالسيوم. كما يحتاج النبات إلى كلور وبوتاسيوم لتنشيط إنزيمات تشترك في عملية التركيب الضوئي وللحفاظ على تركيز اسموزي سليم في النبات. العناصر التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة نسمِّيها " ماكرو أملاح معدنية" والعناصر التي يحتاجها بكميات صغيرة نسمِّيها "ميكرو أملاح معدنية" أو "عناصر كورت" أو "عناصر زهيدة" (الزهيدة بمعنى أنها موجودة بنسبة أقل من 50 ميليغرام/ كيلوغرام على عكس العناصر الكبرى) .

بسبب أهمية الأملاح المعدنية للزراعة، أُجريت أبحاث كثيرة حول مساهمة هذه الأملاح، والأضرار التي تحدث في النبات بسبب نقصها، والكميات المطلوبة منها والوقت وطريقة تزويد النبات فيها.

إحدى طرق تمييز النقص في الأملاح المعدنية هي منظر النبتة. يوجد **دلالتان شائعتان للنقص** وهما داء الإخضرار Chlorosis والبقع النخرية. داء الإخضرار هو اصفرار أوراق ينبع من عدم قدرة النبات على إنتاج الكلوروفيل، وهي تشكل دلالة لنقص عدة عناصر معدنية. انتبهوا! إصابة إنتاج الكلوروفيل تؤذي عملية التركيب الضوئي بشكل مباشر. البقع النخرية هي عبارة عن مناطق يبدأ فيها هدم الأنسجة وظهورها يشكل دلالة لنقص يميِّز عدة عناصر من الأملاح المعدنية.



الرسمة ج - 24: على اليمين: داء الإخضرار والنخر في أوراق توت أرضي نتيجة لنقص الحديد
على اليسار: ورقة توت أرضي دون دلالات نقص.

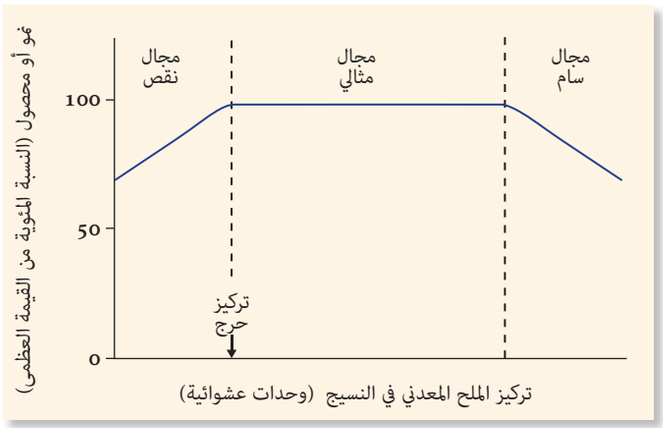
يوجد طريقة إضافية لفحص ما إذا يوجد نقص في الأملاح المعدنية، وما هي الأملاح المعدنية الناقصة؟ هذه الطريقة هي فحص كيميائي لعينة من الأوراق وتحديد تركيز الأملاح المعدنية فيها. ووفقًا لنتائج الفحص، نزوِّد النبات بالأملاح المعدنية الناقصة. يمكنكم أن تتعلموا عن الأملاح المعدنية المطلوبة للنبات وعن دلالات النقص فيها من الجدول ج -4. يجب أن نعرف أنه في معظم الحالات، نجد الأملاح المعدنية في التربة كمركّبات، مثلًا: نجد النيتروجين في التربة بالأساس كنيترات (NO_3^-).

جدول ج -4: نشاط العناصر المعدنية الضرورية في النبات ودلالات النقص فيها

العنصر المعدني	وظيفته في النبتة	دلالات النقص
ماكروا أملاح معدنية — عناصر يحتاجها النبات بكمية كبيرة نسبيًا		
نيتروجين (N)	يشترك في بناء حوامض أمينية، بروتينات، نوكلوئوتيدات، حواض النواة، كلوروفيل، ATP، هورمونات، ومواد مشاركة في نشاط الإنزيمات (كوإنزيمات).	داء الإخضرار: في حالات خطيرة تكون الأوراق صفراء، ثم تصبح بنية وفي النهاية تموت، أحيانًا تتراكم صبغيات بنفسجية على الأوراق، النبات لاينمو، يوجد أوراق قليلة وصغيرة.
بوتاسيوم (K)	يشترك في الحفاظ على تركيز اسموزي سليم وعلى توازن أيوني، كما يشترك في مراقبة فتح واغلاق الثغور، ينشط إنزيمات كثيرة.	داء الإخضرار: بقع نخرية بالأساس في أطراف الأوراق، السيقان دقيقة وضعيفة.
كالسيوم (Ca)	يشترك في بناء جدران الخلايا، تحتاجه النباتات لنشاطات إنزيمات، يشترك في مراقبة أداء الأغشية والإنزيمات.	تموت قمم السيقان والجذور، تنحني أوراق حديثة السن وبعد ذلك تبدأ تموت من أطراف الورقة، لا تكبر النبتة، في حالات كثيرة تتضرر الثمرة.
مغنيسيوم (Mg)	يشترك في بناء الكلووفيل، ينشِّط إنزيمات كثيرة.	داء الإخضرار في الأوراق وهي تبدأ بين العروق، أحيانًا يظهر إحمرار ويوجد بقع نخرية، تنطوي أطراف الأوراق إلى أعلى. تصبح السيقان دقيقة.
كبريت (S)	يشترك في بناء حوامض أمينية معينة، بروتينات وكوإنزيمات.	داء الإخضرار
فوسفور (P)	يشترك في بناء جزيئات ATP وَADP, حوامض النواة، كوإنزيمات ودهنيات (فوسفوليبيدات).	يظهرداء الإخضرار وبقع نخرية في الأوراق، أحيانًا يتغيَّر لون الأوراق إلى أزرق بالأساس في الطرف السفلي للورقة، النبات لا يكبر، الأوراق البالغة السن تصبح بنية غامقة وبعد ذلك تموت.
ميكرو أملاح معدنية - عناصر يحتاجها النبات بكمية قليلة نسبيًا		
كلور (Cl)	يشترك في الحفاظ على تركيز اسموزي سليم وعلى توازن أيوني، كما يشترك على ما يبدو في عملية إطلاق الأكسجين في عملية التركيب الضوئي.	يظهر داء الإخضرار وبقع نخرية في الأوراق البالغة السن وتنكمش، يوجد للأوراق لون برونز (لون أصفر - رمادي معدني)، يبدأ تثبيط استطالة الجذور وتصبح الأطراف ثخينة.
حديد (Fe)	يحتاجه النبات لبناء الكلوروفيل، يشترك في بناء حامل الإلكترونات المطلوب لعملية التركيب الضوئي والتنفس الخلوي.	يظهر داء الإخضرار بين العروق في أوراق حديثة السن، بعد أن تَصْفَر كل الورقة، يظهر نخر في العروق الرئيسية تكون خضراء،تتراكم صبغيات بنفسجية في الأوراق، تصبح السيقان قصيرة ودقيقة.
منغنيز (Mn)	ينشِّط إنزيمات معينة، يشترك في بناء أغشية الكلوروبلاستيدات وفي إطلاق الأكسجين في عملية التركيب الضوئي.	يظهر داء الإخضرار بين العروق في أوراق حديثة السن، وتظهر بقع نخرية.
بور (B)	يؤثر على استغلال الكالسيوم، على إنتاج حوامض النواة وعلى البناء الكامل لغشاء الخلية.	تتوقف استطالة الجذور، الأوراق حديثة السن تكون خضراء فاتحة في قاعدتها، في حالة نقص كبير، يتشوه شكل الأوراق حديثة السن، تصبح بنية وتموت، تتساقط البراعم، الأزهار والثمار حديثة السن.
خارصين (Zn)	يشترك في بناء أو ينشِّط إنزيمات كثيرة، يحتاجه النبات لإنتاج هورمونات معينة.	تقصر سلاميات الساق وتصغر مساحة الأوراق، تتشوه أطراف الأوراق، يظهر داء الإخضرار بين عروق الأوراق.
نحاس (Cu)	يشترك في بناء إنزيمات أو ينشِّط إنزيمات كثيرة تشترك في عملية التأكسد - اختزال.	الأوراق حديثة السن تكون خضراء غامقة ومشوّه، تظهر بقع نخرية وتموت براعم قممية.
موليبدن (Mo)	يحتاجه النبات للعمليات الأيضية المتعلقة بالنيتروجين.	داء الإخضرار بين العروق ونخر.

ج1.9 تأثير الأملاح المعدنية على أداء النبات

تعلَّمنا من الجدول ج -4 عن أهمية الأملاح المعدنية وعن الحقيقة أن النقص في الأملاح المعدنية يؤدي إلى أضرار في تطور النبات وفي قدرته على إنتاج مواد عضوية خلال عملية التركيب الضوئي. يجب علينا أن نتذكر أن إصابة كهذه هي إصابة في مستوى المحصول وجودته. تصف الرسمة ج -25 العلاقة العامة بين تركيز ملح معدني معين في أنسجة النبات وبين وتيرة نمو النبات.



الرسمة ج -25: علاقة عامة بين تركيز ملح معدني معين في النبات وبين وتيرة نمو النبات

تُبيِّن الرسمة أنه في تراكيز منخفضة، كلما ارتفع تركيز الملح المعدني في نسيج النبتة، حتى تركيز معين (تركيز حرج)، فإنّ وتيرة النمو تزداد أيضًا. في هذا المجال الذي نسمِّيه مجال النقص، يشكِّل الملح المعدني عاملًا محددًا لوتيرة النمو. إذا كان التركيز أعلى من التركيز الحرج، فإنَّ ارتفاع تركيز الملح المعدني في أنسجة النبات لا يؤدي إلى ارتفاع وتيرة النمو. هذا القسم من المنحنى نسمِّيه المجال المثالي. من المعقول الافتراض أنه في هذا المجال يوجد عامل محدد آخر للنمو. عندما يرتفع تركيز الملح المعدني في النسيج أكثر من المجال المثالي، فإنَّ وتيرة النمو تصغر بسبب سُمية الملح المعدني وهذا المجال نسمِّيه مجالًا سامًا. يمكن القول أيضًا: في مجال هذا التركيز، يشكِّل تركيز الملح المعدني عاملًا محددًا.

قد ينبع النقص في الأملاح المعدنية في النبتة، بسبب قلَّة الأملاح المعدنية في التربة، أو بسبب ظروف معينة في التربة تضر في استيعاب الأملاح المعدنية عند النبات. التربة التي تُشطف بالماء بوتيرة عالية تكون عادةً فقيرة في الأملاح المعدنية. في التربة الجيرية التي فيها **pH** عالي (بيئة قاعدية)، يحدث تثبيط (إعاقة) في استيعاب الحديد ويمكن أن نلاحظ دلالات نقص في الحديد مثل ال ، حتى لو كانت التربة غنية في الحديد. التهوية غير السليمة للتربة تؤدي إلى مشاكل في تغذية الأملاح المعدنية عند النبات أيضًا.

نافذة البحث

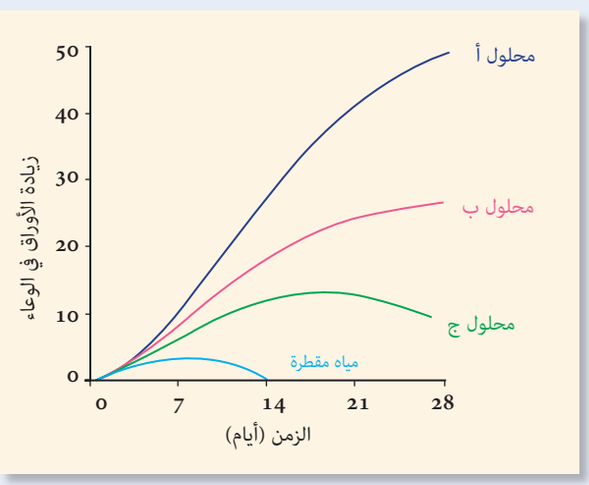
تنمو نبتة عدسة الماء في مجمعات مياه عذبة، حيث تطفو على سطحها وجذورها مغمورة في الماء. يتكاثر هذا النبات بسرعة كبيرة جدًا ويستطيع أن يضاعف كتلته خلال عدة أيام، من خلال انفصال براعم من نبتة الأم.

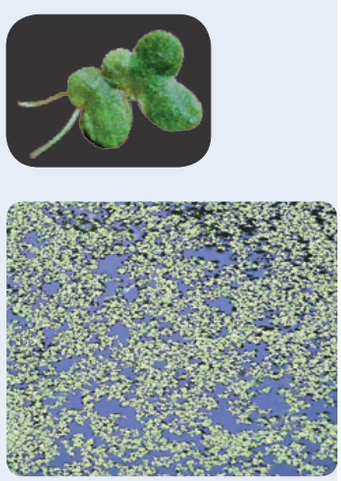
تمَّ فحص نمو هذا النبات في أوساط ماء تختلف عن بعضها في الأملاح المعدنية التي تحتويها. في إطار التجربة، وزع الباحثون 80 نبتة عدسة ماء حديثة السن إلى أربع مجموعات نُميت في أربعة أوعية كما هو موصوف في جدول ج-5. مقياس نمو نباتات عدسة الماء هو عدد الأوراق التي تطورت خلال 4 أسابيع التجربة.

جدول ج -5: تركيز الأملاح المعدنية في أوساط نمو مختلفة في التجربة

الترقيم	وسط النمو	تركيز الأملاح المعدنية (ملغم في اللتر)					
		نيتروجين (N)	فوسفور (P)	بوتاسيوم (K)	كالسيوم (Ca)	كبريت (S)	مغنيسيوم (Mg)
1	مياه مُقَطَّرة	0	0	0	0	0	0
2	محلول أ	1000	300	400	800	200	200
3	محلول ب	4	0	1	78	10	24
4	محلول ج	4	0	3	467	1129	84

تصف الرسمة ج -26 نتائج التجربة:





الرسمة ج -26: عدد أوراق نبتة عدسة الماء التي نمت في محاليل نمو تحتوي على أملاح معدنية مختلفة. في الصور الصغيرة: بِرْكَة نمو فيها نباتات عدسة الماء ونبتة عدسة ماء منفردة.

سؤال ج -25:

أ. ماذا كان هدف التجربة؟

ب. ماذا كان مقياس نمو عدسة الماء؟ ولماذا استُعمل هذا المقياس بالذات؟

ج. صفوا نتائج التجربة، تطرقوا بشكل مفصَّل إلى النمو في كل محلول.

د. كم ورقة نمّت لعدسة الماء في كل علاج من العلاجات المختلفة، بعد مرور 14 يومًا منذ بداية التجربة؟

هـ. أي ملح معدني موجود في المحلول أ وغير موجود في المحاليل الاخرى؟ وما هي وظيفة هذا الملح المعدني في النبات؟

و. هل يمكن أن يكون النقص في الملح المعدني الذي ذكرتموه في بند هـ هو العامل المحدد لنمو نبتة عدسة الماء في المحاليل الأخرى؟ خطّطوا تجربة للإجابة عن هذا السؤال.

ز. في المياه المقطرة لا توجد أملاح معدنية بتاتًا. اشرحوا نمو نبات عدسة الماء في الأيام السبعة الأولى للتجربة واشرحوا، ماذا حدث لهذه النباتات في الأيام السبعة الإضافية؟

ح. ما هي نتائج التجربة المتوقعة لنبتة عدسة الماء التي تنمو في مياه المطر؟

علاقة بموضوع

علوم البيئة:
محللات، دورة النيتروجين، سلسلة غذائية.

ج2.9 تغذية النبات في الزراعة - تزبيل وتسميد

لماذا يجب على المزارع أن يجدد الأملاح المعدنية في أرضه في كل موسم زراعة، بينما في الغابات وحقول البور تنمو نباتات كثيرة دون إضافة أملاح معدنية؟ ⁉

في الطبيعة، تُنهي النباتات دورة حياتها، تموت وتتحلل. خلال عملية تحليل النباتات بواسطة المحلِّلات، تنطلق الأملاح المعدنية الموجودة فيها إلى التربة، وهكذا يتم الحفاظ على مخزن الأملاح المعدنية في التربة من خلال مدورتها.

في الأراضي الزراعية، تستوعب النباتات الأملاح المعدنية من التربة، ويقوم المزارع بجمع محاصيل هذه النباتات دون أن تحدث مدورة للأملاح المعدنية تقريبًا. نتيجةً لذلك، تبقى أرض المزارع فقيرةً في الأملاح المعدنية، لذا يجب على المزارع أن يضيف الأملاح المعدنية المطلوبة في كل موسم زراعي. إضافةً إلى ذلك، وتيرة النمو في الحقل الزراعي أكبر بكثير من حقول البور أو الغابات، لذا استهلاك الأملاح المعدنية في الحقول الزراعية يكون عاليًا.

الطريقة المقبولة والشائعة لتحسين تغذية النباتات الزراعية بالأملاح المعدنية هي إضافة **السماد الكيميائي** إلى التربة. يحتوي السماد على أملاح مختلفة مركّزة وقابلة للذوبان. العناصر الثلاثة الرئيسية التي يجب إضافتها إلى التربة كسماد هي: **البوتاسيوم (K)، الفوسفور (P) والنيتروجين (N)**. في حالة نقص أحد الأملاح المعدنية، يمكن إضافته بواسطة رَشّه على أقسام النبتة (مثل: الأوراق والسسيقان).

يمكن إغناء التربة بالأملاح المعدنية بواسطة **الزبل العضوي** الذي هو مخلوط مصدره من رَوْث الحيوانات وبقايا النباتات.

انتبهوا! على الرغم من اسمه زبل عضوي، إلا أنه ليس مصدرًا لمواد عضوية للنبات، بل هو مصدر الأملاح المعدنية للنبات! تحليل المركبات العضوية بواسطة محلِّلات في التربة يؤدي إلى انطلاق أملاح معدنية في التربة، حيث يحوِّل الأملاح المعدنية لمتوافرة للنبات.

كل طريقة من طريقتَيْ تحسين التغذية بواسطة الأملاح المعدنية، مثل: التزبيل أو التسميد، يوجد لها حسنات وسيئات.

يعرض جدول ج-6 مقارنة بين التزبيل والتسميد.

جدول ج -6: مقارنة بين بين طريقتين لتحسين تغذية النبات بالأملاح المعدنية

	تسميد	تزبيل
وسيلة	**سماد كيميائي**	زبل عضوي
المصدر	أملاح أو مركّبات غير عضوية أخرى نتجت بطريقة اصطناعية في الصناعة الكيميائية.	مركّبات عضوية مصدرها من بقايا ورَوْث الحيوانات، مثل: زبل البقر، بُراز الطيور أو بقايا نباتات، بقايا عضوية كالكومبوست.
مميز أساسي	مخلوط يزوِّد النبات بعناصر الأملاح المعدنية الضرورية في حالة ذائبة وقابلة للاستيعاب.	قسمٍ من الأملاح المعدنية نجدها في حالة متوافرة وقسم منها يشكِّل قسمًا من المركبات العضوية. لذا فهي غير متوفرة للمدى القريب، وتُطلق إلى التربة بعد زمن كبير نسبيًا.
حسنات	• مواد التغذية قابلة للذوبان ومتوفرة مباشرةً للنبات، لذا التأثير على النمو سريع. • سعره أرخص من الزبل العضوي. • يسيطر المُنْتِج بشكل كامل على محتوى كل ملح معدني.	• إطلاق الأملاح المعدنية إلى التربة بشكل تدريجي ومنع شطفها. • يحسِّن بنية التربة، حيث يتم التعبير عن ذلك من خلال التماسك الجيد للماء وتهوية التربة بشكل جيد. • يشكل حلًا للبيئة المحيطة لمدورة نفايات عضوية. • يُتيح نشاط كائنات حية دقيقة صديقة للتربة.
سيئات	• قد يؤدي فائض الأملاح المعدنية إلى **تلوث التربة** ، حيث يتغير مستوى الملوحة والحامضية في التربة. وقد يؤدي هذ التغيير إلى إلحاق أضرار بكمية المحصول وبقيمته الغذائية. • تقوم مياه الأمطار ومياه الري بشطف فائض الأملاح المعدنية، حيث تصل إلى مصادر المياه وتلوثها. تؤدي هذه الأملاح المعدنية إلى أضرار صحية بالأساس للأطفال، كما أنها تؤدي إلى أضرار بيئية في الأنهر والبحيرات.	• من الصعب أن نسيطر على محتوى الأملاح المعدنية،، لأنه متعلق بمصدر المادة العضوية. • تركيز الأملاح المعدنية في الزبل أقل من السماد الكيميائي، لذا نحتاج كمية كبيرة من المادة العضوية، لكي نزوِّد النبات بكمية الأملاح المعدنية المطلوبة. • بسبب الانطلاق البطيء للأملاح المعدنية، فإنَّ توافر الأملاح المعدنية للنبات غير مباشر، وأحيانًا لا يكفي للمزروعات بالوتيرة المطلوبة. • إذا استعملنا زبل عضوي غير مُعالج مدة طويلة، فإن ذلك يؤدي إلى تراكم معادن ثقيلة في التربة، مما يؤذي النباتات والكائنات الحية الدقيقة. • قد يحتوي على بذور أعشاب ضارة، حيث تنبت هذه البذور وتتنافس مع النباتات الزراعية.

مدورة نفايات عضوية

مدورة النفايات العضوية وتوجيهها إلى استعمالات زراعية يشكل حلًا أفضل من ناحية اقتصادية ومن ناحية البيئة المحيطة. يستعين المزارع بالنفايات لزيادة الإنتاج الزراعي وبالموازاة يوفر تكاليف نقل ومعالجة نفايات، كما أنه يوفر وقودًا ويمنع مضرة في البيئة المحيطة. بكلمات أخرى، تتحول المضرة إلى مورد.

إحدى الإمكانيات لمدورة النفايات العضوية هي تحويلها إلى كومبوست. **الكومبوست** هو زبل عضوي يَنْتُج خلال عمليات العفن وتحليل مواد عضوية. تتحلل النفايات بمساعدة دودة الأرض، حشرات، فطريات وبكتيريا، حيث تقوم بتحليلها إلى مواد عضوية أبسط وإلى أملاح معدنية. الزمن المطلوب لإنتاج الكومبوست متعلق بعوامل، مثل: درجة حرارة البيئة المحيطة، الرطوبة ومدى التهوية. على الأغلب تستمر العملية عدة أسابيع وفي نهايتها يصغر حجم كومة النفايات إلى نصف. تتم إبادة البكتيريا، مسببات الأمراض والبذور في أعقاب ارتفاع درجة الحرارة. نحصل على مخلوط بُني له بنية وشكل يشبهان تربة فيها تهوية. لتحضير الكومبوست يمكن استغلال جميع أنواع النفايات العضوية ومن بينها بقايا مواد النباتات، مثل: نفايات زراعية، نفايات بلدية وتقليم، روث الحيوانات وحمأة من منشآت تطهير مياه المجاري (الحمأة عبارة عن رواسب مواد عضوية صلبة ترسب في أحواض التطهير). جودة الكومبوست متعلقة بمكوناته وبالنسب بينها أيضًا.

كومبوست

مثال آخر لمدورة ناجحة لنفايات عضوية، هو استعمال **بُراز الطيور** (تحتوي على نسبة عالية من المركّبات النيتروجينية) لاحتياجات الزراعة: تسميد التربة وتقديم الطعام للحيوانات المجترة. هذه المدورة ربح في أيامنا، لكن الاعتراف بأهمية استعمال بُراز الطيور لاحتياجات الزراعة ليس جديدًا كما تُبيِّن ذلك القصة الآتية.

قليلًا من المعلومات...

بُراز الطيور، حروب واتفاقات

في منتصف القرن الـ 19 ، نشبت حرب دامية بين بيرو وبوليفيا وبين تشيلي، وقد نشبت الحرب بسبب مادة نسمِّيها جوانو، وهذه المادة مكوَّنة بالأساس من بُراز طيور وروث خفافيش وكلاب البحر. استُعمل الجوانو مئات السنين في أميركا اللاتينية لتسميد أراضي زراعية. الجوانو هو السماد الطبيعي الناجع، لأن نسبة النيتروجين فيه أكبر بـ 33 ضعفًا من زبل البهائم العادي وهو غني بالفوسفور وبأملاح معدنية كثيرة أخرى. مصدر الجوانو ذا الجودة العالية هو جُزر قريبة من شواطئ بيرو. بسبب قلة الأمطار في المنطقة، حُفظت الأملاح المعدنية ولم تُهدر نتيجةً للتغلغل أو التبخر. في القرن الـ 18، اعترف الأوروبيون أيضًا بقيمة الجوانو للزراعة، ومنذ ذلك الحين وحتى تطوير السماد الاصطناعي في القرن الـ 20، شكل الجوانو بضاعة مطلوبة. وقد كان الطلب على هذه المادة عالٍ جدًا لدرجة أنه عُقدت اتفاقيات خاصة لاستخراجه والتجارة به. أما اليوم فقد تجدد الطلب على الجوانو بسبب استعماله كمصدر سماد في الزراعة العضوية.

سؤال ج-26:
لو كنتم مزارعون، هل تختارون استعمال سماد كيميائي أم زبل عضوي؟ اكتبوا ادعاءً مع 3 تعليلات لدعم الاختيار.

سؤال ج-27:
يوجد توصية لاستعمال الزبل العضوي قبل الغرس أو الزرع وليس خلال تنمية النبات. اشرحوا الأساس البيولوجي لهذه التوصية.

سؤال ج-28:
لماذا يجب تغيير الكمية ومكونات السماد الذي نضيفه إلى التربة خلال الموسم الزراعي؟

سؤال ج-29:
ما هي التأثيرات المتوقعة على النظام البيئي من إضافة سماد في الحقول الزراعية؟

سؤال ج-30:
لماذا يجب الحفاظ على أبعاد مقبولة أثناء زرع أو غرس نباتات زراعية؟

سؤال ج-31:
تُستعمل الأملاح المعدنية بوتاسيوم، فوسفور ونيتروجين كسماد شائع. ما هي أهمية كل واحد منها؟ يمكنكم الاستعانة بجدول ج -4.

زراعة عضوية

في السنوات الأخيرة، مع ازدياد الوعي للحفاظ على البيئة المحيطة والأضرار الصحية للمواد التي تُستعمل للتسميد ولمكافحة الآفات الزراعية، ازداد الطلب على المُنْتَجات الزراعية العضوية.

الزراعة العضوية هي طريقة لإنتاج محاصيل من الحيوانات والنباتات من خلال تقليص استعمال المواد التي قد تؤذي البيئة المحيطة. يعرض جدول ج -7 عدة فروقًا أساسية بين الزراعة الحديثة "العادية" وبين الزراعة العضوية.

جدول ج -7: مقارنة بين مميزات الزراعة العضوية والزراعة العادية

	زراعة "عادية"	زراعة عضوية
تزويد أملاح معدنية	استعمال سماد كيميائي	• استعمال زبل عضوي. • تبديل المزروعات في كل سنة، مثلا: تُستبدل البقوليات التي "تساهم" في إغناء التربة بالنيتروجين بنباتات غير بقولية تستفيد من النيتروجين.
مراقبة الآفات الزراعية	مكافحة كيميائية	• مكافحة بيولوجية — استعمال حيوانات (مثل: حشرات وطيور) لمكافحة آفات زراعية. لا يُتيح تبديل المزروعات لآفات زراعية معينة أن تعيش في الحقل عدة مواسم زراعية.
مكافحة الأعشاب	مكافحة كيميائية	• تعشيب باليدين. • تبديل المزروعات لإخماد أعشاب ضارة: مثلًا: نباتات مثل: البرسيم والفصة التي تستطيع إخماد أعشاب غازية تُستبدل بمزروعات تعاني من أعشاب غازية، مثل: الشمام والبندورة. • تغطيةأتلام واسعة: تغطية التربة بمواد مصدرها نباتي (أوراق، قطع خشب، أكواز صنوبر - مخروط صنوبري) أو حجارة. تحافظ التغطية على رطوبة التربةَ وتقلص نمو الأعشاب.
تربية حيوانات زراعية	• استعمال أدوية ومضادات حيوية. • استعمال هورمونات لزيادة الإنتاجية والولادة. • غذاء مركّز ومعالج.	• استعمال طرق تمنع حدوث أمراض تعتمد على ظروف نمو مناسبة، مثلًا: كثافة مناسبة. • عدم استعمال وسائل اصطناعية لزيادة الولادة أو مستوى الإنتاجية. • غذاء من الطبيعة والرعي في المرعى.

مصطلحات

استعمال مصطلح "عضوي"

ذكرنا في هذا الفصل مصطلحات، مثل: **زبل عضوي وزراعة عضوية**، وفي الدعايات المختلفة نقرأ ونسمع عن خضروات وفواكه عضوية. يعتمد المصطلحان مادة عضوية وزبل عضوي على علاقتهما المباشرة مع الكائن الحي. ينبع المصطلح مادة عضوية من الحقيقة أن إنتاج هذه المواد في الطبيعة متعلق بنشاط الكائنات الحية.

تعلّمتم في هذا الفصل عن العلاقة بين الزبل العضوي والكائنات الحية. استعمال المصطلح "عضوي"في سياق "الزراعة العضوية" وَ "الغذاء العضوي" هو استعمال يهدف إلى بث علاقة بين عمليات طبيعية مع تدخّل أدنى للإنسان.

صراع ذهني

زراعة عضوية أم زراعة "عادية"

مع ازدياد الطلب على المُنْتَجات العضوية، ظهر معارضون كثيرون للزراعة العضوية. الادعاء الأساسي للمعارضين أن كمية المحاصيل نسبةً للموارد المعطاة قليلة في الزراعة العضوية بالمقارنةً مع الزراعة

"العادية"، لذا إذا انتقل الجميع إلى الزراعة العضوية، لا يكون غذاء كافٍ لجميع السكان في العالَم. كل صراع هو نقاش يعتمد على تضارب بين قيم، لذا الداعمون للزراعة العضوية والمعارضون لها يطرحون تبريرات قيمية ثقيلة الوزن.

سؤال ج -32:

هل تدعم أو تعارض الزراعة العضوية في نطاق واسع؟

لإجراء النقاش حول السؤال المطروح، توزعوا إلى مجموعات "مختصين"، لكي تبحثوا معلومات في شبكة الانترنيت عن الزراعة العضوية من وجهة نظر المختصين:

- مختصون من جودة البيئة المحيطة - تأثير على البيئة المحيطة.
- مزارعون - تكاليف، تأثير على خصوبة التربة.
- مختصون من مجال الرفاه الاجتماعي - كمية الإنتاج والتكلفة.
- أطباء ومختصون في التغذية - تأثير عام على صحة الإنسان.

أ. اعتمدوا على المعلومات التي وجدتموها وصوغوا تبريرات (حُجج) مختصين.

ب. عبِّروا عن موقفكم المعلَّل في هذه القضية بشكل تبرير.

ج. "الصراع" هو عبارة عن تضارب بين قِيَم. عرِّفوا قيمتين، على الأقل، تتضارب مع هذا الصراع.

ج10. استيعاب ماء وأملاح معدنية بواسطة جذور النبات

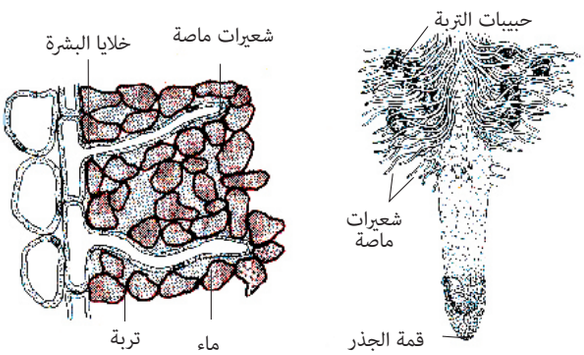
الماء والأملاح المعدنية المذابة فيه غير موزعة في التربة بشكل متجانس: أحيانًا تكون موجودة في أعماق التربة فقط وأحيانًا في الطبقات العليا من التربة. يجب على النبات أن يستوعب الماء والأملاح، شبكة الجذور في النبات هي العضو الذي عبره يستوعب النبات الماء والأملاح المعدنية.

ج1.10 ملاءمة الجذور لاستيعاب الماء والأملاح المعدنية بكمية قصوى

نجاعة عمل شبكة الجذور متعلق بالدرجة الأولى بمدى توزيعها في التربة وبمدى نجاعة استيعاب الجذور المنفردة. كلما كانت مساحة السطح الخارجي لشبكة الجذور أكبر، فإنَّ استيعاب الماء والأملاح المعدنية يكون أكبر. يتم استيعاب الماء والأملاح المعدنية بشكل أساسي في الأقسام حديثة السن الموجودة في أطراف الجذور التي نجد فيها خلايا ذات مبنى خاص نسميها شُعيرات ماصة (الرسمة ج-27). الشعيرات الماصة هي بروزات طويلة لخلايا البشرة في الجذور وشكلها كشكل الشعيرات الدقيقة. عددها في طرف كل جذر هائل جدًا وعندما يدور الحديث حول كل شبكة الجذور، فإن عدد الشعيرات الماصة يصل إلى مئات الآلاف وأكثر من ذلك. تزيد الشعيرات الكثيرة من مساحة التلامس بين المياه والتربة وهكذا تزيد بشكل كبير جدًا من استيعاب الماء والأملاح المعدنية بواسطة الجذور.

نذكر في هذه الفرصة أن تبادل الغازات بين الجذور وبيئتها المحيطة تتم عبر الشعيرات الماصة.

بما أن الاستيعاب الأساسي للماء يتم في طرف الجذور تقريبًا، فكلما كان تفرع شبكة الجذور كبيرًا، فإنَّ منطقة الاستيعاب تزيد.



الرسمة ج -27: رسم تخطيطي للشعيرات الماصة في الجذور. **على اليمين:** طرف الجذر مع شعيرات ماصة. **على اليسار:** تلامس الشعيرات الماصة مع الماء في التربة.

يوجد لطريقة توزيع تفرع الجذور تأثير على نجاعة الاستيعاب. الجذور العميقة هي أفضلية مهمة للنبات عندما تكون المياه والأملاح المعدنية المذابة فيها موجودة في أعماق التربة، أما شبكة الجذور المتفرعة والقريبة من سطح التربة، فإنها تُكسب النبات أفضلية في المناطق التي تكون فيها مياه كثيرة لمدة زمنية قصيرة في طبقات التربة العلوية (مثلاً: فيضان في الصحراء). تفرع شبكة الجذور وتوزيعها في التربة متعلق بعوامل وراثية وبعوامل بيئية محيطة، مثل: توزيع الماء وتركيز الأملاح المعدنية في التربة. عندما يكون في التربة أو في محلول نمو نقص في عنصر ضروري، تتطور شبكة جذور كبيرة جدًا تُتيح للجذور استيعاب الكمية المطلوبة للنبات، مثلا: النبات الذي ينمو في بيئة محيطة فقيرة في النيتروجين، يطوِّر شبكة جذور كبيرة جدًا، وفي حالات متطرفة، قد تصل كتلة الجذور حتى 90% من كتلة النبات كله، بالمقارنة مع حوالي 5% من كتلة نفس نوع النبات في بيئة محيطة غنية في النيتروجين.

فكرة مركزية

ملاءمة بين المبنى والوظيفة:
مبنى الجذر مناسب لاستيعاب كمية عظمى من المياه والأملاح المعدنية.

ج2.10 استيعاب ماء وأملاح معدنية من التربة

تتغلغل الشعيرات الماصة للجذور في الفراغات الصغيرة الموجودة بين حبيبات التربة وتمتص منها الماء والأملاح المعدنية المذابة فيه. يتم **استيعاب الأملاح المعدنية** بواسطة النبات من التربة بالموازاة لاستيعاب الماء، لأن معظم الأملاح المعدنية موجودة في التربة كأيونات مذابة في الماء الموجود في التربة. يدخل معظم الماء والأملاح المعدنية إلى الجذور عبر أغشية خلايا الشعيرات الماصة. تتحرك المياه والأملاح المعدنية على عرض الجذر حتى أنابيب الخشب.

يتم استيعاب الماء من التربة والانتقال العرضي حتى أنابيب الخشب بواسطة الأسموزا وفقًا لمنحدر التراكيز. عملية استيعاب الأملاح المعدنية معقدة. تنتقل معظم الأملاح المعدنية إلى داخل خلايا الشعيرات الماصة . باستيعاب غير فعَّال وفقًا لمنحدر تراكيزها بين طرَفَيْ غشاء الشعيرات الماصة دون الحاجة إلى أن يبذل النبات طاقة. يوجد أملاح معدنية تركيزها في النبات أعلى بكثير من تركيزها في التربة وهي تدخل إلى النبتة بواسطة **استيعاب فعَّال** عكس منحدر تراكيزها، من خلال بذل طاقة. يتم النقل الفعَّال بواسطة "مضخات" خاصة لأملاح معدنية معينة ونشاط هذه المضخات يحتاج إلى جزيئات **ATP** تَنْتُج خلال عملية التنفس الخلوي. يوجد أيضًا أملاح معدنية تركيزها في النبات منخفض جدًا بالمقارنة مع تركيزها في التربة.

علاقة بموضوع

الخلية - مبنى ونشاط:
استيعاب مواد عبر الأغشية.

تدخل هذه الأملاح المعدنية بواسطة الديفوزيا (الانتشار) وتخرج بطريقة فعَّالة بواسطةمضخات. تساعد صفة الاختيارية النبات في الحفاظ على بيئة محيطة داخل الخلية تختلف عن البيئة المحيطة الخارجية وهي ضرورية للتطور السليم للنبات. في التربة المغمورة في الماء، يؤدي نقص الأكسجين للجذور إلى عدم إنتاج الطاقة **ATP** من خلال التنفس الخلوي الهوائي، حيث يتوقف نشاط المضخات، وفي أعقاب ذلك، لا يستطيع النبات الحفاظ على بيئة محيطة داخلية تختلف عن البيئة الخارجية.

يؤثر تركيز المواد المذابة، في خلايا الشعيرات الماصة للجذور وفي أنابيب النقل في مركز الجذور، على دخول الماء: كلما كان تركيز المواد المذابة فيها عاليًا، يدخل ماء أكثر والضغط الناتج في أنابيب النقل يؤدي إلى رفع الماء إلى أقسام النبات التي تقع فوق سطح التربة.

عامل إضافي آخر يؤثر على وتيرة استيعاب الماء ورفعها إلى الأجزاء العلوية للنبات هو عملية **النتح** التي "تجذب" إلى أعلى الماء كعمود متواصل داخل أنابيب الخشب، حيث يتم جذب الماء من الشعيرات الماصة للجذور حتى الأوراق.
يَنْتُج عمود الماء في أنابيب الخشب بفضل قوى الجذب بين جزيئات الماء وبفضل قوى الجذب بين الماء وأنابيب الخشب. عندما تكون وتيرة النتح عالية، فإنَّ الأوراق تفقد ماء ونتيجةً لذلك يتم ضخ ماء بكمية كبيرة من الجذور إلى أقسام النبات التي تقع فوق سطح التربة.

إضافةً إلى استيعاب أملاح معدنية من محلول التربة، فإنَّ النباتات تستوعب أملاحًا معدنية بطرق أخرى أيضًا. إحدى الطرق بواسطة فطريات(ميكوريزا) أو بواسطة بكتيريا تقوم بربط النيتروجين (ريزوبيوم) وهي تعيش على سطح الجذور بعلاقة متبادلة من نوع تكافل، تستوعب نباتات متطفلة أملاحًا معدنية من النبتة العائلة، تستوعب نباتات مائية أملاحًا معدنية بطريقة مباشرة من البيئة المحيطة المائية إلى الأوراق والسيقان، تستوعب نباتات مفترسة أملاحًا معدنية من الحشرات التي تصطادها.

توسع

النباتات المفترسة يوجد لها أفضلية في بيوت التنمية الفقيرة بالأملاح المعدنية

حتى بداية القرن الـ 19، لم يعترف العلماء بالحقيقة أن هناك نباتات تستطيع أن "تأكل" حيوانات. كان مقبولًا أن الحيوانات فقط هي التي تستطيع الافتراس، والفكرة أن النباتات تستطيع الافتراس لم تكن مقبولة بتاتًا. في نهاية القرن الـ 19، كَتَب تشارلس داروين **(Charles Darwin 1809-1882)** صاحب نظرية النشوء والارتقاء عن هذه الظاهرة وهكذا أدى إلى الاعتراف بها وبحثها.

النباتات المفترسة هي نباتات تقوم بعملية التركيب الضوئي، وهي تستوعب مواد من التربة كما هو الأمر عند جميع النباتات. على الرغم من ذلك، يوجد لديها القدرة على "اصطياد" حيوانات (عادةً حشرات وكائنات حية صغيرة أخرى)، إماتتها، تحليل المواد التي تكوِّنها واستيعاب مواد البناء الأساسية إلى داخل الخلية النباتية. تنمو هذه النباتات بالأساس في بيوت تنمية فيها نقص بالأملاح المعدنية.النقص في المركبات النيتروجينية وأملاح معدنية إضافية مطلوبة لحياة النبات، أكسب هذه النباتات أفضلية بفضل تطور آليات بديلة فيها للحصول على هذه المواد. الآليات تشمل وسائل لجذب الحيوانات، اصطيادها، افراز عصارات هضمية لتحليل الفريسة واستغلال نواتج التحليل كمواد بناء أساسية للنبتة ذاتها. تحتوي عصارة الهضم على إنزيمات مختلفة قادرة على تحليل الحيوان. قد تستمر عملية الهضم بين عدة ساعات إلى عدة أيام وفقًا لنوع النبات ودرجة الحرارة.

يمكن أن نجد بين آليات الصيد: مصائد سقوط، مصائد التصاق ومصائد اغلاق.

مصيدة إلتصاق

مصيدة اغلاق

مصيدة سقوط

الرسمة ج-28: آليات صيد في نباتات مفتَرِسة

سؤال ج -33:

في مناطق فيها مستنقعات في الولايات المتحدة، يمكن أن نجد نباتات مفترسة بنسبة مئوية عالية.

أ. ما هي أنواع المواد الغذائية التي تزوِّدها الحشرات المتحلِّلة إلى النباتات المفترسة؟

ب. لماذا يوجد تنوع كبير لنباتات مفترسة في مناطق المستنقعات بالذات؟

ج. هل النباتات المفترسة هي مُنْتِجات أم مستهلكات؟ استعينوا بالصور وعلِّلوا إجاباتكم.

سؤال ج-34:

نباتات صحراوية كثيرة، يوجد لها شبكة جذور قريبة من سطح التربة. اشرحوا الأفضلية للنبات الصحراوي بفضل هذه الشبكة من الجذور.

سؤال ج-35:

ماذا يمكن أن يحدث إذا غمرنا جذور نبات في محلول يحتوي على أملاح معدنية وعلى مواد تُثْبِط (تعيق) التنفس الخلوي؟ اشرحوا.

سؤال ج-36:

أ. ادّعت باحثة أنّ عدم حدوث عملية التركيب الضوئي مدة زمنية طويلة، يؤدي إلى ضرر في استيعاب الأملاح المعدنية، ودون وجود أملاح معدنية بكمية كافية، تتضرر عملية التركيب الضوئي.صوغوا تعليلات ممكنة لادعاء الباحثة.

ب. ادعت نفس الباحثة أن نقص الأكسجين للجذور مدة زمنية طويلة، يؤدي إلى ضرر في استيعاب الأملاح المعدنية. حاولوا أن تدعموا ادعاء الباحثة، ثم اذكروا الشروط التي يمكن أن يَنْتُج فيها وضع يؤدي إلى نقص الأكسجين للجذور.

سؤال ج-37:

اذكروا ثلاثة عوامل متعلقة بها وتيرة الاستيعاب غير الفعَّال (ديفوزيا) للأملاح المعدنية.

المواضيع الأساسية في الفصل

- مصدر جميع المواد العضوية في الطبيعة هو مواد نَتَجت في عملية التركيب الضوئي التي تحدث في النباتات وكائنات حية أخرى ذاتية التغذية وفي التركيب الكيميائي.
- في عملية التركيب الضوئي، تتحول طاقة ضوئية إلى طاقة كيميائية ومن مواد غير عضوية (ماء وَCO_2) تَنْتُج مادة عضوية (كربوهيدرات) وأكسجين.
- بدأ بحث عملية التركيب الضوئي منذ القرن الـ 17 من خلال تجارب تشكل أساس البحث العلمي العام، مثل: تجارب فان هلمونط، بريستيل وانجلمن.
- مبنى النبات وتنظيم أعضاؤه ملائم لاستيعاب الموارد المطلوبة لعملية التركيب الضوئي ولتنفيذها: تساعد مساحة سطح خارجي كبير للأوراق على استيعاب كمية كبيرة من الضوء، يساعد تنظيم فتح الثغور على استيعاب كمية كبيرة من CO_2 ويراقب كمية الماء في النبات، المبنى الداخلي للورقة ملائم لتنفيذ عملية التركيب الضوئي.
- في نباتات الـ **CAM** توجد آلية خاصة لتقليص فقدان الماء وهي تعتمد على فتح الثغور في الليل.
- تتم عملية التركيب الضوئي في الكلوروبلاستيدات - عضيات تحتوي على صبغية الكلوروفيل وهي تُكسب أعضاء النبات اللون الأخضر. أطوال الأمواج التي يبتلعها الكلوروفيل هي التي تكون فعَّالة في عملية التركيب الضوئي. في مبنى الكلوروبلاستيدات يوجد أقسام، وفي كل قسم، تحدث مرحلة أخرى من عملية التركيب الضوئي.
- المرحلة الأولى في عملية التركيب الضوئي هي استيعاب الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية. تؤدي الطاقة الضوئية إلى تحليل جزيء الماء إلى أيونات هيدروجين وأكسجين. تُنقل أيونات الهيدروجين إلى حاملات هيدروجين وينطلق الأكسجين إلى الهواء. تُستغل الطاقة المنطلقة خلال العملية لبناء الـ **ATP**.
- في المرحلة الثانية من عملية التركيب الضوئي، يتم تثبيت ثاني أكسيد الكربون خلال عملية دائرية نسمِّيها دورة كلفن. تحتاج عملية التثبيت إلى طاقة وتُستغل فيها نواتج المرحلة الأولى، مثل: جزيئات الـ **ATP** وحاملات هيدروجين مختزَلة.
- تُنقل الكربوهيدرات بأنابيب اللحاء إلى أقسام النبات التي لا تتم فيها عملية التركيب الضوئي. يُستخدم قسم من الكربوهيدرات التي تَنْتُج في عملية التركيب الضوئي لبناء مواد عضوية إضافية.
- تتأثر وتيرة عملية التركيب الضوئي من عوامل داخلية، مثل: عدد الكلوروبلاستيدات في الورقة، تركيز الكلوروفيل في الورقة، تركيز الروبسكين، مبنى الورقة، كثافة الثغور ومكانها في الورقة، عُمْر الورقة، كما تتأثر من عوامل خارجية - بيئية محيطة، مثل: شدة الضوء، تركيز CO_2، درجة الحرارة، ماء ومن كميات أملاح معدنية في التربة.
- يستطيع المزارعون التأثير على الإنتاج الزراعي من خلال السيطرة على العوامل التي تؤثر على عملية التركيب الضوئي. إحدى الطرق لتنفيذ ذلك هي تنمية نباتات في بيوت نمو من خلال السيطرة على الظروف اللا أحيائية.
- الأملاح المعدنية ضرورية لتطور النبات ولحدوث عملية التركيب الضوئي. يؤدي النقص في الأملاح المعدنية إلى تثبيط (إعاقة) النمو. يقوم المزارعون بإغناء التربة بالأملاح المعدنية من خلال التسميد الكيميائي أو إضافة زبل عضوي.
- يُستوعب الماء والأملاح المعدنية المذابة فيه من التربة بواسطة الشعيرات الماصة الموجودة في أطراف جذور النبات. تؤدي زيادة الشعيرات الماصة إلى ازدياد مساحة سطح التلامس مع الماء في التربة. يتم استيعاب الأملاح المعدنية بعمليات استيعاب فعَّالة وغير فعَّالة.

مصطلحات مهمة في الفصل

بناء ATP
أعضاء إدخار
ذاتية التغذية (كائنات حية)
طاقة ضوئية
طاقة كيميائية
البشرة
تأثير الدفيئة (احتباس حراري)
بوتاسيوم (K)
ابتلاع ضوء
بيوت نمو (دفيئات)
عامل محدد
عوامل داخلية
عوامل بيئية محيطة (خارجية)
سماد كيميائي
نقل نواتج التركيب الضوئي
تغذية بالأملاح المعدنية
تحويل طاقة
ملاءمات للتركيب الضوئي
زبل عضوي

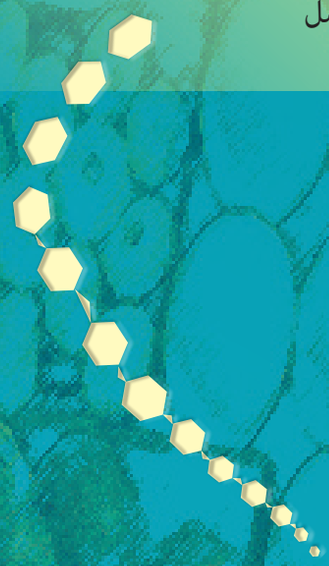
تلوث التربة
فوسفور (P)
مواد إدخارية
أكسجين (O_2)
نيتروجين (N)
زراعة عضوية
شعيرات ماصة
بناء كيميائي
كلوروفيل
كلوروبلاستيدات
قَطع الغابات
مغنيسيوم
مدورة نفايات عضوية
أملاح معدنية
أقسام في الكلوروبلاستيدات
دلالات نقص
طيف الابتلاع
طيف النشاط
تهيُّج جزيء الكلوروفيل

مبنى الأوراق
تركيب ضوئي
ثاني أكسيد الكربون (CO_2)
صبغية
ثغور
أنابيب نقل
نباتات CAM
كوتيكولا
كومبوست
استيعاب فعَّال
استيعاب غير فعَّال
نسيج اسفنجي
نسيج عمودي
لحاء
مرحلة تثبيت CO_2
مرحلةاستيعاب طاقة ضوئية
نواتج مباشرة لعملية التركيب الضوئي ،
نواتج غير مباشرة لعملية التركيب الضوئي

باحثون:
انجلمن تيئودودر
فان-هلمونط
بريستل جوزف
كلفن ملفن

د التغذية والهضم في الكائنات الحية غير ذاتية التغذية

د1. مبادئ مبنى وأداء الجهاز الهضمي
د2. جهاز الهضم عند الإنسان
د3. عمليات أيضية لنواتج الهضم
د4. الهضم في الحيوانات المجترة
د5. نجاعة التغذية في بقرة الحليب
المواضيع الأساسية في الفصل
المصطلحات المهمة في الفصل



الفصل الرابع: التغذية والهضم في الكائنات الحية غير ذاتية التغذية

علاقة بموضوع

بيولوجيا الإنسان:
جهاز الهضم.

تحتوي المواد الغذائية التي نأكلها، مثل: الفواكه، الخضروات، اللحوم ومُنْتَجات الحليب، على مواد عضوية، ماء وأملاح معدنية أيضًا. هذه المواد ضرورية للأداء السليم للجسم وهي تُستخدم كمصدر لاستخراج طاقة لعمليات كيميائية، كمادة خام لبناء أنسجة الجسم وضرورية لحدوث عمليات مختلفة في الجسم بشكل سليم.

من المعروف أن الكائنات الحية غير ذاتية التغذية، يجب أن تحصل على المواد العضوية من الغذاء الذي تأكله. لكي تستطيع الكائنات الحية أن تستغل مكونات الغذاء لاحتياجاتها، يجب أن تدخل هذه المواد إلى الخلايا. لكي تستطيع مكونات الغذاء، التي هي عبارة عن جزيئات ضخمة ومعقدة، الدخول إلى الخلايا، يجب عليها أن تتحلل أولًا إلى جزيئات صغيرة. تتحلل البروتينات إلى حوامض أمينية، معظم الليبيدات إلى حوامض دهنية وجليسيرول ومتعددة السكريات إلى أحادية السكر.

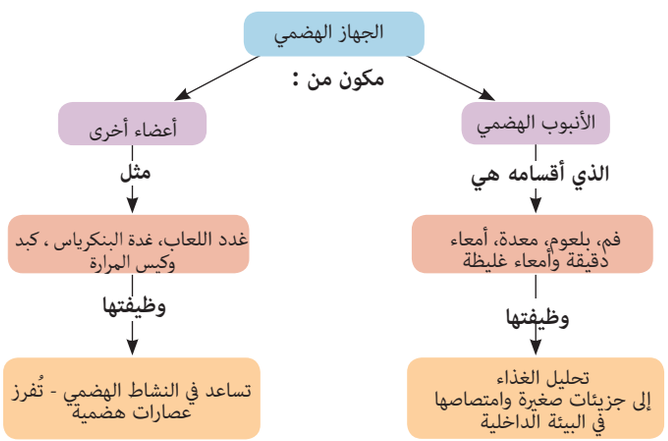
عملية الهضم هي جميع العمليات التي من خلالها تتحلل الجزيئات الكبيرة والمعقدة إلى مكونات الغذاء وتتحلل إلى جزيئات صغيرة تستطيع أن تدخل الخلايا. مع إنتهاء عملية التحليل، يتم امتصاص نواتج عملية الهضم عبر خلايا جدران الأمعاء إلى جهاز الدم، حيث تُنقل بواسطته إلى خلايا الجسم.

يمكن أن نميِّز عملية تغذية الكائنات الحية غير ذاتية التغذية بأربع مراحل أساسية: أكل، هضم، امتصاص ودمج المواد في النشاطات الأيضية.

في هذا الفصل، نبحث مراحل الهضم والامتصاص التي تحدث في الجهاز الهضمي للإنسان الذي يمثِّل الجهاز الهضمي في الكائنات الحية غير ذاتية التغذية.

د1. مبادئ مبنى وأداء الجهاز الهضمي

المبنى الأساسي للجهاز الهضمي في الإنسان هو أنبوب طويل ملتوٍ يمتد من الفم حتى الفتحة الشرجية، حيث ترتبط به أعضاء أخرى. تُفرز **عصارات هضمية** إلى أنبوب الهضم من عدة غددٍ (اللعاب، البنكرياس والكبد) ومن خلايا تبطن جدران الجهاز. تحتوي عصارات الهضم على إنزيمات، مواد تنظم الـ **pH** ومواد أخرى. تعرض الرسمة د- 1 أعضاء الجهاز الهضمي وأدائها.



الرسمة د-1: مكونات الجهاز الهضمي في جسم الإنسان وأدائها.

قليلًا من المعلومات...

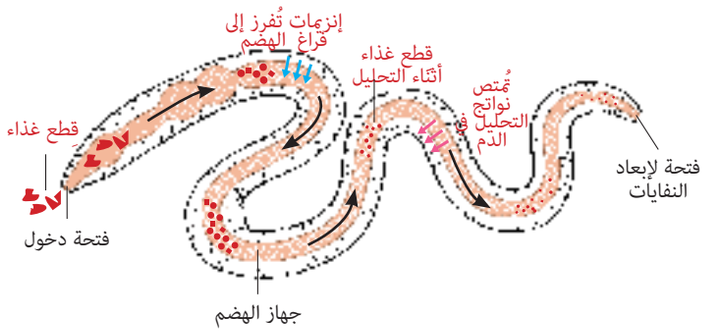
قليل من الأعداد عن الجهاز الهضمي

طول الأنبوب الهضمي حوالي 9 أمتار ومساحة سطحه الداخلي تساوي مساحة ملعب كرة قدم تقريبًا! خلال حياة الإنسان يمر عبر هذا الأنبوب حوالي 50 طنًا من الغذاء الصلب، وحوالي 300,000 لتر من السوائل وعصارات الهضم التي تَنْتُج وتُفرز بواسطة الخلايا والغدد إلى داخله.

قبل أن نتعرف على مبنى الجهاز الهضمي ونشاطه، نميِّز عدة مبادئ في المبنى والنشاط.

أ. يتم الهضم خارج الخلية

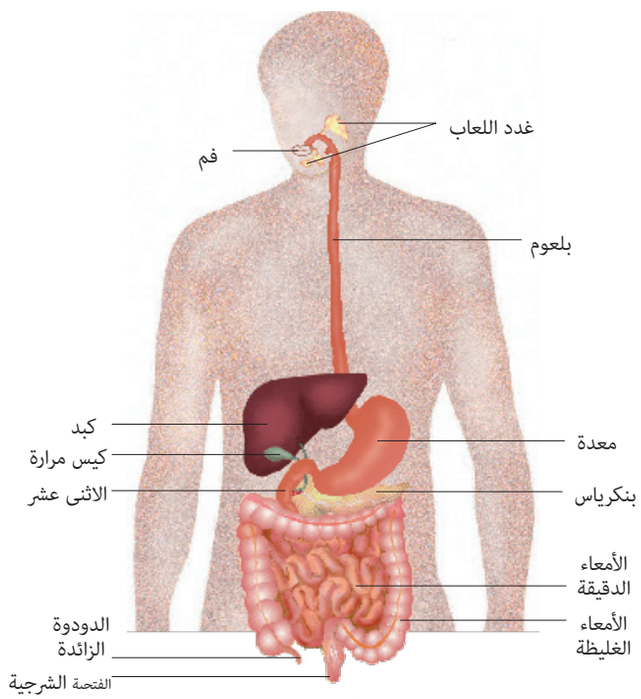
الجهاز الهضمي عند الإنسان وعند كائنات حية كثيرة متعددة الخلايا هو عبارة عن أنبوب طويل بدايته في الفم ونهايته في الفتحة الشرجية. على الرغم من أنه موجود داخل جسم الإنسان إلا أنه يشكل امتدادًا للبيئة المحيطة الخارجية. مليارات الخلايا الطلائية التي تبطن داخل الأنبوب تشكل حاجز يفصل بين البيئة المحيطة الخارجية وبين البيئة الداخلية للجسم. يمر الغذاء بعمليات تحليل في فراغ الأنبوب بواسطة إنزيمات تُفرز إلى فراغ الأنبوب. وحدات البناء الأساسية فقط هي التي تمر عبر أغشية الخلايا الموجودة في جدران أنبوب الهضم إلى الدم، وعندئذ تتحول إلى قسم من البيئة المحيطة الداخلية. هذا الهضم الذي يُنفَّذ خارج الخلايا بمساعدة إنزيمات تُفرز من الخلايا نسمِّيه **هضم خارج الخلايا** (انظروا الرسمة د- 2). يمكنكم القراءة عن الهضم داخل الخلية من الجدول د - 1 فيما بعد.



الرسمة د -2: هضم خارج الخلية في دودة دائرية (دودة أرض)

ب. أقسام في المبنى والأداء المختلف

الجهاز الهضمي مبني من عدة أقسام مختلفة عن بعضها في المبنى والأداء. وفي كل منها تحدث مرحلة أخرى من العملية (الرسمة د - 3). تنفصل أقسام الجهاز الهضمي المختلفة عن بعضها بواسطة صمامات. تساعد هذه الأقسام على بناء مبانٍ وظروف خاصة في كل قسم، لكي تكون مناسبة لعمليات هضم مختلفة وهكذا يصبح نشاط الجهاز كله أكثر نجاعةً. يتم إفراز إنزيمات الهضم وقت الحاجة فقط، مما يؤدي ذلك إلى زيادة نجاعة نشاط الجهاز الهضمي.



الرسمة د- 3: الأقسام في الجهاز الهضمي: أقسام الجهاز الهضمي ومكانها في الجسم.

ج. تحليل الجزيئات الكبرى في الغذاء إلى وحدات البناء الأساسية التي تبنيها

كما ذكرنا، لكي يستطيع الكائن الحي أن يستغل مكونات الغذاء، يجب أن تدخل هذه المكونات إلى داخل الخلايا. لذا في البداية يجب أن تتحلل الجزيئات الكبيرة إلى الجزيئات الصغيرة التي تُبنى منها.

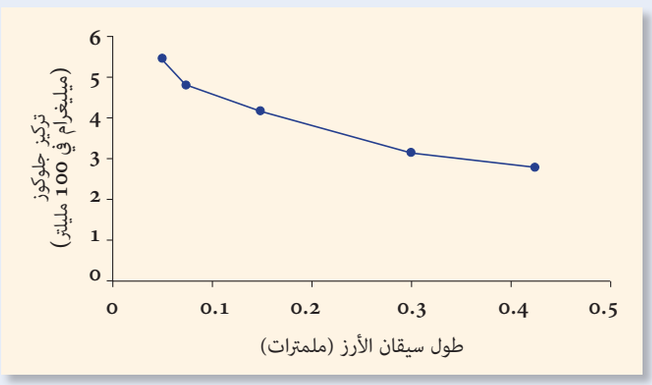
تحليل الغذاء في الجهاز الهضمي يشمل عمليتين من التحليل الآلي والكيميائي.

التحليل الميانيكي (الآلي) هو تقطيع الغذاء إلى قِطع صغيرة دون تغيير الصفات الكيميائية للجزيئات. التحليل الألي يزيد من النسبة بين مساحة السطح الخارجي وبين حجم قِطع الغذاء وهكذا تزداد نجاعة عملية التحليل الآلي. **التحليل الكيميائي** هو فك الروابط الكيميائية الموجودة داخل الجزيئات وإنتاج وحدات صغيرة. التحليل الكيميائي للغذاء هو **عملية إنزيماتية** تُنشِّط بواسطة إنزيمات خاصة. في أعقاب التحليل الكيميائي، يوجد تغيير في المادة وصفاتها. يتحلل متعدد السكريات إلى وحدات أحادية السكر وتتحلل سلسلة البروتين إلى الحوامض الأمينية التي تُبنى منها.

أمامكم تجربة تجسد مساهمة التحليل الآلي للتحليل الكيميائي.

نافذة البحث

أُدخلت كميات متساوية من سيقان أرز جاف (نسبة السيلولوز فيها عالية) إلى أنابيب اختبار تحتوي على محاليل فيها نفس تركيز الإنزيم سيلولاز الذي يحلل السيلولوز إلى وحدات جلوكوز. لكل أنبوبة اختبار أُدخلت سيقان أرز مقطعة، متساوية في الكتلة، لكنها بأطوال مختلفة. بعد مرور 7 ساعات، تمَّ فحص تركيز الجلوكوز في كل أنبوبة اختبار. وُصفت نتائج التجربة في الرسمة د- 4.



الرسمة د-4: تأثير طول قِطع سيقان الأرز على وتيرة تحليل السيلولوز إلى جلوكوز.

سؤال د -1:

تمعَّنوا في الرسمة د-4 وأجيبوا عن الأسئلة الآتية:

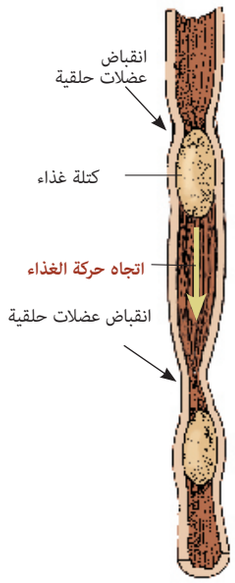
أ. صفوا بحسب المنحنى العلاقة بين طول قِطع سيقان الأرز وبين تركيز الجلوكوز الذي نَتَج.

ب. اشرحوا نتائج التجربة.

ج. ما هي أهمية التحليل الآلي للغذاء؟ اعتمدوا في إجاباتكم على نتائج التجربة.

د. حركة الغذاء في أنبوب الهضم باتجاه واحد

أنبوب الهضم محاط بطبقات عضلات لا إرادية من نوعين: عضلات حلقية تحيط أنبوب الهضم وعضلات طولية اتجاه أليافها على طول أنبوب الهضم. يتقدم الغذاء على طول أنبوب الهضم بواسطة انقباض العضلات الحلقية الموجودة في المنطقة التي يمر فيها الغذاء. "تتقدم" المنطقة المنقبضة في أعقاب كتلة الغذاء. وهكذا تَنْتُج حركة موجية تُحرك الغذاء في اتجاه واحد فقط، من الفم باتجاه الفتحة الشرجية. هذه الحركة نسمِّيها حركة برستالتية (الرسمة د -5). تحدث الحركة البرستالتية كل الوقت، لكنها تزداد بسبب الضغط الذي يؤثره الغذاء على جدران أنبوب الهضم.



الرسمة د -5: حركة كتلة غذائية على طول أنبوب الهضم. يتحرك الغذاء نتيجةً لانقباض أنبوب الهضم.

هل يتحرك الغذاء بالاتجاه الصحيح عندما يقف شخص على رأسه؟ ⁉

بعد أن يتم ابتلاع الغذاء، حتى لو وقف الإنسان على رأسه، فإن الغذاء يستمر بالحركة بالاتجاه العادي، لأن حركته في أنبوب الهضم غير متعلقة بقوة الجذب التثاقلية للكرة الأرضية.

هـ. تنظيم ومراقبة الجهاز الهضمي

تتم مراقبة نشاط الجهاز الهضمي، من ضمنها إفراز عصارات الهضم، إفراز إنزيمات ونشاط العضلات التي تشترك في عمليات الهضم وهي تتم بأوقات مناسبة. تتم آليات مراقبة الاتزان البدني على الأغلب لإبطال تغيُّرات تحدث في البيئة الداخلية. أما عند مراقبة عمليات الهضم، تؤثر **آليات تنظيم عصبية وهرمونالية** **قبل** امتصاص الغذاء إلى البيئة الداخلية. في أعقاب التفكير في الغذاء، أو رؤيته، أو شمه، تصل المخ **محفزات عصبية**. كرد فعل لهذه المحفزات، تُرسل إشارات من الجهاز العصبي إلى أعضاء الجهاز الهضمي لكي تقوم بتفعيلها. إضافةً إلى ذلك، عندما يكون غذاء موجود داخل الجهاز الهضمي، فإنّ محفزات عصبية "محلية" تصل من الجهاز الهضمي إلى الجهاز العصبي وتُنقل عبرها إلى أعضاء أخرى في الجهاز الهضمي.

يقع الجهاز العصبي على طول الجهاز الهضمي ويتأثر الأخير من عوامل منظِّمات كثيرة، لذا تؤثر حالات نفسية مختلفة (متعلقة بتحفيز الجهاز العصبي) على نشاط الجهاز الهضمي مما يؤدي هذا التأثير إلى آلام في البطن، غثيان، إسهال، إمساك وغير ذلك.

إضافةً إلى التنظيم العصبي، تُفرز **هورمونات** من خلايا موجودة في أنبوب الجهاز الهضمي إلى تيار الدم الذي ينقلها إلى جميع أعضاء الجسم وتُستوعب في أعضاء الجهاز الهضمي. تؤثر هذه الهورمونات على إفراز عصارات هضمية أو على حركة الجهاز الهضمي (أو اثناهما) وتنظم آليات مردودية (تغذية مرتدة) موجبة أو سالبة.

علاقة بموضوع

بيولوجيا الإنسان:
حفاظ على الاتزان البدني وآليات مردودية (تغذية مرتدة) موجبة وسالبة.

سؤال د -2:

ما هي أفضلية إفراز إنزيمات الهضم وقت الحاجة فقط؟

و. تحتاج عملية الهضم إلى طاقة

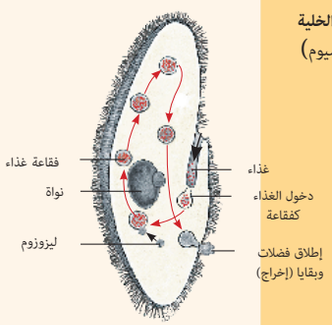
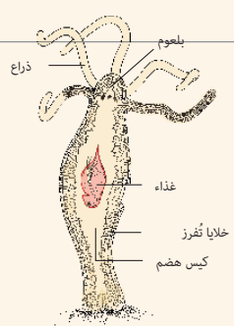
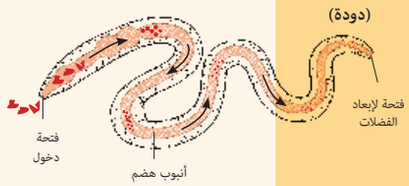
من المهم أن نَذْكُر أنه أثناء عمليات الهضم ذاتها، لا نستخرج طاقة متوافرة من المواد الغذائية. بالعكس تمامًا: عملية الهضم ذاتها وعمليات امتصاص النواتج هي عمليات تحتاج إلى طاقة. وأيضًا تدفق الدم والليمفا- الذي يساعد في نقل المواد الغذائية من الجهاز الهضمي - يحتاج إلى طاقة تُبذل في انقباض عضلات القلب وعضلات أخرى في الجسم. يمكن القول: يوجد "بذل طاقة" في عملية الهضم.

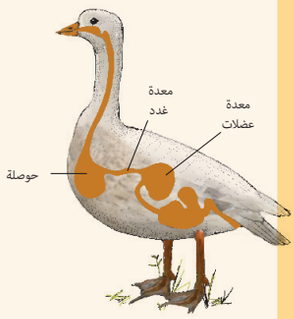
توسع

آليات هضم في مجموعات مختلفة من الكائنات الحية

يعرض الجدول د- 1 آليات الهضم التي تطورت في مجموعات مختلفة من الكائنات الحية خلال النشوء والارتقاء.

جدول د- 1: آليات الهضم في مجموعات مختلفة

المجموعة	مثال*	مبدأ الأداء - المبنى	الوصف
بكتيريا وفطريات		هضم خارج الخلية: إفراز إنزيمات هضم من الخلايا إلى البيئة المحيطة الخارجية.	تُفرز إنزيمات هضم من الخلايا على الغذاء. يتحلل الغذاء وتمتص الخلايا نواتج الهضم.
أحادية الخلية (براميسيوم)		هضم داخل الخلية في فقاعة غذاء. يتم ابتلاع الغذاء بواسطة عملية الابتلاع.	يتم "ابتلاع" جزيئات كبيرة من الغذاء على شكل قمع وتَنْتُج حوله فقاعة مغلفة بغشاء خلية. من خلال حركة الفقاعة في الخلية، يتحد غشاء الفقاعة مع الليزوزيم الذي هو عضي داخل الخلية ويحتوي على إنزيمات هضم. يتم تحليل الغذاء في الفقاعة التي تحتوي على الغذاء والإنزيمات. تستمر الفقاعة في الحركة وتنتقل نواتج الهضم عبر غشاء الفقاعة إلى سيتوبلازم الخلية. الفقاعة التي تحتوي الآن على مواد فضلات ، تقترب إلى غشاء الخلية تتحد معه وتُطلق الفضلات إلى خارج الخلية (إخراج).
متعددة الخلايا بسيطة (هيدرا)		دمج بين الهضم خارج الخلية داخل كيس (فراغ) والهضم داخل الخلية في فقاعة غذاء. توجد فتحة واحدة لكيس الهضم - بلعوم، حيث يتم فيها ابتلاع الغذاء وعبره أيضًا يتم إفراز الفضلات.	يبدأ هضم الغذاء في كيس الهضم بواسطة إنزيمات تُفرز من الخلايا التي تحيطه. الهضم ليس كاملًا ونواتجه التي هي قِطع غذاء كبيرة نسبيًا تُبتلع بواسطة الخلايا بعملية الابتلاع. تستمر عملية الهضم داخل الخلايا في فقاعة غذاء.
لا فقريات (دودة)		هضم خارج الخلية فقط. أنبوب هضم له فتحتين: فم عبره تدخل مواد غذائية وفتحة إفراز عبرها تخرج مواد الفضلات. حركة الغذاء في اتجاه واحد.	أنبوب الهضم مُقسَّم إلى أقسام، حيث تتم في كل قسم عملية خاصة: يتم ابتلاع ومضغ الغذاء في الفم، يُخزَّن في الحوصلة، يُطحن في "معدة" عضلية، يُهضم ويُمتص على طول أنبوب الأمعاء وتُفرز الفضلات عبر فتحة الإفراز. تُفرز إنزيمات الهضم من خلايا في جدران الأمعاء.

المجموعة	مثال*	مبدأ الأداء - المبنى	الوصف
فقريات (طيور)		كما هو الأمر في اللافقريات متعددة الخلايا، لكن نلاحظ تطور في المبنى، تقسيم الوظائف ووسائل تنفيذها. في مجموعات مختلفة، توجد ملاءمات خاصة بحسب نوع الغذاء.	يبدأ الجهاز الهضمي في الفم وينتهي في الفتحة الشرجية. نلاحظ فيه أقسامًا واضحة ومختلفة عن بعضها. تُفرز إنزيمات الهضم إلى أنبوب هضم مبني من خلايا وغدد في جدرانه.

*انتبهوا: نسبة الكبر بين الكائنات الحية في الرسومات لا تعكس نسبة الكبر في الواقع.

نتعلم من جدول د - 1 أن المشترك في عملية الهضم عند جميع مجموعات الحيوانات هو مبدأ تحليل جزيئات كبيرة إلى جزيئات صغيرة. توجد فروق بين المجموعات في مستويات التقسيم وتخصص الجهاز الهضمي وامتصاص الغذاء.

سؤال د - 3:

في عملية النشوء والإرتقاء من كائنات حية أحادية الخلية إلى متعددة الخلايا المتطورة، طرأ ارتفاع أيضًا في كبر الحيوانات ومعظم الخلايا في الجسم لا يوجد لها اتصال مباشر مع الجهاز الهضمي.

ما هي المشكلة الموجودة في عملية وصول الغذاء إلى جميع خلايا الجسم في متعدد الخلايا وكيف تمَّ حلها؟

سؤال د - 4:

يحتوي اليزوزوم في الآميبا (أُحادية الخلية) بالأساس على إنزيمات تُحلِّل بروتينات(بروتئازوت) وعلى محلِّلات نشا (عميلاز). ما هو نوع الغذاء ، بحسب رأيكم، الذي لا تستطيع الآميبا أن تستغله؟

سؤال د -5:

الفطريات هي كائنات حية غير ذاتية التغذية ذات جدار خلية. وُجد أن فطريات معينة تستطيع أن تنمو على مادة عضوية تحتوي على كميات كبيرة من السيلولوز والهيميسيلولوز.

أ. اشرحوا الملاءمة بين نوع الهضم الموجود في الفطر (هضم خارج الخلية) وبين مكون غذائها الأساسي.

ب. مادة الإدخار في الفطر هي جليكوجن. صفوا "تحولات" الكربوهيدرات التي تحدث في تغذية ونمو الفطر.

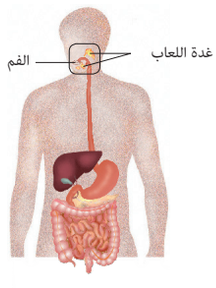
سؤال د-6:

بماذا يتشابه أداء فقاعة الغذاء في أُحادية الخلية، أداء كيس الهضم في الهيدرا وأداء جهاز هضم الإنسان؟

د2. جهاز الهضم عند الإنسان

الجهاز الهضمي عند الإنسان هو مثال لأجهزة الهضم عند الحيوانات المتطورة . في البنود الآتية، نتعرف على أقسام الجهاز الهضمي، على العمليات التي تحدث في كل واحد منها وعلى الآليات التي تنظمها.

د1.2 الهضم في الفم



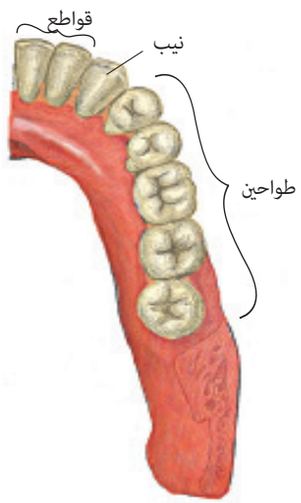
المحطة الأولى في الهضم هي **الفم،** والعملية الأساسية التي تحدث فيه هي عملية المضغ التي تبدأ في التحليل الآلي للغذاء بواسطة تقطيعه إلى قطع صغيرة. المضغ هو عملية إرادية تحدث بواسطة تحريك الفك السفلي، حيث تشترك فيها **الأسنان،** اللسان وعضلات الفك. اللعاب الذي يُفرز إلى الفم يساعد في العملية وهو يحوِّل الغذاء إلى عجينة.

الفكرة المركزية

ملاءمة بين المبنى والأداء:
أنواع الأسنان المختلفة يوجد لها شكل مختلف وأداء مختلف.

يمكن أن نتعلم من الرسمة د - 6 التي تصف نصف الفك (وهذا يعني رُبع مما هو موجود في الفم) أن الإنسان البالغ عنده 32 سنًا منها 8 قواطع، 4 أنيَاب و 20 طاحونة.
يوجد علاقة بين شكل الأسنان وأدائها:

- قواطع: أسنان أمامية واسعة وحادة، وظيفتها تقطيع الغذاء.
- أنياب: أسنان حادة تشبه المخروط وقد أعِدت لتمزيق الطعام.
- طواحين: أسنان خلفية ذات تاج واسع وعليها سلاسل سحق دائرية وظيفتها أن تمعس وتفتت الغذاء.



الرسمة د- 6: أنواع الأسنان في فك الإنسان.

يُفرز إلى الفم **لُعاب** بشكل دائم من ثلاثة أزواج غدد. معدل كمية اللعاب بين لتر واحد إلى لترين في اليوم. سائل اللعاب مكون من 98% ماء، بروتينات(من بينها إنزيمات وبروتين موتسين الذي يُكسب اللعاب لزوجة) وأملاح.

توجد للعاب عدة وظائف. يُستخدم الماء الموجود في اللعاب **الإذابة** الغذاء وهو يساعد على استيعاب مذاقات بواسطة خلايا الحاسة الموجود في براعم الذوق (حُليمات) في اللسان. يؤدّي بروتين الموتسين (الموجود في اللعاب) والماء إلى ليونة الغذاء ونقله بسهولة من الفم إلى المريء. تشترك أملاح اللعاب في **إبطال مفعول** حامضية الغذاء وهي تُنْتج بيئة مثالية لنشاطات الإنزيمات الموجودة في اللعاب. كما يساهم إبطال الحامضية في الحفاظ على صحة الأسنان. يحتوي اللعاب على الإنزيم عميلاز الذي يقوم **بتحليل كيميائي** أولي لمتعددات سكريات كالنشا والجليكوجين إلى سلاسل قصيرة. يحتوي اللعاب أيضًا على الإنزيم **ليزوزيم** الذي يحلل جدران البكتيريا التي تصل مع الغذاء، يهدم قسم منها وهكذا يشكل **مادة مضادة للبكتيريا**. كما يساعد اللعاب أيضًا على **ترطيب** اللسان والشفتين التي يستعملها الإنسان لإنتاج أنغام أصوات وللحديث. كما ذكرنا، يشترك **اللسان** في عملية المضغ أيضًا. اللسان هو عضلة تساعد في خلط الغذاء مع اللعاب، في نقل الغذاء بين أنواع الأسنان المختلفة وفي دفع الغذاء باتجاه البلعوم.

قليلًا من المعلومات...

اللسان وحاسة الذوق

اللسان هو حاسة الذوق الأساسية. معظم مساحة اللسان مغطاة **بحليمات ذوق** تحتوي على خلايا حسية. في أعقاب تلامسها مع جزيئات معينة في الغذاء، تنقل هذه الخلايا معلومات تُفسر في المخ "كذوق". يوجد على سطح لسان الإنسان حوالي 10,000 حُليمة ذوق، وهي تُهدم وتتجدد كل أسبوعين. خلال عدة سنوات، كانت سائدة الفكرة أن اللسان مقسم إلى مناطق مختلفة، في كل واحد منها نحس بطعم آخر: حلو، حامض، مالح ومر. اليوم معروف أن الخلايا الحسيةفي حُليمات الطعم تساعد على الإحساس بأذواق متنوعة. اليوم من المعروف أيضًا أن هناك حاسة طعم خامسة اسمها أمامي وهي تعني باللغة اليابانية "لذيذ". اكتُشف هذا الطعم في سنة 1908 ومن الصعب تعريفه. الطعم اللذيذ (أمامي) يكسب الغذاء بُنية وشعور أنه غني "باللحوم" ونشعر بهذا الطعم عندما يحتوي الغذاء على الحامض الأميني جلوتمات. المواد الغذائية التي تمر بعمليات معالجة (مثل: مساحيق الحساء، الصلصلة)، يُضاف إليها مادة غلوتمات أُحادية الصوديوم لإبراز مذاقها.

أنتم تسألون بالطبع، ماذا يحدث بالنسبة للإحساس بالمذاق الحار؟ الحار لا يعتبر مذاق أو طعم، لأن الشعور به لا ينبع من معلومات مصدرها من الخلايا الحسية في حُليمات الطعم، بل بسبب المذاق الحار في الخلايا التي تقع على اللسان والحساسة للآلام.

ينبع الشعور بالحرقة من تلامس الخلايا مع مواد مختلفة موجودة في مواد غذائية حارة مختلفة.

سؤال د -7:

إحدى المشاكل الشائعة في الشيخوخة هي انخفاض إفراز اللعاب. ما هي المشاكل، بحسب رأيكم، التي يعاني منها أشخاص في سن الشيخوخة؟ اشرحوا إجاباتكم بناءً على معرفتكم عن وظائف اللعاب.

تنظيم الهضم في الفم

تؤدي الرؤية، الرائحة، المذاق والتفكير بالغذاء إلى انتقال إشارات عصبية إلى المخ، حيث تؤدي إلى ازدياد إفراز اللعاب. كما يؤدي وجود الغذاء في الفم والعملية الإرادية للهضم إلى إزدياد إفراز اللعاب في فراغ الفم. يتأثر مدى إفراز اللعاب من عدة عوامل، مثل: الحالة النفسية، العُمْر على الأغلب - فكلما ارتفع العُمر ينخفض إفراز اللعاب، كمية الماء في الجسم - يؤدي الجفاف إلى انخفاض إنتاج اللعاب، والتدخين الذي يؤدي إلى انخفاض إفراز اللعاب.

قصة اكتشاف

كان ايفان بابلوف **Ivan Pavlov (1849-1936)** عالمًا وفسيولوجيًا روسيًا، بحث الجهاز الهضمي وفي سنة 1904، حصل على جائزة نوبل بفضل أبحاثه. اكتشف بابلوف أن الكلاب تبدأ بإفراز اللعاب قبل أن يصل الطعام فمها كرد فعل لمحفز عصبي مثل الصوت أو منظر يرتبط باقتراب وصول الطعام. إضافةً إلى ذلك، في إحدى تجاربه المعروفة، قام بابلوف بربط أنبوبة بمعدة الكلب الذي دُرب على القدوم لتناول الطعام عندما يسمع دقات جرس. وقد اكتشف أن معدة الكلب تفرز عصارات الهضم قبل أن يصل الطعام فمها وهذا يعني تُفرز العصارات نتيجةً لرؤية أو شم رائحة الطعام فقط. في مرحلة متأخرة أكثر، أفرزت المعدة عصارات عندما سمعت دقات الجرس فقط.

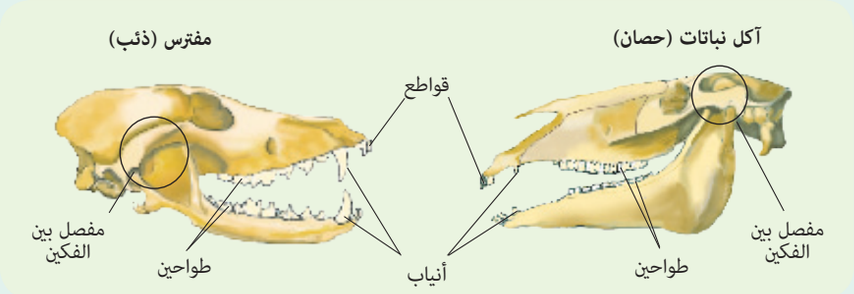
توسُّع

كيف يمكن التمييز بين حيوانات آكلات النبات وبين حيوانات مفترسة بحسب مبنى الفك؟

منذ سنوات كثيرة، يدور نقاش بين النباتيون وبين آكلي اللحوم حول الملاءمة الفسيولوجية للإنسان لتناول أغذية مختلفة. إحدى نقاط النقاش هي مدى الملاءمة بين مبنى الأسنان والفك وبين نوع الغذاء. إذا تمعَّنا في مبنى فك الحيوانات آكلت النباتات والمفترسات، فإننا نلاحظ لكل مجموعة مميزات مختلفة في مبنى الفك والأسنان. الكائنات الحية **آكلات النبات**، يوجد لها فكين طويلين يُنْتِجان فراغ كبير في الفم، لكي يكون ملائمًا لمضغ حجم كبير من النباتات.

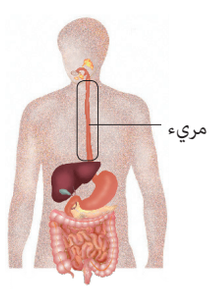
في القسم الأمامي من الفك، يوجد أسنان قاطعة مناسبة لقطع الأوراق. الأسنان الطاحنة، يوجد لها مبنى مناسبًا لمضغ وتكسير بذور ومكسرات. الفكان عند **الحيوانات المفترسة** أقصر من الفكين عند آكلات النباتات. عندما يُغلق مفترس فكيه، فإن الأسنان العلوية والسفلية تقطع اللحوم كالمقص.
في القسم الأمامي من الفك، يوجد أسنان قاطعة مناسبة لأكل بقايا اللحمة عن العظام، والأسنان الخلفية حادة ومناسبة لتقطيع قِطع لحمة من الفريسة ولتكسير العظام (الرسمة د - 7).
تختلف أيضًا حركة فك آكلات النَبات عن حركة فك الحيوانات المفترسة: في الحيوانات المفترسة تكوِّن الحركة بالأساس إلى أسفل وأعلى، أما في آكلات النباتات فتكون الحركة إلى الجوانب أيضًا مما يؤدي ذلك إلى طحن أفضل للغذاء النباتي بالأساس بواسطة الأسنان الطاحنة.

عند الإنسان الذي **يأكل كل شيء**، يوجد تنوع كبير في أنواع الأسنان، عضلات الفك قوية ومرنة، ويستطيع الفك التحرك إلى الجوانب أيضًا. يُشير مبنى الفم، أنواع الأسنان وحركة الفك إلى ملاءمة الإنسان إلى تنوع واسع من التغذية على الحيوانات والنباتات.



الرسمة د-7: فم وأسنان آكلات نباتات (حصان) ومفترس (ذئب).
انتبهوا، لم نحافظ على تناسب الكبر بين الجمجمتين.

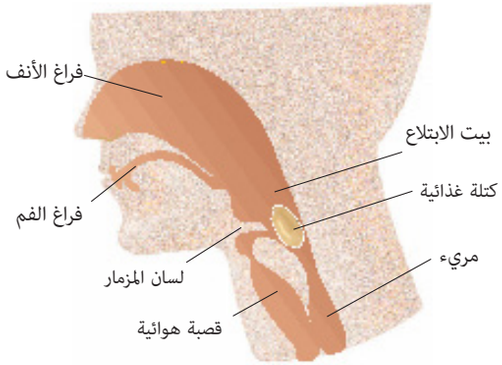
د2.2 انتقال الغذاء في المريء



تدفع عملية الابتلاع الغذاء باتجاه **المريء**، وهي تزيد بواسطة ذلك الحركة البريستالتية للعضلات الحلقية الموجودة في جدار المريء. طول أنبوب المريء حوالي 25 سم. يستغرق انتقال "موجة" بريستالتية من القسم العلوي للمريء حتى دخول المعدة حوالي 9 ثوان. لا يتم هضم الغذاء في المريء.
القصبة الهوائية والمريء قريبانً جدًا من بعضهما، لكن القصبة الهوائية قريبة أكثر إلى البلعوم (الرسمة د- 8)، لذا هناك خطورة أن يدخل الغذاء إلى القصبة الهوائية وأن يؤدي إلى اختناق.

في اللحظة التي ينتقل فيها الغذاء من الفم إلى بيت الابتلاع، يتم تفعيل آلية مراقبة تؤدي إلى تغطية فتحة القصبة الهوائية بواسطة لسان المزمار، وهكذا يتم دفع الغذاء إلى فتحة المريءالتي بقيت مفتوحة.

يحتاج الحديث إلى تدفق هواء حرّ إلى القصبة الهوائية وعن ذلك يقول المثل الشعبي: لا كلام عند الطعام.
رد الفعل اللاإرادي للسعال يساعد على إبعاد الغذاء الذي يدخل القصبة الهوائية.



الرسمة د-8: انتقال الغذاء من الفم إلى المريء.

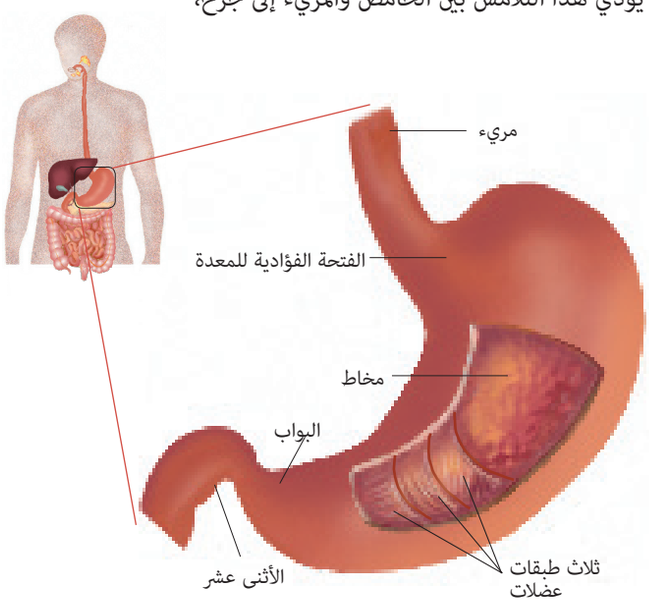
علاقة بموضوع

بيولوجيا الإنسان:
جهاز الأعصاب ورد فعل لا إرادي.

تتم مراقبة انتقال الغذاء من المريء إلى المعدة بواسطة عضلة حلقية نسمِّيها "الفتحة الفؤادية للمعدة". تقع العضلة في فتحة المعدة (انظروا الرسمة د - 9) وهي تُفتح كرد فعل لضغط الغذاء عليه. بعد دخول الغذاء إلى المعدة، تُغلق الفتحة الفؤادية للمعدة وهكذا تمنع رجوع الغذاء من المعدة إلى المريء.

إذا حدث خلل في نشاط الفتحة الفؤادية للمعدة، أو إذا أدى محفز معين إلى ضغط عضلة البطن على المعدة، فإنَّ الفتحة الفؤادية للمعدة تفتح ويُدفع الغذاء باتجاه عكسي، من المعدة إلى المريء ومنه إلى الفم والتقيؤ.
محفزات التقيؤ هي: طعام غير لذيذ، مواد سامة، رائحة كريهة وحدوث تشويش في التوازن.

توجد ظاهرة إضافيّة تؤدي إلى تغيير اتجاه الحركة في المريء وهي الحموضة. ينبع الشعور بالحرقة (بالحومضة) بسبب "تسرب" عجينة سائلية تحتوي على عصارة المعدة، من المعدة إلى المريء. تلامس الحامض مع المريء غير مَحْم كما هو الأمر في المعدة، لذا يؤدي هذا التلامس بين الحامض والمريء إلى جُرح، وإلى الشعور بالحومضة (الحَرقة).



الرسمة د-9: مبنى المعدة.

د3.2 الهضم في المعدة

يوجد **للمعدة** مبنى كالكيس، يتغيَّر حجمها بحسب محتواها: حجم المعدة الفارغة هو 50 مليلتر، وقطرها في هذه الحالة لا يتجاوز كثيرًا قُطر الأمعاء الدقيقة. عندما يُبتلع الغذاء، ترتخي عضلات المعدة وتتوسع المعدة حتى حجم 2 لتر تقريبًا. جدار المعدة سميك وهو مبني من طبقات عضلات: من الداخل إلى الخارج - عضلات قُطرية، عضلات حلقية وعضلات طولية (الرسمة د- 9). يساعد هذا الترتيب على خلط الغذاء، لأن اتجاه انقباض كل طبقة مختلف. الطبقة الداخلية التي تتوجه إلى فراغ المعدة نسمِّيها الطبقة **المخاطية**. هذه الطبقة مبنية من طيات كثيرة مغلفة بطبقات مخاطية فيها غدد غائرة تحتوي على خلايا من أنواع مختلفة تقوم بعملية الإفراز.

الفكرة المركزية

ملاءمة بين المبنى والأداء:
مبنى المعدة ملائم لادائها.

يفرز نوع معين من الخلايا حامضِ الملح (HCl) الذي يُنْتِج pH منخفض جدًا جدًا بين 1.7 إلى 3. يفرز نوع معين آخر من الخلايا إنزيمات تحلل بروتينات — **بروتوئازات**، الأساسي من بينها هو **ببسين** الذي يُفرز غير فعَّال. يفرز نوع ثالث من الخلايا مخاط. هذه الإفرزات تكوِّن **عصارة المعدة**، وهي تُفرز بشكل زائد عند تناول وجبات الطعام. في كل يوم، تفرز المعدة حوالي 2.5 لتر عصارة معدة. البيئة الحامضية في المعدة التي هي شاذة في أنبوب الهضم وفي جسم الإنسان بشكل عام، ضرورية لتحويل الإنزيم ببسين من غير فعَّال إلى فعَّال. إضافة إلى ذلك، تقضي حامضية المعدة على خلايا البكتيريا التي دخلت مع الغذاء من بينها بكتيريا تؤدي إلى أمراض وهكذا تساهم في حماية الجسم من مسببات الأمراض.

تتم في المعدة النشاطات الآتية:

1. **إكمال التحليل الآلي للغذاء وخلطه مع عصارات المعدة** بواسطة انقباض طبقات العضلات في نفس الوقت وفي جميع الاتجاهات المختلفة.
2. **استمرار التحليل الكيميائي - إنزيماتي للغذاء** بالأساس بروتينات بواسطة الإنزيم ببسين. يحلِّل هذا الإنزيم البروتينات إلى ببتيدات — سلاسل قصيرة من الحوامض الأمينية. تعمل مع الببسين إنزيمات أخرى في المعدة وهي تقوم بهضم البروتينات، ويوجد أيضًا إنزيم ليباز الذي يبدأ بتحليل الليبيدات.
3. **تخزين الغذاء قبل نقله إلى الأمعاء الدقيقة** ونقله بوجبات صغيرة نسبيًا إلى الأثنى عشر (بداية الأمعاء الدقيقة).

لماذا لا تتضرر خلايا جدران المعدة من الظروف "الصعبة" السائدة في المعدة؟

يوجد ثلاث آليات تحمي الخلايا من نشاط البروتوئازات وحامض الملح في المعدة:

- مخاط لزج يغلف الجدران الداخلي للمعدة. pH المخاط قاعدي قليلًا، وهو يحمي جدران المعدة من أضرار الحامض.
- البروتوئازات التي تُفرز إلى فراغ المعدة وأولها الببسين تكون غير فعَّالة، يتم نشاطها فقط في الـ pH المنخفض الموجود في فراغ المعدة، لذا بجانب خلايا جدار المعدة التي تكون فيها البيئة المحيطة قاعدية بسبب المخاط الذي يغلفها، يبقى الإنزيم غير فعَّال.
- إفراز الحامض والإنزيمات ليس متواصلًا. وهو يُنظم بواسطة محفزات عصبية وهرمونالية، حيث يتم الإفراز عند تناول الطعام وأثناء الأكل فقط. على الرغم من وجود هذه الآليات، إلا أنه يظهر عند حوالي 10 بالمائة من الناس قرحة في المعدة، وفقط في السنوات الأخيرة، اتضحت الأسباب لذلك (انظروا قصة اكتشاف في الصفحة القادمة). في المعدة لا يتم امتصاص مواد غذائية تقريبًا.

إحدى المواد القليلة التي تُمتص في المعدة هي الكحول. جزيئات الكحول صغيرة وذات قدرة كبيرة على الذوبان في الماء، لذا فهي تُمتص دون حدوث هضم إضافي: يتم امتصاص 20% من الكحول التي تصل المعدة وَ 80% من الكحول التي بقيت تنتقل إلى الأمعاء الدقيقة وتُمتص هناك بسرعة كبيرة جدًا. عندما تكون المعدة مليئة، يوجد تلامس قليل بين الكحول وخلايا جدران المعدة، لذا يُمتص في المعدة كحول بنسبة قليلة جدًا وتكون وتيرة نقله إلى الأمعاء الدقيقة منخفضة. لذا يثمل الإنسان بسرعة عندما تكون المعدة فارغة من الطعام.

قصة اكتشاف

ما الذي يسبب قرحة في المعدة؟

في الدول الغربية، مشكلة القرحة في المعدة هي مشكلة شائعة. القرحة في المعدة هو جرح في الأنسجة المخاطية الداخلية في المعدة، وقد تظهر القرحة في الأثنى عشر بنسبة قليلة. خلال سنوات كثيرة، فكر الأطباء أن الحالات النفسية، مثل: العصبية والاكتئاب هي العوامل المسببة للقرحة في المعدة. وقد خمنوا أيضًا أن هناك مسببات مختلفة تزيد من القرحة ، مثل: حامضية المعدة، تناول مأكولات فيها فلفل حار بشكل خاص، تناول مشروبات روحية وقهوة بكثرة. بيَّنت الأبحاث إجابة مغايرة ومفاجئة. اكتشف طبيبان استراليان، بروفسور باري مرشل **(Barry Marshal)** والدكتور روبين وورن **(Robin Warren)** أن البكتيريا هيلكوبكتر فيلوري **(Helicobacter Pylori)** هو المسبب الأساسي لمرض قرحة المعدة.

ورن الذي عمل في سنة 1979 كطبيب متخصص في علم الأمراض في المشفى، أخذ عينة نسيج من القسم السفلي لمعدة ملتهبة، وقد وجد بكتيريا لم يعرفها من قبل وقد كان شكلها لولبي، في نهاية القرن التاسع عشر، وُجدت أدلة لوجود بكتيريا لولبية داخل قرحة معدة في مرضى، واعتبرها الأطباء كتلوث عابر، لذا أُهملت. كان الاعتقاد السائد عند العلماء أن المعدة معقمة، لأن الكائنات الحية الدقيقة لا تستطيع العيش في هذه البيئة الحامضية جدًا. على الرغم من أن العلماء لم يقبلوا الاكتشاف الجديد، إلا أن ورن ومرشل بدآ في إجراء تجارب لتنمية هذه البكتريا في مستنبت وقد نجحا بعد أن بذلا جهدًا كبيرًا. لكن كان يجب عليهما أن يقدما إثباتات أن هذه البكتيريا هي التي تسبب المرض. الطريقة المقبولة لإثبات العلاقة بين البكتيريا والمرض هو حقن البكتيريا في الحيوانات، لكي يؤدي إلى حالة مرضية شبيهة. لكن اتضح أن بكتيريا هليكوبكتر فيلوري يستطيع أن يسبب المرض في الإنسان فقط.

في سنة 1984 قام مرشل بخطوة دراماتيكية، فقد شرب بذاته أنبوبة تحتوي على حوالي مليون بكتيريا هيلكوبكتر فلوري. بعد مرور أسبوع تطورت عنده أعراض قرحة في المعدة، وبعد مرور 10 أيام أخرى، وُجِدَ في فحص أجري في معدته بواسطة أنبوب من ألياف ضوئية أن هناك التهاب في نسيج معدته، وقد كان السبب لذلك بكتيريا هيلكوبكتر فلوري، ولحسن حظه شفي مرشل تمامًا بمساعدة مضادات حيوية واستمر في أبحاثه المهمة مع شريكه ورن. بفضل أبحاث ورن ومرشل، من المعروف اليوم أن هيلكوبكتر فلوري موجود في معدة حوالي 50% من سكان العالَم.

في معظم الحالات، لا يؤدي وجود البكتيريا إلى أي مشكلة، لكن عند قسم من السكان (حوالي 5% - 10%)تؤدي البكتيريا إلى التهابات وقرحة في المعدة. الشكل اللولبي للبكتيريا وطريقة حركتها تساعدها على اختراق الطبقة المخاطية التي تحمي جدار المعدة وتؤذيها وتحولها إلى حساسة لتأثير الحوامض والإنزيمات.

إضافةً إلى ذلك، قد تؤدي البكتيريا إلى التهاب في القسم العلوي من الاثنى عشر. بفضل بحث ورن ومرشل، القرحة والالتهابات في المعدة لم تُبْقِ أمراض مزمنة ويمكن معالجتها اليوم بمساعدة مضادات حيوية. في سنة 2005، حاز الطبيبان على جائزة نوبل في الطب بفضل اكتشافيهما.

سؤال د -8:

في السنوات الأخيرة، تُسوق مُنْتَجات غذاء مختلفة اسمها "بروبيوتيم" (مشاركة في الحياة) كمُنْتَجات صحية تحتوي على بكتيريا صحية وهي تُكسب المُنْتَجات قيمة غذائية إضافية.

أ. بناءً على المعلومات المعروفة لكم حتى الآن عن المعدة، ما هو الشك الذي يراودكم بنجاعة هذه المُنْتَجات؟

ب. ابحثوا في شبكة الإنترنت، ما هو حل المشكلة بحسب ادعاء المُنْتِجين؟

تنظيم الهضم في المعدة

نشاط المعدة غير متواصل وهو يعمل كرد فعل لمحفزات. كما ذكرنا، اكتشف بابلوف أن رؤية، شم وحتى التفكير بالغذاء، هي محفزات تنشِّط إشارات عصبية وتؤدي إلى إفراز اللعاب ونشاط المعدة. وجود الغذاء في الفم ينقل محفز عصبي يؤدي إلى إفراز عصارة المعدة بكمية قليلة، لكي تبدأ عملية الهضم مباشرةً عندما يصل الغذاء المعدة. الغذاء الذي يدخل المعدة يوسعها وينشِّط مستقبلات في جدار المعدة. تُطلق المستقبلات إشارات تحفز عضلات جدار المعدة والأمعاء على الانقباض، حيث تفرز خلايا الغدد إنزيمات، هورمونات ومواد أخرى إلى فراغ المعدة.

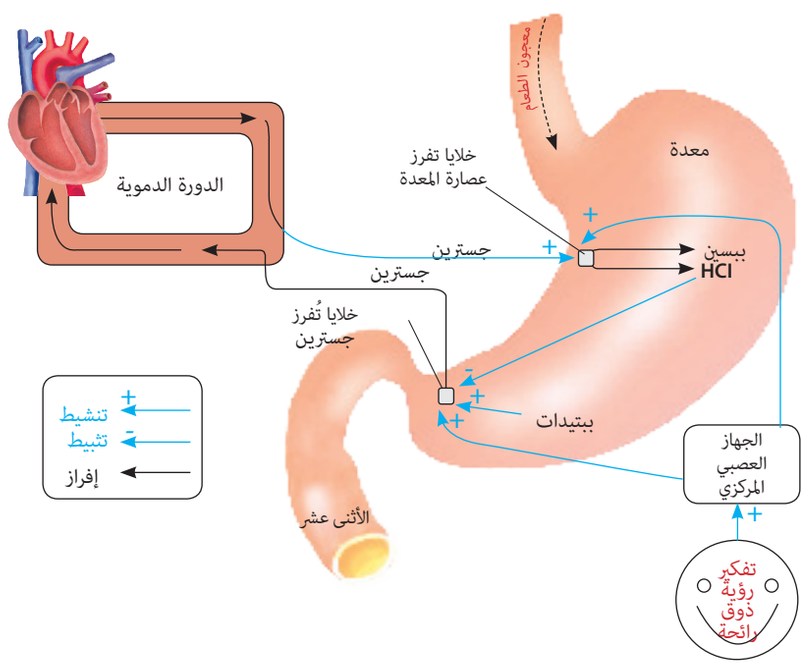
وتيرة تفريغ المعدة متعلقة بحجم الغذاء. الوجبة الكبيرة تنشِّط مستقبلات كثيرة في جدار المعدة، مما تؤدي إلى انقباضات قوية وتفريغ سريع للمعدة.

عندما لا يكون غذاء في المعدة، فإنَّ النشاط يقل. مع وصول الطعام إلى المعدة، يبدأ فيها تحليل البروتينات إلى ببتيدات. يؤدي وجود الببتيدات القصيرة والضغط الميكانيكي الذي يُنْتجه الغذاء (الشد) إلى إفراز زائد لهورمون الجسترين من الخلايا الموجودة في جدار المعدة (في المنطقة القريبة من البواب) إلى الدم. يصل الهورمون مع تيار الدم إلى الخلايا الأخرى في جدار المعدة، وهناك ينشِّط إفراز عصارة المعدة (**HCl** وببسين غير فعَّال) ويزيد من حركة عضلات المعدة.

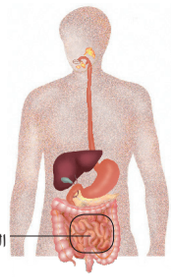
ازدياد حامضية المعدة (أقل من **pH 2**) التي تحدث من عصارة المعدة، توقف إفراز هورمون جسترين وفي أعقابه إلى إيقاف إفراز عصارة الهضم (انظروا الرسمة د - 10). يُشرف على إفراز الجسترين نظامان مسؤولان عن التغذية المرتدة (المردودية). من ناحية واحدة - نظام مردودية موجب يقوم برد فعل لوجود ببتيدات تؤدي إلى زيادة افراز الجسترين، ومن ناحية ثانية - نظام مردودية سالب يقوم برد فعل لتركيز عالٍ لأيونات الهيدروجين (**pH** حامضي جدًا) ويؤدي إلى إيقاف إفراز الجسترين.

علاقة بموضوع

بيولوجيا الإنسان:
آليات المردودية (تغذية مرتدة).



الرسمة د-10: تنظيم إفراز عصارة المعدة بواسطة آليات التغذية المرتدة (مردودية)



د4.2 الهضم في الأمعاء الدقيقة

عندما يترك الغذاء المعدة، فإنَّ معظمه لا يتحلل. على الرغم من أن الغذاء مرَّ بتحليل ميكانيكي في الفم والمعدة وتحوَّل إلى عجينة سائلة، لكن التحليل الكيميائي كان جزئيًا: بدأت في الفم عملية تحليل الكربوهيدرات وفي المعدة بدأت عمليتَيْ تحليل البروتينات والدهنيات. يتم التحليل الكيميائي الأساسي في الأمعاء الدقيقة.

القسم الأمامي من الأمعاء الدقيقة نسمِّيه **الأثنى عشر**، طوله حوالي 25 سم، عرضه مساوٍ لعرض 12 أصبعًا ومن هنا جاء اسمه. يُدفع الغذاء من المعدة باتجاه الأثنى عشر بواسطة انقباض عضلات المِعدة. حجم الأثنى عشر أصغر من حجم المعدة، لذا ينتقل الغذاء إلى المعدة بوجبات صغيرة. تعمل في الأثنى عشر إنزيمات هضم كثيرة تصله من البنكرياس عبر أنابيب، وإنزيمات تُفرز من جدار الأثنى عشر ذاته (انظروا جدول د - 2). كما تُفرز عصارة المرارة وقت الحاجة.

البنكرياس هو غدة إفراز كبيرة يقع تحت المعدة. تعمل هذه الغدة كغدة افراز خارجية، حيث تفرز إنزيمات ومواد مختلفة عبر أنبوب إلى الأثنيِ عشر وكغدة إفراز داخلية، حيث تفرز إلى الدم مباشرةً هورمونات من بينها انسولين وجلوكجون اللذان ينظمان مستوى الجلوكوز في الدم. يفرز البنكرياس إنزيمات كثيرة إلى الأثنى عشر، من بينها: ليبازوت (محلِّلات ليبيدات)، عميلاز وبروتوئازات، مثل: تربسين وكيموتربسين. إضافةً إلى الإنزيمات، يفرز البنكرياس بيكربونات إلى الأثنى عشر، البيكربونات مادة قاعدية تُبطل مفعول حامضية العجينة التي تصل من المعدة إلى الأثنى عشر وهكذا يَنْتُج في الأثنى عشر **pH** متعادل (**pH 6-7**) وضروري لنشاط هذه الإنزيمات.

عندما يصل الأثنى عشر غذاء يحتوي على ليبيدات بالأساس تريجلتسيريدات، تنتقل إليه عصارة المرارة التي تُنْتَج في خلايا الكبد ويتم تخزينها في **كيس المرارة** حتى استعمالها. تقوم عصارة المرارة بأداء وظيفة مهمة في بداية عملية هضم الليبيدات. جزيئات الليبيدات الموجودة في الغذاء، لا تذوب في الماء وهي تميل إلى الاتحاد في عجينة الغذاء إلى كرات كبيرة لا تسمح إلى التحليل الكيميائي بواسطة الإنزيمات. تحتوي عصارة المرارة على مواد نسمِّيها **أملاح المرارة** التي في جزيئاتها يوجد قسم هيدروفيلي (محب للماء) وقسم هيدروفوبي (كاره للماء). حركة جدار الأمعاء تقوم بخلط عجينة الغذاء مع أملاح المرارة وتؤدي إلى تقطيع الكرات إلى قطرات صغيرة.

تُغطى هذه القطرات بأملاح المرارة التي تمنع اتحادها من جديد. يَنْتُج محلول مائي فيه تتبعثر قطرات ميكروسكوبية من الليبيدات التي نسمِّيها مستحلب (انظروا المرحلة أ في الرسمة د - 11). إنتاج المستحلب هو عبارة عن تحليل ميكانيكي لليبيدات. عندما تكون مستحلب، يكون سطح تلامس القطرات مع إنزيمات البنكرياس عالٍ جدًا، وهكذا تزاد نجاعة التحليل الكيميائي بواسطة الإنزيمات. الإنزيمات التي تحلِّل الليبيدات نسمِّيها **ليبازات**.

لا تمر جميع التريجلتسيريدات (الليبيدات الأساسية في الغذاء) تحليل كامل الى جليتسيرول وحوامض دهنية، لذا تبقى في الأمعاء مونو جليتسيريدات (جليتسيرول مرتبط به حامض دهني واحد). المونو جليتسيريدات، الحوامض الدهنية، الكولسترول، الفوسفوليبيدات والفيتامينات تذوب في الدهنيات وكلها تُغلف بأملاح المرارة وتَنْتُج قطرات صغيرة نسميها ميسيل (انظروا المرحلة ب في الرسمة د - 11).

توجد للميسيل أهمية في امتصاص نواتج تحليل الليبيدات إلى الدم، سنتعلم عن ذلك في البند القادم. معجون الغذاء الذي يتم هضمه يُدفع من الأثنى عشر إلى الأمعاء الدقيقة الذي تستمر فيه عملية الهضم الكيميائي.

تُفرز إنزيمات أخرى من خلايا الغدة الموجودة في جدار الأمعاء إلى معجون الغذاء. على طول الأمعاء الدقيقة، ينتهي تحليل الكربوهيدرات والبروتينات وقسم من الليبيدات إلى وحدات البناء الأساسية.

الرسمة د -11: أ. تحويل كرات الليبيدات إلى مستحلب في وجود أملاح المرارة.
ب. أملاح المرارة تُغلّف نواتج تحليل الليبيدات وتُنتِج ميسيلات.

سؤال د -9:

البيكربونات وعصارة المرارة ليست إنزيمات، لكنها تقوم بوظيفة مهمة لتحليل الليبيدات بواسطة إنزيمات ليباز أثناء عملية الهضم. اشرحوا أهمية كل مادة من المادتين.

سؤال د -10:

ما هي ، برأيكم، حسنات الطول الكبير للأمعاء الدقيقة؟

يعرض الجدول د - 2 إنزيمات مهمة تشترك في التحليل الكيميائي على طول أنبوب الهضم، بحسب مكان إنتاجها ومكان نشاطها ومواد الأساس التي تعمل عليها ونواتج تحليلها.

جدول د -2: الإنزيمات الأساسية التي تعمل في الجهاز الهضمي عند الإنسان ونشاطها

تَنتُج في:	تُفرز إلى:	الإنزيمات الأساسية الفعّالة	مادة الأساس للإنزيمات	نواتج التحليل
غدد اللعاب	جوف الفم	عميلاز ليزوزيم	نشا جدار بكتيريا معينة	سلاسل سكريات قصيرة وملتوز بكتيريا ميتة
المعدة		**ببسين** ليباز (بكمية قليلة)	بروتينات ليبيدات (تريجلتسيريدات)	ببتيدات حوامض دهنية وجليسيرول
البنكرياس	الأثنى عشر	ليباز	ليبيدات (تريجلتسيريدات)	مونوجليتسيريدات، حوامض دهنية، وجليسيرول
		عميلاز	نشا، جليكوجين	سلاسل سكريات قصيرة وثنائية السكر
		بروتوئازات (تريبسين وكيموتربسين)	بروتينات	ببتيدات قصيرة
		نوكلوئوزات **(RNase ,DNase)**	**DNA** **RNA**	نوكلوئوتيدات
الأثنى عشر وخلايا جدار الأمعاء الدقيقة	فراغ الأمعاء الدقيقة	ليباز	ليبيدات	مونوجليتسيريدات، حوامض دهنية، وجليسيرول
		لكتاز، ملتاز سوكراز	ثنائي السكر	أُحادي السكر
		ببتيداز	ببتيدات قصيرة	حوامض أمينية
		إنزيمات تحلّل نوكلوئوتيدات	نوكلوئوتيدات	سكر، فوسفور، قواعد نيتروجينية

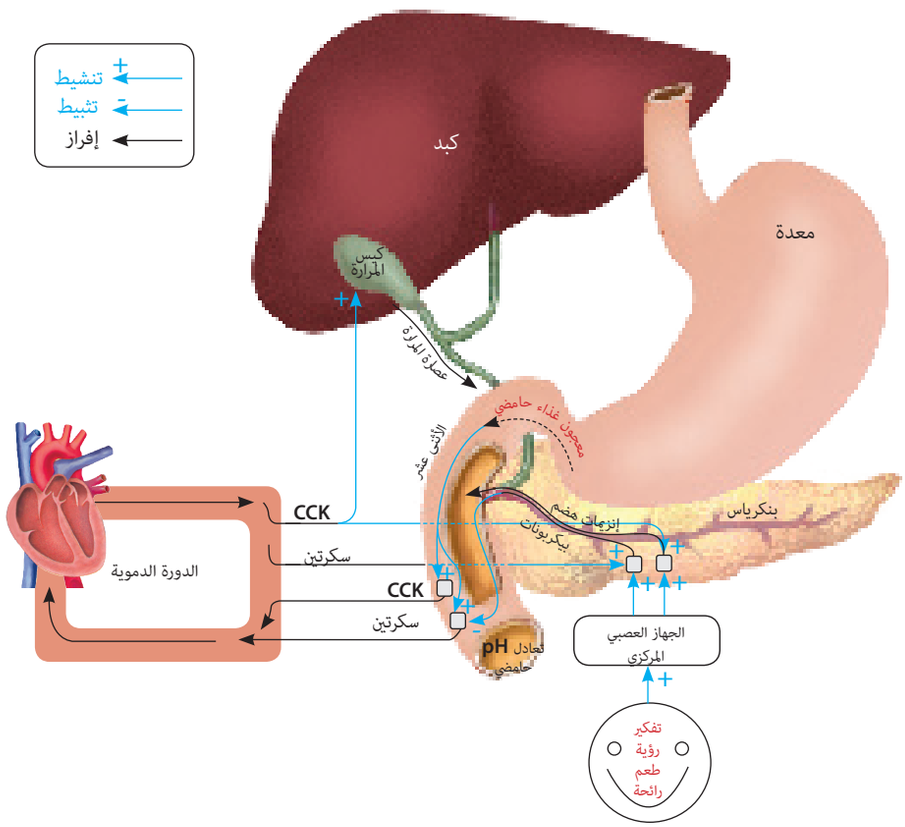
تنظيم الهضم في الأثنى عشر وفي الأمعاء الدقيقة

يتم تنظيم النشاط في الأثنى عشر وفي الأمعاء الدقيقة بمساعدة هورمونات تُفرز إلى الدم بواسطة خلايا موجودة في جدار الأثنى عشر والهورمونان المهمان من بينها هما سكرتين وخولتسيستوكينين (الرسمة د - 12). يتم إفراز السكريتين إلى الدم كرد فعل لتلامس خلايا جدار الأثنى عشر مع معجون الغذاء الحامضي الذي يدخل من المعدة. يصل السكرتين مع تيار الدم إلى البنكرياس ويؤدي إلى إفراز بيكربونات من البنكرياس وهكذا يتعادل الـ **pH** الحامضي في الأثنى عشر، حيث يؤدي ارتفاع الـ **pH** في الأثنى عشر إلى إفراز سكرتين (تغذية مرتدة سالبة). إذا وصلت وجبة غذاء حامضية إضافية من المعدة، فإنها تجدد إفراز السكرتين.

من الجدير بالمعرفة أن **سكرتين** (secrete = إفراز) هو الهورمون الأول الذي تمَّ اكتشافه. وقد اكتشفه في سنة 1902 باحثان إنجليزيان: **ويليام بيليس** (William Bayliss) و***أرنسط سترلينج*** (Ernest Sterling) اللذان بحثا كيفية مراقبة نشاط الجهاز الهضمي. بيليس هو الأول الذي أطلق الاسم هورمون على هذه المادة.

يُفرز الكولتسيتوكينين (**CCK**) كردّ فِعْل لوصول غذاء إلى الأثنى عشر. عندما يصل البنكرياس مع تيار الدم، فإنه ينشِّط إفراز إنزيمات هضمٍ من البنكرياس وعصارة مرارة من كيس المارة إلى الأثنى عشر. تؤدي محفزاتٍ، مثل: الطعم والرؤية إلى إفراز كبير لإنزيمات الهضم، كما هو الأمر في المعدة.

إضافةً إلى الموصوف في الرسمة، يؤدي الكولتسيتوكينين إلى إغلاق عضلة البواب بين المعدة والأثنى عشر، حيث تؤدي هذه العملية إلى تباطؤ تفريغ المعدة وتزيد من نجاعة الهضم. كما يثبط الكولتسيتوكينين إفراز الجسترين في المعدة.



الرسمة د-12: تنظيم عصبي وهورموني لإفراز البنكرياس والأثنى عشر

د5.2 الإمتصاص في الأمعاء الدقيقة

بالموازاة إلى نشاط إنزيمات الهضم، تتم في الأمعاء الدقيقة **عملية امتصاص** نواتج تحليل الغذاء إلى تيار الدم وإلى الليمفا. إحدى مميزات الأمعاء هي مساحة امتصاصه الكبيرة. معدل طول الأمعاء الدقيقة عند الإنسان البالغ حوالي 7 أمتار وقطره حوالي 3 سم. بحسب هذه المعطيات، نتوقع أن تكون مساحة السطح الخارجي للأمعاء الدقيقة حوالي 0.6 متر مربع. لكن في الواقع، المساحة الداخلية للأمعاء الدقيقة هي 200 - 500 متر مربع وذلك أكبر من مساحة ملعب تنس!

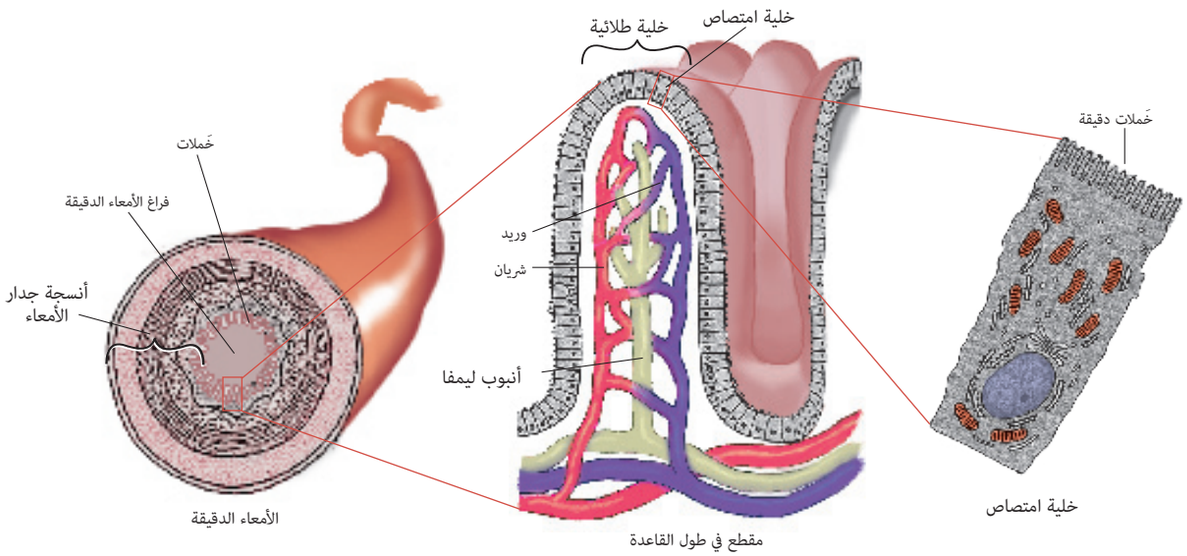
الفكرة المركزية

ملاءمة بين المبنى والأداء: *يساهم السطح الخارجي الكبير للأمعاء في امتصاص الغذاء بنجاعة.*

!?

كيف تَنْتُج مساحة امتصاص كبيرة كهذه؟

نوضح الفرق بين مساحة الامتصاص الموجودة في الواقع وبين المساحة الداخلية المحسوبة بمساعدة الرسمة د - 13. يوجد طيات كثيرة في المساحة الداخلية للأمعاء الدقيقة. يوجد على الطيات بروزات صغيرة وطويلة وهي تَبرز باتجاه فراغ الأمعاء الدقيقة. هذه البروزات نسمِّيها **خَملات**، حيث تصلها شعيرات دم وشعيرات ليمفا. سطح الخَملات مغلَّف بطبقة خلايا طلائية. وفيها ثلاثة أنواع من الخلايا: خلايا تُفرز مخاط، خلايا تُفرز إنزيمات **وخلايا الامتصاص** التي تمتص الغذاء المهضوم إلى الدم والليمفا. يوجد على كل خلية امتصاص حوالي 1,000(!) برزة صغيرة نسمِّيها **خَملات دقيقة**. الخَملات والخملات الدقيقة تُكبِّر مساحة السطح الخارجي لمنطقة الامتصاص بشكل كبير جدًا.



الرسمة د -13: المبنى الداخلي للأمعاء الدقيقة.

تدخل شعيرات دم وليمفا إلى كل خَملة (الرسمة د - 13). تصل الشعيرات الدموية قريبًا جدًا من خلايا الامتصاص، مما يزيد ذلك من نجاعة الامتصاص.

نواتج الهضم التي هي جزيئات صغيرة، مثل: السكريات الأحادية، الحوامض الأمينية، الحوامض الدهنية، الجليسيرول، الفيتامينات والأملاح المعدنية، تنتقل من فراغ الأمعاء الدقيقة إلى داخل خلايا الامتصاص في جدار الأمعاء ومنها إلى شعيرات الدم أو إلى أنابيب الليمفا الموجودة بالقرب منها (انظروا الرسمة د - 14).

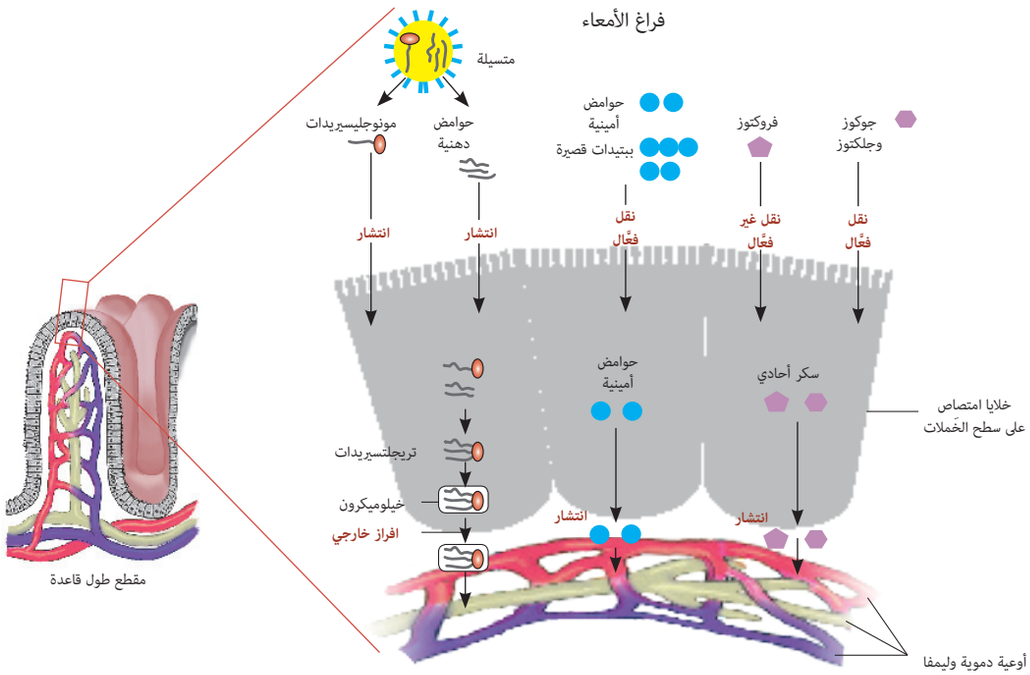
نواتج الهضم باستثناء نواتج تحليل الليبيدات، تدخل إلى خلايا الامتصاص الموجودة في جدران الأمعاء بواسطة ناقلات أغشية الخلايا. يتم استيعاب قسم منها عكس اتجاه منحدر التراكيز خلال عملية **نَقْل فعَّال** من خلال بذل طاقة. أما نواتج هضم أخرى، فهي تدخل إلى خلايا الامتصاص من خلال **نَقْل غير فعَّال.**

امتصاص نواتج تحليل الليبيدات معقد أكثر. كما رأينا في الرسمة د - 11، تَنْتُج بمساعدة أملاح المرارة متسيلة تحتوي على نواتج تحليل الليبيدات، على ليبيدات أخرى (مثلًا: كولسترول) وعلى فيتامينات تذوب في الدهنيات.

عندما يكون تركيز المواد الليبيدية في المتسيلات الموجودة بالقرب من الخَملات عالٍ بشكل كاف، فإنها تترك المتسيلات وتنتقل بديفوزيا (عملية انتشار) وفقًا لمنحدر التراكيز إلى داخل خلايا الامتصاص (انظروا الرسمة د - 14). داخل خلايا الامتصاص يتم بناء تريجلتسيريدات وفوسفولبيدات جديدة من مونوجليتسيريدات وحوامض دهنية. يتم تغليف هذه المواد داخل خلايا الامتصاص في بروتين خاص نسمِّيه خيلوميكرون، يُنقل هذا المبنى بعملية إفراز خارجي، من خلال بذل طاقة إلى أوعية الليمفا التي يتم تصريفها في نهاية الأمر إلى الأوعية الدموية. .

علاقة بموضوع

الخلية — مبنى ونشاط:
انتقال عبر أغشية.



الرسمة د-14: طرق امتصاص نواتج الهضم.

امتصاص ماء

كمية السوائل التي تمر عبر أنبوب الهضم في ظروف عادية حوالي 9 لترات في اليوم. حوالي لتران منها شراب وغذاء، وحوالي 7 لترات إضافية من عصائر تُفرز من جميع أقسام الجهاز الهضمي. من كل الكمية التي تدخل ، فقط حوالي 100 ملل من السائل تترك الجهاز الهضمي عبر البراز. أم بقيت السائل فيتم امتصاصه على طول الأمعاء الدقيقة والأمعاء الغليظة أيضًا. يتم امتصاص الماء عبر الخلايا الطلائية للأمعاء بطريقة غير فعَّالة من خلال **الأسموزا**. يتم امتصاص الماء في أعقاب امتصاص نواتج الهضم - سكر أحادي، حوامض أمينية وأيونات أملاح، حيث تؤدي للمحلول داخل خلايا الامتصاص والسوائل خارج الخلية أن تكون مركَّزة نسبة لمحلول فراغ الأمعاء.

علاقة بموضوع

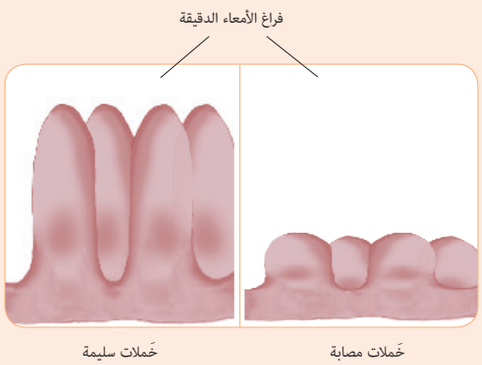
علم البيئة:
ملاءمة للحياة في اليابسة — القدرة العالية على امتصاص الماء من الجاز الهضمي إلى الدم.

قليل من المعلومات...

جلوتن، خَملات ومرض التسليك

في سنة 1888، وصف الطبيب الإنجليزي **صامويل جي** (Samuel J. Gee) ظاهرة غذائية غريبة: عالج طفلة أكلت أغذية متنوعة، لكن على الرغم من ذلك، عانت هذه الطفلة من إسهال، انخفاض في الوزن ونقص في التغذية. سُمِّي هذا المرض تسليك (من اليونانية – البطن). اكتُشف مسبب المرض بطريقة عشوائية، وقد كان ذلك أثناء الحرب العالمية الثانية، عندما بدأ أطفال مصابون بمرض التسليك بالشفاء. اتضح أنه بسبب الحرب لم يأكل هؤلاء الأطفال مُنْتَجات تحتوي على حبوبيات (نجيليات). وقد أدت هذه المعلومات إلى الافتراض أن هذا المرض متعلق بأحد مكوِّنات الحبوبيات.

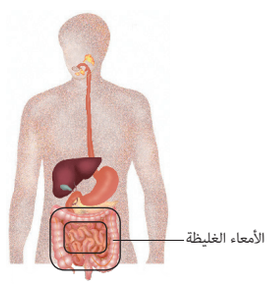
اتضح فيما بعد أن هذا المرض يحدث بسبب حساسية لمكوِّنات بروتين جلوتن الموجود في الحبوبيات مثل: القمح، الشعير، سنبلة الثعلب والشوفان. يتطور عند المصابين مرض التسليك كردّ فِعْل مناعي يؤدي إلى إضمرار خلايا الخَملات والخلايا الطلائية في الأمعاء الدقيقة كما هو موصوف في الرسمة د - 15. يؤدي إضمرار الخَملات إلى انخفاض مساحة السطح الخارجي للأمعاء، وفي أعقاب ذلك يؤدي إلى مشاكل كبيرة في امتصاص المواد الغذائية. تؤدي مشاكل الامتصاص إلى نقص في التغذية، فقر الدم، هشاشة العظام، مشاكل عصبية، مشاكل في الخصوبة، تثبيط (إعاقة) النمو وغير ذلك.



الرسمة -15: إضمرار خَملات في الأمعاء الدقيقة في مرض التسليك وانخفاض مساحة الامتصاص.

يمكن ترميم المخاط بمساعدة تغذية لا تحتوي على جلوتن بتاتًا. مرض التسليك هو مرض شائع نسبيًا وهو يُصيب حوالي 0.3% - 1% من سكان العالَم في معظم الدول والمجموعات الأثنية التي بُحث فيها.

د6.2 نشاطات في الأمعاء الغليظة



الأمعاء الغليظة أقصر من الأمعاء الدقيقة، طول الأول حوالي متر واحد، هو واسع ولا يوجد فيه طيات، خَملات أو خَملات دقيقة.

تصل الأمعاء الغليظة جميع بقايا الغذاء التي لم يتم امتصاصها في الأمعاء الدقيقة وخلايا ميتة من جدار الأمعاء وكائنات حية دقيقة موجودة فيه. تساعد الظروف السائدة في الأمعاء الغليظة على نمو كائنات حية دقيقة، قسم منها مفيد للإنسان، لأنها تثبط (تعيق) من خلال التنافس تطور بكتيريا تؤدي إلى أمراض. إضافة إلى ذلك، تُنْتج الكائنات الحية الدقيقة عدة فيتامينات من بينها فيتامين **K** وفيتامين B_{12} اللذان يتم امتصاصهما من الأمعاء الغليظة إلى الدم. يستمر في الأمعاء الغليظة هضم المواد الغذائية التي لم تُحلل جميعها في الأمعاء الدقيقة، وذلك من خلال إنزيمات تصل مع بقايا الغذاء. مساحة الأمعاء الغليظة أصغر بحوالي 30 ضعفًا من الأمعاء الدقيقة، مما يؤدي ذلك إلى نجاعة أقل في امتصاص المواد الغذائية. أما **امتصاص الماء** من الأمعاء الغليظة إلى الدم فهو ناجع جدًا وضروري للحفاظ على موازنة الماء في الجسم. يتم استيعاب الماء بشكل غير فعَّال في أعقاب نقل فعَّال لأملاح مختلفة بالأساس صوديوم.

علاقة بموضوع

علم البيئة:
علاقة متبادلة — مشاركة من نوع تكافل.

عندما يكون امتصاص الماء غير سليم، فإنَّ ذلك يؤدي إلى إسهال أو إمساك (انظروا التوسع). تُخزَّن بقايا الغذاء التي لم تُهضم في الأمعاء الغليظة وتُفرز من الجسم **كبراز**. حيث تكون هذ البقايا مخلوطة بصبغيات المرارة (مواد تُكسب البراز لونًا معينًا ومصدرها من نواتج تحليل الهيموجلوبين ومن مكونات أخرى في كيس المرارة)، بكتيريا، إفرازات مختلفة وقليل من الماء الذي لم يتم امتصاصه. تضغط جميع هذه المواد في الأمعاء.

تنظيم النشاط في الأمعاء الغليظة

يتم دفع بقايا الغذاء والكائنات الحية الدقيقة بحركة بريستالتية بواسطة عضلات الأمعاء الغليظة إلى طرفه المستقيم، حيث يؤدي ضغط البراز في هذا المكان إلى حدوث محفز عصبي ينقل معلومات إلى العضلات الحلقية التي تُغلق الفتحة الشرجية والتي تعمل بشكل إرادي، حيث يؤدي ارتخاء هذه العضلات وانقباض عضلات الأمعاء إلى خروج البراز.

في الأمعاء الغليظة، تنتهي "حملة" الغذاء. في البند التالي، نبيِّن ما يحدث لمكونات الغذاء بعد أن يتم امتصاصها عبر الأمعاء إلى الدم وإلى الليمفا.

توسُّع

مشاكل في امتصاص الغذاء — إسهال وإمساك

كما ذكرنا، عندما تكون عملية امتصاص السوائل غير سليمة من أنبوب الهضم، فإن الإنسان يعاني من إسهال أو إمساك . الإسهال هو وضع فيه يُفرز الماء بكميات فائضة في البراز. تحدث معظم حالات الإسهال في أعقاب تلوث بواسطة كائنات حية دقيقة، مثل: البكتيريا، الفيروسات أو الطفيليات. فهذه الكائنات الحية تفرز مواد سامة تؤدي إلى الإسهال بطريقتين أساسيتين:

1. يهدم السُم مضخات الأيونات في أغشية خلايا الأمعاء ويؤدي إلى عدم دخول أيونات (مثل: الكلور، صوديوم وبوتاسيوم)إلى خلايا الامتصاص. نتيجةً لذلك يكون التركيز الأسموزي في هذه الخلايا منخفضًا، ولا يتم امتصاص متكرر للماء من الأمعاء إلى الدم.
2. يهاجم السُم المبنى الكيميائي لليبيدات التي تكوِّن أغشية الخلايا الطلائية للأمعاء، حيث يؤدي السُم إلى هدم الخلايا. في أعقاب ذلك، الماء الذي يصل الأمعاء لا يتم امتصاصه. على الأغلب، ينتهي الإسهال بعد يوم إلى يومين، عندما تتجدد خلايا الامتصاص. في حالة استمرار الإسهال دون معالجة، فهناك خطر لحدوث جفاف حتى الموت.

يحدث أحيانًا إسهال في أعقاب تناول مضادات حيوية. لماذا؟!

في الجهاز الهضمي السليم عند الإنسان، يوجد حوالي 400 نوع من البكتيريا المفيدة. البكتيريا المفيدة تزوِّد الجسم حماية ضد بكتيريا ضارة بآليات مختلفة، مثل: تنافس على مكان عيش البكتيريا الضارة، تغيير مستوى الحامضية إلى مستوى غير مريح للبكتيريا الضارة، إنتاج مكونات تستوعب البكتيريا الضارة وغير ذلك. المضادات الحيوية التي تعمل ضد البكتيريا، لا تميِّز بين بكتيريا "جيدة" وَ "ضارة"، لذا خلال العلاج بالمضادات الحيوية، تتم إبادة بكتيريا مفيدة أيضًا موجودة في الجسم بشكل دائم. في هذا الوضع، تستطيع البكتيريا الضارة أن تستغل المكان والغذاء الذي "بقي" وأن تتكاثر. في أعقاب ذلك، يتضرر النشاط السليم في الجهاز الهضمي، لذا عندما يجب على هؤلاء المرضى تناول مضادات حيوية فترة زمنية طويلة، يوصي الأطباء لهم أن يتناولوا في نفس الفترة أقراصًا تحتوي على بكتيريا مفيدة.

الإمساك هي ظاهرة، لا يتم فيها تفريغ الأمعاء الغليظة بشكل مرتَّب وهي تتم بفارق زمني طويل، كل ثلاثة أيامٍ وأكثر. كلما ازدادت المدة الزمنية، يتم امتصاص كمية ماء كبيرة ويصبح البراز أكثر قساوةً وجفافًا. يحدث الإمساك لعدة أسباب: قلة الشرب التي تؤدي إلى الجفاف وقساوة البراز، غذاء فقير بالألياف، مما يؤدي إلى أن لا يكون حجم الفضلات كافٍ، لكي يحفز جدران الأمعاء على الحركة البريستالتية، التماسك الزائد في قضاء الحاجة (الذهاب إلى المرحاض) وقلة النشاط الجسماني. يوجد أيضًا إمساك ينبع من مشاكل فسيولوجية، مثل: الإنسداد في الأمعاء الدقيقة أو الغليظة، شُق في الفتحة الشرجية أو البواسير، حيث تؤدي إلى آلام والإمتناع عن إخراج البراز.

د3. العمليات الأيضية لنواتج الهضم

تُنقل نواتج الهضم التي تمَّ امتصاصها بمساعدة الدم والليمفا إلى خلايا الجسم، وهي تشترك هناك في عمليات حياتية تشتمل على آلاف التفاعلات الكيميائية. يمكن تقسيم هذه العمليات إلى **عمليات بناء** مواد معقدة من مواد بسيطة وإلى **عمليات تحليل** مواد معقدة إلى مواد بسيطة. جميع عمليات التحليل والبناء في الخلايا نسمِّيها **تبادل مواد (عمليات أيضية)**.

د1.3 الكبد – مفرق طرق مركزي في عمليات تبادل المواد في الجسم

قبل أن تصل المواد باقي خلايا الجسم، فإنَّ معظم المواد التي يتم امتصاصها في الأمعاء تنتقل عبر **الكبد**. في كل دقيقة، يصل الكبد حوالي 1.5 لتر دم بواسطة أوعية الدم والليمفا.

ذكرنا الكبد في سياق إنتاج عصارة المرارة التي تساعد على تحليل الليبيدات بنجاعة. لكن الوظيفة الأساسية للكبد هي محطة مرور، معالجة وتخزين نواتج الهضم التي تمَّ امتصاصها في الأمعاء بطريقها إلى خلايا الجسم. قسم من نواتج الهضم التي تصل الكبد، تستمر مع تيار الدم إلى خلايا الجسم دون أن يحدث تغيير فيها. قسم آخر يمر بتغييرات في الكبد، وبعد ذلك فقط، تعود المواد إلى الدورة الدموية وبواسطتها تصل خلايا الجسم. يتم تخزين قسم من نواتج الهضم في خلايا الكبد دون تغيير، أو بعد أن تمر بتغيير. تُطلق النواتج التي تمَّ تخزينها بحسب الحاجة إلى تيار الدم الذي بواسطته تصل جميع الخلايا.

تحدث في الكبد عمليات كثيرة من بينها:

1. قسم قليل من الجلوكوز الذي يصل الكبد يمر عبره إلى تيار الدم دون تغيير. معظم الجلوكوز الذي يصل الكبد، يُستخدم لبناء الجليكوجين - **مادة إدخارية** تُحفظ في الكبد. أما ما تبقى يُستخدم لبناء دهنيات تُخزَّن في الكبد أو تُنقل للتخزين في خلايا دهنية.
2. تمر نواتج هضم الليبيدات معالجة، لكي تتم عمليات مختلفة في خلايا الجسم مثلًا: بناء أغشية.
3. من الحوامض الأمينية، يتم بناء بروتينات بلازما الدم (مثلًا: الألبومين) وبروتينات ضرورية لعملية تخثر الدم (مثلًا: فيبرونيجن). تستطيع إنزيمات الكبد أن تحوِّل حامض أميني معين إلى حامض أميني آخر (باستثناء 8 حوامض أمينية ضرورية). البروتينات التي تصل الدم في أعقاب موت خلايا الجسم، تتحلل في الكبد، وتَنْتُج من عملية التحليل حوامض أمينية تستمر إلى خلايا الجسم. يمكن أن يُستخدم فائض الحوامض الأمينية لبناء ليبيدات.

4. المواد الضارة التي قسم منها نواتج طبيعية من تحليل الغذاء، تمر في الكبد تغييرات كيميائية تحولها إلى غير ضارة. مثلًا: الآمونيا التي مصدرها من تحليل حوامض أمينية في خلايا الكبد، هي مادة سامة للجسم. ترتبط الآمونيا في الكبد مع CO_2 وتَنْتُج يوريا، وهي مادة سامة تنتقل بواسطة تيار الدم إلى الكليتين وتُفرز في البول. المخدرات، الكحول وأدوية معينة، تمر بتغييرات في الكبد، حيث يحوِّلها إلى مواد غير ضارة.
5. إضافة إلى تخزين الجليكوجين والدهنيات في الكبد، يتم أيضًا تخزين فيتامينات، مثل: A, D وَ B_{12} وأملاح معدنية، مثل: الحديد والنحاس. عندما ينخفض تركيزها في الدم، تتحول المواد المخزونة في الكبد إلى متوافرة وتُتيح للجسم الاستمرار في البقاء لمدة زمنية معينة دون تزويد خارجي لهذه المواد الغذائية.

يمكن أن نجسد تنوع نشاط الكبد بنكتة شائعة عند طلاب الجامعات الذين يدرسون الطب: إذا سُئل طالب عن مكان حدوث عملية معينة في جسم الإنسان وهو لا يعرف الإجابة عنها، فإنه يجيب في "الكبد"، لأنه هناك احتمال كبير جدًا أن تكون إجابته صحيحة.

لكي نفهم الأهمية الكبرى لأداء الكبد، يجب التذكر أن مكونات الدم التي تصل من الأمعاء إلى الكبد ليست ثابتة وهي متعلقة بمكونات الغذاء وبوتيرة استهلاكه. يوجد لنشاط الكبد مساهمة مهمة في الحفاظ على مكونات الدم وفي الحفاظ على بيئة داخلية ثابتة. إحدى المساهمات المهمة للكبد هي تنظيم استهلاك الطاقة. على الرغم من أن تزويد الغذاء ليس متواصلًا، لكن الحاجة إلى الطاقة متواصلة. كما فهمتم، في البداية، يستعمل الجسم المواد المتوافرة.

عندما يكون فائض من المواد، يتم بناء مواد إدخارية تُستعمل **كمخازن للطاقة**، وعندما يكون نقص في الغذاء تُستغل المخازن. العمليات التي ينفِّذها الكبد مهمة جدًا للجسم، ودون هذه العمليات السليمة، لا يستطيع الإنسان أن يعيش أكثر من 24 ساعة.

اليوم لا يوجد عضو اصطناعي أو جهاز يستطيع أن يقوم بأداء الكبد (ليس كما هو الأمر في القلب أو الكليتين).

توسُّع

اشتراك الكبد في الحفاظ على مستوى الجلوكوز في الدم

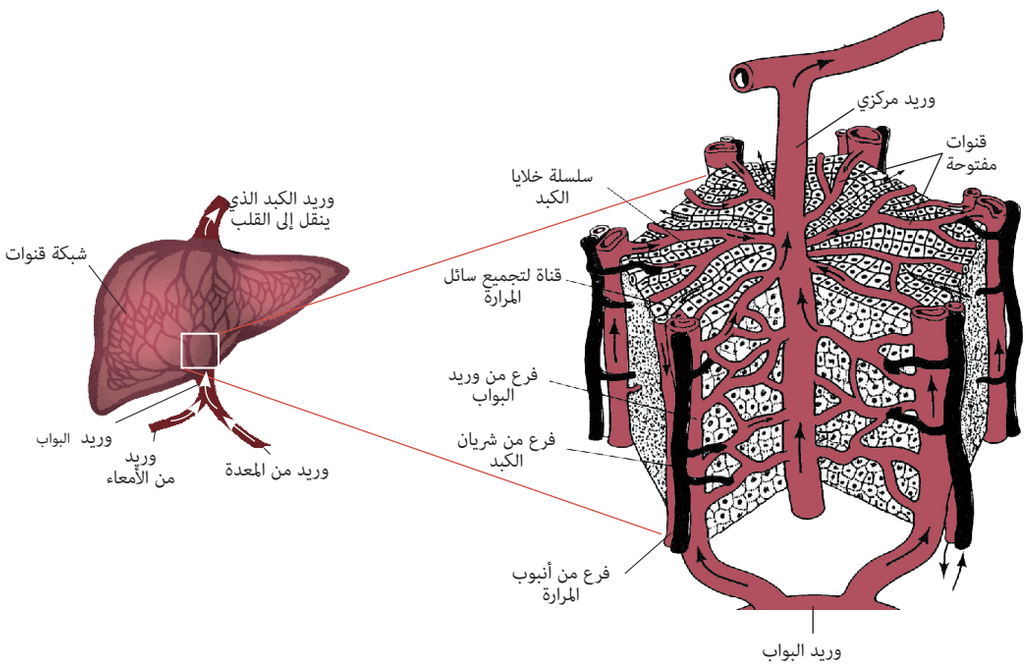
عندما يرتفع تركيز السكر في الدم في أعقاب وجبة غذائية، يفرز البنكرياس هورمون انسولين الذي يزيد من دخول الجلوكوز إلى الخلايا وبالأساس إلى خلايا العضلات والخلايا الدهنية. في الكبد، يحوِّل الأنسولين فائض الجلوكوز إلى جليكوجين ويحوِّل الجلوكوز إلى دهنيات. بين الوجبات وأثناء الصوم، عندما يكون مستوى الجلوكوز في الدم منخفض، يتم تثبيط (إعاقة) إفراز الأنسولين من البنكرياس، ويبدأ إفراز هورمون جلوكجون من البنكرياس. يؤدي الجلوكجون إلى تحليل الجليكوجين الموجود في الكبد وينطلق جلوكوز إلى الدم. يكفي مجمَّع الجليكوجين في الكبد لتزويد الجسم في الجلوكوز لمدة 10 - 13 ساعة.

عندما يحدث نقص كبير في الجلوكوز، مثلًا: عندما تبذل العضلات جهدًا كبير، فإنَّ الكبد يستطيع أن يُنْتِج الجلوكوز من حامض الحليب الذي يَنْتُج في العضلات أثناء بذل الجهد الجسماني، من الجليسيرول ومن حوامض أمينية موجودة فيه. يتم تفعيل هذا النشاط بواسطة هورمون جلوكوجون أيضًا. في أعقاب وجبة إضافية، يرتفع مستوى السكر في الدم، ويتم بناء مخزن الجليكوجين من جديد وهكذا دواليك. يعمل هذان الهورمونان بواسطة التغذية المرتدّة السالبة(المردودية السالبة).

للمزيد عن
نشاط العضلات في الجهد الجسماني:
انظروا الفصل الخامس في صفحة 155.

ملاءمة بين مبنى الكبد وأدائه

جميع المواد التي تُمتص في الأمعاء الدقيقة تصل الكبد بواسطة جهاز خاص نسمِّيه نظام بواب الكبد. أنابيب الدم والليمفا التي تصل من الأمعاء الدقيقة ومن المعدة يتم تصريفها إلى وريد البواب الذي يدخل الكبد. يتفرع وريد البواب في الكبد إلى شبكة قنوات يتدفق فيها الدم ويتلامس مباشرةً مع خلايا الكبد، كما نلاحظ ذلك في الرسمة د- 16. تدخل المواد من الدم إلى خلايا الكبد وتخرج من الخلايا إلى الدم. تتحد القنوات مع أوردة دقيقة، وهذه الأوردة تتحد مع وريد كبير (وريد الكبد) ينقل الدم إلى القلب. إضافةً إلى وريد بواب الكبد، يصل الكبد شريان أيضًا، لكي ينقل الأكسجين إلى خلايا الكبد.



الرسمة د -16: على اليمين: مبنى ميكروسكوبي لمقطع في نسيج الكبد. **على اليسار:** نظام بواب الكبد. **انتبهوا!** لم نُشير في الرسمة إلى الشرايين التي تنقل أكسجين إلى الكبد.

سؤال د -11:

كيف يساعد مبنى نظام بواب الكبد في أداء خلايا الكبد؟

د2.3 عمليات أيضية (تبادل مواد) في الخلايا

كما ذكرنا، تُنقل نواتج الهضم مع تيار الدم وتُستوعب في الخلايا. لا تبقى هذه المواد داخل الخلايا كما وصلت، بل تشترك مع مواد موجودة في الخلية، في عمليات بيوكيميائية مختلفة. في كل خلية من خلايا الجسم، تحدث آلاف عمليات البناء والتحليل وفقًا لاحتياجات الخلية بشكل متواصل وفي نفس الوقت. تحتاج النشاطات العادية في الخلايا والجسم إلى تزويدها بالطاقة بشكل مستمر. تستطيع الخلايا إستخراج الطاقة من الكربوهيدرات، الدهنيات والبروتينات التي تستطيع أن تستبدل الواحدة بالأخرى بشكل جزئي. تُفضل معظم الأنسجة في الجسم الجلوكوز، لكن يفضل القلب وعضلات الهيكل حوامض دهنية.

في حالة نقص كبير في الجلوكوز، مثلًا: الصوم أو عندما تكون المواد الغذائية فقيرة في الكربوهيدرات، تستطيع معظم خلايا الجسم أن تُنْتِج طاقة من بروتينات ودهنيات، لكن خلايا الجهاز العصبي، تستطيع أن تستخرج طاقة من الجلوكوز فقط. في حالة نقص كبير في الجلوكوز، يقوم الكبد بتحويل حوامض أمينية وحوامض دهنية إلى جلوكوز لكي يزوِّد خلايا الجهاز العصبي احتياجاتها. تشمل عملية استخراج الطاقة معظم مكونات الغذاء. على الرغم من ذلك، تستعمل الخلية قسمًا قليلًا من المكوِّنات الغذائية لبناء بروتينات وظيفية ولتبديل أقسام من الخلايا. يجب التذكر أن جميع المواد التي تبني خلايا الجسم تكون في عملية تجديد مستمر. مثلًا: الحوامض الأمينية التي حصلنا عليها في الوجبة الغذائية الأخيرة، يمكن أن تُدمج في البروتينات التي تبني غشاء الخلية أو في الإنزيمات الجديدة التي تُنْتجها الخلايا. الحوامض الدهنية التي مصدرها من الزبدة التي أكلناها قبل يومين، يمكن أن تُدمج في أغشيةَ الخلايا الجديدة وفي مخاط المعدة، لكي تستبدل الخلايا التي هُدمت. وكذلك الأمر بالنسبة لمكوِّنات أخرى في الخلايا.

سؤال د -12:
نسمِّي عادةً الكبد "مصنع الجسم". اشرحوا السبب.

سؤال د -13:
عندما نمضغ خبزًا مدة طويلة، فإننا نشعر بطعم حلو في الفم؟ اشرحوا السبب.

سؤال د-14:
أ. بعد أن نأكل وجبة دسمة، فإننا نشعر بشبع. من أي قسم في الجهاز الهضمي ينتقل ، بحسب رأيكم، هذا الشعور؟ اشرحوا.
ب. لماذا نشعر بالتعب بعد أن نتناول وجبة دسمة؟

سؤال د-15:
يساهم كل من الفتحة الفؤادية للمعدة والبواب، الموجودان في مدخل المعدة وفي الخروج منها، في الحفاظ على الظروف الخاصة السائدة في المعدة. اشرحوا، كيف.

سؤال د-16:
ما هي أفضلية مساحة السطح الخارجي الكبيرة للأمعاء الدقيقة؟ تطرقوا إلى العمليات الأساسية التي تحدث في الأمعاء؟

سؤال د - 17:
أيّ أقسام في الجهاز الهضمي تشترك في الحفاظ على توازن الماء في الجسم؟ في أي حالات يحدث تشويش في عملها؟

سؤال د - 18:
بماذا يختلف مبنى الأمعاء الدقيقة عن مبنى الأمعاء الغليظة؟

سؤال د-19:
توجد علاقة مشاركة من نوع تكافل بين البكتيريا في الأمعاء الغليظة وبين الإنسان. ما هي الفائدة التي يَجْنيها كل واحد من الشريكين؟

سؤال د -20:

ما هي أفضلية "توزيع الوظائف" على المناطق المختلفة في الجهاز الهضمي؟

سؤال د -21:

إذا أُصيب شخص في الجهاز الهضمي، فإنّه يستطيع أن يعيش سنوات كثيرة بمساعدة تغذية الجسم مباشرةً إلى الدم بمحلول مواد غذائية (انفوزيا). كيف "يجتاز" هذا العلاج الحاجة إلى الجهاز الهضمي؟ ما هي المواد التي يحويها محلول الانفوزيا؟

سؤال د-22:

استعينوا بالرسمة د - 14، ثم صفوا الأغشية التي تمر عبرها مواد غذائية من أنبوب الهضم حتى وصولها خلايا الجسم.

سؤال د-23:

وجبة الطعام لعائلة وسام تشمل أرز كامل مع عدس، ستيك دجاج وسلطة خضروات.

أ. ما هي مكوِّنات الغذاء الأساسية في كل نوع طعام؟

ب. حضِّروا في دفاتركم جدولًا بحسب المثال الآتي، ثم لخصوا فيه مراحل التحليل (الآلي والإنزيماتي) للمكوِّنات التي ذكرتموها في القسم الأول من السؤال، وعملية استيعابها وعمليات التنظيم التي تشترك في مراحل الهضم المختلفة.

ج. اكتبوا عنوانًا للجدول.

العضو في الجهاز الهضمي	تحليل آلي	تحليل كيميائي			استيعاب	آليات التنظم التي تعمل
	يتم بواسطة	مكون الغذاء الأساسي	الإنزيم المحلِّل	ناتج التحليل	يوجد / لا يوجد إنْ وُجِدَ، ما الذي يتم امتصاصه؟	عصبي / هورموناني
فم						
بلعوم						
معدة						
أمعاء دقيقة						
أمعاء غليظة						

د4. الهضم في الحيوانات المجترة

كلنا نعرف الماعز والجمال التي تجوب الصحراء والتي تتغذى بالأساس على أشواك جافة تحتوي على كميات كبيرة من الألياف التي يصعب هضمها. وربما سمعتم عن أبقار في مناطق نائية في الهند، تتغذى على نفايات الورق في الشوارع. فكروا أيضًا في حيوانات مجترة ذات وزن كبير تتغذى فقط على نباتات صعبة الهضم، مثل: أبقار المراعي التي يصل وزنها 400 - 500 كغم، جرافة وزنها 800-1200 كغم، الجاموس الإفريقي 800-900 كغم أو جَمل 400-500 كغم.

ما رأيكم، كيف يساعد هذا الغذاء "الفقير" هذه الحيوانات الكبيرة جدًا أن تعيش وتُنْتِج حليبًا؟

الخس هو مثال لغذاء نباتي مكون من أوراق. لو تغذى الإنسان على الخس فقط، لكان يجب عليه أن يأكل حوالي 11 كغم خس في كل يوم لكي يزوِّد احتياجاته للطاقة فقط، دون أن نأخذ بالحسبان احتياجات غذائية إضافية. (من كل 100 غرام خس، يستخرج الإنسان حوالي 18 كالوري. معدل الطاقة التي يحتاجها الإنسان العادي حوالي 2000 كالوري في اليوم).

بقرة المرعى التي تزن حوالي 500 كغم، تحتاج حوالي 15,000 كالوري في اليوم. لو افترضنا أن البقرة تتغذى فقط على عشب فيه سُعرات حرارية مماثلة للخس، لكان يجب عليها أن تأكل حوالي 83 كغمًا خسًا في كل يوم !!!

بقرة المرعى التي تزن حوالي 500 كغم، تأكل حوالي 40-60 كغم أعشاب طازجة أو حوالي 17-20 كغم أعشاب جافة في كل يوم.

سؤال د -24:

ما هو المكوِّن النباتي الأساسي في الخس الذي لا يُهضم في الجهاز الهضمي عند الإنسان؟ ما هو مصير هذا المكون الأساسي في نهاية عملية الهضم عند الإنسان؟

لو كانت محدودية الهضم عند الحيوانات المجترة وآكلات نباتات أخرى مماثلة للإنسان، لاحتاجت هذه الحيوانات إلى كميات كبيرة جدًا من الغذاء وإلى مساحات مراعٍ كبيرة جدًا. في هذا البند، نتعرف على مبنى جهاز الهضم الخاص عند الحيوانات المجترة، ونبيِّن، كيف يساعد جهاز الهضم على استغلال أغذية غنية بالألياف وصعبة الهضم؟ وكيف تكتفي بأغذية فقيرة في البروتينات؟

د1.4 مبنى وأداء الجهاز الهضمي في الحيوانات المجترة

تستطيع الحيوانات المجترة أن تستهلك كميات غذاء كبيرة جدًا خلال وقت قصير وأن تستمر في معالجته بعد مرور زمن كبير منذ تناوله. حجم الجهاز الهضمي عند الحيوانات المجترة كبير جدًا وهو يشكل حوالي 25%-35% من وزن الحيوان المجتر البالغ. وللمقارنة، يشكل الجهاز الهضمي في الأنسان حوالي 8% من وزنه. في الجهاز الهضمي عند الحيوانات المجترة، يوجد مكوِّن خاص وهو **نظام الأقسام** الذي يشكل 60%-70% من حجم الجهاز الهضمي. يساعد هذا الجهاز على معالجة كميات كبيرة من الغذاء وعلى حدوث عمليات هضم خاصة وامتصاص قسم من نواتج الهضم.

البلعوم، الأثنى عشر، الأمعاء الدقيقة، الأمعاء الغليظة، الزائدة الدودية،كيس المرارة، الكبد وبنكرياس الحيوانات المجترة، جميعها تشبه مبنى وأداء أعضاء الجهاز الهضمي عند الإنسان. ووظيفة الفم في الحيوانات المجترة تشبه وظيفة الفم عند الإنسان، لكن مبنى الفك وشكل الأسنان عند الحيوانات المجترة ملائم للغذاء النباتي (انظروا بند د 1.2، صفحات 96 - 98).

سؤال د -25:

ما الذي يميِّز مبنى الأسنان ومبنى الفك عند آكلات النباتات؟ كيف تتلاءم مع أدائها؟ يمكنكم الاستعانة بالرسمة د - 7.

الاجترار ...

كما ذكرنا، تستهلك الحيوانات المجترة كميات كبيرة من الغذاء خلال فترة زمنية قصيرة. في المضغ الأولي للغذاء، تَنْتُج كرات من الغذاء فيها كمية لُعاب كبيرة تحتوي على أملاح معدنية كثيرة. تدخل كرات الغذاء بمساعدة الحركة ال .... للبلعوم إلى القسم الأول من الجهاز الهضمي الذي نسمِّيه كرشًا. الغذاء المخزون في الكرش، يتم دفعه إلى الفم بوجبات صغيرة، لكي يتم مضغه مرة أخرى لمدة طويلة وأساسية أكثر من الأولى، من خلال إفراز كمية لُعاب كبيرة.

دفع الغذاء إلى الفم وتشبيعه باللعاب ومضغه مرة أخرى نسمِّيه **اجترارًا** وهو يتم بواسطة عكس الحركة البريستالتية في البلعوم. يساعد الاجترار على الهضم الأساسي والناجع للغذاء. البقرة التي تُدر حليبًا، تفرز كمية لُعاب في اليوم الواحد حوالي 75 إلى 150 لترًا في اليوم. بَعد المضغ الثاني، يتم ابتلاع الغذاء المشبع باللعاب ويعود إلى الكرش كقطع غذاء صغيرة وهكذا تزداد نجاعة التحليل. يبقى الغذاء في الكرش حوالي 9 إلى 12 ساعة. قِطع الغذاء التي من الصعب مضغها، قد تبقى مدة زمنية أطول تصل إلى 24-48 ساعة.

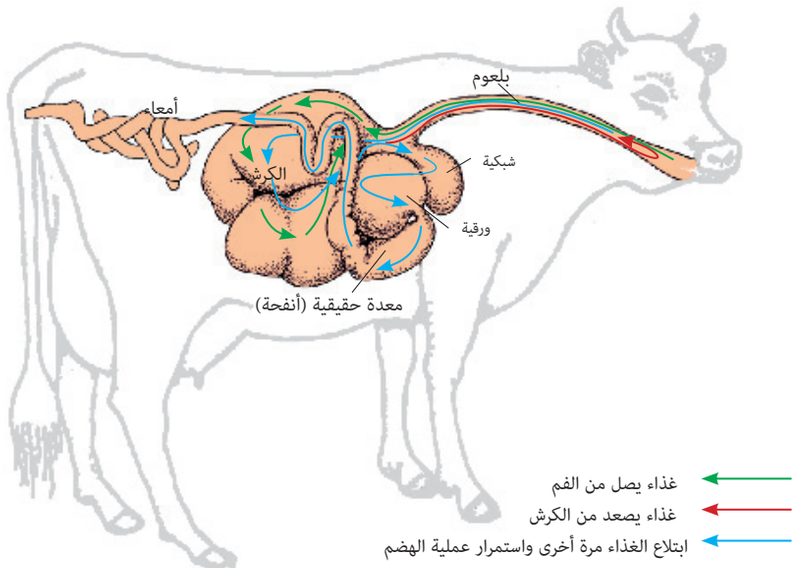
الاجترار يكسب الحيوانات المجترة أفضلية من ناحية النشوء والارتقاء، لأنها تستطيع أن تأكل بسرعة كميات كبيرة من الغذاء دون أن تبقى مدة زمنية طويلة في مكان، قد تكون فيه حيوانات مفترسة تشكل عليها خطرًا.

نظام أقسام الهضم عند البقرة

نتعرف على نظام أقسام الهضم عند البقرة (الرسمة د - 17) كمثال للنظام الموجود عند معظم الحيوانات المجترة. هذا النظام مكوَّن من أربعة أقسام. تُسمَّى هذه الأقسام باللغة الشعبية **جهاز المعدات** (على الرغم من أن ثلاث منهنَّ ليست معدات كما نوضح ذلك فيما بعد). الأقسام هي: الكرش، الشبكية، الورقية ومعدة حقيقية أو الأنفحة (معدة عصارات).

الكرش هو القسم الأول في تسلسل تدفق الغذاء وهو الأكبر من بين أقسام الهضم. قد يصل حجم كرش البقرة حتى 25%-35% من حجم جسمها (حوالي 100-150 لترًا وأكثر). هذا عضو عضلي يقوم بخلط الغذاء وفيه عشيرة هائلة ومتنوعة من الكائنات الحية الدقيقة، مثل: البكتيريا، كائنات حية أحادية الخلية وفطريات. على الرغم من أن خلايا الكرش لا تفرز إنزيمات هضم، إلا أنه تبدأ فيها عمليات تحليل كيميائية للغذاء وتتم فيها عمليات امتصاص أيضًا.

الكرش ملائم للامتصاص بفضل آلاف البروزات الغنية بأوعية الدم (حلمات) الموجودة على الجدار الداخلي للكرش (الرسمة د - 17).



الرسمة د -17: على اليمين: مبنى جهاز هضم البقرة. **على اليسار:** حلمات في الكرش.
انتبهوا إلى الأسهم التي تصف مسار الغذاء في جهاز هضم البقرة.

كيف يحدث تحليل كيميائي للغذاء في الكرش، على الرغم من أن خلايا الكرش لا تفرز إنزيمات هضم؟ ما هي المواد التي تُمتص فيه؟ ما هو "سر" الحيوانات المجترة الذي يساعدها أن تعيش على الأعشاب فقط؟
فيما بعد، نتعلّم بشكل مفصّل عن خاصية عمليات الهضم في الكرش وعن العمليات الأيضية (تبادل المواد) الخاصة في الحيوانات المجترة.
تنتقل سوائل الكرش التي في داخلها قسم من الكائنات الحية الدقيقة وغذاء غير مهضوم ونواتج هضم لم تُمتص في الكرش، إلى الأقسام الآتية بواسطة انقباض عضلات الكرش.

الورقية والشبكية — في هذان القسمان، تتم عمليات تحليل قليلة فقط. يدفع انقباض الشبكية سوائل الكرش، الكائنات الحية الدقيقة وقطع الغذاء إلى الورقية المبنية من ورقات ذات حلمات امتصاص. تمتص الحلمات إلى تيار الدم كل من الماء، الآمونيا ونواتج مرافقة لعملية الكائنات الحية الدقيقة التي تذوب في الماء.
المعدة الحقيقة هي القسم الذي تنتقل إليه بقايا الغذاء الذي لم يتم هضمه حتى الآن بالإضافة إلى كائنات حية دقيقة.
أُعطيت التسمية "معدة حقيقية" إلى هذا القسم بسبب التشابه بين العمليات التي تحدث فيها وبين العمليات التي تحدث في معدة الإنسان. المعدة الحقيقة أصغر من الأقسام السابقة ودرجة الحامضية **(pH)** فيها من 3-4. في هذا القسم، يبدأ الهضم بواسطة إنزيمات تُفرز من جدار المعدة كما هو الأمر في الجهاز الهضمي عند الإنسان. بعد أن يبقى معجون الغذاء في المعدة الحقيقة، ينتقل معجون الغذاء الذي يحتوي على كائنات حية دقيقة أيضًا إلى امتداد الأنبوب الهضمي: الأمعاء الدقيقة والأمعاء الغليظة.

الأثنى عشر والأمعاء الدقيقة

طول الأثنى عشر في الحيوانات المجترة يشبه طول الأثنى عشر عند الإنسان بشكل نسبي لكبريهما، أما طول الأمعاء الدقيقة في الحيوانات المجترة أطول من طول الأمعاء الدقيقة عند الإنسان (يصل في الأبقار إلى حوالي 20 - 25 مترًا)، لكنه يشبهه بالمبنى وبالعمليات التي تحدث فيه. تستمر في الأمعاء عملية التحليل الإنزيماتية. يتم تحليل البروتينات، الليبيدات والكربوهيدرات بمساعدة إنزيمات تُفرز من البنكرياس إلى

الأثنى عشر ومن الخلايا الموجودة في جدار الأمعاء.
كما هو الأمر عند الإنسان، فإنَّ عصارات المرارة التي تَنْتُج في الكبد، تُحلِّل بشكل آلي الليبيدات وهكذا تزيد من نجاعة التحليل الإنزيماتي لليبيدات. تتحلَّل في الأمعاء الدقيقة بروتينات ومتعددات السكريات التي مصدرها في الكائنات الحية الدقيقة ذاتها ومواد لم تُهضم في الكرش. في الأمعاء الدقيقة، يتم امتصاص نواتج تحليل الغذاء، مثل: الحوامض الأمينية، الحوامض الدهنية، الفيتامينات والأملاح المعدنية وكميات قليلة من الجلوكوز. تُنقل نواتج التحليل التي يتم استيعابها بواسطة الليمفا والدم إلى الكبد. ومن الكبد تصل نواتج التحليل بواسطة جهاز الدم إلى جميع خلايا البقرة.

الأمعاء الغليظة

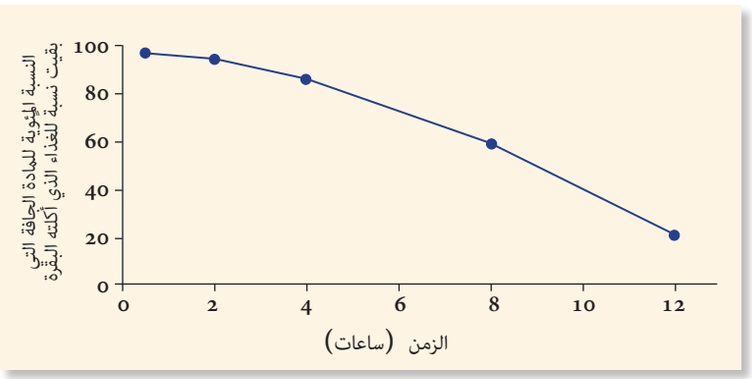
كما هو الأمر عند الإنسان، ففي الأمعاء الغليظة في البقرة أيضًا، تعمل كائنات حية دقيقة وهي تفرز إنزيمات تقوم بتحليل غذاء وبقايا خلايا كائنات حية دقيقة. لكن العمليات التي تحدث في الأمعاء الغليظة، يوجد لها معنى غذائي ثانوي من الناحية الكمية بسبب الحجم الصغير للأمعاء وقدرته المحدودة على الامتصاص. كما هوالأمر عند الإنسان، في الأمعاء الغليظة في البقرة، يتم امتصاص الأيونات (صويوم وبوتاسيوم) بنجاعة وفي أعقابها الماء.

د 2.4 العمليات الخاصة التي تحدث في الكرش

خلايا الكرش لا تُفرز إنزيمات. إضافةً إلى ذلك، في فحص الإنزيمات التي تفرزها خلايا البقرة في سائر أعضاء الجهاز الهضمي، لم نجد إنزيمات قادرة على تحلِيل الألياف (سيلولوز وهيميسيلولوز - متعدد سكريات إضافي موجود في جدران خلايا النبات) التي تشكل مكوِّنًا مركزيًا في جدران خلايا النباتات. يتحلل معظم الغذاء الذي تأكله البقرة في الكرش (بين 40% إلى 80%) بفضل مليارات **الكائنات الحية الدقيقة** التي تعيش فيها وتُنْتِج وتُفرز عدد كبير من الإنزيمات. الإنزيمات المهمة من بين هذه الإنزيمات هي **السيلولوزات** (تُحلل سيلولوز) **وهيميسيلولوزات** (تُحلل هيميسيلولوز). تتحلل الألياف من خلال تحليل متعدد المراحل حتى وحدات البناء التي تبنيها وهي سكريات أُحادية. الكائنات الحية الدقيقة تُنْتِج وتُفرز **عميلازات** وبروتوئازات في الكرش. إضافةً إلى السكريات الأحادية، يؤدي تحليل جدار الخلية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في الكرش إلى اطلاق مواد أخرى موجودة داخل الخلية النباتية.

سؤال د -26:

قاس باحثون، في كرش بقرة، تغيُّرات النسبة المئوية للمادة الجافة التي بقيت من غذاء نباتي أكلته البقرة، وقد تمَّ القياس خلال فترة زمنية معينة. عرضنا نتائج التجربة في الرسمة د - 18.



الرسمة د -18: النسبة المئوية للمادة الجافة التي بقيت من الغذاء (الذي تمَّ أكله) خلال بقائه في الكرش.

أ. صفوا التغيُّرات التي حدثت في النسبة المئوية للمادة الجافة في الغذاء (الذي تمَّ أكله) خلال مكوثه في الكرش. اشرحوا هذه التغيُّرات.

ب. ما هو، بحسب رأيكم، مصير أحاديات السكر التي نَتَجت من تحليل متعددات السكريات الذي نفَّذته الكائنات الحية الدقيقة في الكرش؟

"اختفاء" أحاديات السكر

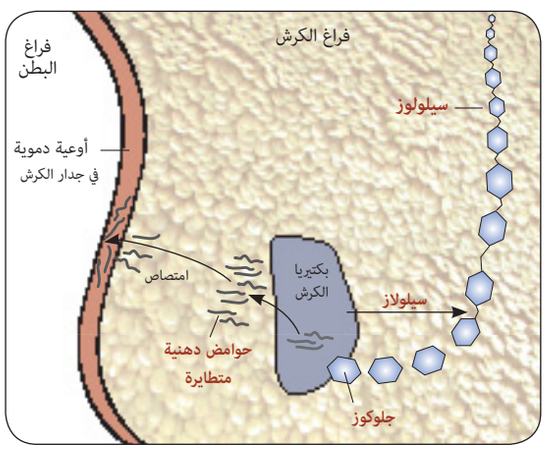
بالموازاة لإنخفاض محتوى الألياف في الكرش نتيجةً لتحليلها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، نتوقع أن يطرأ ارتفاع في تركيز أحادي السكر المتوافر للبقرة، لكن الأمر ليس كذلك.

جميع أحاديات السكر، بما في ذلك الجلوكوز الذي يَنْتُج من تحليل الألياف، ومتعددات السكريات الأخرى التي تمَّ تحليلها مثل النشا، لا تُمتص في كرش البقرة بل تُمتص بواسطة الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الكرش.

في خلايا الكائنات الحية الدقيقة، تتحول معظم أحاديات السكر إلى جلوكوز. وهو يُستعمل لبناء مواد مختلفة في أجسامها ولاستخراج الطاقة المطلوبة لبقاء وتكاثر الكائنات الحية الدقيقة. يتم استخراج الطاقة من الجلوكوز داخل خلايا الكائنات الحية الدقيقة خلال عملية **التخمر** التي تعتبر عملية لا هوائية.

للمزيد عن
التخمر وعمليات استخراج الطاقة في الخلايا:
انظروا الفصل الخامس في بند هـ 3.4, صفحات 150-156 .

في عملية التخمر، لا يتحلل الجلوكوز بشكل كامل وهذا عكس التنفس الخلوي الهوائي. نجد بين نواتج التخمر حوامضًا دهنية قصيرة متطايرة فيها كميات طاقة كبيرة جدًا. تُفرز الحوامض الدهنية المتطايرة من خلايا الكائنات الحية الدقيقة إلى الكرش وهي تُمتص بسهولة عبر جدار الكرش إلى جهاز دم الحيوان المجتر، ومن هناك إلى جميع خلايا الجسم، كما نرى ذلك في الرسمة د - 19.



الرسمة د -19: تحليل سيلولوز بواسطة إنزيمات بكتيريا (سيلولاز) وامتصاص الحوامض الدهنيةالمتطايرة في كرش الحيوان المجتر.

تُستعمل الحوامض الدهنية المتطايرة في خلايا الحيوان المجتر لاستخراج الطاقة خلال عملية التنفس الخلوي الهوائي وكمادة خام لبناء دهنيات، سكريات وبروتينات. الغازات، ثاني أكسيد الكربون والميثان التي هي نواتج عملية التخمر في الكائنات الحية الدقيقة تُفرز إلى الكرش. تُبعد الغازات بواسطة تفهقات ونفخ، أو أنها تُستوعب إلى الدم وتُفرز خلال التنفس.

نلاحظ أن الحيوانات المجترة لا تتغذى على أحاديات السكر التي تحصل عليها نتيجةً لتحليل الألياف الموجودة في الغذاء، بل تتغذى على الحوامض الدهنية المتطايرة التي تُفرز كنواتج مرافقة لعملية استخراج الطاقة (التخمر) في خلايا الكائنات الحية الدقيقة. تساهم الحوامض الدهنية المتطايرة حوالي 60% من مجمل الطاقة التي يستخرجها الحيوان المجتر من الغذاء! أما باقي الطاقة التي نسبتها 40% ، فتزودها مكونات الغذاء التي "تملصت" من تحليل إنزيمات الكائنات الحية الدقيقة، أو أنها لا تتحلل في هذه الظروف، ومن مكونات الكائنات الحية الدقيقة ذاتها. يتم تحليل مكوِّنات هذين المصدرين بواسطة إنزيمات تُفرز من الجهاز الهضمي للحيوان المجتر وتُستغل نواتج التحليل للنشاطات الحياتية للحيوان المجتر. يَنْتُج من ذلك أن البقرة تتغذى من الكائنات الحية الدقيقة ذاتها أيضًا.

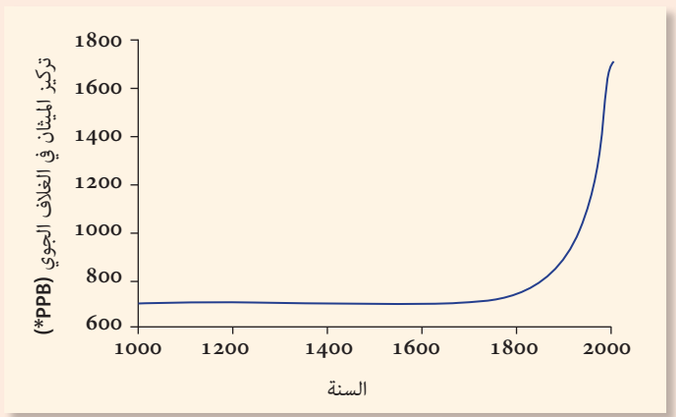
سؤال د -27:

في عملية التخمر التي تتم في الكرش بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، تُفرز إلى الكرش نواتج مرافقة مختلفة، مثل: حوامض دهنية متطايرة وغاز الميثان. يستغل الحيوان المجتر الحوامض الدهنية المتطايرة، أما غاز الميثان، فإنه ينطلق إلى خارج جسم الحيوان المجتر دون استغلال.
اشرحوا العبارة الآتية:
"الحقيقة أن غاز الميثان يُستعمل كغاز للاحتراق هي برهان لذلك أن عملية التخمر هي عملية غير ناجعة للكائن الحي (من ناحية الطاقة)".

قليلًا من المعلومات ...

أبقار، كائنات حية دقيقة وارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية

عملية التخمر التي تحدث في خلايا الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في كرش البقرة، يوجد لها جانب بيئي أيضًا. غاز الميثان(CH_4) الذي يَنْتُج في هذه العملية يُشكل حوالي 14% من غازات الدفيئة (معظمها ثاني أكسيد الكربون) التي تعتبر من المواد الأساسية المسؤولة عن ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي حول الكرة الأرضية.



الرسمة د -20: ارتفاع تركيز الميثان في الغلاف الجوي خلال السنوات المختلفة
PPB* هي قيمة تُشير إلى التركيز النسبي لمادة معينة تُشكِّل وحدة واحدة من بليون (مليارد) وحدة تمَّ فحصها

ينبعث الميثان إلى الغلاف الجوي نتيجةً لعملية التخمر في الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في أكوام تحتوي على روث الحيوانات. من الجدير بالمعرفة أن جمع المعطيات حول مكونات غازات الغلاف الجوي قبل ألف سنة، تمَّ بواسطة فحص فقاعات هواء كانت محصورة في جليد عُمره معروف.

ما هو مصدر البروتينات للحيوانات المجترة؟ ⁉

تحتاج جميع الحيوانات إلى بروتينات لكي تزوِّدها بحوامض أمينية تحتاجها لبناء بروتينات في أجسامها ولبناء مواد تُنْتجها مثل الحليب.
كما تعلَّمنا، تتغذى الحيوانات المجترة في الطبيعة على غذاء نباتي ليس غنيًا بالبروتينات كما هو الأمر في غذاء

الحيوانات المفترسة. تعيش الحيوانات المجترة في مناطق فيها غذاء قليل بشكل خاص، مثلًا: الجمال التي تعيش في الصحراء. كيف، إذن، تزوِّد الحيوانات ذاتها بنقص البروتينات في غذائها؟ مصادر الحوامض الأمينية التي تستخدمها الحيوانات المجترة لبناء البروتينات تختلف عن تلك المناسبة لحيوانات أخرى.
فقط 30%-40% من الحوامض الأمينية التي تستخدمها الحيوانات المجترة مصدرها من البروتينات الموجودة في الغذاء (لم يتم تحليلها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة). المصدر الأساسي للحوامض الأمينية التي تستعملها الحيوانات المجترة هو بروتين البكتيريا. **بروتين البكتيريا** هو تسمية لجميع البروتينات التي تبني الكائنات الحية الدقيقة، من بينها الإنزيمات، بروتينات الغشاء وببتيدات في الجدار.

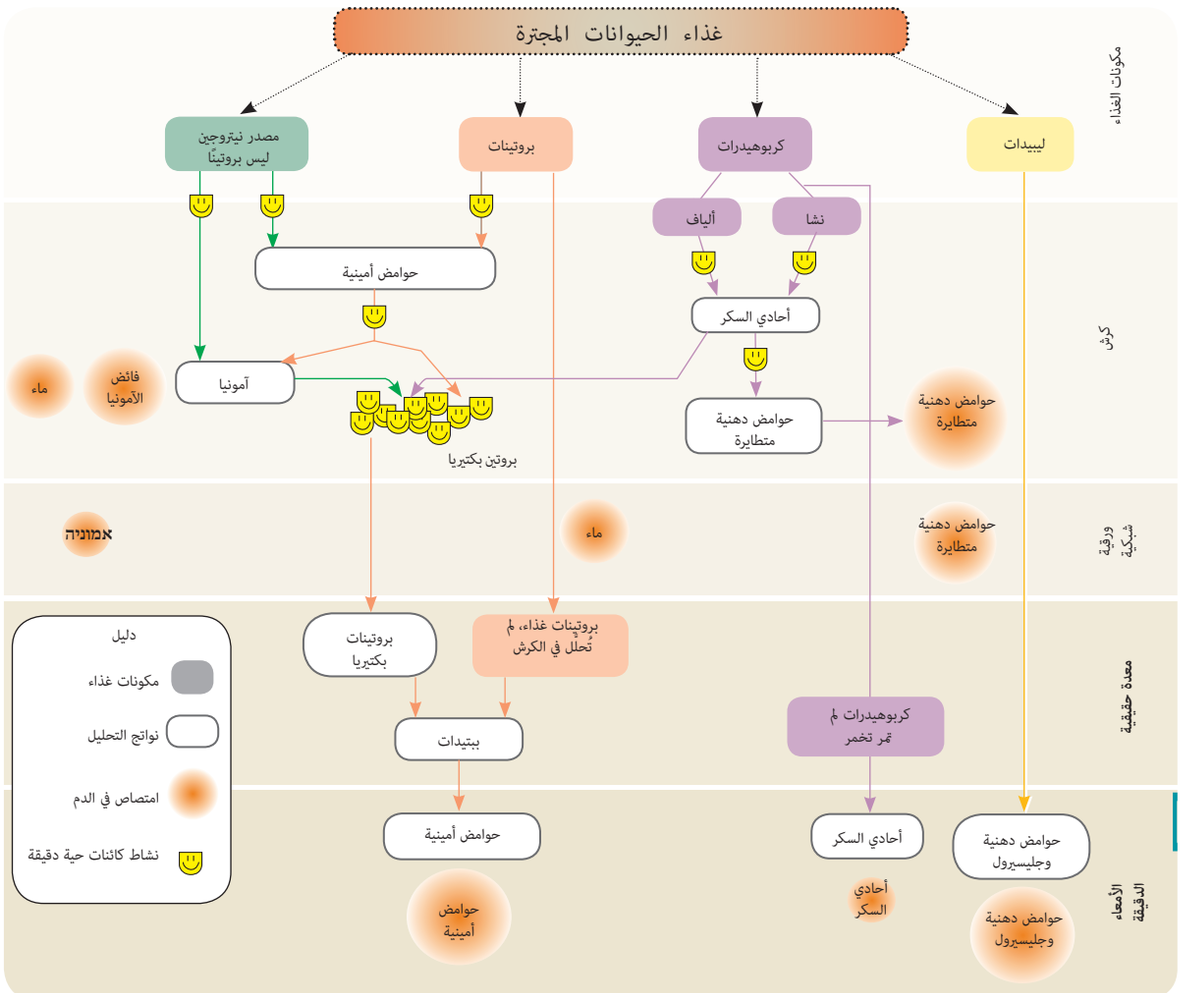
ينتقل قسم من الكائنات الحية الدقيقة التي تتكاثر في الكرش مع معجون الغذاء من الكرش وتصل المعدة الحقيقية للحيوان المجتر. في كل يوم ينتقل بين 2 إلى 5 كغم مادة جافة من الكائنات الحية الدقيقة، حيث يكون 45%-60% منه بروتينات. يَنْتُج من ذلك أن الكائنات الحية الدقيقة وعلى الأغلب البروتينات الموجودة فيها تشكل غذاءً للحيوان المجتر العائل لها. على الرغم من انتقال الكائنات الحية الدقيقة من الكرش إلى سائر أعضاء جهاز الهضم، إلا أن تعداد عشيرة البكتيريا في الكرش يبقى ثابتًا تقريبًا، وذلك بفضل وتيرة تكاثرها العالية.

يتم بناء بروتينات البكتيريا من مصدرين أساسيين (الرسمة د - 21):
أ. **بروتينات في غذاء البقرة:** تتحلل هذه البروتينات بواسطة الإنزيمات بروتوئازات التي تفرزها الكائنات الحية الدقيقة. تمتص البكتيريا الحوامض الأمينية الناتجة في عملية التحليل لبناء البروتينات.
ب. **مركبات نيتروجينية ليست بروتينات:** تحتوي الكائنات الحية الدقيقة في الكرش على إنزيمات خاصة تقوم بإنتاج جميع الحوامض الأمينية من **مركبات النيتروجين التي ليست بروتينات**، مثلا: الآمونيا (NH_3)، من خلال استعمال هيكل كربوني يَنْتُج من تحليل الهيدروكربونات الذي تقوم به الكائنات الحية الدقيقة.

مدورة النيتروجين في الحيوانات المجترة
تحلِّل الكائنات الحية الدقيقة البروتينات الموجودة في غذاء الحيوانات المجترة، وخلال هذا التحليل، تَنْتُج مواد مرافقة من بينها الآمونيا الذي تستخدمه الكائنات الحية الدقيقة كمصدر لبناء البروتينات الموجودة فيها. فائض الآمونيا الذي لا يُستغل في الكرش لإنتاج بروتينات البكتيريا، يُمتص إلى الدم ويتحول في الكبد إلى يوريا ويُضاف إلى اليوريا التي تَنْتُج في جسم البقرة نتيجةً للعمليات الأيضية التي تتم على بروتينات الجسم. يمر قسم من اليوريا عبر الكليتين وهو يُفرز في البول وهكذا تتم خسارة النيتروجين الموجود في جزيئات اليوريا بشكل مطلق. وينتقل قسم آخر من اليوريا عبر الكبد إلى الدم ومن هناك يُنقل إلى الكرش. تحلل الكائنات الحية الدقيقة، الموجودة في الكرش، اليوريا إلى آمونيا وتستخدمه كمادة بناء أساسية لإنتاج بروتيناتها - بروتين البكتيريا. تعتبر عملية مدورة النيتروجين (من اليوريا) سر نجاح بقاء الحيوانات المجترة في ظروف تغذية فقيرة في البروتينات وفي ظروف حياة قاسية وصعبة.

بروتينات البكتيريا وبروتينات من الغذاء التي لم تحلِّلها البكتيريا في الكرش، تُنقل إلى المعدة الحقيقية وهناك تحلِّلها البروتوئازات (كما هو الأمر عند تحليل البروتينات في معدة الإنسان). يستمر تحليل البروتينات إلى حوامض أمينية في الأمعاء الدقيقة أيضًا.
الحوامض الأمينية، نواتج تحليل البروتينات في المعدة الحقيقة ونواتج تحليل بروتينات البكتيريا - تُمتص جميعها في الأمعاء الدقيقة إلى تيار الدم وبواسطته تصل إلى جميع خلايا جسم الحيوان المجتر.

تلخص الرسمة د - 21 العمليات المركزية التي تحدث في الجهاز الهضمي عند الحيوانات المجترة .



الرسمة د-21: عمليات الهضم الأساسية في الحيوانات المجترة

انتبهوا: يعبِّر التقاء الأسهم من الآمونيا، أحادي السكر، والحوامض الأمينية عن بناء بروتين البكتيريا من حوامض أمينية و /أو من مصدر نيتروجين ليس بروتينًا ومن هيكل كربوني.

تلخيص، تعيش الكائنات الحية الدقيقة بمشاركة من نوع تكافل مع الحيوانات المجترة. كل مشترك يجني فائدة من هذه المشاركة:

تتغذى الحيوانات المجترة في الطبيعة على أوراق وسيقان فقط، على الرغم من أن جهازها الهضمي مثل سائر الثدييات الأخرى، لا يُنْتِج إنزيمات تهضم الألياف. تتحلل الألياف بواسطة الكائنات الحية الدقيقة. "يستفيد" الحيوان المجتر من النواتج المرافقة لعملية التخمر التي تتم بواسطة الكائنات الحية الدقيقة. بالإضافة إلى ذلك، على الرغم من قلة البروتينات في الغذاء النباتي للحيوانات المجترة، إلا أن الحيوان المجترة تحصل على الحوامض الأمينية من التحليل الذي تنفِّذه الكائنات الحية الدقيقة. كجزء من العمليات الأيضية، تُنْتِج الكائنات الحية الدقيقة فيتامينات من نوع **B**، حيث تمتصها الحيوانات المجترة فيما بعد في أنبوب الهضم. بالإضافة إلى ذلك، تكاثر عشائر الكائنات الحية الدقيقة يمنع في معظم الحالات من تكاثر بكتيريا ضارة في الجهاز الهضمي، وهكذا تساهم الكائنات الحية الدقيقة في الحماية من الأمراض.

يجب التّذكّر أن الكائنات الحية الدقيقة، لا يوجد لها "مصلحة" في تحليل الغذاء لفائدة الحيوانات المجترة. فهي تحلل الغذاء لذاتها لكي تنمو. وهكذا تستغل المواد المغذية الموجودة في غذاء الحيوانات المجترة، بما في ذلك أملاح معدنية ومركبات النيتروجين التي تساعد الكائنات الحية الدقيقة في بناء بروتينات وفيتامينات. تستفيد الكائنات الحية الدقيقة من تزويد مستمر في المواد الخام ومن تصريف النواتج المرافقة التي تَنْتُج خلال قيامها بالعمليات الأيضية (التي هي عبارة عن "فضلات" الكائنات الحية الدقيقة). تُفرز هذه النواتج المرافقة من جسم الكائن الحي الدقيق، حيث يُمتص قسم منها في جدران الكرش والقسم الآخر يستمر في أنبوب الهضم. تُحفظ في الكرش عادةً ظروف ثابتة لدرجة الحرارة ومجال ضيق لل **pH**. الحفاظ على مجال ثابت للظروف مهم جدًا لنشاط الكائنات الحية الدقيقة الإنزيماتية التي تعتبر ضرورية لبقاء الكائنات الحية الدقيقة وتكاثرها.

سؤال د -28:

أ. الـ **pH** في معدة الإنسان منخفض (1.7-3) وهذا يعني حامضي. ما هي أهمية ذلك؟

ب. ماذا يحدث لو كان الـ **pH** في كرش البقرة يشبه الـ **pH** في الإنسان؟ عللوا ادعاءاتكم.

سؤال د -29:

يؤدي النقص الملحوظ في البروتينات أو بمركّبات النيتروجين، مثل: الآمونيا أو اليوريا، في غذاء البقرة أو الكرش، إلى تباطؤ في عملية تحليل جميع أنواع الكربوهيدرات. اشرحوا هذه الظاهرة.

سؤال د -30:

في تجربة معينة، تغذت أبقار على أوراق صحف مع إضافات غذائية. نمت الأبقار جيدًا ودرت حوالي 20 لترًا من الحليب في اليوم الواحد.

أ. اشرحوا، لماذا يمكن استغلال ورق الصحف كمكوِّن أساسي في تغذية البقرة؟

ب. ما هي الإضافات الغذائية التي يجب إضافتها إلى البقرة التي تتغذى على ورق الصحف؟

سؤال د -31:

أمامكم قائمة صفات: أنياب طويلة وحادة، فك قوي حركته عمودية (كالمقص)، وجود كائنات حية دقيقة تُحلِّل السيلولوز في الجهاز الهضمي، أمعاء دقيقة قصيرة، فك يتحرك بشكل عرضي. جدوا الصفات التي تميِّز ثدييات نباتية والصفات التي تميِّز ثدييات مفترسة.

سؤال د -32:

قارنوا بين مبنى ووظيفة الجهاز الهضمي عند الإنسان والحيوانات المجترة. تتطرقوا إلى:

أ. مبنى الجهاز.

ب. القدرة على تحليل السيلولوز.

ج. المواد التي تُستعمل لاستخراج الطاقة.

د. المواد التي تُستعمل كمصدر مواد بناء أساسية للبروتينات.

سؤال د -33:

أبقار الحليب التي تُعالج بالمضادات الحيوية عبر الفم، تعاني أحيانًا من صعوبات في الهضم ومن انخفاض في إنتاج الحليب. اشرحوا.

سؤال د -34:

اشرحوا الادعاء الآتي: تتغذى الحيوانات المجترة على النباتات، لكنها تتغذى بالأساس على نواتج العمليات الأيضية للكائنات الحية الدقيقة التي تعيش داخل جهازها الهضمي.

سؤال د -35:

لإنتاج الحليب، تحتاج البقرة إلى كمية كبيرة من المواد الخام لبناء بروتينات - حوامض أمينية. صفوا ثلاثة مسارات مختلفة بواسطتها تحصل البقرة على الحوامض الأمينية التي تحتاجها لبناء بروتينات.

سؤال د -36:

يتغذى الإنسان على حليب ولحم الأبقار. الطاقة الموجودة في الغذاء مصدرها من الشمس. صفوا مراحل هذه السلسلة الغذائية بحسب التغيُّرات والانتقال الكيميائي الذي يحدث فيها.

توسع

الهضم في حيوانات نباتية غير مجترة

الثديات غير المجترة التي تتغذى على نباتات، مثل: الأرانب، الوبر والحصون، يوجد لها معدة مكوَّنة من قسم واحد، وهذا يعني لا يوجد لها كرش. يتم تحليل متعددات السكريات (بالأساس ألياف) الموجودة في الغذاء النباتي في أعضاء أخرى تشبه الكرش، وفيها كائنات حية دقيقة قادرة على تحليل الألياف. في الأرانب يتم ذلك في الأمعاء الزائدة بالأساس (القسم الأول والواسع في الأمعاء الغليظة)، وفي الحصان يتم في الأمعاء الغليظة والزائدة الدودية أيضًا. تقع هذه الأعضاء بعد المعدة والأمعاء الدقيقة، لذا الكائنات الحية الدقيقة التي تموت لا تُستغل مباشرةً كمصدر لمكونات الغذاء كما هو الأمر في الحيوانات المجترة، بل تُفرز خارج الجسم مع البعر (الروث). يتغذى قسم من الحيوانات النباتية عادةً على البعر، وهكذا تستغل فيتامينات وبروتينات الكائنات الحية الدقيقة. في الحشرات النباتية، مثلًا: حشرة الأرَضة آكلة الأشجار، يوجد مشاركة مع بكتيريا تحلِّل الألياف الموجودة في جهازها الهضمي.

د5. نجاعة التغذية في بقرة الحليب

تحتل إسرائيل رقمًا قياسيًا عالميًا في إنتاج الحليب: بمعدل 12,000 لتر حليب للبقرة الواحدة في السنة (2010). يجب تقدير هذا الإنجاز الخاص، بسبب الإنتاج العالي الذي يتم في ظروف بيئية محيطة وأقليمية صعبة جدًا. يمكنكم تقدير هذا التحصيل الزراعي الحديث في إسرائيل بناءً على المعطيات الآتية: تَدرُّ البقرة البرية حوالي 4-8 لترات حليب في اليوم الواحد، أما الأبقار التي تنمو في حظيرة حديثة، فإنها تَدرُّ بمعدل 30 لترًا من الحليب في اليوم الواحد.

في بداية القرن الـ 20، كانت تَدرُّ البقرة الواحدة التي تعيش في حظائر إسرائيل حوالي 300–1,000 لتر حليب في السنة. في سنوات الخمسينيات من القرن الـ 20، كانت تَدرُّ البقرة الواحدة في السنة حوالي 3,000-5,000 لتر، وفي بداية القرن الـ 21، أصبح معدل كمية الحليب الذي تَدِرُّه البقرة الواحدة في السنة حوالي 12,000 لتر.

سؤال د -37:

هل يستمر ، بحسب رأيكم، ازدياد إنتاج الحليب في نفس الوتيرة؟ علِّلوا إجاباتكم.

إنتاج الحليب بواسطة بقرة الحليب

يبدأ إنتاج الحليب في ضَرْع البقرة بشكل طبيعي عند اقتراب الولادة، ويستمر كلما كان موجود محفز الرضاعة الذي يقوم به العجل. في قطعان بقر الحليب، في العالَم الغربي، يقوم المزارعون بالفصل بين العجول وأمهاتهم بعد الولادة مباشرة، ويتم تبديل محفز الرضاعة بحلب البقرة من مرتين إلى ثلاث مرات في اليوم وحتى أكثر من ذلك. يتم تسويق الحليب للشرب ولإنتاج مُنْتَجات حليب مختلفة. كمية الحليب التي تَدرُّها البقرة اليوم أكثر من كمية الحليب المطلوبة للعجل ويستمر حلب الأبقار عدة شهور أكثر من زمن الرضاعة المقبول.

العاملان الأساسيان المسؤلان عن إنتاج كمية حليب أكثر عند أبقار المزرعة بالمقارنة مع الأبقار البرية هما: عمليات العناية الوراثية للقطيع المعد للحليب، كمية وجودة الغذاء الذي تتناوله البقرة. في هذا البند، نبحث العامل الثاني فقط، لكن بودنا أن نذكر أنه أثناء عمليات التحسين والرعاية يتم اختيار الأبقار التي تتحلى بالصفات الوراثية الآتية: أبقار تُنْتِج كمية كبيرة من الحليب، لديها شهية كبيرة وقدرة الهضم عندها عالية.

د1.5 أنواع الغذاء لتغذية حيوانات مجترة

تتغذى الحيوانات المجترة في المزرعة على نوعين من الغذاء تختلف عن بعضها بكمية الطاقة التي تحتويها:

غذاء غليظ (خشن)، هو غذاء غني بالألياف ويحتوي عادةً على كمية طاقة قليلة. يتم تحضيره على الأغلب من أوراق وسيقان النباتات. وأحيانًا يحتوي على قشور بذور مجروشة. الأغذية الغليظة هي: العشب الطري، عشب مجفف يحتوي على رطوبة منخفضة، القش (أقسام نبات جاف يبقى بعد الحصاد) وعشب حامض (عشب طري مرَّ بعملية تخمر في ظروف لا هوائية. انخفاض **pH** الغذاء في أعقاب التحميض، يؤدي إلى إبادة البكتيريا الضارة، وهكذا يتم الحفاظ عليه).

الألياف مهمة لتزويد الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في الكرش بالطاقة ولتحفيز الحركة البريستالتية للجهاز الهضمي التي تخلط محتوى الكرش وتُتيح إطلاق الغازات التي تَنْتُج فيها.

غذاء مركّز: هو غذاء فقير بالألياف لكنه غني بالبروتينات، بالدهنيات وبكربوهيدرات سهلة الهضم. يحتوي الغذاء المركّز على كمية طاقة عالية. يتم تحضيره على الأغلب من بذور غنية في النشا، مثل: بذور الشعير، الحنطة، الشمندر، الذرة، السورجوم ومن بذور غنية بالبروتينات والدهنيات، مثل: بذور القطن والكانولا. نستعمل في هذا الفصل المصطلحات التي يستعملها المزارعون حول مكوِّنات النباتات التي تُستعمل للتغذية. عندما نذكر بذور، فإننا نقصد البذور التي تشمل القشرة.

قليلًا من المعلومات...

طعام حلال للحيوانات المجترة في عيد الفصح

يُنتِج كل نوع غذاء في كرش البقرة مستوى حامضية معينة ومكونات مميزة لعشائر كائنات حية دقيقة تحلل المكون الأساسي في نفس نوع الغذاء. يؤدي التغيير في مكونات الغذاء إلى تغيير مستوى الحامضية في الكرش ويؤدي إلى تغيير مكوِّنات عشائر الكائنات الحية الدقيقة. إذا تمَّ تبديل الغذاء بوتيرة سريعة، لا يتوفر وقت كاف لكي تتكون عشيرة الكائنات الحية الدقيقة المناسبة لمكونات الغذاء الجديدة. نتيجةً لذلك، لا يتم هضم نسبة مئوية معينة من الغذاء، لذا يحدث خلل في توازن الطاقة عند البقرة وينخفض إنتاج الحليب.

قبل عيد الفصح بعدة أسابيع، ومن منطلق الحلال، يقوم المزارعون بتبديل الغذاء الذي تحصل عليه الأبقار، من غذاء يحتوي على حنطة، شعير وحبوبيات (مختمرة) إلى غذاء يعتمد على الذرة والسورجوم (التي تعتبر غذاء حلالاً لعيد الفصح).

نوصي إذن البدء بتغيير الغذاء بشكل تدريجي وخلال عدة أسابيع، لأن هناك حاجة إلى الوقت لكي تتكون عشائر الكائنات الحية الدقيقة المناسبة لتحليل الغذاء الجديد.

د 2.5 نجاعة إنتاج الحليب — التوازن الحساس

حتى القرن الـ 20 ، حصلت الأبقار على غذاء غليظ فقط. في بداية القرن الـ 20، اكتشف المزارعون أنه عند إضافة غذاء مركّز إلى غذاء الحيوانات المجترة، فإن ذلك يزيد من وتيرة نمو الأبقار ومن إنتاج حليبها. يؤثر نوع الغذاء المركّز على النسبة بين محتوى الدهنيات والبروتينات في الحليب الذي تُنْتجه البقرة. في المزرعة التي هدفها إنتاج كمية حليب كبيرة تحتوي على دهنيات وبروتينات، من خلال الحفاظ على الأرباح، يجب أن يأخذوا بالحسبان جميع المكونات عند تخطيط الوجبة الغذائية للبقرة. تحوَّل بناء الوجبة الغذائية للبقرة إلى علم. يقضي المزارع اليوم معظم وقته أمام الحاسوب لتخطيط الوجبة الغذائية المناسبة لبقرة الحليب، حيث يأخذ بالحسبان جميع مكونات الغذاء الممكنة وتكلفتها بشكل دقيق، كما أنه يأخذ بالحسبان احتياجات الأبقار وفقًا لوضعها. وجبة غذاء بقرة الحليب مكونة من حوالي 70% من غذاء مركّز ومن حوالي 30% من غذاء غليظ.

أمامكم عدة أمثلة لتحسين نجاعة تغذية بقرة الحليب:

1. تَنْتُج بروتينات الحليب من الحوامض الأمينية التي تُمتص في الأمعاء الدقيقة. كما رأينا، قسمًا كبيرًا من البروتينات المتوافرة للبقرة مصدرها من بروتينات البكتيريا. يَنْتُج من ذلك أن **ازدياد نشاط الكائنات الحية الدقيقة في الكرش** إلى المستوى المثالي يؤدي إلى ازدياد إنتاج بروتينات البكتيريا ويُتيح ارتفاع إنتاج الحليب وجودته. يؤدي إغْناء الوجبة الغذائية بالكربوهيدرات المتوافرة، بالأملاح المعدنية وبمصادر نيتروجين غير بروتينية إلى ازدياد إنتاج بروتينات البكتيريا. بالإضافة إلى ذلك، يؤدي استعمال **مركبات النيتروجين غير البروتينية** (حوامض البول، اليوريا والآمونيا) الموجودة في زبل الطيور، الذي

يعتبر نفايات زراعية، إلى انخفاض تكاليف الغذاء. إضافةً إلى المكوِّنات التي تساهم في ازدياد كمية بروتين البكتيريا، يقوم المزارعون بإغناء غذاء
أبقار الحليب ببروتينات لا تحلّلها الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في الكرش. تتحلّل هذه البروتينات في أمعاء البقرة وهي تُستغل بنجاعة كبيرة جدًا لإنتاج الحليب أيضًا.

2. تحتاج البقرة إلى كمية طاقة كبيرة جدًا لإنتاج الحليب. إذا لم تتوفر طاقة كافية في وجبة الغذاء، فإن البقرة تستخدم مصادر الطاقة المخزونة في جسمها. لكي تحصل البقرة على **غذاء غني في الطاقة**، فمن الأفضل أن نزيد في وجبتها الغذائية من نسبة الغذاء المركّز بسبب الكمية الكبيرة لمكونات الطاقة الموجودة فيه. لكن اتضح أن الألياف التي تكوِّن الغذاء الغليظ تحتاجها البقرة لإنتاج كمية حليب كبيرة. هناك طريقة أخرى لرفع قيمة طاقة الغذاء وهي اغناء الغذاء المركّز بكميات كبيرة من الدهنيات التي قيمة طاقتها أكبر بـ 2.3 أضعاف من قيمة طاقة الكربوهيدرات والبروتينات. لكن اتضح أن كمية دهنيات كثيرة في الغذاء، تؤذي نشاط الكائنات الحية الدقيقة في الكرش. تتحلل الدهنيات إلى جليسيرول وحوامض دهنية ذات سلاسل طويلة، لا تستغلها البكتيريا ولا تُمتص في جدار الكرش. إضافةً إلى ذلك، ترسب الحوامض الدهنية على الألياف وهكذا تمنع من البكتيريا أن تحللها. أحد الحلول اليوم هو إضافة دهنيات لا تحللها الكائنات الحية الدقيقة في الكرش. تُبطل هذه الطريقة تأثيره السلبي، لكن تُتيح تحليله في المعدة الحقيقية وفي الأمعاء كما تُتيح امتصاصه. هذه الدهنيات يسمِّها مختصو التغذية "دهنيات محمية".

3. الألياف هي مكون ضروري لنشاط البكتيريا الجيد في الكرش. وهي تؤدي أيضًا إلى تحفيز ينشِّط جدران الكرش وعضلات الجهاز الهضمي. من ناحية أخرى، تحتل الألياف بكميات كبيرة، وبالأساس الليجنين، حجمًا كبيرًا من الكرش لمدة زمنية طويلة وهكذا تقلل من الوجبة الغذائية التي تستهلكها البقرة ونتيجةً لذلك يقل إنتاج الحليب. استعمال العلف حديث السن الذي فيه كمية الليجنين قليلة نسبيًا، يزيد من نجاعة تحليل الألياف ويقصر من زمن مكوث الغذاء في الكرش، ونتيجةً لذلك يزيد من استهلاك الحيوان المجتر للغذاء ومن إنتاج الحليب.

تلخيص، عند بناء وجبة غذاء، يجب الحفاظ على توازن حساس بين الغذاء المركّز وبين الغذاء الغليظ ويجب الامتناع من التغيُّرات الكثيرة.

استعمال نواتج صناعية وزراعية مرافقة في تغذية الحيوانات المجترة

علاقة بموضوع
علم البيئة:
تأثير الإنسان على البيئة المحيطة.

يمكن تغذية الحيوانات المجترة بمواد غذائية رخيصة لا يستهلكها الإنسان، وهكذا نزيد من أرباح المزارع. تنتمي هذه الأغذية إلى نوع ثالث من الأغذية التي نسمِّيها موادًا غذائية وسطية أو نصف مركّزة. وهي تحتوي على مواد غذائية وطاقة أكثر من المواد الغذائية الغليظة، وأقل من الغذاء المركّز.
أفضلية استخدام الغذاء الرخيص مضاعف: بيئي واقتصادي. التكاليف الأساسية للمزارع الذي يربي أبقار الحليب تنبع من الكمية الكبيرة للغذاء المطلوب لتغذية الأبقار. استعمال النواتج الزراعية أو الصناعية المرافقة كمصادر رخيصة للطاقة والبروتينات تزيد من أرباح المزارع. فيما يلي عدة أمثلة لنواتج مرافقة تُستعمل في تغذية الحيوانات:

- **بذور قطن** كاملة – بذور القطن هي نواتج صناعية مرافقة لمعالجة ألياف القطن لإنتاج النسيج. في السنوات الأخيرة، ازداد في العالَم استعمال بذور القطن لتغذية الأبقار. تشكّل بذور القطن غذاءً مركزًا بسبب احتوائه على كميات عالية من الدهنيات والبروتينات. أفضلية بذور القطن بالمقارنة مع بذور أخرى، مثل: الذرة أو السورجوم هي وجود ألياف بكميات كبيرة في قشرة البذور.

أحيانًا تشكِّل بذور القطن حوالي 25% من وجبة غذاء أبقار الحليب. في البلاد، بسبب تقليص تنمية القطن في السنوات الأخيرة، يوجد أيضًا انخفاضًا في استعمال بذور القطن لتغذية الأبقار.

- بقايا خضروات مختلفة، مثل: الجزر، الشمندر وقشور الحمضيات التي تتراكم في عمليات صناعية عند معالجة الخضروات والفواكه.
- نخالة – مخلوط قشور بذور الحبوبيات (النجيليات) التي تَنْتُج كناتج مرافق عند طحن البذور (مثلًا: عند طحن بذور قمح إلى طحين).
- جفت الزيتون – ناتج مرافق لعملية عصر الزيتون لإنتاج الزيت. وهو يحتاج إلى معالجة إضافية، مما يؤدي إلى انخفاض الأرباح عند استعماله.

نواتج مرافقة من الحيوان:

- **ماء الجبن**– ناتج مرافق في صناعة الأجبان، وهو يحتوي على نسب مئوية منخفضة من الدهنيات وعلى نسب مئوية عالية من البروتينات. استعمال ماء الجبن شائع بشكل خاص في تنمية العجول. لكن اليوم، لا نغذي الحيوانات بماء الجبن تقريبًا، لأن نقل كميات كبيرة من السوائل وحفظها في حاويات يكون باهظ الثمن. .
- **زبل الطيور** – ناتج مرافق لتنمية الطيور. يتكون زبل الطيور بالأساس من **بُراز الطيور**، من بقايا غذاء نقدمه للطيور، من القش الذي نضعه على أرضية الأقنان ومن الريش. زبل الطيور هو مصدر رخيص لمركبات **نيتروجينية ليست بروتينات**، مثل: حامض البول الذي مصدره بُراز الطيور، اليوريا والآمونيا الناتجان من تحليل حوامض البول بواسطة بكتيريا مختلفة.

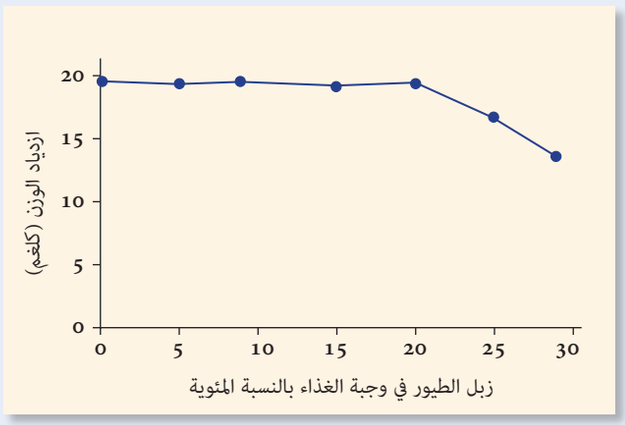
يُقلل استغلال زبل الطيور (يشتمل القش الذي نضعه على أرضية الأقنان) الذي يُستعمل لتغذية الحيوانات المجتره من التكاليف، كما أنه يحل مشكلة بيئية محيطة كبيرة وهي الحجم الكبير لنفايات الأقنان. لكن استعمال زبل الطيور يحتاج إلى حذر كبير جدًا بسبب وجود كائنات حية دقيقة مسببة للأمراض في النباتات والأبقار، لذا من المهم أن يمر الزبل بعمليات تطهير. كما أن زبل الطيور يحتوي على بقايا أدوية ومعادن، لذا يجب فحصه وفقًا للمصدر الذي يصلنا منه. بودنا أن نذكر أنه عند تغذية الحيوانات المجترة، يجب تحديد كمية مركبات النيتروجين غير البروتينية، لأن زبل الطيور هو أحد مصادر هذه المواد. والسبب لذلك هو ميل مركبات النيتروجين غير البروتينية أن تتحلل إلى آمونيا وإذا امتُصت الآمونيا بتراكيز عالية في الدم فإنها تكون سامة.

نافذة البحث

وجبة الغذاء المقبولة لتغذية الجدي هي مخلوط مكون من بذور وحبيبات مختلفة. اقترح الباحثون للمزارعين الذين يعانون من مشاكل اقتصادية أن يستعملوا زبل الطيور كبديل لقسم من غذاء الجدي. لكي نفحص تأثير النسبة المئوية لزبل الطيور في وجبة غذاء الجدي على ارتفاع الوزن، أُجري الفحص الآتي:

وُزع 42 جدي إلى 7 مجموعات، وقد كان عُمْر كل واحد منها 40 يومًا ومعدل الوزن هو 17 كغم. حصلت كل مجموعة خلال 8 أسابيع على وجبة غذاء تحتوي على نسبة مئوية مختلفة من زبل الطيور. .

تعرض الرسمة د - 22 ازدياد معدل وزن الجدي في المجموعات المختلفة بعد مرور 8 أسابيع.



الرسمة د-22: تأثير كمية زبل الطيور في غذاء الجدي على ازدياد وزنه

سؤال د -38:

أ. اشرحوا، لماذا تستطيع الحيوانات المجترة أن تستعمل زبل الطيور كمصدر للنيتروجين، أما الحيوانات ذات المعدة الواحدة لا تستطيع أن تستغله؟

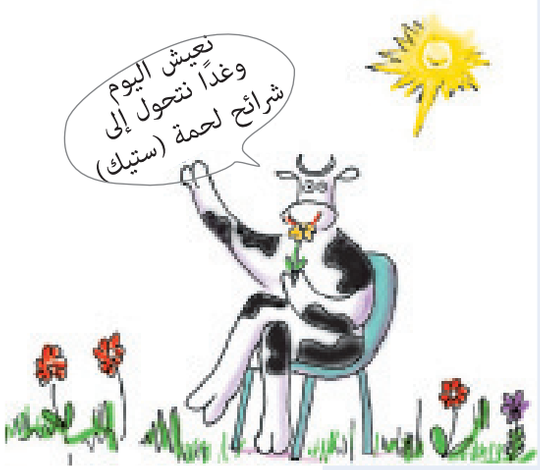
ب. اذكروا أفضلية واحدة لاستعمال زبل الطيور، إضافةً إلى كونه مصدرًا رخيصًا للنيتروجين، واذكروا سيئة واحدة له.

ج. بناءً على معطيات الرسم البياني، صفوا وقارنوا تأثير تبديل قسم من وجبة الغذاء على وزن الجدي. تطرقوا إلى العلاجات المختلفة في التجربة.

د. بناءً على نتائج التجربة المعروضة في الرسم البياني، أي نسبة مئوية من زبل الطيور توصون المزارع أن يستعمل في وجبة الغذاء؟ اشرحوا إجاباتكم.

صراع

رفاه للحيوانات أم رفاه للمزارعين؟



رأينا في بند د2 أن نجاعة إنتاج الأغذية من الحيوانات في المزرعة تعتمد أيضًا على استغلال مواد غذائية رخيصة، مثل: أنواع نفايات مختلفة من الحيوان والنبات (التي تعتبر غير صالحة للأكل عند الإنسان) كمصادر طاقة وبروتينات رخيصة وناجعة للحيوانات. موضوع تغذية الحيوانات في المجال التجاري والصناعي هو مثال لنهج هدفه الربح الاقتصادي في المركز، وهدف المزارعون أن يجنوا أرباحًا عظمى من خلال استثمارات صغرى.

يُطبق هذا النهج في المكان الصغير جدًا الذي تعيش فيه هذه الحيوانات، حيث يسيطر المزارع على جهاز تكاثرها، ويوجد فيه عدد عمال قليل وغير ذلك.

يتطرق هذا النهج إلى الحيوانات على أنها أغراض وممتلكات دون الأخذ بعين الاعتبار احتياجات ومعاناة هذه الحيوانات. هل استمتاع الإنسان من غذاء الحيوان يستحق هذا النهج؟ وهل ورغبة المزارعين في الربح الاقتصادي تستحق هذا النهج؟ (أكملوا في الصفحة القادمة).

سؤال د -39:

ادخلوا إلى الإنترنيت واعرضوا تبريرات (حُجَج) لكل من أصحاب الشأن الآتيون: منظَّمات حقوق الحيوان، مربي الأبقار، مستهلكو اللحوم، منظمات البيئة المحيطة.
اكتبوا موقفكم المعلَّل لهذا الصراع.

المواضيع الأساسية في الفصل

- عملية الهضم هي مجموع العمليات التي تتحلل فيها جزيئات كبيرة ومعقدة من المواد الغذائية إلى جزيئات صغيرة قادرة على دخول خلايا الجسم.
- الجهاز الهضمي عند الإنسان مبني كأنبوب طويل محاط بطبقات من العضلات اللاإرادية. يشمل الأنبوب أقسامًا مختلفة تفصل بينها صمامات. يُتيح هذا التقسيم إنتاج ظروف خاصة في كل قسم من أقسام أنبوب الهضم. يتم تنظيم نشاط الأقسام المختلفة في الجهاز الهضمي بواسطة آليات تنظيم عصبية وهورمونالية.
- يرافق أنبوب الهضم أعضاء (غدد لُعاب، بنكرياس، كيس مرارة وكبد) تَنْتُج فيها مواد تُفرز إلى أنبوب الهضم وتشترك في عمليات الهضم.
- هضم الغذاء في جهاز هضم الإنسان هو هضم خارج الخلية، تتم فيه عمليات تحليل آلية وكيميائية. يتم التحليل الكيميائي بواسطة إنزيمات.
- يتم التحليل الآلي للغذاء في الفم بواسطة عملية المضغ التي تقوم بها الأسنان. تساعد مكوِّنات اللُعاب الذي يُفرز في الفم على تحضير وإعداد الغذاء لاستمرار هضمه وللبدء في عملية التحليل الكيميائي للكربوهيدرات.
- ينتقل الغذاء من الفم إلى المعدة عبر أنبوب المريء بواسطة حركة بريستالتية للعضلات الحلقية الموجودة في جدار المريء.
- المعدة عبارة عن كيس تخزين عضلي. يساعد انقباض طبقات العضلات على إكمال عملية التحليل الآلي. الخلايا الموجودة في مخاط المعدة، تفرز "عصارة المعدة" التي تحتوي على إنزيمات تحلِّل بروتينات وتحتوي على حامض يساعد على نشاط الإنزيمات ويعقم الغذاء.
- يتم تنظيم إفراز وانقباض المعدة كرد فعل لمحفزات عصبية وكرد فعل لإفراز هورمون جسترين من خلايا موجودة في جدران الخلايا. تتم مراقبة إفراز الجسترين بآلية تدمج بين المردودية (التغذية المرتدة) الإيجابية والمردودية السالبة.
- الأمعاء الدقيقة هي عبارة عن أنبوب طويل وملتو. يتم معظم التحليل الكيميائي في بداية الأمعاء الدقيقة - الأثنى عشر. يرتبط أنبوبان بالأثنى عشر: من الَبنكرياس تُفرز إنزيمات مختلفة تعمل في بيئة قاعدية، ومن كيس المرارة تُفرز عصارة المرارة التي تَنْتُج في الكبد وتحوِّل الدهنيات إلى مستحلب.
- تبرز في فراغ الأمعاء الدقيقة طيات مغلفة بخلايا طلائية. قسم من خلايا الطبقة الطلائية، تفرز إنزيمات هضم، وخلايا أخرى عليها خَملات تمتص الغذاء. الخَملات والخَملات الدقيقة تزيد بشكل كبير جدًا من مساحة السطح الداخلي للأمعاء الدقيقة وهكذا تصبح عملية امتصاص الغذاء ناجعة. .
- تدخل معظم نواتج الهضم خلايا الامتصاص بواسطة حاملات موجودة في أغشية الخلايا. يتم استيعاب قسم منها بواسطة نقل فعَّال وقسم منها بواسطة نقل غير فعَّال. ويتم امتصاص الماء بواسطة الضغط الأسموزي الناتج في أعقاب امتصاص نواتج الهضم.
- تصل نواتج الهضم الكبد بواسطة أنابيب الدم والليمفا (نظام بواب الكبد).

- يتم تنظيم نشاط الأمعاء الدقيقة بواسطة هورمونات. الأساسية منها: الخوليتسيتوكنين والسكرتين، اللذان يُفرزان بواسطة خلايا موجودة في جدار الأثنى عشر كرد فعل لوصول الغذاء.
- الأمعاء الغليظة هو أنبوب له مساحة امتصاص صغيرة، حيث يساعد على امتصاص الماء والأملاح بشكل ناجع ويتم امتصاص محدود للمواد الغذائية. تُخزَّن في الأمعاء الغليظة بقايا الغذاء ويتم دفعها نحو الإفراز، لكي يتخلص الجسم منها. كما توجد فيه كائنات حية دقيقة تُنْتِج فيتامين **K** وَ **B_{12}**.
- تصل نواتج الهضم الكبد عبر الدم والليمفا. يمر قسم من نواتج الهضم معالجة في الكبد، قسم منها يُخزَّن في الكبد، وقسم منها ينتقل إلى باقي خلايا الجسم دون تغيير، وقسم منها يصل جهاز الإفراز وتُفرز بواسطة البول.
- تُستخرج في الخلايا طاقة كيميائية متوافرة من الجلوكوز والحوامض الدهنية وفي حالات نقص من الحوامض الأمينية أيضًا.
- تشترك نواتج الهضم التي تصل الخلايا بعمليات أيضية، مثل: عمليات بناء، عمليات تحليل واستخراج طاقة.

الهضم في الحيوانات المجترة

- يساعد الجهاز الهضمي الخاص للحيوانات المجترة على استغلال أغذية غنية بالألياف والسيلولوز وفقيرة في البروتينات والدهنيات، كما يساعد على استغلال مُنْتَجات مرافقة يُنتجها الإنسان أثناء عملية معالجة المواد الغذائية المعدَّة للإنسان. تتوفر هذه الصفات بفضل وجود كائنات حية دقيقة تُحلِّل السيلولوز.
- حجم الجهاز الهضمي عند الحيوانات المجترة كبير، معظمه مبني من أربعة اقسام. الكرش هو القسم الأكبر والأول الذي يصله الغذاء، توجد فيه عشيرة متنوعة من الكائنات الحية الدقيقة التي تستطيع أن تحلِّل متعددات سكريات مختلفة، من بينها السيلولوز الذي لا يستطيع الإنسان تحليله كسائر حيوانات كثيرة أخرى، ولا تستطيع هضمه.
- تتغذى الكائنات الحية الدقيقة في الكرش على سكريات أحادية تَنْتُج من تحليل متعددة السكريات الموجودة في غذاء الحيوان المجتر. تَنْتُج حوامض دهنية متطايرة أثناء عمليات التخمر التي تقوم بها البكتيريا وهي تُستخدم كمصدر طاقة أساسي للبقرة ومادة خام لإنتاج الحليب ومكوِّناته في جسم البقرة.
- تستطيع الحيوانات المجترة أن تعيش من غذاء فقير بالبروتينات بفضل استغلال بروتينات الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الكرش، حيث تستطيع أيضًا إنتاج جميع الحوامض الأمينية من مركبات نيتروجين غير بروتينية.
- تستطيع الحيوانات المجترة أن تمدور فائض الآمونيا. يُمتص فائض الآمونيا من الكرش إلى دم البقرة ويتحول إلى يوريا في كبد البقرة. يُعاد قسم من اليوريا إلى الكرش وتستغله الكائنات الحية الدقيقة لإنتاج بروتينات البكتيريا.
- غذاء البقرة عامل مهم يؤثر على كمية وجودة إنتاج الحليب.
- يحتوي الغذاء الغليظ على كمية كبيرة من الألياف وهو مهم لنشاط الكائنات الحية الدقيقة ولحركة الجهاز الهضمي. الغذاء المركّز غني بالبروتينات، الدهنيات وبكربوهيدرات سهلة الهضم وفقير بالسيلولوز. يحتوي الغذاء المركّز على كمية طاقة كبيرة.
- يؤدي التوازن بين المواد الغذائية الغليظة والمركّزة في وجبة غذاء أبقار الحليب إلى نشاط الكائنات الحية الدقيقة بمستوى مثالي، كما يؤدي إلى ازدياد إنتاج البقرة.
- يمكن أن نزيد من أرباح المزارع من خلال استعمال أنواع نفايات زراعية مختلفة كمصدر رخيص للطاقة والبروتينات. يُستخدم زبل الطيور، على سبيل المثال، كمصدر لمركّبات نيتروجين ليست بروتينات.

المصطلحات المهمة في الفصل

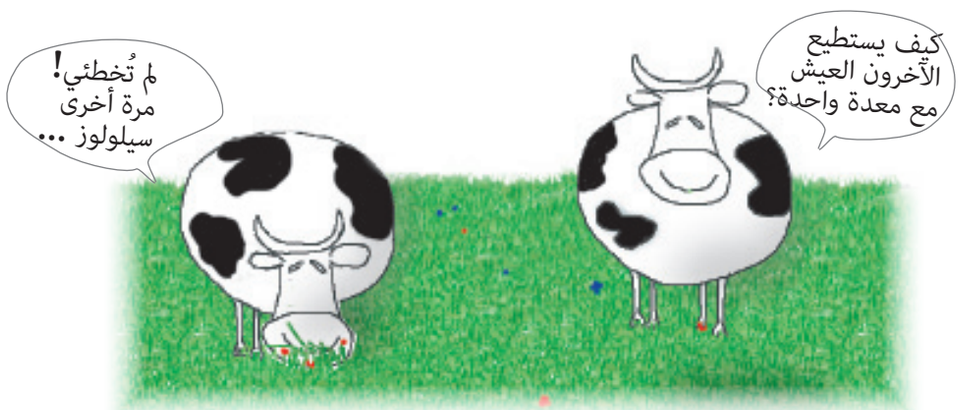
كائنات حية غير ذاتية التغذية
إنزيمات هضم
جلوكوز، مستوى في الدم
هيبوثالاموس
تنظيم عصبي وهورموناليّ
مريء
تبادل مواد (عمليات أيضية)
كبد
كولسترول
كيس المرارة
بنكرياس
ليباز
ليبيدات
مخازن الطاقة
عصارة هضم
أملاح المرارة
نقل فعَّال
نقل غير فعَّال
الأمعاء الدقيقة
الأمعاء الغليظة

جهاز الهضم
مراكز عصبية في المخ
خَملات وخَملات دقيقة
امتصاص
عميلاز
فم
تحليل آلي وكيميائي
ببسين
بروتوئازات
براز
أنبوب الهضم
معدة
لعاب
أسنان
خلايا امتصاص
عملية إنزيماتية
حركة بريستالتية
الأثنى عشر
مركبات نيتروجين ليست بروتينات

مصطلحات تعلَّمناها في سياق الحيوانات المجترة

تغذية بقرة الحليب
اجترار
بروتين بكتيريا
كرش
غذاء غليظ
غذاء مركز
غذاء فقير في البروتينات
مدورة نفايات عضوية

كائنات حية دقيقة
نظام أقسام (أجهزة معدات)
ألياف
مشاركة من نوع تكافل
سيلولازوت
يوريا
سيلولوز
تخمر في الكرش



انقباض عضلات

عمليات تستهلك طاقة

حامض الفيروبيك

دورة كريبس

أكسجين

تبادل غازات

من مواد عضوية إلى طاقة متوافرة - التنفس الخلوي

هـ

ميتوكوندريا

1. هـ1. نظرة إلى التنفس الخلوي
2. هـ2. الـ ATP وسيط في انتقال الطاقة الذي يتم في الخلايا
3. هـ3. اشتراك الـ ATP في عمليات تستهلك طاقة
4. هـ4. مسارات لاستخراج الطاقة في التنفس الخلوي
5. هـ5. عملية التركيب الضوئي ليست تنفس النبات

مواضيع الفصل الأساسية

مصطلحات مهمة في الفصل

أكسدة كاملة

عملية مرافقة

جليكوليزا

عمليات تخمر

تحويل طاقة

أكسجين

تنفس خلوي هوائي

بناء مواد

الفصل الخامس: من مواد عضوية إلى طاقة متوافرة — تنفس خلوي

ه1. نظرة إلى التنفس الخلوي

جميع الكائنات الحية - النباتات، الحيوانات، الفطريات والبكتيريا، تحتاج إلى طاقة لكي تقوم بعمليات الحياة. مصدر الطاقة لجميع الكائنات الحية هو المواد العضوية. رأينا في الفصول السابقة أن الكائنات الحية ذاتية التغذية وغير ذاتية التغذية تختلف عن بعضها بطرق الحصول على المواد العضوية: تستطيع الكائنات الحية ذاتية التغذية أن تُنْتِج هذه المواد بذاتها، أما غير ذاتية التغذية فهي بحاجة للحصول على مواد عضوية في غذاؤها. تُستعمل المواد العضوية التي تُنْتَج في الكائنات الحية أو تُستوعب من البيئة المحيطة لنفس الأهداف: استخراج طاقة، مواد بناء أساسية للخلايا والأنسجة ولحدوث عمليات سليمة في الكائنات الحية. ينبع **التجانس** من التشابه الكبير الموجود في مبنى خلايا جميع الكائنات الحية في الطبيعة، ومن أنواع المواد التي تبنيها والعمليات التي تحدث فيها.

فكرة مركزية

تجانس وتباين:
تجانس في مبنى وأداء الخلايا.

لا يمكن استعمال الطاقة الكيميائية الموجودة في المواد العضوية بشكل مباشر وفوري في الخلايا. لكي تصبح الطاقة الكيميائية الموجودة في المواد العضوية متوافرة لتفعيل عمليات في الخلايا، يجب أن تحدث عمليات من خلالها تُنقل الطاقة من هذه المواد إلى مواد أخرى. في هذا الفصل، نَصف هذه العمليات.

عملية **استخراج الطاقة** من المواد العضوية وتحويلها إلى متوافرة لاحتياجات الخلايا نسمّيها **تنفسًا خلويًا**. في هذه العملية التي تتم في كل خلية، يمر قسم من مواد البناء الأساسية العضوية تحليلًا بطيئًا ومتعدد المراحل حتى تتحول إلى مواد أبسط (مثل: حامض الحليب، ثاني أكسيد الكربون وماء)، من خلال إطلاق طاقة. مستوى الطاقة للنواتج النهائية (مثل: ثاني أكسيد الكربون وماء) أقل من المواد المتفاعلة، وهذا يعني، تُطلق كمية طاقة كبيرة جدًا أثناء العملية كلها. .

علاقة بموضوع

بيولوجيا الإنسان:
تُستخدم الطاقة المنبعثة كحرارة في التنفس الخلوي، للحفاظ على درجة حرارة الجسم.

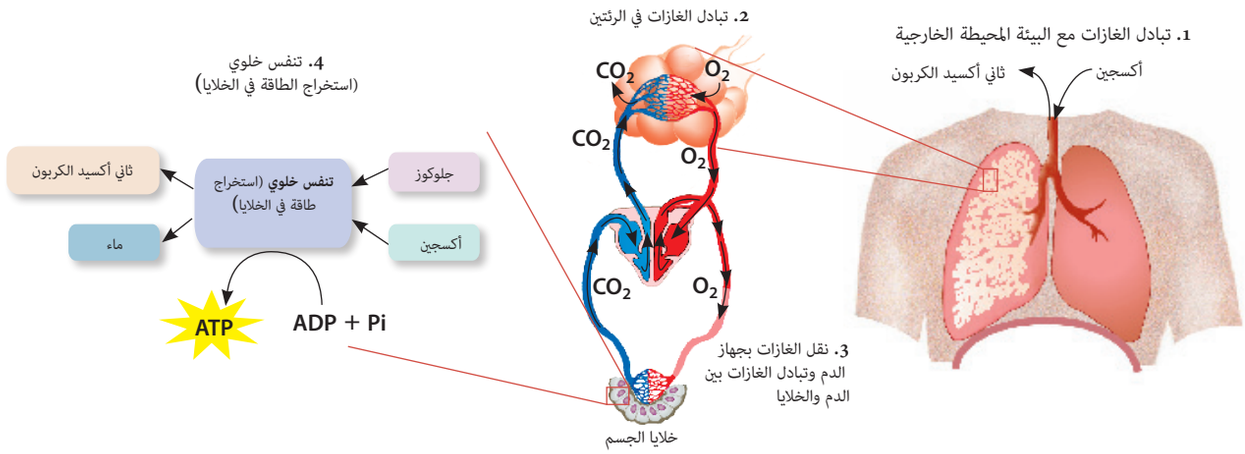
نبيّن فيما بعد أن قسمًا من الطاقة التي تنطلق تُستعمل في الخلايا لبناء الـ **ATP** الذي هو مصدر الطاقة المتوافرة لتنفيذ عمليات تستهلك طاقة في الخلايا. أما الطاقة المتبقية، تتحول إلى طاقة حرارية - شكل من أشكال الطاقة التي لا تستطيع الخلية استغلالها لتنفيذ عمليات تحدث فيها. تؤثر الطاقة الحرارية المنبعثة من الخلية على درجة حرارة الكائن الحي كله. المادة العضوية الشائعة التي تُستعمل كمصدر لاستخراج الطاقة هي أحادي السكر جلوكوز.

على الرغم من ذلك، مواد عضوية أخرى، يمكن أن تُستعمل كمصدر للطاقة، مثل: مواد أحادية سكر أخرى، حوامض أمينية (مواد بناء أساسية للبروتينات)، أو حوامض دهنية (مواد بناء أساسية للبيدات). تشتمل عمليات استخراج الطاقة في الخلايا على مراحل كثيرة، وفي كل مرحلة، يشترك إنزيم خاص ينشّطها. في كل مرحلة من المراحل المختلفة، تتفكك روابط كيميائية وتُبنى روابط كيميائية .

ما هي العلاقة بين التنفس وبين التنفس الخلوي؟

يجب أن نميِّز الفرق بين "التنفس" وبين "التنفس الخلوي"، كما يجب فهم العلاقة بينهما.
العملية التي نسمِّيها في حياتنا اليومية "تنفسًا" هي عملية **تبادل غازات** تتم بواسطة جهاز التنفس (عند الإنسان في الرئتين)، حيث يتم استيعاب الأكسجين من البيئة المحيطة وينطلق CO_2 إلى الهواء. ينتقل الأكسجين من الهواء إلى الدم الذي ينقله بواسطة الخلايا. وينتقل CO_2 من الخلايا إلى الدم ويُنقل إلى الرئتين التي منها ينطلق إلى الهواء الموجود في البيئة المحيطة.

التنفس الخلوي عبارة عن عملية استخراج طاقة داخل الخلايا. أهميته استغلال الطاقة المنبعثة عندما تتحلل المواد العضوية وتتأكسد **لبناء جزيئات ATP** متوافرة لنشطات الحياة.
تبادل الغازات يخدم التنفس الخلوي: فهو يزوِّد الأكسجين الذي يُستهلك في العملية ويُبعد CO_2 الذي يَنْتُج فيها(نبيِّن فيما بعد أن الأكسجين يُستهلك فقط في التنفس الخلوي الهوائي، لكن هناك عمليات استخراج طاقة دون اشتراك الأكسجين فيها). تصف الرسمة هـ - 1 العلاقة بين تبادل الغازات وبين التنفس الخلوي الهوائي.



الرسمة هـ -1: وصف تخطيطي للعلاقة بين تبادل الغازات في مستوى الكائن الحي الكامل وبين التنفس الخلوي الهوائي.

هـ2. الـ ATP وسيط في انتقال الطاقة الذي يتم في الخلايا

فكرة مركزية

تجانس وتباين:
الـ ATP وسيط في انتقال الطاقة في جميع الخلايا وفي كل الكائنات الحية.

لا تَنْتُج طاقة من لا شيء. في كل نظام، يمكن أن تتم **عمليات تستهلك طاقة**، فقط إذا رافقتها عمليات **تُطلق طاقة**. هذه الظاهرة نسمِّيها مبدأ **المرافقة**.

كما ذكرنا، الجلوكوز هو مصدر الطاقة الشائع في الخلايا. كمية الطاقة التي تنطلق في التحليل **والتأكسد الكامل** للجلوكوز إلى CO_2 وماء هو هائل نسبة لكمية الطاقة المطلوبة لحدوث العمليات الشائعة في الخلية. لو استعملت الخلايا الطاقة المنطلقة من تحليل وتأكسد الجلوكوز (هذه الطريقة غير موجودة) بشكل مباشر لإنتاج فائض كبير جدًا من الطاقة. بما أنه لا توجد آلية في الخلايا تستطيع أن تستعمل فائض الطاقة، فإن فائض الطاقة ينطلق كحرارة. من هنا نستنتج أن الاستعمال المباشر للجلوكوز كمصدر طاقة يؤدي إلى تبذير كمية طاقة كبيرة وإلى ارتفاع درجة حرارة الخلايا ونتيجةً لذلك يحدث خللًا في بروتينات الخلايا وادائها.
إضافةً إلى ذلك، إطلاق الطاقة من الجلوكوز في الخلية، لا يتم بالضرورة في المكان الذي تحدث فيه عمليات تستهلك طاقة. يتم إطلاق الطاقة من الجلوكوز في التنفس الخلوي بالأساس في الميتوكوندريا، والعمليات التي تستهلك طاقة، تحدث في أماكن مختلفة في الخلية.

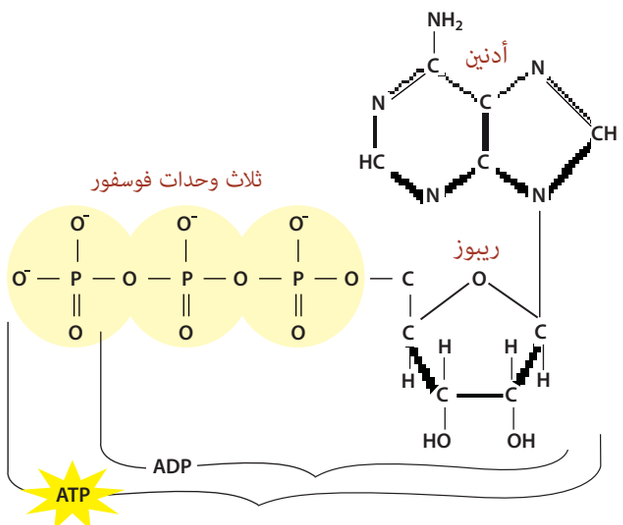
نحتاج إذن **مادة وسيطة** قادرة على نقل كمية الطاقة الموجودة في المجال المناسب لمعظم التفاعلات التي تحدث في الخلية، من مكان إطلاق الطاقة إلى مكان آخر في الخلية، فيه تُستهلك الطاقة. يفي جزيء الـ **ATP** بهذه "المتطلبات" وهو يُستخدم كوسيط بين عمليات تُطلق طاقة وبين عمليات تستهلك طاقة.

هناك من يشبِّه جزيئات الـ **ATP** على أنها "قطعة نقدية" للطاقة. يمكن استعمال هذا التشبيه عندما نقيس قيمة الطاقة للتفاعلات المختلفة في الخلية: نقيس قيم الطاقة للتفاعل بعدد جزيئات الـ **ATP** التي تُبنى أو تتحلل عند حدوث تفاعل معين.

كما يساعدنا هذا التشبيه أيضًا على فهم أهمية جزيئات الـ **ATP** كجزيء وسيط. وجود "قطعة نقدية صغيرة"، يمنع من تبذير الطاقة (عندما يكون مطلوب دفع مبلغ صغير وَ" لا يمكن الحصول على باقي" فمن الأفضل أن ندفع بقطعة نقدية صغيرة). إضافةً إلى ذلك، بما أن "فائض" الطاقة يتحول إلى طاقة حرارية، فإن وجود "قطعة نقدية صغيرة" يمنع من تسخين زائد للخلية. ليس كما هو الأمر مع القطع النقدية المعروفة لنا من حياتنا اليومية والتي يمكن تخزينها (في البنك أو المحفظة)، ففي الخلية، لا يوجد مخازن لـ **ATP** ولا يوجد نقل لـ **ATP** من خلية إلى أخرى. في كل خلية يَنْتُج **ATP** بكمية مناسبة وبزمن مناسب لتنفيذ النشاطات المختلفة في الخلية وفقًا لاحتياجات الخلايا.

مبنى جزيء الـ ATP ووظيفته

جزيء الـ **ATP** مبني من أدنين (قاعدة نيتروجينية)، ريبوز (أحادي السكر) وَ 3 وحدات فوسفور، كما نلاحظ ذلك في الرسمة هـ - 2.



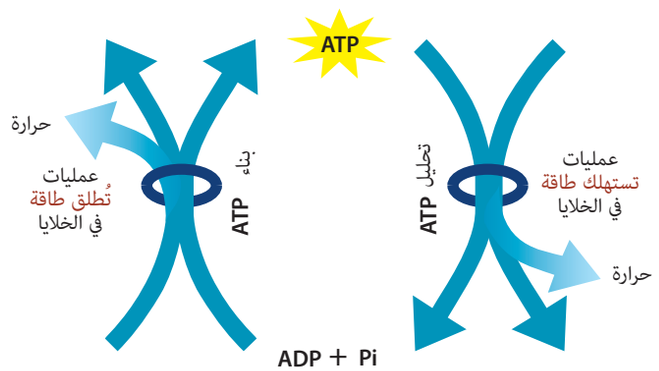
الرسمة هـ -2: مبنى تخطيطي لجزيء الـ ATP.

يتم بناء الـ **ATP** من جزيئات **ADP** ومن مجموعة فوسفور (**Pi**) بشكل مرافق لعمليات التحليل وأكسدة المواد العضوية في الخلايا، من خلال استغلال الطاقة المنطلقة في هذه العمليات.

تعلمتم في الماضي أن تحليل الـ **ATP** يُطلق طاقة تساعد على حدوث عمليات في الخلايا، لكن في معظم الحالات تكون هذه الصياغة شاملة. نتطرق الآن بشكل مفصَّل إلى الطريقة الشائعة التي يتحلل فيها الـ **ATP** الذي يُتيح حدوث عمليات في الخلية:

في عملية تحليل الـ **ATP** التي تشترك فيها جزيئات ماء أيضًا، يتفكك الرابط بين مجموعة الفوسفات الثالثة والثانية ويَنْتُج **ADP** ومجموعة فوسفات. تنتقل مجموعة الفوسفات إلى جزيء آخر في الخلية ونتيجةً لذلك يرتفع مستوى الطاقة للجزيء الذي يحصل على الفوسفات ويتحول لفعَّال أكثر - تنشيط. يساعد التنشيط الجزيء الذي حصل على الفوسفات، على الاشتراك في عمليات تستهلك طاقة في الخلية. بكلمات أخرى، تتم عمليات تستهلك طاقة في الخلية بشكل مرافق لتحليل جزيئات الـ **ATP** .

يؤدي انتقال الطاقة الكيميائية بواسطة نقل مجموعة فوسفات (فسفرة) من جزيئات الـ **ATP** إلى تنشيط مئات الجزيئات المختلفة ويفعِّل مئات العمليات في الخلايا.
يقوم جزيء الـ **ATP** بوساطة بين عمليات تُطلق طاقة في الخلايا وبين عمليات تستهلك طاقة في الخلايا. تصف الرسمة هـ - 3 وساطة الـ **ATP**.
يوجد ترافق بين بناء الـ **ATP** (عملية تستهلك طاقة) وبين عمليات تنطلق فيها طاقة وبين تحليل الـ **ATP** (عملية تُطلق طاقة) وبين عمليات تستهلك طاقة.



الرسمة هـ -3: الـ ATP وسيط بين عمليات تُطلق طاقة (من مواد عضوية) وبين عمليات تستهلك طاقة في الخلايا. تُشير الأسهم المتجاورة والحلقة إلى الترافق الذي يتم بين بناء الـ ATP أو تحليله وبين عمليات تُطلق طاقة أو عمليات تستهلك طاقة في الخلية.

جزيء الـ **ATP** هو "وسيط طاقة" عام في جميع خلايا الكائنات الحية، ابتداءً من خلايا غير حقيقية النواة حتى خلايا الثدييات المتطورة. تُشير هذه الحقيقة إلى أن جزيء الـ **ATP** استُخدم وسيط في أزمان قديمة جدًا أثناء النشوء والارتقاء.

قليل من المعلومات ...

قليل من الأعداد حول الـ ATP

لا تتراكم جزيئات الـ **ATP** في الخلية، ولا يوجد مخزن للطاقة في الخلية. في كل لحظة معطاة، كمية الـ **ATP** في الجسم لا تزيد عن 50 غم وكميات المواد التي يَنْتُج منها، مثل: الـ **ADP** والفوسفات تكون قليلة نسبيًا. تتحلل وتُبنى جزيئات الـ **ATP** (تمر مدورة **ADP** ↔ **ATP**) كل الوقت بحسب احتياجات الخلية: الشخص الذي وزنه 70 كغم يُنْتِج ويحلل، في حالة الراحة، حوالي 40 كغم (!) **ATP** خلال يوم واحد. لا تستطيع جزيئات الـ **ATP** أن تمر عبر غشاء الخلية، لذا تُستغل في الخلايا التي تَنْتُج فيها دائمًا. في الكائن الحي الكامل، نجد مخازن طاقة على شكل مواد إدخارية: متعددة السكريات (نشا في النبات وجليكوجين في الحيوانات) وليبيدات (دهن في الحيوان وزيت في النبات).

هـ3. اشتراك الـ ATP في عمليات تستهلك طاقة

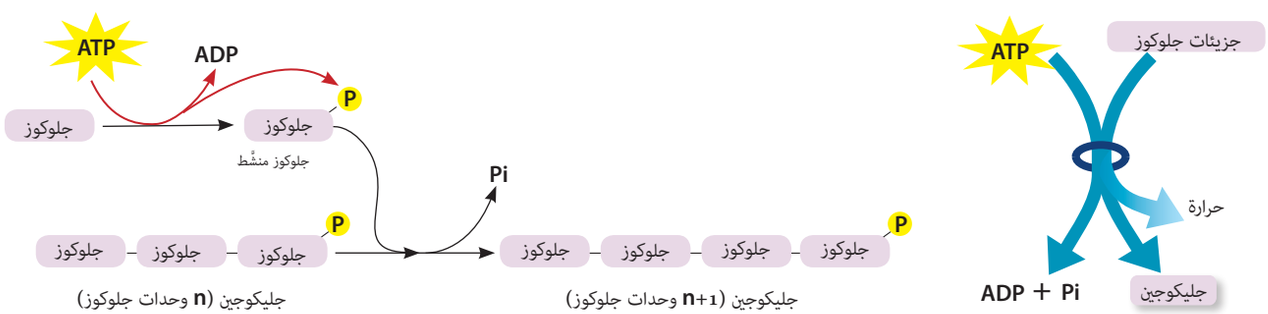
كما ذكرنا، العمليات الحياتية الضرورية لبقاء الكائن الحي هي عمليات تحتاج طاقة (عمليات بيوطاقة) وتتم (في معظم الحالات) بفضل انتقال مجموعة فوسفور من جزيء الـ **ATP**. نَصف في هذا البند بإيجاز قسم من العمليات التي تستهلك طاقة وتتم في الخلايا، كما نعرض ترافقها مع تحليل الـ **ATP**.

يجب أن نتذكر أنه في جميع العمليات التي يحدث فيها ترافق، لا تُستغل كل الطاقة بشكل كامل وقسم منها ينطلق كطاقة حرارية.

أ. عمليات بناء مواد معقدة

نعرض بناء الجليكوجين كمثال **لبناء مادة** مكونة من مادة بسيطة.

الجليكوجين هو مادة إدخارية في خلايا العضلات وفي خلايا كبد الإنسان، وهو مبني من وحدات جلوكوز مرتبطة ببعضها ويشكل مخزنًا متوافرًا للجلوكوز. لكي تستطيع جزيئات الجلوكوز أن ترتبط ببعضها، يجب عليها أن تمر تغييرًا يحتاج إلى طاقة. في هذه العملية، تنتقل مجموعة فوسفور من جزيء الـ **ATP** إلى جزيء الجلوكوز، يرتفع مستوى طاقة جزيء الجلوكوز وهو يتحول إلى فعَّال - منشَّطة (الرسمة ه - 4). الآن، تستطيع جزيئات الجلوكوز المنشَّطة أن ترتبط بسلسلة الجليكوجين التي تطول. وهكذا يتم ترافق بين تحليل جزيء الـ **ATP** وبين إنتاج الجليكوجين. تحدث عملية شبيهة عند بناء جزيئات **النشا** في أعضاء تخزين النبات (مثلًا في درنة البطاطا). تصل نواتج عملية التركيب الضوئي - الكربوهيدرات - إلى أعضاء التخزين وهناك تمر عملية تنشيط من خلال حصولها على مجموعة فوسفات. وبهذه الطريقة فقط، ترتبط ببعضها لإنتاج النشا.



الرسمة هـ -4: ترافق بين تحليل الـ ATP ونقل مجموعة فوسفات إلى جزيء جلوكوز وبين بناء الجليكوجين (عملية تستهلك طاقة).
انتبهوا! جزيء الجليكوجين الذي يطول مرتبطة به مجموعة فوسفات أيضًا. وهكذا يكون الجزيئين المرتبطتين في حالة تنشيط. بعد الارتباط، تُطلق وحدة فوسفات واحدة والثانية تبقى، لكي ترتبط بوحدة الجلوكوز القادمة.

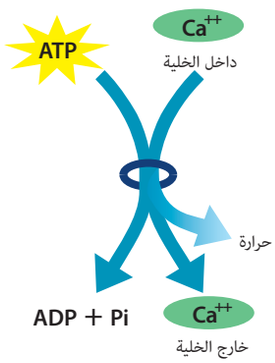
ب. نقل مواد في الخلية عكس منحدر التراكيز

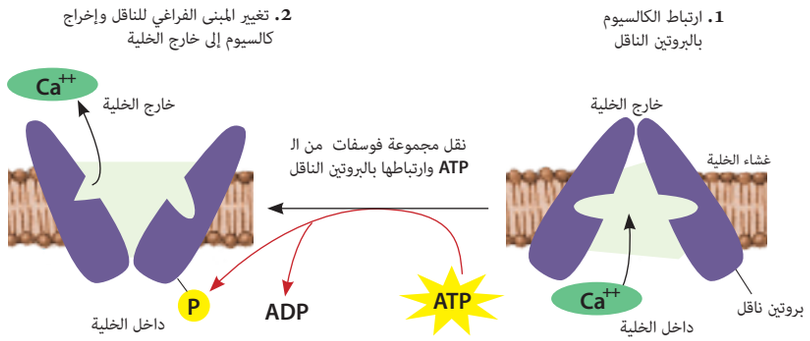
علاقة بموضوع

الخلية — مبنى ونشاط:
نقل فعَّال عكس منحدر التراكيز عبر أغشية الخلايا.

أغشية الخلايا ذات نفاذية اختيارية ولا تمر جميع المواد عبرها من البيئة المحيطة للخلية إلى داخلها. إضافةً إلى ذلك، انتقال المواد التي تركيزها في الخلية يختلف عن تركيزها في البيئة المحيطة، لا يتم بشكل تلقائي وهو يحتاج إلى بذل طاقة. نقل المواد عكس منحدر التراكيز نسمِّيه **نقلًا فعَّالًا** وهو يتم بواسطة ناقلات بروتينية موجودة في غشاء الخلية من نوع مضخة. يتم النقل الفعَّال، على سبيل المثال، عند امتصاص الأملاح المعدنية بواسطة الشعيرات الماصة الموجودة في جذور النباتات (انظروا الفصل الثالث صفحة 84). تُمتص معظم الأملاح المعدنية التي يحتاجها النبات على الرغم من أن تركيزها في محلول التربة قليل نسبيًا للبيئة المحيطة الداخلية في الجذر. يوجد مضخة خاصة لكل ملح معدني يُمتص بنقل فعَّال.

يتم تفعيل المضخة بواسطة نقل مجموعة فوسفات من جزيء الـ **ATP** إلى بروتين المضخة (الرسمة هـ -5). وهكذا يتم الترافق بين تحليل جزيء الـ **ATP** وبين النقل الفعَّال بواسطة المضخة. تعرض الرسمة 5 مثالًا لمضخة تُخرج أيونات الكالسيوم من الخلية إلى خارجها.





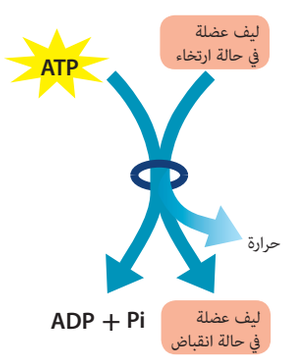
الرسمة هـ-5: تحليل جزيء الـ ATP يرافق إخراج أيونات الكالسيوم (بواسطة مضخة) إلى خارج الخلية عكس منحدر التراكيز.

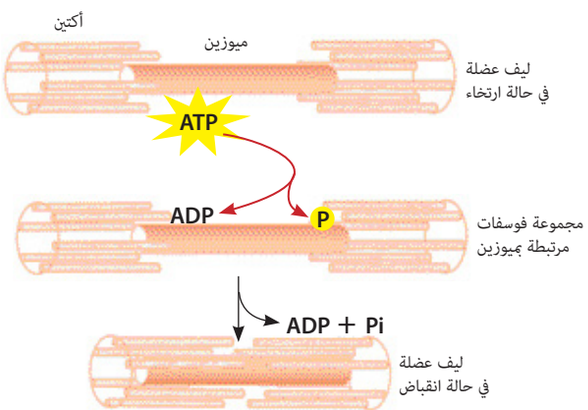
ج. حركة وانقباض العضلات

تتميز الأجسام الحية والجماد بقدرتها على تغيير المكان والحركة وهي تستهلك طاقة دائمًا. تستهلك حركة السيارة طاقة مصدرها من الوقود، تغيِّر الخلية والعضيات الموجودة داخلها مكانها بمساعدة حركة الهيكل الداخلي للخلية الذي يستهلك طاقة مصدرها من جزيئات الـ **ATP**. عندما يقود شخص دراجته، فإنَّ مصدر حركة دراجته هو نشاط عضلاته. **انقباض العضلات** هو عبارة عن حركة مكونات الخلايا التي تستهلك طاقة. العضلات مبنية من مجموعة ألياف دقيقة. الألياف مكونة من نوعين من البروتينات: أكتين وميوزين. تنقبض الألياف نتيجةً لحركة البروتينين الواحد على الثاني. وتتم حركة البروتينات بفضل تفعيل جزيء الميوزين بواسطة نقل مجموعة فوسفات من جزيء الـ **ATP** إليها. في هذه الحالة، يرتبط جزيء الـ **ADP** أيضًا. يرتبط الميوزين الفعّال ببروتين أكتين مجاور له وهو يشده بقوة، ونتيجةً لذلك تنزلق البروتينات على بعضها. يؤدي هذا العمل إلى انقباض (تقصير) ليف العضلة، من خلال إطلاق مجموعة فوسفات (الرسمة هـ - 6). وهكذا يتم ترافق بين تحليل جزيء الـ **ATP** وبين انقباض ليف العضلات. انقباض العضلات هو مثال لتحويل طاقة كيميائية إلى طاقة حركة.

علاقة بموضوع

الخلية — مبنى وأداء:
هيكل داخل الخلية.





الرسمة هـ -6: ترافق بين تحليل جزيئات الـ **ATP** وبين انقباض ليف في العضلة.

الفكرة مركزية

التنظيم والاتزان البدن:
يمكن تنظيم ومراقبة كمية ال ATP في الخلايا وفقًا للاحتياجات.

قليل من المعلومات...

المزيد من الأعداد عن ال ATP

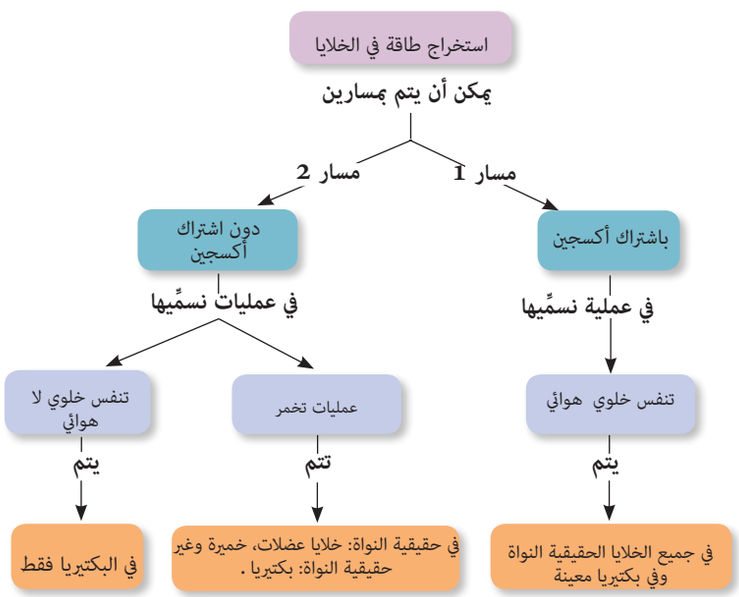
كما ذكرنا، في جسم الإنسان البالغ، في حالة الراحة، تَنْتُج وتتحلل خلال اليوم الواحد حوالي 40 كغم من ال **ATP**. عندما تبذل العضلات جهدًا، فإنّها تحتاج إلى كمية كبيرة من الطاقة، لذا كمية ال **ATP** التي تَنْتُج وتتحلل يمكن أن تصل حوالي 70 كغم في اليوم الواحد، وهذه الكمية قريبة من وزن الجسم !!!

هـ4. مسارات لإنتاج الطاقة في التنفس الخلوي

يوجد مساران لاستخراج الطاقة في الخلايا:

المسار الأول: باشتراك الأكسجين. يتم هذا المسار في معظم الكائنات الحية وهو الأكثر نجاعةً. يتم استخراج الطاقة في هذا المسار بعملية نسمِّيها **تنفسًا خلويًا هوائيًا.**

المسار الثاني: دون اشتراك الأكسجين. يتم هذا المسار في قسم من البكتيريا، الخميرة وخلايا الحيوانات في حالة نقص في الأكسجين. نلاحظ في الرسمة هـ - 7 استخراج الطاقة من خلال عمليات **تخمر** أو من خلال **التنفس الخلوي اللاهوائي.**



الرسمة هـ -7: مسارات لاستخراج الطاقة (إنتاج ATP) في الخلايا: باشتراك أكسجين ودون اشتراك أكسجين.

المرحلة الأولى في استخراج الطاقة، في كل مسار من المسارين، باشتراك أو دون اشتراك الأكسجين، هي عملية نسمِّيها **"جلكوليزا"**. هذه العملية شاملة وهي تتم في جميع الكائنات الحية (بكتيريا، فطريات، خلايا أحادية الخلية، نباتات وحيوانات).

فكرة مركزية

التجانس والتباين:
يُشير تجانس مرحلة الجليكوليزا في جميع مجموعات الكائنات الحية في الطبيعة إلى أن هناك مصدر نشوء وارتقاء مشترك، كما يُشير إلى التطور المبكر لعملية الجليكوليزا أثناء النشوء والارتقاء .

للمزيد عن

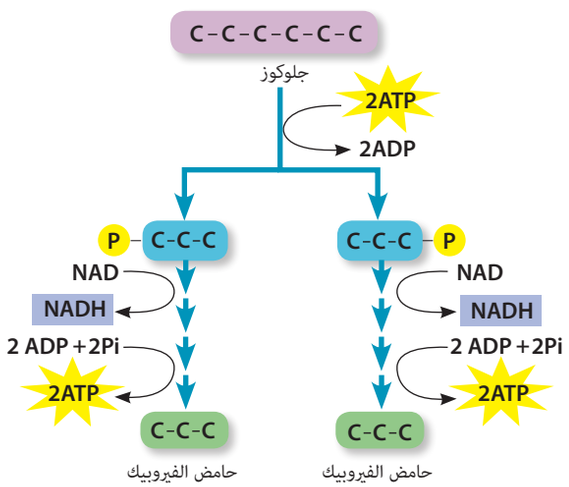
التأكسد - الاختزال وحاملات الهيدروجين:
انظروا الفصل الثالث، صفحة 61.

هـ 1.4 الجليكوليزا – تحليل الجلوكوز إلى حامض الفيروبيك

الجليكوليزا (باللاتينية: ***glycos***=سكر، ***lysis***=تحليل) هي المرحلة الأولى في مسارَيْ استخراج الطاقة من الجلوكوز. تتم الجليكوليزا في سيتوبلازم خلايا جميع الكائنات الحية وهي مثال للتجانس في عالَم الأحياء. لا يشترك أكسجين في عملية الجلوكوليزا.

أثناء الجلوكوليزا، يتحلل جزيء الجلوكوز المبني من هيكل مكون من 6 كربونات إلى جزيئين، كل واحد منهما مكون من 3 كربونات نسمِّيه **حامض الفيروبيك** (الرسمة هـ -8). يتم تحليل الجلوكوز بعدة مراحل، حيث ينشَّط كل واحد منها بواسطة إنزيم خاص. أثناء تحليل جزيئات الجلوكوز، تنتقل ذرتا هيدروجين من جزيء الجلوكوز إلى جزيئات تُستعمل **كحاملات هيدروجين (NAD)**، وهكذا نحصل على حاملات هيدروجين مختَزَلة (NADH). عملية تحليل الجلوكوز ونقل الهيدروجين إلى حاملات الهيدروجين يرافقهما إطلاق طاقة، حيث يُستعمل قسم منها لبناء 4 جزيئات ATP من جزيئات ADP وفوسفات. بما أنه يُبذل في بداية العملية جزيئان من الـ ATP عند تحليل جزيء جلوكوز واحد، فإن ربح الطاقة خلال عملية الجليكوليزا هو جزيئان ATP فقط.

من المهم إبراز الحقيقة أن تحليل الجلوكوز في الجليكوليزا هو جزئي، وفقط قسم من طاقة الجلوكوز تنطلق في هذه المرحلة. تبقى معظم الطاقة في حامض الفيروبيك وفي حاملات الهيدروجين. كما أن قسمًا من الطاقة المنطلقة في مرحلة الجليكوليزا يتحول إلى طاقة متوافرة للخلية على شكل ATP، أما باقي لطاقة، فإنها تنطلق كطاقة حرارية.



الرسمة هـ -8: تلخيص مرحلة الجليكوليزا التي تتم في سيتوبلازما الخلية.
انتبهوا! من هنا فصاعدًا، نعرض فقط كربونات الجلوكوز وكربونات جميع نواتج التحليل. في الواقع، هذه الجزيئات عضوية وهي تحتوي على ذرات هيدروجين وأكسجين أيضًا.

ماذا يحدث لنواتج الجليكوليزا؟!

حامض الفيروبيك وحاملات الهيدروجين المختَزَلة التي تَنْتُج في الجليكوليزا، لا تتراكم في الخلية، بل تمر في تغييرات إضافية متعلقة بالمسار الذي يحدث داخل الخلايا.

سؤال هـ -1:

أ. لأي أشكال طاقة نُقلت الطاقة الكيميائية التي كانت في جزيء الجلوكوز في عملية الجليكوليزا.
ب. اذكروا نواتج الجليكوليزا التي نُقلت إليها معظم الطاقة التي كانت في جزيء الجلوكوز. اشرحوا إجاباتكم.

سؤال هـ -2

هل تتم عملية الجليكوليزا في بيئة محيطة دون أكسجين؟ علِّلوا.

هـ 2.4 المسار الأول: استخراج الطاقة باشتراك الأكسجين – تنفس خلوي هوائي

خلال السبات الشتوي الطويل للدب الجريزلي الذي يستمر 6 أشهر، يفقد الدب حوالي ثُلث (!) وزن جسمه. وذلك على الرغم من انخفاض وتيرة العمليات الأيضية في جسمه بشكل كبير جدًا خلال السبات: فهو لا يأكل، لا يشرب ولا يفرز فضلات. وتنخفض وتيرة دقات قلبه إلى حوالي رُبع الوتيرة العادية. يُشير الانخفاض الكبير في وزن الدب إلى أنه يستغل الطاقة من الدهنيات الموجودة في جسمه. لماذا يحتاج الدب إلى كل هذه الطاقة التي يستخرجها من دهنيات جسمه على الرغم من أنه يكون في حالة نوم فقط؟

قبل أن نجيب عن هذا السؤال، يجب علينا أن نفهم، ما الذي يؤدي إلى الانخفاض الكبير في وزن جسم الدب الجريزلي؟ لهذا الغرض، يجب علينا أن نتعرف على عملية التنفس الخلوي الهوائي.

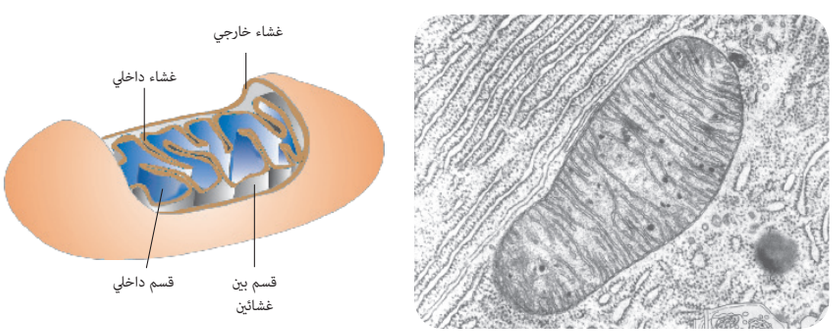
التنفس الخلوي الهوائي هو العملية الأساسية التي يتم بها استخراج الطاقة في خلايا الكائنات الحية الحقيقية النواة. وهذا هو المسار الناجع لاستخراج الطاقة، حيث تُستخرج فيه جزيئات **ATP** أكثر من كل مسار آخر، وبفضل ذلك تتم نشاطات حياة معقدة.

يوجد عدة مراحل لعملية التنفس الخلوي الهوائي. المرحلة الأولى، الجليكوليزا التي تتم في السيتوبلازم، أما المراحل الثلاث الأخرى فهي تتم في الميتوكندريا.

التنفس الخلوي الهوائي والميتوكوندريا

كما ذكرنا، في الخلايا الحقيقية النواة وبوجود الأكسجين، تنتقل نواتج الجليكوليزا، حامض الفيروبيك، وحاملات الهيدروجين المختَزَلة إلى داخل الميتوكوندريا، وهناك تستمر بعملية التنفس الخلوي الهوائي. عندما نتمعَّن في الميتوكوندريا بواسطة ميكروسكوب إلكتروني (الرسمة هـ - 9)، فإننا نرى هناك عُضي يشبه الأسطوانة، طوله 1 - 3 ميكرومتر (ميكرومتر = واحد على ألف من الميليمتر) وهو مُقَسَّم إلى **أقسام** . لكل ميتوكوندريا يوجد غشاءان (كل غشاء مبني من طبقتين من الفوسفوليبيدات): غشاء خارجي يحيط العضي، وغشاء داخلي مكون من طيات كثيرة تُحيط الفراغ الداخلي الذي يحتوي على المحلول. الطيات الكثيرة للغشاء الداخلي، تزيد من مساحة السطح الخارجي الداخلي بشكل كبير جدًا نسبةً لحجم الميتوكوندريا.

علاقة بموضوع
الخلية — مبنى وأداء:
ميتوكوندريا - عُضي داخل الخلية.



الرسمة هـ -9: مقطع في الميتوكوندريا. **على اليمين:** تصوير ميكروسكوبي إلكتروني (تكبير مقداره حوالي 30,000 مرة). **على اليسار:** رسم تخطيطي.

يوجد ملاءمة بين **كمية** الميتوكوندريا في الخلية وبين مستوى استهلاك الطاقة فيها. مثلًا: الخلية التي تخزِّن الدهنيات في جسم الإنسان، يوجد فيها عدد قليل من الميتوكوندريا، أما في خلية الكبد التي تحدث فيها عمليات أيضية كثيرة، يوجد فيهاحوالي 500 إلى 2,000 ميتوكوندريا في كل خلية وهي تُشكِّل خُمس حجم الخلية. في الخلايا التي نشاطها عالٍ جدًا، مثل: خلايا العضلات والخلايا المنوية، نجد عددًا كبيرًا جدًا من عُضيات الميتوكوندريا. في النباتات، يوجد وضع شبيه، في خلايا جذور حديثة السن، على سبيل المثال، يوجد عدد كبير جدًا من عضيات الميتوكوندريا بالمقارنة مع خلايا النبات الأخرى. وأيضًا مكان الميتوكوندريا في الخلية مُتعلّق بأداء المناطق المختلفة في الخلية. مثلًا: في خلايا العضلات، تتركز الميتوكوندريا في أسطر بين الألياف التي تنقبض، وفي الخلايا المنوية، تتركز الميتوكوندريا حول الذنب الذي بواسطته تتحرك الخلية، لأنه في هذه المناطق يوجد استهلاك كبير جدًا لجزيئات الـ **ATP**.

وأيضًا مساحة سطح الغشاء الداخلي للميتوكوندريا تختلف في الخلايا المختلفة وفقًا لاستهلاك الطاقة فيها. مثلًا: مساحة سطح الغشاء الداخلي للميتوكوندريا في خلايا القلب أكبر بثلاثة أضعاف من مساحة سطح الغشاء الداخلي للميتوكوندريا في خلايا الكبد.

فكرة مركزية

ملاءمة بين المبنى والأداء:
يتم التعبير عنه بعدد عُضيات الميتوكوندريا في الخلايا المختلفة وبمكانها.

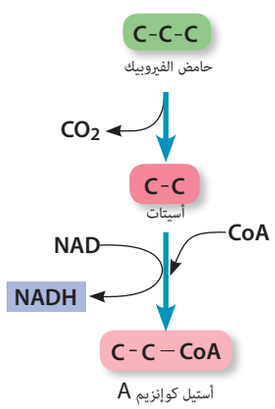
فيما يلي المراحل الثلاث لعملية التنفس الخلوي الهوائي التي تتم في الميتوكوندريا:

- تأكسد حامض الفيروبيك الناتج في عملية الجليكوليزا.
- "دورة كريبس".
- نقل الهيدروجين بعمليةترافق عملية بناء الـ **ATP** في عملية فسفرة التأكسد.

تتم المرحلتان الأولى والثانية في القسم الداخلي للمتوكوندريا. أما المرحلة الثالثة فهي تتم على سطح الغشاء الداخلي للميتوكوندريا.

■ تأكسد حامض الفيروبيك

نواتج مرحلة الجليكوليزا — حامض الفيروبيك وحاملات الهيدروجين المختزَلة (**NADH**) — تنتقل من السيتوبلازم إلى داخل الميتوكوندريا. حامض الفيروبيك المكون من 3 كربونات، يتحلل في البداية ويَنْتُج جزيئًا واحدًا من ثاني أكسيد الكربون (الذي ينطلق من الخلية إلى الدم) وجزيئًا واحدًا مكوَّن من كربونين نسمِّيه أسيتات (انظروا الرسمة هـ - 10). يرتبط الأسيتت بمادة نسمِّيها كوإنزيم **A** (في الرسمة **CoA**) (كوإنزيم هو جزيء يعمل بالتعاون مع إنزيم)، وتَنْتُج مادة اسمها استيل كوإنزيم **A**. أثناء إنتاج استيل كوإنزيم **A**، تنتقل ذرات هيدروجين من حامض الفيروبيك إلى حامل الهيدروجين (**NAD**) ونحصل على حامل هيدروجين مختزَل (**NADH**) إضافي.



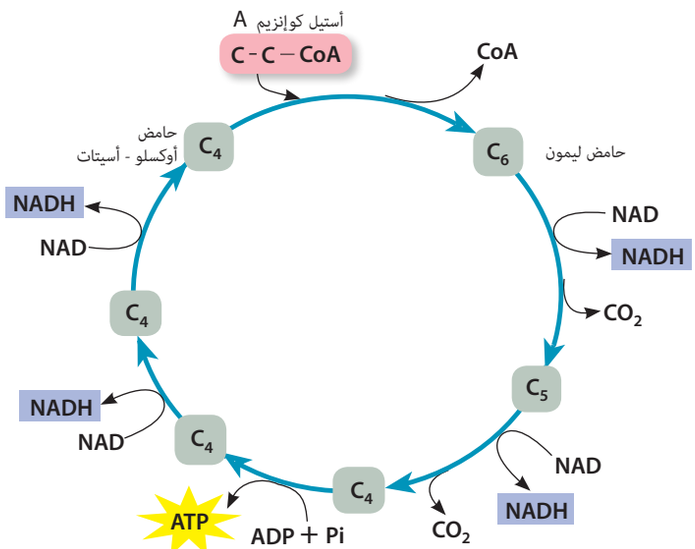
الرسمة هـ -10: عملية تحليل جزيء حامض الفيروبيك وتأكسده الذي يحدث في الميتوكوندريا.

سؤال هـ -3:

صنِّفوا الجزيئات الآتية التي تشترك في مرحلة تأكسد حامض الفيروبيك إلى مواد متفاعلة وإلى نواتج: **NAD**, CO_2, حامض الفيروبيك, **NADH**, أستيل كوإنزيم **A**, كوإنزيم **A**.

■ دورة كريبس

يتم تحليل جزيء أستيل كوإنزيم **A** في عملية دائرية متعددة المراحل نسمِّيها دورة كريبس على اسم مكتشفها هينس كريبس **(Hans Krebs 1900-1981)**. عند الانتقال من مادة معينة إلى مادة أخرى في سلسلة عمليات دورة كريبس، فإنه يحدث تغيير في الهيكل الكربوني بمركبات الكربون ويتم انتقال طاقة. نلاحظ في الرسمة هـ - 11 أن الدورة تبدأ بالارتباط بين أستيل كوإنزيم **A** وبين جزيء مكون من 4 كربونات(حامض اوكسلو أسيتات). يَنْتُج من هذا الترابط جزيء مكون من 6 كربونات (حامض الليمون). في المراحل التالية، ينطلق جزيئان CO_2 من حامض الليمون ويبقى مركب مكون من 4 كربونات. بعد عدة مراحل، يستعد هذا المركب للارتباط مرةً أخرى باستيل كوإنزيم **A** ، لكي يبدأ "دورة" جديدة من جديد. أثناء تغيُّر الهيكل الكربوني من حامض الليمون وحتى حامض الأوكسلو أسيتات، ينتقل هيدروجين من مواد وسطية في الدورة إلى حاملات الهيدروجين. تُستغل طاقة حاملات الهيدروجين المختَزلة في المرحلة القادمة لبناء **ATP**. إضافةً لذلك، يُبنى في دورة كريبس جزيء **ATP** واحد على كل جزيء حامض فيروبيك (والمجموع هو جزيئان **ATP** على كل جزيء جلوكوز). كما هو الامر في كل عملية بيوكيميائية، فإنّ عمليات دورة كريبس يرافقها انطلاق حرارة.



الرسمة هـ -11: رسم تخطيطي عام لعمليات دورة كريبس.
انتبهوا! عرضنا قسم من المواد الوسطية في الدورة، من خلال عدد كربونات المركب فقط.

■ نقل هيدروجين وبناء ATP — فسفرة مؤكسدة

تتم هذه المرحلة في الميتوكوندريا وفيها نحصل على معظم جزيئات الـ **ATP**. في هذه المرحلة، حاملات الهيدروجين المختَزَلة **(NADH)** التي نَتَجت في المراحل السابقة، تصل الغشاء الداخلي للميتوكوندريا وتعطي الهيدروجين إلى حاملات خاصة موجودة في الغشاء. سلسلة العمليات التي تحدث في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا، والتي ستقرأون عنها بتوسع فيما بعد، تُتيح بناء جزيئات **ATP** من خلال هيئة إنزيمات خاصة موجودة في الغشاء الداخلي أيضًا. تُبنى خلال هذه العملية حوالي 26 - 28 جزيء **ATP**.

ماذا يحدث للهيدروجينات في نهاية عملية التنفس الخلوي الهوائي؟ ⁉

في نهاية العملية، يرتبط الهيدروجين بالأكسجين (نعم، نفس الأكسجين الذي وصل من البيئة المحيطة إلى الخلايا عبر الدم) ويَنْتُج ماءً.

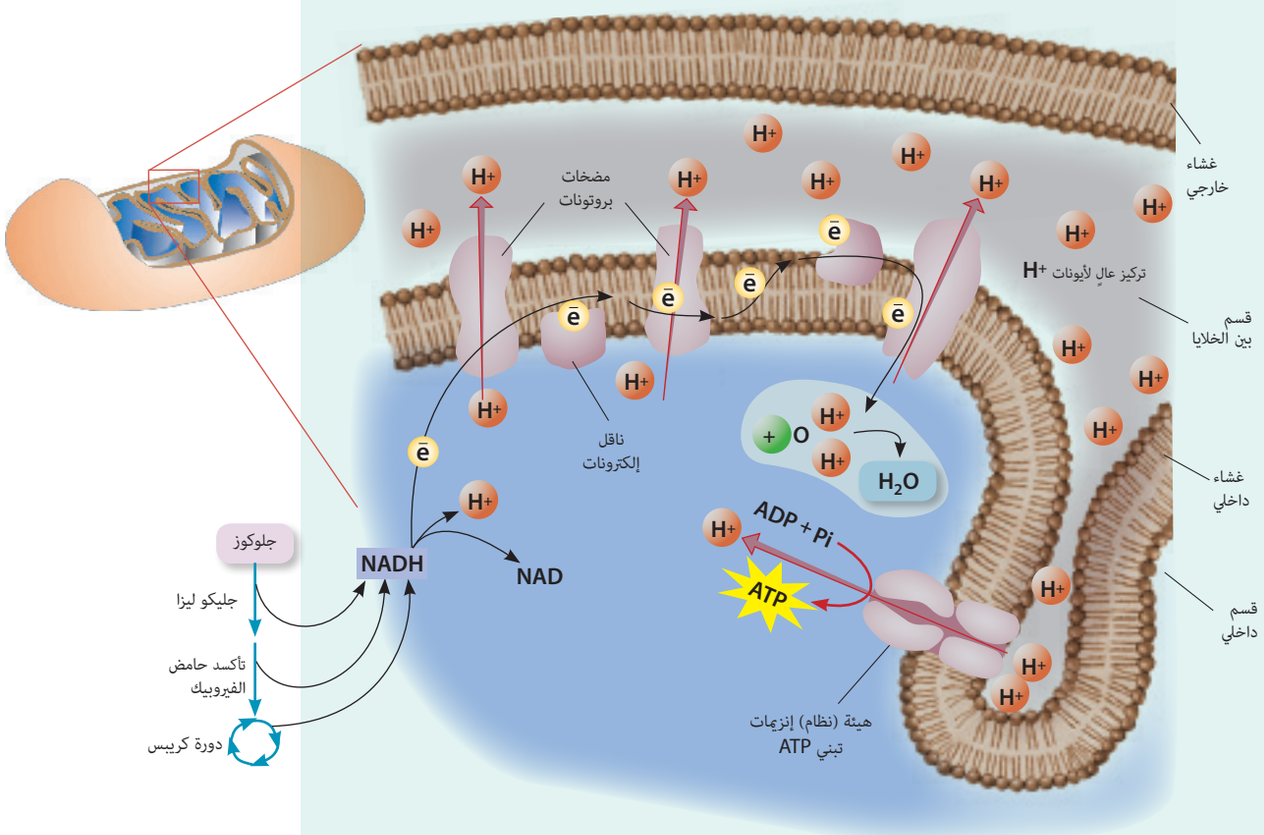
علاقة بموضوع
علم البيئة:
مياه أيضية.

استيعاب الهيدروجين من حاملات الهيدروجين المختَزَلة (الـ **NADH**) بواسطة الأكسجين ضروري لـ "مدورة" حاملات الهيدروجين. لأن كمية جزيئات الـ **NAD** في الخلايا محدودة، ولو كانت جميع جزيئات الـ **NAD** مختَزَلة (**NADH**)، لتوقفت عملية التنفس الخلوي الهوائي.

توسع

الفسفرة المؤكسدة في الميتوكوندريا — ترافق بين عمليات تأكسد - واختزال وبين بناء الـ ATP

كما ذكرنا أعلاه، حاملات الهيدروجين المختَزَلة (**NADH**) التي نَتَجت في الجليكوليزا وفي المراحل الأولى من التنفس الخلوي الهوائي، تخسر الهيدروجين إلى سلسلة حاملات خاصة موجودة في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا. في هذه العملية، تنفصل ذرات الهيدروجين إلى الكترونات (e) وبروتونات (أيونات H^+). تنتقل البروتونات وتدخل بين الأغشية، والإلكترونات هي التي تنتقل من ناقل إلى آخر في سلسلة نسمِّيها "سلسلة انتقال الإلكترونات". هذا الانتقال هو سلسلة عمليات تأكسد - اختزال (انظروا الصفحة 61)، عندما يحصل كل حامل بدوره على إلكترون (يُختزل) وعندئذ يخسره (يتأكسد). تنتظم جزيئات الناقلات في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا في تسلسل يكون فيه كل ناقل مؤكسد أقوى من السابق له، لذا فهو يستطيع أن يجذب الإلكترون من الناقل السابق له في السلسلة. تُستغل الطاقة المنطلقة أثناء انتقال الإلكترونات لنقل أيونات الهيدروجين (H^+) إلى القسم الذي يقع بين الأغشية وبواسطة ذلك يَنْتُج منحدر تراكيز لأيونات الهيدروجين في كِلا طَرفي الغشاء الداخلي (الرسمة هـ - 12).



الرسمة هـ -12: فسفرة تأكسد في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا: سلسلة انتقال الإلكترونات ونظام بناء الـ ATP المرافق له.
ملاحظة: مضخات البروتونات هي جزء من سلسلة انتقال الإلكترونات.

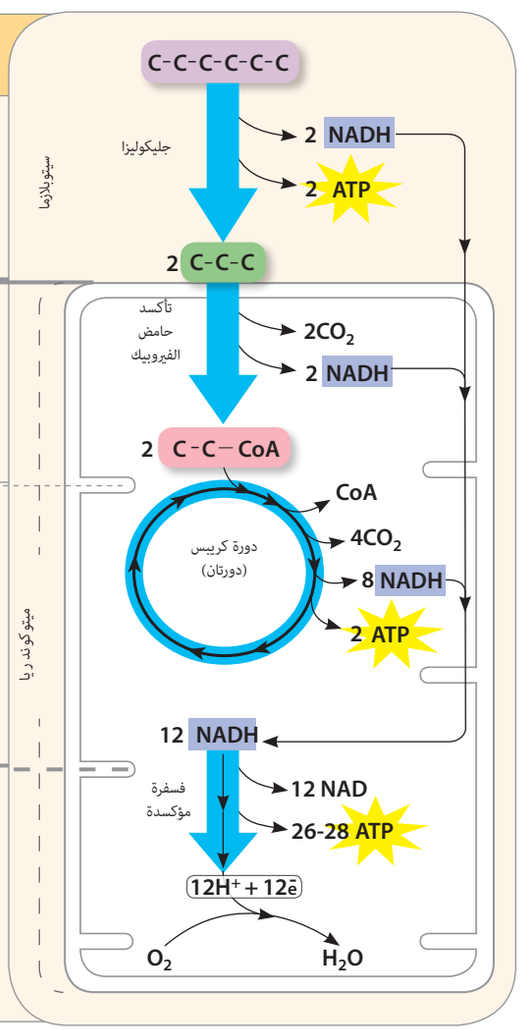
التركيز العالي للبروتونات في القسم الذي يقع بين الأغشية هو مخزن الطاقة الوضعية الكامنة (كما هو الامر مع الماء المخزون خلف سد). تنتقل البروتونات من القسم الذي يقع بين الأغشية إلى القسم الداخلي للميتوكوندريا، وذلك وفقًا لمنحدر التراكيز عبر نظام (هيئة) إنزيمات موجودة في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا لبناء الـ **ATP** . تيار البروتونات هو الذي يزوِّد الطاقة المطلوبة لهذا النظام لبناء الـ **ATP**.

الأخير الذي يحصل على الإلكترونات في السلسلة هو أكسجين جزيئي، وهو مؤكسد أقوى من جميع الناقلات الأخرى في السلسلة. يرتبط الأكسجين بأيونات الهيدروجين الموجودة في القسم الداخلي وبالإلكترونات من خلال إنتاج جزيئات الماء. سُمِّيت العملية **فسفرة مؤكسدة**، لأنه يُضاف خلالها فوسفور (فوسفات) إلى جزيء الـ **ADP** من خلال تأكسد حاملات الهيدروجين المخَتَزَلة.

يلخص الجدول هـ -1 والرسمة التي في داخله مسار استخراج الطاقة في وجود الأكسجين.

جدول هـ - 1: تلخيص عملية التنفس الخلوي الهوائي — من جلوكوز وأكسجين إلى **ATP**, CO_2 وماء
انتبهوا! قسمًا من المواد المتفاعلة التي تظهر في الجدول، لا تظهر في الرسمة.

المرحلة	مكان الحدوث	مواد متفاعلة	نواتج
جليكوليزا	سيتوبلازما	جلوكوز (6 كربون)	2 حامض فيروبيك (3 كربون)
		حامل هيدروجين دون هيدروجين (NAD)	حامل هيدروجين مختَزَل (NADH)
		Pi + ADP	ATP
تأكسد حامض الفيروبيك	قسم داخلي في الميتوكوندريا	حامض الفيروبيك كوإنزيم A	أستيل (2 كربون) كوإنزيم A CO_2
		حامل هيدروجين دون هيدروجين (NAD)	حامل هيدروجين مختَزَل (NADH)
دورة كريبس	قسم داخلي في الميتوكوندريا	أستيل (2 كربون) كوإنزيم A	كوإنزيم A
		حامل هيدروجين دون هيدروجين (NAD)	حامل هيدروجين مختَزَل (NADH)
		Pi + ADP	ATP
			CO_2
فسفرة مؤكسدة	الغشاء الداخلي للميتوكوندريا	حامل هيدروجين مختَزَل (NADH)	حامل هيدروجين دون هيدروجين (NAD)
		أكسجين	ماء
		Pi + ADP	ATP



سؤال هـ -4:

نرى في التلخيص المعروض في جدول هـ - 1 أن نواتج مرحلة معينة هي مواد متفاعلة لمرحلة أخرى.
أعطوا ثلاثة أمثلة لمواد هي نواتج في مرحلة معينة لكنها مواد متفاعلة في مرحلة أخرى.

تلخيص: في المرحلتين اللتين تتم بعد الجليكوليزا، يتحلل الهيكل الكربوني لحامض الفيروبيك تمامًا إلى جزيئات ثاني أكسيد الكربون. كمية الـ **ATP** الناتجة المباشرة في هذه المراحل بكمية ليست كبيرة. المرحلة الأخيرة في هذا المسار هي التي تُنْتِج جزيئات **ATP** كثيرة، عندما يرتبط الهيدروجين من حامل الهيدروجين المختزَل (**NADH**)(الذي نَتَج خلال المراحل السابقة) بالأكسجين ويَنْتُج ماء. عدد جزيئات الـ **ATP** الذي يَنْتُج من **تأكسد كامل** لجزيء الجلوكوز حوالي 30 جزيء (2 في الجليكوليزا، 2 في دورة كريبس وحوالي 26-28 في الفسفرة المؤكسدة). العدد الدقيق لجزيئات الـ **ATP** متعلق بعوامل مختلفة، لا نستطيع أن نتطرق إليها هنا. الصيغة العامة (الموزونة) لاستخراج الطاقة في عملية التنفس الخلوي الهوائي هي:

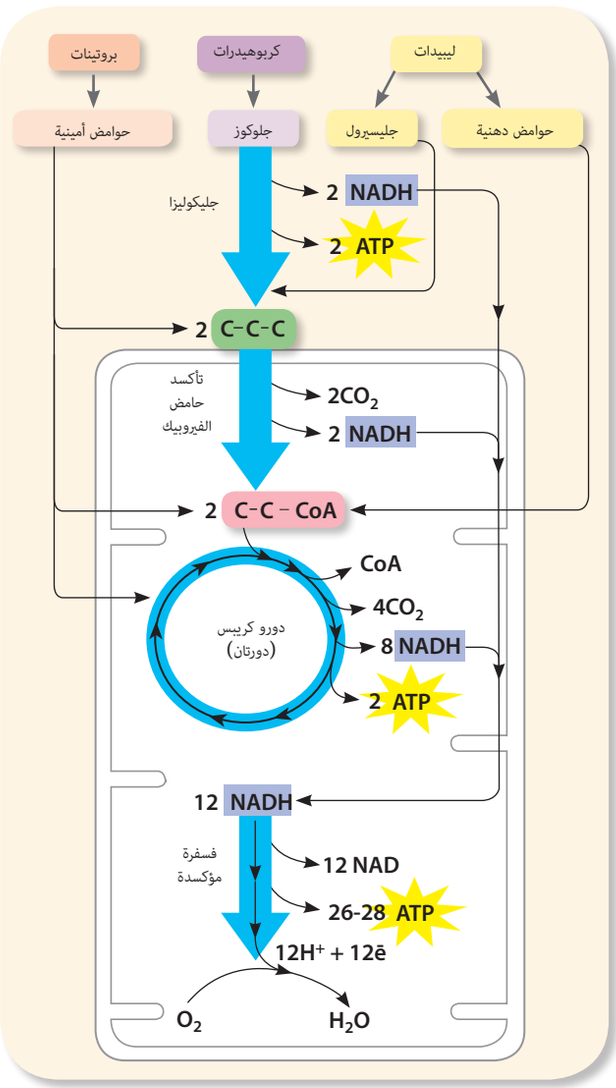
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 30ADP + 30Pi \xrightarrow{\text{إنزيمات}} 6H_2O + 6CO_2 + 30ATP$$

على الرغم من أن نجاعة استخراج الطاقة في مسار التنفس الخلوي الهوائي هو عال جدًا في الخلية الحية، إلا أن حوالي 40% من الطاقة المنطلقة من تأكسد الجلوكوز مستغلة لبناء جزيئات الـ **ATP**. أما القسم الآخر من الطاقة، يتحول إلى حرارية وينبعث من الخلية. قد تفكرون أن ذلك تبذيرًا، للمقارنة - نجاعة استخراج الطاقة من وقود السيارة حوالي 25%.

هل مواد عضوية أخرى باستثناء الجلوكوز يمكن أن تُستعمل لاستخراج الطاقة في الخلية؟

حتى الآن، ركَّزنا على وصف عمليات استخراج الطاقة التي يكون فيها المتفاعل الأول هو جلوكوز. من المهم أنْ نعرف أنّ نواتج تحليل الليبيدات والبروتينات تُستغل في مراحل مختلفة من العمليات وتُستعمل كمواد متفاعلة وكمصدر للطاقة، كما نرى ذلك في الرسمة هـ - 13.

الليبيدات التي يستهلكها الجسم، تتحلل في الجهاز الهضمي، وتصل الخلايا نواتج التحليل، بالأساس حوامض دهنية وجليسيرول. يَنْتُج أستيل كوإنزيم **A** من الحوامض الدهنية وهو يشترك في دورة كريبس، ويشترك الجليسيرول في عملية الجليكوليزا.
كمية الطاقة (**ATP**) التي تستخرجها الخلية من الحوامض الدهنية حوالي ضعفي الكمية المستخرجة من الجلوكوز. بين الوجبات وأثناء النشاط الرياضي المستمر، يزوِّدنا تحليل الدهنيات بحوالي نصف كمية الـ **ATP** المطلوبة لخلايا العضلات، الكبد والكليتين. تُستغل الدهنيات لاستخراج الطاقة في حالة نقص في الجلوكوز أيضًا، مثلًا: في السبات الشتوي، أو أثناء ترحال الطيور.



الرسمة هـ-13: استخراج طاقة من مواد عضوية مختلفة.

تُستغل **البروتينات** كمصدر للطاقة في الخلايا عندما تنتهي مصادر الكربوهيدرات والدهنيات، مثلًا: أثناء الصوم أو الجوع المستمر. هذا الوضع غير مرغوب، لأن تحليل البروتين قد يضر الأداء السليم في الجسم. تتحلل البروتينات إلى حوامض أمينية تشترك كمواد وسطية في دورة كريبس وفي مراحل سابقة لها. كمية الطاقة (**ATP**) التي تستخرجها الخلية من الحوامض الأمينية مماثلة لكمية الطاقة المستخرجة من الجلوكوز. يوجد في الكبد مسار تتحول فيه حوامض أمينية أثناء الحاجة إلى جلوكوز (مصدر الطاقة الوحيد لخلايا الجهاز العصبي).

من الجدير بالمعرفة أن مواد وسطية في عملية التنفس الخلوي، قد تُستعمل مواد بناء أساسية لبناء مواد عضوية معقدة. مثلًا: تُستعمل مواد وسطية من دورة كريبس كمواد بناء أساسية لحوامض أمينية أو حوامض دهنية. تشكل دورة كريبس وأستيل كوإنزيم **A** مفترق طرق أيضي مهم في الخلية، لأنها تربط بين عمليات التحليل وعمليات البناء.
عمليات استخراج الطاقة في الخلية وعمليات البناء متعلقة ببعضها ويتم تنظيمها بحسب الحاجة إلى الطاقة وبناء المواد.

سؤال هـ -5:
عند احتراق مادة عضوية، تتحلل المادة مباشرةً إلى CO_2 وماء. أما في عملية التنفس الخلوي الهوائي، تمر المادة العضوية بعملية تحليل متعددة المراحل. ما هي الأفضلية للخلايا من عملية التحليل المتعددة المراحل؟

سؤال هـ -6:
في عملية التخمر، تَنْتُج كل الطاقة (**ATP**) في مرحلة الجليكوليزا. اشرحوا، لماذا نواتج الجليكوليزا (حامض الفيروبيك وحامل الهيدروجين المختَزَل) لا تستطيع أن تكون نواتج نهائية في عملية التخمر؟

سؤال هـ -7:
ما هي الوظيفة الضرورية للأكسجين في عملية التنفس الخلوي الهوائي؟

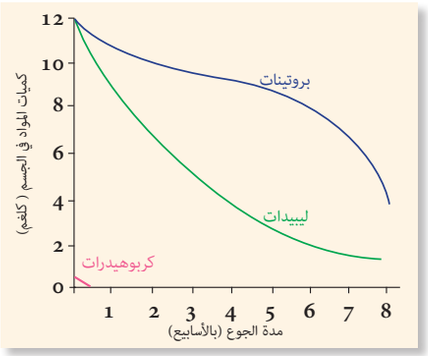
سؤال هـ -8:
يَنْتُج **NAD** من فيتامين نيئاتسين (B_3)، لكن على الرغم من وظيفته المركزية في عملية التنفس الخلوي الهوائي، لا تحتاج الحيوانات إلى كميات كبيرة من النيئاتسين. اشرحوا.

سؤال هـ -9:
لماذا يجب الحفاظ على تهوية التربة في منطقة جذور النبتة؟

سؤال هـ -10:
لماذا لا نحتاج عادةً إلى تسخين قاعات الرياضة عندما تتم فيها نشاطات رياضية؟

سؤال هـ -11:

تصف الرسمة هـ - 14 تأثير الجوع المتواصل على كمية المواد في جسم الإنسان. ماذا يمكن أن نتعلم من هذه الرسمة عن كميات المواد في جسم الإنسان وعن ترتيب استعلالها أثناء الجوع.



الرسمة هـ -14: تأثير الجوع المتواصل على كميات المواد في الجسم .

نافذة البحث

أُجريت تجربة لفحص استهلاك الأكسجين في أقسام الخلية المختلفة، وقد أُضيف جلوكوز وتمَّ فحص استهلاك الأكسجين في عينتين:

1. نسيج مهروس (يشمل جميع مكونات الخلية).
2. ميتوكوندريا فقط.

يعرض الجدول هـ- 2 نتائج التجربة.

جدول هـ - 2: معدل وتيرة استهلاك الأكسجين في أقسام الخلية المختلفة بوجود جلوكوز.

العينة التي فُحصت	معدل وتيرة استهلاك الأكسجين (وحدات عشوائية)
نسيج مهروس	100
ميتوكوندريا (كاملة) فقط	3

سؤال هـ - 12

أ. اشرحوا الفرق في استهلاك الأكسجين بين العينتين.

ب. ما هي المادة التي يجب إضافتها إلى العينة التي تحتوي على ميتوكوندريا فقط، لكي نرفع من استهلاك الأكسجين فيها؟ اشرحوا إجاباتكم.

سُبات الدب والـ ATP

نعود إلى السؤال الذي طرحناه في بداية النقاش حول استخراج الطاقة باشتراك الأكسجين (صفحة 142): **لماذا يحتاج الدب إلى استخراج طاقة كثيرة من الدهنيات الموجودة في جسمه أثناء السبات الشتوي؟**

كما رأينا في هذا الفصل، يُستعمل عادةً قسمًا كبيرًا من الطاقة الناتجة من تحليل المواد العضوية لبناء جزيئات الـ ATP تُستخدم كمصدر طاقة متوافر لنشاطات الحياة. يوجد ترافق بين عمليات تحليل وتأكسد المواد العضوية وبناء الـ ATP.

أثناء السبات الشتوي، في حالة نقص غذاء كربوني، مصدر الطاقة للدب هو الدهنيات الموجودة في جسمه. في خلايا دهن الدب، يوجد بروتينات غير فعَّالة نسمِّيها **بروتينات تمنع الترافق بين العمليات.** في درجة حرارة منخفضة، تصبح هذه البروتينات فعَّالة ووظيفتها أن تمنع الترافق بين عمليات نقل الهيدروجين في التنفس الخلوي وبين بناء جزيئات الـ ATP. نتيجةً لعدم ترافق العمليات، لا تُستغل معظم الطاقة المنطلقة في عملية

فكرة مركزية

تنظيم واتزان بدني: *يحدث كل الوقت في الكائنات الحية وأثناء السبات أيضًا.*

التنفس الخلوي الهوائي لبناء الـ **ATP** بل تتبعثر كحرارة. الحرارة المنطلقة من تحليل الدهنيات، تساعد الدب في الحفاظ على درجة حرارة جسمه في أيام الشتاء الصعبة، ويُتيح نشاط الإنزيمات في المستوى الأدنى المطلوب للحفاظ على اتزان بدني أثناء السبات الشتوي أيضًا.

قليل من المعلومات ...

مستحضرات خطيرة

في سنة 1986، وصلت المستشفى في الولايات المتحدة طفلة عمرها ثلاث سنوات ونصف دون دقات قلب ودون تنفس. قالت الأم: قبل ساعتين قامت بتنظيف كلبها بمادة لمكافحة البراغيث، وبعد ذلك بدأت بالتقيؤ والنعاس. بعد مرور عشرة دقائق، أصبح تنفسها سريعًا وقد فقدت وعيها وماتت.

تبيَّن في الفحص الذي أجري، بعد الموت، في خلايا أنسجة مختلفة، أن هناك إصابة بميتوكوندريا الخلايا ويوجد مستوى منخفض جدًا لل **ATP** في الميتوكوندريا. قد تُشير هذه المكتشفات إلى وجود مادة معينة في المستحضر المعد لمكافحة البراغيث الذي أصاب التنفس الهوائي في خلايا البنت وأدى إلى موتها. من المهم أن نذكر أنه من المعروف أن هذا هو الموت الوحيد الذي حدث بسبب استعمال هذا المستحضر، وقد نبع ذلك على ما يبدو من أنّ البنت تعرضت لهذه المادة بشكل مكثف في أعقاب استنشاقه وابتلاعه.

تساعد معرفة عملية التنفس الخلوي الهوائي على فهم أسباب موت الطفلة.

سؤال هـ -13:

وُجد في الفحص أنّ مستوى الـ **ATP** في الميتوكوندريا كان منخفضًا جدًا بالمقارنةً مع المستوى المتوقع، لكن مستوى الـ **ATP** في السيتوبلازم كان سليمًا. إضافةً إلى ذلك، كان مستوى أستيل كوإنزيم **A** سليما.

أ. اعتمادًا على هذه المكتشفات، أي مرحلة في التنفس الخلوي الهوائي أُصيبت جراء استعمال المستحضر لمكافحة البراغيث؟

ب. هل كان من الممكن أن يساعد التنفس الاصطناعي هذه الطفلة؟ كيف توصلتم إلى إجاباتكم؟

3.4هـ المسار الثاني: استخراج الطاقة دون اشتراك أكسجين — عمليات تخمر وتنفس خلوي لا هوائي

يتم استخراج الطاقة دون اشتراك الأكسجين في عمليات **تخمر** أو في عملية نسمِّيها **تنفس خلوي لا هوائي**. تتم عمليات التخمر في كائنات حية غير حقيقية النواة مثل البكتيريا، وأيضًا في كائنات حية حقيقية النواة في ظروف نقص في الأكسجين، على سبيل المثال، في الخميرة وخلايا عضلات تبذل جهدًا. التنفس الخلوي اللاهوائي كوسيلة لاستخراج الطاقة موجود فقط في كائنات حية غير حقيقية النواة وهي عملية نادرة نسبيًا.

انتبهوا، أحيانًا نستعمل خطأ التخمر والتنفس الخلوي اللاهوائي، الواحد بدل الآخر. في هاتين العمليتين، تُستخرج الطاقة دون اشتراك الأكسجين، لكن على الرغم من ذلك، نبيِّن في هذا البند أن العمليتين مختلفتين بالعملية البيوكيميائية التي تحدث في الخلايا، وبمستوعب الهيدروجين النهائي وبعدد جزيئات الـ **ATP** التي تَنْتُج في كل عملية.

عملية التخمر

ما هو المشترك للخيار المخلل الحامض، النبيذ، خميرة الخبز، البيرة و .... والآلام في العضلات؟ ⁉

جميعها نَتَجت خلال عملية التخمر.

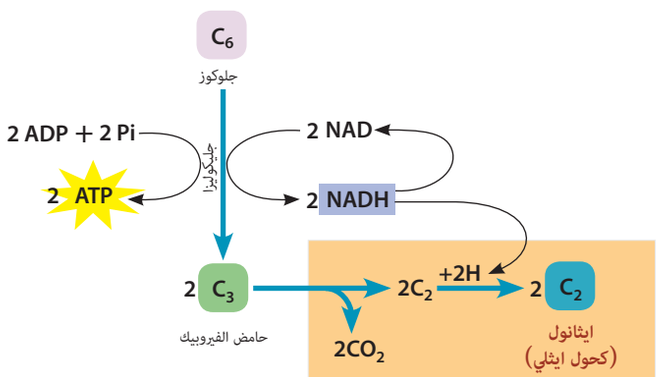
عمليات التخمر مكونة من مرحلتين: أ. الجليكوليزا. ب. نقل الهيدروجين من خلال مدورة الحاملات. يتم استخراج الطاقة (إنتاج **ATP**) من الجلوكوز في عملية التخمر في مرحلة الجليكوليزا فقط، حيث نحصل على جزيئين **ATP** من كل جزيء جلوكوز. هذا العدد قليل جدًا بالمقارنة مع عدد جزيئات الـ **ATP** التي تُستخرج خلال التنفس الخلوي الهوائي.

في المرحلة الثانية من عمليةالتخمر، ينطلق الهيدروجين من حاملات الهيدروجين وينتقل إلى مستوعبات الهيدروجين، وهكذا تتم مدورة الحاملات. مدورة حاملات الهيدروجين ضرورية لحدوث دورات إضافية من الجليكوليزا.

توجد عدة عمليات تخمر تختلف عن بعضها بمستوعبات الهيدروجين وبنواتجها النهائية. نبحث هنا عمليتا تخمر لهما أهمية في صناعة الغذاء: تخمر كحولي وتخمر حامض الحليب (تخمر لاكتي).

التخمر الكحولي

في التخمر الكحولي، يتحلل في البداية حامض الفيروبيك الذي نَتَج في الجليكوليزا إلى CO_2 وإلى مادة وسطية مكونة من كربونين. المادة المكونة من كربونين تستوعب الهيدروجين من حامل الهيدروجين، وهكذا يَنْتُج الإيثانول (الرسمة هـ - 15). ينطلق الإيثانول المكون من كربونين وَ CO_2 من الخلية. مصدر الاسم تخمر من اسم الكائن الحي "خميرة" الذي اكتُشفت فيه هذه العملية لأول مرة. يتم التخمر الكحولي في الخميرة وفي أنواع بكتيريا معينة، ويستغله الإنسان لتخمير العجينة ولإنتاج الإيثانول الذي نسمِّيه في حياتنا اليومية كحولًا.



الرسمة هـ -15: عملية التخمر الكحولي

التخمر الكحولي في خدمة الإنسان

تُستخدم الخميرة لتخمير العجين وفي تحضير مُنْتَجات خبز مختلفة. الخميرة هي فطريات أحادية الخلية، وهي تستطيع أن تنفِّذ تنفسًا خلويًا هوائيًا وتخمر. في بداية عملية تخمر العجين، تستخرج الخميرة طاقة خلال التنفس الخلوي الهوائي، عندما يكون في بيئتها المحيطة كمية أكسجين كافية ومواد غذائية متوافرة مثل الجلوكوز. في هذه الظروف، تتكاثر بوتيرة سريعة وتُطلق كمية كبيرة من غاز الـ CO_2 الذي يُحتجز في العجين. فيما بعد، في عملية التخمر، تتغيَّر الظروف في العجين، حيث تصبح كمية الجلوكوز والأكسجين قليلة (اللذان "احتل" مكانيهما الـ CO_2). في هذه الظروف، تنتقل الخميرة إلى استخراج الطاقة بعملية التخمر الكحولي ويتباطئ تكاثرها. وفي عملية التخمر الكحولي، يَنْتُج كحولًا وحوامض مختلفة تُكسب العجين مذاق ورائحة مرغوبة.

يُستخدم التخمر الكحولي في صناعة النبيذ أيضًا. في الطبيعة، تتطور على العنب أصناف كثيرة من الخميرة التي يمكن تمييزها كمسحوق أبيض على العنب. هذه الخميرة نسمِّيها "خميرة برية". في إنتاج النبيذ الحديث، الطريقة الأفضل، هي إبادة الخميرة البرية، وبعد ذلك، إضافة خميرة طُوِّرت في المختبر بالكمية المطلوبة وبرقابة. الخميرة الموجودة بشكل طبيعي على سطح العنب أو التي أُضيفت، تؤدي إلى تحويل عصير العنب إلى نبيذ بواسطة التخمر الكحولي. سكر العنب (جلوكوز) هو غذاء هذه الخميرة. يؤدي معس العنب إلى تلامس بين الخميرة وعصير العنب.

قليل من المعلومات ...

التخمر بحسب طلبك — إنتاج مشروبات كحولية مختلفة

نوع المشروب الكحولي الذي يَنْتُج متعلق بصنف العنب، بنوع الخميرة، بكميتها، بمدة التخمر وبالمادة التي تتخمر. إذا توقف التخمر، على سبيل المثال، في مرحلة مبكرة وبقيت كمية كبيرة من السكر الذي لم يتخمر، فإنّنا نحصل على نبيذ مذاقه حلو قليل ونسمِّيه نصف جاف، وهو يحتوي على نسبة مئوية قليلة من الكحول (6% - 9%). إذا استمر التخمر مدة زمنيةً أطول، فإننا نحصل على نبيذ "جاف" فيه نسبة مئوية عالية من الكحول (11% - 12.5% كحول).

يُنْتَج "نبيذ التسلية " على الأغلب من عنب قُطف متأخرًا، لذا تكون فيه نسبة عالية جدًا من السكر الطبيعي. عندما تتوقف عملية التخمر، فإنّنا نحصل على نبيذ حلو فيه نسبة مئوية عالية من الكحول. تنبع الحلاوة العالية والنسبة المئوية العالية للكحول في "نبيذ القداس" بسبب إضافة سكر وكحول أثناء عملية الإنتاج.

نحصل على النبيذ الأحمر من تخمر العنب كله (بما في ذلك قشرة العنب)، أما النبيذ الأبيض فنحصل عليه من تخمر العصير فقط. في نهاية التخمر، نفصل السائل عن المواد الصلبة ويُنقل النبيذ للتخزين في حاويات كبيرة. يَنْتُج اللون الأحمر للنبيذ من قشرة العنب وليس من لون العصير.

اتضح من ذلك أنه من العنب الأحمر أو الأسود، يمكن أن نُنْتِج نبيذًا أحمر أو أبيض (عند فصل وإبعاد قشرة العنب). يتم إنتاج النبيذ الغازي والشمبانيا بواسطة تَخمر إضافي للنبيذ الذي حُضِّر، حيث يتم إدخال النبيذ الذي تمَّ تحضيره إلى قنانٍ ويُضاف إليه سكر وخميرة. الآن، يحدث تخمر إضافي في قنينة مغلقة. وبما أن القنينة مغلقة، لا يستطيع CO_2 الخروج منها، وهكذا تَنْتُج الفقاعات التي تميِّز هذا النبيذ.

عمليات التّخمر التي تنفِّذها الخميرة، هي الأساس لإنتاج مشروبات روحية إضافية. العوامل التي تحدد المذاق الخاص هي: نوع الخميرة ونوع الخضروات، أو الثمر الذي يُستخدم كوسط لعملية التخمر، مثل: الشعير (لتحضير البيرا)، البطاطا (لتحضير الفودكا)، الأرز (لتحضير ساكي) وثمار أخرى مختلفة (لتحضير أنواع نبيذ مختلفة).

من الجدير بالذكر أن الليكر هو مشروب كحولي لا نحصل عليه من عمليات التخمر، بل من خلال نقع مواد غذائية مختلفة (ثمار، أعشاب بهارات، قهوة وغير ذلك) في إيثانول نقي.

سؤال هـ -14:

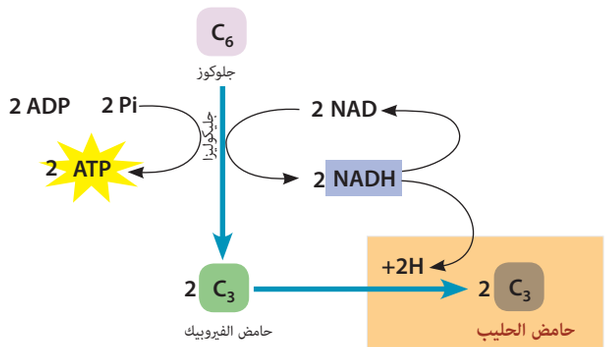
في تجربة معينة، نمَّ الباحثون خميرة للخبز في صحنين فطريين. في كل واحد منهما، كان عددًا متساويًا من الخميرة وكمية الجلوكوز متساوية في وسط التنمية أيضًا. وُضع الصحن الأول مع وجود أكسجين والصحن الثاني في نقص أكسجين. خمَّن الباحثون أن مخزون الجلوكوز في أحد الصحنين سينتهي بشكل أسرع بالمقارنةً مع الصحن الثاني.

أ. ما هي القاعدة البيولوجية لتخمين الباحثون؟

ب. في أي صحن ينتهي مخزون الجلوكوز بشكل أسرع؟ اشرحوا إجاباتكم.

تخمر حامض الحليب (حامض اللاكتيك)

على الرغم من أنه لا ينطلق غاز في هذه العملية، إلا أننا نسمِّيها تخمرًا أيضًا. في تخمر حامض الحليب، يُستخدم حامض الفيروبيك لاستيعاب الهيدروجين وأثناء التخمر يتحول إلى حامض الحليب (الرسمة هـ - 16). حامض الحليب له مذاق حامض ورائحة مميزة. تتم هذه العملية في بكتيريا الحليب ويوجد لها استعمالات كثيرة في إنتاج معلبات (مخللات) الخضروات وفي إنتاج مُنْتَجات الحليب، مثل: اليوجورت، الجبن واللبن.



الرسمة هـ -16: تخمر حامض الحليب

تخمر حامض الحليب في خدمة الإنسان

إحدى طرق الحفاظ على الغذاء هي تحميضه. لذا نضع الغذاء الذي نريد تحميضه (خيار، بندورة، ملفوف، زيتون، باذنجان) في وعاء مغلق ونضيف له ماء وملح. يُنتج الملح ظروف اسموزا تؤدي إلى موت عشائر بكتيريا لا تستطيع أن تعيش في هذا الضغط الأسموزي. أما بكتيريا حامض الحليب الموجودة بشكل طبيعي على قشرة الثمار والخضروات،فإنها تستطيع أن تعيش في الضغط الأسموزي الذي نَتَج، ومع مرور الوقت، يزداد تعداد عشائر بكتيريا الحليب. تخمِّر بكتيريا حامض الحليب السكريات الموجودة في قشر الثمار أو الخضروات. ناتج عملية التخمر هو حامض الحليب الذي يؤدي إلى انخفاض الـ **pH** في السائل. يؤدي انخفاض الـ **pH** إلى احمضاض الخيار وإلى موت كائنات حية دقيقة أخرى، وهكذا يتم الحفاظ على الثمار والخضروات لمدة زمنية طويلة. إضافةً إلى ذلك، ونتيجةً لانخفاض الـ **pH**، تموت بكتيريا حامض الحليب أيضًا، وفي النهاية، تتوقف عملية التحميض أيضًا.

سؤال هـ -15:

أ. لماذا يؤدي انخفاض الـ **pH** في عملية التعليب إلى إصابة البكتيريا؟

ب. ما هو تأثير انخفاض الـ **pH** على مُنْتَجات الحليب؟ أعطوا مثالًا.

قصة اكتشاف

لويس باستر قي خدمة صناعة النبيذ والغذاء

لويس باستر **Louis Pasteur** (1822-1895)، فرنسي الأصل، كيميائي وعالِم كائنات حية دقيقة، بحث كائنات حية دقيقةمختلفة، وقد كان ذلك، في إطار محاولاته للإجابة عنَ السؤال الآتي: هل مصدر الحي من الحي؟ أثناء عمله كباحث، طُلب منه أن يساعد في حل مشكلة أصحاب معامل تقطير في منطقة يحضِّرون فيها مشروبات روحية من شمندر السكر. وقد كانت مشكلتهم أن السائل في براميل التخمر أصبح حامضًا ولم يَنْتُج كحولًا كناتج نهائي. فحص لويس باستور السائل الذي كان في البراميل بمساعدة ميكروسكوب، وقد اكتشف كائنات حية دقيقة تشبه العصي بدل الخميرة التي وُجدت عادةً في البراميل

وأدت إلى إنتاج مشروب كحولي (عرفه جيدًا من تجاربه السابقة)، وقد خمَّن لويس أن الكائنات الحية الجديدة هي التي أدت إلى تحميض السائل.

اكتشف باستر أن هذه البكتيريا الموجودة في الحليب أيضًا هي التي تؤدي إلى إحماضه وتلفه.

باستر هو الأول الذي أثبت أن عمليات التخمر تتم بواسطة كائنات حية دقيقة. في أبحاث أخرى لعمليات التخمر، وجد باستر أنه في كائنات حية دقيقة مختلفة، تتم عمليات تخمر خاصة، ولكل واحدة منها ناتج خاص.

انتبه باستور أيضًا أن عمليات التخمر هي المصدر الوحيد للطاقة في أنواع كائنات حية معينة. كائنات حية مختلفة مثل الخميرة، تستعمل مسارات مختلفة لاستخراج الطاقة وفقًا لظروف البيئة المحيطة، مثل: وجود أو عدم وجود أكسجين.

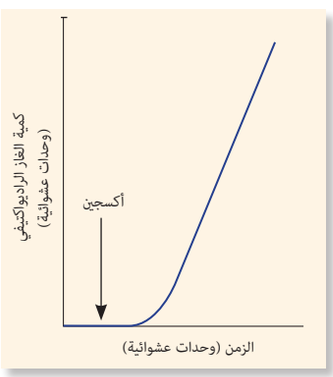
كان باستور الأول الذي أثبت أن تسخين السوائل المختلفة، مثل: النبيذ والحليب، يمنع تطور بكتيريا تؤدي إلى تحميضها. عملية "البسترة" التي تُستخدم لتعقيم المواد الغذائية المختلفة (الحليب، عصائر الثمار، البيرا وغير ذلك) من الكائنات الحية الدقيقة، سُميت على اسم باستور.

فيما بعد، انتقل باستور إلى بحث كائنات حية تؤدي إلى أمراض تلوثية في الإنسان وإلى تطوير تطعيمات.

يَنْتُج حامض الحليب، أيضًا، في خلايا عضلات أجسامنا أثناء بذل جهد العضلات. في هذه الحالة، عندما لا تزوِّد وتيرة تدفق الدم أكسجينًا للنشاط المبذول، تَنْتُج في خلايا العضلات ظروف لا هوائية لمدة زمنية قصيرة، وخلال فترة زمنية قصيرة، تُستخرج طاقة دون وجود أكسجين. في هذه الظروف يكون تأكسد الجلوكوز جزئي واستخراج الـ **ATP** قليل. إضافةً إلى ذلك، يتراكم في الخلايا حامض الحليب الذي يؤدي إلى الشعور في الآلام في العضلة التي تبذل جهدًا (انظروا التوسع). ينتقل حامض الحليب، الذي تراكم في العضلات، مع تيار الدم إلى الكبد، حيث يُستعمل هناك لبناء الجلوكوز من جديد. وهو يُستعمل في عضلة القلب لاستخراج الـ **ATP**. عندما يتجدد تزويد الأكسجين، يتحول حامض الحليب إلى حامض الفيروبيك ويُستغل في دورة كريبس.

سؤال هـ -16:

في تجربة معينة، نُميت خلايا عضلات حيوان في وعاء فيه وسط غذائي يحتوي على الجلوكوز الذي قسم من ذرات كربونه هي ذرات راديواكتفية مُشعة (C^{14}). في بداية التجربة، كانت ظروف لا هوائية، وبعد مرور مدة زمنية معينة، بدأوا بعملية تزويد الأكسجين. في أعقاب ذلك، بدأ انطلاق غاز راديواكتيفي كما هو موصوف في الرسمة الآتية:



أ. ما هي العمليات التي حدثت في الوعاء؟ وما هو الغاز المنبعث؟

ب. ماذا يمكنكم القول عن كمية الجلوكوز الذي استُغل في مرحلة من مراحل التجربة؟ علِّلوا.

ج. اكتبوا عنوانًا للرسمة.

سؤال هـ -17:
في عملية التنفس الخلوي الهوائي وفي عملية التخمر، تتم عملية انتقال هيدروجين من ال **NADH**. *لأي مواد ينتقل الهيدروجين في كل عملية؟*

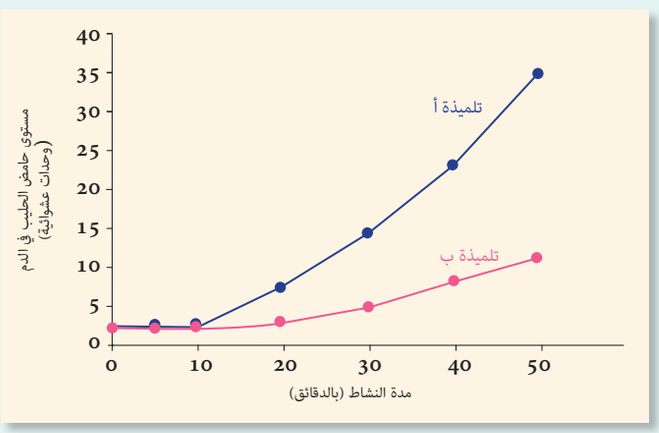
توسع

ما هو مصدر الآلام في العضلات الذي نشعره عندما نبذل جهدًا جسمانيًا؟ أثناء الجهد، عندما لا يتم تزويد العضلات الفعَّالة بكمية كافية من الأكسجين لاستخراج الطاقة في مسار التنفس الخلوي الهوائي، فإنّ خلايا العضلات تنتقل لاستخراج الطاقة بواسطة التخمر. يتراكم حامض الحليب الذي يَنْتُج في عملية التخمر ويؤدي إلى انخفاض ال pH. *تُحفز البيئة المحيطة الحامضية مستقبلات الآلام العصبية الموجودة حول خلايا العضلات وتؤدي هذه العملية إلى الشعور بالآلام في العضلات. نشعر بهذه الآلام عند بذل الجهد الجسماني وبعده بقليل (وهو يختلف عن الآلام الناتجة في أعقاب انقباض العضلات). كلّما كانت الحامضية عالية (pH أكثر انخفاضًا)، فإنَّ آلام العضلات تكون عالية. درجة الحامضية متعلقة أيضًا بقدرة العضلات على نقل حامض الحليب إلى الدم. كلما كانت اللياقة البدنية للشخص أعلى، فإن وتيرة نقل حامض الحليب إلى الدم يكون أسرع وأكثر نجاعةً والآلام قليلة.*

فكرة مركزية

تنظيم واتزان بدني: *أثناء الجهد الجسماني، يتغيَّر مسار استخراج الطاقة في خلايا العضلات وفقًا للظروف.*

سؤال هـ -18:
في تجربة معينة، أُجريت مقارنة في مستوى حامض الحليب في دم تلميذتين أثناء إجراء نفس النشاط الرياضي. وُصفت النتائج في الرسمة هـ - 17.



الرسمة هـ -17: تأثير المدة الزمنية للجهد الجسماني على مستوى حامض الحليب في الدم

أ. *صفوا الفروق بين نتائج فحص التلميذتين.*
ب. *أي تلميذة، بحسب رأيكم، لياقتها البدنية أفضل؟ كيف حدَّدتم إجاباتكم؟*

كما ذكرنا في الفصل الرابع، الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في كرش الحيوانات المجترة، تعيش في بيئة محيطة ينقصها أكسجين، وهي تستخرج الطاقة من الجلوكوز خلال عملية التخمر. كما تعرفون، في عملية التخمر لا يتحلل الجلوكوز بشكل كامل، ونواتج تحليل الكائنات الحية الدقيقة هي حوامض دهنية متطايرة، حيث يمكن استخراج طاقة إضافية منها.

تُمتص الحوامض الدهنية عبر جدار الكرش إلى تيار الدم وتُنقل بواسطته إلى خلايا الحيوان المجتر، وهناك تُستعمل مصدر طاقة أساسي في عملية التنفس الخلوي. أثناء عملية التخمر، تُطلق إلى الكرش نواتج مرافقة، مثل: الغازان CH_4 وَ CO_2. تتخلص الحيوانات المجترة من الغازات بواسطة الشهيق .

تنفس خلوي لا هوائي

التنفس الخلوي اللا هوائي هو اسم لعملية نادرة لإستخراج الطاقة دون أكسجين. تتم هذه العملية في أنواع بكتيريا تعيش في بيئة محيطة ينقصها أكسجين، مثلا: المستنقعات.

كما هو الأمر في التنفس الخلوي الهوائي، تتم العملية بأربعة مراحل: جليكوليزا، أكسدة حامض الفيروبيك، دورة كريبس وفسفرة تأكسد، لكن يوجد عدة فروق كبيرة:

1. المادة التي تستوعب الهيدروجين في النهاية، ليست أكسجينًا، بل مادة غير عضوية أخرى. في قسم من البكتيريا مستوعب النيتروجين هو النيترات (NO_3^-)، وفي بكتيريا أخرى السولفات (SO_4^{-2})، وفي قسم آخر من البكتيريا مستوعب الهيدروجين هو CO_2 .
2. الناتج النهائي ليس ماءً وهو يتغيَّر وفقًا لمستوعب الهيدروجين.
3. في عمليات التنفس الخلوي اللاهوائي، تَنْتُج كمية الـ ATP بحسب مستوعب الهيدروجين. نحصل من كل جزيء جلوكوز على جزيئين من الـ ATP (عدد الجزيئات الناتجة في عمليات التخمر)، لكن أقل من عدد الجزيئات الناتجة في التنفس الخلوي الهوائي.

من هنا واضح التشابه والاختلاف بين عمليات التخمر وبين التنفس الخلوي اللا هوائي.

التشابه: أُعدَّت العمليتان لاستخرج الطاقة دون اشتراك الأكسجين. الاختلاف: مستوعب الهيدروجين الأخير في عمليات التَخمر هو مادة عضوية وفي التنفس اللا هوائي هو مادة غير عضوية. عمليات التخمر أقل نجاعة من التنفس الخلوي اللاهوائي. في عمليات التخمر، يَنْتُج الـ ATP في عملية الجليكوليزا فقط، أما في التنفس الخلوي اللاهوائي، تَنْتُج جزيئات ATP إضافية في دورة كريبس أيضًا وفي مرحلة فسفرة التأكسد.

قليل من المعلومات ...

استعمال بكتيريا لا هوائية لتطهير مياه المجاري

في عملية تطهير مياه المجاري، يمكن تحويل المادة العضوية إلى غاز للاستعمال. نُدخل إلى وعاء مغلق مادة عضوية، رسبت في بركة التطهير، نسمِّيها حمأة، ثم نغلقه بإحكام. بعد ذلك، نرفع درجة حرارة الوعاء إلى 55°C لعدة ساعات. في هذه الظروف، تعمل بكتيريا لا هوائية قادرة على الصمود وهي تقوم بتنفس خلوي لا هوائي. من بين نواتج العملية، يَنْتُج مخلوط غازات يشتمل على حوالي 60% CH_4 والباقي CO_2. هذا المخلوط من الغازات نسمِّيه "بيوغاز"، حيث يمكن استعماله كمصدر طاقة لتدفئة البيوت، للطهي ولتحريك السيارات.

تُستعمل المياه المطهرة لري مزروعات زراعية معينة (ولا تُستعمل للشرب).

سؤال هـ -19:

تتم عملية استخراج البيوغاز في أوعية مُحكمة الاغلاق. ما هو السبب لذلك؟

سؤال هـ-20:

من المعروف أن سرعة التفاعلات الكيميائية تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة. هل من الأفضل تسخين الحاويات إلى درجة حرارة 100°C لتقصير زمن العملية؟

في عملية التنفس الخلوي الهوائي (الذي يشتمل على الجليكوليزا)، وبمرافقة تحليل وأكسدة الجلوكوز حتى ثاني أكسيد الكربون، يَنْتُج حوالي 30 جزيء **ATP** *من كل جزيء جلوكوز. في عملية التخمر، يتم بناء جزيئين من الـ* **ATP** *فقط، المستخرجة في عملية الجليكوليزا. يوجد لنواتج التخمر (مثل: حامض الحليب والإيثانول) ولنواتج التنفس الخلوي اللا هوائي (مثل الميثان) مستوى طاقة عالٍ، لكنها تُفرز من الخلية دون أن تُستغل الطاقة الكامنة الموجودة فيها. ولهذا السبب يشتعل الكحول والبيوغاز ويمكن استعمالها كمصادر طاقة في الصناعة.*

سؤال هـ -21:

لتلخيص عمليات استخراج الطاقة في الخلايا(تنفس خلوي هوائي،تخمر كحولي، تخمر حامض الحليب وتنفس لا هوائي)، ابنوا جدولًا واكتبوا لكل عبارة من العبارات الآتية ما إذا هي صحيحة أو غير صحيحة.

- تتم في الكائنات الحية اللا هوائية فقط.
- تتم في الكائنات الحية فقط.
- تتم بوجود أكسجين فقط.
- تتم في السيتوبلازم فقط.
- تتم في السيتوبلازم والميتوكوندريا.
- يَنْتُج CO_2 في العملية.
- يَنْتُج ماء في العملية.

دَرجوا العمليات بحسب كمية الطاقة المستخرجة من كل جزيء جلوكوز.

هـ5. عملية التركيب الضوئي هي ليست عملية تنفس عند النبات

يلخبط قسم من الناس بين حدوث عمليتين في النباتات: عملية التركيب الضوئي والتنفس الخلوي. هناك من يدعي أن "التركيب الضوئي هو تنفس النباتات". يقول آخرون: "يتنفس النبات في الليل وفي النهار يقوم بعملية التركيب الضوئي" (وبحسب ادعائهم، يجب أن نُخرج في الليل النباتات من غرف النوم، لأنها "تستغل" الأكسجين خلال عملية التنفس، وهكذا تؤدي إلى ارتفاع ثاني أكسيد الكربون في الغرفة).

هل ادعاءهم صحيح؟

قبل الإجابة عن ذلك، نلخص باختصار المعلومات التي نعرفها عن هاتين العمليتين في النبات.

النبات كسائر الكائنات الحية الأخرى، يتنفس تنفسًا خلويًا بشكل متواصل في كل ساعات اليوم، وهو يستوعب الأكسجين من البيئة المحيطة ويُطلق ثاني أكسيد الكربون إلى البيئة المحيطة. أما في الأقسام الخضراء في النبات، تتم عملية التركيب الضوئي في ساعات الإضاءة، حيث يستوعب النبات، في هذه العملية، ثاني أكسيد الكربون ويُطلق أكسجين. يَنْتُج من ذلك أنه في خلايا النبات (في الأقسام الخضراء)، تحدث في حالة الإضاءة عمليتان - عملية التنفس الخلوي وعملية التركيب الضوئي، أم في الليل تتم عملية التنفس الخلوي فقط. يعرض الجدول 2 مقارنة بين العمليتين.

جدول هـ - 2: مقارنة بين عملية التركيب الضوئي وبين عملية التنفس

مميزات المقارنة	التركيب الضوئي	التنفس الخلوي الهوائي
ماهية العملية	بناء مادة عضوية من مادة غير عضوية من خلال استغلال طاقة ضوئية.	تحليل مادة عضوية إلى مواد غير عضوية من خلال استخراج الطاقة.
مادة المصدر	CO_2 وماء.	عادةً كربوهيدرات (جلوكوز) وأكسجين.
النواتج	كربوهيدرات وأكسجين.	CO_2 وماء.
مكان الحدوث	كلوروبلاستيدات.	الستوبلازم والمينتوكوندريا.
زمن الحدوث	بوجود ضوء فقط (في ساعات النهار).	في النهار والليل أيضًا.
انتقال الطاقة في العملية	تتحول طاقة الضوء التي يستوعبها النبات إلى طاقة كيميائية.	تتحول الطاقة الكيميائية (من الجلوكوز) إلى طاقة كيميائية في الـ ATP ويتحول قسمًا منها إلى حرارة.

يعرض الجدول فروق كثيرة بين عملية التركيب الضوئي وبين عملية التنفس. كما يوجد فروق إضافية تبرز أن هاتين العمليتين مختلفتين بتاتًا: يتم تنشيط العمليتين بوساطة إنزيمات مختلفة، المراحل الوسطية مختلفة في العمليتين وتختلف العوامل التي تؤثر عليها. للتلخيص، يجب علينا التذكر أن عملية التركيب الضوئي هي عملية تغذية النبات وليست عملية تنفسه.

وماذا بالنسبة لفكرة إخراج الأزهار من الغرفة في الليل؟!؟

لا تتم عملية التركيب الضوئي في الظلام، لذا لا تُطلق النباتات أكسجين في الليل. أما عملية التنفس فهي تتم في النهار والليل وهذا يعني أن النبات يستهلك أكسجين ويطلق **CO_2**.

لكن كمية الأكسجين التي يستهلكها النبات في عملية التنفس تكون منخفضة نسبةً لكمية الأكسجين الموجودة في هواء الغرفة وأيضًا مساهمة الأزهار لتركيز **CO_2** في الغرفة تكون منخفضة نسبيًا. أما إذا وُجد شخص في الغرفة، فإنه يستهلك كمية أكسجين أكثر من الأزهار ويساهم في ارتفاع كمية الـ **CO_2** في الغرفة أكثر من الأزهار أيضًا، لذا من الأفضل إخراج هذا الشخص .....

نسبة التنفس الخلوي ووتيرة العملية الأيضية في النبات أقل من الإنسان، لأنه لا توجد في النبات حركة كبيرة، لا يوجد تنظيم لدرجة الحرارة، لا يوجد هضم وبذل الجهد في النقل قليل.

سؤال هـ -22:

أ. في أي خلايا من خلايا النبات، وفي أي ظروف تتم عملية التركيب الضوئي وعملية التنفس الخلوي الهوائي أيضًا؟

ب. في أي ظروف تتم في خلايا النبات إحدى العمليتين فقط؟ اشرحوا.

سؤال هـ -23:

وُضع نبات في الضوء لعدة ثوانٍ، وقد زوِّد بثاني أكسيد كربون راديواكتيفي (له نشاط إشعاعي)، ونُقل مباشرةً إلى بيئة محيطة منعزلة مضاءة فيها ثاني أكسيد كربون غير راديواكتيفي. بعد مرور عدة أيام، فُحص الهواء الموجود في البيئة المحيطة للنبات، ووجدوا أنه يحتوي على ثاني أكسيد كربون راديواكتيفي. ما هي العمليات المعروضة بهذه التجربة؟ اشرحوا ادعاءاتكم.

سؤال هـ -24:

ادعى أحد التلاميذ أن عملية التركيب الضوئي وعملية التنفس هما عمليتان متعاكستان. ماذا تجيبون هذا التلميذ؟ علِّلوا ادعاءاتكم.

نافذة البحث

تجسِّد التجربة الآتية العلاقات بين عملية التنفس الخلوي وعملية التركيب الضوئي اللتين تحدثان في النبات وبين عملية التنفس التي تحدث في الحيوان.

فُحص في التجربة وجود CO_2 في بيئة محيطة مائية فيها كائنات حية مختلفة (نباتات وحيوانات).

أُجريت التجربة في 8 أنابيب فيها كميات ماء متساوية وكاشف يغيِّر لونه في وجود CO_2.

يغيِّر الكاشف لونه عندما ينخفض الـ pH في البيئة المحيطة المائية. المستوى الحامضي موجود بنسبة طردية مع كمية الـ CO_2 في المحلول المائي (كلما انبعث أكثر CO_2، يَنْتُج حامض الكربونيك بكمية أكبر، لذا ينخفض الـ pH).

لون أزرق — لا يوجد CO_2 (بيئة محيطة متعادلة).

لون أحمر — كمية قليلة من الـ CO_2 (بيئة محيطة حامضية).

لون أصفر— كمية كثيرة من الـ CO_2 (بيئة محيطة حامضية جدًا).

فُحص لون السائل في الأنابيب بعد حوالي ساعتين. يلخص الجدول هـ - 3 نتائج التجربة.

جدول هـ-3: تأثير عمليتي التنفس والتركيب الضوئي على كمية CO_2 في أنابيب تحتوي على كائنات حية مختلفة

رقم الأنبوبة	وُضعت في:	المحتوى	اللون في بداية التجربة	اللون في نهاية التجربة	تغيُّر في كمية الـ CO_2 أثناء التجربة
1	الضوء	ماء	أزرق	أزرق	بقي نفس الشيء
2	الضوء	ماء+حلزونات	أزرق	أصفر	ارتفع
3	الضوء	ماء+حلزونات+طحالب	أزرق	أحمر	
4	الضوء	ماء+طحالب	أزرق	أزرق	
5	الظلام	ماء	أزرق	أزرق	
6	الظلام	ماء+حلزونات	أزرق	أصفر	
7	الظلام	ماء+حلزونات+طحالب	أزرق	أصفر	
8	الظلام	ماء+طحالب	أزرق	أصفر	

سؤال هـ -25:

أ. في العمود المناسب في جدول هـ - 3، اذكروا التغيُّر الذي طرأ في كمية الـ CO_2 خلال التجربة (ارتفعت الكمية/انخفضت/بقيت نفس الشيء) وفقًا لتغيُّرات لون الكاشف.

ب. قارنوا بين نتائج مجموعات الأنابيب الآتية، ثم اشرحوا التغيُّر الذي طرأ في كمية الـ CO_2، من خلال التطرق إلى العمليات التي حدثت (تنفس خلوي، تركيب ضوئي):

I. في الأنابيب 2, 3 وَ 4؟

II. في الأنبوب 4 بالمقارنةً مع الأنبوب رقم 8؟

III. في الأنبوب 3 بالمقارنةً مع الأنبوب رقم 7؟

ج. لماذا شملت التجربة الأنبوبين 1 وَ 5؟ اشرحوا.

د. ما هي العوامل التي يجب أن نحافظ عليها ثابتة في التجربة، لكي تكون مصداقية للنتائج؟

هـ. هل التجربة الموصوفة هي تجربة نوعية (كيفية) أم كمية؟ لماذا؟

عملية التركيب الضوئي والتنفس في المستوى البيئي

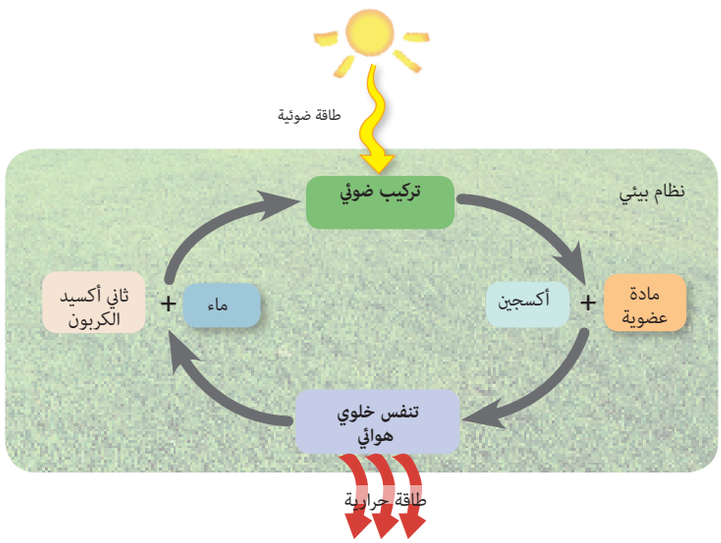
في مستو ى النظام البيئي (الرسمة هـ - 18)، عملية التركيب الضوئي والتنفس الخلوي هما عمليات مركزيتان في دورات ومدورة المواد وفي انتقال الطاقة في الطبيعة.

المواد التي تشترك فيها - الأكسجين، الهيدروجين والكربون، وهي تنتقل في دائرة مغلقة عبر كائنات حية متعلقة ببعضها في الشبكة الغذائية.

علاقة بموضوع

علم البيئة:
الغلاف الحيائي هو نظام بيئي مغلق للمواد ومفتوح للطاقة.

يوجد علاقة وطيدة بين المواد التي تنتقل في الدورة: المواد التي تَنْتُج في عملية التركيب الضوئي هي مواد خام لعملية التنفس الخلوي، أما المواد التي تُطلق في التنفس الخلوي هي مواد خام لعملية التركيب الضوئي. من ناحية الطاقة، لا توجد دورة، بل يوجد استيعاب وخسارة مستمرة للطاقة. يستمر النظام في الحياة بفضل تدفق الطاقة المستمر إليه. تستوعب النباتات الطاقة الضوئية التي تصلها وتحوِّلها إلى طاقة كيميائية، حيث تنتقل بين الكائنات الحية في الشبكة الغذائية وتستغلها. ويتحول قسم منها إلى طاقة حرارية تنبعث من النظام دون استغلال.



الرسمة هـ -18: تنفس خلوي هوائي وعملية التركيب الضوئي من وجهة نظر النظام البيئي.

المواضيع الأساسية في الفصل

- في عملية التنفس الخلوي، تستخرج جميع الكائنات الحية طاقة كيميائية متوافرة لاحتياجاتها بوساطة تأكسد مواد عضوية.
- قسم من الطاقة المنبعثة من تحليل وتأكسد نواتج الهضم، يُستغل لإنتاج الـ **ATP** الذي يُتيح حدوث عمليات تستهلك طاقة في الخلايا. أما باقي الطاقة، فهي تتحول إلى طاقة حرارية.
- فيما يلي أمثلة لعمليات تستهلك طاقة: تنشيط مواد بسيطة لبناء مواد معقدة، نقل مواد عكس منحدر التراكيز، انقباض عضلات.
- تُستخرج الطاقة في الخلايا بأحد المسارين: باشتراك أكسجين ودون اشتراك أكسجين. المرحلة الأولى في المسارين متماثلة وهي الجليكوليزا.
- في ظروف هوائية، تتم عملية التنفس الخلوي الهوائي التي تشتمل أربع مراحل: جليكوليزا، أكسدة حامض الفيروبيك، دورة كريبس وفسفرة تأكسد. تتم الجليكوليزا وأكسدة حامض الفيروبيك في السيتوبلازم. تحدث دورة كريبس في القسم الداخلي في الميتوكوندريا، وفسفرة التأكسد على الغشاء الداخلي للميتوكوندريا.

- تقسيم الميتوكوندريا إلى أقسام والطيات الكثيرة على الغشاء الداخلي لها، هو مثال للملاءمة بين المبنى والأداء. وأيضًا عدد المتوكوندريا ومكانها في الخلايا المختلفة ملائم لأداء نفس الخلايا.
- في عملية الجليكوليزا، يتحلل جزيء جلوكوز (6 كربونات) إلى جزيئين لحامض الفيروبيك (3 كربونات). ينتقل هيدروجين من الجلوكوز إلى حاملات الهيدروجين ويَنْتُج جزيئان **ATP**.
- عند تأكسد حامض الفيروبيك، يتحلل حامض الفيروبيك إلى CO_2 وأسيتات. يرتبط الأسيتات بكوإنزيم **A** ويَنْتُج أستيل كوإنزيم **A** الذي يدخل الميتوكوندريا.
- في دورة كريبس، يَنْتُج أستيل كوإنزيم **A**، يرتبط أستيل كوإنزيم **A** بجزيء مكون من 4 كربونات ويَنْتُج حامض الليمون. يمر الهيكل الكربوني لحامض الليمون في دورة كريبس تغيُّرات خلالها ينتقل هيدروجين إلى حاملات الهيدروجين ويُبنى جزيء **ATP** من كل جزيء حامض فيروبيك. يعود الهيكل الكربوني ليصبح 4 كربونات وهو مستعد لدورة إضافية.
- في عملية فسفرة التأكسد، ينتقل الهيدروجين من حاملات الهيدروجين إلى سلسلة ناقلات موجودة في الميتوكوندريا. المادة النهائية التي تستوعب الهيدروجين هي أكسجين. تُستغل الطاقة المنبعثة أثناء الانتقال لبناء جزيئات الـ **ATP** . عدد جزيئات الـ **ATP** الناتجة من تأكسد كامل لجزيء جلوكوز حوالي 30.
- في المسار الذي لا يشترك فيه أكسجين، يتم استخراج الطاقة في إحدى العمليتين: تخمر وتنفس خلوي لا هوائي.
- عمليتا التخمر الأساسيتان هما: تخمر كحولي وتخمر حامض الحليب. في الحالتين، تأكسد الجلوكوز غير كامل.
- في عملية التخمر، يَنْتُج جزيئان **ATP** من كل جزيء جلوكوز. وهما ينتجان في مرحلة الجليكوليزا.
- عملية التنفس الخلوي اللاهوائي هي عملية نادرة نسبيًا. تشتمل العملية على مراحل تشبه تلك العمليات التي تحدث في التنفس الخلوي الهوائي. الفرق الأساسي بين العمليتين أن مستوعب الهيدروجين النهائي ليس أكسجينًا، بل مادة غير عضوية أخرى (CO_2,SO_4^{-2},NO_3^-). عدد جزيئات الـ **ATP** الناتجة في العملية متعلق بمستوعب الهيدروجين النهائي. استخراج الطاقة في التنفس الخلوي اللاهوائي أقل نجاعة من التنفس الخوي الهوائي.
- تقوم النباتات بعملية التنفس الخلوي الهوائي بشكل متواصل خلال كل ساعات اليوم.

مصطلحات مهمة في الفصل

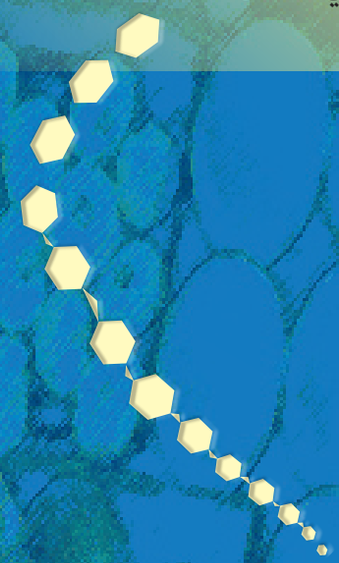
ATP	أكسجين
بناء مواد	ميتوكوندريا
جليكوليزا	دورة كريبس
تحويل طاقة	حامل هيدروجين(**NAD**)
نقل فعَّال	تنفس خلوي
استخراج طاقة	تنفس خلوي هوائي
انقباض عضلات	تنفس خلوي لا هوائي
حامض الفيروبيك	عملية ترافق
تبادل غازات	عمليات تخمر
تأكسد	عمليات تستهلك طاقة (عمليات بيوطاقة)

٩ التغذية وصحة الإنسان

و1. موازنة الطاقة
و2. تنظيم استهلاك الغذاء
و3. تغذيةٌ حكيمة متوازنةٍ
و4. مشاكل التغذية في عالم فيه نقص وكثرة

المواضيع الأساسية في الفصل

مصطلحات مهمة في الفصل



تنظيم استهلاك الغذاء
عمليات أيضية (تبادل مواد) أساسية
ألياف غذائية
حمية (وصفة) قليلة الطاقة
مركز الجوع
هيبوثالموس
نقص في التغذية
تغذية موزونة
مركز الشبع
السمنة
اضرابات في تناول الطعام
نشاط جسماني
موازنة طاقة موجبة
موازنة طاقة سالبة

الفصل السادس: التغذية وصحة الإنسان

مع تطور العلوم الطبية في القرن ال 19 وفي بداية القرن ال 20، ساد اعتقاد أن إيجاد دواء مناسب لكل مرض هو قضية وقت فقط. مع مر السنين، عندما اتضح أن هذا الاعتقاد غير واقعي، بدأ يوجه الباحثون موارد أبحاث كثيرة لفحص العوامل المختلفة التي تؤثر على حدوث أمراض ومنعها. في آلاف الأبحاث التي أُجريت في أنحاء العالم، وُجد أن التغذية لها تأثير كبير جدًا على صحة الإنسان، تطوره وأدائه.

عند قسم من سكان العالَم، كمية الغذاء ومكوِّناته لا تكفي لتزويد المواد المطلوبة لأجسامهم، أما في أقسام أخرى في العالَم، يوجد فائض في المُنْتَجات الغذائية التي تُسَوَّق بدعايات واسعة. التحدي في هذه الأقسام من العالَم هو: كيف نواجه كثرة الطعام المغرية، وكيف نختار منها المناسب للصحة ولذوقنا؟ تزداد الحيرة عندما نسمع توصيات كثيرة لأطباء ولمختصين في التغذية، وأحيانًا تتناقض عندما تُطرح الأسئلة: **ماذا نأكل؟ كم نأكل؟ ومتى نأكل؟** في هذا الفصل، نحاول أن نعرض لكم المبادئ الأساسية لاحتياجات الجسم والنهج المتفق عليه عند المختصين في التغذيةالصحيحة.

תוספי תזונה – כן או לא?
חברה ישראלית פיתחה תוסף תזונה – המוצג כפתרון לעשרות בעיות רפואיות, מסוכרת ועד סרטן. חוקרים טוענים כי אין עדיין הוכחות מדעיות להבטחות הללו, והיצרנים מצידם מציגים תוצאות חלקיות של מחקרים...

דיאטת פלא או נוכלות הדיאטות האופנתיות
בכל תקופה ותקופה מציעים מומחים שונים תרופות פלא לאנשי העולם המערבי הדשנים.
פעם זו דיאטה ללא פחמימות, פעם דיאטה של מזון לא מבושל ופעם דיאטת אשכוליות.

האם כדאי לאכול מוצרים ללא סוכר כאשר רוצים ל"חסוך בקלוריות"?
אנשים שעושים דיאטות הרזייה נוטים לרכוש מוצרים ללא סוכר מתוך אמונה שכך יפחיתו בצריכת הקלוריות, האומנם?

דיאטת חלבונים, יעילה או מסוכנת?
דעות סותרות של מומחי תזונה ביחס ל"שגעת" דיאטת החלבונים, שפשטה כאש בשדה קוצים. האם יעילה לטווח קצר, האם עלולה להזיק בטווח הארוך? מבולבלים?...

קפה, כן או לא?
קפה הוא אחד המשקאות הכי שנויים במחלוקת מבחינה תזונתית. בעוד שישנם אנשי רפואה ורפואה אלטרנטיבית שממליצים להתרחק לחלוטין משתיית קפה, ואנשים שיעידו כי הימנעות מוחלטת מקפה שיפרה את בריאותם, ישנם רופאים שדווקא ימליצו לשלב אותו בתזונה היומית, בשל סגולותיו, שהוכחו במחקרים שונים בשנים האחרונות...

و1. موازنة الطاقة

موازنة الطاقة في الجسم هي النسبة بين كمية الطاقة المستوعبة من الغذاء وبين كمية الطاقة التي يستغلها الجسم. عندما يكون توازنًا بين الطاقة المستوعبة وبين الطاقة المستغلة، فإنَّ وزن الجسم يكون ثابتًا، لكن إذا لم نحافظ على التوازن مدة طويلة، يبدأ تغيُّر في وزن الجسم. نتطرق في هذا البند إلى المواد الغذائية كمواد تزوِّدنا بالطاقة، لكن لا ننسى أن المواد الغذائية تزوِّدنا أيضًا في مواد البناء الأساسية للأنسجة والخلايا.

مصطلحات

الوزن والكتلة

"وزن الجسم" هو مصطلح من حياتنا اليومية وهو مقبول على الأطباء والمختصين في التغذية ويظهر في الكتب، المصادر العلمية والصحف. من المهم أن نعرف أن المصطلح العلمي الصحيح هو "كتلة الجسم". الكتلة هي كمية المادة التي تُقاس بالكيلوغرام، أما الوزن فهو قوة تؤثر على الجسم وهو يقاس بوحدات نيوتون. في هذا الفصل، نستعمل مصطلح "وزن" المستعمل في حياتنا اليومية.

و1.1 عندما نأكل فإننا نستوعب طاقة

الطاقة المطلوبة لحدوث جميع عمليات الحياة في الإنسان والحيوان مصدرها الغذاء الذي نتناوله.
يستطيع الجسم أن يستخرج الطاقة من الكربوهيدرات، الليبيدات (التي نسمِّيها دهنيات في حياتنا اليومية) والبروتينات. بالطبع رأيتم على ماركة رُزم المواد الغذائية المختلفة مسجَّلة **قيمة الطاقة** للمواد الغذائية بالكلوري وتفصيل حول **مكوِّنات الغذاء.** من المهم أن تعرفوا أن كلوري ليست مادة، بل وحدة قياس تشير إلى كمية الطاقة التي يمكن أن نستخرجها من جميع المواد الغذائية التي تظهر على رزمة الغذاء.

مصطلحات

كلوري (السعرة الحرارية)، كيلوكلوري وجول

كلوري واحدة (**calorie**) هي كمية الطاقة المطلوبة، لكي نرفع درجة حرارة غرام واحد ماء بدرجة حرارة واحدة. بما أن الكلوري هي وحدة صغيرة، فمن المقبول استعمال وحدة أكبر منها ب 1,000 ضعف وهذه الوحدة نسمِّيها "كيلوكلوري" أو باختصار (**Kcal**). الكيلوكلوري هي كمية الطاقة المطلوبة لكي نرفع درجة حرارة لتر ماء بدرجة حرارة واحدة.
في معظم رُزم المواد الغذائية، نستعمل مصلح كلوري، لكننا نقصد بالواقع كيلوكلوري، وأيضًا في حياتنا اليومية، عندما نقول أن تفاحة كبيرة تحتوي على 60 كلوري، أو خلال 40 دقيقة من السير البطيء، "نحرق" 80 كلوري، لكن القصد هنا كيلوكلوري.
نستعمل وحدة "الكلوري" عندما نبحث الطاقة في سياق الغذاء، حمية (وصفة غذائية) ونشاط جسماني، أما عندما نبحث الطاقة في سياقات أخرى (مثلًا: الطاقة المطلوبة لتشغيل ماكنات)، فإننا نستعمل وحدة قياس نسمِّيها "جول".
في السنوات الأخيرة، بدأ استعمال وحدة جول في سياق التغذية أيضًا (1 كيلوكلوري = 4.2 جول).
نحسب كمية الطاقة (كلوري) التي يزوِّدها الغذاء بطريقة نسمِّيها كلوري متر (**مقياس الكلوري**).
في هذه الطريقة، نحرق الغذاء في وعاء مغلق ومعزول عن البيئة المحيطة ومغمور في وعاء مليء بالماء. تُقاس كمية الحرارة المنبعثة من الغذاء حتى احتراقه الكامل، من خلال التغيُّر الذي يبدأ في درجة حرارة الماء الموجود فيه الوعاء المغمور.

تُشير المعطيات التي حصلنا عليها بطريقة الكلوري متر والمعروضة في الجدول و - 1 إلى الفرق بكمية الطاقة التي تزوِّدها مكونات الغذاء الأساسية.

جدول و -1: كمية الطاقة التي تزوِّدها مُكوِّنات غذاء مختلفة.

مكونات الغذاء (1 غم)	قيمة الطاقة (كيلوكلوري)
كربوهيدرات	4
بروتينات	4
دهنيات (ليبيدات)	9

انتبهوا! كمية الطاقة التي تزوِّدها الليبيدات أكبر بكثير من كمية الطاقة التي تزوِّدها الكربوهيدرات والبروتينات.

المعطيات عن كميات الطاقة التي تزوِّدها مُكوِّنات الغذاء والجزء النسبي لكل مُكوِّن غذاء، تساعدنا في إيجاد قيمة طاقة الغذاء دون أن نحرقها. مثال:
إذا كان معلومًا أن 100 غرام أرز مطبوخ يحتوي على 2.2 غرام بروتينات، 24.1 غرام كربوهيدرات وَ 0.2 غرام دهنيات، عندئذٍ يمكن أن نحسب قيمة الكلوري لهذه الوجبة:

$$107 \text{ كلوري} = 2.2 \times 4 + 24.1 \times 4 + 0.2 \times 9$$

بروتينات كربوهيدرات ليبيدات

سؤال و -1:

أمامكم مُكوِّنات غذائية لحبوب الصباح من قمح كامل وأرز. افحصوا القيم الغذائية التي تظهر على الماركة.

الرسمة و - 1: المُكوِّنات الغذائية لحبوب الصباح.

قيم غذائية لـ - 100 غرام حبوب الصباح	
طاقة (كيلوكلوري)	361
بروتينات (غرام)	8.4
كربوهيدرات (غرام)	78.6
ألياف غذائية (غرام)	5.9
دهنيات (غرام) منها مشبعة (غرام)	1.4 0.4
كولسترول (ملغم)	0
صوديوم (ملغم)	480
حديد (ملغم)	11.9
كالسيوم (ملغم)	500
فيتامين C (ملغم)	102
حامض الفوليك (ميكروغرام)	340

أ. ما هي المُكوِّنات الغذائية المذكورة في الرسمة و - 1 التي تساهم في قيمة الطاقة لحبوب الصباح؟

ب. احسبوا قيمة الطاقة المتوقعة في 100 غرام حبوب الصباح. هل حصلتم على كمية الطاقة المسجَّلة على المُنْتَج؟

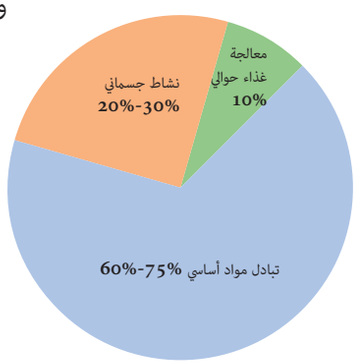
و2.1 في الحياة — نستغل طاقة

يستغل جسم الإنسان الطاقة كل الوقت، أثناء النشاط الجسماني، الراحة والنوم. كما تعلَّمنا في الفصل الخامس، يوجد ترافق بين تأكسد نواتج الهضم في عملية التنفس الخلوي وبين بناء الـ **ATP** الذي يُستخدم وسيط الطاقة في عمليات الحياة.

تُستغل الطاقة (كـ **ATP**) في ثلاثة أنواع من العمليات والنشاطات التي تشكِّل معًا مُكوِّنات **استغلال الطاقة في الجسم**:

1. عمليات أيضية (تبادل مواد) أساسية
2. نشاط جسماني
3. معالجة غذاء

تعرض الرسمة و - 2 معدل القسم النسبي لكل مُكوِّن. في الصفحات القادمة، نفصِّل استغلال الطاقة لكل واحد من المكونات.



الرسمة و - 2: القسم النسبي لكل مُكوِّن من مُكوِّنات استغلال الطاقة (المعدل عند الإنسان البالغ الذي لا يقوم بنشاط رياضي، أو بجهد جسماني).

1. عمليات أيضية أساسية — يعبِّر هذا المُكوِّن عن كمية الطاقة المطلوبة للجسم في حالة راحة كاملة لتنفيذ جميع العمليات البيوكيميائية في كل خلية وخلية، لتفعيل عضلات التنفس، لتفعيل الدورة الدموية، لشد العضلات ولتنفيذ نشاطات لا إرادية أخرى. يشتمل بقاء الجسم أيضًا على عمليات تساعد في الحفاظ على الاتزان البدني مثل الحفاظ على درجة حرارة جسم ثابتة.

يتم قياس الطاقة المطلوبة لتنفيذ العمليات الأيضية الأساسية (تبادل المواد الأساسي) عندما يكون المفحوص في يقظة وراحة تامة، بعد حوالي 12 ساعة من تناول الطعام وفي مجال درجة حرارة بيئة محيطة بين 25 - 28 درجة سلزيوس. ربما تتفاجئون إذا قلنا لكم أن كمية الطاقة المطلوبة لتبادل المواد الأساسية يشكل 60%-75% من مجمل الطاقة التي يستغلها الجسم. من الجدير بالمعرفة أن الإنسان لا يوجد له سيطرة على وتيرة تبادل المواد الأساسي عنده.

وتيرة العمليات الأيضية الأساسية (تبادل المواد الأساسي) متعلّق بعوامل مختلفة، مثل:

- **مبنى الجسم:** يستهلك نسيج العضلة طاقة أكثر من نسيج دهني في حالة راحة تامة أيضًا. كلما كانت كتلة العضلات كبيرة نسبة لكتلة الدهنيات، فإن وتيرة العمليات الأيضية الأساسية تكون أسرع. النسبة بين كتلة العضلات إلى كتلة الدهنيات متعلقة بعدة عوامل، مثل: السن - كلما ارتفع العمر، تنخفض النسبة بين كتلة العضلات والدهنيات، الجنس - عادةً عند النساءتكون كمية الدهنيات أعلى نسبة لكتلة العضلات بالمقارنة مع الرجال.
- العُمْر (وتيرة النمو): في فترة الرضاعة، الطفولة والبلوغ تكون وتيرة تبادل المواد الأساسي عالية نسبيًا. تنبع الوتيرة السريعة من البناء المتزايد لأنسجة الجسم التي تعتبر عملية مستهلكة للطاقة.
- **درجة حرارة البيئة المحيطة:** كلما كانت درجة حرارة البيئة المحيطة منخفضة، فإن فقدان الحرارة من الجسم يكون مرتفعًا. في الكائنات الحية التي تحافظ على درجة حرارة جسمها، يؤدي ذلك إلى ازدياد وتيرة تبادل المواد الأساسي.
- **توافر الغذاء:** في حالة نقص متواصل في الغذاء (أسابيع أو أكثر)، تنخفض وتيرة تبادل المواد الأساسي.
- **الوراثة:** تختلف وتيرة تبادل المواد الأساسي من شخص إلى آخر. الأشخاص الذين تبادل المواد الأساسي عندهم بطيء نسبيًا، يستعملون أقل طاقة في أجسامهم في حالة الراحة التامة، ونتيجة لذلك، يبقى فائضًا من المواد الغذائية في أجسامهم ويوجد لديهم ميل للسمنة. وبالعكس، الأشخاص الذين تبادل المواد الأساسي عندهم سريع نسبيًا، يستعملون أكثر طاقة في أجسامهم في حالة الراحة التامة، ونتيجة لذلك، يبقى أقل فائضًا من المواد الغذائية في أجسامهم ويوجد لديهم ميل للنحافة.

توسع

نشاط منخفض للغدة الدرقية

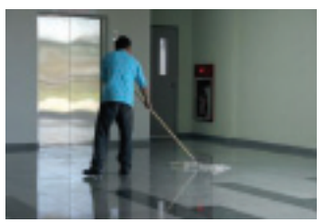
من المعروف أن أشخاص كبار في السن يعانون من ظاهرة تتميز بتعب كبير، بضعف في الجسم، بعدم اليقظة الشعور بالبرد وبالسمنة على الرغم من أنه لم يحدث أي تغيُّر في مجال حياتهم. عند إجراء فحص دم لهؤلاء الأشخاص، نكتشف في مرات عديدة نقص في هورمون التيروكسين في أعقاب نشاط منخفض للغدة الدرقية (التي تقع في مقدمة الرقبة). وقد وُجِدَ أن التيروكسين هو أحد العوامل التي تنظِّم تبادل المواد، وفي حالة نقص فيه، فإن وتيرة تبادل المواد تنخفض، وهذا ما يشرح الظاهرة وعوارضها المذكورة أعلاه. يحتاج إنتاج التيروكسين إلى يود. أحيانًا التغذية الفقيرة في اليود عند الشباب، تؤدي إلى ظواهر شبيهة. المصادر الغذائية لليود هي: أسماك البحر، أناناس، زبيب، طحالب، خضروات وفواكه تنمو بالقرب من البحر وملح الطعام الغني باليود.

سؤال و - 2:

في حالات معينة (مثلًا: نشاط زائد للغدة الدرقية)، يوجد إنتاج فائض لهورمون التيروكسين. ماذا نتوقع أن تكون شكاوى هؤلاء الأشخاص الذين يعانون من هذه المشكلة؟

2. النشاط الجسماني — يعبِّر هذا المُكوِّن عن كمية الطاقة التي نستغلها للنشاط الجسماني. بالمقارنة مع الطاقة التي نستغلها لتبادل المواد الأساسي، فإنَّ كمية الطاقة للنشاط الجسماني تخضع لسيطرتنا وتتأثر من أسلوب حياتنا ومن لياقتنا البدنية ومن الاستمرار في النشاط الجسماني. كلما كان النشاط الجسماني أعلى، يزداد بذل الطاقة، كما نلاحظ ذلك في جدول و - 2. إضافةً إلى ذلك، النشاط الجسماني يرفع من كتلة العضلات، لذا فهو الإمكانية الوحيدة التي تؤثر على وتيرة تبادل المواد الأساسي. الأشخاص الذين لا يكثرون من الجهد الجسماني(مثل: الباحثون والموظفون)، أو لا يقومون بنشاط جسماني ثابت، فإنَّ مكون النشاط الجسماني لديهم حوالي 20%-30% من مجمل الطاقة التي يبذلونها. أما الأشخاص الذين يقومون بجهد جسماني (عتالون، نجارون) أو بنشاط رياضي كثير وثابت، فإن هذا المكون قد يصل إلى 50% من بذل الطاقة العام عندهم.

من الجدير بالمعرفة أن النشاط الذهني الكبير (تعلُّم للامتحان على سبيل المثال) لا يرفع بذل الطاقة أكثر من الطاقة المطلوبة لتبادل المواد الأساسي، أما الحالات النفسية المختلفة التي يرافقها عدم هدوء نفساني، فإنّها تؤدي إلى ارتفاع بذل الطاقة.



جدول و - 2: بذل الطاقة في النشاطات المختلفة

نوع النشاط	بذل الطاقة لساعة نشاط (كيلو كلوري)
جري سريع (5 كم في الساعة)	350-300
شطف أرضية غرفة	250-200
جري بطيء	200-120
سياقة	120-60
تحضير للامتحان	60-50

نوع النشاط	بذل الطاقة لساعة نشاط (كيلو كلوري)
ركض	600-500
كرة سلة/كرة قدم	600-500
سباحة	700-300
قيادة دراجة هوائية	400-300
رقص	400-200

3. معالجة الغذاء — يعبِّر هذا المكون عن كمية الطاقة المطلوبة للجسم لعمليات تحليل الغذاء، امتصاصه ولعمليات استغلال نواتج تحليل الغذاء. تحدث هذه العمليات بعد تناول الطعام، حيث يرافقها ارتفاع في وتيرة التنفس الخلوي وفي انبعاث الحرارة. الطاقة المطلوبة لهذا المكون تشكِّل حوالي 10% من مجمل الطاقة المستغلة. اتضح في الآوني الأخيرة أن كمية الطاقة المطلوبة لمعالجة الغذاء تتغيَّر وفقًا لمكوناته: معالجة البروتينات تحتاج إلى طاقة كثيرة، ومعالجة الكربوهيدرات تحتاج إلى طاقة أقل من معالجة البروتينات، أما معالجة الدهنيات فتحتاج إلى كمية طاقة قليلة.

سؤال و -3:

لماذا نقيس كمية الطاقة المطلوبة لتبادل المواد الأساسي بعد مرور 12 ساعة على تناول الطعام؟

سؤال و -4:

هل وتيرة تبادل المواد الأساسي عند الناس الذين يعيشون في المناطق الباردة أسرع أم أبطأ من وتيرة تبادل المواد الأساسي عند الناس الذين يعيشون في المناطق الحارة؟

سؤال و -5:

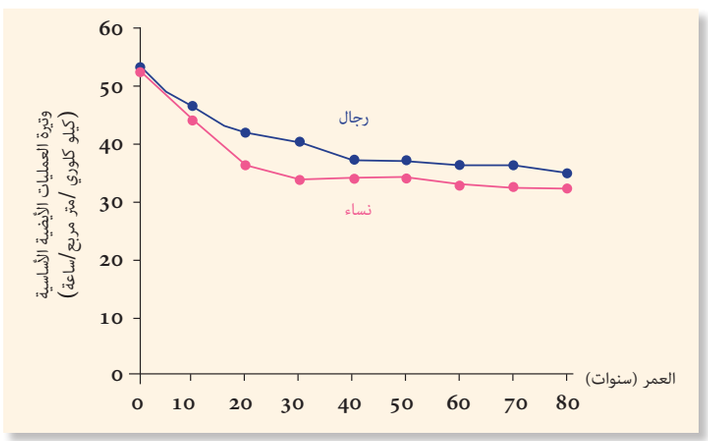
عندما تكون درجة حرارة البيئة المحيطة منخفضة، فإنَّ وتيرة العمليات الأيضية الأساسية عند أشخاص طوال القامة ونحيفون تكون أكثر من أشخاص قصيرون وسمينون، على الرغم من المجموعتين لهما نفس الوزن. اشرحوا السبب. تطرقوا إلى عاملين يساهمان في هذا الفرق.

سؤال و -6:

من المعروف أنه إذا قام شخص بحمية تنحيف حادة، فإنه يرتفع بالوزن حتى لو بدأ يأكل بشكل متوازن. ماذا يمكن أن يكون الشرح لهذه الظاهرة؟

سؤال و- 7:

تمعَّنوا في الرسمة و - 3، ثم أجيبوا عن الأسئلة التي تليها.

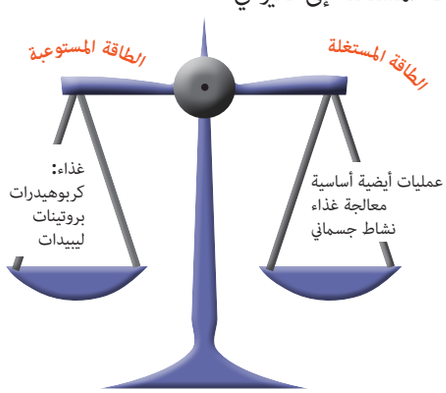


الرسمة و - 3: تغيّرات في وتيرة العمليات الأيضية الأساسية عند الإنسان خلال عُمره

أ. ما هما العاملان اللذان يظهران في الرسم البياني ويؤثران على العمليات الأيضية الأساسية؟
ب. اذكروا استنتاجين يمكن التوصل إليهما من الرسم البياني.
ج. اذكروا عاملين لا يظهران في الرسم البياني، لكنهما يؤثران على العمليات الأيضية الأساسية.

و3.1 توازن بين استيعاب الطاقة واستغلالها

كما ذكرنا من قبل، يؤدي النقص في التوازن بين كمية الطاقة المستوعبة وكمية الطاقة المستغلة إلى تغيُّر في وزن الجسم. عندما يستوعب الجسم، خلال فترة زمنية معينة، موادًا غذائية قيمة طاقتها العامة.



(عدد الكلوري التي يمكن استخراجها من الغذاء) أعلى مما يستغله الجسم، تَنْتُج **موازنة طاقة موجبة**، والنتيجة تخزين نواتج الهضم كدهنيات وهذا يعني بدانة. عندما يستوعب الجسم، خلال فترة زمنية معينة، مواد غذائية قيمة طاقتها أقل من الطاقة التي يستغلها الجسم، تَنْتُج **موازنة طاقة سالبة**، والنتيجة استعمال مخازن الدهنيات الذي يؤدي إلى النحافة. في حالات متطرفة من موازنة الطاقة السالبة المستمرة، يبدأ تحليل بروتينات في الأنسجة. عندما تكون كمية الطاقة المستوعبة، خلال فترة زمنية معينة، في الجسم مشابهة لكمية الطاقة المستغلة (عمليات أيضية أساسية، نشاط جسماني، معالجة غذاء)، يَنْتُج توازن في الطاقة ولا يحدث تغيُّر في وزن الجسم.

قليل من المعلومات ...

كيف يتراكم في أجسامنا 1 كغم دهنيات خلال أسبوعين؟ بسهولة كبيرة!

كي يتراكم في أجسامنا 1 كغم دهنيات، يجب أن نستوعب 7,700 كيلوكلوري فائضة. في التغذية الغربية، هذه المهمة ليست صعبة: إذا استوعبنا خلال أسبوعين، في كل يوم 500 كيلو كالوري فائض، فإن هذا الفائض يتراكم ككيلوغرام دهنيات واحد.

أمثلة:

سندويش هامبورغر = 710 كيلو كلوري
سندويش فلافل = 600 كيلو كلوري
سندويش حمص = 600 كيلو كلوري
كيس بطاطا = 540 كيلو كلوري
قطعة مثلثة من البيتسا = 230 كيلو كلوري

كيس بمبا (100 غرام) = 503 كيلو كلوري
علبة بوظة = 550 كيلو كلوري
قنينة كولا (500 ملل) = 210 كيلو كلوري
فستق مقشر (100 غرام) = 630 كيلو كلوري

سؤال و - 8:

اختاروا غذائين من بين الأغذية التي تحبونها بشكل خاص، بحيث تظهر في القائمة أعلاه. الآن، اختاروا نشاطًا واحدًا من بين النشاطات التي تظهر في جدول و - 2، ثم احسبوا الزمن المطلوب لتنفيذ النشاط، لكي "نتخلّص" من السعرات الحرارية التي أُضيفت إلى الجسم بسبب الغذائين اللذين اخترتموهما.

توسع

ما هو الوزن السليم لكل إنسان؟ مقياس الـ BMI؟

إحدى الطرق لتحديد الوزن السليم للإنسان تعتمد على حساب قيمة الـ **BMI** (**Body Mass Index**). يعتمد الحساب على وزن الشخص وطوله.

$$\text{BMI} = \frac{\text{الكتلة (كغم)}}{\text{الطول}^2\ \text{(متر مربع)}}$$

مثال: الشخص الذي وزن جسمه (كتلة جسمه) 70 كغم وطوله 1.68 متر، فإنّ الـ **BMI** نحسبه كالتالي:

$$\frac{70}{1.68 \times 1.68} = 24.8$$

القيمة التي حسبناها هي قيمة أولية فقط وهي لا تأخذ بالحسبان معطيات أخرى، مثل: الجنس، العمر ومكونات الجسم التي هي عبارة عن قيم مهمة لتحديد وزن الجسم السليم. لذا عندما نريد أن نُحدِّد الوزن السليم بمساعدة الـ **BMI** فمن الضروري أن نأخذ هذه المعطيات بالحسبان.

جدول و - 3: معنى قيم الـ BMI عند كبار السن (أكثر من 18 سنة):

مجال قيم الـ BMI	تدريج
أقل من 18.5	نقص في الوزن
25—18.5	وزن سليم
30—25	وزن زائد
أكبر من 30	وزن زائد بشكل متطرف

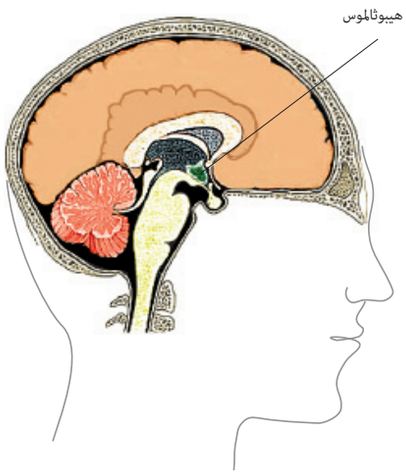
من المهم الانتباه أننا عرضنا قيم الـ **BMI** كمجال وليس كقيمة منفردة. أحد الأسباب لذلك، أن الـ **BMI** يختلف عند الأشخاص الذين مبنى أجسامهم وكتلة عضلاتهم مختلفة. مثلًا: للرياضيين يمكن أن تكون قيمة **BMI** أعلى نسبيًا، على الرغم من أنه لا تبدو لديهم بدانة وذلك بسبب كتلة عضلاتهم العالية.
طريقة حساب الـ **BMI** عند الأطفال والمراهقين مماثلة لطريقة الحساب عند كبار السن، لكن بما أنَّ الأطفَال والمراهقين موجودون في ذروة عملية تطور أجسامهم، وبسبب تغيُّر نسبة الدهنيات في أجسامهم بشكل طبيعي خلال عملية نموهم، فإن تفسير قيم الـ **BMI** عندهم تختلف عن كبار السن.
عند فحص وزن شباب أو أطفال لتحديد حمية غذائية (وصفة غذائية)، من المهم استشارة مختصين في الموضوع، لأنهم يأخذون بالحسبان جميع العوامل التي تؤثر على الوزن السليم لأجسامهم التي في حالة نمو.

و2. تنظيم استهلاك الغذاء

على الأغلب، تأكل الحيوانات عندما تكون جائعة. ينبع الميل للبحث عن الغذاء واستهلاكه من الشعور بالجوع الذي هو دافع ضروري منذ الولادة لبقاء هذه الحيوانات. أما الإنسان لا يأكل عندما يكون في حالة جوع فقط، بل تناول الأكل عنده متعلق بعوامل نفسية، اجتماعية وثقافية أيضًا. الفسيولوج الفرنسي بريلا - سوايرين **(Brillat Savarin)** لخص هذا الأمر (1825) كالتالي: **" يختلف الإنسان عن البهائم بأنه يأكل دون أن يكون جائعًا ويشرب دون أن يكون عطشانًا".**

و1.2 مركز الجوع ومركز الشبع

منذ سنوات الخمسينيات من القرن الـ 20، بدأ بحث آليات الجوع والشبع بشكل مكثف، وقد كان ذلك في أعقاب الارتفاع الملحوظ بعدد الأشخاص، في المجتمع الغربي، الذين يعانون من الوزن الزائد المتطرف. أجريت معظم الأبحاث حول آليات تنظيم استهلاك الغذاء على حيوانات، مثل: الخلد، والقرد وبهذه الأبحاث توجد محدودية. تبيَّن في الأبحاث أن مركز المراقبة الموجود في الهيبوثالاموس (الرسمة و - 4) هو الذي يسيطر على دافع الحصول على الغذاء. وهذا المركز مبني من **مركز الجوع** ومن **مركز الشبع**.
وقد وُجِدَ أن إصابة منطقة معينة في الهيبوثالاموس، تؤدي للخُلد أن يأكل كميات قليلة من الغذاء، وفي أعقاب ذلك انخفض وزنه. وقد عُرِّف هذا المركز على أنه مركز الجوع.



الرسمة و - 4: مكان الهيبوثالاموس (فوق جذع المخ) الذي اكتُشف بمقطع على طول الجمجمة.

وقد أدت إصابة منطقة أخرى في الهيبوثالاموس إلى الخلد أن يتناول الغذاء دون توقف، وفي أعقاب ذلك ارتفع وزنه. وقد عُرِّف هذا المركز على أنه مركز الشبع. يعمل مركز الجوع ومركز الشبع في مجال زمني قصير وفي مجال زمني طويل الأمد. في المجال القصير، يراقب هذان المركزان استهلاك الغذاء اليومي - متى نأكل وكم نأكل - والعمليات الأيضية في المستوى اليومي. في المجال الطويل، ينظم هذان المركزان بناء واستغلال مخازن المواد في الجسم. وهكذا يحافظان على وزن ومكوِّنات جسم ثابتة، تقريبًا، خلال سنوات عديدة (إذا لم تحدث تغيُّرات كبيرة في استهلاك الغذاء والنشاط الجسماني). معظم المعلومات الموجودة اليوم عن آليات الجوع والشبع متعلقة بآليات مجال قصير الأمد.

علاقة بموضوع

بيولوجيا الإنسان:
أجهزة ملاءمة ومراقب.

الفكرة المركزية

تنظيم واتزان بدني:
مركزا الجوع والشبع هما كآلية الاتزان البدني.

و2.2 عوامل تؤثر على استهلاك الغذاء

لا يوجد لدى العلماء فهم كامل حول العوامل والإشارات التي تشغِّل مركزي الجوع والشبع. يوجد فرضيات كثيرة، قسم منها يتناقض مع الأخرى. اتفق العلماء على أن تفعيل مركزي الجوع والشبع، لا يتم بوساطة عامل واحد فقط، بل بوساطة مجموعة عوامل وهناك علاقة متبادلة بينهاَ.

من بين العوامل الفسيولوجية التي تؤثر على **تنظيم استهلاك الغذاء: محفزات من الجهاز الهضمي** (عصبية وهورمونالية)، مستوى نواتج الهضم في الدم، مثلاً: **مستوى الجلوكوز في الدم** ومخازن الطاقة. هذه العوامل، تنقل إلى المخ إشارات عصبية وهورمونالية حول وضع المواد والطاقة في الجسم. وفقًا للإشارة، "يُبث" إحساس بالجوع أو احساس بالشبع،حيث تؤثر على البحث عن الطعام أو التوقف عن تناول الطعام. الإشارات المختلفة مسؤولة عن المراقبة في مجال زمني مختلف. مثلاً: مستوى نواتج تحليل الغذاء في الدم وإشارات تُشير إلى كمية الغذاء في الجهاز الهضمي، هي إشارات لمجال زمني قصير الأمد. وضع مخازن الجسم، إلى إشارة للمدى الطويل.

كما ذكرنا، هناك أيضًا **عوامل نفسية** واجتماعية قد تؤثر على استهلاك الغذاء، مثل: الملل، الخوف، التوتر، الفرحة والانفعال. يختلف التأثير على أشخاص مختلفون، وأحيانًا على الشخص ذاته، لا يكون التأثير متماثلاً دائمًا.

فيما يلي عدة أمثلة لإشارات تؤثر على استهلاك الغذاء:

1. إشارات عصبية
   - أ. **إشارات تصلنا من أعضاء الحواس، في أعقاب محفزات من البيئة المحيطة**
     منظر أو رائحة طعام، منظر مطعم نحبه، أشخاص يأكلون في البيئة القريبة، جميعها تفعل مركز الجوع.
   - ب. **إشارات تصلنا من أعضاء الجهاز الهضمي**
     أثناء تناول الطعام والهضم، تنشد جدران المعدة والأمعاء. في هذه الجدران، يوجد خلايا حسية حساسة للضغط، وهي تُرسل إشارات عبر الجهاز العصبي إلى مركز المراقبة في الهيبوثالاموس. وهناك تُترجم إلى الاحساس بالشبع الذي في أعقابه يتباطأ أو يتوقف تناول الطعام. المواد الغذائية التي زمن هضمها طويل، تبقى مدة زمنية طويلة في المعدة، ونتيجةً لذلك تؤدي إلى الشعور بالشبع لمدة زمنية طويلة. أما في أعقاب تفريغ المعدة، فإنها تنقبض وتُرسل إلى المخ إشارة لإستهلاك الغذاء.

2. **إشارات هورمونالية**
   - أ. **هورمونات تُفرز من أعضاء الجهاز الهضمي**
     يُفرز الهورمون **جرلين** من المعدة عندما تكون فارغة. عندما يصل الهورمون جريلين تيار الدم إلى الهيبوثالاموس، فهو يُنْتِج إحساس بالجوع. يؤدي التلامس بين الطعام وخلايا جدار المعدة إلى تثبيط (منع) إفراز الجريلِين وإلى انخفاض الاحساس بالجوع.
     يُفرز الهورمون **كولسيستوكينين (CCK)** من الأثنى عشر كرد فعل لوصول غذاء إلى الأمعاء. في الفصل الرابع (صفحات 104 - 105)، رأينا أن الهورمون يؤدي إلى إفراز عصارات الهضم إلى الأثنى عشر وإلى إغلاق عضلة البوابة بين المعدة والأثنى عشر، مما يؤدي إلى تباطؤ تفريغ المعدة وزيادة نجاعة عملية الهضم. إضافةً إلى النشاطات المحلية، عندما يصل الهورمون مع تيار الدم إلى الهيبوثالاموس فهو يؤدي إلى الشعور بالشبع.

قليل من المعلومات ...

حجم المعدة والشعور بالشبع

كما ذكرنا، عندما تمتلئ المعدة، تُرسل إشارات عصبية إلى المخ، حيث تؤدي إلى الشعور بالشبع. المضغ البطيء "يشغلنا" مع الغذاء حتى وصول الإشارات من المعدة إلى مركز الشبع، التي تبدأ بعد حوالي 20 دقيقة من تناول الطعام. عندما نأكل بسرعة، ينتهي تناول الطعام قبل أن تُرسل إشارات من المعدة إلى مركز الشبع، لذا توجد رغبة في استمرار تناول الطعام.

بناءً على المعرفة أن المعدة المليئة تعطينا الشعور بالشبع، يقوم الأطباء بعملية جراحية لتصغير حجم المعدة عند أشخاص يعانون من وزن زائد متطرف. نتيجةً للعملية الجراحية، يتحقق الشعور بالشبع بعد تناول كمية قليلة من الغذاء.

يعتقد الأطباء أن انخفاض الشعور بالجوع بعد عملية تصغير المعدة ينبع من تقليل كمية الخلايا التي تفرز جرلين. لكن العملية لا تؤدي دائمًا إلى الانخفاض في الوزن، لأن الشعور بالشبع لا يؤدي دائمًا إلى التوقف عن تناول الطعام. من المعروف أن الانجذاب إلى الغذاء غير متعلقٍ بحاجة فسيولوجية فقط وبالشعور بالجوع والشبع، بل بعوامل عاطفية أيضًا. إضافةً إلى ذلك، تُشكل هذه العمليات أخطار كثيرة على الإنسان.

ب. هورمون الإنسولين

يُفرز هورمون الإنسولين من خلايا بيتا في البنكرياس بنسبة طردية لمستوى الجلوكوز في الدم. عندما يرتفع تركيز الجلوكوز في الدم، فإنَّ مستوى الإنسولين يرتفع ونشعر بالشبع. عندما ينخفض تركيز الجلوكوز في الدم، فإنَّ مستوى الإنسولين ينخفض ويزيد الشعور بالجوع. وَجَدَ باحثون علاقة **مباشرة** بين الإنسولين وبين مراقبة الجوع والشبع، من خلال تجربة أُدخل فيها هورمون الإنسولين إلى مخ خُلد بوساطة إنفوزيا (نقل السوائل). أدى هذا العلاج إلى انخفاض وزن الخُلد دون أي علاقة لمستوى الجلوكوز في الدم.

ج. إفراز هورمونات من مخازن طاقة (خلايا دهنية)

إضافةً إلى كونها مخزن لمواد تخزين (دهنيات)، تفرز الخلايا الدهنية هورمونات أيضًا. لبتين هو الهورمون المهم الذي تفرزه الخلايا الدهنية. لهذا الهورمون توجد وظيفة في الحفاظ على استهلاك الغذاء للمدى البعيد. يتم إنتاج اللبتين بنسبة طردية إلى كتلة الدهنيات وإلى محتوى التريجلتسيريدات في هذه الخلايا. كلما كانت كتلة الدهنيات كبيرة ومحتوى التريجلتسيريدات في الخلايا عاليًا، تَنْتُج كمية لبتين أكثر. يستجيب مركز المراقبة الموجود في المخ لهذا الهورمون في حالة الشعور بالشبع. عندما تتفرغ مخازن الدهنيات، ينخفض إنتاج اللبتين في خلايا الدهنيات ونشعر بالجوع. يعتقد باحثون أن الأشخاص الذين يعانون من وزن جسم فائض متطرف، وفي دمهم مستوى عالٍ من اللبتين لمدة طويلة، تَنْتُج في الهيبوثالاموس مقاومة للبتين وعتبة رد فعل الهيبوثالاموس للبتين يرتفع جدًا. وهذا يعني أنه على الرغم من وجود مستويات عالية من اللبتين في الدم، لا يَنْتُج الشعور بالشبع ولا ينخفض استهلاك الغذاء.

3. إشارات متعلقة بتركيز نواتج الهضم في الدم

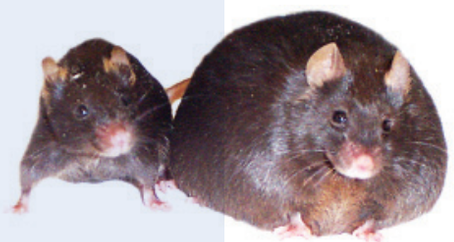
عندما يصل الجلوكوز، على سبيل المثال، المخ فهو يرتبط بمستقبلات و"يترجم" ذلك كشعور في الشبع. يرتبط الجلوكوز أيضًا بمستقبلات في خلايا الكبد ويؤدي إلى إرسال إشارة عصبية إلى المخ، حيث تُترجم إلى الشعور بالشبع أيضًا. لذا نفهم طلب الأمهات في كل العالَم أن لا يأكل الأطفال حلويات قبل تناول الطعام. من الجدير بالمعرفة أن جزء من أحاديات السكر تؤدي إلى الشعور بالشبع: الفروكتوز الموجود في مشروبات حلوى كثيرة، يزيد من الشعور بالجوع (ولأجل الدقة، نواتج تحليل الفركتوز هي التي تؤدي إلى هذا الشعور).

سؤال و - 9:

لخصوا في جدول تأثير الهورمونات جرلين، كولسيستتوكينين، انسولين ولبتين على استهلاك الغذاء. تطرقوا إلى المكان الذي يُفرز منه كل هورمون، إلى المحفز الذي يؤدي إلى افرازه، إلى نشاط الهورمون وإلى الشعور الذي يؤديه (جوع /شبع).

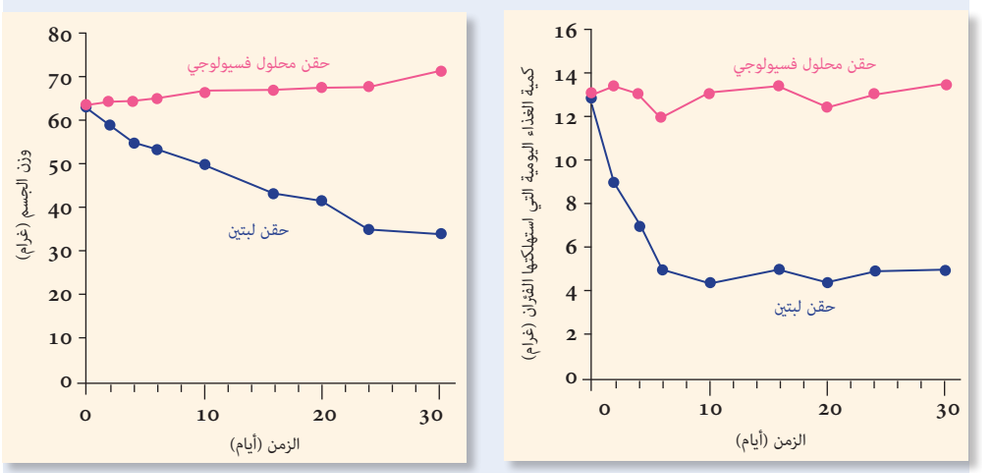
نافذة البحث

في سنوات الخمسينيات من القرن الـ 20، وُجِدَ صنف جديد من الفئران، وقد كان وزنها أكبر بثلاثة أضعاف من الفئرَان العادية (الرسمة و - 5). ولم تُنْتِج خلايا الدهنيات لبتين تقريبًا عند هذه الفئران. وُجِدَت في هذه الفئران طفرة في جين اللبتين، وقد افترض الباحثون أنَ حقن هذه الفئران باللبتين يؤثر على استهلاك الغذاء ووزن هذه الفئران السمينة. في التجربة التي أُجريت لفحص الفرضية، فُحصت الفئران (الأنثى) التي تحمل طفرة الجين لبتين (لم يكن في دمها لبتين) والتي تعاني من سمنة. وُزعت الفئران إلى مجموعتين، في كل منها عشرة فئران. حُقنت إحدى المجموعتين بلبتين في كلِ يوم. أما المجموعة الثانية فقد حُقنت بمحلول فسيولوجي في كل يوم. أجريت التجربة لمدة شهر وقد فُحصت كمية الغذاء التي استهلكتها الفئران ووزنها.



الرسمة و - 5: على اليمين: فأر فيه طفرة في الجين لبتين. على اليسار: فأر عادي.

عُرضت نتائج التجربة في الرسمين البيانيين في الرسمة و - 6:



الرسمة و - 6: تأثير حقن اللبتين على كمية الغذاء اليومي الذي أكلته الفئران التي تحمل طفرة جين لبتين (على اليمين) وعلى وزنها (على اليسار).

سؤال و - 10:

أ. صفوا نتائج التجربة. هل يمكن أن نتعلَّم منها عن العلاقة بين اللبتين وبين الشعور بالشبع؟ اشرحوا إجاباتكم.

ب. ما هي أهمية مجموعة الفئران التي حُقنت بمحلول فسيولوجي؟ تطرقوا في إجاباتكم إلى العوامل البديلة التي يمكن نفيها بمساعدة هذه المجموعة.

ج. كيف تفحصون الفرضية أن حقن البتين إلى الفئران التي لا تعاني من نقص اللبتين، لا يؤثر على استهلاك الغذاء وعلى كتلة الجسم؟

د. إضافةً إلى وظيفة اللبتين في مراقبة الجوع والشبع، فإنَّ مستوى اللبتين يؤثر على عمليات الخصوبة أيضًا. في إناث الثدييات التي تعاني من جوع مستمر، مستوى اللبتين منخفض جدًا ونتيجة لذلك تتوقف الدورة الشهرية. ما هو، بحسب رأيكم، معنى النشوء والارتقاء للعلاقة بين اللبتين وبين مدى خصوبتها؟

هل اللبتين مناسب لمعالجة الإنسان أيضًا؟ ⁉

بيَّنت الأبحاث أن عددًا قليلًا فقط من الأشخاص الذين يعانون من وزن زائد لديهم طفرة في جين البتين. تتم معالجة هؤلاء الأشخاص بحقن لبتين. لكن في معظم الذين يعانون من وزن زائد، وُجِدَ مستوى عالٍ من اللبتين، لذا لا يجنون أي فائدة من هذا العلاج.

و3. تغذية حكيمة ومتوازنة

أطباء، مختصون في التغذية وآخرون، يطلبون منا أن نحافظ على "تغذية حكيمة"، "تغذية موزونة"، "تغذية صحيحة"، "غذاء مُغَذّي" ، "أغذية صحية" وأن نمتنع من "الغذاء السريع" (fast food). ورُزم الأغذية أيضًا، لا "تكتفي" بالتقرير عن المُنْتَج، بل تستخدم تعابير كثيرة، مثل: دون كولسترول، قليل السكر، خالٍ من الكفائين، بطعم الفواكه، جميعهم يبثون أنه من الأفضل استهلاك هذا الغذاء لأنه صحي أكثر.

كيف نختار الغذاء المناسب والصحيح لنا؟

و1.3 هل توجد قاعدة "للتغذية الصحيحة"؟

الإجابة عن هذا السؤال غير بسيطة وعمليًا لا توجد توصية لغذاء واحد صحيح للجميع. نختلف عن بعضنا بمبنى الجسم، بطريقة حياتنا، بعادات تناول الطعام وبتفضيل نوع الغذاء بحسب ذوقنا وثقافتنا. لذا يجب أن يكون الغذاء مناسبًا لاستهلاكنا الشخصي وللأشياء التي يفضلها كل واحد منا. الغذاء "الصحيح" للرياضيين، ليس بالضرورة صحيح لموظفي البنك، والغذاء المناسب للمراهقين، ليس بالضرورة مناسبًا للمسنين وهكذا دواليك. يجب أن يكون الغذاء مناسبًا بالأساس لمبنى الجسم، العمر، ولمستوى الطاقة المستغلة.

توجد أهمية لجودة الغذاء لجميع الأعمار، لكن تكمن الأهمية الكبرى بشكل خاص في فترة الطفولة والمراهقة اللتان تتميزان بعمليات النمو والتطور السريع. تحتاج الإضافة السريعة لأنسجة الجسم إلى مكونات غذاء كثيرة وإضافة طاقة. إذا لم يستوعب الجسم ذلك، تتضرر وتيرة النمو وتتباطأ أو يتأجل التطور الجنسي. التغذية الصحيحة، هي التغذية الموزونة التي تحقق الشرطين الآتيين: أ. تزوِّد الجسم باحتياجاته للطاقة، بحيث تتحقق ملاءمة بين كمية الطاقة المستوعبة وبين كمية الطاقة المستغلة (صفحة 169)، ب. تزوِّد الجسم بجميع مكوِّنات الغذاء الضرورية للأداء السليم. يوجد توجُّهات مختلفة للتغذية الصحيحة. على الرغم من ذلك، بحسب التوجه المقبول على جميع الذين يبحثون المجال، التغذية الصحيحة هي:

- تشمل سوائل كثيرة، مثل: الماء وصودا دون سكريات أو إضافات صناعية مختلفة.
- تشمل حبوبيات (بالأساس كاملة)، خضروات وفواكه، على الأقل، من خمسة ألوان مختلفة في كل يوم.
- تشمل حليب ومنتجاته قليلة الدسم.
- تشمل لحوم قليلة الدهنيات، مثل: الطيور، الأسماك وأيضًا بيض، بقوليات وجوز.

- قليلة الحوامض الدهنية المشبعة، الحوامض الدهنية من نوع ترانس وقليلة الكولسترول.
- قليلة الملح والسكريات البسيطة.
- قيمة سعراتها الحرارية لا تفوق احتياجات الجسم للطاقة.

و2.3 الهرم الغذائي

التوصيات التي فصَّلناها أعلاه، نعبِّر عنها عادةً بشكل بياني بوساطة الهرم الغذائي (انظروا الرسمة و - 7): يركِّز الهرم الغذائي على استهلاك غذاء متنوع ودمج عادات حياة صحية، مثل: تناول المياه بكثرة، ونشاط جسماني كجزء من نهج حياتنا.

הרסמה و -7: التوصية للتغذية – مجموعات الغذاء والكميات النسبية التي يجب استهلاكها بحسب توصيات وزارة الصحة الإسرائيلية (2010).

الهرم الغذائي الإسرائيلي مبني من 6 درجات تُمثِّل جميع مجموعات الغذاء. كل مجموعة لها المكون الأساسي الخاص. يمثِّل عرض الدرجة الكمية النسبية الموصى بها في الغذاء من نفس نوع الغذاء. كلما صعدنا في الهرم الغذائي إلى أعلى، يجب أن نأكل كمية قليلة من أغذية هذه المجموعة. يساعدنا الهرم الغذائي في بناء وصفة غذائية متنوعة وموزونة.

انتبهوا! عرضنا في خلفية الهرم الغذائي نشاطات جسمانية مختلفة. نتطرق في البداية إلى الدرجات المختلفة في الهرم الغذائي وفيما بعد إلى النشاط الجسماني.

أ. الماء

نجد الماء في قاعدة الهرم. كما تذكرون، في هذا الكتاب (صفحة 11)، شملنا في تعريف الغذاء مواد غير عضوية أيضًا من ضمنها الماء. الماء هو المكوِّن الأساسي في الجسم وهو ضروري للأداء السليم. يخسر الجسم كميات مياه كثيرة خلال اليوم، بالأساس عبر الكليتين، وهكذا تُفرز جميع المواد الزائدة والضارة من الجسم عندما تكون مذابة في الماء فقط. يخسر الجسم ماء عبر مسالك التنفس أيضًا وعبر الجلد من خلال العرق. تتم إعادة الماء إلى الجسم من خلال شُرب الماء والتوصية أن نشرب ماء وليس مشروبات خفيفة ومحلاة.

نفكر عادةً أن ...

ممنوع شُرب الماء بعد أن نأكل فواكه. بالطبع، هذا غير صحيح! لا يوجد أي ضرر إذا شربنا ماء بعد تناول الفواكه، لأن الفاكهة ذاتها تحتوي على كمية ماء كبيرة. لا يؤدي شرب الماء إلى إسهال، ومن المهم دائمًا أن نشرب قبل وبعد تناول الطعام. **ممنوع شرب الماء أثناء تناول الطعام. بالطبع، هذا غير صحيح!** مسموح أن نشرب الماء قبل تناول الطعام، أثناء تناول الطعام وبعد تناوله. في ظروف الطقس السائد في بلادنا، من المطلوب تناول الماء مع الغذاء.

ب. مجموعة الحبوبيات (النجيليات)

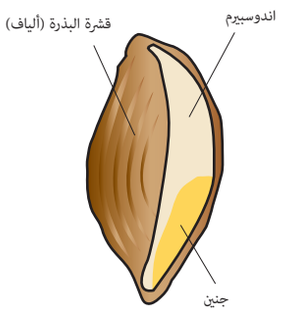
الحبوبيات هي المصدر المهم للكربوهيدرات المعقدة. يشكِّل النشا حوالي ثلاثة أرباع محتوى بذور الحبوبيات. تشمل هذه المجموعة مُنْتَجات مصنوعة من بذور نباتات من عائلة الحبوبيات، مثل: القمح الأرز، الشعير، سنبلة الثعلب، الذُّرة والشوفان. تشكِّل الحبوبيات أساسًا للتنوع الهائل للمواد الغذائية، مثل: المعكرونة، مُعَجّنات مختلفة وحبوب الصباح.

توصي وزارة الصحة على استعمال مواد غذائية مصنوعة من حبوب كاملة بقدر الإمكان. لماذا؟!?

تساعدنا معرفة مبنى بذور الحبوبيات على فهم هذه التوصية.

بذور الحبوبيات مبنية من ثلاثة أقسام (الرسمة و - 8):

1. قشرة البذرة (ألياف): مصدر غني بالألياف الغذائية، الفيتامينات B_1, B_3, المغنيسيوم، الفوسفور، الحديد والخارصين.
2. الجنين: الجزء في البذرة الذي يتطور إلى نبات جديد. يحتوي على فيتامينات من مجموعة B (B_1, B_2, B_3) وأملاح معدنية، مثل: المغنيسيوم، الحديد، الخارصين والبروتينات والقليل من الدهنيات.
3. الإندوسبيرم: نسيج من مواد التخزين وهو يقع بالقرب من الجنين ويحتوي على نشا، بروتينات، قليل من الدهنيات وكميات قليلة من الفيتامينات والأملاح المعدنية. يشكِّل الإندوسبيرم معظم البذرة. في عملية معالجة الحبوبيات، يُزيلون قشرة البذرة والجنين، لذا الحبوبيات التي تمَّت معالجتها تحتوي على إندوسبيرم فقط، أما الحبوبيات الكاملة، فإنها تحتوي على الأقسام الثلاثة، لذا قيمتها الغذائية تكون عالية.



الرسمة و -8: مبنى بذرة نباتات من عائلة البقوليات

قليل من المعلومات ...

لماذا تعتبر الألياف الغذائية من المكوِّنات المهمة جدًا في تغذية الإنسان؟

الألياف الغذائية هي مخلوط من متعددة السكريات النباتية، مثل: السيلولوز (الرسمة ب - 9) ومركّب إضافي نسمِّيه لجنين. يذوب قسم من الألياف في الماء والقسم الآخر لا يذوب في الماء. على الرغم من الإنسان، لا يستطيع هضم الألياف، إلا أن هناك توصية واسعة لمنظمة الصحة العالمية على استهلاك مواد غذائية غنية بالألياف (الرسمة و - 9)، لأن أبحاثًا كثيرة، أثبتت مساهمتها للصحة.

وظائف الألياف:

- تمتز الألياف الذائبة الماء وتنتفخ، وفي أعقاب ذلك، تؤدي إلى تباطؤ وتيرة تفريغ المعدة. لذا نشعر بالشبع وتقلل من كمية استهلاك الغذاء.
- تؤدي الألياف الذائبة إلى تباطؤ في وتيرة امتصاص الليبيدات والكربوهيدرات من الغذاء في الأمعاء إلى تيار الدم. وهكذا ينخفض مستوى الليبيدات والكربوهيدرات في الدم، مما يساهم في تقليل الإصابة في تصلب الشرايين.
- تزيد الألياف غير الذائبة من حجم البراز، مما يؤدي ذلك إلى حركة عضلات الأمعاء بشكل سريع وينشِّط انتقال الغذاء فيه.
- تستطيع الألياف الغذائية أن تمتز مواد ضارة في الأمعاء الغليظة. هذه الظاهرة والحقيقة أن الألياف غير الذائبة تسرّع نشاط الأمعاء، تساهم في تقصير زمن تعرض خلايا الأمعاء إلى المواد الضارة، وهذا ما يساهم على ما يبدو في انخفاض الإصابة بسرطان الأمعاء الغليظة.

الرسمة و- 9: مواد غذائية غنية بالألياف الغذائية: قمح كامل، فواكه طازجة ومجففة وخضروات.

نفكر عادةً أن ...

الخبز البني الغامق هو خبز من قمح كامل. الحقيقة أن ذلك ليس صحيحًا دائمًا. يوجد صبغات طعام غامقة وإضافات قد تعطي للخبز منظرًا يجعلنا نفكر أن الخبز مصنوع من قمح كامل. يجب قراءة ماركة الغذاء والتأكد من أن الخبز مصنوع من قمح كامل. **الخبز يؤدي إلى السمنة، لذا من الأفضل أن نتنازل عنه.** الحقيقة أن ذلك، ليس صحيحًا تمامًا! الخبز مهم لنا كمصدر للكربوهيدرات المعقدة، وإذا كان الحديث يدور حول خبز من قمح كامل، فإنه يحتوي على ألياف غذائية أيضًا، لذا لا نتنازل عن الخبز. الشيء الذي ندهنه عليه هو الشيء الذي يؤدي عادةً إلى السمنة (والكميات!.....). **الخبز المحمر يحتوي على سعرات حرارية أقل من الخبز العادي. الحقيقة أن ذلك، ليس صحيحًا!** في الخبز العادي وفي الخبز المحمر توجد نفس كمية السعرات الحرارية. في الخبز المحمر، يتبخر الماء ومن المعروف أن الماء لا توجد له أي قيمة في السعرات الحرارية.

ج. مجموعة الخضروات والفواكه

تَكْمُن أهمية الخضروات والفواكه بأنها تحتوي على فيتامينات كثيرة، أملاح معدنية وألياف غذائية. كل نوع من أنواع الخضروات والفواكه، غني بفيتامينات وبأملاح معدنية مختلفة، لذا نوصي استهلاك أنواع مختلفة منها. من المهم أن نأكل الفواكه والخضروات مع قشرتها، لأن الألياف موجودة بالأساس في القشرة.

لكن هناك أهمية أخرى للخضروات والفواكه. تبيَّن في الأبحاث أن هناك علاقة بين تغذية غنية بالفواكه والخضروات وبين تكرارية منخفضة في ظهور أمراض في الأوعية الدموية، السرطان وأمراض مزمنة أخرى. انتبهوا، التمييز بين الفواكه والخضروات، لا يعتمد على علم النبات، بل على مجال التغذية. الثمرة هو مصطلح من علم النبات يتطرق إلى القسم في النبات الذي يحتوي على بذور.

المصطلح خضروات ليس مصطلحًا من علم النبات، بل من مجال التغذية. من ناحية علم النبات، قسم من الخضروات هي ثمار (بندورة، فلفل، خيار، أفوكادو)، والقسم الآخر هو أوراق (خس، ملفوف)، نَوَرَة (قرنبيط)، ساق ثخين - درنة (بطاطا)، أو جذور ثخينة (شمندر، جزر وفجل). الفرق الغذائي البارز بين الفواكه والخضروات هو قيمة السعرات الحرارية. تحتوي الفواكه على كربوهيدرات بسيطة (أحادية السكر وثنائية السكر) أكثر من الخضروات، لذا قيمة السعرات الحرارية في الفواكه أكثر ونوصي أن نستهلك منها كمية أقل.

لماذا نوصي على تناول الخضروات والفواكه كل يوم والتركيز على تنوع الألوان؟ ?!
تنبع الألوان المختلفة للفواكه والثمار من مركبات كيميائية مختلفة اسمها العام مركبات كيميائية نباتية (نعرف اليوم حوالي 25,000 مركّب من هذا النوع). إحدى الصفات المهمة لهذه المركبات أنها تعمل كمواد مضادة للتأكسد **(Antioxidants)**. المواد المضادة للتأكسد تُبطل مفعول مواد مؤكسدة نسمِّيها راديكالات حرة. قد تؤذي الراديكالات الحرة جدران الأوعية الدموية والخلايا ذاتها بما في ذلك الـ **DNA**. يعتقد العلماء أن المواد المضادة للأكسدة الموجودة في النبات، تحمي المادة الوراثية للنبات ذاته من مواد مؤكسدة تَنْتُج في عمليات تحدث في النبات. بما أن كل مركّب يزوِّد حماية مختلفة، فمن المهم أن نأكل فواكه وخضروات بألوان مختلفة، مثلًا: تحتوي البندورة على الليكوفين وتحتوي البطاطا على الكاروتين. من الجدير بالمعرفة أن أنواع مختلفة من الفيتامينات **(E ,C ,A)** والأملاح المعدنية (سيلينيوم، نحاس، خارصين) الموجودة في الفواكه والخضروات تعمل كمضادات تأكسد.

نفكر عادةً أن ...

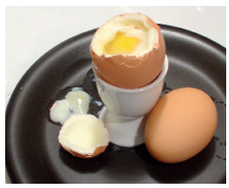
أن العصير الطازج صحي جدًا ومن الأفضل الإكثار منه. الحقيقة أن ذلك ليس دقيقًا! عندما نعصر ثمرة، تبقى الألياف المهمة للجسم في ماكنة العصير والفيتامينات الموجودة في الثمرة تتعرض إلى الهواء وقسم منها يُهدم. ويبقى في الكأس ماء حامض وسكر! أما عندما نأكل الثمرة الكاملة، فإننا نحصل على الألياف المهمة للجسم ونستوعب الفيتامينات والأملاح المعدنية أيضًا.

مسموح أن نأكل ثمارًا دون تحديد. هذا الادعاء غير صحيح! تحتوي الفواكه على فيتامينات، أملاح معدنية، وألياف غذائية من المهم أن نستهلكها، لكن ليس بكثرة، لأن الفواكه تحتوي على كميات سكر عالية تساهم بشكل كبير في كمية السعرات الحرارية. يكفي أن نأكل في اليوم 3 حبات ثمار (بما في ذلك فواكه حامضة). **الحمضيات هي المصدر الجيد لفيتامين C. الحقيقة أن ذلك ليس صحيحًا!** الكيوي هو الثمرة التي تحتوي على أعلى كمية فيتامين C، حيث يصل تركيزه إلى 380 ملغم في 100 غرام فاكهة، في الفلفل الأحمر 175 ملغم وفي البرتقال 45 ملغم.

يفرحنا أن نعلمكم أن أطفال إسرائيل يحتلون الأماكن الأولى في العالَم، في استهلاك الفواكه والخضروات.

د. مجموعة المواد الغذائية الغنية بالبروتينات

كما تعلّمنا في الفصل الثاني أن البروتينات تقوم في وظائف كثيرة ومتنوعة في جسم الإنسان وفي كائنات حية أخرى كثيرة. تزوِّدنا بروتينات الغذاء بحوامض أمينيه تُستعمل كمواد بناء أساسية للبروتينات ومواد خام لمواد أخرى.



في الهرم الغذائي الإسرائيلي (الرسمة و - 7)، معظم مصادر الغذاء الغنية بالبروتينات من الحيوان، مثل: الأسماك، الدجاج، الحبش، البقر، الحليب، الأجبان والبيض. ومن نباتات قليلة، بالأساس البقوليات، مثل: الفاصولياء، الصويا، الفول، الحمص، العدس والبازيلاء. البروتينات التي مصدرها من الحيوان، تزوِّدنا بالحوامض الأمينية الثمانية الضرورية، ولكي نحصل على جميع الحوامض الأمينية الثمانية الضرورية من النبات، يجب علينا أن نأكل موادًا غذائية نباتية متنوعة تشمل حبوبيات وبقوليات أيضًا.

في المأكولات النباتية التقليدية، يوجد دمج بين المأكولات التي تزوِّدنا معًا بالحوامض الأمينية الضرورية الثمانية، مثل: الحمص (بقوليات) مع الطحينة (حبوبيات)، الأرز (حبوبيات) مع الفاصولياء أو العدس (بقوليات) والفلافل (حمص - بقوليات) في الخبز (قمح - حبوبيات). توصي وزارة الصحة بالانتباه إلى مكوِّنات الغذاء التي ترافق البروتينات التي مصدرها من الحيوان، وهذا يعني أنها تحتوي على دهنيات تحتوي على **حوامض دهنية مشبعة**. لذا عندما نتناول بروتينات مصدرها من الحيوان، فإنّنا نوصي بتناول المواد الغذائية قليلة الدسم، مثل: الأسماك، الدجاج (دون الجلد)، الحبش (الغني **بالحديد** نسبيًا)، شرائح بقر قليلة الدسم ومُنْتَجات حليب تحتوي حتى 5% دهنيات. يوجد أهمية كبيرة لمُنْتَجات الحليب، لأنها تحتوي على مستوى عالٍ من **الكالسيوم** الضروري للحفاظ على كثافة العظام.

هـ. مجموعة المواد الغذائية الغنية بالدهنيات

الكلمة دهنيات في سياق الهرم الغذائي تشمل الدهنيات والكولسترول من الحيوان والزيوت من النبات. نستنتج من مكان هذه المواد في الهرم الغذائي أنه يجب أن لا نُكثر من المواد الغذائية التي تنتمي لهذه المجموعة. على الرغم من ذلك، عندما نقوم بحمية قليلة الطاقة (حمية للتنحيف)، فإننا نوصي تزويد الجسم بكمية دهنيات تساهم بنسبة 20% من استهلاك السعرات الحرارية اليومية، لكن ليس أكثر من 30% منها. من بين المواد الغذائية الموجودة في هذه المجموعة، نوصي بالأساس استهلاك مواد غذائية تحتوي على نسبة مئوية عالية من الحوامض الدهنية غير المشبعة التي مصدرها من النبات، مثل: الجوز، الطحينة، الأفوكادو، الزيتون، اللوز والفستق، وفقط كميات قليلة من المواد الغذائية التي تحتوي على نسبة مئوية عالية من الحوامض الدهنية المشبعة (التي مصدرها في حالات كثيرة من الحيوان)، مثل: الزبدة، الأجبان الدسمة وزبدة الكاكاو. كما تعرفون المواد الغذائية التي مصدرها من الحيوان تحتوي على كولسترول أيضًا. المواد الغنية بالكولسترول هي صفار البيض والأعضاء الداخلية، مثل: الكبد، الطحال والقلب. فكر المختصون في مجال التغذية أن مصدر الكولسترول هو التغذية، لذا أوصوا الأشخاص الذين يعانون من مستوى كولسترول عالٍ في الدم أن يقللوا من استهلاك مواد غذائية تحتوي على كولسترول. نعرف اليوم أن حوالي 70% من الكولسترول يُنْتَج في الكبد وفقط حوالي 30% مصدره من الغذاء. تخضع عمليتا إنتاج واستيعاب الكولسترول لرقابة مدمجة. وهذا يعني عندما نزوِّد الجسم بكولسترول مصدره من الغذاء، فإنَّ الكبد يقلل من إنتاج الكولسترول. وُجِدَ أن الامتناع عن الكولسترول بشكل مطلق، يضر ويؤدّي إلى ارتفاع إنتاج الكَولسترول بشكل ذاتي في الجسم. بودنا أن نذكر أن هناك عاملًا وراثيًا يؤثر على إنتاج الكولسترول في الجسم. التوصية المقبولة اليوم هي أن

نشمل كميات معينة من الكولسترول في غذائنا. لكن توصي منظمة الصحة العالمية على الامتناع بقدر الإمكان من تناول الطعام الذي يحتوي على دهون صلبة بشكل جزئي التي نسمِّيها ترانس والذي سنتعلم عنه في القطعة الآتية:

قليل من المعلومات...

الزبدة أم المرجرين؟

عندما اكتُشفت العلاقة بين خطر تصلب الشرايين وبين فائض الكولسترول في الدم (انظروا فيما بعد، صفحات 193 - 192)، فقد اُعتبر المرجرين بديلًا جيدًا للزبدة الغنية بالكولسترول. الزبدة هي مُنْتَج مصدره من الحيوان وقد تمَّ الحصول عليه، من خلال فصل الدهنيات عن الحليب. في 100 غرام زبدة، يوجد 82 غرام دهنيات، منها 49 غرام حوامض دهنية مشبعة. تحتوي الزبدة على كولسترول أيضًا. لكن للزبدة يوجد أفضليات، لأنها تحتوي على فيتامين A وَ β كاروتين بكميات كبيرة، كما أنها تحتوي على أملاح معدنية، مثل: الكالسيوم، المغنيسيوم، الخارصين، البوتاسيوم، الحديد والفوسفور. قبل حوالي 100 سنة، طُوِّر بديل للزبدة وهو المرجرين. إضافةً إلى كونها رخيصة، فقد اعتُبرت حتى سنوات الثمانينيات من القرن ال 20 أنها أكثر صحية، لأنها من مصدر نباتي لا يحتوي على الكولسترول. عند تحضير المرجرين، الزيت النباتي الذي هو عبارة عن سائل، يمر بعملية كيميائية تزيد من درجة إشباع الحوامض الدهنية، وهكذا يتحول الزيت السائل إلى صلب. في هذه العملية، تَنْتُج حوامض دهنية غير موجودة تقريبًا في غذاء ليس معالجًا والتي نسمِّيها **حوامض دهنية من نوع ترانس**. بيَّنت الأبحاث التي أجريت خلال ال 20 سنة الأخيرة أن حوامض دهنية من نوع ترانس تؤدي إلى أضرار وانسدادات في الأوعية الدموية أكثر من الحوامض الدهنية المشبعة والكولسترول. يعتقد الباحثون أن الحوامض الدهنية ترانس تؤدي إلى أضرار صحية إضافية،مثل: السرطان، السكري وحجارة في كيس المرارة. لذا يوصي مختصون في التغذية استعمال الزبدة وليس المرجرين، لكن يجب استهلاكها بكميات قليلة جدًا فقط، أو استعمال أنواع مرجرين فيها نسبة دهنيات ترانس قليلة.

المزيد عن دهنيات ترانس...

من المهم أن نعرف أن حوامض دهنية من نوع ترانس موجودة أيضًا في مُنْتَجات أخرى معالجة، مثل: البوركس، الكعك الصناعي، أنواع شوكولاطة معينة، بوظة وتسالي أُعدت من زيوت نباتية وقسم من النقارش المالحة. أحيانًا تظهر على رُزم المواد الغذائية الحوامض الدهنية من نوع ترانس تحت عنوان **"دهنيات صلبة بشكل جزئي"**. توصي منظمة الصحة العالمية بتقليص استهلاك الغذاء الذي يحتوي على حوامض دهنية ترانس.

و. مجموعة النقارش، الحلوى والمشروبات المحلاة

في رأس الهرم الغذائي (الرسمة و - 7)، نجد النقارش، الحلوى والمشروبات المحلاة. التوصية أن نقلل بِقَدَر الإمكان من استهلاك مواد غذائية من هذه المجموعة، لذا هذه المجموعة منفصلة عن جسم الهرم الغذائي وهي محاطة بخط أحمر. هذه المواد الغذائية ليست ضرورية لجسم الإنسان وهي غنية بالدهنيات (على الأغلب من نوع ترانس)، السكر والملح. هذه المجموعة تشتمل أيضًا على جميع النقارش المالحة ومُنْتَجات أخرى، مثل: السكر، العسل، المربى، الشوكولاطة، البفلة، البوظة، والمشروبات الخفيفة المُحلّاة بالسكر.
الاستهلاك الكبير لمُنْتَجات من هذه المجموعة، قد يؤدي إلى بدانة وإلى مشاكل ترافقها، بما في ذلك خطر الإصابة بسكري من نوع 2، مشاكل في الأسنان وإصابة الكبد.

من المؤسف أن نذكر أنه في الاستطلاع الذي أجرته منظمة الصحة العالمية، في سنوات الـ 2000، على شباب في 35 دولة، وُجِدَ أن إسرائيل تحتل المكان الأول في العالَم في استهلاك المشروبات المُحَلّاة وتحتل مرتبة عالية في استهلاك الحلويات. توصي وزارة الصحة، التقليل من استهلاك أملاح الصوديوم. معظمنا يستهلك كميات ملح أعلى من الكمية التي تحتاجها أجسامنا، وقد يؤدّي ذلك إلى ارتفاع ضغط الدم. معظم الملح الذي نحصل عليه في الطعام، يصلنا من عمليات معالجة وحفظ أو كبهارات نضيفها إلى الطعام بحسب مذاقنا. تحتوي المواد الغذائية الطازجة والخام على كمية قليلة من الملح.

قليل من المعلومات ...

وصفة غذائية (حمية) في دول بحر الأبيض المتوسط

تعتبر الوصفة الغذائية في دول بحر الأبيض المتوسط من أحد انماط التغذية الأكثر صحةً. هذه الوصفة الغذائية غنية بمكوِّنات نباتية، مثل: البقوليات، الفواكه والخضروات وفقيرة نسبيًا بمواد غذائية مصدرها من الحيوان. وهي تشتمل أيضًا على زيت الزيتون وعلى النبيذ الأحمر. وقد أُثبت التأثير الإيجابي لهذه الوصفة الغذائية على معدل الحياة وعلى منع أمراض القلب. لكي نطبق هذه التغذية الصحية، يجب أن نأكل في اليوم الواحد حوالي 900 غرام من الفواكه والخضروات، لكن معظمنا لا يأكل ذلك ....

سؤال و -11

أ. اكتبوا قائمة في جميع المواد الغذائية والمشروبات التي تتناولونها خلال يوم واحد بما في ذلك الكميات.

ب. ارسموا هرمًا غذائيًا فارغًا، ثم وزعوا المواد الغذائية التي تأكلونها على الدرجات المختلفة.

ج. عند حِساب المواد الغذائية اليومية، هل الكمية النسبية التي تأكلونها من أنواع المواد الغذائية في كل درجة، في الهرم الغذائي، مناسبة للعرض النسبي لكل درجة؟

د. ما هي التغييرات التي من الأفضل أن تنفَّذوها في تغذيتكم، لكي تصبح تغذيتكم موزونة؟

توسع

ماذا يختبئ بين الحروف الصغيرة في ماركة الغذاء؟

بحسب قانون وصف المُنْتَجات الغذائية منذ سنة 1994 في إسرائيل. كل مُنْتَج غذائي مرزوم، يجب أن يشمل على رزمتة ماركة تشكل بطاقة هوية المُنْتَج. من خلال هذه الماركة، يستطيع المستهلك المقارنة بين أنواع غذاء مختلفة.

ماذا يجب أن تشمل ماركة الغذاء؟

اسم المُنْتَج: مثلاً: حبوبيات الصباح.

وصف المُنْتَج: في المثال في الرسمة، فُتات قمح كامل (مغلف بالعسل) مع إضافة جوز ولوز.

القيمة الغذائية: معلومات مفصَّلة حول قيمة الطاقة للمُنْتَج (بالكيلوكالوري) وكميات المكوِّنات المختلفة، مثل: البروتينات، الكربوهيدرات، الدهنيات، الدهنيات المشبعة، الصوديوم وأحيانًا مكوِّنات إضافية، مثل: الكولسترول، الفيتامينات، الأملاح المعدنية وغير ذلك. تتطرق القيمة الغذائية على الأغلب إلى وزن 100 غرام مُنْتَج صلب أو 100 مليلتر مُنْتَج سائل. يجب الانتباه أحيانًا إلى أنه يتم عرض القيمة الغذائية نسبةً لكبر الوجبة المقبولة (مثلًا: 30 غرام من حبوبيات الصباح).

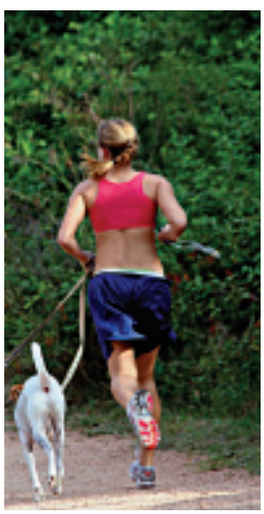
مكوِّنات الغذاء: قائمة تُفصل جميع مكوِّنات المُنْتَج بحسب ترتيب تنازلي للمحتويات (من المكوِّن الذي كميته في المُنْتَج عالية إلى المكوِّن الذي كميته في المُنْتَج منخفضة).

مثال: إذا اشتريتم عصير برتقال طبيعي، انتبهوا إلى المكوِّن الأول في قائمة المكوِّنات، إذا كان ماء وبعد ذلك سكر، فإنَّ العصير ليس طبيعيًا. في العصير الطبيعي، المكوِّن الأول في القائمة هو: عصير برتقال طبيعي. مثال آخر: إذا ظهر على ماركة "كفتة بقر" أولًا "بروتين من النبات" وبعد ذلك "لحمة بقر"، فيجب أن تعرفوا أن كفتة البقرة التي في الرزمة تحتوي على بروتينات نباتية أكثر من لحمة البقر.
يجب على المُنْتِج أن يُسجِّل جميع المكوِّنات في قائمة المكوِّنات الغذائية، بما في ذلك الموجودة بكميات ضئيلة جدًا في المُنْتَج.
المكونات المشار إليها بالحرف **E** وإلى جانبها عدد، هي مواد تُضاف إلى الغذاء، مثل: مواد الطعم، مواد حافظة وأصباغ.

أحيانًا تظهر على الرزمة عبارات مختلفة، مثل: "قليل السكر"، "لايت -خفيف"، "دايت - رجيم"، "خالي" وما شابه. **ما معنى هذه العبارات؟** فيما يلي قائمة قصيرة تساعد على فهم معنى هذه العبارات:

- دايت/ قليل كلوري — يحتوي على 40 كيلوكلوري في 100 غم/ملل (إذا كان المشروب ليس من مُنْتَجات الحليب، يجب أن يكون حتى 20 كيلوكلوري).
- لايت/ قليل/ خفيف — قيمة الكلوري أقل بـ 1/3 من قيمة الكلوري في المُنْتَج العادي المقابل.
- قليل الدهنيات — حتى 2 غرام دهنيات في 100 ملل.
- قليل الكولسترول — حتى 30 ملغم كولسترول في 100 غرام.
- قليل الصويوم/ الملح — حتى 100ملغم صوديوم في 100غرام.
- دون صوديوم — حتى 5 ملغم صوديوم في 100غرام.
- دون سكر — لا يوجد سكر في المُنْتَج.
- دون إضافة سكر — لكن مكوِّناته الطبيعية قد تحتوي على سكر.
- 0% دهنيات — لا يوجد دهنيات في المُنْتَج.
- "خالي " — أُخرج المكون أثناء عملية الإنتاج، لكن قد تبقى فيه كمية معينة.
- "بطعم..." — يحتوي المُنْتَج على مستخلص مادة طعم وليس بالضرورة المكوِّن ذاته ("بطعم الشوكولاطة").

انتبهوا! عندما يُسجَّل **دون سكر**، فهذا لا يعني أن المُنْتَج قليل الدهنيات أيضًا وبالعكس: المُنْتَج المسجَّل عليه 0% دهنيات، قد يحتوي على كمية سكر عالية.



و3.3 مساهمة النشاط الجسماني لحياة صحية

تظهر توصيات وزارة الصحة الإسرائيلية لنمط حياة صحي في الهرم الغذائي في الرسمة و - 7، وهي تشمل توصيات للتغذية الحكمية، وأيضًا توصيات لممارسة **نشاط جسماني** منتظم. المقصود ليس بذل جهد جسماني، بل القصد هو الحركة في حياتنا اليومية، مثل: السير على الأقدام وصعود الدرج بدل استعمال المصعد والسفر بالسيارة. ومن الأفضل إضافة نشاطات، مثل: ركوب الدراجة الهوائية، السباحة، الركض وما شابه. يساهم النشاط الجسماني في الحفاظ على موازنة الطاقة، يحسِّن اللياقة البدنية، يحسِّن مرونة المفاصل، العضلات والأوتار، يصبح أداء القلب والرئتين أفضل، ينخفض ضغط الدم ويحسِّن تدفق الدم إلى كل أعضاء الجسم مما يزيد من تزويد الخلايا بالأكسجين. يؤثر النشاط الجسماني على "الحالة النفسية" أيضًا، من خلال ازدياد إفراز الموصل العصبي (سروتينين) الذي توجد له وظيفة مركزية في الإحساسات المتعلقة بالحالة النفسية.

سؤال و - 12:

في أحد معاهد اللياقة البدنية، يتمرن شباب وشابات. وقد أُعطيت لهم توصيات تغذية، من بينها التوصية الآتية أيضًا: "قبل التدريب بعدة ساعات، يجب تناول وجبة غذائية غنية بالبروتينات. وبعد التدريب، نوصي بالأساس تناول وجبة غذائية مكوَّنة من بروتينات". هل هذه صحيح؟

ابحثوا عن معلومات في شبكة الإنترنيت وأجيبوا عن الأسئلة الآتية:

أ. ما هي الوجبة الموصى بتناولها قبل التدريب؟

ب. هل من الأفضل تناول طعام أثناء التدريب؟

ج. من أي مواد غذائية يجب أن تكون مكوَّنة الوجبة الغذائية بعد التدريب؟

نفكر عادةً أن ...

النشاط الجسماني، يجب أن يكون فيه جهد جسماني، متواصل على الأقل لمدة 45 دقيقة، الحقيقة أن **ذلك غير دقيق! تُشير الأبحاث إلى أن النشاط الجسماني الذي فيه بذل جهد جسماني متوسط، أو مقسم من فترتين إلى** ثلاث فترات زمنية، كل منها 15 دقيقة، يؤدي هذا النشاط إلى فائدة صحية أيضًا. عند إجراء النشاط الجسماني، من المهم تحريك عدد كبير من عضلات الجسم.

صراع ذهني

هل الغذاء العضوي صحي أكثر؟

عرضنا في الفصل الثالث عدة فروق أساسية بين الزراعة الحديثة "العادية" وبين الزراعة العضوية. من المقبول أنْ نُعرِّف الغذاء الذي نُميّ في الزرعة العضوية على أنه "غذاء عضوي". (انتبهوا: يجب أن لا نتلخبط بين هذا المصطلح وبين المصطلح "مواد عضوية". الغذاء العضوي ينمو مثل الغذاء الذي ينمو في زراعة "عادية" وهو يحتوي بالطبع على جميع مكوِّنات الغذاء). في سنة 2009، نُشر بحث كبير في بريطانيا وقد أثار ضجّة بين الجمهور. في هذا البحث، تمَّ استطلاع نتائج عشرات الأبحاث التي عُرفت كأبحاث ذات مصداقية، وقد فَحصت هذه الأبحاث محتوى مواد مختلفة، مثل: النيتروجين، الفوسفور وغير ذلك في غذاء نُميّ بطريقة عضوية بالمقارنة مع غذاء نُميّ بطريقة عادية. استنتج الباحثون أنه لا يوجد فرق بين الطريقتين وخاصة في القيمة الغذائية للأغذية التي نُميت بالطريقتين المختلفتين. وقد كان استنتاجهم أنه لا يوجد سببًا لاختيار غذاء عضوي على أساس **القيمة الغذائية** المفضلة له. أثارت هذه الأبحاث انتقادات كثيرة عند مؤيدي التغذية العضوية الذين ادعوا أن هذا البحث لم يستطلع أبحاث أخرى فحصت محتوى مضادات التأكسد في الغذاء العضوي بالمقارنة مع محتواها في الغذاء "العادي". وبحسب ادعاءاتهم أن هناك أبحاث تشير إلى أن الغذاء العضوي غني بمضادات تأكسد بحوالي 25% أكثر من غذاء غير عضوي. وكان لهم إدعاء آخر، أن هذه الأبحاث لم تتطرق إلى فحص بقايا مواد كيميائية تُستعمل لمكافحة الآفات الزراعية في الزراعة العادية والتي تضر المستهلكين. استمر النقاش، وعلى ما يبدو أن هناك حاجة إلى أبحاث أخرى حيادية، لكي تحسم الأمر.

سؤال و - 13:

ابحثوا عن معلومات في شبكة الإنترنيت حول الغذاء العضوي.

أ. ما هي مميزات الغذاء العضوي؟

ب. اعرضوا، على الأقل، 3 تعليلات للداعمين لاستهلاك غذاء عضوي، وعلى الأقل 3 تعليلات للذين يمتنعون عن استهلاكه.

ج. ما هو القصد "بأبحاث حيادية"؟

سؤال و - 14:

أمامكم جدول و - 4، وهو يعرض قيم غذائية لطحين من قمح كامل (طحين كامل) ولطحين من قمح مرَّ بعملية معالجة (قمح أبيض).

جدول و - 4: قيم غذائية لطحين من قمح كامل ولطحين من قمح مرَّ بعملية معالجة

القيمة الغذائية	طحين من قمح كامل (100غرام قمح كامل)	طحين من قمح مرَّ معالجة (100 غرام قمح أبيض)
سعرات حرارية (كيلو كلوري)	313	342
كربوهيدرات (غرام) من ضمنها ألياف غذائية (غرام)	72.6 12.2	72.5 2.4
بروتين (غرام)	13.7	12
دهنيات (عام) (غرام) منها حوامض دهنية مشبعة (غرام)	1.8 0.32	1.5 0.24
كالسيوم (ملغم)	34	15
فوسفور (ملغم)	346	97
بوتاسيوم (ملغم)	138	25
حديد (ملغم)	3.88	2.4
β كاروتين (ميكروغرام)	5	1
فيتامين B_1 (تيامين) (ملغم)	0.44	0.11

أ. أي مكوِّنات من بين المكوِّنات المفصَّلة تساهم في قيمة الكلوري للطحين؟

ب. ما هو سبب الفرق البارز في محتوى الألياف الغذائية بين الطحين الكامل وبين الطحين المعالج؟

ج. اذكروا 3 وظائف مهمة للألياف في جسم الإنسان.

د. على أرغفة خبز خُبزت من نوعيِ الطحين أعلاه، سُجِّل "أحيانًا دون كولسترول". هل هذا التسجيل صحيح؟ علِّلوا.

هـ. لماذا محتوى الحوامض الدهنية المُشبَّعة في الطحين الكامل أكبر من الطحين الأبيض؟

و. في الأماكن التي فيها شتاء قاسٍ وطويل، انتقل السكان إلى استعمال طحين أبيض (يُخزّن مدة زمنية أطول) بدل طحين كامل. ما هو الخطر من هذا التغيير؟

ز. يحتوي الطحين المصنوع من قمح كامل على كمية β كاروتين أكبر 5 أضعاف من طحين مصنوع من قمح مرَّ بعملية معالجة؟ اذكروا 3 مصادر إضافية للكاروتين (استعينوا بالملحق).

ز. اشرحوا توصية وزارة الصحة، لماذا يجب تفضيل مُنْتَجات مصنوعة من طحين كامل؟ اعتمدوا على معطيات الجدول واذكروا، على الأقل، 3 عوامل.

سؤال و - 15:

مكوِّنات الغذاء المختلفة مهمة لجسم الإنسان لتزويده بالطاقة، لبناء أنسجة ولحدوث عمليات الحياة. ابنوا جدولًا يشمل مكوِّنات الغذاء المختلفة (بما في ذلك أملاح معدنية، فيتامينات وماء)، ثم اذكروا لكل واحد منها لأي الوظائف، التي فُصلت، يُستخدم؟

سؤال و - 16:

نفكر عادةً أن الغذاء السريع (الذي نسمِّيه **Junk Food** أيضًا)، لا توجد له فائدة وهو ضار للصحة. ابحثوا عن معلومات في شبكة الإنترنيت، بما في ذلك مواقع شركات الغذاء السريع، ثم اعرضوا تبريرًا يدعم الموقف الذي ذُكر في بداية السؤال وتبريرًا لا يدعمه. استعملوا مثالين لكل موقف.

سؤال و - 17:

تعرض الرسمة و - 11 القيمة الغذائية لنوعين من البُشار.
أي نوع تُفضلون؟ اذكروا 4 تعليلات على الأقل.

الرسمة و - 11: ماركة القيمة الغذائية لكل نوع بُشار.

سؤال و - 18:

أُجري فحص روتيني لسمير الذي لا يأكل مُنْتَجات من الحيوانات بتاتًا (كما أنه لا يأكل مُنْتَجات الحليب، البيض أو الأسماك). وقد وُجِدَت في دمه قيمة عالية للكولسترول (أكثر من 300 ملغم في كل 100 سنتمتر مكعب دم). في معظم الحالات التي يكون فيها تركيز الكولسترول في الدم عالٍ، فإنَّ الأطباء يوصون على تغيير التغذية. في حالة سمير، أوصت الطبيبة على استخدام دواء يثبط (يعيق) الإنزيم الفعَّال الذي يشترك في بناء الكولسترول في الكبد. اشرحوا توصية الطبيبة.

و4. مشاكل التغذية في العالَم - الوفرة مقابل النقص

ضحايا التغذية غير الموزونة في العالَم أكثر من كل مرض. بحسب تقرير منظمة الصحة العالمية من سنة 2009، اتضح أن ثُلث سكان العالَم (وأكثر من ذلك بقليل) يتغذى جيدًا، ثُلث سكان العالَم يعاني من سوء تغذية والثلث الأخير يعاني من خطر الموت بسبب الجوع.

في هذا البند سوف نتوقف على العلاقة بين تغذية غير موزونة وبين أمراض متعلقة بها.

و1.4 سوء تغذية وجوع

ما هو سوء التغذية؟

هيا بنا نتعرف على آنا التي يبلغ عمرها ست سنوات. تعيش آنا مع أخوها، اختها ووالديها في إحدى ضواحي نيروبي في كينيا. تعيش عائلة آنا تحت خط الفقر. والدا آنا لا يعملان بشكل دائم ومعدل دخلهم السنوي حوالي 241 دولار. هذا الدخل لا يكفي لاحتياجاتهم الأساسية. على الرغم من وجود غذاء متنوع في الأسواق، إلا أن آنا تأكل، مرة واحدة في اليوم، عصيدة طحين ذرة (إنْ وُجِدَت) وأحيانًا خضروات وفواكه. لا تأكل تقريبًا لحوم، بيض ومُنْتَجات الحليب. قيمة الـ **BMI** عند آنا أقل من القيمة السليمة. إضافةً إلى النقص العام بالسعرات الحرارية (الكلوري)، فإنها تعاني أيضًا من نقص في مكوِّنات الغذاء وبالأساس من نقص في فيتامين **A**، حديد ويود (تعلَّمتم في الفصل الثاني عن هذه المكوِّنات للغذاء وعن أهميتها). نتيجةً للنقص، تعاني آنا من الشعور بالجوع الدائم، من التعب، من الضعف، من تباطؤ في النمو، من أمراض تلوث بتكرارية عالية، من ضعف بالدم، من مشاكل في الرؤية وغير ذلك.

سوء التغذية هو مصطلح عام يصف الوضع الصحي الذي يحدث نتيجةً لتغذية لا تزوِّد الجسم بجميع المكونات المطلوبة، أو تزوِّده لكن بكميات غير كافية لأدائه السليم. وقد تؤدي، أيضًا، مشاكل في الهضم والامتصاص إلى سوء تغذية.

للمزيد عن

أمراض بسبب النقص:
انظروا جداول الفيتامينات والأملاح المعدنية في الصفحات 200-203

الجوع هو وضع ينبع من نقص مستمر في الغذاء، حيث يحدث ذلك عندما لا تكفي كمية الغذاء بشكل عام والبروتينات بشكل خاص أن تزوِّد الطاقة المطلوبة والمكوِّنات الضرورية. في المناطق التي يعاني فيها الناس من جوع مستمر (العالَم الثالث)، يوجد بالطبع أيضًا ظواهر سوء تغذية.

عندما يكون نقص متطرف في الغذاء، فإنَّ الخلايا تستغل كل مصدر طاقة ممكن. إذا لم تتوفر كربوهيدرات ودهنيات، فإنَّ الإنزيمات في الخلايا تبدأ بتحليل البروتينات.

تحدث النحافة المعروفة لنا من صور الأطفال وكبار السن في مناطق منكوبة بالجوع من تناقص أنسجة الدهنيات في أجسامهم ومن تحلُّل البروتينات التي تبني خلايا العضلات وخلايا العظام. كما ذكرنا في الفصل الثاني، ينتفخ البطن عند هؤلاء الأطفال في هذه المناطق، بسبب النقص المستمر في بروتينات الدم الذي يؤدي إلى تراكم سوائل في فراغ البطن.

يؤدي النقص المستمر في الغذاء إلى ضعف، فقدان الحيوية وإلحاق الأضرار في جهاز المناعة الذي يؤدي في حالات كثيرة إلى أمراض تلوثية. وقد ينتهي هذا الوضع بالموت.

حقائق صعبة حول سوء التغذية في عالَم المجاعة:

- يموت في كل يوم 18,000 طفل بسبب المجاعة.
- في كل سنة، يموت في العالَم حوالي 6 ملايين طفل تبلغ أعمارهم أقل من 5 سنوات بسبب مشاكل متعلقة بسوء التغذية والجوع.
- 1 من بين 6 أطفال يولدون في العالَم الثالث بوزن ولادة منخفض بسبب سوء تغذية عند الأم أثناء الحمل. وزن ولادة منخفض هو عامل خطير يؤدي إلى الموت حتى سن سنة، صحة فيها خلل، فقدان البصر، مشاكل في التطور ومشاكل في التعلُّم.
- يعاني 1 من كل 4 أطفال في العالَم من سوء تغذية وجوع: 70% منهم في آسيا، ، 26% منهم في إفريقيا وَ 4% في أميركا اللاتينية وفي جزر الكريبيي.
- 57% من مجمل الوفيات في إفريقيا من مرض الملاريا بسبب سوء التغذية التي تؤدي إلى إضعاف جهاز المناعة.

في دول معينة في العالَم، يهدد السكان خطر الجوع الشعبي. هذا النقص في الغذاء عند عدد كبير من السكان، قد يؤدي إلى الموت من الجوع، أو نتيجةً لأوباء تنتشر بسرعة بسب انخفاض أداء جهاز المناعة. يمكن أن يحدث الجوع الشعبي بسبب كوارث طبيعية، مثل: القحط أو الجراد، أو بسبب الحروب. إضافةً إلى سوء التغذية الذي ينبع من النقص في الطاقة، فإنَّ مجموعات سكانية كثيرة في العالَم تعاني من نقص مستمر في الفيتامينات والأملاح المعدنية نتيجةً لتغذية فقيرة في الفواكه والخضروات على سبيل المثال. نلاحظ في حالات كثيرة أن سوء التغذية، الجوع والنقص في الفيتامينات والأملاح المعدنية تكون مترابطة ببعضها.

توسع

هل يوجد غذاء كافٍ في العالَم؟

في القرن التاسع عشر، توقع توماس مالتوس (**Thomas Malthus**) (رجل اقتصاد وتضاريس انجليزي) حدوث "مصيبة في التغذية" في القرن العشرين. وذلك في أعقاب، نقص في التوازن بين ازدياد تعداد سكان العالَم وبين التطور البطيء في وسائل الإنتاج التي تزوِّدنا في الغذاء.

بعد مرور سنوات كثيرة، في سنة 1968، في أعقاب موت آلاف الناس من الجوع في الهند، فقد توقع عالِم الأحياء فول اريليخ (**Paul Ehrlich** 1854—1915) في كتابه "قنبلة تعداد السكان" أنه خلال عدة سنَوات، يؤدي ازدياد تعداد سكان العالَم إلى القضاء على الموارد المحدودة وإلى موت ملايين الناس في العالَم بسبب الجوع.

لقد أخطأ اثناهما، لأن مالتوس لم ينجح في تنبؤ التطور العلمي التكنولوجي الذي بدأ في القرن ال 20 وأدى إلى "الثورة الخضراء" التي أدت إلى ارتفاع قدرة الإنتاج الزراعي.

ولم ينجح ارليخ في تنبؤ انتشار هذه الثورة إلى قسم من الدول النامية وخاصةً إلى الهند.

اليوم، معظم مشاكل سوء التغذية والجوع الشعبي، لا ينبع من نقص قدرة المجتمع الإنساني أن يُنْتِج كميات الغذاء المطلوبة، بل من مشاكل اجتماعية وسياسية في أعقابها لا يصل الغذاء إلى المحتاجين لَه. يعيش معظم الذين يعانون من سوء التغذية ومن الخطر بالجوع في إفريقيا وفي جنوب آسيا.

علاقة بموضوع

علم البيئة:
الثورة الخضراء.

من المقبول أن نربط سوء التغذية بالجوع والنقص، لكن من المهم أن تعرفوا أيضًا أنه عندما يكون غذاء بوفرة، قد تكون حالات فيها سوء تغذية.

حالة أخرى لسوء التغذية: سناء عمرها 25 سنة وهي تعمل في شركة للتكنولوجيا العليا، وقد اشتكت من تعبٍ وضعف. عملت سناء ساعات كثيرة وقد كانت في ضغط عمل كبير جدًا لمدة أشهرة عديدة، وقد تغذّت في هذه الفترة على غذاء سريع فقط (مثل: البيتسا والفلافل)، حلوى ونقارش مالحة. لم يشتمل غذائها على خضروات وفواكه تقريبًا. أدت هذه التغذية إلى ارتفاع قليل بالوزن، لكن تبيَّن في فحوصات الدم أنها تعاني من ضعف دم (آنيميا) ومن نقص في الفيتامينات (بالأساس فيتامين **C** وفيتامينات من مجموعة **B**) وحديد، وقد عُرِّف وضعها كسوء تغذية.

تَحْدُث حالات سوء تغذية في العالَم الغربي "الشبعان" عندما لا نستهلك جميع مكوِّنات الغذاء الضرورية بكميات كافية. في حالات كثيرة يكون النقص في مكون غذائي واحد، وقد يؤثر هذا النقص على أداء الجسم بشكل حرج. من بين هذه الحالات، نعرف عن أمراض نقص في فيتامينات أو أملاح معدنية معينة. التغذية التي تعتمد على غذاء سريع ونقارش وعلى استهلاك قليل من الفواكه والخضروات، قد تؤدي إلى أمراض نقص مختلفة (انظروا جدول الفيتامينات في الملحق). في هذا السياق، من المهم أن نتذكر الأطفال الذين تضرر تطورهم في أعقاب نقص في فتامين B_1 ، لأن هؤلاء الأطفال تغذوا فقط على غذاء نباتي بديل للحليب (صفحة 33). أحيانًا يظهر سوء تغذية في مجتمع فيه وفرة غذائية بسببٍ معتقدات متعلقة بالتغذية، وقد تؤدي هذه المعتقدات إلى الامتناع عن استهلاك مواد غذائية مختلفة. مثلًا: يمتنع النباتيون والطبيعيون، كما هو معروف، عن مواد غذائية مصدرها من الحيوانات، لذا فهم معرضون لنقص في فيتامينات من مجموعة **B**، فيتامين **D** وأملاح معدنية، مثل: الحديد، الكالسيوم والخارصين، وفي حالات معينة معرضون إلى نقص بحوامض أمينية ضرورية. يمكن أن نمنع هذه المشاكل من خلال التوعية لنقص مكونات غذائية في الغذاء النباتي. يجب التركيز على تناول مواد غذائية تلبي جميع الاحتياجات الغذائية للجسم، من خلال تنويع مصادر البروتينات واختيار مواد غذائية غنية بمكوِّنات غذائية ضرورية. يوجد حالات لسوء تغذية يكون النقص في مكوِّن غذاء معين غير نابع من نقصه في الغذاء، بل بسبب خلل في امتصاص المكوِّن الغذائي من الأمعاء إلى الدم أو من الدم إلى الخلايا. في هذا السياق، من المهم أن نذكر أن الاستهلاك الزائد للمشروبات الغازية الخفيفة، الغنية في الفوسفور، يؤدي إلى خلل في التوازن بين تركيز الفوسفور والكالسيوم في الدم. يمكن الحصول على توازن من جديد، من خلال تحليل نسيج العظام وإطلاق كالسيوم إلى الدم، لكن تؤدي هذه الظاهرة إلى تناقص العظام (اوستوبوروزيس - هشاشة العظام).

سؤال و -19:

لخصوا أوجه الشبه والاختلاف بين سوء التغذية في عالَم المجاعة وبين سوء التغذية في العالَم الغربي.

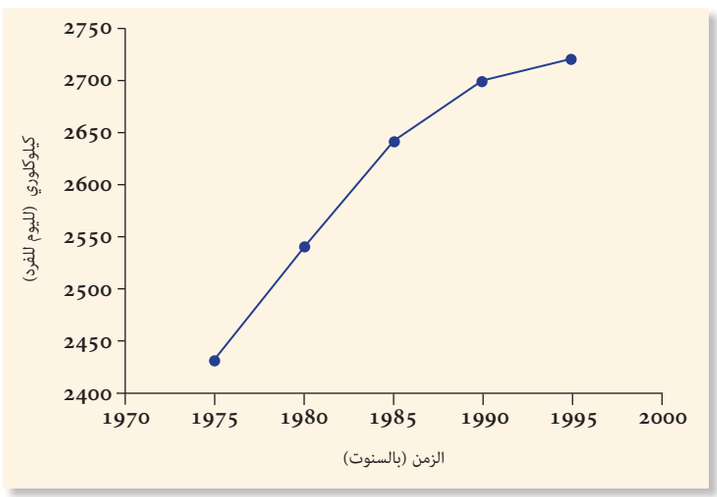
و2.4 البدانة — وباء القرن الـ 21

في فيلم **"Super Size Me"**، وَثّقَ المخرج مورجان سبرلوق (**Morgan Spurlock**) ما يحدث لشخص قرر أن يأكل خلال شهر كامل غذاء سريع فقط. يصف الفيلم، كيف تدهورت صحته في أعقاب تغذية اعتمدت على مُنْتَجات شركة تغذية سريعة، حيث شملت همبورغر، بطاطا وكولا. رافق التجربة 3 أطباء ومختصة في التغذية، وقد تنبئوا لسبرلوق أضرارًا صحيه خفيفة. النتائج الصعبة للتجربة فاجئتهم بشكل كبير: اتضح خلال الشهر أن وزنه ارتفع حوالي 21 كغم (!)، وارتفع مستوى الكولسترول في دمه بشكل ملحوظ، أصيب كبده وقد طوَّر ظواهر إدمان ومعاناة من آلام في الرأس، من تقيوء ومن ضعف جنسي.

يواجه السكان في عالَم المجاعة النقص المستمر في الغذاء والوفيات النابعة من سوء التغذية، أما في العالم الغربي، يواجه السكان مشاكل البدانة والموت من أمراض نابعة من نمط حياة يتميز بتغذية فيها فائض في السعرات الحرارية ونقص في المكوِّنات الضرورية ونقص في النشاط الجسماني.
نمط الحياة المكثف الذي يميِّز العالَم الغربي، يشجع على استعمال غذاء معالج يشكل حلًا غذائيًا سريعًا ومتوافرًا. الوجبة الغذائية السريعة "المسيطرة" هي طبقتين من الهمبورغر، بطاطا مقلية كثيرة ومليئة بالزيت وكأس كبير من الكولا، تُستهلك هذه الوجبة الغذائية في بنكوك، موسكو، بيجين، طوكيو وباريس. بحسب رأي علماء كثيرون، البدانة الزائدة هي ناتج مرافق للعولمة (المسمَّى أيضًا "استعمار - الكوكا) التي أنتجت بُنْية تحتية عالمية لثقافة الغذاء السريع.

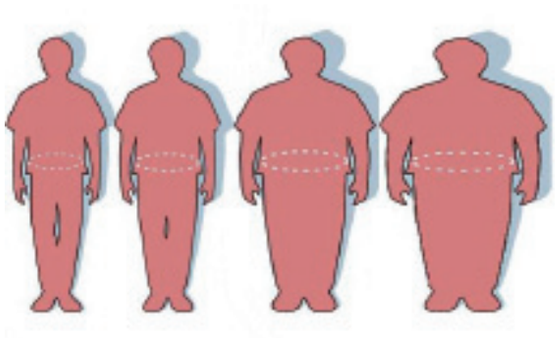
سؤال و - 20:

تعرض الرسمة و - 12 التغيُّرات في معدل الاستهلاك اليومي للفرد، للطاقة في الغذاء،في العالَم طيلة سنوات عديدة.
كيف يبدو، بحسب رأيكم، الرسم البياني، لو أضفنا منحنيين: الأول يصف استهلاك معدل الطاقة للفرد الواحد في أوروبا أو الولايات المتحدة، والثاني يصف استهلاك معدل الطاقة للفرد الواحد في أفريقيا؟



الرسمة و - 12: معدل عالمي لاستهلاك الطاقة في الغذاء للفرد لليوم طيلة السنوات.

إحدى نتائج نمط الحياة الحديثة هي الازدياد المستمر بالنسبة المئوية لكبار السن والأطفال الذين يعانون من وزن زائد بدرجات مختلفة. تضاعفت النسبة المئوية للأشخاص الذين يعانون من وزن زائد منذ سنة 1980 حتى منتصف السنوات العشرة الأولى من القرن الـ 21. بحسب منظمة الصحة العالمية، حوَّلت هذه المعطيات البدانة إلى وباء.



ما هي البدانة؟

البدانة هي إضافة وزن أعلى من المجال المناسب للجنس، العمر ومبنى الجسم، وهي تنبع من تخزين دهنيات في الجسم. تحدث البدانة بسبب استهلاك زائد للغذاء وبسبب موازنة طاقة موجبة طيلة وقت معين. على الرغم من ذلك، من المهم أن نذكر أن تخزين الدهنيات هو طبيعي وضروري، إذا كان غير مبالغ فيه. في فترات سابقة في عملية النشوء والارتقاء، لم تتوفر المواد الغذائية بشكل منظم ومتواصل كل الوقت لكائنات الحية، لذا ساعدت قدرة تخزين الطاقة في الأنسجة الدهنية على بقاء هذه الكائنات الحية. أما اليوم في المجتمع الغربي، الغذاء متوافر في كل مكان وفي كل لحظة والنشاط الجسماني ليس ضروريًا للبقاء، فإن تخزين الدهنيات يشكل مشكلة وليس أفضلية.

وأيضًا مكوِّنات الغذاء التي ليست ليبيدات، يمكن أن تخزَّن كدهنيات. عندما يكون فائض غذاء في الجسم، فإنَّ فائض الجلوكوز الذي لا يُستهلك مباشرةً في الخلايا، يخزَّن كجليكوجين في خلايا الكبد والعضلات. بما أن قدرة تخزين الجليكوجين محدودة (حتى حوالي 500 غرام)، فإنَّ فائض نواتج تحليل الغذاء، مثل: الجلوكوز والحوامض الأمينية، يتحول في الكبد بوساطة الإنسولين إلى حوامض دهنية، وفي مرحلة متأخرة إلى تريجلتسيريدات تُخزن في خلايا دهنيات في أنسجة الجسم المختلفة.

مدى البدانة متعلق بعوامل كثيرة، قسم منها وراثية وفسيولوجية وهي لا تخضع لسيطرتنا، مثل: الجنس، ووتيرة العمليات الأيضية الأساسية، وقسم منها سلوكية - بيئية تخضع لسيطرتنا، مثل: مستوى النشاط الجسماني وعادات تناول الطعام.
إضافة إلى فائض السعرات الحرارية في الغذاء، قد يساهم في البدانة نمط حياة لا يُلزمنا في نشاط جسماني كبير، وثقافة الترفيه التي نستغلها في حالات كثيرة أمام مشاهدة التلفاز أو استخدام الحاسوب.

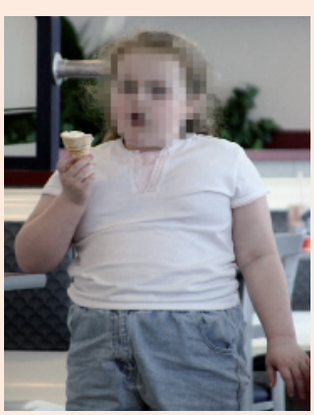
قليل من المعلومات ...

قليل من الأعداد عن البدانة

في العالَم كله، يوجد أكثر من مليارد نسمة من كبار السن الذين يعانون من وزن زائد (**BMI** أكبر من 25)، حوالي 300 مليون منهم يعانون من وزن زائد متطرف (**BMI** أكبر من 30).

جدول و- 5: النسبة المئوية لكبار السن الذين يعانون من وزن زائد متطرف (**BMI** أكبر من 30) في دول مختلفة في العالَم*

الدولة	النسبة المئوية لذو BMI أكبر من 30	الدولة	النسبة المئوية لذو BMI أكبر من 30
أميركا	33.3	تركيا	15.2
المكسيك	30.0	إسرائيل	13.6
انكلترا	24.5	المانيا	13.6
استراليا	21.7	إيطاليا	9.9
اليونان	18.1	سويسرا	8.1
هنغاريا	18.8	كوريا	3.8
كندا	15.9	اليابان	3.4



* بحسب تقرير منظمة التعاون والتطور الاقتصادي (OECD) في نهاية السنوات العشرة الأولى من القرن الـ 21.

يوجد قلق خاص من ارتفاع نسبة الأطفال الذين يعانون من وزن زائد. تشير معطيات منظمة الصحة العالمية أنه في سنة 2008، كان في العالَم أكثر من 22 مليون طفل يعانون من وزن زائد. كما تشير الأبحاث أن هناك خطرًا كبيرًا أن يبقى هؤلاء الأطفال سمنيون بسن كبير أيضًا. من الجدير بالمعرفة أنه في الصين التي لم يكن فيها الوزن الزائد شائعًا، ترتفع بسرعة تكرارية الأطفال (7 - 18) الذين يعانون من وزن زائد. ارتفعت تكرارية الوزن الزائد بين السنوات 1985 إلى 2000 بمقدار 28 ضعفًا! وفي إسرائيل أيضًا، يُثير وضع البدانة عند الأطفال قلقًا. يقدر مختصون أن حوالي 15% - 20% من الأطفال حتى سن 18 سنة يعانون من وزن زائد متطرف.

و3.4 الأخطار الكامنة في الوزن الزائد

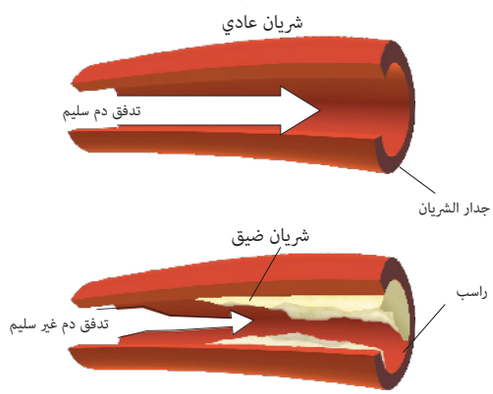
الوزن الزائد له انعكاسات صحية واجتماعية أيضًا. تؤدي الانعكاسات الصحية للسمنة إلى انخفاض جودة الحياة وإلى الموت المبكر. يشكل الوزن الزائد والبدانة عاملًا خطرًا للإصابة بأمراض مزمنة، مثل: السكري من نوع 2، أمراض القلب والأوعية الدموية، ضغط دم عالٍ وجلطة في المخ، وأيضًا أنواع معينة من السرطان (مثل: الثدي، الأمعاء الغليظة، البروستاتة وغير ذلك).

بودّنا أن نشير إلى أن قسمًا من المشاكل التي تنبع من البدانة هي عكسية ويمكن حلها بمساعدة تقليل الوزن والانتقال إلى نمط حياة صحي.

أمراض أوعية الدم والقلب

علاقة بموضوع
بيولوجيا الإنسان:
جهاز النقل.

أمراض الأوعية الدموية والقلب هي مشكلة صحية خطيرة في جميع أنحاء العالَم، بالأساس في دول الغرب المتطورة. تؤدي هذه المشاكل في إسرائيل إلى 30% من الوفيات العامة (للمقارنة، تؤدي حوادث الطرق إلى 1.5% من الوفيات العامة). المسبب الأساسي لمعظم أمراض الأوعية الدموية والقلب هو **تصلب الشرايين**. في تصلب الشرايين، تَنْتُج ترسبات دهنية على الجدار الداخلي للشرايين، ونتيجة لذلك يصغر قُطر الشرايين وتصغر معه أيضًا كمية الدم التي يزوِّدها للعضو (انظروا الرسمة و - 13). وُجِدَ أن مستوى عال من الكولسترول وكمية كبيرة من الحوامض الدهنية المشبعة، قد يؤدي إلى إنتاج ترسبات على جدار الشرايين. يمكن أن يحدث تصلب الشرايين في كل شريان في الجسم.



الرسمة و - 13: تدفق الدم في شريان عادي وفي شريان ضيق في أعقاب تكوين رواسب.

في أعقاب الرواسب، تفقد الشرايين من مرونتها، وهي لا تستطيع أن تتوسع كما يجب كرد فعل لتدفق الدم من القلب. في أعقاب ذلك، يتضرر تزود الدم إلى الخلايا، ويتضرر الأداء السليم في الجسم كله. تصلب الشرايين هو أحد أسباب حدوث ضغط الدم الزائد.

تصلب الشرايين ليس عملية طبيعية، كما يعتقد كثيرون، وهي ليست جزءًا من عملية الهرم في السن. مجموعات سكانية في العالَم، لا تصاب بهذا المرض إذا لم تتبنى نهج حياة غربي.

أُجريت أبحاث واسعة طيلة سنوات كثيرة، وقد وجدوا مسببات أمراض الأوعية الدموية والقلب: مستوى كولسترول عالٍ في الدم، ضغط دم عالٍ، مستوى عالٍ في الحوامض الدهنية المشبعة، مستوى عالٍ في الهوموتسيستئين (نوع من أنواع الحوامض الأمينية)، التدخين والسكري. وقد وُجِدَت مسببات أمراض ثانوية، مثل: نقص دائم في النشاط الجسماني ومميزات شخصية معينة.

من المهم أن نذكر أنه من سنوات التسعينيات للقرن الـ 20، يوجد انخفاض بنسبة المصابين بتصلب الشرايين في العالَم الغربي وفي إسرائيل أيضًا. يعود السبب الأساسي للانخفاض إلى زيادة الوعي لمسببات المرض الخطيرة.

قليل من المعلومات...

"الكولسترول السيء"، الكولسترول الجيد وتصلب الشرايين

لكي نفهم العلاقة بين الكولسترول وتصلب الشرايين، يجب علينا أن نفهم، كيف يُنقل وكيف يصل الكولسترول إلى جميع خلايا الجسم، على الرغم من أنه مادة دهنية لا تذوب في الدم؟ يُنقل الكولسترول في الدم بوساطة ناقلات خاصة مبنية من جزيئات بروتين ودهنيات نسمِّيها ليبوبروتينات.

يوجد نوعان من ناقلات الكولسترول في الدم وهي تختلف عن بعضها في تأثيرها على تطور تصلب الشرايين:

LDL — الناقل الأساسي للكولسترول في الدم. يوجد له ميل كبير أن يرسب على جدار الشرايين وأن يؤدي إلى تصلب الشرايين (انظروا الرسمة و - 13)، لذا يُسمَّى باللغة الشعبية "كولسترول سيء".

HDL — ناقل يستطيع مدورة الكولسترول في الكبد. بيَّنت الأبحاث أن هذا الناقل قادر على الارتباط بالكولسترول الذي رسب في الشرايين وإبعاده. لذا من المهم أن يكون مستوى عالٍ منه في الدم، لكي يحمينا من تصلب الشرايين. واضح الآن، لماذا يسمون هذا الناقل باللغة الشعبية "كولسترول جيد"؟ بيَّنت الأبحاث أن الحوامض الدهنية المشبعة التي يبني منها الجسم الكولسترول، هي المسبب الأساسي لرفع مستوى ال **LDL** في الدم. لذا نوصي بالامتناع من تناول مواد غذائية غنية بالحوامض الدهنية المشبعة التي مصدرها على الأغلب من الحيوان. مستوى الكولسترول في الجسم متعلق أيضًا بعوامل وراثية تؤثر على مستوى إنتاج الكولسترول في الجسم وعلى مستوى ناقلات الكولسترول.

سكري من نوع 2

في العشرات السنوات الأخيرة، ومع الارتفاع المستمر في نسبة الناس الذين يعانون من الوزن الزائد، ترتفع في جميع أنحاء العالَم تكرارية مرض السكري من نوع 2. يظهر هذا المرض عادةً عند كبار السن، لكن في السنوات الأخيرة، بدأت ترتفع تكرارية هذا المرض عند الأطفال والمراهقين بشكل مقلق.

السكري هو مرض ناجم عن مستوى عالٍ من السكر في الدم. وهذا عكس السكري من نوع 1، الذي تُصاب فيه خلايا β في البنكرياس الذي لا يُنتِج الإنسولين. أما في مرض السكري من نوع 2، على الرغم من أن البنكرياس يُنْتِج الإنسولين، إلا أن الإنسولين غير ناجع بسبب رد الفعل المنخفض لخلايا الهدف للإنسولين (بالأساس خلايا العضلات، خلايا الدهنيات والكبد).

يؤدي عدم استيعاب الجلوكوز في الخلايا إلى ارتفاع تركيزه في الدم. يؤدي التركيز العالي للجلوكوز في الدم إلى إفراز كمية إنسولين إضافية، وهكذا يصبح مستوى الإنسولين في الدم عالٍ. ويؤدي فائض الإنسلوين في الدم في نهاية الأمر إلى ظاهرة نسمِّيها **مقاومة** الإنسولين: لا تستجيب الخلايا لوجود الإنسولين، نتيجةً لذلك لا يدخل الجلوكوز الخلايا وقد يصل الوضع إلى "تجويع الخلايا".

السكري من نوع 2، هو مرض يتطور بشكل تدريجي. أُثبت أنه إضافةً إلى الميل الوراثي، فإن التغذية التي تعتمد على غذاء معالج، كميات قليلة من الألياف، فائض سكريات والنقص في النشاط الجسدي - جميعها تؤدي إلى السمنة وقد تؤدي إلى ارتفاع احتمال الإصابة بمرض السكري من نوع 2.

تؤدي التغذية السليمة والنشاط الجسماني إلى تثبيط تطور المرض ومنع استعمال الأدوية. بودنا أن نشير إلى أنّ السكري من نوع 2 الذي يستمر وقتًا طويلًا، قد يؤدي في نهاية الأمر إلى انخفاض عدد خلايا .... في البنكرياس بسبب نشاطها المتزايد لإفراز الإنسولين، حيث يؤدي هذا الانخفاض إلى وضع " يشبه مرض السكري من نوع 1" وإلى إضافة إنسولين خارجي.

سؤال و - 21:

اشرحوا العلاقة:

أ. بين التغذية الغنية بالدهنيات وبين أمراض الأوعية الدموية.

ب. بين التغذية الغنية بالسكريات وبين السكري من نوع 2.

توسع

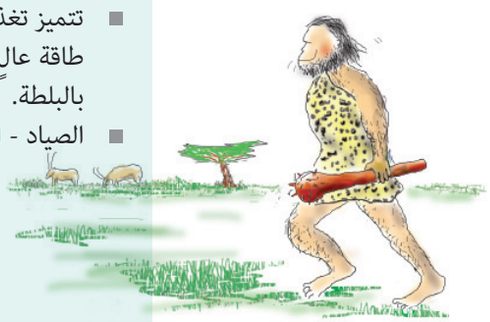
مميزات التغذية وطريقة حياة الإنسان في فترات قديمة وفي يومنا هذا

تغيُّرات التغذية التي بدأت في الأجيال الأخيرة في العالَم الغربي هي كبيرة وسريعة لدرجة أن أجسامنا غير مناسبة لها. يعتقد علماء أن معظم الأمراض المزمنة اليوم التي تؤدي إلى حوالي 75% من الوفيات، سببها نهج حياة الإنسان الحديث. الشحنة الوراثية عند الإنسان غير مناسبة للبيئة المحيطة الحياتية في العالَم الغربي الذي يتميز بكثرة الغذاء المتوافر، بل مناسبة لبيئة محيطة حياتية، لا يتوافر فيها الغذاء وتوجد ضرورة للنشاط الجسماني للحصول عليه.

يمكن أن نتعلم عن أهمية المميزات الوراثية لبقاء الجنس البشري من مميزات التغذية ومن أسلوب حياة الهومو - سبيانس، الإنسان الحكيم، الذي ظهر بحسب المصادر المختلفة قبل حوالي 50 - 200 ألف سنة، والذي اعتمد على تغذية الصياد - المقتطف.

كما يمكن أن نتعلم من مكتشفات علم الآثار ومن بحث حضارات ما زالت تعيش بأسلوب حياة معين منذ عشرات آلاف السنين عن مميزات تغذية الصياد - المقتطف ونهج حياة الإنسان:

- تتميز تغذية الصياد - المقتطف ونهج الحياة باستيعاب غذاء ذا مستوى طاقة منخفض وباستغلال طاقة عالٍ، وقد شمل حوالي 3-5 ساعات نشاط جسماني في اليوم، مثل: المشي، الحفر أو التقطيع بالبلطة.
- الصياد - المقتطف أكل الحيوانات البرية التي اصطادها، حيث تختلف جودة هذا اللحم بشكل جذري عن جودة اللحم الموجود اليوم في الأسواق والذي مصدره من حيوانات يعتني بها الإنسان. يحتوي لحم الحيوانات البرية على كميات قليلة من الحوامض الدهنية المشبعة وعلى كميات كبيرة من الحوامض الدهنية غير المشبعة. إضافةً إلى ذلك، يحتوي لحم الحيوانات البرية على كمية كبيرة (حوالي 4%) من الحوامض الدهنية



الضرورية من نوع أومجا 3 التي تحمينا من تصلب الشرايين ومن أمراض سرطان وغير ذلك.

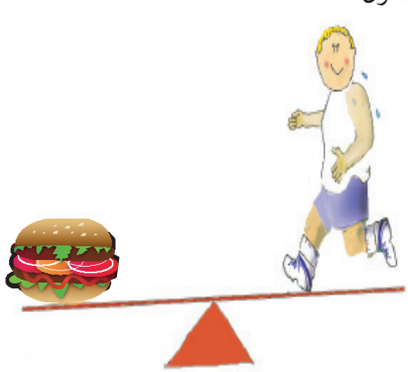
- مصدر الكربوهيدرات للصياد - المقتطف كان بالأساس الثمار والحبوبيات الكاملة التي كانت غنية بالآلياف الغذائية، وهذا عكس مصدر الكربوهيرات في يومنا هذا، الذي معظمه حبوبيات معالجة دون قشرة ومع سكريات بسيطة.
- الوسائل التكنولوجية التي كانت لدى الصياد - المقتطف ،لم تساعده على حفظ الغذاء ومعالجته. لقد أكل غذاءً طريًا وغير معالج (باستثاء شويه على النار). منذ الثورة الصناعية التي حدثت قبل حوالي 200 سنة، بدأ تغيير جوهري في الوصول إلى الغذاء ومعالجته. لقد أنجزت عمليات معالجة الغذاء غايات مختلفة، مثل: قدرة الحفاظ على المنْتَج لمدة طويلة، إنتاج مُنْتَجات جديدة وتحسين طعمها، لكن في مرات كثيرة، أثرت سلبًا على القيم الغذائية للمُنْتَج.
- استهلاك الصوديوم العام في تغذية الصياد - المقتطف، كانت منخفضة بحوالي 80% من كمية الصوديوم التي يستهلكها الشخص الغربي (بالأساس في ملح الطعام). أما كمية البوتاسيوم في غذائهم فقد كانت أكثر بكثير من غذائنا. من المعروف أن النسبة بوتاسيوم صوديوم لها أهمية كبرى في منع ضغط الدم الزائد.

في أيامنا، في المجتمعات التي نَهْج حياتها يشبه ثقافة الصياد - المقتطف، لا يعاني كبار السن من مرض السكري بتاتًا ولا يعانون من أمراض في الأوعية الدموية والقلب كما هو الأمر عند أبناء سنهم الذين يعيشون في المجتمع الغربي.

و 4. 4 تخفيف الوزن – وصفة غذائية (حمية) قليلة الطاقة

على ضوء الأخطار الكثيرة النابعة من البدانة، في حالات انحراف كبير من الوزن السليم، نوصي بتخفيف الوزن بوساطة **وصفة غذائية قليلة الطاقة (وصفة تنحيف)، بحيث ندمج زيادة النشاط الجسماني.** مصدر المصطلح دايت من اللغة اللاتينية، ومعناه نهج حياة، وهو مصطلح عام يتطرق إلى الوصفات الغذائية اليومية التي يتناولها الإنسان. يوجد أنواع كثيرة من الوصفات الغذائية مثل: وصفة غذائية نباتية للنباتيين، حيث لا يأكلون فيها لحوم وأسماك، لكن يأكلون بيض ومُنْتَجات الحليب، وصفة غذائية طبيعية للطبيعيون، حيث لا يأكلون فيها لحومًا وأسماكًا ولا يأكلون فيها مُنْتَجات الحليب والبيض أيضًا. في حياتنا اليومية، نقصد على الأغلب بالمصطلح وصفة غذائية، الوصفة الغذائية قليلة الطاقة (وصفة غذائية للتنحيف) التي تهدف إلى تخفيف وزن الجسم.

المبدأ المركزي في الوصفة الغذائية قليلة الطاقة هي بناء موازنة طاقة سالبة. كما تعلّمتم، لكي نرفع وزن الجسم بكيلوغرام واحد، يجب أن نستهلك حوالي 7,700 كيلوكلوري فائض، لذا لكي نخفف الوزن بكيلوغرام واحد، يجب أن نخفِض حوالي 7,700 كيلوكلوري من التغذية. لكي لا تؤذي الوصفة الغذائية قليلة الطاقة الجسم، يجب أن تشمل الوصفة الغذائية اليومية جميع مكوِّنات الغذاء الضرورية للجسم. نوصي بالاستشارة مع مختص بتغذية، لكي نلائم الوصف الغذائية للمعطيات الفسيولوجية للفرد ولتفضيله الشخصي. لتخفيف وزن الجسم، يجب أن نكوِّن موازنة طاقة سالبة، ليس فقط من خلال التشديد على كمية الغذاء وجودته، بل أيضًا من خلال زيادة استغلال الطاقة بوساطة **النشاط الجسماني.** إذن، النشاط الجسماني هو مكوِّن مهم في كل وصفة غذائية تهدف إلى تخفيف الوزن، لأن النشاط الجسماني يؤدي إلى تقليل كتلة الدهنيات، ومع تقليل كمية الطاقة المستوعبة من الغذاء، فإنَّ مخازن الدهنيات في الجسم تُشكِّل مصدرًا للطاقة المطلوبة لبذل الجهد الجسماني. إضافةً إلى ذلك، بالموازاة لانخفاض كتلة الدهنيات، فإنَّ النشاط الجسماني يؤدي إلى ارتفاع كتلة العضلات وهذا يرفع وتيرة العمليات الأيضية، وهذا يعني كمية الطاقة المستغلة. يوجد سبب إضافي لأهمية النشاط الجسماني بالموازاة للوصفة الغذائية لتخفيف الوزن: من المعروف أن تقليل كمية الكربوهيدرت والدهنيات في الوصفات الغذائية قليلة الطاقة، يؤدي إلى انخفاض إفراز مواد تهدئة في المخ (مثل: السيرتونين)، ونتيجةً لذلك يشعر الشخص بحالة نفسية سيئة، لذا النشاط الجسماني، يزيد من إفراز هذه المادة مما يؤدي إلى تحسين الحالة النفسية وبذلك تكمن أفضليته الإضافية.



قليل من المعلومات ...

الوصفات الغذائية قليلة الطاقة عند الشباب في إسرائيل

في بداية سنوات الألفين، أجرت منظمة الصحة العالمية استطلاعًا حول نهج حياة أطفال وشباب في دول مختلفة، بما في ذلك، إسرائيل. تُثير نتائج الاستطلاع قلقًا كبيرًا حول نسبة الشابات في إسرائيل (20%) اللواتي تقوم بوصفات غذائية قليلة الطاقة، قسم منها وصفات متطرّفة. من بين هذه الوصفات، يدور الحديث حول وصفات تعتمد على تناول مكوِّن غذائي واحد فقط، التنازل المطلق عن الدهنيات أو الكربوهيدرات، عدم تناول وجبات غذائية معينة واستعمال مواد تنشِّط الإسهال. **نسبة الشباب في إسرائيل الذين يتبعون وصفات غذائية قليلة الطاقة هي ضعفا نسبة الشباب الذين يعانون من الوزن الزائد!!!**

يشير هذا الفرق إلى أن عددًا كبيرًا من الشباب والشابات في سن المراهقة، يرون أنفسهم سمينين، على الرغم من أن وزنهم سليم. من المهم أن نعرف أن الوصفات الغذائية غير الموزونة في سن المراهقة، قد تؤثر سلبًا بشكل خاص، من بينها: مشاكل في التركيز والانتباه، إعاقة في النمو، تثبيط النضوج الجنسي تشويش في الدورة الشهرية (السرية) عند البنات. كما ذكرنا، تؤثر هذه لوصفات الغذائية سلبًا على الحالة النفسية، وقد تؤدي إلى العصبية والاكتئاب. في كثير من الحالات، تنتهي الوصفة الغذائية غير الموزونة بالفشل الذي يسبب إلى اليأس ويؤدي إلى البدانة.

نفكر عادةً أنه ...

من الأفضل التنازل عن وجبة الفطور عندما نتبع وصفة غذائية معينة: هذا غير صحيح! وجبة الفطور مهمة للأطفال ولكبار السن. لأنه بعد مرور ليلة لم نأكل فيها، ينخفض مستوى السكر في الدم، لذا وجبة الفطور تزوِّدنا بالسكر الضروري للمخ وتساعدنا عل اليقظة والتركيز العالي. تشير التجربة إلى أن الأشخاص الذين يتنازلون عن وجبة الفطور، يستهلكون جميع السعرات الحرارية الناقصة خلال اليوم. يجب أن لا تكون وجبة الفطور ثقيلة، يكفي يوجورط أو حبوبيات كاملة.

سؤال و - 22:

اكتبوا فقرة عن العلاقة بين موازنة الطاقة، السُّمنة والوصفة الغذائية قليلة الطاقة.

سؤال و - 23:

ابحثوا في الإنترنيت عن وصفة غذائية لتخفيف الوزن، ثم حلِّلوها بحسب النقاط الآتية:

أ. المكوِّنات الغذائية الموجودة في الوصفة الغذائية والمكونات التي تنقصها.

ب. قيمة الكلوري اليومية التي تزوِّدها.

ج. سيئات وحسنات إضافية للوصفة الغذائية.

و5.4 اضطرابات في تناول الطعام

رأينا أن إحدى مميزات مجتمع الكثرة والوفرة الغذائية هي الانشغال الكثير بالجسم، الغذاء والوزن. الحالات التي يكون فيها الانشغال بالوزن والغذاء إجباري، وأحيانًا لا نسيطر عليه، فإنها تعرَّف على أنها **اضطراب في تناول الطعام.** في المجتمعات التي بالنسبة لها الغذاء أساسي للبقاء على قيد الحياة، لا توجد فيها اضطرابات في تناول الطعام. يدعي باحثون أن ارتفاع تكرارية الاضطرابات في تناول الطعام، ينبع من أسباب اجتماعية. الانتقاد موجَّه إلى "ثقافة التنحيف" التي تنعكس بوسائل الاتصالات. يوجد ربط بين الجمال والنحافة المفرطة: جسم نحيف معناه جسم جميل، تدعم وتقوي وسائل الاتصال هذه المفاهيم بوساطة إعلانات، أفلام سينمائية وبرامج تلفزيونية، حيث تقوم بتنفيذها شابات نحيفات جدًا.

اضطرابات تناول الطعام المعروفة هي فقدان الشَّهيّة العصبي وَشرْه الشَّهيّة العصبي. هذان المرضان صعبان وخطيران، وهما شائعان بالأساس عند شابات في سن المراهقة وعند نساء أكبر سنًا، لكن عند الشباب والرجال فهما شائعان بنسبة مئوية أقل من الشابات في سن المراهقة.

تعاني بين 0.5%-1% من الشابات في سن 12-18 من فقدان الشّهيّة العصبي، وحوالي 2% من شرْه الشّهيّة العصبي (نرى فيما بعد أنه من الصعب تحديد نسبة الفتيات المصابات بمرض شرْه الشَّهيّة العصَبي بسبب وزنهنَّ السليم).

تؤدي اضطرابات الطعام إلى أضرار صحية، إلى إصابة بالتقييم الذاتي وإلى اهمال مجالات حياة مهمة، مثل: العلاقات الاجتماعية، التعليم والعمل.

فقدان الشّهيّة العصبي

فقدان الشّهيّة العصبي هو مرض فسيولوجي ونفسي، ومن مميزاته الأساسية الوزن المتدني بسبب الجوع الذاتي. يبدأ هذا المرض عند نساء وشابات كثيرة من وصفة غذائية عادية لتخفيف الوزن ومن الرغبة في تخفيف الوزن عدة كيلوغرامات معقولة. على الرغم من انخفاض وزنها، إلا أنها تعتبر ذاتها سمينة ويسيطر عليها خوف غير واقعي من الارتفاع بالوزن. فهي تجوِّع ذاتها لكي ينخفض وزنها، لكن وزنها ينخفض كثيراً دون حدود.

توجد عدة مميزات للتجويع الذاتي: صوم لعدة ساعات حتى عدة أيام، استهلاك سعرات حرارية يومية قليلة جدًا، ويوجد تنوع قليل جدًا في الأغذية "المسموحة".

نتيجةً للحمية (الوصفة) الغذائية المتطرفة، تُصاب صحتها بشكل كبير. أحيانًا، تتوقف عندها الدورة الشهرية (السرية)، يتساقط الشعر وتحدث أضرار غير عكسية للهيكل العظمي والأسنان. في 10%-15% من الحالات، ينتهي المرض بالموت!

فيما يلي أعراض الحذر: الوزن أقل من الوزن السليم مع الأخذ بعين الاعتبار العمر، الطول ومبنى الجسم، خوف كبير من الارتفاع بالوزن، تصور ذاتي فيه تشويه، تتوقف الدورة الشهرية وتظهر سلوكيات إجبارية متعلقة بتناول الطعام، وبالنشاط الجسماني أو بأي موضوع آخر.

يركّز العلاج بمرض فقدان الشّهيّة العصبي اليوم على الاستشارة النفسية والعودة إلى الوزن المطلوب بوساطة نظام تغذية يخضع للرقابة. كلما تمَّ تمييز المرض مبكرًا، فإن احتمال الشفاء يزيد. من المهم أن تعرفوا أن الإصابة بمرض فقدان الشّهيّة العصبي، قد يكون سريعًا جدًا، لكن الشفاء من هذا المرض صعب ومستمر.

شرْه الشّهيّة العصبي

شَرْه الشّهيّة العصبي هو اضطراب في تناول الأكل الذي يتميز بنوبات تناول الطعام بشراهة ويرافقه تقيؤ. يَحدث هذا المرض بسن المراهقة على الأغلب، وتكراريته عند النساء أكبر بـ 10 - 20 ضعفًا من الرجال. عندما تصاب المريضة بنوبة تناول الأكل بشراهة، فإنها تأكل كميات هائلة من المواد الغذائية خلال زمن قصير (خلال حوالي ساعة). تأكل عادةً مأكولات غنية جدًا بالسعرات الحرارية التي يمكن أكلها بسرعة، مثل: البوظة والحلويات. بعد حدوث نوبة الشراهة بالأكل، تقوم بتفريغ معدتها، من خلال التقيؤ المقصود أو استعمال مواد تؤدي إلى الإسهال، وكل ذلك، لكي تمنع الارتفاع بالوزن. يتميَّز مرض فقدان الشّهيّة العصبي بـ **BMI** أقل من السليم، أما في حالة شرْه الشّهيّة العصبي فيكون **BMI** معظم المريضات سليم. تحدث معظم التعقيدات الطبية في مرض شرْه الشّهيّة العصبي بسبب طرق تفريغ الجهاز الهضمي من الطعام. استعمال التقيؤ يؤذي البلعوم، المريء والأسنان بسبب حامضية المعدة. والمواد التي تُستعمل للإسهال تؤذي الأمعاء. في طريقتَي التفريغ، قد تُصاب المريضة بجفاف وبعدم توازن الأملاح المعدنية. يمكن إخفاء مرض شرْه الشّهيّة العصبيَ بسهولة نسبيًا بسبب الوزن السليم نسبيًا عند المصابات بالمرض. لهذا السبب، من الصعب تحديد تكرارية المرض عند المجموعة السكانية.

سؤال و- 24:

لخصوا أوجه الشبه والاختلاف بين مرض فقدان الشهية العصبي ومرض شرْه الشّهيّة العصبي.

المواضيع الأساسية في هذا الفصل

- يحتاج الجسم إلى طاقة بشكل متواصل، حتى عندما يكون في راحة مطلقة. المكوِّنات الثلاثة لاستغلال الطاقة هي: العمليات الأيضية الأساسية، النشاط الجسماني ومعالجة الغذاء.
- مصدر الطاقة هو الغذاء الذي نأكله.
- موازنة الطاقة في الجسم، وهذا يعني النسبة بين كمية الطاقة التي نستوعبها كمية الطاقة التي نستغلها، وهي التي تحدد ما إذا يرتفع وزن الجسم، أو ينخفض، أو يبقى ثابتًا.
- يتم تنظيم استهلاك الغذاء في الإنسان في مركزي الجوع والشبع الموجودان في الهيبوثالاموس.
- يتم تنظيم استهلاك الغذاء بوساطة عوامل فَسيولوجية ونفسية. تشتمل العوامل الفسيولوجية على محفزات من الجهاز الهضمي (عصبية وهورمونالية)، مستوى نواتج الهضم في الدم ووضع مخازن الطاقة.
- التغذية الحكيمة هي التغذية الملائمة بشكل خاص للإنسان بحسب عُمْره، جنسه، مبنى جسمه، مستوى نشاطه الجسدي، عادات الأكل وتفضيل الغذاء. لذا يجب عليها أن تشمل جميع أنواع الغذاء، أليافًا غذائية والكثير من الماء.
- الهرم الغذائي هو تعبير بياني لتوصيات التغذية الحكيمة. التوصيات الأساسية: تفضيل مُنْتَجات غذائية تحتوي على كميات قليلة من الدهنيات، الكولسترول، الملح والسكر، تفضيل مواد تحتوي على ألياف، الإكثار من شُرب الماء، التقليل من تناول مواد غذائية معالجة ومن مشروبات مُحَلّاة والقيام بنشاطات جسمانية يومية.
- يؤدي الانحراف المتطرف من الوزن السليم كالوزن الزائد أو الانخفاض في الوزن إلى مشاكل صحية صعبة، لذا من المهم الحفاظ على موازنة الطاقة.
- يحدث سوء التغذية في عالَم المجاعة لأسباب سياسية واجتماعية تؤدي إلى أن مجموعات سكانية كثيرة تتغذى على غذاء لا يحتوي جميع المكوِّنات المطلوبة بالكميات المطلوبة. في حالة متطرفة، يؤدي النقص المتطرف في الطاقة والبروتينات إلى الجوع حتى الموت.
- تحدث مشاكل التغذية في العالَم الغربي بسبب فائض السعرات الحرارية في الغذاء، بسبب تناول مفرط لمُنْتَجات غذائية مُعالجة ينقصها مكوِّنات غذائية ضرورية وبسبب قلة النشاط الجسماني.
- نعرف اليوم أن الوزن الزائد والبدانة، هما عاملان خطيران لحدوث أمراض القلب والأوعية الدموية، السكري من نوع 2 وأنواع السرطانات المختلفة.
- ينبع سوء التغذية في العالَم الغربي من تناول غذاء لا يحتوي على مكوِّنات غذائية ضرورية، بالأساس فيتامينات، أملاح معدنية وألياف غذائية. يمكن أن يحدث سوء التغذية بسبب نهج حياة و / أو عقائد متعلقة بالتغذية.
- في الحمْية (الوصفة) الغذائية قليلة الطاقة، نقلِّل بشكل مقصود كمية السعرات الحرارية في الغذاء. عندما ننفِّذ هذه الوصفة الغذائية، فيجب الحفاظ على تغذية موزونة ونوصي استشارة مختصين في الموضوع، بالأساس عندما يدور الحديث عن الشباب.
- يحدث الاضطراب في تناول الطعام بسبب سلوكيات غير صحيحة عند تناول الطعام، الخوف العميق من البدانة والانشغال الزائد بالطعام. مسببات الاضطرابات هي دمج عدة عوامل شخصية (وراثية، فسيولوجية) وعوامل من البيئة المحيطة (الثقافة، المجتمع والعائلة).

مصطلحات مهمة في هذا الفصل

وصفة غذائية (حِمْية) قليلة الطاقة
هيبوثالاموس
اضطرابات في تناول الطعام
بدآنة
تنظيم استهلاك الغذاء
مخازن طاقة
موازنة طاقة (موجبة، سالبة)
مركز الجوع
مركز الشبع
ألياف غذائية
نشاط جسماني
تغذية موزونة
سوء تغذية

ملحق

جدول - 1: فيتامينات في الإنسان — وظائفها في الجسم، مصادرها وتأثير نقص أو فائض في الفيتامينات

الفيتامين	نشاطه الأساسي في الجسم	موجود بالأساس في هذه المواد الغذائية	عوارض تنبع من نقص في الفيتامين	عوارض تنبع من فائض في الفيتامين
فيتامينات تذوب في الدهنيات				
فيتامين A	يبني مادة حساسة للضوء موجودة في خلايا حسية في العينين وضرورية للرؤية. مهم للنمو ولحماية الجسم من التلوثات.	كبد، صفار البيض، دهنيات من الحيوان، حليب، زبدة، زيت سمك، خضروات - صفراء - برتقالية، خضروات خضراء.	عند الأطفال - مشاكل في النمو، أضرار في الأنسجة الطلائية، جلد جاف ومشقق، تلوثات في مسالك التنفس، صعوبات في الهضم، تلوث في المثانة، عمى ليلي، إصابة في قرنية العين وخطر فقدان البصر.	ضرر للكبد، آلام في الرأس، آلام في العظام والمفاصل، تقيؤ وإسهال، انقطاع الشهية، تساقط الشعر، جفاف في العين والجلد.
كاروتين	مادة خام لإنتاج فيتامين A، لذا فهو ضروري لإنتاجه.	خضروات وفواكه صفراء - برتقالية (جزر، قرع، بندورة، فلفل أحمر)، موجودة بكمية قليلة في الخضروات الخضراء.	أضرار في الجلد وفي الأنسجة المخاطية، عمى ليلي، الظواهر المذكورة أعلاه المتعلقة بنقص فيتامين A.	
فيتامين D	يزيد من نقل الكالسيوم إلى الدم، ضروري للموازنة السليمة لنقل الكالسيوم بين العظام والدم.	حليب، زبدة، زيت سمك، عادةً غير شائع في المواد الغذائية، لكن تستطيع خلايا في الجلد أن تُنتجه بتأثير أشعة الشمس. يُضاف عادةً إلى مواد أساسية، مثل: الحليب والمرجرين.	عند الأطفال - ضعف وتشويه العظام - مرض هشاشة العظام، في مرحلة النمو - تشويش في نمو العظام، عند كبار السن - ضعف في العضلات.	تكلس أنسجة رقيقة مما يؤدي إلى أضرار في المخ، القلب والكليتين، غثيان وتقيؤ، إمساك، عطش، تبول كثير.
فيتامين E	يمنع عمليات التأكسد التي تؤذي خلايا الدم الحمراء ومواد مختلفة أخرى، مهم للأداء السليم للعضلات.	كبد، أسماك، زيت من النبات، خضروات أوراقها خضراء، طحينة، جوز.	نقصه نادر جدًا. قد يؤدي إلى فقر الدم.	نادرة
فيتامين K	يشترك في عمليات التنفس الخلوي في جميع الخلايا، يشترك في إنتاج مواد ضرورية لتخثر الدم ولمنع نزيف الدم.	كبد، خضروات أوراقها خضراء، تُنْتجه بكتيريا في الأمعاء.	تشويش في تخثر الدم، الميل إلى نزيف داخلي، أضرار في الكبد.	فقر في الدم، هدم الكبد

الفيتامين	نشاطه الأساسي في الجسم	موجود بالأساس في هذه المواد الغذائية	عوارض تنبع من نقص في الفيتامين	عوارض تنبع من فائض في الفيتامين
فيتامينات تذوب في الماء				
فيتامين C (حامض الأسكوربيط)	**إنتاج كولاجين، يشترك في بناء العظام، الغضروف والأسنان، يشترك في العمليات الأيضية للكربوهيدرات، يساعد في امتصاص الحديد من الأمعاء إلى الدم.**	**حمضيات، ملفوف، بندورة، فلفل أخضر، توت، تفاح، بطاطا.**	مرض الصدفية الذي يحدث فيه نزيف، صعوبة في شفاء الجروح، ضعف عام وفقر في الدم.	نادر جدًا أن يكون فائض في فيتامين C، لأنه يُفرز في البول. أحيانًا يؤدي إل إلى إسهال وإلى مشاكل أخرى في الهضم.
فيتامين B_1 (ثيامين)	**يشترك في العمليات الأيضية للكربوهيدرات وفي العمليات المتعلقة بإطلاق الطاقة في التنفس الخلوي.**	**لحوم، كبد، أسماك، بيض، حليب، حبوبيات كاملة، بقوليات، خضروات أوراقها خضراء (مثل: سبانخ ، خس، حميض).**	**نقص في الشهية، اضطرابات في الهضم، ضعف في الجلب وجدران الأوعية دموية، المرض البري - بري الذي يؤدي إلى إلتهابات في الأعصاب، تشويه في الشكل، ضعف عام وشلل في أطراف الجسم.**	**نادرة.**
فيتامين B_2	**يشترك في العمليات الأيضية للكربوهيدرات والبروتينات.**	**لحوم، كبد، دجاج، حليب، بروتين البيض، حبوبيات كاملة، بقوليات، خضروات خضراء.**	**ميل إلى تلوثات وإلتهابات، جروح في الجلد، انتفاخ في اللسان، محفزات في العينين.**	غير معروفة.
فيتامين B_3 (نيئاتسين)	**ضروري لإنتاج عمليات استخراج الطاقة في التنفس الخلوي بالأساس من الكربوهيدرات.**	**دجاج، حليب، أسماك، خميرة، بيض، بقوليات، حبوبيات كاملة.**	**ميل إلى الضعف، إلتهابات في الجلد، إلتهابات في الأعصاب.**	**نزيف دم، غثيان وتقيؤ.**
فيتامين B_5	**ضروري للعمليات الأيضية للكربوهيدرات والدهنيات.**	**موجود في معظم أنواع الأغذية التي مصدرها من الحيوان والنبات.**	**نقص في الشهية، آلام في البطن والآم في الأعضاء المختلفة، ميل إلى التعب والكآبة.**	غير معروفة.
فيتامين B_6	**يشترك في العمليات الأيضية للحوامض الأمينية، ضروري لإنتاج خلايا الدم الحمراء وإنتاج الجلوكوز من جديد في الكبد.**	**لحوم، دجاج، أسماك، فاصولياء بيضاء، بطاطا. موجود بكمية قليلة في الحبوبيات والخضروات.**	**نقصه عند الأطفال يؤدي إلى فقر الدم، التهابات في الأعصاب، تشويه. ونقصه عند كبار السن يؤدي إلى ضعف ووهن. . .....**	غير معروفة.
فيتامين B_7 (بيوتين)	**ضروري للعمليات الأيضية للحوامض الأمينية ولإنتاج الدهنيات.**	**لحوم، كبد، بروتين بيض، بقوليات، جوز.**	**يحتاجه الجسم بكميات قليلة جدًا والنقص فيه نادر.**	غير معروفة.
فيتامين B_9 (حامض الفوليك)	**ضروري لإنتاج خلايا الدم الحمراء، لإنتاج المادة الوراثية DNA** ولإنتاج حوامض أمينية.	**كبد، بيض، حبوب كاملة. تُنْتِجه بكتيريا الأمعاء.**	حالات مختلفة من فقر الدم (نقص أو إصابة خلايا الدم الحمراء)، تشوهات جنينية في الجهاز العصبي.	حساسية، اضطرابات في النوم.
فيتامين B_{12}	**يشترك في بناء بروتينات وحوامض النواة، مهم للأداء السليم للخلايا العصبية، يساعد في إنتاج الميالين، خلايا العظام وخلايا جهاز الهضم.**	**لحوم، كبد، دجاج، أسماك، مُنْتَجات الحليب، خميرة.**	نوع من أنواع فقر الدم ("فقر الدم، أو سرطان الدم").	غير معروفة.

جدول 2: عناصر الأملاح المعدنية الضرورية في الحيوان والإنسان، مصادرها، وظائفها وعلامات النقص أو الفائض في الأملاح المعدنية.

الملح المعدني	وظائف أساسية	مصادر أساسية	علامات النقص	علامات الفائض
ميكرو أملاح معدنية				
كالسيوم (Ca)	أحد مكوِّنات مبنى العظام والأسنان، ضروري في نقل المحفزات العصبية وفي انقباض وارتخاء العضلات، ضروري في تنظيم وتيرة دقات القلب، يساعد في تخثر الدم.	طحينة (من سمسم كامل)، الحليب ومُنْتَجات الحليب، سردين مع عظم، خضروات خضراء (بروكلي، خس)، جوز، بقوليات، فواكه مجففة.	هشاشة و..... في عظام الأطفال والحيوانات الحديثة السن، "هروب" كالسيوم من العظام عند كبار السن، اضطرابات في نشاطات العضلات وتخثر الدم.	تكلس أنسجة رقيقة، تراكم حجارة في الكليتين وفي مسالك البول، شلل في العضلات وتوقف نشاط القلب.
فوسفور (P)	أحد المكوِّنات الضرورية في مبنى العظام والأسنان، ضروري لتأكسد الكربوهيدرات والدهنيات في عمليات استخراج الطاقة واستغلالها في الخلايا، يساعد في الحفاظ على pH سوائل الجسم.	حليب ومُنْتَجات الحليب، بيض، لحوم، خضروات، حبوب كاملة، بقوليات، جوز.	ضعف، اضطرابات عصبية.	إصابة امتصاص الكالسيوم في الأمعاء، وفي أعقاب ذلك ظواهر نقص في الكالسيوم.
صوديوم (Na)	ينظِّم الضغط الأسموزي وحجم سوائل الجسم، يساعد على نقل المحفزات العصبية وانقباض العضلات، ضروري لامتصاص المواد عبر أغشية الخلايا.	ملح الطعام (NaCl)، حليب، لحوم، أسماك، بيض، سبانخ، لفت، شمندر، كرفس .	عرق، آلام في البطن، نقص في الشهية، تقيؤ، غثيان، إسهال، تشويه عضلات.	ضغط دم عالٍ، تبول زائد.
بوتاسيوم (K)	ضروري لموازنة سوائل الجسم، ضروري لنشاط العضلات والأعصاب.	فواكه وخضروات كثيرة، بقوليات، حبوب حبوبيات كاملة، لحوم، الحليب ومُنْتَجاته.	ضعف وشلل في العضلات (اضطرابات في التنفس، اضطرابات في عمل القلب)، غثيان.	ضعف العضلات، اضطرابات في أداء القلب (مثل ظواهر النقص).
كلور (Cl)	ضروري لموازنة pH سوائل الجسم، أحد مكوِّنات حامض كلوريد الهيدروجين الضروري لنشاط المعدة.	ملح الطعام(NaCl)، أسماك، لحوم، بيض، خضروات، ماء.	نادرة.	غير معروفة عند الإنسان.
مغنيسيوم (Mg)	أحد مكوِّنات العظام والأسنان، ينشِّط عمل إنزيمات كثيرة، يشترك في إنتاج بروتينات وفي العمليات الأيضية للدهنيات، ينظِّم نشاط العضلات والأعصاب.	خضروات أوراق خضراء، جوز،حبوب حبوبيات كاملة، بقوليات، حليب، لحوم، شوكولاطة.	اضطرابات في نشاط الجهاز العصبي والعضلات: ضعف في العضلات، نشاط زائد (ارتجاج)، حساسية عصبية زائدة، اضرابات ذهنية.	غثيان، تقيؤ، نقص في الشهية، شلل في نشاط العضلات والأعصاب، صعوبات في التنفس، اضطرابات في نشاط القلب، سكتة قلبية.

الملح المعدني	وظائف أساسية	مصادر أساسية	علامات النقص	علامات الفائض
ميكرو أملاح معدنية				
حديد (Fe)	ضروري لإنتاج هيموجلوبين وميوجلوبين، أحد مكوِّنات إنزيمات التأكسد والبروتينات المختلفة.	لحوم، كبد، صفار البيض، حبوبيات كاملة، خضروات علوية خضراء، بقوليات، فواكه جافة.	فقر الدم، اصفرار، تعب، ضيق في التنفس وفي دقات القلب أثناء بذل جهد.	إصابة الكبد، البنكرياس، القلب وأعضاء أخرى.
خارصين (Zn)	كوإنزيم في أكثر من **40** إنزيماً مختلفًا.	لحوم، كبد، أسماك مملحة، حبوب حبوبيات كاملة، بقوليات.	شفاء جروح بشكل بطيء، تغيُّرات في الجلد، اضطرابات في جهاز المناعة، إصابات في النمو، إصابة في البلوغ الجنسي.	ضعف في الجسم، غثيان، اسهال، حرارة، تعب.
يود (I)	أحد مكوِّنات هورمون التيروكسين الضروري لتنظيم وتيرة العمليات الأيضية.	أسماك البحر، طحالب البحر، خضروات وفواكه تنمو بالقرب من البحر، ملح طعام غني باليود.	اضطرابات في التطور الجسدي والعقلي عند الأطفال، إصابة التطور الجنسي، ..... عند كبار السن (توسع الغدة الدرقية).	... في حالات متطرفة.
فلور (F)	يقوي العظام والأسنان.	مياه الشرب، شاي، طحالب البحر، أسماك، أرز، فول الصويا.	تسوس أسنان، إصابة عظام الهيكل.	لون أسنان مرقط.
نحاس (Cu)	كوإنزيم في إنزيمات كثيرة ضرورية لعمليات التنفس الخلوي، ضروري لإنتاج خلايا الدم الحمراء، ضروري في العمليات الأيضية للبيدات.	كبد، أفوكادو، جوز، فطريات، بقوليات، مُنْتَجات الكاكاو، حبوب حبوبيات كاملة.	ضعف في الدم، اضطرابات في الجهاز العصبي المركزي، انخفاض في خلايا الدم البيضاء، إصابة صبغيات الجلد والشعر.	اضطرابات في الكبد، الكليتين والجهاز العصبي.
سيلنيوم (Se)	يعمل مع فيتامين E لمنع تأكسد الدهنيات، ويمنع أضرار التأكسد في الخلايا.	كبد، لحوم، حليب، بصل، حبوب حبوبيات كاملة، أسماك، خضروات طازجة.	عند الأطفال - مشاكل في القلب والأوعية الدموية، عند كبار السن - مشاكل في المفاصل.	تساقط الشعر، أظافر فيها خلل، تليف الكبد،يرقان، عرج.
منغنيز (Mn)	ضروري لبناء العظام، أحد مكوِّنات إنزيمات أخرى.	جوز، حبوب حبوبيات كاملة، بقوليات، فواكه، خضروات، شاي، قهوة، كاكاو، صفار البيض .	إصابة بناء العظام والغضاريف.	غير معروفة.
كروم (Cr)	ضروري للعمليات الأيضية للجلوكوز، ينظِّم نشاط الإنسولين.	كبد، لحوم ، حبوب حبوبيات كاملة، خميرة وبيرا.	إصابة العمليات الأيضية للجلوكوز.	حساسية زائدة في الجهاز الهضمي (سام في حالة لمسه).
كوبلت (Co)	أحد مكوِّنات فيتامين B_{12}، ينشِّط عدة إنزيمات.	كبد، لحوم، خميرة، أسماك، حليب، تين،سبانخ، خس.	فقر في الدم.	بولي تستيميا (بولي - كثير، تسيتميا - خلايا الدم) — عدد زائد في خلايا الدم الحمراء.

قاموس المصطلحات

المصطلحات البارزة في التعريف، تظهر في القاموس أيضًا.
تظهر المصطلحات غير العربية بعد المصطلحات العربية.

ابتلاع الضوء (light absorption)
عملية اصطدام طاقة ضوئية بمادة (صبغية)، حيث يُمتص كلها أو قسم منها وهي تؤدي إلى تغيير. يؤدي التغيير إلى تحوُّل الطاقة الضوئية إلى شكل آخر من الطاقة (مثلاً: في النبات، تصطدم الطاقة الضوئية بالكلوروفيل وتُستوعب فيه، وفي أعقاب ذلك، تتحول إلى طاقة كيميائية، في السخان الشمسي، تتحول الطاقة الضوئية إلى طاقة حرارية).

اجترار - انظروا: حيوانات مجترة.

أُحادي السكر (monosaccharide)
وحدات البناء الأساسية للكربوهيدرات. يشتمل هذا المركب بين 4 إلى 8 ذرات كربون منظَّمة في الفراغ كحلقة خماسية أو سداسية. أحاديات السكر ذات مبنى بلوري، مذاقها حلو وذائبيتها عالية في الماء.

أدونيزين - ثلاثي - فوسفات — انظروا أيضًا: **ATP** في نهاية القائمة.

استخلال طاقة الجسم (energy expenditure)
جميع العمليات التي تُستخل فيها طاقة الجسم. بما في ذلك: العمليات الأيضية الأساسية، النشاط الجسماني ومعالجة الغذاء.

استيعاب فعَّال
استيعاب أملاح معدنية من التربة إلى الجذور من خلال نقل فعَّال.

استيعاب غير فعَّال
استيعاب أملاح معدنية من التربة إلى الجذور من خلال نقل غير فعَّال.

اضطرابات في تناول الطعام (eating disorders)
حالات يتحول فيها الانشغال في الغذاء والوزن شيء إجباري لدرجة إلحاق أضرار في الصحة الجسدية والنفسية (انظروا أيضًا: فقدان الشهية العصبي، شره الشهية العصبي).

امتصاص (absorption)
انتقال نواتج التحليل النهائية للغذاء من الأمعاء إلى الدم والليمفا. تدخل معظم نواتج الهضم إلى الخلايا في جدران الأمعاء بمساعدة حاملات في أغشية الخلايا، قسم منها من خلال نقل غير فعَّال وقسم آخر من خلال نقل فعَّال. يتم امتصاص الماء بشكل غير فعَّال (اسموزا) في أعقاب امتصاص نواتج الهضم (انظروا أيضًا: خلايا الامتصاص).

أمعاء دقيقة (small intestine)
منطقة في الجهاز الهضمي عند الفقريات، يتم فيها أساس تحليل الغذاء ومنه تُمتص إلى الدم. طوله عادةً أطول من طول الجسم، ومساحة سطحه الخارجي مكبَّرة عادةً بواسطة طيات وبروزات كثيرة (انظروا أيضًا: خَملات وخَملات دقيقة).

أمعاء غليظة (large intestine)
منطقة في الجهاز الهضمي عند الفقريات، تنتقل إليه، من الأمعاء الدقيقة، بقايا مواد غذائية لم تُهضم، ماء وبكتيريا. معظم الماء وقسم من الأملاح المعدنية الموجودة في المخلوط تُمتص من الأمعاء الغليظة إلى الدم، ويتحول القسم الذي يبقى إلى صلب، ومن ثم إلى براز يُفرز عبر الفتحة الشرجية.

أملاح المرارة (gall/bile salts)
مواد تُفرز من الكبد في سائل المرارة. تساعد على استحلاب وهضم الدهنيات في الأمعاء الدقيقة. يتم تخزين سائل المرارة في المثانة نسمِّيها "كيس المرارة" وهي تُفرز وقت الحاجة إلى الأثنى عشر.

أملاح معدنية (minerals)
مواد غير عضوية، عادةً أملاح موجودة في التربة والماء، مصدرها من صخور الكرة الأرضية. الأملاح المعدنية ضرورية للنباتات والحيوانات ولبناء أجسامها ولأدائها السليم. تستوعب النباتات الأملاح المعدنية من التربة أما الحيوانات فتستوعبها من الغذاء.

أنبوب الهضم - انظروا أيضًا: الجهاز الهضمي.

انخفاض في الوزن (weight loss)
انخفاض في وزن الجسم نتيجةً لتوازن طاقة سالب طيلة مدة زمنية معينة. إذا كان الانخفاض في الوزن أقل من مجال مناسب للجنس، العُمْر ومبنى الجسم، فإنّه يؤذي الصحة (انظروا أيضًا: وصفة غذائية قليلة الطاقة، اضطرابات في تناول الطعام).

اندوسبيرم (endosperm)
نسيج يحتوي على مواد إدخارية في البذور وهو موجود حول الجنين أو إلى جانبه. في عملية الإنبات، مع تحليل المواد الموجودة في الإندوسبيرم إلى مكوِّناتها، يتم استغلال المواد الإدخارية المخزونة فيه لاحتياجات نمو البادرة.

إنزيم (enzyme)
منشِّط بيولوجي. بروتين (على الأغلب) ينشِّط عملية خاصة داخل الخلية أو في البيئة الموجودة بين الخلايا (انظروا أيضًا: ليباز، عميلاز، ببسين، بروتوئاز، سيلولاز).

انسولين (insulin)
يُفرز هذا الهورمون من خلايا (β) الموجودة في البنكرياس إلى تيار الدم بنسبة طردية إلى مستوى الجلوكوز في الدم. يؤدي هذا الهورمون إلى إدخال الجلوكوز إلى معظم خلايا الجسم وهو يُتيح بناء جليكوجين ودهنيات. على ما يبدو، عندما يصل الأنسولين مع تيار الدم إلى الهيبوثالاموس، فهو يحثنا على الشعور بالشبع.

ألياف غذائية (dietary fiber)
توجد كربوهيدرات معقدة في جدران خلايا النباتات وفي قشرة البذور. لا تُهضم الألياف في الجهاز الهضمي للإنسان. على الرغم من ذلك فهي تشكل مكوِّنًا مهمًا في التغذية. فهي تساعد في نشاط الأمعاء وتقلل من خطر الإصابة في أمراض تميِّز مجتمع الوفرة. أما في كرش الحيوانات المجترة، توجد كائنات حية دقيقة تستطيع أن تحلل الألياف. تستغل الكائنات الحية الدقيقة نواتج التحليل لاحتياجاتها، ويستغل الحيوان المجتر النواتج المرافقة لهذه العمليات لاحتياجاته.

ببسين (pepsin)
إنزيم في المعدة، يبدأ تحليل البروتينات بواسطة تقطيعها إلى ببتيدات كبيرة نسبيًا.

بروتوئاز (protease)
اسم عام لمجموعات إنزيمات تعمل في الجهاز الهضمي، تحلِّل بروتينات إلى ببتيدات قصيرة من خلال تفكيك الروابط الببتيدية إلى بروتينات.

بدانة (سمنة) (weight gain)
ارتفاع في الوزن نتيجةً لموازنة طاقة موجبة طيلة مدة زمنية معينة. إذا كانت إضافة الوزن أكثر من المجال المناسب للجنس، للعُمْر ولمبنى الجسم، فإنها تؤدي إلى أضرار صحية.

بروتينات (proteins)
مركّبات عضوية كبيرة، وحدات بناؤها الأساسية هي حوامض أمينية. مبنى، عدد وترتيب الحوامض الأمينية في سلسلة البروتين هي التي تحدد صفاته. يوجد للبروتينات وظائف مختلفة في الكائنات الحية، قسم منها بروتينات مبنى (مثلًا: كولجين) وأخرى بروتينات نشاطات (إنزيمات، ناقلات في الأغشية، مضادات، هورمونات).

بروتين بكتيريا (microbial protein)
البروتينات التي تبنيها الكائنات الحية الدقيقة (بروتينات جدار، إنزيمات وغير ذلك). في تغذية الحيوانات المجترة، بروتينات الكائنات الحية الدقيقة التي تنتقل من الكرش إلى المعدة الحقيقية هي مصدر البروتين الأساسي.

بلعمة (phagocytosis)
عملية ابتلاع جُسَيْمات بواسطة خلايا، من خلالها يُغلِّف الجُسَيْم الذي تمَّ ابتلاعه بغشاء خلية وتَنْتُج فقاعة تنفصل من الغشاء وتنتقل إلى داخل الخلية. في الخلايا الأحادية، تتحد الفقاعة مع الليزوزوم الذي يحتوي على إنزيمات تحليل، وبهذه الطريقة يُهضم الغذاء فيه.

بناء مواد (biosynthesis) (باليونانية: *bio* = حياة; *synthesis* = بناء)
بناء مركّبات معقدة من مركبات بسيطة بواسطة كائنات حية. بناء المواد هو قسم من العمليات الأيضية.

بنكرياس (pancreas)
غدة في الحيوانات الفقارية، تقع خلف المعدة. تعمل كغدة إفراز خارجية، تفرز عصارات الهضم إلى الأثنى عشر، كما تعمل كغدة إفراز خارجية وتُفرز إلى الدم هورمونين وهما الإنسولين والجلوكجون اللذان يشتركان في مراقبة مستوى الجلوكوز في الدم.

بيت نمو
مبنى مغلق (مثل: الدفيئات، بيوت من شِباك وأنفاق)، حيث يتم فيه تنمية مزروعات زراعية، من خلال مراقبة الظروف، مثل: درجة الحرارة، الرطوبة، الأشعة، مكوِّنات الهواء، مدى الري والتسميد.

تأثير الدفيئة (الاحتباس الحراري) **(greenhouse effect)**
ظاهرة تنبع من حَصْر طاقة حرارية في الغلاف الجوي، حيث تنعكس أشعة حرارية عن سطح الكرة الأرضية إلى الغلاف الجوي بسبب وجود غازات مختلفة في الغلاف الجوي، من بينها ثاني أكسيد الكربون والميثان. يعتقد العلماء أن عملية ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية التي نشهدها اليوم، تنبع من ازدياد تأثير الدفيئة، وهذا الازدياد ينبع على ما يبدو بسبب ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون وملوثات أخرى في الغلاف الجوي.

تأكسد - اختزال، عملية (oxidation-reduction reaction)
عملية نقل إلكترونات أو هيدروجينات من ذرّة مادة معينة إلى ذرة مادة أخرى. المادة التي تخسر هي المادة المختَزِلة والمادة التي تربح هي المؤكسدة (مثلًا: في عملية التنفس الخلوي تحدث عمليات تأكسد - اختزال).

تأكسد كامل (complete oxidation)
عملية فيها مادة عضوية تتحلل بوجود أكسجين إلى CO_2 وماء، من خلال اطلاق كمية عظمى من الطاقة.

تبادل غازات (gas exchange)
يستوعب الكائن الحي أكسجين من هواء البيئة المحيطة ويُطلق ثاني أكسيد الكربون إلى هواء البيئة المحيطة.

تحليل الغذاء بطريقة آلية (mechanical digestion)
تقطيع الغذاء إلى قِطع صغيرة دون تغيير الصفات الكيميائية للجزيئات. يتم بالأساس في الفم والمعدة.

تحليل كيميائي (chemical digestion)
تفكيك روابط كيميائية في الجزيئات لإنتاج وحدات صغيرة، مثلًا: تحليل متعدد السكريات إلى وحدات أُحادية السكر. في أعقاب التحليل الكيميائي، يوجد تغيير في نوع المادة وصفاتها. يتم تنشيط التحليل الكيميائي للغذاء بواسطة إنزيمات خاصة، حيث يتم بالأساس في الفم، المعدة والأمعاء الدقيقة.

تحويل طاقة (energy conversion)
تغيير شكل الطاقة، مثلًا: تتغيَّر الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية. في كل تحويل طاقة، يتحول قسم من الطاقة إلى طاقة حرارية لا يمكن استغلالها.

ترافق طاقة (energy coupling)
عملية اطلاق طاقة (مثلًا: تحليل جلوكوز في التنفس الخلوي)، تُرافق عملية تحتاج إلى طاقة وتؤدي إلى تفعيلها(مثلًا: بناء **ATP**).

تركيب ضوئي (photosynthesis) (باليونانية: *photos* = ضوء; *synthesis* = تركيب)
عملية تتحول فيها طاقة ضوئية إلى طاقة كيميائية تُستخدم لبناء كربوهيدرات من ثاني أكسيد الكربون وماء. ينطلق أكسجين في هذه العملية. تتم هذه العملية في الأقسام الخضراء في النبات، في الطحالب وفي عدة أنواع من البكتيريا (انظروا أيضًا: ذاتي التغذية، مرحلة تثبيت ثاني أكسيد الكربون، مرحلة استيعاب الضوء).

تركيب كيميائي (chemosynthesis)
عملية فيها كائنات حية ذاتية التغذية (أنواع معينة من البكتيريا) تبني موادًا عضوية بمساعدة الطاقة المستخرجة من عمليات تأكسد مواد غير عضوية من البيئة المحيطة (مثلًا: كبريتيد الهيدروجين) وليس بمساعدة طاقة ضوئية.

تريجلتسيريدات (triglycerides)
نوع من أنواع الليبيدات المبني من 3 حوامض دهنية مرتبطة بجزيء جليسيرول. التريجلتسيريدات تشتمل على الدهنيات والزيوت.

تزبيل (organic fertilization)
إضافة زبل عضوي إلى التربة (انظروا أيضًا: عضوي، زبل).

تسميد - انظروا: تسميد كيميائي.

تسميد كيميائي (chemical fertilizer)
أملاح أو مركبات غير عضوية، تزوِّد النبات بعناصر أملاح معدنية ضرورية بالأساس نيتروجين، فوسفور، وبوتاسيوم في حالة ذائبة وقابلة للامتصاص (انظروا أيضًا: زبل عضوي).

تسميد (fertilization)
إضافة سماد كيميائي إلى التربة.

تغذية أملاح معدنية (mineral nutrition)
امتصاص عناصر أملاح معدنية ضرورية من التربة ودمجها في مواد تُبنى في النبات. في التربة الزراعية التي مخزونها الطبيعي في عناصر الأملاح المعدنية غير كافٍ، يجب إضافة عناصر أملاح معدنية بواسطة إضافة أسمدة كيميائية أو زبل عضوي.

تلوث التربة
إصابة التربة بشكل يضر النباتات والكائنات الحية الدقيقة. من بين العوامل التي تؤثر على تلوث التربة: لا توجد مراقبة، أو يوجد استعمال مستمر ومفرط بالأسمدة، بالتزبيل وبمواد كيميائية لمكافحة الآفات الزراعية، تتراكم مواد صلبة، مواد لا تنفَّذ، مطر حامضي. ويمكن أن يحدث التلوث بسبب تراكم أملاح معدنية، معادن ثقيلة وسُموم أخرى، أو بسبب حامضية أو قاعدية التربة.

تنفس خلوي (cellular respiration)
سلسلة عمليات بيوكيميائية في الخلايا، حيث تُستخدم لاستخراج الطاقة في الخلايا. خلالها تتحلل وتتأكسد مركّبات عضوية بسيطة، من خلال اطلاق طاقة. تُستغل الطاقة لبناء جزيئات **ATP** من **ADP** وفوسفات **(Pi)**. يوجد عدة عمليات في التنفس الخلوي: تنفس خلوي هوائي، عمليات تخمر وتنفس خلوي لا هوائي.

تنفس خلوي هوائي (aerobic respiration)
عملية تحليل وتأكسد متعددة المراحل لمركّبات عضوية بسيطة، حيث يكون مستوعب الهيدروجين هو أكسجين حُرّ. هذه العملية هي الأنجع لاستخراج الطاقة: من جزيء واحد جلوكوز، نحصل على طاقة نستغلها لبناء حوالي 30 جزيء **ATP**، حيث تتحلل فيه المركبات العضوية بشكل كامل حتى الحصول على CO_2 وَ H_2O. في الخلايا الحقيقية النواة، يتم التنفس الخلوي الهوائي في الميتوكوندريا.

تنفس خلوي لا هوائي (anaerobic respiration)
عملية نادرة نجدها في قسم من الخلايا غير حقيقية النواة فقط، حيث يتم استخراج الطاقة من تحليل مركّبات عضوية دون وجود أكسجين حُرّ. مراحله تشبه عملية التنفس الخلوي الهوائي، لكن يختلف عنه في مستوعب الهيدروجين الأخير، في النواتج وفي كمية الطاقة القليلة.

ثغور (stoma)
فتحة في نسيج خلايا البشرة في الورقة وفي ساق غير خشبي في النبات، حيث يتم عبرها تبادل الغازات بين النبات والبيئة المحيطة ومن بينها انطلاق بخار الماء (نتح). من كلا طرفَي الفتحة، يوجد خليتان لهما مبنى خاص، نسمِّيهما "خلايا حارسة". عندما تكون الخلايا الحارسة مَليئة بالمَاء، فإنَّ فتحة الثغور تكون مفتوحة.

ثنائية السكر (disaccharides)
مركّبات مبنية من وحدتَيْ أُحادي السكر (مثلًا: سُكروز).

جرلين (ghrelin)
هورمون يُفرز من المعدة إلى تيار الدم عندما تكون المعدة فارغة. وعندما يصل الهيبوثالاموس، فإنه يحثنا على الشعور بالجوع.

جسترين (gastrin)
هورمون يُفرز من الخلايا الموجودة في جدار المعدة إلى تيار الدم. وهو ينظِّم إفراز عصارة المعدة من خلايا أخرى في جدار المعدة وحركة العضلات فيها.

جلوكوز (glucose)
أُحادي سكر صيغته $C_6H_{12}O_6$. يشكِّل مصدرًا أساسيًا لاستخراج الطاقة في خلايا نباتات وحيوانات أثناء عملية التنفس الخلوي. وهو يشكل مادة البناء الأساسية لمتعددات السكريات (مثل: النشا، الجليكوجين والسيلولوز).

جليسيرول (glycerol)
مركّب عضوي ثلاثي الكربون، وهو يشكِّل مكوِّنًا في التريجلتسيريدات وفي الفوسفولبيدات.

جليكوجين (glycogen)
متعدد السكريات مكون من وحدات جلوكوز فقط. يُستخدم مادة إدّخارية في خلايا الحيوانات.

جليكوليزا (glycolysis)
المرحلة الأولى في استخراج الطاقة من الجلوكوز في جميع الكائنات الحية. يتحلل الجلوكوز إلى مركبين، كل واحد منهما مكوَّن من ثلاثة كربونات (حامض الفيروبيك). في عملية الجليكوليزا، تنطلق كمية طاقة قليلة من جزيء الجلوكوز وهي تُستخدم لبناء جزيئان من الـ **ATP**.

جهاز النقل (في النبات) **(vascular system)**
أنسجة نقل في النبات. يوجد نوعان من الأنابيب: خشب ولحاء.
لحاء (phloem) — أنابيب نقل في النباتات، تنقل نواتج التركيب الضوئي من الأوراق إلى سائر أقسام النبتة وأيضًا من أنسجة إدخارية إلى أقسام أخرى في النبات.
خشب (xylem) — أنابيب نقل في النباتات، تنقل ماء وأملاح من الجذر إلى سائر أقسام النبات.

جهاز هضم (digestive System)
جهاز تتحلل فيه موادًا غذائية بمساعدة إنزيمات مختلفة إلى مواد بسيطة، حيث تُمتص في الدم وتُنقل بواسطة الدم إلى جميع خلايا الجسم. الجهاز مبني من أنبوب وأعضاء ترافقه.

جوع (famine, hunger)
- نقص في الغذاء لمدة زمنية معينة، وفي حالات كثيرة يؤدي إلى ظواهر سوء تغذية.
- شعور يدفع الكائن الحي أن يبحث عن غذاء ويستهلكه (انظروا أيضًا: مركز الجوع والشبع).

حامل هيدروجين (hydrogen carriers)
مركّبات عضوية تميل إلى الارتباط بالهيدروجين وإلى إطلاقه وفقًا لميل مواد أخرى أن تخسر لها هيدروجين أو تربح منها هيدروجين. تخسر هيدروجين في مراحل مختلفة من عملية الجليكوليزا والتنفس الخلوي **(NAD)** والتركيب الضوئي **(NADP)**.

حبوبيات (نجيليات) **(cereals, grains, Poaceae)**
عائلة نباتات تشتمل أيضًا على الأرز، القمح، الشعير والذرة. في التغذية، يتطرق المصطلح إلى مُنْتَجات مصنوعة من بذور نباتات من عائلة الحبوبيات، مثل: المعكرونة، مُنْتَجات خُبْز مختلفة وحبوبيات الصباح. وهي المصدر المهم للكربوهيدرات المعقدة.

حقيقية النواة، خلية، كائن حي (eukaryote) (باليونانية: *eu* = حقيقي; *karyon* = نواة).
كائن حي أحادي الخلية، أو متعدد الخلايا، في خلاياها نواة محاطة بغشاء. في خلايا حقيقية النواة، يوجد في هذه الخلايا عضيات إضافية محاطة بغشاء. (انظروا أيضًا: غير حقيقية النواة).

حوامض أمينية (amino acid)
وحدات بناء أساسية للبروتينات. مركّبات نيتروجينية تشتمل على ذرة كربون ترتبط بذرة هيدروجين، بمجموعة كربوكسيلية **(COOH)**، بمجموعة أمينية **(NH_2)**، وبسلسلة جانبية تُميِّز كل حامض أميني، حيث يشار إليها بالحرف **R**.

حوامض دهنية (fatty acid)
وحدات بناء أساسية لمعظم الليبيدات. مركّبات مبنية من ذرات كربون، هيدروجين وأكسجين. تختلف الحوامض الدهنية عن بعضها في عدد ذرات الكربون وفي النسبة بين عدد ذرات الهيدروجين وعدد ذرات الكربون. وهي تشكّل مكون للتريجلتسيريدات.

حيوانات مجترة (ruminants)
مجموعة حيوانات (مثل: الظباء، الأبقار، الماعز)، تبتلع غذاء مُضغ بشكل جزئي، وفيما بعد ترفعه إلى الفم، ثم تمضغه مرةً أخرى وتبتلعه من جديد لإكمال عملية الهضم (اجترار). تستطيع هذه الحيوانات أن تستغل موادًا غذائية مبنية من ألياف غنية بالسيلولوز وفقيرة بالبروتينات بفضل المشاركة مع عشيرة كبيرة ومتنوعة من الكائنات الحيّة الدقيقة، وبفضل نظام أقسام الهضم الخاص.

خشب — انظروا أيضًا: جهاز النقل.

دورة كريبس (krebs cycle)
مسار دائري لعمليات تشكّل قسمًا مركزيًا من عملية التنفس الخلوي الهوائي والعمليات الأيضية للمواد الغذائية بشكل عام. خلال الدورة، تتأكسد نواتج تحليل الغذاء وينطلق ثاني أكسيد الكربون. تتم هذه الدورة في الميتوكوندريا في قسم يقع داخل الغشاء. سُمِّيت هذه الدورة على اسم العالِم الذي اكتشفها.

دورة كلفن (calvin cycle)
مسار دائري لعمليات تؤدي إلى تثبيت ثاني أكسيد الكربون إلى كربوهيدرات في عملية التركيب الضوئي. تتم في الستروما الموجودة في الكلوروبلاستيدات. سُمِّيت هذه الدورة على اسم العالِم الذي اكتشفها.

زبل عضوي (organic fertilizer)
مركّبات عضوية مصدرها من بقايا النباتات وروث الحيوانات. يتحلل الزبل العضوي تدريجيًا ويُطلق عناصر أملاح معدنية إلى التربة. يُستعمل الزبل العضوي على الأغلب لتجويد التربة (انظروا أيضًا: تزبيل، سماد كيميائي).

زراعة عضوية (organic farming)
طريقة إنتاج زراعية، لا يستعملون فيها أدوية وهورمونات لتنمية حيوانات، كما لا يستعملون أسمدة كيميائية ومواد كيميائية لمكافحة الآفات الزراعية في تنمية النباتات. في الزراعة العضوية، يتم تجويد وتغذية التربة بواسطة كومبوست، زبل عضوي ودورة البذور (المزروعات).

سكريات — انظروا أيضًا: كربوهيدرات.

سكري (diabetes)
مرض يتميز بالأساس بتركيز جلوكوز عالي في الدم. وهو يحدث بسبب نقص في إفراز الإنسولين (سكري من نوع 1 - سكري الشباب)، أو بسبب رد فعل منخفض لخلايا الهدف للإنسولين (سكري من نوع 2).

شعيرات ماصة (root hairs)
امتدادات طويلة تخرج من خلايا البشرة في الجذور الحديثة السن، حيث يتم عبرها معظم استيعاب الماء وعناصر الأملاح المعدنية من التربة إلى النبات. عدد الشعيرات الماصة التي تنمو من جذر واحد هو كبير جدًا، وهكذا تكبر مساحة التلامس بين الجذور والتربة.

لا أحيائي، عامل (abiotic factor)
مكوِّن لا أحيائي في البيئة المحيطة، مثل: درجة الحرارة، الماء، الضوء، التربة ومواد تغذية غير عضوية.

هوائي، عملية، كائن حي **(aerobic, process, organism)**
عملية تتم فقط بوجود أكسجين جزيئي في الهواء، أو أكسجين مذاب في الماء. كائن حي يستطيع العيش بوجود أكسجين فقط (انظروا أيضًا: لا هوائي).

كائن حي ذاتي التغذية (autotroph, organism) (باليونانية: *autos* = ذاتي; *trophe* = غذاء)
كائن حي يتغذى على مركّبات عضويه يُنْتجها بذاته من مركّبات غير عضوية بسيطة، مثل: H_2O, CO_2 وأملاح معدنية مختلفة من خلال استغلال طاقة من البيئة المحيطة (مثلًا: طاقة ضوء الشمس) في عملية التركيب الضوئي أو التركيب الكيميائي (مثال لكائن حي ذاتي التغذية: النبات الأخضر). الكائنات الحية الذاتية التغذية هي مجموعة المُنْتِجات في الهرم البيئي (انظروا أيضًا: ذاتي التغذية).

مادة عضوية (organic compound)
مركّب مبني من ذرات كربون وهيدروجين وفي معظم الحالات من أكسجين أيضًا. أحيانًا يحتوي المركّب على ذرات إضافية أيضًا (مثل: النيتروجين، الفوسفور، أو الكبريت). في الطبيعة، تَنْتُج المواد العضوية بواسطة كائنات حية. تُستعمل المركبات العضوية في الكائنات الحية لبناء أنسجتها ولاستخراج الطاقة (مثل: السكريات، البروتينات، الدهنيات، حوامض النواة).

غذاء عضوي (organic food)
غذاء نُمي بطرق زراعية عضوية، وهذا يعني دون استعمال مواد لمكافحة الآفات الزراعية ودون استعمال سماد كيميائي. في مُنْتَجات الغذاء العضوي، لا تُستعمل مواد حافظة، أصباغ طعام، أو إضافات اصطناعية أخرى.

مادة غير عضوية (inorganic compound)
كل مادة موجودة في الطبيعة وليست مناسبة لتعريف المادة العضوية (مثل: الماء، ثاني أكسيد الكربون وأملاح معدنية مختلفة).

عضو إدّخار **(storage organ)**
عضو في النبات، يتم فيه تخزين مواد. مثل: البصل، الدرنة، البذرة، الثمرة.

لا هوائي، كائن حي، عملية (anaerobic, organism, process)
كائن حي يعيش في بيئة محيطة ينقصها أكسجين، أو عملية تتم في بيئة محيطة ينقصها أكسجين.

فقدان الشهية العصبي (Anorexia nervosa)
اضطراب في تناول الطعام بسبب التجويع الذاتي. تتميَّز في الانخفاض بالوزن، وفيها جانب فسيولوجي ونفسي (انظروا أيضًا: شره الشهية العصبي).

طاقة (energy) (باليونانية: *en* = بشدة; *ergon* = عمل)
صفة مادة، نظام أو جسم وهي تعبِّر عن قدرتها أن تؤدي إلى تغيير، تنفيذ عمل أو نقل حرارة. يمكن أن تظهر الطاقة بأشكال مختلفة، مثل: طاقة حرارية، طاقة كيميائية وطاقة ضوئية. في ظروف معينة، يتحول شكل معين من الطاقة إلى شكل آخر.

طاقة كيميائية (chemical energy)
الطاقة الكامنة في المواد. عندما يحدث تغيير في مبنى الجزيئات، فإنَّ الطاقة الكيميائية يمكن أن تُنقل بين المواد، أو تتحوَّل إلى أشكال أخرى. هذا هو شكل الطاقة الأساسية التي تُستعمل في عمليات الحياة.

خلايا البشرة (epidermis)
طبقة الخلايا الخارجية التي تُحيط وتغطي أعضاء النبات أو الحيوان.

شره الشهية العصي (Bulimia nervosa)
اضطراب في تناول الطعام وهو يتميَّز في نوبات تناول طعام فيها تُستهلك كميات كبيرة جدًا من الغذاء. يرافقها عادةً تقيؤ مقصود، لكي يمنع من ارتفاع الوزن (انظروا أيضًا: فقدان الشهية العصي).

عامل محدد (limiting factor)
عامل معين يؤثر على وتيرة عملية. إذا كان العامل موجودًا بنسبة غير مثالية، فإنه يحدد وتيرة العملية وزيادة نسبته تؤدي إلى ازدياد وتيرة العملية.

وصفة غذائية (حمية) (diet)
مصطلح عام يتطرق إلى مكوِّنات طعام الإنسان.
وصفة غذائية قليلة الطاقة (حمية لتخفيف الوزن) (Low calorie diet)
تخطيط وصفة غذائية بحسب مبدأ إنتاج توازن طاقة سالب، بحيث يهدف إلى تخفيض وزن الجسم.

نتح (transpiration)
تبخر ماء من النبات، يتم بالأساس عبر ثغور الورقة. يوجد تأثير كبير لنسبة النتح على توازن مياه النبات.

هورمونات (hormones)
مواد تُنْتَج في خلايا غدة، في قسم معين في الجسم، وتُفرز إلى السائل الموجود بين الخلايا و/أو إلى أجهزة النقل، وتُنقل بواسطتها وتؤثر على نشاط خلايا أو أعضاء في أقسام أخرى في الجسم. تُتيح نقل معلومات بين خلايا الجسم وتؤثر على تنظيم نشاطات مختلفة في الجسم والتنسيق بينها. الهورمونات موجودة في النباتات والحيوانات (انظروا أيضًا: انسولين، جريلين، جسترين، لبتين، كولسيستوكينين، سكرتين).

كائن حي غير ذاتي التغذية (heterotroph, organism) (باليونانية: *hetero* = يختلف; *trophe* = غذاء)
كائن حي يتغذى من مركّبات عضوية جاهزة وهو غير قادر على إنتاجها بشكل ذاتي من مركّبات غير عضوية. كل الحيوانات، الفطريات ومعظم البكتيريا هي غير ذاتية التغذية. فهي تشكّل المستهلكات والمحلِّلات في النظام البيئي (انظروا أيضًا: ذاتي التغذية، كائنات حية).

هيبوثالاموس (hypothalamus)
منطقة في مخ حيوانات فقريات، حيث تُشرف هذه المنطقة على نشاطات كثيرة، بالأساس التي تشترك في الاتزان البدني، من بينها: الحفاظ على درجة حرارة الجسم، الحفاظ على تركيز أيونات الهيدروجين في الدم وتنظيم استهلاك الغذاء.

نقل غير فعَّال (passive transport)
انتقال مواد عبر غشاء الخلية، من مكان فيه تركيز عالٍ إلى مكان فيه تركيز منخفض (بحسب منحدر التراكيز). هذه العملية، لا تحتاج طاقة.

نقل فعَّال (active transport)
نقل مواد عبر غشاء الخلية، من مكان فيه تركيز منخفض إلى مكان فيه تركيز عالٍ (بحسب عكس منحدر التراكيز). هذه العملية، تحتاج طاقة وتُتيح تراكم أيونات معينة داخل الخلية وإفراز أيونات أخرى من الخلية. تتم بواسطة حاملات خاصة.

فيتامينات (vitamins)
مركّبات عضوية تحتاجها الحيوانات بكميات ضئيلة جدًا لتنفيذ نشاطات أيضية سليمة، لكن عادةً، لا تستطيع الحيوانات إنتاجها بذاتها وهي تحصل عليها في غذائها.

مريء (esophagus)
مقطع قصير في الجهاز الهضمي شكله أنبوبي، يستوعب الغذاء الذي يُبتلع في الفم ويمرره إلى المعدة.

فسفرة — (phosphorylation)
نقل فوسفات إلى مركب عضوي. في حالات كثيرة، يساهم الـ **ATP** في الفوسفات في هذه العملية.
فسفرة تأكسد (oxidative phosphorylation)
إضافة وحدة فوسفات إلى الـ **ADP** بواسطة طاقة مصدرها من تفاعلات تأكسد اختزال (مثلًا: بناء الـ **ATP** بشكل مرافق لانتقال الإلكترونات في التنفس الخلوي الهوائي).

فوسفات (phosphate)
اسم عام للأيونين HPO_4^{-2} وَ PO_4^{-3}. تشترك هذه الأيونات في عمليات ترافق انتقال الطاقة في الخلية. نستعمل عادةً الرمز **Pi** لإبراز الفوسفات في تسجيل العمليات التي يشترك فيها هذا الأيون (انظروا أيضًا: فسفرة).

مادة عضوية — انظروا أيضًا: عضوي، مادة.

مادة غير عضوية — انظروا أيضًا: غير عضوي، مادة.

مادة إدّخارية (storage substance)
تخزين مركّبات في كائنات حية، تُستخدم أثناء الحاجة كمصدر للمواد والطاقة (مثل: الزيوت، الجليكوجين والنشا).

عمليات أيضية (metabolism) (باليونانية: *metabole* = تغيير، تبادل)
جميع العمليات الكيميائية التي تحدث في الخلايا. تشتمل هذه الخلايا أيضًا على تحليل مركّبات عضوية معقدة إلى مركّبات بسيطة. ترافق العمليات الأيضية اطلاق و / أو بذل طاقة.

عمليات أيضية أساسية (**B**asic **M**etabolic **R**ate)

أحد مكوِّنات استغلال الطاقة في الجسم. وهو معرَّف ككمية الطاقة المطلوبة لاحتياجات الجسم في حالة الراحة، للحفاظ على الاتزان البدني. وهذا يعني حدوث عمليات بيوكيميائية في كل خلية وخلية، تبادل غازات، تفعيل الدورة الدموية، شد العضلات ونشاطات لا إرادية إضافية.

مُنْتِج - انظروا أيضًا: ذاتي التغذية، كائن حي.

كبد (liver)

عضو كبير ومركزي في الحيوانات الفقارية الذي يَنْتُج فيه جليكوجين عصارة المرارة، ، بروتينات كثيرة تُفرز إلى الدم، كما تُخزَّن فيه فيتامينات ويتحلل فيه قسم من المواد السامة في الجسم.

كولسترول (cholesterol)

مادة دهنية موجودة في الحيوانات فقط. يُستعمل كمادة خام لإنتاج هورمونات، ستروئيدات وأملاح المرارة، وهو يشكل مكونًا مهمًا في غشاء الخلية. يوجد علاقة بين مستوى الكولسترول العالي في الدم وبين تصلب الأوعية الدموية وخطر الإصابة بنوبة قلبية.

كولسيستوكنين (cholecystokinin) (CCK)

هورمون يُفرز من الأثنى عشر إلى تيار الدم كرد فعل لوصول الغذاء إلى الأمعاء. يؤدي إلى إفراز عصارات الهضم واغلاق عضلة البواب بين المعدة والأثنى عشر. إضافةً إلى تأثيره في مكان معين، عندما يصل كولسيستوكنين مع تيار الدم إلى الهيبوثالاموس، فإنه يحثنا على الشعور بالشبع.

كيس المرارة (gall bladder)

عضو يخزِّن سائل المرارة الذي يفرزه الكبد، وهو يركِّزه ويفرزه إلى الجهاز الهضمي.

كلوروفيل (chlorophyll)

صبغية خضراء، تبتلع أمواج ضوئية، بالأساس في المجال الأزرق والأحمر. يؤدي استيعاب الطاقة الضوئية إلى تغيُّر كيميائي في الجزيء (إطلاق إلكترون) الذي يحرك عملية التركيب الضوئي.

كلوروبلاستيد (chloroplast)

عضي موجود في خلايا النباتات (في الأجزاء الخضراء) والطحالب وفيه تتم عملية التركيب الضوئي. يحتوي على كلوروفيل، إنزيمات وحاملات مطلوبة لتنفيذ العملية. يوجد فيه مبانٍ غشائية تُنْتِج قسمين، حيث تتم في كل قسم، مرحلة أخرى لعملية التركيب الضوئي.

كرش (rumen)

القسم الأول والأكبر في نظام الأقسام في الحيوانات المجترة، حيث يتم فيه العجن الأول للغذاء، وبعد ذلك، يرتفع الغذاء للمضغ مرة ثانية في الفم. يتم في الكرش بالأساس نشاط الكائنات الحية الدقيقة.

ليباز (lipase)

اسم عام للإنزيمات التي تحلِّل دهنيات في الجهاز الهضمي.

ليبتين (leptin)
هورمون تُفرزه خلايا دهنية إلى تيار الدم. يُنْتَج بنسبة طردية لكتلة الدهنيات ومحتويات التريجلتسيريدات في هذه الخلايا. عندما يصل الهيبوثالاموس فإنه يحثنا على الشعور بالشبع. اللبتين له علاقة بمراقبة استهلاك الغذاء لمدة زمنية طويلة.

ليبيدات (lipids)
مجموعة مواد عضوية لا تذوب في الماء. معظمها مبنية من سلاسل أو حلقات ذرات كربون وهيدروجين. المجموعات الأساسية هي: تريجلتسيريدات، فوسفوليبيدات وستيروئيدات. تُستعمل الليبيدات كمصدر طاقة أيضًا، مادة إدخارية، مادة حماية وعزل ومادة بناء أساسية لأغشية الخلايا والعضيات.

ليزوزيم - انظروا أيضًا: ابتلاع.

موازنة الطاقة (energy balance)
موازنة الطاقة في الجسم هي النسبة بين كمية الطاقة المستوعبة من الغذاء وبين كمية الطاقة التي يستغلها الجسم.
موازنة طاقة موجبة — حالة فيها كمية الطاقة المستوعبة من الغذاء أعلى من كمية الطاقة التي يستغلها الجسم. مع مرور الوقت، قد تؤدي هذه الحالة إلى البدانة.
موازنة طاقة سالبة — حالة فيها كمية الطاقة المستوعبة من الغذاء أقل من كمية الطاقة التي يستغلها الجسم. مع مرور الوقت، قد تؤدي هذه الحالة إلى انخفاض الوزن.

غذاء عضوي - انظروا أيضًا: عضوي، غذاء.

غذاء غليظ (خشن) (forage)
غذاء للحيوانات المجترة وهو يحتوي على نسبة عالية من السيلولوز.

غذاء مركَّز (concentrate food)
غذاء للحيوانات المجترة وهو يحتوي على نسبة عالية من البروتين، الدهنيات، وكربوهيدرات سهلة الهضم ويحتوي على نسبة قليلة من الألياف (السيلولوز).

مُختَزِل، مادة (reductant)
مادة تميل إلى خسارة إلكترونات أو هيدروجين إلى مادة أخرى (انظروا أيضًا: تأكسد - اختزال).

مؤكسد، مادة (oxidant)
مادة تميل إلى ربح إلكترونات أو هيدروجين من مادة أخرى (انظروا أيضًا: تأكسد - اختزال).

مرض النقص (deficiency disease)
مرض يحدث بسبب تغذية غير صحية في أعقاب نقص مكوِّن غذاء واحد، مثل: فيتامين، أو ملح معدني معين ضروري للأداء السليم للجسم (انظروا أيضًا: عوارض النقص).

ميتوكوندريا (mitochondrion, mitochondria)
عُضي داخل الخلية في الخلايا الحقيقية النواة، حيث تتم فيها عمليات التنفس الخلوي الهوائي. الميتوكوندريا محاطة بغشاء مزدوج يقسِّم العضية إلى أقسام. تتم مراحل التنفس الخلوي المختلفة في أقسام مختلفة على سطح الأغشية.

عصارات الهضم (digestive fluids)
محاليل تُفرز من جميع أقسام الجهاز الهضمي (أنبوب الهضم والأعضاء المرافقة له) وهي تحتوي على مواد تشترك في عمليات الهضم. تشتمل المحاليل على ماء، إنزيمات هضم، مواد تنظم الـ **pH** ومواد إضافية.

مرارة - انظروا أيضًا: أملاح المرارة.

مركز الجوع ومركز الشبع (satiety center, hunger center)
مراكز للمراقبة موجودة في الهيبوثالاموس في المخ. تُشرف للمدى القصير على استهلاك الغذاء ووتيرة العمليات الأيضية، أما للمدى الطويل فهي تعمل على تنظيم البناء واستغلال مخازن الجسم.

مردودية (تغذية مرتدة)، آلية (feedback mechanism)
في هذه الآلية، تُنظِّم نتائج العملية مراحل سابقة لنفس العملية.
مردودية موجبة — يؤدي ارتفاع نتيجة العملية إلى ازدياد العملية.
مردودية سالبة — يؤدي ارتفاع نتيجة العملية إلى تثبيط (إعاقة) العملية.

مشاركة (سيمبيوزا) (symbiosis) (باليونانية: *sym* = معًا؛ *bios* = حياة)
حياة مشاركة بين نوعين (species)، حيث توجد بينهما علاقة وطيدة تستمر مدة زمنية طويلة، مثل: تطفل، تكافل (تعايش). وأحيانًا لا يستطيع النوعان العيش بشكل مستقل.

مشاركة من نوع تكافل (mutualism)
حياة مشاركة بين نوعين، فيها يجني النوعان فائدة من هذه المشاركة (مثلًا: الحيوانات المجترة والكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في كرشها، الإنسان والكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في الأمعاء الغليظة).

عوارض (علامات) النقص (mineral deficiency symptoms)
عوارض مرض في النبات، مثل: داء الإخضرار والبقع النخرية. وهي تميِّز نقصًا في عناصر أملاح معدنية ضرورية. عوارض النقص متعلقة بنشاط الأملاح المعدنية في النبات. وفقًا للعوارض يُكمل المزارع النقص بواسطة التسميد أو التزبيل (انظروا أيضًا: مرض النقص).

خَملات (villi)
بروز تشبه الأصابع، تخرج من مساحة السطح الداخلي للأمعاء الدقيقة وهي تبرز باتجاه فراغ الأمعاء. سطح الخَملات مغلَّف بخلايا طلائية من ثلاثة أنواع: خلايا امتصاص، خلايا تُفرز مخاط وخلايا تُفرز إنزيمات. تساهم الخَملات في تكبير مساحة السطح الخارجي للأمعاء بشكل ملحوظ، وهكذا تزيد من نجاعة عملية الامتصاص بشكل كبير جدًا.

خَملات دقيقة (microvilli)
طيات تشبه الأصابع في غشاء خلايا الامتصاص التي تغلِّف الخَملات في الأمعاء الدقيقة. تساهم الخَملات الدقيقة في تكبير مساحة السطح الخارجي للأمعاء بشكل ملحوظ، وهكذا تزيد من نجاعة عملية الامتصاص بشكل كبير جدًا.

طيف (spectrum)
مجال أطوال أمواج في مجال معين (مثلًا: طيف الضوء المرئي، هو مجال أطوال الأمواج التي تراها عين الإنسان).

طيف الابتلاع (absorption spectrum)
جميع أطوال أمواج الضوء التي يتم ابتلاعها بواسطة مادة معينة (مثلًا: يشتمل طيف ابتلاع الكلوروفيل على الضوء الأحمر والضوء الأزرق).

طيف النشاط (action spectrum)
جميع أطوال أمواج الضوء التي تؤدي إلى نشاط معين (مثلًا: يشتمل طيف نشاط عملية التركيب الضوئي بالأساس على الضوء الأحمر والضوء الأزرق).

سكرتين (secretin)
هورمون يُفرز إلى تيار الدم من خلايا في جدار الإثنى عشر كرد فعل لتلامس معجون الغذاء الحامضي الذي يصل من المعدة. وهو يؤدي إلى إفراز بيكربونات من البنكرياس إلى الإثنى عشر وهكذا يؤدي إلى تعادل الـ **pH** الحامضي في الأثنى عشر.

عميلاز (amylase)
إنزيم يحلِّل متعدد سكريات (نشا جليكوجين) إلى سلاسل قصيرة مكونة من وحدات جلوكوز حتى ثنائي السكر مالتوز.

نشا (starch)
متعدد سكريات مبني من جزيئات كثيرة من الجلوكوز. وهو يُستخدم كمادة إدخارية أساسية في النبات.

كربوهيدرات (carbohydrates)
مركبات عضوية مبنية من كربون، هيدروجين وأكسجين، صيغتها العامة $C_x(H_2O)_y$. تشتمل الكربوهيدرات على أحادي السكر مثل الجلوكوز، ثنائي السكر مثل السكروز ومتعدد السكريات، مثل: السيلولوز والنشا. تُستعمل الكربوهيدرات كمصدر طاقة أساسي للخلايا وكمصدر لمواد البناء.

هرم غذائي (nutrition pyramid)
تعبير بياني للتغذية الموصى بها، وهو يصف المجموعات الغذائية والكميات النسبية التي يجب استهلاكها.

صبغية (pigment)
مادة كيميائية قادرة على "ابتلاع" أمواج ضوئية في مجال أطوال أمواج معينة. تنعكس أمواج الضوء التي لا يتم ابتلاعها وهي تُكسب الصبغيات لونها. الكلوروفيل، على سبيل المثال، هو صبغية.

سيلولاز (cellulase)
إنزيم يحلِّل سيلولوز. غير موجود في الجهاز الهضمي عند الإنسان والحيوانات المتطورة. تُنْتِجه كائنات حية دقيقة في كرش الحيوانات المجترة.

نباتات CAM (**C**rassulacean **A**cid **M**etabolism plants)
نباتات ملائمة لظروف الجفاف، فيها تُفتح الثغور لاستيعاب CO_2 في الليل، وهكذا تقل نسبة عملية النتح في الليل. عند استيعاب CO_2، فإنه يرتبط بمركّب مؤقت وفي النهار ينطلق ويشترك في عملية التركيب الضوئي في الوقت الذي تكون فيه الثغور مغلقة.

كوتيكولا (cuticle)
طبقة دقيقة وشفافة مبنية من مركّبات دهنية (شمع)، وهي تغطي الأجزاء العلوية للنبات التي تقع فوق سطح التربة وتحميها من تطاير الماء ومن دخول مسببات أمراض. خلايا البشرة هي التي تُفرز الكوتيكولا.

كومبوست (compost)
زبل عضوي ناتج من تحليل بقايا مواد عضوية بواسطة بكتيريا، حشرات فطريات ودودة الأرض خلال عملية هوائية. الكومبوست يزود التربة بعناصر الأملاح المعدنية ويجود التربة. استعماله يقلل من استعمال أسمدة كيميائية.

معدة (stomach)
عضو مرن وعضلي يشبه الكيس، يشكِّل أحد مكوِّنات الجهاز الهضمي في الإنسان وفي معظم الحيوانات المتعددة الخلايا. يستمر في المعدة التحليل الآلي للغذاء ويتحلل قسم كبير من البروتينات. في الحيوانات المجترة، يوجد أربعة أقسام، حيث تتم فيها عمليات هضم معقدة، قسم منها بواسطة كائنات حية دقيقة (انظروا أيضًا: كرش).

كلوري (سعرة حرارية) (**calorie**)
وحدة قياس طاقة، تُستعمل في سياق الغذاء، الوصفة الغذئية (الحمية) والنشاط الجسماني. الكلوري هي كمية الطاقة المطلوبة لرفع درجة حرارة غرام واحد من الماء بدرجة مئوية واحدة. نستعمل عادةً وحدة أكبر بـ 1,000 ضعف نسمِّيها كيلوكلوري ونرمز لها **Kcal**.

متعددة السكريات (polysaccharides)
سكريات مكوَّنة من وحدات كثيرة لأحادي السكر المرتبطة ببعضها بسلسلة (مثل: جليكوجين، نشا، سيلولوز).

لُعاب (saliva)
محلول يُفرز في الفم من غدد موجودة في الفم. مكوَّن من 98% ماء، بروتينات (من بينها إنزيمات) وأملاح. يُتيح إذابة الغذاء ويساعد في تحليله الآلي والكيميائي.

مكوِّنات الغذاء (nutrient)
المواد الضرورية الموجودة في الغذاء، للأداء السليم للكائن الحي (كربوهيدرات، ليبيدات، بروتينات، أملاح معدنية، فيتامينات ماء).

نسيج اسفنجي (spongy tissue/ layer)
نسيج في ورقة النبات، خلاياه تحتوي على كلوروبلاستيدات كثيرة، تتم عملية التركيب الضوئي. اشتُق اسم النسيج من تنظيم الخلايا في النسيج الذي يشبه مبنى الإسفنج، حيث يوجد فراغات كثيرة بين الخلايا.

نسيج أعمدة (palisade tissue/ layer)
نسيج في ورقة النبات، خلاياه تحتوي على كلوروبلاستيدات كثيرة، تتم فيها عملية التركيب الضوئي. اشتُق اسم النسيج من شكل الخلايا المستطيلة التي تبدو كالأعمدة ويوجد بينها فراغات هواء كثيرة.

شبع - انظروا أيضًا: مركز الجوع ومركز الشبع.

دهنيات (fats)
تريجلتسيريدات (نوع من الليبيدات) تحتوي على نسبة عالية من الحوامض الدهنية المشبعة. مصدر الدهنيات عادةً من الحيوانات. تُستعمل كمواد إدخارية أساسية في الحيوانات وفي قسم من النباتات.

لحاء - انظروا أيضًا: جهاز النقل.

مرحلة تثبيت ثاني أكسيد الكربون (CO_2 fixation)
المرحلة الثانية في عملية التركيب الضوئي، في هذه المرحلة، يتم تثبيت ثاني أكسيد الكربون في مركب عضوي، من خلال استغلال الـ **ATP** ومادة مختزلة تَنْتُج في مرحلة استيعاب الضوء.

مرحلة استيعاب الضوء (light reactions)
المرحلة الأولى في عملية التركيب الضوئي، في هذه المرحلة، تُستوعب الطاقة الضوئية بواسطة جزيء كلوروفيل وتتحول إلى طاقة كيميائية. تُستغل الطاقة لتحليل جزيء ماء (من خلال اطلاق أكسجين) ولبناء **ATP وحامل هيدروجين** مختزل **(NADPH)**، حيث تُستعمل هذه المواد في مرحلة تثبيت ثاني أكسيد الكربون.

تنشيط (activation)
عملية تسبق حدوث تفاعلات كيميائية كثيرة، حيث تُبذل فيها الطاقة المطلوبة لحدوث التفاعل. يتم التعبير عن التنشيط من خلال تهييج (إثارة) الثبات الكيميائي للجزيئات التي تشترك في التفاعل. في حالات كثيرة، يتم بواسطة نقل مجموعة فوسفات.

يوريا (urea)
مركّب عضوي يَنْتُج في الكبد (في الثدييات). يَنْتُج اليوريا من الآمونيا التي تَنْتُج من تحليل الحوامض الأمينية والتي تشكل مادة سامة للجسم. اليوريا هو مكون أساسي في البول. تستغل الكائنات الحية الدقيقة، التي تعيش في كرش الحيوانات المجترة، الآمونيا واليوريا التي مصدرها من الحيوانات المجترة لبناء بروتينات الجسم.

خلايا امتصاص (epithelial absorption cells)
خلايا طلائية تقع على سطح الخَملات في الأمعاء الدقيقة. في هذه الخلايا، يتم استيعاب نواتج تحليل الغذاء.

سيلولوز (cellulose)
متعدد السكريات، مبني من وحدات جلوكوز وهو مكوِّن أساسي في جدار خلايا النبات. لا تستطيع معظم الكائنات الحية أن تهضم السيلولوز، لكن الحيوانات المجترة والأرَضة تستطيع أن تستغل نواتج تحليله بفضل نشاطات كائنات حية دقيقة في معدتها.

تغذية موزونة (balanced nutrition)
تشكيلة غذاء تزوِّد الجسم بجميع مكوِّنات الغذاء بالكميات المطلوبة لاحتياجات الجسم.

حركة بريستالتية (peristaltic movement)
حركة انقباض وارتخاء عضلات حلقية موجودة في جدار أنبوب الهضم. تتقدم الحركة كموجة على طول الأنبوب وتدفع الغذاء إلى الأمام.

تخمر (fermentation)
إحدى عمليات استخراج الطاقة في الكائنات الحية من خلال تحليل كربوهيدرات. تتم عملية التخمر في ظروف لا هوائية (دون أكسجين) وكمية الطاقة الناتجة قليلة (جزيئان **ATP** من كل جزيء جلوكوز). يوجد عمليات تخمر مختلفة وهي تتميَّز بنواتج مختلفة، مثل: الايثانول وحامض الحليب. الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في كرش الحيوانات المجترة، تستخرج الطاقة بعملية تخمر خاصة نواتجها حوامض دهنية متطايرة، ثاني أكسيد الكربون وميثان وهي تُفرز إلى فضاء الكرش. تُمتص الحوامض الدهنية إلى دم الحيوانات المجترة وتُستغل لاحتياجاتها.

الإثنى عشر (duodenum)
القسم الأول من الأمعاء الدقيقة، سُمِّي الأثنى عشر لأن طوله يساوي عرض اثنى عشر (12) إصبعًا. في الإثنى عشر، يتم تحليل كيميائي للكربوهيدرات، بروتينات بواسطة إنزيمات وبمساعدة مواد تُفرز من الكبد، البنكرياس ومن خلايا في مخاط الأثنى عشر.

سوء التغذية (malnutrition)
وضع صحي ناجم من تغذية لا تزوِّد الجسم بجميع المكونات المطلوبة، أو أنها تزوِّدها، لكن ليس بكميات كافية لأدائه السليم. يمكن أن يحدث في أعقاب نقص واسع في مصادر الطاقة والبروتينات، أو في أعقاب نقص في مكوِّن ضروري واحد مثل فيتامين أو ملح معدني.

ATP (أدنوزين ثلاثي الفوسفات) (Adenozin Triphosphate)
مركب عضوي يقوم بوساطة بين عمليات تُطلق طاقة في الخلية وبين عمليات تستهلك طاقة. سُمِّي "قطعة نقدية للطاقة". من الناحية الكيميائية، هو نوكلوئوتيد مبني من أدنين (قاعدة نيتروجينية)، ريبوز (سكر أحادي) ومن ثلاث وحدات فوسفات (انظروا أيضًا: تنفس خلوي هوائي).

BMI (Body Mass Index)
مقياس مؤشر إلى تقييم وزن الجسم السليم. حيث يتم حسابه بحسب معطيات الطول والوزن.

NAD (Nicotinamide Adenine Dinucleotide)
مركب يُستعمل كحامل هيدروجين في التنفس الخلوي. في الحالة المختزلة (عندما يكون مرتبط بهيدروجين)، نرمز له **NADH** (انظروا أيضًا: حامل هيدروجين).

دليل المصطلحات

أ

ابتلاع 98, 116

اتزان بدني 10, 19, 53, 54, 93, 140, 149, 150, 155, 171

اجترار 116, 117

أحادية السكر 18-19, 118, 119-120, 122

استخراج طاقة 112-113, 119, 134, 140-157

اضطرابات في تناول الطعام 196-197

انخفاض في الوزن (تنحيف) 169, 195-196

ألياف (غذائية) 23, 110, 118, 122, 125, 177-178,127, 194

أستيل كوإنزيم A انظروا أيضًا: كوإنزيم A

أقسام هضم انظروا أيضًا: كرش، جهاز هضم، حيوانات مجترة,

أكسجين (O_2) 46, 47, 51, 58, 62, 140, 144, 150, 158, 160

أكتين 139

ايثانول 151, 157

إنزيمات هضم 92, 94, 95, 100, 103, 104, 105, 108, 117, 118

إشارات هورمونالية 172-173

إشارات عصبية 172, 173

إنسولين 103, 111, 173, 191, 193-194

ألبومين 29, 30, 32, 110

أمونيا(NH_3) 48, 111, 121, 122, 127

اندوسبيرم 177

إنزيمات، عوامل تؤثر على النشاط 72, 100

امتصاص

- امتصاص غذاء في *الإنسان:* 100, 106, 107, 108-110, 189; في *الحيوان المجتر:* 116, 117, 118, 121, 122

- امتصاص ماء في *الإنسان:* 107, 108, 110; في *الحيوان المجتر:* 118, 122

أملاح معدنية / أملاح 11, 38-40, 74-76, 77, 79, 80, 107, 111, 118, 177, 204-205

- نقص وفائض 75, 76, 77, 84, 204-205

- استيعاب 84, 85, 138-139

استهلاك غذاء 171-175

إخراج 94, 107

أمراض نقص 189, 202, 205

أمراض قلب وأوعية دموية 193

آليات التغذية المرتدة (مردودية) 93

إسهال 108, 109

أسنان 96, 98, 116

استيعاب الضوء

- ملاءمة لـ 51-52

- مرحلة 60-62

أدنوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) 13,47, 60, 84, 134, 135-140, 141, 144-146, 147, 148, 149, 157

انتشار (ديفوزيا) 62, 84, 107

أومجا 3, 6 26, 194

اسموزا 84, 107

ب

بشرة 52, 54, 83

بري بري 33

بيوت تنمية 73

بناء مواد معقدة 138

بيووقود/ بيو غاز 68, 156, 157

بيكربونات 103, 105

بدانة 12, 169, 170, 181, 189-192

بذرة/بذور 22, 126, 127, 177

بكتيريا انظروا: كائنات حية دقيقة

بروتينات 29-32, 110, 112, 113, 147-148, 169, 187

- عند الحيوانات المجرة 118, 120, 121, 122

- في التغذية 12, 180

- من نيتروجين غير بروتيني 121, 122, 127, 128

- نقص 30, 120 انظروا: بروتينات أيضًا

- كائنات حية دقيقة 121, 122, 126

بنكرياس 103, 105, 111, 117, 173, 194

بيئة محيطة، عوامل، انظروا: عوامل بيئة محيطة (خارجية)

- خارجية 91

- داخلية 12, 41, 91

ببتيدات 122

بسترة 154

ببسين 100

بروتوآزات 100, 103, 118, 121

براز 107, 109, 110, 178

ت

تجانس وتباين 12, 16, 30, 47, 51, 56, 134, 141

تأثير الدفيئة 71, 120

تخثر 32

تحويل طاقة 46

تغذية 12-10
- نجاعة التغذية في بقرة الحليب 128-125
تنظيم
- في جهاز الهضم 93, 97, 102, 104-105, 109
- استهلاك الطاقة 111
- استهلاك الغذاء 171-175
تسميد 79-80, 81
تحميض خيار 153
تبادل غازات 52, 53, 54, 83, 134-135
تبادل مواد 110-113, 147, 148, 158
تبادل مواد (عمليات أيضية) أساسي 166-167, 168, 169
تأكسد –اختزال 61, 145
تريجلتسيريدات 25, 27, 103, 107, 173, 191
تربسين 103
تصلب شرايين 178, 181, 193
تهييج (إثارة) 60
تنفس، انظروا تبادل غازات
تنفس خلوي 134, 135, 134-158
تنفس خلوي هوائي 135, 140, 142-150, 157-160
تنفس خلوي لا هوائي 140, 150, 156-157
تكافل 67, 122, 124
تركيب ضوئي
- ملاءمة النبات إلى... 51-55
- والتنفس الضوئي 157-160
- تدخُّل الإنسان 73-74
- وتيرة، نسبة 53, 55, 59, 69-70, 72
- مراحل 60-64
- عملية 46-51, 60-64, 69-74
- نواتج 47, 49, 58, 62, 65-67
تحليل (ميكانيكي، كيميائي) 92, 96, 100, 103, 116, 117, 118, 121
تثبيت كربون، مرحلة 55, 63-64
تركيز اسموزي 23, 27, 29, 30, 39, 109
تفعيل 136, 138
تغذية 175-176, 194
- في عالم فيه نقص 187-188
- في عالم فيه وفرة 189-190
- نباتية، انظروا: غذاء من النبات
تخمر 119, 140, 150, 151-156, 157
تيلوكوئيد 56
تخزين، في الخلايا، في الأعضاء، انظروا: مواد إدخارية

ث

ثنائي السكر 19-20, 122
ثره الشهية العصبي 197
ثغور 39, 53-54, 55, 72
ثاني أكسيد الكربون (CO_2)
- في الحيوانات المجترة 119, 120
- في التنفس 135, 144, 156, 158
- في التركيب الضوئي 48, 53, 54, 55, 70, 71, 158
- في عملية التخمر 151, 152

ج

جلوتن 108
جلوكجون 103, 111
جلوكوز 18, 107, 110, 112, 119, 134, 138, 141, 146
- في مستوى الدم 19, 21, 103, 111, 113, 147, 172, 173, 194
جليسيرول 27, 28, 111, 127
جليتسيريدات 25, 27, 103, 107, 173, 191
جليكوجن 21, 23, 110, 138, 191
جليكوليزا 141, 146, 156
جلكتوز 18
جسترين 105
جريلين 172, 173
جذور 83-84
جوع، شعور 172, 173
جوع 30, 148, 149, 171, 172, 173, 187, 188
جهاز الهضم
- في الإنسان، انظروا: هضم، في الإنسان
- مجترة 115-118, 122
جهاز النقل في النبات 53-54

ح

حبوبيات (نجيليات) 177
حمية قليلة الطاقة (نحافة) 25, 180, 182, 195, 196, 197 חום ראו:
حامض ملح (HCl) 100, 102
حامض الفيروبيك 141, 146, 153, 156
- تأكسد حامض الفيروبيك، مرحلة 143, 146
حوامض أمينية 30, 107, 110, 111, 118, 121, 122
حوامض النواة 10,19
حوامض دهنية 25-26, 27, 28, 113, 118, 127, 180, 193
- من نوع ترانس 181
- تطاير 119, 122, 155-156
حامض الحليب 111, 153, 154, 155, 157
حامض البول 127, 128
حليب، إنتاج ونجاعة 125, 126-128
حيوانات مجترة
- جهاز الهضم 115-118
- تغذية 125-129
حاملات 106, 138-139, 141, 145
حامل إلكترونات 60, 145

حامل هيدروجين (NADP ,NAD) 61, 143, 144-145, 146, 151
حلمات 116-117
حامضي 125
حركة بريستالتية 93, 98, 109, 110, 116, 125
حجر بناء/حجارة بناء 12, 16, 18, 21, 25, 30, 92, 121, 148
حوامض أمينية 30, 107, 110, 111, 118, 121, 122

خ

خلايا طلائية 106, 107, 108
خضروات وفواكه 178-179
خملات وخملات صغيرة جدًا 106, 108
خشب 53, 54
خلايا β انظروا: بنكرياس
خلايا غدة 102, 103
خلايا حسية 97, 172
خلايا امتصاص 106, 109
خلايا دهنية 110, 173, 191
خلايا حارسة 53
خيلوميكرون 107

د

دهنيات، حوامض 25-26, 27, 28, 113, 118, 127, 180, 193
دهنيات 27, 112, 113, 142, 149 انظروا أيضًا: ليبيدات
- تخزين، مخازن 110, 170, 173, 190, 191, 195
- في التغذية 180, 181
مساحة السطح الخارجي - حجم، نسبة 51, 52, 57, 83, 92, 105, 106, 108, 142, 143
دفيئة 73
دورة كلفن 55, 63-64
دورة كريبس 144, 146, 148, 156

ر

رابط ببتيدي 32
ريبوز 19

ز

زراعة
- ازدياد التركيب الضوئي في ... 73-74
- مدورة نفايات عضوية في... 80
- نجاعة إنتاج الحليب 126-127
- عضوية وعادية 81, 82, 184
زيت 27, 180

س

سيلولاز 118
سلياك 108
سلسلة نقل إلكترونات 145
سيلولوز، ألياف 21, 23, 65, 118, 177
سبات شتوي 142, 149
سوء تغذية 30, 187-189
سكرتين 105
سكروز 19, 65
سكريات، انظروا: كربوهيدرات، أحادية السكر، ثنائية السكر، متعددة السكريات 181, 193-194
ستروئيدات 25, 28
ستروما 56, 63

ش

شعيرات ماصة 83

ص

صبغية 52, 56, 57
صوم وجوع مستمر 113, 149 انظروا أيضًا، جلوكوز، مستوى الدم

ض

ضوء 47, 51, 52, 57, 64, 69
- كمصدر طاقة 47, 60-61

ط

طول الموجة 57-59
طاقة 13 انظروا أيضًا: عمليات تستهلك طاقة، عمليات تُطلق طاقة
- طاقة كيميائية 13, 47, 60
- طاقة ضوئية 13, 47, 60, 160
- طاقة حرارية 13, 134, 138, 141, 160
- طاقة تفعيل 138
- تحويل طاقة 13, 47, 60-61, 134, 139, 160
- استخراج طاقة 112-113, 119, 134, 140-157

- موازنة طاقة 164,169, 183, 195
- انتقال طاقة 13, 134, 144, 160
- قيمة الطاقة 165
- مكونات استغلال الطاقة 10, 166-169

طيف 57-59

ع

عضوية، مواد 10-11, 13, 17-37, 46, 47, 80, 134
عامل محدد 69-70, 73, 74, 77
عوامل بيئية محيطة (خارجية) 73, 69-74
عمليات تستهلك طاقة 64, 93, 136, 137, 138-139
عمليات تُطلق طاقة 135, 136, 137
عمى الليل 36
عصارة معدة 99, 100, 102
عصارة هضم 90, 97
عضلات 13, 28, 93, 99, 109, 111, 139, 154, 155, 171
علاقة متبادلة 67, 122, 124
عميلاز 96, 103, 118
عدم تحمل اللاكتوز 20

غ

غير عضوية، مواد 10-11, 38-44, 46, 48, 177
غير ذاتي التغذية، كائن حي، تغذية 11, 12, 16, 46, 90
غذاء 90, 11, 168, 184
- سريع 189, 190
- نقص 30, 113, 187-188 انظروا أيضًا: جوع، صوم
- من الحيوان 180, 189
- من النبات (غذاء نباتي) 115, 180 انظروا أيضًا: نباتيون
- استهلاك 171-175
- حيوانات مجترة 121, 125-128

ك

كحول 100, 111, 151, 152, 157
β–كاروتين 36
كلفن، دورة 55, 63-64
كريبس، دورة 144, 146, 148, 156
كاروتين وَ β كاروتين 36
كومبوست 80
كربوهيدرات 17-24, 47, 112, 122, 177
كربون 10,17, 23, 30, 160
كبد 110-112
كحول اثيلي 151, 152
كولسترول 28, 106, 180, 181, 193
كولسيتوكنين (CCK) 105, 172
كيموتربسين 103
كيس المرارة، انظروا مرارة
كلوروفيل 46, 52, 57-58, 60, 62
- طيف الابتلاع والنشاط 58, 59
كلوروبلاستيدات 52, 56
كرش 116, 118-123, 122
كوإنزيم A، أستيل 143
كوتيكولا 52, 53, 54
كائن حي، ذاتي التغذية 11-12, 46, 48
كائنات حية دقيقة (بما في ذلك خميرة وبكتيريا)
- في الحيوانات المجترة 118, 119, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 155
- في الجهاز الهضمي عند الإنسان 100, 101, 108, 109
- في خدمة الإنسان 153, 154, 156

ل

ليجنين 177
ليزوزوم 94
ليزوزيم 96
ليمفا 106, 107, 118
ليباز 100, 103
ليبيدات 25-28, 100, 103, 106-107, 110, 118, 122, 147, 180
ليبتين 173, 174
لاكتاز 20
لكتوز 20
لسان 96-97
لعاب 96, 97, 116
لحاء 53, 54, 65

ف

فقدان الشهية العصبي 197
فروكتوز 18, 173
فيتامينات 73-33, 801, 111, 811, 771, 871-971
- نقص أو فائض في ... 35, 36, 37, 202-203

- فيتامين A 36, 202
- فيتامين D 28, 35, 202

فوسفات (Pi)، مجموعة 28, 136, 138, 139

فوسفور 38, 204

فسفرة 136-137, 138, 139

فسفرة تأكسد 144-146, 156

فم 96-98, 116

فوسفوليبيدات 25, 28, 107

فتحة شرجية 109

فقاعة غذاء 94

ق

قرحة في المعدة 101

قطع غابات 84, 17

قيمة طاقة (كلوري) 27, 179, 182, 197

قيمة غذائية 177

م

مضادات حيوية 109

مريء 98-99, 116

ملاءمة بين المبنى والأداء 32, 49-54, 83-84, 96, 98, 100, 105, 112, 116-117, 143

مضغ 96, 98

مواد إدخارية 18, 21, 22, 23, 27, 65, 66, 67, 110, 111, 137, 138, 177

مواد عضوية 10-11, 13, 17-37, 46, 47, 80, 134

مواد غير عضوية 10-11, 38-44, 46, 48

محصول، زيادة الإنتاج، انظروا: زراعة، زيادة عمية التركيب الضوئي في ...

مخازن طاقة 27, 111, 137, 172, 173 انظروا أيضًا: مواد إدخارية

موازنة طاقة 164,169, 183, 195

موازنة ماء 41-42, 53, 72, 108

مبنى وأداء، ملاءمة 32, 49-54, 83-84, 96, 98, 100, 105, 112, 116-117, 143

ماء الجبنة 128

مدورة 79, 80, 81, 121, 137, 145, 151

ميوزين 139

ميتوكوندريا 142-143, 145, 146

ماء

- في التغذية 11, 177
- في النقل 52-53, 54
- كناتج في التنفس الخلوي 144
- موازنة 41-42, 53, 72, 108
- في العمليات الأيضية 42, 144
- في الإمتصاص 107, 108, 118, 122
- استيعاب وفقدان في النبتة 52, 53, 54, 55, 84
- تحليل في التركيب الضوئي 60, 62

ميسيل 106

ملتوز 20

منحدر تراكيز 84, 107, 138, 145

مصدر طاقة 18, 29, 47

مرارة، كيس، عصارة، أملاح 90, 91, 103, 105, 106, 109, 118

مركز الجوع 171, 172

مركز الشبع 171, 172

مضخات 84, 138-139, 145

مردودية، سالبة وموجبة 93, 102, 111

ميثان (CH_4) 119, 120, 156

مضادات تأكسد 36, 179

مرافقة 135, 136-137, 138, 145, 149

مستقبلات 97, 102, 155, 172, 173

معدة 99-102, 172, 173

ماركة غذاء 182-183

مستحلب 103

مركبات نيتروجين غير بروتينية 121, 122, 127, 128

مخاط 99, 101, 108

مكونات الغذاء 16, 90, 113, 122, 182, 183, 189

متعدد السكريات 21-24, 118, 177

ن

نظام البواب 112

نتح 53, 54, 72, 84,

نقل فعَّال 106, 138-139

نقل غير فعَّال 106

نفاذية اختيارية 138

نيتروجين 10, 30, 38, 57, 76, 121

- من مصدر غير بروتيني 121, 122, 127, 128

نسبة مساحة السطح الخارجي إلى الحجم 51, 52, 57, 83, 92, 105, 106, 108, 142, 143

نخالة 128, 177

نشوء وارتقاء 94, 116

نشا 21, 22-23, 65, 122, 138

نباتية 30, 34, 124, 189, 195

نباتات CAM 55

نباتات مفترسة 85

- عند الحيوانات المجترة 117, 121, 122

نظام بيئي 47, 48, 71, 120, 160
نسيج إسفنجي 52, 54
أنسجة نقل في النبات 53-54
نسيج عمودي 52, 54
نسيج دهني، انظروا: دهنيات، خلايا دهنية
نشاط جسماني 155, 168, 183-184, 194, 195

ه

هضم، انظروا أيضًا: تحليل (ميكانيكي، كيميائي)
- في الإنسان (مبنى، أداء) 94, 95, 99-100, 102, 103-105
- في الحيوانات المجترة 118-124
- تنظيم 93, 97, 99, 102, 104-105
- خارج الخلية وداخل الخلية 91, 94, 118
- مبادئ 90-95
هرم الغذاء 176-182
هشاشة عظام 35
هورمونات 103, 105, 111, 172-173
هيبوثالموس 171, 172
هميسيلولوز 118

و

ورقة 51-54
وزن الجسم 169, 170 انظروا أيضًا: نحافة، بدانة
- فائض في الوزن، اظروا أيضًا: بدانة
وزن جاف 17

ي

يوريا 111, 121, 721

مصطلحات باللغة الأجنبية

ATP, ADP 13,47, 60, 84, 134, 135-140, 141, 144-146, 147, 148, 149, 157
BMI 170, 187, 191, 197
CAM, نباتي 55
CH_4 انظروا: ميثان
CO_2
- في عملية التركيب الضوئي 48, 53, 54, 55, 63-64, 70, 71, 158
- في الحيوانات المجترة 119, 120
- في عمليات التخمر 151, 152
- في التنفس 135, 144, 156, 158
HDL, LDL 193
HCl 100, 102
NADH, NAD 141, 143, 144-145, 146
NADPH. NADP (حامل هيدروجين) 61, 63
NH_3 انظروا: آمونيا
O_2 انظروا: أكسجين
pH
- في الكرش 117, 123
- في جهاز الهضم 100, 103
- في التربة 77

باحثون

انجلمن، تئودور 58-59
هلمونط، فان 49-50
وورن، روبين ومرشل، باري 101
بابلوف، ايفان 97-98
باستر، لويس 153-154
بريستل، جون 50-51
كامن وروبن 62
كلفن، ملفن 63