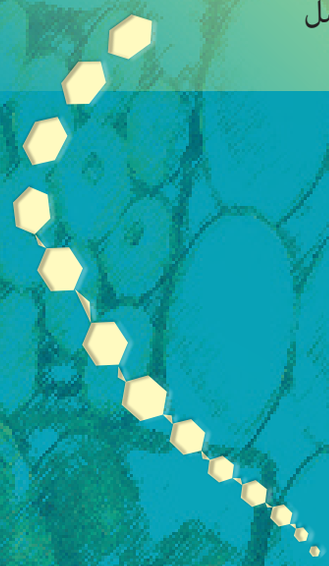
د التغذية والهضم في الكائنات الحية غير ذاتية التغذية

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.

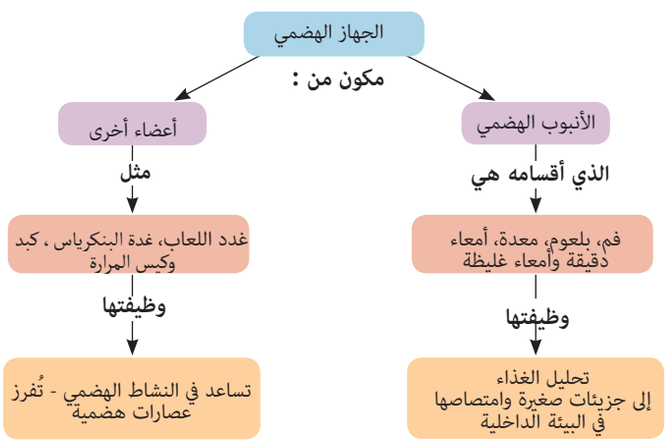
عملية الهضم هي جميع العمليات التي من خلالها تتحلل الجزيئات الكبيرة والمعقدة إلى مكونات الغذاء وتتحلل إلى جزيئات صغيرة تستطيع أن تدخل الخلايا. مع إنتهاء عملية التحليل، يتم امتصاص نواتج عملية الهضم عبر خلايا جدران الأمعاء إلى جهاز الدم، حيث تُنقل بواسطته إلى خلايا الجسم.

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...

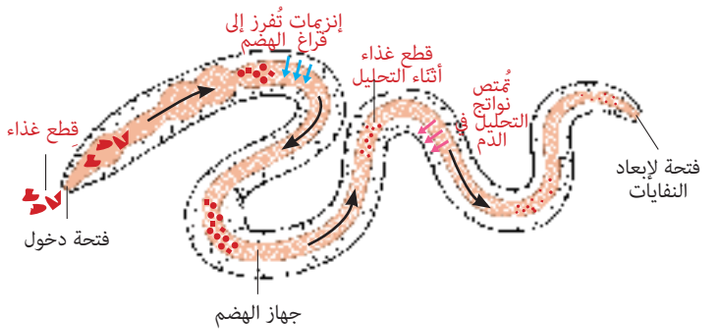
قليل من الأعداد عن الجهاز الهضمي

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

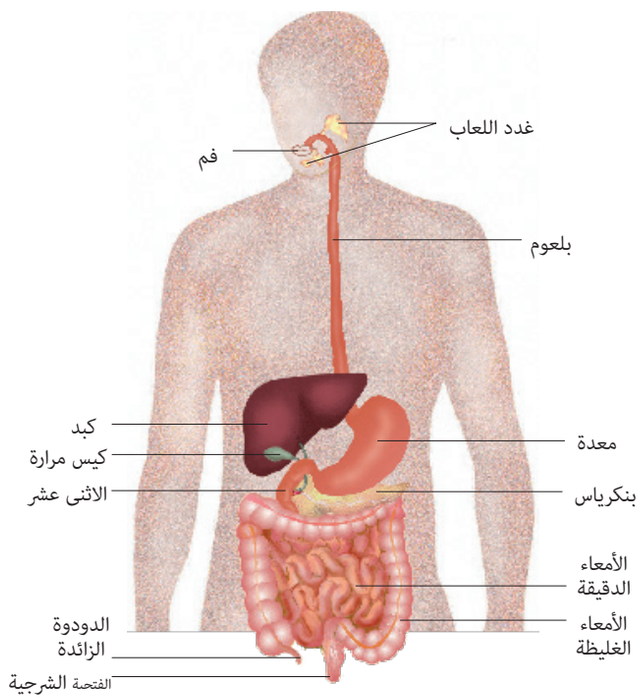
الجهاز الهضمي عند الإنسان وعند كائنات حية كثيرة متعددة الخلايا هو عبارة عن أنبوب طويل بدايته في الفم ونهايته في الفتحة الشرجية. على الرغم من أنه موجود داخل جسم الإنسان إلا أنه يشكل امتدادًا للبيئة المحيطة الخارجية. مليارات الخلايا الطلائية التي تبطن داخل الأنبوب تشكل حاجز يفصل بين البيئة المحيطة الخارجية 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.

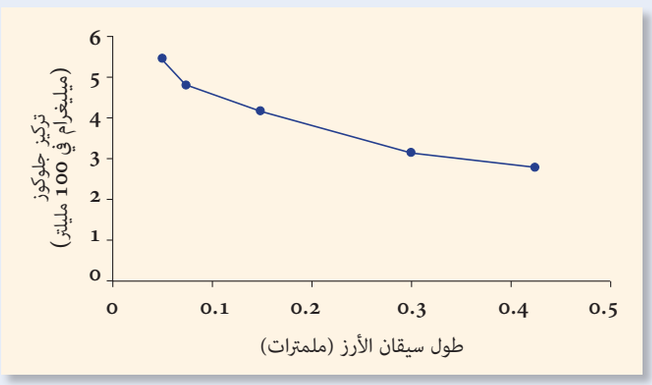
تحليل الغذاء في الجهاز الهضمي يشمل عمليتين من التحليل الآلي والكيميائي.

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:

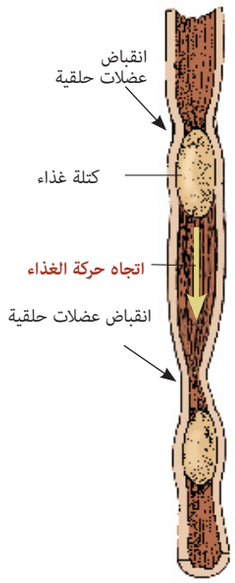
أ. صفوا بحسب المنحنى العلاقة بين طول قِطع سيقان الأرز وبين تركيز الجلوكوز الذي نَتَج.

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

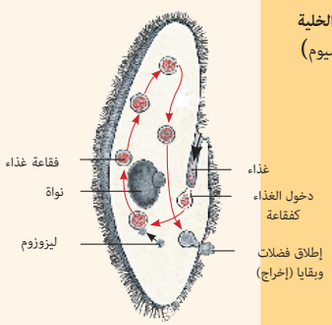
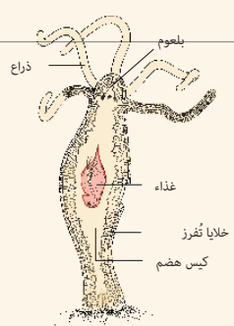
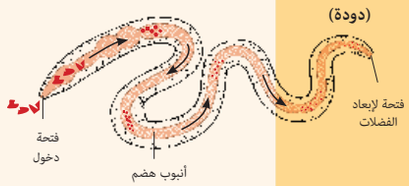
من المهم أن نَذْكُر أنه أثناء عمليات الهضم ذاتها، لا نستخرج طاقة متوافرة من المواد الغذائية. بالعكس تمامًا: عملية الهضم ذاتها وعمليات امتصاص النواتج هي عمليات تحتاج إلى طاقة. وأيضًا تدفق الدم والليمفا- الذي يساعد في نقل المواد الغذائية من الجهاز الهضمي - يحتاج إلى طاقة تُبذل في انقباض عضلات القلب وعضلات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

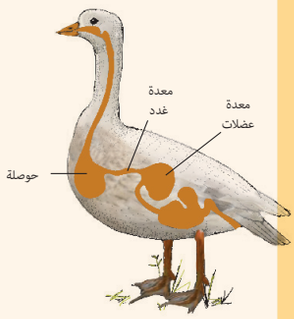
توسع

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.

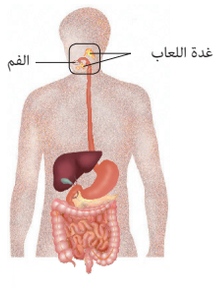
سؤال د-6:

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



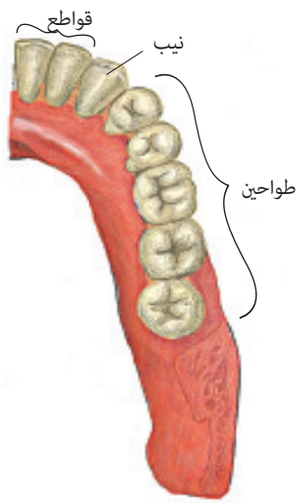
المحطة الأولى في الهضم هي **الفم،** والعملية الأساسية التي تحدث فيه هي عملية المضغ التي تبدأ في التحليل الآلي للغذاء بواسطة تقطيعه إلى قطع صغيرة. المضغ هو عملية إرادية تحدث بواسطة تحريك الفك السفلي، حيث تشترك فيها **الأسنان،** اللسان وعضلات الفك. اللعاب الذي يُفرز إلى الفم يساعد في العملية وهو يحوِّل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

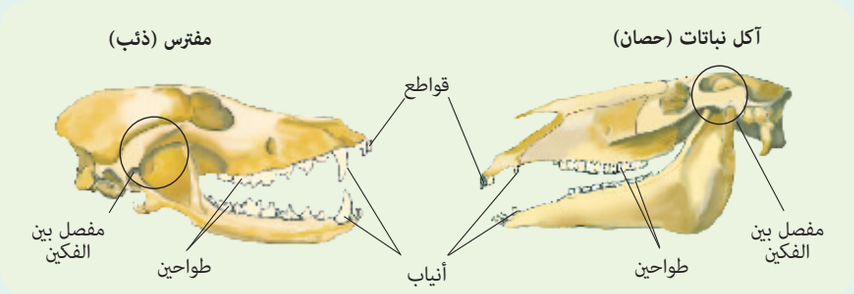
توسُّع

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.

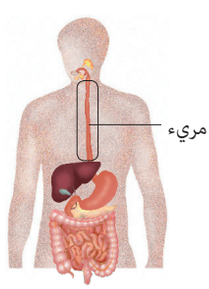
في القسم الأمامي من الفك، يوجد أسنان قاطعة مناسبة لقطع الأوراق. الأسنان الطاحنة، يوجد لها مبنى مناسبًا لمضغ وتكسير بذور ومكسرات. الفكان عند **الحيوانات المفترسة** أقصر من الفكين عند آكلات النباتات. عندما يُغلق مفترس فكيه، فإن الأسنان العلوية والسفلية تقطع اللحوم كالمقص.
في القسم الأمامي من الفك، يوجد 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.

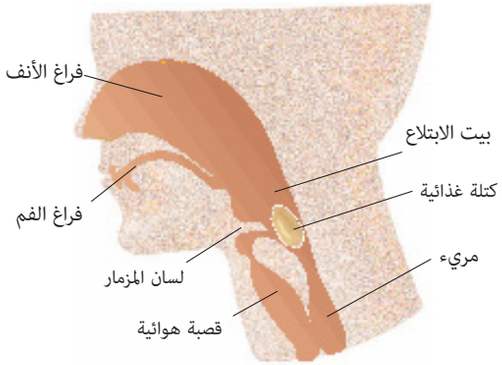
د2.2 انتقال الغذاء في المريء



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.

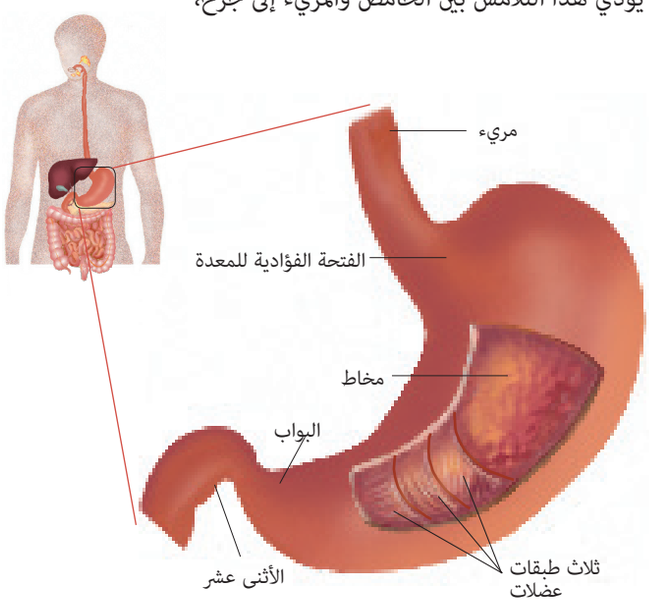
علاقة بموضوع

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.

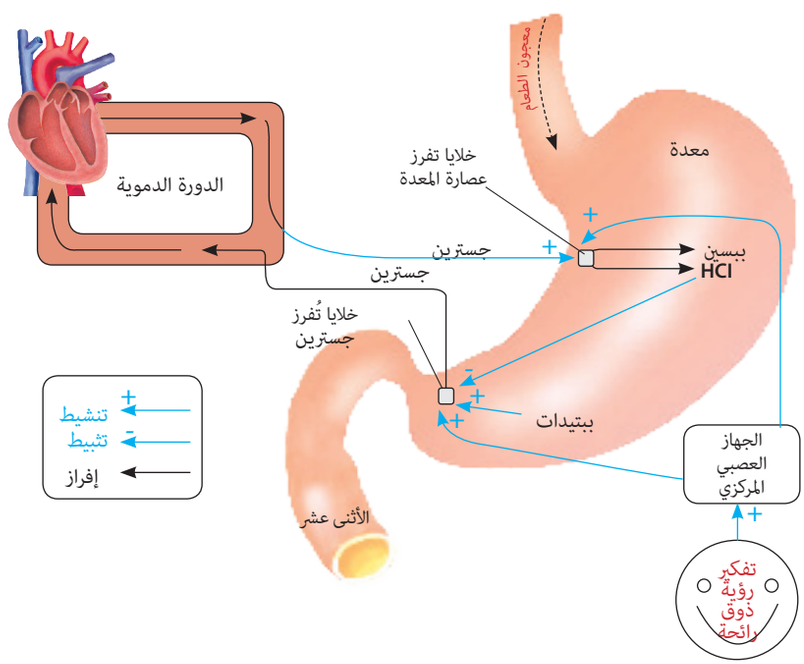
وتيرة تفريغ المعدة متعلقة بحجم الغذاء. الوجبة الكبيرة تنشِّط مستقبلات كثيرة في جدار المعدة، مما تؤدي إلى انقباضات قوية وتفريغ سريع للمعدة.

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.

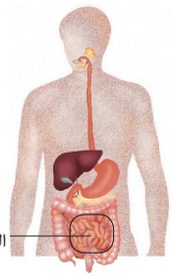
ازدياد حامضية المعدة (أقل من **pH 2**) التي تحدث من عصارة المعدة، توقف إفراز هورمون جسترين وفي أعقابه إلى إيقاف إفراز عصارة الهضم (انظروا الرسمة د - 10). يُشرف على إفراز الجسترين نظامان مسؤولان عن التغذية المرتدة (المردودية). من ناحية واحدة - نظام مردودية موجب يقوم برد فعل لوجود ببتيدات تؤدي إلى زيادة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

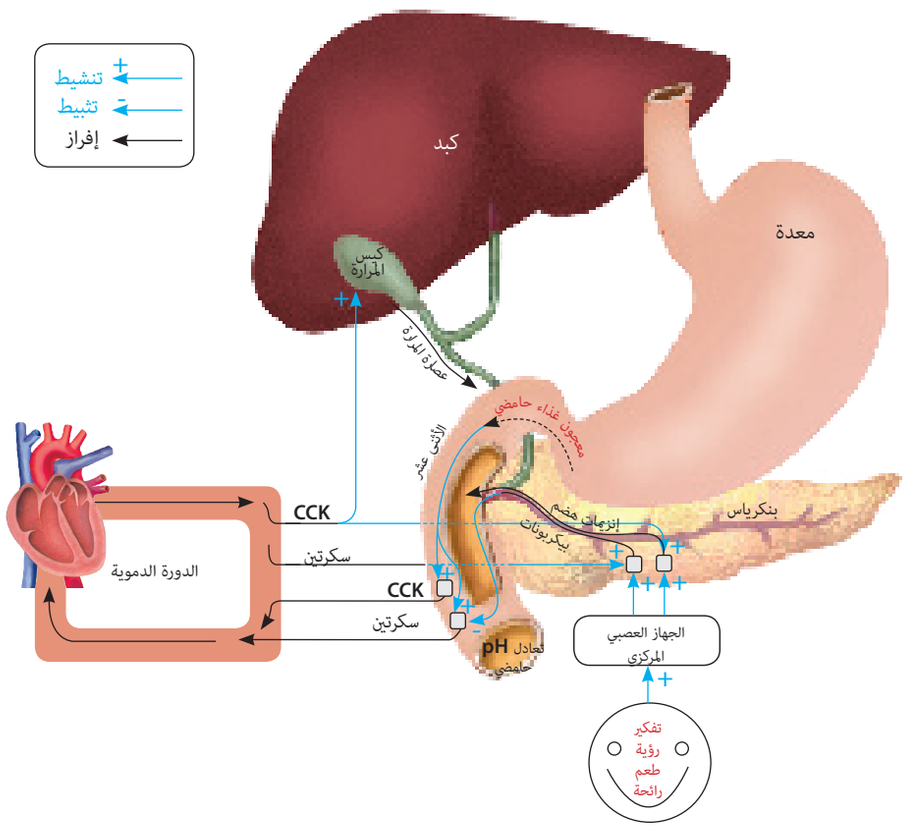
تنظيم الهضم في الأثنى عشر وفي الأمعاء الدقيقة

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!

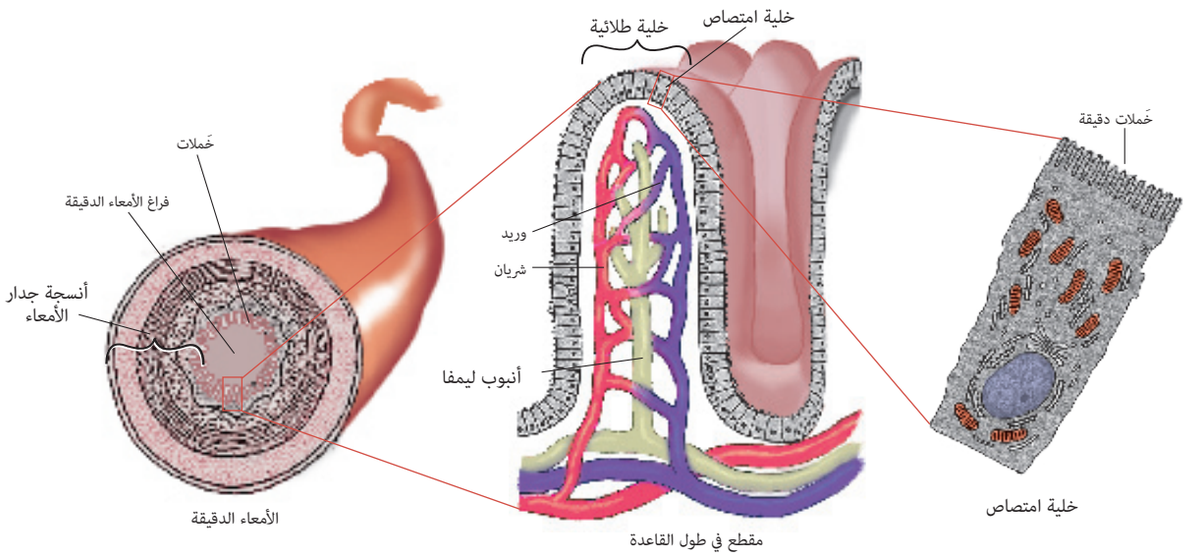
الفكرة المركزية

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).

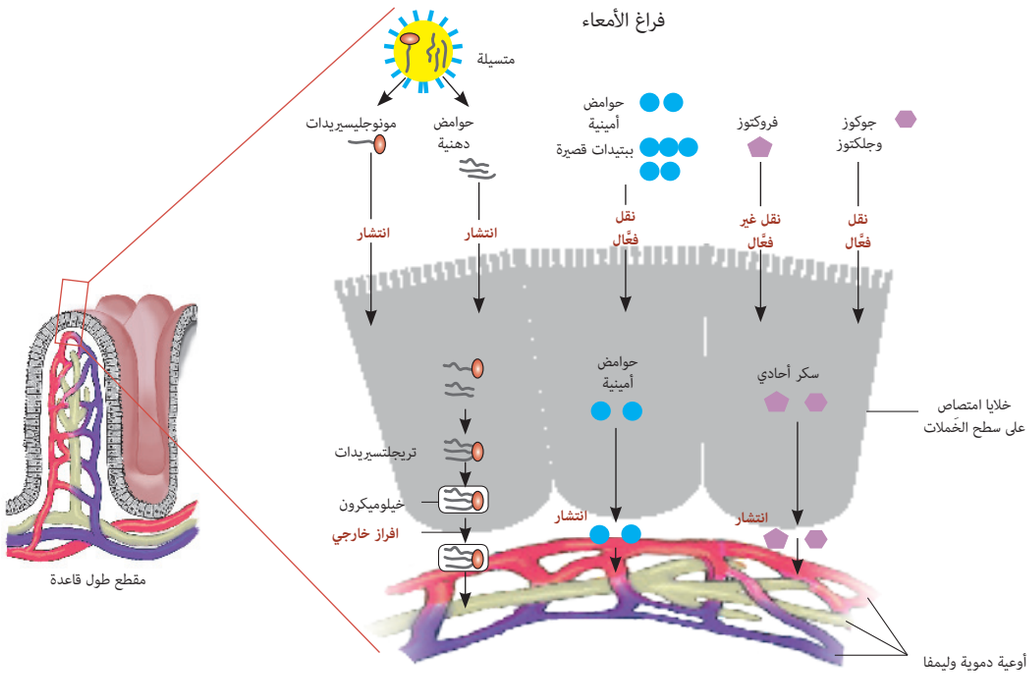
نواتج الهضم باستثناء نواتج تحليل الليبيدات، تدخل إلى خلايا الامتصاص الموجودة في جدران الأمعاء بواسطة ناقلات أغشية الخلايا. يتم استيعاب قسم منها عكس اتجاه منحدر التراكيز خلال عملية **نَقْل فعَّال** من خلال بذل طاقة. أما نواتج هضم أخرى، فهي تدخل إلى خلايا الامتصاص من خلال **نَقْل غير فعَّال.**

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

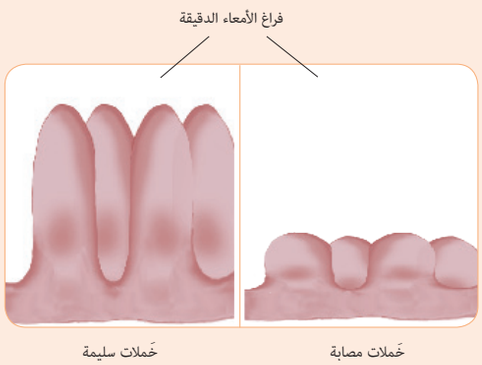
علم البيئة:
ملاءمة للحياة في اليابسة — القدرة العالية على امتصاص الماء من الجاز الهضمي إلى الدم.

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.

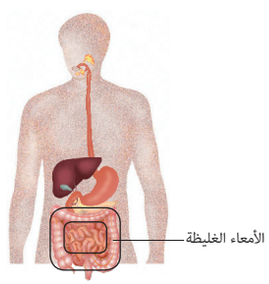
اتضح فيما بعد أن هذا المرض يحدث بسبب حساسية لمكوِّنات بروتين جلوتن الموجود في الحبوبيات مثل: القمح، الشعير، سنبلة الثعلب والشوفان. يتطور عند المصابين مرض التسليك كردّ فِعْل مناعي يؤدي إلى إضمرار خلايا الخَملات والخلايا الطلائية في الأمعاء الدقيقة كما هو موصوف في الرسمة د - 15. يؤدي إضمرار الخَملات إلى 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

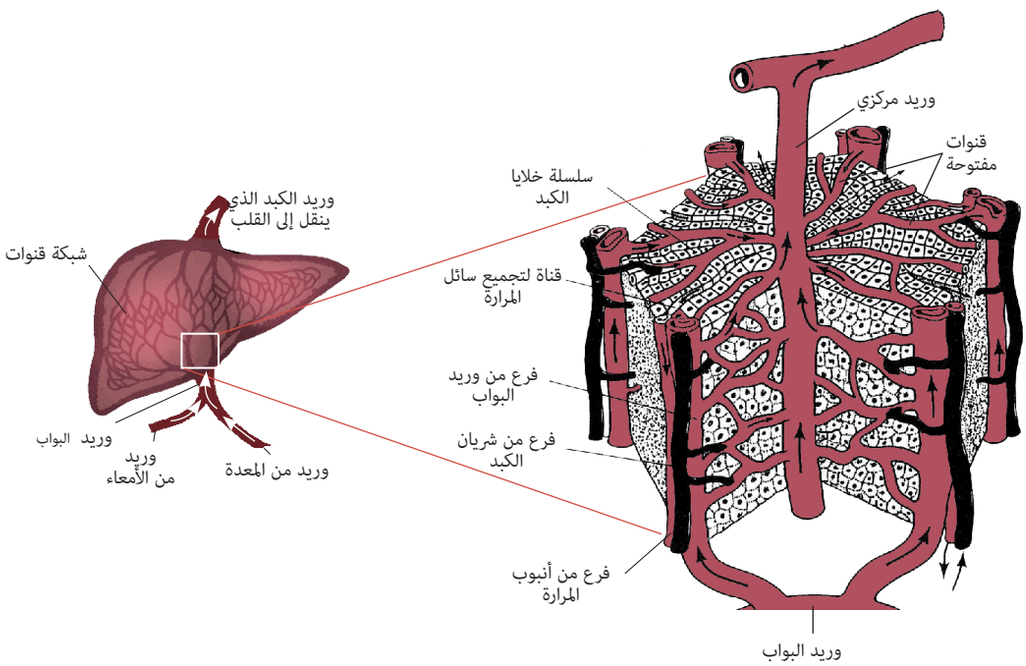
عندما يرتفع تركيز السكر في الدم في أعقاب وجبة غذائية، يفرز البنكرياس هورمون انسولين الذي يزيد من دخول الجلوكوز إلى الخلايا وبالأساس إلى خلايا العضلات والخلايا الدهنية. في الكبد، يحوِّل الأنسولين فائض الجلوكوز إلى جليكوجين ويحوِّل الجلوكوز إلى دهنيات. بين الوجبات وأثناء الصوم، عندما يكون مستوى الجلوكوز 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.

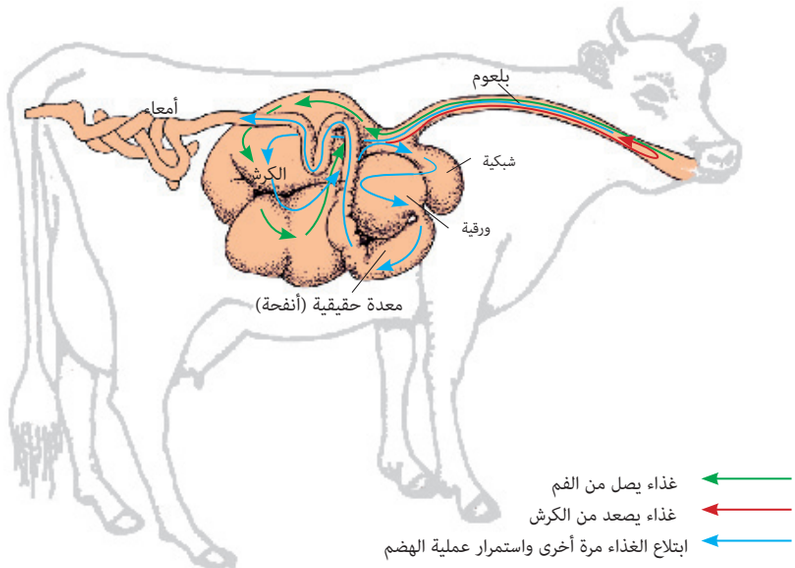
الاجترار يكسب الحيوانات المجترة أفضلية من ناحية النشوء والارتقاء، لأنها تستطيع أن تأكل بسرعة كميات كبيرة من الغذاء دون أن تبقى مدة زمنية طويلة في مكان، قد تكون فيه حيوانات مفترسة تشكل عليها خطرًا.

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

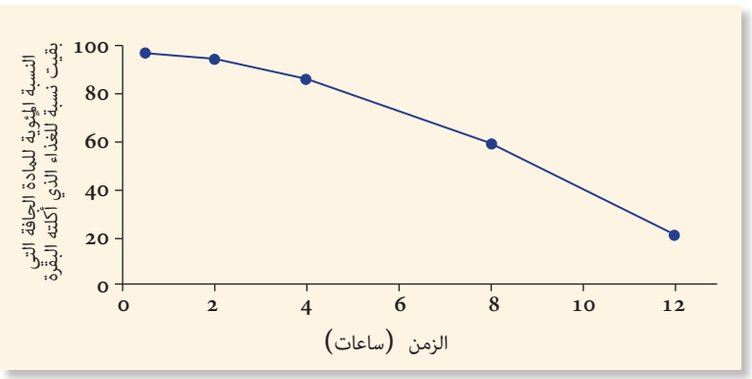
كما هو الأمر عند الإنسان، ففي الأمعاء الغليظة في البقرة أيضًا، تعمل كائنات حية دقيقة وهي تفرز إنزيمات تقوم بتحليل غذاء وبقايا خلايا كائنات حية دقيقة. لكن العمليات التي تحدث في الأمعاء الغليظة، يوجد لها معنى غذائي ثانوي من الناحية الكمية بسبب الحجم الصغير للأمعاء وقدرته المحدودة على الامتصاص. كما هوالأمر 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

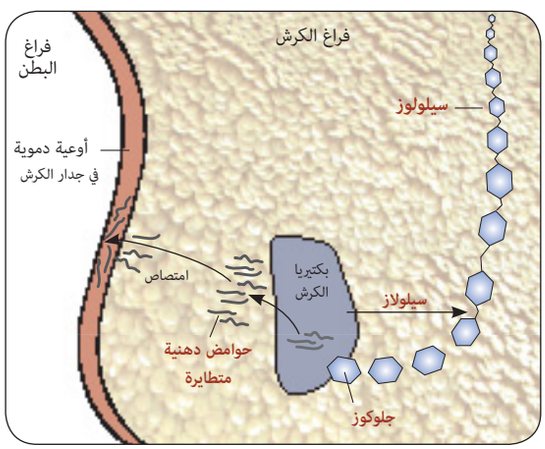
بالموازاة لإنخفاض محتوى الألياف في الكرش نتيجةً لتحليلها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، نتوقع أن يطرأ ارتفاع في تركيز أحادي السكر المتوافر للبقرة، لكن الأمر ليس كذلك.

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.

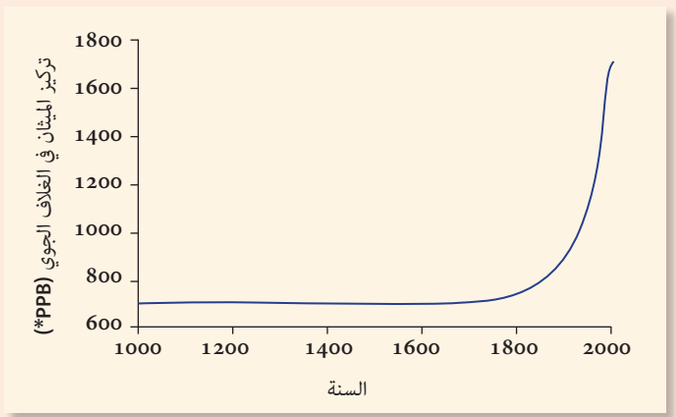
سؤال د -27:

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.

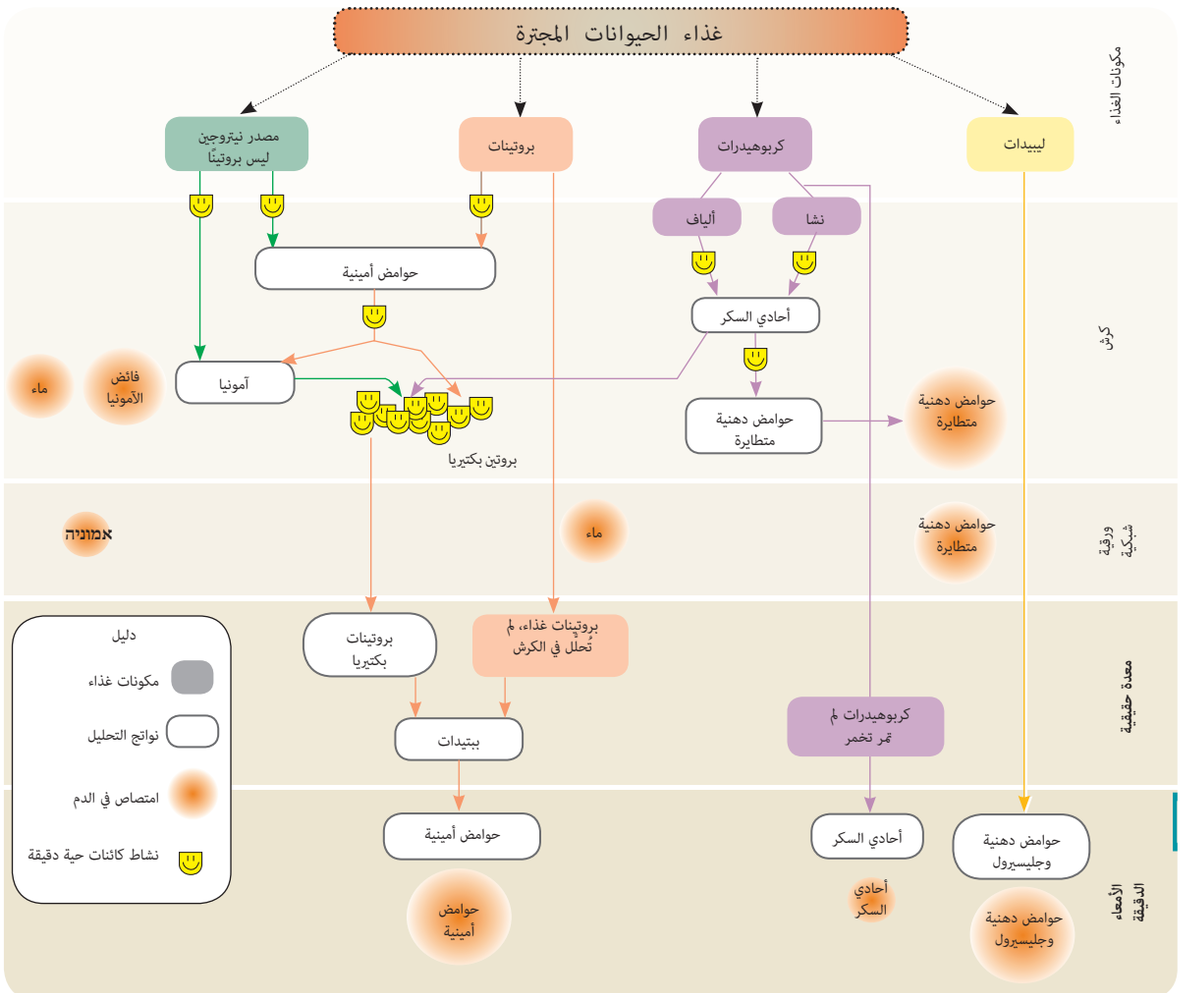
ينتقل قسم من الكائنات الحية الدقيقة التي تتكاثر في الكرش مع معجون الغذاء من الكرش وتصل المعدة الحقيقية للحيوان المجتر. في كل يوم ينتقل بين 2 إلى 5 كغم مادة جافة من الكائنات الحية الدقيقة، حيث يكون 45%-60% منه بروتينات. يَنْتُج من ذلك أن الكائنات الحية الدقيقة وعلى الأغلب البروتينات الموجودة فيها تشكل 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.

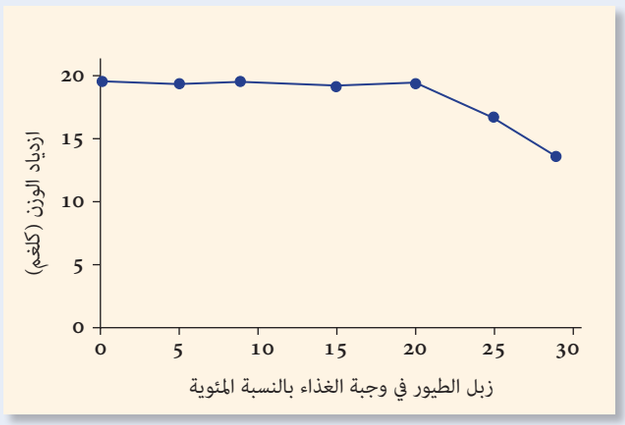
يُقلل استغلال زبل الطيور (يشتمل القش الذي نضعه على أرضية الأقنان) الذي يُستعمل لتغذية الحيوانات المجتره من التكاليف، كما أنه يحل مشكلة بيئية محيطة كبيرة وهي الحجم الكبير لنفايات الأقنان. لكن استعمال زبل الطيور يحتاج إلى حذر كبير جدًا بسبب وجود كائنات حية دقيقة مسببة للأمراض في النباتات والأبقار، لذا 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؟

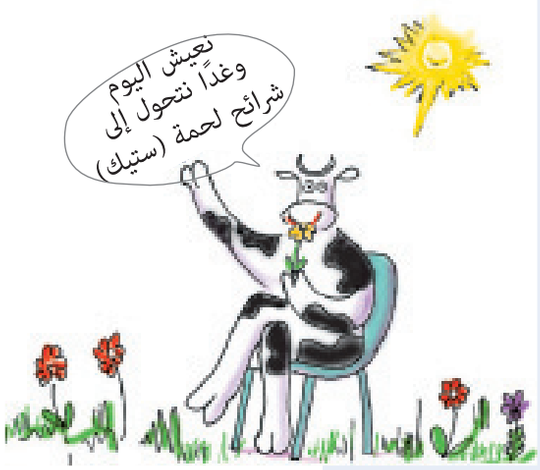
ب. اذكروا أفضلية واحدة لاستعمال زبل الطيور، إضافةً إلى كونه مصدرًا رخيصًا للنيتروجين، واذكروا سيئة واحدة له.

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