

المحاضرة 3



Biochemical construction of the cell

التركيب الحيوي الكيميائي للخلية

السكّر / السكريات Sugars

أ- أحاديات السكّاريد monosaccharides

ب- ثنائيات السكّاريد disaccharides

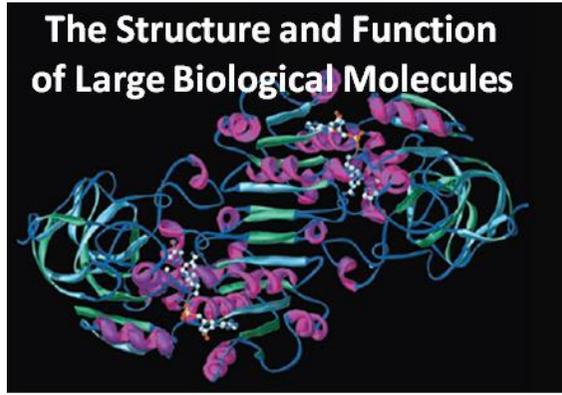
ج- عديدات السكّاريد Polysaccharides

الشحوم (الليبيدات) هي مجموعة من الجزيئات الكارهة للماء

الدهن fats

الشحميات الفسفورية الفسفوليبيدات phospholipids PL

البروتينات تتضمن بنيات تسبب مجالاً واسعاً من الوظائف



بنية ووظيفة الجزيئات الحياتية الضخمة

توضع جزيئات الحياة the molecules of Life في أربع فئات: الكربوهيدرات والشحوم/ليبيدات والبروتينات والحموض النووية. ثلاثة منها بالمقياس الجزيئي هائلة: الكربوهيدرات والبروتينات والحموض النووية، فمثلاً: يمكن أن يتكوّن البروتين من آلاف الجزيئات المرتبطة تساهمياً لتشكيل جزيئة عملاقة تفوق كتلتها 100 ألف دالتون، وتسمى الجزيئات الضخمة Macromolecules.

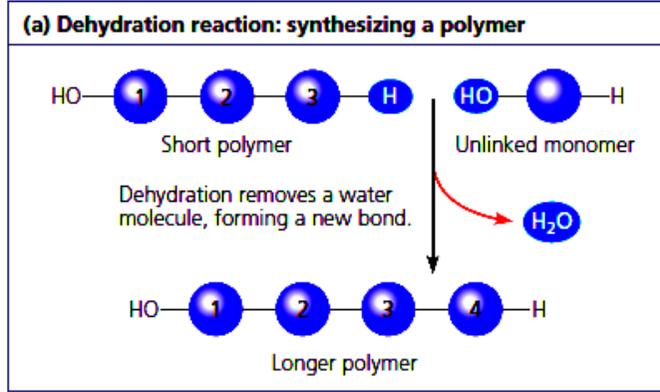
يتميز أسلوب بناء الجزيئات الحيوية الضخمة بدور أساسي في وظائفها وتحقق تراتبية مستويات التعضي البيولوجي exploring levels of biological organization عند تشابك الجزيئات الصغيرة معاً داخل الخلية، لتكوين الجزيئات الكبيرة. Macromolecules are polymers, built from monomers

الجزيئات الضخمة هي بلمرات، تُبنى من الموحيد

تكون الجزيئات الكبيرة سلسلية تؤلّف بلمرات polymers، فالبلمر هو جزيئة طويلة تتكوّن من عدة وحدات بنيوية متشابهة أو متماثلة ترتبط معاً بروابط تساهمية، مثل سلسلة المقطورات في القطار، وهذه الوحدات المتكررة التي تقيد كوحادات بنائية للبلمرات هي جزيئات صغيرة تسمى موحيد monomers، ولبعض هذه الموحيد وظائف أخرى تخصها تحديداً.

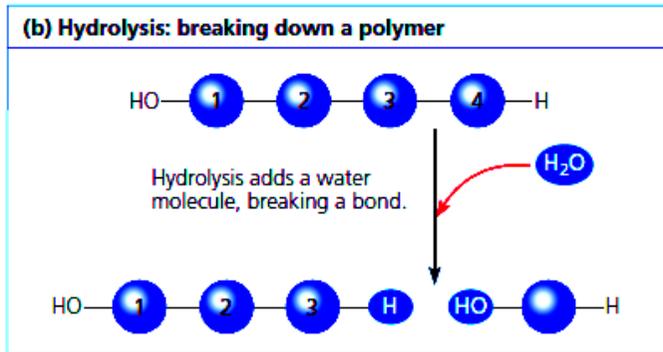
(1) تفاعل البلمهة dehydration

ترتبط الموحيد بتفاعل يحدث فيه ارتباط جزيئين معاً تساهمياً عن طريق فقد جزيئة ماء، أو تفاعل بلمهة. فعندما تتشكل رابطة بين جزيئين يسهم كل موحود بشرط جزيئة الماء المفقود، جزيئة تقدم مجموعة الهيدروكسيل OH^- والأخرى تقدم الهيدروجين H^+ ، ويجب على الخلية أن تصرف طاقة لتحقيق تفاعل البلمهة، ولا تحدث هذه العملية إلا بمساعدة الإنزيمات (محفزات).



(2) تفاعل الحلمهة hydrolysis

تتفكك البلمرات إلى موحيد بتفاعل الحلمهة التي تعاكس تفاعل البلمهة أساساً، فالحلمهة تعني استعمال الماء في تحقيق الهدم، أي تفاعل إضافة الماء تتفكك الروابط بين الموحيد بإضافة جزيئات الماء، عبر أخذ هيدروجين من الماء المرتبط بأحد الموحيد وأخذ مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بالموحود المجاور، تمثل عملية الهضم مثلاً عن الحلمهة التي تحصل في أجسادنا.



تتوسط الإنزيمات enzymes تفاعلات البلمهة والحلمهة لإنتاج المركبات الكبيرة أو هدمها، والإنزيمات لا تستهلك في التفاعلات، وهي بروتينات غالباً.

تنوع البلمرات The Diversity of Polymers

تمتلك كل خلية آلاف الجزيئات الضخمة المتنوعة، وتختلف هذه الجزيئات حسب نمط الخلية حتى في المتعضية نفسها، لاسيما الدنا والبروتينات، ويكون تنوع الجزيئات الكبيرة كبيراً في الأحياء، وتكون التشكيلة المنوعة الممكنة لا حصر لها فعلياً.

لماذا كل هذا التنوع في بلمرات الحياة؟

تُبنى هذه الجزيئات من 40 - 50 موحوداً شائعاً فقط، إضافة إلى أخرى نادرة، وإن بناء تشكيلة هائلة من البلمرات انطلاقاً من قائمة محدودة من الموحيد يشبه بناء مئات آلاف الكلمات من 28 حرفاً أبجدياً فقط.

Carbohydrates serve as fuel and building material

الكربوهيدرات: السكريات تفيد كوقود ومواد بناء

تضم الكربوهيدرات السكريات وبلمرات السكريات، ويمكن تقسيم السكريات حسب عدد الوحدات المكونة لها إلى: أحاديات السكاريد monosaccharides وهي السكريات البسيطة. ثنائيات السكاريد disaccharides تتألف من اثنين من السكاريد الأحادية. عديدات السكاريد polysaccharides: الكربوهيدرات هي جزيئات ضخمة عديدة السكر، أي بلمرات مؤلفة من عدة وحدات بنائية سكرية.

السُّكَّر/ السكريات Sugars

أ- أحاديات السُّكَّاريد monosaccharides

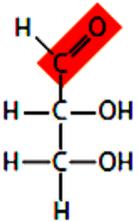
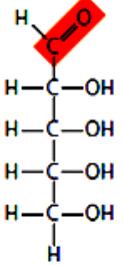
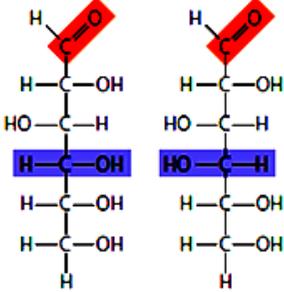
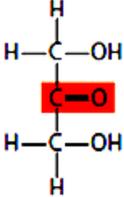
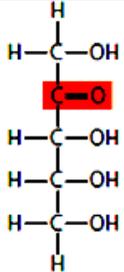
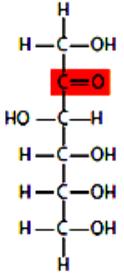
سكريات بسيطة تكون ثلاثية trioses أو رباعية tetroses أو خماسية pentoses أو سداسية hexoses أو سباعية heptoses ذرات الكربون، الصيغة العامة لها $C_nH_{2n}O_n$ ، أي مضاعفات الوحدة CH_2O ، الغلوكوز $C_6H_{12}O_6$ هو أحادي السكاريد الأكثر شيوعاً وأهمية.

تصنف السكريات الأحادية اعتماداً على موقع مجموعة الكربونيل C=O إلى مجموعتين، فهي:

▲ ألدوز aldose : سكر ألدهيدي، مثل: الغلوكوز.

▲ كيتوز ketose : سكر كيتوني، مثل: الفركتوز، وهو مصاوغ isomer للغلوكوز.

الألدوزات والكيتوزات

	Trioses: 3-carbon sugars (C ₃ H ₆ O ₃)	Pentoses: 5-carbon sugars (C ₅ H ₁₀ O ₅)	Hexoses: 6-carbon sugars (C ₆ H ₁₂ O ₆)
Aldoses (Aldehyde Sugars) Carbonyl group at end of carbon skeleton	 <p>Glycerinaldehyde An initial breakdown product of glucose</p>	 <p>Ribose A component of RNA</p>	 <p>Glucose Energy sources for organisms</p> <p>Galactose Energy sources for organisms</p>
Ketoses (Ketone Sugars) Carbonyl group within carbon skeleton	 <p>Dihydroxyacetone An initial breakdown product of glucose</p>	 <p>Ribulose An intermediate in photosynthesis</p>	 <p>Fructose An energy source for organisms</p>

بنية وتصنيف بعض أحاديات السكريد

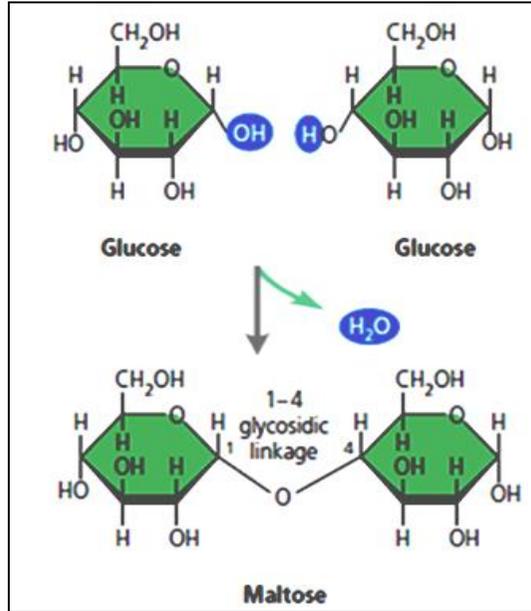
The structure and classification of some mono- saccharides تتباين السكريات في موضع مجموعات الكربوكسيل (البرتقالي)، أطوال هيكلها الكربوني من 3 إلى 7 ذرات كربون، والانتظام المكاني حول ذرات الكربون غير المتناظر (قارن الأجزاء الأرجوانية بالغلوكوز والغالكتوز).

تعد أحاديات السكاريد لاسيما الغلوكوز مغذيات أساسية للخلايا، ففي التنفس الخلوي تقتصص الخلايا الطاقة المخزنة في جزيئات الغلوكوز، وأحاديات السكاريد وقود أساسي لعمل الخلايا وتفيد هياكلها الكربونية كمواد أولية لتركييب أنماط أخرى من الجزيئات العضوية الصغيرة، مثل: الحموض الأمينية، الحموض الدسمة.

ب- ثنائيات السكاريد disaccharides

تتكوّن ثنائيات السكاريد، أو قليلات السكاريد oligosaccharides، من اثنين من أحاديات السكاريد يرتبطان معاً بروابط غليكوزيدية، وهي رابطة تساهمية بين اثنين من أحاديات السكاريد بتفاعل بلمهة dehydration reaction، فملاً:

يتكوّن المالتوز (وهو ثنائي سكاريد) بارتباط جزيئتي غلوكوز، ويُعرف بسكر الشعير الذي يشتهر بأنه مكوّن في تصنيع الجعة (البيرة).



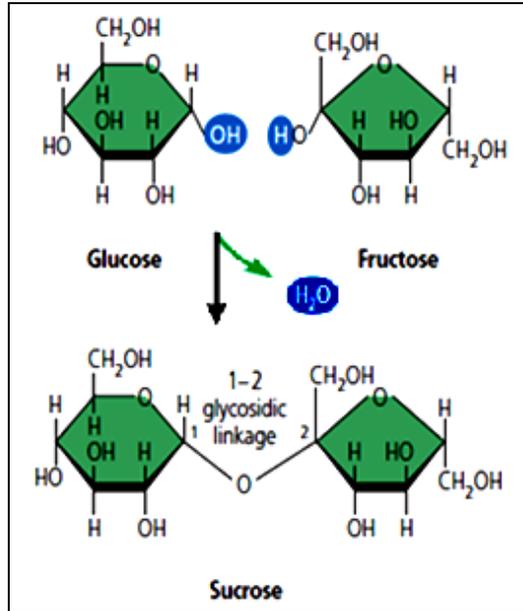
ارتباط جزيئتي غلوكوز لتكوين المالتوز (تفاعل بلمهة).

Dehydration reaction in the synthesis of maltose

The bonding of two glucose units forms maltose. The 1-4 glycosidic linkage joins the number 1 carbon of one glucose to the number 4 carbon of the second glucose. Joining the glucose monomers in a different way would result in a different disaccharide.



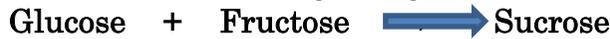
السكروز (وهو ثنائي سكاريد) هو سكر المائدة، ومواحيده الجلوكوز والفركتوز، يمثل السكر الثنائي الأكثر أهمية وانتشاراً في النباتات بسبب انحلالته السريعة في الماء وقابلية تخزينه وانتقاله بسهولة بين الأعضاء النباتية من الأوراق إلى الجذور والأعضاء غير القادرة على التركيب الضوئي. اللاكتوز هو سكر الحليب، الثنائي أيضاً، ترتبط فيه جزيئة جلوكوز وجزيئة غالاكتوز.



ارتباط جزيئتي جلوكوز وفركتوز لتكوين السكروز (تفاعل بلمهة)

Dehydration reaction in the synthesis of sucrose

Sucrose is a disaccharide formed from glucose and fructose. Notice that fructose forms a five-sided ring, though it is a hexose like glucose.



ج- عديدات السكاريد Polysaccharides

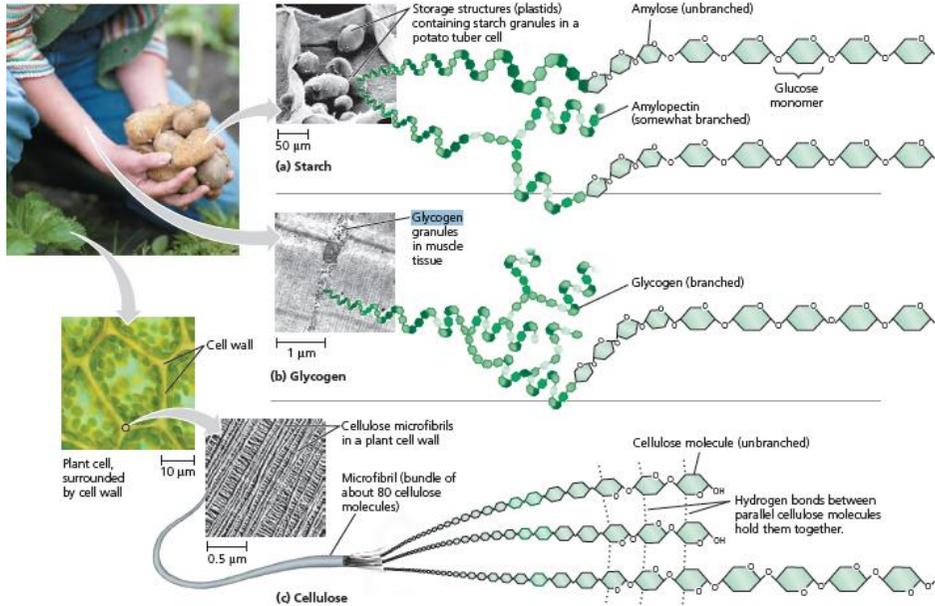
عديدات السكاريد جزيئات ضخمة، تتكوّن من بلمرات ذات بضع مئات إلى بضع آلاف من أحاديّات السكاريد المرتبطة بروابط غليكوزيدية، لا تتحلل في الماء، وليس لها طعم حلو، وتتكوّن من سلسلة طويلة من جزيئات الجلوكوز، من أشهرها وأكثرها وفرة في النباتات: النشاء والسلولوز.

تُقسم عديدات السكاريد polysaccharides حسب الوظيفة التي تتصف بها إلى:

□ عديدات السكاريد التخزينية Storage polysaccharides

تخزن النباتات النشاء في الصانعات اليخضورية chloroplasts، وإن تركيب النشاء يمكّن النبات من تخزين الفائض من الجلوكوز (هو الوقود الخلوي الأساسي)، ويمكن استرجار السكر لاحقاً من هذا المخزن الكربوهيدراتي بالحلمهة التي تفكك الروابط بين مواحيد الجلوكوز، ويمتلك معظم الحيوانات والإنسان إنزيمات يمكنها حلمهة نشاء النباتات؛ ما يجعل الجلوكوز متوافراً لتغذية الخلايا، درنات البطاطا والحبوب كالقمح والذرة والرز وأعشاب أخرى هي المصادر الأساسية للنشاء في قوت الإنسان.

النشاء starch بلمر يتكوّن تماماً من مواحيد الجلوكوز، يرتبط معظم هذه المواحيد بالروابط 1-4 (رقم الكربون 1 إلى الرقم 4) كما في وحدات الجلوكوز في المالتوز، إن الزاوية في هذه الروابط تجعل البلمر حلزونياً، الشكل الأبسط من النشاء - الأميلوز amylose غير متفرع. الأميلوبكتين amylopectin مكوّن أكثر تعقيداً من النشاء - بلمر متفرع ذو روابط 1-6 على نقاط التفرع.



عديدات السكاريد في النباتات والحيوانات

تخزن الحيوانات عديدَ سكاريد يسمّى الغليكوجين، بلمر من الغلوكوز شبيهه بالأميلوبكتين لكنّه أكثر تفرعاً بكثير، تخزن الفقاريات الغليكوجين أساساً في الكبد والخلايا العضلية. حملة الغليكوجين في هذه الخلايا تحرّر الغلوكوز عندما تزداد الحاجة للسكر. لكن هذا الوقود المختزن لا يكفي الحيوان مدة طويلة، فمثلاً: ينضب الغليكوجين في الإنسان في نحو يوم واحد ما لم يجر سدّ النقص باستهلاك الطعام.

□ عديدات السكاريد البنيوية Structural polysaccharides

تبنى المتعضيات الحية مواد قويّة بدءاً من عديدات سكر بنيوية، فمثلاً: عديد السكر المسمى السلولوز cellulose هو مركّب كبير في الجدر المتينة التي تحيط بالخلايا النباتية، وعلى مستوى الكرة الأرضية، تنتج النباتات 10^{14} كغ (100 مليار طن) من السلولوز في العام، فهو المركب العضوي الأكثر وفرة على الأرض.

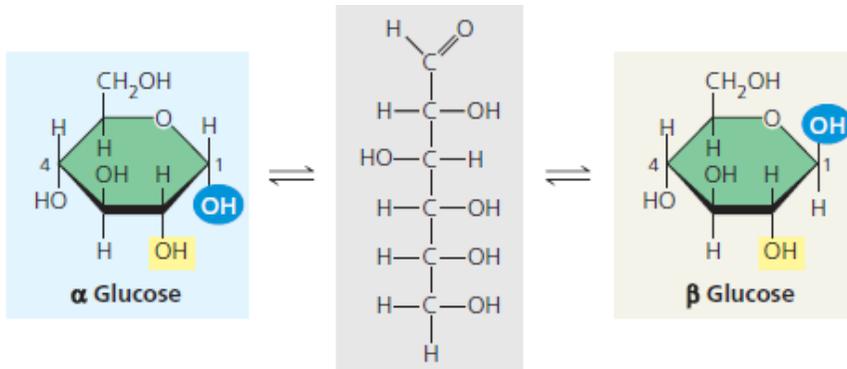
السلولوز بلمر من الغلوكوز (كالنشاء)، لكن الروابط الغليكوزيدية في هذين البلمرين مختلفة، إذ تختلف البنية الحلقية للغلوكوز، ففي النشاء، تأخذ مواحيد الغلوكوز كلها النمط ألفا، وتأخذ مواحيد الغلوكوز كلها في السلولوز النمط بيتا.

عندما يشكّل الغلوكوز حلقة فإن التصاق مجموعة الهيدروكسيل يتوضّع إلى الكربون رقم 1 إما تحت مستوى الحلقة أو فوقه. وهذا الشكلان لحلقة الغلوكوز يسميان ألفا وبيتا على الترتيب.

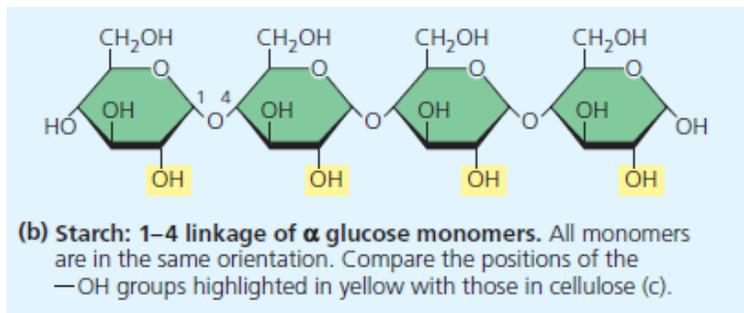
وتكون جزيئة النشاء حلزونية عريضة وتكون جزيئة السلولوز مستقيمة.

السلولوز لا يتفرّع إطلاقاً ويكون بعض مجموعاته الهيدروكسيلية على مواحيد الغلوكوز حرّاً لتحقيق الروابط الهيدروجينية مع هيدروكسيلات جزيئات السلولوز الأخرى المتوضعة على نحو متوازٍ إليها، أما في الجدر الخلوية النباتية فإن جزيئات السلولوز المتوازية تتماسك معاً وتتجمّع في لبيفات مكرّبة microfibrils، شبيهة بالكبل cable، وهي مواد بنائية قوية للنباتات.

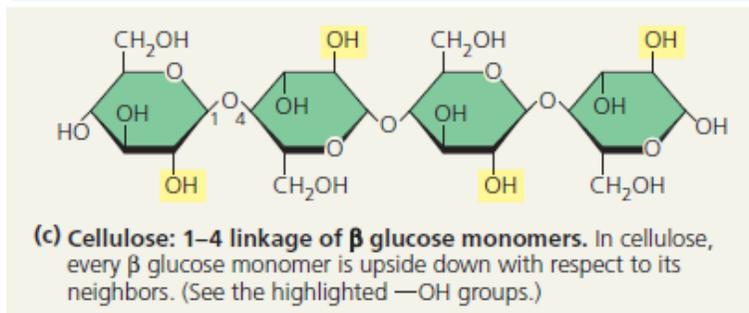
إن الإنزيمات التي تهضم النشاء بحلمة الروابط ألفا لا تقوى على حلمة الروابط بيتا للسلولوز؛ بسبب اختلاف شكل هاتين الجزيئتين.



(a) α and β glucose ring structures. These two interconvertible forms of glucose differ in the placement of the hydroxyl group (highlighted in blue) attached to the number 1 carbon.



(b) Starch: 1-4 linkage of α glucose monomers. All monomers are in the same orientation. Compare the positions of the $-OH$ groups highlighted in yellow with those in cellulose (c).



(c) Cellulose: 1-4 linkage of β glucose monomers. In cellulose, every β glucose monomer is upside down with respect to its neighbors. (See the highlighted $-OH$ groups.)

▲ بنية النشاء والسلولوز ألفا وبيتا.

Starch and cellulose structures

cellulose – digesting prokaryotes and protists in its gut

في الحقيقة، تمتلك متعضيات قليلة إنزيمات يمكنها أن تهضم السلولوز، وهو ما لا تستطيع الحيوانات كلها تقريباً والإنسان فعله، فالسلولوز في غذائنا يمر عبر المسلك الهضمي وينطرح مع البراز، وعند مروره في الأمعاء يحرض البطانة على إفراز المخاط mucus؛ ما يساعد على المرور السلس للطعام عبر المسلك الهضمي.

إن السلولوز مع كونه ليس مغذياً للبشر فإنه جزء مهم من النظام الغذائي المفيد، فمعظم الفواكه الطازجة والخضار والحبوب الكاملة تكون غنية بالسلولوز، وتشير عبارة "الألياف غير المنحلة" المكتوبة على الأغذية المعلبة إلى السلولوز أساساً.

تأوي البقرة بكتريا تهضم السلولوز cellulose – digesting في جهازها الهضمي، تكون قادرة على حلمة السلولوز في القش والأعشاب مفككة إياه إلى بلمرات الجلوكوز، وتحول الجلوكوز إلى مركبات أخرى تغذي البقرة.

ويمكن أن يهضم بعض الفطريات السلولوز في التربة، فتقيد هذه المستهلكات في إعادة تدوير العناصر الكيميائية ضمن النظم البيئية لكوكب الأرض.

الكيتين، عديد سكاريد بنيوي Chitin, a structural polysaccharide
يكون الكيتين الهيكل الخارجي للمفصليات / الحشرات.

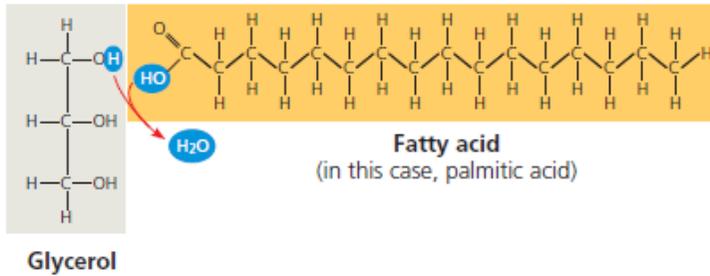
Lipids are a diverse group of hydrophobic molecules

الشحوم (الليبيدات) هي مجموعة من الجزيئات الكارهة للماء الليبيدات lipids هي الصف الوحيد من الجزيئات البيولوجية التي لا تتضمن بلمرات حقيقية، وهي ليست كبيرة عادة كفاية لعدّها جزيئات ضخمة، تتكوّن غالباً من مناطق هيدروكربونية، وتتنوع في شكلها ووظيفتها، تتضمن الشموع waxes والعديد من الأصبغة pigments، واختلاطها مع الماء رديء جداً، ويمكن أن تمتلك بعض الروابط القطبية المتحدة مع الأكسجين.

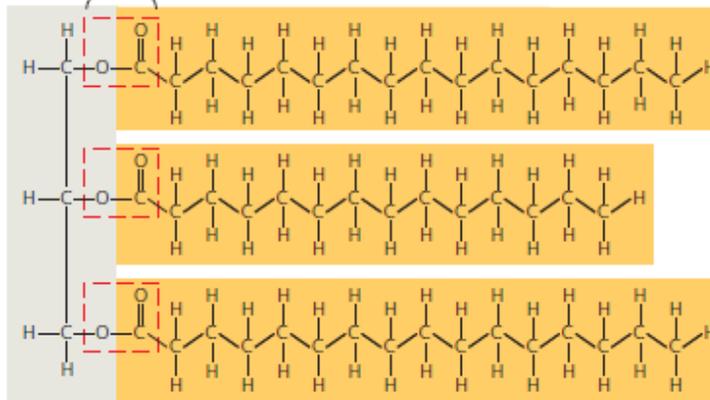
الدهن fats

برغم أن الدهن ليست بلمرات فإنها جزيئات ضخمة تتجمع من جزيئات أصغر هي الغليسرول والحموض الدسمة بتفاعلات البلمة dehydration. الغليسرول glycerol هو كحول، كل من كربونه الثلاثي يتصل بمجموعة هيدروكسيل. وتمتلك الحموض الدسمة fatty acids هيكلًا كربونياً طويلاً، عادة 16 أو 18 ذرة كربون في طولها. الكربون في نهاية واحدة من الهيكل هو جزء من مجموعة الكربوكسيل، المجموعة الوظيفية التي تعطي هذه الجزيئات اسم الحموض الدسمة. ويتكوّن الباقي من سلسلة

الهيدروكربون، الروابط C-H غير القطبية نسبياً في السلاسل الهيدروكربونية للحموض الدسمة تجعل الدسم كارهة للماء hydrophobic. تتفصل الدسم عن جزيئات الماء ذات الروابط الهيدروجينية بسبب تنافرها؛ لهذا ينفصل الزيت النباتي (الدسم) عن المحل الخلي المائي في زجاجة مرق توابل السلطة.



(a) One of three dehydration reactions in the synthesis of a fat
Ester linkage



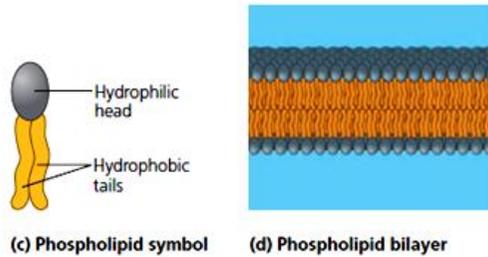
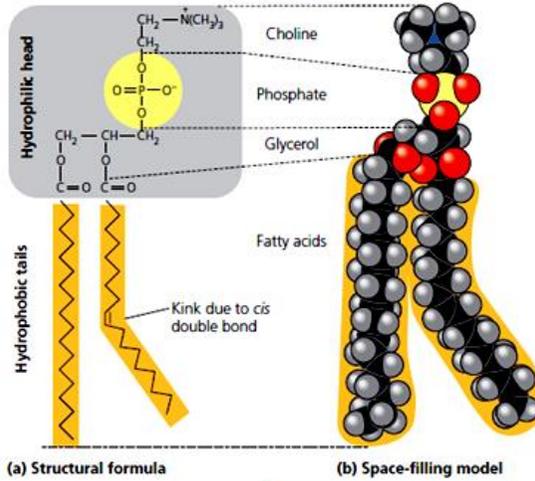
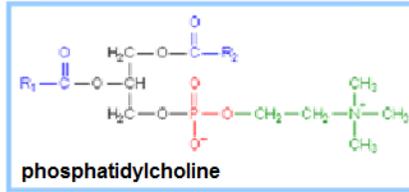
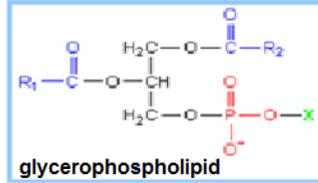
(b) Fat molecule (triacylglycerol)

تركيب وبنية الدسم، أو الشحوم الثلاثية triacylglycerol

الحموض الدسمة غير المشبعة unsaturated: حمض الزيت oleic acid وحمض بذر الكتان linoleic acid. والحموض الدسمة المشبعة saturated: حمض الزبدة butyric acid وحمض جوز الهند caprylic acid وحمض النخيل palmitic acid وحمض الشمع stearic acid ... ترتبط خواص الحموض الدسمة المشبعة بطول السلسلة الكربونية وبالمجموعة الكربوكسيلية، تفقد قابلية الذوبان بالماء، ترتفع درجة الانصهار والغليان مع ازدياد طول السلسلة.

الشحميات الفسفورية الفسفوليبيدات PL phospholipids

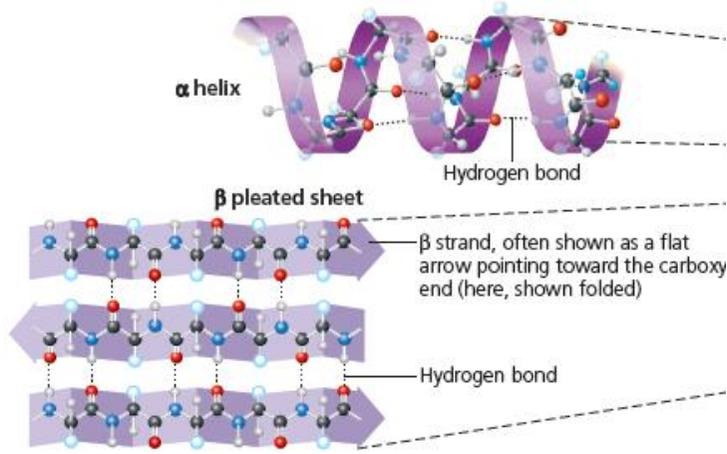
تتكوّن من جزيء غليسرول مع حمضين دسمين، ويشغل حمض الفسفور محل الحمض الدسم الثالث. أساس بنية الغشاء البلازمي، تتحكم في انتقال المواد بين الوسط الداخلي للخلية ووسطها الخارجي، لها خاصية التعادل الكهربائي، تتحلل بالماء وتتحلل بالمذيبات. ذات طبيعة مستقطبة بشدة.



الفسفوليبيدات PL phospholipids

البنية الثانوية Secondary Structure

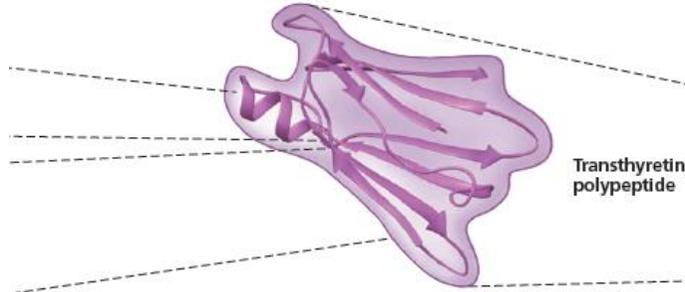
مناطق مستقرة بالروابط الهيدروجينية بين ذرات هيكل عديد الببتيد



البنية الثانوية للبروتينات: التقاف السلسلة الببتيدية الواحدة معاً ضمن مستوى فراغي واحد، مرتبطة مع نفسها بروابط هيدروجينية دورية منتظمة، تساعد في تثبيت: سلاسل ببتيدية صفائحية sheeted، وسلاسل ملتقة بانتظام حلزونياً helix.

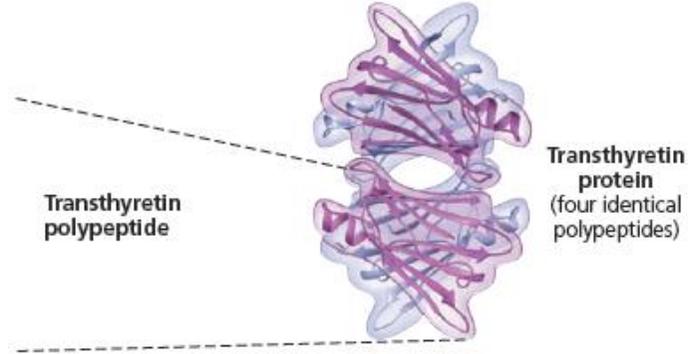
البنية الثالثية Tertiary Structure

مظهر ثلاثي الأبعاد مستقر بالتأثرات بين السلاسل الجانبية



البنية الثالثية للبروتينات: الرابطة الهيدروجينية، الروابط الكارهة للماء hydrophobic bonds، الروابط الشاردية بين الحموض الأمينية المتشردة، الجسور ثنائية الكبريت، حدوث درجة كبيرة من الالتفاف والطي في السلسلة الببتيدية الواحدة، يكتسب البروتين شكلاً كروياً تقريباً، ضغط السلسلة الببتيدية الطويلة، الحصول على تركيب ثابت ومعقد لجزء البروتين.

البنية الرابعة Quaternary Structure
ارتباط اثنين أو أكثر من عديدات الببتيد (بعض البروتينات فقط)



البنية الرابعة للبروتينات: يجتمع أكثر من سلسلة ببتيدية سواء أكانت متشابهة أم غير متشابهة، الروابط الهيدروجينية والشاردية والكارهة للماء والجسور ثنائية الكبريت.

الحموض النووية Nucleic acids

- الدنا Deoxyribonucleic acid DNA (الحمض الريبوي النووي منقوص الأكسجين)
- الحمض الريبوي النووي: الرنا Ribonucleic acid RNA

