الكيمياء الحيوية
Biochemistry

إعداد: د. وليد أحمد محمود

مقدمة:

تعرف الكيمياء الحيوية بأنها العلم الذي يزودنا بالتفسير الجزيئي للعمليات الحياتية. أو هي علم كيمياء المواد الحية.

يمكن تقسيم هذا العلم إلى قسمين:

1- الكيمياء الحيوية الوصفية (التصويرية): وتتناول التركيب الدقيق للمواد الحية.

2- الكيمياء الحيوية الحركية: وتتناول التغيرات الكيميائية أو العمليات الأيضية (Metabolism) التي تحدث في الأنظمة الحيوية.

الجزيئات الحياتية (Molecules of life (Biomolecules: إن الذرات الغالبة التي تدخل في تركيب الكائنات الحية هي الكاربون والهيدروجين والنتروجين والأوكسجين والفوسفور والكبريت. وتؤلف هذه الذرات جزيئات المواد الحية. يبين الجدول الآتي تركيب الجزيئات الحياتية الصغيرة المهمة (مثل السكريات البسيطة والاحماض الأمينية والقواعد النتروجينية والنيوكليوتيدات والاحماض الدهنية) والتي تمتلك أدواراً حياتية مستقلة فضلاً عن كونها تعمل كمكونات للجزيئات الحياتية الكبيرة (Macromolecules) مثل السكريات المتعددة والبروتينات والاحماض النووية واللبيدات.

جدول (1): الجزيئات الحياتية الأساسية.

الجزيئات الصغيرة	المكونات الذرية	الجزيئات الكبيرة
سكريات بسيطة (مثل الكلوكوز والفركتوز)	كاربون ، هيدروجين، أوكسجين	السكريات المتعددة (مثل النشا والسليلوز والأصماغ)
أحماض أمينية (مثل الكلايسين واللايسين)	كاربون ، هيدروجين، أوكسجين، نتروجين	البروتينات (مثل الألبيومين والهيموكلوبين)
أحماض دهنية (مثل الخليك والبالمتيك)	كاربون ، هيدروجين، أوكسجين	اللبيدات (مثل الدهون والزيوت)
القواعد النتروجينية (البيريميدينات والبيورينات)	كاربون ، هيدروجين، أوكسجين، نتروجين	النيوكليوتيدات والأحماض النووية (RNA, DNA)
النيوكليوتيدات	كاربون ، هيدروجين، أوكسجين، نتروجين، فوسفور	الأحماض النووية (RNA, DNA)

إن جميع الخلايا الحية تحتوي على الماء كأحد المكونات الرئيسية (وجعلنا من الماء كل شيء حي). كما تحتوي على الجزيئات الحياتية التي سبق ذكرها في الجدول فضلاً عن بعض الأملاح والمركبات الأخرى. ويلاحظ بين النباتات والحيوانات وجود تشابه وتوافق في تكرار وحدات الجزيئات الصغيرة المكونة للجزيئات الكبيرة مثل البروتينات والأحماض النووية. فهناك عشرون حامض أميني تعمل نفسها كمكونات لجميع البروتينات في الخلايا سواء النباتية أو الحيوانية. كما أن هناك ثلاث من قواعد البيريميدينات وإثنان من قواعد البيورينات تدخل في تركيب الأحماض النووية (RNA و DNA) في جميع الخلايا. فضلاً عن وجود مركب الـ Adenosine triphosphate, ATP) الذي يستخدم في حفظ ونقل الطاقة في الخلايا الحية بكل أنواعها.

الكاربوهيدرات (السكريات)
Carbohydrates (Sugars)

تعرف بأنها مركبات ألديهايدية أو كيتونية متعددة الهيدروكسيل (الألديهايدات هي المركبات التي تحوي مجموعة كاربونيل (–C=O) طرفية أي في طرف الجزيئة تسمى مجموعة الألديهايد أما الكيتونات فهي التي تحوي مجموعة كاربونيل داخل الجزيئة تسمى مجموعة الكيتون.) يطلق مصطلح الألدوز (Aldose) على السكر الحاوي على مجموعة الديهايد ويطلق مصطلح الكيتوز (Ketose) على السكر الحاوي على مجموعة كيتون. الصيغة الجزيئية العامة للكاربوهيدرات هي $C_x(H_2O)_y$ ومن هنا جاء مصطلح الكاربوهيدرات والذي يعني الكاربون المميه أو الممتص للماء. يلاحظ أن العناصر الرئيسي الموجودة في الكاربوهيدرات هي الكاربون والهيدروجين والأوكسجين. ويطلق عادة المصطلح المختصر (CHO) على الكاربوهيدرات أو السكريات.

تعد الكاربوهيدرات من أكثر المركبات العضوية انتشاراً في الطبيعة ومن أمثلتها هي الكلوكوز وارايبوز والسكروز والنشا والسلليلوز والأصماغ. وتعد عملية التركيب الضوئي في النباتات المصدر الرئيسي لها وذلك ببناء سكر الكلوكوز والذي يتحول بعد ذلك إلى أنواع الكاربوهيدرات الأخرى.

وظائف الكاربوهيدرات:

1- مصدر طاقة خلال عمليات الأيض.
2- مصدر لذرات الكاربون لتخليق مكونات الخلايا.
3- مخزن رئيسي للطاقة الكيميائية.
4- وظائف تركيبية في الخلايا والأنسجة.

تصنيف الكاربوهيدرات (السكريات):

1- السكريات الأحادية (Monosaccharides): هي السكريات التي تتركب جزيئتها من وحدة تركيبية واحدة فقط (الوحدة التركيبية للسكريات هي جزيئة سكر أحادي). ويتراوح عدد ذرات الكاربون في الجزيئة من 3-9. مثل الكلوكوز والفركتوز والرايبوز.

2- السكريات قليلة التعدد (Oligosaccharides): هي السكريات التي تتركب جزيئتها من 2-10 من وحدات السكريات الأحادية مثل السكروز والمالتوز والستاكيوز.

3- السكريات المتعددة (المكوثرة) (Polysaccharides): هي السكريات التي تتركب جزيئتها من أكثر من 10 وحدات من السكر الأحادي. وهي تحتوي عادة على مئات الوحدات السكرية لتكوين جزيئة كبيرة من السكر المتعدد. ومن أمثلتها النشا والكلايكوجين والسلليلوز والأصماغ.

4- السكريات المشتقة (Derived sugars): هي سكريات معظمها أحادية يرتبط بها مجموعة معينة مثل مجموعة الأمين أو الفوسفات أو المثيل.

إن الأواصر التي تربط بين الوحدات البنائية للسكريات المختلفة هي أواصر تساهمية قوية تسمى الأواصر الكلايكوسيدية.

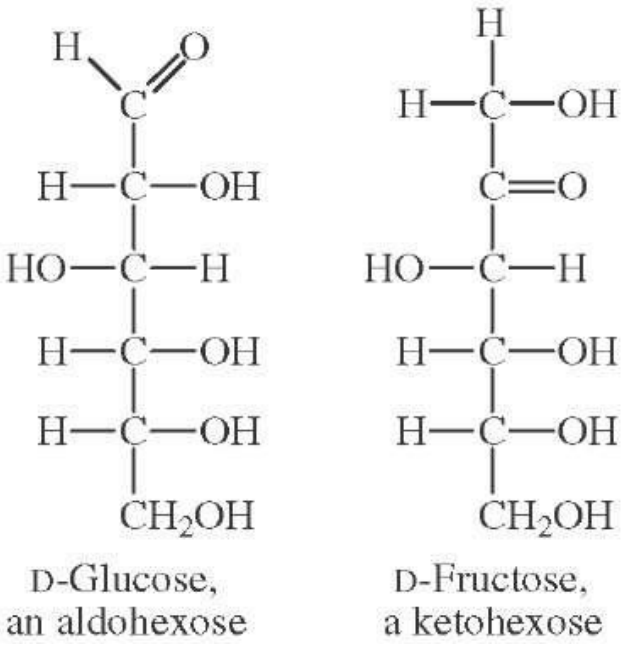
السكريات الأحادية (Monosaccharides):

خواصها:

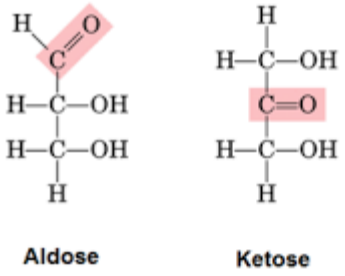
1- الهيكل الكاربوني مستقيم وغير متفرع.

2- كل ذرة كاربون (عدا واحدة) تحمل مجموعة هيدروكسيل.

3- توجد ذرة كاربون واحدة ترتبط بذرة أوكسجين بآصرة مزدوجة لتكوين مجموعة كاربونيل (-C=O). وتسمى هذه الذرة بذرة الكاربون الأنوميرية (Anomeric carbon atom). وعند وقوع ذرة الكاربون الأنوميرية في طرف جزيئة السكر أو السلسلة الكاربونية يكون السكر الأحادي ألديهايدي ويسمى ألدوز (Aldose)، وعند وقوع ذرة الكاربون الأنوميرية في داخل جزيئة السكر أو السلسلة الكاربونية يكون السكر الأحادي كيتوني ويسمى كيتوز (Ketose)، كما في المثال الآتي لسكري الكلوكوز والفركتوز



تحتوي أصغر السكريات الأحادية في الطبيعة على 3 ذرات كاربون أحدهما ألدوزي والآخر كيتوزي كما يبين الشكل.

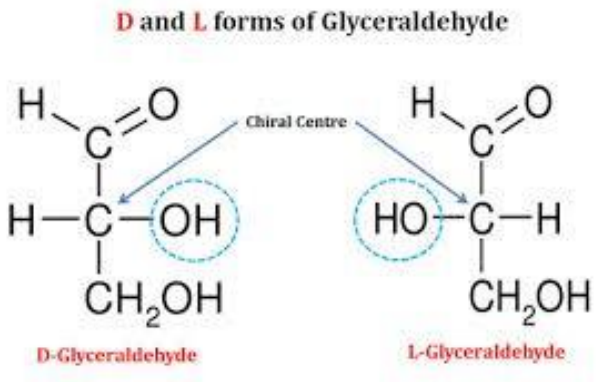


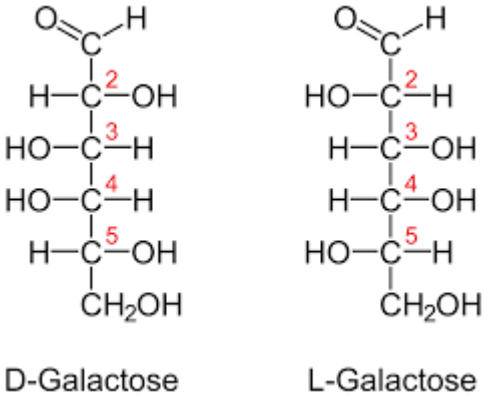
Glyceraldehyde Dihydroxyacetone

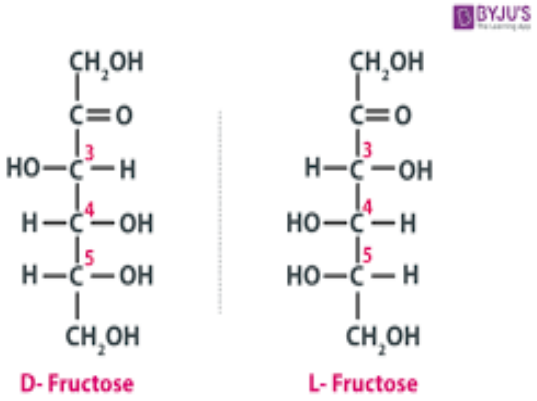
يبين الجدول الآتي طريقة تصنيف السكريات الأحادية

Carbon atoms	Aldose	Ketose
3	Aldotriose	Ketotriose
4	Aldotetrose	Ketotetrose
5	Aldopentose	Ketopentose (Pentulose)
6	Aldohexose	Ketohexose (Hexulose)
7	Aldoheptose	Ketoheptose (Heptulose)

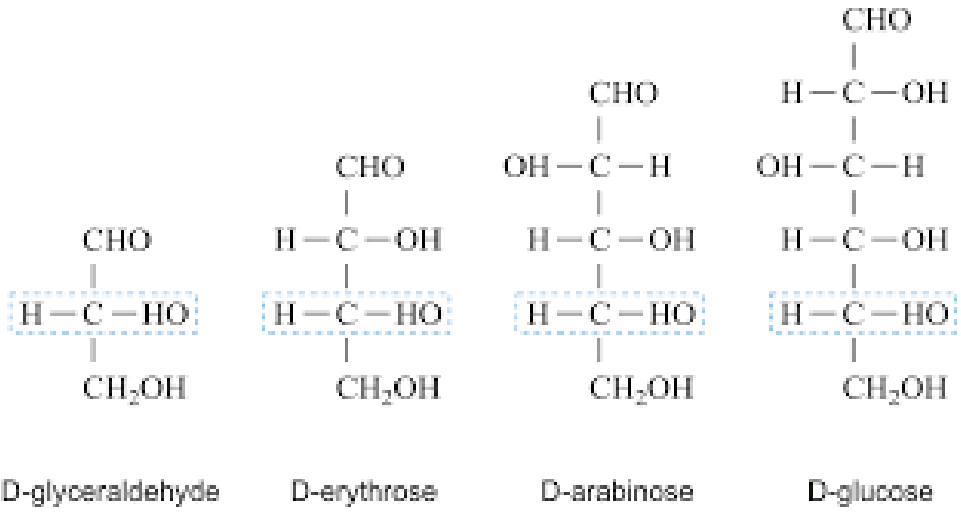
في السكريات الأحادية تسمى ذرة الكاربون قبل الأخيرة بـ (Penultimate carbon atom) ولها أهمية خاصة في التسمية. فعندما تكون مجموعة الهيدروكسيل (OH−) التي تحملها على جهة اليمين فيكون السكر Dextro ويرمز له (D)، وعندما تكون مجموعة الهيدروكسيل على جهة اليسار فيكون السكر Levo ويرمز له (L). ولكل سكر أحادي هيئتان إحداهما D والأخرى L وتكون الصيغة التركيبية لإحدى الهيئتين عبارة عن صورة مرآة للهيئة الأخرى ولجميع الذرات الواقعة بين ذرة الكاربون الأنوميرية وذرة الكاربون الأخيرة، أي أن مجاميع الـ OH− التي كانت إلى اليمين في الهيئة D تصبح إلى اليسار في الهيئة L . كما في المثال الآتي لسكريات الكلسيرالديهايد والكالاكتوز والفركتوز.







أمثلة لبعض السكريات الأحادية:



المتناظرات (Isomers): هي السكريات التي تختلف عن بعضها بمواقع مجاميع الـ OH على ذرات الكاربون المحصورة بين ذرة الكاربون الأنوميرية وذرة الكاربون الأخيرة. إن عدد المتناظرات لأي سكر يعادل (2^n) حيث n تساوي عدد ذرات الكاربون المحصورة بين ذرة الكاربون الأنوميرية والأخيرة. فمثلاً إن عدد متناظرات الكلوكوز يساوي $2^4 = 16$ نظير أما الفركتوز فله $2^3 = 8$ نظير.

التدوير الضوئي (Optical rotation): وهو يعبر عن قابلية محاليل المركبات العضوية على تدوير مستوى الضوء المستقطب المار فيها إلى اليمين أو اليسار. وتعد هذه من الصفات الثابتة للمركبات. فالمركب الذي يدير مستوى الضوء المستقطب إلى جهة اليمين يسمى يميني التدوير (Dextrorotary) ويرمز له بالرمز (d) أو (+). أما المركب الذي يدير الضوء المستقطب إلى اليسار فيسمى يساري التدوير (Levorotary) ويرمز له بالرمز (l) أو (−). فمثلاً السكر D-glucose هو يميني التدوير بينما السكر D-fructose هو يساري التدوير. كما أن

المركبات التي تكون صيغها التركيبية هي صورة مرآة لبعضها فهي تدير الضوء المستقطب إلى جهتين مختلفتين، فمثلاً

D−glucose = dextrorotary (d) or (+)

L−glucose = levorotary (l) or (−)

D−fructose = levorotary (l) or (−)

L−fructose = dextrorotary (d) or (+).

الجهاز المستخدم لقياس زاوية التدوير الضوئي يسمى البولاريميتر (Polarimeter) وتحتاج قراءة الجهاز إلى تعديل باستخدام المعادلة الآتية للحصول على النتيجة النهائية والتي تسمى التدوير النوعي (Specific rotation)

$$[\alpha]^{T}_{D} = \frac{\text{قراءة الجهاز}}{\text{طول الأنبوب (دسم) X تركيز المحلول (غم\مل)}}$$

ترمز T إلى درجة حرارة المحلول و D إلى الطول الموجي للضوء المستقطب (5461 أنكستروم)

المركبات التي لها القدرة على تدوير الضوء المستقطب تسمى مركبات فعالة ضوئياً (Optically active) والتي يجب ان تحوي الجزيئة فيها على ذرة كاربون غير متناسقة (أي ترتبط بأربع مجاميع مختلفة) أما المركبات التي لا تحتوي على مثل هذه الذرة فتكون خاملة ضوئياً (Optically inert)، والتي لا تسبب تدوير الضوء المستقطب المار من خلال محاليلها.

مثال: احسب التدوير الضوئي لمركب إذا كانت قراءة جهاز البولاريميتر تساوي (−4°) وكان طول انبوب الجهاز 10 سم وتركيز المركب في المحلول 50 غم\لتر.

الحل: طول الأنبوب= 10 سم = 1 دسم

تركيز محلول المركب = 50 غم\لتر = $\frac{50}{1000}$ = 0.05 غم\مل

$$[\alpha]^{T}_{D} = \frac{\text{قراءة الجهاز}}{\text{تركيز المحلول (غم\مل) } X \text{ طول الأنبوب (دسم)}}$$

$$[\alpha]^{T}_{D} = \frac{-4}{1X0.05} = -80^{o}$$

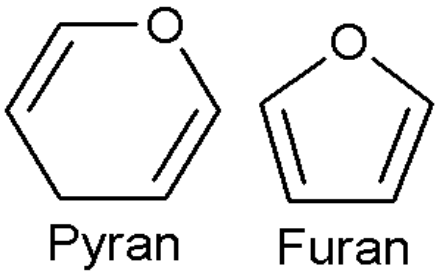
أي أن محلول هذا المركب يعمل على تدوير الضوء المستقطب إلى جهة اليسار بزاوية مقدارها 80 درجة.

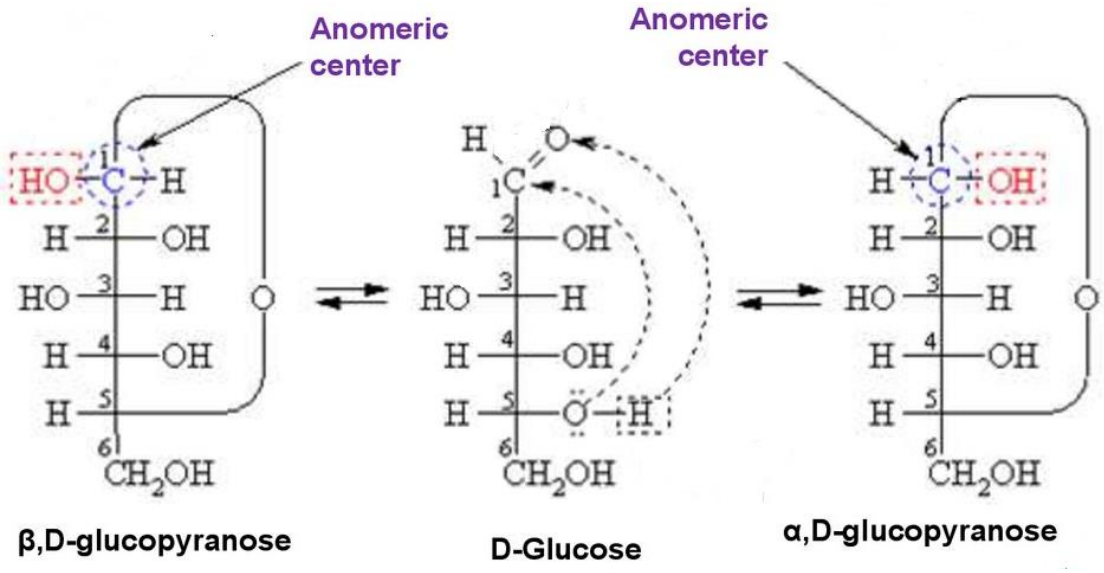
مثال: احسب التدوير الضوئي لمركب إذا كانت قراءة جهاز البولاريميتر تساوي (3.5º) وكان طول انبوب الجهاز 20 سم وتركيز المركب في المحلول 5%.

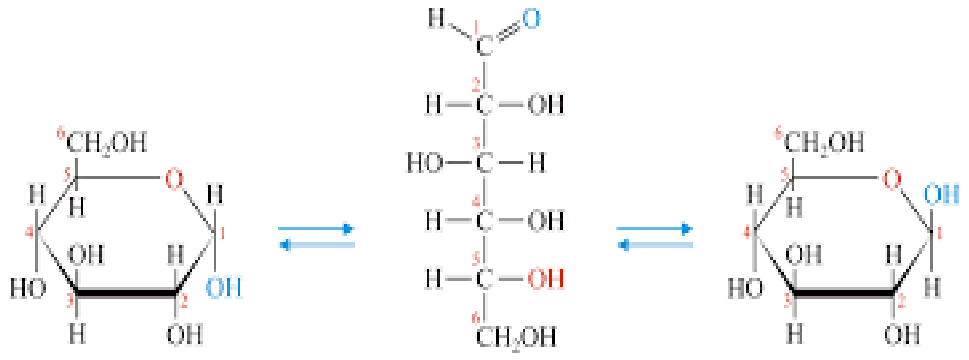
الترتيب الفراغي للسكريات: توجد السكريات في المحاليل بهيئتين هما:

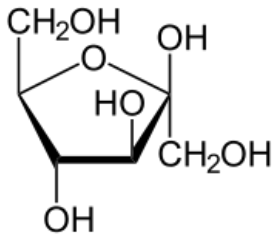
1- الهيئة المستقيمة (هيئة فيشر Fischer formula) وهي التي سبق الكلام عنها.

2- الهيئة الحلقية (هيئة هوارث Howarth formula): وجد أنه في المحاليل المائية للسكريات يتحول معظم السكر إلى الهيئة الحلقية أو التركيب الحلقي وذلك بتكوين جسر أوكسجيني أو آصرة بين ذرة الكاربون الأنوميرية مع ذرة كاربون أخرى تكون عادة الذرة ما قبل الأخيرة فيتحول السكر إلى التركيب الحلقي.







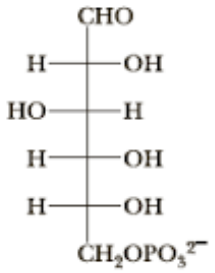


ß–D–Fructose (ß–D–Fructofuranose)

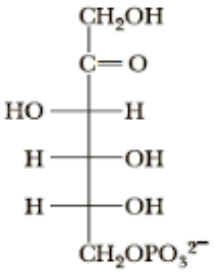
يلاحظ أنه بتكوين الصيغة الحلقية للسكر تظهر مجموعة هيدروكسيلية جديدة (OH) على ذرة الكاربون الأنوميرية فعندما تكون هذه المجموعة إلى الأسفل فالسكر يكون من نوع ألفا (α) ، وعندما تكون إلى الأعلى فالسكر يكون من النوع بيتا (ß). كما أن وجود هذه المجموعة الهيدروكسيلية يعطي السكر صفة الإختزال أي أنه يكون سكر مختزل (Reducing sugar) وعلى ذلك تكون جميع السكريات الأحادية ومعظم السكريات الثنائية سكريات مختزلة. إن وجود مجموعة الـ (OH) إلى الأسفل أو الأعلى ليس له علاقة ببقية مجاميع الـ (OH) في الجزيئة، أي أن الصيغة ألفا لا تكون صورة مرآة للصيغة بيتا، بل يكون الاختلاف على ذرة الكاربون الأنوميرية فقط، وكما يتبين من أشكال الصيغ التركيبية.

تفاعلات السكريات الأحادية: Reactions of monosaccharides

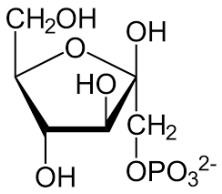
1- **أسترات حامض الفوسفوريك:** تنتج عن ارتباك جزيئة من حامض الفوسفوريك بجزيئة السكر الأحادي بآصرة إسترية (Ester linkage) ويسمى التفاعل بفسفرة السكريات. وتعد الفسفرة أولى مراحل أيض السكريات. أي أن الخلية الحية لا تستطيع الاستفادة من السكريات إذا لم تكن مفسفرة.



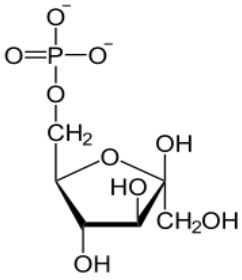
D-Glucose 6-phosphate



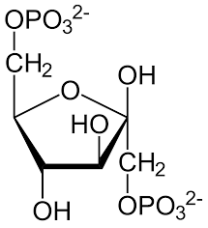
D-Fructose 6-phosphate



Fructose−1−phosphate

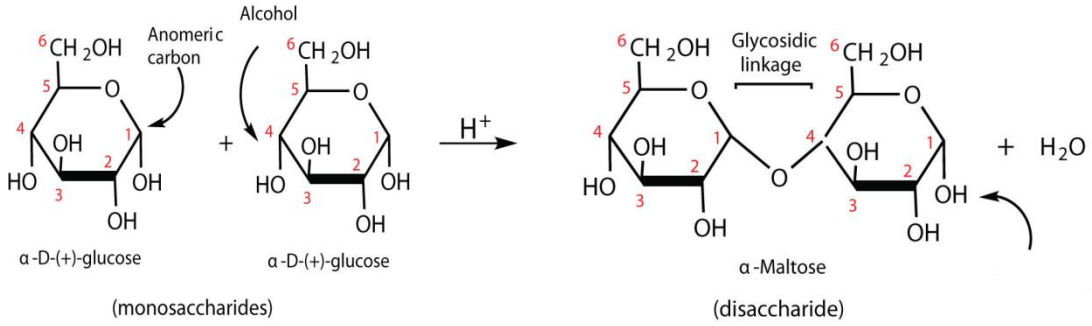


Fructose−6−phosphate

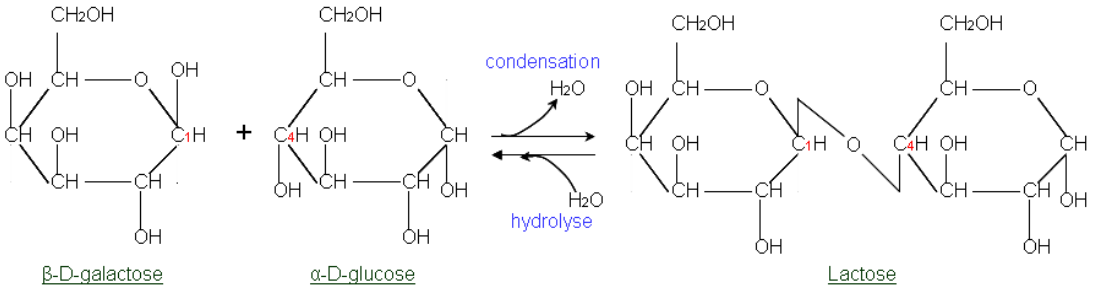


Fructose−1,6−biphosphate

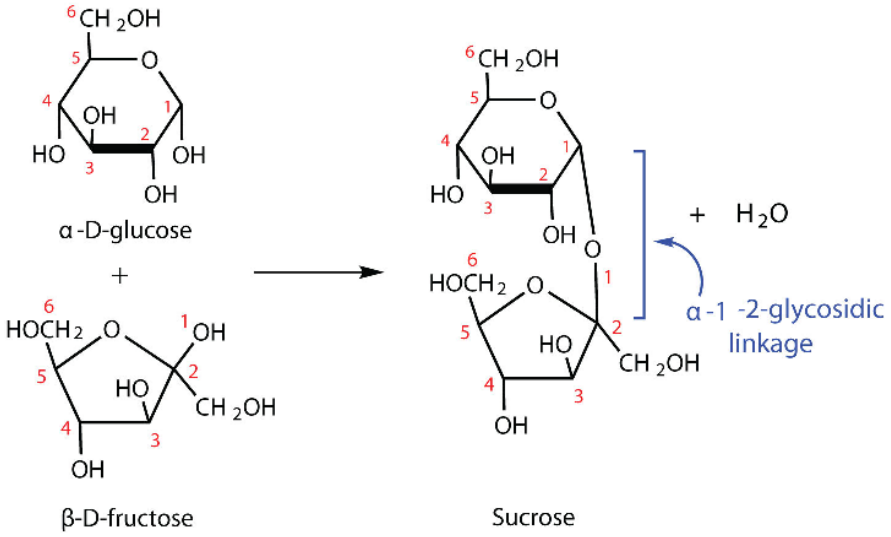
2- **تفاعل ذرة الكاربون الأنوميرية:** حيث ترتبط ذرة الكاربون الأنوميرية مع مجموعة هيدروكسيلية (−OH) تابعة لذرة كاربون في نفس جزيئة السكر كما يحصل عند تحول الهيئة المستقيمة للسكر إلى الهيئة الحلقية وكما ذكر سابقاً. كما يمكن أن ترتبط ذرة الكاربون الأنوميرية مع مجموعة هيدروكسيل في جزيئة سكر مجاورة لتكوين اصرة كلايكوسيدية (Glycosidic linkage) مع طرح جزيئة ماء. وهي الأصرة التساهمية التي تربط وحدات السكر الأحادي لتكوين السكريات الثنائية (Disaccharides) والمتعددة (Polysaccharides). يبين الشكل الآتي ارتباط جزيئتين من الكلوكوز بآصرة كلايكوسيدية من نوع $(\alpha, 1-4)$ لتكوين جزيئة المالتوز



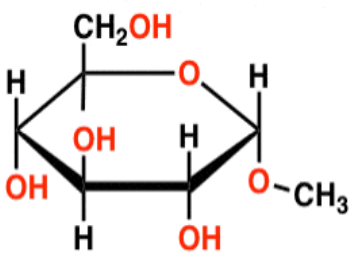
يبين الشكل الآتي ارتباط جزيئة من الكالاكتوز مع جزيئة من الكلوكوز بآصرة كلايكوسيدية من نوع (ß, 1 – 4) لتكوين جزيئة اللاكتوز.



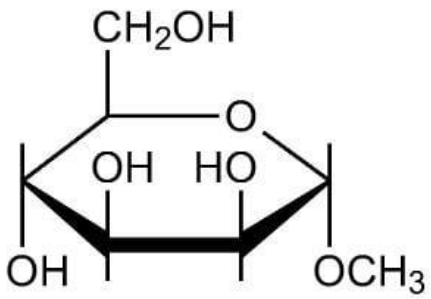
كما يبين الشكل الآتي ارتباط جزيئة كلوكوز مع جزيئة فركتوز لتكوين جزيئة سكروز



3- **ميثلة مجاميع الهيدروكسيل** (Methylation of hydroxyl groups): إن إضافة مجموعة المثيل ($-CH_3$) إلى ذرة الكاربون الأنوميرية يؤدي إلى تكوين الكلايكوسيدات (Glycosides) مثل المركبات الآتية. لاحظ أن سكر المانوز يختلف عن الكلوكوز في موقع مجموعة الـ OH– على ذرة الكاربون الثانية فقط.

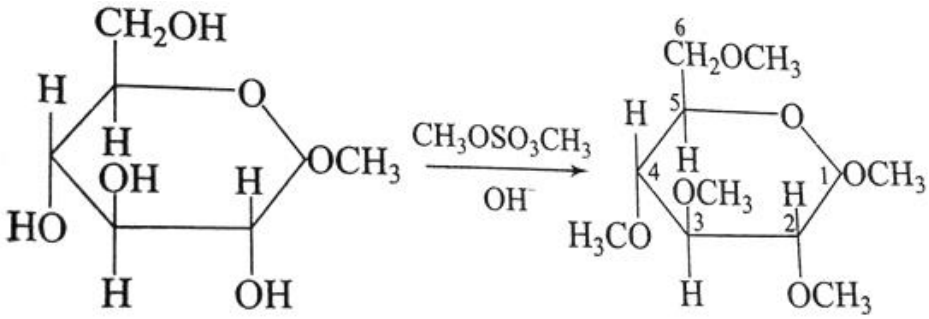


methyl glucoside



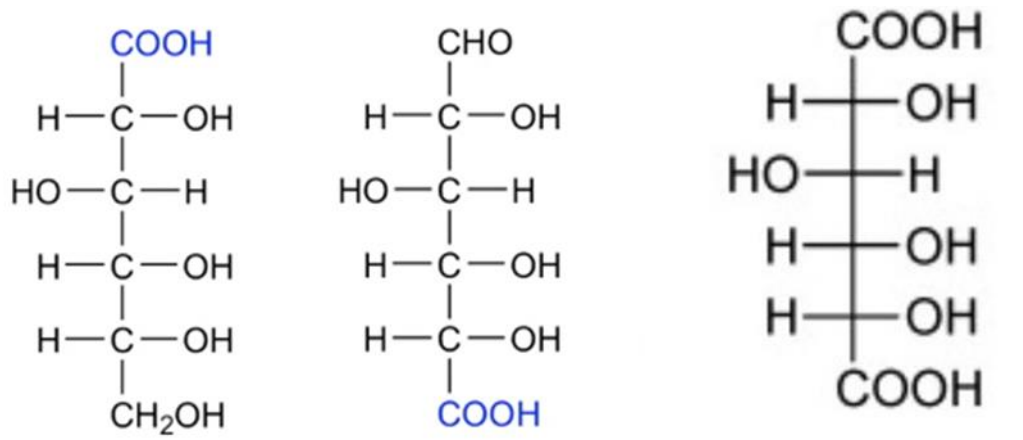
Methylmannopyranoside (methyl mannoside)

إن ميثلة مجاميع الهيدروكسيل الأخرى تحتاج إلى ظروف أكثر تعقيداً. وتفيد تفاعلات الميثلة في الدراسات التركيبية للسكريات.



Methyl glucoside Pentamethyl glucoside

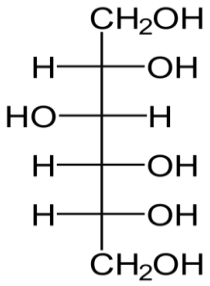
4- **أكسدة السكريات الأحادية:** تتمكن بعض المركبات من اكسدة السكريات الألدوزية (Aldoses) ويستخدم هذا التفاعل في التمييز بين الألدوزات والكيتوزات. إن أكسدة السكريات الأحادية يؤدي إلى تكوين الأحماض السكرية (Sugar acids). فعند أكسدة ذرة الكاربون الأنوميرية (الأولى) يتكون حامض الألدونيك (Aldonic acid) مثل Gluconic acid و Galactonic acid و Mannoic acid. وعند أكسدة ذرة الكاربون الأخيرة يتكون حامض الألديورونيك (Alduronic acid) مثل Glucuronic acid و Galacturonic acid و Manuronic acid. أما عند أكسدة ذرتي الكاربون الأولى والأخيرة معاً فيتكون حامض الألداريك (Aldaric acid) مثل Glucaric acid و Galactaric acid و Mannaric acid.



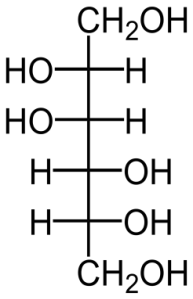
D-gluconic acid D-glucuronic acid D-glucaric acid

5- اختزال السكريات الأحادية (تكوين الكحولات السكرية):

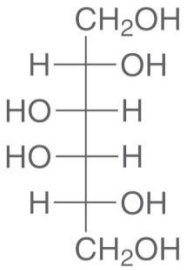
عند معاملة السكر الأحادي بغاز الهيدروجين تحت الضغط وبوجود عامل مساعد فإن مجموعة الكاربونيل تختزل إلى مجموعة هيدروكسيلية كحولية. يؤدي اختزال الكلوكوز إلى إنتاج السوربتول واختزال المانوز إلى إنتاج المانيتول واختزال الكالاكتوز إلى إنتاج الدلسيتول. تمتاز الكحولات السكرية بطعمها الحلو وبكونها تتأيض بطريقة مشابهة لأيض السكريات الأحادية.



Sorbitol



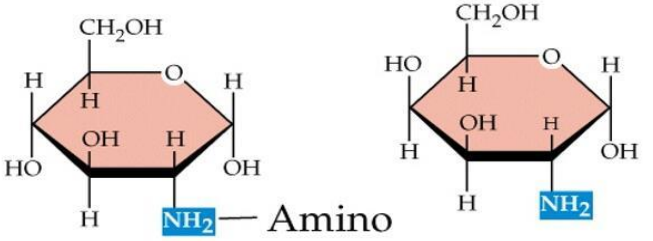
Mannitol



Dulcitol

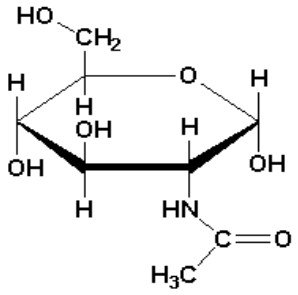
6- السكريات الأمينية (Aminosugars):

تتكون السكريات الأمينية باستبدال مجموعة الهيدروكسيل (OH−) الواقعة على ذرة الكاربون الثانية في السكريات الألدوزية السداسية (Aldohexoses) بمجموعة أمينية كما في الأمثلة

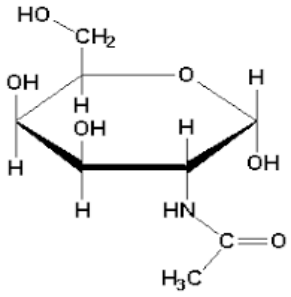


Glucosamine Galactosamine

وفي الطبيعة يوجد هذان المركبان مرتبطان بمجموعة أسيتايل (Acetyl group)



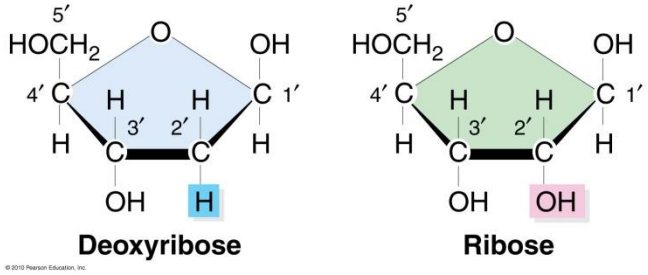
N-acetylglucosamine



N-Acetylgalactosamine

ينتج مركب الـ N–acetylglucosamine عند تحلل الكايتين (Chitin) وهو من السكريات المتعددة التي تعطي الصلابة للقشرة الخارجية لبعض الحشرات. كما يوجد مركب الـ N–acetylgalactosamine في السكريات المتعددة في الغضاريف.

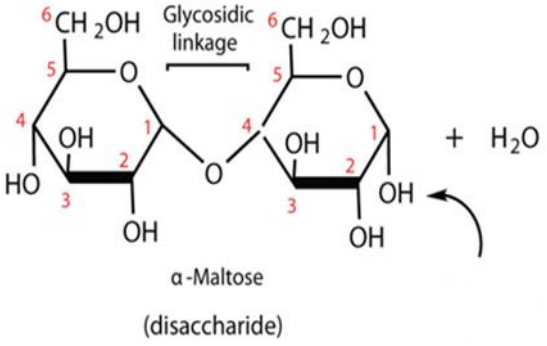
7- **السكريات منقوصة الأوكسجين (Deoxy sugars):** تتكون نتيجة إزالة ذرة الأوكسجين من جزيئة السكر مثل سكر الرايبوز منقوص الوكسجين (Deoxyribose) الموجود في الـ DNA والذي يتكون بإزالة ذرة أوكسجين من جزيئة سكر الرايبوز.



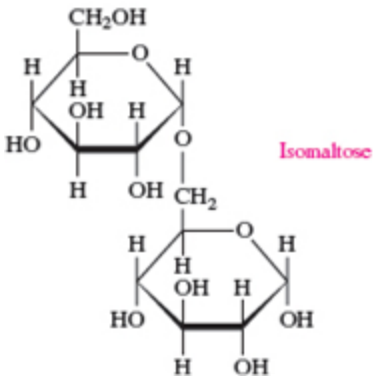
السكريات قليلة التعدد (Oligosaccharides)

هي السكريات التي تتكون الجزيئة فيها على 2–10 وحدة من السكر الأحادي. وتعد السكريات الثنائية من اكثرها شيوعاً وفيما يأتي أهم السكريات الثنائية.

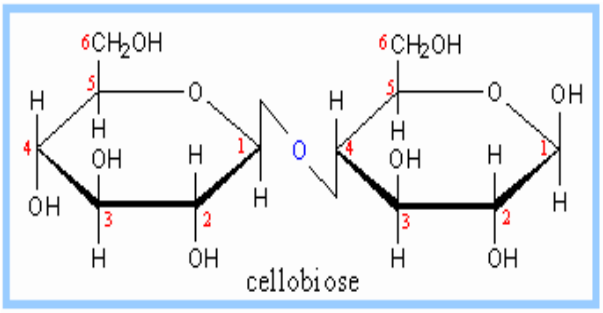
1–مالتوز: يتكون من ارتباط جزيئتين من الكلوكوز ببعضهما بأصرة كلايكوسيدية من نوع $\alpha, 1-4$. ينتج هذا السكر كمركب وسطي من تحلل النشا بفعل انزيم الأميليز.



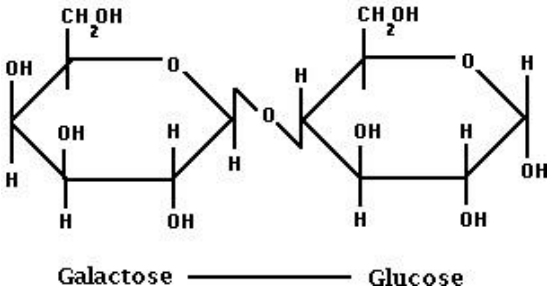
2–آيسومالتوز (Isomaltose): سكر ثنائي يتكون من ارتباط جزيئتين من الكلوكوز بآصرة كلايكوسيدية من نوع $\alpha, 1-6$ وينتج هذا السكر من التحلل غير الكامل للأميلوبكتين (وهو أحد مكونات النشا).



3-**سيلوبايوز (Cellibiose):** سكر ثنائي يتركب من جزيئتين من الكلوكوز مرتبطتين بأصرة كلايكوسيدية من نوع $(ß, 1-4)$ وهو ينتج من التحلل غير الكامل للسيليلوز بواسطة إنزيم السيليوليز (Cellulase).

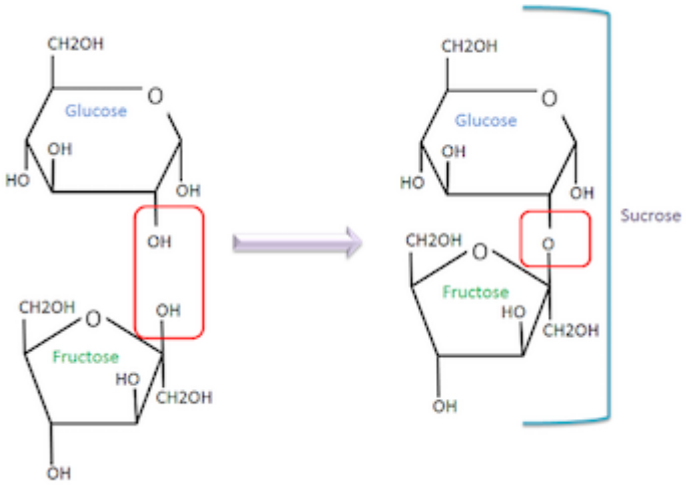


4-لاكتوز (Lactose): سكر ثنائي مكون من ارتباط جزيئة سكر كالاكتوز مع الكلوكوز بآصرة كلايكوسيدية من نوع $(ß, 1-4)$ ويطلق على هذا السكر بسكر الحليب ومصدره الوحيد هو حليب اللبائن.



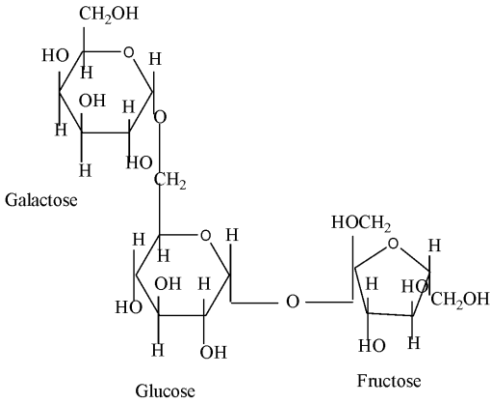
Lactose

5-سكروز (Sucrose): سكر ثنائي يتكون من ارتباط الكلوكوز مع الفركتوز بآصرة كلايكوسيدية نوع $\alpha, 1-2$ ويسمى سكر المائدة أو سكر البنجر أو سكر القصب. وهو سكر غير مختزل بسبب عدم امتلاكه لمجموعة OH– حرة على ذرة الكاربون الأنوميرية وذلك لانشغال ذرتي الكاربون الأنوميريتين بتكوين الآصرة الكلايكوسيدية.

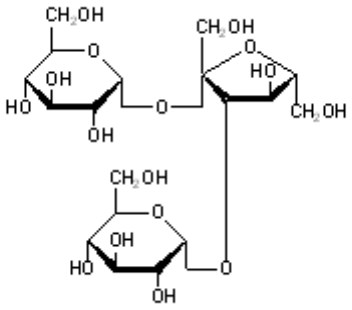


Sucrose

تعد السكريات الثلاثية من السكريات قليلة التعدد أيضاً ومن أمثلتها الرافينوز (Raffinose) ويتكون من الفركتوز والكلوكوز والكالاكتوز ويوجد في البنجر السكري وبعض النباتات الأخرى. وهناك أيضاً السكر الثلاثي الميليزايتوس (Melizitose) الذي يتكون الكلوكوز والفركتوز والكلوكوز.



Raffinose



Melizitose

السكريات المتعددة (Polysaccharides)

هي السكريات التي تتركب فيها الجزيئة من أكثر من 10 وحدات من السكر الأحادي, وهي عادة تحتوي على عدد كبير من وحدات السكر الأحادي ترتبط ببعضها بأواصر كلايكوسيدية. وتختلف السكريات المتعددة عن بعضها بنوع الوحدات البنائية التي تتكون منها وأنواع الأواصر الكلايكوسيدية التي تربط بين هذه الوحدات البنائية وكذلك في عدد الوحدات البنائية التي تتكون منها (أي في أوزانها الجزيئية) وفي درجة تفرعها. ويطلق أيضاً على السكريات المتعددة اسم

الكلايكانات (Glycans). فالسكر المتعدد الذي يتكون من وحدات الكلوكوز يسمى الكلوكان (Glucan) والذي يتكون من وحدات المانوز يسمى المانان (Mannan) والذي يتكون من وحدات الفركتوز يسمى الفركتان (Fructan) وهكذا.

تصنيف السكريات المتعددة: تقسم السكريات المتعددة إلى نوعين رئيسيين هما:

1- السكريات المتعددة المتجانسة (Homopolysaccharides): وهي التي تتكون من نوع واحد من الوحدات البنائية (أي عند تحللها الكامل تعطي نوع واحد من السكريات الأحادية) مثل النشا والسليلوز والكلايكوجين والكايتين).

2- السكريات المتعددة غير المتجانسة (Heteropolysaccharides): وهي التي تتكون ر كلايكوسيدية من أكثر من نوع واحد من الوحدات البنائية (أي عند تحللها الكامل تعطي خليط من السكريات الأحادية) مثل الأصماغ والهيبارين.

أمثلة على السكريات المتعددة المتجانسة:

1- **السليلوز:** وهو من أكثر المركبات العضوية شيوعاً في الطبيعة وله وظيفة تركيبية (Structural) حيث يعمل على إعطاء الصلابة لجدران الخلايا النباتية. ويعد القطن من أنقى مصادر السليلوز الطبيعية حيث يحتوي على حوالي 90% من السليلوز. تتكون جزيئة السليلوز من وحدات متعاقبة من سكر الكلوكوز ترتبط ببعضها بأواصر كلايكوسيدية من نوع ß,1-4 وهي لا تحتوي على تفرعات. التحلل الجزئي للسليلوز يعطي السكر الثنائي السلوبايوز (Cellobiose) وعند التحلل الكامل يعطي سكر الكلوكوز.

2- **النشا:** يعمل كخزين غذائي في الخلايا النباتية ويتكون من نوعين من الجزيئات **هما:**

أ- **الأميلوز (Amylose):** يتكون من سلسلة طويلة غير متفرعة من وحدات الكوكوز مرتبطة ببعضها بأواصر كلايكوسيدية من نوع $\alpha, 1-4$. التحلل الجزئي له يعطي السكر الثنائي المالتوز (Maltose). أما تحلله الكامل فيعطي الكلوكوز.

ب- **الأميلوبكتين:** يتكون من سلسلة متفرعة من وحدات الكلوكوز. يحصل التفرع كل 12 وحدة كلوكوز. وترتبط وحدات الكلوكوز ببعضها بأواصر من نوع $\alpha, 1-4$ أما في نقاط التفرع فتكون الآصرة من نوع $\alpha, 1-6$.

3- **الكلايكوجين:** سكر متعدد متجانس يعمل كخزين غذائي. يوجد في الأنسجة الحيوانية، تركيبه يشابه تركيب الأميلوبكتين ولكنه أكثر تفرعاً حيث يحصل التفرع كل 8-10 وحدات من الكلوكوز.

4- **الفركتان** (Fructan) سكر متعدد من الفركتوز.

5- **الأرابنان** (Aribinan) سكر متعدد من الأرابينوز.

6- **المانان** (Mannan) سكر متعدد من المانوز.

7- **الكايتين** (Chitin) سكر متعدد متجانس يتكون من وحدات متعاقبة من سكر أحادي مشتق هو N-acetylglucosamine. وهو يوجد في القشرة الصلبة التي تغطي أجسام الحشرات.

أمثلة على السكريات المتعددة غير المتجانسة:

1- الهيبارين (Heparin) يتركب من وحدات متعاقبة من الكلوكوزأمين المكبرت (glucosamine sulphate) و حامض الكلوكيورونيك المكبرت (Glucuronate sulphate) وهو مادة مضادة لتخثر الدم تتواجد في الرئتين والكبد وبعض الانسجة الاخرى.

2- الأصماغ (Gums): وهي أكثر تعقيداً ويوجد عدة أنواع منها تختلف في تراكيبها وتتركب عموما من بعض السكريات الأحادية مع سكريات مشتقة.

3- حامض الهيالورونيك (Hyaluronic acid): سكر متعدد يتكون من وحدات متعاقبة من D-glucuronic acid مع سكر مشتق هو N-acetyl-D-glucosamine يرتبطان ببعضهما بآصرة كلايكوسيدية من نوع ß,1-3. يوجد هذا السكر المتعدد في الجلد والأنسجة الرابطة والانسجة العصبية.

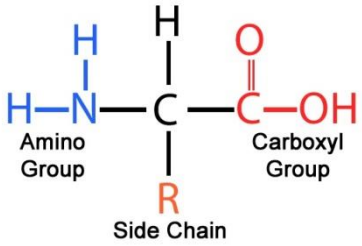
الاحماض الامينية والببتيدات والبروتينات
Amino acids, peptides and Proteins

تعتبر الاحماض الأمينية الوحدات البنائية (Building blocks) للببتيدات والبروتينات. وهناك عشرون نوعاً من الاحماض الأمينية تدخل في بناء البروتينات.

تتكون الببتيدات من ارتباط الاحماض الأمينية ببعضها بأواصر تساهمية تسمى الأواصر الببتيدية. يتراوح عدد وحدات الاحماض الأمينية في جزيئات الببتيدات بين 2 – 99 جزيئة حامض أميني.

أما البروتينات فهي تتكون من ارتباط 100 حامض أميني أو أكثر مع بعضها بأواصر ببتيدية، لذلك تعتبر البروتينات جزيئات ذات أوزان جزيئية كبيرة.

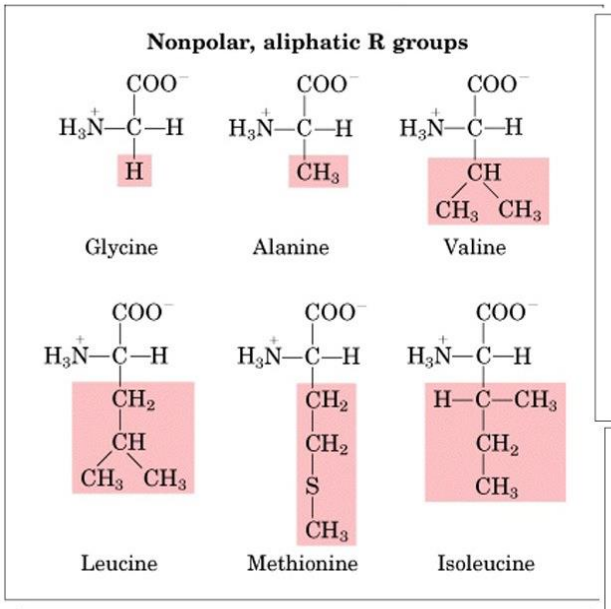
الاحماض الأمينية: تحتوي جزيئة الحامض الأميني على ذرة كاربون تسمى ذرة الكاربون ألفا (α – carbon atom) تتصل بها مجموعة كاربوكسيلية ومجموعة أمينية ولهذا تسمى هذه الاحماض الأمينية بالأحماض الأمينية ألفا (α – amino acids) كما ترتبط ذرة هيدروجين بذرة الكاربون ألفا. وأخيراً ترتبط مجموعة تسمى المجموعة الطرفية (R-group) بذرة الكاربون ألفا أيضاً. كما في الشكل.

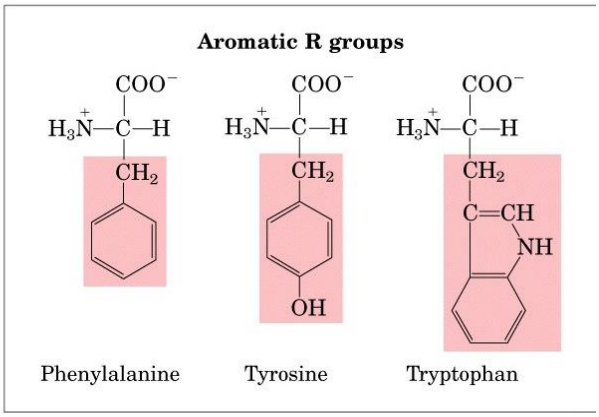


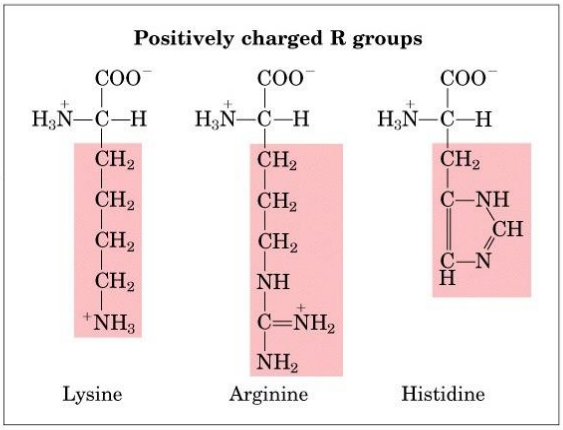
وتختلف الاحماض الامينية عن بعضها بتركيب المجموعة الجانبية أو الطرفية. تكون المجموعة الأمينية حرة وغير مرتبطة في جميع الاحماض الأمينية عدا البرولين.

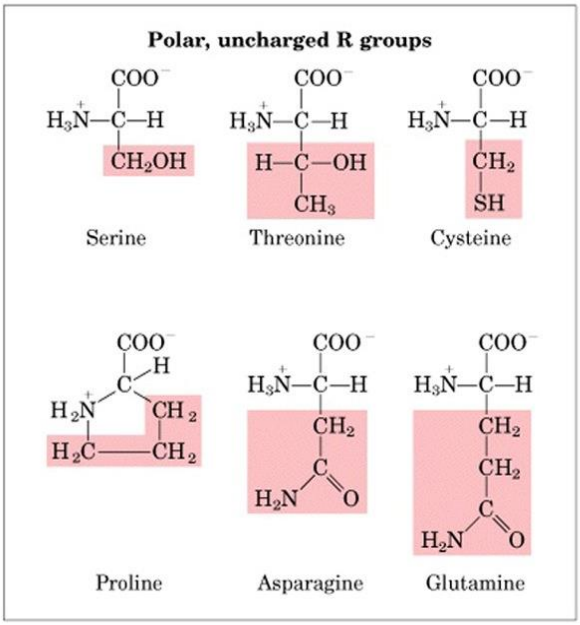
هناك ثمانية أحماض أمينية لا يتمكن جسم الانسان من تخليقها ويجب أن يتناولها عن طريق الغذاء وتسمى الاحماض الأمينية الأساسية (Essential amino acids, EAA) وهي اللايسين (Lysine) والليوسين (Leucine) والآيزوليوسين (Isoleucine) والميثايونين (Methionine) والثريونين (Threonine) والتربتوفان (Tryptophane) والفالين (Valine) والفينايل ألانين (Phenylalanine). أما الأحماض الأمينية الأخرى –وعددها إثنا عشر– فيتمكن جسم الإنسان من تخليقها وتسمى الاحماض الأمينية غير الأساسية (Non-essential amino acids) وهي الكلايسين (Glycine) والألانين (Alanine) والسستين (Cysteine) والسيرين (Serine) والتايروسين (Tyrosine) والكلوتامين (Glutamine) وحامض الكلوتاميك (Glutamic acid) والأسباراجين (Asparagen) وحامض الأسبارتيك (Aspartic acid) والبرولين (Proline) والهستدين (Histidine) والآرجنين (Arginine).

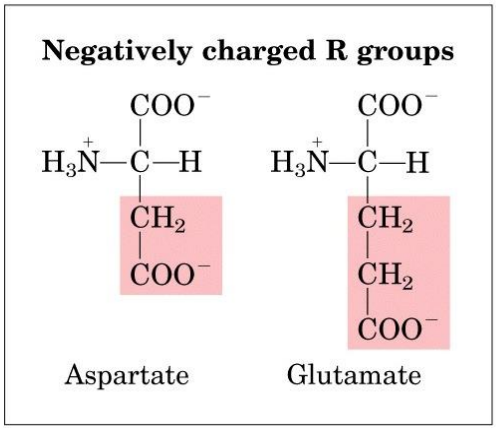
وتختلف الاحماض الأمينية عن بعضها في تركيب المجموعة الطرفية فيها وبالتالي في الخواص الكيميائية والفيزيائية لها. فهناك الاحماض الأمينية الحامضية (Acidic amino acids) التي تمتلك مجموعة كاربوكسيلية (−COOH) في مجموعتها الطرفية لتعطيها صفة الحموضة، وهناك الاحماض الأمينية القاعدية (Basic amino acids) التي تمتلك مجموعة أمينية ($-NH_2$) أو أكثر في مجموعتها الطرفية لتعطيها صفة القاعدية. أما بقية الاحماض الأمينية فهي متعادلة (Neutral amino acids). كما أن هناك أحماض امينية محبة للماء (Hydrophilic) أو قطبية (Polar) وأحماض أمينية غير محبة للماء (Hydrophobic) أو غير قطبية (Non polar).





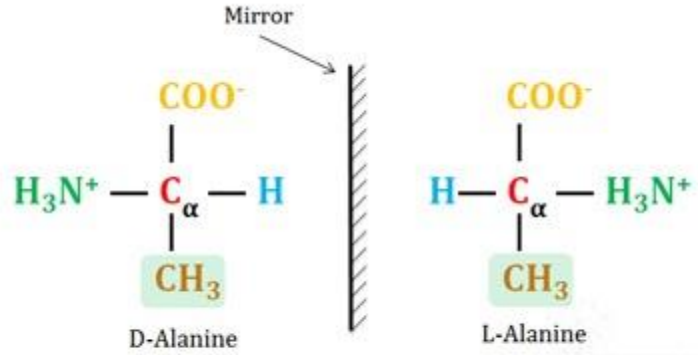






وإضافة للأحماض الأمينية العشرين الموجودة في البروتينات فهناك احماض أمينية أخرى موجودة بصورة حرة في الخلية أو تكون مرتبطة بمركبات أخرى ولها أدوار مختلفة في الخلية.

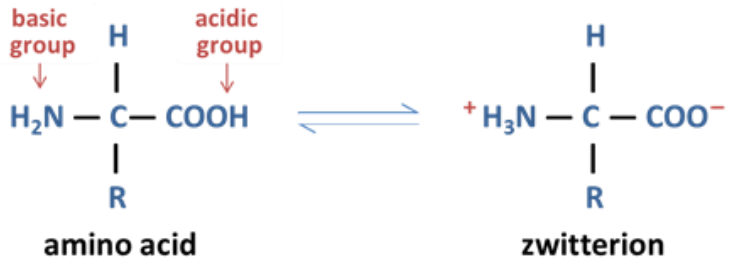
لكل حامض أميني نظيرين هما L و D اعتماداً على موقع المجموعة الأمينية ($-NH_2$) إما إلى اليسار أو إلى اليمين.

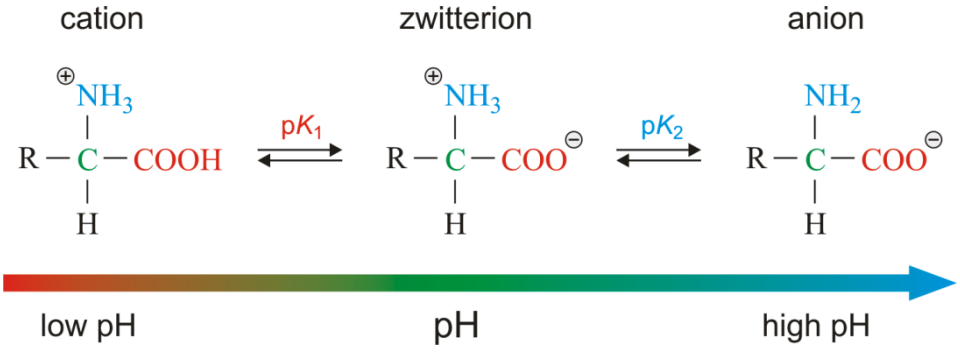


D and L forms of Amino Acid (Eg. Alanine)

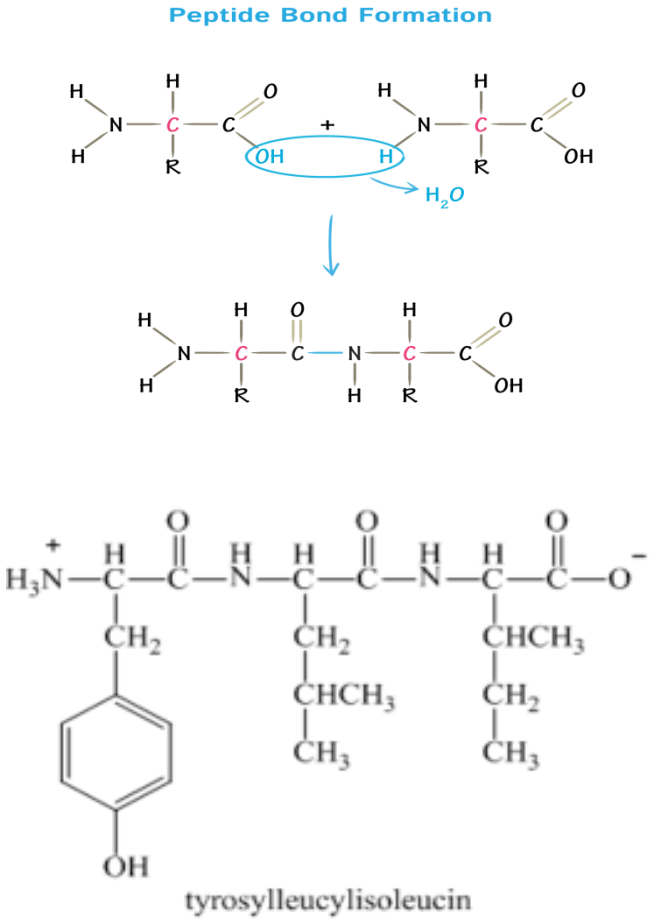
تكون جميع الأحماض الأمينية الداخلة في تركيب البروتينات من النوع (L). أما الأحماض الأمينية من النوع (D) فتدخل في تركيب بعض مكونات الخلية الأخرى عدا البروتينات.

الخواص الحامضية – القاعدية للأحماض الأمينية: توجد الأحماض الأمينية في المحاليل المائية بهيئة أيونات ثنائية القطب (Dipolar ions) وتسمى أيضاً (Zwitter ions) والتي من خواصها أنها تسلك سلوك حامضي (واهبة للبروتون) أو سلوك قاعدي (مستقبلة للبروتون)، لذلك يطلق عليها المواد الأمفوتيرية (Amphoteric) أو الأمفولايت (Ampholites).





الببتيدات (Peptides): تتكون الببتيدات من ارتباط الأحماض الأمينية ببعضها بأواصر تساهمية قوية تسمى الأواصر الببتيدية (Peptide bonds). إن أصغر جزيئة ببتيد تتكون من ارتباط حامضين أمينيين لتكوين ما يسمى الببتيد الثنائي (Dipeptide). وبنفس الطريقة تتكون الببتيدات الثلاثية والرباعية والمتعددة.....وهكذا، تتكون أكبر جزيئة ببتيد من 99 حامض أميني.



ببتيد ثلاثي (تايروسايل–ليوسايل–ايسوليوسين) (Tyr–Leu–Iso)

وهناك ببتيدات في الخلية ذات فعاليات حيوية متخصصة مثل الببتيد الثلاثي كلوتاثيون (Glutathion). وتوجد ببتيدات ذات وظيفة هورمونية مثل هورمون الأوكسيتوسين (Oxytocin) وهورمون Vasopressin اللذان تفرزهما الغدة النخامية ويسطران على عملية افراز الحليب في الأمهات. وعموماً يمكن الحصول على الببتيدات بطريقتين الأولى بربط الأحماض الأمينية ببعضها كما سبق شرحه، والطريقة الثانية تكون بتحلل البروتين تحللاً جزئياً بواسطة الانزيمات المحللة للبروتينات (Proteases).

البروتينات (Proteins): تشكل البروتينات حوالي 50% من الوزن الجاف لمعظم الخلايا. تتكون أصغر جزيئة بروتين من 100 حامض أميني.

تصنيف البروتينات: يمكن تصنيف البروتينات بطريقتين هما:

أولاً: التصنيف حسب التركيب

1- البروتينات البسيطة (Simple proteins): هي البروتينات التي تتكون من أحماض امينية فقط مثل الألبومين (Albumin).

2- البروتينات المقترنة (Conjugated proteins): هي البروتينات التي تتكون من أحماض امينية إضافة إلى مكونات أخرى غير بروتينية. ويسمى الجزء غير البروتيني بـ Prosthetic group وتصنف هذه البروتينات حسب طبيعة الجزء المقترن أو المجموعة المرتبطة، كما موضح في الجدول الآتي.

اسم البروتين	المجموعة المقترنة	الأمثلة
بروتينات نووية (Nucleoproteins)	حامض نووي (RNA or DNA)	الفايروسات، الرايبوسومات
بروتينات دهنية (Lipoproteins)	دهون	بيتا-لايبوبروتين الدم
بروتينات سكرية (Glycoproteins)	سكريات	كاما-كلوبيولين الدم
فوسفوبروتين (Phosphoproteins)	مجموعة فوسفاتية	كازين الحليب
هيموبروتين (Hemoprotein)	مجموعة هيم	الهيموكلوبين
بروتينات معدنية (Metalloproteins)	أيون معدني	فيريتين (حديد)، انزيم الكحول ديهايدروجنيز (زنك)

ثانياً: التصنيف حسب شكل الجزيئة: تصنف البروتينات إلى مجموعتين.

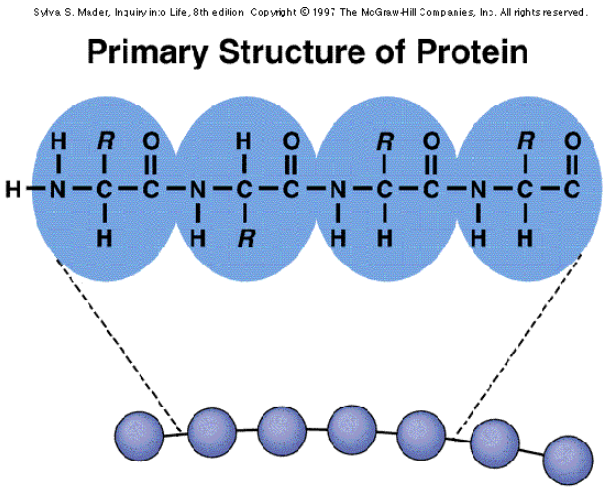
1- البروتينات الكروية (Globular proteins): وفيها تلتف السلسلة الببتيدية على بعضها لتأخذ شكل شبه كروي. ولهذه البروتينات وظائف ديناميكية عادة. وجميع الانزيمات هي من هذه المجموعة. تكون هذه البروتينات قابلة للذوبان في المحاليل المائية. ومن أمثلتها الألبومين (Albumin) والكلوبيولين (Globulin).

2- البروتينات الليفية (Fibrous proteins): وفيها تلتف السلاسل الببتيدية لتأخذ شكل ليفي، وهي غير قابلة للذوبان في الماء ولها وظائف تركيبية عادة وبعضها لها وظائف دفاعية. ومن أمثلتها الكيراتين (Keratin) الموجود في الأظافر وأظلاف وقرون وريش الحيوانات. وكذلك الكولاجين (Collagen) الموجود في الأنسجة الرابطة في الحيوانات.

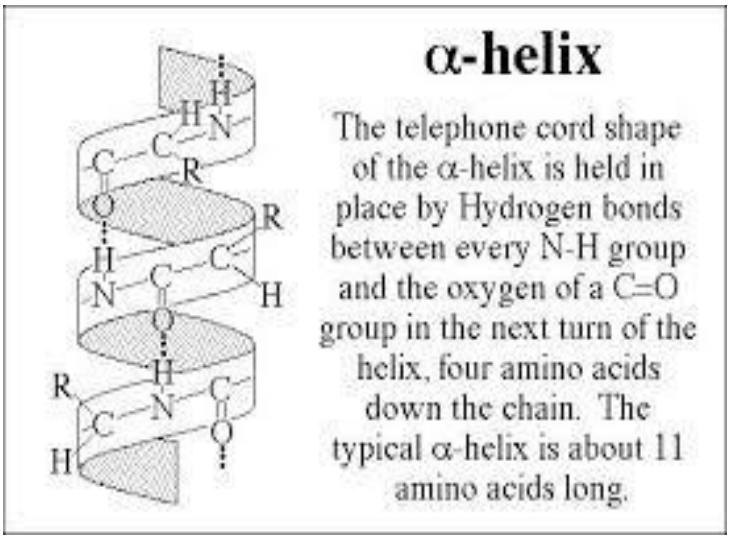
أنواع التراكيب الموجودة في جزيئة البروتين أو البعد الثلاثي لتركيب جزيئة البروتين
(The three dimensional configuration of protein molecule)

يقصد بها أنواع الأواصر والقوى المسؤولة عن اعطاء جزيئة البروتين الهيئة او الشكل الخاص بها. توجد أربعة أنواع من التراكيب في جزيئات البروتين هي:

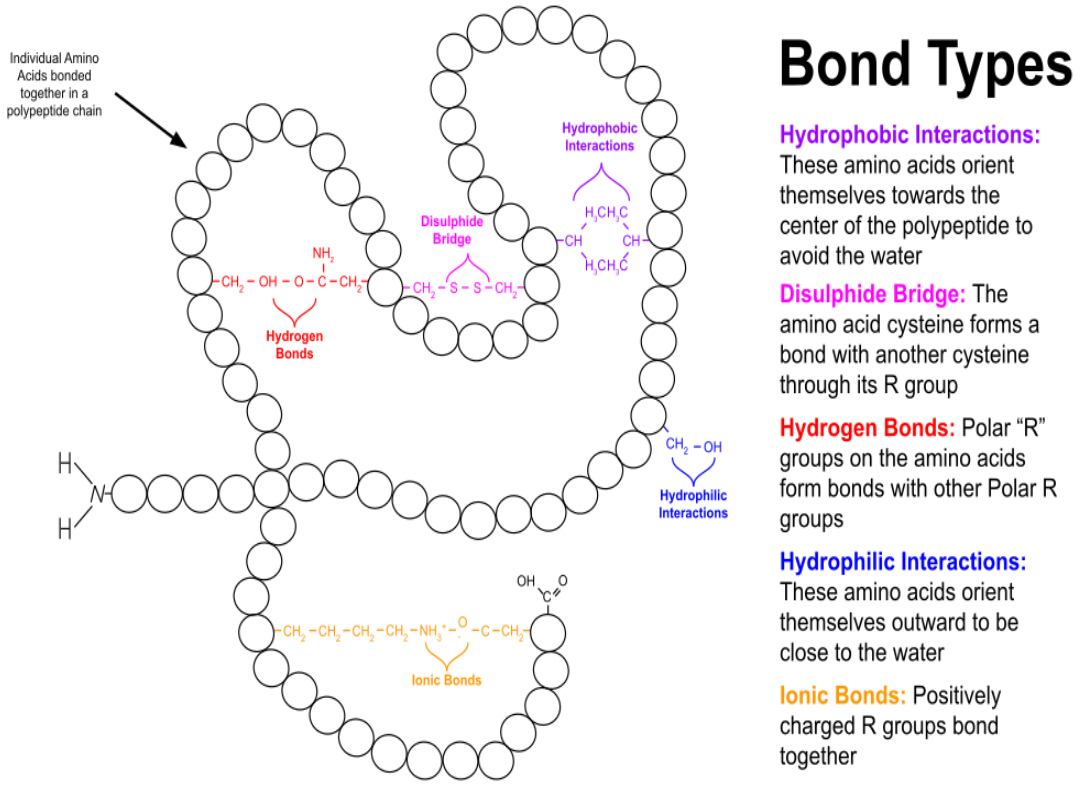
1- التركيب الأولي (Primary structure): يقصد به أنواع وعدد وترتيب الاحماض الأمينية الموجودة في جزيئة البروتين وارتباطها ببعضها بأواصر ببتيدية.



2- التركيب الثانوي (Secondary structure): يشير إلى احتواء السلسلة الببتيدية لجزيئة البروتين على التركيب الحلزوني المسمى α – helix والذي ينتج عن وجود الأواصر الهيدروجينية التي تنشأ بين مجموعة C=O- والـ NH- التابعة للأواصر الببتيدية الموجودة في السلسلة الببتيدية.

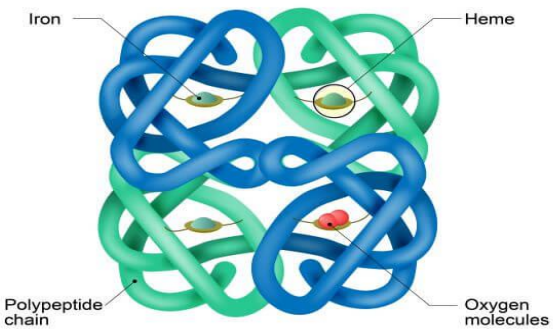


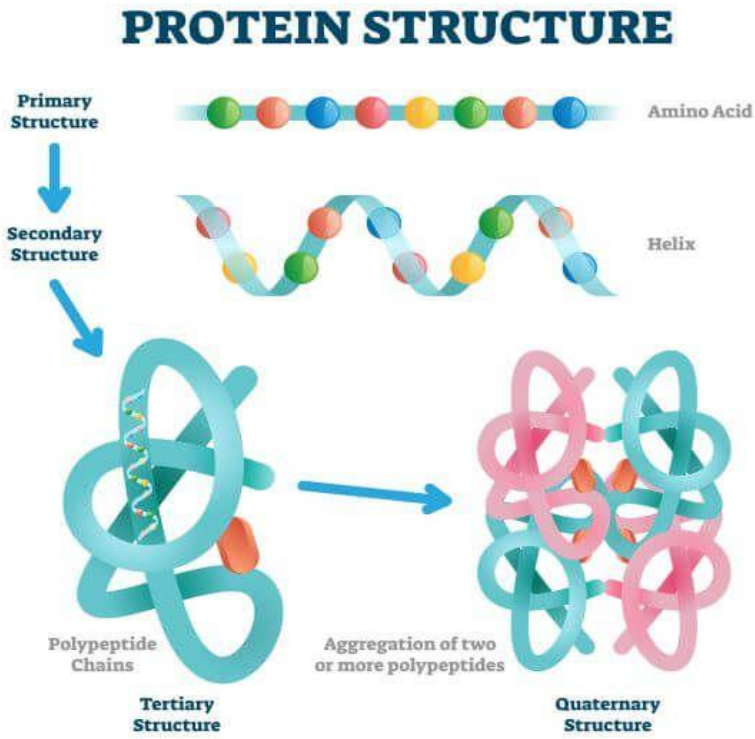
3- التركيب الثالثي (Tertiary structure): يقصد به انطواء السلسلة الببتيدية بشكل معين خاص بنوع البروتين. وتوجد عدة أواصر وقوى مسؤولة عن هذا التركيب وهي تنشأ بين المجاميع الطرفية (R-groups) للأحماض الأمينية الموجودة في السلسلة الببتيدية.



4- التركيب الرابعي (Quaternary structure): يقصد به عدد السلاسل الببتيدية أو الوحدات الفرعية (Subunits) التي ترتبط ببعضها لتكون جزيئة البروتين فعالة حيوياً. فهناك بروتينات تتكون من سلسلة ببتيدية واحدة (Monomer) وأخرى تتكون من سلسلتين ببتيديتين (Dimer) أو أربع سلاسل أو ثمان ..... وهكذا.

HEMOGLOBIN





وظائف البروتينات: (Protein functions)

1- بعض البروتينات تعمل كعوامل مساعدة حيوية (Biocatalysts) في التفاعلات الحيوية الخلوية. ويطلق على هذه المجموعة الإنزيمات (Enzymes).

2- وظائف نقل (Transport functions): بعض البروتينات تعمل على نقل بعض المركبات من مكان إلى آخر في الجسم مثل الهيموكلوبين الذي ينقل الدم من الرئتين إلى الأنسجة، وألبومين الدم الذي ينقل الأحماض الدهنية الحرة بين الأنسجة الدهنية والأنسجة الأخرى في الجسم.

3- وظائف دفاعية (Protection functions): بعض البروتينات لها وظائف دفاعية مثل الأجسام المضادة (Antibodies) وبعض السموم البكتيرية مثل سموم الدفثريا والكلوستريديوم (Clostridium botulism) وبعض سموم النباتات.

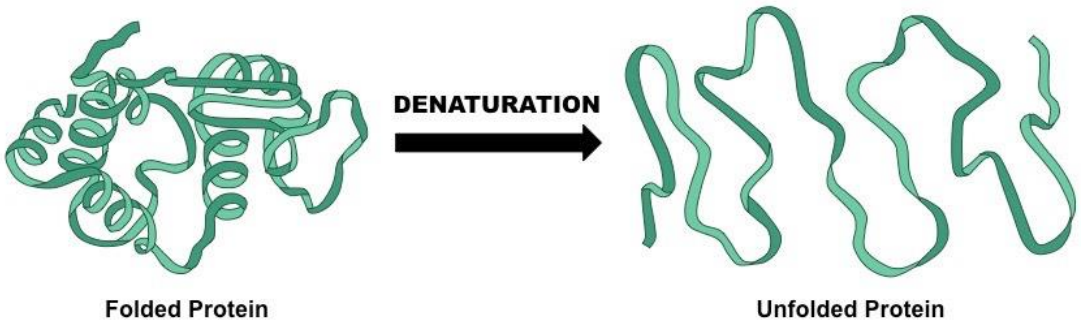
4- وظائف خزنية غذائية (Storage function) مثل بروتين الفيريتين (Ferritin) الموجود في الطحال والذي يقوم بخزن الحديد. والألبومين في بيض الطيور الذي يجهز الجنين بالأحماض الأمينية الضرورية للنمو.

5- وظائف حيوية وتتمثل بالهورمونات (Hormones) إذ أن بعض الهورمونات لها تركيب بروتيني مثل هورمون الإنسيولين (Insulin) الذي ينظم تركيز الكلوكوز في الدم ودخوله إلى الخلايا. وكذلك هورمون النمو الذي تفرزه الغدة النخامية.

6- وظائف تركيبية (Structural functions) فبعض البروتينات الليفية تعمل على إعطاء الصلابة لبعض الأعضاء مثل بروتين الكيراتين (Keratin) الذي يعطي الصلابة للريش والأظافر والأظلاف والقرون وبروتين المايوسين في العضلات وبروتين الكولاجين في الأنسجة الرابطة والغضاريف.

تغير الحالة الطبيعية للبروتينات أو الدنترة (Protein denaturation): \

يقصد به حصول تغير في تركيب جزيئة البروتين وتحولها من الحالة المنطوية أو الملتفة (Folded) الطبيعية إلى الحالة المفتوحة أو غير المنطوية (Unfolded) غير الطبيعية أو المدنترة (الممسوخة). ويحصل ذلك نتيجة تكسر معظم الأواصر المسؤولة عن ثبات التركيبين الثانوي والثالثي والرابعي في جزيئة البروتين. أما التركيب الأولي فلا يتأثر أي أن الأواصر الببتيدية التي تربط بين الأحماض الأمينية فلا تتحل لكونها أواصر تساهمية قوية.



وتحصل الدنترة نتيجة تعرض البروتين لبعض العوامل الخارجية الفيزيائية (مثل الحرارة المرتفعة والأشعة فوق البنفسجية والأشعة المؤينة) أو الكيميائية (مثل الحوامض المعدنية كأحماض HCl و H_2SO_4 و HNO_3 وأيونات المعادن الثقيلة مثل النحاس والزئبق والحديد والمذيبات العضوية كالإيثر والكلوروفورم، وقيم الـ pH المتطرفة) وهناك نوعين من الدنترة

1- الدنترة العكسية (Reversible denaturation): وفيها يعود البروتين المدنتر إلى الحالة الطبيعية (Renaturation) بعد زوال سبب الدنترة.

2- الدنترة غير العكسية (Irreversible denaturation): وفيها لا يعود البروتين المدنتر إلى الحالة الطبيعي بعد زوال سبب الدنترة.

تؤدي الدنترة إلى فقدان البروتينات لفعاليتها الحيوية فمثلاً تفقد الإنزيمات فعاليتها الإنزيمية وتفقد الهورمونات وظيفتها الحيوية. كما أن البروتينات تترسب من المحلول عند الدنترة.

اللبيدات (المواد الدهنية)
Lipids

هي مواد عضوية لا تذوب في الماء وتذوب في المذيبات العضوية (اللاقطبية) مثل الإيثر والبنزين والكلوروفورم.

وظائف اللبيدات:

1- مكونات تركيبية لغلاف الخلية.

2- خزين غذائي تستخدمه الخلايا للحصول على الطاقة التي تحتاجها في عمليات الأيض المختلفة.

3- مصدر للأحماض الدهنية الأساسية (Essential fatty acids, EFA)(Essential fatty acids, EFA).

4- مكونات واقية لجدران بعض الخلايا البكتيرية وأوراق النباتات والحشرات.

تصنيف اللبيدات: Lipid classification

1- اللبيدات البسيطة (Simple lipids): وهي أسترات الأحماض الدهنية مع الكحولات (Esters of fatty acids with alcohols) وتقسم إلى:

أ- **اللبيدات المتعادلة (Neutral lipids):** وهي أسترات الأحماض الدهنية مع الكليسرول (Esters of fatty acids with glycerol) وتسمى أيضاً الكليسريدات (Glycerides) أو الزيوت والدهون (Oils and fats).

ب- **الشموع (Waxes):** وهي أسترات الأحماض الدهنية مع الكحولات عدا الكليسرول.

2- اللبيدات المركبة (Compound lipids): وهي المركبات الدهنية التي تحتوي على مجاميع غير دهنية. وهي تصنف حسب نوع الجزء غير الدهني المرتبط بها، ومن أمثلتها:

أ- اللبيدات المفسفرة (Phospholipids).

ب- اللبيدات السكرية (Glycolipids).

ج- اللايبوبروتينات (Lipoproteins).

د- اللبيدات المكبرتة (Sulpholipids).

3- اللبيدات المشتقة (Derived lipids): وهي تشمل المركبات الناتجة عن تحلل الأنواع المختلفة من اللبيدات مثل الأحماض الدهنية والكلسيريدات الأحادية والثنائية والقواعد النتروجينية. كما تشمل أيضاً المركبات الذائبة في الدهون والمصاحبة لها مثل الفيتامينات الذائبة في الدهون والستيرويدات المختلفة.

الأحماض الدهنية (Fatty acids): وهي من المكونات الأساسية في تركيب المواد الدهنية. وهناك أكثر من 70 نوع من الأحماض الدهنية في الخلايا والأنسجة المختلفة. تحتوي جميع الأحماض الدهنية على سلسلة هايدروكاربونية ومجموعة كاربوكسيلية طرفية. قد تكون السلسلة الهايدروكاربونية مشبعة (Saturated) أو غير مشبعة (Unsaturated) أي تحتوي على واحدة أو أكثر من الأواصر المزدوجة. كما تكون السلسلة الهايدروكاربونية عادة أليفاتية (غير حلقية) وغير متفرعة (Unbranched) ولكن توجد حالات استثنائية. كما أن عدد ذرات الكاربون في معظم الأحماض الدهنية يكون زوجياً.

الأحماض الدهنية المشبعة (Saturated fatty acids): وهي تتكون من سلسلة هايدروكاربونية مشبعة ومجموعة كاربوكسيلية $CH_3(CH_2)_nCOOH$ وتكون المجموعة الكاربوكسيلية محبة للماء (Hydrophilic) أي قطبية (Polar). أما المجموعة الهايدروكاربونية فهي غير محبة للماء (Hydrophobic) أي غير قطبية (Non-polar). وتتحدد خواص الحامض الدهني بطول السلسلة الهايدروكاربونية (أي بالوزن الجزيئي للحامض الدهني) فعندما تكون السلسلة قصيرة يكون الحامض الدهني ذائب في الماء (مثل حامض الخليك Acetic acid وحامض البروبيونيك Propionic acid) وتنخفض درجة الذوبان في الماء بزيادة طول السلسلة الهايدروكاربونية فيكون لكل من حامضي البيوتيريك والكابرويك ذوبان جزئي في الماء. أما باقي الأحماض الدهنية فتكون غير ذائبة في الماء. كما يؤدي زيادة الوزن الجزيئي إلى ارتفاع درجتي انصهار وغليان الحامض الدهني.

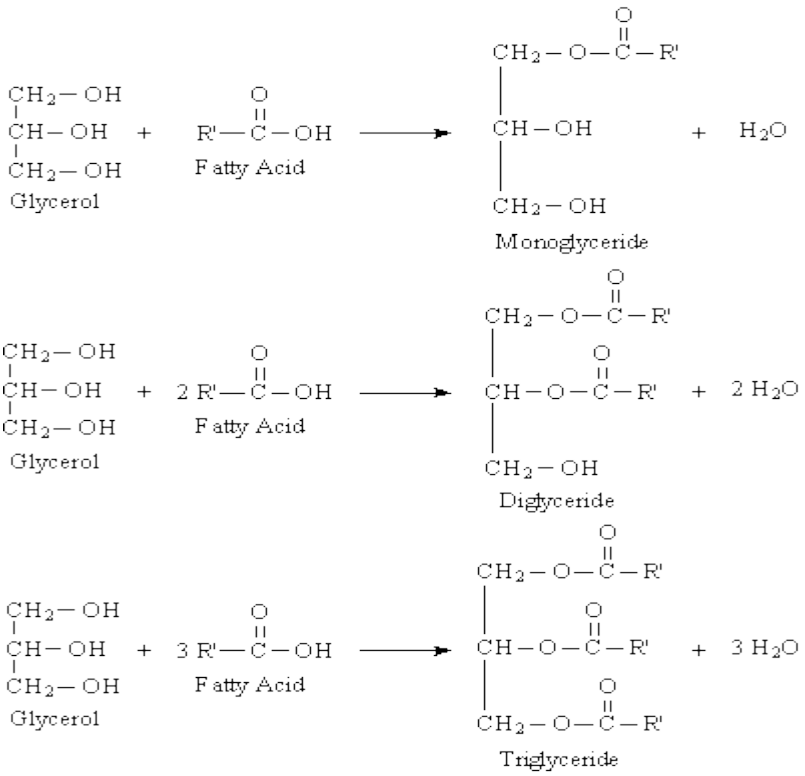
Trivial name	Systematic name	Abbreviation	Typical sources
butyric	butanoic	C4:0	dairy fat
caproic	hexanoic	C6:0	dairy fat
caprylic	octanoic	C8:0	dairy fat, coconut and palm kernel oils
capric	decanoic	C10:0	dairy fat, coconut and palm kernel oils
lauric	dodecanoic	C12:0	coconut oil, palm kernel oil
myristic	tetradecanoic	C14:0	dairy fat, coconut oil, palm kernel oil
palmitic	hexadecanoic	C16:0	most fats and oils
stearic	octadecanoic	C18:0	most fats and oils
arachidic	eicosanoic	C20:0	peanut oil
behenic	docosanoic	C22:0	peanut oil
lignoceric	tetracosanoic	C24:0	peanut oil

الأحماض الدهنية غير المشبعة (Unsaturated fatty acids): هي الأحماض الدهنية التي تحتوي على واحدة أو أكثر من الأواصر المزدوجة (Double bonds). يؤدي وجود الأواصر المزدوجة إلى انخفاض درجتي حرارة الانصهار والغليان للحامض الدهني. إن جميع الاحماض الدهنية غير المشبعة الموجودة في الطبيعة تكون سائلة بدرجة حرارة الغرفة (25 م°).وفيما يأتي اسماء وتراكيب بعض الاحماض الدهنية غير المشبعة

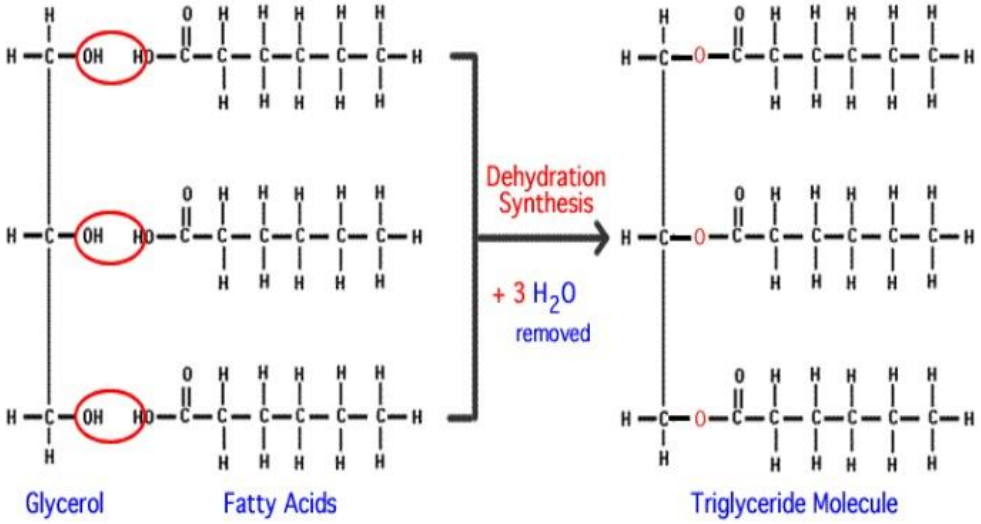
Fatty acid	Structural formula
Palmitoleic acid	$CH_3(CH_2)_5CH=CH(CH_2)_7COOH$
Oleic acid	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$
Linoleic acid	$CH_3(CH_2)_4CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_7COOH$
Linolenic acid	$CH_3CH_2CH=CHCH_2CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_7COOH$
Arachidonic acid	$CH_3(CH_2)_4CH=CHCH_2CH=CHCH_2CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_3COOH$

يؤدي وجود الأواصر المزدوجة في الحامض الدهني إلى انخفاض درجة حرارة انصهار الحامض الدهني وكذلك الزيت الذي يحتوي عليه. فمثلاً حامض الستياريك (Stearic acid) وهو حامض دهني مشبع (لا يحتوي على آصرة مزدوجة) ، تبلغ درجة انصهاره 70 م°. أما حامض الأوليك (Oleic acid) وهو حامض دهني غير مشبع (يحتوي على آصرة مزدوجة واحدة) فتبلغ درجة انصهاره 14 م°. أما حامض اللينوليك (Linoleic acid) والذي يحتوي على آصرتين مزدوجتين فتبلغ درجة انصهاره −11 م° علماً بأن الأحماض الثلاثة المذكورة لها نفس العدد من ذرات الكاربون (18 ذرة كاربون).

اللبيدات المتعادلة (Neutral lipids): هي أسترات الأحماض الدهنية مع الكلسيرول ويطلق عليها أيضاً الزيوت والدهون (Oils and fats) أو الكلسريدات (Glycerides). تتكون جزيئة الكلسيريد من ارتباط جزيئة الكلسيرول مع جزيئة أو جزيئتين أو ثلاث جزيئات من الحامض الدهني بأواصر إسترية (Ester bonds). فعند ارتباط جزيئة الكلسيرول بجزيئة واحدة من الحامض الدهني ينتج كلسيريد أحادي. وعند ارتباط جزيئة الكلسيرول بجزيئتين من الحامض الدهني ينتج كلسيريد ثنائي. وعند ارتباط جزيئة الكلسيرول بثلاث جزيئات من الحامض الدهني ينتج كلسيريد ثلاثي وكما موضح في الشكل. وتعتبر الكلسريدات الثلاثية هي الأكثر انتشاراً وهي تمثل جميه الزيوت والدهون الموجودة في الشحوم وكذلك دهن الحليب فضلاً عن الزيوت النباتية.

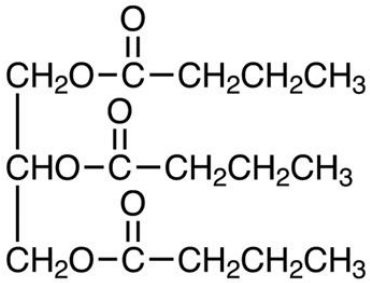


Formation of TRIGLYCERIDE



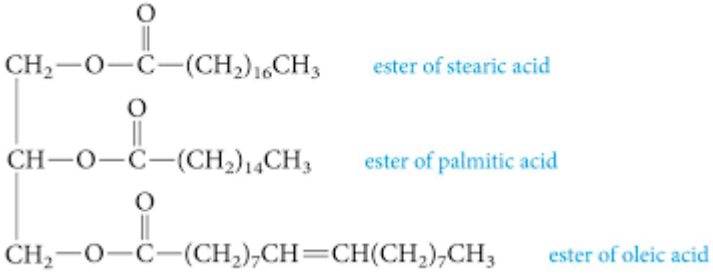
تقسم الكلسريدات الثلاثية إلى نوعين:

1- الكلسريدات الثلاثية البسيطة (Simple triglycerides): وفيها ترتبط ثلاثة أحماض دهنية من نوع واحد بجزيئة الكلسيرول. فمثلاً عند ارتباط ثلاث جزيئات من حامض البيوتيريك بجزيئة الكلسيرول ينتج الكلسيريد الثلاثي Tributyrin

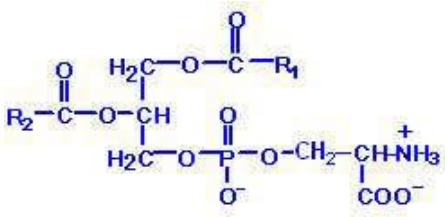


Tributyrin

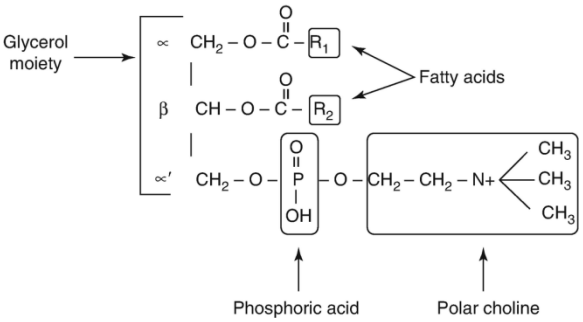
2- الكلسيريدات الثلاثية المختلطة (Mixed triglycerides): وفيها يرتبط نوعان أو أكثر من الحوامض الدهنية بجزيئة الكلسيرول.



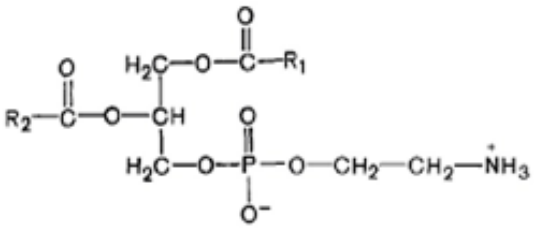
اللبيدات المفسفرة (Phospholipids): وتسمى أيضاً الفوسفاتايدات (Phosphatides) وهي توجد في تركيب جدار الخلية حيث تشكل مع البروتين ما يسمى بالبروتينات الدهنية (Lipoproteins). تتركب جزيئة الفوسفولبيد من جزيئة كلسيرول يرتبط به في الموقع الأول جزيئة حامض دهني مشبع طويل السلسلة وفي الموقع الثاني جزيئة حامض دهني غير مشبع. أما في الموقع الثالث فترتبط مجموعة فوسفاتية بآصرة إسترية لينتج عن ذلك حامض الفوسفاتيديك (Phosphatidic acid). ولتكوين الفوسفولبيد ترتبط إحدى القواعد النتروجينية الآتية (أو غيرها من القواعد النتروجينية) بالمجموعة الفوسفاتية. أي أن الفوسفولبيدات تعرف بأنها مشتقات لحامض الفوسفاتيديك. وفيما يأتي تراكيب بعض الفوسفولبيدات، مع ذكر الاسم التجاري لبعضها بين الأقواس.



Phosphtidyl serine

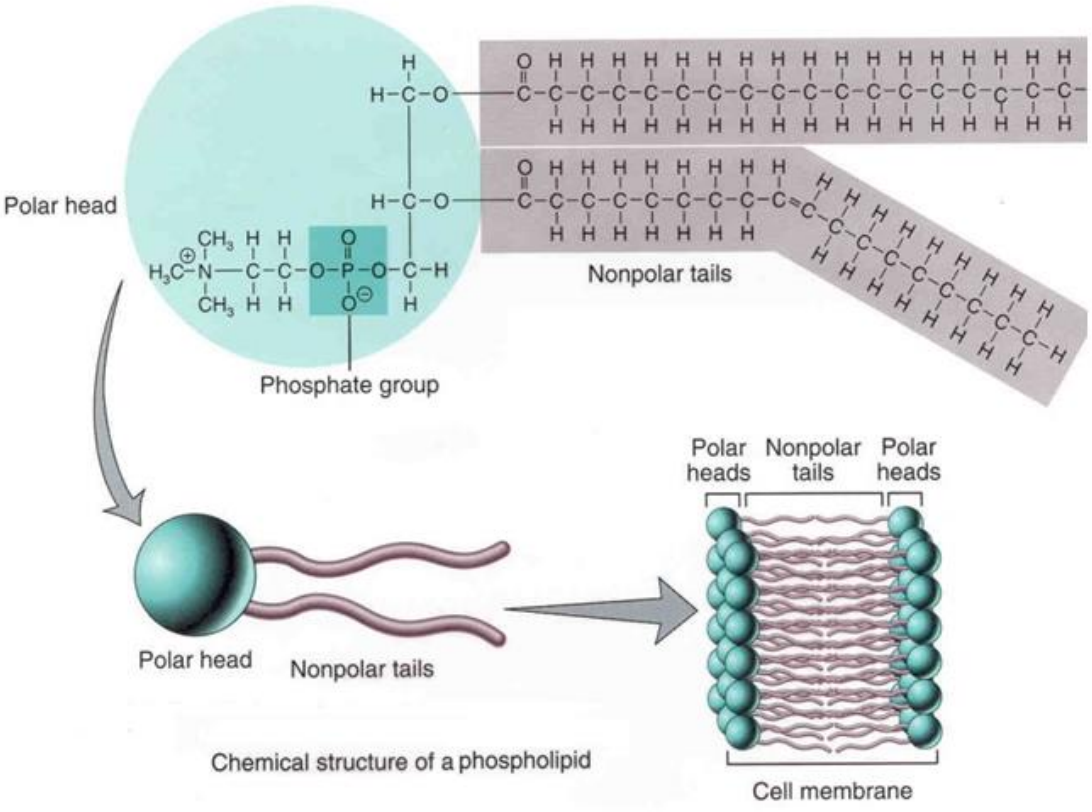


Phosphtidyl choline (Lecithin)



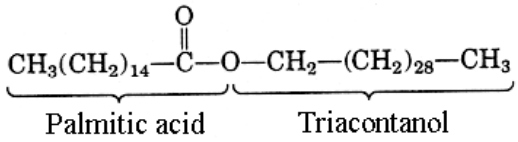
Phosphtidyl ethanolamine (Cephalin)

Phospholipids Analysis Service



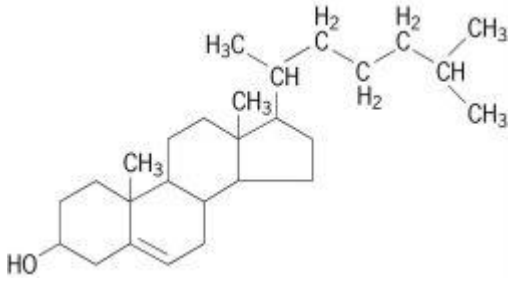
تتكون جزيئة الفوسفولبيد من جزئين رئيسيين هما الرأس (Head) والذي يتكون من الكلسيرول وحامض الفوسفوريك والقاعدة النتروجينية ومن صفات الرأس أنه يكون قطبياً (Polar) ومحب للماء (Hydrophilic) أي أنه يرتبط بجزيئات الماء. أما الجزء الثاني فيسمى الذيل (Tail) ويشمل الحامضين الدهنيين طويلي السلسلة الهايدروكاربونية والمرتبطين بالموقعين الأول والثاني من جزيئة الكلسيرول. ومن صفات الذ يل أنه يكون غير قطبي (Non polar) وغير محب للماء (Hydrophobic) أي أنه لا يذوب في الماء بل يذوب في المواد الدهنية. لهذا السبب تعتبر الفوسفولبيدات عوامل استحلاب (Emulsifiers) أي مواد تساعد في مزج الماء مع الدهن.

الشموع (Waxes): هي استرات لأحماض الدهنية طويلة السلسلة مع أي كحول عدا الكلسيرول. توجد الشموع كمواد مغلفة وحافظة على الريش والفرو والجلد وأوراق النباتات والفواكه وعلى البشرة الخارجية لبعض الحشرات. ومن أهم الشموع المعروفة هو شمع نحل العسل وهو استر لحامض البالمتيك مع كحول طويل السلسلة واسمه الكيميائي هو Myricyl palmitate وتركيبه هو



تركيب شمع النحل (Myricyl palmitate)

الستيرويدات (Steroids): هي مركبات تتميز بكونها تتكون من ارتباط ثلاث حلقات سداسية وحلقة خماسية. تعد الستيرويدات من المركبات الذائبة في الدهون والمصاحبة لها. من الستيرويدات المهمة هي أملاح الصفراء التي يفرزها الكبد وتخزن في كيس الصفراء (المرارة) وتساعد في استحلاب الدهون قبل أن يتم هضمها وتحللها بإنزيم اللايبيز (Lipase) في القناة الهضمية. من الستيرويدات الأخرى هي الهورمونات الجنسية الذكرية والأنثوية وفيتامين D_2 و D_3 والكولستيرول وغيرها من المركبات



Cholesterol

الإنزيمات (Enzymes)

هي عوامل مساعدة حيوية (Biocatalysts) ذات تركيب بروتيني وهي تشكل أكبر مجموعة متخصصة من البروتينات وهي تقوم بدور العامل المساعد لآلاف التفاعلات الكيميائية التي تجري في الكائنات الحية.

الخواص العامة للإنزيمات: من أهم صفاتها كونها مواد بروتينية وهي لا تستهلك خلال التفاعلات ولا تتغير كما أنها لا تغير من نقطة التوازن الكيميائي (Equilibrium point) وهي تعرف بأنها النسبة بين تراكيز المواد الناتجة من التفاعل وبين تراكيز المواد المتفاعلة. وتعمل الإنزيمات على زيادة سرعة التفاعلات أي أنها تسرع من الوصول إلى حالة التوازن. وتصنف الإنزيمات إلى ستة أصناف حسب نوع التفاعل الذي تساهم فيه وهذه الأصناف هي:

1- إنزيمات الأكسدة والاختزال.
2- إنزيمات النقل.
3- إنزيمات التحلل المائي.
4- إنزيمات الهدم.
5- إنزيمات الأيسوميريزس.
6- إنزيمات الربط.

الفيتامينات ومرافقات الإنزيمات (Vitamines and coenzymes)

هي مركبات عضوية يحتاجها الجسم بكميات قليلة وتكون ضرورية جداً للنمو الطبيعي ولعمل وظائف الأنسجة المختلفة والتكاثر. وعند وجود نقص من أحد هذه الفيتامينات في الغذاء تظهر أعراض النقص بشكل مرض أو عاهة في الجسم ويمكن معالجتها بإضافة الفيتامين إلى الغذاء أو تناول أقراص الفيتامينات.

تصنيف الفيتامينات:

1- الفيتامينات الذائبة في الماء: وهي تشمل مجموعة فيتامينات B و C. وتعمل معظم الفيتامينات الذائبة في الماء كمرافقات إنزيمية (Coenzymes) وهي جزيئات عضوية تعمل كعوامل مرافقة للإنزيمات). وعند تناول الفيتامينات فإنها تتحول في الجسم إلى صيغة فعالة لتقوم بوظيفتها كمرافقات إنزيمية.

2- الفيتامينات الذائبة في الدهون: وهي تشمل فيتامينات A و D و E و K ولكل منها دور معين في الجسم ولكن دورها كمرافقات إنزيمية غير معروف لحد الآن.

النيوكليوتيدات والأحماض النووية (Nucleotides and Nucleic acids)

النيوكليوتيدات هي الوحدات البنائية للأحماض النووية حيث تشارك في نقل المعلومات الوراثية وفي السيطرة على الفعاليات الحيوية في الخلايا. وتعمل بعض النيوكليوتيدات على نقل الطاقة الكيميائية من التفاعلات المنتجة لها إلى التفاعلات المستهلكة لها، وتعمل بعض النيوكليوتيدات كمرافقات إنزيمية، وبعضها يشارك في تفاعلات التخليق المختلفة.