

الكيمياء الحياتية (Biochemistry) :

هو كيمياء الحياة، فهو العلم الذي يتعلق بصورة مباشرة بمتابعة وفحص العمليات الحياتية. فالكيمياء الحياتية عبارة عن كيمياء الكائنات الحية التي تدلنا على تفهم طبيعة الحياة وتشمل دراسة التركيب الكيميائي للخلية الحية والتفاعلات التي تطرأ في داخلها. تقسم الكيمياء الحياتية بصورة عامة إلى قسمين:

- (1) **الكيمياء الحياتية الوصفية Descriptive Biochemistry** : وتشمل دراسة ووصف التركيب الكيميائي لمكونات الخلية الحية.
- (2) **الكيمياء الحياتية الديناميكية Dynamic Biochemistry** : وتشمل دراسة التفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل الخلايا الحية والنتائج التي تنجم عنها.

الكاربوهيدرات Carbohydrates :

تعتبر الكاربوهيدرات المصدر أو المُجهز الرئيسي بالطاقة للكائنات الحية. تتكون الكاربوهيدرات في النباتات من CO_2 و H_2O خلال عملية التركيب الضوئي حيث يتكون الكلوكوز الذي يُخزن كنشاً أو يتحول إلى سليلوز في جدار الخلية النباتية، أما في الكائنات الراقية فيأتي الجزء الأكبر من الكاربوهيدرات من النباتات.

عند اكتشاف الكاربوهيدرات لأول مرة عُرِّفت على أنها هيدرات الكربون وتحتوي على الأوكسجين والهيدروجين بنسبة $(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n)$ وبمرور الزمن وُجد أن هذا القانون خطأ لوجود مركبات عضوية تحقق هذه العلاقة وهي ليست من الكاربوهيدرات مثل حامض الخليك CH_3COOH (acetic acid) والفورمالديهايد HCHO (Fomaldehyde) وحامض اللاكتيك $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ (Lactic acid) فالتعريف الصحيح للكاربوهيدرات هو أنها كحولات متعددة الهيدروكسيل والتي تمتلك مجموعة الألدِيهايد أو الكيتون، بعبارة أخرى الكاربوهيدرات هي مركبات تحتوي على مجاميع الألدِيهايد $\left(\text{C}=\text{O}\right)_\text{H}$ أو مجاميع الكيتون $\left(\text{C}=\text{O}\right)_\text{C}$ متعددة الهيدروكسيل، عند تحليلها مائياً تعطي كحولات الديهايدية أو كحولات كيتونية متعددة الهيدروكسيل.

أهمية الكاربوهيدرات:

- (1) مصدر لتزويد الجسم بالطاقة.
- (2) تعمل على خزن الطاقة على شكل كلايكوجين في الحيوان أو الإنسان وعلى شكل نشأ في النباتات.
- (3) تدخل في تركيب الهيكل النباتي لجسم النباتات على شكل سيليلوز.

- (4) تدخل الكربوهيدرات في تركيب مواد كيميائية يحتاجها الجسم مثل المساعدات الأنزيمية Coenzyme والفيتامينات Vitamins والأحماض النووية Nuclie acids
- (5) تدخل الكربوهيدرات في تركيب أغشية الخلايا على شكل دهون سكرية glycolipids وبروتينات سكرية glycoproteins
- (6) تدخل في تركيب فصائل الدم.
- (7) تعطي المذاق الحلو للأغذية.
- (8) تستعمل في الصناعات الورقية، الأقمشة، المشروبات الغازية وغيرها من الصناعات.

تصنيف الكربوهيدرات Carbohydrates Classification

تُصنف الكربوهيدرات اعتماداً على تحليلها المائي إلى:

1) السكريات الأحادية أو البسيطة: (Monosaccharides (Simple saccharides):

وتتكون من وحدة واحدة أو جزئي واحد من السكر متعدد الهيدروكسيل الألديهائيدي أو الكيتوني ولا يمكن أن يتحلل إلى سكريات أبسط.

العمود الفقري في كل جزيئات السكريات الأحادية هو ذرات الكربون المرتبطة مع بعض أن أقل عدد لذرات الكربون للسكر الأحادي هو 3 ويطلق اسم aldoses على السكر الأحادي الذي يحتوي على مجموعة الألديهائيدي، بينما يطلق اسم Ketoses على السكر الأحادي الذي يحتوي على مجموعة الكيتون.

** السكر الذي يحتوي على 3 ذرات كربون يسمى Triose

** السكر الذي يحتوي على 4 ذرات كربون يسمى Tetrose

** السكر الذي يحتوي على 5 ذرات كربون يسمى Pentose

** السكر الذي يحتوي على 6 ذرات كربون يسمى Hexose

وعند دمج هذين الأسمين في التصنيف نستخدم aldotetrose للسكر الأحادي الألديهائيدي الذي يحتوي على 4 ذرات كربون ونستخدم ketopentose للسكر الأحادي الكيتوني الذي يحتوي على 5 ذرات كربون. أن أبسط أنواع السكريات الألديهائية هو glyceraldehydes وأبسط أنواع السكريات الكيتونية هو dihydroxyacetone

2) السكريات قليلة الوحدات Oligosaccharides (بضمنها السكريات الثنائية): وهي

السكريات التي عند تحليلها المائي تعطي سكرين أو أكثر من السكر الأحادي. عدد السكريات التي

تؤلف oligosaccharides يتراوح بين (2-10) وحدة من السكر الأحادي التي قد تكون متشابهة أو مختلفة. أهم أنواع السكريات قليلة الوحدات :

(أ) **السكريات الثنائية disaccharides** وتشمل:

السكروز (Sucrose) يتكون من سكر الكلوكوز (Glucose) + سكر الفركتوز (Fructose)

المالتوز (Maltose) يتكون من الكلوكوز (Glucose) + سكر الكلوكوز (Glucose)

اللاكتوز (Lactose) يتكون من سكر الكلوكوز (Glucose) + سكر الكالكتوز (Galactose)

(ب) **السكريات الثلاثية Trisaccharides** مثل:

سكر الرافينوز (Raffinose) يتكون من (Fructose) + (Glucose) + (Galactose)

(ج) **السكريات الرباعية Tetrasaccharides** مثل: سكر الستاكيلوز (Stachylose)

الذي يتكون من جزئيتين من الكالكتوز وجزئيه من الكلوكوز وجزئيه من الفركتوز



يوجد هذا السكر في النباتات التي تنتج السكروز.

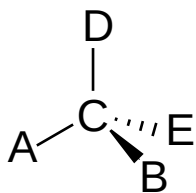
(3) **السكريات المتعددة Polysaccharides** : وهي السكريات التي تتكون أو تحتوي على عدد كبير من السكريات الأحادية وتكون مرتبطة ببعضها بشكل سلاسل قد تكون مستقيمة أو متفرعة، وتقسم إلى:

(أ) **السكريات المتعددة المتجانسة Homopolysaccharides** : وهي السكريات المتعددة المتكونة من عدد كبير من نفس وحدات السكر الأحادي مثل النشا والسليلوز.

(ب) **السكريات المتعددة غير المتجانسة Heteropolysaccharides** : وهي السكريات المتعددة المتكونة من نوعين أو أكثر من وحدات السكر الأحادي مثل شبيه السليلوز Hemicellulose ، الصمغ النباتي، البكتين Pectin ، والسكريات المخاطية (الهيبارين) .

الأشياء الجزيئية البصرية (Optical isomers):

توجد هذا الأشياء بصورة رئيسية في الكربوهيدرات، حيث توجد ذرة كربون واحد أو أكثر غير متماثلة أو غير متناسقة حيث أن ذرة الكربون تتصل بأربع ذرات أو مجاميع مختلفة، وبذلك تكون لها القابلية لتكوين عدة أشباه حسب فكرة Vant Hoff & Le Bel .



المجاميع الأربعة A, B, D, E هذه الذرات أو المجاميع تتصل بذرة

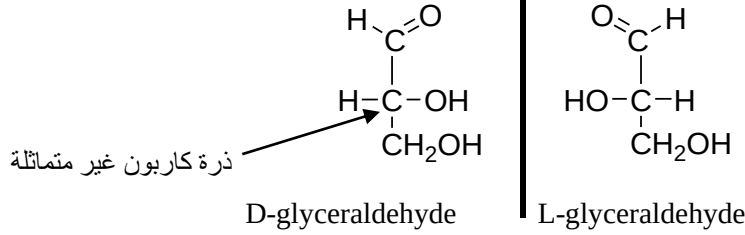
الكربون في الفراغ بشكلين مختلفين فتكون نوعين من المركبات لا يمكن

أن ينطبق أحدهما على الآخر (أحدهما يكون صورة مرآة للآخر). تدعى هذه

الأشكال بالأضداد أو الأشكال المتقابلة (Enantiomers).

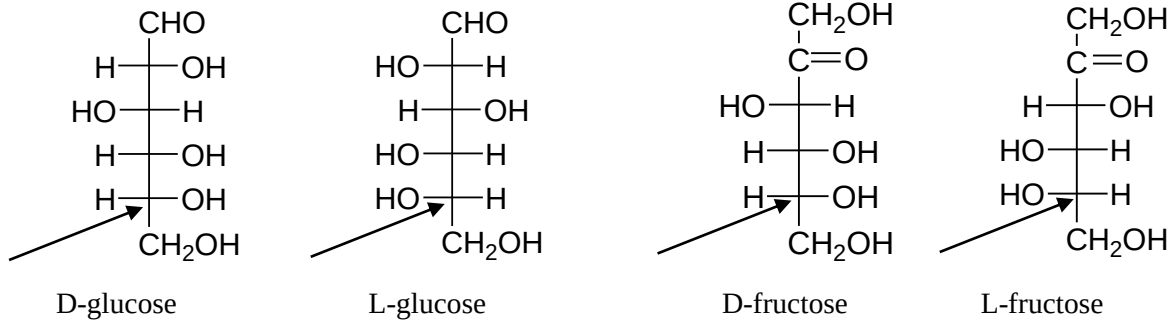
فمثلا الكليسريديةالدهيد glycerinaldehydes الذي هو أبسط أنواع السكريات الألديةالدهيدية aldose

يظهر شكلين فراغيين هما:



الشكل D يشير إلى أن مجموعة الهيدروكسيل (-OH) والمرتبطة بأبعد ذرة كاربون غير متناظرة من مجموعة الألديةالدهيد تقع إلى اليمين.

الشكل L يشير إلى أن مجموعة (-OH) المرتبطة بأبعد ذرة كاربون غير متناظرة من مجموعة الألديةالدهيد تقع إلى اليسار.



تتشابه هذه الأشكال في الصفات الكيميائية والفيزيائية ما عدا صفة واحدة وهي **تدوير مستوى**

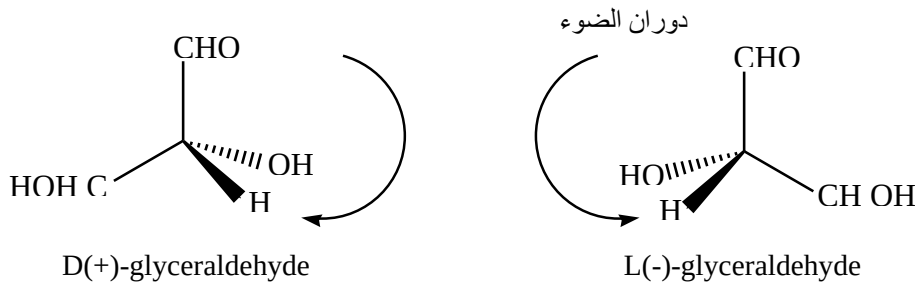
الضوء المستقطب باتجاهين متعاكسين فأحدهما يدور مستوى الضوء المستقطب نحو اليمين

والآخر نحو اليسار. (الضوء المستقطب: هو الضوء الذي يتموج في سطح واحد).

الشبيه الذي يُحرف أو يُدير الضوء المستقطب نحو جهة اليمين أو باتجاه عقرب الساعة يسمى

(Dextrorotatory) ويرمز له (d) أو (+) والشبيه الذي يُدير الضوء المُستقطب نحو اليسار أو

عكس عقرب الساعة يسمى (Levorotatory) ويُشار له (l) أو (--).

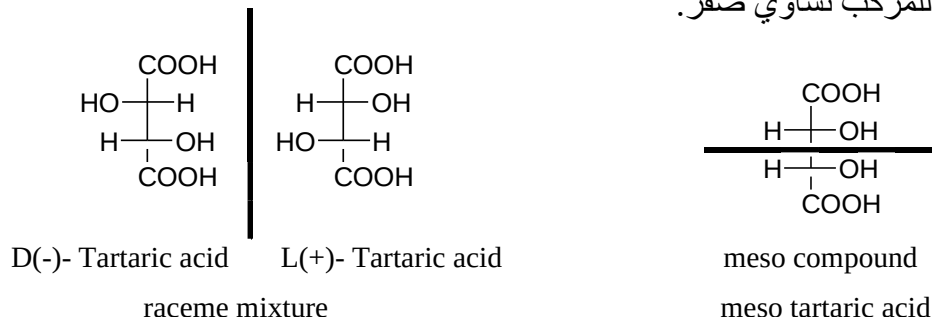


*وجود مزيج أو خليط بنسب متساوية من الأشباه الجزيئية ذات الفعالية البصرية

(Optical isomers) يسمى بالمزيج الراسيمي (Racemic mixture) وهذا المزيج ليس له

فعالية بصرية لأن أحدهما يلغي الآخر.

* أحيانا المركب الذي تكون فيه ذرتا كربون غير المتماثلين متشابهتين كما في حامض التارتريك (Tartaric acid) يمكن أن يكون بشكل يتمثل فيه مستوى التماثل، حيث يكون نصف المركب مرآة للنصف الثاني يسمى هذا النوع من التماثل بالـ meso compounds وتكون الفعالية البصرية للمركب تساوي صفر.



يمكن قياس الفعالية الضوئية (الاستدارة الضوئية) (optical activity) والتي هي مستوى تدوير الضوء المستقطب نحو اليمين أو اليسار، باستخدام جهاز الاستقطاب (polarimeter).

ملاحظة: D, L يمثل فقط ترتيب أو توزيع مجاميع الهيدروكسيل (-OH) حول ذرة الكربون غير المتماثلة وليس دوران الضوء المستقطب، فقد يكون المركب من نوع D(+) أو D(-) حسب نوع السكر مثلاً glucose D(+) يحرف الضوء المستقطب نحو اليمين بينما fructose D(-) فإنه يحرف الضوء المستقطب نحو اليسار

يمكن حساب عدد الايزومرات (الاشباه الجزيئية) للسكر من معرفة عدد ذرات الكربون غير المتماثلة أو غير المتناظرة (asymmetric carbon) وحسب قانون فان هوف Vant Hoff

$$I = 2^n$$

I = no. of isomer

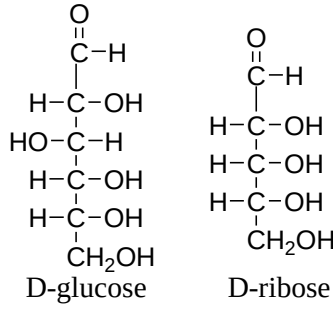
n = no. of asymmetric carbon

مثلاً سكر الكلوكوز (aldohexose) يحتوي على 4 ذرات كربون غير متناظرة فيكون عدد ايزومراته 16 ايزومر وذلك حسب القانون:

$$I = 2^n$$

$$I = 2^4 = 16 \text{ isomers}$$

8 ايزومرات من نوع D- و 8 ايزومرات من نوع L-



بالنسبة للسكريات الخماسية كما في سكر الرايبوز Ribose
توجد 3 ذرات كاربون غير متماثلة فيكون عدد الايزومرات

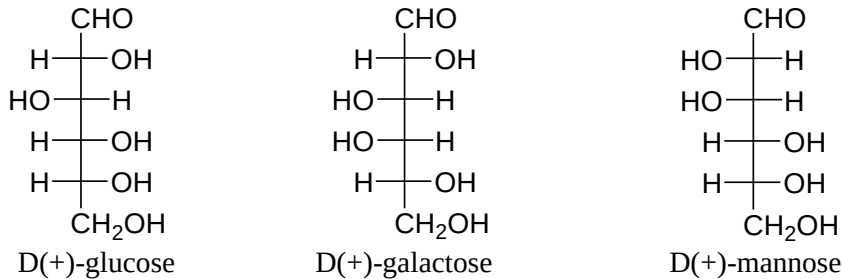
$$I = 2^n = 2^3 = 8 \text{ isomers}$$

لذا عدد ايزومرات سكر الرايبوز هو 8، 4 ايزومرات من نوع D- و 4 ايزومرات من نوع L-
وهكذا بالنسبة لبقية السكريات.

س/ ما هو عدد ايزومرات glyceraldehydes ؟

هناك نوع آخر من المتماثلات أو الأشباه هي **diastereoisomers** وهي المتشابهات الضوئية التي تمتلك على الأقل ذرتي كاربون غير متماثلة وهذه المركبات تختلف عن بعضها البعض في الصفات الكيميائية والفيزيائية مثل الاختلاف بدرجة الانصهار، الغليان، الاختلاف بالذوبانية والاختلاف في التدوير الضوئي.

إن المتشابهات أو المتماثلات diastereoisomers التي تختلف عن بعضها البعض فقط في التوزيع الفراغي حول ذرة الكاربون غير المتماثلة واحدة فتسمى **epimers** كما في السكريات أدناه

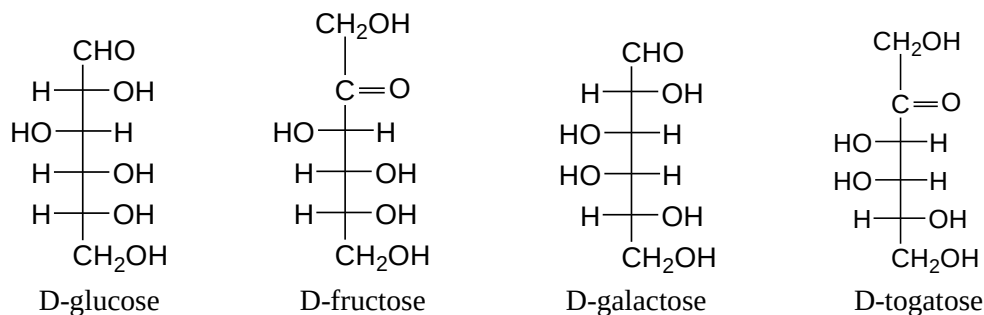


D(+)-glucose is epimer to D(+)-galactose

D(+)-glucose is epimer to D(+)-mannose

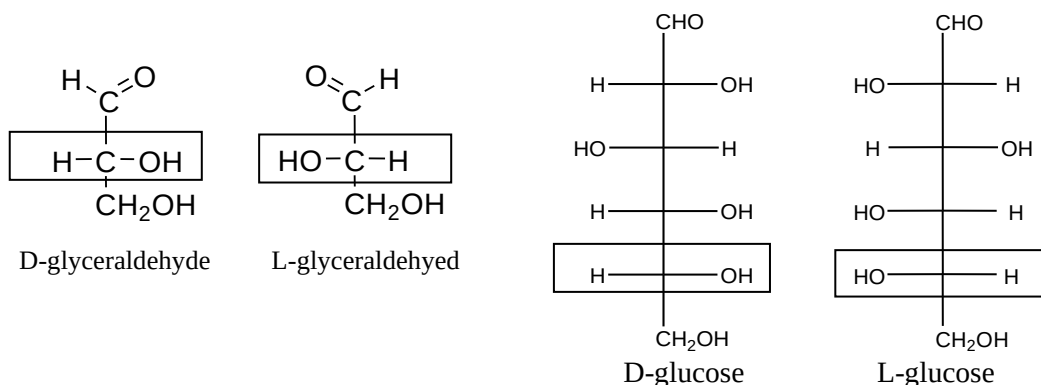
But D(+)-galactose is not epimer to D(+)-mannose

ملاحظة: سكر الفركتوز هو سكر كيتوني سداسي ketohexose وله صيغة جزيئية $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ مشابه في الصيغة الجزيئية فقط مع السكريات الأليدهايدية السداسية aldohexose لكنه يختلف عنهم في كونه سكر كيتوني، هذا النوع من المتشابهات يسمى **aldose-ketose isomers**
كما في حالة D-glucose & D-fructose وكذلك D-glucose & D-galactose



الصيغ البنائية للسكريات الأحادية:

استخدم العالم فيشر Fischer طريقة كتابة الصيغ للسكريات الأسلوب العمودي أو الإسقاط العمودي لمتعدد الهيدروكسيل، وعبر عنه بـ D- و L- لترتيب مجاميع الهيدروكسيل حول ذرة الكربون غير المتماثلة (ذرة الكربون ما قبل الأخيرة للسكر) كما في أدناه:



أثبتت التجارب أن هناك صفات لا تستطيع الصيغ المفتوحة لـ Fischer تفسيرها مثل الاستدارة الضوئية عند الذوبان.

صيغ فشر المفتوحة تتلائم مع السكريات ثلاثية ورباعية ذرة الكربون أما السكريات الأعلى المحتوية خمس ذرات كربون أو أكثر (السكريات الخماسية أو السداسية) فتكون موجودة بشكل حلقي تكون فيها مجموعة الكربونيل كامنة ولا تظهر صفاتها الكيميائية الاعتيادية كما فسرهما العالم هوارث Howarth.

مثلاً سكر الكلوكوز ثابت نسبياً مع الكواشف التي تتفاعل عادة بسرعة مع مجموعة الألدهايد وانه خامل تماماً عند تعرضه للهواء أو الأوكسجين، بينما تميل الألدهايدات للتأكسد بسرعة تحت نفس الظروف. والخاصية الأخرى التي تؤكد وجود السكر مثل الكلوكوز بتركيب حلقي هو وجوده بشكلين بلوريين. إذا تم تبلور الكلوكوز في الماء ينتج تكوين شكل يسمى α -D-glucose والتي تكون درجة دورانه النوعي $[\alpha]_D = +112.2$ ، أما إذا تبلور الكلوكوز من المذيب بايردين أو من حامض الخليك فالناتج هو الحصول على β -D-glucose ذي دوران نوعي

$[\alpha]_D = +18.7$ وأن هذا الشكلان لا يختلفان في التركيب الكيميائي، وعند إذابة في الماء فإن

دورانه النوعي يتغير تدريجياً مع الوقت حتى تصل إلى قيمة ثابتة هي 52.7°

وعند إذابة β -D-glucose في الماء فإن دورانه النوعي يتغير إلى أن يصل إلى نفس القيمة

(52.7°) يسمى هذا التغير بتحول الدوران Mutarotation

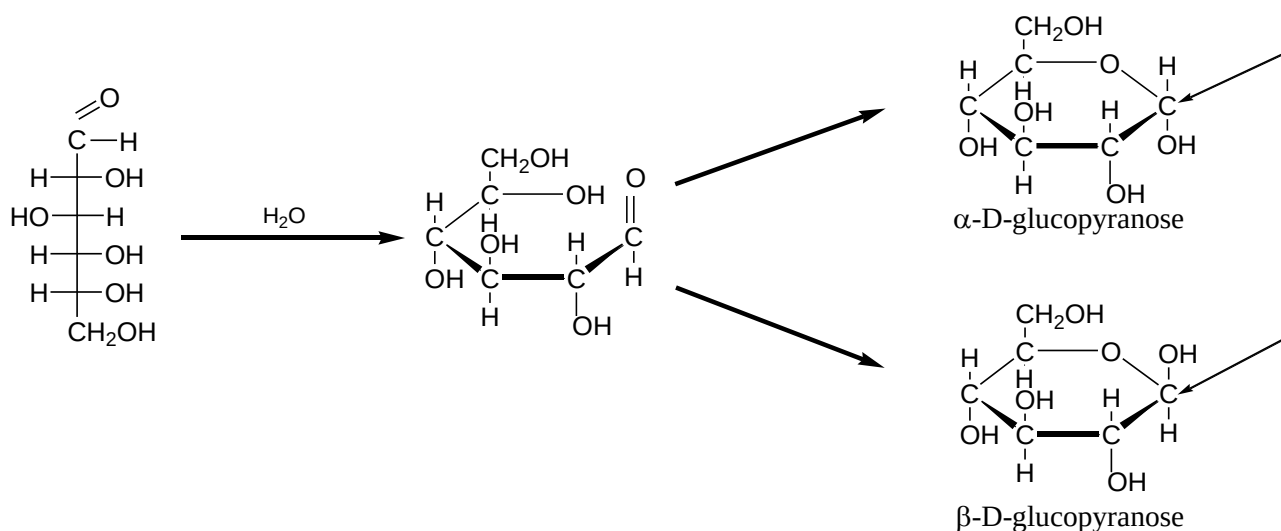
تحول الدوران (Mutarotation): عبارة عن تغير في درجة انحراف الضوء المستقطب

لمحلول السكر بمرور الزمن، وهي صفة خاصة للسكريات الأحادية الحاوية على مجموعة

كاربونيل حرة بشكليها الألديهائيدي والكتوني. تُفسر هذه الظاهرة بتحول مجموعة الكاربونيل

الحرّة إلى الشكل الحلقي oxide- ring بشكليه α و β ثم يحصل توازن بين الصيغة المفتوحة

للسكر والشكلين α و β



أن الشكلين المتناظرين α و β عبارة عن تراكيب حلقية تتكون نتيجة تفاعل مجموعة الكاربونيل

الحرّة مع مجموعة الهيدروكسيل المتصلة بذرة الكربون الخامسة حيث يتكون مشتق يسمى هـي

اسيتايل hemiacetal وبذلك تتكون ذرة كربون غير متماثلة أخرى جديدة.

عندما تكون مجموعة الهيدروكسيل (-OH) المرتبطة بذرة الكربون واقعة إلى أسفل الحلقة

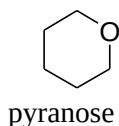
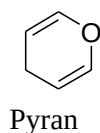
يسمى الشكل - α وإذا كانت واقعة أعلى الحلقة يسمى الشكل - β

ملاحظة: إن المتناظرات أو المتماثلات السكرية التي تختلف عن بعضها في توزيع المجاميع

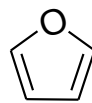
حول ذرة الكربون hemiacital فقط، تسمى متماثلات anomers

يطلق على هذه الأشكال الحلقية السداسية للسكريات بالـ pyranos لأنها مشتقة من المركب

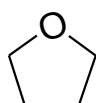
الحلقي غير المتجانس pyran



أما بالنسبة للسكريات الكيتونية السداسية (ketohehexoses) أيضاً توجد بالشكل الحلقي الخماسي والتي تكون مشتقة من المركب الحلقي Furan توجد بشكلين أيضاً هما α - و β -

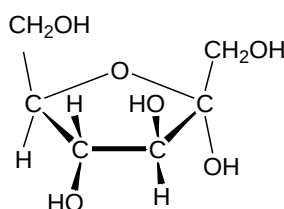


furan

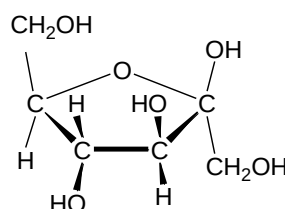


furanose

في السكريات السداسية الكيتونية تتفاعل مجموعة الهيدروكسيل ($-OH$) عند ذرة الكربون الخامسة مع مجموعة الكربونيل الموجودة عند ذرة الكربون الثانية مكونة α -D-fructofuranose والشكل الآخر β -D-fructofuranose كما في أدناه



α -D-fructofuranose



β -D-fructofuranose

تستخدم صيغ هوارث الأسقاطية Haworth projection formula لتمثيل المتناظرات (المتماثلات) المختلفة للسكريات.

ملاحظة: في حالة السكريات الألديهيدية أو الكيتونية فإن عدد ذرات الكربون غير المتماثلة سيزداد بوحدة واحدة وبالتالي عدد المتشابهات (isomers) يزداد أيضاً، فمثلاً في حالة الكلوكوز وحسب صيغ فشر فإن عدد ذرات الكربون الـ (asymmetric) هو 4 ذرات وبالتالي فإن عدد المتشابهات هو

$$I = 2^n = 2^4 = 16 \text{ isomers}$$

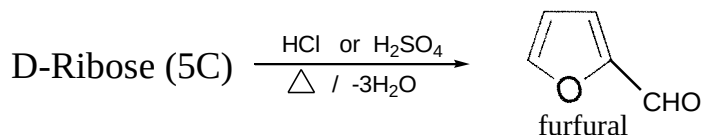
بينما في صيغ الحلقية فإن عدد ذرات الكربون غير المتماثلة هو خمس ذرات كربون وان عدد

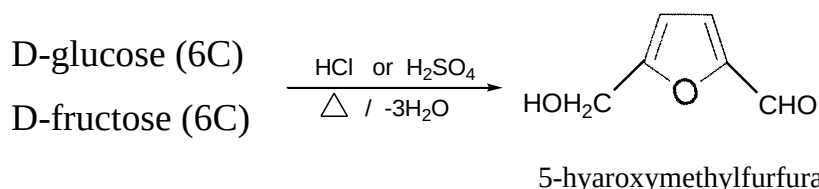
$$I = 2^n = 2^5 = 32 \text{ isomers}$$

الـ isomers هو

تفاعلات السكريات الأحادية:

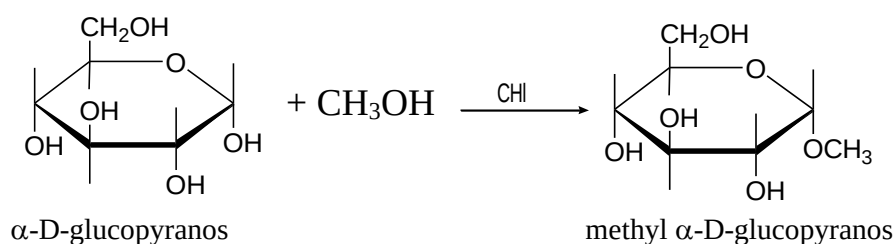
1) تفاعلات اللاتمية (سحب جزيئة ماء) Dehydration أو تفاعل الحوامض المعدنية المركزة (HCl & H_2SO_4): عند تسخين السكريات الخماسية مع أحد الحوامض المعدنية المركزة يتكون مركب الفورفورال Furfural وعند تسخين السكريات السداسية ينتج مركب 5-hydroxymethylfurfural نتيجة سحب ثلاث جزيئات ماء في كلا الحالتين.



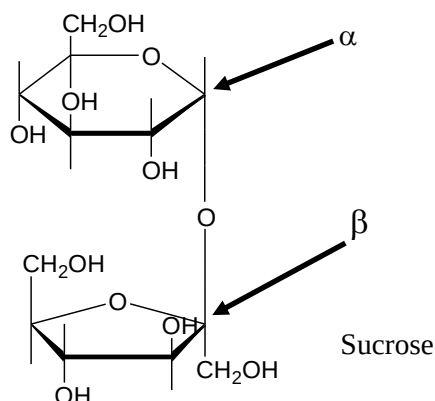


وعند تفاعل مشتقات الفورفورال مع α -D-naphthol تعطي حلقة بنفسجية (كشف مولش Molish test) ويعتبر كشف عام لوجود الكربوهيدرات. ويتفاعل فورفورال السكر الخماسي فقط مع arcinol ليعطي لوناً أخضر (كشف بيال Bial test) وهذا الكشف خاص بالسكريات الخماسية.

(2) تكوين الكلايكوسيد أو الأسيتال (Glycoside or acetal formation): من أهم تفاعلات الكربوهيدرات، فعند معاملة السكريات الأحادية مع كحول في محلول حامضي تنتج مركبات كلايكوسيد بسبب وجود السكر بشكل هيمي أسيتال أو هيمي كيتال (hemiacetal or hemiketal)، فعند تفاعل D-glucose ينتج



وإذا ارتبطت مجموعة الهيدروكسيل الكحولية للسكر الأحادي مع هيمي أسيتال لسكر أحادي آخر ينتج عنه سكر ثنائي أو متعدد (حسب عدد السكريات الأحادية المرتبطة) كما في حالة السكر الثنائي السكروز الذي هو عبارة $\alpha\text{-D-glucopyranosyl-}\beta\text{-(1}\rightarrow\text{2)fructofuranoside}$



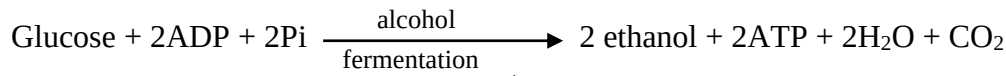
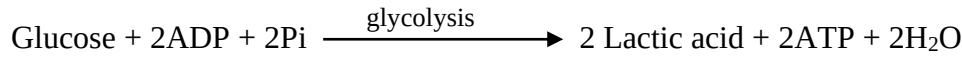
(3) تفاعلات التخمر (Fermentation Reactions):

التخمر عبارة عن تجزئة تحصل لبعض المركبات العضوية والكربوهيدرات تتخمر بواسطة الأنزيمات التي تفرزها الكائنات الحية مع تحرير غاز CO_2 مع طاقة ATP وتتم بمعزل عن الهواء، التخمر يكون على نوعين:

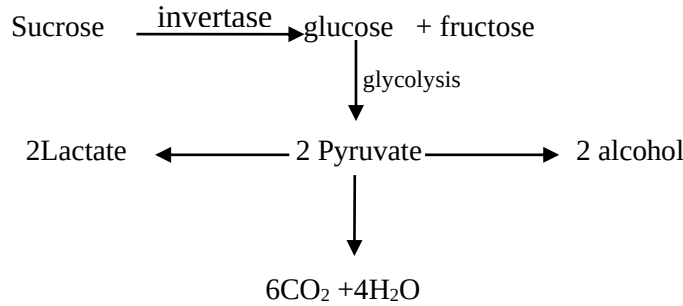
(أ) التحلل السكري glycolysis .

(ب) التخمر الكحولي alcohol fermentation .

كلا الطريقتين تستخدمان نفس الميكانيكية في حفظ الطاقة، لكنهما يختلفان في الخطوات النهائية.



في حالة السكريات الثنائية مثل السكروز والمالتوز فإن الخطوة السابقة للتخمر هي عملية تحلل مائي بواسطة أنزيمات hydrolysis مثل أنزيم invertase يحول السكريات الثنائية إلى أحادية ثم يتحول الكلوكوز إلى حامض البايروفيك بتفاعلات عديدة ومعقدة أما الفركتوز فلا يتخمر.

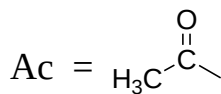
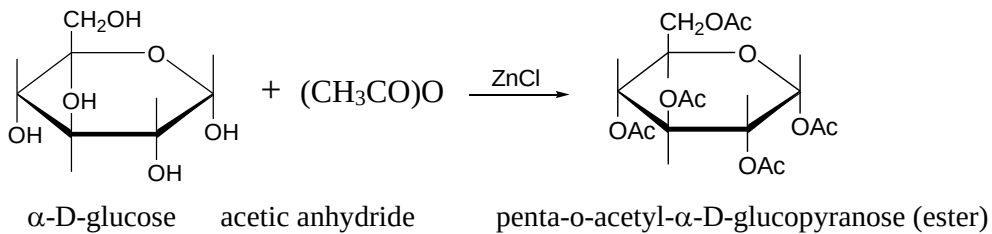


(4) تكوين الأستر Ester Formation : تتفاعل السكريات الأحادية مع بعض الحوامض

لتكوين أسترات مهمة وهي

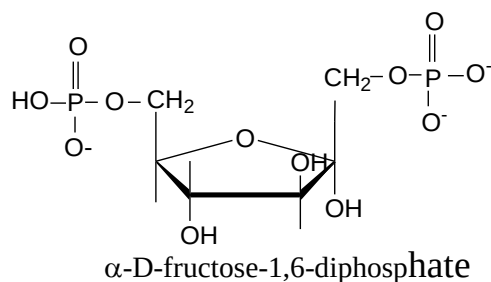
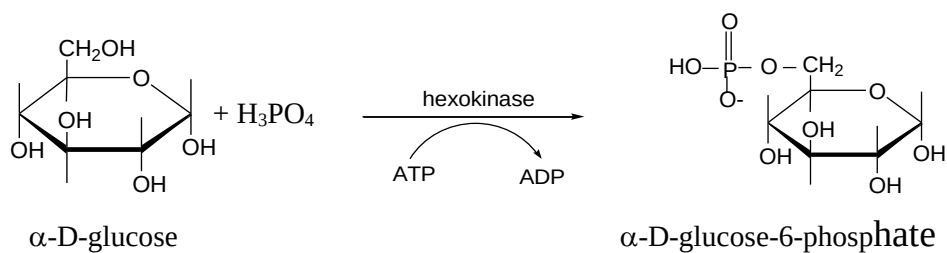
(أ) التفاعل مع حامض الخليك اللامائي acetic anhydride : حيث تتحول مجاميع

الهيدروكسيل للسكر إلى مجاميع الأستيل

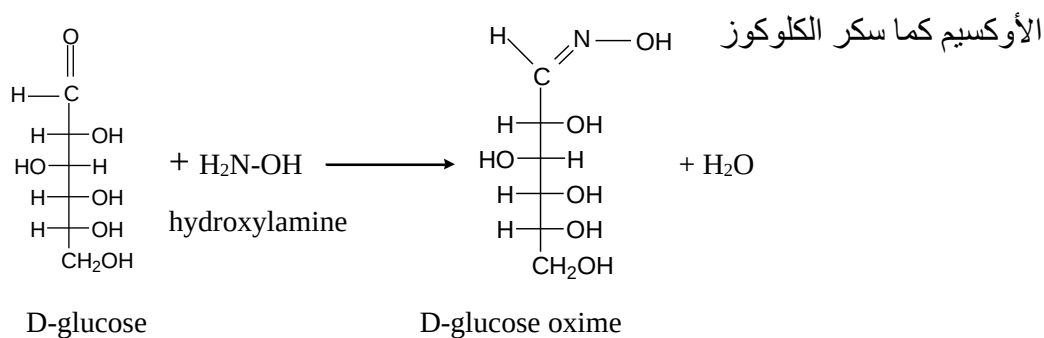


(ب) التفاعل مع حامض الفسفوريك: تتفاعل السكريات الأحادية مع حامض الفسفوريك

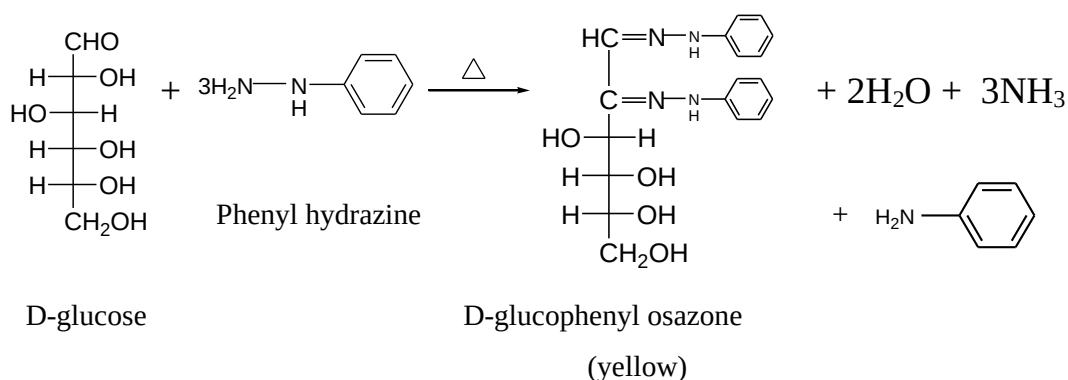
لتعطي سكريات مفسفرة والتي تلعب دوراً مهماً في العمليات الأيضية للكربوهيدرات



(5) **التفاعل مع هيدروكسيل أمين:** يندمج هيدروكسيل أمين مع مجموعة الكربونيل لتكوين

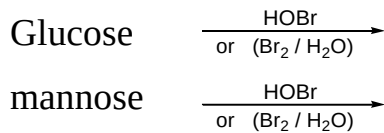
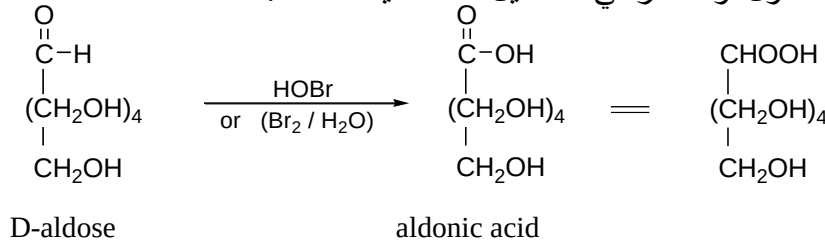


(6) **تفاعل تكوين الأوزازون:** تتفاعل السكريات التي تمتلك مجموعة الديهايد أو كيتون حرة (السكريات المختزلة) مع الفينيل هيدرازين (phenyl hydrazine) وبثلاث خطوات ليُعطي بلورات الأوزازون صفراء اللون والتي تكون غير ذائبة في الماء وتختلف أشكالها باختلاف السكر، حيث يستعمل هذا التفاعل للكشف عن نوعية السكر.

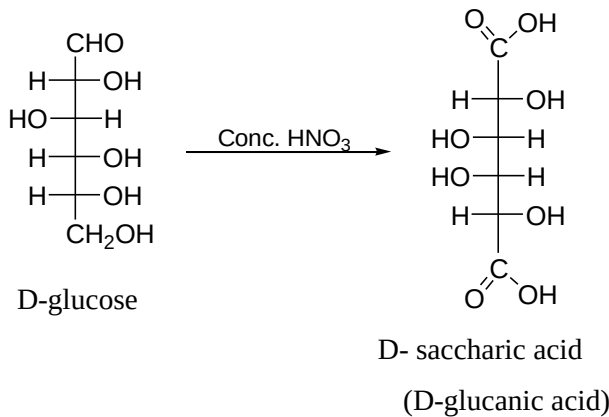
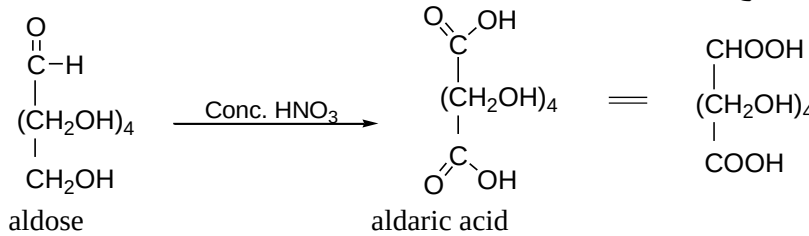


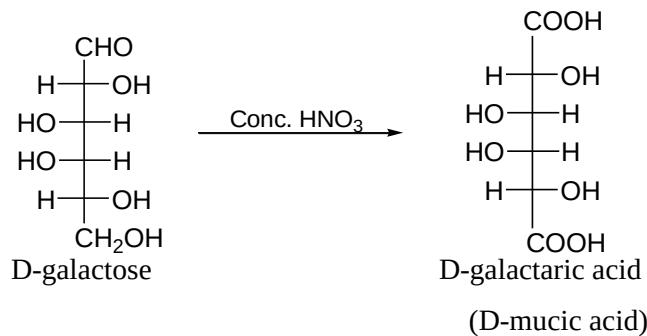
(7) تأثير العوامل المؤكسدة:

أ) ماء البروم: تتفاعل السكريات الأحادية مع ماء البروم (pH=6) لتعطي حوامض متعددة الهيدروكسيل حيث تتأكسد فقط مجموعة الكربونيل، تسمى الحوامض الناتجة (aldonic acid). أما السكريات الكيتونية فإنها لا تتأثر تحت نفس الظروف ولا تتعرض السكريات الكيتونية للتحويل أو الكسر في المحاليل الحامضية المطلقة.



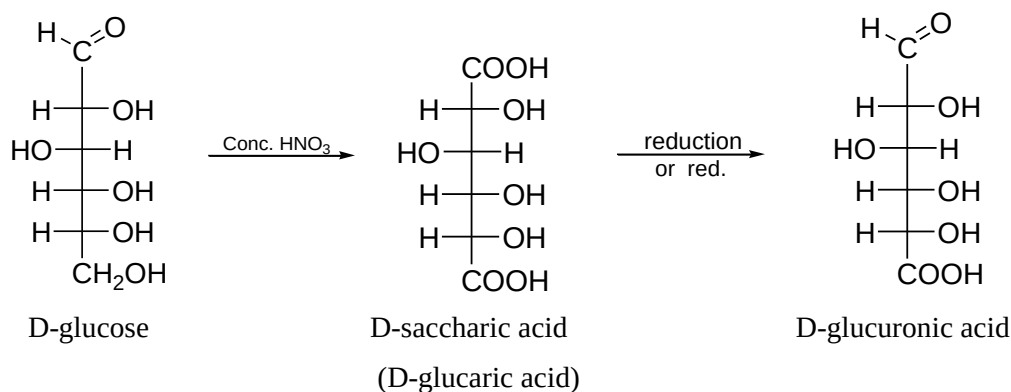
ب) حامض النتريك (HNO₃): تتفاعل السكريات الأحادية مع عامل مؤكسد قوي مثل حامض النتريك (HNO₃) المركز لتعطي حوامض ثنائية الكربوكسيل متعددة الهيدروكسيل هذه الحوامض تسمى (aldaric acid) حيث تتأكسد مجموعة الكربونيل وكربون الذرة الأخيرة للسكر إلى مجاميع كربوكسيلية.



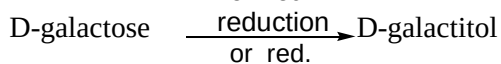
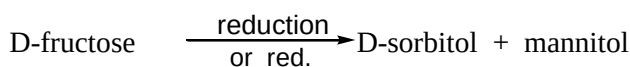
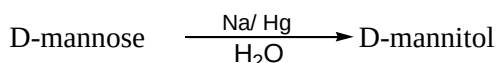
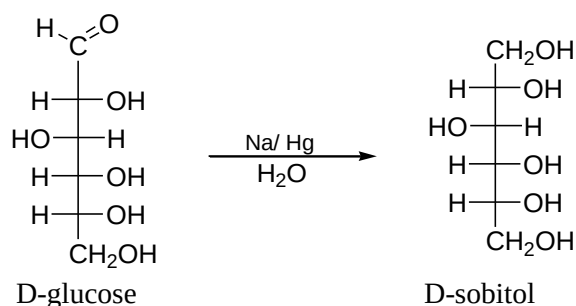


ملاحظة (1): السكريات الكيتونية مثل الفركتوز عند معاملتها مع حوامض مؤكسدة قوية فإنها تتكسر لتعطي حوامض ذات سلسلة أقصر.

ملاحظة (2): عند معالجة (aldaric acid) مثل حامض saccharide بمغلم الصوديوم فإن مجموعة الكربونيل الأولى تُختزل إلى مجموعة كربونيل (الديهيد) لتعطي حوامض يورونية (uronic acid) كما في الكلوكوز حيث يسمى glucuroic acid



(8) تفاعلات الاختزال وتكوين سكريات كحولية: تختزل مجموعة الكربونيل الحرة للـ aldoses والـ Ketoses إلى مجموعة هيدروكسيل أي تزداد مجاميع الهيدروكسيل للسكر ويصبح سكر كحولي أو سكر متعدد الهيدروكسيل (Polyols).

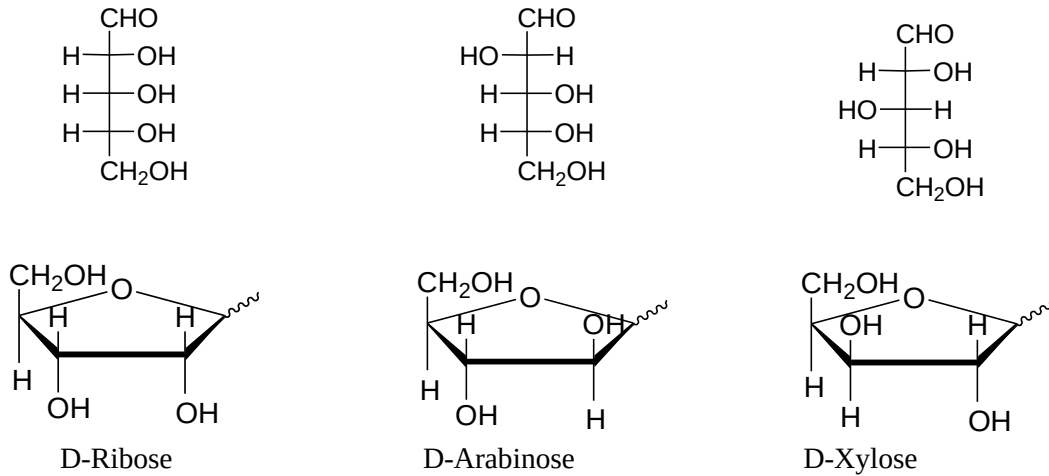


يستخدم الـ sorbitol بدل السكر في غذاء المصابين بمرض السكر.

السكريات الأحادية (Monosaccharides):

أن جميع السكريات الأحادية تذوب في الماء ولها القابلية التنافضية ولا تتأثر بالأنزيمات المعدية، ولها القابلية الأختزالية. من أهم السكريات الأحادية:

(أ) **السكريات الخماسية (Pentoses):** لا توجد في الطبيعة بصورة حرة قسم منها يوجد على شكل سكريات متعددة تسمى (pentosans) وتوجد بكثرة في النباتات. من أهم السكريات الخماسية:



(1) **الرايبوز (D-Ribose):** - وهو من أهم السكريات الخماسية، يوجد في جميع الخلايا الحية، حيث يدخل في تركيب الحامض النووي الرايبوزي RNA وقسم من المساعدات الأنزيمية (ATP, NAD, FAD, NADP⁺) أما سكر الرايبوز منقوص الأوكسجين فإنه أكثر فعالية وأقل ثباتاً ويوجد في الحامض النووي DNA .

(2) **الأرابينوز (D-Arabinose):** - يوجد على سكريات متعددة في الحنطة والصمغ العربي والحمص والبقلاء. يستعمل بصورة رئيسية في دراسة البكتريا واختبارات التخمر.

(3) **الزايلوز (D-Xylose):** - يسمى أحياناً بسكر الخشب، لإمكانية تحضيره بسهولة من الخشب والقش، له دور مهم في العمليات الحيوية النباتية والحيوانية كجسر بين السكريات خماسية وسداسية الكربون. كذلك له أهمية في تخليق الحوامض النووية ويستعمل أيضاً في تصنيف البكتريا.

(ب) **السكريات السداسية (Hexoses):** - من السكريات الأحادية السداسية المهمة هي glucose, galactose, fructose والتي تلعب دوراً كبيراً في العمليات الأيضية لجسم الإنسان.

(1) الكلوكون glucose : ويسمى أيضاً (dextrose) لأنه يحرف الضوء المستقطب إلى اليمين. يوجد في الفواكه وعصير النباتات بصورة حرة خاصة العنب، ويوجد مع الفركتوز في كثير من الفواكه الحلوة كما يوجد في العسل وأوراق وجذور كثير من النباتات (الذرة الحلوة، البصل، البطاطا الحلوة غير الناضجة).

* الكلوكون أقل حلاوة من السكروز (ما يعادل 75% من حلاوة السكروز) لكن له نفس القيمة الحرارية للسكروز.

* نسبة الكلوكون الطبيعية في الدم (80-120 mg/ 100 ml) أي حوالي 0.1% وفي الإدرار 0.2% وتصل إلى 10% في حالة الإصابة بمرض السكر diabetes .

* مصير الكلوكون الموجود في الدم يُمثل (metabolize) ويُجدد باستمرار، وأي كمية زائدة عن الحاجة يتحول إلى نشأ حيواني (كلايكونين) الذي يُخزن في الكبد بصورة رئيسية وعند الحاجة يتحول مرة ثانية إلى كلوكون، في نفس الوقت يُطرح قسم من الكلوكون من الإدرار.

* مستوى الكلوكون في الدم يُنظم بفعل بعض الهرمونات (هرمون الأنسولين) الذي تفرزه غدة البنكرياس.

* نصف الطاقة التي يحتاجها الجسم في الحالات الطبيعية تأتي من احتراق الكلوكون خلال مراحل وسطية في الأيض (metabolize) بعد اتحاده مع حامض الفسفوريك بشكل استرات.

Glucose-1-phosphate, glucose-6-phosphate, glucose-1,6-diphosphate.

(2) الكالكتوز D-galactose : لا يوجد حراً في الطبيعة، يوجد عادة في الحليب متحداً مع الكلوكون على شكل سكر ثنائي (Lactose)، كذلك يوجد في البكتين (pectin) والأكار (agar) وفي بعض المركبات الحياتية المهمة على شكل كالكتوسايد galactosides متحداً مع بعض الشحوم والزلاليات التي توجد في الدماغ والأنسجة العصبية.

* الكالكتوز أقل حلاوة من بعض السكريات الأحادية (32% من حلاوة السكروز).

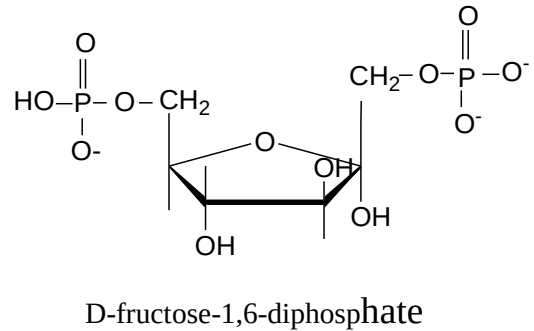
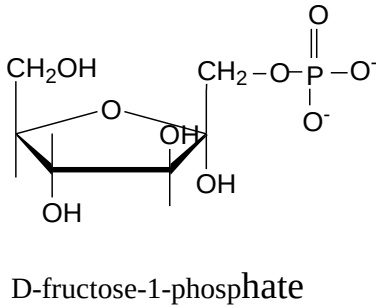
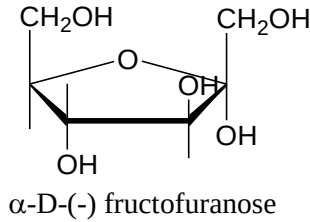
* يتكون الكالكتوز داخل داخل الغدة اللبنية عند الإناث، حيث يتحد مع الكلوكون مكوناً سكر اللاكتوز (سكر الحليب).

* يتحول اللاكتوز إلى كلوكون بواسطة أنزيم galactose-1-phosphate uridyl transerase وبمساعدة ATP. في حالة غياب أو انعدام هذا الأنزيم يحدث مرض galactosemia وهو مرض وراثي خطير يسبب عدم نمو الطفل مصحوباً بالتقي والإسهال وتضخم الكبد واليرقان، وفي كثير من الأحيان يُسبب تخلف عقلي، وفي هذه الحالة يزداد الكالكتوز في الدم ويظهر أيضاً

في الإدرار (السبب في الواقع يعود إلى تراكم مواد سامة منها galactitol الناتج من اختزال الكالكتوز).

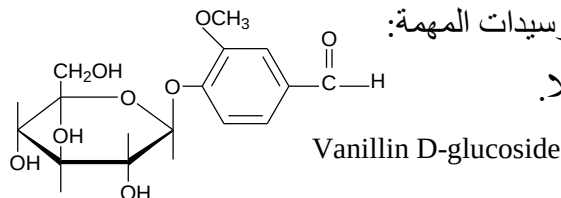
(3) الفركتوز (Fruit sugar, levulose) D-Fructose: يوجد في الفواكه والخضروات وخاصة العسل، وهو الذي يعطي الحلاوة الخاصة بالعسل. يوجد بنسبة أكثر من الكلوكوز في الفواكه لذا يسمى بسكر الفواكه (fruit sugar) *له ضعف حلاوة السكروز (175 % من حلاوة السكروز).

* يوجد الفركتوز بشكل D- لكنه يحرف الضوء المستقطب نحو اليسار لذا يسمى levulose *في حالة تمثيله (metabolize) داخل الجسم، يكون على شكل استر وبثلاثة أشكال D-Fructose-1-phosphate, D-Fructose-6-phosphate, D-fructose-1,6-diphosphate *يُخزن الفركتوز في الكبد على شكل كلايكوجين بعد تحوله إلى كلوكوز.



مشتقات السكريات الأحادية:

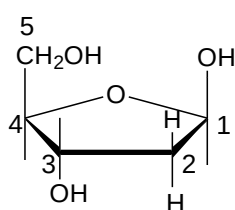
(1) الكلايكوسيدات Glycosides: وهي مركبات سكرية متصلة (برباط أيثري) بذرة الأوكسجين لمجموعة هيدروكسيل ذرة الكربون anomeric (ذرة الكربون رقم 1 في aldoses وذرة الكربون 6 في ketoses) مع قسم آخر كربوهيدراتي أو غير كربوهيدراتي، وعليه فهي سكريات ليست مختزلة وليس لها القابلية على الاستدارة الضوئية (mutarotation). (راجع



تفاعلات الكربوهيدرات) من الكلايكوسيدات المهمة:
(أ) الكلايكوسيد الموجود في نكهة الفانيليا.

- (ب) الكلايكوسيد الموجود في نبات (digitalis) والمسمى (digoxin) الذي يستخدم في معالجة بعض أمراض القلب (مستحضر طبي).
- (ج) الكلايكوسيد الموجود في اللوز المر.
- (د) الكلايكوسيدات النتروجينية (nucleotides) والتي تحتوي هلى سكر رايبوزي وقاعدة نتروجينية وفوسفات.
- (هـ) جميع السكريات الثنائية والمتعددة.
- (و) الدهون السكرية وبعض مشتقات الستيرويدات.

(2) السكريات المجردة من الأوكسجين Deoxy sugar: وهي السكريات التي تكون فيها مجموعة الهيدروكسيل المعوضة في الحلقة فاقدة ذرة الأوكسجين. وهذه السكريات مهمة جداً في التراكيب الحياتية مثل الحوامض النووية DNA ومن هذه السكريات المجردة من الأوكسجين.



(أ) رايبوز منقوص الأوكسجين 2-deoxy-D-Ribose الموجود في DNA

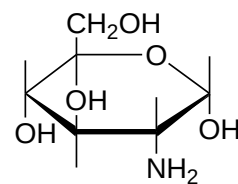
(ب) فوكوز L-Fucose : وهو عبارة عن سكر كالكتوز منقوص ذرة

الأوكسجين عند ذرة الكربون 6 (6-deoxy-L-galactose) ويوجد في البروتينات السكرية وبعض مجاميع الدم وحليب الإنسان.

(ج) رامنوز L-Rhamnose : عبارة عن سكر 6-deoxy-L-mannose الموجود في الأصباغ النباتية وبعض المضادات الحيوية.

(3) السكريات الأمينية Amino Sugar: وهي السكريات التي تحتوي على مجموعة الأمين ($-NH_2$) حلت محل مجموعة الهيدروكسيل ($-OH$) عند ذرة الكربون 2 في aldoses. من أهم السكريات الأمينية:

(أ) كلوكوز-أمين D-glucose amine : ويسمى أيضاً chitosamine لأنه الناتج الوحيد من التحلل المائي للـ chitin الموجود في القشريات. يوجد أيضاً على شكل بوليمر وحدته البنائية

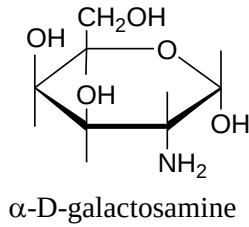


α -D-glucose amine

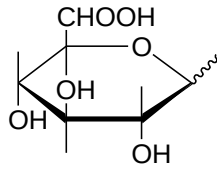
acetyl glucose amine في السكريات المتعددة المخاطية mucopolysacchrides متحداً مع البروتين في مجاميع الدم وعدسات العين وغيرها، مثل الهيبارين Heparin الموجود في الكبد، الرئة والدم

(يعمل على منع تخثر الدم داخل الجسم). كذلك يوجد في بياض البيض على شكل سكريات ثلاثية وكذلك المضادات الحيوية.

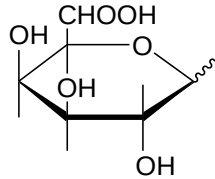
(ب) **الكالتوز-أمين D-galactose amine**: يسمى أيضاً chondrsamine لوجوده في chondroitins الذي هو أحد mucopolysacchrides الموجود في الغضاريف والعظام، قرنية العين، الجلد، صمامات القلب.... الخ، متحداً مع البروتينات.



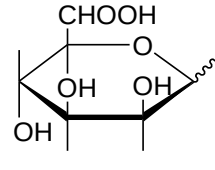
(4) **الحوامض اليورونية Uronic acids**: وهي من مشتقات السكريات البسيطة تحتوي على مجموعة الديهايد وكاربوكسيل (راجع تفاعلات الكربوهيدرات). ثلاثة من الحوامض اليورونية موجودة في الطبيعة هي:



D-glucuronic acid



D-galactouronic acid



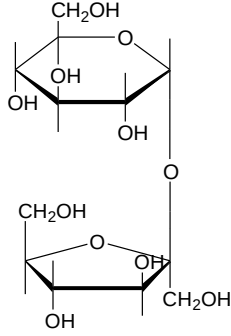
D-mannuronic acid

الحوامض اليورونية مهمة جداً في التراكيب الحياتية، حيث تدخل في تركيب الأنسجة الرابطة والأنسجة المخاطية وأن glucuronic يدخل في تركيب الهيبارين والغضاريف والهرمونات الجنسية.... الخ، كذلك يعمل ضد السموم بالإتحاد معها وجعلها غير سامة ومن ثم طرحها خارج الجسم مع الإدرار (عملية الحماية التركيبية protective synthesis).

السكريات الثنائية Disaccharides :

تعتبر السكريات الثنائية glycosides مكونة من جزئيتين من السكر الأحادي بعد فقد جزيئة ماء منهما، ترتبط جزئيتي السكر الأحادي مع بعضها بواسطة الأصرة الكلايكوسيدية، والسكريات الثنائية ثابتة لا تتأثر بالقواعد لكنها تتحلل مائياً بفعل الحوامض محررة السكريات الأحادية التي تحتويها. يحدث هذا أيضاً بعل الأنزيمات (كما في القناة الهضمية).

السكريات الثنائية قسم منها لها القابلية الاختزالية والقسم الآخر ليس لها القابلية الاختزالية، اعتماداً على كيفية اتصال المجاميع السكرية الألديهائية والكتونية في الوحدات البنائية فيما إذا كانت واحدة متصلة فقط والأخرى حرة أو الاثنتين متصلتين مع بعضهما. السكريات الثنائية تكون قابليتها الاختزالية أضعف من السكريات الأحادية (هذا ما يعتمد عليه فحص بارفويد). تتميز السكريات الثنائية بكونها بلورات ولها القابلية على التنافذ.



من السكريات الثنائية المهمة:

(1) السكروز Sucrose, Cane Sugar: من التركيب الكيميائي للسكروز

نلاحظ اتصال الكلوكوز والفركتوز بين المجاميع المختزلة

(anomeric carbon 1,2) وبهذا تكون كل منهما مرتبطة وغير حرة

لذلك لا يمتلك السكروز الصفة الاختزالية (لا يكون الاوزون).

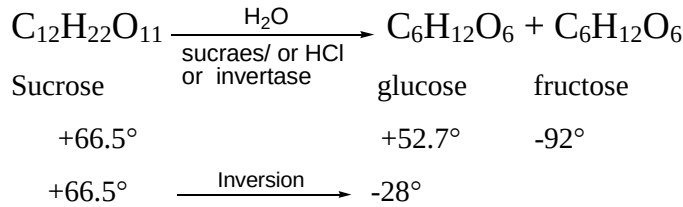
1-α-D-glucosyl-2-β-D-fructosides

α-D-glucopyranosyl-β-D-fructofuranosides (2-β-D-fructosyl-1-α-D-glucosides)

*يوجد السكروز بكميات كبيرة في عصير النباتات مخلوط مع الكلوكوز والفركتوز والمصدر الرئيسي للسكروز هو قصب السكر والبنجر ويعتبر من السكريات الطبيعية بعد الكلوكوز.

*السكروز أكثر حلاوة من الكلوكوز وأقل حلاوة من الفركتوز.

*التحلل المائي للسكروز يعطي الكلوكوز والفركتوز ويسمى الخليط invert sugar



*من خواص السكروز أنه يحرف الضوء المستقطب إلى اليمين (+66.5°) وأن الخليط الناتج

(Invert sugar) من التحلل المائي يحرف الضوء المستقطب إلى اليسار (-28.2°) يستفاد من

الخاصية في تعيين السكروز في أي نموذج.

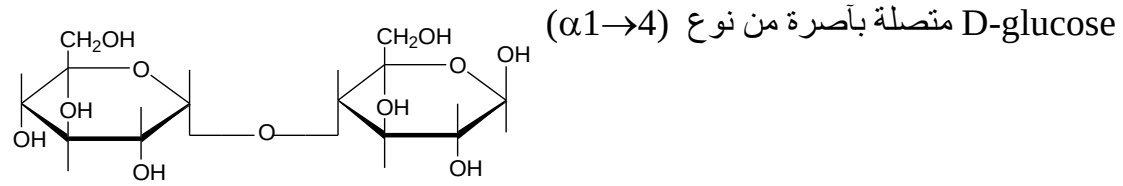
*السكروز لا يتخمر (أحياناً يتخمر نتيجة تحلله مائياً ومن ثم تتخمر السكريات الأحادية).

*السكروز يوجد في المحلول على شكل واحد لهذا فإنه يتبلور بسرعة.

*يهضم السكروز في الأمعاء ويتحول إلى كلوكوز وفركتوز بفعل أنزيم sucrase بعدها يمتصان

في الدم، أما إذا حُقن في الدم فإنه يُطرح خارج الجسم مع الإدرار لعدم وجود إنزيم sucrase في الدم.

(2) المالتوز Maltose, Malt Sugar: يتكون المالتوز من جزئيتين من سكر الكلوكوز

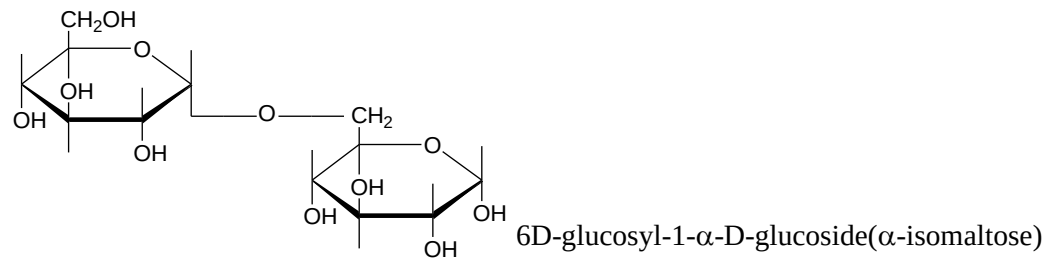


4D-glucosyl-1- α -Dglucoside (β -maltose)

α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucopyranosides

وأن الارتباط يشمل مجموعة واحد مختزلة (مرتبطة غير حرة) أما المجموعة الثانية فتكون حرة لذلك يعتبر المالتوز سكر مختزل (يختزل محلول بندكت). هناك تركيب مماثل للمالتوز يسمى

Isomaltose يكون ارتباط جزئيتي الكلوكوز (الأصرة الكلايكوسيدية) $(\alpha 1 \rightarrow 6)$



α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 6)- α -D-glucopyranoside

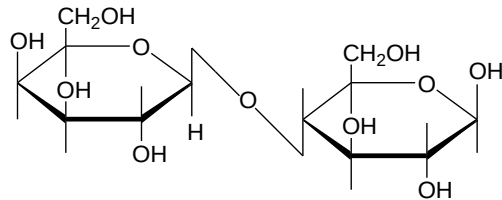
*المالتوز لا يوجد في الطبيعة، لكنه يمكن الحصول عليه أثناء عملية التحلل المائي للنشأ، حيث يشكل وحدة سكرية ثنائية للنشأ.

*المالتوز كثير الذوبان في الماء ويتخمر بسهولة بعد تحوله إلى الكلوكوز.

*المالتوز أقل حلاوة من السكروز (33% من حلاوة السكروز).

(3) اللاكتوز Lactose : يسمى أيضا سكر الحليب، يتكون من ارتباط وحدتي السكر

β -galactose و β -glucose بأصرة كلايكوسيدية β -(1 $\rightarrow$ 4)



β -D-galactopyranosyl- β -(1 $\rightarrow$ 4)- β -D-glucopyranoside (Lactose)

*يُختزل اللاكتوز محلول بندكت لأحتوائه على مجموعة الديهايد كامنه (مجموعة OH- المتصلة بذرة الكربون anomeric رقم 1 الموجودة في الكلوكوز).

*سكر اللاكتوز قليل الحلاوة وأقل من السكروز.

*سكر اللاكتوز يتكون داخل الغدد اللبنية في الحيوانات الراقية باستخدام الكلوكوز الموجود في الدم.

*الكالكتوز الموجود في سكر اللاكتوز مصدر لتكوين مركبات galactosides التي يحتاجها الجهاز العصبي أثناء عملية نمو الطفل. يعتبر اللاكتوز عامل جيد لنمو بعض البكتريا النافعة في الأمعاء، كما أنه يساعد على امتصاص الكالسيوم.

*يُهضم سكر اللاكتوز في الأمعاء بواسطة إنزيم (lactase) إلى الكلوكوز والكالكتوز. في حالة ضعف هذا الإنزيم خاصة عند الأطفال والأطفال الرضع فمن المحتمل امتصاص اللاكتوز وتراكمه في جهاز الدوران مسبباً مرضاً في العيون (cataract) بالإضافة إلى ضعف الجهاز العصبي، في هذه الحالة يجب تجنب تناول الحليب (تحصل هذه الحالة وراثياً).

السكريات الثلاثية Trisaccharides :

توجد السكريات الثلاثية بصورة حرة في الطبيعة، ومنها:

(أ) **سكر الرافينوز Raffinose** : يتألف من فركتوز وكلوكوز وكالكتوز، حيث يتحد الفركتوز مع الكلوكوز (1→2)- α كما في السكروز، ويتحد الكلوكوز مع الكالكتوز (1→6)- α .
*يوجد هذا السكر بكميات قليلة في البنجر وبذور القطن وكذلك في السوائل التي تُفرز أو التي تنضج من أشجار اليوكالبتوس.

(ب) **سكر ميلزاييتوز Melezitose** : يوجد في كثير من أشجار الحمضيات وخصوصاً في نسغ أشجار الليمون الحامض، ويتألف من جزئيتين كلوكوز وجزئية فركتوز.

السكريات المتعددة Polysaccharides (Glycans) :

توجد أغلب الكربوهيدرات في الطبيعة بصيغة جزيئات متعددة السكريات مرتبطة مع بعضها البعض بشكل كلايكوسيدي ذات أوزان جزيئية عالية. جزيئات متعدد السكريات تختلف عن بعضها البعض بنوع وحدات السكر الأحادي المكونة لها وبطول سلاسلها وكذلك بطبيعة التفرع لهذه السلاسل.

مركبات متعدد الهيدروكسيل ليس القابلة للاختزالية بالرغم من احتوائها على وحدة سكر نهائية تمتلك مجموعة كاربونيل كامنة غير مقيدة بأصرة كلايكوسيدية، وذلك لأن تأثير هذه الوحدة الواحدة من السكر المختزل تتضاءل خاصيتها بسبب الوزن والحجم الكبيرين لجزئ متعدد

السكر. متعدد السكريات تكون بشكل مسحوق صلب غير متبلور أبيض اللون عديم الطعم غير ذائب أو قليل الذوبان جداً في الماء وتتحلل مائياً بالحوامض والقواعد. تقسم متعدد السكريات إلى:

(1) السكريات المتعددة المتجانسة Homopolysacchareides : وهي السكريات التي تعطي نوع واحد من السكريات الأحادية عند تحليلها مائياً. من أهم هذه السكريات:

(أ) النشأ Starch : وهو متعدد السكر مؤلف من وحدات α -D-glucose يُعد النشأ مصدر لخزن الطاقة في النباتات، كما أنه مصدر غذائي مهم للإنسان والحيوان. يوجد النشأ بكثرة في الثمار والدرنات والبذور.

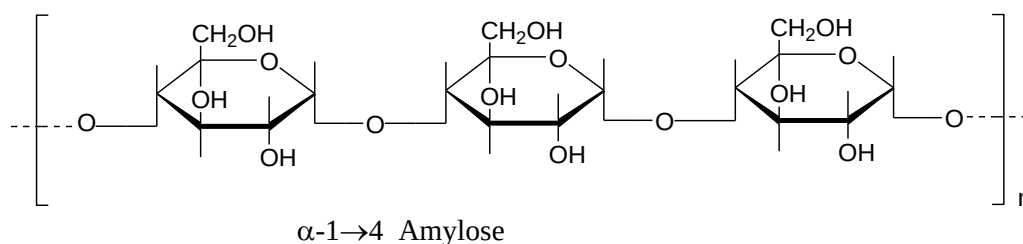
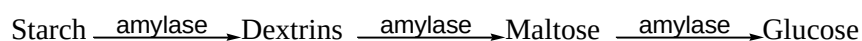
النشأ الطبيعي هو خليط من نوعين من سلاسل متعدد السكريات هما الأميلوز Amylose والأميلوبكتين Amylopectin

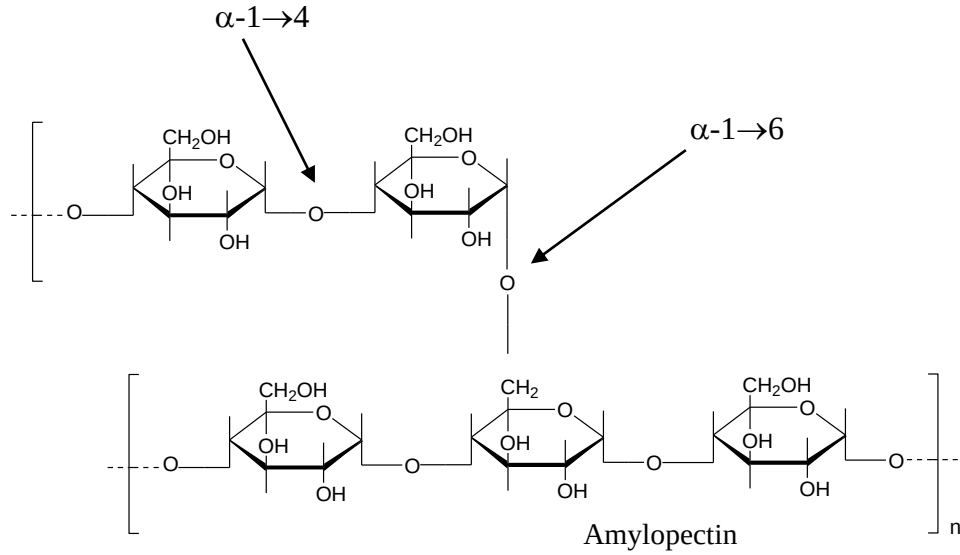
الأميلوز Amylose : عبارة عن سلسلة طويلة غير متفرعة من وحدات الكلوكوز المرتبطة معاً عبر الأواصر الكلايوسيدية ($\alpha 1 \rightarrow 4$) وملتفة بشكل حلزوني ومثبتة بالأواصر الهيدروجينية. يُشكل amylose حوالي 20% من النشأ ويعطي اللون الأزرق-الحيري مع اليود عند مزجه في الماء. يتراوح وزنه الجزيئي بضعة آلاف إلى 50000.

الأميلوبكتين Amylopectin : وهو سلسلة متفرعة تتألف من وحدات الكلوكوز التي ترتبط مع بعضها البعض عبر الأواصر ($\alpha 1 \rightarrow 4$) وكذلك ($\alpha 1 \rightarrow 6$) ويكون التفرع في سلسلة amylopectin عبر الأواصر ($\alpha 1 \rightarrow 6$) ويُشكل حوالي 80% من النشأ.

Amylopectin قليل الذوبان في الماء (أقل من amylose) وهو الذي يعطي الخاصية اللزجة للنشأ، ويعطي مع اليود لون أحمر بنفسجي. يتراوح عدد وحدات الكلوكوز لكل تفرع بـ 12 وحدة كما يحدث التفرع عند حوالي كل 24-30 وحدة كلوكوز. وزنه الجزيئي (100-1000000).

*يتحلل النشأ بتأثير الأنزيمات مثل amylase أو بتأثير الحوامض إلى مجموعة من سلاسل الكلوكوز القصيرة مع انفصال المالتوز ثم إلى وحدات كلوكوز حرة.





ب) الكلايكوجين glycogen: يُعد الكلايكوجين متعدد السكر خازناً لجزيئات الكلوكوز وبالتالي خازناً للطاقة في جسم الحيوان والإنسان. وهو موجود في الكبد حوال (1.5- 4%) تزداد إلى (10%) في حالة أخذ كميات كبيرة من السكريات. أما العضلات فتحتوي على (0.6- 1%). كذلك يوجد الكلايكوجين في الذرة الحلوة، الخمائر، وبعض أنواع الفطريات.

*تركيب الكلايكوجين يشابه لل amylopectin من حيث امتلاكه سلاسل كلوكوز (α 1 $\rightarrow$ 4) متفرعة بواسطة أواصر (α 1 $\rightarrow$ 6) غير أن سلاسل الكلايكوجين أقصر وأكثر تفرعاً. وتحدث التفرعات في السلاسل غالباً عند كل (8-12) وحدة كلوكوز. تتحلل الأواصر (α 1 $\rightarrow$ 4) للكلايكوجين كغيرها من متعدد السكريات بواسطة إنزيم (α - amylase) الناتج من الغدد اللعابية والبنكرياس، بينما تتحلل الأواصر (α 1 $\rightarrow$ 6) بواسطة أنزيم (debranching enzyme) مزيل التفرع الذي يسمى (Amylo - 1 $\rightarrow$ 6- glucosidase) وبفعل هذه الأنزيمات يكون الناتج النهائي لتحلل الكلايكوجين مزيجاً من المالتوز والكلوكوز وينتج في النهاية كلوكوز.

*وزنه الجزيئي عالي وغالباً ما يزيد على خمسة ملايين.

*يعطي الكلايكوجين مع محلول اليود لون قهوائي أحمر غامق.

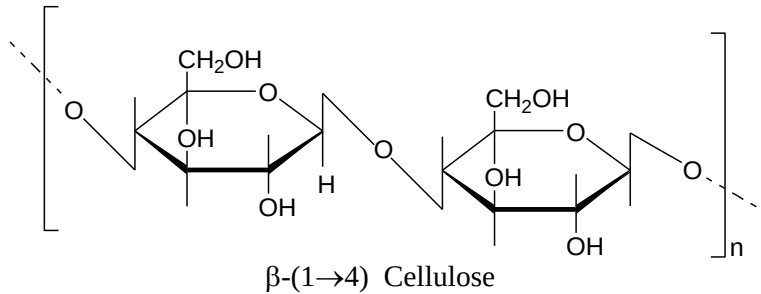
*الأنسجة الحيوانية مثل الكبد والعضلات تحتوي على أنزيم phosphorylase الذي يحول الكلايكوجين إلى glucose-6-phosphate.

ج) السليلوز Cellulose: يُعد السليلوز المادة الأساسية المكونة للنبات، حيث يُشكل على الأقل (50%) من تركيب جدار الخلية النباتية، كذلك تحتوي شعيرات القطن على (90- 98%) سليلوز.

يتألف السليلوز من سلسلة مستقيمة من وحدات الكلوكوز (β -D-glucose) المرتبطة مع بعض بواسطة الأواصر الكلايكوسيدية (β 1 $\rightarrow$ 4)

* يتراوح الوزن الجزيئي من (25000- 50000) أي ما يُعادل (300- 15000) وحدة.
* السليوز ليس له قيمة غذائية للإنسان لأنه لا يتأثر بالعصارات الهضمية، لكنه يعمل على تنشيط حركة الأمعاء ويمنع الإمساك.

* هناك نوع خاص من البكتريا التي تمتلك أنزيم (cellulase) الذي يعمل على كسر الأصرة الكلايكوسيدية (β 1 $\rightarrow$ 4) حيث توجد هذه البكتريا بشكل تعايشي في الجهاز الهضمي للحيوانات الجُترة، وتوجد أيضاً في السوائل الهضمية للحشرات المختلفة والقواقع والفطريات والطحالب. من أهم الأمثلة: العث الذي يعيش على أكل الأخشاب والأثاث والملابس القطنية وكذلك العفن الذي تُصاب به الأخشاب.

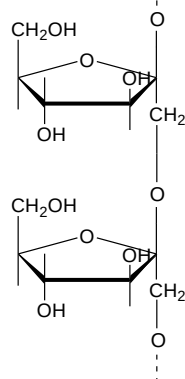


* السليلوز لا يذوب في الماء.

د) الدكسترين Dextrins: توجد مركبات الدكسترين في البذور النامية للحبوب وينتج أيضاً من الجزئي للنشأ والكلايكوجين بفعل الأنزيمات أو الحوامض.
* الدكسترين يشبه اللاكتوز في كونه يساعد على نمو بعض البكتريا النافعة في القناة الهضمية لذلك يستعمل بخلطه مع اللاكتوز كغذاء جيد لصحة الأمعاء.
* تستخدم مركبات الدكسترين كمواد لاصقة.

هـ) الأنولين Inulin: عبارة عن سكر متعدد لوحدات الفركتوز D- fructose (30 وحدة) مرتبطة بأواصر (β 1 $\rightarrow$ 2) ويُطلق عليها أحياناً fructosan وتعتبر خازنة للطاقة.

* يوجد الأنولين في كثير من النباتات خاصة في جذور البنجر وبذور القطن والخرشوف.
* يستخدم طبياً لتحديد سرعة الترشيح في الكلية، حيث أن طرح الأنولين في الإدرار يعود فقط إلى الترشيح الكلوي.

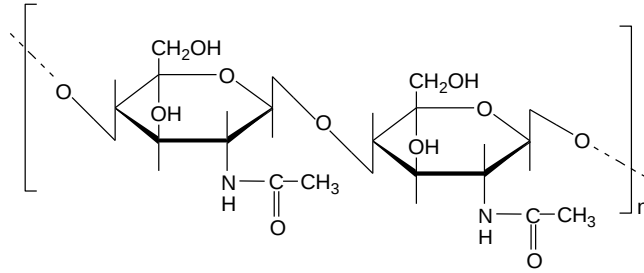


* لا يستعمل كغذاء، حيث إنه لا يهضم ولا يتأثر بأي من أنزيمات الجهاز الهضمي.

(ج) **الكاييتين Chitin**: وهو سكر متعدد لوحدات متكررة من سكر

N-acetyl-D-glucosamine مرتبطة بالأصرة الكلايكوسيدية نوع (4→ β 1)

*تعتبر من المكونات الداخلة في هيكل المفصليات، ويوجد عادة في اللافقرات، حيث يكون الهيكل الخارجي للقواقع والحشرات، ذات القوام الصلب لحماية الحشرة من المؤثرات الخارجية.
*يُعتبر أيضاً من المكونات المهمة لعدسة العين، بطانة الجهاز الهضمي وقنوات التنفس.



Chitin β -(1→4)

(2) السكريات المتعددة غير المتجانسة Heteropolysaccharide:

وهي السكريات المتعددة التي بتحللها المائي تعطي أكثر من نوع واحد من السكريات، من أمثلتها:

(أ) **الصمغ النباتي Vegetable gum**.

(ب) **الهلام النباتي Vegetable mucilage**.

(ج) **أنصاف السليلوز Hemi cellulose**.

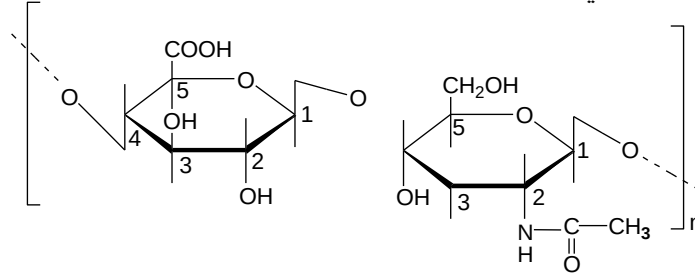
(د) **البكتين Pectin**: اصطلاح البكتين يطلق على المواد التي مع محلول السكر وبحامضية معينة تكون الجلي. فالبكتين يوجد في عصير الحمضيات، التفاح، الجزر، البنجر وكذلك يوجد مع السليلوز في الجدران النباتية على شكل propectin غير ذائب.

* يتألف البكتين من حامض البكتيك (الذي هو methyl- α - D-galactouronic acid) والأرابينوز arabinose والكالكتوز galactose.

(هـ) **متعدد السكريات المخاطية Mucopolysaccharides**: وهي من السكريات المهمة للإنسان والحيوان لأنها تدخل في تكوين الأنسجة الرابطة والسوائل المفصلية والسوائل الزجاجية في العين والمادة ما بين الخلايا والأنسجة وقد تكون مرتبطة مع بعض البروتينات فتسمى بالبروتينات المخاطية mucopolysaccharides ومن أنواعها:

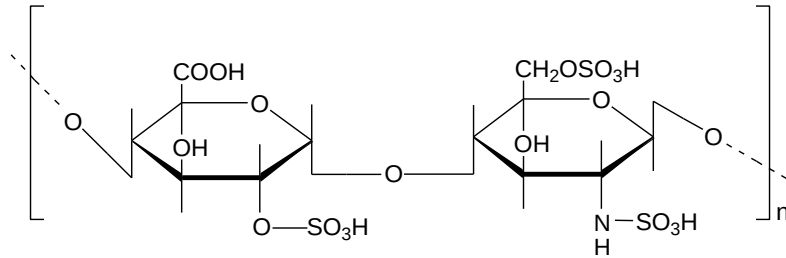
(أ) **حامض هياليورونك Hyaluronic acid**: وهو عبارة عن متعدد السكريات والذي يتكون من وحدتي سكر متكررة هي glucouronic acid المرتبطة مع N-acetyl glucose amine عبر الأصرة (β 1→3) وهو ذا لزوجة عالية بسبب وزنه الجزيئي العالي الذي يُقدر بالملايين.

*يعمل كمادة لاصقة ما بين الخلايا في الأنسجة الرابطة.



β -(1→3)

(2) **الهيبارين Heparin**: وهو متعدد سكر مخاطي حامضي يحتوي على مجاميع الكبريتات ويتألف من وحدات glucouronic acid والحاوي على مجموعة كبريتات عند ذرة الكربون الثانية، ووحدة كلوكوز حاوية على مجموعة كبريتات ومجموعة كبريتات مرتبطة بالأمين. يوجد في معظم الخلايا ويعمل كمادة مضادة لتخثر الدم.



Glucouronic acid-2-sulphate

glucoseamine-6-sulphate-2-N-sulphate

Heparin (α 1→4)

(3) **كبريتات كوندرويتين Chondroitin Sulphate**: يوجد في الغضاريف والأنسجة الرابطة.

(4) **حامض السيالك Sialic acid**: يوجد في مجاميع الدم.