فصل ٣

الكربوهيدرات

Carbohydrates

الكربوهيدرات، التى تشمل السكريات الأحادية وسكريات الاليجو وعديدات السُكّر تُشكّل الجزء الاكبر من المادة العضوية المنتشرة فى المحيط الحيوى biosphere. ففى خلايا البناء الضوئى يتحول ثانى اكسيد الكربون والماء باستخدام طاقة أشعة الشمس إلى مواد كربوهيدراتية مختلفة، والتى يتكون منها أو من نواتج أيضها المركبات الخلوية الأخرى. وعلى ذلك فان الكربوهيدرات تُمثّل نقطة تحول الكربون غير العضوى إلى الكربون العضوى مع تحول الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية مخزنه فى الروابط التساهمية للمواد الكربوهيدراتية والمركبات الخلوية الأخرى.

النشا والمواد الكربوهيدراتية الأخرى التى تُصنّع فى عملية البناء الضوئى تصبح المصدر الوحيد للطاقة والكربون للخلايا التى لا تقوم بعملية البناء الضوئى فى الحيوانات والنباتات والكائنات الدقيقة. وللكربوهيدرات وظائف بيولوجية أخرى مهمة، فالنشا والجلايكوجين تستخدم كمخزن مؤقّت للجلوكوز، بعض عديدات السُكّر غير الذائبة تستخدم كعناصر

المحيط (الغلاف) الحيوى Biosphere يتضمن المحيط الحيوى المناطق من الأرض والغلاف الجوى المحيط بها التى تعيش فيها الكائنات الحية.

بنائية ودعامية فى جدر خلايا البكتريا والنباتات وفى الانسجة الضامة وفى أغلفة الخلايا الحيوانية.

توجد ثلاثة أقسام رئيسية للكربوهيدرات

تُعرَّف الكربوهيدرات بأنها الدهيدات أو كيتونات عديده الهيدروكسيل أو المواد التى ينتج عن تميؤها أحد هذه المركبات. ومعظم المواد الكربوهيدراتية لها الصيغة الجزيئية $(CH_2O)_n$ ، وهذه الصيغة الجزيئية قد شاركت فى بادئ الأمر فى الاعتقاد بأن هذه المجموعة من المركبات هى مائيات الكربون hydrates of carbon والتى اشتق منها اسم كربوهيدرات Carbohydrates . وبالرغم من أن كثيراً من الكربوهيدرات الشائعة لها هذه الصيغة الجزيئية $(CH_2O)_n$ فإن البعض لا ينطبق عليه هذه الصيغة، بالإضافة إلى ذلك فإن البعض الآخر يحتوى على ذرات نتروجين أو فوسفور أو كبريت.

توجد ثلاثة أقسام رئيسية للكربوهيدرات وهى السكريات الأحادية monosaccharides وسكريات الاليجو oligosaccharides وعديدات السكر polysaccharides.

Saccharide : كلمة لاتينية تعنى سكر Sugar
Oligo : كلمة لاتنية تعنى عدد قليل

والسكريات الأحادية أو السكريات البسيطة simple sugars تتكون من وحدة فردية من الالدهيد أو الكيتون عديد الهيدروكسيل والتى لا تنحل مائيا إلى وحدات أصغر تحت ظروف معتدله. واكثر السكريات الأحادية انتشاراً فى الطبيعة هو السكر سداسى الكربون D ـ جلوكوز D - glucose.

سكريات الاليجو تتكون من عدد قليل من السكريات الأحادية التى ترتبط مع بعضها بواسطة الروابط التساهمية. وقد تتكون سكريات الأليجو من وحدتين، أو ثلاثة، أو ...،

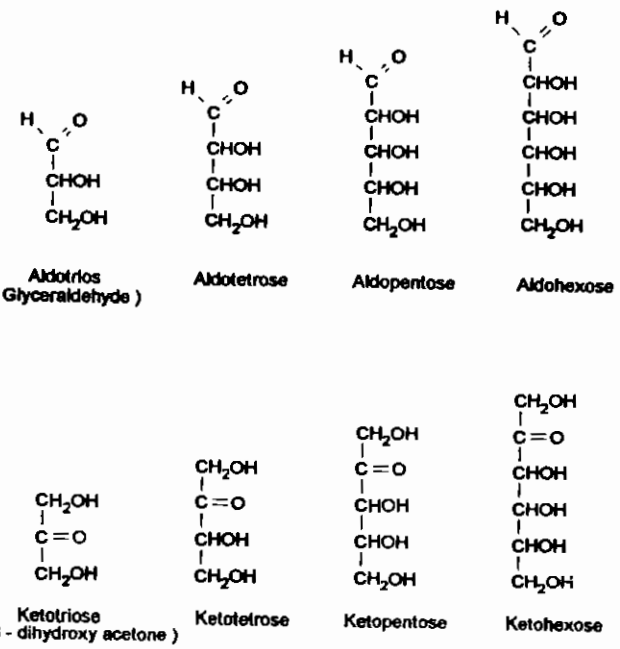
أو عشر وحدات من السكر الأحادى. واكثر هذه السكريات انتشاراً فى الأنظمة الحية هى السكريات الثنائية disaccharides التى تحتوى على وحدتين من السكريات الأحادية، ومنها سكروز sucrose أو سكر القصب الذى يتألف من إرتباط السكر الأحادى D- جلوكوز والسكر الأحادى D- فركتوز برابطة تساهمية. ومعظم سكريات الأليجو التى تحتوى علىَ ثلاثة وحدات أو اكثر من السكريات الأحادية لا توجد حرة ولكنها توجد مرتبطة كسلسلة جانبية فى الجلايكوبروتينات glycoproteins .

عديدات السكر هى جزيئات ذات سلاسل كربونية طويلة تحتوى على مئات أو آلاف من وحدات السكر الأحادى التى ترتبط مع بعضها أيضا بروابط تساهمية. وبعض عديدات السُّكَّرى مثل السليلوز cellulose عبارة عن سلسلة خطية، والبعض الأخر مثل الجلايكوجين glycogen عبارة عن سلسلة متفرعة.

يوجد صنفان من السكريات الأحادية: سكريات الدهيدية (الدوزات) وسكريات كيتونية (كيتوزات)

كما سبق ذكره فإن السكريات الأحادية الشائعة لها الصيغة الجزيئية $(CH_2O)_n$ حيث n تساوى ثلاثة أو اكثر. وعند فحص البناء الكيميائى لها سنجد أن المجموعات الفعّالة التى تميزها هى مجموعات الهيدروكسيل ومجموعات الكربونيل. ويحتوى السكر الأحادى على مجموعة كربونيل واحدة وتحمل كل ذرة كربون من الذرات الباقية مجموعة هيدروكسيل. وتقسم السكريات الأحادية بناءاً على عدد ذرات الكربون فى جزئ السكر، ويشتق الاسم العام للسكر بذكر المقطع اللاتينى الدال على عدد ذرات الكربون فى الجزئ (تراى tri، تترا tetr، بنت pent، هكس hex، وهكذا) ويضاف له فى النهاية مقطع وز (ose)، فيقال ترايوز triose للسكر الذى يحتوى على ثلاثة ذرات كربون، وتتروز tetrose للسكر الذى يحتوى على أربع ذرات كربون وهكذا. كذلك يضاف المقطع الدو Aldo أو كيتو Keto قبل الاسم عندما تكون مجموعة الكربونيل فى السكر الدهيد اوكيتون على التوالى. مثال ذلك الدوترايوز تطلق على السكر الالدهيدى الذى

يحتوى على ٣ ذرات كربون، والدوهكسوز تطلق على السكر الالدهيدى الذى يحتوى على ٦ ذرات كربون، أما السكريات الكيتونية التى تحتوى على ٣ أو ٦ ذرات كربون يطلق عليها كيتوترايوز وكيتوهكسوز على التوالى شكل (٣ ـ ١).



شكل ٣ ـ ١

التسمية العامة للسكريات الأحادية حسب عدد ذرات الكربون ونوع مجموعة الكربونيل الموجودة فى الجزئ

وأبسط السكريات الأحادية هى الجليسرالدهيد (سكر ثلاثى الدهيدى) و ١، ٣ ـ ثنائى هيدروكسى أسيتون (سكر ثلاثى كيتونى)، وهى قليلة الإنتشار فى الطبيعة. من ناحية أخرى فإن السكريات سداسية الكربون هى اكثر السكريات الأحادية انتشاراً فى الطبيعة.

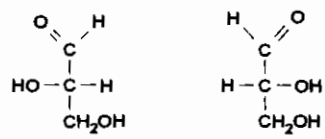
السكريات الأحادية الشائعة تحتوى على عدة ذرات كربون غير متماثلة

السكريات الالدهيدية التى تحتوى على ثلاثة ذرات كربون أو اكثر، والسكريات الكيتونية

التى تحتوى على أربع ذرات كربون أو اكثر تحتوى على ذرات كربون كيرالية Chiral (أو غير متماثلة asymmetric) ، لذلك فانها توجد فى صورة متشكّلات isomers نشطة ضوئيا. وتسميه السكريات الأحادية يعتمد بذلك على التوزيع الفراغى للمجموعات الكيميائية حول كل مركز كيرالى chiral center.

> كيراليه Chiral : صفة للكلمة اللاتينية Cheir والتى تعنى اليد. فالمتشكّلان الناتجان عن مركز كيرالى تكون العلاقة الفراغية بينهما مثل علاقة اليد اليمنى باليد اليسرى.

أبسط السكريات الأحادية وهو الجليسر الدهيد يحتوى فقط على مركز كيرالى واحد (وهى ذره الكربون رقم ٢) وبالتالى فإن له متشكّلين فراغيين مختلفين أحدهما صوره فى المرآة للآخر (شكل ٣ ـ ٢)، ويختلف هذان المتشكّلان فى تأثيرهما على الضوء



L (-) Glyceraldehyde D (+) Glyceraldehyde

شكل ٣ ـ ٢

المتشكلات الفراغية للجليسرالدهيد الذى يحتوى على مركز كيرالى واحد هو ذرة الكربون رقم ٢.

المستقطب فى مستو. فالمتشكّل الذى يدير مستوى الضوء فى إتجاه اليمين (إتجاه حركة عقرب الساعة) يأخذ الإشارة (+) ويطلق عليه متشكّل يمينى dextrorotatory ، أما المتشكّل الآخر فيدير مستوى الضوء بنفس المقدار ولكن فى إتجاه اليسار (مضاد لإتجاه حركة عقرب الساعة) ولذلك يأخذ الإشارة (−) ويطلق عليه متشكّل يسارى levorot-atory . ولقد دلت نتائج دراسة التشكيل الفراغى المطلق على أن مجموعة OH على الذرة الكيرالية توجد على اليمين فى المتشكّل اليمينى ولذلك يرمز له بالحرف D ، أما المتشكّل اليسارى فيحتوى على مجموعة OH على اليسار ولذلك يرمز له بالحرف L.

وعليه فإن هذين المتشكّلين يسميان كالآتى D-(+)جليسرالدهيدو L-(−)جليسرالدهيد. وعندما يكون أحد المتشكّلان صوره للمرآه للآخر مثل D- و L - جليسرالدهيد فإن المتشكّلان يكونا من نوع انانتيومرز enantiomers واللذان يختلفان فقط فى التأثير على الضوء المستقطب فى مستو، ولكن لهما نفس الخواص الكيميائية والطبيعية الأخرى.

ويجب الإشارة إلى أن وجود مجموعة الهيدروكسيل على اليمين (D) أو اليسار (L) ليس له إرتباط بنوع الدوران الضوئى ما إذا كان دوران فى إتجاه عقرب الساعة (+) أو فى إتجاه مضاد لعقرب الساعة (−)، فالنشاط الضوئى خاصية مميزة تعكس تركيب الجزئ ككل.

يتم التعبير عن النشاط الضوئى للمتشكلات الفراغية كمياً بواسطة الدوران النوعى Specific rotatuion [α] والذى يتم تحديده من قياس درجة دوران مستوى الضوء المستقطب لمحلول من المتشكل النقى عند تركيز معين فى جهاز المقطاب Polarimeter:

$$[\alpha]_D^{25^\circ c} = \frac{\text{الدوران المشاهد (بالدرجة)}}{\text{طول الانبوبة (بالديسمتر)} \times \text{التركيز (جرام/ مل)}}$$

ويشير الحرف D إلى استخدام الخط الطيفى D للصوديوم الذى له طول موجى ٥٨٩ نانوميتر.

وبزيادة طول السلسلة الكربونية فى السكريات الأحادية يزداد عدد المراكز الكيرالية وتزداد بذلك عدد المتشكلات الفراغية والتى يمكن حساب عددها من العلاقة التالية:

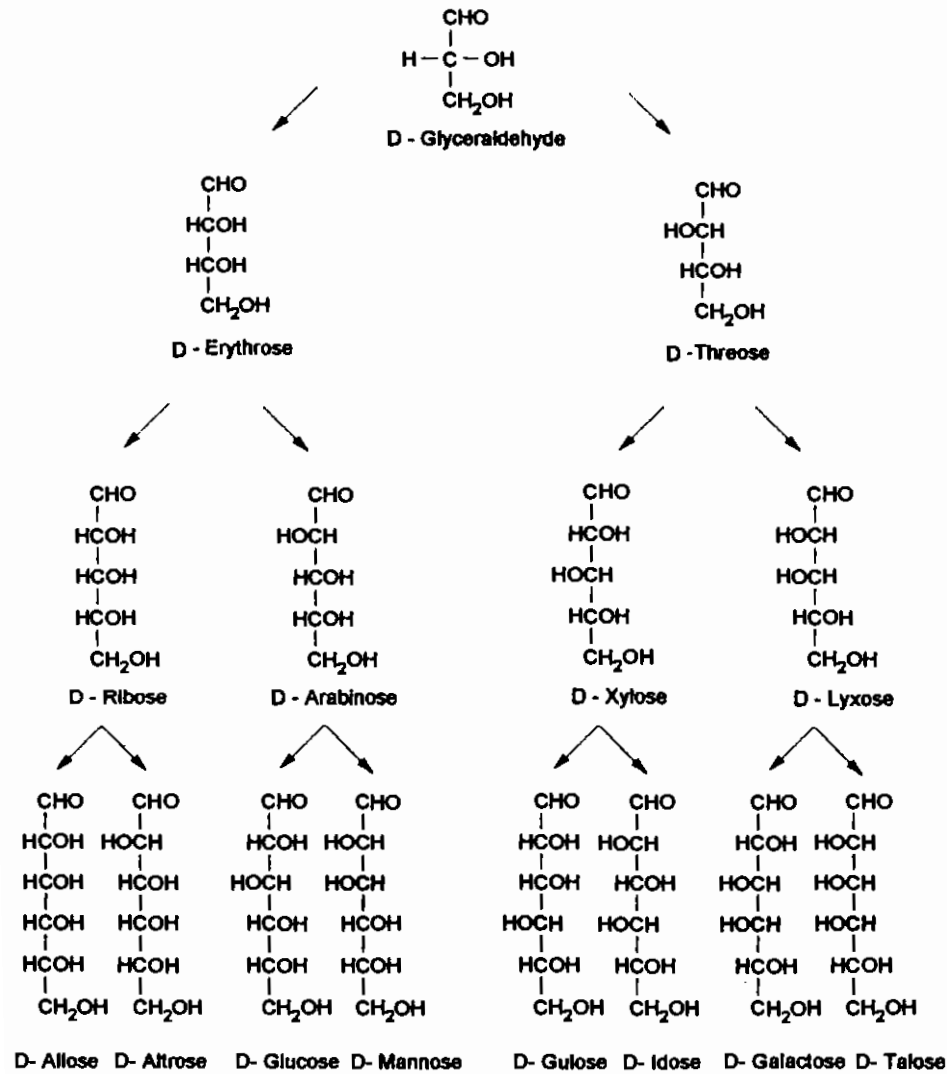
$$\text{عدد المتشكّلات الضوئية} = 2^n .$$

حيث تشير n إلى عدد ذرات الكربون الكيرالية. فالسكر الالدهيدى سداسى الكربون (الدوهكسوز) يحتوى على أربع مراكز كيرالية وبالتالى فله 2^4 = ١٦ تشكيل فراغى. ونصف هذا العدد يكون التشكيل الفراغى حول ذرة الكربون الكيراليه ذات أعلى رقم (أبعد ذره كربون كيراليه عن مجموعة الكربونيل) فى كل منها مثل التشكيل الفراغى حول الذره الكيراليه لجزئ D ـ(+)جليسرالدهيد، وتعرف هذه المجموعة من المتشكلات باسم مجموعة D . أما فى النصف الآخر من المتشكلات يكون التشيكل حول ذره

الكربون الكيرالية ذات أعلى رقم مثل التشكيل الفراغى لجزئى L- (ـ) ـ جليسرالدهيد وتعرف باسم مجموعة L . والسكر D هو صوره للمرآه للسكر L ويكون لهما نفس قيمة الدوران الضوئى لكن أحدهما يكون يمينى (+) والآخر يسارى (−). والشكل (٣ ـ ٣) يوضح مجموعة D- الدوترايوزات و D-الدوتتروزات و D-الدوبنتوزات و D-الدوهكسوزات. معظم السكريات المنتشرة فى الطبيعة هى سكريات من النوع D، واكثرها انتشاراً فى الكائنات الحية هى D- ريبوز و D- جلوكوز و D- مانوز و D- جالاكتوز.

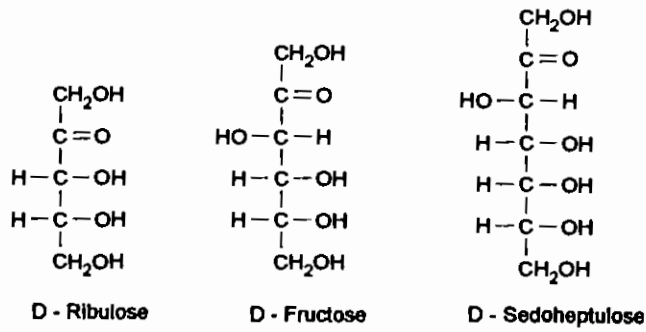
بنفس الطريقة يمكن كتابة البناء الفراغى للسكريات الكيتونية D ، وهذه السكريات لها أيضا نفس التشكيل الفراغى حول أبعد ذره كربون كيراليه عن مجموعة الكربونيل. تسمى السكريات الكيتونية بادخال المقطع يل (ul) فى اسم السكر الالدهيدى المقابل. مثال ذلك D-ريبيلوز D -ribulose هو السكر الكيتونى الخماسى الكربون المقابل للسكر الالدهيدى الخماسى D-ريبوز D -ribose، بالرغم من ذلك فان بعض السكريات الكيتونية لها أسماء عادية مثل السكر سداسى الكربون فركتوز. والسكريات الكيتونية ذات الأهمية البيولوجية تشمل السكر الكيتونى الخماسى D- ريبيلوز، والسكر السداسى الكربون D- فركتوز، والسكر الكيتونى سباعى الكربون D-هبتيلوز (شكل ٣ـ٤).

ولتحديد أنواع التشكُّل isomerism المختلفة فى السكريات دعنا نأخذ السكريات الأحادية الأربعة المدونه فى شكل (٣ ـ ٥) لتوضيح ذلك. جميع السكريات الأربعة هى سكريات D لأن لها نفس التوزيع الفراغى مثل D- جليسرالدهيد. D-فركتوز يعتبر متشكِّل تركيبى structural isomer للثلاثة سكريات الأخرى، فبالرغم من أن له نفس الصيغة الجزيئية ($C_6H_{12}O_6$) فإنه يحتوى على مجموعة كيتون بدلا من مجموعة الالدهيد التى توجد فى السكريات الثلاثة الأخرى. الثلاثة سكريات الالدهيدية هى مشابهات فراغية واكثر تحديداً مشابهات ضوئية optical isomers ، ونظر لأن لا أحد من هذه السكريات يكون enantiomer (صوره فى المرآه) لأى من السكريان الاثنين الآخران فإن نوع التشكُّل بينهما يكون من نوع diastereomers. وبذلك فإن هذه السكريات الثلاثة تختلف فى نقطة الغليان ونقطة التجمد وفى الذوبانية وفى الدوران النوعى كما تختلف فى خواصها الكيميائية.



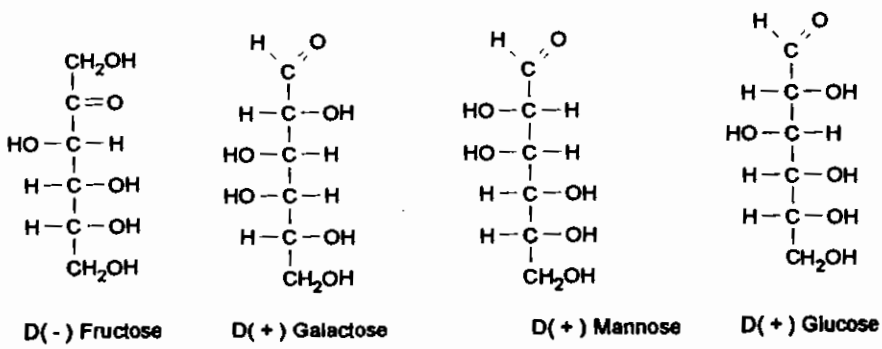
شكل ٣ ـ ٣

السكريات D-الالدهيديه (D- Aldoses)



شكل ٣ ـ ٤

السكريات الكيتونية المهمه بيولوجيا



شكل ٣ ـ ٥

تركيب أربعة من السكريات الأحادية لتوضيح أنواع التشكُل فيها.

D (+) جلوكوز يعتبر متشكل ابيمارى epimer لـ D (+) مانوز وذلك لانهما يختلفان فى التوزيع الفراغى حول ذره كربون واحدة (ذره الكربون الثانية).

السكريات الأحادية خماسية وسداسية الكربون توجد فى صورة حلقية

حتى هذه المرحلة قمنا بالتعبير عن تركيب السكريات الأحادية الالدهيدية والكيتونية فى

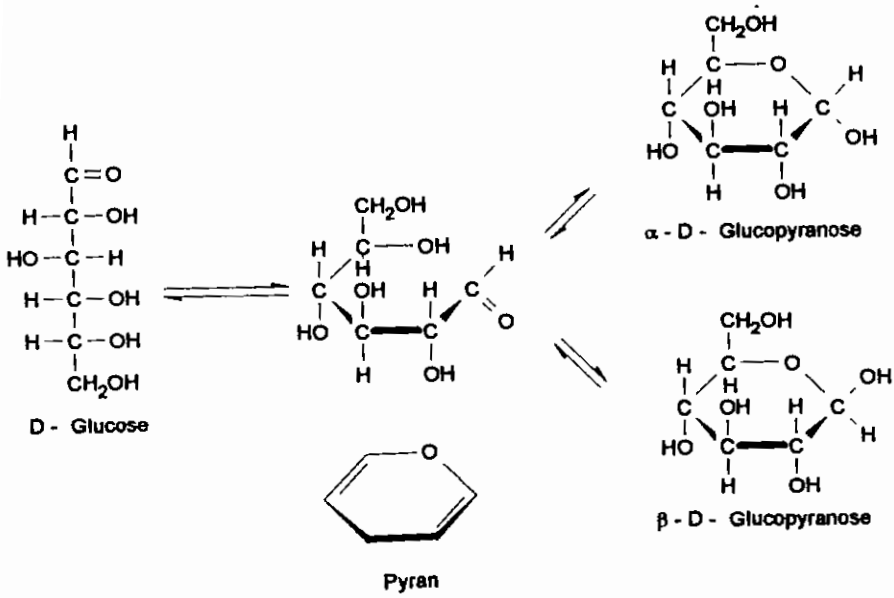
صورة سلاسل مفتوحة. بالرغم من أن مثل هذه الصيغ البنائية تعتبر صحيحه للسكريات ثلاثية ورباعية الكربون، فإن هناك بعض الدلائل التى تشير إلى أن السكريات الأحادية التى تحتوى على خمس ذرات أو ست ذرات كربون توجد فى صورة هيمى أسيتال حلقية والتى لا تحتوى على مجموعة كربونيل حره ولكنها توجد فى حالة إرتباط تساهمى مع أحد مجموعات الهيدروكسيل فى السلسلة. دعنا نأخذ D- جلوكوز نموذج لذلك:

(١) إذا كان جزئ الجلوكوز يحتوى على مجموعة الدهيد حره فإننا نتوقع أن يدخل فى تفاعلات الألدهيدات المعروفه. واذا كان ذلك صحيحا إلى حد ما فهو يتأكسد بمحلول بندكت أو محلول فهلنج، إلا أن تفاعله مع الميثانول وغاز كلوريد الهيدروجين يؤدى إلى إدخال مجموعة ($-OCH_3$) واحده فى حين أن الألدهيدات العادية ترتبط بمجموعتى ($-OCH_3$) وتتحول إلى أسيتال acetal .

(٢) هناك فى الواقع صورتان من D- (+) جلوكوز نحصل عليهما بالتبلور فى مذيبات مختلفه، ويعرفان بالاسماء α-(D)-جلوكوز و β-(D)جلوكوز قيمتا الدوران النوعى لهما +١١٢,٢° و+١٨,٧° على التوالى. واذا اذيب أى من هاتين الصورتين فى الماء وتتبعنا دوران المحلول نجده يتغير باستمرار إلى أن يصل إلى قيمة ثابتة هى +٥٢,٧°، وظاهره التغير هذه توصف بالدوران الذاتى mutarotation.

ولتفسير هذه المشاهدات أُقترح تركيب هيمى أسيتال hemiacetal حلقى للجلوكوز الذى ينشأ بتفاعل داخلى بين كربون الالدهيد واكسجين الهيدروكسيل على ذره الكربون الخامسة الذى ينتج حلقة سداسية غير متجانسة (شكل ٣ ـ ٦). ومن هنا ندرك أن التفاعل مع الميثانول لا يعدو إلاً أن يكون استكمال تحول هيمى أسيتال إلى اسيتال. واذا كان معظم الجلوكوز موجوداً فى صوره هيمى أسيتال إلاً أنه فى حالة إتزان مع نسبه صغيره من الصوره الالدهيديه المفتوحة، وهذا يفسر تأكسده وسائر تفاعلاته الأخرى التى يجارى فيها الالدهيدات. فعند تفاعل بعض جزيئات البناء المفتوح يتكون بدلا منها نتيجة تحول البناء الحلقى إلى البناء المفتوح ويستمر ذلك إلى أن يستنفذ كل الجلوكوز فى التفاعل.

تحوُّل البناء المفتوح إلى البناء الحلقى يؤدى إلى تكوين ذره كربون كيراليه جديدة هى ذره الكربون الأولى ولذلك ينتج متشكّلان من نوع دياستريومر diastereomers، فى أحدهما تكون مجموعة الهيدروكسيل على ذره الكربون الأولى استوائية equatorial (فى مستوى الحلقة) ويعرف هذا الدياستريومر باسم β-D- جلوكوز، وفى الثانى تكون مجموعة الهيدروكسيل محورية axial (عموديه على مستوى الحلقة) ويعرف هذا المتشكّل باسم α-D-جلوكوز، ولكنهما لا يتكونان بتركيز متساوى لأن أحدهما اكثر ثباتا من الآخر.



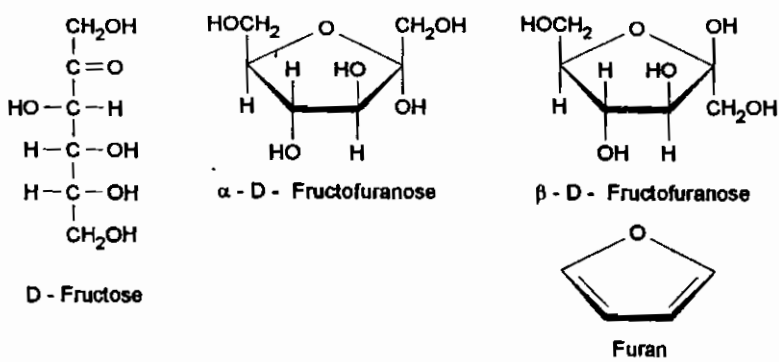
شكل ٣ ـ ٦

تكوين صوره هيمى اسيتال الحلقية للجلوكوز نتيجة للتفاعل الداخلى بين كربون الالدهيد واكسجين الهيدروكسيل على C_5

مثل هذان الدياستريومران الذى ينحصر اختلافهما فى الوضع الفراغى حول ذره كربون هيمى أسيتال (C_1) يدعيا متشكّلات أنوماريه anomers، كما توصف ذره

الكربون هذه بالذره الانوماريه anomeric atom . واذا كان هيمى اسيتال تم بتكوين حلقة سداسية غير متجانسة فإن ذلك يظهر فى اسم الجلوكوز وذلك باستعارة لفظ يستند إلى اسم المركب سداسى الحلقة بيران Pyran وهو بيرانوز pyranose الذى يوضع بعد اسم السكر. مثال ذلك الجلوكوز الذى يوجد فى صوره حلقة سداسية يسمى جلوكو ـ بيرانوز glucopyranose ، والسكريات الالدهيديه السداسية توجد أيضا فى صوره حلقية خماسية، ونظرا لأن الصوره الحلقية الخماسية مشابهه للمركب فيوران Furan فتدعى السكريات فيورانوز Furanose. ومع ذلك فان السكريات الألدهيديه السداسيه فى الصوره الحلقية السداسيه أثبت بكثير عن الصوره الحلقية الخماسية ولذلك تكون سائدة فى محاليل السكريات الالدهيديه السداسيه. السكريات الالدهيديه خماسية الكربون من ناحية أخرى توجد فى صوره حلقة خماسيه مثال ذلك ريبوفيورانوز.

السكريات الكيتونيه سداسيه الكربون توجد أيضا فى الصوره الأنوماريه α و β. وفى هذه المركبات فإن مجموعة الهيدروكسيل على ذره الكربون الخامسة تتفاعل مع مجموعة الكربونيل على ذره الكربون الثانية مكونه حلقة فيورانوز تحتوى على رابطة هيمى أسيتال، فمثلا D- فركتوز يوجد له أنومران حلقيان هما D-α- فركتوفيورانوز و - D-β فركتوفيورانوز (شكل ٣ ـ ٧).



شكل ٣ ـ ٧

الصورة الحلقية الخماسية للفركتوز

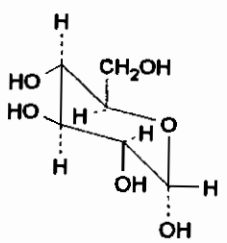
صيغة هاورث Haworth Formula

فى صيغة هاورْث يتم التعبير عن السكريات فى الصورة الحلقية البيرانية والفيورانية بحلقه سداسيه وخماسيه الزاويا على التوالى وتكون الذرات المكونه للحلقة السداسيه أو الخماسيه فى مستوى عمودى على مستوى الورقه أما المجموعات الكيميائية المرتبطة بهذه الذرات فتكون فى مستوى الورقه.

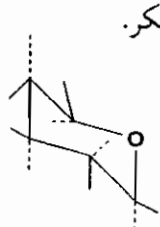
الهيئة الفراغية للسكريات الأحادية تأخذ صورة الكرسى أو القارب

بالرغم من ان صيغه هاورْث تستخدم عاده لتوضيح الصوره الحلقية للسكريات الأحادية (أشكال ٣ ـ ٦ و ٣ ـ٧) إلا أنها تشير إلى أن الجزئ مستوى. لكن الحقيقة أن الجزئ الحلقى ينثنى بشكل ما لتخفيف الإجهاد الزاوى torsional strain (أى إرتفاع طاقة الجزئ بسبب الحيود عن الزاوية الهرمية الرباعية) والاعاقه التجسُّميَّه steric hin-drance الناجم عن وجود ذرات الهيدروجين والأكسجين فى أوضاع منكسفه eclipsed . لذلك فإن الجزئ يتخذ هيئة تكون فيها الذرات على ذرات الكربون المتجاورة فى أوضاع متبادلة staggered ، كما أن جميع الزوايا تكون هرميه رباعيه.

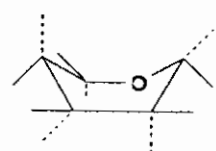
ومعظم السكريات فى الصورة الحلقية السداسية توجد فى هيئة الكرسى chair form ، ولكن البعض قد يوجد فى هيئة القارب boat form وهذه الصور تعبر عن صيغ الهيئة conformation form (شكل ٣ ـ ٨) والتى تعتبر ذات أهميه فى تحديد الخواص البيولوجية والوظيفية لبعض عديدات السكر.



α-D-جلوكوبيرانوز



هيئة الكرسى



هيئة القارب

شكل ٣ ـ ٨

صيغ الهيئة: الكرسى والقارب، و α-D-جلوكوبيرانوز فى هيئة الكرسى

السكريات الأحادية لها خواص إختزاليه

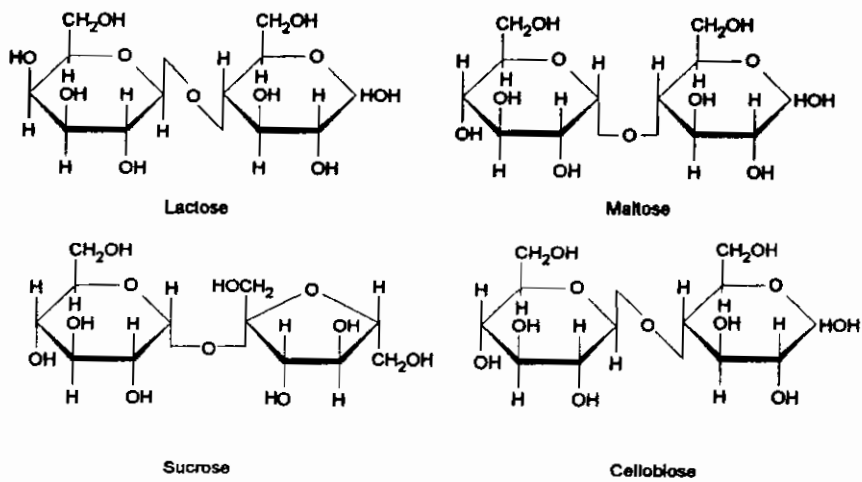
رغم أن السكريات الأحادية توجد فى صوره هيمى أسيتال حلقى، إلا أن هناك دائما تركيزاً قليلا من البناء المفتوح الذى يوجد فى حالة إتزان مع البناء الحلقى، لذلك تتأكسد مجموعة الألدهيد الحره بالعوامل المؤكسده المعتدله مثل سيانيد الحديديك وأيون النحاسيك ويمد الإتزان النظام بصوره البناء المفتوح كلما تأكسد جزء منه. وفى مثل هذه التفاعلات فإن العامل المؤكسد يختزل بواسطة السكريات الأحادية التى تعتبر فى هذه الحالة عوامل أو سكريات مختزلة. هذه الخاصية ذات فائدة فى التحليل الكمى للسكريات الأحاديه، فبتقدير كمية العامل المؤكسد التى أُختزلت بواسطة محلول من السكر فإنه يمكن حساب كميه السكر. وبهذه الطريقة فإنه يمكن تحليل الانظمة الحية لمحتواها من السكريات المختزله بعد إستخلاصها من هذه الأنظمة. فتقدير سكر الجلوكوز فى الدم والبول هو أحد الوسائل المهمة فى الكشف عن مرض السكر.

المالتوز والسكروز واللاكتوز هى السكريات الثنائية الشائعة

تتألف السكريات الثنائية من وحدتين لسكر أحادى واللذان يرتبطان ببعضها بواسطه إرتباط تساهمى. وفى معظم السكريات الثنائية فإن الرابطة الكيميائية التى تربط وحدتى السكر الأحادى تسمى الرابطة الجلايكوسيدبه glycosidic bond التى تتكون بتفاعل مجموعه هيدروكسيل فى سكر مع مجموعة الهيدروكسيل على ذره الكربون الأنومارية فى السكر الآخر. وتتميأ الروابط الجلايكوسيديه بسهوله بواسطة الأحماض ولكنها تقاوم التفكك بالقواعد، لذلك فإنه يمكن تفكيك السكريات الثنائية إلى عناصرها من السكريات الأحادية بالغليان مع الأحماض المخففه.

وتنتشر السكريات الثنائية فى الطبيعة، وأكثرها سيوعاً سكروز succrose ولاكتوز lac-tose ومالتوز maltose . والمالتوز هو أبسط السكريات الثنائية ويحتوى على وحدتين من D-جلوكوز يرتبطان ببعضهما بواسطة الارتباط الجلايكوسيدى بين ذره الكربون الانومارية (C_1) فى أحد الوحدتين وذره الكربون الرابعة (C_4) فى وحدة الجلوكوز الأخرى

(شكل ٣ ـ ٩). ويطلق على هذا الارتباط بالارتباط الجلايكوسيدى α (١←٤) وذلك لان ذره الكربون الأولى (C_1) الداخله فى الارتباط الجلايكوسيدى توجد فى الهيئة الفراغية α (الفا) أما ذره الكربون الأولى فى السكر الآخر والتى لا تدخل فى الارتباط يمكن ان توجد فى الصورة α (الفا) أو β (بيتا). والمالتوزسكر مختزل لانه يحتوى على مجموعة هيمى أسيتال حره توجد فى حالة إتزان مع البناء المفتوح. ينتج سكرمالتوز من انحلال النشا بواسطة انزيمات أمايلاز amylase ، أما المالتوز ذاته فيمكن أن يتحلل مائيا بواسطة انزيم مالتاز maltase إلى وحدتين من D - جلوكوز.



شكل ٣ ـ ٩
السكريات الثنائية الشائعة

السيلُوبيوز cellobiose سكر ثنائى يحتوى أيضا على وحدتين من D- جلوكوز ولكن يختلف عن المالتوز فى احتوائه على الارتباط الجلايكوسيدى β (١ ← ٤)، ويتحصل على سيلُوبيوز من تفكك السليلوز بواسطة انزيم السليولاز cellulase.

السكر الثنائى لاكتوز الذى يتألف من D -جلوكوز و D- جالاكتوز يوجد فقط فى لبن الثدييات وفى بعض الفطريات ويحتوى على الارتباط الجلايكوسيدى β (١ ← ٤)، ونظرا لأنه يحتوى على مجموعه هيمى أسيتال فى وحده الجلوكوز فإنه يُظهر سلوكا

مختزلا ودورانا ذاتياً. ويتميأ لاكتوز إنزيميا بواسطة لاكتاز lactase فى الخلايا المخاطية المعوية، وهذا الانزيم يكون نشط جداً فى الاطفال الرضع ويقل نشاطه بعد ذلك فى كثير من المجموعات البشريه، ولذلك فإن الأشخاص فى هذه المجموعات تبدى حساسية تجاه اللاكتوز lactose intolerance وذلك لعدم انحلاله وامتصاصه ومن ثم تراكمه فى الأمعاء الدقيقة.

السكروز سكر ثنائى يتألف من α- D- جلوكوز و β-D-فركتوز مرتبطان بالارتباط الجلايكوسيدى α (١ ← ٢)، ولذلك فإن سكروز سكر غير مختزل ولا يبدى ظاهره الدورانى الذاتى وذلك لدخول ذرتى الكربون الانوماريتين فى وحدتى السكر الأحادى فى الارتباط الجلايكوسيدى. يتحصل على السكروز تجاريا من قصب السكر أو البنجر، وفى معظم النباتات يمثل السكروز الصوره الأساسية لنقل الطاقة والكربون من خلايا البناء الضوئى إلى الخلايا التى لا تقوم بعملية البناء الضوئى. واختيار السكروز بدلا من الجلوكوز وهو الناتج الأول لعملية البناء الضوئى قد يرجع إلى الرابطة α (١ ← ٢) التى لا تتأثر بانزيمات الأكسدة والتميؤ اثناء عملية النقل حتى يصل إلى موضع تمثيله.

يتميأ السكروز إلى D-جلوكوز و D-فركتوز بواسطة إنزيم سكريز succrase (يُدعى أيضا انفرتيز invertase) الذى يوجد فى الخلايا المبطنه للأمعاء الدقيقة وفى النباتات.

عديدات السكر تحتوى على عدد كبير من السكريات الأحادية وتقوم إما بوظائف بنائية أو تمثل صورة مخزنة للطاقة

معظم الكربوهيدرات المنتشرة فى الطبيعة توجد فى صوره عديدات السكر وهى جزيئات ذات وزن جزيئى كبير تتكون من إرتباط عدد كبير من السكريات الأحادية، فهى مبلمرات للسكريات الأحادية. وبالتميؤ الكامل بواسطة الأحماض أو بإنزيمات متخصصة فإن عديدات السكر تنتج سكريات أحادية أو مشتقاتها.

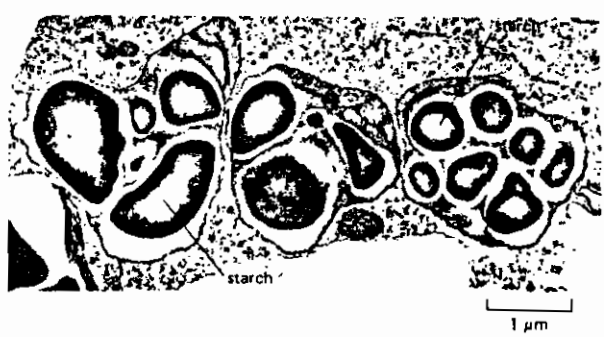
تختلف عديدات السكر فى طبيعة وحدات السكر الأحادى المتكرره ونوع الرابطه وطول السلسله ودرجة التفرع. ويوجد نوعان من عديدات السكر: عديدات السكر

المتجانسة والتى تحتوى فقط على نوع واحد من الوحدات البنائية، وعديدات السكر غير المتجانسة والتى تحتوى على نوعين أو اكثر من الوحدات البنائية. وعديدات السكر بصوره عامه ليس لها وزن جزيئى محدد كما فى البروتين، ولكنها تحتوى عاده على مخلوط من جزيئات تختلف فى وزنها الجزيئى .لذلك يعبر عن وزنها الجزيئى بمتوسط الوزن الجزيئى.

عديدات السكر إما تُمثل صوره مخزنه للطاقة مثل النشا فى النباتات والجلايكوجين فى الحيوانات والفطريات، أو تقوم بوظيفة تركيبية فى البناء المادى لجدر الخلايا والأنسجة الضامة مثل السليلوز فى جدر الخلايا النباتية وحمض الهيالورونيك hyaluronic فى الأنسجةالضامة.

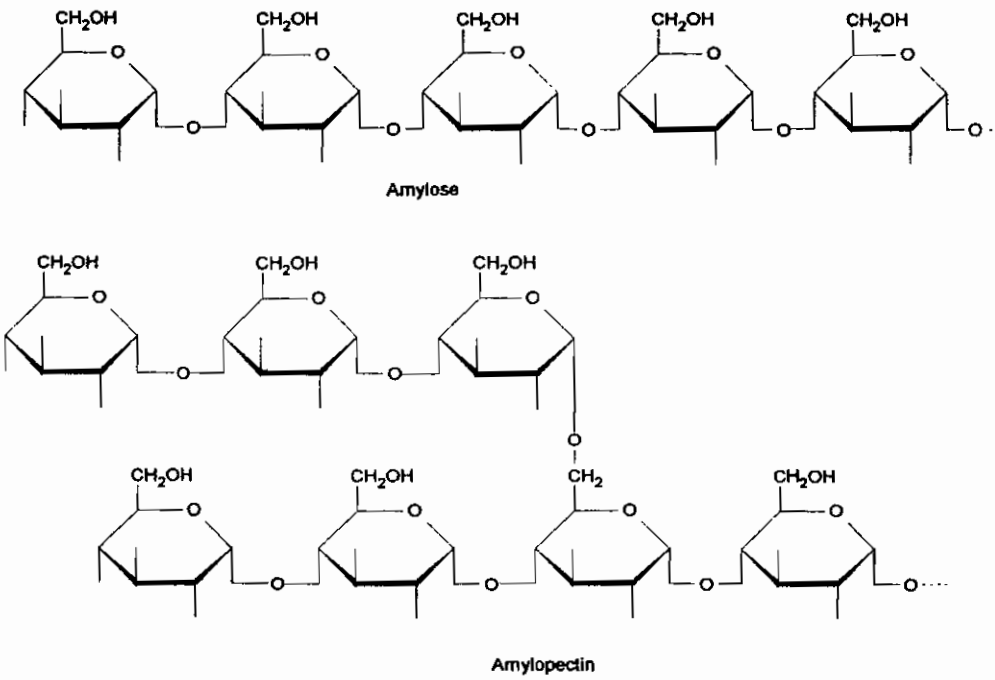
النشا هى عديد السكر التى تخزن فى النباتات

تعتبر النشا starch اكثر عديدات السكر المخزنة أهميه فى الطبيعة فهى تُمثل المخزون الغذائى للنباتات، ولكنها فى هذه الصوره تُمثل أيضا أحد عناصر التغذيه الرئيسية للحيوانات.ورغم أن النشا تنتشر أساساً فى الدرنات مثل البطاطس وفى البذور خاصه الأذره والقمح، فإن معظم خلايا النباتات لها القدره على بناء النشا. توجد النشا فى صوره حبيبات كبيره فى البلاستيدات إماً فى الكلوروبلاست وهى موضع تثبيت الكربون أو فى الأمايلوبلاست وهى بلاستيدات متخصصه فى تخزين النشا (شكل ٣ – ١٠). وتحتوى



شكل ٣ ـ ١٠
ثلاثة من أمايلوبلاست وهى البلاستيدات المخزنه للنشا فى خلايا قمه جذور فول الصويا

النشا على مكونين يُمكن فصلهما، أحدهما يذوب فى الماء الساخن ويُدعى α - أمايلوز α - amylose، والآخر لا يذوب فى الماء ويُدعى أمايلوبكتين amylopectin. يتكون جزئ α - أمايلوز من سلسله طويله غير متفرعه من وحدات D- جلوكوز التى ترتبط ببعضها بواسطة الروابط الجلايكوسيديه α (١ ← ٤) (شكل ٣ ـ ١١)، وتختلف سلاسل α - أمايلوز فى عدد وحدات الجلوكوز التى تتراوح بين ٦٠ إلى ٣٠٠ وحده.



شكل ٣ ـ ١١

أمايلوز وأمايلوبكتين وهما مكونات النشا

الأمايلوبكتين جزئ متفرع (شكل ٣ ـ ١١)، وبينما ترتبط وحدات D- جلوكوز بالرابطة α (١ ← ٤) فى السلسله الرئيسية فإن مناطق التفرع فى جزئ الأمايلوبكتين تحتوى على الرابطة α (١ ← ٦). والوزن الجزيئى للأمايكوبكتين كبير جداً قد يصل إلى مليون.

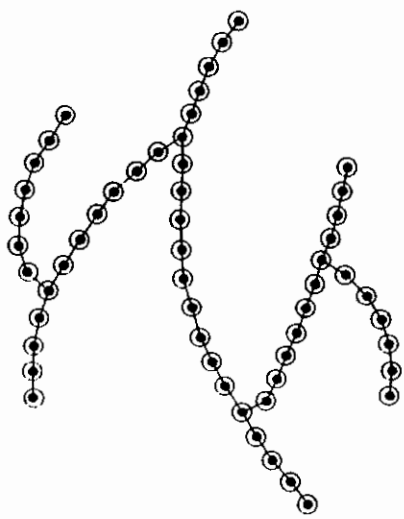
أكثر من نصف الكربوهيدرات التى يتناولها الإنسان تكون فى صوره نشا. وكل من الأمايلوز والأمايلوبكتين تتميأ بواسطة إنزيم α- أمايلاز α- amylase الذى يفرز من الغدد اللعابية والبنكرياس. فيقوم إنزيم α -أمايلاز بتفكيك الإرتباط الجلويكوسيدى α (١←٤) عشوائيا فى سلسله الأمايلوز مع تكوين مخلوط من جلوكوز ومالتوز. ويقوم انزيم α ـ أمايلاز أيضا بتفكيك الروابط α (١←٤) الطرفية فى الأمايلوبكتين ولكنه لايستطيع تفكيك الروابط α (١←٤) القريبة من نقط التفرع وكذلك الروابط α (١←٦) فى مناطق التفرع، ولذلك فإن ناتج التميؤ بهذا الإنزيم هو D- جلوكوز وكميه صغيره من المالتوز وجزيئيات شديدة التفرع تدعى الدكسترين المحدود limited dextrine. ويقوم إنزيم آخر هو α (١←٦) جلوكوسيدير glucosidase α (1→ 6) بتفكيك الروابط α (١←٦) فى نقط التفرع وبذلك يسمح لإنزيم أمايلاز بتفكيك الروابط α (١←٤) المتبقية. وعلى ذلك فإن التأثير المشترك لأنزيمى α – أمايلاز وα (١←٦) جلوكوسيدير هو تحويل الأمايلوبكتين إلى D- جلوكوز ومالتوز.

إنزيم β – أمايلاز الذى يوجد فى المولت (الشعير المنبت) يختلف عن α – أمايلاز فى أنه يقوم بتفكيك الروابط α (١←٤) بالتبادل من الطرف غير المختزل، وبذلك ينتج أساساً مالتوز وكميه صغيره من D- جلوكوز.

الجلايكوجين هو عديد السكر المخزن فى الحيوانات

الجلايكوجين glycogen هو نوع آخر من عديدات السكر الذى يخزن فى خلايا الكبد والعضلات فى الحيوانات كمخزون إحتياطى للطاقة. ويوجد الجلايكوجين فى الكبد فى صوره حبيبات كبيره منتشره فى السيتوبلازم والتى تتكون بدورها من حبيبات صغيره وهذه يتكون كل منها من جزئ جلايكوحين وهو جزئ على درجة كبيره من التفرع ويصل وزنه الجزيئى إلى عده ملايين. يوجد الجلايكوجين أيضا فى الفطريات حيث يستخدم كمخزون للطاقة فى هذه الكائنات.

يماثل الجلايكوجين الامايلوبكتين من ناحية التركيب غير أنه أكثر تفرعا، فيحدث التفرع كل ٨ ـ ١٢ وحده جلوكوز (شكل ٣ ـ ١٢). ترتبط وحدات الجلوكوز فى المناطق غير المتفرعه فى جزئ الجلايكوجين بالرابطة α (١←٤)، أما فى نقط التفرع فإن الإرتباط يكون α (١←٦).



شكل ٣ ـ ١٢

مخطط لقطاع فى جزئى الجلويكوجين

يتميأ الجلايكوجين فى القناة الهضمية بواسطة إنزيمى α أمايلاز و α (١←٦) جليكوسيديز ويكون الناتج هو D- جلوكوز ومالتوز وهو فى ذلك يشابه الأمايلوبكتين. أما فى الخلايا الحيوانيه والفطريات فإن الجلايكوجين يتفكك بإنزيم آخر هو جلايكوجين فوسفوريليز glycogen phosphorylase الذى يفكك الجلايكوجين إلى جلوكوز ١ ـ فوسفات وليس إلى الجلوكوز الحر.

السليلوز هو العنصر التركيبى الأساسى فى جدر الخلايا النباتية

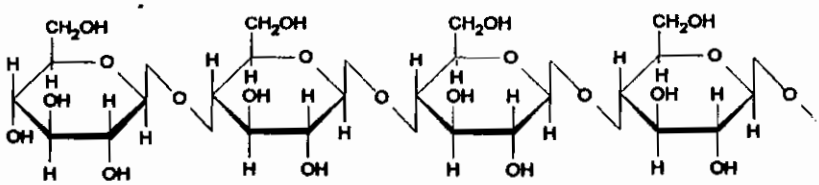
كثير من عديدات السكر تعمل كعناصر تركيبية فى البناء الخارجى للخلايا وذلك

فى الجدر الخلوية للكائنات وحيدة الخلية والنباتات الراقية والغلاف الخارجى للخلايا الحيوانية. والبعض الآخر من عديدات السكر تعمل كعناصر تركيبية فى الأنسجة الضامة فى الفقاريات وفى الهيكل الخارجى فى الكائنات مفصلية الأرجل. فعديدات السكر البنائية تعمل على إعطاء الحماية والشكل والدعامة للخلايا والأنسجة الحية.

السليلوز cellulose هو اكثر عديدات السكر انتشاراً فى الطبيعة، كما أنه أكثر المركبات العضوية التى تنتجها الكائنات الحية على الإطلاق. والسليوز وهو مادة ليفية غير ذائبة فى الماء يوجد فى جدر الخلايا الوقائية للنباتات خاصة السيقان والجذوع وكل الأجزاء الخشبية فى الأنسجة النباتية. فهو يشكل حوالى نصف ماده الخشب بينما القطن تقريبا عبارة عن سليلوز نقى.

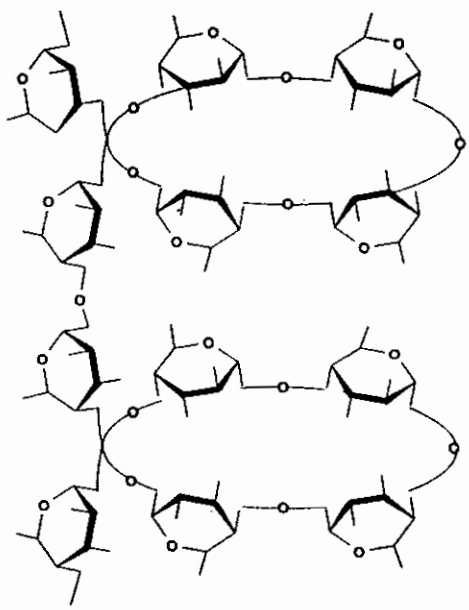
السليلوز عديد سكر متجانس حيث يتكون من سلسلة مستقيمه غير متفرعه تحتوى على ١٠,٠٠٠ أو أكثر من وحدات D- جلوكوز التى ترتبط ببعضها بواسطة الروابط الجلايكوسيديه β (١←٤). وقد يظهر من ذلك أنه يشبه فى تركيبه أمايلوز، لكن الحقيقة هناك اختلاف جوهرى فى أن الارتباط (١←٤) فى السليلوز يوجد فى الهيئة الفراغية (β) بينما هى (α) فى الأمايلوز والأمايلوبكتين والجلايكوجين. وهذا الاختلاف والذى يظهر أنه اختلاف بسيط فى تركيب السليلوز وأمايلوز يؤدى إلى تكوين مبلمران يختلفان فى خواصهما بدرجة كبيرة. فالرابطة β (١←٤) فى السليلوز تؤدى إلى تكوين سلاسل ممتده والتى تتجمع عن طريق الروابط الهيدروجينية مكوِّنه الياف دقيقة (شكل ٣ ـ ١٣). من ناحية أخرى، فإن الارتباط α (١←٤) فى النشا والجلايكوجين يؤدى إلى تكوين هيئة حلزونية تكون مناسبة لتكوين حبيبات كُرِيه (شكل ٣ ـ ١٣).

فى حين تستطيع انزيمات α - أمايلاز فى الفقاريات أن تشطر إرتباطات α (١ ←٤) فى النشا والجلايكوجين، فإنها لا تستطيع شطر إرتباطات β (١←٤) فى السليلوز، لذلك فإن هذا المستودع الكربوهيدراتى الهائل الذى يحتوى على اكثر من نصف الكربون العضوى لا يستفاد منه فى تغذيه معظم الحيوانات الراقية. لكن هناك أنواعاً



(أ)

(ب)



(جـ)

شكل ٣ ـ ١٣

تركيب السليلوز والهيئات الفراغية المختلفة للسلاسل α (١ ← ٤) للسليلوز والسلاسل α (١←٤) فى النشا والجلايكوجين

أ ـ جزء من سلسلة جزئ السليلوز الذى يحتوى على الرابطة α (١ ← ٤) .

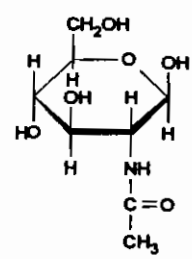
ب ـ مخطط بيانى يوضح سلاسل السليلوز المتوازيه التى ترتبط مع بعضها بواسطة الروابط الهيدروجينيه

جـ ـ مخطط بيانى لجزئ الأمايلوز الذى يحتوى على الروابط α (١ ← ٤) التى تؤدى إلى هيئة حلزونية

من البكتريا والحيوانات المجهرية التى لها القدره على تميؤ السليلوز إلى D- جلوكوز. فالنمل الأبيض يهضم السليلوز وذلك لأنه يأوى فى قناته الهضمية أحد الكائنات الدقيقة (Trichonympha) والتى تفرز السليولاز cellulase وهو الإنزيم المحلل للسليلوز وبذلك تـمكّن النمل الأبيض من هضم الخشب. الفطريات والبكتريا التى تقوم بتعفن الخشب تنتج أيضا انزيم السليولاز.

الأبقار والحيوانات المجترة الأخرى هى الفقاريات الوحيد التى تستطيع إستخدام السليلوز كماده غذائية بطريق غير مباشر. فمعده هذه الحيوانات تكون بيئة مناسبة لنمو أنواع من الكائنات الدقيقة التى تفرز إنزيم السليولاز الذى يفكك السليلوز إلى - Dجلوكوز، والذى يتخمر بدوره إلى أحماض دهنية قصيرة السلسلة خاصة البروبيونيك وثانى اكسيد الكربون والميثان الغازى. والأحماض الدهنية الناتجة والتى تمتص فى الدوره الدمويه للحيوانات المجتره تمثل المصدر الأساسى للكربون والطاقة لهذه الحيوانات.

وكيتين chitine مبلمر متجانس خطى يتكون من إرتباط وحدات N-أسيتايل D-جلوكوز أمين N- acetyl-D -glucosamine بالروابط β (١←٤) هو عديد السكر البنائى الذى يوجد فى غلاف أو الهيكل الخارجى للسرطانات البحرية وكثير من الحشرات، وهو بذلك يشبه سليلوز ما عدا أن المجموعة المستبدله على ذره الكربون الثانية (C_2) هى مجموعة أمين مـؤسـتله (شكل ٣ ـ ١٤).



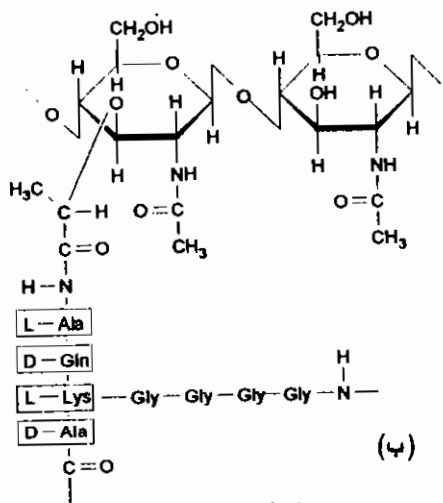
N - acetyl - D - Glucoseamine

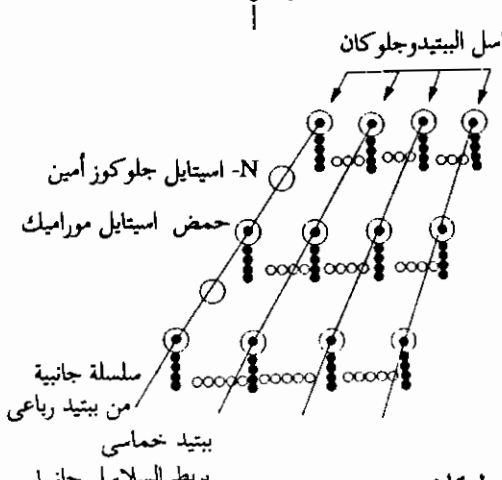
شكل ٣ ـ ١٤

N- أسيتايل D- جلوكوز أمين وهو الوحده البنائية للكيتين وعدد آخر من عديدات السكر البنائية

ببتيدوجلوكان هو العنصر البنائى فى جدر الخلايا البكتيرية

الخلايا البكترية بالمقارنة بالخلايا الحيوانية تحاط من الخارج بجدر خلوية والتى تعطى الدعامة الميكانيكية والشكل العام للخلايا، كما أنها تحدد كثيرا من الخواص الفسيولوجية للبكتريا. يحتوى جدار الخلية البكترية والذى يغلف الغشاء الخلوى من الخارج على سلاسل من عديدات السكر المتوازية التى ترتبط ببعضها على مسافات فاصلة بارتباطات مستعرضة من عديد الببتيد (شكل ٣ـ١٥). ونظرا لأن السلسلة الببتيدية قصيره وليست





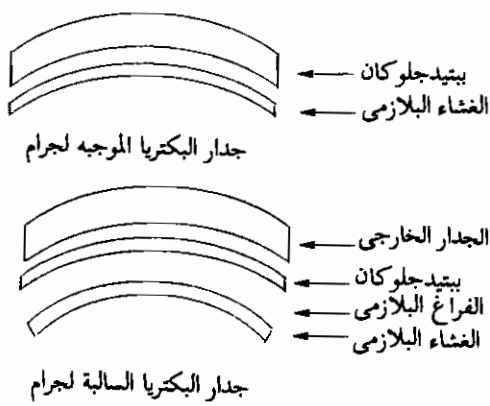
شكل ٣ ـ ١٥

(أ) مخطط توضيحى للببتيدوجلوكان

(ب) وحدة البناء الأساسية فى الببتيدوجلوكان فى Staphylococcus aureus

كبيره كما فى البروتين فإن هذا البوليمر polymer يدعى ببتيدوجلوكان peptidoglu-can والذى يشير إلى الطبيعة المهجنه للبوليمر وهو إحتوائه على عنصر ببتيد وعنصر عديد السكر. تتكون سلسلة عديدات السكر من وحدات سكر أحادى متبادلة من N- أسيتايل D- جلوكوز وحمض N- أسيتايل موراميك اللذان يرتبطان بالإرتباط الجلايكوسيدى β (١←٤) (شكل ٣ ـ ١٥). ويتصل بكل وحده حمض أسيتايل موراميك سلسلة جانبية من ببتيد رباعى. كما أن سلاسل عديد السكر المتوازية ترتبط عرضيا ببعضها بواسطة سلاسل من عديد الببتيد والتى تختلف فى تركيبها من نوع إلى آخر.

ففى البكتريا الكروبه العنقودية staphylococcus aureus التى تسبب تقيح الأنسجة مثل الجلد والعظم والرئه فإن الببتيد الرباعى يتألف من L- الآنين و D- جلوتامين و L- لايسين و D-الآنين، بينما ترتبط وحدات حمض N-أسيتايل موراميك فى عديدات السكر المختلفة بواسطة ببتيد خماسى يحتوى فقط على جليسين. ومنذ أكثر من نصف قرن صُنِّفت البكتريا إلى موجبة لجرام وسالبه لجرام بناء على تفاعلها مع صبغه جرام. وهذان النوعان من البكتريا لهما جدار خلوى مختلف (شكل ٣ ـ ١٦)، فالغشاء



شكل ٣ ـ ١٦

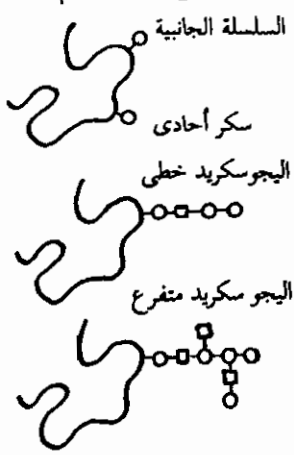
مخطط بيانى يُوضح الفرق بين تركيب غلاف الخلايا البكتيرية الموجبة والسالبة لجرام

البلازمى فى البكتريا الموجبة لجرام يحاط بجدار سميك يبلغ سمكه ٢٥٠ أنجستروم

الذى يحتوى على ببتيدوجلوكان وحمض تيكويك teichoic acid . بينما فى البكتريا السالبه لجرام مثل بكتريا القولون فإن طبقه الببتيدوجلوكان تحاط بغلاف خارجى يحتوى على بروتين وليبيدات وعديد السكر الليبيديه lipopolysaccharide . ومن المعروف أن الجدار الخلوى السليم يشكل أساس لحمايه ونمو وانقسام البكتريا. مع ذلك فإن البنسلين وهو أحد المضادات الحيوية الهامة فى معالجة الإصابة البكتيريه يـثبط الخطوه الأخيرة فى البناء الانزيمى للببتيدوجلوكان فى الكائنات الحساسه للبنسلين وبذلك يتوقف البناء الكامل للجدار الخلوى وتفشل بذلك البكتريا فى استكمال نموها وانقسامها.

غلاف الخلايا الحيوانية يحتوى على جلايكوبروتين

الجلايكوبروتينات glycoproteins هى بروتينات ترتبط تساهميا بجزء كربوهيدراتى الذى قد يكون سكراً أحاديا مفرداً أو سكر أليجو قصير نسبيا (شكل ٣ ـ ١٧) والذى تتراوح نسبته بين ١ ٪ إلى ٦٠ ٪. وبعض الجلايكوبروتينات تحتوى فقط على واحد أو عدد قليل من المجموعات الكربوهيدراتيه والبعض الآخر يحتوى على عدد كبير من السلاسل الجانبيه. توجد الجلايكوبروتينات وتقوم بوظائفها إمـا على سطح الخلايا فى الاغلفة الخلويه أو خارج الخلايا كما فى بلازما الدم.



شكل ٣ ـ ١٧

ثلاثة أنواع من الجلايكوبروتينات التى تختلف فى حجمها ومحتواها من سلاسل الكربوهيدرات الجانبية

من الجلايكوبروتينات التى تقوم بوظيفه غير عاديه هى تلك الجلايكوبروتينات التى توجد فى بلازما بعض الأسماك المقاومه للتجمد والتى تعيش فى القطب الشمالى والقطب الجنوبى على درجة حرارة ـ١,٩م وذلك لاحتواء دمها على ٢,٥٪ من الجلايكوبروتينات التى تخفض نقطه التجمد بتثبيط تكوين بللورات الثلج.

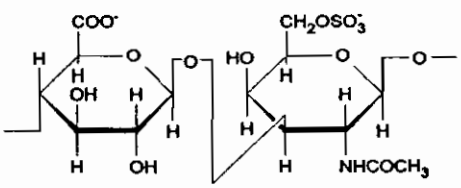
من الجلايكوبروتينات التى توجد على سطح الخلايا هو جلايكوفورين glycophorin الذى يوجد فى غشاء كرات الدم الحمراء ويحتوى على ٥٠٪ كربوهيدرات فى هيئة سلسلة من عديد السكر التى ترتبط بأحد أطراف سلسله عديد الببتيد. أما الجلايكوبروتين الليفى فيبرونكتين fibronectin يوجد على سطح الخلايا الحيوانية ويظهر أنه يعزز الالتحام بين الخلايا المتشابهة.

بروتوجلايكان وحمض هيلارونيك يمثلا العناصر الأساسية فى المادة بين خلوية

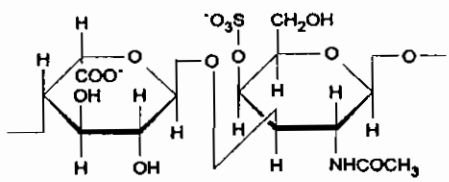
المجموعة الأخرى من عديدات السكر البنائية هى جلايكوز أمينوجلايكان glycosami-noglycan (عرفت من قبل بعديدات السكر المخاطية mucopolysaccharide) التى ترتبط عاده مع البروتين لتكون بروتوجلايكان protoglycan الذى سمى من قبل ميوكوبروتين mucoprotein. تختلف البروتوجلايكان بدرجة كبيره عن الجلايكوبروتين، فالجلايكوبروتينات عاده تحتوى على ١٪ إلى ٦٠٪ كربوهيدرات فى صورة سلاسل عديدة قصيرة نسبيا وغير متفرعه من سكريات الاليجو التى تختلف فى تركيبها وتنتهى سلاسلها غالبا بحمض سياليك Sialic . بالمقارنة فإن البروتوجلايكان أكبر بكثير حيث يبلغ وزنها اكثر من مليون دالتون وتحتوى عاده على ٩٠٪ إلى ٩٥٪ بالوزن كربوهيدرات فى صورة عدد كبير من سلاسل طويله غير متفرعه من جلايكوز أمينوجلايكان عاده بدون حمض سياليك.

تتكون سلاسل جلايكوز أمينوجلايكان من وحدات متكرره من سكر ثنائى، ويكون دائما أحد وحدتى السكر فى السكر الثنائى عباره عن سكر أمينى (N- أسيتايل جلوكوز أمين أو N- أسيتايل جالاكتوز أمين). وتحتوى جلايكوز أمينوجلايكان على عدد كبير

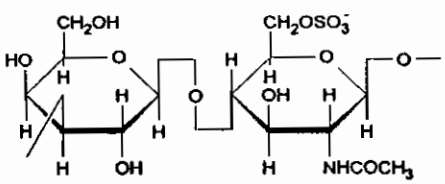
من الشحنات السالبه التى ترجع إلى وجود مجموعات كربوكسيل أو كبريتات أو كلاهما فى عدد كبير من وحدات السكر (شكل ٣ ـ ١٨). وقد أمكن تمييز سبع أنواع من جلايكوز أمينوجلايكان بناء على نوع وحدات السكر ونوع الإرتباط بين وحدات السكر وعدد وموضع مجموعات الكبريتات، وهذه المجموعات هى: كوندريتين ٤ ـ كبريتات chondroitin 4 - sulfate ، كوندريتين ٦ ـ كبريتات chondroitin 6-sulfate ، كبريتات الديرماتان dermatan sulfate ، كبريتات الهيباران heparan sulfale ، هيبارين heparin ، كبريتات الكيراتان keratan Sulfate وحمض الهيلارونيك hyaluronic acid (وهو المجموعة الوحيدة التى لا تحتوى على مجموعات كبريتات مرتبطة بوحدات السكر).



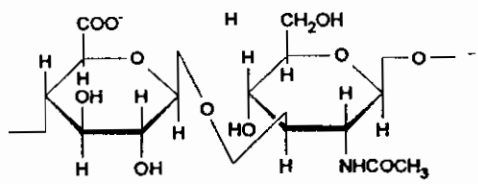
Chondroitin 6-sulfate



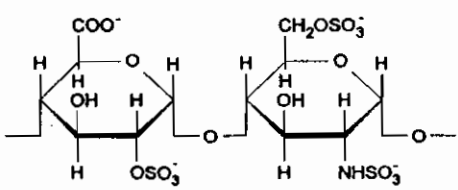
Dermatan sulfate



Keratan sulfate



Hyaluronate

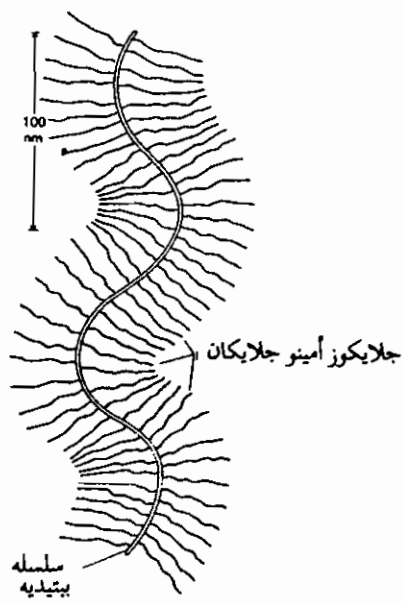


Heparin

شكل ٣ ـ ١٨

تركيب السكر الثنائى المتكرر فى بعض جلايكوز أمينوجلايكان الأساسية.

فى البروتوجلايكان يرتبط عدد كبير من سلاسل جلايكوز أمينوجلايكان بالسلسلة الببتيدية (شكل ٣ ـ ١٩). ونظرا لان سلاسل جلايكوز أمينوجلايكان محبه للماء فإنها ترتبط بكمية كبيره من الماء مكونة هلام مائى hydrated gels، وتعزز هذه الخاصية نتيجة لوجود الكثافة العالية من الشحنات السالبه والتى تجذب الكاتيونات النشطة أسموذيا. وخاصيه جذب الماء لسلاسل جلايكوز أمينوجلايكان تنشئ ضغط انتفاخ swelling pressure بين الخلايا الذى يقاوم قوى الانضغاط compressive force ، ولذلك فإن بروتوجلايكان تكون مناسبة للوظائف التى تقوم بها كماده مالئه فى الانسجه الضامه connective tissue . وهناك من الدلائل المتزايده التى تشير إلى أن حمض هيلارونيك له وظيفة خاصة فى الأنسجة وهو تسهيل هجره الخلايا اثناء التكوّن التشكلى morpho-genesis والإصلاح repair .



شكل ٣ ـ ١٩

مخطط توضيحى لتركيب جزئ برتوجلايكان الذى يشير إلى وجود عدد كبير من سلاسل جلايكوز أمينوجلايكان