التحولات الغذائية (الأيض) فى النبات

[فسيولوجى نبات "خاص"]

كتاب جامعى لطلاب الفرقة الثالثة "كلية الزراعة – جامعة دمياط"

شاهد المحاضرة فيديو على الروابط التالية:

https://youtu.be/XheQsNXl1RM
https://youtu.be/hNexBNKyXKw

إعداد

أ.د/ أحمد لطفى ونس

أستاذ النبات وعميد كلية الزراعة

جامعة دمياط

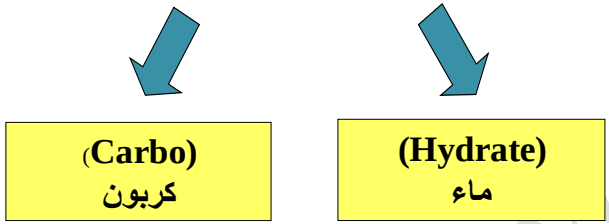
[الطبعة الاولى]
سبتمبر ٢٠١٨

Prof. Ahmed Lotfy Wanas

الفصل الثالث

أيض الكربوهيدرات Carbohydrate Metabolism

الكربوهيدرات تعنى ماء (هيدرات) الكربون



تعريف الكربوهيدرات:

هي مركبات عضوية تتكون من الكربون والهيدروجين والأكسجين (CHO) وتعرف الكربوهيدرات بانها مشتقات ألدهيدية أو كيتونية لكحولات عديدة الهيدروكسيل (OH^-)، أو بأنها المركبات التي تعطي عند تحللها مائيا مشتقات ألدهيدية أو كيتونية عديدة الهيدروكسيل.

يبدأ بناء الكربوهيدرات في النباتات الخضراء بعملية التمثيل الضوئي (Photosynthesis).

$$6CO_2 + 12H_2O + \text{ضوء} \xrightarrow{\text{كلوروفيل}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

الوظيفة:

١. مخزن كبير للطاقة الكيميائية والتى تتحرر منها خلال عملية الهدم لتستخدم فى العمليات الحيوية المختلفة.

٢. مصدر للكربون في عملية تكوين المركبات العضوية الأخرى.

٣. تستخدم كعناصر تركيبية للخلايا والأنسجة.

تقسيم الكربوهيدرات

تقسم الكربوهيدرات تبعا لعدد جزيئات السكريات البسيطة التى تنتج عند تحللها كلية إلى:

١. السكريات الأحادية Monosaccharides (تتكون من ٣ – ٧ ذرات كربون).

٢. السكريات الثنائية Disaccharides (تتكون من ٢ جزىء من السكريات الأحادية).

٣. سكريات الأوليجو Oligosaccharides (تتكون من ٣-١٠ جزيئات من السكريات الأحادية).

٤. السكريات العديدة Polysaccharides (تتكون من أكثر من ١٠ جزيئات من السكريات الأحادية).

Prof. Ahmed Lotfy Wanas

أولاً: السكريات الأحادية Monosaccharides:

غالبا ما تسمي بالسكريات البسيطة وهي الوحدات البنائية للسكريات الأخري. وهي أبسط وحدات الكربوهيدرات حيث تتكون من جزيء واحد فقط، لا يمكن تحللها إلي وحدات أصغر منها.

الخواص الفزيائية:

١. مواد صلبة متبلورة بيضاء اللون، تذوب بسهولة في الماء ولا تذوب في المذيبات غير القطبية ولمعظمها مذاق حلو.

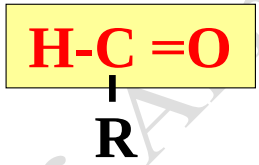
٢. أبسط أنواع السكريات، ولا ينتج من تحللها مواد أبسط منها.

٣. الصيغة العامة لها هى $(CH_2O)_n$ حيث n = ٣ – ٧

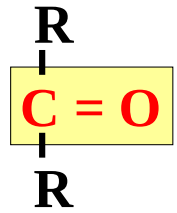
٤. تصنف السكريات الأحادية على أساس عدد ذرات الكربون إلى سكريات ثلاثية ورباعية وخماسية وسداسية وسباعية.

٥. تصنف السكريات الأحادية على أساس نوع المجموعة الوظيفية في الجزيء إلى سكريات ألدهيدية وسكريات كيتونية.

٦. تحتوي كل ذرة كربون على مجموعة هيدروكسيل عدا ذرة كربون واحدة أما تحتوى على مجموعة كيتون ويطلق على السكر إسم سكر كيتونى (كيتوز) أو تحتوى على مجموعة ألدهيد فيسمى سكر ألدهيدى (ألدوز).



ألدهيد



كيتون

تسمية السكريات الأحادية:

يطلق على السكريات الأحادية إسم لاتينى يتكون من مقطعين، المقطع الأول يدل علي عدد ذرات الكربون والمقطع الثانى هو ose كما يوضح الجدول التالى:

Prof. Ahmed Lotfy Wanas

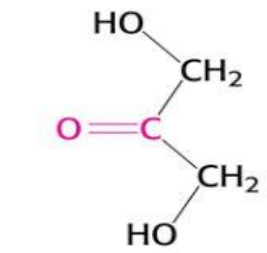
عدد ذرات الكربون/ جزىء	المقطع اللاتيني	الاسم
٣	Tri-	Triose
٤	Tetr-	Tetrose
٥	Pent-	Pentose
٦	-Hex	Hexose
٧	-Hept	Heptose
٨	-Oct	Octose

تضاف كلمة (aldo) إذا كان المجموعة الفعالة ألدهيد مثال aldotetrose وتعنى سكر ألدهيدى رباعي، وتضاف كلمة (keto) إذا كان المجموعة الفعالة كيتون مثال ketopentose وتعنى سكر كيتوني خماسي.

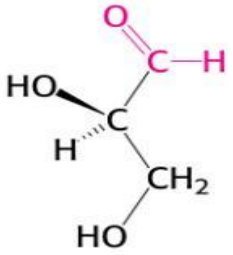
تقسيم السكريات الأحادية:

تقسم السكريات الاحادية وفقا لعدد ذرات الكربون الموجودة في الجزىء Molecule إلى:

١. **سكريات ثلاثية Trioses** وهى أبسط السكريات الأحادية حيث يحتوى جزىء السكر الواحد على ٣ ذرات كربون صيغتها العامة $C_3H_6O_3$ مثل الجليسرالدهيد وهو سكر ثلاثي ألدوزى والداى هيدروكسي أسيتون وهو سكر كيتوزى.



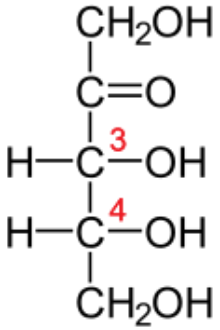
Dihydroxyacetone
(a ketose)



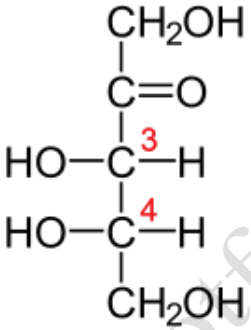
D-Glyceraldehyde
(an aldose)

٢. سكريات رباعية: وهى التي تحتوي علي ٤ ذرات كربون وتسمي Tetroses وصيغاتها العامة $C_4H_8O_4$ مثل سكر الإريثروز Erythrose.

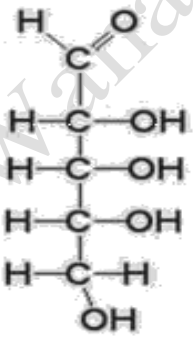
٣. سكريات خماسية: وهى التي تحتوي علي ٥ ذرات كربون وتسمي Pentoses وصيغاتها العامة $C_5H_{10}O_5$ مثال سكر الريبوز Ribose (ألدهيدى) وسكر الريبولوز Ribulose (كيتوني)، لها أهمية في تكوين الأحماض النووية والسكريات المعقدة.



D-Ribulose

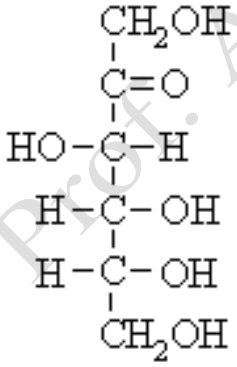


L-Ribulose

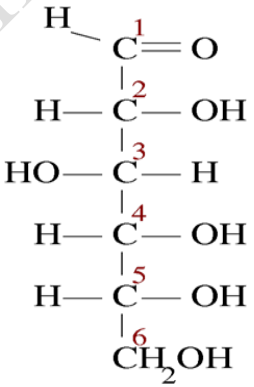


D-Ribose

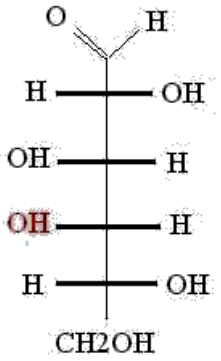
٤. سكريات سداسية: وهى التي تحتوي علي ٦ ذرات كربون وتسمي Hexoses وصيغاتها العامة $C_6H_{12}O_6$ مثال سكر الجلوكوز Glucose (ألدهيدي) وسكر الجلاكتوز Galactose (ألدهيدى)، وسكر الفراكتوز Fructose (كيتونى).



D- Fructose



D- Glucose



D- Galactose

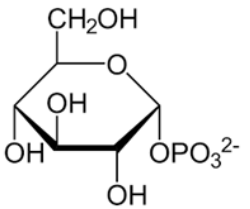
Prof. Ahmed Lotfy Wanas

٥. سكريات سباعية: وهى التي تحتوي علي ٧ ذرات كربون وتسمي Heptoses وصيغاتها العامة $C_7H_{14}O_7$ مثال سكر السيدوهيبتولوز .

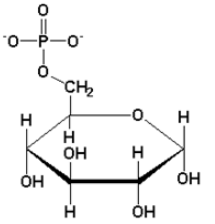
تعتبر السكريات السداسية Hexoses مثل الجلوكوز والفراكتوز والجلاكتوز هى أكثر السكريات إنتشارا في الطبيعة، وتنتج كنواتج رئيسية خلال دورة كالفن وبنسون، أما باقى السكريات الأحادية فتتكون كنواتج ثانوية خلال نفس الدورة.

المشتقات الحيوية الهامة للسكريات الأحادية

١. السكريات الفوسفاتية: تتكون كنواتج وسطية أثناء التفاعلات الكيموحيوية للكربوهيدرات مثل: ألفا- د- جلوكوز-٦- فوسفات ، ألفا- د- جلوكوز-١- فوسفات.

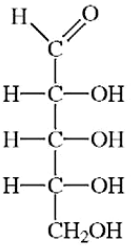


Glucose-1-Phpsphate (G1P)

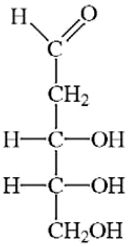


Glucose-6-Phpsphate (G1P)

٢. السكريات اللا أوكسجينية (دى أوكسى): وهى سكريات تفتقر لذرة أكسجين أو أكثر مثل ٢- دى أوكسى ريبوز الذى يدخل فى تركيب الحمض النووى DNA.



D-Ribose

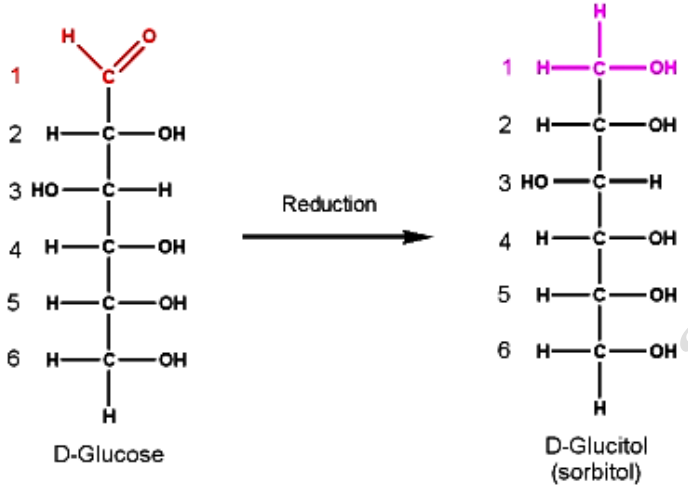


2-Deoxy-D-ribose

٣. السكريات الأمينية: هى سكريات أحادية تحتوى على مجموعة أمين محل مجموعة الهيدروكسيل مثل سكر د- جلوكوز أمين الذى يحتوى على مجموعة الأمين على ذرة الكربون الثانية.

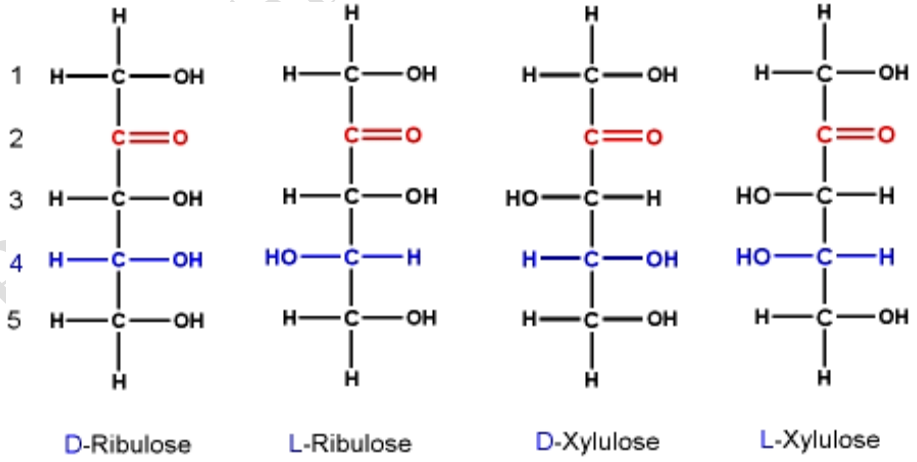
٤. الأحماض السكرية: تنتج من أكسدة ذرة الكربون الألدهيدية C_1 أو ذرة الكربون الحاملة للكحول C_6 إلى مجموعة كربوكسيل مثل فيتامين ج (حمض الأسكوربيك).

٥. السكريات الكحولية: تنتج من إختزال مجموعة الكربونيل فى السكريات الأحادية تحت ظروف معينة مثل السوربيتول.



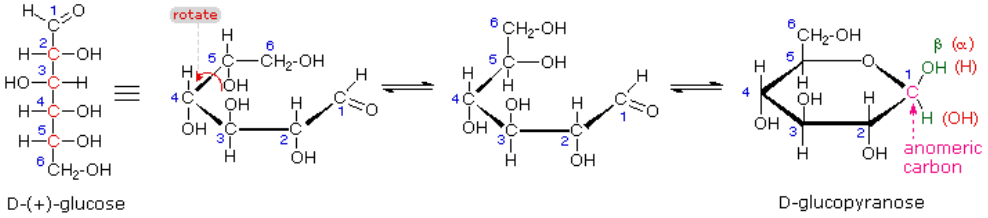
٦- تستطيع مجموعة الألدهيد والكيتون فى السكريات الأحادية إختزال مركبات أخرى ولذلك تسمى بالسكريات المختزلة.

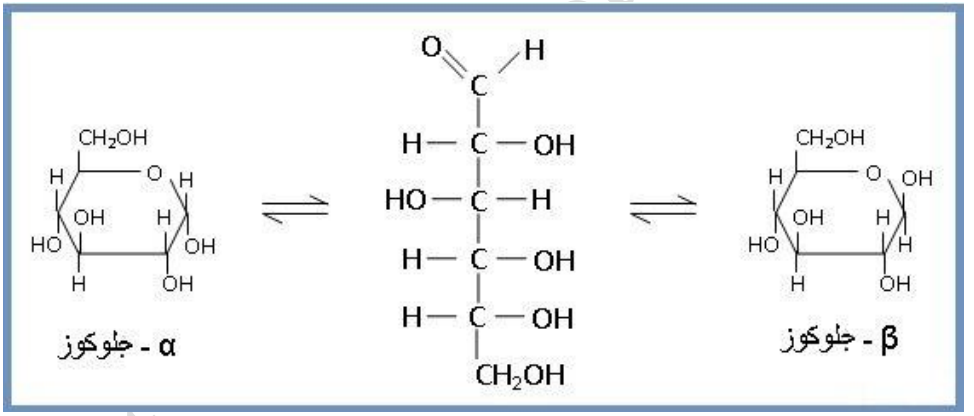
٧- تقسم السكريات الأحادية إلى سكريات يمينية ويسارية على حسب وضع مجموعة الهيدروكسيل على ذرة الكربون المجاورة للكحول وهى ذرة الكربون رقم ٥ فى الجلوكوز وذرة الكربون رقم ٢ فى الجليسرالدهيد، فإذا وجدت مجموعة الهيدروكسيل جهة اليمين يرمز للسكر بالرمز D وهو يمثل الصورة اليمينية للسكر أما إذا وجدت مجموعة الهيدروكسيل جهة اليسار فإنه يرمز للسكر بالرمز L وهو يمثل الصورة اليسارية للسكر.

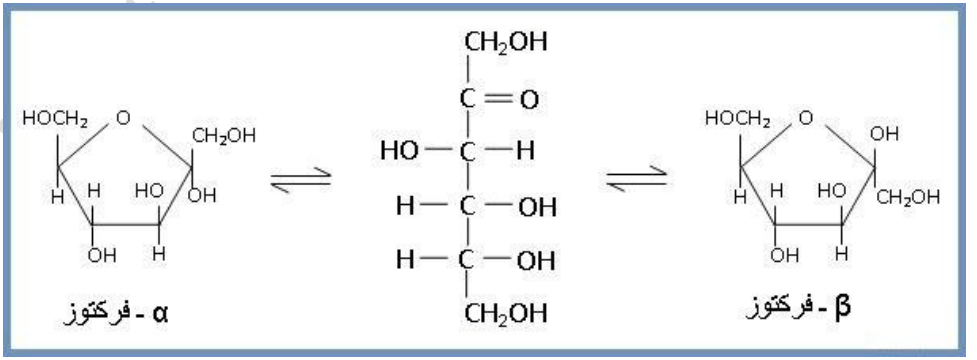


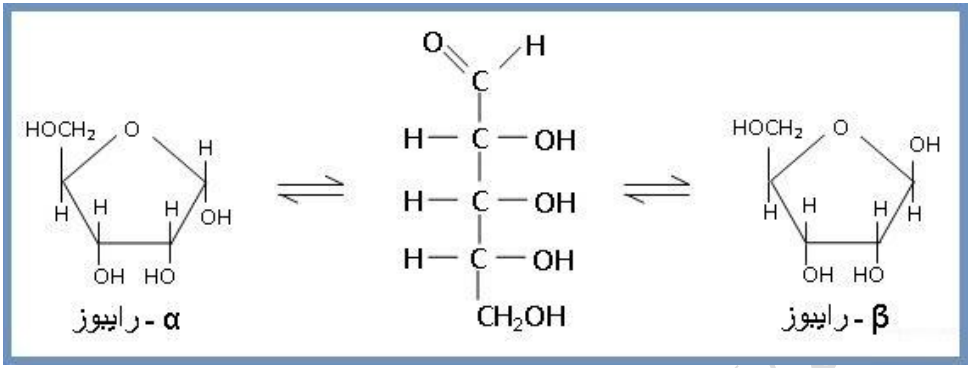
٨- معظم السكريات الأحادية الموجودة فى الجسم والطبيعة تكون يمينية.

٩- السكريات الأحادية التى تحتوى على خمسة ذرات الكربون أو أكثر قد تكون على هيئة تركيب حلقى بالإضافة إلى التركيب الخطى، ويتكون التركيب الحلقى عن طريق إرتباط ذرة الكربون رقم ١ فى السكر الألدهيدى أو ذرة الكربون رقم ٢ فى السكر الكيتونى مع مجموعة هيدروكسيل فى نفس السكر. وعلى حسب موقع مجموعة الهيدروكسيل والهيدروجين المتصلتان يسمى السكر ألفا أو بيتا، فإذا كانت مجموعة الهيدروكسيل لأسفل الحلقة سمى ألفا وإذا كانت لأعلى الحلقة سمى بيتا كما هو موضح فى الصور التالية:



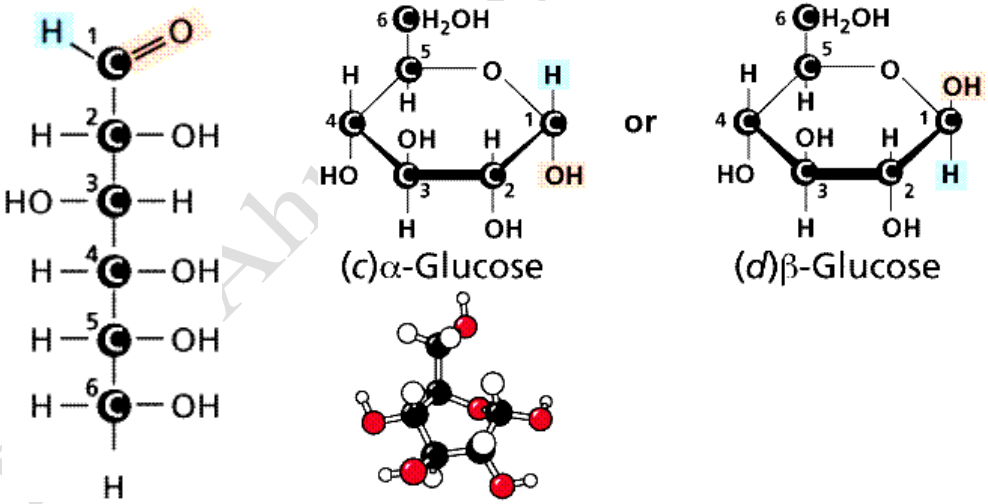




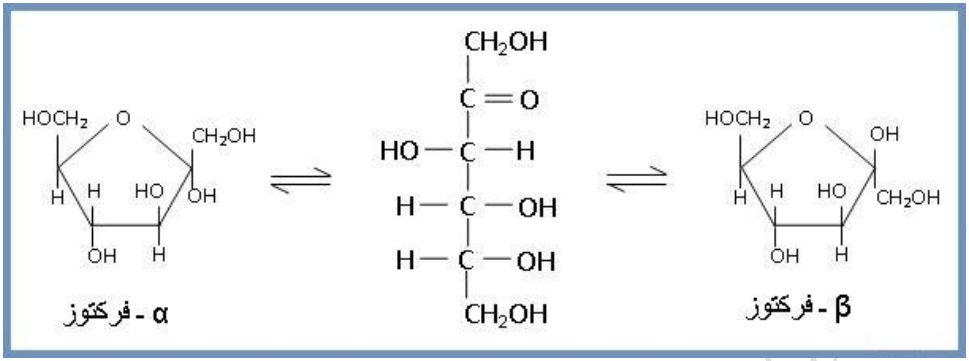


أهم السكريات الأحادية:

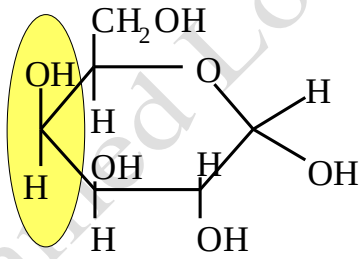
١. الجلوكوز: من أبسط أنواع الكربوهيدرات وهو سكر سداسي ألدهيدي مختزل ويعتبر من أهم السكريات كمصدر للطاقة، ترتبط جزيئاته معا أو مع جزيئات من سكريات أحادية أخرى لتكون سكريات أكثر تعقيدا. ويعرف الجلوكوز بسكر العنب أو سكر الدم، ويسمى الجلوكوز يمينى التدوير بالدكستروز.



٢. الفركتوز: وهو سكر سداسي كيتوني مختزل ويعرف بسكر الفواكه، كما يسمى الفركتوز يسارى التدويربالليفولوز. يوجد في الفواكه والعسل، وهو أكثر أنواع السكريات والنشويات حلاوة من حيث الطعم.



٣. الجلاكتوز: وهو سكر سداسي ألدهيدي مختزل، لا يوجد منفردا ولكن يتم تصنيعه في الغدد المنتجة للبن حيث يدخل فى تركيب سكر اللبن (سكر اللاكتوز)، هذا ويمكن تحويل الفركتوز والجلاكتوز إلى الجلوكوز. يحتوي على ست ذرات كربون وتكون فيه ذرتى الكربون رقم ٣ و ٤ مختلفة أى تحتوي على ذرة H على جهة اليمين يبدأ الترقيم من ذرة الكربون التي تحتوي على الألدهيد.



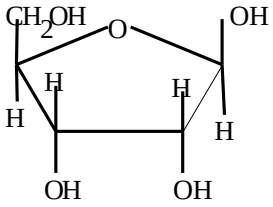
α-D-Galactose

٤ ـ المانوز: من السكريات الأحادية سداسية الكربون، يحتوي على مجموعة ألدهيد لذا فهو سكر ألدهيدى مختزل، كما أنه يتحد مع البروتينات "بروتينات معينة" ويوجد هذا السكر في زلال البيض. يحتوي على ست ذرات كربون وتكون فيه ذرة الكربون رقم ٢ و٣ مختلفة أي تحتوي على ذرة H جهة اليمين يبدأ الترقيم من ذرة الكربون التي تحتوي على الألدهيد.

٥ ـ الاينوسيتول: يطلق عليه سكر العضلات حيث أمكن فصله من نسيج العضلات كما يوجد أيضاً بأنسجة الكبد والقلب، ويوجد في النبات على هيئة حمض سداسي الفوسفات كما يدخل ضمن مكونات فيتامين ب وهو من السكريات الأحادية أيضاً، وهو الذي يعطي طعماً مميزاً للحمة.

Prof Ahmed Lotfy Wa

٦- الريبوز: سكر خماسى ألدهيدى يدخل فى تركيب الأحماض النووية، كما يدخل فى تركيب بعض المرافقات الإنزيمية.



التشابه الضوئى:

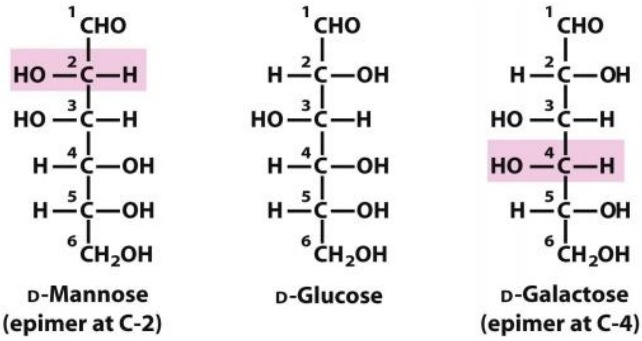
التشابه الضوئي ظاهرة ترجع إلي وجود عدد من ذرات الكربون غير المتناسقة (ذرة الكربون غير المتناسقة هى التى تحمل وتشغل تكافؤاتها الأربعة بـ ٤ أصول مختلفة) فمثلا الجليسرالدهيد يحتوى علي ذرة كربون واحدة غير متناسقة لذا فان له مشابهان ضوئيان يكون كل واحد منهما خيال مرأة للأخر فنجد في الشكل D تكون مجموعة الهيدروكسيل إلى اليمين حين تكون مجموعة الألدهيد في الأعلي، بينما في الشكل L تكون مجموعة الهيدروكسيل إلى اليسار حين تكون مجموعة الألدهيد فى الأعلي، وتزيد عدد المشابهات الضوئية للمركب بزيادة عدد ذرات الكربون غير المتناسقة في الجزىء. ويمكن تحديد عدد المتشابهات الضوئية لجزىء السكر بتطبيق قاعدة فانت هوف:

عدد المشابهات الضوئية = 2^n حيث n = عدد ذرات الكربون غير المتناسقة.

مثال: جزي الجلوكوز به ٤ ذرات كربون غير متناسقة لذا يكون عدد المشابهات الضوئية له 2^4 = ١٦

glyceraldehyde

ملاحظة: إذا كان لدينا سكرين أحاديين بهما نفس العدد من ذرات الكربون وكلاهما من الشكل D ويتشابهان في التوزيع الفراغي للمجموعات حول ذرات الكربون غير المتناسقة عدا ذرة كربون واحدة فهما إبيمران Epimers مثال على ذلك الجلاكتوز هو إبيمير للجلوكوز عند ذرة الكربون رقم ٤ وكذلك المانوز هو إبيمير للجلوكوز عند ذرة الكربون رقم ٢.



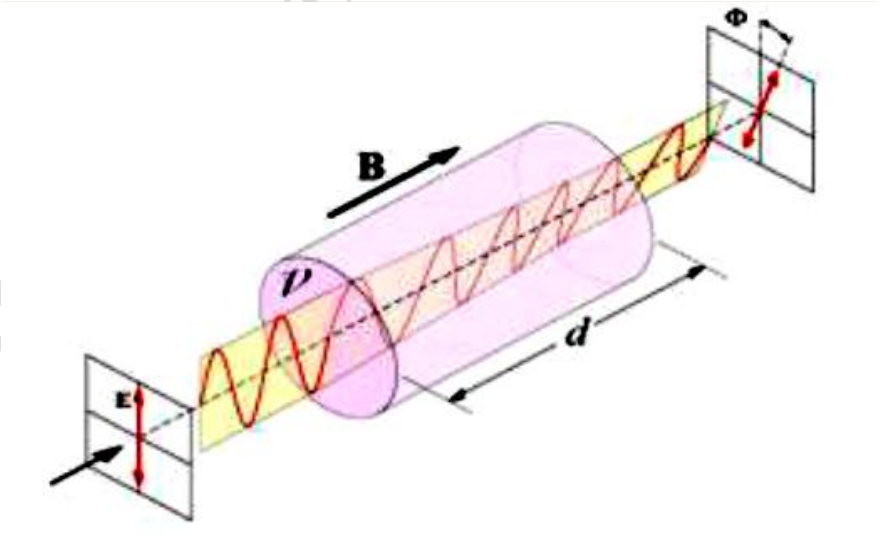
- **الـذرة الكيراليـة (ذرة الكربـون غيـر المتناسـقة):** هـي ذرة الكربـون المتصـلة بـأربع ذرات أو مجموعات مختلفة.

- **المتشابهات الضوئية:** هي عبارة عن صور أو أشكال لسكر ما تمتلك نفس التركيب ولكنها تختلف في ترتيب مكوناتها (مجموعاتها) حول ذرة كيرالية متناظرة.

عدد المتشبهات Isomers للمركب = 2^n

الضوء المستقطب: هو الضوء الذي يهتز في مستو واحد.

المـواد النشـطة ضـوئياً: أي مـادة قـادرة علـي تـدوير مسـتوي الإسـتقطاب "مسـتو الإهتـزاز" للضـوء المستقطب تسمي مادة فعالة أو نشطة ضوئياً.



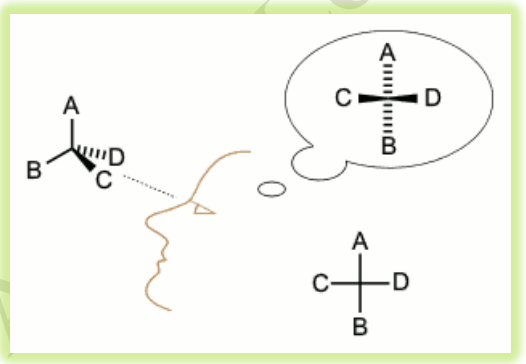
Prof. Mohamed Lotfy Wanas

- السكريات الأحادية نشطة ضوئياً.
- إذا دار مستو الإستقطاب للضوء المستقطب إلى اليمين فإن السكر يوصف بـ (D) أو (+).
- إذا دار مستو الإستقطاب إلى اليسار فان السكر يوصف بـ (L) أو (-).
- الديكستروز هو أحد أنواع الجلوكوز والذى يقوم بتدوير مستو الإستقطاب إلى اليمين.
- الليفولوز هو أحد أنواع الفركتوز والذى يسبب تدوير مستوى الإستقطاب لليسار.

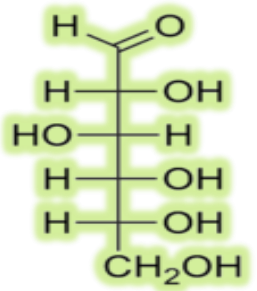
صيغ فيشر:

مسقط فيشر طريقة مبسطة لرسم (تصور) وضع الذرات حول المركز الفراغي. وقبل أن نتطرق إلى كيفية تحديد مساقط فيشر، هناك نقاط هامة يجب مراعاتها:

١. ذرة الكربون الكيرالية تكون فى مستوى الصفحة.
٢. المجموعتين المتصلتين بها من الجانب الأيمن والأيسر " الخطوط الأفقية " بارزتان فوق مستوى الصفحة بمعني " تكون نحو المشاهد"
٣. المجموعتين المتصلتين بها من أعلى وأسفل " الخطوط العمودية " تكون خلف الصفحة " بمعني تكون بعيدة عن المشاهد" .

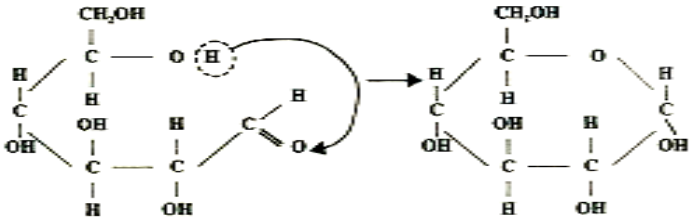


مسقط فيشر للجلوكوز



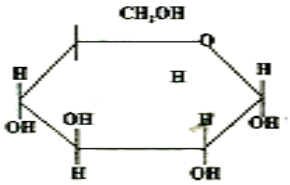
الجلوكوز باستخدام صيغة هاورث:

تستخدم صيغة هاورث Haworth formula لتوضيح وتقديم الصورة الحلقية للسكريات.



صيغة هاورث Haworth formula

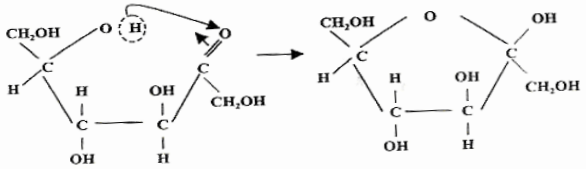
نكتب صيغة الجلوكوز بهذه الصورة أيضاً:



D - glucose

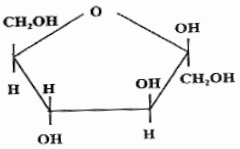
الفركتوز باستخدام صيغة هاورث:

D - fructose



الفركتوز الحلقي ويكتب بالصيغة التالية:

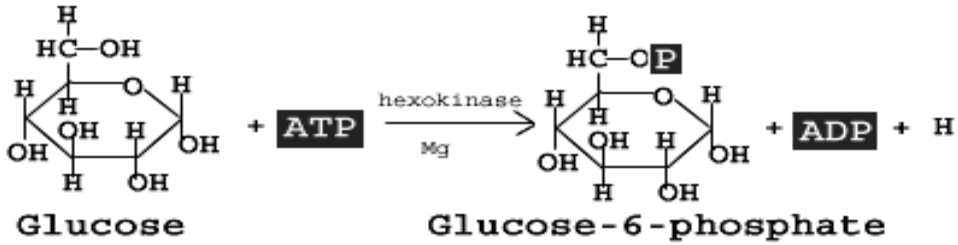
Cyclic Structure for Fructose

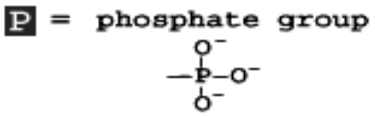


عملية الفسفرة Phosphorylation:

تعد عملية الفسفرة نقطة البداية في العمليات الحيوية التي تحدث لمختلف الكربوهيدرات فالجلوكوز والفركتوز يجب أن يفسفر بواسطة ATP ليكونا السكريات الفوسفاتية (Glucose-6-p) و (Fructose-6-p) وتتم هذه التفاعلات كخطوة أولى في المسار الجليكولى (Glycolysis) عند هدم الجلوكوز في الأوساط الأحيائية حيث لا توجد بالخلايا الحية إنزيمات قادرة على هدم جزيئات السكر إلا بعد تحوله إلى إستر فوسفات. وهكذا يتضح أن فسفرة السكر إنما هي وسيلة لجعل جزيئاته قابلة للتحولات الأيضية.

والواقع: أن تخليق فوسفات السكر في النظم الأحيائية، يتطلب حصول السكر على مجموعة فوسفات عالية الطاقة، تنشطر من ATP وتكون إستراً مع إحدى مجموعات السكر الكحولية ويحفز هذا التفاعل إنزيم هكسوكاينيز Hexokinase كما في المعادلة التالية:





وهكذا كما فى المعادلات التالية:

Fructose + ATP $\xrightarrow{\text{hexokinase}}$ **ADP + Fructose -6- P**

Glucose -6- phosphate $\underset{\text{phosphoglucomutase}}{\rightleftharpoons}$ **glucose -1- Phosphate**

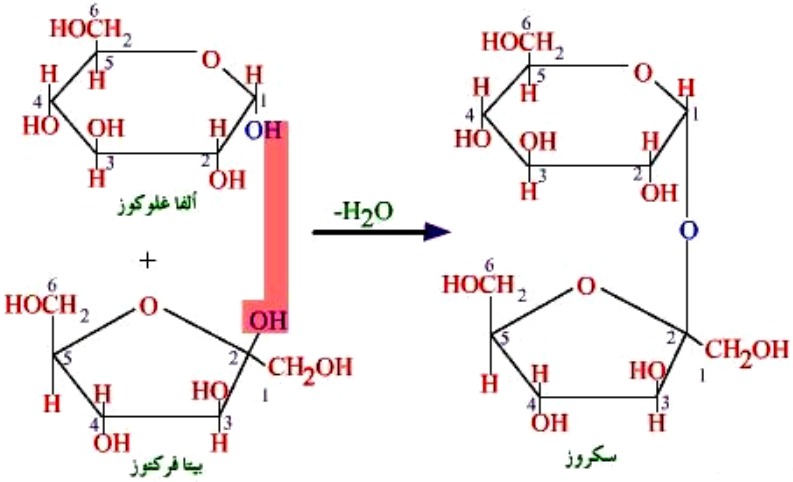
Glucose -6-phosphate $\underset{\text{Isomerase}}{\overset{\text{phosphogluco-}}{\rightleftharpoons}}$ **Fructose -6- Phosphate**

Prof. Ahmed Wanas

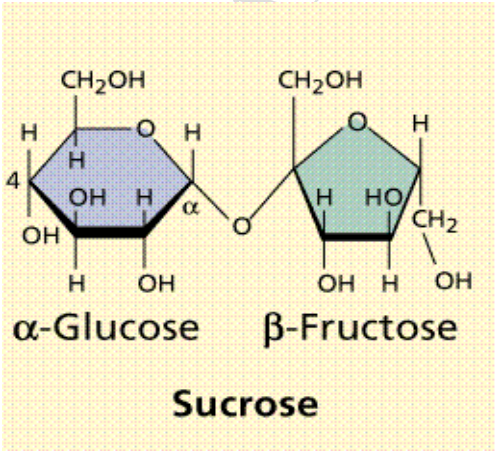
ثانياً: السكريات الثنائية $Cn\ (H_2O)n-1$

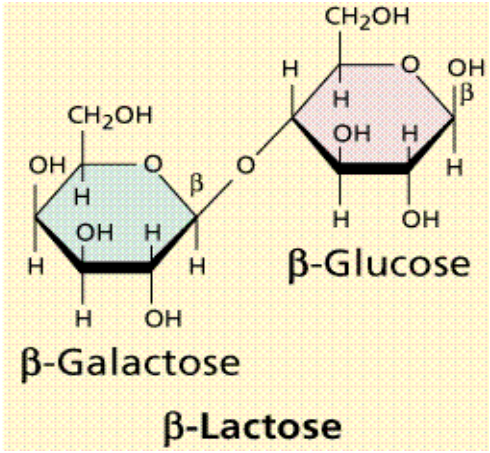
هي عبارة عن سكريات يتركب كل جزيء منها من إتحاد جزيئين من السكريات البسيطة (الأحادية) ويكون دائما أحد الجزيئين المتحدين لسكر الجلوكوز ومن أمثلة السكريات الثنائية:

١. السكروز (سكر القصب): من أهم السكريات الغذائية ويتكون من جلوكوز + فركتوز، وهو سكر غير مختزل ويتحلل مائياً بواسطة إنزيم السكريز إلى جلوكوز وفركتوز.

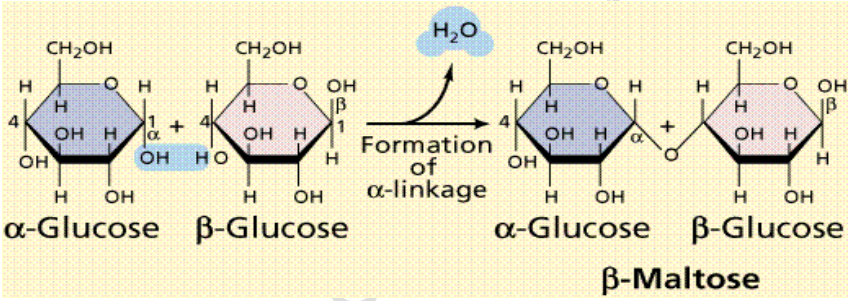


٢. اللاكتوز (سكر اللبن): وهو أقل أنواع السكر حلاوة ويتكون من جلوكوز وجلاكتوز وهو سكر مختزل.





٣. المالتوز (سكر الشعير): ويتكون من ألفا جلوكوز + بيتا جلوكوز، وهو سكر مختزل لإحتوائه على مجموعة ألدهيد، ويتكون من جزيئين من الجلوكوز، ويتحلل في الأمعاء إلى جزيئين جلوكوز بواسطة إنزيم المالتيز، ويعتبر هو ناتج وسطي خلال عملية التحلل المائي للنشا بواسطة إنزيم الأميليز اللعابي. فمن المعروف أن عملية طحن الغذاء بواسطة الاسنان والضروس وتفتيت جزيئات الطعام الكبيرة إلى صغيرة بسيطة تسمى الهضم الميكانيكي، ويوجد باللعاب مادة مخاطية تسهل عملية مضغ الطعام وبلعه وأيضاً تسهل عملية الكلام وحركة اللسان داخل الفم، بالإضافة إلى هذه المادة المخاطية يوجد أيضاً باللعاب إنزيم الأميليز اللعابي الهاضم للسكريات والمواد الكربوهيدراتية حيث يحول السكريات العديدة الموجودة في بعض الأطعمة كالأرز والمكرونة والخبز إلى سكريات ثنائية ثم تنزل هذه الجزيئات إلى المعدة بالحركة الدودية. لا يتم هضم الكربوهيدرات في المعدة وإنما في الاثني عشر حيث يتم هضم المالتوز بواسطة انزيم المالتيز إلى جزيئين من الجلوكوز ولكن إذا لم يتم هضم النشا من البداية ونزل إلى المعدة في صورة نشا فيقوم انزيم الأميليز البنكرياسي بدوره.



بناء وتحلل السكروز Synthesis and Degradation of Sucrose:

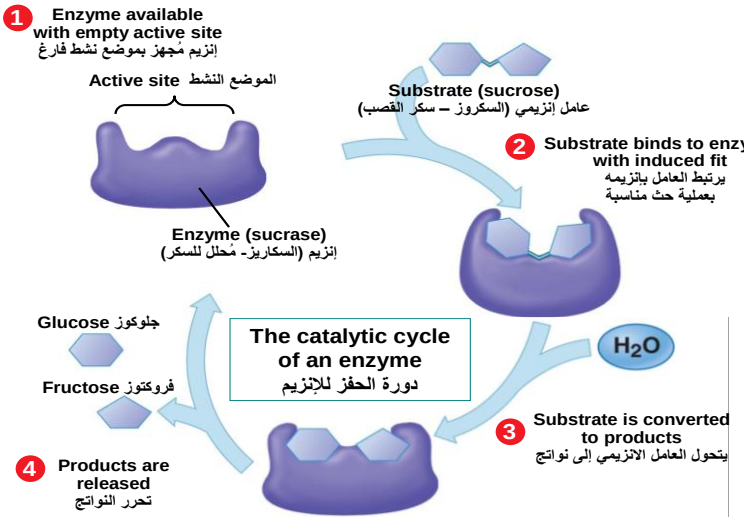
يتضمن بناء السكروز فى النباتات الراقية كما أوضحنا سابقا مشاركة جلوكوز يوريدين ثنائي الفوسفات (UDPG) ويحفز إنزيم Sucrose synthetase مثل هذا التفاعل حيث ينقل سكر الجلوكوز من UDPG إلى سكر الفركتوز. وفي بعض الأحيان يحدث تفاعل مماثل وهو نقل سكر الجلوكوز من UDPG إلى سكر الفركتوز –٦- فوسفات وهذا التفاعل يحفزه إنزيم Sucrose phosphate synthetase.

إذا الخطوة الأولى فى تكوين السكروز هى تكوين جلوكوز يوريدين ثنائى الفوسفات (UDPG) ويحدث هذا التفاعل بمساعدة إنزيم Nucleotide – sugar pyrophosphorylase

Glucose -1- P + UTP ⇌ UDPG + P – P

يوريدين ثلاثي الفوسفات + جلكوز-١- فوسفات ⇌ جلوكوز يوريدين ثنائي الفوسفات + بيروفوسفات

ويتم هذا التفاعل عكسياً وبحرية تامة.



شكل (٣٩): يوضح كيفية تحلل السكروز مائيا بواسطة إنزيم السكريز.

ثالثاً: سكريات الأوليجو Oligosaccharides:

تتكون من تكثيف ٣-١٠ جزيئات من السكريات الأحادية.

مثال: سكر الرافينوز: وهو من سكريات الأوليجو الثلاثية أى يتكون من تكثف ٣ جزيئات من السكريات الاحادية مع نزع جزيئين ماء $Cn\ (H_2O)\ n-2$

$$3\ (C_6H_{12}O_6) - 2H_2O \longrightarrow C_{18}H_{32}O_{16}$$

رابعاً: السكريات العديدة Polysaccharides:

هى جزيئات كبيرة من الكربوهيدرات يتكون كل منها من تكثيف عدد كبير من جزيئات السكر الأحادى والتى ترتبط معا بروابط جلوكوسيدية مع نزع جزىء ماء لكل رابطة مكونة سلاسل طويلة قد تكون مستقيمة أو متفرعة، تختلف السكريات العديدة بعضها عن بعض في:

- طبيعة وحدات السكر الأحادى المكونة لكل منها.
- طول السلسلة.
- درجة تفرع السلسلة.

صفات السكريات العديدة:

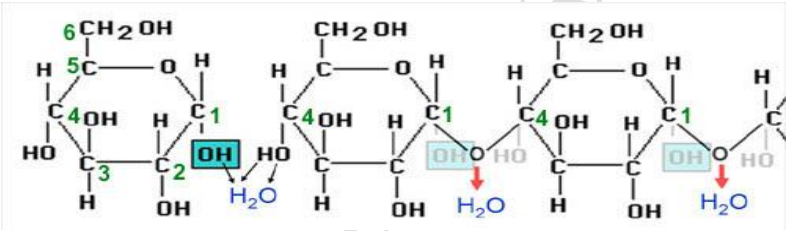
- طعمها غير حلو
- لا تذوب في الماء
- تتحلل بشكل بطيء في الجهاز الهضمي إلى سكريات بسيطة.

Prof. Ahmed Lotfy Nouns

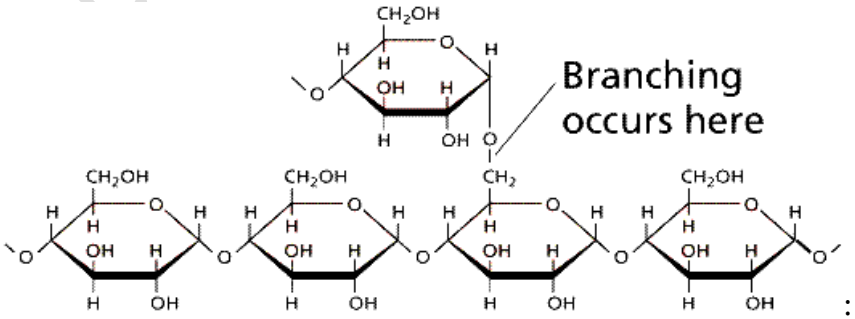
- تمتص ببطء إلى الدم
- تعطينا الإحساس بالشبع لمدة طويلة.
- تسبب المحافظة على مستوى الجلوكوز متزن في الدم لمدة طويلة.
- ذات قيمة غذائية مرتفعة.

١ ـ النشا:

ينتمى النشا إلى مجموعة السكريات المعقدة وصيغته العامة $(C_6\ H_{10}\ O_5)\ n$ حيث n تتراوح بين ٢٠٠٠ إلى ٣٠٠٠ وحدة جلوكوز. يتلون النشا مع الماء اليودى بالأزرق البنفسجى القاتم. والنشا الطبيعي هو عبارة عن خليط من نوعين أحدهما يسمى الأميلوز (١٠-٢٠%) ويوجد هذا النوع في القسم الداخلى للخلية ويتكون من سلسة طويلة غير متفرعة من عدة ألاف من جزيئات الجلوكوز ترتبط مع بعضها البعض عن طريق إتصال ذرة الكربون رقم (١) في الجزىء الأول بذرة الكربون رقم (٤) في الجزىء الذي يليه مع فقد جزىء ماء، وهو قابل للذوبان في الماء.



والأخر يسمى الأميلوبكتين (٨٠-٩٠%) ويوجد هذا النوع في جدار الخلية، ويكون غير قابل للذوبان في الماء. وهو عبارة عن سلسلة متفرعة تتكون من سلسلة رئيسية خطية ترتبط فيها جزيئات الجلوكوز بروابط جلوكوسيدية بين ذرة الكربون رقم (١) فى الجزىء الأول وذرة الكربون رقم (٤) فى الجزىء الذي يليه مع فقد جزىء ماء. وتتكون الرابطة بين السلسلة الرئيسية بالسلاسل الفرعية عن طريق إرتباط ذرة الكربون رقم (١) من السلسلة الفرعية مع ذرة الكربون رقم (٦) من السلسلة الرئيسية كما هو موضح في الصورة التالية:



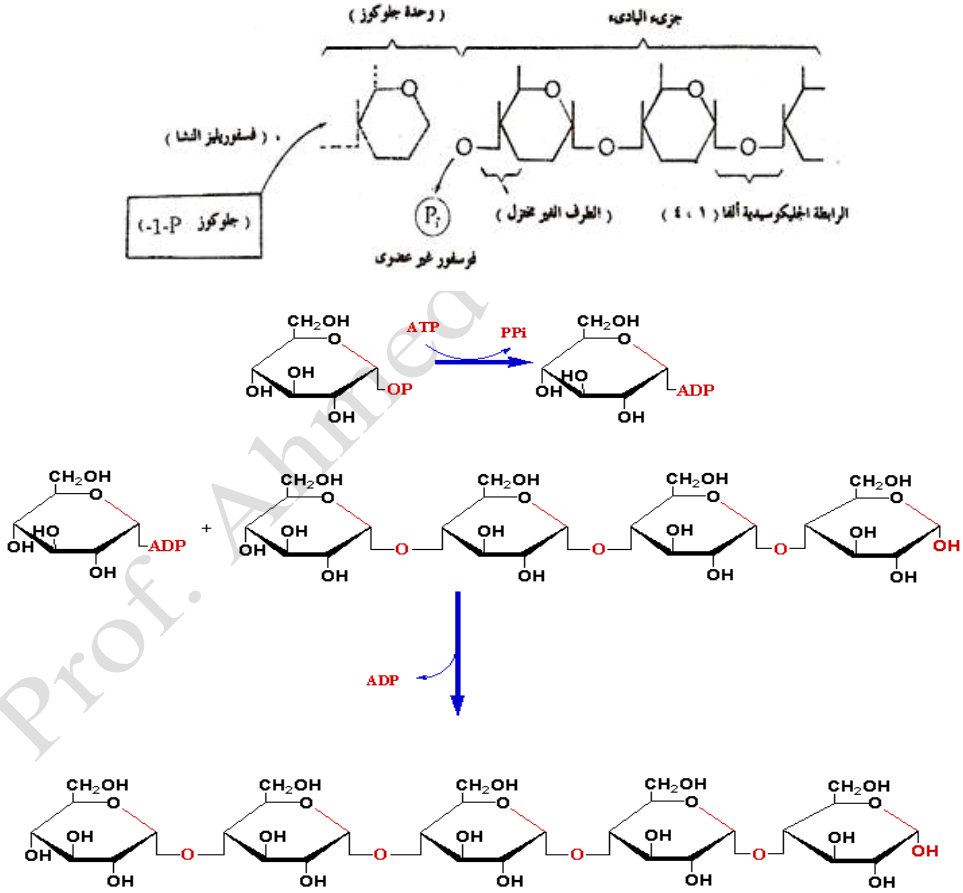
:

Synthesis and Degradation of starch بناء وتحلل النشا

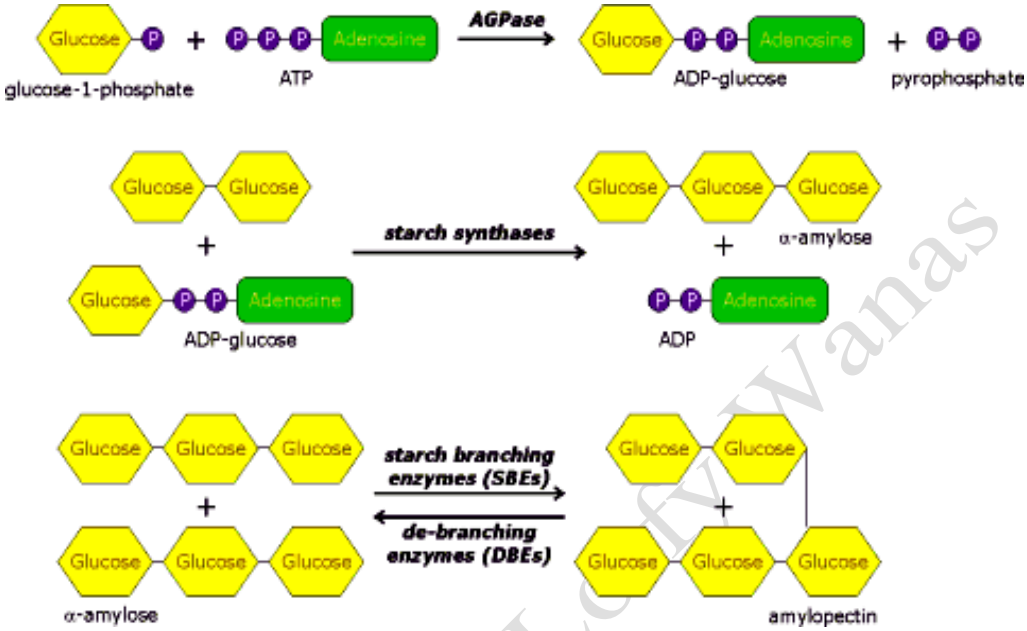
لقد تطورت دراسات أيض النشا تطورًا سريعاً وأمكن التوصل من ذلك إلى استنتاج عام وهو أن بناء النشا يخضع لتنظيم إنزيمات مختلفة نذكر منها ما يلي:

١ـ بناء النشا بواسطة إنزيم فوسفوريليز النشا.

وجد العالم هانز أنه في وجود (سكر الجلوكوز – ١- فوسفات) وإنزيم (فوسفوريليز النشا) يتكون بوليمر (Polymer) من جزيئات الجلوكوز، حيث تضاف وحدات من هذه الجزيئات بالتتابع إلى الطرف الغير مختزل لبادىء أو مستقبل (Acceptor) يتكون من ثلاث وحدات من الجلوكوز على الأقل مكوناً بذلك سلسلة الأميلوز كما في الأشكال التالية :



شكل (٤٠): يوضح طريقة بناء النشا بواسطة إنزيم فوسفوريليز النشا.



شكل (٤١): يوضح طريقة بناء النشا بواسطة إنزيم فوسفوريليز النشا.

٢- بناء النشا بواسطة إنزيم UDPG transglycosylase

وهذا الإنزيم له المقدرة على إضافة الجلوكوز من UDPG إلى جزيء البادئ أو المستقبل ويمكن أن يكون هذا المستقبل هو سكر المالتوز الذى يتكون من وحدتين أو ثلاثة أو أربعة وحدات من الجلوكوز أو حتى جزيء نشا كما توضح المعادلة التالية:

$$\text{UDPG + acceptor} \longrightarrow \text{UDP + (Glucose)}_{n+1}$$

ويتكون جلوكوز يوريدين ثنائي الفوسفات (UDPG) كما في حالة السكروز سابقاً من (الجلكوز -٦- فوسفات) حيث يتحول إلى (جلوكوز -١- فوسفات) بواسطة إنزيم فوسفو جلوكوميوتيز Phosphoglucomutase ثم يتفاعل الجلوكوز -١- فوسفات مع الـ UTP في وجود إنزيم (Nucleotide – sugar pyrophosphorylase) لتكوين (UDPG) أو يتفاعل الجلوكوز -١- فوسفات مع الـ ATP بدلا من الـ UTP لتكوين جلوكوز أدينين ثنائى الفوسفات (ADPG)

تحلل النشا:

يوجد ما لا يقل عن أربعة أنواع من الإنزيمات متعلقة بهدم وتحلل النشا هى:

- ألفا أميليز a- amylase

Prof. Ahmed Lotfy Wanas

- بيتا أميليز ß- amylase
- فوسفوريليز النشا Starch phosphorylase
- إنزيم أر R- enzyme

إنزيم ألفا أميليز وإنزيم بيتا أميليز

يعتبر هذان الإنزيمان ذواتا أهمية في تحليل النشا ولكن لكل من هذين الإنزيمين أسلوبه الخاص في العمل، **فإنزيم ألفا أميليز** يهاجم الرابطة ألفا (١-٤) عند كلا الطرفين أو في وسط الجزىء، واذا هاجم سلسلة متفرعة فإن الإنزيم يحلل جميع الروابط الجلوكوسيدية ألفا (١-٤) حتى الثلاث وحدات جلوكوز الخاصة بالرابطة الجلوكوسيدية (١-٦) أي نقطة التفرع وهي مثلث من ثلاث وحدات جلوكوز.

وهدم سلاسل (الأميلوز) بواسطة هذين الإنزيمين يكون كاملاً تقريباً أما هدم (الأميلوبكتين) المتفرع يكون حوالى النصف (بمعنى أن بعض أجزاء السلاسل يتم هدمها إلى مالتوز والبعض الآخر لا يتم هدمها) وذلك لأن الجسور الواصلة بين الأفرع صعبة الهدم وتعد تفاعلات هذين الإنزيمين غير عكسية لاستحالة تكوين النشا بهذه الطريقة.

وكما ذكرنا سابقاً أن إنزيم (بيتا أميليز) يوجد في البذور فإن إنزيم (ألفا أميليز) يتكون اثناء عملية الإنبات وأول من إكتشف إنزيم الـ amylase هما الباحثان Person and Payen عام ١٨٣٣ وأطلقا عليه اسم (دياستيز).

إنزيم فوسفوريليز النشا Starch phosphorylase

هذا الإنزيم يهدم النشا الموجود في صورة الأميلوز في وجود (حمض الفوسفوريك) وتسمى هذه العملية phosphoralysis بعكس إنزيم amylase الذي يتطلب عمله الماء، أما الأميلوبكتين فيهدم بهذا التفاعل جزئياً. وإنزيم فوسفوريليز النشا موجود في النباتات خاصة درنات البطاطس، كما يعتقد بوجود هذا الإنزيم في البلاستيدات الخضراء للأوراق وخاصة فى الخلايا الحارسة وبهذا قد يكون للإنزيم دور مهم في فتح وغلق الثغور. وقد وجد أن التفاعل الحادث بمساعدة إنزيم starch phosphorylase تفاعل عكسى أي يمكن للإنزيم أيضا أن يحفز تفاعلات بناء النشا إلا أن التجارب الحديثة أظهرت أن تفاعلات تكوين النشا تختلف عن تفاعلات هدمه.

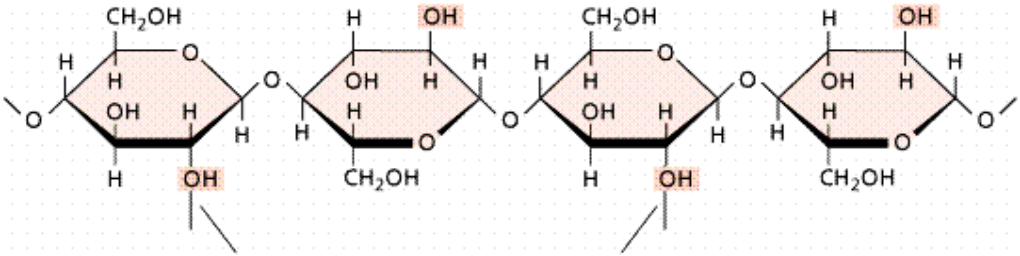
الإنزيم - أر R – enzyme

يظن بأن هذا الإنزيم يستطيع تحليل النشا الموجود على هيئة سلاسل متفرعة (الأميلوبكتين) تحليلاً كاملاً.

Prof. Ahmed Lotfy Wanas

٢ـ السليلوز:

مادة كربوهيدراتية عديدة التسكر تنتج من تكاثف عدد كبير جدا (عدة ألاف) من جزيئات الجلوكوز ترتبط معا بروابط جلوكوسيدية بيتا ١-٤ مكونة سلسلة غير متفرعة، ويدخل السليلوز بصفة أساسية فى تركيب جدر الخلايا فى النبات.



والسليلوز لا يتم هضمه في الجسم بسبب صعوبة تكسير الرابطة بيتا ١-٤ جليكوسيد، ودوره الرئيسى هو إعطاء المواد الغذائية التي تحتوى عليه حجما كبيرا وبذلك يشعر الشخص بالإمتلاء في المعدة والأمعاء وبذلك لا يشعر بالجوع، لهذا فإن هذا النوع يساعد فى علاج السمنة لأنه مثبط للجوع. فى نفس الوقت فإن السليلوز والألياف الغنية به تساعد الجهاز الهضمي حيث يرتبط بالماء وكذلك بالكولسترول وأي مواد أخرى لا يحتاجها الجسم، وبسبب حجمه وإرتباطه بالماء فإنه يسهل حركة الأمعاء وبالتالي يسهل التخلص منه ومن المواد التي يرتبط بها، وبذلك يقي الجسم من إلتهابات الأمعاء وإنتفاخها خاصة القولون.

تحلل السليلوز:

ليست هناك حاجة للقول أن تحلل السليلوز يشكل أحد الملامح الأساسية للبيئة في هذا العالم، وإذا كان تحليل السليلوز غير ممكن فإن البيئة سوف تمتلئ بالنباتات الميتة ولقد أمدنا الله سبحانه وتعالى بأنواع مختلفة من الكائنات الحية التى لها المقدرة على تحليل السليلوز مثل أنواع معينة من البكتريا والفطر وتبعاً للدلائل المتاحة فإن التحليل الإنزيمي للسليلوز يتم عشوائياً على الرابطة الجلوكوسيدية بيتا (١،٤) ويحدث التحلل المائي للسليلوز بعدة إنزيمات كما يلى:

Cellulose $\xrightarrow{\text{Cellulase}}$ Cellodextrines $\xrightarrow{\text{Cellulase}}$ Cellobiose $\xrightarrow{\text{Cellobiase}}$ glucose

Prof. Ahmed Lotfy