القسم ا

# منتجات الأيض الأولي

## I السكريات النباتية

### 1.I تعريف السكريات ودورها

هي عبارة عن مركبات كيماوية عضوية تتكون من عناصر الكربون، الهيدروجين والأكسجين ذات الصيغة العامة $(CH_2O)_n$ ، وهي من بين المركبات الحيوية الأكثر وفرة في النباتات والحيوانات والكائنات الحية الدقيقة، فمعظم الكائنات الحية تعتمد على وجود الكربوهيدرات التي تنتجها النباتات، لأنها تمثل أول نواتج عملية التمثيل الضوئي (photosynthesis) ومنها تتكون المكونات الكيميائية الأخرى. تتجلى أهميتها في كونها مصدر للطاقة في الخلية الحية، تدخل كمكونات هيكلية في جدران الخلايا وتكوين الأحماض النووية ، كما لها دور في تركيب الجزيئات الحيوية الفعالة والمواد الغذائية المختلفة من خلال ارتباطها بمواد أيض أولية أو ثانوية.

### 2.I بناء وهدم السكريات النباتية

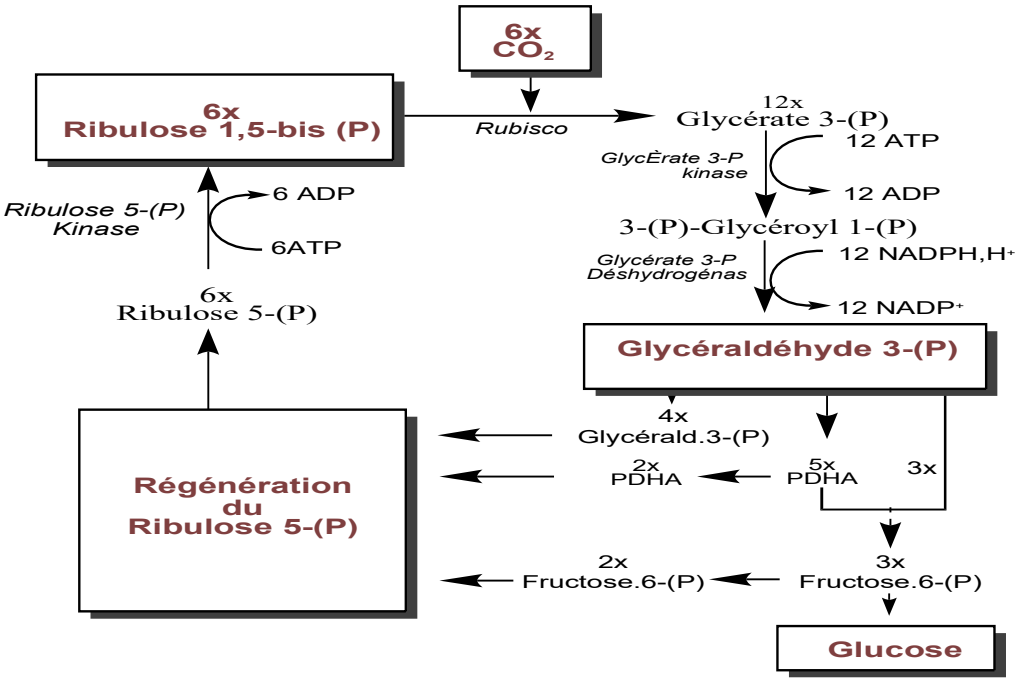
تعتبر المسارات الرئيسية في التخليق الحيوي وهدم السكريات من أهم مسالك الأيض الأولي الذي لا غنى عنه في جميع الكائنات الحية، فالعملية المسؤولة على بناء المواد الأولية والثانوية في الكائنات الحية هي عملية التمثيل الضوئي والتي من خلالها يتم تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية على شكل (ATP) واستعمال هذه الطاقة لإنتاج الكربوهيدرات، هناك تفاعلات لا تحتاج إلى الضوء وتسمى بتفاعلات الظلام ،يتم من خلالها تثبيت جزئ ثاني أكسيد الكربون $CO_2$ وتحويله إلى كربوهيدرات (دورة كالفن) حيث يبن (شكل 1) أهم الخطوات التي يختزل فيها $CO_2$ إلى سكر وتحدث هذه التفاعلات في البلاستيدات أين توجد الإنزيمات اللازمة، يتم فيها استخدام نواتج التفاعلات الضوئية ATP وNADPH وتتمثل هذه العملية في:

- تثبيت جزيئات $CO_2$ بمركب خماسي الكربون يدعى ريبولوز ثنائي الفوسفات (RuBP) وبواسطة

إنزيم Rubisco اختصارا لـ (Ribulose bisphosphate carboxylase) ، تنتج جزيئات من حمض الفوسفوجليسريك (PGA) .

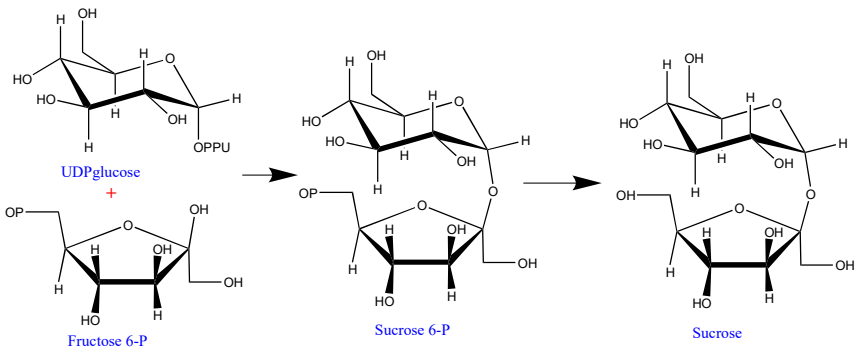
- يختزل PGA بواسطة جزيئات الطاقة الناتجة من تفاعل الضوء إلى سكر جليسر ألدهيد3- فوسفات (G-3P)
- يتحول السكر الألدهيدي G-3P إلى نظيره الكيتوني داي هيدروكسي أسيتون فوسفات (DHAP) تفاعل عكوس
- تتحد جزيئات من السكريات الثلاثية أحدهما ألدهيدي والأخر الكيتوني (DHAP&G-3P) لتكوين جزيء سكر الفركتوز -6- فوسفات والذي يتحول إلى نظيره الجلوكوز وبهذا فان كل حلقة كالفن في التفاعلات اللاضوئية تنتج جزئ جلوكوز وبذلك فهي تستخدم 18 جزيئة من ATP و12 جزيئة من NADPH و6 جزيئات من $CO_2$ وجزيئتين من G-3P وفقا للمعادلة التالية:

$$6CO_2+18ATP+12NADPH,H^+ \longrightarrow Glucose+18ADP+18Pi+12NADP^+$$



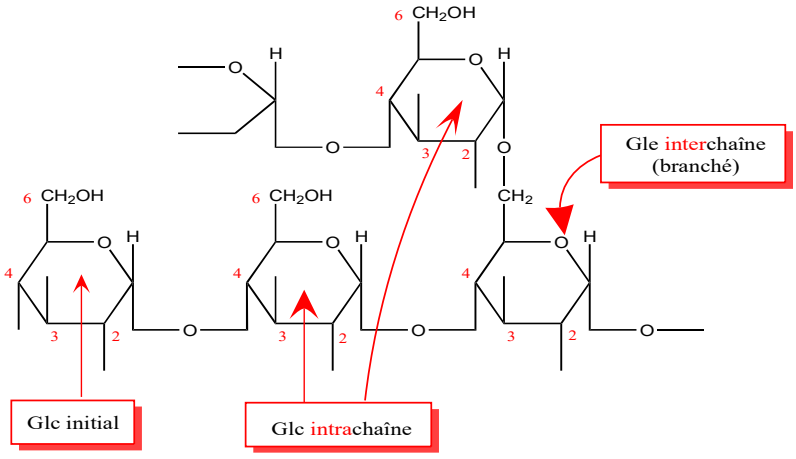

شكل 1: التخليق الحيوي للجلوكوز في البلاستيدات الخضراء

ومن الجلوكوز يصنع النبات ما يحتاجه من أصناف الكربوهيدرات الأخرى، وكذلك العديد من الجزيئات الحيوية الأخرى اللازمة لنموه وتكاثره. باتحاد جزئ الجلوكوز والفركتوز يتكون السكر الثنائي السكروز (شكل 2)



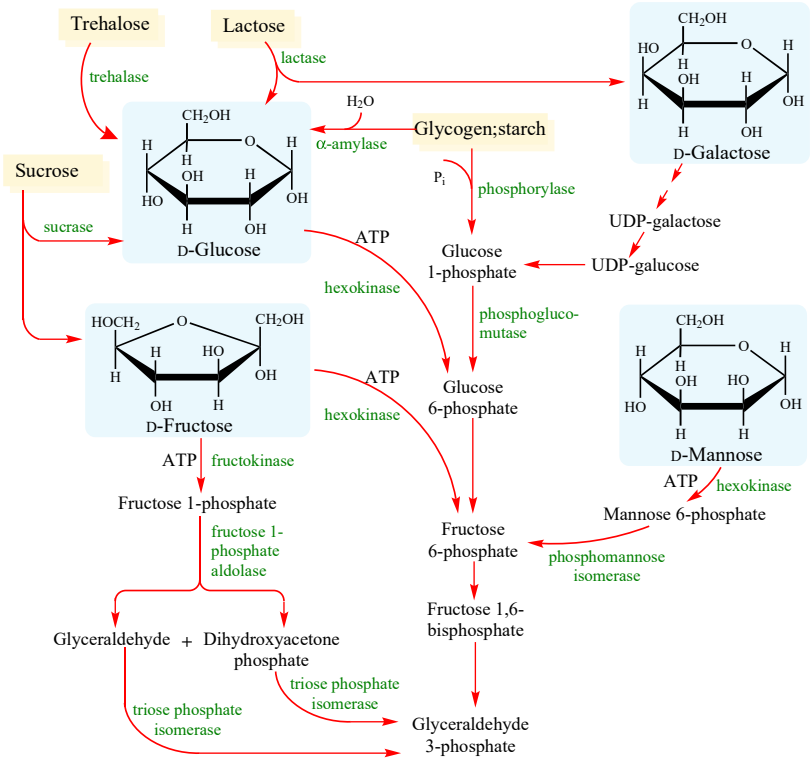

شكل 2: التخليق الحيوي للسكروز

ومن تكاثف جزيئات الجلوكوز تتكون السكريات المعقدة مثل النشاء (شكل 3) وهكذا يتم إنتاج معظم أنواع السكريات المختلفة من الجلوكوز وكذلك بناء مواد عضوية غير كربوهيدراتية.



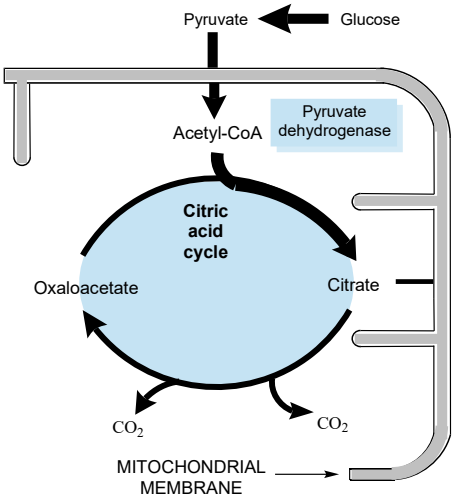

شكل 3: بنية النشاء

أما عملية هدم السكريات تبدأ باحتراق وتحلل السكريات المتعددة مثل النشاء أو السكريات الثنائية مثل السكروز واللاكتوز إلى وحدات بسيطة من الجلوكوز والفركتوز (شكل 4)




شكل 4: الخطوات التمهيدية لتحلل السكريات المتعددة ،الثنائية والأحادية

ومن خلال عملية التحلل السكري (glycolyse) يتحول الجلوكوز إلى حمض البيروفيك وبنزع مجموعة الكربوكسيل ، يتحول حمض البيروفيك إلى آستيل مرافق إنزيم A ثم يدخل هذا الأخير إلى دورة كريبس متحدا مع الأكزالواسيتيك ويمر بسلسلة من التفاعلات إلى أن يتم تحرير جزيئتين من $CO_2$ حسب خطوات المبينة في (شكل 5)



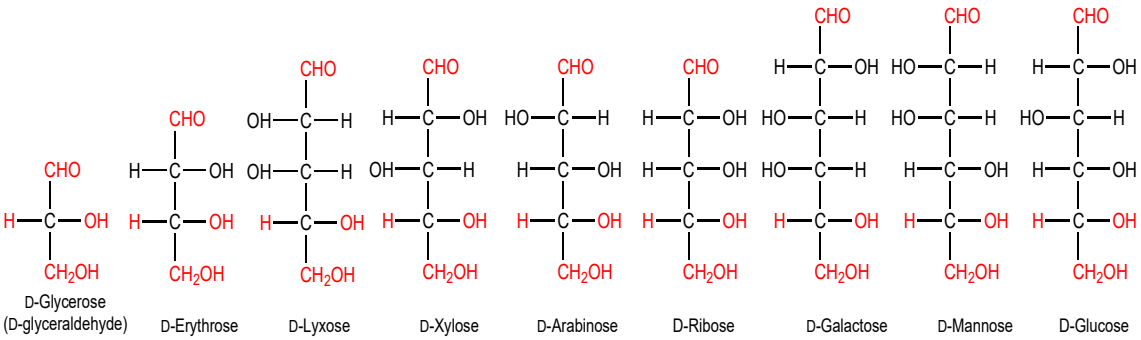

شكل 5: شكل يوضح الهدم النهائي لجزيء الجلوكوز

**ومن خلال عمليتي بناء وهدم الجلوكوز تتكون كل المركبات الحيوية الفعالة عند حقيقيات النواة**

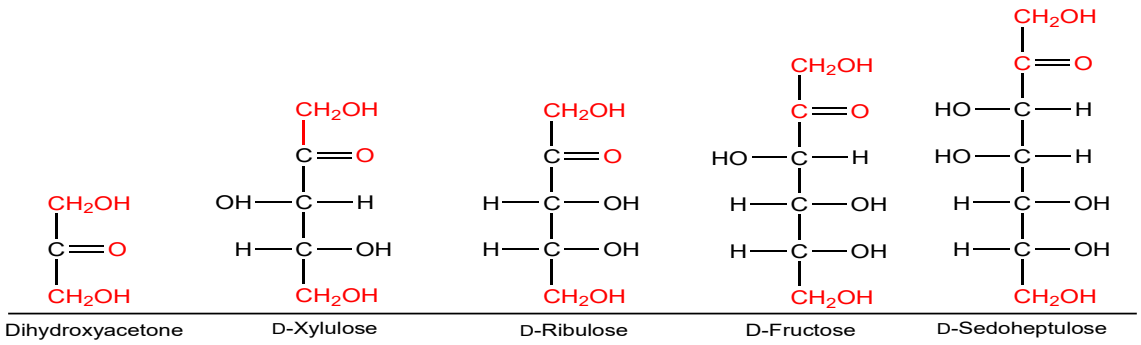
# 3.I بنية السكريات وطرق تصنيفها

## 1.3.I تصنيف السكريات حسب المجموعة الوظيفة

كيماويا تصنف هذه المجموعة إلى **سكريات ألديهيدية** ذات المجموعة الوظيفية CHO مثل سكر الجلوكوز و**سكريات كيتونية** ذات المجموعة الوظيفية C=O مثل سكر الفركتوز




شكل 6: أمثلة عن سكريات أحادية ألديهيدية ذات الأهمية الفسيولوجية




شكل 7: أمثلة عن سكريات أحادية كيتونية ذات الأهمية الفسيولوجية

## 2.3.I تصنيف السكريات حسب عدد ذرات الكربون

### 1.2.3.I سكريات أحادية تشمل على:

- أحادية التسكر محتوية على ثلاث ذرات كربون وهي نادرة الوجود في الطبيعة بصورة حرة

- أحادية التسكر مكونة من أربع ذرات كربون مثل: Erythrose
- أحادية التسكر مكونة من خمسة ذرات كربون مثل: Xylose ، Ribose وArabinose
- أحادية التسكر مكونة من ست ذرات كربون وهي أكثر تواجدا في الطبيعة مثل Glucosee، Galactose ، Mannose ، Rhamnose و Fructose
- أحادية التسكر مكونة من سبعة ذرات كربون مثل Heptulose

**2.2.3.I سكريات ثنائية** تحتوي هذه المجموعة على 12 ذرة كربون منها :

- سكر الحليب (Lactose) ، سكر القصب (Sucrose) وسكر الشعير (Maltose)

**3.2.3.I سكريات متعددة** منها:

- عديدات التسكر ذات السلسلة القصيرة (Oligosaccharide) تتكون من 3-10 جزيئات من السكريات الأحادية.
- عديدات التسكر المتجانسة (Homopolysaccheride) وتتكون من نفس النوع من السكريات الأحادية مثل : السليلوز مكون من الجلوكوز وInulin مكون من الفركتوز.
- عديدة التسكر غير متجانسة (Hetero polysaccheride ) وتتكون من أنواع مختلفة من السكريات الأحادية مثل الصموغ.

### 3.3.I تصنيف السكريات حسب وظيفتها

تنقسم السكريات حسب وظيفتها إلى أربع مجموعات:

**1.3.3.I سكريات الميتابوليزم الوسطي**

هي السكريات التي لا يمكن أن تتحلل إلى وحدات أصغر بواسطة التحلل المائي وتسمى بالسكريات البسيطة وتتكون من 3-7 ذرات كربون (شكل 6 وشكل 7)، وهذا النوع من السكريات يدخل في جميع التفاعلات الحيوية كدورة **كريبس** ودورة **كالفن** ودورة **الجلكزة**، تتواجد في الطبيعة بصورة مفسفرة كما لهما أهمية في تكوين الأحماض النووية، وتتميز هذه السكريات بالفعالية

الضوئية ماعدا Dihydroxyacetone ، حيث يعد جليسر ألديهيد (glyceraldehyde) من أبسط أنواع السكريات الأحادية الثلاثية الآلدوزية ذو الصيغة العامة ($C_3H_6O_3$) والذي يحتوي على ذرة كربون واحدة فقط غير متماثلة ويعتبر مركبا قياسيا فهو يوجد على شكلين، شكل واحد من نوع D والشكل الآخر من نوع L هذا المركب له أهمية حيوية في عملية البناء الضوئي والتنفس.

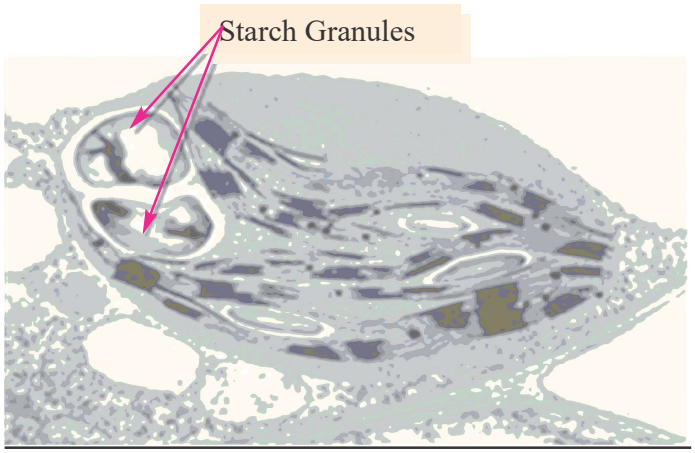
### 2.3.3.I سكريات النقل

- **سكر السكروز:** يصنف أساسا ضمن سكريات النقل يتواجد في أنابيب النقل (اللحاء) سواء في الأشجار أوفي النباتات عشبية، ويدعى بسكر القصب، ينتمي إلى مجموعة الكربوهيدرات المعروفة بالسكريات الثنائية صيغته الكيميائية ($C_{12}H_{22}O_{11}$)، يتكون من اتحاد سكر الجلوكوز والفركتوز (شكل 2)، ومن خصائصه أنه من السكريات غير المرجعة، قابل للذوبان في الماء وقليل الذوبان في الكحول والإيثير، يدور الضوء المستقطب نحو اليمين، يستعمل السكروز كغذاء، كما يستعمل في الصناعات الصيدلانية كمسهل وملين وحافظ لبعض المستحضرات ، فهو يستخلص بصورة رئيسية من قصب السكر والشمندر السكّري والفاكهة.

- **Trehalose** $\alpha,\alpha$ : يتواجد هذا النوع من السكريات في النبات، الفطريات والحشرات حيث يشكل 20% من وزن هذه الكائنات ويمثل سكر النقل في اللمف الدموي عند الحشرات ينتج من تكاثف جزيئتين من الجلوكوز.
$(\alpha - D - glucopyranosyl - (1 \leftrightarrow 1) - \alpha - D - glucopyranosyl)$.

### 3.3.3.I سكريات التخزين

السكريات المركبة التخزينية هي مخزن لمواد بناء أو مخزن طاقة، وتوجد على مستوى أعضاء خاصة في النبات تسمى بأعضاء التخزين مثل البذور، الثمار ،الجذور، الدرنات والريزومات بشكل حبيبات (granules) كما هو موضح في(شكل 8)




شكل 8: صورة ميكروسكوبية لحبيبات النشاء مخزنة في الخلايا النباتية

و تقسم سكريات التخزين إلى:

- **سكريات** Oligosaccharide : عبارة عن سكريات معقدة حيث يقدر عدد السكريات البسيطة الداخلة في تركيبها من ثلاث إلى ثمانية وحدات ومن خصائصها أنها تذوب في الماء والكحولات المخففة، الاستهلاك المفرط لهذا النوع من السكريات يؤدي إلى إنتفاخ في البطن، غازات وإسهال ومن بينها:

  - Melitose : ويسمى أيضا بـ Raffinose ، ويتكون من 3 سكريات: سكر الجلاكتوز، الجلوكوز والفركتوز مرتبطة على النحو التالي: **Gal (1→6) Glc (1→2) Fru** ، يتواجد بكثرة في الحبوب ، بذور القطن، العسل الأسود، بنجر السكري والملفوف ، وهو من السكريات غير القابلة للاختزال، لذلك لا يخضع لتفاعل Maillard browning

  - Stachyose : يتكون من4 جزيئات سكرية منها جزيئتين جلاكتوز، جزيئة الجلوكوز وجزيئة الفركتوز مرتبطة على النحو التالي: **Gal (1→6) Gal (1→6) Glc (1→2) Fru** وجد هذا النوع في البازلاء *(Phaseolus vulgaris)*

- **السكريات المتعددة**: تخزن الكائنات الحية السكريات المتعددة كغذاء مخزون لوقت الحاجة في جميع أنواع الخلايا وتعتبر الخلايا البرانشيمية والجذور والدرنات والنخاع أهم أعضاء النباتات التي تخزن هذا النوع من السكريات مثل النشاء (Amidon) والفريكتان (Fructans).

  - **النشاء:** يخزن النشاء عادة في البذور والحبوب تصل نسبته 70% أما نسبة تواجده في الفواكه والدرنات والجذور تصل 20% ، إن النشاء المستخلص من المصادر الطبيعية المختلفة يتركب من مركبين أساسيين هما:

    * **الأميلوز:** يمثل (15-25٪) من مكونات النشاء، وحدات الجلوكوز مرتبطة بروابط $\alpha$(1-4)
    * الأميلوبكتين يمثل (75-85٪) من وزن النشاء، وحدات الجلوكوز مرتبطة مع بعضها بروابط $\alpha$(1-4) وروابط $\alpha$(1-6)

  - Fructans: هو من الكربوهيدرات الهامة والواسعة النطاق التي يمكن العثور عليها في النباتات والفطريات والطحالب والبكتيريا. ويعتبر من سكريات التخزين السائدة في عدة عائلات من المملكة النباتية، هو بوليمر من جزيئات الفركتوز، يكون بشكل خطي أو متشعب إذا كان عدد وحدات الفريكتوز تتراوح من 2 إلى 10 تدعى بـ oligofructose،

أما إذا كان عدد الوحدات أكبر من 10 فيدعى بـالانولين inulins والوحدة الأولى له عبارة عن سكروز وهو قابل للذوبان في الماء وجد في درنات وجذور نبات dahlias، الخرشوف وجذور الهندباء

### 4.3.3.I سكريات الجدر

يتكون جدار الخلية النباتية أساسا من السليلوز والبكتين والهيميسليلوز واللجنين

- **البكتين:** هي مواد كربوهيدراتية ذات وزن جزيئي مرتفع ، تحتوي على كمية كبيرة من حمض جلاكتورونيك (Galactouronic Acid)، ترتبط بروابط ($\alpha$-1,4-glycosidic) وتعد الثمار من الأجزاء النباتية الغنية بالمواد البكتينية ، من خصائصه أنه يذوب في الماء في درجة الحرارة العالية، ويكون محلول غروي

**استعمالاته:** يستخدم في مستحضرات المضادة للاسهال لأنه يمتص البكتيريا ومن الاسماء التجارية التي تحتوي على البكتين نجد Kaopectate .

**طريقة استخلاصه:** يسخن ثمار التفاح أو الليمون مع حامض مخفف وذلك لتحويل الشكل عديم الذوبانية المسمى بـ Proto pectine إلى بكتين ثم يرشح ويضاف إلى الراشح كمية من الكحول فيترسب ويغسل الراسب ويجفف كمسحوق.

- **السليلوز:** هو دعامة النبات يشكل تقريبا 60 بالمائة من جدار الخلية، ينتمي إلى السكريات المعقدة والمتجانسة ، تستطيع النباتات بناءه ولكن لا تستطيع تفكيكه يتكون السليلوز من سلاسل خطية ناتجة من تكاثف وحدات ($\beta$-D glucose) تتصل هذه الوحدات بروابط ($\beta$-1,4-glycosidic) ، حيث يعتبر cellobiose الوحدة الأولية لتكوينه ، ويعطي السليلوز التركيب العام $(C_6H_{10}O_5)_n$ لا يتم هضم السليلوز في جسم الانسان، ويحتاج هضمه توفر إنزيم cellulase الموجود في أمعاء المجترات الذي يعمل على تحليل الروابط ($\beta$-glucoside).

- **الهيميسليلوز:** هو من السكريات المتعددة غير المتجانسة عند تحللها تعطي سكريات من نوع البنتوز والهيكسوز لذلك يمكن القول بأن الهيميسليلوز هو بوليمر من السكريات الخماسية مثل (xylose, arabinose) والسداسية مثل (glucose, mannose, glucuronic acid, rhamnose, galacturonic acid)

يمكن تقسيم الهيميسليلوز إلى أربع مجموعات (Xylanes, Glucomannanes, xyloglucanes, Galactosanes) موضحة في (جدول 1).

جدول 1: المركبات المشكلة للهيميسليلوز

| السكريات | Xylanes (Glucuronoxylanes | Glucomannan et mannanes | xyloglucanes | Galactosanes |
|---|---|---|---|---|
| نوع السلسلة التركيبية | سلسلة خطية مع وجود تفرعات قليلة | سلاسل خطية | سلسلة خطية | سلسلة متشعبة |
| المركبات | يتكون من اتحاد جزيئات Xylose عن طريق روابط ($\beta$-1,4) مع تفرعات صغيرة على ذرتي الكاربون 2 و3 من حمض الجلوكورونيك وارابينوز | تتكون من mannanes اتحاد جزيئات المانوز ($\beta$-1,4) في الحين glucomannanes يتشكل من اتحاد الجلوكوز والمانوز بروابط ($\beta$-1,4) | تتكون اساسا من الجلوكوز مع وجود تفرعات صغيرة من xylose، galactose وfrucose | يتكون المحور الاساسي من اتحاد جزيئات الجلاكتوز بروابط ($\beta$-1,6) مع تفرعات من نوع ($\beta$-1,6) من وحدات Arabinose وrhamnose |

يلعب الهيميسليلوز دورا هاما في ربط ألياف السليلوز بعضها ببعض بجانب اللجنين ، ومن خواصه أنه يذوب في الماء المغلي والمحاليل القلوية المخففة.

## 4.I الصموغ والمواد المخاطية Gums-Mcillage

هي عبارة عن عديدات السكر غير المتجانسة ، محبة للماء فهي تشكل محاليل غروية ،و لهذا السبب تستخدم كعامل معلق وعامل مستحلب.

### 1.4.I الصموغ

تتكون في النباتات نتيجة لتحطيم الجدر الخلوية السليلوزية أو البكتينية لسبب داخلي (فزيولوجي) أو خارجي (مرضي) والاصماغ تتكون أساسا من سلاسل D-glucuronic acid مرتبطة مع سكريات

من نوع: arabinose, galactopyranose, rhamnose ، ومن خصائصها أنها لا تذوب في الكحول والمذيبات العضوية الأخرى ولا تتخمر وهذا ما يميزها عن جميع السكريات. ومن فوائدها أنها تستخدم في كثير من الصناعات خاصة الغذائية، كما تستخدم كمثبت للعطور وفي صناعة الأدوية المضادة لقيء ومن أهم الاصماغ التجارية نجد **الصمغ العربي** المستخرج من جنس Acacia التابع للعائلة الباقولية.

### 2.4.I المواد المخاطية

عبارة عن مواد كربوهيدراتية صلبة غير متبلورة، وتعتبر بمثابة مواد غذائية احتياطية في النبات تمتص الماء بشراهة وتحافظ عليه فهي تقي النباتات الصحراوية من الجفاف ونميز ثلاث أقسام من هذه المجموعة تختلف في صفاتها الكيميائية والطبيعية منها:

- **المواد المخاطية البحرية:** وهي عبارة عن أسترات كبريتية للسكريات المتعددة، تنتفخ في الماء مكونة محاليل غروية ومن أمثلتها الآجار المستخرج من الطحالب الحمراء (Rhodophyceae) يستخدم في الصيدلة كملين.
- **المواد المخاطية المتعادلة:** وهي مركبات تكون رابطة جلوكوسيدية مع سكر المانوز وتسمى بـ D- mannans وتتحد أيضا مع الجلاكتوز وتسمى بـ D-galactans ، كما تمتاز بارتباطها مع أملاح النحاس وتعطي مركبات معقدة.
- **المواد المخاطية المرتبطة مع حمض الجلاكتورونيك:** نجد هذا النوع في بذور الخردل والكتان. وهذه المواد تتحلل بالأحماض والإنزيمات معطية سكريات من نوع الجلاكتوز والزيلوز.