الفصل الثاني

الكربوهيدرات في الأغـذية

Carbohydrates in Food

للدكتور غسان حماده الخياط

يتحد ثاني أوكسيد الكربون والماء معاً في أوراق النباتات لتكويـن السكر المعروف بالغلوكـوز Glucose ، وتسمى هـذه العمليـة التمثيل الضـوئي Photosynthesis ، وتحتاج هذه العملية إلى عامل مساعد هو صبغة الكلوروفيل Chlorophyll ، بالاضافة إلى الطاقة وتحصل عليها من الضوء • ثم تتحد بعـد ذلك جزيئات عديدة من الغلوكوز لتكون مركب السيليلوز Cellulose الذي يدخل في تركيب جدر الكثير من الخلايا النباتية ، أو يمكن لجزيئات الغلوكوز هـذه أن تتحد بطريقة أخرى مكونـة مركب النشـاء starch وهذا يخزن في البذور ثم يستعمل بعد ذلك كغذاء لنبات جديد •

وعندما يتغذى الحيوان على النشاء (أو السيللوز في بعض الحيوانات ، فإنه يتهدم إلى جزيئات من الغلوكوز ثم ينتقل بوساطة تيار الدم إلى الكبد لكي يتحـد مرة أخرى مكوناً مركب الغليكوجين Glycogen أو مايسمى النشاء الحيواني)• وعند الحاجة فإن الغليكوجين المخزن في الكبد يتكسر مرة أخرى إلى وحدات مـن الغلوكوز ثم يحمله تيار الدم إلى الأنسجة المختلفة حيث يتأكسد إلى ثاني أوكسيد الكربون والماء والطاقة ــ (وهي الطاقة التي حصل عليها النبات في بدايـة هـذه المرحـلة) • كمـا تتحـول بعض وحـدات الغلوكوز إلـى دهـن (FAT) أو يتحد بعضها مع مركبات تحوي النتروجين لتكون حموضاً أمينية ، وهذه بدورها تكون جزيئات البروتين التي تشكل معظم جسم الحيوان •

فالغلوكوز ، والسيليلوز والنشاء والغليكوجين تنتمي إلى مجموعة واحدة من المركبات العضوية تعرف باسم الكربوهيدرات Carbohydrates . وهي مركبات ذات أهمية كبيرة من الناحية الغذائية وواسعة الانتشار في كل من المملكة النباتية والحيوانية . وتعد من أكثر المركبات انتشاراً في الكائنات الحية ، فتبلغ نسبتها نحو ٧٥٪ من الوزن الجاف في النباتات ، كما توجد أيضاً في عصارات النباتات وإفرازاتها وفي الأنسجة المختلفة النباتية والحيوانية،وتعتمد عليها الكثير من الكائنات الحية في الحصول على الطاقة اللازمة كما أنها مواد بناء الكثير من الأنسجة الحيوانية والنباتية . وبالإضافة إلى حاجة الانسان والحيوان الأساسية لها فإنها تعد من المواد الرئيسة في كثير من الصناعات الغذائية وغير الغذائية مثل النشاء وعسل الغلوكوز (القطر) وصناعة المنسوجات القطنية والتخمر والورق وإنتاج الحرير الصناعي والخشب والمواد اللاصقة ... وغيرها .

تتكون الكربوهيدرات أساساً من عناصر الكربون والهيدروجين والأوكسجين وصيغتها العامة هي $(CH_2O)_x$ أو $C_x(H_2O)_x$ وبذلك نجد أن الهيدروجين والأوكسجين يوجدان بنسبة وجودهما في الماء ولذلك سميت هيدرات الكربون . إلا أن هذا التعريف غير صحيح ، نظراً لوجود بعض الكربوهيدرات التي لا تنطبق عليها هذه الصيغة العامة مثل سكر الرامنوز $C_6H_{12}O_5$ بالاضافة الى أن ذرات الهيدروجين والأوكسجين لا توجد في صورة ماء ولكنها ترتبط مع ذرات الكربون، أي تدخل في التركيب البنائي للكربوهيدرات بالاضافة الى أن هناك بعض المركبات العضوية مماثلة في صيغتها العامة للكربوهيدرات مثل الفورمالدهيد CH_2O وحمض الخل CH_3COOH وحمض اللبن $C_3H_6O_3$ والهيدروكسي بيوتيريك $C_4H_8O_4$ ، ومن حيث التركيب الجزيئي ، فالسكريات البسيطة (الأحادية) هي الدهيدات أوكيتونات عديدة الهيدروكسيل أما متعددات السكر (ثنائي ، ثلاثي ، عديد) فهي مواد تكونت من اتحاد وحدتين أو أكثر من السكريات الأحادية مع فقد الماء .

وتقسم الكربوهيدرات من حيث قابليتها للحلماة الى :

١ــ سكريات أحادية Mono saccharides .

٢ــ سكريات أحادية مشتقة Drived mono saccharides .

٣ــ سكريات الأوليغو « ثنائية وثلاثية » Oligo saccharides (Di and Tri) .

٤ــ سكريات عديدة Poly saccharides .

وعموماً فإن جميع السكريات ما عدا العديدة تذوب في الماء ولهـا طعم حلو المذاق ولذلك سميت السكريات ، ولا تتحلمأ السكريات الأحاديـة أما الثنائيـة والعديدة فهي قابلة للحمأة .

وعادة تقسم السكريات الأحادية تبعاً لعدد ذرات الكربون بها . وكذلك تبعاً لاحتوائها على مجموعة الدهيد أو كيتون ومن هذه الأقسام :

تتروز	Tetrose	$C_4 H_8 O_4$	كيتوتتروز أو الدوتتروز
بنتوز	Pentose	$C_5 H_{10} O_5$	كيتوبنتوز أو الدوبنتوز
هكسوز	Hexose	$C_6 H_{12} O_6$	كيتوهكسوز أو الدوكسوز
هبتوز	Heptose	$C_7 H_{14} O_7$	كيتوهبتوز أو الدوهبتوز

ويعد الغليسرالدهيد وثنائي هيدروكسي الأسيتون من أصغر المركبات التـي تدخل تحت اسم السكريات الأحادية ومن أهم خواص هذه المجموعة :

آ ــ وجود سلسلة كربونية غير متشعبة .

ب ــ كل ذرات الكربون متحدة مع مجموعات هيدروكسيل ماعدا واحدة.

جـ ــ هناك ذرة كربون واحدة متحدة مع مجموعة كربونيل .

د ــ إذا كانت مجموعة الكربونيل على ذرة الكربون النهائية تسمى الدوزات أو على ذرة كربون وسطية فتسمى كيتوزات .

ولكي نلم بتركيب السكريات الأحادية والتوزيع الفراغي لها لا بد أن نتذكر باختصار النشـاط الضـوئي optical activity أو قـوة التحويـل الضـوئي optical rotary power وهي القدرة على تغيير مسار الضوء المستقطب أو تحويله لدى مروره بمحلول لهذه السكريات ويمكن التعبير عنها بالمعادلة :

$$(\alpha)_D^{20} = \frac{100 \times A}{C \times L}$$

حيث أن :

- α = التحويل الضوئي النوعي · Specific rotation
- A = التحويل بالدرجات · Rotation in degrees (I)
- C = التركيز غ/مل · Concentration
- L = أنبوبة القياس وطولها قياس بالديسميتر · Lingth in Decimeter

وتقاس قوة التحويل الضوئي أو التحويل الضوئي النـوعي (أو الـدوران الضوئي) بوساطة الضوء المستقطب للصوديوم على درجـة (٢٠° م) • وحتـى يكون للمركب نشاط ضوئي يجب أن يحتـوي عـلى ذرة أو أكثر غـير متناظرة (متناسقة) ويقصد بعدم التناظر أن تتصل تكافؤاتها الأربعـة (في حالة الكربون) بأربع ذرات أو مجموعات مختلفة •

وعـدد المماكبات أو المشابهات الضوئية يمكـن أن يحسب مـن المعادلات التاليـة :

١ـ في المركبات التي يختلف فيها طرفا الجزيء عـدد المماكبات $= 2^n$ (حيث n عدد الذرات غير المتناظرة في الجزيء) •

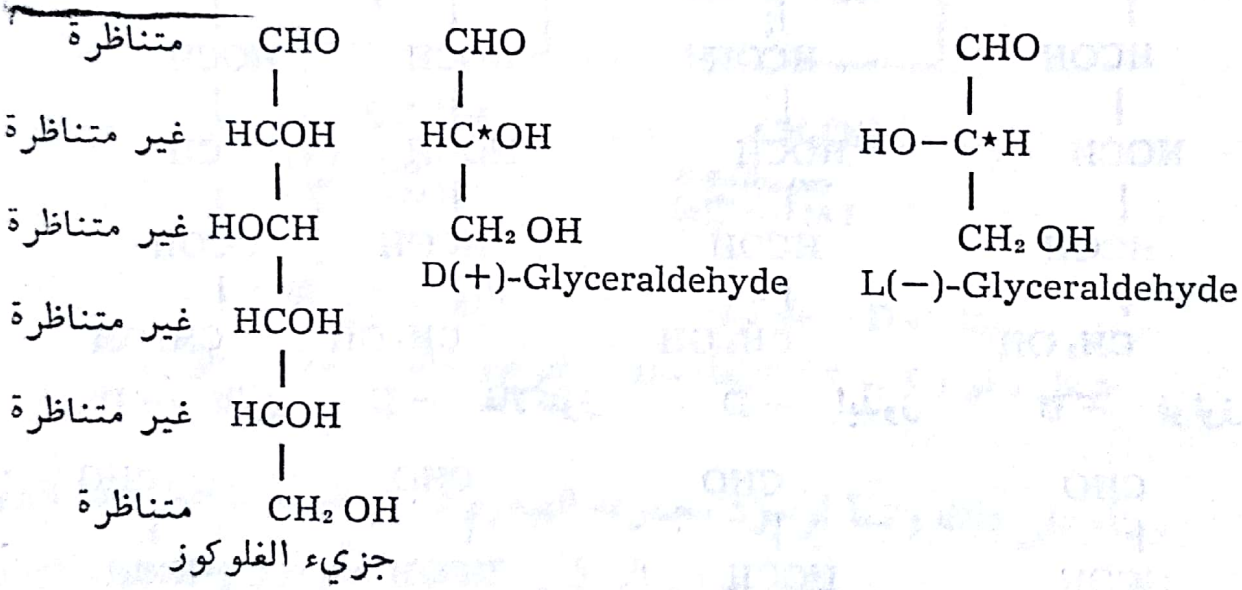
٢ـ في المركبات التي يتماثل فيها طرفا الجزيء :

آ ـ إذا كان عدد الذرات غير المتناظرة فردياً $= 2^{n-1}$

ب ــ إذا كان عدد الــذرات غــير المتناظرة زوجياً $= 1 + 2^{n/2}$

أو $2^{(n/2)-1}$

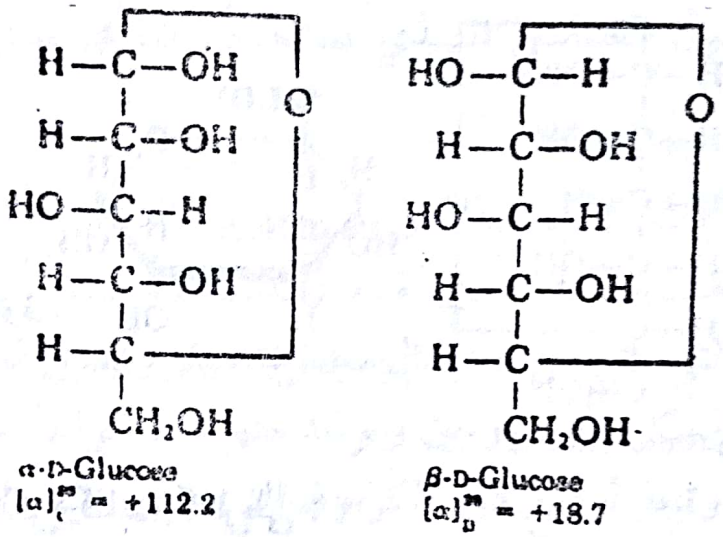
وعادة يعبر عن تحويل الضوء المستقطب بالعلامة (+) أو (d) إذا كــان اتجاه تحويل الضوء المستقطب إلى اليمــين (ميمن) وبالعلامــة (−) أو (L) إذا كان اتجاه تحويل الضوء إلى اليسار • أما المخلوط المتساوي من الاثنين فإنــه لا يحول الضوء، أما التوزيع الفراغي فيعبر عنه بالحروف D ; L وهذه تتوقف على أبعد ذرة كربون غير متناظرة عن مجموعة الالدهيد أو الكيتــون وهــي ذرة الكربون رقم(٥) في السكريات السداسية (مجموعة الغليسرالدهيد) وسوف نذكر هنا الغلوكوز كمثال للمشابهات (المماكبات) الضوئية •



شكل رقم (٢ ــ ١) يبين ذرات الكربون غير المتناظرة في جزيء الفليسرالدهيد و D غلوكوز

وبذلك نجد أن الغلوكوز يحتوي على أربع ذرات كربون غير متناظرة وبالتالي يكون عدد المشابهات (المماكبات) ١٦ مشابهاً ضوئياً وفي الواقع هي ٨ سكريــات سداسية وكل منها له مشابه ضوئي هو صورة مرآة للآخر ويمكن كتابتها بطريقــة فيشر كما يلي :

كما وجد أن السكريات الأحادية لا تعطي بعض التفاعلات الخاصة بمجموعات الألدهيدات أو الكيتونات الحرة بالإضافة إلى تغير النشاط الضوئي للمحاليل السكرية مما يدل على وجود السكريات في تركيب حلقي ناتج عن اتحاد مجموعة الالدهيد أو الكيتون مع مجموعة هيدروكسيل في الجزيء نفسه ليكون نصف اسيتال Hemiacital ونتيجة لذلك يتكون مشابهان (مماكبان) ضوئيان هما (α و β) كما في الغلوكوز •

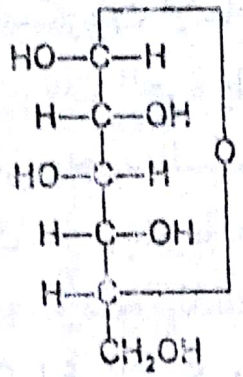


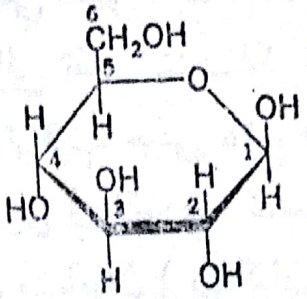
بيتا - D - غلوكوز الفا - D - غلوكوز

شكل رقم (٢ ــ ٣) للالفا - D - غلوكوز والبيتا - D - غلوكوز

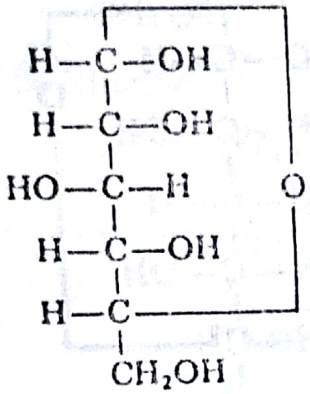
وبناء على ذلك وتبعاً لوجود مجموعة الهيدروكسيل على ذرة الكربون الأولى يسمى الجزيء α ; β وبذلك فإن التركيب الحلقي للغلوكوز يحتوي على خمس ذرات كربون غير متناظرة فيتكون نتيجة لذلك ٣٢ مشابهاً ضوئياً • وتبعاً لطريقة هاورث يمكن كتابة التركيب الحلقي كالتالي شكل (٢ــ٤) •

١ ــ السكريات الأحادية : ومن نواحي التصنيع الغذائي يعد سكر الغلوكوز والفركتوز من أهم السكريات الأحادية أما من السكريات الثنائية فإن السكروز يعد أهمها • هذه المركبات مسؤولة عن إعطاء الطعم الحلو للمواد الغذائية •

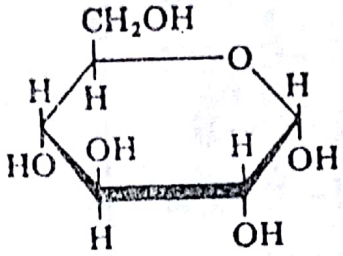




β-D-Glucose

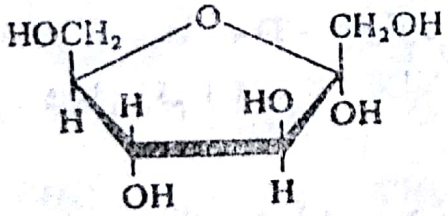


α-D-Glucopyranose

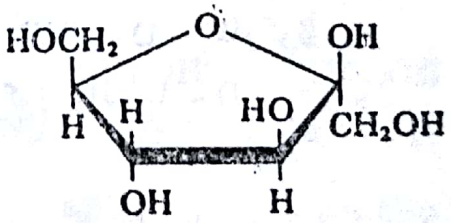


D - α غلوكوبيرانوز

والفركتوز يمكن كتابته كما يلي :



α-D-Fructofuranose



β-D-Fructofuranose

بيتا -D (—) فركتوفورانوز الفا -D (—) فراكتوفورانوز

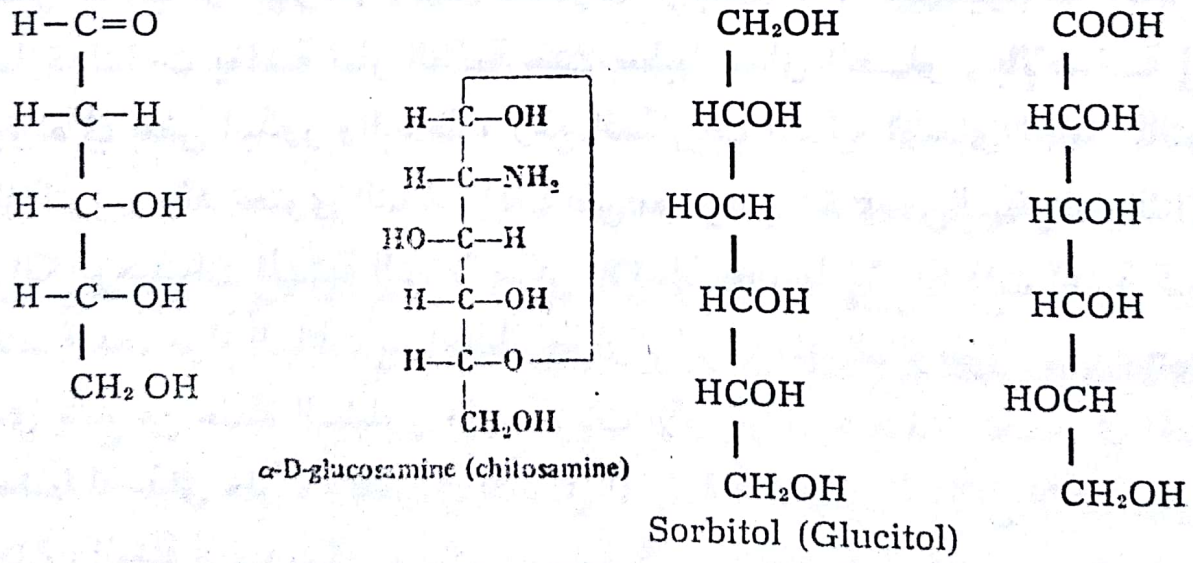
شكل رقم (٢ — ٤) يبين كتابة الغلوكوز والفركتوز بطريقة هاورث

٢ — السكريات الأحادية المشتقة Derived mono saccharioles :

وهذه تشمل مجموعة من المركبات تشبه السكريات الأحادية الوارد ذكرها إلا أنها تختلف عنها اختلافاً بسيطاً في مجموعة الالدهيد أو الكيتون. من أهم هذه المركبات الحموض الكربوكسيلية وهذه تنتج بأكسدة مجموعة الألدهيد إلى مجموعة

كربوكسيل مثل حمض الغلوكونك ، كما أن إرجاع مجموعات الالدهيد أو الكيتون يؤدي إلى تكوين الكحولات العديدة مثل السوربيتول وتوجد الكحولات السكرية في بعض الفواكه كما أنها تنتج صناعياً كمواد غذائية وذلك عن طريق إرجاع السكر باستخدام مملغم الصوديوم وهيدروكسيد الألمنيوم والليثيوم أو عن طريق اضافة الهيدروجين بوساطة بعض العوامل المساعدة والناتج النهائي له درجة حلاوة تعادل السكر إلا أنه يمتص ببطء في الجسم لذلك يستخدم كمادة محلية في أغذية مرضى السكري فإرجاع الغلوكوز مثلاً يعطي السوربيتول ، كما ينتج تجارياً بالطريقة نفسها الكزايليتول الخماسي الذي يستخدم أيضاً في تحلية أغذية مرضى السكري .

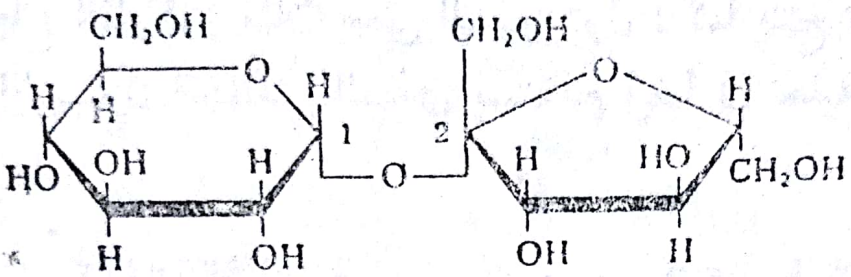
أما السكريات الأمينية Amino sugar فتنتج باستبدال مجموعة الهيدروكسيل بمجموعة أمين ... وكذلك سكريات الديوكسي Deoxy sugars التي تنتج من استبدال مجموعة هيدروكسيل أحد الكحولات من ذرات الكربون في السكر بالهيدروجين وتوجد منها عدة أنواع مختلفة حسب نوع السكر المشتق منها وتبعاً لموضع ذرة الكربون التي جرى عليها الاستبدال .



حمض غلوكونك سوربيتول غلوكوز امين ٢ـ دي أوكسي D ريبوز

شكل (٢ ــ ٥) يبين بعض السكريات الاحادية المشتقة

٣ ـ سكريات الأوليغو : وتشمل الكربوهيدرات التي تتكون من ٢ـ١٠ وحدات سكريات أحادية وتتحلمأ إلى مكوناتها من السكريات الأحادية وهي تنتج من ارتباط وحدات السكر الأحادي وفقد جزيء ماء نتيجة ارتباط كل وحدتين مع بعضهما ، والوحدات البنائية هذه قد تكون من نوع واحد أو من أنواع مختلفة وتعد السكريات الثنائية من أهم أفراد هذا القسم ، كما أن السكروز هو أهم



Sucrose (α-D-glucopyranosyl-(1,2)-β-D-fructofuranoside)

شكل رقم (٢ ـ ٦) يبين رمز السكروز المكون من الغلوكوز والفركتوز

أنواع السكريات الثنائية والشائعة الاستعمال في الصناعات الغذائية ويسمى بسكر القصب أو الشوندر لأنهما المصدران الرئيسان له ، كما يوجد أيضاً في عصارة النباتات بخاصة ثمار الفاكهة حيث يعطيها المذاق الحلو ، بالإضافة إلى وجوده في بعض البذور والبطاطا • ومن السكريات الثنائية الأخرى الهامة المالتوز واللاكتوز • وقد تحتوي النباتات أيضاً على مجموعات أخرى من السكريات الثنائية أو الكربوهيدرات المشتقة التي لا يمكن للانسان هضمها إلا أنها ذات أهمية كبيرة بالنسبة لدعم قوام النباتات سواء الطازجة أو المطبوخة مثل السلوبيوز Cellobiose الذي ينتج عن حلمأة السليلوز • وسكريات الأوليغو مواد صلبة تنحل في الماء وبعضها له مذاق حلو ، وتنحل في المحاليل المائية الكحولية ولكن لا تنحل في المحلات العضوية ، ويمكن حلمأتها بوساطة أنزيمات خاصة أو في وجود الحموض المعدنية ، كما أنها تتأثر بالحرارة •

أهمية السكريات الأحادية في الأغذية : من أهم خواص الكربوهيدرات

وبخاصة السكريات الأحادية والثنائية في الأغذية هي استخدامها لإعطاء المستوى المرغوب فيه من الطعم الحلو (Sweetness) وتختلف السكريات في حلاوتها النسبية إذا ما قورنت بالسكروز الذي يعطي العلامة (١٠٠٪) .

نوع السكر	الحلاوة النسبية
سكروز	١٠٠
فركتوز	١٥٠
غلوكوز (دكستروز)	٧٥
مالتوز	٦٠
لاكتوز	٢٥

جدول رقم (٢ ــ ١) يبين الحلاوة النسبية للسكريات

وهناك مركبات أخرى ليست كربوهيدرات ولكنها تعطي المذاق الحلو وبنسب أعلى من الكربوهيدرات ومن الأمثلة على ذلك ، المركبات التالية مقارنة بالسكروز (١٠٠ وحدة) :

السكارين ٥٠٫٠٠٠ وحدة

الغلوسين ٥٠٫٠٠٠ =

الدولسين ٢٥٠٫٠٠٠ =

وتتأثر درجة الحلاوة بعوامل عديدة منها :

١ً ــ نوع السكر : بالمقارنة مع السكروز ويعد الفركتوز أكثر حلاوة من السكروز أما الغلوكوز فأقل حلاوة يليه المالتوز واللاكتوز .

٢ً ــ تركيز السكر: تتناسب الحلاوة طرداً مع التركيز .

٣ً ــ درجة حرارة المحلول السكري : كلما زادت الحرارة قلت الحلاوة .

٤ً ــ وجود مواد غير سكرية : اضافة الملح أو حمض عند تركيزات معينة يؤدي إلى تغيير الحلاوة .

والجدو ل التالي يبين تأثير تركيز سكر الغلوكوز في الحلاوة النسبية (منسوبة للسكروز) :

التركيز	الحلاوة النسبية	التركيز	الحلاوة النسبية
١	٤٥	٢٥	٨٢
٢	٥٠	٣٠	٨٦
٥	٥٨	٣٥	٩٠
١٠	٦٦	٤٠	٩٣
١٥	٧٢	٤٥	٩٧
٢٠	٧٨	٥٠	١٠٠

جدول رقم (٢ ــ ٢) يبين أثر التركيز في الحلاوة النسبية

كما وجد أن الحرارة تؤثر في الحلاوة النسبية كما في الجدول التالي لتأثير درجة الحرارة في الحلاوة النسبية لسكر الفركتوز (منسوبة للسكروز ١٠٠) :

درجة الحرارة ° م	الحلاوة النسبية
٥	١٤٣ر٧
١٨	١٢٨ر٥
٤٠	١٠٠
٦٠	٧٩

جدول رقم (٢ ــ ٣) يبين أثر درجة الحرارة في الحلاوة النسبية

يتضح أنه كلما زادت الحرارة قلت الحلاوة النسبية لمحلول سكر الفركتوز.

ــ جدول يبين تأثير المركبات غير السكرية في الحلاوة النسبية للسكروز :

السكر المستعمل	التركيز ٪	المادة المضافة	تركيزها	التأثير
سكروز	٣ــ١٠	ملح	١ ٪	تقل الحلاوة النسبية
سكروز	٥ــ٧	ملح	٥ر٠	لم تتأثر الحلاوة
سكروز	١ــ٥	حمض خل	٠٤ر٠ــ٠٦ر٠ ٪	لم تتأثر الحلاوة
سكروز	اكثر من ٦ ٪	حمض خل	٠٤ر٠ــ٠٦ر٠ ٪	تقل الحلاوة

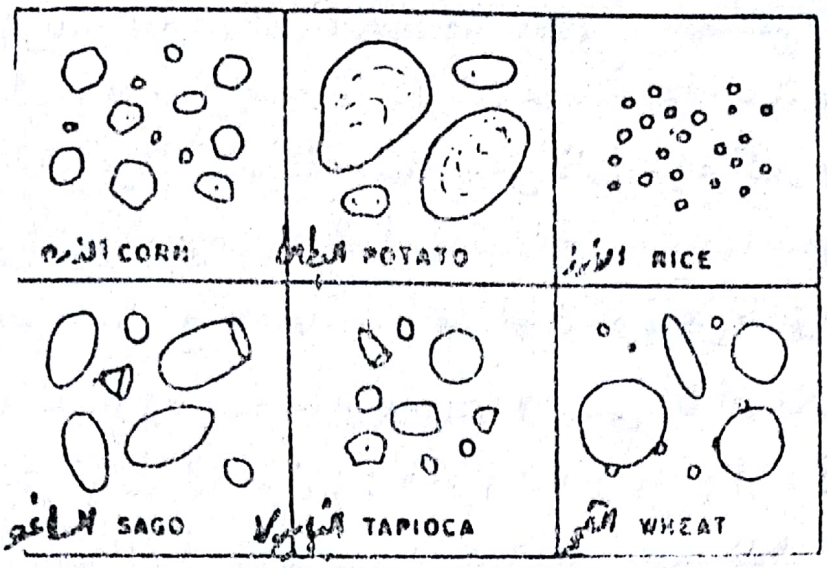
جدول رقم (٢ ــ ٤) أثر اضافة المواد الغير سكرية في الحلاوة

٤ ــ السكريات العديدة : Poly saccharides معظم الكربوهيدرات الموجودة في الطبيعة هي على صورة سكريات عديدة وهذه عند حلمأتها تنتج عنها سكريات أحادية أو مركبا ت مشتقة منها ، وهي ذات تنوع كبير وتختلف عن بعضها في نوع السكريات الأحادية الداخلة في تركيبها وفي وزنها الجزيئي وكذلك في طريقة ارتباط الوحدات مع بعضها، إلا أنها كلها تتكون عن طريق ارتباط السكريات الأحادية برابطة غليكوزيدية Glycosidic والتي إما أن تكون α أو β وترتبط عن طريق ذرات الكربون ١ : ٢ أو ١ : ٣ أو ١ : ٤ أو ١ : ٦ سواء أكان في السلسلة الرئيسة أم في الشعب Branches عند نقاط التشعب • وتقسم السكريات العديدة إلى قسمين :

آ ــ سكريات عديدة متجانسة Homo poly saccharides وهذه عند حلمأتها تعطي خليطاً من السكريات الأحادية وتوجد هذه بكثرة في النبات والحيوان ، ومن أمثلتها الصموغ النباتية ، والهيميسيليلوز والنشاء وسوف نتكلم عن أهم السكريات المتعددة بالنسبة لعلوم الأغذية •

١ ــ النشاء Starch متواجد بكثرة في النباتات كمادة كربوهيدراتية مخزنة Reserve carbohydrate ومن أهم مصادره القمح والذرة والأرز والشعير وبعض المحاصيل الدرنية كالبطاطا والبطاطا الحلوة وفي بعض البقوليات مثل الفول والعدس والبازلاء والفاصولياء • ويوجد النشاء على شكل حبيبات صغيرة تختلف في حجمها وشكلها الخاص المحدد لكل نوع من أنواع النباتات ويمكن مشاهدة هذه الحبيبات إما بواسطة المجهر العادي أو ذي الضوء المستقطب أو بوساطة أشعة (X) حيث تتميز بوجود تركيب بلوري مرتب مميز •

يتكون النشاء من وحدات من الغلوكوز مرتبطة مع بعضها برابطة α ١ــ٤ ويوجد نوعان من النشاء هما الأميلوز والأميلوبكتين معاً إلا أن نسبة أحدها إلى الآخر تختلف باختلاف المصادر النباتية ، ففي نشاء البطاطا تكون نسبة الأميلوز إلى الأميلوبكتين ٢٢٪ وفي الذرة ٢٧٪ وهناك نوع من النشاء يوجد في بعض

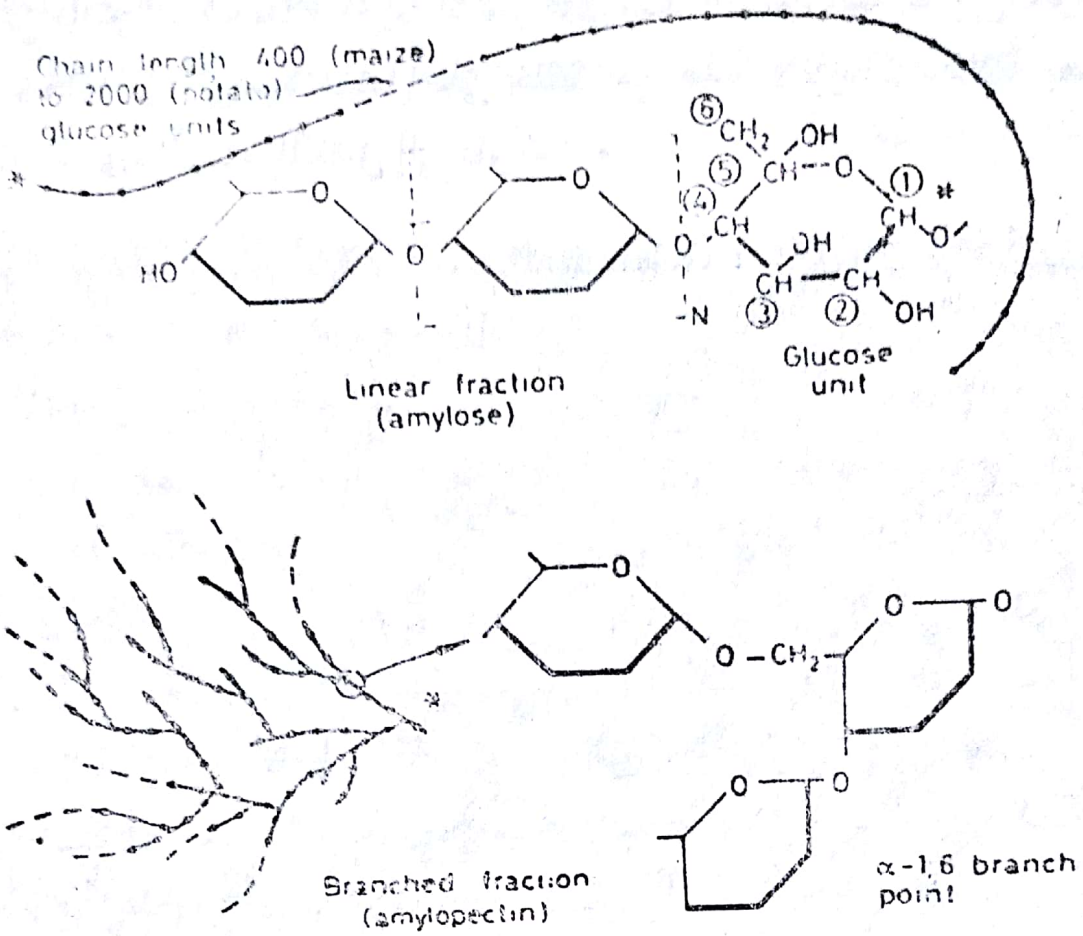


شكل رقم (٢ ــ ٧) يبين الشكل البلوري لحبيبات النشا من مصادر مختلفة

أنواع الذرة والأرز يسمى النشاء الشمعي waxy starch وهو الأميلوبكتين فقط، بينما في بعض أنواع الذرة الحلوة والبازلاء فإن النشاء قد يتكون من الأميلوز فقط • والأميلوز : يتكون من وحدات من الغلوكوز عددها ٢٠٠ــ٣٠٠ في سلاسل غير متفرعة مرتبطة عن طريق الرابطة α ١ــ٤ وتوجد هذه الوحدات في شكل حلزوني •

أما الأميلوبكين : فيتكون من وحدات غلوكوز مرتبطة عن طريق الرابطة α ١ ← ٤ في سلاسل قصيرة (٢٥ ــ ٣٠ وحدة غلوكوز) ترتبط هذه السلاسل ببعضها أو تتشعب عن طريق الرابطة α ١ ــ ٦ وبذلك يكون تركيب النشاء كالتالي (شكل ٢ ــ ٨) •

ونظراً لاختلاف التركيب (الأميلوز يحتوي على طرفين أحدهما الدهيدي والآخر غير الدهيدي أما الأميلوبكتين فكل سلسلة قصيرة تحتوي على طرف غير الدهيدي ولذلك تحتوي على عدد من الأطراف غير الدهيدية يساوي عدد السلاسل ويحتوي الأميلوبكتين على طرف الدهيدي واحد هو السلسلة الأخيرة)، فإن للنشاء خواص مختلفة ، فالأميلوز يعطي مع اليود لوناً أزرق في حين يعطي الأميلوبكتين لوناً أحمر ، كما أن الأميلوز يكون مركبات غير ذائبة مع الكحولات



شكل رقم (٢ ــ ٨) تركيب السلاسل المستقيمة والمتفرعة في جزيء النشا

والحموض الدهنية ذات الوزن الجزيئي العالي (وهي الطريقة المتبعة لفصل الأميلوز عن الأميلوبكتين) •

تأثير الأنزيمات على النشاء : Enzymes and starch : يؤثر في النشاء أنزيمي α أميلز و β أميلز والفوسفوريليز ، وهذه الأنزيمات هامة لكيمياء الأغذية، حيث إنها تستخدم لتغيير تركيب النشاء حسب الاستعمالات الصناعية المرغوب فيها ، ويوجد أنزيم الألفا اميلز بكثرة في الحبوب بخاصة أثناء الانبات ، كما يوجد في العصير البنكرياسي واللعاب ، ويمكن إنتاجه بوساطة البكتريا والطحالب والفطور • ويقوم انزيم الألفا أميلز بحلمأة الرابطة α ١ــ٤ ما عدا الرابطة المكونة لسكر المالتوز • أما أنزيم β أميلز فهو يكسر الروابط α ١ــ٤ ويكون سكر المالتوز والدكسترينات ، وهذه الأنزيمات ليس لها تأثير في الرابطة α ١ــ٦ أو في الرابطة β ١ــ٤ ، ويؤدي وجود هذين الأنزيمين معاً إلى حلمأة جزيء النشاء

بالكامل إلى مالتوز ، وبإضافة أنزيم المالتيز فإن سكر المالتوز يتحلما إلى غلوكوز . وهناك مستحضرات أنزيمية تشتمل على خليط من هذه الأنزيمات الثلاثة بحيث تقوم بحلمأة جزيء النشاء بالكامل إلى غلوكوز .

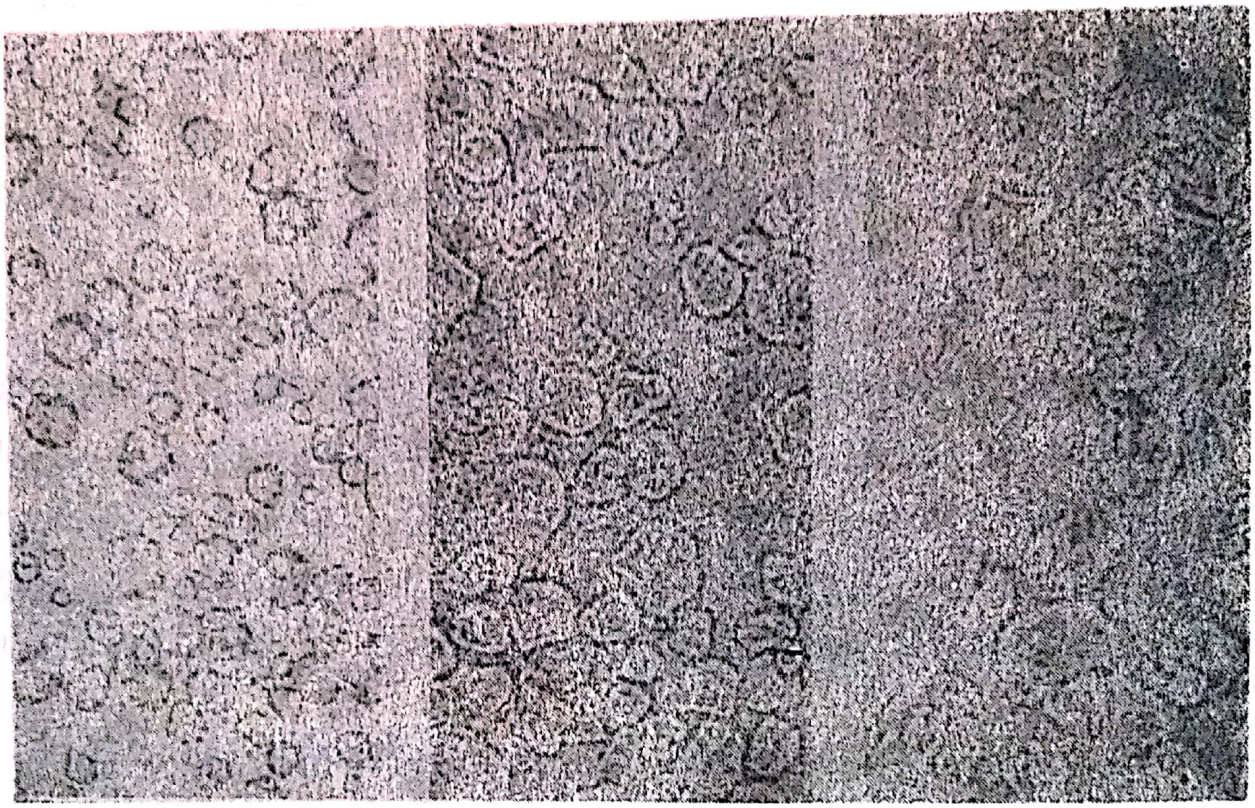
تهلم النشاء أو تجلتنه Gelatinization of starch : وهي من الخواص الهامة في الأغذية فالنشاء هو مادة كربوهيدراتية غير ذائبة في الماء ، ولكن إذا سخن معلق مائي من النشاء إلى درجة معينة من الحرارة ، تتراوح بين ٦٤ ـ ٧١° م تبعاً لنوع النشاء فإن حبيبات النشاء تبدأ في الانتفاخ swelling ويزداد انتفاخ الحبيبات إلى أن تبدأ في التلاصق مع بعضها وهذا مايسمى التهلم أو التجلتن ، مما يؤدي إلى زيادة سريعة في لزوجة النشاء المطبوخ ، ويعطي قواماً مرناً ، ولو زادت درجة التسخين عن حد معين فإن هذه الحبيبات تبدأ في التكسر ، وتقل اللزوجة . وإذا كان النشاء يحتوي على الأميلوز فقط (مثل بعض أنواع البازلاء) فإن هذه الخاصية تحدث بصعوبة جداً ، وبعد التسخين على درجات حرارة التعقيم لمدة طويلة . في حين أن الأنواع التي تحتوي على الأميلوبكتين (الذرة الشمعية) فإن التهلم يحدث لها بسرعة ويتكسر هذا الهلام عند التسخين الزائد ، ويعتمد حدوث هذه الظاهرة على عدة عوامل منها : درجة الحرارة ـ نوع النشاء أو مصدره ـ رقم الحموضة ـ الزمن ـ حجم حبيبات النشاء (حيث تقل درجة الحرارة التي تحدث عندها ظاهرة التهلم كلما زاد حجم الحبيبات) .

ولدى فحص الحبيبات أثناء التسخين تحت المجهر تمر بثلاث مراحل :

- **المرحلة الاولى :** في الماء البارد حيث تمتص من ٢٥ ـ ٣٠٪ ماء (ترطيب Imbibition) وهذه الظاهرة عكسية حيث يمكن إزالة الماء بالتجفيف ورجوع النشاء لحالته الطبيعية ولا تتأثر اللزوجة في هذه المرحلة .

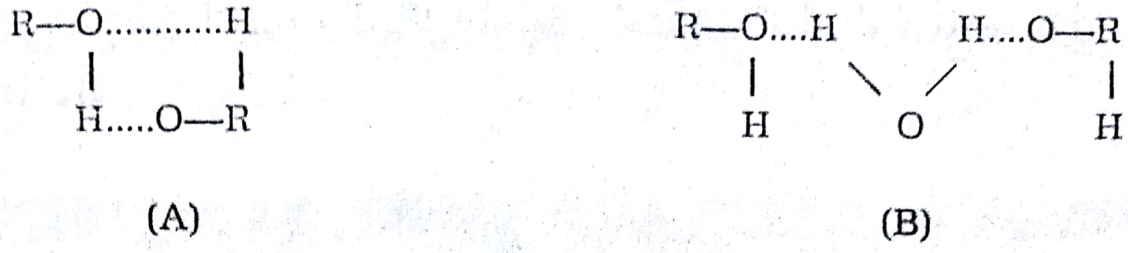
- **المرحلة الثانية :** تبدأ على الدرجة ٦٥° م في معظم أنواع النشاء المختلفة حيث تبدأ حبيبات النشاء في الانتفاخ وتمتص جزءاً كبيراً من الماء (نشاء الذرة يمتص ٣٠٠٪ ماء على درجة حرارة ٦٠° م و ١٠٠٠٪ على ٧٠° م و ٢٥٠٠٪ على

أقصى درجة حرارة) ويتغير شكل الحبيبات وتنفصل بعض جزيئات النشاء الأكثر ذوباناً عن حبيبات النشاء والسائل المحيط بالحبيبات يعطي لوناً مع محلول اليـود وهذه المرحلة غير عكسية .



شكل رقم (٢ ــ ٩) يوضح مراحل تهلم نشاء الذرة . على اليسار غير مطبوخ (غير منتفخ) . في الوسط نشاء منتفخ ٧٢° م وعلى اليمين نشاء مطبوخ ٩٠° م

● **المرحله الثالثة :** حيث يحدث انتفاخ أكثر ويكبر حجم الحبيبات وتتكون بعض الفراغات وتنفرد أيضاً بعض جزيئات النشاء وفي النهايـة تنفجر الحبيبـات ويخرج النشاء إلى السائل المحيط بها مما يـؤدي إلى زيادة كبـيرة في اللزوجـة وتلتصق حبيبات النشاء مع بعضها . هذا الانتفاخ لحبيبات النشاء وزيادة اللزوجة يعتقد أنه ناتج عن الارتباط مع جزيئات الماء . ففي النشاء فإن الأميلوز والأميلوبكتين يرتبطان ارتباطاً ضعيفاً مع بعضهما عن طريـق روابط هيدروجينية بـين مجاميع الهيدروكسيل كما في الشكل :



شكل رقم (٢ ــ ١٠) يبين تهلم النشاء

وعند زيادة درجة الحرارة فإن الروابط بين جزيئات النشاء تقل وكذلك الأمر بالنسبة للروابط بين جزيئات الماء كما يقل حجم الحبيبات • وتبدأ جزيئات الماء بالدخول بين جزيئات النشاء ، ولدى انخفاض درجة الحرارة فإن جزيئات الماء ترتبط بين جزيئات النشاء كما في الشكل (B) ويزداد حجمها وبالتالي تنتفخ Swell • لأنه بدلاً من ارتباط جزيئين من النشاء فإنه يتكون جزيئات من النشاء بينها جزيئات من الماء • وهناك عدة نظريات لتفسير حالة التهلم :

آ ــ نظرية الادمصاص adsorption of solvents •

ب ــ نظرية تكوين التركيب الفراغي ثلاثي الأبعاد Three - diminsional net work •

ج ــ نظرية ترتيب الجزيئات أو تنظيمها Partical coorientation •

آ ــ نظرية الادمصاص : وهذه النظرية تعتمد على زيادةالادمصاص بانخفاض الحرارة ويعتمد هذا التفسير على ادمصاص المذيب Solvent بوساطة المادة الغذائية Solute عند التبريد مكونة جزيئات أكبر حجماً ويزداد حجمها بزيادة طبقات المادة المذابة • هذه الجزيئات كبيرة الحجم تتلاصق مع بعضها وبالتالي تحتجز أو تحتضن كميات من المذيب (المحل) بينها حيث يصبح المعلق صلباً غير مرن Rigid •

ب ــ نظرية تكوين التركيب الفراغي ثلاثي الأبعاد : وهــذه تعتمــد على أن المركبات التي يمكن أن يحدث لها تهلم gelatinization يجب أن تكون في صورة أليــاف Fibers أو يمكنها أن تتحد مع بعضها مكونة أليافاً وعند التبريــد فإن هذه الألياف تكون الشكل الفراغي ثلاثي الأبعاد بالتفاعل مــع أبعــاد السلسلــة الكربونية المكونة لها وذلك عن طريق روابط أولية Brimery تربــط الأليــاف مكونة الشكل الثلاثي مثل الارتباط بين المجموعات الفعالة أو روابــط ثانوية مثل الروابط الروابط الهيدروجينية أو تجاذب بين مجموعات الأكليل وبالتالي يربــط الهلام • ويعتمد هذا التفسير على التوازن بــين القوى المختلفة • فجزيئات المــادة المذابــة تجذب بعضها ، ولكن يوجد فيها جزيئات مذيب مرتبطة مع بعضها أو مع المذاب وبذلك يحدث تهلم gelation . فإذا كانت جزيئات المذيب مرتبطة ارتباطاً شديداً بجزيئات المادة المذابة ، فإن جزيئات المذاب لن تستطيع الاتصال ببعضهــا وبذلك لا يتكون الشكل الثلاثي ولا تتكون حالة الهلام كذلك إذا كان الارتباط بين جزيئات المادة المذابة شديداً فإنه لن يحدث انتشار في المذيب وفي هــذه الحالة يتشكل راسب أو مركب غير منحل وليس حالة هلام •

جـ ــ تنظيم الجزيئات : وتعتمد هذه النظرية على تشكيل تركيب فراغي خاص Special configuration للمادة المذابة والمذيب نتيجة لبعض القــوى والروابط مثل التي تتكون في البلورات • فهلام النشاء يسهل تكسيره وتحويله إلى سائل ، وهذه الحالة هامة في الأغذية حيث نجد أن تقليب الهلام أو خلطه يؤدي إلى تحويله إلى سائل ، وعند تركه لفترة ما يرجع إلى هــلام مرة أخرى ، وتسمى هذه الحادثة (بكاء الهلام) Syneresis or weeping ، ولدى ترك الهلام لفترة طويلة فإنــه يفقــد جــزءاً مــن الماء وقــد يحــدث أيضاً تجمــع للنشــاء Aggregates وقد تتكون بلورات صغيرة الحجم Micro crystals وتترسب وهــذه الخاصــة تسمى التراجع Retrogradation وتحدث عندما يترك الهلام لفترة طويلة (عــدة أيام ــ عدة أسابيع) •

٢ ــ الغليكوجين : Glycogen ويوجد في الحيوانات وهــو يماثل النشاء

في النباتات ويخزن بخاصة في الكبد وبكميات قليلة في القلب والعضلات ، وهو يذوب في الماء ، وتعطى محاليله لوناً بنياً مع اليود ، وهو سلسلة متشعبة من وحدات الغلوكوز ويمائل الأميلوبكتين إلا أن عدد الوحدات في السلاسل هنا أقل ٨ــ١٢ وحدة ، وعند الحاجة يمكن أن يتحلمأ بوساطة الأنزيمات إلى دكسترينات وغلوكوز مثل الأميلوبكتين .

٣ ــ المواد البكتينية : Pectic substances وهذه لها اهمية كبيرة في الأغذية النباتية حيث توجد ضمن مكونات الهيمي سيليلوز في جدر الخلايا ، كما توجد بنسبة قليلة في بعض الدرنات مثل البطاطا وفي ثمار الحمضيات تتركز في القشرة حيث تبلغ نسبتها من (٥ر٢ ــ ٤٪) وفي ثمار التفاح (٥ر١ ــ ٢٪) وهذه المواد لها القدرة على تكوين حالة الهلام Gels في وجود السكر والحمض، والمواد البكتينية تتكون أساساً من حمض الغلاكتورونك وهو من مشتقات سكر الغلاكتوز بعد أكسدة ذرة الكربون رقم ٦ إلى مجموعة كربوكسيل ومثيله بعض مجموعات الكربوكسيل في الجزيء .

وعلى ذلك فإن المركبات البكتينية هي كربوهيدرات متعددة وحداتها البنائية الأساسية هي حمض ألفا غلاكتورونك وميثايل ألفا غلاكتورونك ، وقد قسمت إلى المركبات التالية :

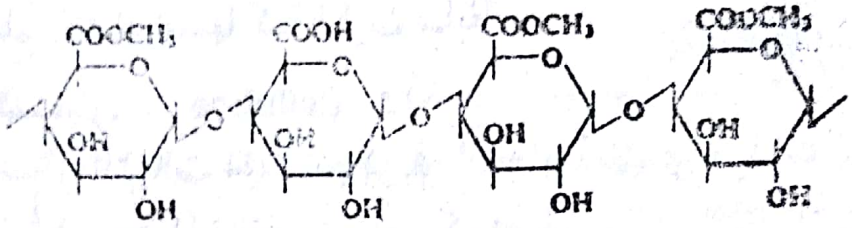
١ ــ المواد البكتينية Pectic substances : وهي المواد الكربوهيدراتية المستخلصة من النباتات وتحتوي على كميات كبيرة من حمض الغلاكتورونك اللامائي Anhydro galacturonic acid التي توجد في سلسلة ومجموعة الكربوكسيل قد تكون استراً مع كحول الميثيل .

٢ ــ البروتوبكتن Protopectin : وهي المواد البكتينية غير الذائبة في الماء والتي عند تحللها تنتج حمض البكتينك وسكر الأرابان .

٣ ــ حمض البكتنيك Pectinic acid : وهو عديد حمض الغلاكتورونك ويحتوي على كمية ليست بالقليلة من مجموعات استر الميثيل وله القدرة على تكوين حالة الهلام في وجود السكر والحمض .

٤ ــ حمض البكتيك Pectic acid : وهو مادة بكتينية لا تحتوي على مجاميع استر المثيل .

٥ ــ البكتين : وهو حمض البكتينيك المذاب ويحتوي على كميات كبيرة من مجاميع استر الميثيل وله القدرة على تكوين الهلام ، ويتأثر تشكل حالة الهلام بعدة عوامل منها نسبة البكتين والوزن الجزيئي للمادة البكتينية ، ورقم الحموضة ونسبة السكر .



شكل رقم (٢ ــ ١١) التركيب الكيميائي للبكتين

قدرة البكتين على تشكيل الهلام : (الجيلي) : يتوقف تشكل حالة الهلام على عدة عوامل هي :

١ ــ نسبة البكتين : لاعطاء الهلام قواماً مناسباً يستعمل ١٪ بكتيناً .

٢ ــ الوزن الجزيئي : يجب أن تنتشر المادة البكتينية في المحلول قبل أن تقوم بوظيفتها لذلك نجد أن البروتوبكتين لا يستطيع أن يكون هلاماً نظراً لكبر وزنه الجزيئي .

كما أنه لا ينتشر في المحلول المستعمل إلا بعد أن يتحول إلى حمض بكتينيك، ومن ناحية أخرى يجب ألا يكون الوزن الجزيئي منخفضاً لأن السلاسل البكتينية القصيرة لن تستطيع أن تحتفظ بكميات الماء داخلها أثناء تشكل المركب ثلاثي الأبعاد مما يعطي هلاماً ناعماً وغير متناسق فيفقد الماء منه بسهولة .

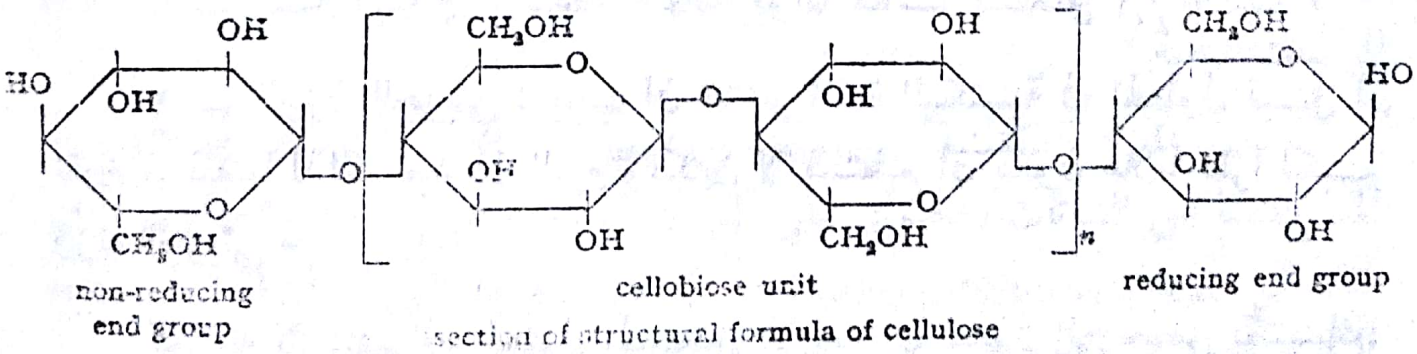
٣ ــ عدد مجاميع استر الميثايل : أحسن نسبة هي ٨٪ وهذه تمثل نصف مجاميع الكربوكسيل المتحدة مع كحول الميثايل .

٤ ــ رقم الحموضة : هام لتشكل حالة الهلام ولا يتشكل الهلام إلا عندما يصل الـ pH إلى ٣ر٥ ويزداد تماسكاً بانخفاض الـ pH **ويجب ألا ينخفض** الـ pH عن حد معين لأن ذلك يقلل من تماسك الهلام .

٥ ــ السكر : خاصة السكروز هامة لتشكل الهلام وأقل تركيز ممكن لتشكل الهلام هو ٦٥٪ وإذا زادت حدث تبلور على سطح الهلام أو داخله .

٦ ــ درجة الهلام : وتعرف بأنها كمية السكر التي تتحول إلى هلام بوساطة وحدة وزن (غ ، كغ ، رطل) من المادة البكتينية . أما نظرية تشكل الهلام فتعتمد على نظرية تهلم النشاء نفسها كما ذكرت سابقاً .

٤ ــ **السيليلوز** : **Cellulose** ويكون السيليلوز نحو ٥٠٪ من الكربون الموجود في معظم النباتات حيث يتركز في الجدار الخلوي وبذلك فهو المسؤول عن قوام وصلابة الأنسجة المختلفة وتختلف كميته من نبات لآخر لتصل الى أكثر من ٩٠٪ في القطن ، وعند اجراء الحلمأة الحضية فإنه يتحول إلى وحدات من الغلوكوز أما الحلمأة الجزئية فتعطي السكر الثنائي سيليبيوز Cellobiose وهو غير متفرع ويتراوح وزنه الجزيئي من ٥٠٠ر٠٠٠ إلى ٤٠٠ر٠٠٠ وهذا يساوي تقريباً ٣٠٠ ــ ٢٥٠٠ وحدة غلوكوز لكل جزيء .



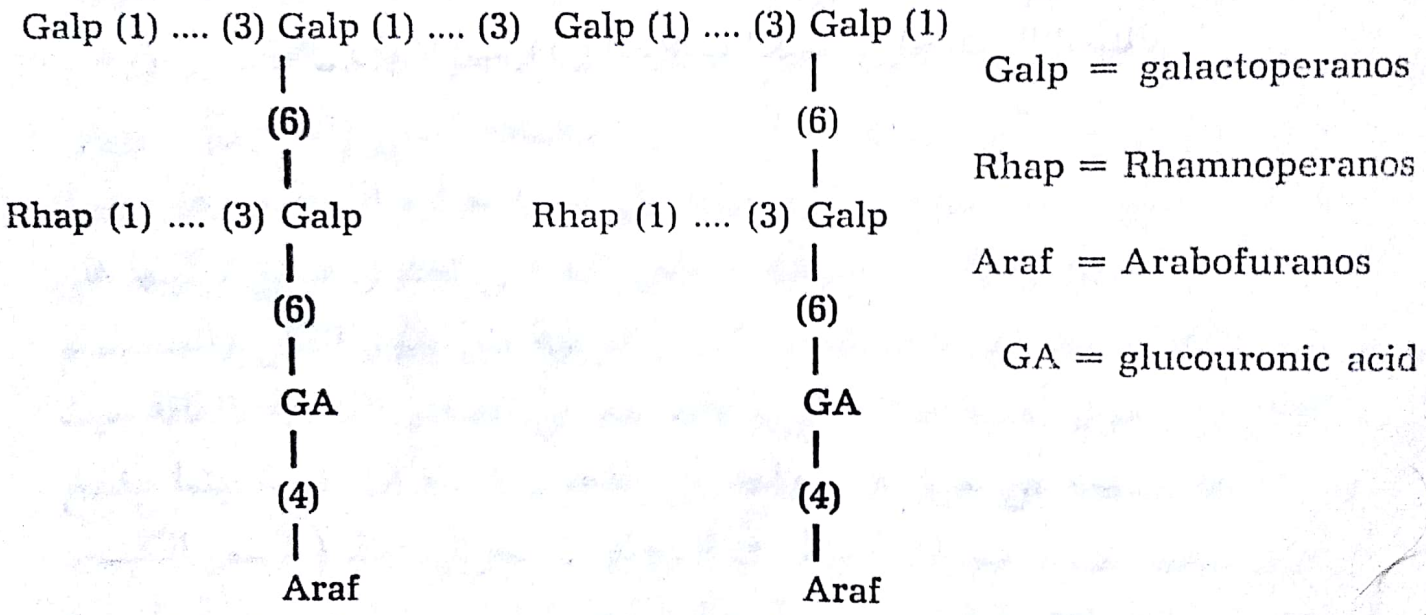
section of structural formula of cellulose

شكل رقم (٢ ــ ١٢) التركيب الكيميائي للسيليلوز

وأهمية السيليلوز في الغذاء أنه مادة مالئة حيث يضاف لبعض الأغذية لزيادة كميتها وتقليل قيمتها الحرارية ، وهناك سكريات عديدة أخرى أقل أهمية مما ذكر مثل الهيميسيليلوز والفركتان أو الفركتوز ويوجد في بعض أوراق النباتات وكذلك الكيتين chitin الذي يوجد في تركيب الأجزاء الخارجية لمفصليات الأرجل والدرع الخارجي للقشريات .

٥ ــ الصموغ والمواد الهلامية : كثير من النباتات تكون صموغاً gums عند حدوث جرح على سطحها الخارجي وهي مواد عديدة ، حيث تجمع وتجفف وتستعمل كمادة لاصقة ومن أهمها نذكر :

آ ــ الصمغ العربي arabic gum : وينتج من أشجار السنط والأكاسيا بصفة عامة وهو يوجد في صورة ملح الكالسيوم ويتراوح وزنه الجزيئي من ١٠٫٥٠ ــ ١٢٠٠ ويوجد على شكل سلاسل متفرعة من وحدات غالاكتوز مرتبطة برابطة ١ ــ ٣ تتصل بها وحدات حمض اليورونك في السلاسل الجانبية عن طريق الرابطة ١ ــ ٦ كما في الشكل :

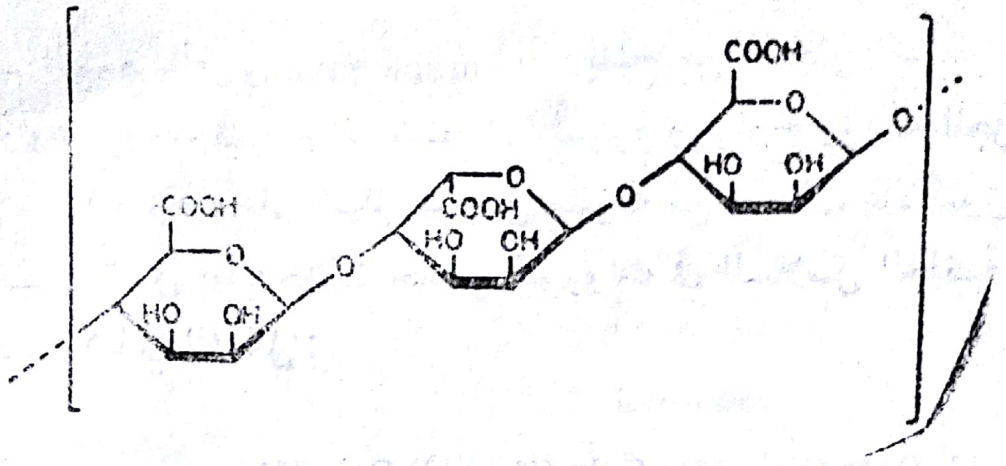


شكل رقم (٢ ــ ١٣) يبين تركيب الصمغ العربي

ويستعمل الصمغ العربي في كثير من الصناعات الغذائية وبخاصة في صناعة الحلويات التي تحتاج إلى تكوين هلام ثابت بها .

ب ــ الكربوهيدرات الهلامية Mucilages : ومن أهم أنواعها السكريات العديدة الناتجة عن الأعشاب البحرية وهذه لم تدرس بعد الدراسة الكافية ، رغم استعمالها بكثرة في الصناعة لاعطاء القوام المرغوب فيه من هذه المواد الآجار ،

وحمض الالجينيك Alginic acid اللذان يستعملان كمادة مساعدة لتكوين الهلام وفي صناعة المثلوجات والأجبان المطبوخة .



شكل رقم (٢ ـ ١٤) التركيب الكيميائي لحمض الالجينك