

كيمياء الأغذية ومراقبتها

المحاضرة الرابعة
الكربوهيدرات

د. نور علي عيش

مقدمة:

الكربوهيدرات مركبات عضوية تتكون من الأوكسجين والكربون والهيدروجين وتصنع النباتات الكربوهيدرات بدءاً من ثاني أوكسيد الكربون من الهواء والماء من التربة من خلال عملية التركيب الضوئي Photosynthesis.

يحصل الإنسان على الكربوهيدرات من خلال تناول الأغذية ذات المصدر النباتي مثل البقول والفواكه والخضار ، علماً أن نسبة السكريات في الجسم ١.٥ – ٢ % .

الصيغة الإجمالية للكربوهيدرات البسيطة هي $(CH_2O)_n$.

تعتبر الكربوهيدرات الجزيئات الأكثر توافراً في الطبيعة، فهي مستودع للطاقة في الجسم وتتأكسد لإنتاج الحرارة والطاقة اللازمة لكل أنشطة الجسم ويترافق ذلك مع إنتاج الماء وثاني أوكسيد الكربون كمنتجات نهائية.

أهمية الكربوهيدرات:

كان ينظر إلى الكربوهيدرات على أنها ذات وظيفة محدودة تنحصر في أمرين :

١ . مصدر ادخاري :

لها دور في تغطية فقدان الطاقة المستمر، وذلك عن طريق تحول الفائض من السكر إلى غليكوجين Glycogen يخزن في الكبد والعضلات أو الشحوم الثلاثية بالنسيج الشحمي، وهذا بدوره يتحول إلى سكر (غلوكوز) عند الحاجة .

٢ . دور دعامي (بنوي):

تدخل في تركيب بعض بنى الخلية ، فالسيللوز يدخل في تركيب الجدار الخلوي للخلية النباتية، وكذلك الكيتين في الشعر والأظافر، والغضروفين في النسيج الضام للغضاريف.

أهمية الكربوهيدرات:

أما في الوقت الحاضر تبين أن للكربوهيدرات دوراً كبيراً فهي :

١ . مصدر الطاقة الرئيس للعمليات الاستقلابية :

حيث أن أكسدة ١ غرام من السكريات تعطي نحو ٤ كيلو كالوري ويمكن تخزينها على شكل غليكوجين أو شحوم ثلاثية لحين الحاجة ، إضافةً إلى أنها المصدر الوحيد للطاقة الذي يمكن استخدامه في ظروف خاصة كغياب المتقدرات أو نقص الأوكسجين (التخمر أو الاستقلاب اللاهوائي).

٢ . تركيب المادة الوراثية :

تدخل بعض السكاكر الخماسية (الريبوز والريبوز منقوص الأوكسجين) في التركيب الكيميائي للنكليوتيدات والنكليوزيدات الداخلة في تركيب DNA & RNA، التي هي أهم مادة في الجسم مسؤولة عن المعلومات الوراثية.

٣ . دور مناعي:

تدخل في تركيب الأضداد التي هي بروتينات سكرية، تقوم بتحديد الزمر الدموية ABO

أهمية الكربوهيدرات:

٤. تدخل في بناء الخلايا حيث:

- الأغشية الخلوية كاملةً لها طبيعة سكرية.
- تقوم بتشكيل المستقبلات على سطح الخلية.

٥. تدخل في تركيب العديد من البنى مثل:

- الأنسجة الضامة : تدخل عديدات السكاريد المخاطية في بنيتها لتلعب دوراً هاماً في أدائها لوظائفها.
- الهيبارين: مضاد تخثر طبيعي (من عديدات السكاريد المخاطية) له طبيعة سكرية.
- الهرمونات: مثل هرمون التيروغلوبين الدرقي (T4, T3 طليعة).

السيلوز مهمته:

- عند النباتات يدخل في تركيب الجدار الخلوي للخلية النباتية.
- عند الحيوانات والمجترات يعد مادة غذائية.
- عند الإنسان وظيفته وقائية لمنع الإمساك، فهو يسرّع الحركة المعوية.

تصنيف وبنية الكربوهيدرات (السكريات):

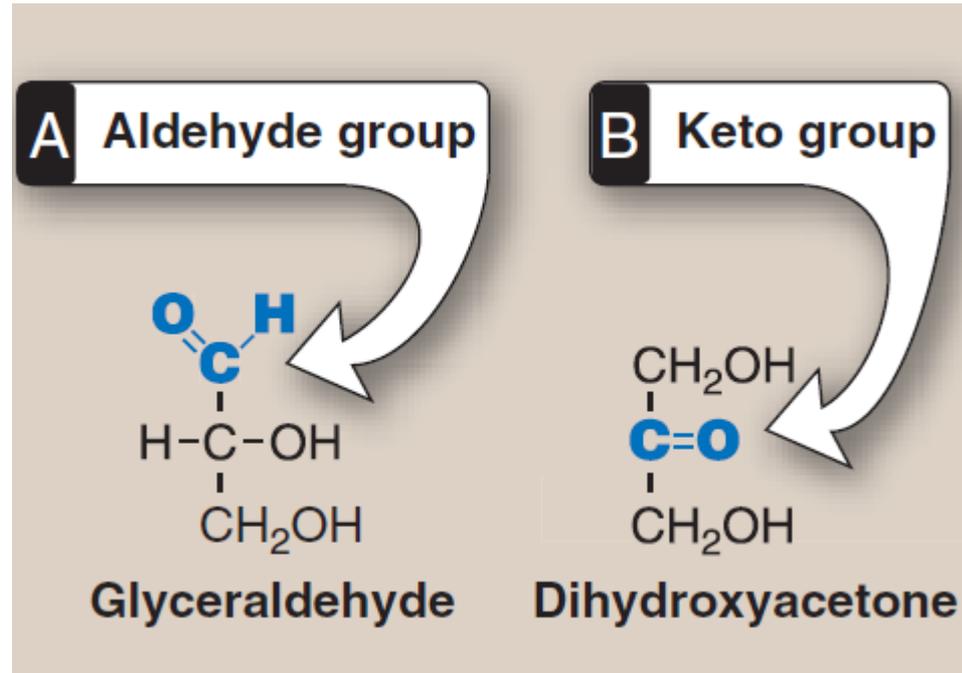
تتنوع أشكال الكربوهيدرات ولكن الشكل الأبسط من الكربوهيدرات المستخدمة في تغذية الإنسان هي أحاديات السكريد مثل الغلوكوز والفركتوز والغالاکتوز والتي يمكن لجزيئتين منها أن تتحد وتشكل ثنائي السكريد، أو عندما يرتبط عدد كبير من أحاديات السكريد مع بعضها وتتشكل عديدات السكريد (مثل النشاء).

ويتم تصنيف الكربوهيدرات بناء على:

- ١- المجموعة الوظيفية
- ٢- عدد ذرات الكربون في السكر (الساكر الأحادية)
- ٣- عدد الساكر المتحددة معاً
- ٤- تجانس أو تغاير السكر

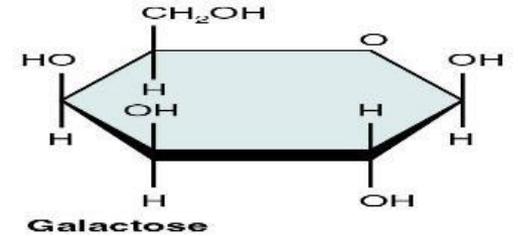
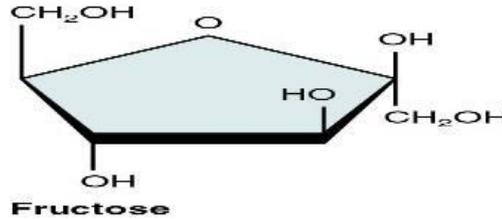
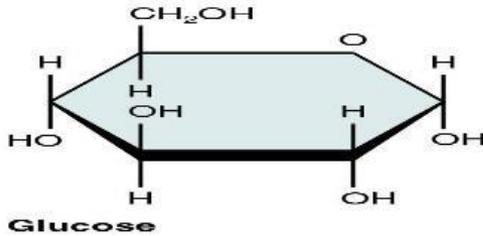
١- تصنيف السكريات حسب المجموعات الوظيفية:

- سكاكر ألدوز **Aldose** : تحتوي مجموعة ألدهيدية ومنها الغلوكوز والجالاكتوز والريبوز.
- سكاكر كيتوز **Ketoses** : تحتوي مجموعة كيتونية ومنها الديهيدرووكسي أسيتون والفركتوز.

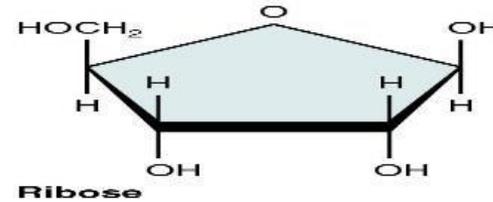
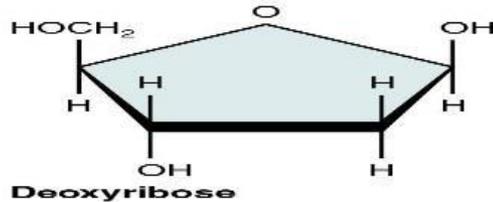


٢- تصنيف السكريات حسب عدد ذرات الكربون في السكر:

- **تيتروز:** يحوي ٤ ذرات كربون مثل الإريتوز والثريوز.
- **بنتوز:** يحوي ٥ ذرات كربون مثل الأرابينوز والريبوز والكسيلوز.
- **هكسوز:** يحوي ٦ ذرات كربون مثل الفركتوز والجالاكتوز والغلوكوز وهي السكاكر الأكثر تواجد في الغذاء.
- **هيبتوز:** يحوي ٧ ذرات كربون مثل السيدهبتولوز .



(a) Hexoses



(b) Pentoses

٣- تصنيف السكريات حسب عدد السكاكر المرتبطة:

• **وحدات سكاريد monosaccharide:** تحتوي سكر واحد و تسمى أيضاً (السكر البسيط) تصنف وحدات السكاريد بالاعتماد على عدد ذرات الكربون التي تحويها.

• **ثنائيات سكاريد Disaccharide:** تتكون من ارتباط جزيئتي وحيد سكاريد ، من ثنائيات السكاريد الهامة نذكر السكروز (غلوكوز وفركتوز)، المالتوز (غلوكوز وغلوكوز) واللاكتوز (غلوكوز وغاللاكتوز).

• **الأوليغوسكاريد (قليل السكاريد) Oligosaccharide:**

يحتوي الأوليغوسكاريد من ثلاثة إلى عشر وحدات سكاريد، ومن أمثله الرافينوز في قصب السكر والمالتوتريوز الناتج عن تحطم النشاء.

• **عديدات السكاريد Polysaccharide:**

تنتج عن ارتباط أكثر من عشرة وحدات سكاريد ويمكن أن تحوي عدة مئات من وحيد السكاريد معظم الكربوهيدرات الموجودة في الطبيعة تكون على شكل عديدات سكاريد.

• وحيدات سكاريد monosaccharide:

الإيزومير والإيبيمير Isomer and Epimer:

الإيزومير: تسمى المركبات التي تمتلك الصيغة الكيميائية الإجمالية ذاتها لكن المختلفة في بنيتها بالإيزومير ومثال على ذلك الفركتوز والغلوكوز والمانوز والجالاكتوز.

الإيبيمير: تسمى إيزوميرات الكربوهيدرات التي تختلف في الترتيب حول ذرة كربون واحدة فقط إيبيميرات لبعضها ومثال على ذلك الغلوكوز والجالاكتوز حيث أنها إيبيميرات وذلك لاختلاف توضع مجموعة الهيدروكسيل على الكربون ٤.

المشابهات الضوئية Enantiomers:

يوجد حالات خاصة من الإيزوميرات تكون فيها زوج من الإيزوميرات خيال لبعضها في المرآة حيث تسمى المركبات في هذه الحالة بالمشابهات الضوئية وعادة ما تسمى مركبات D , L وتقريباً معظم السكريات في جسم الإنسان من النمط D- Sugars.

تحلق وحيدات السكاريد:

تتواجد فقط ١ % من وحيدات السكاريد التي تحوي خمس ذرات كربون فأكثر في الحالة العادية بشكل سلسلة مفتوحة، على العكس من ذلك تتواجد بشكل حلقة وذلك بأن يتفاعل المجموعة الكربونيلية (الدهيد أو كيتون) مع مجموعة هيدروكسيلية من نفس السكر ويتشكل الشكل الحلقي للسكر .

يشير البيرانوز Pyranose إلى حلقة سداسية تحوي خمس ذرات كربون وذرة أوكسجين واحدة في حين تشير كلمة فورانوز Furanose إلى حلقة خماسية تحوي أربع ذرات كربون وذرة أوكسجين واحدة.

• **عديداات السكاريد Polysaccharide**: تختلف عديداات السكاريد عن بعضها :

✓ بهوية وحدات وحيد السكاريد المتكررة ضمنها

✓ بطول السلسلة الخاصة بها

✓ طبيعة الروابط الكيميائية التي تربط هذه الوحدات

✓ درجة التفرع

تجر الإشارة أنه ضمن عديداات السكاريد يوجد عديداات سكاريد متجانسة أي تحتوي على نوع واحد من المونوميرات (monomers) مثل النشاء والسيللوز الذين يحويان مونومير الغلوكوز، ويوجد عديداات السكاريد المتغايرة التي تحتوي على نوعين أو أكثر من أحاديات السكاريد مثل الهيميسيللوز الحاوي على الغالاكتوز والمانوز والكسيلوز .

أدوار عديدات السكاريد في الطبيعة:

- مواد هيكلية بنائية تركيبية (السيللوز والبكتين في النبات)، (كيتين في الحيوان).
- مواد ادخارية (النشاء والديكستران في النبات، الغليكوجين في الحيوان).
- مواد حابسة للماء ورافعة للقوام (الآغار، الألبينات، البكتين، الكاراجين، الصمغ العربي وغيرها في النبات).

أدوار عديدات السكاريد في الصناعات:

- تستعمل مجموعة من عديدات السكاريد في الصناعات الدوائية والغذائية كرافع قوام أو مهلم (نشاء، ألبينات) ومثبت للمستحلبات والمعلقات، لتشكيل الرغوة وثباتها، وكمادة مغلفة لحماية الأغذية الحساسة من التخرب.
- ينتج عن استعمال البعض منها لزوجة منخفضة حتى بتراكيز عالية (الصمغ العربي) أو لزوجة عالية بتراكيز منخفضة (صمغ الغواران).

٤- تصنيف السكريات حسب التجانس والتغاير:

الساكر المتجانسة **Holosides** :

وتكون إما أوليغوزيدات Oligosides أو بولييزيدات Polysides مثل النشاء فتحطم النشاء يعطي الغلوكوز فقط لذلك يدعى سكر متجانس.

الساكر المتغايرة **Heterosides**:

يرتبط الجزء السكري بجزء غير سكري فالساكر المتجانسة تحتوي الذرات O،H،C فقط أما المتغايرة ترتبط مع ليبيدات أو بروتينات كالغليكوبروتين أو بذرات أخرى مثل N،S،O،C .

خصائص السكريات

الخصائص الفيزيائية:

تتحل أحاديات وقليلات السكاريد جيداً في الماء ومع ذلك هناك اختلاف هام بانحلالية المماكبات كما في β - α -lactose كما أنها قليلة الانحلال في الإيثانول وغير منحلة بالمذيبات العضوية كالإيتر والكلوروفورم.

الخصائص الحسية:

- أحاديات وقليلات السكاريد والساكار الكحولية المقابلة لها ذات طعم حلو مع بعض الاستثناءات، ومن المحليات الهامة السكروز، شراب النشاء، الغلوكوز، الفركتوز، اللاكتوز، والساكار الكحولية مثل السوربيتول، المانيتول.
- تختلف السكريات بطبيعة الحلاوة وشدة الطعم وتعتمد كثافة الطعم الحلو على التركيز وبنية المركب ودرجة pH ودرجة الحرارة ووجود مركبات أخرى حلوة أو لا.
- تقاس كثافة الطعم من خلال تحديد عتبة التمييز للسكر (أقل تركيز يمكن عنده الإحساس بالطعم الحلو) أو من خلال المقارنة مع مادة مرجعية والتي غالباً ما تكون السكروز حيث يتميز السكروز عن السكريات الأخرى بطعمه الحلو حتى بتراكيز عالية.

التفاعلات الكيميائية :

١- إرجاع السكر (التحويل إلى السكاكر الكحولية):

يمكن تحويل السكاكر الأحادية إلى الكحولات المقابلة لها، تتم عملية الإرجاع باستخدام الهيدروجين (H)، وبوجود وسطاء كالحرارة والنيكل أو هديد الليثيوم والألمنيوم (LiAlH₄) أو هديد البور والصوديوم (NaBH₄)

ويتم إرجاع السكاكر بطريقتين :

A. نزع الأوكسجين : كما في سكر الريبوز الذي يُرجع إلى الريبوز منقوص الأوكسجين -Ribose-Deoxy الداخل في تركيب ال DNA.

B. إضافة الهيدروجين إلى زمرة الكربونيل في السكر فتتشكل الأغوال السكرية .

مثال: السوربيتول (بسبب هدرجة الزمرة الوظيفية) طعمه حلو، لكنه لا يعطي الطاقة التي تعطيها السكاكر فينصح به لمرضى السكري .

ومن الكحولات المهمة في تصنيع الغذاء: sorbitol و D-mannitol حيث ينتج Maltitol عن maltose في حين ينتج السوربيتول عن الغلوكوز (يوجد السوربيتول في العديد من الفاكهة مثل الكمثرى و التفاح).

تستخدم السكريات الكحولية في العديد من الحالات:

- كبدائل للسكر في تصنيع طعام الحمية.
- لإنقاص نشاط الماء بالأطعمة متوسطة الرطوبة.
- تحسين خصائص الإماهة للطعام المجفف.

التفاعلات الكيميائية :

٢- تفاعلات الأكسدة:

السكريات الأحادية ثابتة في مجال PH(3-7).

- يؤدي تسخين السكريات الأحادية تحت ظروف حمضية إلى عدد كبير من المركبات الفورانية والبيرانية مثل ، hydroxymethyl furfural, 5-methylfurfura وهذا ما يحدث أثناء بسترة عصير الفواكه، كما تتشكل مركبات الفورفورال أثناء تحمص القهوة وتسخين العسل أو تخزينه.

- يحدث تفاعل Isomerization في الوسط القلوي حيث يمكن أن يتحول أحد السكريات إلى سكر آخر وفي مردود مختلف، يلعب الأزمنة دوراً في تحويل aldose إلى ketose مثلاً يتم إعادة ترتيب lactose إلى lactulose الذي يستخدم لعلاج الإمساك المعند .

التفاعلات الكيميائية :

٣- تفاعل ميلارد :Maillard reaction

هذا التفاعل مسمى إلى العالم الفرنسي لويس ميلارد (1912) (Maillard)، التفاعل عبارة عن تفاعل مجموعة الكربونيل لسكر مرجع مع مجموعة الأمين لحمض أميني أو ببتيد أو بروتين، ويحدث في المراحل المتقدمة من التفاعل العديد من المركبات التي تتميز بلون بني أو مركبات ذات نكهة من بينها مركبات الديكاربونيل والمركبات الفورفورالية .

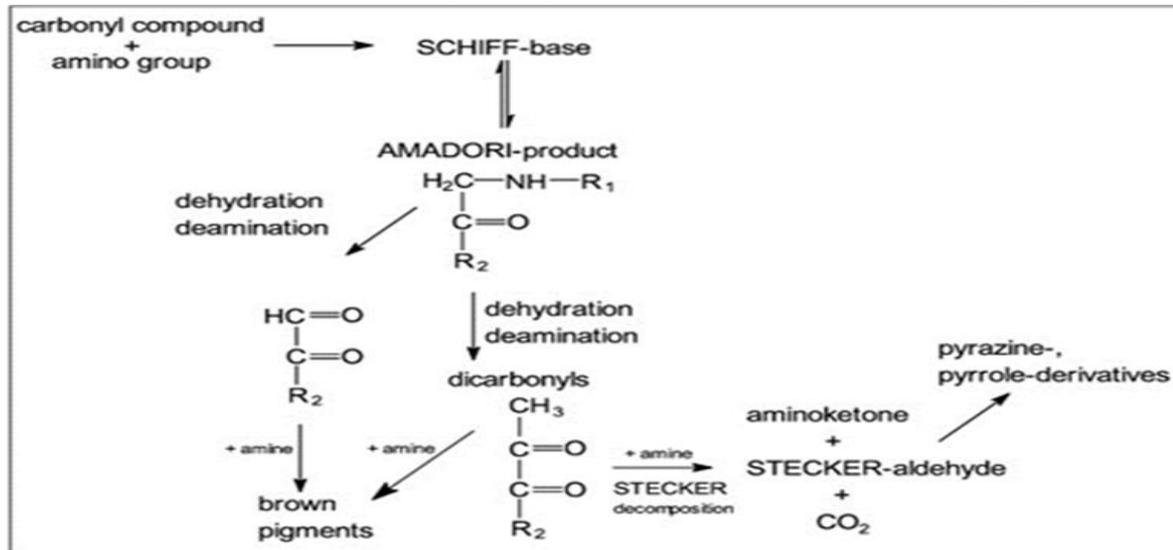
تأثير تفاعل ميلارد:

- ١- يؤدي إلى تغيرات مرغوبة في النكهات والألوان في العديد من الأغذية مثل منتجات المخازن و القهوة.
- ٢- يؤدي إلى تغيرات غير مرغوبة في النكهات والألوان في العديد من الأغذية مثل الحليب المجفف .
- ٣- يمكن أن يسبب هدم وخسارة في الأحماض الأمينية الأساسية (خاصة الليزين Lysine).
- ٤- المركبات الناتجة من التفاعل لها خاصية إعاقة تفاعلات الأكسدة في الليبيدات.
- ٥- مركبات ذات خواص محتملة منشطة للطفرات.

التفاعلات الكيميائية :

٤- تفاعل ستريكر (Strecker degradation):

تسبب التفاعلات بين مركبات α -dicarbonyl (التي تم الحصول عليها خلال تطور تفاعل ميلارد بالإضافة لتحطم السكريات والدهن) والأحماض الأمينية ما يعرف بتفاعل ستريكر حيث يؤدي إلى تشكيل ألدهيدات ستريكر Strecker aldehydes عبر نزع الكربوكسيل التأكسدي لـ α -amino acids وتتشكل العديد من المركبات العطرية الهامة لتطور الرائحة خلال عمليات المعالجة الحرارية للأغذية مثل ميثيونال methional وفينيل أستيل ألدهيد phenylacetaldehyde ومركبات حلقة غير متجانسة (Heterocyclic compounds) مثل (thiophenes، oxazoles، pyrazines).



التفاعلات الكيميائية:

٥- الكرملة (Caramelization):

تعتبر الكرملة إحدى تفاعلات الاسمرار غير الإنزيمية و تؤدي إلى تكوين مركبات (Enediols) ومركبات ثنائي الكربونيل (Dicarbonyls)، ويتم فيها الحصول على المنتجات ذات اللون البني مع نكهة الكراميل النموذجية عبر صهر السكر أو عبر تسخين شراب السكر بوجود المحفزات الحمضية و / أو القلوية، وتحدث الكرملة لجميع السكريات (لا تحتاج إلى وجود سكر مختزل أو إلى وجود مجموعة الأمين).

تحدث عملية الكرملة عند:

- درجات حرارة مرتفعة (تقريباً ١٥٠ °م).
- محتوى منخفض من الماء.
- كمية مرتفعة من السكر.

تأثير تفاعل الكرملة:

- ١- تؤدي إلى تغيرات مرغوبة في النكهات والألوان في العديد من الأغذية مثل (تنتج رائحة الكرمل كما في القهوة، تنتج ألوان المشروبات كما في الكولا).
- ٢- تؤدي إلى تغيرات غير مرغوبة في النكهات والألوان في العديد من الأغذية مثل (تنتج رائحة تشبه رائحة السكر المحروق).

التفاعلات الكيميائية:

٦- الأسترة:

- تفاعل أحاديات السكاريد مع الحموض العضوية أو اللاعضوية فيتم إدخال مجموعة الأسيل ($\text{CH}_3\text{CO}-$) لها. تلعب مجموعة الأسيل المضافة مجموعة من الأدوار:
- دوراً في الحماية في العديد من تفاعلات الاصطناع
- تلعب أستيرات السكريات الأحادية مع حمض الفوسفور دوراً أساسياً في استقلاب السكريات أثناء اصطناعها وتفككها ضمن الخلية وكذلك في بناء الحموض النووية.
- تجعل السكريات مناسبة للفصل والتحليل الكيفي والكمي بواسطة الكروماتوغرافيا وذلك لأنها تسهل عملية تطايرها.
- من ميزات تفاعل مجموعة الأسيل للسكريات أنها تجعل الكروماتوغرام أكثر بساطة وسهولة بالتفسير حيث لا توجد فيه قمم أنوميرية.
- كما يتم إنتاج إسترات السكر وإسترات السكر الكحولي صناعياً بالتفاعل مع سلسلة طويلة من الأحماض الدسمة ومن أمثلتها أستر الحمض الدسم للسوربيتان وإسترات السكروز حيث تعمل هذه المواد كعوامل فعالة على السطح في الصناعات الغذائية

طرائق معايرة السكريات:

يوجد العديد من الطرق لتقدير تركيز كربوهيدرات الأغذية ومن هذه الطرق تعتمد على تغير في بعض الخواص الفيزيوكيميائية في الغذاء كلما حدث تفاوت في تركيز الكربوهيرات.

الطرائق الفيزيائية تتضمن:

١- الاستقطاب الضوئي Polarimetry:

الجزئيات التي تحتوي على ذرة كربون غير متناظرة لها القدرة على تدوير الضوء المستقطب، جهاز الاستقطاب polarimeter يقيس قيم دوران زاوية الضوء المستقطب عندما يمر بمحلول.

إن مدى الاستقطاب يعتمد على تركيز الجزيئات النشطة ضوئياً في المحلول حسب المعادلة:

$$a = [a]lc$$

حيث أن $[a]$ هي مقدار التدوير النوعي، (l) هي سمك خلية العينة و (C) التركيز.

تعتمد قيم زاوية الدوران على درجة الحرارة وطول موجة الضوء المستعمل، لذا فإن هذان المتغيران عادة توجد عند ٢٠م و ٥٨٩.٣ نانومتر.

الطرائق الفيزيائية:

٢- معامل الانكسار (RI) Refractive Index

إن معامل الانكسار لأي مادة هو سرعة الضوء في الفراغ مقسوم على سرعة الضوء في المادة ومعامل الانكسار لمادة يمكن أن يقدر بقياس قيمة زاوية الانكسار وقيمة زاوية السقوط عند الحدود بينها ومادة أخرى معلومة معامل الانكسار .

معامل الانكسار لمحلول الكربوهيدرات يزيد بزيادة التركيز ولذا يمكن أن يستعمل لقياس كمية الكربوهيدرات المختبرة ، هذه الطريقة سريعة وبسيطة ودقيقة ويمكن أن تنفذ بآلات بسيطة محمولة يدوياً، تستعمل بشكل روتيني في المصانع لتقدير تركيزات السكر في الشراب syrup العسل، الدبس molasses، منتجات الطماطم والمرببات.

الطرائق الكيميائية:

تعتمد هذه الطرائق على القدرة الإرجاعية للسكريات كالغلوكوز والفركتوز والجالاكتوز والمالتوز واللاكتوز حيث تتأكسد السكريات المختزلة بمحاليل أملاح المعادن في درجات حرارة مرتفعة تتجاوز (٩٠) درجة مئوية أو بمحلول اليود في وسط قلوي بارد ويتم إرجاع المعادن .

أهم هذه الطرائق هي طرائق الإرجاع بالنحاس مثل لان-إينون و فهلنغ و برتراند ولوف-شورل.

طريقة فهلنغ : ينقط محلول السكر على محلول بدرجة الغليان من كبريتات النحاس الأزرق اللون فترجع أيونات النحاس إلى أوكسيد النحاسي الأحمر اللون.

طريقة لان-إينون: تستمر المعايرة حتى يزول اللون ويستخدم مشعر أزرق الميثيلين لتحديد نقطة نهاية المعايرة بدقة.

طريقة برتراند: يفصل أوكسيد النحاسي المتشكل ويعامل بكبريتات الحديد ثم تعالير كبريتات الحديدي المتشكلة ببرمنغنات البوتاسيوم بوجود مشعر الأورتوفينانترولين.

طريقة لوف - شورل: البديلة لطريقة فهلنغ تحل كربونات الصوديوم مكان ماءات الصوديوم أثناء تحضير محلول فهلنغ B يعطي ذلك محلول أخف قلوية وبالتالي عامل أكسدة أقل قوة مما يسمح بإجراء التحليل على عينة أصغر ويعالير الفائض من محلول النحاس بالثيوكبريتات .

تستعمل طرائق الإرجاع بكثرة لسهولة تحضير كواشفها وبساطة التجهيزات اللازمة ، لكنها تتطلب إجراء المعايرة في شروط الغليان لتجنب التداخل مع الأوكسجين الجوي، كما يصعب تحديد نقطة نهاية المعايرة للمحلين غير المتمرسين.

الطرائق اللونية:

تعتمد هذه الطريقة على قدرة السكريات في الوسط الحمضي على التحول لمركبات حلقيه مثل الفوروفورال وهيدروكسي ميتيل فورفورال ، نفاعل هذه المركبات الحلقيه مع كاشف معين ستعطي لون نقيس نقيس شدته وبالتالي نعرف كمية السكر الموجود من خلال المعايرة بالطرائق اللونية.

مثال:

طريقة انثرون Anthrone Method :

إن طريقة انثرون تستعمل لتقدير تركيز السكريات الكلية في المادة الغذائية حيث تتفاعل مع كاشف انثرون تحت ظروف حمضية لإنتاج لون أزرق مخضر حيث تخلط العينة مع حمض الكبريت المركز وكاشف anthrone وبعد ذلك تغلى حتى إتمام التفاعل، ثم يترك المحلول ليبرد ثم تقاس شدة اللون عند طول موجي ٦٣٠ نانومتر.

طريقة الفينول – حمض الكبريت Phenol-Sulfuric Acid Method:

تستخدم أيضاً لتقدير التركيز الكلي للكربوهيدرات الموجود في الأغذية، يوضع محلول مائي رائق من الكربوهيدرات المختبرة في أنبوبة اختبار، ثم يضاف الفينول وحمض الكبريت فيتحول لون المحلول إلى لون أصفر – برتقالي كنتيجة للتفاعل بين الكربوهيدرات والفينول تقاس شدة اللون الناتج عند ٤٩٠ نانومتر.

الطرائق الإنزيمية :Enzyme methods

تعتمد الطرائق الإنزيمية على تفاعلات لونية باستخدام إنزيم، وهي طرائق لقياس الغلوكوز غالباً ما تستخدم في المعايير الحيوية، حيث نجد ثلاثة أنظمة إنزيمية لقياس الغلوكوز وهي:

١- الغلوكوز أوكسيداز

٢- الغلوكوز ديهيدروجيناز

٣- الهكسوكيناز

يتولد عن هذه الطرق مركبات يمكن قياسها إما ضوئياً أو بتيار كهربائي يتناسب مع تركيز الغلوكوز البدئي

طريقة الغلوكوز أوكسيداز:

- يؤكسد الغلوكوز أوكسيداز الغلوكوز إلى حمض D-غلوكونيك وهو حمض ألدوني وينتج عن ذلك الماء الأوكسجيني ، ويقوم الماء الأوكسجيني بأكسدة صباغ أورتو-ديانيزيدين عديم اللون إلى مركب ملون يمكن قياس شدة اللون بمقياس الطيف الضوئي .

كروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء High Performance Liquid Chromatography (HPLC):

تعد طريقة HPLC من أفضل طرق تحليل السكريات الأحادية و الأوليغوسكريدات ويمكن استخدامها أيضاً في تقدير السكريدات العديدة بعد تعرضها للتحليل المائي.

في هذه الطريقة تحلل السكريات تحليلاً وصفيًا ويتم التحليل الكمي بحساب مساحة القمم peaks .

تتميز هذه الطريقة بسرعة الإجراء، مع إمكانية إجرائها على مدى واسع من التراكيز، إضافة إلى دقتها.

كروماتوغرافيا الغازية (GC) Gas Chromatography:

لإجراء فصل للسكريات بطريقة كروماتوغرافيا الغازية يجب تحويل السكريات إلى مشتقات سهلة التطاير قبل التحليل ومن أكثر المشتقات المتطايرة شيوعاً مشتق فوق خلات الألديتول حيث يتم إنتاجه على خطوتين:

١- اختزال المجموعة الألدهيدية إلى مجموعة كحول أولي.

٢- تحويل السكر المختزل إلى مركب فوق خلات الإستر المتطاير أو مشتق تري ميثيل سيليل إثير

Trimethylsilyl ether.