الباب السادس والثلاثون

الأيض النباتى

يستعمل اصطلاح « الأيض » (Metabolism) للدلالة على التحولات الكيميائية – من بناء وهدم – التى تحدث فى الخلايا الحية . وتتضمن عمليات الأيض البنائى (Anabolism) التفاعلات التى تؤدى إلى تكوين مواد عضوية معقدة من مواد بسيطة ، أما عمليات الأيض الهدمى (Katabolism) فتشتمل على تفكيك المواد العضوية إلى مواد أبسط منها تركيباً . وتقترن عمليات البناء عادة بامتصاص الطاقة ، أما عمليات الهدم فتنطلق فى أثنائها الطاقة .

وقد تناولنا فى البابين السابقين أهم عمليات الهدم والبناء – وهما التنفس والبناء الضوئى – على أنه لكى تكون الصورة الكاملة للتحولات الغذائية مفهومة للدارس ، فإن وصفاً مختصراً لبعض المركبات العضوية الهامة فى النبات سيكون موضوع هذا الباب . وهذه المركبات هى : الكربوإيدراتات والبروتينات والدهون ، وهى التى تعرف عادة بالمواد الغذائية .

(ا) الأيض الكربوإيدراتى

تكون المواد الكربوإيدراتية قسما هاماً من مجموعة المواد العضوية التى توجد فى النبات ، وهى تشتمل على المادة السكرية الناتجة من عمليات البناء الضوئى ، والمواد الداخلة فى تركيب الجدار الخلوى ، وبعض مواد الادخار الهامة كالنشا ومواد أخرى أقل أهمية توجد بكميات ضئيلة فى الخلايا النباتية . وفى الواقع يعتبر السكر المتكون فى أثناء البناء الضوئى مصدراً لكل هذه الأنواع المختلفة من المواد الكربوإيدراتية .

وتتركب المواد الكربوإيدراتية من عناصر الكربون والإيدروجين والأكسيجين ، ويوجد العنصران الأخيران فى جزيئات معظمها بنسبة وجودهما فى الماء ، ولذلك تشترك معظم مواد هذه المجموعة فى القانون الأولى لكم (يدرا)ن .

والكربوإيدراتات الشائعة فى النباتات يمكن تقسيمها على النحو التالى :

١ ــ أحاديات التسكر (Monosaccharides): وأهم ما يوجد منها قسمان ، الأول تحتوى جزيئاته على خمس ذرات من الكربون ويعرف بالسكرات الخماسية أو البنتوزات (Pentoses) مثل الزيلوز (Xylose) والأرا بينوز (Arabinose) والريبوز (Ribose) ، أما القسم الثانى فتحتوى جزيئاته على ست ذرات من الكربون ويعرف بالسكرات السداسية أو الهكسوزات (Hexoses) مثل الجلوكوز والمانوز والجالاكتوز والفركتوز .

٢ ــ ثنائيات التسكر (Disaccharides) : مثل السكروز والمولتوز والسلوبيوز واللاكتوز .

٣ ــ ثلاثيات التسكر (Trisaccharides) مثل الرافينوز .

٤ ــ عديدات التسكر (Polysaccharides) مثل النشا والسليلوز والمواد البكتية .

وأحاديات التسكر لا يمكن تحليلها إلى مواد سكرية أبسط منها ، وهى تتميز إلى سكرات ألدهيدية (Aldoses) وسكرات كيتونية (Ketoses) ، ويحتوى جزئ السكر الألدهيدى على مجموعة ألدهيدية (ا = ك ــ) ، أما

ا = ك ــ
|
يد

جزئ السكر الكيتونى فيحتوى على مجموعة كيتونية (= ك = ا) .

أما ثنائيات وثلاثيات التسكر فتعتبر سكرات مركبة تتحلل إلى أبسط منها فينتج عن التحليل المائى لجزئ ثنائى التسكر جزيئان من أحاديات التسكر ، أما الجزئ فى ثلاثيات التسكر فينتج ثلاثة جزيئات . وأحاديات التسكر التى تتكون منها كل السكرات المركبة الهامة فى النبات هى من نوع الهكسوز . وقد تكون جزيئات الهكسوز المكونة للسكر المركب كلها من نوع واحد أو من أكثر من نوع واحد ، ويتوقف هذا على نوع السكر المركب .

ويطلق عادة على أحاديات وثنائيات وثلاثيات التسكر لفظ السكرات ، ومعظمها مواد بلورية حلوة المذاق وتذوب فى الماء .

الخواص العامة للسكرات :

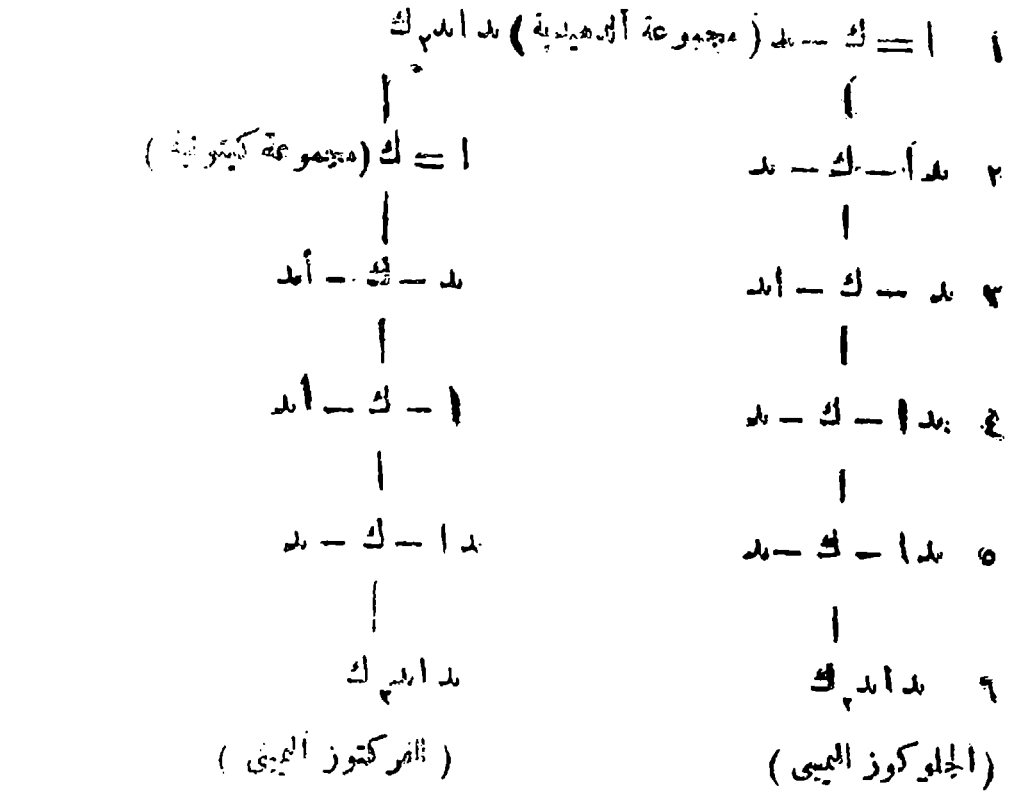
تتميز السكرات إلى سكرات مختزلة وأخرى غير مختزلة ، ويمكن معرفة ذلك بإضافة محلول فهلنج (Fehling's solution) إلى محلول السكر ، فعند التسخين يحول السكر المختزل إيدروكسيد النحاسيك فى المحلول الكاشف إلى أكسيد نحاسوز ، الذى يظهر فى صورة راسب أحمر ؛ وتعزى الخواص الاختزالية للسكر إلى وجود المجموعة الألدهيدية أو الكيتونية ، وكلتاهما قابلة للتأكسد . ولما كانت أحاديات التسكر تحتوى جزيئاتها على إحدى هاتين المجموعتين فجميعها سكرات مختزلة . أما السكرات المركبة فتعتمد قدرتها الاختزالية على الطريقة التى ترتبط بها الوحدات المكونة للجزئ ، فإذا تم هذا الارتباط على حساب المجموعات الألدهيدية والكيتونية كان السكر المركب غير مختزل .

ومن المألوف فى السكرات أن الكثير منها يشترك فى القانون الجزيئى الواحد ، ولذلك يكثر بينها التشابه ، وقد يكون هذا التشابه تركيبياً (Structural) أو فراغياً (Stereochemical) ، وفى النوع الأول تحتوى المواد المتشابهة على نفس الذرات وبكميات متساوية ولكنها تختلف فى المجموعات الذرية ، فالجلوكوز والفركتوز يشتركان فى القانون الجزيئى ($ك_٦ يد_{١٢} ا_٦$) إلا أن الأول يحتوى على مجموعة ألدهيدية والثانى على مجموعة كيتونية .

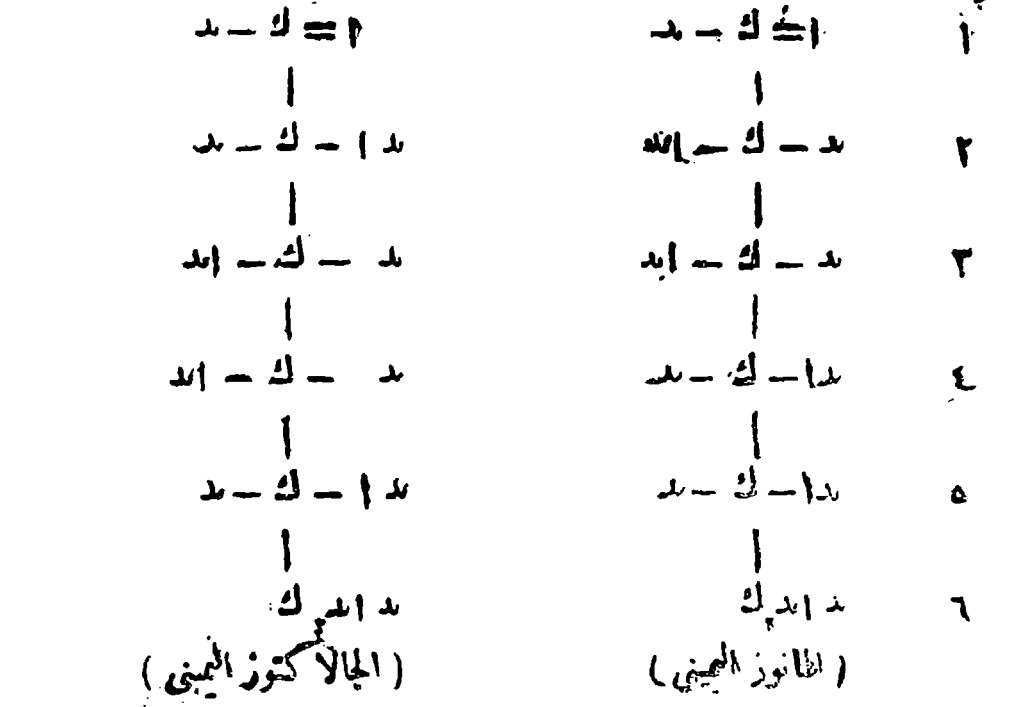
أما السكرات التى تتشابه فراغياً فتحتوى على نفس المجموعات الذرية ، غير أن هذه المجموعات ترتب بنظم مختلفة فى الفراغ حول ذرات الكربون غير المتناظرة ، فالسكران اليمينيان المانوز والجلوكوز يختلفان فى وضع مجموعة الإيدروكسيل حول ذرة الكربون الثانية فى جزئ كل منهما ، كذلك يختلف السكران اليمينيان الجلوكوز والجالاكتوز من حيث وضع مجموعة الإيدروكسيل حول ذرة الكربون الرابعة فى جزئ كل منهما .

ذرات

كربون



ذرات
كربون

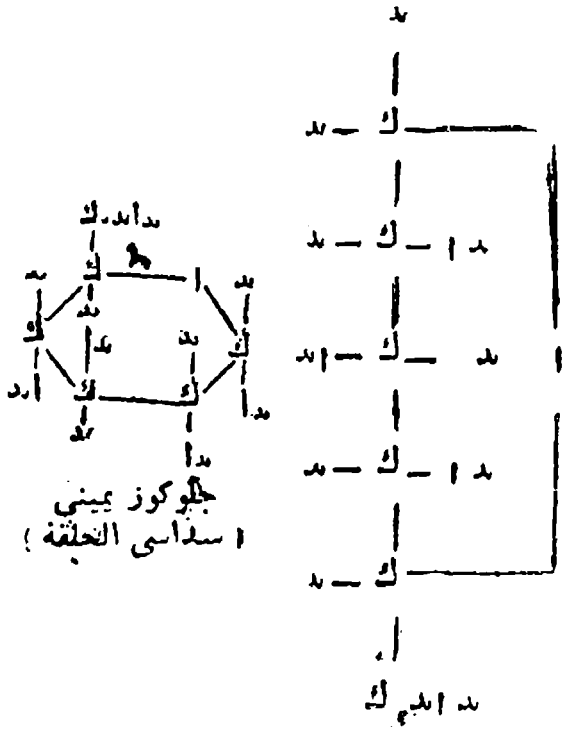


وفى كل السكرات أحادية التسكر اليمينية توجد مجموعة الإيدروكسيل على يمين ذرة الكربون الملاصقة للمجموعة الطرفية (كيدرايد) . فإذا ما وجدت مجموعة الإيدروكسيل على يسار ذرة الكربون هذه سمى السكر يساريا أى أن لكل سكر صورتين متشابهتين فراغيا . ولما كانت المواد التى تحتوى على ذرات كربون غير متناظرة تتميز دائماً — عندما تكون فى صورة محلول — بقدرتها على أن تحدث انحرافا فى المستوى الذى يسير فيه الضوء المستقطب * ، فإن إحدى الصورتين تسبب انحراف الضوء المستقطب ناحية اليمين (أى فى اتجاه عقرب الساعة) بينما تسبب الصورة الأخرى انحرافه ناحية اليسار (أى فى عكس اتجاه عقرب الساعة) ويرمز للاتجاه الأول بالعلامة (+) وللاتجاه الثانى بالعلامة (—) ، إذ أن لفظى يمينى ويسارى السابقين لا يمثلان اتجاه الانحراف فى مستوى الضوء المستقطب ، كما أنه ليس من الممكن تحديد الصورة التى تسبب الانحراف فى أى الاتجاهين . والجلوكوز الذى يوجد فى النبات يمينى الدورة (+) أما الفركتوز فيسارى الدورة (—).

وقد دلت أبحاث كثير من العلماء على أن الجلوكوز — وغيره من الهكسوزات لها من الخواص الكيميائية ما يوحى بأنها توجد فى المحلول فى صورة حلقة مغلقة بالإضافة إلى التركيب المفتوح الذى سبق ذكره ، والتركيب الحلقى فى جزئ الجلوكوز مثلا يتم باتصال ذرتى الكربون الأولى والخامسة بوساطة ذرة أكسيجين. وعندئذ تتكون مجموعة إيدروكسيل جديدة عند الطرف الألدهيدى للجزئ ويصبح عدد ذرات الكربون غير المتناظرة خمساً بدلا من أربع فى

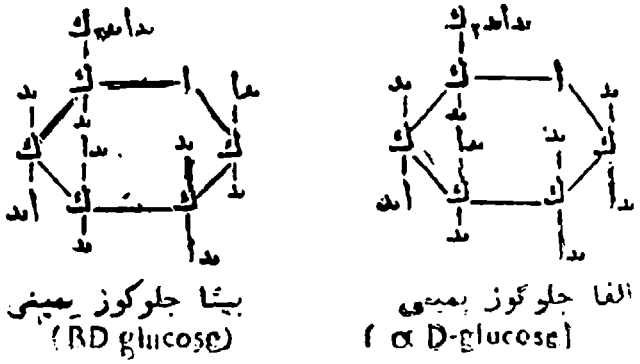
(*) من المعروف أن الأشعة فى حزمة ضيقة تتذبذب فى جميع المستويات ، غير أن هناك منشورات معينة لها القدرة على وقف الذبذبات فى كل المستويات فيما عدا مستوى واحد ، ويطلق على الضوء المار خلال هذه المنشورات اسم « الضوء المستقطب »Polarized Light. فإذا سمح لهذا الضوء بالمرور خلال محلول السكر أو مادة مشابهة له فإن المستوى الذى تسير فيه الذبذبات ينحرف ، ويمكن توضيح ذلك بوضع منشور ثان فى مسار الضوء الخارج من المحلول ، فالمقدار الذى يدار به هذا المنشور الثانى يميناً أو يساراً بالنسبة لوضعه الأصلى — حتى يسمح للضوء بالمرور خلاله — يعين مقدار انحراف الضوء المستقطب واتجاهاته .

التركيب المفتوح . وفى الفركتوز يكون التركيب الحلقى بين ذرتى الكربون الثانية والسادسة .



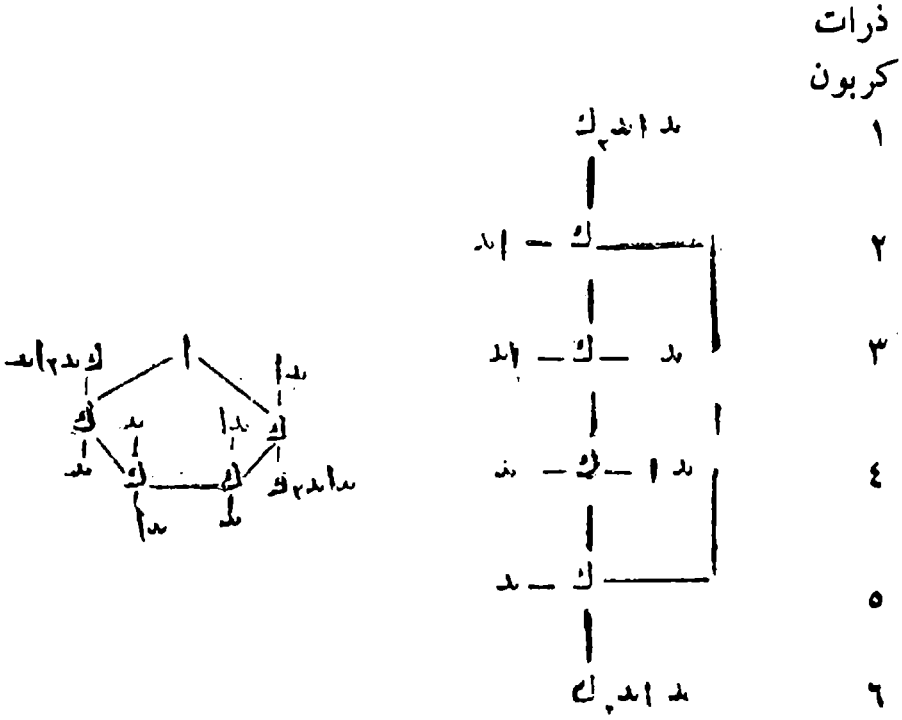
جلوكوز يمينى (سداسى الحلقة)

وعلى حسب وضع مجموعة الإيدروكسيل المتكونة بالنسبة لبقية الجزئ يتميز الجلوكوز الحلقى إلى صورتين – ألفا وبيتا – تختلفان فى خواصهما فالأولى مثلا دورتها اليمينية (+ ١١٣°) أما الثانية فدورتها (+ ١٩°) .



والتركيب الحلقى سداسى عادة (Pyranose ring) غير أنه فى بعض الأحيان قد يكون خماسياً (Furanose) ، وفى هذه الحالة يكون السكر نشطاً

غير ثابت كما فى حالة الفركتوز النشط المعروف باسم « جاما فركتوز » وفيه تتكون الحلقة بارتباط ذرتى الكربون الثانية والخامسة بذرة من الأكسيجين كما يلى :



الفركتوز البيتى خماسى الحلقة (D-Fructofuranoce)

وهذه الصورة النشطة للفركتوز هى التى يوجد عليها فى السكروز وعديدات التسكر المختلفة .

أحاديات التسكر

سبق أن ذكرنا أن هذه السكرات تنقسم تبعاً لعدد ذرات الكربون الداخلة فى تركيب جزىء كل منهما إلى سكرات خماسية — أى بنتوزات — وقانونها الجزيئى ($ك_٥$ يد$_{١٠}$ ا$_٥$) ، وسكرات سداسية — أى هكسوزات — وقانونها الجزيئى ($ك_٦$ يد$_{١٢}$ ا$_٦$) وسنقصر الكلام هنا على السكرات السداسية .

وأهم السكرات السداسية الموجودة فى النبات هى السكرات اليمينية ، الجلوكوز (سكر العنب أو الدكستروز) والفركتوز (سكر الفواكه

أو الليفيولوز) والمانوز والجالاكتوز ، ويوجد السكران الأولان بكثرة فى صورة غير مرتبطة وذائبين فى السيتوبلازم أو فى فجوة كل الخلايا النباتية تقريباً ، ويكثر الفركتوز خاصة فى كثير من الفواكه حيث تزيد كميته على كل من الجلوكوز والسكروز ، ويتحول الجلوكوز والفركتوز كل منهما إلى الآخر فى النبات بسهولة وسرعة ، كما أنهما مادتا استهلاك أساسية لعملية التنفس . ونواتج تكثف الجلوكوز هى النشا والسليلوز ، ويدخل كذلك فى تركيب كثير من السكرات ثنائية وثلاثية ورباعية التسكر . أما ناتج تكثف الفركتوز فهو الإنيولين الذى يكون مادة الا دخار فى كثير من النباتات مثل نباتات الفصيلة المركبة ، ويدخل الفركتوز كذلك فى تركيب السكروز وفى كثير من ثلاثيات ورباعيات التسكر .

أما المانوز والجالاكتوز فيوجدان بكميات ضئيلة جداً فى صورة حرة ، ولكنهما يدخلان فى تركيب بعض عديدات التسكر المكونة للجدار الخلوى . ويدخل الجالاكتوز فى تركيب اللاكتوز والرافينوز وغيرهما من المواد السكرية.

ثنائيات التسكر

وتتكون هذه السكرات بتكاثف جزيئين من جزيئات السكرات أحادية التسكر ، وقد يكون الجزيئان المتكاثفان من نوع واحد أو من نوعين مختلفين ويتم التكاثف بانتزاع جزىء من الماء ، وتشترك فى الرابطة الجليكوسيدية المتكونة إحدى المجموعتين المختزلتين فى السكرين المتحدين على الأقل . وقد تشترك المجموعتان كلتاهما ، وفى هذه الحالة يكون ثنائى التسكر الناتج غير مختزل . وثنائيات التسكر الطبيعية مشتقة من الهكسوزات ، ويمثلها القانون الجزيئى ($ك_{١٢}يد_{١١}ا_{٢٢}$) ، وأهم ما يوجد منها فى النبات السكروز (سكر القصب) والمولتوز (سكر الشعير) والسلوبيوز .

ويعد السكروز أهم ثنائيات التسكر التى توجد منفردة فى النباتات الراقية وقد يصل تركيزه فى سيقان قصب السكر وجذور البنجر إلى ٢٠ ٪ من وزنها

الرطب ، والسكروز ليس سكراً مختزلا ، أى أن الرابطة الجليكوسيدية فيه تتكون من المجموعتين المختزلتين . ويتحلل السكروز بمساعدة إنزيم السكريز (Sucrase) أو الإنفرتيز (Invertase) ، وكذلك إذا عومل بحمض مخفف ، وينتج عن التحلل كميتان متساويتان من الجلوكوز والفركتوز اليمينيين .

والسكروز أحد النواتج الأولى لعملية البناء الضوئى ، كما أنه يتكون فى الأوراق إذا تركت مدة كافية فى الظلام على محلول من الجلوكوز أو الفركتوز ومعنى هذا أن الخلايا الحية تستطيع تحويل الجلوكوز إلى الفركتوز والعكس ثم بناء السكروز منهما . ويتم بناء السكروز فى النبات بمساعدة إنزيم ففوسفوريليزى هو فوسفوريليز السكروز . ففى وجود هذا الإنزيم يتفاعل الجلوكوز — ١ — فوسفات والفركتوز ليكونا السكروز والفوسفات غير العضوية .

ويساعد الإنزيم التفاعل العكسى كما يساعد التفاعل الطردى ومن ثم توجد فى النبات آليتان لتحليل السكروز ، على حين لا توجد غير آلية واحدة لبنائه.

وعلى الرغم من أن وجود إنزيم فوسفوريليز السكروز فى بعض الكائنات الدقيقة يبرهن على وجود ميكانيكية إنزيمية لتكوين هذا السكر الثنائى الهام ، فإن هذا المسار لا يبدو قائماً بالنسبة لبناء السكروز فى النباتات الراقية . وقد اكتشف فى النباتات الأخيرة مجموعة إنزيمية أخرى تتطلب وجود مرافق إنزيمى من مجموعة نيوكليوتيد اليوريدين واتضح أن لها دوراً فى نقل مجموعة الجلوكوسايل .

وتوجد تلك المجموعة من المرافقات الإنزيمية فى صورة أحادية أو ثنائية أو ثلاثية الفوسفات ، ومن أهم خصائصها أنها تتكثف بسهولة مع مجموعة جلوكوسايل مكونة يوريدين فوسفات الجلوكوسايل كما يلى :

يوريدين ثلاثى الفوسفات + جلوكوز فوسفات ⟵

يوريدين ثنائى الفوسفات الجلوكوزى + ٢ فوسفات .

وتنقل مجموعة الجلوكوسايل فى وجود إنزيم خاص من يوريدين ثنائى الفوسفات الجلوكوزى إلى الفركتوز . ومن ثم يتكون السكروز فوسفات ويوريدين ثنائى الفوسفات كما يلى :

يوريدين ثنائى الفوسفات الجلوكوزى + فركتور - ٦ - فوسفات $\xleftarrow[\text{السكروز}]{\text{سينثيتيز}}$

يوريدين ثنائى الفوسفات + سكروز فوسفات .

ويتحرر السكروز من السكروز فوسفات بواسطة إنزيم الفوسفاتيز .

والسكر الثانى - وهو المولتوز - يندر وجوده فى النباتات فى حالة حرة ولكنه يتكون عند إنبات البذور النشوية كحبات الشعير ، وذلك فى أثناء التحليل المائى للنشا المدخر فيها بوساطة الأمليزات . ويتركب جزىء المولتوز من وحدتين من الجلوكوز ، ترتبط ذرة الكربون الأولى فى إحداهما بذرة الكربون الرابعة فى الأخرى ، وبذلك تبقى المجموعة الألدهيدية المختزلة فى الوحدة الأخيرة فى حالة حرة وعلى ذلك فالمولتوز سكر مختزل ، تعادل قوته الاختزالية نصف القوة الاختزالية لوزن مكافىء من الجلوكوز .

ويتحلل المولتوز مائياً بمساعدة إنزيم المولتيز (Maltase) أو فى وجود حمض ويعطى فى الحالتين جزيئين من الجلوكوز اليمينى .

والسكر الثالث - وهو السلوبيوز - مختزل هو الآخر ، وينتج عن التحليل المائى للسليلوز بمساعدة إنزيم السليوليز (Cellulase) ، وعند التحليل المائى للسلوبيوز ينتج جزيئان من الجلوكوز اليمينى . ويختلف السلوبيوز عن المولتوز فى أنه يتكون بتكاثف جزيئين من بيتا جلوكوز ، أما جزىء المولتوز فيتكون بتكاثف جزيئين من ألفا جلوكوز . وعلى ذلك فإن الإنزيم الذى يحلل السلوبيوز لابد أن يكون بيتا جلوكوسيديز (B-Glucosidase) مثل الإمالسين.

(عديدات التسكر)

هى مركبات كربوإيدراتية معقدة ذات أوزان جزيئية عالية ، وتضم عدة مركبات مألوفة ومنتشرة فى المملكة النباتية . ويتكون جزىء عديد

التسكر بتكاثف عدد كبير من جزيئات السكر أحادية التسكر وغالباً ماتكون الجزيئات المتكاثفة من نوع واحد كما هو الحال فى النشا والسليلوز اللذين يتكونان من الجلوكوز اليمينى ، وقد يتكون عديد التسكر من نوعين أو أكثر من جزيئات السكرات السابقة كما فى المواد الصمغية والمخاطية . وعديدات التسكر — على النقيض من السكرات — ليست حلوة المذاق ، كما أن أغلبها لايذوب فى الماء أو يذوب فيه بدرجة ضئيلة ، ويكون بعضها مع الماء محاليل غروانية محبة لوسط الانتشار .

ومن أمثلة عديدات التسكر التى توجد فى النبات ما يأتى :

النشا : يعد النشا من أكثر المركبات الكربوإيدراتية شيوعاً فى النبات فهو مادة الادخار الأساسية فى معظم النباتات الراقية ، فيختزن بكميات كبيرة فى البذور حيث يستهلك فى وقت الإنبات . وكذلك يختزن فى الدرنات والجذور ويتكون النشا فى الأوراق فى أثناء عملية البناء الضوئى ، ويتم تكوينه فى البلاستيدات الخضر ، وقد يتراكم فيها ، غير أن تراكمه فى هذه الحالة يكون تراكما مؤقتاً .

وسواء تكون النشا فى البلاستيدات الخضر فى الأنسجة النباتية المعرضة للضوء أو فى البلاستيدات عديمة اللون فى الأنسجة البعيدة عن الضوء ، فإنه يتكون على شكل حبيبات مجهرية تتفاوت شكلا وحجما فى النباتات المختلفة ، وقد سبق شرح ذلك بالتفصيل فى الباب السابع الخاص بالخلية النباتية .

ويتحلل النشا عند غليه مع الأحماض المخففة ، ونظراً لتعقد جزيئاته فإن التحليل لايتم فى مرحلة واحدة بل على عدة خطوات ، يتكون فى كل منها دكسترين أقل تعقيداً من سابقه ، وتنتهى عملية التحليل بتكون الجلوكوز . وعلى حين يعطى النشا لونا أزرق إذا عومل بمحلول اليود فى يوديد البوتاسيوم فإن نواتج تحلله لاتعطى هذا اللون ، فالدكسترينات المعقدة تعطى مع اليود لوناً أرجوانياً ، أما الدكسترينات البسيطة فلا تعطى أى لون . وثنائى التسكر الوحيد الذى ينتج عند تحليل النشا هو المولتوز ، مما يوحى بأن الروابط فى

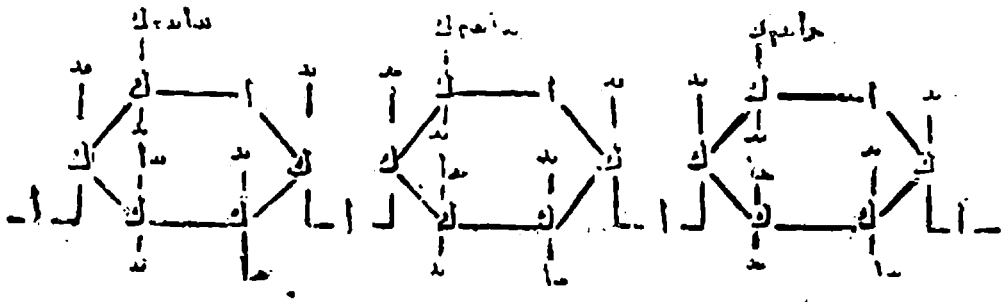
جزىء النشا هى من نفس النوع الذى يوجد بين وحدتى الجلوكوز فى جزىء المولتوز .

ويتركب النشا فى الواقع من مادتين هما الأميلوز (Amylose) والأميلوبكتين (Amylopectin) . ويكون الأميلوز نسبة تتراوح بين صفر و ٣٥٪ من وزن النشا ، وتتوقف تلك النسبة على نوع النبات ، فنشا البطاطس مثلا يحتوى على ٢٠٪ أميلوز ، أما نشا البسلة الناعمة فيحتوى على ٣٥٪ منه .

وتختلف المادتان فى خواصهما الطبيعية ، فالأميلوز أكثر ذوباناً فى الماء وأقل لزوجة فى المحلول من الأميلوبكتين ، كما أنه يعطى مع محلول اليود فى يوديد البوتاسيوم لوناً شديد الزرقة ، أما الأميلوبكتين فيعطى معه لوناً خفيفاً من الأزرق البنفسجى . كذلك تختلف المادتان بالنسبة لتأثير إنزيم « بيتا أميليز » (B-amylase) ، فعلى حين يتحلل الأميلوز جميعه إلى سكر المولتوز فإن الأميلوبكتين يتحلل إلى مخلوط من المولتوز والدكسترين . ويعزى هـذا الاختلاف فى خواص المادتين إلى الاختلاف فى تركيب جزيئاتهما ، فجزئ الأميلوز يتكون من سلسلة مستقيمة غير متفرعة ترتبط فيها جزيئات الجلوكوز (ألفا جلوكوز) بعضها مع بعض بوساطة ذرات الأكسيجين ، ويحدث الارتباط بين ذرة الكربون (١) فى جزئ وذرة الكربون (٤) فى جزئ الجلوكوز الذى يليه .

وتحتوى سلسلة جزئ الأميلوز على ٣٠٠ـ١٠٠٠ وحدة جلوكوز .

أما جزئ الأميلوبكتين فأكثر تعقيداً ، ليس لاحتوائه على عدد أكبر



(ارتباط وحدات الجلوكوز فى جزىء الأميلوز)

من وحدات الجلوكوز فحسب ، ولكن لتكونه من سلاسل كثيرة التفرع . وقد تحمل كل سلسلة فرعية فى جزئ الأميلوبكتين سلاسل فرعية أخرى . ويبلغ عدد وحدات الجلوكوز فى الجزئ ٢٠٠٠ وحدة أو أكثر .

والطريقة التى يحلل بها الإنزيم « بيتا أميليز » مادتى النشا تعتمد كثيراً على هذا التركيب المقترح . فعندما يهاجم الإنزيم سلاسل الأميلوز غير المتفرعة فإنه يفصل من أطرافها بالتدريج وحدات من سكر المولتوز حتى يتم تحللها (شكل ٣٧٣ : ا) ، أما مهاجمته للأميلوبكتين فتقتصر على السلاسل الطرفية فقط ، يفصل منها وحدات المولتوز ثم يقف فعل الإنزيم عند نقط التفرع (شكل ٣٧٣ : ب) ويكون الجزئ المركزى المتبقى هو الدكسترين الناتج عند التحلل .

(شكل ٣٧٣)

الطريقة التى يهاجم بها انزيم « بيتا اميليز » جزيئى الاميلوز (ا) والاميلوبكتين (ب) . (عن حاسيد) .

ويتحلل النشا بإنزيم أميليزى آخر هو « ألفا أميليز » ، ويكون ناتج التحليل فى هذه الحالة دكسترينات تتركب جزيئاتها من ست أو إثنتى عشرة وحدة جلوكوز . ويقتصر عمل هذه الأميليزات فى النبات على تحليل النشا ، أى أنها لا تساعد الاتجاه البنائى . والمعروف الآن أن بناء النشا يتم من الجلوكوز — ١ — فوسفات فى وجود إنزيم آخر هو فوسفوريليز النشا . الذى أثبت هينز (Hanes) — عام ١٩٤٠ — وجوده فى بذور البسلة ودرنات

البطاطس وفى كثير من الأنسجة النباتية ، ومن بينها أنسجة الأوراق الخضراء التى يتكون فيها النشا . وتمثل المعادلة الآتية طبيعة التفاعل الذى يحدث فى وجود هذا الإنزيم وفيه تضاف وحدات الجلوكوز واحدة بعد الأخرى إلى الطرف غير المختزل لجزىء مستقبل ، ومن ثم يتم بناء جزئ أميلوز .

$$\text{ن (جلوكوز -١- فوسفات) + مستقبل} \underset{\text{النشا}}{\overset{\text{فوسفوريليز}}{\rightleftharpoons}} \text{أميلوز + فوسفات}$$

ويساعد الإنزيم الاتجاه التحليلى كما يساعد الاتجاه البنائى ، ويتوقف ذلك على التركيزات النسبية للمواد المتفاعلة .

وثمة إنزيم آخر قادر على تكوين روابط (ألفا ١-٤) بإضافة وحدات من الجلوكوز إلى جزئ بادئ (Primer molecule) هو ترانس جلوكوزيليز يوريدين ثنائى الفوسفات جلوكوز ، وقد اكتشف وجوده فى نباتات الفول والذرة والبطاطس حيث اتضح أنه يعمل على نقل الجلوكوز من يوريدين ثنائى الفوسفات جلوكوز إلى جزئ بادئ (٣ وحدات ألفا ١-٤ جلوكوز أو أكثر) ، وهكذا تتتابع إضافة روابط جلوكوسيدية من النوع ألفا ١-٤ على النحو التالى :

$$\text{يوريدين ثنائى الفوسفات جلوكوز + مستقبل} \xleftarrow[\text{Transglycosylase}]{\text{UDPG}}$$

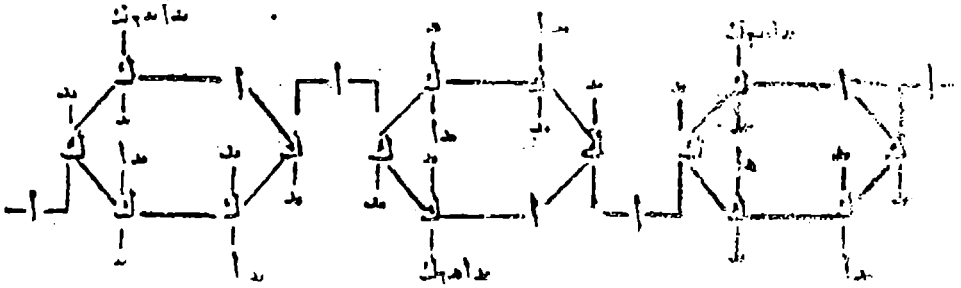
يوريدين ثنائى الفوسفات + ألفا (١-٤) جلوكوسايل المستقبل

والإنزيمات السابقة قادرة على بناء الروابط الجليكوسيدية ألفا (١-٤) . أما الروابط ألفا (١-٦) الموجودة فى النشا فيقوم ببنائها إنزيم آخر يعرف بإنزيم Q وقد ثبت وجوده فى البطاطس ، ويعمل هذا الإنزيم على ربط سلاسل صغيرة من نوع الأميلوز بذرة الكربون السادسة فى جزئ مستقبل ، وهكذا تتكون الفروع التى تميز الأميلوبكتين .

السليلوز : وهو المركب الأساسى فى جدر خلايا النباتات الراقية ، ويوجد فى حالة نقية تقريباً فى جدر ألياف القطن ، ولكنه يختلط عادة بغيره

من المواد كالكيوتين فى خلايا البشرة فى أعضاء النبات الهوائية ، وكاللجنين فى الأوعية الخشبية .

وجزيئات السليلوز عبارة عن سلاسل طويلة ومستقيمة ، تتكون بتكثف جزيئات بيتا جلوكوز ، ولا يقل ما يحتويه جزئ السليلوز منها عن ١٠٠٠ وحدة ، تتصل بعضها مع بعض بذرات أكسيجين تربط بين ذرة الكربون(١) فى جزئ وذرة الكربون (٤) فى الجزئ الذى يليه كما يتضح مما يلى :



(ارتباط وحدات الجلوكوز فى جزىء السليلوز)

ولا يذوب السليلوز فى الماء ولا فى المذيبات العضوية ، ولكنه يذوب فى إيدروكسيد النحاس النوشادرى ، ويتحلل تدريجياً فى وجود حمض الكبريتيك المركز معطيا الجلوكوز ، أما الحمض المخفف فيسبب انتفاخه وتحوله إلى السليلوز المائى (Hydrocellulose) . ولا يعطى السليلوز لوناً أزرق مع اليود إلا إذا عومل بحمض الكبريتيك المركز أولا .

ويتحلل السليلوز مائياً بمساعدة إنزيم السليوليز وينتج عن التحلل سكر السلوبيوز—وهو ثنائى تسكر—يتحلل مائياً إلى جزيئين من الجلوكوز فى وجود إنزيم السلوبيز (Cellobiase) . وتمثل المعادلتان الآتيتان ما يحدث من تفاعل:

(السليوليز)

(سليلوز) (سلوبيوز)

(السلوبيز)

(سلوبيوز) (جلوكوز)

والإنزيمات المحللة للسليلوز ليست واسعة الانتشار كالأميليزات ، فهى لا توجد فى النباتات الراقية ، بل يقتصر وجودها على بعض الكائنات الدقيقة كالبكتيريا وبعض الفطريات .

(ب) الأيض النيتروجينى

بالرغم من أن مركبات النيتروجين توجد فى النبات بكمية أقل من المواد الكربوإيدراتية ، إلا أنها تعتبر فى المرتبة الأولى من الأهمية ، إذ أن بعض هذه المركبات — وهى البروتينات — تكون جزءاً أساسياً من البروتوبلازم نفسه ، وكذلك فإن الإنزيمات التى تقوم بدور هام فى وظائف الحياة المختلفة ليست إلا مركبات بروتينية ، وتوجد البروتينات أيضاً فى الخلايا النباتية على شكل غذاء مدخر ، وخاصة فى بذور كثير من النباتات وفى الدرنات . وبالإضافة إلى البروتينات — التى تساهم بالنصيب الأوفر فى بناء جسم النبات — يوجد عدد من المركبات النيتروجينية الأخرى يؤدى بعضها دوراً هاماً فى سائر العمليات الحيوية . ومن هذه المركبات المادة الخضراء (الكلوروفيل) والفيتامينات — التى تكون المراكز الفعالة للإنزيمات — وهومونات النمو والقلويدات .

والطريقة التى يتم بها بناء البروتينات وغيرها من المركبات النيتروجينية المعقدة من المركبات النيتروجينية البسيطة — التى يمتصها النبات من التربة — ليست معروفة على وجه التحديد ، كما هو الحال بالنسبة للمواد الكربوإيدراتية .

وسنبدأ بدراسة مختصرة لطبيعة وخواص البروتينات ، ثم نتناول بعد ذلك بشئ من التفصيل تحولات المواد النيتروجينية وأطوار البناء البروتينى .

البروتينات

البروتينات (Proteins) مركبات عضوية معقدة التركيب تتكون من الكربون (٥٠—٥٤٪) والإيدروجين (حوالى ٧٪) والنيتروجين (١٦—١٨٪) والأكسيجين (٢٠—٢٥٪) . وتحتوى كل البروتينات النباتية