2- التركيب الكيماوى للأغذية
Chemical Composition of Foods

الأستاذ الدكتور / محمد مدحت موسى

الأستاذ الدكتور / محمد محمود يوسف

قسم علوم وتكنولوجيا الأغذية - كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية

2-1 مقدمـــــــة

تتأتى أهمية معرفة التركيب الكيماوى للأغذية من خلال عدة محاور أساسية يمكن إيجازها على النحو التالى :

أولا: تحديد الخواص ذات الأهمية فى تحديد ما يسمى بالجودة العالية **high quality** مع تحديد درجة السلامة **safety** للغذاء .

ثانيا: تفهم التفاعلات الكيماوية والكيموحيوية التى تؤثر سلباً على جودة وسلامة الغذاء.

ثالثا: إيجاد تكامل بين المحورين السابقين بغية الوصول لمفهوم متكامل يحدد ماهية التغيرات التى تؤثر على جودة وسلامة الغذاء .

رابعا: تطبيق المفهوم المتكامل المتحصل عليه تحت الظروف المختلفة من تشكيل وتصنيع وتخزين الغذاء.

وبادئ ذى بدء فإننا ننوه إلى أنه من الصعوبة بمكان تناول موضوع التركيب الكيماوى للأغذية بالتفصيل فى باب من أبواب هذا الكتاب إذ أن الموضوع تتناوله كتب بكاملها ، لذا فإن ماسنحاوله فى هذا الباب هو القاء الضوء على المركبات الرئيسية الموجودة بالأغذية وتفاعلاتها الأساسية التى تؤثر على الغذاء سلبا أو إيجابا أضف إلى ذلك تأثر كل من هذه المركبات بالمؤثرات الطبيعية ، والكيماوية ، والحيوية التى يتعرض لها الغذاء خلال التداول والتصنيع والتخزين.

2-2 الماء Water

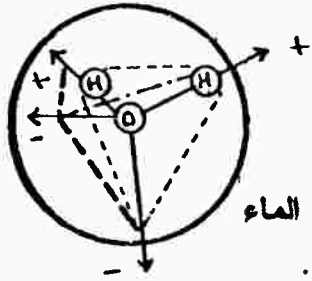
الماء مكون هام جدا بالأغذية وهو يتواجد كمكون بداخل وخارج الخلية فى الأغذية النباتية ويعمل بمثابة وسط للانتشار أو كمذيب. كذلك فقد يتواجد الماء كوسط منتشر dispersed phase كما هو الحال فى المستحلبات الغذائية كالزبد والمرجرين. وتتفاوت نسب الماء تبعا لنوع الغذاء ففى الفواكه الطازجة تتراوح نسبة الماء

(الرطوبة) من 65.4٪ فى الأفوكادو إلى 88.8٪ فى العنب أما فى الخضروات الطازجة فتتراوح نسب الرطوبة من 74.3٪ فى البسلة الخضراء إلى 93.1٪ فى البطيخ أما فى الأسماك فتتراوح نسبة الرطوبة بها من 63.4٪ فى السردين الخام إلى 82.6٪ فى سمك القد (البكالاه) cod الطازج. وتتباين نسبة الرطوبة فى اللحوم تبعا لنوع اللحم وكذا نوع القطعية ونسبة الدهن بها.

2 .2 . 1 الخواص الفيزيقية والتركيبية للماء

Physical and Structural Properties of Water

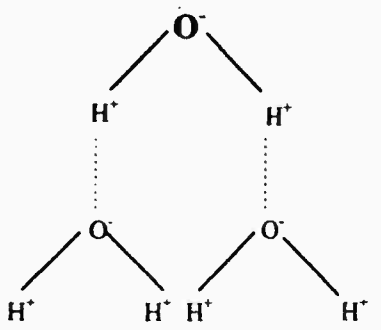
يتسم الماء والثلج بصفات فيزيائية فريدة عند درجات الحرارة المختلفة. ويرجع المسلك الفريد غير العادى للماء (وفقا للجدول الدورى للعناصر ، كان من المفروض ان يكون الماء وهو هيدرات الاكسجين H_2O فى صورة غاز كما هو الحال فى كبريتيد الهيدروجين H_2S) إلى تركيب جزئ الماء وقدرته على تكوين الروابط الهيدروجينية إذا اقتربت الذرات داخل الجزئ بالنسبة لبعضها البعض من خلال زاوية مقدارها 105° مع وجود مسافة بين نويات درات الهيدروجين والأكسجين مقدارها 0.0957 نانوميتر. وجزئ الماء ذو شكل كروى رباعى الأوجه Spherical quadrupole قطرة 0.276 نانوميتر حيث تتواجد نواة ذرة الأكسجين فى مركز هذا الشكل رباعى القطبية فى حين تكون الشحنات الموجبة السالبة زوايا هذا الشكل الرباعى المنتظم regular tetrahedron (شكل 2-1) .



شكل 2-1: تركيب جزىء الماء

المصدر: de Man (1990) .

ويؤدى وجود الفصل بين الشحنات بجزئ الماء إلى حدوث تجاذب قوى بين جزيئات الماء المتجاورة بمعدل أكبر من قوى التجارب العادية والمعروفة باسم قوى فان درفالس Van der Waals forces فينشأعن ذلك تكون الروابط الهيدروجينية كما هو موضح بالشكل رقم 2-2.



شكل 2-2. تكون الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء

المصدر : Fennema (1985)

ويبين الجدول 2-1 بعض الخواص الفيزيقية للماء والثلج .

2.2.2. النشاط المائى Water Activity

يمكن وصف الحالة التى يتواجد عليها الماء بالغذاء عن طريق تحديد العلاقة بين محتوى الرطوبة moisture content بالغذاء وقيمة الرطوبة النسبية relative humidity للهواء المحيط بالغذاء. ويطلق على العلاقة بين هاتين القيمتين النشاط المائى water activity ويعبر عنها بالرمز a_w والتى تعرف بإنها عبارة عن مقياس للكمية المتاحة من الصورة السائلة للماء بالغذاء ، ويعبر عنها رياضيا على النحو التالى :

$$a_w = \frac{P}{P_o}$$

حيث:

a_w: قيمة النشاط المائى (تتراوح قيمتها بين الصفر والواحد الصحيح).

P: إتزان الضغط البخارى للعينة.

P_o: إتزان الضغط البخارى للماء النقى عند نفس درجة الحرارة.

وإذا ماتم تقدير الرطوبة النسبية مقابل كل قيمة معينة من قيم المحتوى الرطوبى بالمادة الغذائية فإن القيمة المتحصل عليها تسمى إتزان الرطوبة النسبية equilibrium relative humidity (ERH) . ويعبر عنها رياضيا $ERH=a_w x100$. وإذا مادرسنا العلاقة البيانية بين محتوى الرطوبة أو الماء (معبرا عنه بكمية الماء لكل

جدول 2-1 : بعض الخواص الفيزيقية للماء والثلج.

خواص المـــــــــــاء	درجات الحرارة (°م)					
	Zero	20	40	60	80	100
الضغط البخارى (مم زئبق)	4.58	17.53	55.32	149.4	355.2	760.0
الكثافة (جم/سم^3)	0.9998	0.9982	0.9922	0.9832	0.9718	0.9583
الحرارة النوعية (كالورى/جم/°م)	1.0074	0.9988	0.9989	0.9994	1.0023	1.0070
حرارة التبخير (كالورى/جم)	597.2	586.0	574.7	563.3	551.3	538.9
التوصيل الحرارى (كيلوكالورى/م2/ساعة/°م)	0.486	0.515	0.540	0.561	0.576	0.585
التوتر السطحى (داين /سم)	75.62	72.75	69.55	66.17	62.60	58.84
اللزوجة (سنتيبواز)	1.792	1.002	0.653	0.466	0.355	0.282
معامل الإنكسار	1.3338	1.3330	1.3306	1.3272	1.3230	1.3180
ثابت الحاجز الكهربائى	88.0	80.4	73.3	66.7	60.8	55.3
معامل التمدد الحرارى $\times 10^{-4}$	-	2.07	3.87	5.38	6.57	-

خواص الثلـــــــــــج	درجات الحرارة (°م)						
	Zero	-5	-10	-15	-20	-25	-30
الضغط البخارى (مم زئبق)	4.58	3.01	1.95	1.24	0.77	0.47	0.28
حرارة الإنصهار (كالورى/جم)	79.8	-	-	-	-	-	-
حرارة التسامى (كالورى/جم)	677.8	-	672.3	-	666.7	-	662.3
الكثافة (جم/سم^3)	0.9168	0.9171	0.9175	0.9178	0.9182	0.9185	0.9188
الحرارة النوعية (كالورى/جم/°م)	0.4873	-	0.4770	-	0.4647	-	0.4504
معامل التمدد الحرارى $\times 10^{-5}$	9.2	7.1	5.5	4.4	3.9	3.6	3.5
السعة الحرارية /جول/جم	2.06	-	-	-	1.94	-	-

المصدر : de Man (1990)

وحدة من المادة الجافة) للغذاء وبين قيمة النشاط المائى عند درجة حرارة ثابتة فإننا نحصل على مايسمى بقيمة تماثل حرارى sorption isotherm لإمتصاص الغذاء للماء عند درجة الحرارة هذه ، وهذه العلاقة البيانية تفيد فى عمليات تركيز وتجفيف الأغذية على أساس أن سهولة إرتباط أو صعوبة إزالة الماء من المادة الغذائية يرتبط بقيمة النشاط المائى ، كذلك فإن تفهم العلاقة البيانية المشار اليها أيضا تفيد فى تحديد درجة ثبات الغذاء food stability.

ومن الأهمية بمكان أن نعلم أن هناك علاقة وثيقة بين نسبة الرطوبة بالغذاء ومدى قابليتها للتلف perishability فعمليات التركيز والتجفيف بإعتبارها طرقا لحفظ الأغذية تعتمد أساسا على خفض نسبة الماء أو الرطوبة بالغذاء مع زيادة تركيز المواد المذابة solutes ومن ثم تحد أو تمنع تلف الغذاء ، غير أنه قد لوحظ أن الأغذية المختلفة والتى تحتوى على نفس القدر من محتوى الرطوبة قد تختلف بدرجة ملحوظة فى مدى قابليتها للتلف وعلى هذا فإن تقدير نسبة الرطوبة بالغذاء لا يعتبر وحده دليلا مؤكدا يمكن الاعتماد عليه فى تحديد درجة قابلية هذا الغذاء للتلف ؛ وقد يعزى ذلك نسبيا إلى تباين درجات إرتباط الماء مع المكونات الأخرى بالغذاء وكذا مدى شدة هذا الإرتباط إلى الدرجة التى تسبب إيقاف الأنشطة غير المرغوبة التى تسبب هدم وتلف الغذاء (الكائنات الحية الدقيقة الضارة-التفاعلات الكيماوية أو الكيوحيوية غير المرغوبة) ؛ ومن هنا نشأت فكرة إستخدام إصلاح النشاط المائى water activity (a_w) للتعبير عن مدى حدوث مثل هذه التحولات غير المرغوبة والمسببة لتلف الغذاء، ومن ثم فإن مصطلح النشاط المائى يعتبر أكثر دقة من حيث تحديد درجة قابلية الغذاء للتلف إذا ماقورن بتقدير محتوى الماء أو الرطوبة بالغذاء. وننوه إلى أن النشاط المائى ليس أيضا هو العامل الوحيد المحدد لتلف الغذاء إذ أن هناك عوامل أخرى كتركيز الأكسجين ، قيمة الـ pH ، حركة الماء بالغذاء ونوع المذاب بالغذاء ، فهذه العوامل قد تكون ذات تأثير أقوى من تأثيرات النشاط المائى على تلف الغذاء ، غير أن العديد من الدراسات أثبتت أنه يمكن الإعتماد على تقدير خاصية النشاط المائى بالغذاء كوسيلة جيدة للحكم على معدل حدوث عمليات التدهور غير المرغوبة بالغذاء حتى وأن النشاط المائى قد أدخل حديثا ضمن التشريعات المرتبطة بعمليات تصنيع الأغذية فى الولايات المتحدة الأمريكية . ويوضح الجدول (2-2) علاقة قيمة النشاط المائى بنمو الكائنات الحية الدقيقة المختلفة بالأغذية.

جدول 2-2. : علاقة النشاط المائى بنمو الكائنات الحية الدقيقة بالغذاء

مدى قيم النشاط المائى (a_w)	الكائنات الحية الدقيقة والتى يحدث لها تثبيط عامة يخفض قيم a_w فى نطاق هذا المدى	الأغذية التى تدخل فى نطاق هذا المدى
0.95 - 1.00	*Pseudomonas*, *Escherichia*, *Proteus*, *Shigella*, *Klebsiella*, *Bacillus*, *Clostridium perfringens*, some yeasts.	الأغذية الطازجة سريعة التلف ، الفواكه المعلبة ، الخضروات ، اللحوم، الأسماك، اللبن ، السجق (المقانق) المطبوخة ، الخبز ، الأغذية المحتوية على السكروز بنسبة تصل 40٪ أو كلوريد الصوديوم بنسبة تصل الى 7٪.
0.91 - 0.95	*Salmonella*, *Vibrio parahaemolyticus* *Serratia*, *C. botulinum*, *Lactobacillus*, *Pediococcus*, some molds, yeasts (*Rhodotorula*, *Pichia*).	بعض أنواع الجبن (التشدر السويسرى) ، المونستر ، البروفولونى) واللحوم المملحة (فخذ الخنزير المملح) ، بعض مركزات عصير الفواكه ، الأغذية المحتوية على 55٪ سكروز أو 12٪ كلوريد صوديوم .
0.87-0.91	Many yeasts (*Candida*, *Torulopsls*, *Hansenula*), *Micrococcus*	السجق المتخمر (سلامى) الكيك الاسفنجى ، الجبن الجاف ، المرجرين، الأغذية المحتوية على 65٪ سكروز أو 15٪ كلوريد صوديوم.
0.80-0.87	Most molds (Mycotoxigenic Penicillia), *Staphylococcus aureus*, most *Saccharomyces* (*bailli*) spp., *Debaryomyces*.	معظم مركزات الفواكه ، اللبن المكثف المحلى ، شراب الشيكولاته، شراب الفواكه ، الدقيق ، الأرز ، البقوليات المحتوية على 15-17٪ رطوبة ، كيك الفواكه (حلوى الفوندان) .
0.75-0.80	Most halophilic bacteria, mycotoxigenic Aspergilli.	المربى (الرملاد ، الفواكه المثلجة ، الحلوى الطرية مثل الملبن .
0.65-0.75	Xerophilic molds (*Aspergillus chevalievi*, *A. candidus*, *Wallemia sebi*), *Saccharomyces bisporus*.	مطحون الشوفان المحتوى على 10٪ رطوبة تقريبا ، النوجا ، الفدج، الملبن ، الجيلى ، المولاس ، سكر القصب الخام ، بعض الفواكه المجففة، النقل .

تابع جدول 2-2. :

مدى قيم النشاط المائى (a_w)	الكائنات الحية الدقيقة والتى يحدث لها تثبيط عامة بخفض قيم a_w فى نطاق هذا المدى	الأغذية التى تدخل فى نطاق هذا المدى
0.60-0.65	Osmophilic yeasts (*Saccharomyces rouxili*), few molds (*Aspergillus echinulans*, *Monascus bisporus*).	الفواكه المجففة والمحتوية على 15-20٪ رطوبة تقريبا ، الطوافى، الكراملة ، عسل النحل .
0.50	لايحدث نمو ميكروبى	المكرونة المحتوية على 12٪ رطوبة تقريبا ، التوابل المحتوية على 10٪ رطوبة تقريبا .
0.40	لايحدث نمو ميكروبى	مسحوق البيض الكامل المجفف والمحتوى على 5٪ رطوبة تقريبا .
0.30	لايحدث نمو ميكروبى	البسكويت والخبز الجاف والمنتجات الشبيهة والتى تحتوى على 3٪-5٪ رطوبة .
0.20	لايحدث نمو ميكروبى	مسحوق اللبن الكامل المجفف والمحتوى على 2-3٪ رطوبة، الخضروات المجففة والمحتوية على 5٪ رطوبة تقريبا ، الكورن فليكس والمحتوى على 5٪ رطوبة تقريبا ، البسكويت .

المصدر : Fennema (1985) .

2-3. الكربوهيدرات Carbohydrates

2-3-1. الصفات التركيبية Structural Properties

الكربوهيدرات مركبات عضوية تتكون كيماويا من الكربون والهيدروجين والأكسجين ؛ وتكون النسبة بين العنصرين الآخرين كنسبة وجودهما فى الماء (أى 2 إلى 1) وتختلف الكربوهيدرات فى درجة تعقيدها على النحو التالى:

أولا: السكريات الأحادية Mono saccharides

وهى عبارة عن الدهيدات (سكريات الدهيدية تسمى الدوزات aldoses) أو كيتونات (سكريات كيتونية تسمى كيتوزات ketoses) عديدة الهيدروكسيل ويتكون جزئ السكر الأحادى من 3 إلى 7 ذرات كربون. ومن أمثلة السكريات الأحادية الجلوكوز ، الفركتوز ، الجالاكتوز ، المانوز ، الزيلوز ، الأرابينوز.

ثانيا: السكريات محدودة التسكر Oligo saccharides

وتتكون من إرتباط مجموعة هيدروكسيل من سكر أحادى مع مجموعة هيدروكسيل من سكر أحادى آخر (قد يكون نفس السكر أو سكر مختلف) مع خروج جزئ ماء أى أن الربط يتم عن طريق الرابطة الجليكوسيدية. تتكون السكريات المحدودة من 2 إلى 10 جزيئات من السكر الأحادى من أمثلة السكريات المحدودة السكروز ، المالتوز ، اللاكتوز ، الرافينوز.

ثالثا : السكريات عديدة التسكر Poly saccharides

وتتكون من أكثر من 10 جزيئات من السكر الأحادى وتصل إلى عدة مئات وقد تكون متجانسة فتتكون من نفس السكر الأحادى ، أو غير متجانسة تتكون من أكثر من سكر أحادى.

ومن أمثلة السكريات العديدة : النشا ، السيليلوز ، الهيمسليلوز، البكتين ، الصموغ النباتية ، وتتفاوت الأغذية فى محتواها من الكربوهيدرات كما يتضح من الجدول رقم 2-3 .

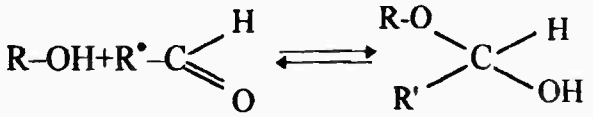
جدول 2-3. : محتوى بعض الأغذية من الكربوهيدرات

الناتج	٪ السكريات الكلية	٪ للسكريات الاحادية والسكريات محدودة التسكر	٪للسكريات العديدة
التفاح	14.5	جلوكوز (1.17)، فركتوز (6.04)، سكروز (3.78) ، مانوز (آثار)	نشا (1.5) سيليلوز (1)
العنب	17.3	جلوكوز (5.35)، فركتوز (5.33)، سكروز (1.320) ، مانوز (2.19)	سيليلوز (0.6)
الفراولة	8.4	جلوكوز (2.09)، فركتوز (2.40)، سكروز (1.03) ، مالتوز (0.07)	سيليلوز (1.3)
الجزر	9.7	جلوكوز (0.85) ، فركتوز(0.85)، سكروز (4.25)	نشا (7.8) سيليلوز (1)
البصل	8.7	جلوكوز (2.07) ، فركتوز (1.09)، سكروز (0.89)	سيليلوز (0.71)
البطاطس	17.1		نشا (14) سيليلوز (0.5)
الذرة السكرية	22.1	سكروز (12-17)	سيليلوز (0.7)
البطاطا	26.3	جلوكوز (0.87) السكروز (3.2)	نشا (14.65) سيليلوز (0.7)
اللفت	6.6	جلوكوز (1.5) ، فركتوز (1.18) ، سكروز (0.42)	سيليلوز (0.9)
عسل النحل	82.3	جلوكوز (35.28) ، فركتوز (34-41) سكروز (1-5)	
اللحم		جلوكوز (0.01)	جليكوجين (0.1)
اللبن	4.9	لاكتوز (4.9)	
بنجر السكر	18-20	سكروز (18-20)	
عصير قصب السكر	14-28	جلوكوز + فركتوز (4-8) ، سكروز (10-20)	

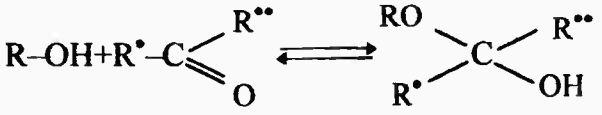
المصدر : deMan (1990)

ويمكن التعبير عن السكريات الأحادية بصيغة مبسطة فى صورة سلسلة مفتوحة (صيغة فيشر Fischer) ويتضح منها إلى جانب وجود المجموعة المختزلة

الحرة وجود أربع مجاميع نشطة ضوئيا optically active من مجاميع الهيدروكسيل الثانوية فى الألدوزات بينما توجد ثلاث مجاميع متناظرة فى الكيتوزات. ولقد تبين أن التفاعلات الكيماوية للسكريات الأحادية لا تتسق والتركيب المفتوح لذا فقد اقترح هاورث Haworth صيغة تركيبية أخرى تمثل حلقة تشتمل على نصف أسيتال hemiacetal بين ذرتى كربون 1 ، 5 فى الألدوزات ، وبين ذرتى كربون رقمى 2 ، 5 فى الكيتوزات لتكوين هيمى كيتال hemiketal كما يلى :

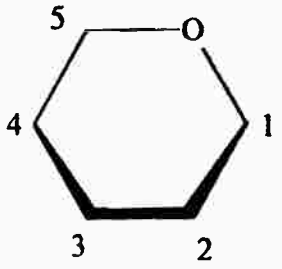


كحول ألدهيد هيمى أسيتال

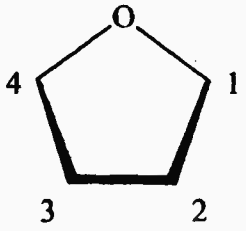


كحول كيتون هيمى كيتال

وتبعا لهذا التركيب فإن السكريات توجد إما فى حلقة خماسية تسمى فيوران furan أو حلقة سداسية تسمى بيران pyran كما يتضح من الشكل رقم 2-3:



حلقة سداسية (بيران)

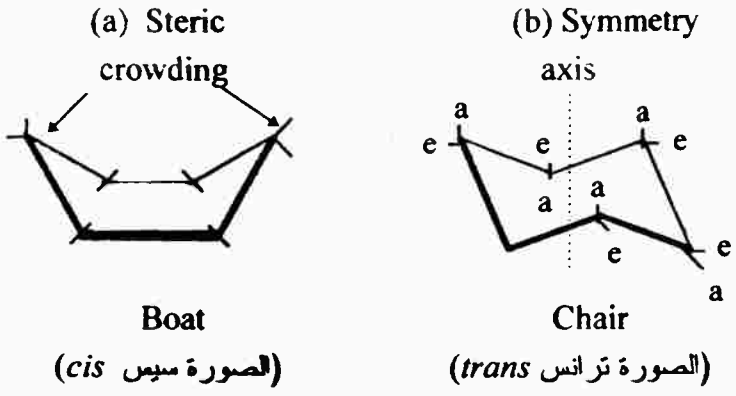


حلقة خماسية (فيوران)

شكل 2-3 : الحلقة الخماسية (فيوران) والحلقة السداسية (بيران)

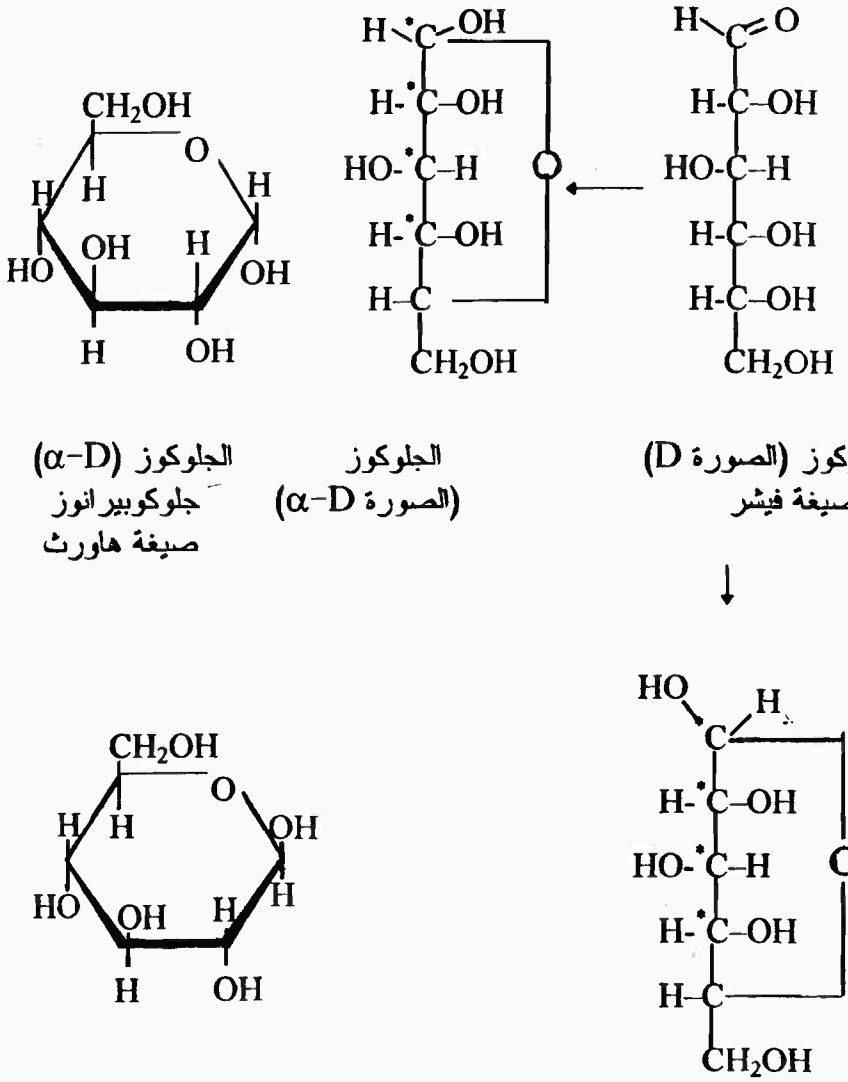
غير ان استخدام صيغة هاورث قد يعطى انطباعا غير صحيح بأن حلقتى الفيوران والبيران متواجدان على شكل سطح planar ويمكن تدارك ذلك عن طريق

تعليظ الخطوط ومع ذلك ولان المزج بين كل ذرات هاتين الحلقتين من نوع SP^3 فإن حلقة البيرانوز -كما هو الحال فى حلقة السيكلوهكسان-يمكن أن توجد إما فى صورة القارب boat (الصورة *cis*) أو صورة الكرسى chair (الصورة ترانس ***trans***) والصورة الأخيرة هى الأكثر ثباتا من منظور الديناميكا الحرارية ، وتتوزع بها المجاميع إما فى إتجاه المحور axial (ويرمز لها بالرمز a) وتوازى محاور دوران الحلقة أو أن تكون فى إتجاه معاكس وتسمى equatorial (ويرمز لها بالرمز e) كما يتضح من الشكل رقم 2-4:



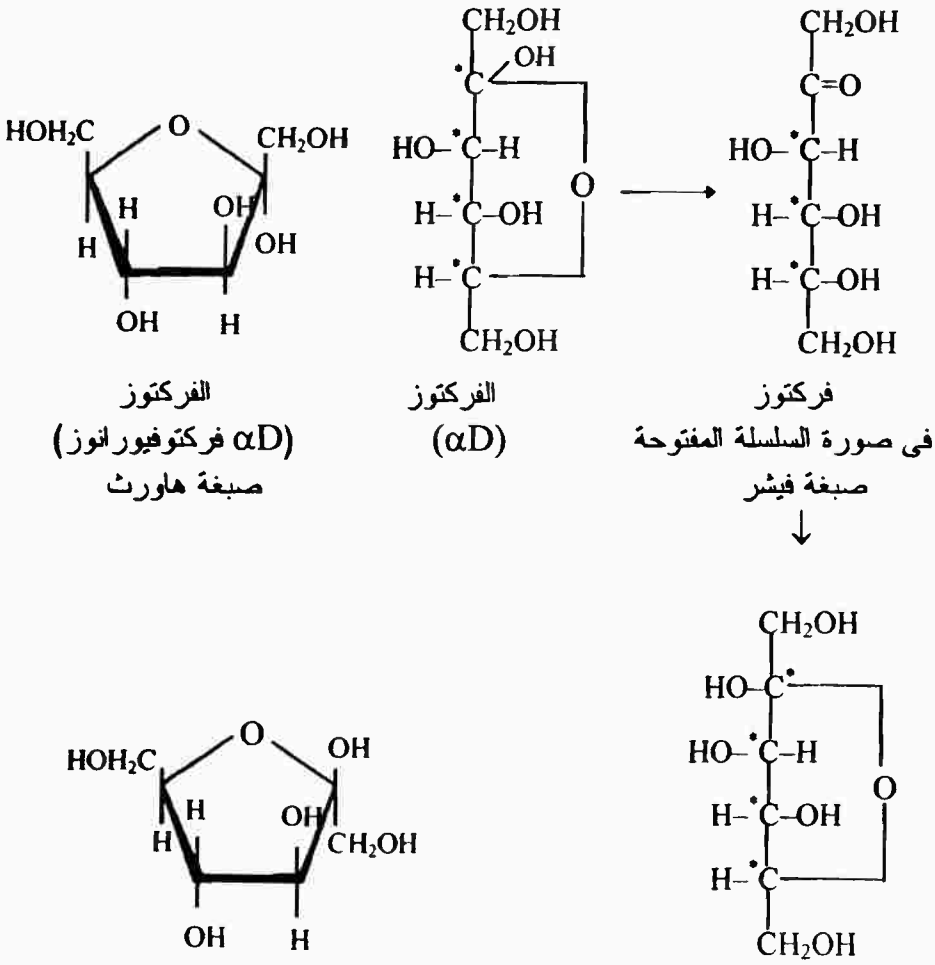
شكل (2-4) حلقة السيكلوهكسان

وتوجد الغالبية العظمى من السكريات فى الطبيعة على الصورة D أى ان التوزيع الفضائى لمجموعة الهيدروكسيل يكون على يمين ذرة الكربون غير المتناظرة الأخيرة (فى صيغة فيشر) أما الصورة L فإن مجموعة الهيدروكسيل تكون على مسار ذرة الكربون غير المتناظرة الأخيرة فى الجزئ مع إستخدام الإشارة (+) فى حالة المركبات يمينية الدوران (تدير مستوى الضوء المستقطب فى إتجاه عقارب الساعة إلى اليمين)و إستخدام الاشارة (-) للمركبات يسارية الدوران أى التى تدير مستوى الضوء المستقطب عكس اتجاه عقارب الساعة جهة اليسار ويوضح الشكل 2-5 الجلوكوز فى صورتى السلسلة المفتوحة والحلقية.



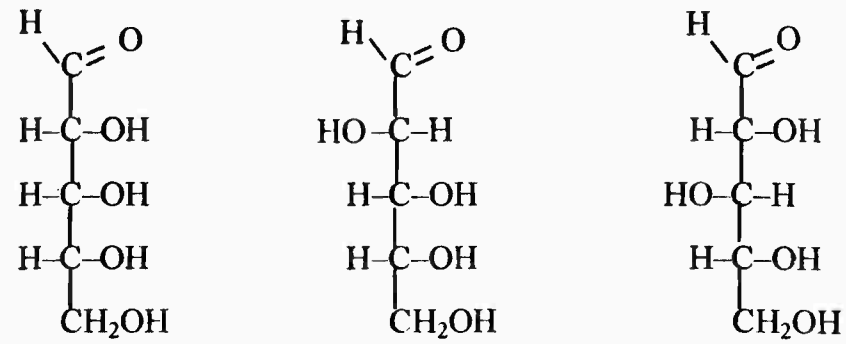
شكل 2-5: الصيغ البنائية للجلوكوز (D) لكل من طريقتى فيشر (السلسلة المفتوحة) وهاورث (حلقة البيران) ، ذرات الكربون التى تعلوها * ذرات غير متناظرة.

أما الشكل رقم (2-6) فيوضح الصيغ البنائية للفركتوز (سكر كيتونى فى صورتى السلسلة المفتوحة والتركيب الحلقى) .



شكل 2-6 : الصيغ البنائية للفركتوز (D) بكل من طريقتى فيشر (السلسلة المفتوحة) وهاورث (حلقة الفيوران) ، ذرات الكربون التى تعلوها• ذرات غير متناظرة.

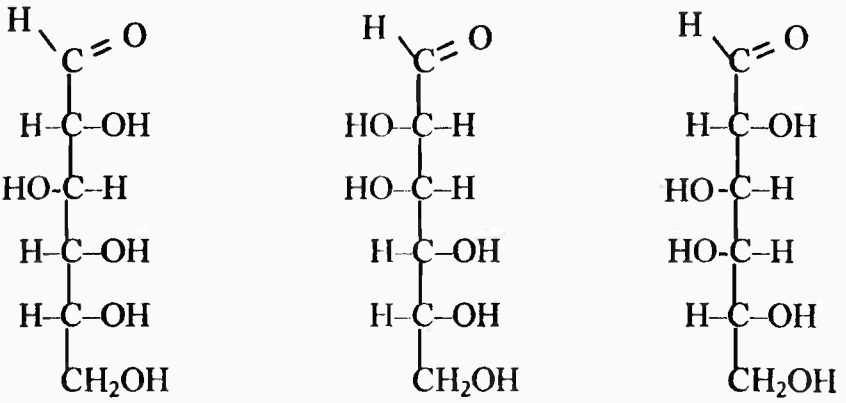
ويلاحظ أنه لكتابة الصيغ السابقة فى الصورة L فإنه ينبغى إستبدال التوزيع الفضائى لمجاميع الهيدروكسيل (من اليمين الى اليسار أو العكس) وذلك بالنسبة لجميع ذرات الكربون غير المتناظرة . ويوضح الشكل 2-7 الصيغ البنائية لأهم السكريات الأحادية بينما يوضح 2-8 أهم السكريات الثنائية الموجودة بالأغذية .



د-زيلوز
D-xylose
(Xyl)

د-أرابينوز
D-Arabinose
(Ara)

د-ريبوز
D-Ribose
(Rib)

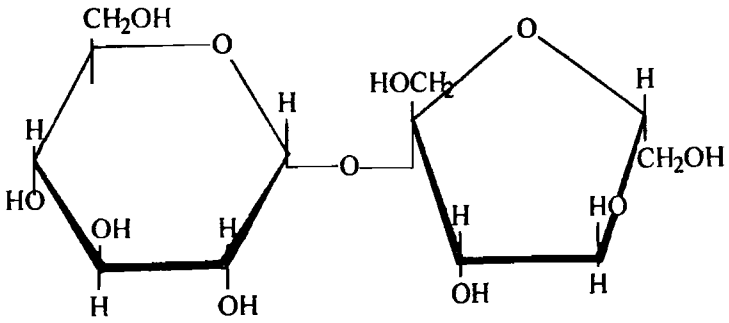


د-جالاكتوز
D-Galactose
(Gal)

د-مانوز
D-Mannose
(Man)

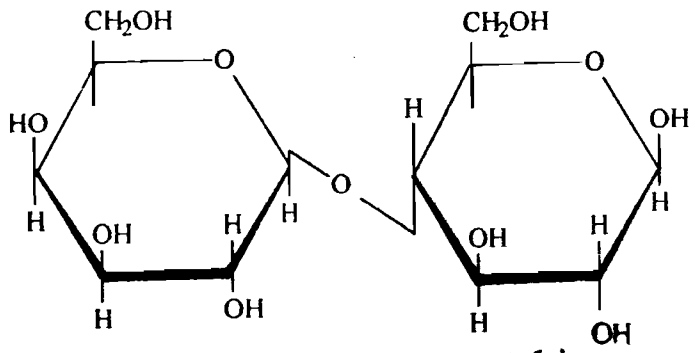
د-جلوكوز
D-Glucose
(Glo)

شكل 2-7 : الصيغ البنائية للسكريات الأحادية شائعة الوجود بالأغذية



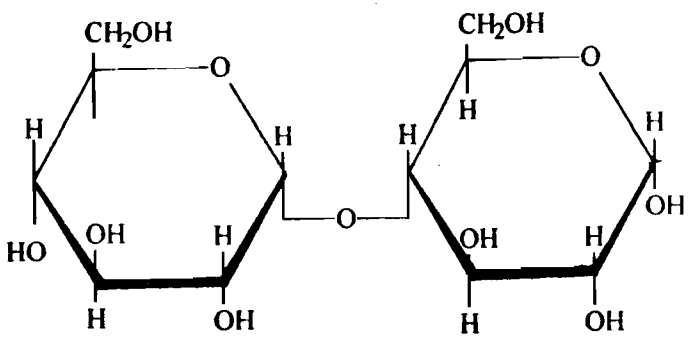
جلوكوز فركتوز

Sucrose السكروز



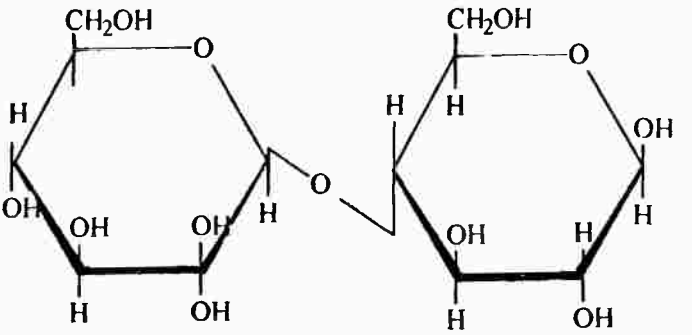
جالاكتوز جلوكوز

Lactose اللاكتوز



جلوكوز جلوكوز

Maltose المالتـــوز



جلوكوز جلوكوز

السيلوبيوز **Cellobiose**

شكل 2-8 : الصيغ البنائية للسكريات الثنائية شائعة الوجود فى الأغذية

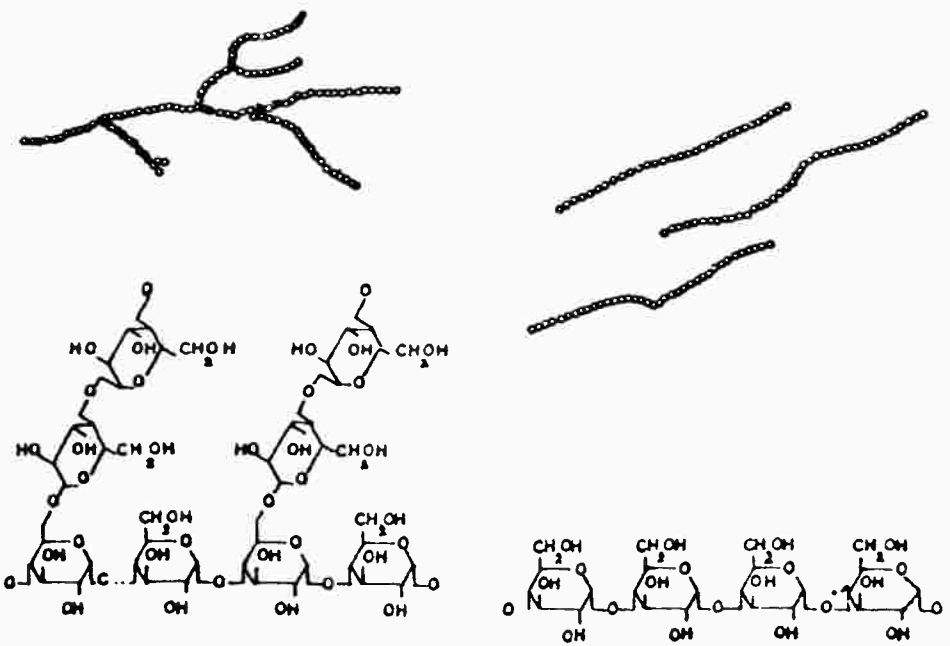
أما السكريات العديدة فهى عبارة عن بوليمرات polymers تتكون من أكثر من 10 وحدات من السكر الأحادى وقد تكون هذه البوليمرات متجانسة (تتكون من سكر واحد) أو غير متجانسة (تتكون من أكثر من سكر) . ومعظم السكريات الموجودة فى الطبيعة تتكون من 100 الى عدة آلاف وحدة من وحدات السكر الأحادى وهى إما أن تكون فى صورة سلاسل خطية linear أو فى صورة متفرعة branched . وتلعب السكريات العديدة دوراً رئيسياً فى تحديد الصفات الريولوجية للأغذية كصفات الثخانة ، القرمشة واللزوجة .... الخ وتتكون السكريات العديدة من سلاسل لوحدات جليكوسيل glycosyl للهكسوزات أو البنتوزات ، وتوجد فى كل وحدة جليكوسيل بالسلسلة عدة نقاط لتكوين الروابط الهيدروجينية ففى حالة الجلوكان glucan (عديد الجلوكوز) مثلا توجد خمس ذرات أكسجين لكل وحدة جليكوسيل يمكنها ربط الماء جزئيا عن طريق الروابط الهيدروجينية ، ومن ثم فإن وحدة كل سلسلة على حدة تكون ذائبة فى الماء غير أن السكر العديد ككل يكون غير ذائب فى الماء (باستثناء سكر عديد كالبكتين) .

وتجدر الإشارة الى أنه فى حالة الجزيئات الخطية المتجانسة تقترب السلاسل من بعضها (كما فى السليلوز) حيث ترتبط السلاسل فى خطوط مما يؤدى الى تكوين مناطق بللورية crystalline فى الجزىء لاتساهم فى تكوين روابط هيدروجينية ولذا تكون غير ذائبة فى الماء وثابتة جدا . وبالإضافة الى المناطق البللورية توجد بجزىء السكر العديد مناطق غير بللورية amorphous يمكنها تكوين روابط هيدروجينية

وتكون أقل ثباتا من المناطق البللورية بالجزىء . ومن أهم السكريات العديدة الموجودة بالأغذية النشا ، السليلوز ، الهيميليلوز ، البنتوزان ، البكتين ، الصموغ :

أ- النشا Starch

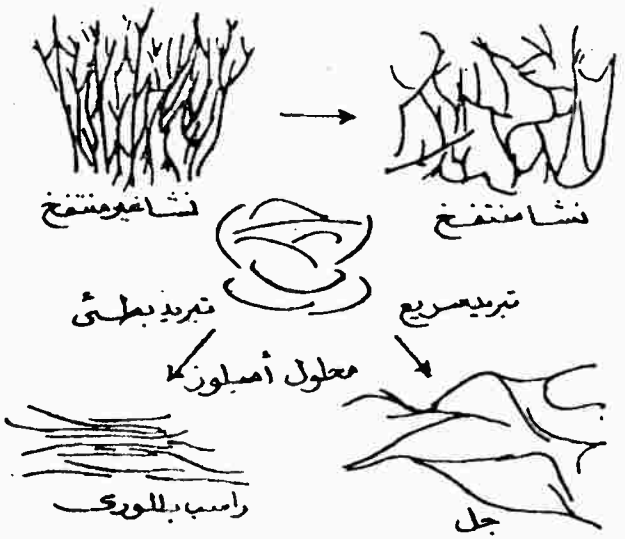
النشا بوليمر متجانس وحدة بنائه الجلوكوز . ويوجد فى النباتات فى صورة كربوهيدرات مختزنة ، وهو السكر العديد الوحيد الذى يوجد فى الطبيعة على شكل حبيبات granules محددة الشكل والأبعاد تبعاً للمصدر ويمكن التفريق عن طريق المجهر بين نشويات المصادر المختلفة تبعاً للشكل . ويتكون جزىء النشا من مكونين الأول هو الأميلوز وهو بوليمر خطى يتكون من وحدات جلوكوز ترتبط ببعضها عن طريق الروابط الجليكوسيدية α-1-4 والمكون الثانى هو الأميلوبكتين والذى يحتوى على تفرعات ترتبط بالروابط الجليكوسيدية من النوع α-1-6 (الشكل 2-9).



شكل 2-9: التركيب الكيماوى للأميلوز والأميلوبكتين

المصدر : Fennema (1985)

وحبيبات النشا عديمة الذوبان تماما فى الماء البارد بيد أنـه عند التسخين تبدأ الحبيبات فى الإنتفاخ تدريجيا حتى يحدث لها ما يسمى بالجلتنة gelatinization حيث تنفجر الحبيبات وتلك تحدث فى مدى من درجات الحرارة (نظراً لإختلاف مقاس حبيبات النشا المتحصل عليها من ذات المصدر) . وتجدر الإشارة الى أن عملية جلتنة النشا تتأثر بعدة عوامل تشتمل على الـ pH ، المعاملة الأولية ، معدل التسخين ، وجود الأملاح والسكريات ويختلف المسلك الريولوجى لحبيبات النشا المجلتنة تبعاً لمعدل التبريد (شكل 2-10) .



شكل 2-10: شكل تخطيطى يوضح مسلك حبيبات النشا عند الإنتفاخ ، والإذابة والتجلد Retrogradation .

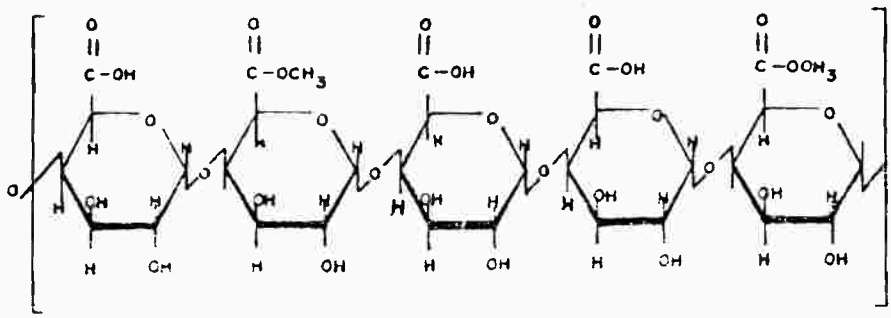
المصدر : Radley (1963) .

ب- السليلوز Cellulose

السليلوز هو بوليمر يتكون من وحدات بيتا-د-جلوكوز ترتبط مع بعضها بالروابط 1-4 . وتتأتى أهمية السليلوز من كونه مادة نباتية توجد في جميع الأنسجة النباتية وغالبا ما تكون مصحوبة بكميات مختلفة من سكريات عديدة أخرى مثل اللجنين. وتؤدى عملية التحليل المائى للسليلوز إلى إنتاج سيلوبيوز cellobiose وفى النهاية الجلوكوز. ويختلف عدد وحدات الجلوكوز أو ما يطلق عليه درجة البلمرة degree of polymerization (DP) فى السليلوز وقد تصل الى 10 آلاف (الوزن الجزيئى فى هذه الحالة يصل الى نحو مليون و 620 ألف دالتون) .

ج- المواد البكتينية Pectic substances

تتواجد المواد البكتينية فى الصفيحة الوسطى middle lamella بجدر الخلايا النباتية وهى عادة تكون مرتبطة مع السليلوز ولاسيما بالنسبة للبروتوبكتين غير الذائب فى الماء . وتتفاوت الأغذية النباتية فى محتواها من المواد البكتينية فثمار الطماطم تحتوى على 3٪ بينما تحتوى درنات البطاطس على 2.5٪ أما طبقة الألبيدو albedo فى ثمار الموالح فتحتوى على نحو 30-35٪ مواد بكتينية . والمواد البكتينية عبارة عن بوليمرات تتكون أساساً من الوحدات البنائية لحامض الجالاكتويورنيك galacturonic acid (ينتج عن أكسدة مجموعة الكحول الأولى فى سكر الجالاكتوز) ترتبط ببعضها بالروابط ألفا-د-جليكوسيدية 1-4 مع حدوث أسترة لنسبة من مجاميع الكربوكسيل (شكل 2-11).



شكل 2-11 : التركيب البنائى للبكتين

المصدر : de Man (1990)

ومصطلح المواد البكتينية مصطلح عام يصف مجموعة من المركبات تختلف عن بعضها فى عدة صفات منها درجة البلمرة ودرجة الأسترة degree of esterification (DE) (نسبة مجاميع أستر الميثايل أى مجاميع الميثوكسيل) والتى يمكن حسابها كما يلى :

$$\text{درجة الأسترة} = \frac{\text{عدد متبقيات حمض الجلاكتويورينك المؤسترة}}{\text{عدد متبقيات حمض الجلاكتويورينك الكلية}} \times 100$$

وإذا ما تم تسخين محلول حامض البروتوبكتين حدث تحلل مائى ونتج البكتين الذائب . ويتحول البروتوبكتين غير الذائب فى النباتات غير الناضجة إلى بكتين ذائب مع تقدم نضج النبات بفعل إنزيمات بكتين ميثايل إستيريز pectin methylesterase والبروتوبكتيناز protopectinase فالبروتوبكتين يعد بمثابة المادة البكتينية الأم التى توجد فى الثمار والخضروات غير الناضجة وهو عالى الأسترة بالميثانول وغير ذائب فى الماء ويعد المسئول عن صلابة الثمار والخضروات غير الناضجة . أما البكتين فهو ذائب فى الماء ويحتوى على ما لايزيد عن 13٪ من مجاميع الميثوكسيل .

د- الصموغ Gums

توجد مجموعات كبيرة من السكريات العديدة ومشتقاتها تتميز بقدرتها على إعطاء محاليل عالية اللزوجة عند تركيزات سكر منخفضة ، وتسمى هذه السكريات بالصموغ ولها استخدامات كثيرة فى الصناعات الغذائية كمواد مثبتة stabilizers أو معلقة . وهناك مصادر مختلفة لهذه الصموغ (الأعشاب البحرية ـ صموغ البذور النباتية ـ الصموغ الميكروبية). وتتميز الصموغ باحتوائها على جزيئات محبة للماء hydrophilic يمكنها الإرتباط بالماء لتكوين محاليل لزجة أو هلامية gel . وتؤثر طبيعة الجزيئات بشدة على صفات الصموغ إذ أن السكريات العديدة الخطية linear تمثل مساحات سطحية أكبر ومن ثم تكون لزوجتها أعلى عن نظيرتها عالية التفرع حتى ولو كان لها ذات الوزن الجزيئى . ويكون فى مقدور السكريات العديدة المتفرعة تكوين الجل بسهولة أكبر وهى أكثر ثباتاً وذلك بسبب عدم إمكانية حدوث تداخلات قوية على طول السلسلة ، أما السكريات العديدة الخطية فإنها تكون أفلاما متماسكة عند الجفاف ولذ فإنها تعتبر مواد تغطية جيدة كما أن محاليلها قوية التلاصق بعكس محاليل السكريات العديدة المتفرعة .

ومن أمثلة الصموغ النباتية : الصمغ العربى Arabic gum ، صمغ الخروب locust bean gum ، صمغ الجوار guar gum ، والآجار agar ، الألجين algin، الكاراجينان carageenan .

2-3-2 القيمة التغذوية Nutritional value

للسكريات الذائبة والنشويات الأولوية فى إنتاج الطاقة بالجسم ، وهى بذلك توفر البروتين لأغراض البناء ، وتمنع تحلل الدهون الى أجسام كيتونية تضر بالجسم، كما أن الكربوهيدرات تدخل فى مركبات عديدة هامة للجسم مثل حامض الجلوكورونيك وحمض الهيبالورونيك والهيبارين والأحماض النووية .

أما الألياف الغذائية dietary fibers فلها فوائد صحية وفسيولوجية متعددة على الرغم من أنها لاتمثل مصدراً للطاقة وتتأتى أهميتها من قدرتها على تنشيط حركة peristalsis الأمعاء وتقلل من مدة بقاء الكتلة الغذائية فى الأمعاء مما يقى الإنسان من الإصابة بالإمساك ويقلل من إمتصاص الكوليسترول وأملاح الصفراء . وقد إقترن استهلاك الألياف الغذائية بانخفاض ضغط الدم ونقص معدل حدوث إلتهاب الرتوج diverticulitis فى الأمعاء ، وقد يكون لها دور فى الوقاية من السرطان ولا سيما سرطان القولون .

وننوه الى أن الألياف الغذائية لا تهدم بواسطة عصارات القناة الهضمية للإنسان ، مما يعنى مقاومة الروابط الجليكوسيدية فى هذه المكونات للتحلل . وتشتمل الألياف الغذائية على كل الكربوهيدرات غير القابلة للهضم non-digestable وكذا المواد المرتبطة بها - وذلك بواسطة الإنسان . وتشتمل الألياف الغذائية على كل من السليلوز ، الهيميسيليلوز ، اللجنين ، البنتوزان ، الصموغ البكتين ويضاف اليها السكريات المحورة صناعيا والتى تضاف للأغذية مثل كربوكسى ميثايل سليلوز carboxy methyl cellulose (CMC) . وحديثاً أضيف النشا المقاوم للهضم بالإنزيمات resistant starch (RS) الى الألياف الغذائية .

2-3-3 تغيرات الكربوهيدرات فى أثناء تصنيع وتخزين الأغذية :
Changes of carbohydrates during processing and storage of foods :

تتعرض الكربوهيدرات لعدد من التفاعلات الكيماوية إما فى أثناء تصنيع الغذاء أو خلال عمليات التداول والتخزين، وسنعطى هنا فكرة موجزة عن بعض هذه التفاعلات .

أولا : كرملة السكر Sugar caramelization

كرملة السكر (أى تكوين صبغة الكرامل) عبارة عن تفاعل إغمقاق لا إنزيمى يحدث فى غياب المواد النيتروجينية ، وهو بذلك يختلف عن تفاعل ميارد Maillard والذى يعتبر أيضاً تفاعلاً من تفاعلات الإغمقاق اللاإنزيمى لكنه يتطلب بالضرورة وجود مواد نيتروجينية كالبروتينات والأحماض الأمينية .

وتكوين الكرامل عملية معقدة تحدث من خلال سلسلة تفاعلات ، فعندما تتعرض السكريات للحرارة فى غياب الماء أو إذا ما تم تسخين محاليل مركزة من السكريات فإنها تتكرمل ، وتتطلب عملية كرملة السكر للتسخين إلى 200°م أما عند 160°م فإن السكروز ينصهر ليكون أندريدات الجلوكوز والفركتوز . وعملية الكرملة تتم على ثلاث مراحل مميزة يفصل كل منها فاصل زمنى فالمرحلة الأولى تتطلب تسخيناً لمدة 35 دقيقة وينتج عنها فقد فى الوزن يقدر بنحو 4.5٪ وفيها يتم فقد جزىء واحد من الماء لكل جزىء سكروز . وبعد 55 دقيقة أخرى من التسخين يصل الفقد فى الوزن إلى نحو 9٪ وتتكون صبغة الكاراميلان caramelan وهى ذائبة فى الماء والإيثانول وذات طعم مر ودرجة إنصهارها 138°م . وبعد 55 دقيقة أخرى من التسخين يحدث فقد فى الوزن يقدر بنحو 14٪ من الوزن (نتيجة لفقد جزيئات ماء من 3 جزيئات من السكروز) ويتكون صبغة كاراميلين caramelene وهى تذوب فى الماء فقط ودرجة إنصهارها 154°م .

وإذا ما أجرى تسخين السكر لفترة أخرى أدى ذلك إلى تكوين صبغة غامقة جداً غير ذائبة فى الماء تسمى هيومين humin أو كاراميلين caramelin وصيغتها الجزيئية $C_{125}H_{188}O_{80}$.

ثانيا : الإغمقاق اللاإنزيمى Non-enzymic browning

ويعرف هذا التفاعل باسم تفاعل ميارد Maillard وله أهمية كبيرة فى تصنيع الأغذية . ويشتمل التفاعل على عدة تفاعلات متعاقبة تبدأ بتفاعل المجموعة الأمينية فى الأحماض الأمينية والببتيدات والبروتينات مع مجموعة الهيدروكسيل الجليكوسيدية للسكريات وينتهى تعاقب التفاعلات بتكوين بوليمرات نيتروجينية بنية اللون تعرف باسم الميلانودين melanoidins . ويتأثر معدل هذا التفاعل بدرجة الحرارة والـ pH (يزداد معدل التفاعل فى الإتجاه القلوى للـ pH) ، الرطوبة ، محتوى الأكسجين ، المعادن ، الفوسفات ، ثانى أكسيد الكبريت .

ثالثا : التحلل المائى Hydrolysis

تحت ظروف تصنيع بعض الأغذية (الحرارة الرطبة المرتفعة والـ pH الحامضى) يحدث تحلل مائى جزئى لبعض السكريات خاصة السكروز وينتج عن هذه العملية كل من الجلوكوز والفركتوز وتسمى هذه العملية بعملية التحويل inversion ويسمى مخلوط الجلوكوز والفركتوز الناتج باسم السكر المحول invert sugar (وهو يسارى الدوران بعكس السكروز الذى يعتبر - يمينى الدوران) وتتأتى أهمية التحكم فى معدل عملية التحليل المائى للسكروز من تأثير هذه العملية على التحبب granulation فى بعض المنتجات مثل المربى والمرملاد ومنتجات حلوى السكر (القند) .

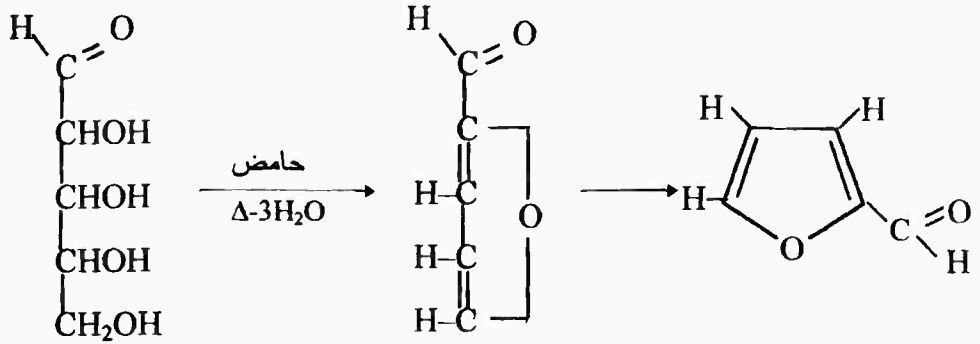
رابعا : جلتنة النشا Gelatinication of starch

نتيجة لعمليات التسخين التى تطبق فى الكثير من عمليات تصنيع الأغذية فإنه يحدث جلتنة للنشا ، وإذا إستمرت عملية التسخين لدرجات حرارة أعلى من درجات حرارة الجلتنة أدى ذلك إلى زيادة إنتفاخ حبيبات النشا ثم إنفجارها ويتكون نتيجة لذلك مخلوط لزج نصف شفاف translucent ويؤدى تبريد النشا المطبوخ إلى تكوين جل، وإذا ما أجرى التبريد بمعدل بطىء يتكون راسب بللورى من الأميلوز وتسمى هذه الظاهرة باسم التجلد retrogradation . ويعتبر الأميلوز هو المكون المسئول عن هذه العملية . وتجدر الإشارة إلى أن تجميد عجينة النشا يؤدى إلى الإسراع الشديد فى حدوث التجلد إذ أنه بعد الإذابة تتكون كتلة عجينية spongy تفقد كمية كبيرة من محتواها المائى بسهولة بمجرد الضغط الخفيف عليها . ولقد تبين أنه يمكن تثبيط عملية إنتفاخ حبيبات النشا بواسطة الأحماض الدهنية ويعتقد أن ذلك راجع إلى تكوين معقدات غير ذائبة من الأميلوز والأحماض الدهنية .

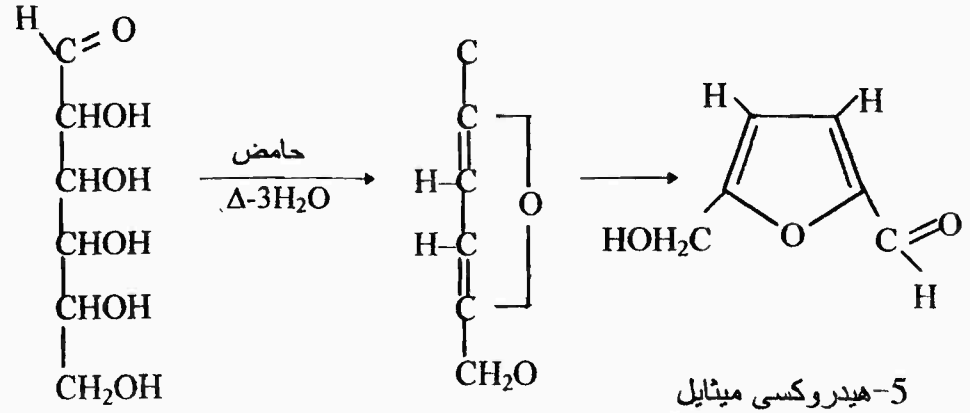
خامسا : تكوين الفورفيورال ومشتقاته

Formation of furfural and its derivatives

تحت ظروف الحرارة والـ pH الحامضى تحدث عملية تجفيف dehydration للسكر الخماسى معطياً الفورفيورال فى حين يعطى السكر السداسى مركب 5-هيدروكسى ميثايل فورفيورال كالآتى :



سكر خماسى (بنتوز) — فورفيورال



سكر سداسى (هكسوز) — 5-هيدروكسى ميثايل فورفيورال

وتكوين الفورفيورال ومشتقاته يعتبر مؤشراً على تدهور جودة بعض الأغذية وخاصة عسل النحل إذ أن زيادة 5-هيدروكسى ميثيل الفورفيورال يدل على أن العسل قد خزن تحت ظروف سيئة أو أنه قد غش بإضافة السكر المحول بالحامض ، كذلك فإن وجود الفورفيورال بتركيز محسوس فى معلبات منتجات الطماطم يدل على سوء التخزين .

سادسا : تكوين النشا المقاوم Formation of resistant starch (RS)

تبين أن جزءاً من النشا فى الأغذية النشوية المطبوخة يمر من الأمعاء الدقيقة للإنسان دون أن يهضم ، ولقد اتضح أن ظهور هذا المكون مرهون أساساً بإجراء عملية الطهى ، ولقد اصطلح على تسميته بالنشا المقاوم resistant starch (RS) ومن المعروف أن العوامل التى تؤثر على هضم النشا تشتمل على :

أ- درجة حرارة جلتنة النشا .

ب- مقاس حبيبات النشا .

ج- نسبة الأميلوز الى الأميلوبكتين فى جزىء النشا .

د- وجود إرتباطات النشا بالبروتين .

هـ- وجود معقدات بين الأميلوز والليبيدات .

و- نسبة النشا الذى حدث له تجلد retrogradation .

ويمكن تقسيم النشا بناء على قابليته للهضم الى ثلاثة أنواع :

أ- نشا سهل الهضم فى الأغذية المطبوخة بعد الطهى أو الخبز مباشرة .

ب- نشا مقاوم جزئيا للهضم (كما فى البطاطس الخام والموز) .

ج- نشا مقاوم للهضم (RS) يتكون نتيجة للمعاملة الحرارية للأغذية .

ولقد تبين أن كمية النشا المقاوم (RS) فى المخبوزات والعجائن الغذائية والبقوليات والبطاطس تعتبر كمية ضئيلة لاتزيد عن 3٪ . ويعزى الإهتمام بالنشا المقاوم إلى أنه يدخل ضمن المكون غير الذائب الموجود بالأغذية (ولذا فإن البعض يعتبر الـ (RS) أحد مكونات الألياف الغذائية) حيث أنه يقاوم الهضم معملياً *in vitro* وكذا فى القناة الهضمية للإنسان *in vivo* ، فعند وصول النشا المقاوم للهضم الى القولون فإنه يتخمر مع تكوين أحماض دهنية طيارة .

4-2 البروتينات Proteins

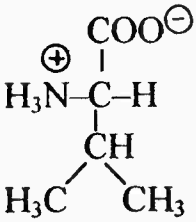
2-4-1 الصفات التركيبية Structural properties

تتميز البروتينات عن الكربوهيدرات والدهون فى أنها تحتوى على النيتروجين (والذى تتفاوت نسبته تبعاً لمصدر البروتين) بالإضافة إلى عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين .

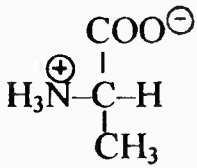
وتتركب البروتينات من وحدات بنائية هى الأحماض الأمينية وعلى الرغم من وجود نحو ثلاثمائة حمض أمينى فى الطبيعة إلا أن عدد الأحماض الأمينية التى تدخل فى تركيب البروتينات لايتجاوز العشرين ، وتتميز هذه الأحماض بأنها من النوع L-α (أى أن مجموعة الأمين ترتبط بذرة الكربون الفا α كما أن الأحماض الأمينية البروتينية تتواجد على صورة المشابه الضوئى L) .

ومن الوجهة التركيبية فإنه يمكن تقسيم الأحماض الأمينية البروتينية بأكثر من طريقة ولعل أحدثها تلك التى تعتمد على تقسيم الأحماض الأمينية تبعاً لقطبية polarity السلاسل الجانبية حيث يتم تقسيمها الى ثلاث مجموعات على النحو التالى:

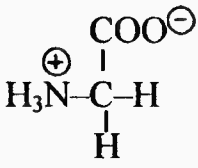
أولا : الأحماض الأمينية التى تحتوى على سلاسل جانبية غير قطبية



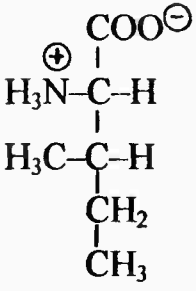
فاليـــــن
Valine Val(V)



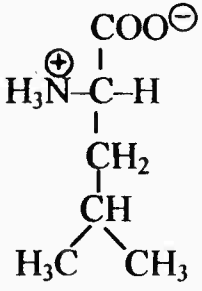
ألانيـــــن
Alanine Ala(A)



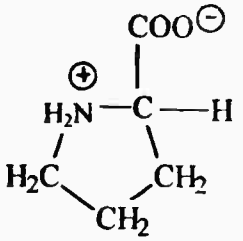
جليسين
Glycine Gly(G)



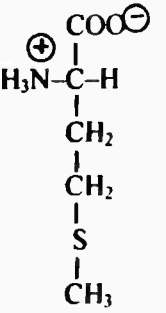
أيزوليوسين
Isoleucine Ile(I)



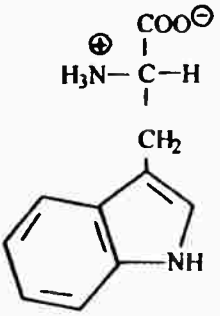
ليوسيـــن
Leucine Leu(L)



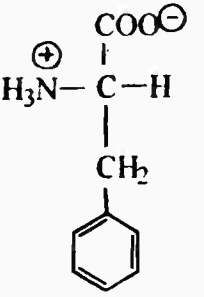
برولیـــــن
Proline Pro(P)



مثیونین
Methionine Met(M)

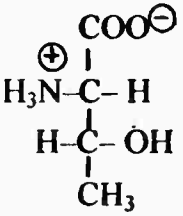


تربتوفان
Tryptophan Trp(W)

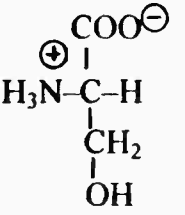


فینایل ألانین
Phenylalanine Phe(F)

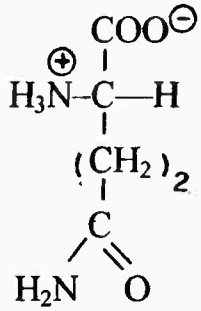
ثانیا : الأحماض الأمینیة التی تحتوی علی سلاسل جانبیة قطبیة غیر مشحونـــة



ثریونیـــن
Threonine Thr (T)



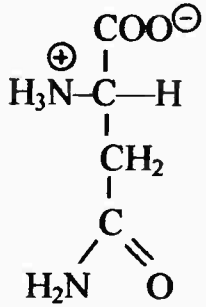
سیرین
Serine Ser (S)



جلوتامين

Glutamine Gln(Q)

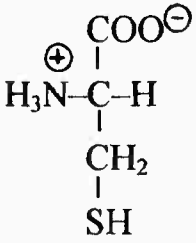
(أميد) لحمض الجلوتاميك



أسبارا جين

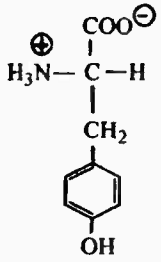
Asparagine Asn(N)

(أميد) لحمض الأسبارتك



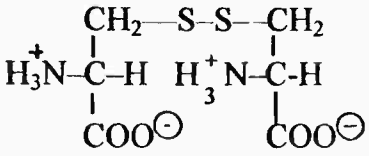
سيستئين

Cysteine Cys(C)



تيروسيـــن

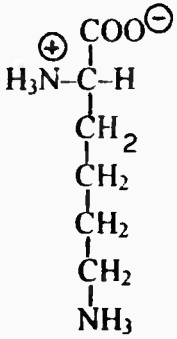
Tyrosine Tyr(Y)



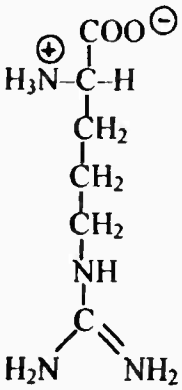
سيستين (ثنائى سستئين)

Cystine (Di Cysteine)

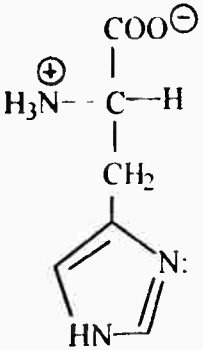
ثالثا : الأحماض الأمينية التى تحتوى على سلاسل جانبية قطبية مشحونة



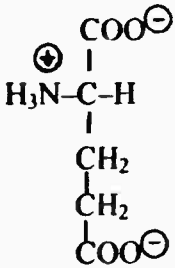
ليسيـــــن
Lysine Lys (K)



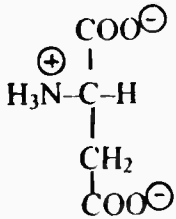
أرجنيـــــن
Arginine Arg (R)



هستدينـــن
Histidine His (H)



حمض جلوتاميك
Glutamic acid Glu(E)

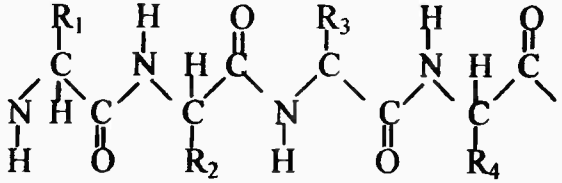


حمض اسبارتك
Aspartate acid Asp(D)

وتجدر الإشارة إلى أن كل حمض أمينى يعبر عنه بمختصر إما أن يكون من ثلاثة حروف أو أن يعبر عنه بحرف واحد ، كما هو موضح قرين الصيغة البنائية لكل حامض أمينى .

وترتبط الأحماض الأمينية ببعضها عن طريق روابط أميدية وتعرف باسم الروابط الببتيدية peptide bonds . وفى حالة البروتين تتكون الرابطة الببتيدية عن طريق إرتباط مجموعة الكربوكسيل بين حامض أمينى مع مجموعة أمين من حامض أمينى آخر مع تكوين جزىء ماء ويمكن لحامضين أمينين الإرتباط عن طريق هذه

الرابطة لتكوين ببتيد ثنائي dipeptide وكذا يمكن إرتباط ثلاثة أحماض أمينية لتكوين ببتيد ثلاثي tripeptide والعديد من الأحماض الأمينية لتكوين عديد ببتيد polypeptide . وتتميز سلسلة عديد الببتيد بوجود طرف أميني وآخر كربوكسيلي (شكل 2-12).



الطرف الأميني الطرف الكربوكسيلي

شكل 2-12 : طريقة ربط الأحماض الأمينية عن طريق الروابط الببتيدية

وتختلف البروتينات عن بعضها من حيث الصفات الكيماوية وكذا عدد الأحماض الأمينية التي تكون السلسلة (السلاسل) الببتيدية وترتيب أو تتابع هذه الأحماض في السلسلة . ويعبر عن هذا التباين التركيبي بما يسمى بمستويات بناء البروتينات وهي على النحو التالي :

أ- البناء الأولي Primary structure

ويقصد به تتابع أو ترتيب الأحماض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد .

ب- البناء الثانوي Secondary structure

يمثل هذا المستوى طريقة تجمع السلاسل الببتيدية حيث تلتف في صورة حلزونية ترتبط خلالها بالروابط الهيدروجينية

ج-البناء الثالثي Tertiary structure

يقصد به إلتفاف الحلزون إما في صورة حلزون ألفا α-helix أو في صورة ترتيب بيتا β- sheet .

د- البناء الرابعي Quaternay structure

ويعبر هذا المستوى عن درجة البلمرة أو درجة تجمع السلاسل عديد الببتيد في جزئ البروتين

القيمة التغذوية Nutritive value

توجد البروتينات في الأغذية الحيوانية والنباتية بكميات متباينة (جدول 2-4) ومن الوجهه التغذوية فإن جميع البروتينات الحيوانية باستثناء الجيلاتين تعتبر بروتينات

متوازنة أو كاملة complete بمعنى أنها تحتوى فى تركيبها على جميع الأحماض الأمينية الأساسية* essential amino acids (وهى أحماض يحتاجها جسم الإنسان لكنه لا يستطيع تخليقها بالمعدل المطلوب ومن ثم فإنه يلزم إمداد الجسم بها من الغذاء). من ناحية أخرى فإن جميع البروتينات النباتية تعتبر من الوجهة التغذوية بروتينات غير متوازنة أو غير كاملة incomplete وذلك لافتقار كل بروتين منها على حامض أو أكثر من الأحماض الأمينية الأساسية ، ومن هنا تتضح أهمية إستخدام مخاليط البروتينات النباتية لتحقيق التوازن المطلوب ولا سيما بالنسبة للنباتيين vegetarians .

جدول 2-4 : محتوى بعض الأغذية من البروتين

الغذاء	محتوى البروتين جم/100 جم	الغذاء	محتوى البروتين جم/100 جم
اللحم البقرى	16.5	فول الصويا الخام	34.1
لحم الدجاج	23.40	فول الصويا المطبوخ	7.8
سمك البكالاه	17.6	الأرز الأبيض الخام	6.7
اللبن	3.6	الأرز الأبيض المطبوخ	2.0
البيض	12.9	الكاسافا	1.6
القمح	13.3	البطاطس	2.0
الخبز	7.8	الذرة	10.0

المصدر : De Man (1990)

ويجب أن نفرق بين كمية أو محتوى البروتين quantity بالغذاء وجودته ، فمثلا بروتين كل من البطاطس والأرز من البروتينات عالية الجودة التغذوية على الرغم من أن محتوى البروتين فى كل منهما يعتبر منخفضاً .

ومن الوجهة التغذوية تتأتى أهمية البروتينات والأحماض الأمينية من كونها مسئولة عن عمليات البناء وصيانة الأنسجة أى أنها تدخل فى بناء بروتينات الجسم . كذلك فإن الجسم يستخدم البروتينات لإنتاج الطاقة وذلك فى حالة نقص الكربوهيدرات

---

* تشتمل الأحماض الأمينية الأساسية على الليسين ، الثريونين ، الليوسين ، الأيزوليوسين ، الفالين ، والميثيونين والتربتوفان ، الفينايل ألانين ويضاف اليها بالنسبة للأطفال الهستيدين والأرجنين .

فى الغذاء أو إذا ماتواجد فائض من البروتين بالغذاء يزيد عن إحتياجات الجسم منها لأغراض البناء وصيانة الأنسجة . وفى هذه الحالة لايكون تأكسد البروتينات والأحماض الأمينية كاملاً بل يتحول الجزء النيتروجينى منها إلى يوريا (خلال دورة اليوريا) تفرز مع البول ، ومن ثم فإن كفاءة الإستفادة من البروتين كمصدر للطاقة تكون أقل من نظيرتها للكربوهيدرات والدهون ، فالطاقة الكلية الموجودة فى جرام واحد من البروتين تعادل 5.5 كيلوكالورى بينما الطاقة الفعلية الناتجة عن هدم الجرام الواحد من البروتين لاتتجاوز 4.0 كيلوكالورى أى أن هناك طاقة مهدرة تقدر بنحو 25٪ تخرج على شكل يوريا .

2-4-2 تقسيم البروتينات Classification of proteins

نظراً لتباين البروتينات المختلفة فى عديد من الصفات فإنه من الأهمية بمكان تقسيم البروتينات على أساس واحد ، وقد استخدمت صفة الذائبية كصفة تفريقية بين البروتينات ، غير أن توفر المعلومات التركيبية والبنائية عن البروتينات قد أتاح استخدام أسس أخرى لتقسيم البروتينات فعلى سبيل المثال تم استخدام السلوك أثناء عملية الطرد المركزى فائق السرعة ultra centrifugation وكذا المسلك فى المجال الكهربى (الهجرة الكهربية electrophoresis) كصفات تفريقية بين البروتينات المختلفة .

ومن التقسيمات الشائعة للبروتينات تلك التى تعتمد على الصفات التركيبية للبروتين حيث يتم تقسيمها إلى بسيطة ، مركبة ، مشتقة .

أولا: البروتينات البسيطة Simple proteins

تعطى البروتينات البسيطة عند تحليلها مائياً أحماضاً أمينية فقط ، وهى تشتمل على الأقسام التالية :

أ- الألبيومينات Albumins

تذوب الألبيومينات فى الماء المتعادل الخالى من الأملاح ، وهى عادة ذات أوزان جزيئية منخفضة ، ومن أمثلتها : ألبيومين البيض ، وألبيومين اللبن (لاكتو ألبيومين) ، وألبيومين السيرم فى بروتينات شرش اللبن ، واللوكوسين leucosin فى الحبوب واللجيمولين legumin فى البقوليات .

ب- الجلوبيولينات Globulins

تذوب الجلوبيولينات فى محاليل الأملاح المتعادلة وهى غير ذائبة فى الماء تقريباً ومن أمثلتها جلوبيولين السيرم ، والبيتا لاكتوجلوبيولين فى اللبن والميوسين والأكتين فى اللحوم والجليسينين glycinin فى فول الصويا .

ج- الجلوتيلينات Glutelins

للجلوتيلينات ذائبية عالية فى الأحماض والقواعد المخففة جدا فى حين أنها لاتذوب فى المذيبات المتعادلة . وتوجد الجلوتيلينات فى الحبوب مثل جلوتينين glutenin القمح وأورزنين oryzenin الأرز .

د- البرولامينات Prolamins

وهى ذات ذائبية عالية فى الإيثانول (50-90٪) ولا تذوب فى الماء ، وتحتوى على كميات كبيرة من البرولين وحمض الجلوتاميك ، وهى توجد فى الحبوب ومن أمثلتها زايين zein الذرة وجليادين gliadin القمح ، وهوردين hordein الشعير .

هـ- البروتينات القرنية Sclero proteins

البروتينات القرنية لاتذوب فى الماء ولا المذيبات المتعادلة وهى مقاومة للتحلل الإنزيمى وتتسم بالتركيب الليفى نظراً لأن لها وظائف بنائية وكذا وظائف ربط. وتشتمل هذه البروتينات على الكولاجين الموجود فى أنسجة العضلات وكذا الجيلاتين (مشتق من الكولاجين) والإلاستين والكيراتين ، والأخير يوجد بشعر وحوافر الحيوانات.

و- الهستونات Histones

الهستونات بروتينات قاعدية نظراً لإحتوائها على نسبة عالية من الحامضين الأمينيين القاعديين: ليسين-أرجنين ، وهذه البروتينات تذوب فى الماء وترسب بالأمونيا .

ز- البروتامينات Protamines

تعتبر البروتامينات من البروتينات القاعدية القوية ، وهى ذات أوزان جزيئية منخفضة (من 4 آلاف الى 8 آلاف دالتون) وهى تتميز بمحتواها العالى من الأرجنين. ومن أمثلة البروتامينات الكلابين clapein فى أسماك الرنجة ــ الأسكومبرين scombrin فى سمك الماكريل .

ثانيا : البروتينات المركبة Conjugated proteins

تتكون البروتينات المركبة من جزء بروتينى يرتبط مع مركب آخر غير بروتينى مثل مجموعة الفوسفات، الليبيدات ، الأحماض النووية ، الكربوهيدرات :

أ- الفوسفوبروتينات Phosphoproteins

الفوسفوبروتينات مركبات هامة وهى توجد فى العديد من بروتينات الأغذية حيث ترتبط مجموعة الفوسفوبروتينات فى كازين اللبن وصفار البيض .

ب- الليبوبروتينات Lipoproteins

تتكون الليبوبروتينات من الإرتباط بين الليبيدات والبروتينات ، وهى مركبات ذات قدرة إستحلابية ممتازة وتوجد فى اللبن وصفار البيض .

ج- البروتينات النووية Nucleoproteins

تتكون البروتينات النووية من إرتباط الأحماض النووية مع البروتينات ، وهى توجد فى أنوية الخلايا .

د- الجليكوبروتينات Glycoproteins

ترتبط البروتينات بالكربوهيدرات مكونة الجليكوبروتينات ، وعادة ماتكون نسبة الكربوهيدرات المرتبطة منخفضة غير أن بعض الجليكوبروتينات تحتوى على نسبة تتراوح من 2٪ الى 20٪ من الكربوهيدرات وتعرف الجليكوبروتينات باسم الميوكوبروتينات mucoproteins ويعتبر الأوفوميوسين ovomucin الموجود فى زلال البيض مثالا للجليكوبروتينات .

هـ- البروتينات الملونة Chromoproteins

يندرج تحت هذه المجموعة البروتينات التى تحتوى على مجموعة ملونة ترتبط بها ، ومن أمثلة هذه البروتينات الهيموجلوبين ، الميوجلوبين ، والفلافوبروتينات.

ثالثا : البروتينات المشتقة Derived proteins

وهى عبارة عن مركبات يتم التحصل عليها بواسطة طرق إنزيمية أو كيماوية. وتقسم البروتينات المشتقة إلى مشتقات أولية ومشتقات ثانوية تبعاً لمدى التغير الذى حدث للبروتين الأصلى ، فالمشتقات الأولية تكون محورة بدرجة بسيطة وهى غير ذائبة فى الماء ، يعتبر الكازين المجمع بانزيم الرنين مثالاً للمشتقات الأولية.

أما المشتقات الثانوية فإنها تتسم بحدوث تغيرات كبيرة ، وهى تشتمل على البروتيوزات proteoses والببتونات peptones والببتيدات peptides وتختلف نواتج التكسير عن بعضها من حيث الحجم الجزيئى والذائبية ، غير أنه يمكن ترسيب البروتيوزات بمحلول مشبع من كبريتات الأمونيوم .

وتحتوى الببتيدات على اثنين أو أكثر من متبقيات الأحماض الأمينية amino acid residues ، وتتكون نواتج تكسير البروتينات هذه خلال عمليات تصنيع العديد من الأغذية كما هو الحال فى عمليات إنضاج الجبن .

2-4-3 الصفات الوظيفية للبروتينات

Functional properties of proteins

تعرف الصفات الوظيفية للبروتينات بأنها تلك الصفات الفيزيقية والكيماوية والتى تؤثر على مسلك البروتينات فى الأنظمة الغذائية وذلك خلال عمليات التصنيع والإعداد والتخزين والإستهلاك ، كذلك فإنه يمكن تعريف الصفات الوظيفية بأنها الصفات (بخلاف العوامل التغذوية) التى تؤثر على الإستفادة من مكونات الغذاء .

وتؤثر معظم الصفات الوظيفية على الصفات الحسية للغذاء (خاصة القوام) ، كذلك فإن الصفات الوظيفية تلعب دوراً أساسيا فى تحديد المسلك الفيزيقى للأغذية ومكوناتها فى خلال عمليات الإعداد والتصنيع والتخزين ، بمعنى آخر فإن الصفات الوظيفية للبروتينات هى تلك الصفات الفيزيوكيماوية physico-chemical properties التى يمكن البروتينات من المساهمة فى تحديد الصفات المرغوبة للغذاء. وتوجد للبروتين صفات وظيفية عديدة يوضحها الجدول رقم 2-5 .

جدول 2-5 : الصفات الوظيفية لبروتينات الأغذية .

الصفة العامة	الصفات الوظيفية
الحسية	اللون - النكهة - الرائحة
الحركية	القوام - الشعور فى الفم - النعومة - التحبب - العكارة .
التأدرت	الذوبان - الترطيب - إمتصاص الماء - الإنتفاخ - الثخانة - الجلية - التدميع - اللزوجة
النشاط السطحى	الإستحلاب - تكوين الرغوة (التهوية - الخفق) تكوين الأفلام
الربط	ربط الليبيدات - ربط مكونات النكهة
البناء	الشد - المضغ - الربط الشبكى العرضى - التجزىء - تكوين العجينة - القدرة على تكوين القوام - تكوين الألياف - القدرة على التلاصق adhesion - القدرة على الترابط cohesiveness - القدرة على التشكيل بجهاز الطبخ بالدفع الميكانيكى extrudabillity .
الريولوجية	اللزوجة - صفات الجل
الإنزيمية	التجمع (الرنين renin) - التطرية (البابين papain) - الإنضاج البروتيناز proteinases)
القدرة على الخلط	القدرة على التكامل (القمح - الصويا - الجلوتين - الكازين)
تضاد الأكسدة	منع النكهة غير المرغوبة (المستحلبات السائلة)

المصدر : Kinsella (1982) .

ويمكن تقسيم الصفات الوظيفية للبروتين إلى ثلاث مجموعات أساسية وهى :

أولا : صفات التأدرت Hydration properties

وتعتمد هذه الصفات على تداخلات البروتين والماء protein-water interactions ، ولقد تبين أن العوامل الرئيسية المؤثرة على صفات تأدرت البروتين تؤثر أيضاً على الصفات الفيزيوكيماوية للمركبات الأخرى الموجودة بالغذاء.

وتشتمل صفات التأدرت على ما يلى :

أ- إمتصاص وبقاء الماء Water absorption and retention

ب- القدرة على الترطيب Wettability

ج- الإنتفاخ Swelling

د- قدرة التلاصق Adhesions

هـ- القدرة على الإنتشار Dispersibility

و- الذوبان Solubility

ز- اللزوجة (صفة هيدروديناميكية) Viscosity

ثانيا – صفات إرتباط البروتين ببعضه Protein-protein interactions

تشتمل هذه الصفات على كل مما يأتى :

أ- الترسيب Precipitation

ب- تكوين الجل gelation

ج- تكوين نظم بنائية مثل الألياف وعجائن البروتين .

وتعتبر عملية تكوين الجل من أهم الصفات التى تتحدد بارتباطات البروتينات ببعضها ، وتحدث عملية تكوين الجل نتيجة لتكوين تجمعات aggregates لجزيئات البروتين المدنتر بحيث يتكون فى النهاية تركيب شبكي للبروتين المبلمر ، ويحصر هذا التركيب كميات كبيرة من السائل بداخله ويسلك مسلكاً ريولوجيا يتسم بصفات اللزوجة والمطاطية viscoelasticity . ويمكن أن ينتج جل مركب عن طريق تداخل نوعين أو اكثر من التركيب الشبكى أو من تركيب شبكى واحد بالإضافة الى مادة مالئة filler.

ومن الأهمية بمكان التفريق بين عملية تكوين الجل وظواهر أو عمليات أخرى مثل الإرتباط ، البلمرة ، الترسيب ، التجمع مع حدوث أو عدم حدوث دنترة ـ وذلك على النحو التالى :

أ- الإرتباط Association

تحدث عملية الإرتباط نتيجة لحدوث تغير فى تحت الوحدات subunits المكونة لجزىء البروتين .

ب- البلمـــــرة Polymerization

تشتمل عملية البلمرة تكوين معقدات كبيرة بين جزيئات البروتين .

ج- الترسيب Precipitation

تتضمن عملية الترسيب كل تفاعلات التجمع التى تؤدى الى فقد كلى أو جزئى فى ذائبية البروتين .

د- التجمع بدون دنترة Flocculation

المقصود بالتجمع بدون دنترة حدوث تجمع عشوائى للبروتين دون حدوث دنترة له ، وعادة ما يحدث مثل هذا التجمع نتيجة لوجود قوى تنافر بين السلاسل .

هـ - التجمع مع حدوث دنترة Coagulation

يمكن لجزيئات البروتين أن تتجمع عشوائيا مع حدوث دنترة لها ، وفى مثل هذا النوع من التجمع يكون الإرتباط بين جزيئات البروتين ببعضها أكثر سيادة من إرتباطات البروتين بالماء مما يؤدى الى تكوين تجمع خشن coarse coagulum .

ثالثا : الصفات السطحية Surface properties

تتضمن الصفات الوظيفية السطحية للبروتين كلا من الإستحلاب ، وصفات الرغوة .

أ- الإستحلاب Emulsification

يعتبر العديد من المنتجات الغذائية من المستحلبات وأمثلة ذلك اللبن ، الآيس كريم ، الزبد ، الجبن المطبوخ ، المايونيز ، السجق .

وتلعب البروتينات دوراً رئيسيا فى تثبيت هذه النظم الغروية حيث يتم إدمصاص البروتين فى الأسطح البينية بين نقط الزيت المنتشرة والوجه السائل المستمر مما يؤدى الى إضفاء صفات فيزيقية وريولوجية على الغذاء مثل الثخانة واللزوجة والمرونة والصلابة ، كذلك فإنه من الممكن حدوث تأين فى السلاسل الجانبية للأحماض الأمينية تبعاً لقيم الـ pH ، ومن ثم تتولد قوى تنافر الكتروستاتيكية تساعد على ثبات المستحلب . وعامة فإن البروتينات تعتبر مثبتات stabilizers ضعيفة لمستحلبات الماء فى الزيت (W/O) ويعزى ذلك الى أن معظم البروتينات تتسم بصفة حب الماء hydrophilicity مما يجعل معظم جزيئات البروتينات المدمصة أكثر ميلاً للوسط المائى فى الأسطح البينية .

ب- صفات تكوين الرغوة Foaming properties

تتكون رغوة الأغذية من إنتشار فقاعات غاز فى وجه سائل أو شبه صلب يحتوى على مواد نشطة سطحياً . ويوجد عدد كبير من الأغذية يحتوى على هذا التركيب منها المارنج والكيك والمارشمللو والكريمة المخفوقة والآيس كريم والخبز .

وفى حالات عديدة يكون الهواء أو ثانى أكسيد الكربون هو الوجه الغازى فى حين يكون الوجه المستمر عبارة عن محلول مائى أو معلق يحتوى على البروتين . وتعتبر بعض نظم رغاوى الأغذية بمثابة نظم رغوية معقدة جدا ومثال ذلك الآيس كريم الذى يتكون من مستحلب أو معلق ، وهى تنتشر فى صورة تجمعات (معظمها

مواد صلبة) مع بللورات الثلج وجل السكريات العديدة ومحلول مركز من السكريات والبروتينات بالإضافة إلى فقاعات الهواء .

ويوجد فى النظام الغروى وجه مستمر يتكون من طبقات دقيقة من السائل تسمى طبقات اللاميلا lamella تفصل فقاعات الغاز عن بعضها . ويتطلب تكوين الرغوة وجود سطح بينى ، وهذا بدوره يحتاج الى طاقة ميكانيكية بالإضافة الى وجود مادة نشطة سطحيا تعمل على خفض التوتر السطحى ، وتؤدى هذه الظروف مجتمعة الى تواجد حاجز فيزيقى يعطى المرونة بين فقاعات الغاز المحبوسة .

ويمكن تكوين الرغوة إما عن طريق دفع غاز خلال مادة مسامية مثل المرشح الزجاجى sintered glass الى داخل محلول مائى يحتوى على تركيز منخفض من البروتين (من 0.01 الى 2.0٪ وزن/حجم) أو عن طريق عملية ضرب أو خفق whipping. وكذا يمكن رج محلول من البروتين فى وجود كمية من الوجه الغازى . ويمكن أيضا تكوين الرغوة عن طريق خفض فجائى لضغط محلول سبق تعريضه للضغط ، وعادة فإنه يفضل تكوين الرغوة فى الأغذية عن طريق الخفق الذى يؤدى الى زيادة حجم العينة بنسب تتراوح من 200 الى 300٪ .

2-4-4 تغيرات البروتينات فى أثناء تصنيع وتخزين الأغذية

Changes of proteins during processing and storage of foods

يعترى البروتينات العديد من التغيرات سواء فى الصفات الوظيفية أو الفيزيقية أو الكيماوية نتيجة لعمليات تصنيع وتخزين الأغذية ، ومن أهم هذه التغيرات :

أولا : الدنترة Denaturation

الدنترة هى عملية يتحول فيها البروتين الطبيعى native الى بروتين مدنتر denatured وذلك بسبب تغير البناء الجزيئى للبروتين (مستويا البناء الثالثى والرابعى) دون ما تكسير للروابط التعاونية . وعملية الدنترة بهذا المدلول مقصورة على البروتينات دون غيرها . وتتفاوت البروتينات فى مدى تأثرها بعوامل الدنترة (والتى أهمها الحرارة) .

وعادة ما ينتج عن الدنترة فقد النشاط البيولوجى وحدوث تغيرات جوهرية فى بعض الصفات الفيزيقية والوظيفية كالذائبية . ويعد تثبيط inhibition النشاط الإنزيمى بالحرارة (وهى عملية دنترة للبروتين الإنزيمى) من أهم التغيرات التى تحدث فى

عملية التصنيع الغذائى . وأحيانا يكون مرغوبا حدوث الدنترة الحرارية كما هو الحال فى دنترة بروتينات الشرش لإنتاج مسحوق اللبن المستخدم فى صناعة المخبوزات .

وتعتبر بروتينات زلال البيض من البروتينات التى يمكن دنترتها بالحرارة أو بالقوى السطحية الناشئة عن عملية خفق بياض البيض بغرض تكون الرغوة . أما بروتينات اللحم فإنها تتطلب درجة حرارة تتراوح من 57 الى 75°م لكى تدنتر . ولدنترة بروتينات اللحم تأثيرات محسوسة على القوام وسعة مسك الماء وعملية إنكماش أنسجة اللحم . وقد تؤدى الدنترة أحيانا إلى تجمع flocculation البروتينات الكروية ولكنها قد تؤدى أحيانا الى تكوين جل .

وتجدر الإشارة إلى أنه فى خلال عملية تجميد الأغذية أو تخزينها على الحالة المجمدة قد تحدث عملية دنترة لبروتينات الغذاء . وتعتبر بروتينات الأسماك بصفة خاصة أكثر عرضة للدنترة فى هذه الظروف حيث تكون أنسجة الأسماك خشنة وفى غير مقدورها مسك الماء بصورة جيدة .

ومعظم البروتينات تدنتر فى مدى درجات حرارة تتراوح من 55 إلى 75°م، غير أن هناك بعض البروتينات التى تستثنى من ذلك ، فعلى سبيل المثال فإنه يمكن غلى محاليل الكازين والجيلاتين دون أن يعتريهما تغير ظاهر فى الثبات ، ولذا فإنه يمكن غلى اللبن وتعقيمه وتركيزه دون حدوث تجمع للكازين ، ويعزى هذا الثبات الحرارى للكازين إلى أن تكون الروابط ثنائية الكبريت يعد محدودا جدا بسبب المحتوى المنخفض من السيستين والسيستئين ، كذلك فإن مقاومة جزيئات الكازين للإلتفاف folding تلعب دورا فى هذا الثبات ، ويعزى ذلك الى وجود محتوى عال نسبيا من البرولين والهيدروكسى برولين ، وهو الأمر الذى لوحظ فى تركيب البروتينات الثابتة حراريا.

ثانيا : الإغمقاق اللا إنزيمى Non-enzymic browning

لتفاعل الإغمقاق اللا إنزيمى (ويعرف باسم تفاعل ميارد Maillard) أهمية كبيرة فى تصنيع الأغذية حيث تكون نواتج هذا التفاعل مرغوبة فى بعض الأحيان بينما تكون غير مرغوبة فى أحيان أخرى ، فعلى سبيل المثال فإن تكون القشرة البنية على سطح الخبز يعتبر أمرا مرغوبا فى حين أن إغمقاق اللبن المبخر والمعقم يكون أمراً غير مرغوب . وفى الحالات التى يكون تفاعل الإغمقاق اللا إنزيمى مرغوبا فإن الألوان والنكهات الناتجة تكون عامة مفضلة من قبل الإنسان .

ويمكن تعريف الإغمقاق اللا إنزيمى بانه مجموعة من التفاعلات المتعاقبة تبدأ بتفاعل المجموعة الأمينية فى الأحماض الأمينية أو الببتيدات أو البروتينات مع مجموعة الهيدروكسيل الجليكوسيدية للسكريات وينتهى تعاقب التفاعلات بتكوين وايمرات نيتروجينية تعرف باسم الميلانودين melanoidins .

ويمكن القول بأن نمط وسرعة تفاعل الإغمقاق اللا إنزيمى يختلفان باختلاف نوع الغذاء نظرا لاختلاف مصدر المجموعة الأمينية ونوع السكر الموجود . وعامة فإن الحمض الأمينى ليسين يعد من أنشط الأحماض الأمينية فى هذا التفاعل وذلك بسبب وجود المجموعة الأمينية إيسلون (ع) فى صورة حرة ، ولأن الليسين يعد واحداً من الأحماض الأمينية الحدية فى بروتينات الحبوب فإن دخوله فى تفاعل الإغمقاق اللا انزيمى يقلل بشكل أساسى من القيمة التغذوية للبروتين .

وتعتبر الأغذية الغنية فى محتواها من السكريات المختزلة نشطة جدا فى تفاعل الإغمقاق اللا إنزيمى ، وقد يفسر هذا سبب سهولة تحطم الليسين فى اللبن مقارنة بالأغذية الأخرى عند المعاملة الحرارية . وننوه إلى أن هناك عوامل أخرى تؤثر على تفاعل الإغمقاق اللا إنزيمى ، وهى درجة الحرارة والـ pH ، الرطوبة ، محتوى الأكسجين ، المعادن ، الفوسفات ، ثانى أكسيد الكبريت ، والمثبطات الأخرى .

ثالثا : التغيرات الكيماوية Chemical changes

يمكن حدوث عدد من التغيرات الكيماوية للبروتين خلال تصنيع وتخزين الأغذية ، وقد يكون بعض هذه التغيرات مرغوباً بينما يكون البعض الآخر غير مرغوب . ومثل هذه التغيرات الكيماوية قد تؤدى إلى تكوين مركبات لايمكن تحليلها مائيا بواسطة إنزيمات القناه الهضمية أو قد تؤدى هذه التغيرات إلى حدوث تحور فى السلاسل الجانبية للببتيد ، مما يجعل بعض الأحماض الأمينية غير متاحة حيويا .

ويمكن عن طريق المعاملات الحرارية فى وجود الماء تحسين القيمة التغذوية للبروتين حيث تزداد الإتاحة الحيوية bioavailability للأحماض الأمينية الكبريتية بالإضافة إلى تثبيط بعض مانعات التغذية antinutritional factors مثل مثبطات التربسين . وتجدر الإشارة إلى أن إرتفاع الحرارة فى غياب الماء قد تؤثر بالسلب على جودة البروتين ، فعلى سبيل المثال يحدث تحطم للأحماض الأمينية الآتية: التربتوفان ـ الأرجنين ـ الميثيونين ـ الليسين الموجودة ببروتينات الأسماك إذا ما تعرضت للظروف سالفة الذكر .

ولا شك أن عددا من التفاعلات الكيماوية قد يحدث خلال المعاملة الحرارية وتشتمل هذه التفاعلات على عمليات تحلل ونزع ماء الحامضين الأمينيين سيرين وثريونين بالإضافة إلى فقد الكبريت من السستئين أما أحماض الجلوتاميك والأسبارتك والثريونين فتحدث لها عمليات التحليق أى تكوين حلقات cyclization .

2-5- الليبيـــــــــدات Lipids

الليبيدات مجموعة غير متجانسة من المركبات يصعب إعطاء تعريف دقيق لها. ويعتمد التعريف الشائع لليبيدات على خاصية الذوبان المميزة لها حيث تعرف بأنها "الجزء من الغذاء الذى لايذوب فى الماء ولكنه يذوب فى المذيبات العضوية كالإيثير وإيثير البترول والكلوروفورم والبنزين" . ويعيب هذا التعريف أن بعض المكونات مثل الجليسريدات الأحادية monoglycerides للأحماض الدهنية قصيرة السلسلة تذوب فى الماء أكثر من ذوبانها فى المذيبات العضوية رغم كونها من الليبيدات . ويوجد تعريف آخر لليبيدات على أساس كيماوى "بأنها عبارة عن أسترات للأحماض الدهنية أو مواد يمكنها تكوين هذه الأسترات" . ومعظم هذه الأسترات عبارة عن أسترات للأحماض الدهنية والجليسرول حيث تمثل أكثر من 99٪ من الليبيدات النباتية والحيوانية وتعرف باسم الزيوت والدهون . ويتراوح محتوى الأغذية النباتية والحيوانية من الدهن بين نسبة منخفضة (0،25٪) الى مرتفعة (58٪) كما يتضح من جدول 2-6 . فتحتوى الأغذية غير معدلة التركيب كاللحوم ، الغلال ، والأسماك على خليط من الليبيدات المركبة والجليسريدات الثلاثية . أما الدهون والزيوت المستخدمة فى عمل أغذية مصنعة كالشورتننج shortening والمرجرين margarine فهى عبارة عن مخاليط نقية من الجليسريدات الثلاثية . كما تقسم الدهون أحيانا الى دهون ظاهرة visible fats مثل شحم الخنزير والزبد والشورتننج وزيوت الطبخ ودهون غير ظاهرة invisible مثل الموجودة فى منتجات الألبان (ماعدا الزبد) ، البيض ، اللحوم ، الدجاج ، الأسماك ، الفاكهة والخضروات ، ومنتجات الحبوب .

الدهون والزيوت عبارة عن جليسريدات ثلاثية ويختلفان فى أن الدهون صلبة بينما الزيوت سائلة عند درجة حرارة الغرفة . ويمكن أن يختلف تركيب كل من الدهون والزيوت حسب مصدرهما كما تختلف صفات الجليسريدات الثلاثية والأحماض الدهنية المكونة لها (أنظر الباب الثامن من هذا الكتاب) .