الكاربوهٌيدرات carbohydrates

تعد الكاربوهٌيدرات عنصراً مهماً من العناصر الرئٌسة فَي التغذٌية لكونها سهلة الهضم مقارنة بغٌيرها من العناصر الغذائٌية كالدهون والمواد البروتٌنٌة.

هنالك ثلاثة عناصر رئٌيسة تكوّن الكاربوهٌدرات وهيً الكاربون واألوكسجٌين والهٌدروجٌين. وٌوجد الهٌدروجٌين واألوكسجٌين فَي تركٌبيها عادة بنسبة وجودها فَي الماء أي 2 هٌدروجٌين الى 1 أوكسجٌين عدا عدداً من الشواذ مثل السكرٌيات التَي ٌنقصها االوكسجٌين Deoxysugars .
والصٌغة التركٌيبٌية الجزيئٌية للكاربوهٌيدرات بشكل عام توجد بصورة $Cn(H2O)n$ حٌث n تساوي 3 أو أكثر وعلى أساسها سمٌيت الكاربوهٌدرات أي هٌدرات الكاربون او الكاربون الممٌيأ. ومن الناحٌة الكٌيمٌيائٌية فالجزيئٌات البنائٌية الصغٌيرة للكاربوهٌدرات كالسكرٌيات البسٌيطة هَي مركبات ألدٌيهاٌد Aldehydes اوكٌيتون Ketones تحوي عدداً من مجامٌع الهٌدروكسٌيل ومشتقاتها وبالتالَي فالكاربوهٌيدرات هَي عبارة عن مجموعة من المركبات المختلفة، وتعرف بأنها ألدٌيهاٌدات او كٌيتونات تحتوي على عدد من المجامٌع الهٌدروكسٌيلٌية أو مشتقاتها وٌدتخل ضمن هذا التعرٌف أٌضاً كل مركب ٌنتج هذه المواد عند تحلله وبصورة عامة فإن الكاربوهٌيدرات عبارة عن مواد صلبة بٌيضاء قليلة الذوبان فَي المذٌيبات العضوٌية لكنها تذوب بالماء عدا بعض السكرٌيات المتعددة Polysaccharides .

أصناف الكاربوهٌدرات Classification of carbohydrates

ٌمكن تصنٌف الكاربوهٌيدرات استنادا الى عدد الوحدات البنائٌة التَي يحتوٌيها السكر:

1- السكرٌات الاحادية او السكر البسٌيط(Monosaccharide وتحتوي فَي جزيئٌاتها على وحدة سكر واحدة مثل الكلوكوز.

2 – السكرٌيات قليلة الوحدات Oligosaccharides)ومن ضمنها السكرٌيات الثنائٌية(وتحتوي فَي جزيئٌاتها على 19-2 وحدات من السكر الأحادي.

3- السكرٌيات المتعددة Polysaccharides وتشمل جزيئٌات بولٌيمرٌية كبٌيرة لسكرٌيات أحادٌية ولها أوزان جزيئٌية عالٌية، وهَي بدورها تنقسم على مجموعتٌين اعتماداً على الوحدات البنائٌية من السكرٌيات الاحادٌية المتكررة لنوع واحد او نوعٌين مثل:

أ- السكرٌات المتعددة المتجانسة Homopolysaccharides

ب - السكرٌات المتعددة غٌير المتجانسة Heteropolysaccharides

1 السكرّات الاحادّية: تحتوي هذه السكرّات على 0-3 ذرات كاربون.الإنها فَي الغالب تشكل من 5 او 6 ذرات كاربون. إن هذه السكرّيات تحتوي على مجموعة ألدّيهاًد او مجموعة كُيتون فَي تركّيبها الكّيمّيائَي،ولا ٌيمكن تحلّل السكرّيات الاحادّية الى وحدات اصغر تحت الظروف المعتدلة. ومن أكثر السكرّيات الاحادّية وجوداً فَي الطبّيعة هو الكلوكوزGlucose)سكر سداسَي ٌيحتوي على مجموعة ألدّيهاًد(والذي ٌيعد من أهم مصادر الطاقة للكائن الحَي وهو الوحدة البنائّة الاساسّية لاكثر السكرّيات المتعددة والتَي توجد فَي الطبّيعة بكمّيات هائلة مثل النشا والسّلّيلوز.

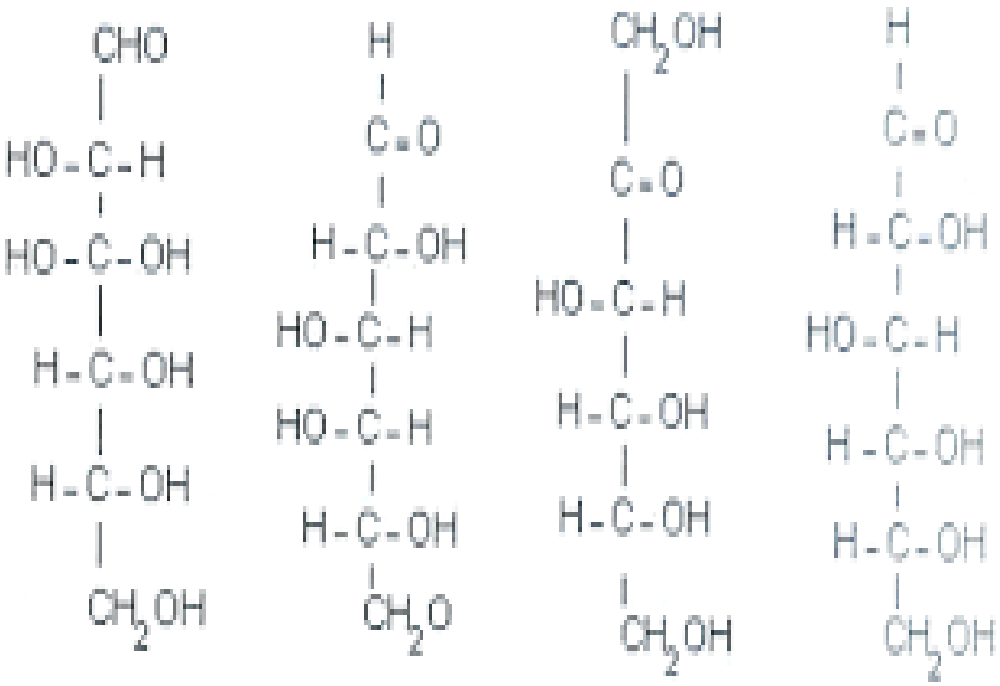
إن اصغر جزّيئتّين ٌيطلق علّيهما كاربوهّيدرات فَي الطبّيعة هما كلسّيرألّهاًيد Glyceraldehyde والاسيّتون ثنائَي الهّدروكسّيل Dihydroxyacetone وّيحتوي كل منهما على ثلاث ذرات كاربون)ٌيطلق على المركب الذي ٌيحتوي على ثلاث ذرات كاربون أسم ترأّيوز)Triose،ٌيرجى ملاحظة إضافة الحروف الواو والزاء الى كلمة تراي باللغة العربّة والحروف ose الى كلمة Tri باللغةالانكليزية للدلالة على ان المركب هو عائد الى عائلة الكاربوهّيدرات.

ٌيساعد موقع مجموعة الكاربونّيل فَي تسمّية السكرّيات الاحادّية، فمثالً ٌمكن تسمّة الكلسّيرألدّيهاًد بأسم ألدوترأّيوز Aldotriose)ألدو من ألدّهاًد وتراي ٌعنً المركب ٌيحتوي على ثلاث ذرات كاربون والحروف الواو والزاء تعنً ان المركب سكر(كذلك ٌمكن تسمّية الاسّيتون ثنائً الهّدروكسّيل بأسم كيّتوترأّيوزKetotriose)كّيتو Keto من كّيتون(. اما بالنسبة للسكرّات الكيّتونّية التَي تحتوي على أكثر من ثلاث ذرات كاربون فأن مجموعة الكاربونّيل تقع عادة على ذرة الكاربون رقم 2)

4 ذرات كاربون	تتروز	tetrose
5 ذرات كاربون	بنتوز	pentose
6 ذرات كاربون	هكسوز	hexose
7 ذرات كاربون	هبتوز	heptose

ulاما بالنسبة للسكريات الكيتونية فيضاف المقطع(لو)

والذي ٌتحتوي على ست ذرات كاربون اسم هكسلوز
، والذي ٌتحتوي على سبع ذرات كاربون اسم هّبتلوز



المانوز الجلاكتوز الفركتوز الجلوكوز

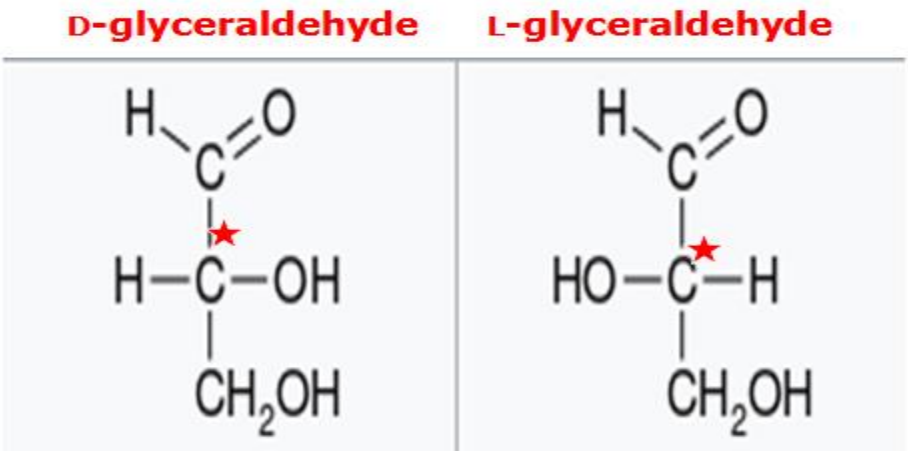
فوائد الكربوهيدرات

- مصدر كبير للطاقة حيث ينتج عن تحللها وأكسدتها طاقة تستخدم فى التفاعالت البيوكيميائية لجميع الكائنات الحية
- تخزن الطاقة الكيميائية المشتقة من الكربوهيدرات على شكل مركبات غنية بالطاقة مثل أدنوسين ثالثي الفوسفاتATP وكوانسين ثالثى الفوسفاتGTP
- تدخل الكربوهيدرات فى التركيب البنائي لجدار الخلية

- وقود الجهاز العصبي المركزي : حيث لكي يستطيع الدماغ وبقية أجزاء الجهاز العصبي المركزي القيام بوظائفه في تنظيم الجسم، لابد من توفر الجلوكوز لانه مصدر الطاقة الرئيسي لهذا الجهاز الهام، وإن نقص الجلوكوز في الدم يؤدي إلى ضعف عمليات التفكير والتركيز الذهني وبالتالي تكثر الاخطاء في المواقف التي تحتاج إلى سرعة التفكير وحسن التصرف.

الفعالية البصرية للسكريات الاحادية Optical activity of monosaccharaides

إذا احتوي المركب على ذرة كربون أو أكثر غير متناظرة (Asymmetricذرة كربون تحتوى على أربع استبدالات مختلفة) كما هو الحال فى السكريات الاحادية والاحماض الامينية فالمركب يكون فعالً بصرياًactive Optically . وعلية فعندما تمر حزمة لضوء مستقطب من جهاز مقياس الاستقطاب polarimeter على المحلول فإن شعاع الضوء المستقطب إما يدور يميناً فيكون المركب أيمن الدوران ويرمز له + أو (D) أو يدور يساراً فيكون أيسر الدوران ويرمز له- (-) اوأ (L) السكر الثالثي الالدهيدي جليسرالدهيد توجد به ذرة كربون واحدة غير متماثلة أو غير متناظرة هى ذرة الكربون رقم 2 نجمه والتى بإستطاعتها تدوير الضوء المستقطب لذلك يوجد هذا المركب بشكل L، Dهما Stereo isomersإيزومرين .



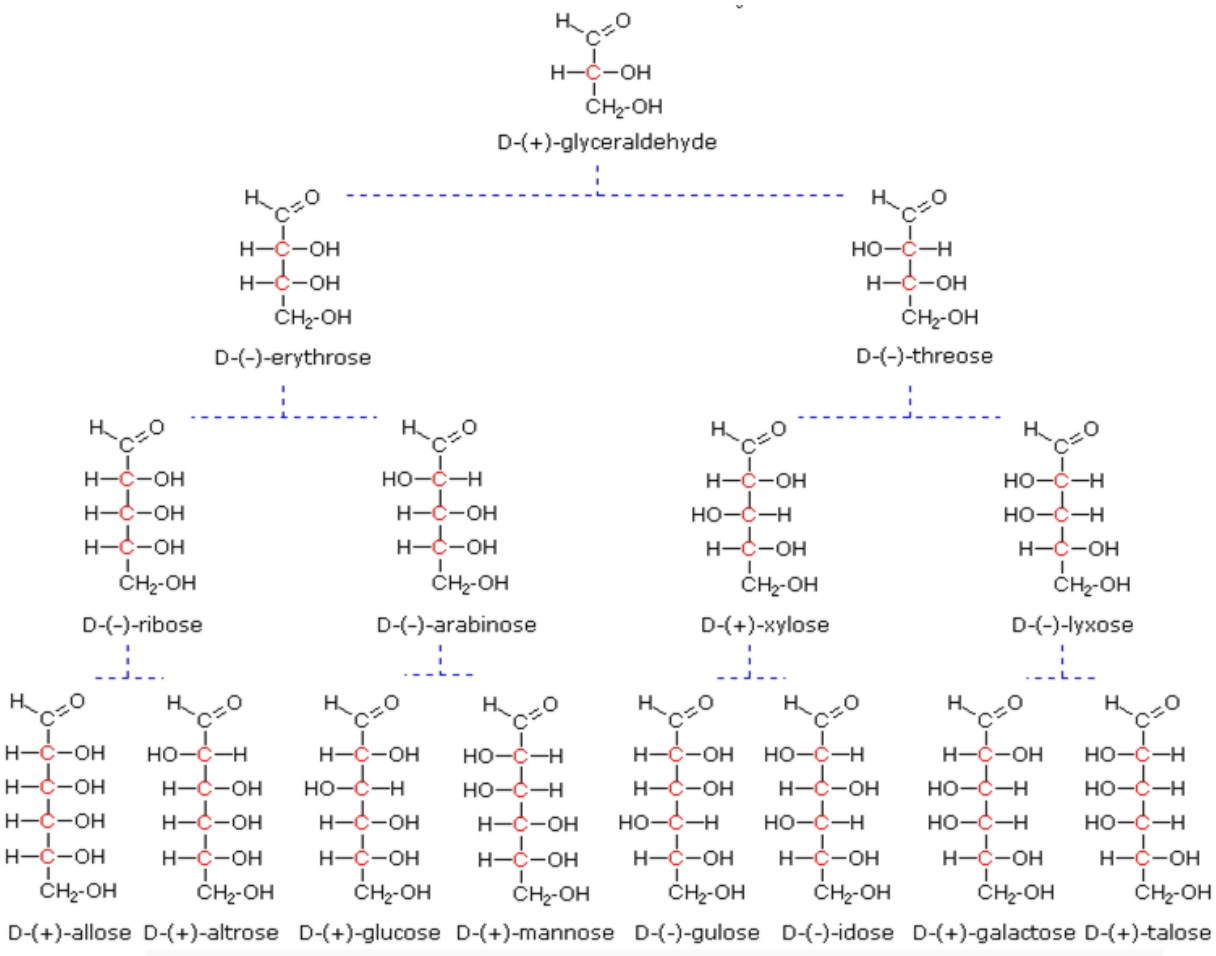
وّيمكن استخراج عدد الايزومرات المجسامّية لاي مركب عضوي ّيحوي ذرة كاربون او أكثر غّر متناظرة من العلاقة اآلاتيّة:

عدد الايزومرات المجسامّية = 2^n (2 مرفوع للأس n)

حّث n تمثل عدد ذرات الكاربون غّير المتناظرة. وعلى سبّيل المثال فان سكر الدوهكسوز Aldohexose الذي صّغته التركّبّية العامة $C_6H_{12}O_6$ ّيحتوي على اربع ذرات كاربون غّير متناظرة، وعلّيه فإن لهذا السكر16 شكلا من الايزومرات المجسامّية، ثمانّية منها توجد بشكلL ، وثمانّية أخرى بشكل D.

أمثلة للسكريات االحادية :

أ - سكريات خماسية مثل الرايبوز يدخل فى تركيب الحامض النووي
(واألرابنوز) يستخدم في أختبارات التخمر للكشف عن البكتيريا ،
والاليوز) يدخل فى تركيب الاليزوفلافين المعزول من العضالت القلبية
ب- سكريات سداسية مثل- D جلوكوز مصدر عظيم للطاقة التى تحتاجها الانسجة وهو مصدر وقود للدماغ وكريات الدم الحمراء والجلد ،
- Dفركتوز يتحول فى الكبد والامعاء إلى سكر الجلوكوز حيث يستفيد الجسم منه فى العمليات آليضية) ،
-Dجالكتوز (يتحول إلى سكر الجلوكوز فى الكبد للعمليات الايضية ويتم بناؤه فى الغدة اللبنية لصنع سكر الالكتوز فى الحليب.

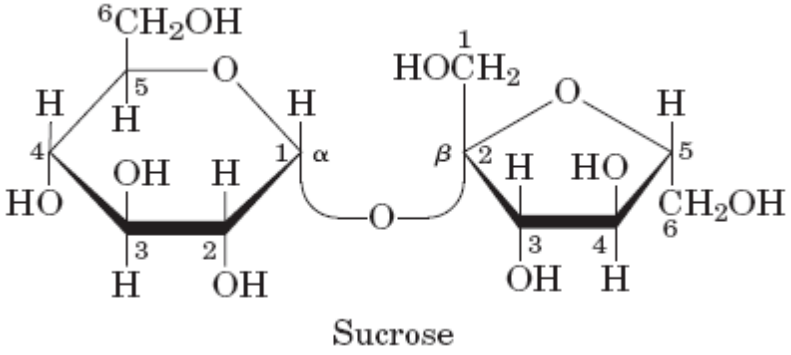

D-(+)-glyceraldehyde
D-(-)-erythrose
D-(-)-threose
D-(-)-ribose
D-(-)-arabinose
D-(+)-xylose
D-(-)-lyxose
D-(+)-allose
D-(+)-altrose
D-(+)-glucose
D-(+)-mannose
D-(-)-gulose
D-(-)-idose
D-(+)-galactose
D-(+)-talose

السكريات قليلة الوحدات Oligosaccharides

وتشمل المركبات الكاربوهيدراتية او السكريات التي تتكون من وحدتين الى عشرة وحدات من السكريات الأحادية التي ترتبط مع بعضها بوساطة الآصرة الكلايكوسيدية Glycosidic linkage او ما يسمى بآصرة الكيتال أو الأسيتال Ketal or acetal linkage ، وهذه السكريات تتحلل الى وحدات صغيرة من السكريات الأحادية التي تتكون منها ومن هذه السكريات الشائعة الموجودة في الطبيعة ما يأتي:

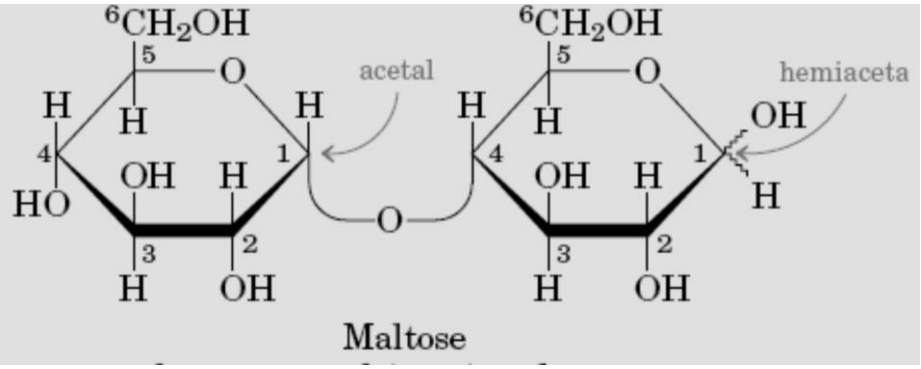
١- السكريات الثنائية Disaccharides (مكونة من وحدتين من السكريات الأحادية) ومن الأمثلة عليها:

أ- السكروز Sucrose: يعد من أهم السكريات الثنائية الموجودة والشائعة في الطبيعة، ويعرف بسكر المائدة او السكر الاعتيادي وهو سكر يتكون من جزئين الكلوكوز والفركتوز **(الشكل ٢١-٤)**. يوجد هذا السكر بشكل طبيعي في ثمار النباتات والمصدر الطبيعي له هو البنجر السكري وكذلك قصب السكر، وهو سكر غير مختزل لارتباط المجاميع المسؤولة عن ذلك وهي مجموعة الألديهايد في الكلوكوز مع مجموعة الكيتون في الفركتوز ويسمى ايضاً بسكر العنب Invert sugar وهو موجود بشكل طبيعي في العسل ويتحلل هذا السكر في الأمعاء بوساطة إنزيم السكريزSucrase (او يسمى إنزيم الأنفرتيز Invertase) الى مكوناته من الكلوكوز والفركتوز.



الشكل (٢١ - ٤): السكروز.

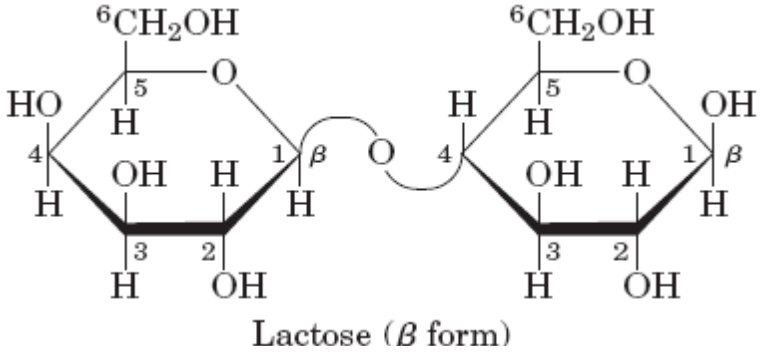
ب- المالتوز Maltose : او سكر الشعير وهو من السكريات الثنائية مكون من وحدتين او جزئين من سكر الكلوكوز**(الشكل ٢٢-٤)** وهو من السكريات المختزلة. وينتج عند تحلل النشا بوساطة إنزيم ألفا- أميليز الموجود مثلاً في الشعير المنبت Malt أوفي اللعاب Saliva وعصارة البنكرياس. أن سكر المالتوز هو جزء من النشا في السلاسل المستقيمة له (الأميلوز Amylose) ويرمز للآصرة الكلايكوسيدية بين جزيئتي الكلوكوز في هذه السلاسل بـ 4-1 α أي بين ذرة الكاربون الاولى من جزيئة وذرة الكاربون الرابعة من جزيئة السكر الثاني. اما السكر الموجود عند التفرعات خاصة في جزء الأميلوبكتين Amylopectin من النشا فيسمى سكر الأيزومالتوز Isomaltose وتكون الآصرة الموجودة بين جزيئتي الكلوكوز هي 6-1 α أي بين ذرة الكاربون الأولى من جزيئة الكلوكوز مع ذرة الكاربون المرقم 6 من جزيئة الكلوكوز الثانية.



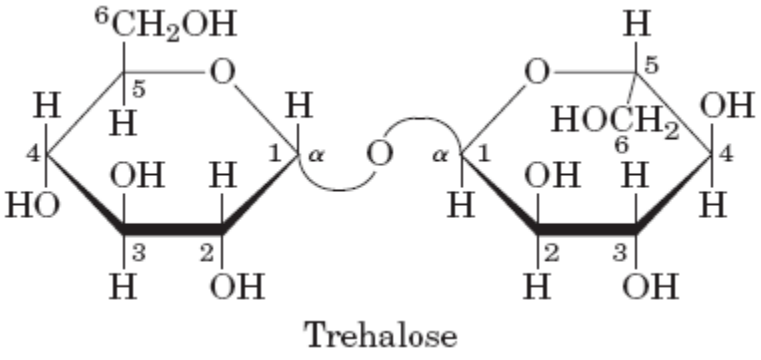
الشكل (٢٢-٤) : المالتوز.

اما عندما تكون الآصرة بين جزيئتي الكلوكوز من نوع 4-1 β فيتكون سكر ثنائي آخر هو سكر السلّوبايوز Cellobiose وهو جزء من تركيب السليلوز Cellulose والذي لا يتحلل بعصارات الجهاز الهضمي للإنسان لافتقارها لإنزيم السليوليز Cellulase.

جـ-اللاكتوز Lactose : من السكريات الثنائية الشائعة في الطبيعة ويعرف بسكر الحليب لوجوده في الحليب فقط. ويتكون اللاكتوز من جزيئتين وهي الكلوكوز والكالاكتوز **(الشكل ٢٣-٤)** وهو أيضاً من السكريات المختزلة، ودرجة حلاوته قليلة موازنة بباقي السكريات. يمكن تخمره بوساطة الأحياء المجهرية مثل بكتيريا حامض اللاكتيك الى حامض اللاكتيك وذلك عند تحميض الحليب وتحويله الى اللبن. ومن الممكن تواجد اللاكتوز في البول للمرأة خلال الحمل، وان قلة امتصاصه في الأمعاء يمكن ان يسبب حدوث الإسهال.



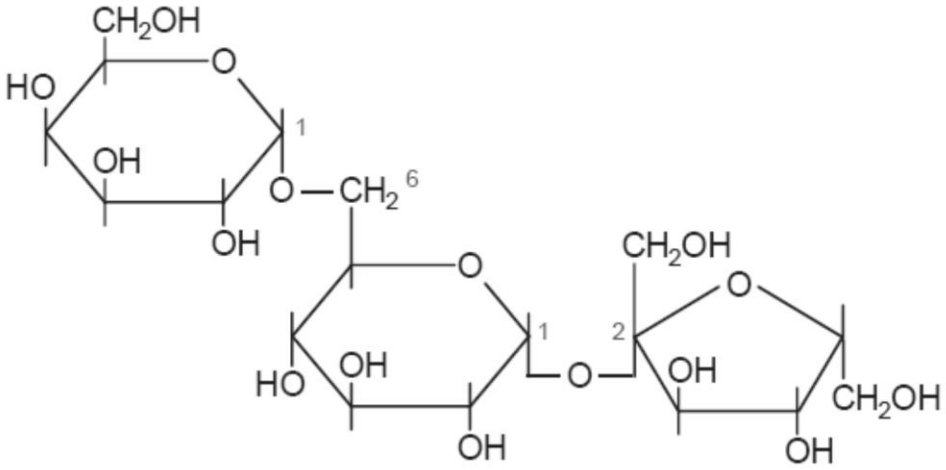
د- التريهالوز Trehalose: من السكريات الثنائية الذي يتألف من وحدتين من جزيئه الكلوكوز متصلتين مع بعضهما بوساطة آصرة كلايكوسيدية بين ذرة كاربون رقم ١ من جزيئة الكلوكوز الأولى مع ذرة كاربون رقم ١ من الجزيئة الثانية **(الشكل ٢٤-٤)** وعليه يكون من السكريات غير المختزلة Non-reducing (كما في جزيئه السكروز) والذي يتواجد في الفطريات Fungi والخمائر Yeasts ويعد السكر الرئيس لحشرة هيموليف Insect hemolyph.



الشكل (٢٤-٤): التريهالوز Trehalose (α- كلوكوز-١ ١-α- كلوكوسايد).

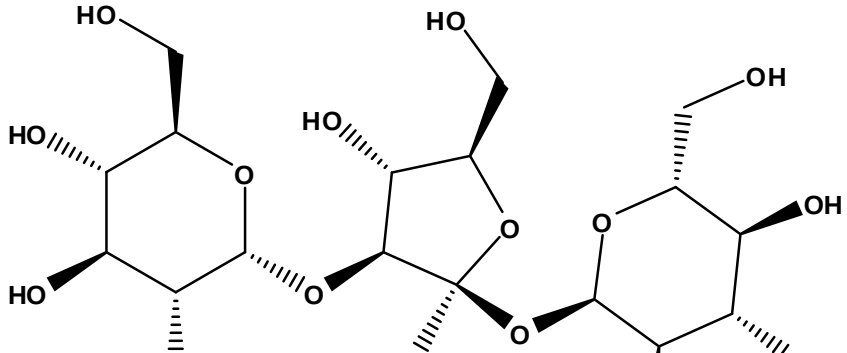
٢- السكريات الثلاثية Trisaccharides (وهي السكريات التي تحتوي على ثلاث وحدات او جزيئات من السكريات الأحادية) ومن الأمثلة لهذه المجموعة هي:

أ- الرافينوز Raffinose : يوجد في النباتات كالبنجر السكري وكذلك بذور القطن وفول الصويا. ويتكون من سكر الكلوكوز والفركتوز والكالاكتوز **(الشكل ٢٥-٤).**



الشكل (٢٥-٤): تركيب الرافينوز.

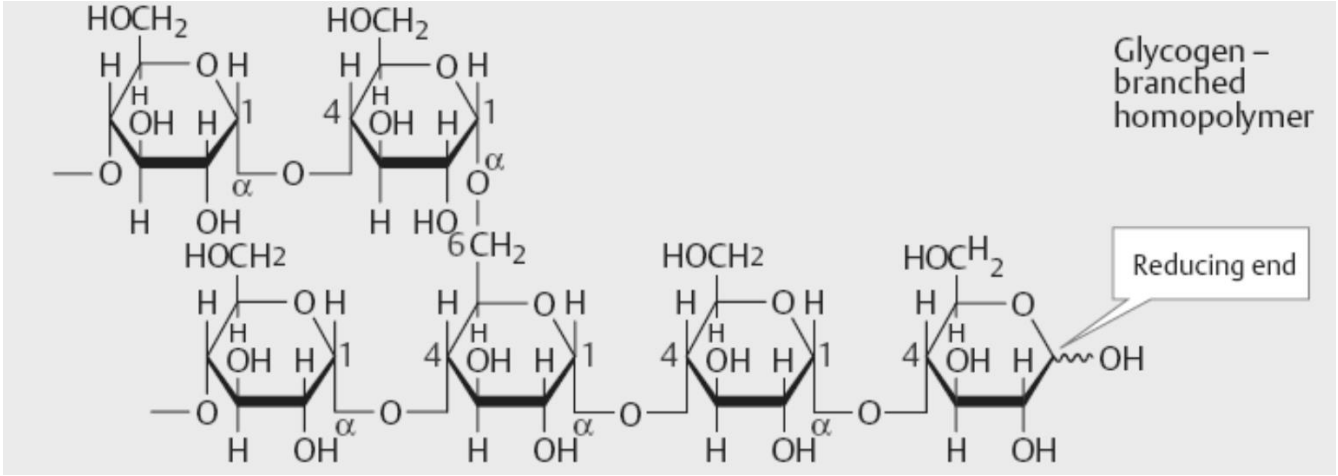
ب- الميليزيتوز Melezitose: وهو أحد السكريات الثلاثية المتكون من وحدتي كلوكوز ووحدة فركتوز **(الشكل ٢٦-٤)** ويوجد في المملكة النباتية، ومنها الاشجار الصنوبرية وشجرة الليمون.



السكريات المتعددة Polysaccharides

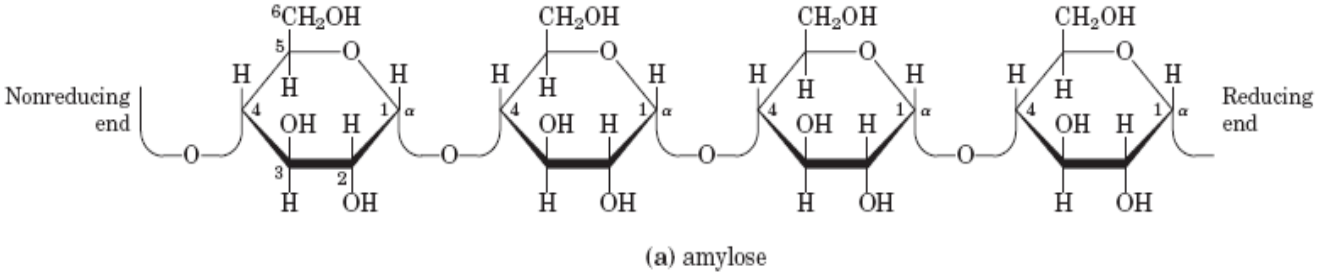
تعرف الكاربوهيدرات التي تحتوي على اكثر من عشرة وحدات من السكريات الأحادية بالسكريات المتعددة وعادة توجد في الطبيعة على شكل مركبات ذات اوزان جزيئية عالية تختلف في طبيعتها البوليميرية Polymeric ، اذ منها بشكل سلاسل مستقيمة ومنها بشكل متفرعات معقدة وهناك نوعان من السكريات المتعددة وهي:

I- السكريات المتعددة المتجانسة Homopolysaccharides التي تنتج نوعاً واحداً من السكريات الاحادية عند تحللها **(الشكل٢٧-٤)** وكأمثلة عليها : النشا Starch والكلايكوجين Glycogen والسليلوز Cellulose والكايتين Chitin . وفيما يأتي وصف للأمثلة أعلاه:



٢- يكوّن تقريباً أكثر من 50٪ من مجموع الكاربوهيدرات التي يتناولها الإنسان ويوجد بشكل حبيبات نشوية تختلف بشكلها وحجمها حسب نوع ومصدر النشا. يتكون النشا من مكونين أساسين هما الأميلوز Amylose وبنسبة 10-30٪ والأميلوبكتين Amylopectin وبنسبة 70-90٪ ، **و**يكون كلا المكونين من وحدات بنائية من الكلوكوز لكن يختلفان في التركيب.

أ - الأميلوز: يتكون الأميلوز **(الشكل ٢٨-٤)** من سلاسل مستقيمة من وحدات الكلوكوز المرتبط بعضها مع بعض بأواصر كلايكوسيدية من نوع ألفا 1-4 ، وتتراوح عدد وحدات الكلوكوز بين 100-200 وحدة بنائية.

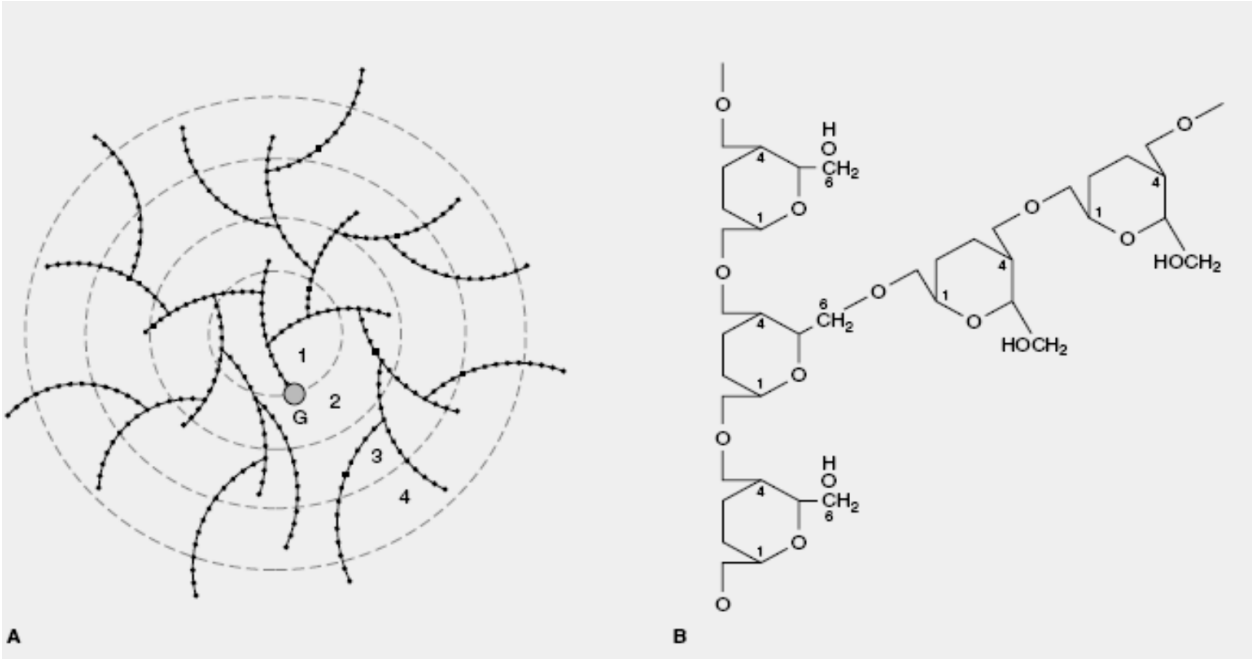


الشكل (٢٨-٤): الأميلوز والنهاية المختزلة وغير المختزلة Reducing and Nonreducing end.

ب- الأميلوبكتين : يتكون من سلاسل متفرعة من وحدات الكلوكوز مرتبطة بعضها مع بعض بأواصر من نوع α 1-4 لتكون السلاسل المستقيمة منه ثم ارتباط هذه السلاسل بآصرة أخرى من نوع ألفا 1-6 **(الشكل ٢٩-٤)** بحيث يتكون التفرع مابين 24-30 وحدة كلوكوز ويتكون التفرع ايضاً لكل 24 وحدة كلوكوز تقريباً على السلسلة الرئيسة للاميلوبكتين. إن الوزن الجزيئي للأميلوز قد لا يتجاوز 400000 دالتون على حين يكون الوزن الجزيئي للاميلوبكتين على أقل تقدير المليون دالتون. يتحلل النشا بفعل الإنزيمات المحللة Hydrolytic enzymes فإنزيم ألفا أميليز amylase – α الموجود في اللعاب والبنكرياس يحلل النشا عشوائياً الى سكر

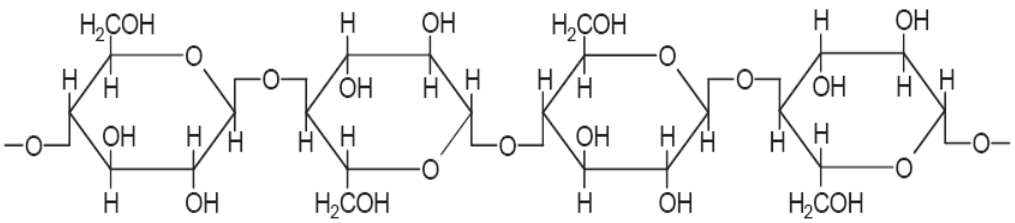
المالتوز ووحدات من الكلوكوز. أما إنزيم البيتا أميليز β-amylase فهو يحلل النشا من النهاية غير المختزلة من سلاسل النشا ويحلل بشكل منظم بحيث يكون الناتج سكر المالتوز فقط.

٣- **كلايكوجين Glycogen :** يسمى الكلايكوجين بالنشا الحيواني وهو الخزين الكاربوهيدراتي في الكبد والعضلات للإنسان والحيوان. ويتكون من وحدات من الكلوكوز وهو شبيه بالأميلوبكتين في النشا الاعتيادي أي انه يتكون من سلاسل متفرعة لكنه يختلف عن الأميلوبكتين بأنه أكثر تعقيداً او تفرعاً منه إذ يوجد تفرع في السلاسل لكل 8-10 وحدات كلوكوز **(الشكل ٣٠-٤)**. ويختلف باختلاف الحيوان والنسيج وكذلك الحالة الفسيولوجية للحيوان. ويكون الوزن الجزيئي للكلايكوجين المستخلص من كبد الجرذان تقريباً 5×10^{8} دالتون على حين يبلغ الوزن الجزيئي للكلايكوجين المستخلص من عضلات الجرذان تقريباً 5×10^{6} دالتون .



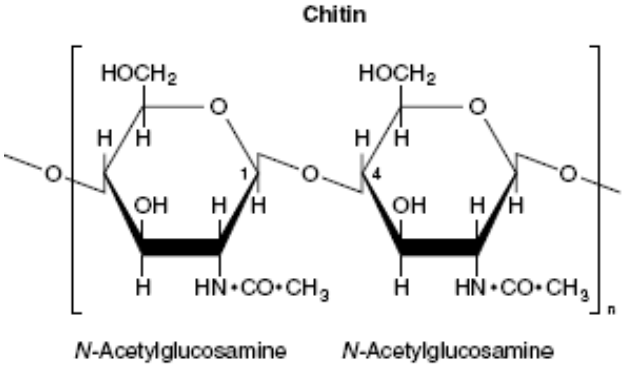
الشكل(٣١-٤): جزيئة الكلايكوجين، اذ (A) التركيب بشكل عام، و(B) الارتباط بين وحدات الكلايكوجين.

١- **السليلوز Cellulose :** يعد هذا السكر من الكاربوهيدرات التركيبية المكونة للهيكل البنائي إذ يكوّن جدار الخلايا فضلاً عن اماكن اخرى من النباتات ويكون عادة مصاحباً للهيميسليلوز والبكتين واللكنين لكنه يوجد بصورة نقية تقريباً في ألياف القطن. يتكون السليلوز من سلاسل مستقيمة من وحدات الكلوكوز شبيه بالنشا لكن الاختلاف في الآصرة حيث ترتبط وحدات الكلوكوز في السليلوز بآصرة من نوع بيتا **1→ 4 (الشكل ٣٢-٤)**. إن السليلوز لا يتحلل بفعل الإنزيمات التي يفرزها الجهاز الهضمي في الانسان. لكن يمكن تحليله بوساطة الإنزيمات التي تفرزها البكتريا التي تعيش في الجهاز الهضمي للمجترات وهو احد مكونات الألياف Fiber في غذاء الإنسان.



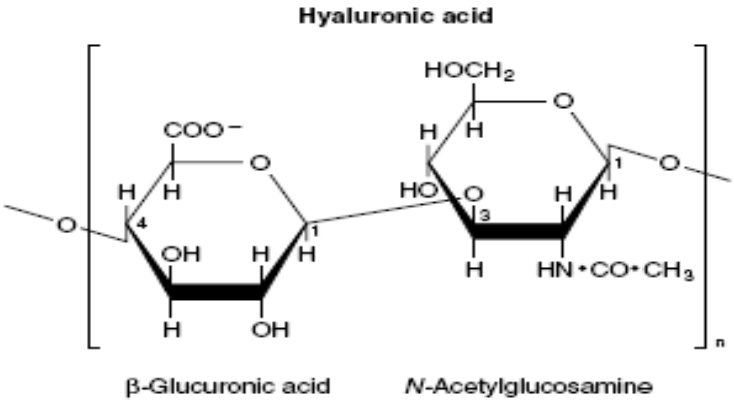
الشكل(٣٢-٤): السليلوز.

٢- **الكايتين Chitin :** الكايتين يعد أيضاً سكراً معقداً موجوداً في الغلاف الخارجي للحشرات والقشريات وهو شبيه بالسليلوز في النباتات. يتكون من سلسلة متكررة لسكر مشتق من الكلوكوز هو N- أسيتيل- D - كلوكوز أمين N-acetyl-D-glucosamine **(الشكل ٣٣-٤).**



II- السكريات المتعددة غير المتجانسة Heteropolysaccharides : وهي السكريات التي تنتج عند تحللها أكثر من نوع واحد من السكريات الأحادية ومن هذه السكريات غير المتجانسة السكريات المخاطية Mucopolysaccharides (مثل حامض الهيالورونيك Hyaluronic acid والكوندرويتين Chonodroitin والهيبارين Heparin) فضلاً عن البكتين والمواد البكتينية **وفيما يأتي أيجاز عن كل واحداً منها:**

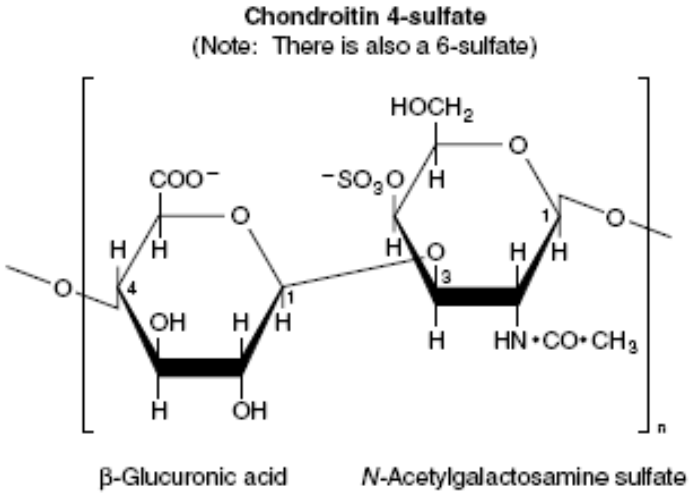
أ- **حامض الهيالورونيك Hyaluronic acid** : يتكون من وحدات كلوكوز أمين D-Glucosamine عادةً وحامض الكلوكيورونيك D-Glucuronic acid **(الشكل ٣٤-٤) و**هو مركب يوجد في المفاصل بوصفه مادة مزيتة Lubricant والحبل السري Umbilical cord وكذلك في الجلد ويتواجد أيضاً في سم الأفعى وسم النحل.



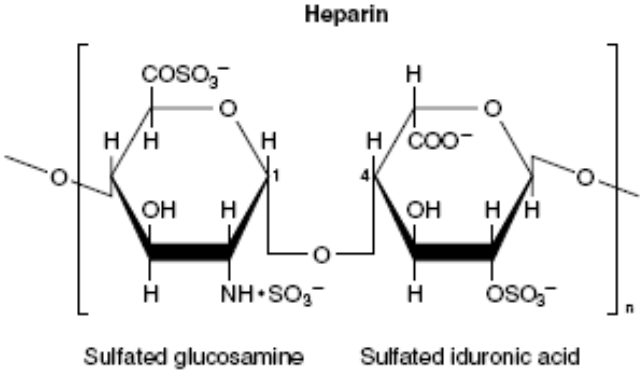
الشكل (٣٤-٤): حامض الهيالورونيك Hyaluronic acid.

ب_ الكوندرويتين Chondroitin : وهو مركب شبيه بحامض الهيالورونيك **(الشكل ٣٥- ٤)** لكن يختلف عنه بأنه يحتوي على السكر الأميني من نوع D– كالاكتوز أمين بدلاً من الكلوكوز أمين في حامض الهيالورونيك فضلاً عن ان مركباته تحتوي على مجموعة الكبريتات ولهذا فانها تعد من المركبات المخاطية المكبّرتة. يوجد أكثر من نوع من هذه المركبات، منها مركب A ويوجد في قرنية العين Cornea

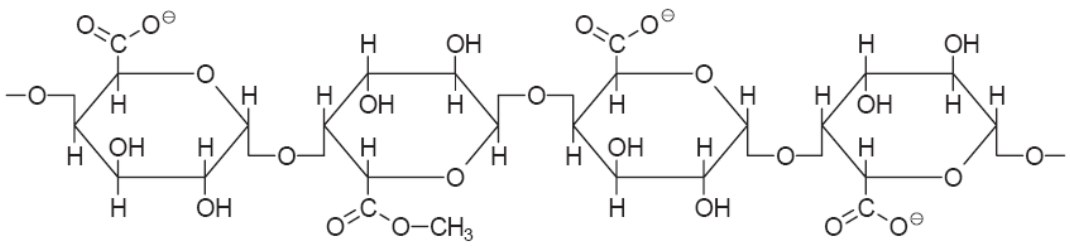
والغضاريف Cartilage ومركب B ويوجد في الأبهر Aorta والجلد وصمامات القلب Heart valves وهناك نوع آخر هو مركب C أيضاً موجود في الغضاريف والحبل السري وتختلف مع بعضها بعدد ومواقع ارتباط مجموعة الكبريتات في السكر.



جـ- الهيبارينين Heparin : وهو من الكاربوهيدرات المتعددة المخاطية المكبرتة **(الشكل ٣٦-٤)** ذات وزن جزيئي 17 كيلو دالتون، وتعد من المواد المانعة لتخثر الدم Anticoagulants من خلال منع تنشيط عوامل التخثر وبإرتباطه بهم يعمل على تثبيط فعالية الثرومبين Thrombin ويوجد في الكبد والرئتين والطحال والدم. يعمل الهيبارين على زيادة تحرر إنزيمات اللايبيز Lipase ولذلك يعد أحد العوامل المساعدة Cofactor في فعالية هذه الإنزيمات.



د- البكتين ومشتقاته: تكون هذه المجموعة جزءاً من الألياف الغذائية والتي تشمل البكتين Pectin **(الشكل ٣٧-٤)** وحامض البكتيك Pectic acid والبروتوبكتين Protopectin وهي عبارة عن مشتقات لكاربوهيدرات متعددة غير متجانسة لها صفات غروية تكوّن الهلام Jel وتوجد في النباتات ولاسيما قشور الفواكه مثل التفاح والحمضيات اذ تكون غنية بالبكتين وعادة تستخدم في صناعة المربيات والجلي بسبب قابليتها على زيادة لزوجة الناتج وتثخينه.



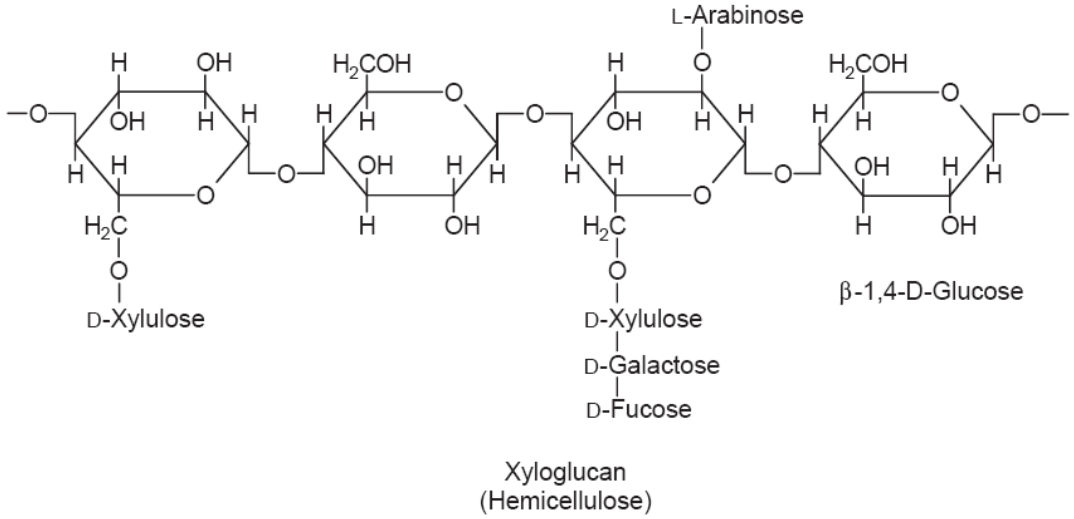
الشكل (٣٧-٤): الوحدة الأساسية للبكتين Pectin.

الألياف الغذائية Dietary Fibers

تعرف الألياف الغذائية على أنها مجموعة المكونات النباتية القابلة للأكل والتي لا تستطيع إنزيمات الجهاز الهضمي في الإنسان تحليلها وهضمها كلياً وتصنف الى صنفين حسب ذوبانها في الماء .

١- الألياف الذائبة في الماء وتشمل الهميسللوز(**الشكل ٣٨-٤**) والبكتين والاصماغ.

٢- الألياف غير الذائبة في الماء وتشمل السليلوز واللكنين.



الشكل (٣٨-٤): الهيميسليلوز Hemicellulose.

توجد الألياف إما في جدار الخلية مثل السليلوز والهيميسليلوز والبكتين واللكنين، أو في أماكن أخرى من الخلية غير جدارها كالأصماغ. وفي ما يأتي الجدول **(١-٤)** يوضح الأغذية الحاوية على نسبة عالية من الألياف:

جدول (١-٤): بعض الأغذية الحاوية على الألياف.

المادة الغذائية	أنواعها
الخضراوات	كل انواع الخضراوات، الخضراء والجافة من ضمنها البطاطا مع قشورها والقرنابيط والخس والكرفس والبزاليا والفاصوليا
الفواكه	كل انواع الفواكه مثل التفاح والحمضيات والاجاص والرقي والكرز.
النخالة	النواتج العرضية من نخل طحين حبوب الحنطة والشعير والشوفان وغيرها(تعد النخالة من أغنى المواد الحاوية على الألياف).

الخصائص الفسيولوجية للألياف Fibers physiological properties

١- تملك الألياف قابلية عالية للأرتباط بالماء وهذا العامل يجعل الفضلات او البراز في الامعاء ليناً وأقل كثافة واكبر حجماً ويسهل حركته داخل الامعاء وبالنتيجة يمنع الامساك Constipation (الهيميسللوز هو الأكثر ارتباطاً بالماء من غيره من الألياف وبهذا يكون الاكثر فائدة في التخلص من الامساك والسليلوز أقل منه لكن اللكنين والبكتين تعد مواد قابضة).

٢- الألياف لها القابلية على ربط الكوليسيترول وكذلك أملاح وأحماض العصارة الصفراء Bile salts and acids إذ تساعد الجسم على التخلص من جزء لابأس به منها عن طريق الفضلات فضلاً عن تشجيع نمو البكتريا التي تستطيع ان تحلل هذه المركبات في القولون وتقلل من فرص أعادة امتصاصها مرة ثانية وأعادتها الى الغدة الصفراء والدم، وبالتالي تقلل من حدوث أمراض تصلب الشرايين Atherosclerosis ومنع تكون الحصاة في المرارة Gallstones.

٣- للألياف دور مهم في خفض وتنظيم كمية سكر الدم (الكلوكوز) والسبب يرجع الى ان الألياف تعيق من عملية هضم الكاربوهيدرات وحصول الجسم على الكلوكوز فضلاً عن أن الألياف تسرع من عملية مرور هذه المواد خلال الأمعاء وتقلل فرص هضمها وامتصاصها الى جانب ان اخذ كمية من الألياف يجعل الشخص اكثر شعوراً بالشبع عوضاً عن اخذ كميات كبيرة من المواد الكاربوهيدراتية والدهنية التي ترفع من سكر الدم. فضلاً عن كونها يعتقد بأنها تنشط إفراز هورمون الأنسولين.

٤- لها دور في تقليل او عرقلة امتصاص العناصر الثقيلة والمواد السمية إذ ترتبط بها ويمكن التخلص منها عن طريق الفضلات.

٥- تعد الألياف مفيدة لإنقاص الوزن لعدة أسباب أولها عدم تحولها بسهولة الى شحوم تترسب بالجسم ومعنى ذلك أنها تمد الجسم بالطاقة اللازمة لأداء أنشطته المختلفة مع استبعاد حدوث زيادة في الوزن. فضلاً أنها تعطي احساساً بالشبع يدوم لفترة طويلة أكثر من غيرها من أنواع الغذاء الأخرى.

٦- **للألياف دورٌ في التقليل من فرص الإصابة بسرطان القولون Colon cancer من خلال:**

أ- ارتباطها بالمواد السامة التي قد تلامس الخلايا المبطنة للأمعاء. وتقليل وقت مرور الكتلة البرازية من الامعاء.

ب- لها تأثيرٌ على الكائنات الدقيقة الموجودة في الأمعاء إذ توقف نشاطها وبالتالي تمنع تكون المواد المسرطنة والتي قد تكونها هذه الاحياء.

جـ- تمتص الألياف كميات من الماء مما يجعل المواد الكيميائية المسرطنة اقل تركيزاً وبالتالي يقل خطرها على الأمعاء.

وعلى الرغم من فوائد الألياف فأن للألياف مضار، اذ ان تناول كميات كبيرة من الألياف أكثر من المقررات اليومية للألياف (بحدود 15-20 غم/ يوم) قد تسبب التقليل من امتصاص فيتامين B_{12} (Cyanocobalamin) والذي قد يؤدي الى مرض فقر الدم الخبيث Pernicious anemia وكذلك يمكن ان تقلل من التوفر الحيوي Bioavailability للعناصر المعدنية مثل الحديد والكالسيوم والزنك والمغنسيوم وغيرها التي لها ادوار فعالة في الوظائف الحيوية المختلفة في الجسم.

تفاعلات الكشف عن الكربوهيدرات

1- اختبار موليش
2- اختبار سلفانوف
3- اختبار بنديكت
4اختبار بارفويد
5- اختبار بيال
6-اختبار اليود

1- اختبار موليش Molisch test

الغرض من الاختبار:

وهو الإختبار العام للكشف عن الكربوهيدرات التعرف على مادة كربوهـــــــــــيدراتية وتمييزها عن اللبيدات والبروتين ، .كما يمكن أن يعطي إيجابية مع البروتينات السكرية ، وإن سلبية تفاعل موليش تدل على عدم وجود سكر

أساس الاختبار:
يتفاعل حمض الكبريتيك المركز مع السكر الخماسي والسكر السداسي ويـــزيل بعض جزيئات الماء وينتج الفورفورال من السكر الخماسي وهيدروكسي ميثيل فـــــــــورفورال من السكر السداسي ويمكن لكل منهما أن يتفاعل مع الفا نفتول حيث .يتكون مركب أحمر بنفسجي يظهر كحلقة بين سطحي الانفصال

فكرة الإختبار:
يقوم حمض الكبريتيك بنزع 3 جزيئات ماء لينتج مركب الفرفورال ويتحد مع مركب الألفانافثول ويكونا حلقة بنفسجية اللون

سكر خماسي + حامض الكبريتيك المركز ---(سحب ماء)------- فورفورال ---(الفانفثول)------- حلقة بنفسجية
سكر سداسي + حامض الكبريتيك المركز ---(سحب ماء)------ هيدروكسي مثيل فورفورال -------- حلقة بنفسجية

اختبار الحلقة البنفسجيةالمواد المستخدمة :

حمض كبريتيك مركزو محلول ألفا نافثول الكحولى

.
طريقة إجراء الإختبار:

نأخذ فى أنبوبة إختبار 5مللتر من محلول السكر ثم يضاف اليها 5-3 قطرة من محلول ألفا نافثول ثم نرج جيدا ثم نضيف حوالى 2 مللتر من حمض الكبريتيك المركز الى محتويات الأنبوبة بشرط أن تكون الأنبوبة فى وضع مائل وتتم الإضافة ببطء شديد
المشاهدة :

فى الحالات الإيجابية كربوهيدرات تظهر حلقة بنفسجية فى الحد الفاصل بن الحمض ومحلول السكر تنتشر مع الرج
فى الحالات السلبية غير الكربوهيدرات لا تظهر حلقة بنفسجية ويمكن أن تظهر بشكل آخر أسود أو بنى ولا يعتد بها كنتيجة - إيجابية

2 - اختبار سلفانوف

Seliwanoff's test

الغرض من الاختبار:
التمييز بين السكريات الأحـــــادية الالدهـيدية مثل الكلـــوكوز والسكريات الأحادية الكيتونية مثل الفركتوز أو على السكريات التي تعطي سكريات كيتونية بالتحلل المائي مثل السكروز.
التفاعل إيجابي مع السكريات الكيتونية

.
أساس الاختبار:

تختلف السكريات الكيتونية عن السكريات الالدهيدية في أنها تفقد الماء وتكون فورفورال بسهولة أكثر. ويتكثف الفورفورال مع الريزوسينول يتكون معقد أحمراللون.

محلول السليفانوف:

يحضر بإذابة 50 جم من الريزو سينول الجاف فى 1لتر من حمض الهيدروكلوريك المخفف
طريقة إجراء الإختبار:

نأخذ فى أنبوبة أختبار 5 مللتر من محلول السكر ثم يضاف اليها حجم مساوى من محلول سليفانوف ثم نسخن على اللهب تسخين شديد حتى الغليان

المشاهدة :
فى الحالات الإيجابية يظهر لون أحمرقرمزى يعطى مع الفركتوز -السكروزاما فى الحالات السلبية لا يظهر لون ولا يحدث أى تغير بعد التسخين الشديد مع الجلوكوز.

3-إختبار بندكت : Benidict's test

يختزل أيون النحاس أزرق اللون بواسطة مجموعات الألدهيد و الكيتون الى النحاسوز أحمر اللون وهذا هو أساس التجربة فى المعمل للكشف عن السكريات المختزلة (إختباربندكت أو فهلنج)
السكريات المختزلة هي السكريات التي تحوي مجموعة كربونيل حرة)

Cu^{+2} ---------- Cu_2O (راسب احمر)

محلول بندكت :
يحضر بإزابة 173 جم من سترات الصوديوم + 100جم من كربونات الصوديوم فى نصف لتر ماء مقطر ثم يضاف 17 جم كبريتات نحاس ذائبة فى نصف لترماء مقطر ليكون فى النهاية لتر من محلول بندكت جاهز للعمل

طريقة إجراء الإختبار:
نأخذ فى أنبوبة أختبار 2 مللتر من محلول السكر ثم يضاف اليها 2مللتر من محلول بندكت نرج ثم نسخن على اللهب مع الرج حتى الغليان

المشاهدة :
فى الحالات الإيجابية سكرمختزل يظهر راسب برتقالى أو أحمر من أكسيد النحاسوز
فى الحالات السلبية سكر غيرمختزل لايحدث أى تغير مع التسخين يظل لون المحلول أزرق

4-اختبار بارفويد:

Baefoed,s test

الغرض من الاختبار:
يستخدم هذا الكشف للتمييز بين السكريات الاحادية والثنائية. يعطي كشف موجب مع السكريات الاحادية اسرع من الثنائية وبالتالي تعطي السكريات الاحادية كشف موجب مع اختبار بارفريد

5-اختبار بيال :

Bial test

يستخدم اختبار بيال للكشف عن السكريات الخماسية مثل الرايبوز والزايلوزحيث يعطي هذا الكاشف لون ازرق مخضر مع السكريات الخماسية

6 - التفاعل مع اليود:--

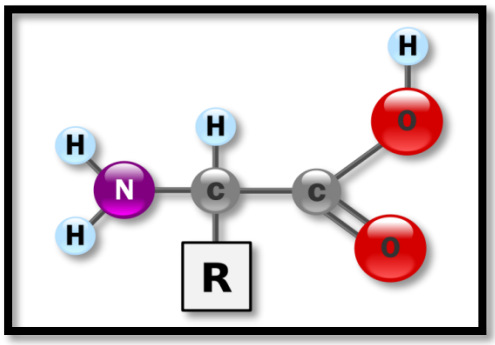
و هذا الإختبار يميز السكريات العديدة مثل النشا و بعض الدكسترينات
يعطى مع النشا لون أزرق■
يعطى مع أميلو ديكسترين لون بنفسجى ■

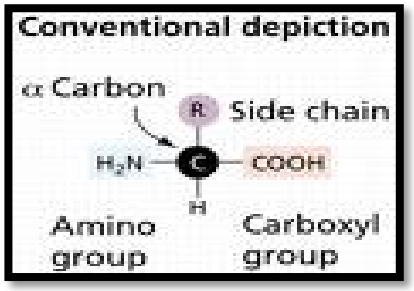
الاحماض الامينية

الأحماض الأمينية هي لبنات البناء الرئيسية لبناء البروتين والببتيد في الجسم. يمكن ملاحظتها بسهولة بعد هضم البروتين. ثمانيه أساسية مهمة جدا (لا يمكن للجسم البشري أن يصنعها بنفسه) والباقي غير أساسية (يمكن صنعها داخل الجسم البشري، بشرط التغذية السليمة). بالرغم من قدرة الجسم على تصنيع الأحماض غير الأساسية، إلا أنه وفي بعض الأحيان يتوجب أخذ مكملات للأحماض غير الأساسية لضمان توفر الكميه المثلى في الجسم. البعض يضيف قسما ثالثا هو شبه-أساسية، حيث يقوم الجسم بتصنيع هذه الأحماض ولكن بكميات محدودة.

إضافة إلى بناء الخلايا وإصلاح الانسجه، الاحماض الامينيه تشكل مادة البناء الرئيسية للاجسام المضاده لمكافحة غزو البكتريا والفيروسات، وهي تشكل جزءا أساسيا من نظام الانزيمات والهرمونات؛ وهي تبني البروتينات النووية، رنا (الحَمْضُ النَّوَوِيّ الرّيبِي) ودنا (الحَمْضُ الرّيْبِيُّ النَّوَوِي المَنْزُوع الأوكسِجين). كما تقوم الأحماض الأمينية بدور رئيسي بحمل الاوكسجين إلى أنحاء الجسم المختلفة، وهي مكون أساسي للنشاط العضلي.

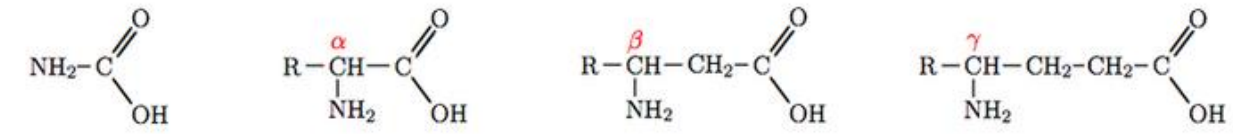
وهي أحماض عضوية كربونية تتكون من مجموعة الأمين (NH_2)ومجموعة الكربوكسيل (COOH)ومجموعة الكيل(R) (مختلفة من حامض لأخر) ترتبط بذرة الكربون ألفا (α) والمجموعة R تسمى المجموعة الطرفية Side chain والصيغة العامة لها:





البنية الكيميائية العامة

يعتبر هيدروكسي كربامايد (بالإنجليزية: Hydroxycarbamide) الحمض الأميني الأبسط من حيث التركيب فهو متكون من جذر أميني متصل مباشرة بكربون جذر الهيدروكسيل. وهذا المركب غير أحيائي. أما في بقية الأحماض الأمينية فتدخل ذرة أو أكثر من الكربون بين هذين الجذرين. ويحدد موقع الأمين في السلسلة الكربونية الفئة التي ينتمي إليها الحمض الأميني كما يلي:



البنية العامة للحموض الأمينية وهي مصنفة حسب مكان ترابط الجذر الأميني NH_2 فوق السلسلة الكربونية، R هو المجموعة الجانبية التي تحدد طبيعة كل حمض الأميني.

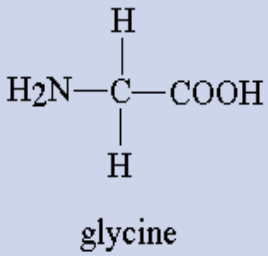
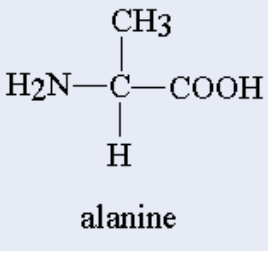
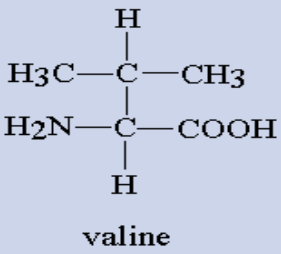
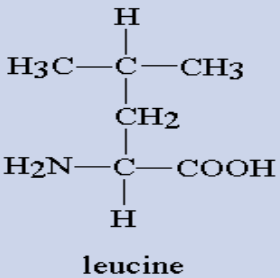
- حموض ألفا-أمينية، حيث يتصل جذر الأمين بالكربون رقم 2 بعد كربون جذر الهيدروكسيل ويرقم بألفا C_α. يسمى المركب بالحمض 2-أمينوايتانويك Aminoethanoic acid، أو ما يعرف بالغليسين Glycine، أبسط الحموض الأمينية لدى الكائنات الحية. أما بقية الأحماض الألفا-أمينية فلها نفس البنية مع اختلاف في السلسلة الجانبية R، فعوضا عن ذرة الهيدروجين المرتبطة بالكربون ألفا في الغليسين، تتخذ أنواع مختلفة، على سبيل المثال، جذر المثيل Methyl في حالة الألانين Alanine أو جذر مختلف الحلقة Heterocyclic بالنسبة للتريبتوفان Tryptophan. والدور الأساسي للأحماض الألفا-أمينية هو بناء مختلف البروتينات.
- حموض بيتا-أمينية، يرتبط جذر الأمين بالكربون الثالث بداية من كربون جذر الهيدروكسيل C_β، وأبسط ممثل أحيائي لهذه الفئة هو البيتا-ألانين، يتأتي من تحلل الكارنوسين Carnosine، ويلعب دور ناقل عصبي مثبط للغليسين.
- حموض جاما-أمينية، يتحد جذر الأمين بالكربون الرابع بعد كربون جذر الهيدروكسيل C_γ، المثال المعروف في هذه الفئة هو حامض الجاما-بيتيريك GABA، وهو كذلك ناقل عصبي مثبط.

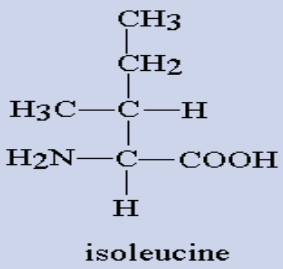
تقسيم الأحماض الأمينية

- تقسم على أساس مجموعة الكربوكسيل والأمين ومجموعة الالكيل إلى:
- 1- أحماض أمينية متعادلة
- 2- أحماض أمينية حامضية
- 3- أحماض أمينية قاعدية

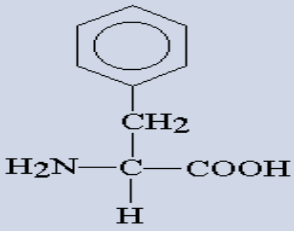
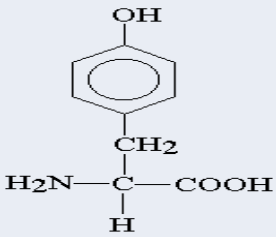
I- وتقسم الأحماض المتعادلة إلى:

1-الاحماض الامينية المتعادلة الاليفاتية

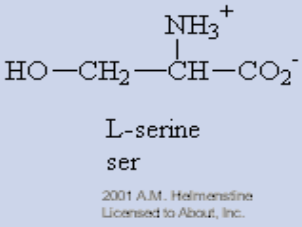
الحمض الأميني	رمزه	الصيغة الكيميائية
1- الجلايسينGlycine	GLY	 glycine
2- الالنين Alanine	ALA	 alanine
3- فالين Valine	VAL	 valine
4- ليوسين Leucine	LEU	 leucine

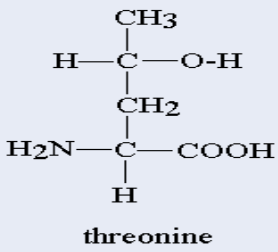
5- ايزوليوسين Isoleucine	ILE	 isoleucine

2- الاحماض الامينية المتعادلة الاروماتية

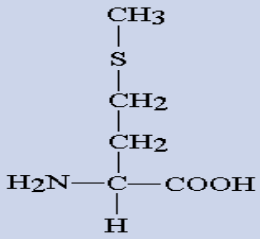
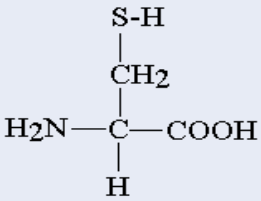
الحمض الأميني	الاختصار	الصيغة الكيميائية
6- فينيل الالانين Phenylalanine	PHE	 phenylalanine
7- تيروسين Tyrosine	TYR	 tyrosine

3- الاحماض الامينية المتعادلة الهيدروكسيلية

الحمض الأميني	الاختصار	الصيغة الكيميائية
8- سيرين Serine	SER	 L-serine ser 2001 A.M. Helmenstine Licensed to About, Inc.

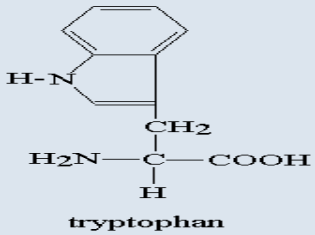
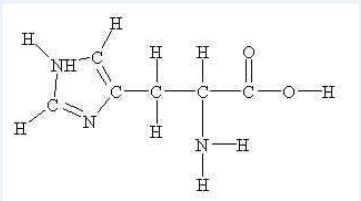
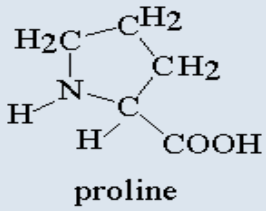
9- ثريونين Thereonine	THE	 threonine

4- الاحماض الامينية المتعادلة التي تحتوي على كبريت

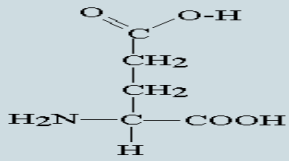
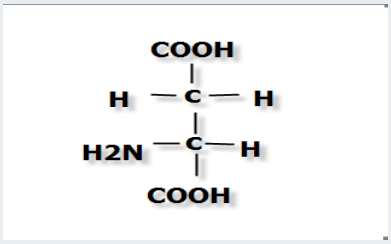
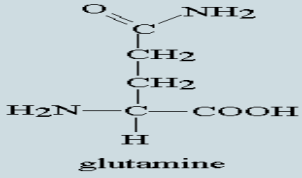
الحمض الأميني	الاختصار	الصيغة الكيميائية
10- الميثايونين Methionine	MET	 methionine
11- سيستيين Cysteine	CYS	 cysteine

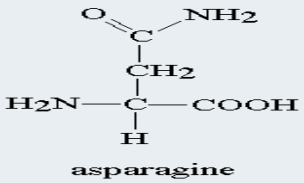
5- الاحماض الامينية المتعادلة الحلقية

الحمض الأميني	رمزه	الصيغة الكيميائية

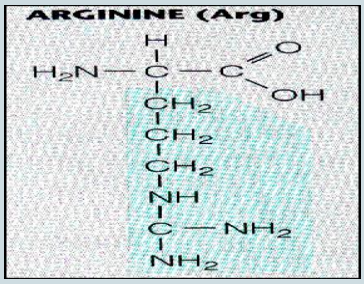
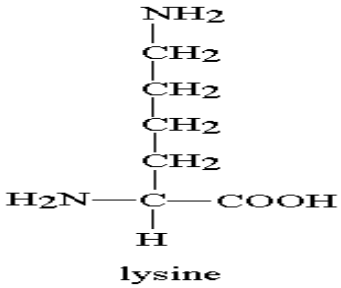
12- التربتوفان Tryptophan	TRY	
13- الهستدين Histidine	HIS	
14- البرولين Proline	PRO	

II- الاحماض الامينية الحامضية

الحمض الأميني	رمزه	الصيغة الكيميائية
15- حامض الجلوتاميك Glutamic Acid	GLU	
16- حامض الاسبارتك Aspartic Acid	ASP	
17- الجلوتامين Glutamine	GLN	

18- الاسبارجين Asparagine	ASN	 asparagine

III- الاحماض الامينية القاعدية

الحمض الأميني	الاختصار	الصيغة الكيميائية
19- الارجينين Arginine	ARG	
20- الليسين Lysine	LYS	 lysine

كما يمكن تقسيم الحوامض الامينية الى:

- **الاحماض الامينية الاساسية :** هي التي لاتتكون بالجسم ويجب ان تؤخذ عن طريق الغذاء وهي :
  1- هيستدين 2- ايزوليوسين 3- ليوسين 4- لايسين 5- ميثونين

  6- فينيل الانين 7- ثريونين 8- تربتوفان 9- فالين

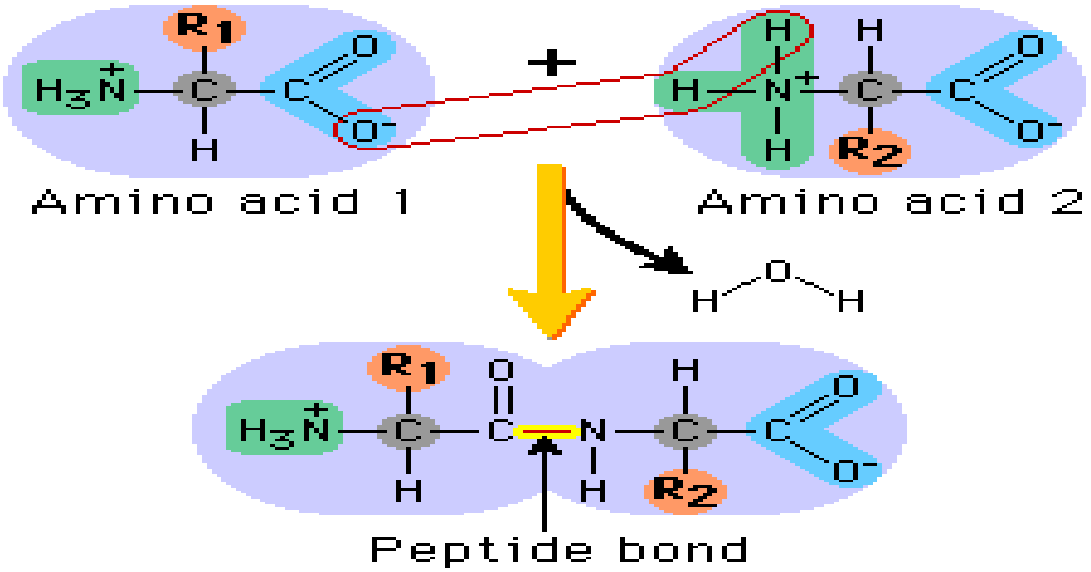
- **الاحماض الامينية الغير اساسية :** هي التي تتكون داخل الجسم وليس من الضروري تناولها في الغذاء وهي :
  1- جلايسين 2- النين 3- سيرين 4- برولين 5- حامض الجلوتاميك

  6- تيروسين 7- حامض الاسبارتك 8- سيستين 9- برولين 10- سيسين

الببتيدات

الببتيد عبارة عن حامضين أمينيين أو أكثر مرتبطين مع بعضهما برابطة ببتيدية وهي:

- وهي رابطة تساهمية تتكون بين جزيئات الاحماض الامينية لتكوين البروتين
- تتكون الرابطه الببيتيديه بين كل حمض اميني والذي يلية مع فقد جزيء ماء.
- ترتبط الاحماض الامينية بارتباط مجموعة الكربوكسيل من الحمض الاول , مع مجموعة الامين من الحمض الثاني كما في الشكل التالي :



أنواع الببتيدات

- ثنائي الببتيد يتكون من حمضيين أمينين ورابطه ببتديه واحده
- ثلاثي الببتيد يتكون من 3 أحماض أمينيه ورابطتين ببتيدتين
- متعدد الببتيد يحتوي عدة أحماض أمينيه وعلى عدة روابط

تسمية الببتيدات

تسمى الببتيدات حسب نوع و ترتيب الأحماض الأمينية ، حيث تبدأ التسمية بالحمض الأميني الطرفي الذي يحتوي على مجموعة أمين طرفية حرة و التي تظهر بالجهة اليسرى للببتيد. و يضاف المقطع (يل , yl) بنهاية اسم كل حمض اميني ماعدا الحمض الأميني الاخير الذي يحتوي على مجموعة الكربوكسيل.

- مثل لوسيل جلاسيل تايروزيل سيستايين

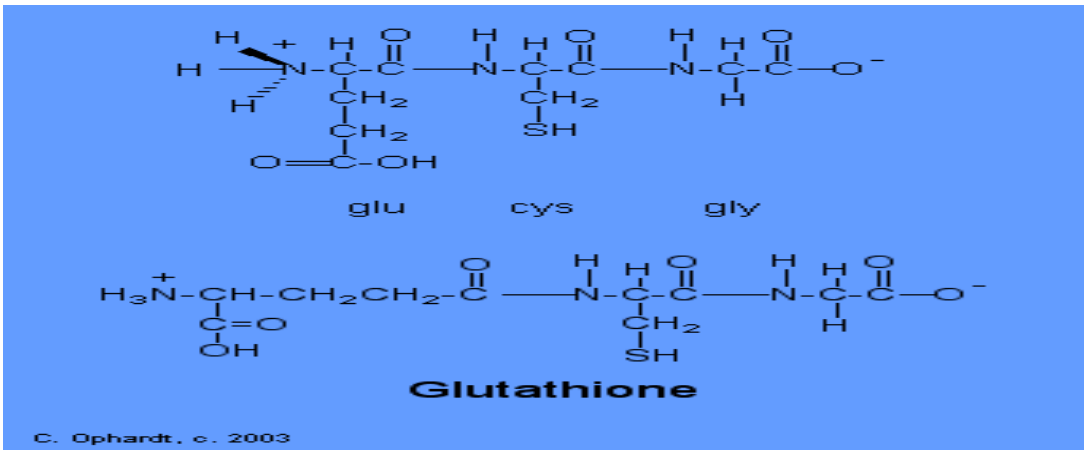
Leu-Gly-Tyr-Cys

أمثلة للببتيد: الجلوتاثيون (Glutathione)

يتألف من اتحاد ثلاثة أحماض أمينية

جلوتاميك+ سيستين+ جلايسين (Glutamate+cysteine_+ Glycine)

يرمز له بالرمز GSH ،أهم وظيفة له أنه يحافظ على الإنزيمات بشكلها المختزل الفعال لاحتوائها على مجموعة (SH)يوجد في كريات الدم الحمراء- الأنسجة والأغشية الدهنية , يحمي من الجذور الحرة .



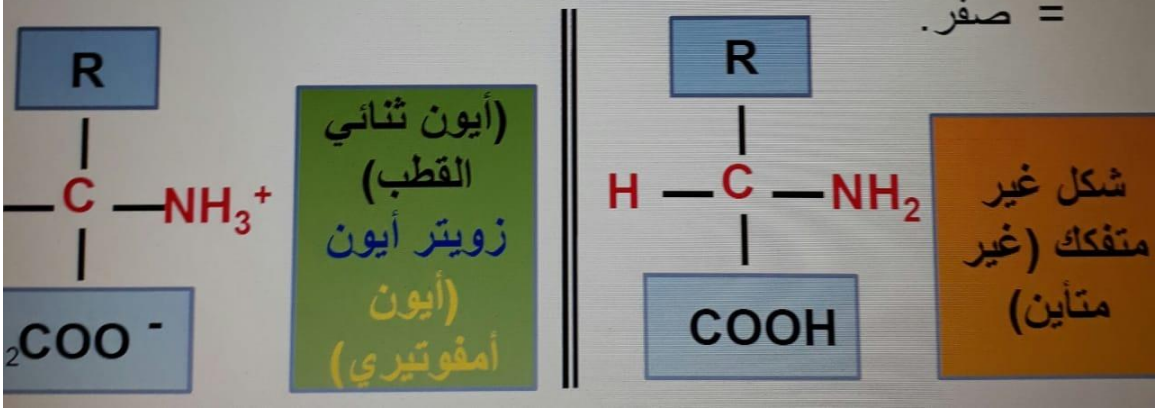
مثال/ سمي الببتيد التالي:

Ala-Val

منحنيات المعايرة للأحماض الأمينية

❑ الخصائص الحامضية – القاعدية للأحماض الأمينية :

-) الأحماض الأمينية (aa.s) المتبلورة في المحاليل المائية لا تكون غير متأينة بل على العكس توجد بحالة أيونية كاملة (كل من مجموعة α أمين و α كربوكسيل متأينات أي مشحونات) تسمى عندها aa.s بأيونات ثنائية القطب أو أيون أمفوتيري (**زويتر أيون Zwitter-ions**) و لكن زويتر أيون متعادل: صافي الشحنة التي عليه = صفر.

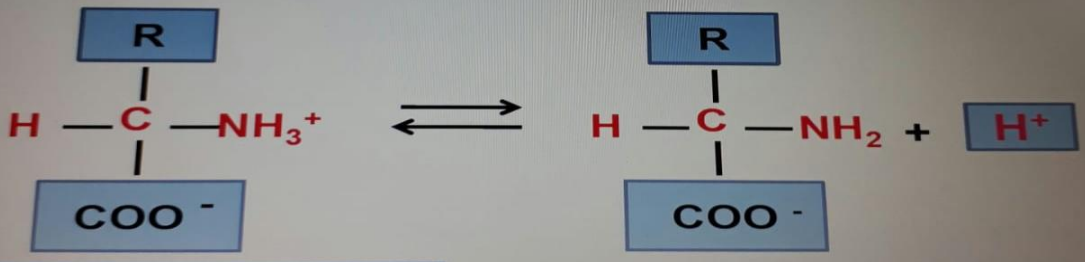


الخصائص الحامضية – القاعدية للأحماض الأمينية

- هذه الأيونات ثنائية القطب متعادلة كهربائياً ولا تتحرك في المجال الكهربائي لأنها تحمل شحنات كهربائية متعاكسة على قطبيها (net charge = zero).

الخاصية الأمفوتيرية للأحماض الأمينية

- عند إذابة الحمض الأميني الأمفويتري مثل Ala في الماء فإنه إما يسلك سلوك حمض (واهب للبروتونات):

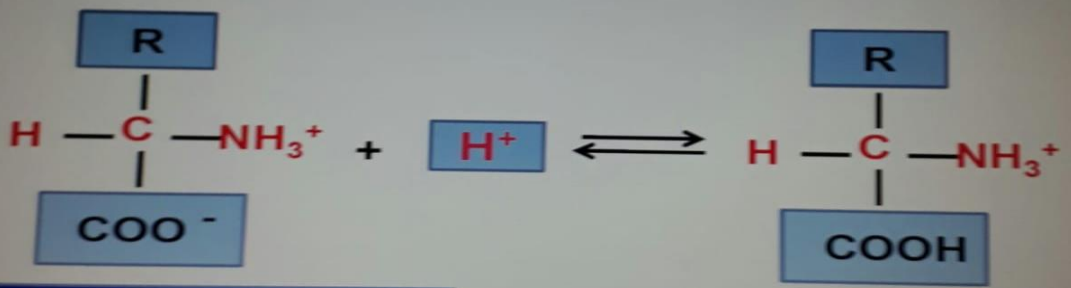


زويتر أيون: يسلك سلوك الحمض فيعطي H^+

4

الخاصية الأمفوتيرية للأحماض الأمينية

- أو سلوك قاعدة (مستقبلة للبروتونات)



زويتر أيون: يسلك سلوك القاعدة فيستقبل H^+

الخاصية الأمفوتيرية للأحماض الأمينية

- لذلك سميت الـ aa.s **بالأمفولايت** أي مواد لها صفات أمفوتيرية (ذات أيونين) في المحاليل المائية والأمفولايت مصطلح مختصر للإلكتروليت الأمفوتيري أي الذي يتصرف كحمض و كقاعدة و يوصل التيار الكهربائي.

البروتينات

البروتينات

- عبارة عن مواد عضوية معقدة التركيب (بوليمرات Polymers)
- تتركب كيميائياً من الكربون(51٪), اكسجين (23٪), نيتروجين (16٪) ,هيدروجين(7٪) , كبريت (3٪), فسفور (1٪)
- تتشكل من وحدات من الأحماض الأمينية بتتابع معين.
- تحتوي على سلسلة ببتيدية واحدة والبعض على عدة سلاسل ببتيدية

تقسيم البروتينات

- تقسم البروتينات على أساس تكوين البروتين وذوبانيته إلى:
- *1- بروتينات بسيطة Simple Proteins*
- وهي كل بروتين يعطي عند تميؤه(تحلله) أحماض أمينية فقط من خصائصها إنها تذوب في الماء
- أمثلة: البروتين الموجود في بياض البيض
- بروتين الالبومين في الدم
- بروتين الكراتين الموجود في الشعر والأظافر
- الانسولين وهو عبارة عن سلسلتين من الأحماض الأمينية تتألف السلسلة الأولى من 21 حامض اميني والأخرى من 30 حامض اميني ترتبط السلسلتين بروابط S-S وتسبب الالتواء.

2- البروتينات المقترنة Conjugated Proteins :

وهى البروتينات التي تنتج عند تحللها أحماض أمينية و مكونات أخرى قد تكون عضوية أو غير عضوية

- ***أمثلة:***

1- البروتينات النووية (النيوكلوبروتين): وهى البروتينات المرتبطة بالأحماض النووية وموجودة في نواة الخلية والسيتوبلازم

2- البروتينات الفسفورية (الفوسفوبروتين): وهى البروتينات المرتبطة بحمض الفسفوريك وتوجد فى كازين اللبن

3- البروتينات الملونة : وهى البروتينات المرتبطة بصبغات النبات مثل االبروتينات الكاروتينية والبروتينات الكلوروفيلية

4- بروتينات المتصلة بحلقة البورفورين في الدم .الهيموجلوبين

5- البروتينات الدهنية (الليبوبروتين): وهى البروتينات المرتبطة بالاحماض الدهنية وتوجد فى الاغشية الحيوية

6 - الجليكوبروتين: بروتينات مرتبطة بالسكريات

3- بروتينات مشتقة Deriyed Proteins

هو كل بروتين ينتج من عمليات فصل الارتباط في البروتينات المقترنة أو التميؤ الجزئي للبروتينات البسيطة أو تغير الطبيعة الأساسية لأي بروتين في عملية الإفساد Denaturation حيث تخرج عن حالتها الطبيعية وتنتج بفعل إنزيمي أو كيميائي.

تقسيم البروتينات حسب الصفات الطبيعية:

1- *بروتينات ذات شكل كروي Globular Proteins*

تلتف السلسلة أو السلاسل الببتيدية لهذه البروتينات على بعضها بقوة لتكون جزيء ذو شكل كروي أو بيضاوي ولها أهمية وظيفية في نقل العناصر اللازمة لحياة الخلية مثل (الإنزيمات- الهيموجلوبين-الالبيومين في الدم) كما تذوب البروتينات الكروية بسهولة في الماء .

2- *بروتينات خيطية أوليفية FibrousProteins*

- لها وظائف تركيبية مثل الكولاجين الموجود في الأنسجة الضامة
- الكيراتين الموجود في الشعر والريش والأظافر
- تعتبر البروتينات الليفية عديمة الذوبان في الماء

التركيب البنائي للبروتينات: ينقسم إلى أربعة أقسام

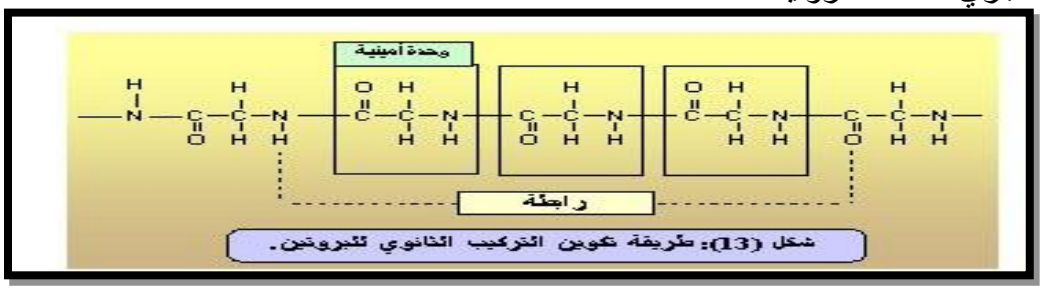
أولا: التركيب أو البناء الأولي primary structure

هو عبارة عن بروتين تكون فيه الأحماض الأمينية مرتبطة مع بعضها البعض بواسطة روابط ببتيدية في ترتيب خطي ، ولا توجد أي روابط أو قوى أخرى بين الأحماض الأمينية.

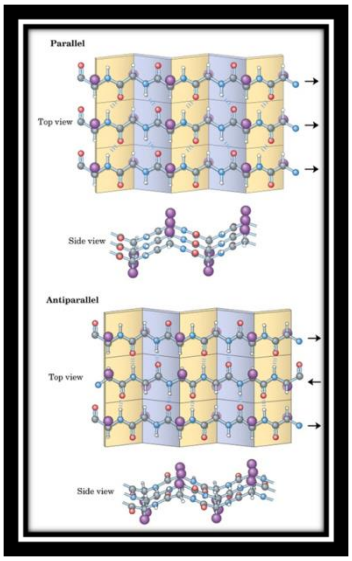
شكل (١٢): التركيب الأولي للبروتين الذي يوضح كيفية تتابع الأحماض الأمينية في سلسلة أفقية.

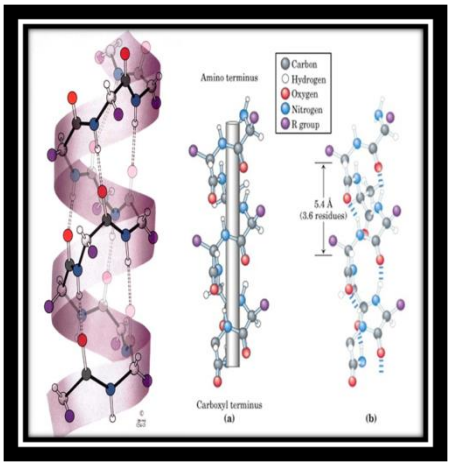
ثانيا: التركيب أو البناء الثانوي Secondary structure

تتنظم السلاسل الببتيدية فى شكل لولبى (Helical) أو في شكل صفائح مطوية (Pleated sheet) أو بشكل عشوائي (Random) ويساعد على تنظيم البروتينات بتلك الأشكال تكون روابط هيدروجينية بين ذرة الهيدروجين التابعة لمجموعة الأمين في أحد الأحماض الأمينية وذرة الأوكسجين التابعة لمجموعة الكربوكسيل التابعة لحامض أميني آخر (H-N ----- C=O) يبعد عن الأول بثلاث وحدات أمينية في السلسلة الببتيدية الواحدة أو تكون الرابطة الهيدروجينية بين سلسلتين ببتيدية تكرار الروابط الهيدروجينية بهذه الطريقة يعطى للجزيء شكلا حلزونيا.



شكل (13): طريقة تكوين التركيب الثانوي للبروتين.





شكل الصفائح الشكل الحلزوني

تلتف أجزاء السلسلة على هيئة لولب يميني كل دورة مؤلفة من 3,6 وحدة من الأحماض الأمينية وتبرز مجموعاتها الجانبية (R) حول محيط اللولب بعيدا عن المحور وفي هذا البناء الملتف تأخذ مجموعة N-Hو C=Oاتجاهات محددة تتيح تكون رابطة هيدروجينية

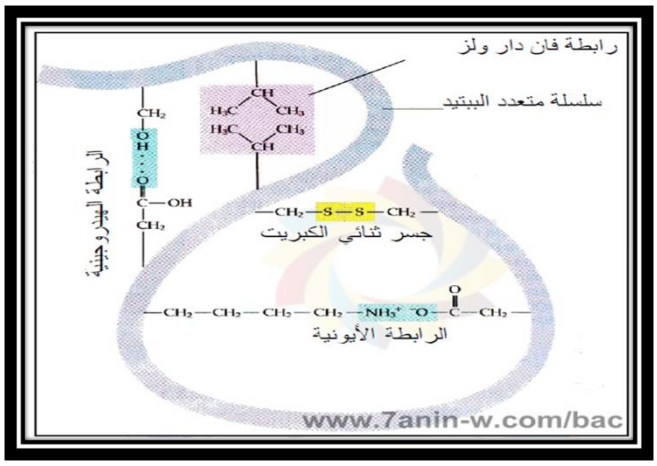
- يتخذ الشكل الحلزوني المظهر الليفي (Fiprous)مثل بروتين الكولاجين المكون للألياف البيضاء.
- هذا النوع من البروتينات غير قابلة للذوبان في الماء مثل بروتينات الشعر والأظافر.

شكل (١٣): التركيب الثانوي للبروتين. وهو ينتج عن تكوين رابطة هيدروجينية بين ذرة الهيدروجين التابعة لمجموعة الأمين في أحد الأحماض الأمينية وذرة الأوكسجين التابعة لمجموعة الكاربوكسيل التابعة لحامض أميني آخر يبعد عن الأول بثلاث وحدات أمينية.

3-التركيب أو البناء الثالثيTertiary structure

- تلتف السلاسل الببتيدية وتنطوي وتنثني حتى تصبح على شكل كروي مثل كرة صوف النسيج وذلك بفعل عدة عوامل وروابط:

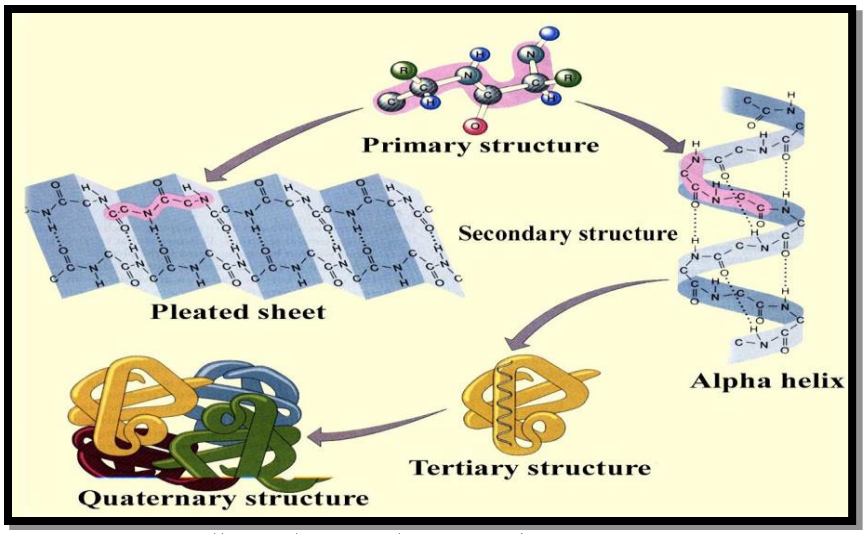
1- الروابط الأيونية أو تكون الاملاح: بين مجموعة كربوكسيل حرة في أحد طرفي متعدد الببتيدات ومجموعة أمين حرة في
الطرف الآخر المتعدد الببتيدات.
2- تكون رابطة ثنائي الكبريت(S-S):وهو ينشا من أكسدة وحدتين متقابلتين من الحامض الاميني السيستيين فيتكون ارتباط S-S
3- الفعل المتبادل بين المجموعات النافرة من الماء حيث تتجمع قرب بعضها محاطة ببيئة مشابهه بطبيعتها فتدفن نفسها في طيات بالبروتين بعيدا عن الوسط المائي
4- الروابط الهيدروجينية: حيث تتكون بين المجموعات الجانبية للوحدات المشتركة في السلسلة بحيث تكون بارزة على السطح



شكل يوضح انواع الروابط في البناءالثالثي

-التركيب أو البناء الرباعي Quaternary structure

- هو ترابط مجموعات من الوحدات الثانوية للبروتين سواء كانت متشابهة أو غير متشابهة لتكون بوليمر صغير على هيئة حزمة وحيث أن معظم البروتينات في حالتها الطبيعية لا تكون منفردة بينما تكون في تجمع مع بروتين أو أكثر, ويتم الربط بالروابط الهيدروجينية والروابط الكارهة للماء مثل الهيموجلوبين فهو تجمع من أربع جزيئات من البروتين(كل جزيئين من نوع واحد) وجزيء من صنف أخر هو الهيم.
- هرمون الأنسولين يتكون من سلسلتين مختلفتين من متعدد الببتيدات. يربطهما رابطتين من روابط ثنائي الكبريتيد.
- كل سلسلة تمر بالمستويات الثلاث الأولى في تركيبها وعندما تتحد يظهر التركيب الرباعي للبروتين. التركيب الرباعي يحدث نتيجة لروابط بين أكثر من سلسلة واحدة.
- ولهذه المستويات الأربعة من التراكيب دورا كبيرا فى تحديد الخواص التابعة للبروتين.
- اختلاف البروتينات في خواصها منشأه الاختلاف في هذه المستويات الأربع.



شكل يوضح التركيب البنائي للبروتينات

الدهون
Lipids

الدهون

تعريف الدهون

الدهون من مركبات الكيمياء الحياتية التي تمتاز بعدم ذوبانها في الماء أو المذيبات القطبية Polar solvents وتذوب في المذيبات اللاقطبية Non-polar العضوية مثل الأيثر والبنزين والكلوروفورم والأسيتون. وتتكون من عناصر الكاربون والهيدروجين والأوكسجين وتحتوي بعضها على الفسفور والنيتروجين.

وظائف الدهون

١- تخزن الدهون في الأنسجة كخزين للطاقة إذ يتم استخدامها بعد نفاذ الكاربوهيدرات المخزونة على شكل كلايكوجين في الجسم. وتعطي الدهون طاقة عالية بعد أكسدتها داخل الجسم.
٢- تعد الدهون أحدى المكونات الواقية للجدران الخلوية في العديد من البكتريا وأوراق النباتات والهيكل الخارجي للحشرات.
٣- الدهون مكونات أساسية تركيبية لأغشية الخلية كالنواة والمايكروسوم والمايتوكوندريا.
٤- تتحد الدهون مع البروتينات لتكوين البروتينات الدهنية Lipoproteins التي تشترك أصنافها في نقل الدهون في الدم.
٥- تعد بعض أنواع الدهون منشطات لبعض الإنزيمات لكي تبدي نشاطها التام فمثلاً إنزيم كلوكوز ٦- فوسفاتيز Glucose 6-phosphatase ومونو أوكسيجنيز Monooxygenase وغيرها تحتاج إلى فوسفوتايديل كولين Phosphatidylcholine (أحد الدهون الفوسفورية) لتنشيطها.
٦- تعمل الدهون بوصفها عازلاً حرارياً في الحيوان والإنسان من خلال تكوين طبقة عازلة تحت الجلد فتحافظ على درجة حرارة الجسم من التغيير السريع.
٧- تدخل الدهون في تركيب الأنسجة العصبية بنسبة عالية وتعمل الدهون بوصفها عازلاً كهربائياً يسمح لنقل الإيعاز العصبي عبر الأعصاب.
٨- تدخل الدهون بوصفها مركبات أولية Precursors لبعض الفيتامينات والهورمونات وأحماض الصفراء.
٩- تحيط أعضاء الجسم الداخلي مثل الكليتين والقلب طبقة دهنية تعد وسادة تقي هذه الأعضاء من الصدمات الخارجية.
١٠- تزود الجسم بالأحماض الدهنية الأساسية Essential fatty acids إذ لهذه الأحماض أهمية كبيرة لحيوية الجسم مثل حامض اللينوليك الذي عند توفره يمكن منه بناء حامض الأراكيدونك الذي يطيل من فترة تخثر الدم ويزيد من تحلل الفايبرين Fibrin وبهذا يسبب في تقليل فرص الإصابة بالجلطات Thrombus فتقل فرص الإصابة بأمراض تصلب الشرايين.
١١- تواجد الدهون في الغذاء يزيد من استساغته وكذلك يعطي الشعور بالشبع وذلك بسبب بطء الدهون في الهضم والامتصاص من خلال الجهاز الهضمي.

١٢- يعد فوسفاتيديل إينوسيتول ثلاثي الفوسفات المفتاح لتوليد إينوسيتول ثلاثي الفوسفات وثنائي أسيل الكلسيرول وهما رسولان ثانيان Second messengers أسوة بالرسل الثانية الأخرى مثل AMP الحلقي و GMP الحلقي والكالسيوم.
١٣- هناك أحماض دهنية غير مشبعة لها أهمية كبيرة على سبيل المثال الحامض الدهني أوميكا Omega fatty acid الذي يعمل على زيادة HDL (الكوليستيرول المفيد) وعندها يقلل من الإصابة بأمراض القلب.

تصنيف الدهون Classification of lipids

تصنف الدهون بشكل عام الى :

I- الدهون البسيطة Simple lipids
II- الدهون المركبة (المقترنة) Conjugated lipids
III- الدهون المشتقة Derived lipids

I- الدهون البسيطة وتشمل:

أ- الدهون المتعادلة Neutral lipids
ب- الشمعيات Waxes

II- الدهون المركبة (المقترنة) وتشمل:

أ- الدهون المفسفرة Phospholipids

1- حامض الفوسفاتيديك Phosphatidic acid.
2- اللسيثينات Lecithins أو تطلق عليها فوسفوتايديل كولين Phosphatidyl choline .
3- السيفالينات Cephalins (تابع الى مركبات فوسفاتيديل إيثانول أمين Phosphatidyl ethanolamine وفوسفاتيديل سيرين Phosphatidyl serine)
4- فوسفاتيديل إنوسيتول Phosphatidyl inositol.
5- الدهون الاسفنجية (السفنكوليبدات) Sphingolipids (مثل السفنكومايلين Sphingomyelin).
6- بلازمالوجين Plasmalogen.
7- كارديولبينات Cardiolipinins.
8- الفوسفاتيديل كلسيرول Phosphatidyl glycerol.

ب- الدهون السكرية Glycolipids

1- السيروبروسايد Cerebrosides.
2- الكانكليوسايد Gangliosides.

جـ- الدهون الكبريتية Sulfolipids.

د- البروتينات الدهنية Lipoproteins .

تصنف البروتينات الدهنية أستناداً إلى الكثافة إلى:

1- الكيلومايكرونات Chylomicrones.
2- البروتينات الدهنية واطئة الكثافة جداً Very low density lipoproteins VLDL
3- البروتينات الدهنية متوسطة الكثافة Intermediate density lipoproteins (IDL)
4- البروتينات الدهنية واطئة الكثافة Low density lipoproteins (LDL)
5- البروتينات الدهنية عالية الكثافة High density lipoproteins (HDL)

III- الدهون المشتقة Derived lipids

1- أحماض دهنية (مشبعة وغير مشبعة).
2- ستيرويدات Steroid.

3- سيترولات Sterols.
4- ألديهايدات دهنية Fatty aldehyde.
5- أجسام كيتون Keton bodies.
6- التربينات Terpens.

وفي ما يأتي شرح مبسط عن كل صنف من أصناف الدهون:

I- الدهون البسيطة

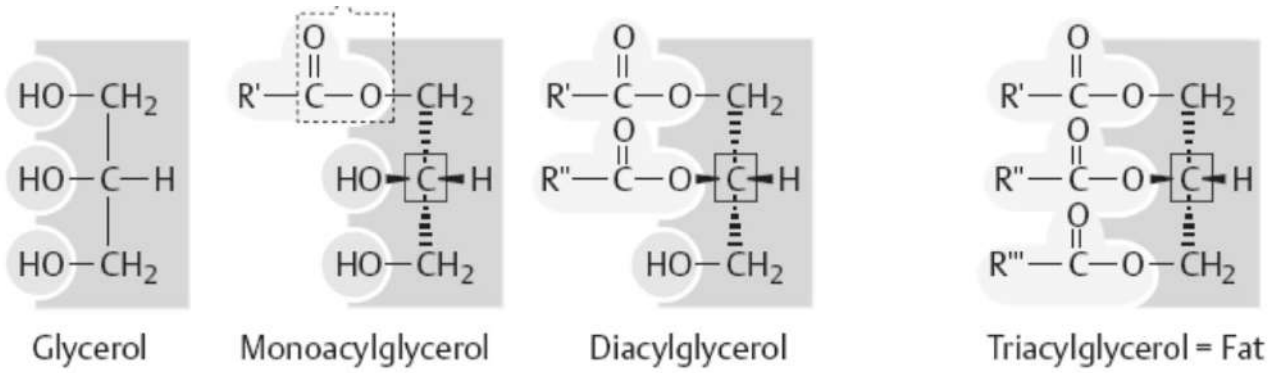
وهي إسترات Esters لأحماض دهنية مع الكحول التي بدورها تنقسم إلى:

أ- الدهون المتعادلة Neutral lipids

ب- الشمعيات Waxes.

أ- **الدهون المتعادلة :** وتتكون من إسترات للأحماض الدهنية مع كحول ثلاثي هو الكلسيرول Glycerol اذ ينتج ما يسمى بالكلسيريدات Glycerides. وتنقسم هذه الكلسيريدات استناداً الى عدد الأحماض الدهنية المتصلة بالكلسيرول إلى كلسيريدات أحادية Monoglycerides (او تسمى **كلسيرول أحادية الأسيل Monoacyl glycerol**) وكلسيريدات ثنائية Diglycerides (او تسمى **كلسيرول ثنائية الأسيل Diacyl glycerol**) وكلسيريدات ثلاثية Triglycerides **(او تسمى كلسيرول ثلاثية الأسيل Triacyl glycerol) (الشكل١-٧).**

ب-



الشكل(١-٧): الكلسيرول Glycerol وكلسيرول أحادية الأسيل Monoacyl glycerol وكلسيرول ثنائية الأسيل Diacyl glycerol وكلسيرول ثلاثية الأسيل Triacyl glycerol (الشحوم Fat).

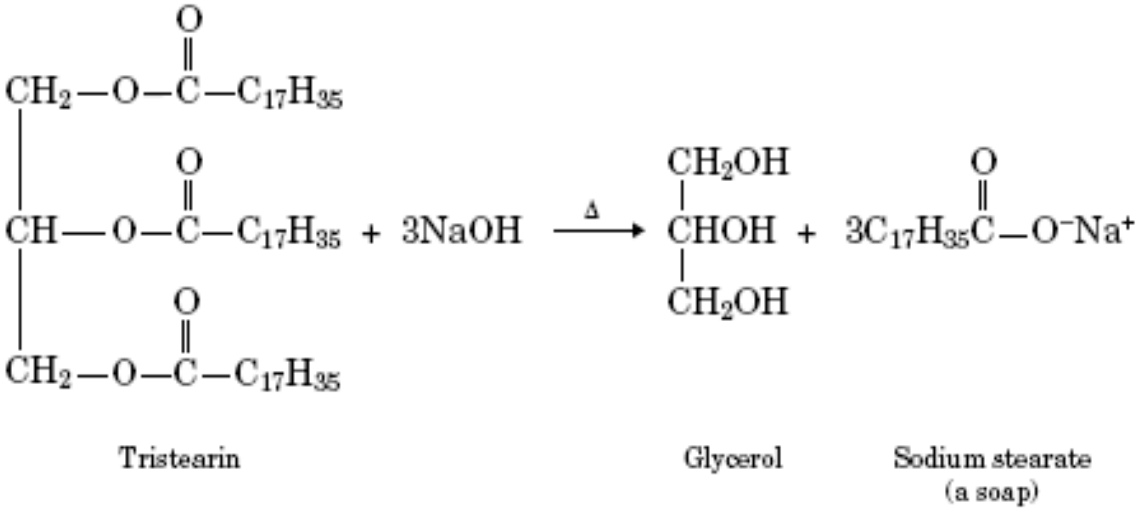
وقد تكون هذه الكلسيريدات متجانسة إذا ارتبطت ثلاث جزئيات من نفس الحامض الدهني بالكلسيرول اذ يطلق عليها بالكلسيريدات البسيطة Simple glycerides ومثال عليها عندما ترتبط ثلاث جزئيات من حامض الستياريك Stearic acid بالكلسيرول فينتج مايسمى ثلاثي الستيارين Tristearin، أما إذا ارتبط الكلسيرول بأكثر من نوع واحد من الأحماض الدهنية فيسمى بالكلسيريدات المختلفة Mixed glycerides ومثال على ذلك عندما ترتبط جزيئة من حامض البالمتيك Palmitic acid وجزيئتان من حامض الستياريك لتكوين كلسيريد ثلاثي الذي يسمى بالميتدوثنائي ستيارين Palmitodistearin او يسمى بيتا- بالمتيك ألفا- ألفا ثنائي الستياريك β- Palmityl α- α - distearin والكلسيريدات الثلاثية الموجودة في الطبيعة

هي من النوع المختلط ولا تحتوي على نوع واحد ولكن من أنواع مختلفة. والكلسيريدات الثلاثية منتشرة في دهن جسم الإنسان ولاسيما الأنسجة الدهنية Adipose tissues وتحت الجلد Subcutaneous وحول الأعضاء مثل القلب والكليتين.

إن جزئية الكلسيريدات الثلاثية ليس لها شحنة كهربائية ولذا سميت بالدهون المتعادلة والتي تكون أما مادة صلبة أو سائلة في درجة حرارة الغرفة، وأن صلابة وسيولة الدهون تتوقف على طبيعة الأحماض الدهنية المكونة للدهن.

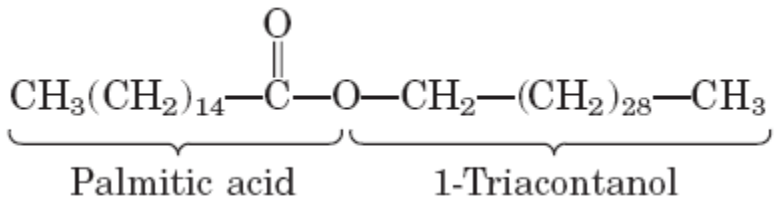
إن معظم الزيوت النباتية تحوي أحماضاً دهنية غير مشبعة مثل حامض الأوليك Oleic acid وبهذا تكون هذه الزيوت سائلة في درجة حرارة الغرفة (٢٥ درجة مئوية) أما الكلسيريدات الثلاثية التي تحتوي على أحماض دهنية مشبعة مثل حامض البالمتيك فتكون صلبة أو شبه صلبة في درجة حرارة الغرفة.

تتحلل الكلسيريدات الثلاثية إنزيمياً بوساطة إنزيم اللايبيز Lipase وينجم عنها مزيج من ثلاث جزئيات أحماض دهنية وكلسيرول. وكذلك تتحلل قاعدياً فينجم عنها صوابين الحامض الدهني وكلسيرول وتدعى العملية بالصوبنة Saponification **كما يلاحظ في التفاعل أدناه :**



ب ـ الشموع Waxes

الشموع عبارة عن أسترات أحماض دهنية مع كحولات ذات أوزان جزئية عالية وهي مكونات الطبقة المغلفة لجسم الحيوانات كالجلد والفرو والريش وتغطي أوراق النباتات الشمعية والثمار وكذلك شمع النحل الذي يتكون من إسترات حامض البالمتيك مع كحول طويل السلسلة الهيدروكاربونية على سبيل المثال تركيب ثلاثي أكونتانول بالماتيت Triacontanoyl palmitate (وهو المكون الرئيس لشمع النحل) **(الشكل 2-٧)**.

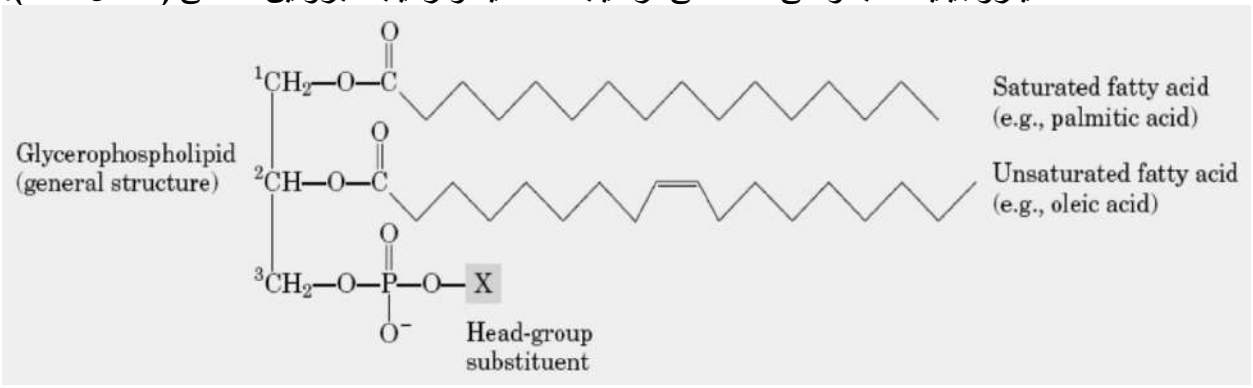


الشكل(2-٧): شمع إستر بالماتيك.II- الدهون المعقدة (المقترنة) Complex (Conjugated) lipids

وتتكون هذه الدهون من إسترات أحماض دهنية مع كحولات ومواد أخرى غير دهنية وتشمل:

أ- الدهون المفسفرة Phospholipids

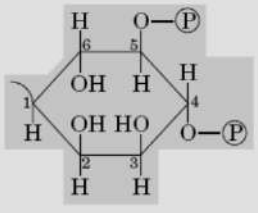
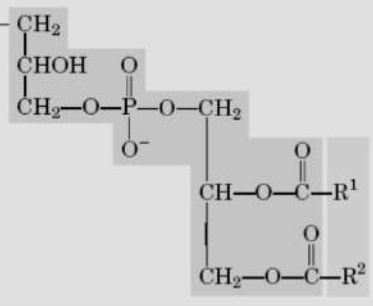
تتكون من إسترات يرتبط فيها حامض الفوسفوريك محل جزيئة من الأحماض الدهنية ثم ارتباط قاعدة نيتروجينية غالباً والتى تدخل فى تراكيب الأغشية وتركيب البروتين الدهنى **(الشكل ٣-٧).**



الشكل(٣-٧): الشكل العام للدهون المفسفرة.

ان **الشكل (3-٧)** يعد شكلاً عاماً يمكن ان يبنى من خلاله أنواع الدهون المفسفرة وكما يلاحظ في الجدول أدناه :

جدول (١-٧): أنواع الدهون المفسفرة المشتقة من كلسيرول فوسفولبيد.

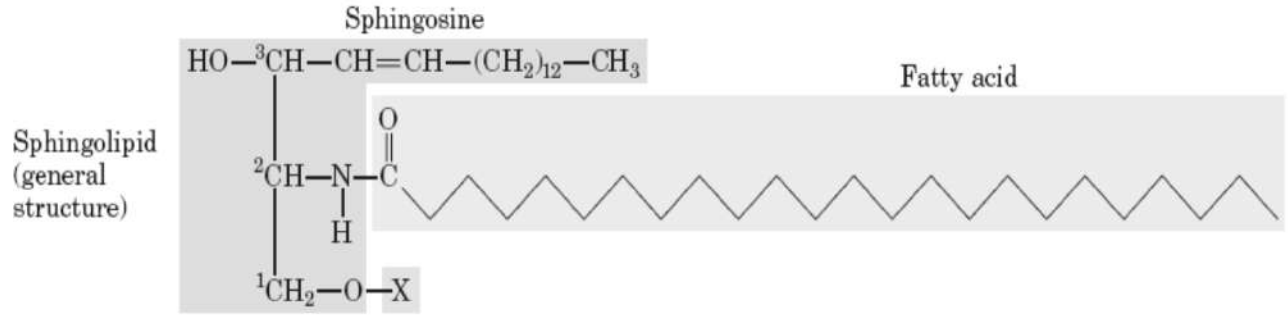
Name of glycerophospholipid	Name of X	Formula of X	Net charge (at pH 7)
Phosphatidic acid	—	—H	−1
Phosphatidylethanolamine	Ethanolamine	$-CH_2-CH_2-\overset{+}{N}H_3$	0
Phosphatidylcholine	Choline	$-CH_2-CH_2-\overset{+}{N}(CH_3)_3$	0
Phosphatidylserine	Serine	$-CH_2-\underset{COO^-}{\underset{\vert}{CH}}-\overset{+}{N}H_3$	−1
Phosphatidylglycerol	Glycerol	$-CH_2-\underset{OH}{\underset{\vert}{CH}}-CH_2-OH$	−1
Phosphatidylinositol 4,5-bisphosphate	*myo*-Inositol 4,5-bisphosphate		−4
Cardiolipin	Phosphatidyl-glycerol		−2

2- اللسيثينات Lecithins : أو يطلق عليها فوسفاتيديل كولين Phosphatidyl choline وهو من أكثر الدهون المفسفرة توفراً في أنسجة الحيوان ويتكون من كلسيرول وحامض الفوسفوريك وأحماض دهنية وقاعدة نيتروجينية هي الكولين Choline ولهذا النوع من الدهون المفسفرة دور مهم في أيض الدهون في الكبد ودوره في تركيب الجسم وهو أحد مركبات الجهاز العصبي ويوجد في صفار البيض بنسبة عالية.

3- السيفالينات Cephalins : وهي مجموعة مركبات تابعة إلى مركبات فوسفاتيديل إيثانول أمين Phosphatidyl ethanolamine وفوسفاتيديل سيرين Phosphatidyl serine وتختلف عن اللسيثينات في عدم قابليتها للذوبان في الكحول إلا أنها تذوب في الأيثر والكلوروفورم. تتكون هذه المركبات من كلسيرول وحامض الفوسفوريك وأحماض دهنية وإيثانول أمين أو سيرين وهي مركبات موجودة في الدماغ أو الجهاز العصبي والكبد.

4- فوسفاتيديل إنوسيتول Phosphatidyl inositol : توجد هذه الأنواع من الدهون في معظم الأنسجة الحيوانية ويكون أكثر توفراً في الأنسجة الدماغية والعصبية. إن التحلل الإنزيمي أو الحامضي لهذا الدهن ينتج عنه كلسيرول وحامض الفوسفوريك وأحماضاً دهنية والكحول الحلقي إينوسيتول.

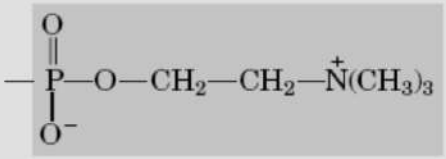
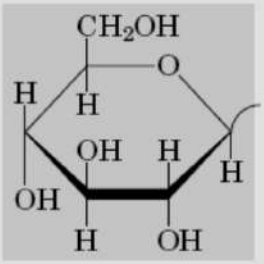
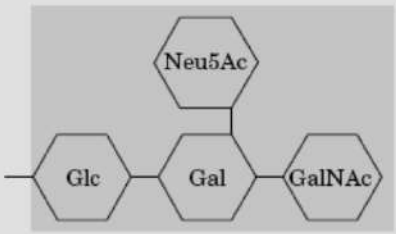
5- الدهون الأسفنجية (السفنكولبيدات) Sphingolipids : ومن الأمثلة على هذه المركبات هي السفنكومايلين Sphingomyelin اذ تتكون من قاعدة نيتروجينية هي السفينكوسين Sphingosine (وهي عبارة عن كحول أميني ذي سلسلة هيدروكاربونية غير مشبعة وحامض دهني واحد فضلاً عن حامض الفوسفوريك) والأحماض الدهنية المشبعة التي يمكن أن ترتبط هي حامض البالمتيك أو الستياريك (**الشكل ٤-٧**) أما الأحماض الدهنية غير المشبعة فيمكن أن ترتبط أيضاً بحامض الأوليك.

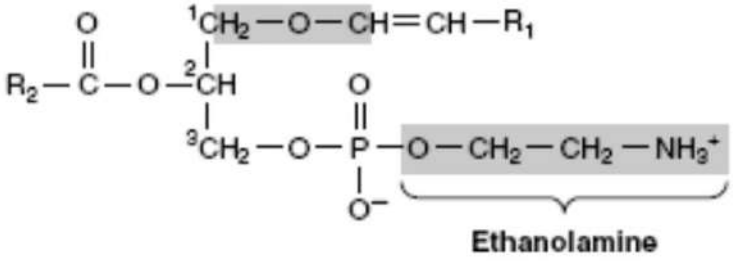


الشكل(٤-٧): الشكل العام للدهون الأسفنجية.

إذ أن الرمز X في الشكل(٤-٧) يمكن التعويض عنه بعدة مركبات لاشتقاق مركبات أخرى وكما في **الجدول (٢-٧).**

جدول(٢-٧): المركبات المشتقة من التركيب العام للدهون المفسرة الشكل(٤-٧).

Name of sphingolipid	Name of X	Formula of X
Ceramide	—	—H
Sphingomyelin	Phosphocholine	
Neutral glycolipids Glucosylcerebroside	Glucose	
Lactosylceramide (a globoside)	Di-, tri-, or tetrasaccharide	
Ganglioside GM2	Complex oligosaccharide	



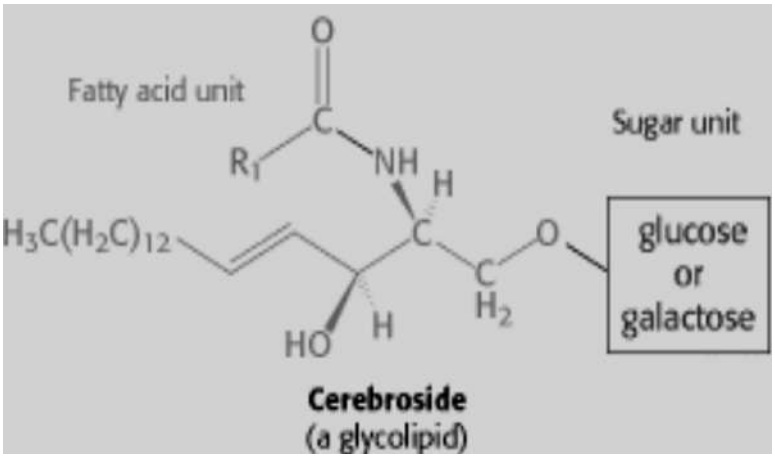
7- كارديولبينـات Cardiolipinins (كلسـيرول ثنـائي فوسـفاتيديل Diphosphatidy glycerol) وهو من الدهون المفسفرة ناتج من جزيئتين من الكلسيرول فوسفوليبيد **(الجدول ١-٧)**، وعرفت بالدهون القلبية Cardiolipins لكونها عزلت من عضلة القلب أولاً.

8- ومـن الأصـناف الثانويـة Subgroups الأخـرى للـدهون المفسـفرة هـي الفوسـفاتيديل كلسيرول Phosphatidylglycerol **(الجدول ١-٧)** والذي يعد من الفوسفوكلسيريدات المهمة بايولوجياً ويتكون من جزيئة واحدة من حامض الفوسفاتيديك وجزيئة من الكلسيرول ويتواجد في المملكة النباتية.

ب- الدهون السكرية Glycolipids

وهي مركبات تحتوي على كاربوهيدرات وأحماض دهنية ولا تحتوي على حامض الفوسفوريك **ومن الأمثلة عليها:**

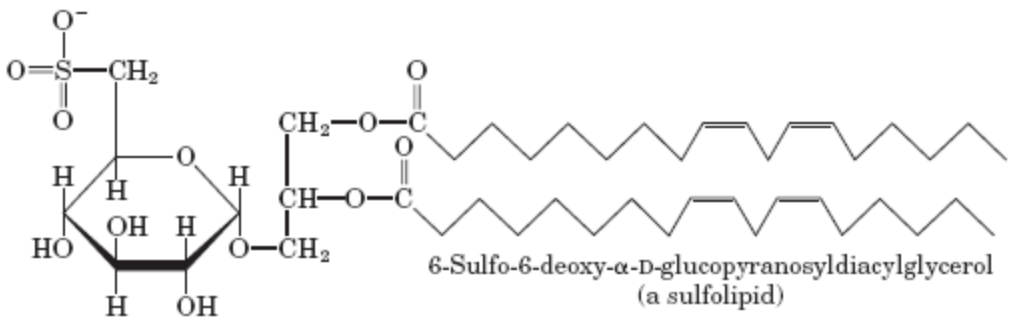
1- السيروبروسايد Cerebrosides : وهـي دهون تحتـوي علـى كاربوهيـدرات عـادة تكـون الكالاكتوز أو الكلوكوز وأحماض دهنية ذات وزن جزيئي عـالي وسفنكوسين ومعظم الأحمـاض الدهنية المكونة لها هي حامض اللكنوسيرك Lignoceric acid أو حامض البهينيك Behenic acid او حـامض البالمتيـك **(الشـكل ٦-٧)** وتوجـد هـذه المركبـات فـي الجهـاز العصـبي فـي الدماغ والكبد والكليتين والطحال.



الشكل(٦-٧): السيروبروسايد.

2- الكانكليوسـايد Gangliosides : وهـي دهـون تحـوي كاربوهيـدرات (الكـالاكتوز عـادةً) وحامض دهني طويل السلسلة وحامض النيورامنيك Neuraminic acid والسفنكوسين وتكون مصـاحبة للسيروبروسـايد **(الجدول ٢-٧)** إذ توجـد فـي الأنسـجة العصـبية وكريـات الـدم الحمـر. ويعتقد أنها تشارك في نقل النبضات العصبية عبر التشابك العصبي.

جـ- الـدهون الكبريتيـة Sulfolipids : وهـي مركبـات شـبيه بالسيروبروسـايد ماعـدا وجـود حـامض الكبريتيـك وتحتـوي أيضـاً علـى السفنكوسـين والكـالاكتوز وحـامض السـيروبرونيك Cerebronic acid **(الشكل ٧-٧).**



الإنزيمات
Enzymes

الإنزيمات Enzymes

الإنزيمات عبارة عن مواد بايولوجية محفزة (مساعدة) تقوم وبكميات قليلة بزيادة سرعة التفاعلات الكيميائية بتقليل طاقة التنشيط والتي تحدث داخل الخلية الحية (سواءً نباتية أم حيوانية) بدون أن تتغير خلال هذه التفاعلات. إن معظم الإنزيمات هي بروتينات تتألف من أحماض أمينية تتكون بوساطة الخلايا الحية (الحيوانية أو النباتية أو الأحياء الدقيقة) وتستطيع أن تعمل بصورة مستقلة خارج الخلايا الحية بعد توفر الظروف الملائمة لها. ويطلق على المادة المتفاعلة في التفاعلات الإنزيمية بالمادة الأساس (المادة الخاضعة أو الركيزة) Substrate (المادة التي يعمل عليها الإنزيم).

وظائف الإنزيمات:

أ- حفظ توازن الجسم عن طريق التحكم بالتفاعلات الكيميائية.

ب- تعمل الإنزيمات على تقليل كمية الطاقة اللازمة لبدء تفاعل كيميائي وهذا يساعد في حمايتها من التعرض إلى الحرارة العالية التي تؤدي إلى مسخ Denaturation وتفكيك بنية البروتين في الجسم.

الخواص العامة للإنزيمات:

١- يؤدي الإنزيم وظيفته بصورة كاملة تحت الظروف الفسيولوجية المثلى من درجة الحرارة والأس الهيدروجيني pH وخصوصية المادة الأساس.

٢- جميع الإنزيمات مواد بروتينية (باستثناء مجاميع صغيرة من RNA التي اكتشفت حديثاً بأن لديها فعالية إنزيمية).

٣- لا تظهر العديد من الإنزيمات فعاليتها في حالة عدم وجود احد المكونات غير البروتينية والذي يطلق عليه بالعامل المرافق (Cofactor). ويطلق على الجزء البروتيني غير الفعال بـ apoenzyme وبالمقابل يطلق على الإنزيم الفعال (الجزء البروتيني والعامل المرافق) بـ Holoenzyme. وتكون العوامل المساعدة إما على شكل معادن مثل أيونات المغنيسيوم والمنغنيز والحديد والسلينيوم والنحاس، أو على شكل جزيئة عضوية تسمى مرافقات الإنزيم Coenzymes مثل NADH و NADPH و FAD وغيرها، وتحتاج بعض الإنزيمات إلى كلا النوعين أي الأيونات المعدنية ومساعدات الإنزيم. وعند ارتباط العوامل المرافقة بآصرة تساهمية مع الإنزيم فيطلق عليها بالمجموعة الرابطة (المجموعة الترقيعية) Prosthetic group.

٤- **إن الفرق بين التفاعلات الإنزيمية والتفاعلات غير الإنزيمية** هو أن مادة الأساس في التفاعلات الإنزيمية تتحول بكفاءة وسرعة عاليتين، في حين أن التفاعلات غير الإنزيمية هناك نسبة معينة من المادة الأولية تتحول إلى ناتج والباقي من المادة الأولية تفقد في كثير من التفاعلات الجانبية، فعلى سبيل المثال إنزيم الكاتاليز Catalase الذي يحفز التفاعل الآتي:

$$2H_2O_2 \xrightarrow[Fe]{Catalase} 2H_2O + O_2$$

إن التفاعل السابق يتم ببطؤ شديد بغياب الإنزيم، ولكن كفاءة التحول إلى ناتج وسرعة التفاعل بوجود إنزيم الكاتاليز تكون عالية تحت الظروف المثلى من درجة حرارة والأس الهيدروجيني وتركيز بيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2).

٥- إن من أهم خواص الإنزيمات هي كونها متخصصة إذ تعمل على مادة أساس واحدة أو عدة مواد أساسية (ولكنها من نفس النوع) لينتج عن ذلك ناتج أو عدة نواتج.

٦- الأواصر التي تثبت سلسلة جزيئة الإنزيم في أوضاعها استناداً الى ما ذكرت سابقاً للبروتينات وهي: الأواصر الأيونية، الأواصر الهيدروجينية، الأواصر الهيدروفوبية، الأواصر ثنائية الكبريت، تجاذب فاندرفال، التداخلات القطبية للمجاميع Polar groups interactions.

٧- تحتوي جميع الإنزيمات على منطقة تسمى الموقع الفعال Active site وهي وحدات من الأحماض الأمينية في الإنزيم تشترك في عملية التحفيز Catalysis وتكون على شكل حفرة أو التفاف لسلسلة متعددة الببتيد يربط الجزيئات المتفاعلة بحيث تكون هذه الجزيئات مثبتة بوضع فراغي صحيح في الموقع الفعال، ملائماً تماماً للتفاعل. وإن الطبيعة الكيميائية لوحدات الأحماض الأمينية في الموقع الفعال تلعب أيضاً دوراً فعالاً وذلك بمنحها أو سحبها للالكترونات من المجاميع الوظيفية للمادة الأساس. أن القوى التي تربط المادة الأساس بالموقع الفعال تكون ضعيفة نسبياً وبهذا فان تحرر النواتج من على سطح الإنزيم بعد اكتمال التفاعل يكون سهلاً. وإن لكل إنزيم عدداً محدداً من المواقع الفعالة فإنزيم التربسين مثلاً يحتوي على مركز فعال واحد بينما إنزيم اليوريز يحتوي على أربعة مراكز فعالة.

٨- الإنزيمات لها أوزان جزيئية بين 13000 دالتون لإنزيم الرايبونيوكليز إلى عدة ملايين لبعضها الآخر وهذه المقادير تدل على كبر حجم جزيئات الإنزيم ولذا تكوّن محاليل غروية عند إذابتها بالماء.

٩- قد توجد إنزيمات في كائنات حية ولا توجد في كائنات حية أخرى مثل إنزيم السليوليز Cellulase الذي يعمل على تحليل جزيئة السليلوز إلى جزيئات سكر قابلة للهضم والامتصاص في الأبقار وغيرها وعدم وجودها في الإنسان، وقد تقوم البكتريا بإفراز إنزيم السليوليز في أحشاء النمل الأبيض وهذا يفسر كيف تأكل النمل العشب والخشب.

استخدامات الإنزيمات:

تستخلص الإنزيمات من الأنسجة الحيوانية أو النباتية أو البكتيريا، ثم يتم تنقيتها وتستخدم للأغراض الآتية:

١- دراسة المسارات الأيضية وتنظيم التفاعلات الجارية في ذلك المسار.

٢- دراسة تركيب وآلية عمل الإنزيمات Mechanism of action.

٣- استخدامها في الصناعة بوصفها عوامل مساعدة بايولوجية لتصنيع الهورمونات والعقاقير والصناعات الغذائية والصناعات الكيميائية.

٤- تعطي الإنزيمات مؤشراً لحدوث حالة مرضية معينة أو عدم حدوثها وذلك عند قياس فعاليتها في سوائل وأنسجة الجسم المختلفة وفيما يأتي **الجدول (١-١٠)** يوضح علاقة الإنزيم مع الحالة السريرية.

جدول (١-١٠): بعض الإنزيمات المستخدمة لأغراض التشخيص السريري.

الإنزيم	التشخيص الرئيسي للأمراض
أسبارتيت أمينوترانسفزيز (AST or GOT)	إحتشاء العضلة القلبية Myocardial infraction
ألانين امينوترانسفريز (ALT or GPT)	التهاب الكبد الفايروسي Acute hepatitis
أميليز Amylase	التهاب البنكرياس الحاد Acute pancreatitis
سيليروبلازمين Ceruloplasmin	مرض ويلسن (تحطم الكبد) Wilson's disease
إنزيم كرياتين كاينيز Creatine Kinase	اضطرابات العضلة Muscular disorders وإحتشاء العضلة القلبية
لاكتيت ديهيدروجينيز Lactate Dehydrogenase	إحتشاء العضلة القلبية
الفوسفاتيز الحامضي Acid phosphatase	سرطان البروستات Prostate cancer
الفوسفاتيز القاعدي Alkaline phosphatase	اضطرابات العظام المختلفة وأمراض الكبد الإنسدادي

٥- تستخدم بعض الإنزيمات لأغراض علاجية أو مضادات أكسدة أو لقاحات ضد أنواع معينة من الطفيليات. وكمثال استخدامها لإذابة خثرة الدم في المصابين بالخثار Thrombosis أو استخدام بروتيز Protease في عقارات المقاومة لفيروس الأيدز(النقص في عوز المناعة المكتسبة).

٦- تستخدم البعض منها بمثابة كواشف في بعض التحاليل المختبرية وكمثال تقدير الكلوكوز باستخدام الإنزيم كلوكوز أوكسديز Glucose oxidase أو تقدير اليوريا باستخدام إنزيم اليوريز Urease.

٧- استخدام بعض الإنزيمات لغرض تشخيص الأمراض الوراثية مثل إنزيم بوليمريز في تفاعل السلسلة Polymerase chain reaction (PCR).

تختلف الإنزيمات عن بعضها البعض في بنائها الكيميائي استناداً الى:

أ- تسلسل ونوع وعدد الأحماض الأمينية المكونة لسلاسلها الببتيدية (التركيب الأولي).

ب- التوزيع الفضائي للذرات والمجموعات بالنسبة لبعضها في السلسلة الببتيدية المكونة للإنزيم وهذا يتوقف لحد كبير على درجة الالتفاف أو الالتواء على طول السلسلة الببتيدية (التركيب الثانوي) والذي يؤدي إلى شكل صفيحة أو حلزوني السلسلة.

جـ- الشكل المجسامي الثلاثي الأبعاد لجزيئة الإنزيم(التركيب الثالثي).

تقسيم الإنزيمات:

تم تقسيم الإنزيمات استناداً الى عدد السلاسل الموجودة في تركيبها البنائي الى:

١- **الإنزيمات الأحادية السلسلة Monomeric:** وهي التي تتألف من سلسلة ببتيدية واحدة والتي تساعد في التحلل المائي مثل التربسين Trypsin ورايبونيوكليز Ribonuclease.

٢- **الإنزيمات قليلة الوحدات Oligomeric:** وهي التي تتألف من 2-10 سلسلة ببتيدية مثل إنزيم هيكسوكاينيز Hexokinase المكون من أربع سلاسل ببتيدية.

٣- **المجمع الإنزيمي المعقد Multienzyme complex :** وهو عدد أو مجموعة من الإنزيمات مرتبطة مع بعضها وتشترك جميعاً في مسارها لتحول مادة أو مواد الأساس إلى ناتج مثل إنزيم بايروفيت ديهيدروجنيز Pyruvate dehydrogenase الذي يتكون من ثلاثة إنزيمات وخمس مرافقات إنزيمية لتحويل البايروفيت إلى أسيتايل مرافق الإنزيم A .

تعاريف مهمة:

أ- **وحدة الإنزيم Enzyme unit (أو فعالية الإنزيم Enzyme Activity):** وهي كمية الإنزيم التي تحول مايكرومول واحد من المادة الأساس إلى ناتج في الدقيقة الواحدة تحت الظروف المحددة للقياس. ويرمز لها أحياناً بالحرف v الذي يشير إلى معدل سرعة التفاعل الإنزيمي.

ب- **الفعالية النوعية Specific activity:** وهي عبارة عن عدد وحدات الإنزيم (أو الفعالية) لكل ملغرام واحد من البروتين وتعد مقياساً لنقاوة الإنزيم وتزداد خلال تنقيته.

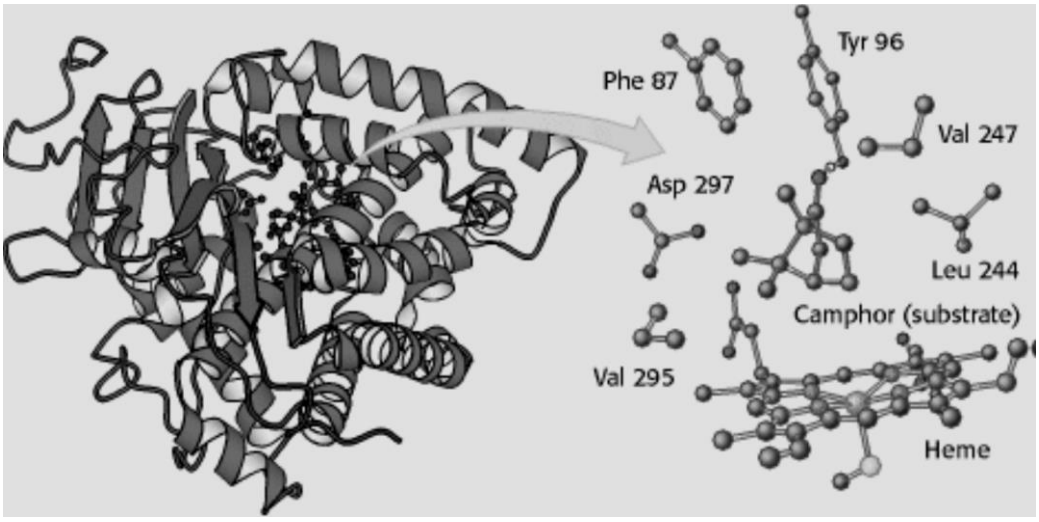
جـ- **عدد التحول Turnover number:** وهو عدد مولات المادة الأساس التي تتحول إلى ناتج لكل مول من الإنزيم في الدقيقة الواحدة.

$$E + S \rightleftharpoons [ES] \longrightarrow E + P$$

المادة الأساس — إنزيم- المادة الأساس المعقد(حالة انتقالية) — الإنزيم — الناتج الإنزيم

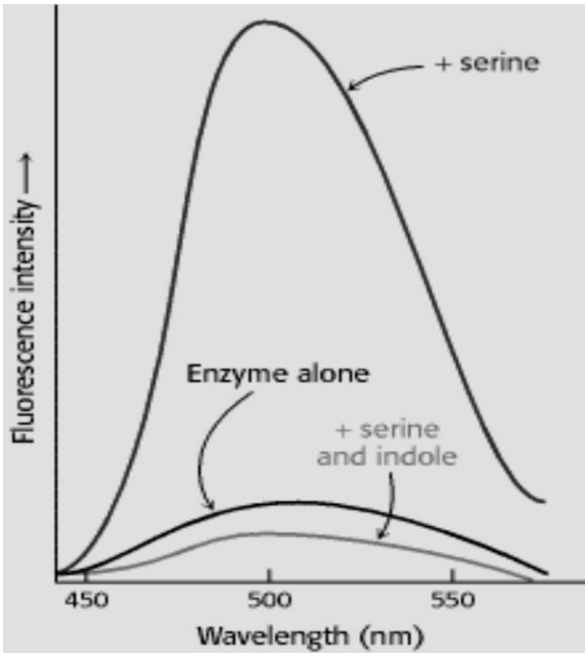
إذ يتفاعل الإنزيم مع المادة الأساس ليكون المعقد (الإنزيم – المادة الأساس) والذي يتحول في المرحلة التالية إلى ناتج مع خروج الإنزيم بحالته الأصلية، **وهناك عدة براهين تؤكد على تكوين المعقد[ES] منها:**

أ- استخدام أشعة (X-ray) التي أعطت صوراً واضحة ودقيقة لارتباط الإنزيم بمادة الأساس، فعلى سبيل المثال إنزيم سايتوكروم P-450 المرتبط مع مادة الأساس كامفور Camphor (**الشكل ١-١٠**).



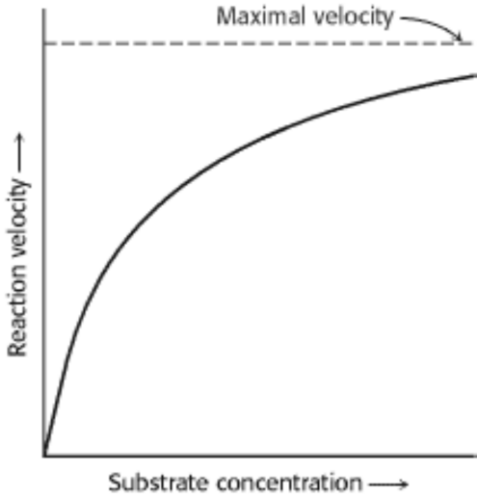
الشكل(١-١٠): إنزيم سايتوكروم P-450 المرتبط مع مادة الأساس كامفور Camphor من اليسار، أما من اليمن فالشكل يوضح الموقع الفعال وكيفية ارتباط المادة الأساس بالوحدات من الإنزيم.

ب- استخدام جهاز المطياف الضوئي Spectrophotometer الذي أعطي قيماً مختلفة حين ارتباط الإنزيم بمادة الأساس، فمثلاً يلاحظ اختلاف في شدة الفلورة لمجموعة فوسفات البيريدوكسال في إنزيم تربتوفان سنثتيز عند استخدام السيرين او الاندول بوصفها مواداً أساساً **(الشكل ٢-١٠)**.



الشكل (٢-١٠): الاختلاف في شدة الفلورة لمجموعة فوسفات البيريدوكسال في إنزيم تربتوفان سنثتيز Trp. synthetase باستخدام المادة الأساس السيرين او السيرين + الاندول.

جـ- تزداد سرعة التفاعل الإنزيمي الى حدٍ معين بزيادة تركيز المادة الأساس حتى تصل الى السرعة القصوىMaximal velocity وبعدها تبقى ثابتة عادةً**(الشكل ٣- ١٠).**



الشكل (٣-١٠): علاقة سرعة التفاعل الإنزيميReaction velocity وتركيز المادة الأساسيSubstrate concentration.

الإنزيمات القاتلة Killer enzymes : وهو اتجاه حديث بدأ يظهر في سنة 1992 وهذا الاتجاه يتلخص بما يأتي: هناك مجموعة من الإنزيمات وخاصة البروتينيز Proteinase تهاجم إنزيمات الأكسدة وتعمل على هضمها Digestion وبالتالي لا تقوم بتثبيط الإنزيم فقط بل القضاء تماماً على خصائص إنزيم الأكسدة. وهذا النظام يعرف باسم قتل النظام بوساطة الإنزيمات القاتلة Killing system by killer enzymes.

الفيتامينات ومرافقات الإنزيمات
Vitamins and coenzymes

الفيتامينات Vitamins

الفيتامينات مركبات عضوية يحتاجها الكائن الحي بكميات قليلة في غذائه لأداء فعالياته الأيضية، وكلمة فيتامين مشتقة من كلمة Vita التي تعني بالإغريقية الحياة و amine تعني مجموعة أمين إذ أول فيتامين أمكن تشخيصه هو B_1 الذي يحتوي على مجموعة الأمين. **تصنف الفيتامينات إلى صنفين وهما:**

١- الفيتامينات الذائبة في الماء: مثل فيتامين C (حامض الأسكوربيك Ascorbic acid) وفيتامينات مجموعة B المعقدة (B-complex) التي تتضمن: الثيامين Thiamine (ويسمى أيضاً فيتامين B_1) ورايبوفلافين(فيتامين B_2) Riboflavine وحامض النيكوتينك (B_3) Nicotinic acid وحامض البانتوثنك Pantothenic acid والبيريدوكسال Pyridoxal (فيتامين B_6) وبايوتين Biotin وحامض الفوليك Folic acid وسيانوكوبال أمين Cyanocobalamine (فيتامين B_{12}).

٢- الفيتامينات الذائبة في الدهون: وهي فيتامينات A، E، D، K .

وفي ما يأتي الجدول الرقم **(١-٩)** يوضح التسمية المعتمدة من قبل المنظمة IUPAC للفيتامينات فضلاً عن التسمية الشائعة والأسماء القديمة لها:

الجدول (١-٩): تسمية الفيتامينات.

التسمية المعتمدة من قبل IUPAC	التسمية الشائعة	الاسماء القديمة
ريتنول Retinol	فيتامين A	الفيتامين المضاد للخمج (Anti- infection)
أركوكالسفيرول Ergocalciferol	فيتامين D_2	الفيتامين المضاد للكساح Anti- rickets
كولكالسفرول Cholecalciferol	فيتامينD_3	الفيتامين المضاد للكساح Anti- rickets
توكوفيرولات Tocopherols	فيتامين E	الفيتامين المضاد للعقم
لا يوجد قرار رسمي	فيتامين K	الفيتامين المضاد للنزف، فيتامين التجلط، عامل البروثرومبين
الثيامين Thiamine	فيتامين B_1	الفيتامين المضاد للألتهاب

الرايبوفلافين Riboflavin	فيتامينB_2(لاكتوفلافين)	الفيتامين الأصفر
النيكوتين أميد Nicotinamide	نياسين، حامض النيكوتنيك	فيتامين B_3
لا يوجد قرار رسمي	بيريدوكسين Pyridoxin	فيتامين B_6
حامض البنتوثنيك Pantothenic acid	حامض البنتوثنيك	ـــــ
بايوتين Biotin	بيوتين	فيتامين H
لا يوجد قرار رسمي	حامض الفوليك Folic acid (Pteroylglutamic acid)	ـــــ
كوبالامين Cobalamine	كوبالامين، فيتامين B_{12}	ـــــ
حامض الأسكوربيك Ascorbic acid	فيتامين C	الفيتامين المضاد للإسقربوط

الخواص العامة للفيتامينات:

١- الفيتامينات مواد عضوية لا تحتوي على النيتروجين في تركيبها لصنف الفيتامينات الذائبة في الدهن خلافاً للصنف الذائب في الماء الذي يحتوي في تركيبها على نيتروجين عدا فيتامين C (حامض الأسكوربيك).

٢- تعد مواد غير متجانسة إذ لا تتشابه في تركيبها الكيميائي وتأثيرها الفسيولوجي (لكل منها وظائف معينة).

٣- الفيتامينات يتم الحصول عليها من مصادرها الخارجية وبكميات قليلة جداً لأغراض النمو و البناء وتنظيم العمليات الحيوية والبايولوجية. ومصادرها الخارجية تكون من النبات والحيوان وقسم منها تستطيع الكائنات الحية الدقيقة من صنعها داخل أمعاء الإنسان مثل فيتامين K وفيتامين B_{12}.

٤- الفيتامينات لا تتحلل بالعمليات الهضمية بل تمتص من قبل الخلايا المعوية كما هي.

٥- معظم الفيتامينات وخصوصاً الفيتامينات الذائبة بالماء تدخل بوصفها مرافقات للإنزيمات Coenzymes، إذ تحتاجها الإنزيمات لأداء دورها في التفاعلات المختلفة فهي تستهلك في التفاعلات ولهذا وجب تزويد الجسم بها باستمرار. وعند غيابها فأن هناك تفاعلات إنزيمية معينة قد تبطأ أو تضمحل فيتولد عن ذلك أعراض مرضية.

٦- يستطيع الجسم أن يتخلص من الفيتامينات الذائبة في الماء بإفرازها عن طريق البول إذ لا يستطيع خزنها (عدا فيتامين B_{12}) ولذلك تعد مواد غير سامة وليس لها تأثير سام عندما يتناولها الجسم بكميات كبيرة Overdoses، أما الفيتامينات الذائبة في الدهون فإن الجسم يستطيع خزنها في الكبد على سبيل المثال فيتامين (A ، D، E) فإنها تظهر بعض السمية عند تراكمها بكميات كبيرة اذ ينتج ما يسمى فرط الفيتامين Hypervitaminosis يمكن أن تسبب العديد من الأمراض المختلفة وحسب نوعية الفيتامين.

٧- الفيتامينات سريعة التلف عند التسخين والطبخ والخزن وتتلف نتيجة للتفاعلات الكيميائية التي تحدث في الأغذية.

٨- إن مرافقات الإنزيمات إما أن تكون معادن أيونية (كالحديد والكاليسيوم والسلينيوم ....الخ) أو مركبات عضوية غير بروتينية ترافق الإنزيمات لتساعد عملية نقل مجموعات وظيفية معينة ضمن العمليات الحياتية المختلفة وقد تعد مجموعة ترقيعية للإنزيم Prosthetic group في حالة عدم قابلية فصلها بتقنية الديلزة Dialysis (والتي سوف يتم ذكر هذه التقنية لاحقاً في الفصل الثالث عشر) لارتباطها تساهمياً بالإنزيم.

٩- تشارك بعض الفيتامينات كوحدات بنائية للهورمونات أو قد تشارك البعض منها كمضادات أكسدة (مثل فيتامين E و فيتامين C وغيرها) للتخلص من الأكسدة داخل الجسم أو خارج الجسم عند إضافتها إلى بعض الأغذية للمحافظة عليها لفترة أطول.
١٠- أن الاحتياجات اليومية للفيتامينات تختلف من كائن حي إلى آخر وتتأثر أيضاً بالعمر والجنس والتغيرات الفسيولوجية المختلفة على سبيل المثال الحمل والرضاعة والتمارين الرياضية والتغذية.
١١- الفيتامينات لا تعطي طاقة لكونها لا تحوي سعرات حرارية ولكنها تساعد في تحويل الطعام (أثناء العمليات الايضية للكاربوهيدرات والدهون والبروتينات) الى طاقة.

العوامل التي تؤثر في توفر كمية الفيتامينات للجسم

١- التوفر الحيوي Bioavailability : هناك عوامل مختلفة تؤثر في قابلية امتصاص الفيتامينات وإيصالها إلى خلايا الجسم ومن هذه العوامل:

أ- قد يرتبط الفيتامين بعنصر من العناصر الغذائية (مثل البروتين) ويصبح من الصعوبة امتصاصه او توفره في الجسم مثال ذلك وجود النياسين أو حامض النيكوتينك على شكل نياستين Niacytin في نخالة الحنطة وهو ببتيد كاربوهيدراتي Glycopeptide اذ يرتبط به الفيتامين ويكون غير متوفر وغير مستفاد منه حتى لو حصل امتصاص لهذه المادة.

ب- خلل في عملية هضم وامتصاص الدهون يعرقل امتصاص الفيتامينات الذائبة فيه.

جـ- خلل إفراز الحامض المعوي (حامض الهيدروكلوريك HCl) نتيجة لأي إصابة يؤدي إلى قلة توفير فيتامينات معينة مثال ذلك فيتامين B_{12} عند خلل أو قلة إفراز العامل الداخلي.

د- الإصابة بالإسهال أو بالطفيليات يؤدي إلى فقدان امتصاص الفيتامينات.

هـ- وجود الألياف الغذائية مثل البكتين (راجع الفصل الرابع في موضوع الألياف) تقلل من امتصاص العديد من الفيتامينات نتيجة عرقلة امتصاصها بسبب ارتباطها معها.

٢- مضادات الفيتامينات Antivitamins : التي تتواجد في الأغذية أو يمكن أن تعطى بوصفها أدوية والتي تكون مشابهة للفيتامينات من الناحية التركيبية فيمكن أن تقلل عمل الفيتامينات في الجسم.

٣- بعض أنواع العقاقير يمكن أن تعرقل عمل العديد من الفيتامينات ومن ثم تؤدي إلى ظهور أعراض نقصها مثل إستخدام عقار بيرميثامين Pyrimethamine لعلاج مرض الملاريا تعمل على عمل مضاد لفيتامين حامض الفوليك وبالتالي ظهور نقص حامض الفوليك.

٤- الإدمان على الكحول: إذ يؤدي إلى سوء امتصاص حامض الفوليك وزيادة طرحه عن طريق البول.

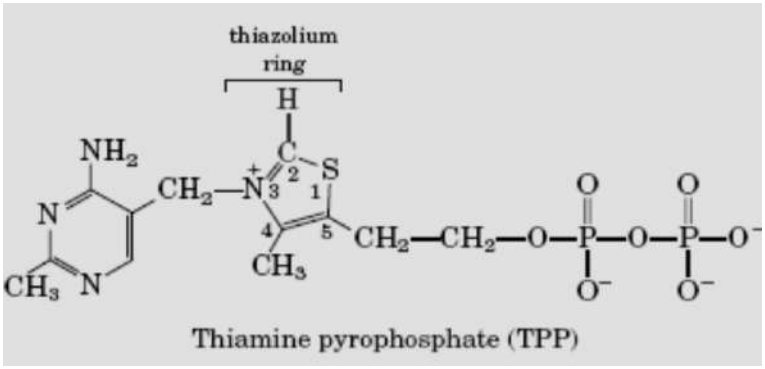
٥- هناك بكتيريا طبيعية تعمل على تكوين العديد من الفيتامينات مثل فيتامين K وحامض النيكوتينك وحامض الفوليك ورايبوفلافين وبالتالي فأن **أي تأثير على البكتريا عن طريق أدوية أو أمراض طفيلية او معوية تؤدي إلى تقليل من هذه الفيتامينات.**

الفيتامينات الذائبة في الماء

الثيامين Thiamin (فيتامين B_1)

الصفات العامة:

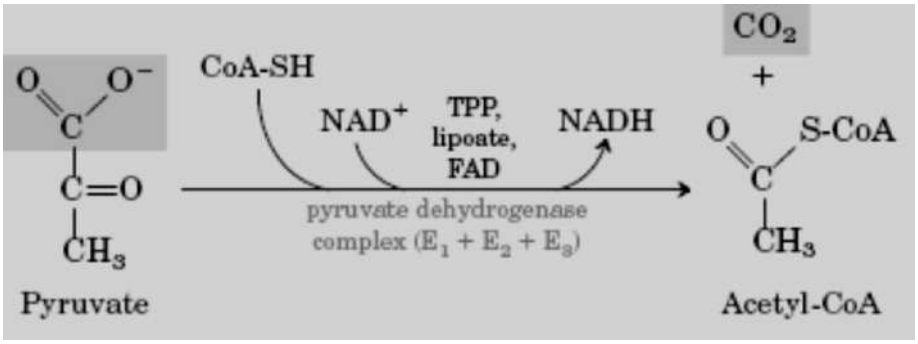
١- يتكون الثيامين من حلقة البريميدين ونواة الثايوزول Thiazole التي ترتبط مع بعضها ببعض بمجموعة مثيل **(الشكل ١-٩).**
٢- الثيامين لا يتأثر بالحرارة وثابت في المحاليل الحامضية ومتغير في المحاليل القاعدية وهو يمتلك تركيباً أبيض اللون سهل الذوبان في الماء.
٣- يكثر فيتامين B_1 في اللحوم بصورة عامة والكبد والبيض فضلاً عن وجوده في الخبز ولاسيما الحاوية على القشور (أو النخالة).
٤- الثيامين يتحول في الجسم إلى الشكل الفعال وهو ثيامين بايروفوسفات Thiamine pyrophosphate (TPP) ويرافق إنزيمات الديكاربوكسيليز Decarboxylase وينتج من تفاعل ATP مع الثيامين وإنزيم بايروفوسفوكاينيز Pyrophospho kinase **(الشكل١-٩).**



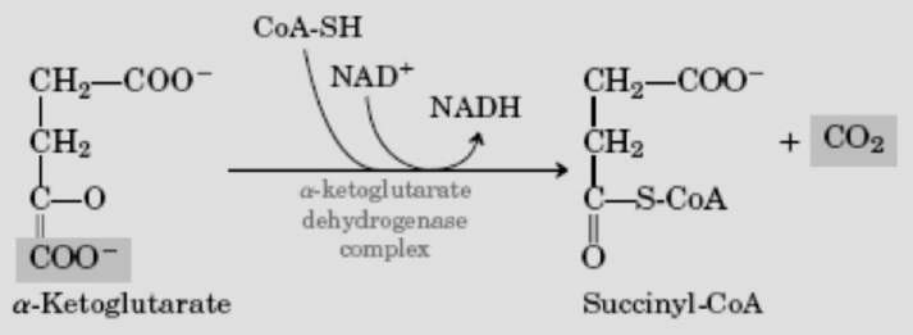
الشكل(١-٩): ثايمين بايروفوسفات Thiamine pyrophosphate (TPP).

٥- يشترك TPP في العمليات الايضية للكاربوهيدرات والبروتينات والدهون من خلال ارتباطه مع عمليات الأكسدة وإزالة الكاربوكسيل Oxidative decarboxylation **كما في التفاعلات الاتية:**

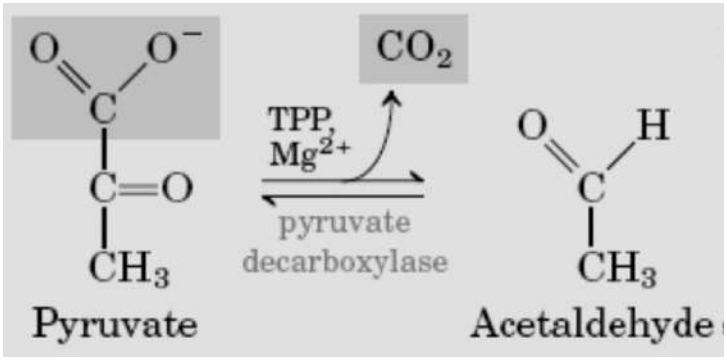
أ- تحول حامض البايروفيك الى أسيتايل مرافق الإنزايم A من قبل إنزيم بايروفيت ديهايدروجينيز المعقد Pyruvate dehydrogenase complex **كما في المعادلة أدناه:**



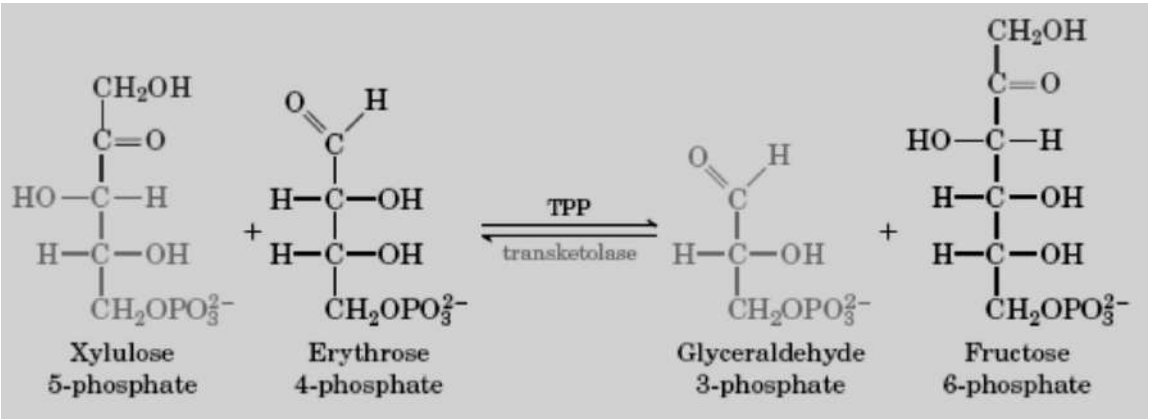
ب- تحول ألفا - كيتوكلوتاريت إلى سكسنايل مرافق الإنزيم A بوساطة إنزيم ألفا - كيتوكلوتاريت ديهيدروجينيز المعقد α-ketoglutarate dehydrogenase complex **كما في المعادلة أدناه:**

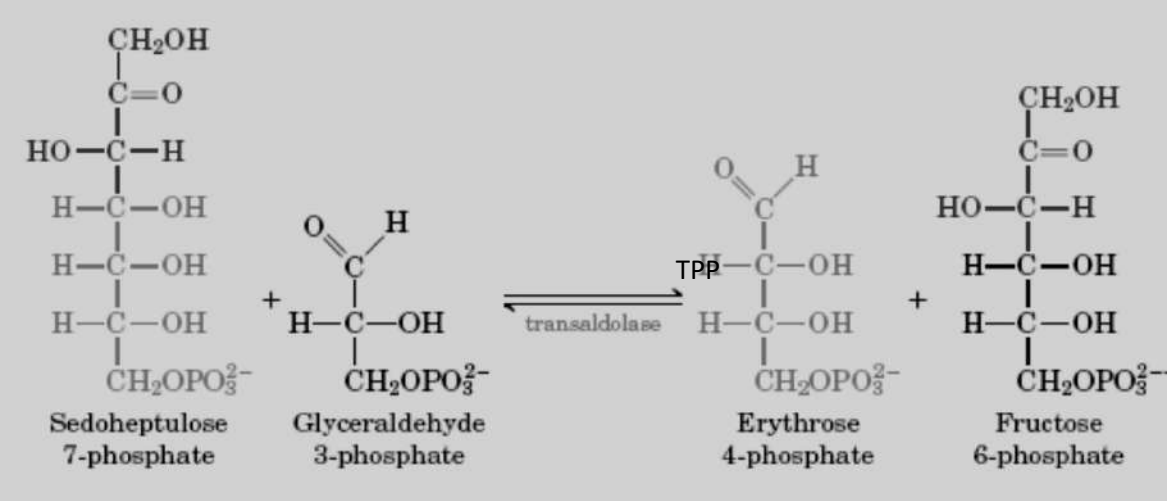


جـ- يدخل في تفاعل إزالة المجموعة الكاربوكسيلية من الأحماض الكيتونية α–Keto acid وتتضمن تحويل البايروفيت إلى أسيتالديهايد في الخميرة بفعل إنزيم بايروفيت ديكاربوكسيليز Pyruvate decarboxylase **كما في المعادلة الآتية**:



د- له دور كمرافق لإنزيم الترانس كيتوليز Transketolase وترانس ألدوليز Transaldolase ، فالإنزيم الأول يعمل على نقل ذرتي كاربون على شكل كلايكوألديهايد أما الإنزيم الثاني فيعمل على نقل ثلاث ذرات كاربون على شكل ثنائي هيدروكسي أسيتون **كما في التفاعلات الآتية** (تستخدم هذه التفاعلات لتكوين سكريات مختلفة والتي سوف يتم ذكرها في الفصل الثاني من الجزء الثاني).





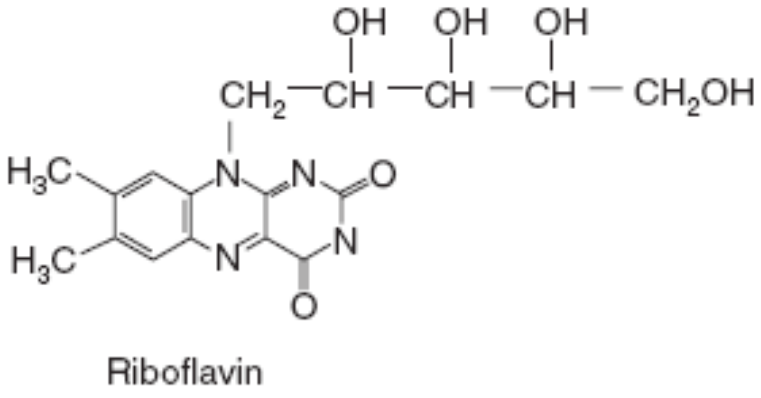
٦- نقصه يؤدي إلى تشويش فكري (قلة التركيز) وفقدان الشهية وضعف وشلل عضلي Paralysis وعجز القلب (مرض بري بري Beri beri). فضلاً عن ذلك فإن نقصه يؤدي إلى عدم تحول البايروفيت إلى أسيتايل مرافق الإنزيم A وبالتالي فأن تناول الكاربوهيدرات بكميات عالية يؤدي إلى زيادة البايروفيت واللاكتيت في الجسم وحدوث زيادة الحموضة Lactic acidosisعن طريق اللاكتيت الفائض.

٧- تزداد إحتياج الجسم من الثايمين كلما زادت كمية المواد السكرية التي يتناولها الإنسان عن نسبة المواد الدهنية والبروتينية المتناولة نتيجة لعلاقة الثايمين بأيض المواد السكرية وتعتمد حاجة الجسم من الثايميين على حجم الجسم وفعاليته ودرجة حرارة الجو والحالة الفسيولوجية.

الرايبو فلافين Riboflavin (فيتامين B_2)

الصفات العامة:

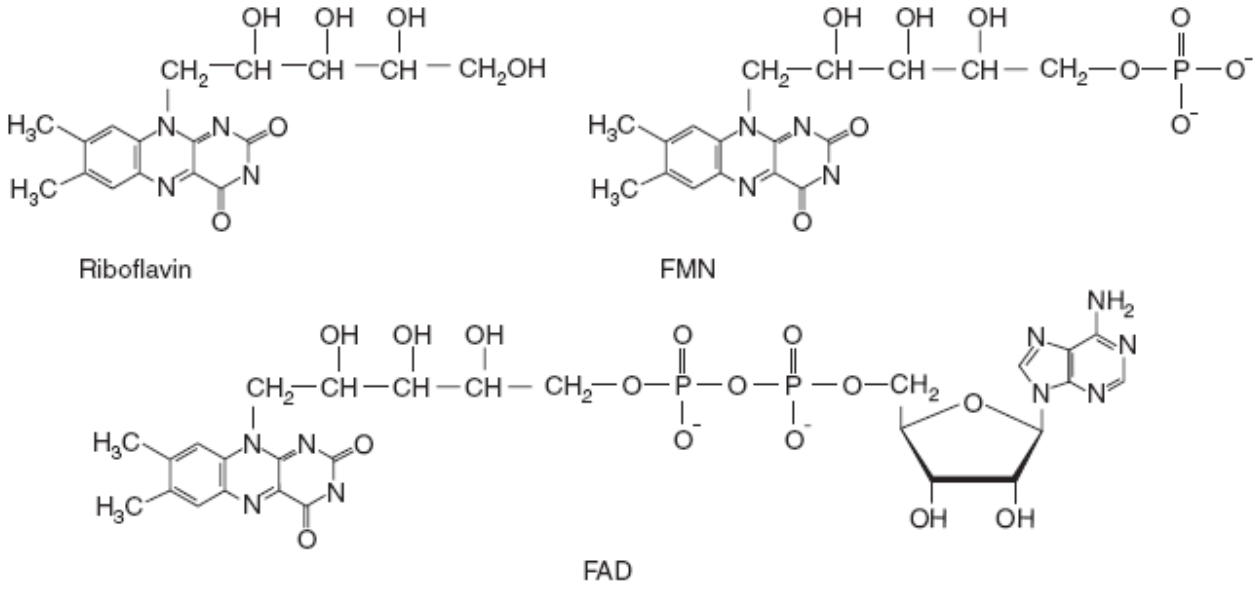
١- يتكون فيتامين B_2 من تركيب حلقي يسمى الايزوألوكسازين Isoalloxazine مرتبط بنيتروجين الحلقة الوسطى وبشكل سلسلة جانبية كحول الرايبتول Ribitol المشتق من السكر الخماسي الرايبوز **(الشكل ٢-٩)**.



٢- له لون مائل إلى البرتقالي وعند اختزاله يتحول إلى اللون الأبيض ودرجة انصهار 250°م وقليل الذوبان في الماء وهو ثابت في درجات الحرارة الاعتيادية وفي المحاليل الحامضية القوية

وغير ثابت عند تعرضه للمحاليل القاعدية أو الضوء (الأشعة فوق البنفسجية) وله أعلى قيمة امتصاص ضوء عند طول موجي 450-460 نانوميتر.

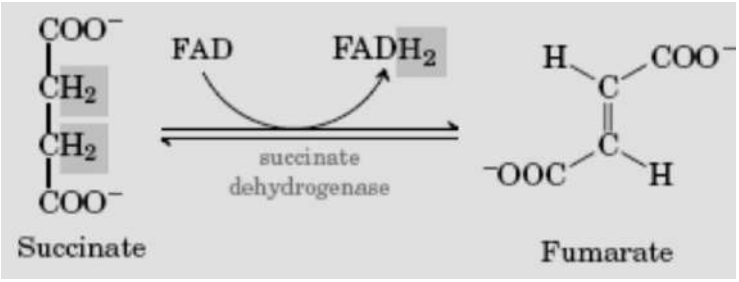
٢- يتحول فيتامين B_2 في الجسم إلى الشكلين الفعاليين فلافين آحادي النيوكليوتيد FMN وفلافين ادنين ثنائي النيوكليوتيد FAD **(الشكل ٣-٩)** والتي تدخل مرافقات إنزيمية في العديد من التفاعلات في العمليات الأيضية للكاربوهيدرات والدهون والبروتينات ويصاحب هذه العمليات انتقال الإلكترونات (الفسفرة التأكسدية) وتكوين طاقة على شكل ATP. وإن استخدام FAD أكثر شيوعاً من FMN.



الشكل(٣-٩): الرايبوفلافين وFMN وFAD.

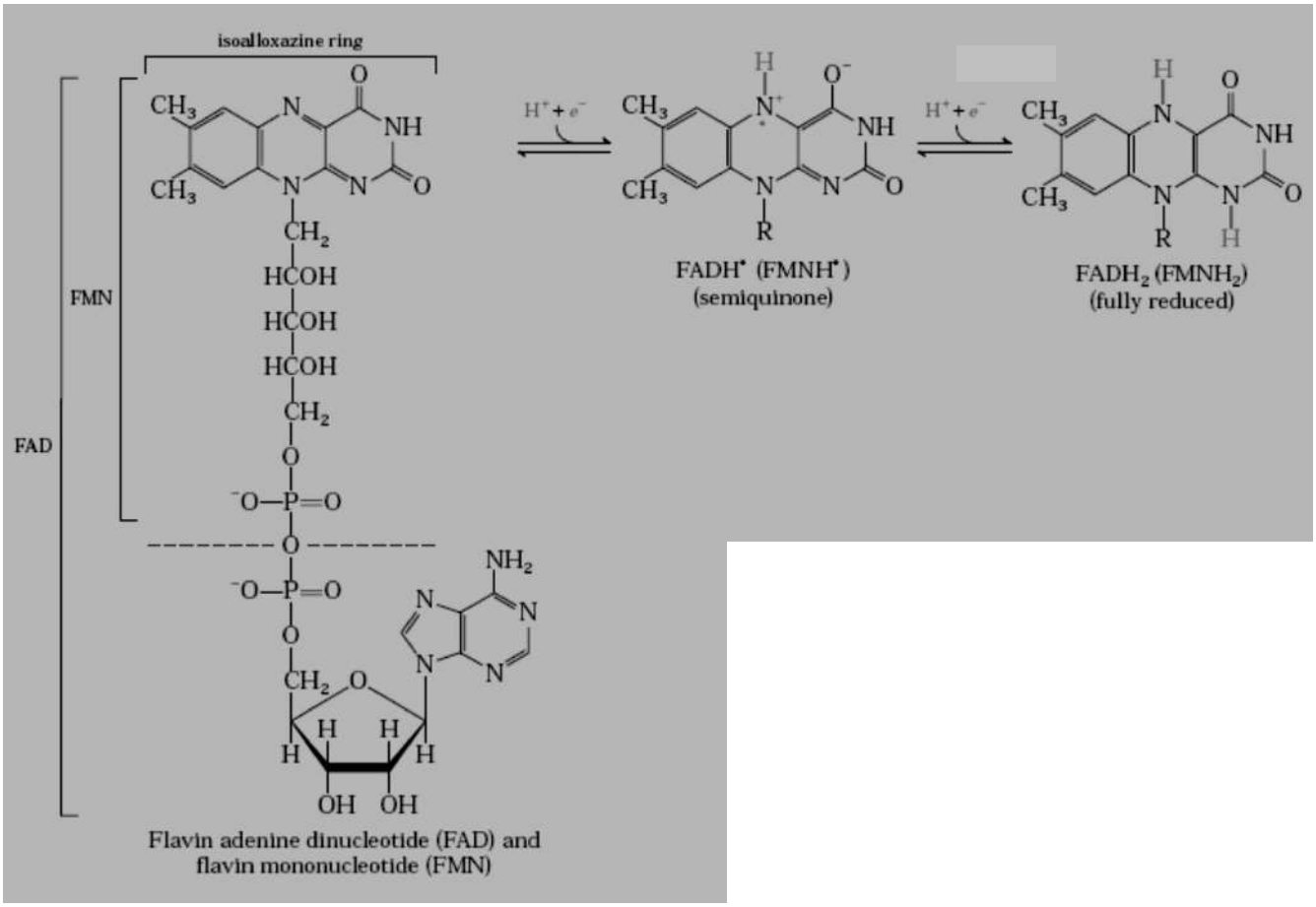
٤- هناك العديد من الإنزيمات التي تستخدم فيها المرافقات الإنزيمية الرايبوفلافينية والتي تشمل إنزيمات الاوكسديز Oxidases وإنزيمات الديهيدروجينيز Dehydrogenases **ومن هذه الإنزيمات**:

أ- إنزيمات الديهيدروجينيز: ومنها بايروفيت ، ألفا كيتوكلوتاريت، سكسنيت، أسيل مرافق الإنزيم A (Acyl CoA) ،وكمثال على ذلك تفاعل تحول السكسنيت الى الفيوماريت بفعل إنزيم سكسنيت ديهيدروجنيز Succinate dehydrogenase **كما في المعادلة أدناه:**



ب- إنزيمات الأوكسيديز: زانثين، D- أمينو، أورتيت، ألديهايد وغيرها من الإنزيمات.

إن تحويل الشكل المؤكسد لـ FAD أو FMN الى الشكل المختزل $FADH_2$ أو $FMNH_2$ يشمل **كما يلاحظ في الشكل أدناه** إضافة ذرتي هيدروجين (2 إلكترون+ 2 بروتون).



الشكل(٤-٩): تحول الشكل المؤكسد لـ FAD أو FMN الى الشكل المختزل $FADH_2$ أو $FMNH_2$.

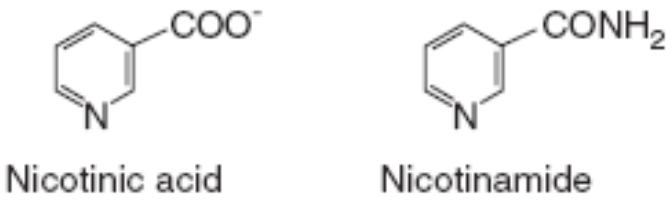
٥- نقص فيتامين B_2 يؤدي إلى ظهور أعراض منها التهاب وتشقق الشفاه، التهاب الجلد والغدد الدهنية وعادة يصاب الوجه واللسان فيأخذ اللسان لون الأحمر مائلاً إلى الأرجواني وكذلك تحدث اضطرابات للعين والقرنية.

٦- يكثر فيتامين B_2 في الحليب ومن ثم الكبد والكليتين واللحوم والبيض وفي الحبوب والبقوليات.

النياسين Niacin (فيتامين B_3)

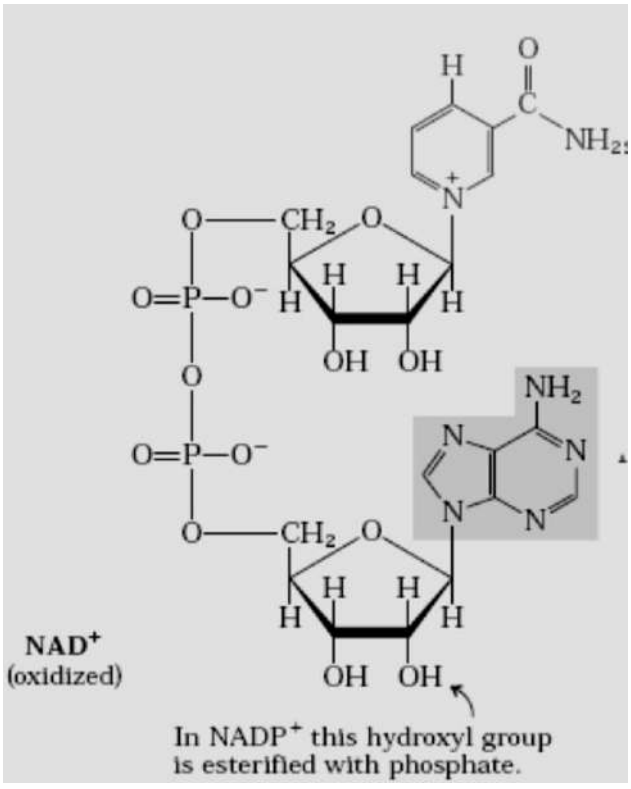
الصفات العامة:

١- يوجد النياسين على شكل مركبين مشتقين من حلقة البيريدين Pyridine وهما حامض النيكوتينك Nicotinic acid و النيكوتين اميد Nicotinamide **(الشكل ٥-٩)** وهما يعدان الأشكال الفعالة للفيتامين ويوجد المركب الأول في المصادر النباتية والمركب الثاني في المصادر الحيوانية.



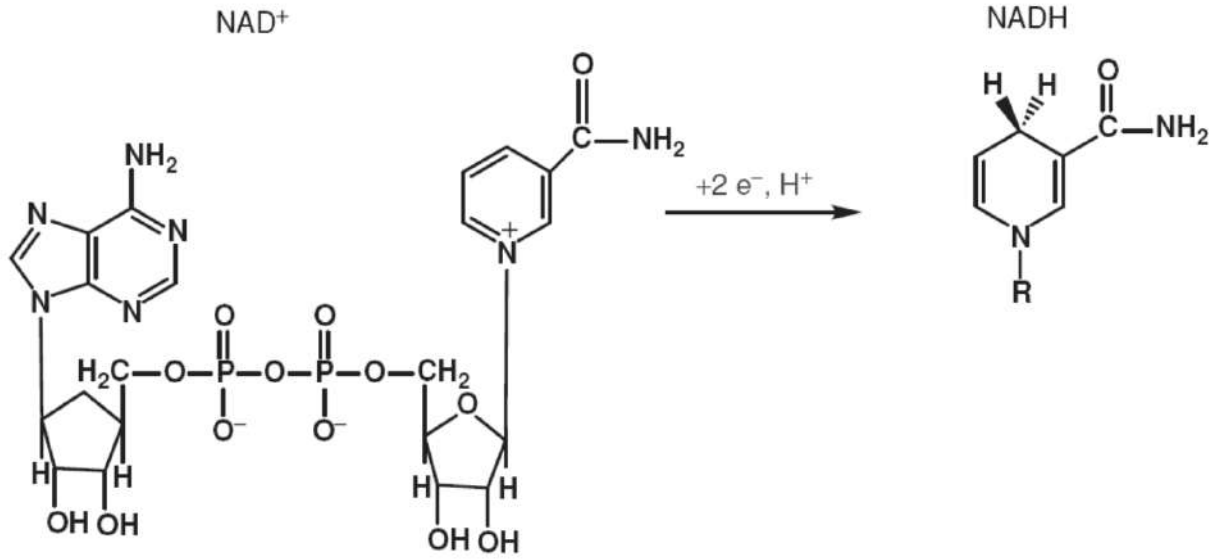
الشكل(٥-٩): النيكوتين أميد وحامض النيكوتينك

٢- النياسين عبارة عن بلورات بيضاء اللون تذوب في الماء والكحول وثابت بالحرارة والأكسدة والعمليات التصنيعية وفي الوسط القاعدي والحامضي.
٣- يكثر في اللحوم الحمراء ولحم الدجاج والأسماك ويوجد أيضاً في الحبوب الكاملة والبقوليات مثل الفاصوليا والبزاليا وكميات قليلة في الحليب والبيض.
٤- إن أهمية النياسين تكمن في كون احد مكوناته وهي النيكوتين اميد يشتق منه مرافقات إنزيمية(**الشكل ٦-٩**) وهي:
أ- نيكوتين أميد أدنين ثنائي النيوكليوتيد (NAD^+).
ب- نيكوتين أميد ادنين ثنائي النيوكليوتيد فوسفات($NADP^+$).



الشكل(٦-٩): نيكوتين أميد أدنين ثنائي النيوكليوتيد (NAD^+) ونيكوتين أميد ادنين ثنائي النيوكليوتيد فوسفات($NADP^+$) الذي يتكون عند دخول مجموعة الفوسفات في موقع رقم ٢ ′ للسكر الرايبوزي.

٥- عندما يدخل بروتون واحد وزوج من الإلكترونات الى حلقة البيريدين لمركب نيكوتين أميد في NAD^+ و$NADP^+$ ممكن أن تعطي إشكال ريزونانس Resonance متعددة اذ توجد شحنة موجبة على ذرة النيتروجين وأن البروتون المطلوب لمعادلة التفاعل عند إزالة أيون الهيدريد (H^-) من المادة الأساس يتحرر في المحلول (**الشكل ٧-٩**):



الشكل(٧-٩): تحول NAD^+ (الشكل المؤكسد) الى NADH (الشكل المختزل) .

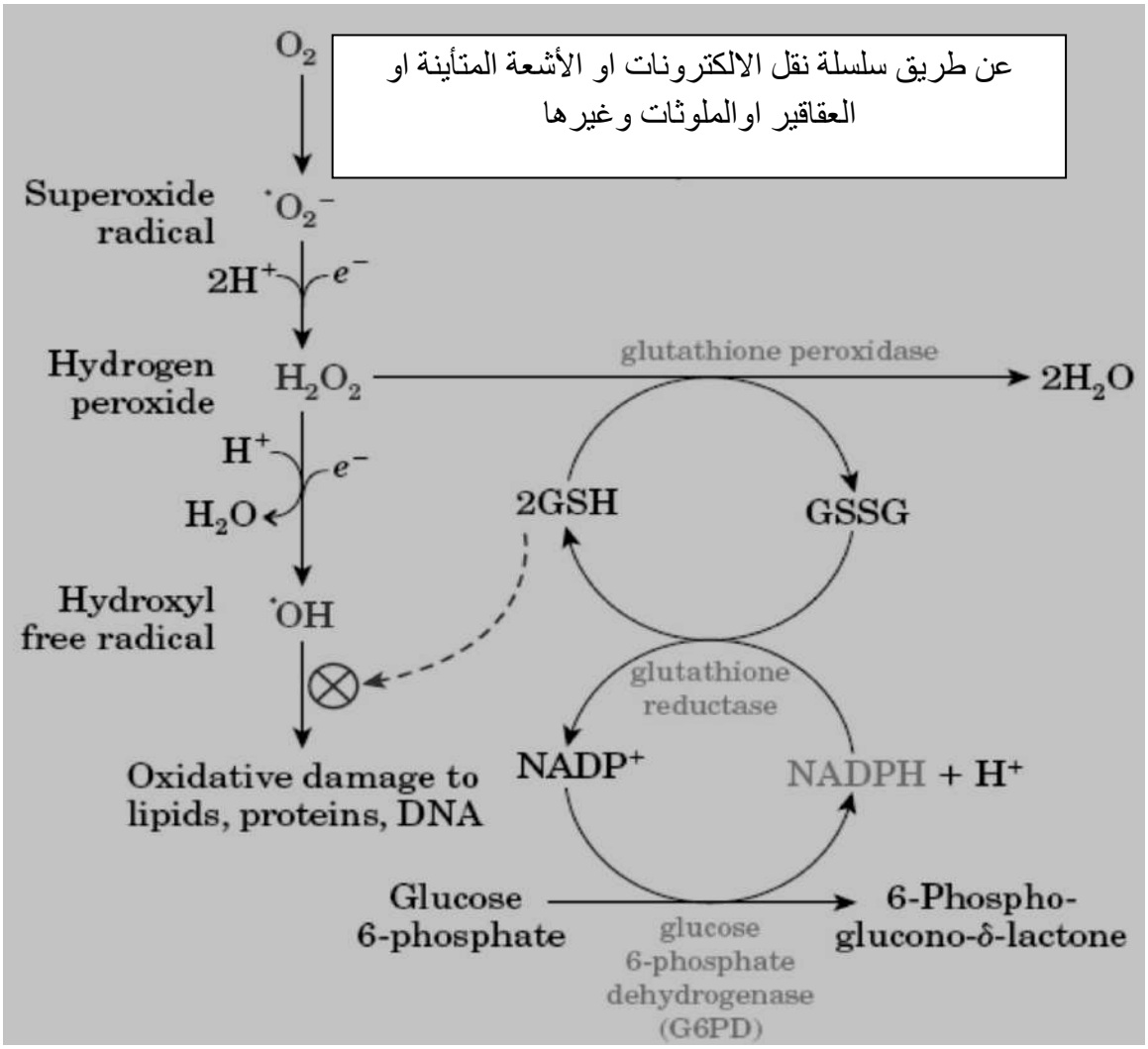
إن هذه المرافقات الإنزيمية من هذا النوع تعرف في بعض الاحيان بالمرافقات البيريدينيةPyridine coenzymes وهي تعمل مرافقات لإنزيمات الأكسدة والاختزال Oxidoreductase والتي يطلق عليها إنزيمات الديهيدروجنيز المرتبطة بالبيريدين Pyridine – linked dehydrogenase.

٦- تشترك كل من NAD^+ و $NADP^+$ في العديد من التفاعلات الأيضية في عمليات أيض الكاربوهيدرات والدهون وتحرير الطاقة. إذ تدخل مرافقات إنزيمية مع إنزيمات الأكسدة والاختزال Oxidoreductase وهناك أكثر من ٢٥٠ إنزيماً يشترك معها **ومن هذه التفاعلات التي تدخل فيها:**

أ- تفاعلات نقل الإلكترونات خلال عملية الأكسدة الحياتية لتحرير الطاقة.

ب- تفاعلات إنزيمات الديهيدروجينيز Dehydrogenases في مسار الكلايكولسيز Glycolysis pathway ودورة كربس Krebs cycle ومسار الفوسفو كلوكونيت Phosphogluconate pathway وتفاعلات أيض الأحماض الأمينية وبناء الستيرويدات والدهون.

جـ- لها دور فعال بمشاركتها كمرافقات لإنزيمات مضادات الأكسدة مثل كلوتاثايون بيروكسديز Glutathione peroxidase وكلوتاثايون ردكتيز Glutathione reductase (GRd) اللذين يعملان على تقليل الأكسدة الحاصلة في الجسم **(الشكل ٨-٩)** من خلال مشاركتهما في تفاعلات إزالة الأصناف الفعالة للأوكسجين Reactive oxygen species (ROS) (مثل سوبر اوكسايد السالب $O_2^{\cdot -}$ وبيروكسيد الهيدروجينH_2O_2 وجذر الهيدروكسيل $^{\cdot}OH$).



الشكل(٨-٩): إزالة المواد المؤكسدة المختلفة بمشاركة المرافق NADPH فضلا عن GSH وغيرها من مضادات الأكسدة.

د- يدخل NAD^+ مصدراً لتكوين ADP-ribose في عملية إدخال جزيئة الرايبوز ADP-ribosylation للبروتينات وفي ميكانيكية ترميم (أصلاح) الـ DNA (DNA Repair).

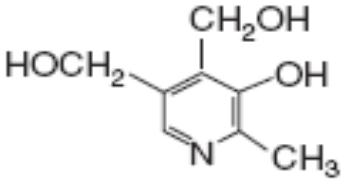
٧- نقص النياسين والتربتوفان يؤدي الى ظهور مرض البلاكرا Pellagra والتي من أعراضه اضطرابات الجهاز العصبي وتشمل القلق والكآبة و الخمول وفقدان الذاكرة وغيرها فضلاً عن أعراض في الجهاز الهضمي والفم واللسان وإسهال وتقيؤ.

٨- زيادة النياسين (خاصة عند تناول كميات كبيرة لعلاج ضد زيادة الدهون في الدم) يمكن أن تؤدي إلى اتساع في الأوعية الدموية واحمرارها وأخذ كميات من حامض النيكوتينك أو النيكوتين أميد أكثر من 500 ملغم/ 100 مل يمكن تؤدي إلى تحطم الكبد.

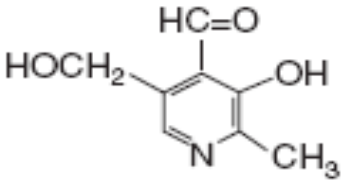
فيتامين B_6

الصفات العامة:

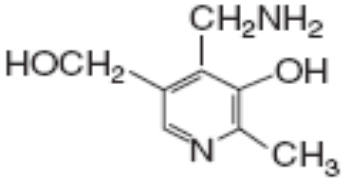
١- يشمل فيتامين B_6 ثلاثة مركبات مختلفة بتركيبها الكيميائي ومتشابهة بفعاليتها كفيتامين وهي مشتقة من حلقة البيريدين وهي البيريدوكسول Pyridoxol (حاوي على مجموعة الكحول في تركيبه) (ويعرف أيضاً بالبيريدوكسين Pyridoxine) والبيريدوكسال Pyridoxal (حاوي على مجموعة ألديهايد في تركيبه) والبيريدوكسامين Pyridoxamine (الحاوي على مجموعة الأمين الأولى في تركيبه) **(الشكل ٩-٩).**



Pyridoxine



Pyridoxal



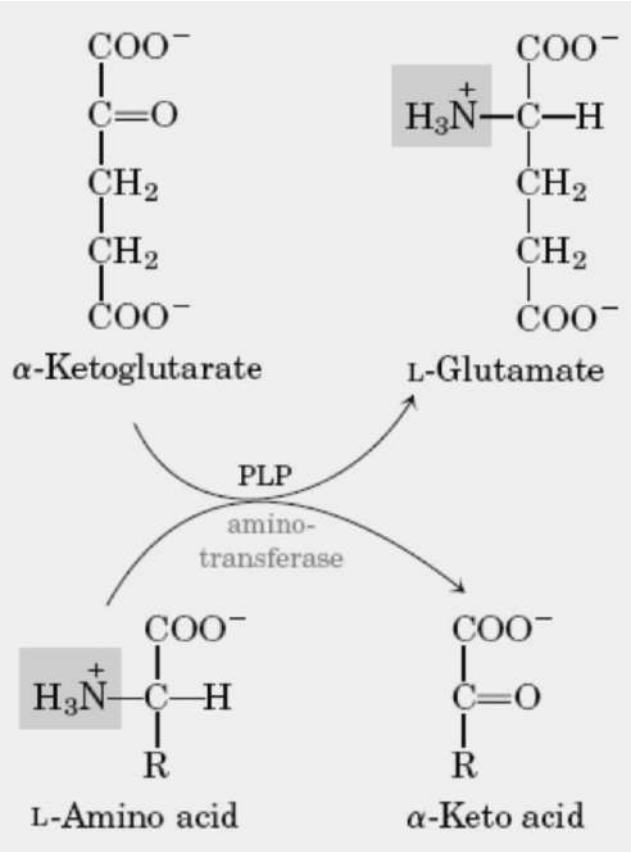
Pyridoxamine

الشكل(٩-٩): البيريدوكسينPyridoxine والبيريدوكسال Pyridoxal والبيريدوكسامين Pyridoxamine.

إن ~ 80% من مجموع فيتامين B_6 في الجسم موجود على شكل فوسفات البيريدوكسال Pyridoxal phosphate (PLP) في العضلات اذ يرتبط بشكل رئيس مع إنزيم كلايكوجين فوسفوريليز Glycogen phosphorylase.

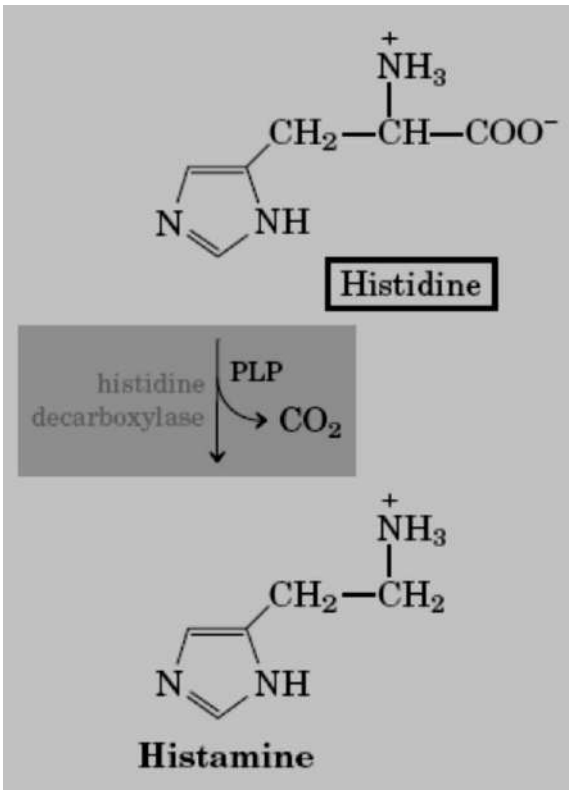
٢- إن الشكلين الفعالين الموجودين في الجسم هما بيريدوكسال 5- فوسفات والبيريدوكسامين 5- فوسفات **(الشكل ٩-٩)**، ويعدان من العوامل المرافقة للإنزيم Coenzyme واللذين يدخلان في العديد من التفاعلات الأيضية للأحماض الأمينية **ومن هذه التفاعلات:**

أ- تفاعل إنتقال مجموعة الأمين Transamination من الأحماض الأمينية إلى الأحماض الكيتونية **(الشكل ١٠-٩)** بمشاركته مع إنزيمات ترانس امينيز Transaminase (والتي تسمى ايضاً امينوترانسفريس Aminotransferase) مثل إنزيمات كلوتاميت بايروفيت ترانس أمينيز Glutamate pyruvate transaminase(GPT) وكلوتاميت أوكزاليت ترانس أمينيز Glutamate oxalate transaminase (GOT).



الشكل(١٠-٩): تفاعل إنتقال مجموعة الأمين من الأحماض الأمينية إلى الأحماض الكيتونية.

ب- تفاعلات حذف مجموعة الكاربوكسيل Decarboxylation من الأحماض الأمينية فيتحول الحامض الاميني إلى أمين كما في تحول الهستيدين إلى الهستامين بفعل إنزيم هستيدين ديكاربوكسليز Histidine decarboxylase **كما في المعادلة الاتية:**



جـ- تفاعلات الأيزومرات المجسامية الرايسيمية Racemization التي تتضمن تحويل الأحماض الأمينية من الشكل D إلى الشكل L وبالعكس.
د- مرافق إنزيمي مع إنزيم كلايكوجين فوسفوريليز الذي يعمل على فسفرة أصرة ألفا (1-4) منتجاً كلوكوز ١- فوسفات في نهايات سلسلة الكلايكوجين أثناء تقويض الكلايكوجين في مسار الكلايكوجينولسيس Glycogenolysis pathway (مسار تقويض الكلايكوجين).
٣- يكون فيتامين B_6 على شكل بلورات عديمة اللون تنصهر عند 205 °م وتذوب في الماء بسهولة وهو ثابت في الحرارة الاعتيادية وفي المحاليل الحامضية والقاعدية ولكنه يتأكسد بالعوامل المؤكسدة مثل الأحماض المعدنية وبيروكسيد الهيدروجين.
٤- للفيتامين B_6 **دور مهم في:**
أ- تكوين الهيم وهي المواد النيتروجينية المكونة للهيموكلوبين ثم تكوين كريات الدم الحمر.
ب- بناء الانسجة البروتينية والعضلات والعظام.
جـ- يشارك مع حامض الفوليك وفيتامين B_{12} في تقليل الإصابة بالأمراض القلبية.
د- يحفز الجهاز المناعي ويقلل الإصابة بهشاشة العظام.
هـ- له دور في عملية فعل الهرمون.

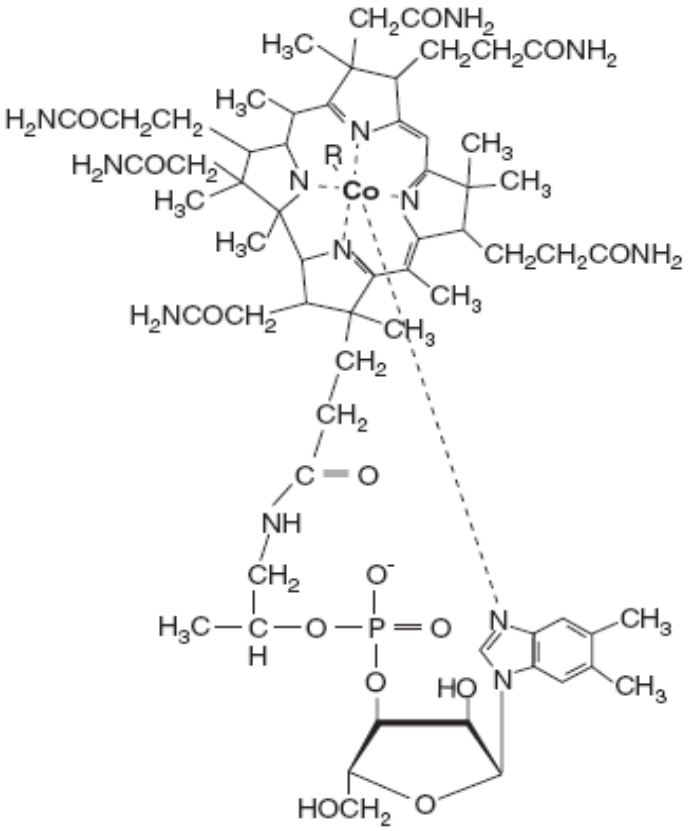
٥- نقصه يؤدي الى اضطرابات في العمليات الأيضية للأحماض الأمينية ونتيجة لذلك ظهور التهابات جلدية وبقع حول العين والأنف والفم واضطرابات في الجهاز العصبي المركزي وضعف عام وفقر دم.
٦- زيادة تناول كميات عالية من فيتامين B_6 (أكثر من 200 ملغم/ 100 مل) يمكن أن تؤدي الى اختلال في وظائف الجهاز العصبي.

٧- يكثر الفيتامين في اللحوم والكبد وفي الحبوب والبقوليات ولاسيما القشرة الخارجية وفضلا عن ذلك في الخضراوات كالجزر والسلق ويوجد أيضاً في البيض والحليب.

فيتامين B_{12} (سيانوكوبالامين Cyanocobalamine)

الصفات العامة:

١- إن فيتامين B_{12} معقد إذ يتكون من عدد من المركبات منها مركب حلقي يدعى الكورين Corrin وهو شبيه بالبورفرين في وسطه عنصر الكوبلت الذي يختلف عن غيره من الفيتامينات الاخرى بهذه الصفة، وعندما ترتبط مجموعة السيانيد (CN) بعنصر الكوبلت في الفيتامين فالناتج يكون سيانوكوبال أمين Cyanocobalamine **(الشكل ١١-٩)** وعندما تحل مجموعة الهيدروكسيل محل السيانيد يدعى بالهيدروكسي كوبال أمين وعندما تحل النترات محل السيانيد يدعى نترات كوبال امين.



الشكل(١١-٩): فيتامين B_{12}.

٢- يكون الفيتامين على شكل بلورات حمراء اللون قابلة للذوبان في الماء والكحول ويكون حساساً للضوء وغير ثابت في المحاليل القاعدية والحامضية.

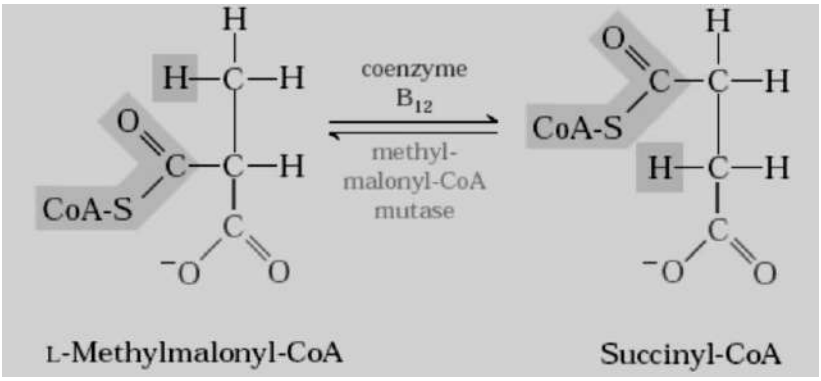
٣- من أهم مصادر الفيتامين هو الكبد والكليتان ويوجد أيضاً في البيض والحليب ومنتجاته كالجبن. ولا يتواجد في النباتات إذ لا يمكن تصنيعه فيها.

٤- **من وظائف الفيتامين:**

أ- للفيتامين دور مهم في تكوين ونضج الخلايا وبصورة خاصة خلايا نخاع العظام وخلايا الجهاز الهضمي المتجددة من خلال مشاركته كمرافق إنزيمي في تكوين القواعد النيتروجينية مع حامض الفوليك.

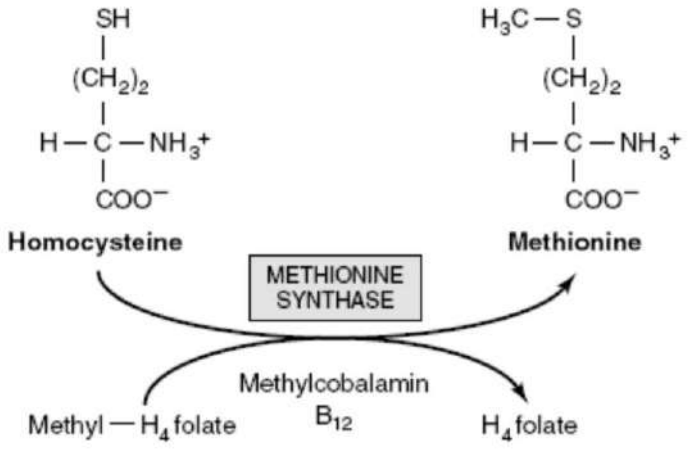
ب- يشترك فيتامين B_{12} مرافقاً إنزيمياً مع عدد من الإنزيمات التي تدخل في التفاعلات المتضمنة انتقال ذرة كاربون Transmethylation، **إذ يدخل مرافقاً إنزيمياً مع العديد من الإنزيمات منها:**

إنزيم مثيل مالونيل CoA ميوتيز Methyl malonyl CoA mutase (**لاحظ الشكل أدناه**) وإنزيم دايول ديهيدريز Diol dehydrase وإنزيم ليوسين أمينوميوتيز Leucine amiomutase وإنزيم مثيونين سنثيز Methionine synthase.



الشكل(١٢-٩): تفاعل تحول L-مثيل مالونيل CoA (L-Methyl malonyl-CoA) الى سكسنايل CoA (Succinyl-CoA) بفعل إنزيم مثيل مالونيل CoA ميوتيز Methyl malonyl-CoA mutase وبوجود فيتامين B_{12}.

جـ- يشترك فيتامين B_{12} مع حامض رابع هيدروفوليك (THF) وفيتامين B_6 في تقليل من مستوى الحامض الاميني الهوموسستين بتحوله الى المثيونين بفعل إنزيم مثيونين سنثيز Methioine synthase (**لاحظ الشكل ١٣-٩**)، اذ ان زيادة الهوموسستين يؤدي إلى زيادة الكرب ألتأكسدي Oxidative stress من خلال زيادة تحطم خلايا الأنسجة المبطنة للأوعية الدموية وحدوث حالات تصلب الشرايين وأمراض القلب.



الشكل(١٣-٩): معادلة تكوين المثيونين Methionine من الهوموسستين Homocysteine.

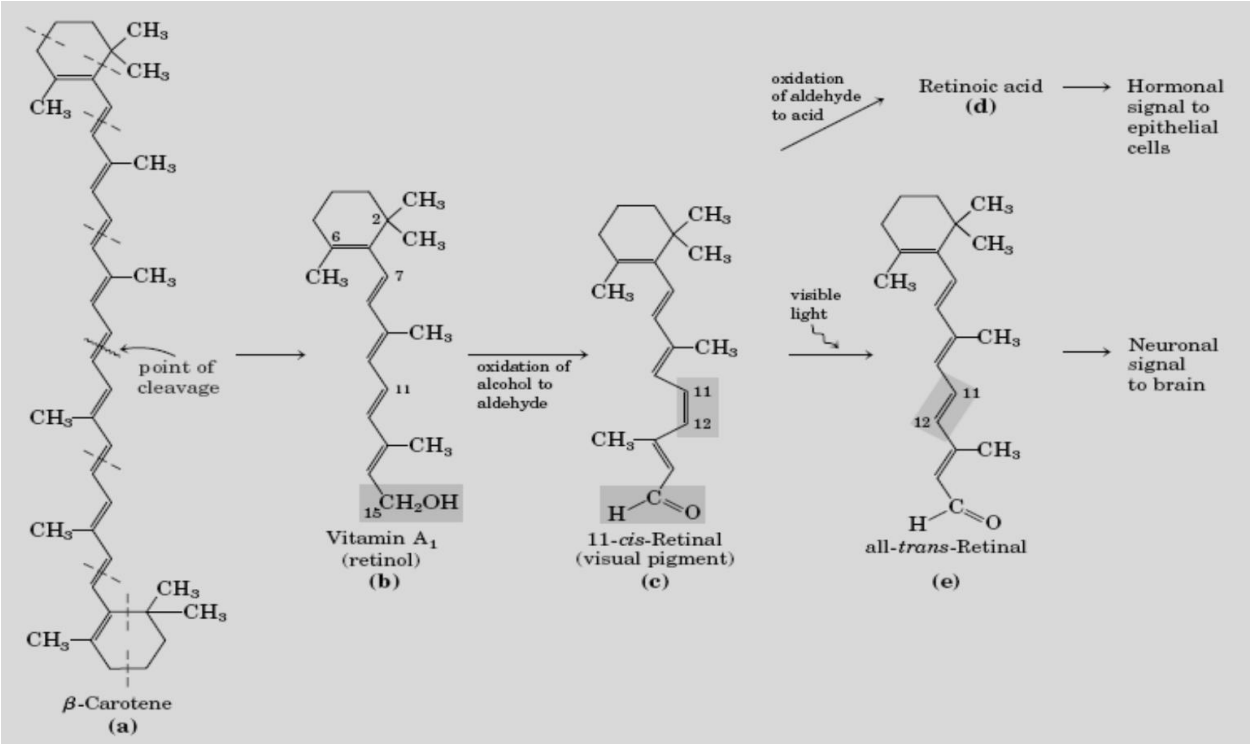
5- نقص الفيتامين قد يعود لعدم وجود العامل الداخلي بسبب تلف خلايا المعدة نتيجة لقرحة أو العمليات الجراحية التي تجري للمعدة او قد يكون السبب نتيجة الإصابة بالديدان المعوية أو استعمال أدوية أو تناول الألياف بكميات كبيرة مما يؤدي طرحه مع البراز وعدم امتصاصه، ومن **أعراض نقص الفيتامين** ظهور مرض فقر الدم الخبيث Pernicious anemia يصاحب هذا المرض أعراض أخرى منها اضطرابات عصبية وانحلال في النخاع ألشوكي وضعف العضلات واضطرابات الجهاز الهضمي.

الفيتامينات الذائبة في الدهون

تبنى جميع الفيتامينات الذائبة في الدهون(A، E، D، K) من مركب الأيزوبرينويد.

فيتامين A

يتكون فيتامين A من بيتا- كاروتين وذلك بانشطار سلسلة الأيزوبرين في منتصفها بوجود إنزيم ثنائى أوكسجينيز Dioxgenase الذي بوساطته تتكون جزيئتان من الريتنال Retinal **(الشكل ٢١-٩)** والذي يمكن اختزال مجموعة الألديهايد فيه متحولاً إلى Retinol الذي يعرف أيضاً بفيتامين A الكحولي.



الشكل (٢١-٩): (a) انقسام بيتا – كاروتين β-Carotene .(b) تكوين الريتونول Retinol. (c) ١١ - سيز- ريتينال 11-cis Retinal (d) حامض الرتينويك Retinoic acid . (e) ترانس- ريتينال all-trans Retinal.

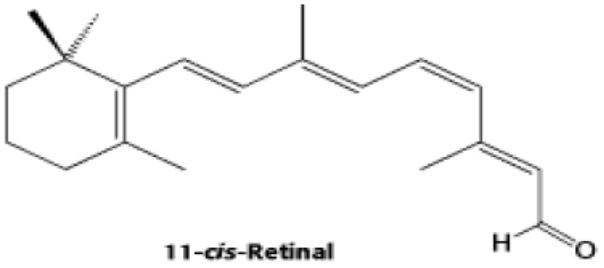
الصفات العامة:

١- إن مصادر جميع أنواع فيتامين A هي بعض الأصباغ النباتية وهذه الأصباغ تعرف بالأصباغ الكاروتينويدية Carotenoid pigments وتكثر في الجزر وكذلك في الحليب والبيض والكبد ويتواجد في المصادر الحيوانية على شكل ريتينول Retinol.

٢- للفيتامين عدة وظائف مهمة منها المحافظة على سلامة الأنسجة الظهارية Epithelial tissue وفي غيابه تتحول الأنسجة الظهارية إلى متقرنة وجافة وبالتالي يمكن ان تحدث لها حالات مرضية مختلفة.

٣- لفيتامين A دور في الرؤيا اذ يعد الرتينال مادة ملونة للصبغة الضوئية رودوبسين Rhodopsin الذي هو عبارة عن بروتين حساس للضوء ناتج عن إتحاد بروتين دهني يدعى أوبسين Opsin مع الرتينال.

أن فعل الضوء القادم إلى العين هو تحويل الرتينال من نوع سيز cis في الموقع ١١ إلى ترانس trans ونتيجة لذلك فإن الخلايا الضوئية المستقبلة في العين تستقطب الضوء وتبدأ بأرسال الرسالة الضوئية إلى الدماغ.



11-*cis*-Retinal

4- فيتامين A محفز للتناسل ومهم في عملية النمو. إذ أثبتت البحوث إن لفيتامين A دوراً مهماً في تكوين النطف وتنظيم الدورة الشهرية عند الإناث وكذلك تثبيت الجنين في الرحم.

١- يحافظ على الجلد صحياً.

٦- يدخل في وظائف العظام وخلايا الدم الحمر وله وظائف مناعية، ففي العظام قد يكون الفيتامين A دور في عملية انقسام الخلايا وتكوينها ودور في العمليات الحيوية والفسيولوجية. ويشارك أيضاً في الجهاز المناعي من خلال دخوله في تكوين الكاربوهيدرات المخاطية المكونة للمخاط Mucous والموجودة في القنوات الجسمية المختلفة والتي تستخدم للحماية من البكتريا والإصابة بالمكروبات والمواد الضارة اذ تمنع نفاذها إلى الجسم ومن هذه الكاربوهيدرات المخاطية هي المخاطية المكونة للدموع التي تكون ضرورية لصحة القرنية Cornea وبقائها بشكل طبيعي.

٧- يدخل في تكوين عدد من الهورمونات مثل هورمونات الكورتيزون Cortisone وبالتالي فأن له دور في عمليات أيض الدهون والكاربوهيدرات والبروتينات والصوديوم والبوتاسيوم.

٨- ينظم عملية التعبير الجيني Gene expression وتمايز الخلايا Cell differentiation من خلال حامض الريتيونيك Retionic acid الذي يرتبط مع مستقبلات نووية Nuclear receptors وهذا الارتباط هو المسؤول عن عملية تنظيم استنساخ المعلومات من الجينات في DNA.

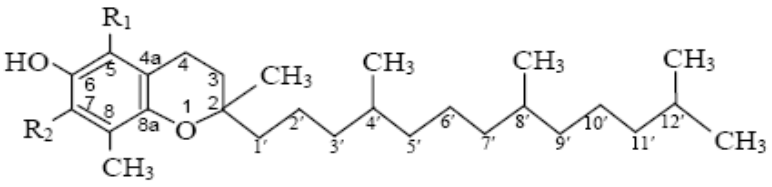
٩- نقصانه يسبب العديد من الحالات غير الطبيعية منها: العشو الليلي Night blindness (يعني عدم قابلية المصاب من الرؤيا في الظلام والضوء الخافت)، واضطرابات في الجلد ونمو غير طبيعي ونقصان في عمليات التناسل بسبب ضعف في تكوين الحيوانات المنوية فضلاً عن فقدان الشهية وجفاف العين Xerophthalmia بسبب قلة إفراز الدمع. أما زيادته قد تؤدي إلى تحطيم الأنسجة المختلفة وضعف عام في الشهية Anorexia ومن أعراض زيادته على الجهاز العصبي المركزي هي الصداع وغيرها من الأعراض. أما في الكبد فيحدث تضخم الكبد مع زيادة نسبة الدهون فيه Hyperlipidemia وفي العظام تحدث زيادة تثخين العظام وخاصة الطويلة مع زيادة نسبة الكالسيوم في الدم Hypercalcemia وفي الجلد يحصل جفاف له.

فيتامين E

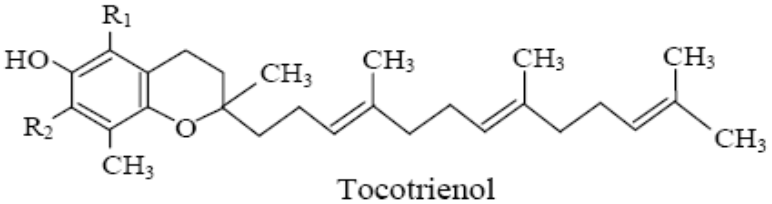
الصفات العامة:

١- يمثل فيتامين E مجموعة من المركبات الكحولية المشتقة من مركب الفايتول Phytol والتي تتكون أساساً من حلقة الكرومان وتدعى هذه المركبات بالتوكوفيرولات Tocopherols

توجد منها في الطبيعة نحو 8 أشكال (أو أبيميرات Epimers) وهي ألفا وبيتا وكاما ودلتا وايتا وزيتا وابسيلون وإيتا و 8- مثيل التوكوترينول 8-Methyl tocotrienol وتتكون الأشكال الأربعة الأولى على شكل توكول Tocol تختلف فيها سلسلة الكاربون الجانبية (R_4) عن الأشكال الأربع الثانية التي تكون على شكل توكوترابنول Tocotrienol **(الشكل ٢٢-٩ والجدول ٢-٩).**



Tocopherol



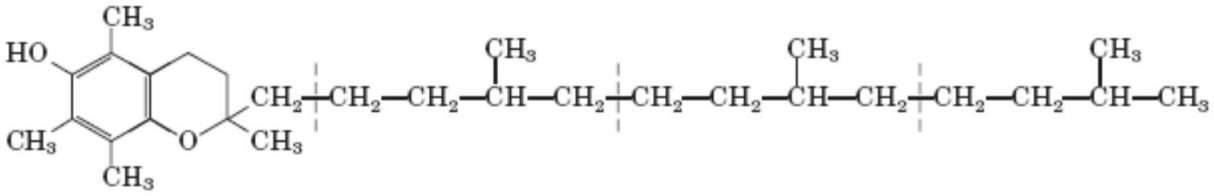
Tocotrienol

الشكل(22-٩): التوكوفيرول Tocopherol وتوكوترابنول Tocotrienol.

الجدول(٢-٩): بعض مشتقات التوكوفيرول والتوكوترابنول.

Trivial Name	Chemical Name	R_1	R_2
α-Tocopherol/Tocotrienol	5,7,8-Trimethyltocopherol/tocotrienol	CH_3	CH_3
β-Tocopherol/Tocotrienol	5,8-Dimethyltocopherol/tocotrienol	CH_3	H
γ-Tocopherol/Tocotrienol	7,8-Dimethyltocopherol/tocotrienol	H	CH_3
δ-Tocopherol/Tocotrienol	8-Methyltocopherol/tocotrienol	H	H

غير أن أكثر هذه الاشكال وفرة واهمية هي ألفا- توكوفيرول **(الشكل ٢٣-٩)** اذ عملية تصنيع DL – α – توكوفيرول في المختبر لايؤدي نفس الفعالية البايولوجية لجزيئة D- α - توكوفيرول المتكونة في الجسم.



الشكل(٢٣-٩): ألفا- توكوفيرول.

١- يوجد فيتامين E بكثرة في الخضراوات والبيض والكبد والفستق والجوز والرز وبذور القطن.
٢- يتم امتصاص الفيتامين عن طريق الأمعاء الدقيقة وينتقل عن طريق الدم إلى الكبد بوساطة الكيلومايكرون Chylomicron ومن ثم بعدها ينقل إلى الأنسجة المختلفة.
٤- تكون التوكوفيرولات على شكل سائل أصفر زيتي لزج يذوب بالمذيبات العضوية ولا يتأثر بالحوامض أو القواعد أو الحرارة العالية لكنه سريع التأكسد وبهذا يعد مانعاً للأكسدة Antioxidants.
٥- **يمتلك فيتامين E عدة وظائف مهمة منها:**
أ- فعالاً مانع للأكسدة Antioxidants إذ يعمل على حماية الأغشية البلازمية للخلية والغلاف الخارجي للبروتينات الدهنية (المذيلات في الدم Chylomicron, LDL, HDL, IDL, VLDL) من التحطم نتيجة بيروكسيدة الدهون في الدهون المفسفرة للغشاء البلازمي إذ أن عمل فيتامين E (وخاصةً الشكل ألفا- توكوفيرول من أشكال الفيتامين) منع استمرار بيروكسيدة الدهون Lipid peroxidation في سلسلة التفاعل للدهون المتعددة الأواصر المزدوجة وبالتالي إيقافها ومنع حصول تأكسدها وتحولها إلى مركبات غير طبيعية في الجسم.
ب- دخوله مانعاً للأكسدة **(لاحظ الشكل ٢٠-٩ السابق)** وبالتالي يمنع حدوث فقدان الهيموكلوبين من كريات الدم الحمر Hemolysis (الناتج عن طريق أكسدة وتحطم جدارها) (الشكل فضلاً عن كونه يمنع تمزق الأغشية للأطفال حديثي الولادة غير مكتملي النمو Premature infants مثل أغشية الأوعية الدموية والقصبات الهوائية والعين.
جـ- يقوي القابلية الجنسية والمحافظة على الحيوانات المنوية لدى الذكور.
د- له فوائد صحية أخرى من خلال خفض الإصابة بالأمراض المزمنة (كأمراض القلب المختلفة والسرطانات ومرض السكري) من خلال فعاليته كمضاد للأكسدة.
هـ- يوقف عملية تكوين مادة نايتروزامين Nitrosamine الخطرة والتي تدخل بوصفها أحد المواد المسرطنة في الجسم والقادمة عن طريق الغذاء بعد تفاعلات عدة.
٦- **نقصه يسبب:**
أ- ضمور العضلات وخاصةً الهيكلية.
ب- فقر الدم ألتحللي Hemolytic anemia نتيجة تمزق كريات الدم الحمر بعملية بيروكسيدة الدهن.
جـ- العقم في بعض الحالات.
د- الاستسقاء Edema والتي تظهر في الأطفال غير مكتملي النمو Premature والاطفال المصابين بمرض الكواشيوركور Kwashiorkor.

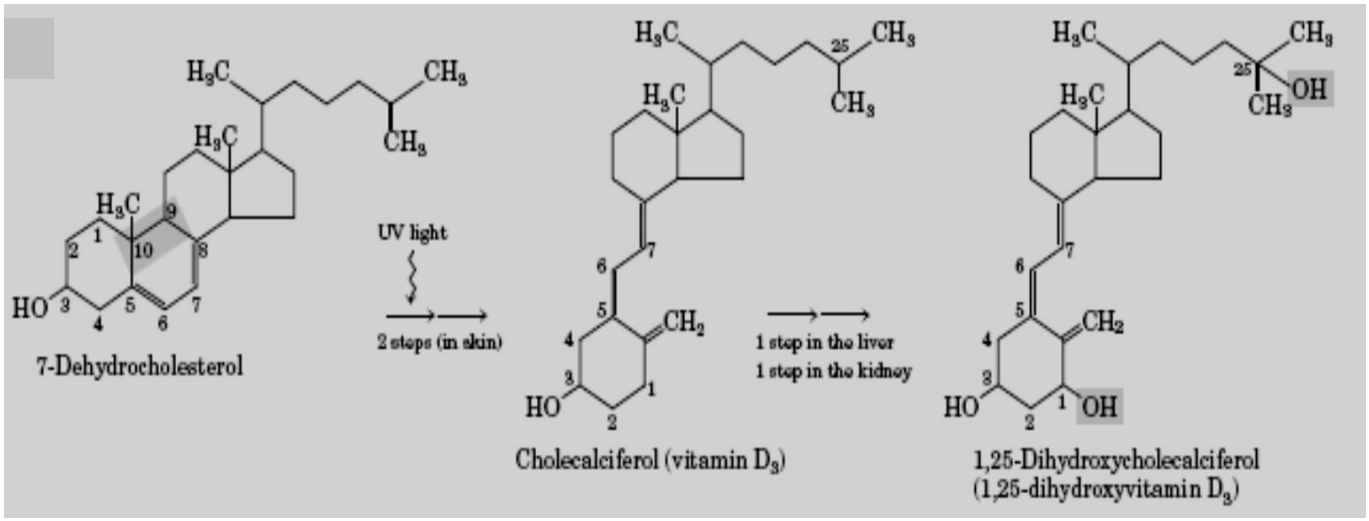
هـ- اضطرابات في الخلايا العصبية العضلية Neuromuscular.

فيتامين D

فيتامين D يدعى أحياناً بفيتامين الشمس Solar vitamin وذلك لان تكوينه يشمل تعرض مركبات السيترول للأشعة الفوق البنفسجية القادمة من الشمس.

الصفات العامة:

١- يمثل فيتامين D مجموعة من المركبات عبارة عن ستيرولات يبلغ عددها نحو ١١ مركباً. أهمها فيتامين D_2 أو الكالسفيرول Calciferol والذي يتكون من الاركوستيرول Ergosterol (الذي يكون مصدره نباتي) ويتكون بتعرضه للأشعة فوق البنفسجية ، وفيتامين D_3 أو المسمى الكول كالسيفيرول Cholecalciferol والذي يتكون من تعرض الستيرول الحيواني المشتق من الكوليسيترول وهو 7- ديهيدروكوليسيترول 7-Dehydrocholesterol للأشعة فوق البنفسجية **(الشكل ٢٤-٩).**



الشكل (٢٤-٩): تفاعلات تحول ٧- ديهيدروكوليسيترول Dehydrocholesterol -7 الى ١،٢٥- ثنائي هيدروكسي الكول كالسيفيرول 1,25- Dihydroxycholecalciferol.

٢- فيتامين D يكثر في زيت الحوت والزبد والكبد وصفار البيض.

٣- يمتص فيتامين D مع المواد الدهنية عن طريق الأمعاء الدقيقة ومن ثم ينتقل إلى الكبد اذ يخزن فيه لوقت الحاجة. وعند الحاجة للفيتامين يتحول في الكبد الى مركب 25-هيدروكسي كول كالسيفيرول 25-Dihydroxycholcalciferol ومن الكبد ينتقل إلى الكليتين فيتحول فيها إلى 1 , 25 - ثنائي هيدروكسي كول كالسيفرول الذي يتأثر تكوينه في الكليتين بوجود هورمون الغدة فوق الدرقية Parathyroid والذي يحفز تكوينه.

٤- **فيتامين D له عدة وظائف:**

أ- أهم وظائفه يحافظ على توازن الكالسيوم في الجسم إذ يعد ضرورياً لامتصاص الكالسيوم والفسفور. فعند انخفاض الكالسيوم يفرز هورمون فوق الدرقية الذي يحفز الكليتين على أنتاج مركب 25,1 – ثنائي هيدروكسي كول كالسيفرول وهذا بدوره يعمل على زيادة

امتصاص الكالسيوم من الامعاء الدقيقة عن طريق زيادة تكوين البروتين الحامل للكالسيوم.

ب- له دور في تحفيز إنزيم الفوسفاتيز القاعدي Alkaline phosphatase وبالتالي زيادة تحرر الفوسفات من مركباته داخل الجسم ومن ثم مشاركته مع الكالسيوم لتكوين العظام والوظائف الأخرى.

جـ- دوره في تحفيز الكلية على إعادة امتصاص الفوسفات مرة ثانية إلى الدم.

د- له دور في إعادة امتصاص الأحماض الأمينية من خلال الكليتين.

٥- **نقصه يؤدي إلى**: الإصابة بمرض الكساح Rickets أو مرض لين العظام Ostemalacia (كساح الكبار) وعادة تصاب فيه النساء الحوامل اللاتي يكنّ بحاجة إلى كميات من الكالسيوم بصورة خاصة.

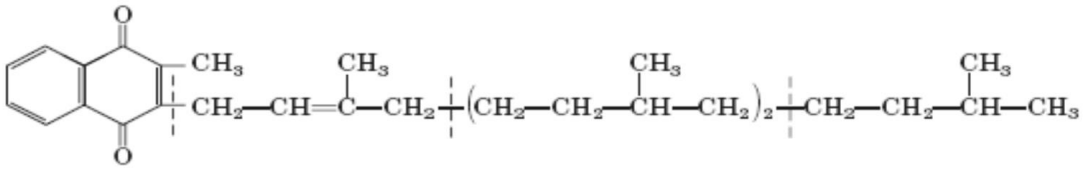
٦-**زيادته تؤدي إلى**: زيادة الكالسيوم في الدم Hypercalcemia وبالتالي زيادة كثافة العظام وترسب الكالسيوم في خلايا الكليتين وقنواتها فضلاً عن حصول ترسيب الكالسيوم في المفاصل والشرايين وزيادة تقلص الأوعية الدموية وزيادة ضغط الدم Hypertension.

فيتامين K

جاءت تسمية فيتامين K نسبة إلى فيتامين التخثر Koagulatiou vitamin (بالالمانية) عند اكتشافه لأول مرة ونسبة لهذه الكلمة سمى Vitamin K.

الصفات العامة:

١- تعود مجموعة فيتامين K إلى الكوينونات Quinines والتي يوجد فيها على هيئة ثلاثة أشكال وهي فيتامين K_1 ويدعى بالفايلوكوينون Phylloquinone أو الفايتومينودايون Phytomenodione (وهو الشكل الموجود في النباتات) وفيتامين K_2 ويدعى أيضاً Menaquinone (الناتج من البكتريا في الأمعاء الغليظة) وفيتامين K_3 المينادايون Menadione الذي لديه فعالية ضعف فعالية فيتامين K_1 وK_2 **(الشكل ٢٥-٩).**



الشكل (٢٥-٩): فيتامين K.

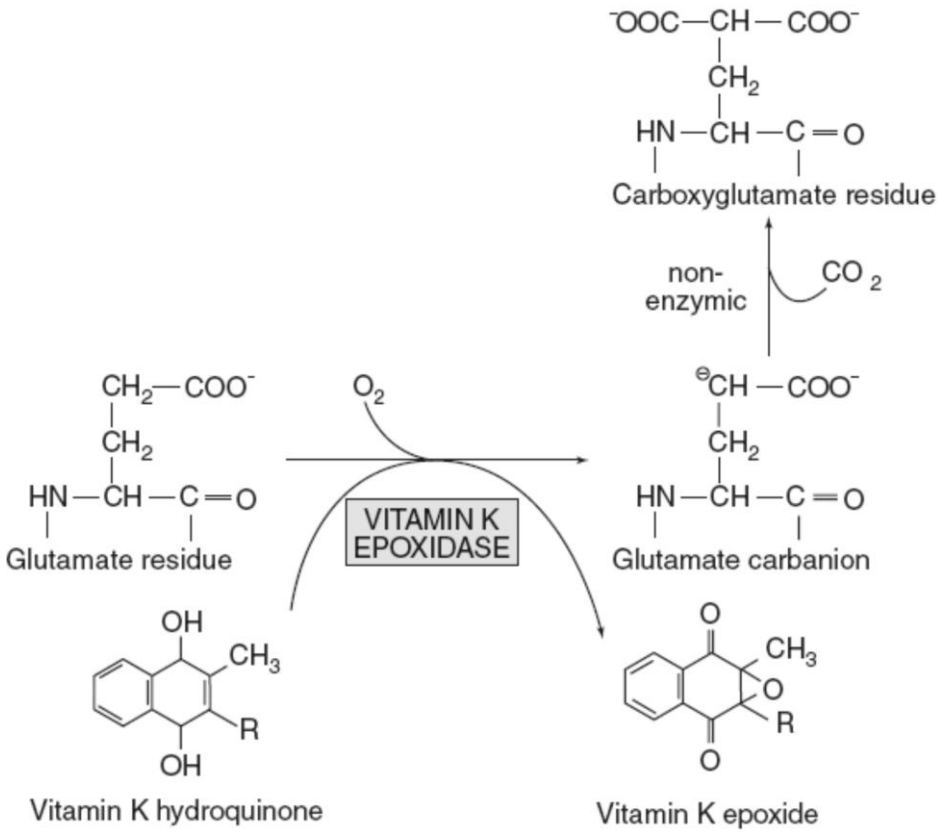
٢- يوجد فيتامين K بكثرة في الخضروات ذات الأوراق الخضر الداكنة كالسبانخ والسلق والخس ويوجد أيضاً في الطماطة والكبد وكميات قليلة في الحليب والبيض.

٣- يمتص فيتامين K مع المواد الدهنية كمثل باقي الفيتامينات الذائبة في الدهون وينتقل بالكيلومايكرون إلى الكبد إذ يخزن هناك والكميات المخزونة في الكبد لا تكون كبيرة وتكفي لفترة قصيرة.

٤- **فيتامين K له عدة وظائف**:

أ- له وظيفة رئيسية في عملية تخثر الدم من خلال المحافظة على مستويات طبيعية لعدد من عوامل التخثر وهي(X , IX , VII, II) وعوامل التخثر هي عبارة عن بروتينات تبنى

في الكبد وتكون خاملة Inactive وفيتامين K يشترك في تحويلها إلى الأشكال الفعالة بإدخال مجموعة Carboxylation CO_2 إلى المجموعة الجانبية في حامض الكلوتاميك المتصلة بهذه البروتينات وتحويلها الى كاما- كاربوكسي حامض الكلوتاميك الذي يتحد فيما بعد مع الكالسيوم ليشارك في عملية التخثر **(الشكل ٢٦-٩)**.



الشكل(٢٦-٩): تحويل حامض الكلوتاميك الى كاما- كاربوكسي حامض الكلوتاميك بمشاركة فيتامين K.

ب- لفيتامين K دور في عملية الفسفرة التأكسدية في المايتوكوندريا.
جـ- له دور في المحافظة على العظام من خلال مشاركته في تكوين بروتين العظام.

٥- **نقصه يؤدي إلى:**
أ- بطؤ تخثر الدم وحدوث النزيف (مرض الرعاف) Hemorrhage disease.
ب- زيادة حالة هشاشة العظام.

٦- **زيادته** وخصوصاً حديثي الولادة يؤدي إلى فقر الدم ألتحللي Hemolytic anemia.