

الكيمياء الحيوية Biochemistry

المصادر

1. دلالي ، باسل كامل (1986). أساسيات الكيمياء الحيوية. جامعة الموصل ، العراق.
2. الكيلاني ، قيس عطوان و عيسى عبد عبد الحسين (1986). الكيمياء الحيوية. جامعة البصرة ، العراق.
3. الأعرس ، عبد المنعم محمود (2012). أسس الكيمياء الحيوية . المكتبة الأكاديمية ، جمهورية مصر العربية.
4. Ahern, Rajagopal, and Tan (2018). Biochemistry free for all. Verison 1.3, electronic book.

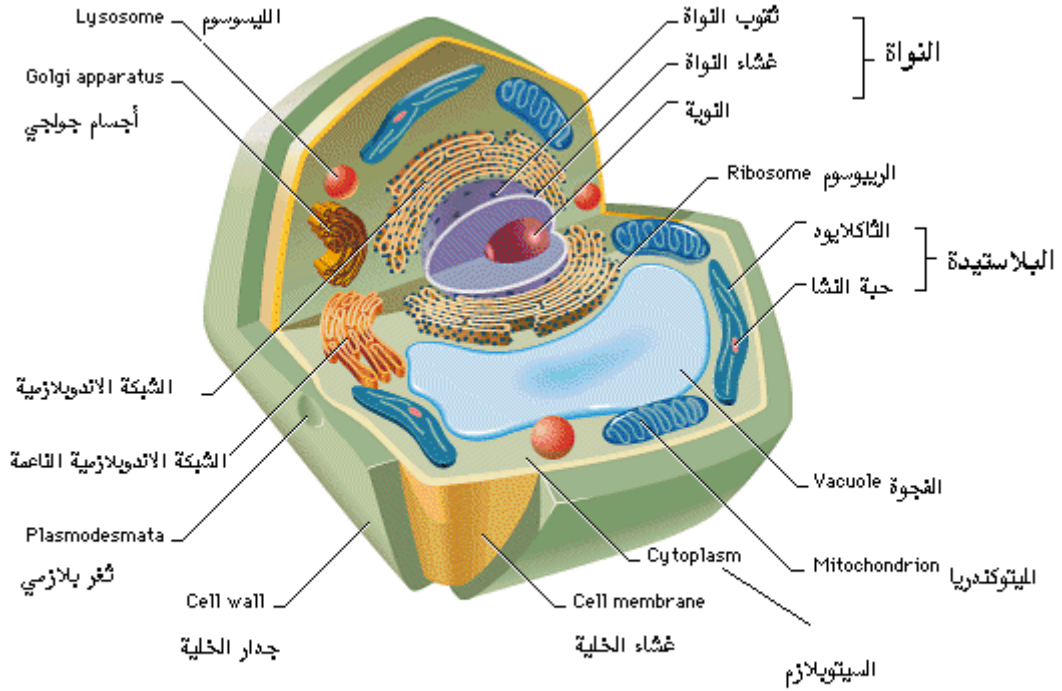
الكيمياء الحيوية هي دراسة المكونات الكيميائية للمادة الحية والتغيرات الكيميائية التي تحدث لها خلال عمليات الحياة المختلفة. ومن الممكن تعريف الكيمياء الحيوية بشكل أشمل بأنها تحليل كيميائي للظواهر البيولوجية.

تتميز الكيمياء الحيوية كعلم مستقل بحداتها نسبيا وفي الحقيقة فإن اصطلاح الكيمياء الحيوية لم يظهر للوجود الا في سنة 1903 بواسطة الكيميائي الألماني كارل نيوبيرغ Carl Neuberg ومع ذلك فقد ارتبطت الكثير من الظواهر البيوكيميائية ومنذ القدم بالكيمياء العضوية والفسلجة والبيولوجي والطب وقد تقدمت الدراسات التي أدت الى ظهور الكيمياء الحيوية كعلم له شأنه في الحياة اليومية من قبل العديد من العلماء البارزين ابتداء من القرن السابع عشر لتستقر الآن جنباً الى جنب مع العلوم الأخرى التي تهتم بالتطور العلمي في العالم. وتهتم الكيمياء الحيوية بدراسة الجوانب التالية

1. دراسة التركيب الكيميائي لمكونات الخلايا من حيث النوع والكم
2. دراسة التحولات الغذائية ونتاج الطاقة
3. دراسة المركبات البيوكيميائية ووظائفها في الجسم وعلاقتها بالامراض
4. دراسة التفاعلات الحيوية ودور الانزيمات فيها

الخلية النباتية Plant cell

يتكون جسم الكائن الحي من وحدة أو أكثر من الوحدات الدقيقة التي تعرف بالخلايا Cells ويسمى الكائن الحي وحيد الخلية اذا تكون من خلية واحدة وعديد الخلايا اذا تكون من اكثر من خلية واحدة. واول من اكتشف التركيب الخلوي للنبات هو الانكليزي روبرت هوك عام 1665. ولم يتطور التركيب التفصيلي للخلية الا بعد اختراع المجهر. ويمكن تعريف الخلية بانها وحدة البناء والوظيفة لجسم الكائن الحي. وهناك نوعان من الخلايا هما **الخلايا حقيقية النواة Eukaryotic cells** والتي تمتاز بوجود النواة كما تمتاز بوجود الميتاكوندريا والبلاستيدات الخضراء والنوع الثاني يعرف **بالخلايا بدائية النواة Prokaryotic cells** والتي تكون أصغر من الأولى ولا تحتوي على نواة حقيقية.



شكل (1) تركيب الخلية النباتية

تتركب الخلية النباتية من جزئين رئيسيين هما

أولاً- الجدار الخلوي The cell wall

ويؤدي الوظائف التالية :-

وظائف الجدار الخلوي:

- 1- تمثل الجدر الخلوية حدودا بين الخلايا ذات الوظائف المختلفة.
- 2- يحيط بالبروتوبلاست ويحميه ويحدد شكل الخلية واتساعها.
- 3- يتكون من الجدر الخلوية معا هيكلا مترابطا يحفظ الشكل العام للنبات وأعضائه.
- 4- قد تصل بعض الجدر الخلوية إلى أعلى درجات التخصص بحيث يصبح عليها وحدها القيام بوظيفة الخلية مثل الأوعية والقصبية وهي الوحدات الناقلة للماء والألياف وهي التي تقوم بتدعيم جسم النبات وكلاهما عبارة عن جدر خلوية فقط.
- 5- تقوم جدر بعض الخلايا بدور هام في عمليات مثل امتصاص الماء النتح وانتفاخ الثغور.

ويتركب الجدار الخلوي من :

1. الصفيحة الوسطى Middle lamella

تقع بين الجدر الابتدائية للخلايا المتجاورة وتمثل المادة البينية التي تربط معا الجدارين الابتدائيين المتجاورين ولهذا فإن إذابتها بالمواد الكيميائية يؤدي إلى تفكك خلايا الأنسجة. تتركب الصفيحة الوسطى بصفة أساسية من بكتات الكالسيوم والمغنسيوم وتظهر في حالة غير متبلورة تحت المجهر الإلكتروني وواضحة نظراً لاختلاف موادها عن بقية أجزاء الجدار ولكن عندما تتلكنن فإنه يصعب التمييز بينها وبين أجزاء الجدار الأخرى وخاصة عندما تتلجنن هذه الأجزاء، وتسمى عندئذ بالصفيحة المركبة Compound middle lamella وتشمل الصفيحة الوسطى والجدار الابتدائي وجزء من الجدار الثانوي، وتوجد الصفائح المركبة في القصبية والألياف

2. الجدار الابتدائي Primary wall

عبارة عن طبقة واحدة تتركب أساسا من السليلوز وتختلط به مقادير متفاوتة من أشباه السليلوز والمواد البكتينية ويختلف سمكه من خلية إلى أخرى حسب ترسب مادة السليلوز. الكثير من أنواع الخلايا يكون لها جدار ابتدائي فقط. و يوصف بأنه مرن. وترجع المرونة التي يتميز بها الجدار الابتدائي إلى احتوائه على كمية كبيرة من السليلوز غير المتبلور وإلى المسامات الشعرية الدقيقة التي تكون ممثلة

بالمركبات البكتينية المحبة للماء. وهو الجدار الأساسي والأول الذي يتكون أثناء نمو الخلية . إذا أخذ بعين الاعتبار أن الصفيحة الوسطى عبارة عن مواد بكتية وليست جداراً متميزاً .

3. الجدار الثانوي Secondary wall

يلى الجدار الابتدائي في ترتيب الظهور حيث يقوم البروتوبلاست بترسيبه على السطح الداخلي، للجدار الابتدائي في بعض أنواع الخلايا، عندما تصل الخلية لحجمها الكامل ويتحدد شكلها. الخلايا التي يتكون لها جدار ثانوي تكون وظيفتها أساسا التقوية والتدعيم ومن ثم فإنها تكون عادة خالية من البروتوبلاست. ورغم هذا فإن بعض الخلايا مثل بارنكيما الخشب هي خلايا حية رغم احتوائها على جدار ثانوي .

النقر Pits

أثناء تكون الجدر الخلوية لا يتم ترسيب مواد الجدار بانتظام بل تترك مساحات محدودة منخفضة عن باقي سطح الجدار . بها عدة ثقوب دقيقة تمر خلالها في الخلايا الحية شرائط سايتوبلازمية تعرف بالروابط البلازمية Plasmodesmata تصل سايتوبلازم الخلايا المتجاورة . ومن أنواع النقر

1. حقول النقر الابتدائية Primary pit fields

تظهر حقول النقر الابتدائية أثناء تكون الجدار الابتدائي فوق الصفيحة الوسطى اذ ان تكون الجدار لا يتم بنفس السمك في جميع أجزائه بل تترك مساحات رقيقة تعرف بحقول النقر الابتدائية ويطلق عليها البعض مبادئ النقر Primordial pits وتمر الروابط البلازمية من خلال حقول النقر الابتدائي وتوجد حقول النقر الابتدائية في الخلايا ذات الجدر الابتدائية مثل الخلايا البارنكيميية والانابيب المنخلية والخلايا المرافقة .

2 . النقر البسيطة Simple pits

أثناء تكون الجدار الثانوي فوق الجدار الابتدائي تترك مساحات صغيرة متناثرة بدون تغلظ تسمى النقر البسيطة التي تتكون عادتاً في منطقة حقول النقر الابتدائية فتتكون نقرة أو أكثر فوق الحقل الواحد وغالبا ما يقابل كل نقرة في خلية نقرة اخرى في الخلية المجاورة وتسمى النقرتان المتجاورتان باسم زوج النقر Pit pair ويعرف الجدار الفاصل بين كل نقرتين متجاورتين بغشاء النقرة pit membrane وقد تكون نقرة مقابل مسافة بينية وتسمى النقرة في هذه الحالة بالنقرة العمياء blind pit . وتوجد النقر البسيطة في خلايا البشرة المتغلظة والخلايا البارنكيميية المتغلظة والخلايا السكرنكيميية وبعض الاوعية والقصييات .

3 . النقر المضفوفة Bordered pits

تتميز النقر المضفوفة بحدوث تغلض جزئي في منطقة النقرة وبأن الجدار الثانوي المتكون ينفصل عن الجدار الابتدائي ناميا فوق النقرة بشكل قبة تحيط بغشاء النقرة تاركا فتحة مركزية صغيرة تختلف في شكلها وتعرف بفتحة النقر Pit aperture ويعرف الفراغ الموجود بين غشاء النقرة والجدار الثانوي بتجويف النقرة Pit cavity وفي المخروطيات يحصل علاوة على ماسبق تغلظ غير منفذ للماء في شكل عدسة محدبة الوجهين في منتصف غشاء النقرة يسمى بالسرة torus وقطر السرة اكبر قليلا من قطر فتحة النقرة .

ثانيا - البروتوبلاست protoplast

أما البروتوبلاست فهو كتلة من مادة حية تعرف بالبروتوبلازم وتركيبها الكيميائي معقد غاية التعقيد ويمكن اعتبارها خليطا من البروتينات والمواد الدهنية والماء والاملاح وتدخل في تركيبها عناصر الكربون والهيدروجين والاكسجين والنيروجين والكبريت والفسفور. والبروتوبلازم مادة غروية معقدة لها قوام مثل زلال البيض وتحتوي عدد كبير من الحبيبات التي يمكن اعتبارها مواد غذائية او من نتائج التحول الغذائي كما يضم البروتوبلاست مكونات غير بروتوبلازمية تتمثل بالفجوات العصارية ومواد غير حية مثل النشأ والدهون والبروتين والبلورات

المحتويات الحية للبروتوبلازم

1- الاغشية البلازمية Plasma membranes

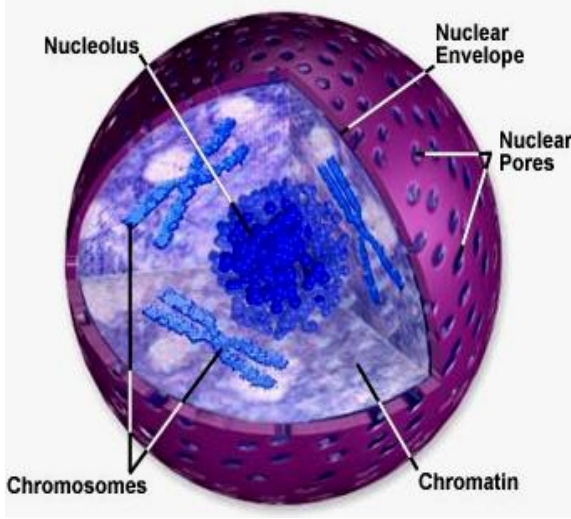
يغلف السايروبلازم من الخرج بغشاء بلازمي خارجي يعرف ب Ectoplast كما يغلف من الداخل بغشاء بلازمي داخلي يعرف ب Tonoplast ويعتقد ان الغشاء البلازمي يتكون من بروتينات واشباه الدهون كما توجد اغشية بلازمية تغلف غالبية عضيات الخلية وتتميز جميعها بالنفاذية الانتخابية بمعنى انها تتميز بقدرتها على نفاذ ايونات المواد الذائبة بنسب متفاوتة.

2. السايروبلازم Cytoplasm

يملا السايروبلازم جميع الفراغ الداخلي للخلايا المولدة ولكنه في الخلايا البالغة يكون طبقة رقيقة تبطن الجدار الخلوي من الداخل وتغلف فجوة مركزية ممثلة بالعصير الخلوي. من خصائص السايروبلازم الحي انه يتحرك في دوران مستمر داخل الخلية من نسبة كبيرة من الماء ويتركب ايضا من مواد كربوهيدراتية

وبروتينيثة واحماض أمينية ودهون ومواد معدنية ويتاثر بالمواد الكيميائية السامة اذ تقتله املاح النحاس والزرنيخ وهم العناصر المعدنية الذائبة هي الكالسيوم والحديد والمغنسيوم والبوتاسيوم والزنك.

3-النواة Nucleus



شكل (2) تركيب النواة

تحتوي الخلية الحية على جسم كروي أو عديسي الشكل يعرف بالنواة وتكون منغمسة في الساييتوبلازم وتتركب من الغشاء النووي والعصير النووي والكروموسومات كما تحتوي على نوية واحدة أو أكثر وتعد الكروموسومات بمثابة المكون الرئيسي للنواة كما تعد النواة بمثابة مستودع تحفظ فيه الكروموسومات وتأخذ شكل شبكة من خيوط دقيقة وتتركب كيميائيا من

بروتينات وبروتينات نووية والتي تتكون من الحامض النووي الذي يعرف ب DNA كما يوجد قليل من حامض نووي آخر يعرف ب RNA وتحمل الكروموسومات الجينات التي تتحكم في سائر ما تقوم به الخلية من عمليات حيوية وتظهر الكروموسومات بوضوح أثناء الانقسام الخلوي ويكون عدد الكروموسومات ثابتا ومميزا لكل نوع من أنواع النبات .

أما النوية فتكون عادة كروية الشكل وتتكون بشكل كبير من البروتينات النووية الحاوية على الحامض النووي RNA وترجع أهميتها الى انها تقوم بدور هام في التحكم بتمثيل المواد البروتينية في الخلية وتحتوي بعض أنواع الخلايا على أعداد مختلفة من النويات .

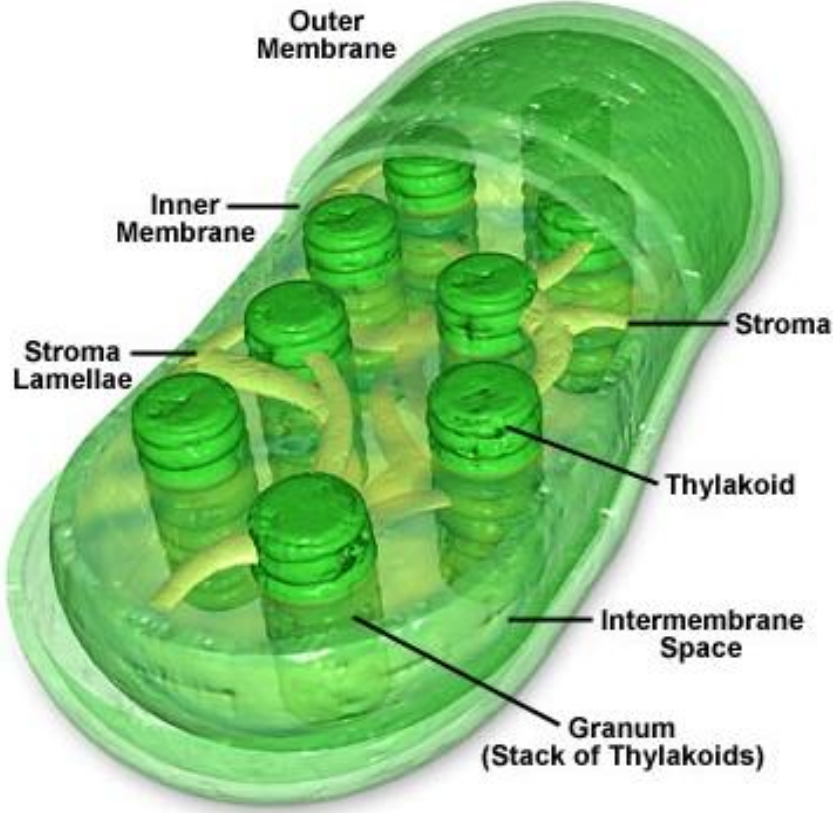
يفصل النواة عن الساييتوبلازم المحيط بها غشاء نووي يتركب من بروتينات ومواد دهنية ويتحكم هذا الغشاء في مرور المواد بين الساييتوبلازم والنواة .وتعتبر النواة بسبب وجود الجينات المركز الذي توجه منه العمليات الحيوية التي يتم تنفيذها في الساييتوبلازم وتوجد صلة وثيقة بين النواة والساييتوبلازم اذ لايمكن لأحدهما ان يعيش بدون الآخر وتعد النواة أهم أجزاء الخلية لأنها تتحكم في الوظائف الحيوية للخلية لذلك فهي موجودة دائما في خلايا القمم النامية ذات النشاط المستمر .

4- البلاستيدات Plastids

هي أجسام بروتوبلازمية توجد منغمسة في الساييتوبلازم وهي في النباتات الراقية صغيرة الحجم منتظمة الشكل تؤدي وظائف هامة وهناك ثلاثة أنواع من البلاستيدات

أ- البلاستيدات الخضر Chloroplast

توجد عادة في الخلايا الحية المعرضة للضوء بالأوراق والسيقان وهي مستودع الصبغة الخضراء المعروفة بالكلوروفيل والتي يعتمد عليها النبات للقيام بوظيفة البناء الضوئي . والبلاستيدات الخضر تكون عادة أكبر حجما وأكثر تعقيدا في الشكل في النباتات الأولية كالحالب منها في النباتات الراقية ففي طحلب الكلاميدوموناس وهو طحلب أخضر وحيد الخلية توجد بلاستيدة واحدة كبيرة تشغل معظم فراغ الخلية وتتخذ شكل كأس مجوف تستقر النواة في تجوفه . أما في النباتات الراقية فالبلاستيدات صغيرة الحجم



شكل (3) تركيب البلاستيدات الخضراء

كثيرة العدد بسيطة الشكل تشبه عدسات محدبة الوجهين .تتمثل الصبغات التي تحتويها البلاستيدات الخضراء بصبغات الكلوروفيل وهي على أنواع أهمها (كلوروفيل أ و كلوروفيل ب) وكذلك صبغة الزانثوفيل وصبغة الكاروتين . وقد أمكن باستخدام المجهر الإلكتروني الكشف عن التراكيب الدقيقة للبلاستيدات الخضراء فوجد ان كل بلاستيدة في النباتات الوعائية تتركب من غشاء مزدوج يحوي بداخله حبيبات دقيقة تعرف بالحشوة Stroma ويتركز الكلوروفيل داخل جسيمات تعرف بالكرانا Grana وهي اسطوانية الشكل ومرتبطة في طبقات تعرف بالصفائح أو الأفراس وكل قرص منها مزدوج ومغلق من الطرفين .

2- البلاستيدات الملونة Chromoplast

وهي أجسام ذات أشكال مختلفة وتختلف ألوانه بين الأصفر والأحمر والبرتقالي ويعزى اللون أساسا الى صبغتي الزانثوفيل والكاروتين وتوجد البلاستيدات الملونة في جذور بعض النباتات كالجزر وبتلات بعض الأزهار .

3- البلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts

توجد في الأجزاء النباتية البعيدة عن الضوء كالأعضاء الأرضية ونخاع الساق فهي موجودة مثلا في الدرنات اذ تقوم بتحويل المواد السكرية الذائبة الى حبيبات نشوية غير قابلة للذوبان وصالحة للاختزان. ويبدأ تكون حبيبات النشا الاختزاني داخل البلاستيدات عديمة اللون ثم تكبر هذه الحبيبات بالتدريج حتى تمتلئ بها البلاستيدات تماما ويتسع جدار البلاستيدة ليتلائم مع الزيادة في الحبيبات . البلاستيدات عديمة اللون صغيرة الحجم توجد منه بلاستيدات نشوية وبلاستيدات زيتية.

5- الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum

تتركب الشبكة الاندوبلازمية من أغشية مزدوجة يوجد بينها فراغ مما يجعلها تبدو شفافة تحت المجهر الالكتروني . وتكون هذه الاغشية كثيرة التشعب وتصل هذه الشبكة ما بين الغشاء النووي وغيره من الاغشية المحيطة بالساييتوبلازم وهي تقوم بدور هام في بناء المواد البروتينية كما يساعد التجويف الذي يتخلل أغشيتها في نقل البروتينات المجهزة بين أجزاء الخلية خاصة من الساييتوبلازم الى النواة والأغشية البلازمية وقد تكون الشبكة الاندوبلازمية ذات سطح أملس أو قد تحتوي على حبيبات دقيقة تعرف بالرايبوسومات .

6- الرايبوسومات Ribosomes

الرايبوسومات هي حبيبات دقيقة للغاية لا يمكن رؤيتها الا بالمجهر الألكتروني وتوجد متصلة بالشبكة الاندوبلازمية ومبعثرة في الساييتوبلازم وداخل بعض أعضاء الخلية لاسيما البلاستيدات

والميتاكوندريا ولكنها لا توجد في النواة . وتعد الرايبوسومات المراكز الرئيسية لبناء البروتينات بالخلية.

7- الميتاكوندريا Mitochondria

توجد في جميع الخلايا النباتية والحيوانية بوجه عام وتكون على هيئة عصا قصيرة أو خيوط دقيقة يتراوح طولها ما بين 0.5 - 2 ميكرون وهي محاطة بغشاء بلازمي مزدوج ويكون الغشاء الخارجي أملس أما الداخلي يحوي على زوائد تعمل على زيادة مساحة السطح الداخلي للميتاكوندريا وتعد الميتاكوندريا من المراكز الهامة التي تتم فيها عملية التنفس .

8- أجسام كولجي Golgi apparatus

سميت نسبة الى مكتشفها وكان سابقا يعتقد وجودها في الخلية الحيوانية فقط الا انه باستخدام المجهر الالكتروني تمكن من مشاهدتها في الخلية النباتية ويعتقد ان وظيفتها ترتبط بافرازات الخلية اذ ترتبط بتكوين الهرمونات والانزيمات في الخلية الحيوانية وتقوم بتكوين جزيئات المواد المعقدة في بعض الخلايا النباتية مثل تكوين بكتات الكالسيوم التي تفرزها خلايا قنسوة الجذر .

الماء Water

تبدأ دراسة الكيمياء الحيوية بدراسة الماء وخواصه وذلك للاعتبارات التالية:-

1- يشكل الماء أعلى نسبة من المكونات الكيميائية للكائنات الحية وتتراوح هذه النسبة بين 60-95 % من الوزن الكلي للخلايا والأنسجة المختلفة.

2-يؤلف الماء الطور المستمر للكائنات الحية اذ يتخلل كل أجزاء الخلية الحية وكل نسيج فيها .

3- ان خواص الماء وكذلك نواتج تأينه التي تشمل أيونات الهيدروجين والهيدروكسيل تؤثر تأثيرا كبيرا في خواص مكونات الخلية كالانزيمات والبروتينات والأحماض النووية والدهون .

الخواص الفيزيائية للماء Physical properties of water

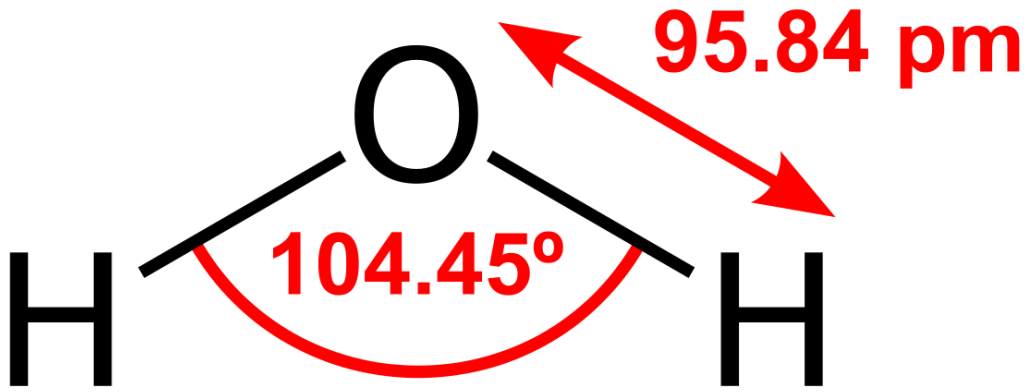
للماء درجات عالية من الغليان والذوبان وكذلك حرارة التبخر مقارنة ببقية السوائل الاعتيادية

الاخري كما موضح في الجدول التالي :-

المادة	حرارة التبخر (سرعة.غم ⁻¹)
الماء	540
الميثانول	263
الأيثانول	204
البروبانول	164
الأسيتون	125
البنزين	94
الكلوروفورم	59

حرارة التبخر : هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1 غم من المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، و تكون هذه الحرارة عالية في الماء، مقارنة بالوسائل الأخرى و الجدول السابق يوضح ذلك تشير هذه الخواص الى وجود قوى جذب قوية تربط جزيئات الماء المتجاورة والتي تعطىها درجة عالية من التماسك الداخلي. وبالرجوع الى الجدول نلاحظ ان درجة حرارة تبخر الماء أكبر من ضعف درجة حرارة تبخر بقية السوائل وهذا يعطينا مؤشر لمقدار الطاقة التي يجب ان تتوفر للتغلب على قوى التماسك بين جزيئات الماء المتجاورة قبل ان تتحول الى الحالة الغازية . والسؤال الذي يطرح نفسه لماذا يظهر الماء هذه الجاذبية القوية لجزيئاته

ان الجواب على هذا السؤال يكمن في تركيب جزيئة الماء ذاتها اذ تشارك كل من ذرتي الهيدروجين في جزيئة الماء بزوج من الالكترونات مع ذرة الأوكسجين ويكون الشكل الهندسي لهذه المشاركة على شكل حرف V

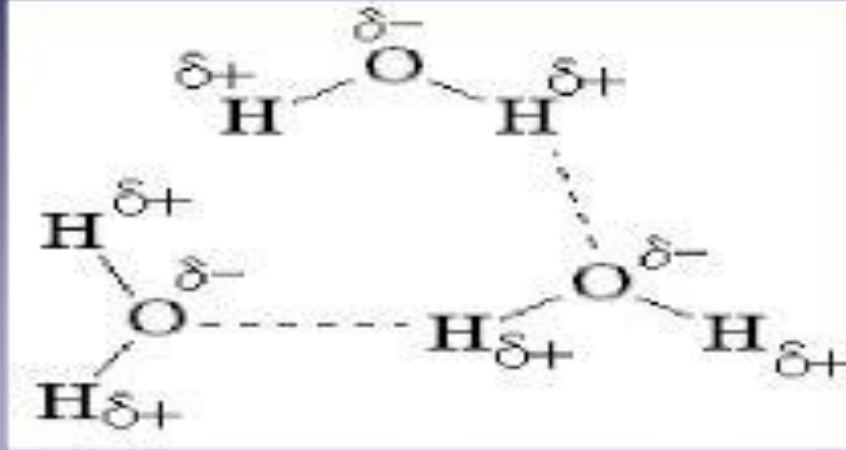


ان الميل القوي الذي تظهره ذرة الأوكسجين لسحب الالكترونات يؤدي الى شحنها بشحنة موضعية سالبة في قمة الحرف V مما يؤدي الى شحن ذرات الهيدروجين بشحنة موضعية موجبة . وبالرغم من ان جزيئات الماء متعادلة الشحنة كهربائيا (عدد الشحنات الموجبة يساوي عدد الشحنات السالبة) الا ان شحناتها الموجبة والسالبة تكون متباعدة عن بعضها البعض مما يؤدي الى ان تكون جزيئة الماء ثنائية الأقطاب كهربائيا electrical dipole وهذه هي الحقيقة المسؤولة الى حد كبير عن قوى التجاذب الموجودة بين جزيئات الماء . اضافة الى ذلك فان هنالك تجاذب ستاتيكي كهربائي قوي بين الشحنة الموضعية السالبة لذرة الاوكسجين لجزيئة ماء وبين الشحنة الموضعية الموجبة لذرة هيدروجين عائدة لجزيئة ماء مجاورة . ويطلق على هذا النوع من التجاذب بالآصرة الهيدروجينية hydrogen bond .

وبسبب ترتيب الالكترونات حول ذرة الاوكسجين بشكل رباعي الجوانب tetrahedral عليه من الناحية النظرية ترتبط كل جزيئة ماء بأربعة أواصر هيدروجينية مع جزيئات الماء المجاورة . وفي الماء السائل الذي يكون على درجة حرارة الغرفة الاعتيادية فمن المعتقد ان كل جزيئة ماء ترتبط ب 3.4 جزيئات ماء بواسطة الأواصر الهيدروجينية . أما في الثلج فان كل جزيئة ماء ترتبط بواسطة الأواصر الهيدروجينية بأربعة جزيئات ماء لتعطي تركيبا صلبا نوعا ما يدعى التركيب الشبكي lattice structure

وعلى العكس مما نجد في جزيئة الماء فانه لا توجد قوى جذب بين جزيئات السوائل الاخرى لذلك تكون الطاقة الضرورية لفصل جزيئات البنزين عن بعضها البعض قليلة

ترابط جزيئات الماء



صفات الأواصر الهيدروجينية properties of hydrogen bonds

تعد الأواصر الهيدروجينية ضعيفة جدا مقارنة مع الأواصر التساهمية covalent bonds حيث تقدر طاقة الأواصر الهيدروجينية الموجودة في مول واحد من الماء ب 4.5 كيلوسعرة ·مول⁻¹ مقارنة ب 110 كيلوسعرة ·مول⁻¹ لاصرة زوج الإلكترونات H-O الموجودة في جزيئة الماء والمقصود بطاقة الاصرة هي القوة اللازمة لكسر الاصرة وبالرغم من ذلك فان للاواصر الهيدروجينية قوة كافية لتعطي الماء تماسكه الداخلي علما ان نصف عمر الاصرة الهيدروجينية يقدر بأقل من جزء من المليون من الثانية اذ تتكون وتتكسر الأواصر الهيدروجينية بهذا الوقت القصير. ولهذا السبب نجد ان الماء سائل غير لزج .

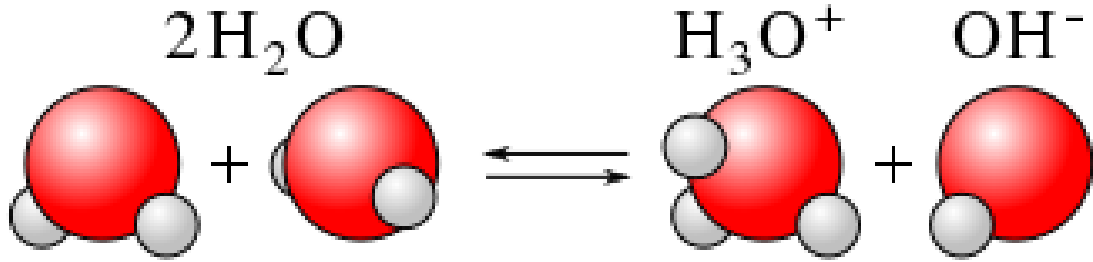
Solvent properties of water الخواص المذيبة للماء

للماء خواص مذيبة تفوق معظم السوائل الأخرى ويعزى سبب ذلك أساساً إلى طبيعته القطبية الثنائية إذ تذوب في الماء معظم الأملاح المتبلورة بسهولة لكنها قد تكون عديمة الذوبان في السوائل اللاقطبية كالبنزين والكلوروفورم ومن المعلوم أن تماسك التركيب الشبكي لكلوريد الصوديوم هو نتيجة الجذب الستاتيكي الكهربائي القوي جداً بين الأيونات المتناوبة السالبة والموجبة وعند إذابة هذه البلورات يجب الاستعانة بكمية كافية من الطاقة لفصل هذه الأيونات عن بعضها البعض. إن عملية إذابة بلورات كلوريد الصوديوم بالماء هو المحصلة النهائية للجذب بين الأقطاب الثنائية للماء وأيونات الصوديوم والكلور وينتج عن ذلك أيونات صوديوم وأيونات كلور ممزوجة بالماء وثابتة جداً وهذه الثباتية على درجة تفوق قابلية أيونات الصوديوم وأيونات الكلور لجذب بعضهما البعض مرة أخرى. يذوب الماء الكثير من المركبات العضوية البسيطة والتي تحتوي على مجاميع الكربوكسيل والمجاميع الأمينية والتي تتأين وتتفاعل مع الماء.

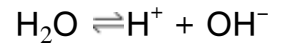
ويذوب الماء بسهولة صنف آخر من المواد العضوية والتي تحتوي على مجموعة وظيفية قطبية مثل السكريات والكحولات البسيطة والألديهيدات والكتونات. إن سبب ذوبان هذه المركبات في الماء يعود إلى ميل جزيئات الماء لتكوين أواصر هيدروجينية مع المجاميع الوظيفية القطبية الموجودة في هذه المركبات مثل مجاميع الهيدروكسيل الموجودة في السكريات والكحولات ومجموعة الكربونيل في الألديهيدات والكتونات. ويوجد صنف ثالث من المواد التي تنتشت *amphipathic compounds* بالماء والتي تسمى بالمركبات الأمفياثيكية *amphipathic compounds* والمحتوية على مجاميع محبة للماء *hydrophilic groups* ومجاميع أخرى كارهة للماء *hydrophobic groups* مثال ذلك هو ملح الصوديوم لحامض الأوليك وهو أحد أنواع الصابون.

تأين الماء **water ionization**

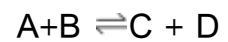
يعد الماء سائل قليل التأين . ومن المعروف ان الأصرة بين الهيدروجين والأوكسجين في جزيئة الماء هي أصرة تساهمية غير أيونية covalent bond وبأمكان ذرة الهيدروجين في جزيئة الماء ان تغادر ذرة الأوكسجين لترتبط بذرة الأوكسجين لجزيئة ماء مجاورة لتكون أيون الهيدرونيوم (H_3O^+) وأيون الهيدروكسيل OH^- كما في التفاعل التالي



يتأين الماء كالاتي



وكما نلاحظ فان التفاعل عكسي وبالامكان حساب ثابت التعادل لاي تفاعل كيميائي اذا عرفت تراكيز المواد الداخلة والخارجة من التفاعل فلو اخذنا التفاعل العام



بالامكان اشتقاق ثابت التعادل بالاستفادة من قانون فعل الكتلة فلو فرضنا ان سرعة التفاعل من اليسار الى اليمين كانت V_1 وهي تتناسب مع التراكيز الفعالة للمواد الداخلة في التفاعل

$$V_1 = K_1 (\text{A})(\text{B})$$

حيث K_1 عبارة عن ثابت وتشير الاقواس الى التراكيز الفعالة وكذلك فان سرعة التفاعل من

اليمين الى اليسار V_2

$$V_2 = K_2 (C)(D)$$

ويمثل K_2 ثابت ولما كانت نقطة التعادل تعرف بأنها النقطة التي لا تحدث عندها تغيرات في التركيز وان سرعة التفاعل في الاتجاهين تكون متساوية عليه فان

$$K_1 (A)(B) = K_2 (C)(D)$$

$$k_1 \quad (C)(D)$$

----- = -----

$$k_2 \quad (A)(B)$$

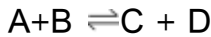
وبالاستعاضة عن k_1 و k_2 بثابت جديد يطلق عليه ثابت التعادل equilibrium constant ويختصر K_{eq}

$$(C)(D)$$

$$K_{eq} = \text{-----}$$

$$(A)(B)$$

ان اصطلاح التركيز الفعال effective concentration تشير الى التراكيز الحقيقية للمواد الداخلة في التفاعل والتي تكون عادة اقل من تركيز مول واحد ويستعمل في الكيمياء الحيوية اصطلاح تراكيز مولية بدلا من تراكيز فعالة في حساب ثابت التفاعل عليه

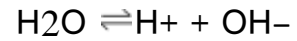


$$[C] [D]$$

$$K_{eq} = \text{-----}$$

$$[A] [B]$$

حيث تشير الاقواس الى التراكيز المولية وان ثابت التعادل يحسب على اساس التراكيز المولية وبالرجوع الى معادلة تاين الماء



$$[H^+] [OH^-]$$

$$K_{eq} = \text{-----}$$

$$[H_2O]$$

لقد وجد ان K_{eq} على درجة حرارة 25 يساوي 1.8×10^{-16} وبما ان عدد الاوزان الجزيئية الموجود في لتر واحد من الماء يساوي 55.5 مول

$$(1.8 \times 10^{-16}) (55.5) = [H^+] [OH^-]$$

$$1.01 \times 10^{-14} =$$

$$K_w = 1.01 \times 10^{-14}$$

عبارة عن ناتج تايين الماء وفي الماء تكون تراكيز ايون الهيدروجين وايون الهيدروكسيل متساوية
وقيمة كل واحد عبارة عن 1.00×10^{-7} مول

$$K_w = 1 \times 10^{-14} = [1 \times 10^{-7}] [1 \times 10^{-7}]$$

مقياس الأس الهيدروجيني

يعرف الأس الهيدروجيني بأنه اللوغارتم السالب لتركيز أيونات الهيدروجين

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = -\log [H^+]$$

وفي محلول متعادل على درجة حرارة 25 مئوية يكون تركيز ايونات الهيدروجين 1×10^{-7}
لذلك

$$pH = \log \frac{1}{1 \times 10^{-7}}$$

$$pH = -\log [1 \times 10^{-7}]$$

$$pH = 7$$

وبالرجوع الى المعادلة $[H^+] [OH^-] = 1 \times 10^{-14}$ وبأخذ اللوغارتم السالب لكل طرف نتضح

$$pH + pOH = 14 \text{ وهي العلاقة بين } pH \text{ و } pOH$$

الكاربوهيدرات Carbohydrates

للكاربوهيدرات أربع وظائف مهمة للكائن الحي

1. مصدر طاقة خلال عملية الاحتراق
2. مصدر ذرات كاربون لتخليق مكونات الخلية الأخرى
3. مخزن رئيسي للطاقة الكيماوية
4. لها وظائف تركيبية للخلايا والأنسجة اذ تدخل السكريات في تركيب جدار الخلية النباتية على هيئة سيليلوز وكذلك تشارك السكريات او الكاربوهيدرات في تكوين مركب معقد والذي يعد المكون الرئيسي لجدار الخلية البكتيرية

تعرف الكربوهيدرات بأنها الديهايدات او كيتونات محتوية على عدد من المجاميع الهيدروكسيلية او مشتقاتها ويدخل ضمن هذا التعريف ايضا كل مركب ينتج هذه المواد عند تحلله وبصورة عامة فان الكربوهيدرات عبارة عن مواد صلبة بيضاء اللون قليلة الذوبان في المذيبات العضوية لكنها تذوب في الماء عدا بعض السكريات المتعددة.

يرمز للكربوهيدرات بالرمز $(CH_2O)_n$ وقيمة n مساوية للعدد 3 فاكثر

تصنف الكربوهيدرات (السكريات) :-

1. السكريات الأحادية Monosaccharides

وهي المركبات التي لايمكن تحليلها الى صورة أبسط اذ تسمى ايضا بالسكريات البسيطة مثل الكلوكوز والفركتوز

2. السكريات المعدودة Oligosaccharides

وهي المركبات التي تحتوي على عدد من السكريات الاحادية يتراوح بين 2-10 ويمكن ان تصنف الى أجزاء اعتمادا على ما تحتويه من جزيئات سكريات أحادية. فتسمى المركبات التي تحتوي على جزيئين من السكر الأحادي بالسكريات الثنائية مثل السكروز وتسمى بالسكريات الثلاثية اذا احتوت على ثلاثة جزيئات من السكر البسيط.

3. السكريات المتعددة Polysaccharides

وهي المركبات التي تحتوي على مايزيد عن 10 جزيئات من السكريات الأحادية مثل النشأ والسيليلوز.

ويمكن أن تصنف السكريات مختبريا الى صنفين أساسيين اعتمادا على قابليتها الاختزالية فهي أما ان تكون سكريات مختزلة مثل الكلوكوز والفركتوز والمالتوز أو غير مختزلة مثل السكروز والسيليلوز والكلايكوجين

السكريات الأحادية Monosaccharides

تصنف السكريات الاحادية اعتمادا على عدد ذرات الكربون التي تحتويها وكما يلي

أ. السكر الأحادي ثلاثي الكربون - تريوز Triose

ب. السكر الأحادي رباعي الكربون - تتروز Tetrose

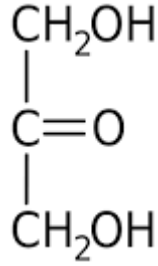
ج. السكر الأحادي خماسي الكربون - بنتوز Pentose

د. السكر الأحادي سداسي الكربون - هكسوز Hexose

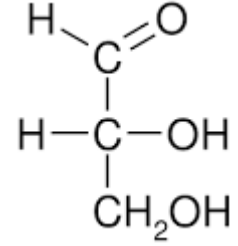
هـ. السكر الأحادي سباعي الكربون - هبتوز Heptose

اذ يعني المقطع ose ان هذا المركب من الكربوهيدرات ومع ذلك فان هناك طريقة اخرى لتصنيف السكريات الاحادية اعتمادا على مجموعة الكربونيل التي تحويها فاذا كانت من

الألديهيد يسمى المركب aldose وان كانت من الكيتون يسمى ketose الا ان الطريقتين تعتبران قاصرتين اذ لايتضمن التصنيف الاول حقيقة كون المركب من الالديهيد او الكيتون كما لاتوجد أية اشارة في التصنيف الثاني تدل على عدد ذرات الكربون في المركب لذلك يتم دمج التصنيفان في ترتيب اخر يتضمن طبيعة المركب وعدد ذرات الكربون فيه. فالمركب aldopentose مثلا يعني انه من الألديهيد ويحتوي 5 ذرات كاربون بينما يعني المصطلح ketohexose ان المركب سداسي الكاربون ومن الكيتونات. ان أبسط انواع السكريات في الطبيعة هما الكليسيرالديهيد glyceraldehyde والأسيتون ثنائي الهيدروكسيل dihydroxyacetone ويحتوي كل منهما على ثلاث ذرات كاربون.



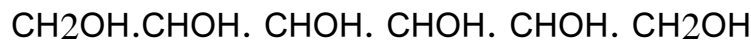
dihydroxyacetone



glyceraldehyde

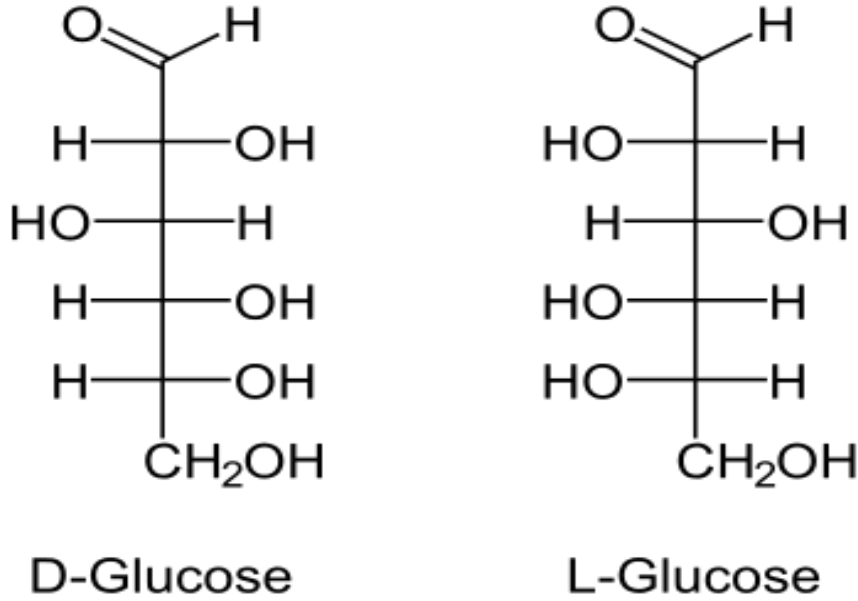
الآيسومرات الفراغية (التشابه الفراغي) stereoisomers

تحتوي العديد من السكريات الأحادية على نفس العدد من ذرات الكربون والهيدروجين والأوكسجين ونفس المجاميع سواء كانت هيدروكسيلية أو كاربونيلية لكنها تختلف في كثير من الخواص والصفات. فالصيغة العامة $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ مثلا تمثل 16 نوعا مختلفا من السكريات البسيطة على الرغم من احتوائها على نفس الصيغة العامة



وقد امكن تفسير هذه الحالة اعتمادا على الاختلاف الحاصل نتيجة ترتيب هذه المجاميع في الفراغ. تتحد الأيسومرات الفراغية اعتمادا على عدد ذرات الكاربون غير المتناسقة في المركب ويقصد بذرة الكاربون غير المتناسقة بأنها الذرة التي ترتبط بأربع ذرات او مجاميع مختلفة ولما كان سكر الكلوكوز يحتوي اربع ذرات غير متناسقة (غير المتماثلة) فان العدد الكلي لأيسومراته يساوي 16 حسب المعادلة $S = 2^n$ وبالتالي $S = 2^4 = 16$

ان وجود العديد من الأيسومرات في الكاربوهيدرات يحتم ايجاد مركب قياسي يتم الاعتماد عليه في تقسيم المركبات الى الى نوعين من الأيسومرات لذلك اعتبر الكليسيراالديهيد glyceraldehide وهو أبسط مركب كاربوهيدراتي الأساس لتصنيف المركبات على شكل (D) Dextro أو على شكل (L) Levo وقد أصطلح اعتمادا على ذلك على اعطاء الحرف D للمركب الذي تكون فيه مجموعة الهيدروكسيل OH المرتبطة بذرة الكاربون المجاورة لمجموعة الكحول الأولي CH_2OH الى جهة اليمين بينما يكتب الحرف L للمركبات التي تكون فيها نفس المجموعة الهيدروكسيلية OH الى جهة اليسار.



اضافة الى التأثير السابق لذرات الكاربون غير المتناسقة فان المركب الذي يحتوي على هذا النوع من الذرات يكون نشطا ضوئيا اذ يمكن ملاحظة ظاهرة التدويرالضوئي التي تتسبب في حدوثها ذرات الكاربون غير المتناسقة عند توجيه حزمة من الضوء المستقطب على محلول من الكاربوهيدرات بواسطة جهاز خاص لقياس درجة التدوير الضوئي يسمى polarimeter فتسمى المادة التي تحرف الضوء الى جهة اليمين Dextrorotatory (أيمن الدوران) وتعطى اشارة موجب + بينما تسمى المادة التي تحرف الضوء الى جهة اليسار Levorotatory (أيسر الدوران) وتعطى اشارة سالب - ولا تعتمد خاصية التدوير الضوئي على كون المركب من عائلة D أو L وانما هي خاصية يتمتع بها المركب ذاته.

مسقط أو طريقة هوارث (Haworth)

هو طريقة شائعة لتمثيل البناء الحلقي للسكر بتمثيل بسيط ثلاثي الابعاد .

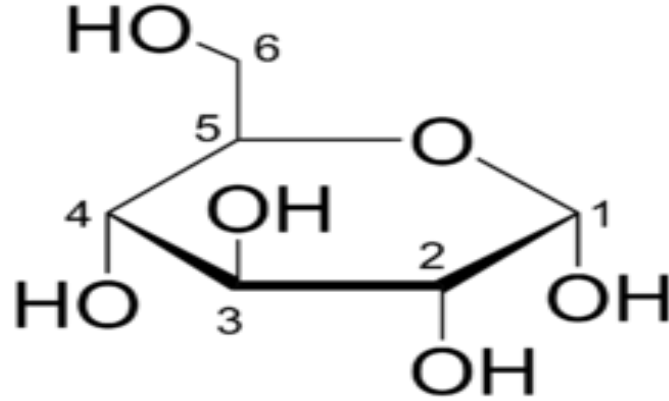
وتم تسمية مسقط هوارث على اسم العالم الإنجليزي Haworth

ولمسقط هوارث الصفات التالية :

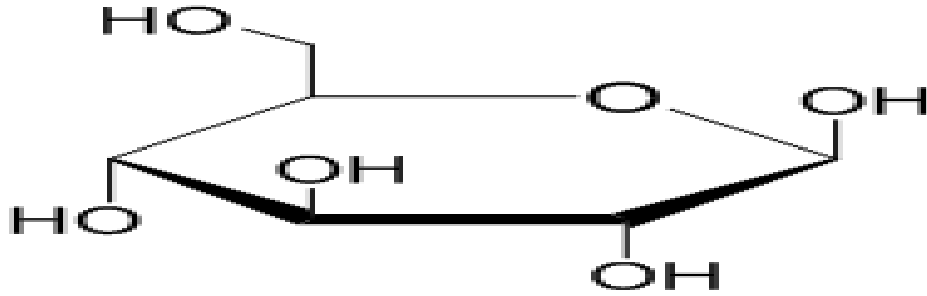
1. ذرة الكربون تكون ضمنية. وكما في المثال, الذرات المرقمة من 1 إلى 6 كلها ذرات كربون.

2. ذرات الهيدروجين تكون ضمنية. وفي المثال الذرات من 1 إلى 6 عليها ذرات هيدروجين.

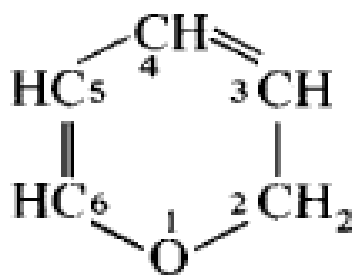
3. الخط الغليظ يمثل الذرات القريبة للمشاهد. وفي المثال تكون على اليمين, الذرات 2, 3 ومجموعاتها من OH هي الاقرب للمشاهد, بينما الذرات 1 و 4 أبعد منها عن المشاهد, وأخيرا الذرات المتبقية تكون الابعاد.



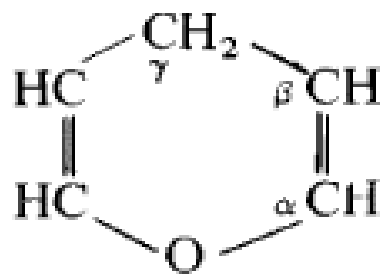
ولقد اقترح هوارث اطلاق اسم pyranose على السكريات التي ترتبط ذرة الاوكسجين فيها ب 5 ذرات كاربون استنادا للتركيب العام لجزيئة pyran بينما اطلق اسم furanose على السكريات التي ترتبط ذرة الاوكسجين فيها ب 4 ذرات من الكاربون اعتمادا على جزيئة ال furan



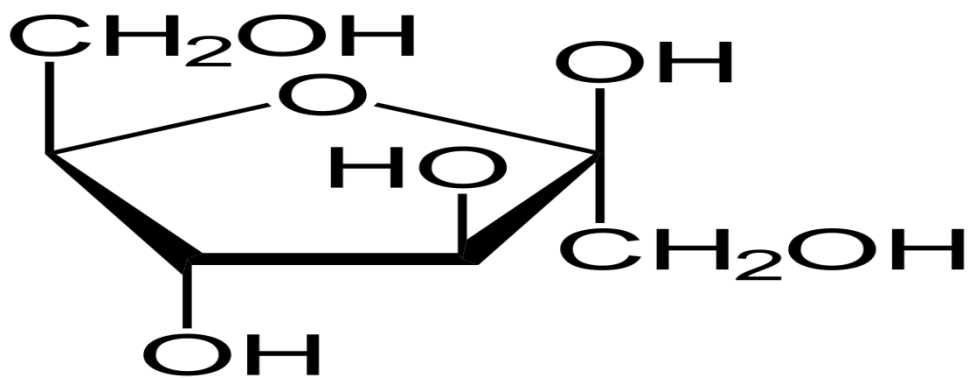
pyranose structure



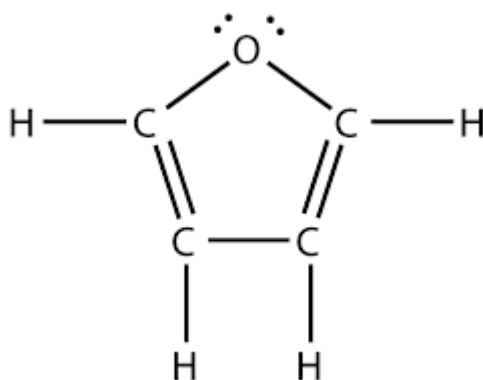
α -Pyran



γ -Pyran



furanose structure

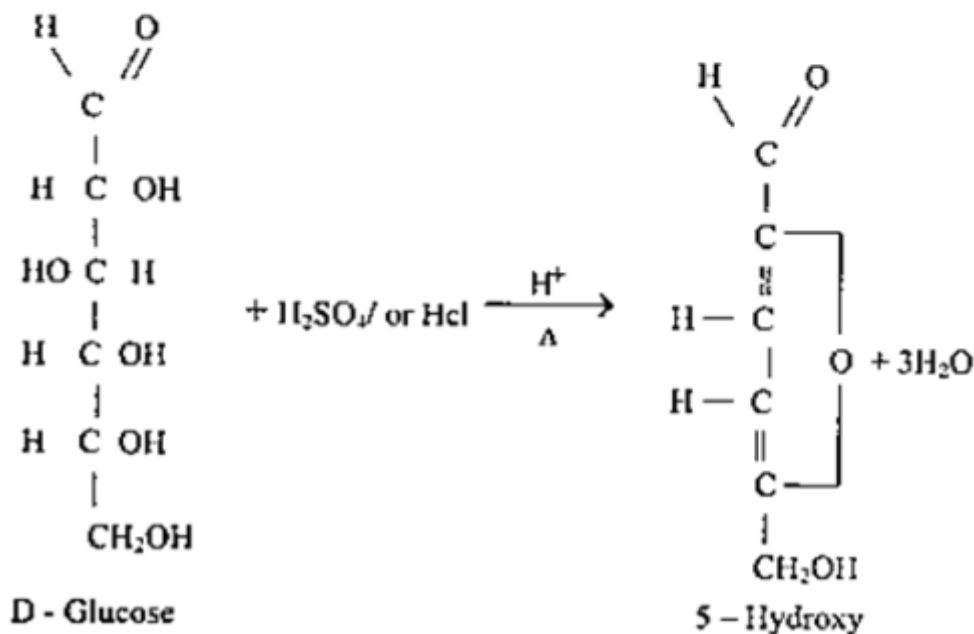
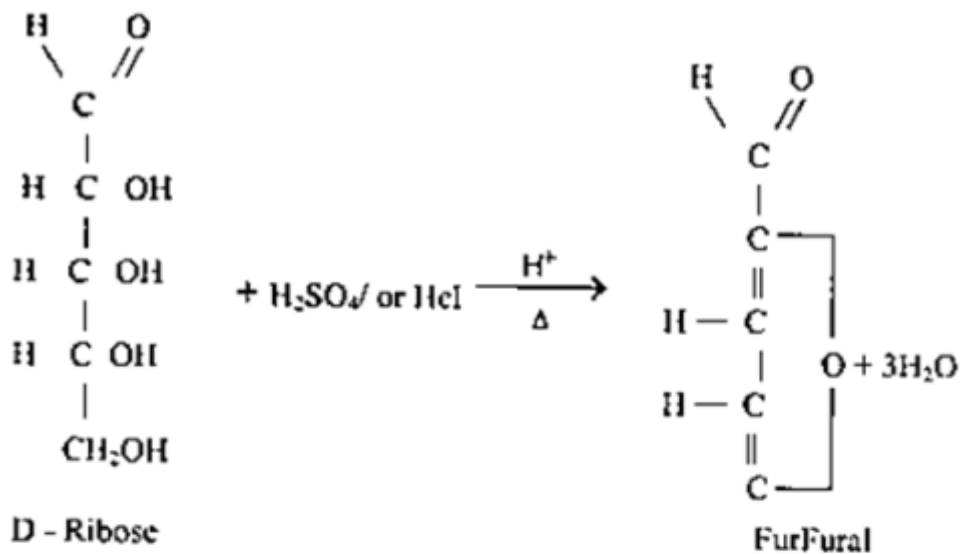


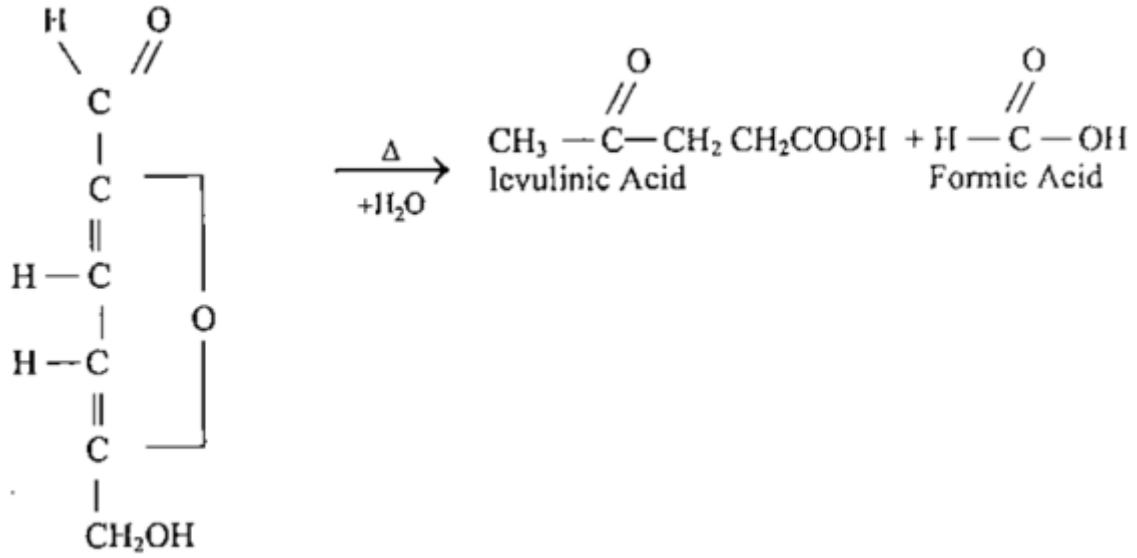
furan

تفاعلات السكريات الأحادية:

أ – التفاعل مع (حامض الهيدروكلوريك او الكبريتك):

تتفاعل السكريات الاحادية الخماسية او السداسية عند تسخينها مع الاحماض المركزة وتفقد ثلاثة جزيئات من الماء لتعطي مركب الفورفورال في حالة السكريات الخماسية، ومركب 5- هيدروكسي ميثيل فورفورال في حالة السكريات السداسية والذي يتحول بمزيد من التسخين الى حامض اللفيولنيك (Levulinic Acid) وحامض الفورميك (Formic Acid).

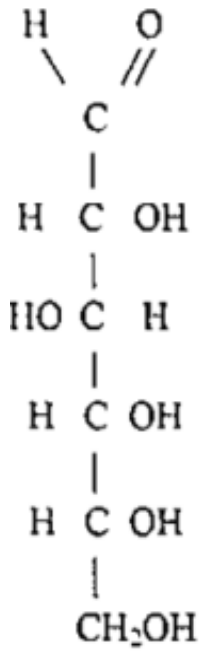




5 - Hydroxy methyl furfural

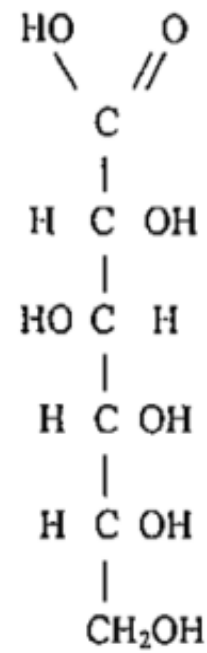
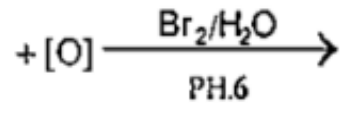
أكسدة السكريات الأحادية:

يمكن أكسدة السكريات الألديهيدية باستعمال ماء البروم (Bromine water) عند ضبط درجة الحموضة (PH) بمحلول منظم مناسب عند الدالة (6.0) الى الاحماض الألدونية أحادية الكربوكسيل، حيث تتحول مجموعة الألديهيد بفعل ماء البروم الى مجموعة كربوكسيل. ان تأثير ماء البروم يقتصر على السكريات الألديهيدية اذ ليس له تأثير على المركبات السكرية الكيتونية مثل سكر الفركتوز، لذلك يمكن استخدام هذا التفاعل للتمييز بين السكريات الألديهيدية والكيتونية.



Glucose

كلوكوز

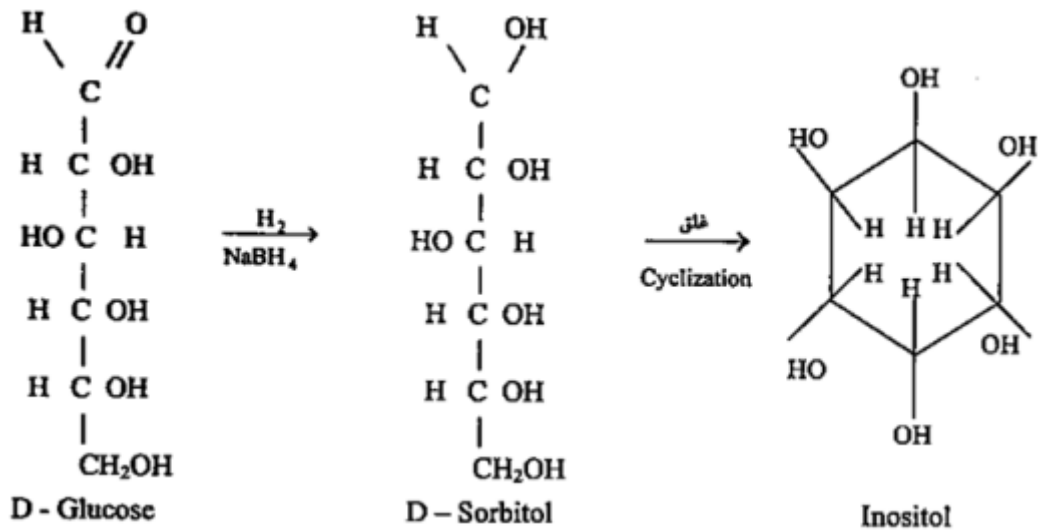


Gluconic Acid

حامض الكلوكونيك

اختزال السكريات الأحادية :

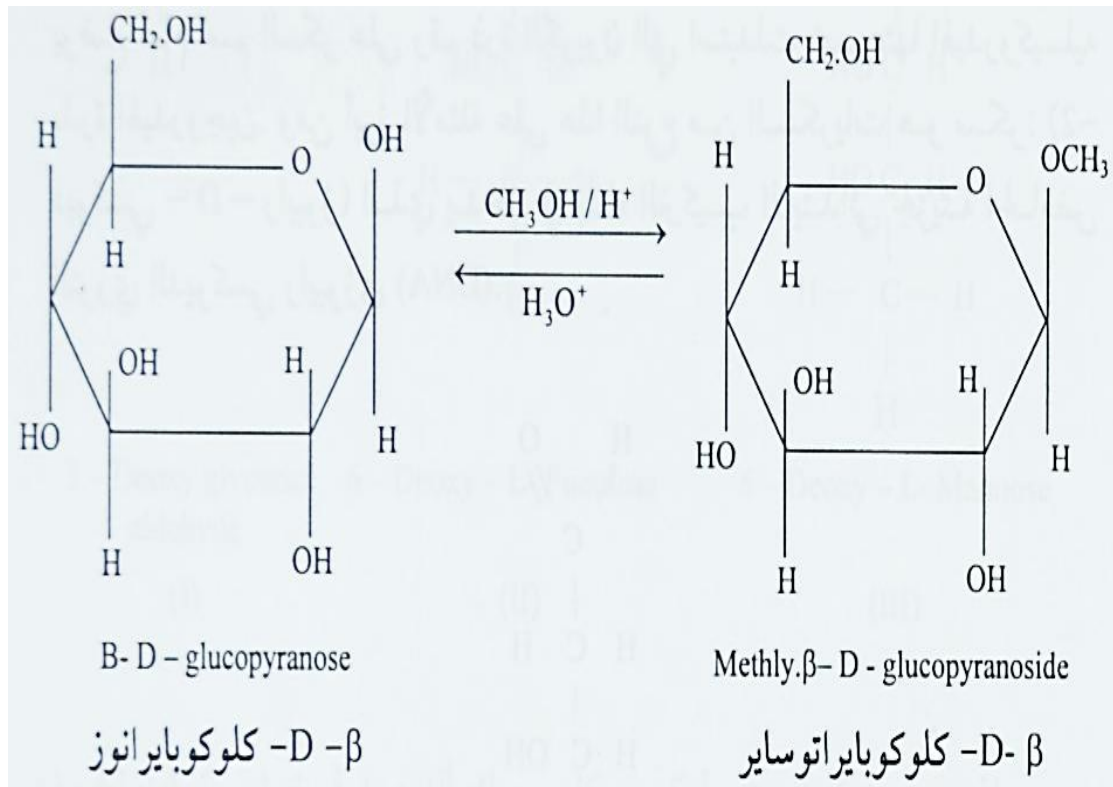
عند معالجة السكريات البسيطة، سواءً الحاوية على مجموعة الألدريد أو مجموعة الكيتون مع غاز الهيدروجين بوجود عوامل مساعدة مثل بوروهيدريد الصوديوم، أو بتأثير بعض الانزيمات نحصل على كحولات سكرية عديدة الهيدروكسيل. فعند اختزال سكر الكلوكوز على سبيل المثال نحصل على الكحول المتعددة الهيدروكسيل المعروف بالسوربيتول (Sorbitol). ان كحول السوربيتول يتواجد في العديد من الفواكه و التوت البري، ويستخدم بديلاً عن السكر في كثيراً من أصناف الأطعمة المجهزة والمعلبة. كذلك بالإمكان الحصول على كحول الأينوسيتول (Inositol) وهو مركب حلقي مشتق من الكلوكوز بعد تحول مجموعة الألدريد فيه الى كحول ثانوي وارتباط ذرة الكربون رقم (1) مع ذرة الكربون رقم (6).



تفاعلات السكريات الأحادية مع الكحولات :

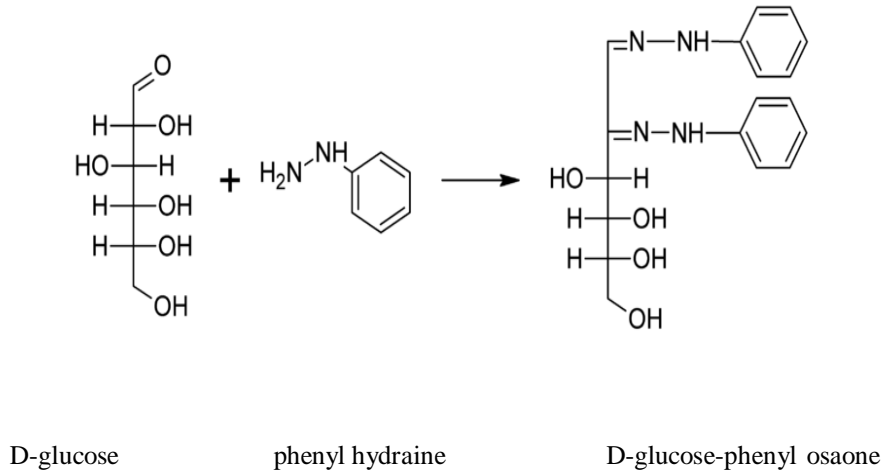
عند معالجة السكريات الأحادية مع المركبات الكحولية بوجود حامض الهيدروكلوريك كعامل مساعد نحصل على مركبات تسمى بالكلايكوسيدات (Glycosides) والتي تتميز بشكلها الحلقي الثابت في الماء والذي قد يتشكل على هيئة الفيورانوز أو البيرانوز، حيث يمكن ان يوجد منهما بترتيب فراغي ألفا أو بيتا. إن ثبات الشكل الحلقي لهذه المركبات في الماء يؤدي الى اختفاء ظاهرة التدوير الضوئي التبدلي فيها. وهي بالإضافة الى ذلك تعتبر مشتقات سكرية غير مختزلة.

تنتشر مركبات الكلايكوسيدات في الطبيعة بشكل كبير ويكون للعديد منها فوائد طبية مختلفة لعلاج العديد من الامراض وتأثيرات حيوية اخرى.



تفاعلات السكريات الاحادية مع الفينيل هيدرازين:

تتفاعل السكريات الاحادية الألدوزية والكيروزية مع المركب - فنيل هيدرازين (Phenylhydrazine) لتعطي مركب الفينيل هيدرازون (Phenylhydrazone)، بزيادة تركيز مركب فنيل هيدرازين في محيط التفاعل نحصل على مركبات الأوسازون (Osazone) وهي مركبات بلورية ذات أشكال مختلفة تظهر تحت المجهر وبالإمكان استعمال هذه الطريقة للتمييز بين السكريات المختلفة خصوصاً إذا علمنا بان لهذه المركبات درجات انصهار مختلفة مما يجعلها طريقة جيدة في تشخيص المركبات السكرية، كما يمكن التمييز بين السكريات الاحادية التي تختلف في توزيع مجاميع الهيدروكسيل على ذرات الكربون الثالثة والرابعة والخامسة. تحضر هذه المعقدات من خلال اضافة خليط من الفينيل هايدرازين على هيئة كلوريد الهيدروجين واخلات الصوديوم الى المحلول السكري، وتسخين خليط التفاعل على حمام مائي يغلي لفترة زمنية محددة. وبالإمكان متابعة التفاعل من خلال المعادلات التالية :

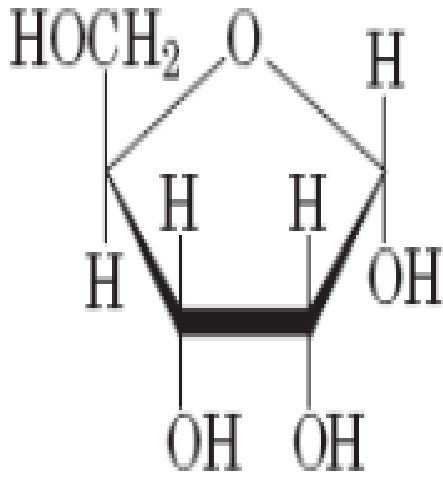


المشتقات الحيوية للسكريات الأحادية :

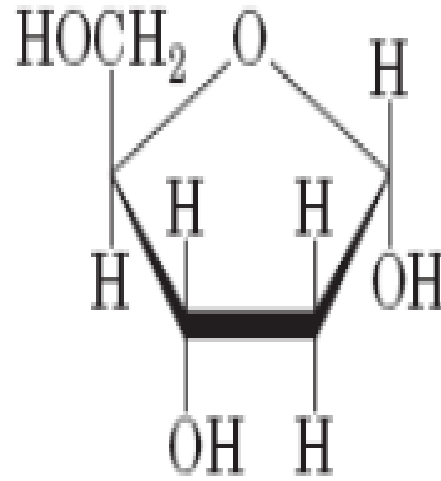
1- سكريات الديوكسي (Deoxy Sugars) :

تمثل سكريات الديوكسي مجموعة من السكريات الاحادية التي يتم منها استبدال مجموعة هيدروكسيلية واحدة او أكثر بذرات الهيدروجين، حيث يدل الرقم الذي يوضع أمام اسم السكر على رقم ذرة الكربون التي استبدلت مجموعتها الهيدروكسيلية بذرة الهيدروجين. ومن أبرز الأمثلة على هذا النوع من السكريات هو سكر : (2-ديوكسي - D - رايبوز) الذي يدخل في بناء التركيب الابتدائي لجزيئة الحامض النووي الديوكسي رايبوزي (DNA).

تتميز هذه السكريات بإعطاء معظم التفاعلات للسكريات الأحادية ولكنها تفشل في اعطاء كشافاً إيجابياً مع الفينيل هايدرازين وتكوين معقد الأوسازون، وذلك لعدم وجود مجموعة هيدروكسيل على ذرة الكربون رقم (2)، وتدخل هذه السكريات في تركيب الجدار الخلوي في البكتريا



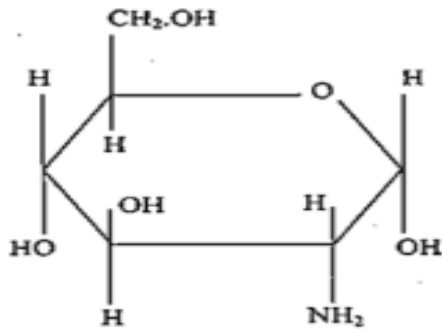
α -D-Ribose



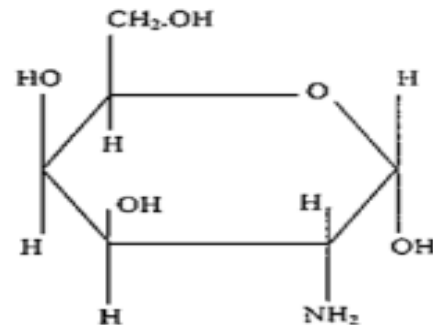
2-Deoxy- α -D-ribose

2 - السكريات الأمينية (Amino Sugars) :

عند استبدال احد المجاميع الهيدروكسيلية في السكريات الاحادية البسيطة بمجموعة أمينية ($-NH_2$) يظهر نوع جديد من السكريات يسمى بالسكريات الأمينية. وعلى الرغم من إمكانية تصنيع العديد من هذه المركبات مختبرياً فإنه لا يوجد منها في الطبيعة الا أعداداً محدودة جداً، مثل السكر الأميني دي الكلوكوز - أمين (D - glycosamine) ودي كلاكتوز - أمين (D - galactosamine) . اذ يوجد الكلوكوز - أمين في عدد من السكريات المتعددة مثل السكر المتعدد الكايتين ($Chitin$) ذو الوظيفة التركيبية حيث يدخل في تركيب الطبقة الخارجية الصلبة في العديد من الحشرات وكذلك في السرطانات البحرية - اما السكر الاميني الكلاكتوز - أمين فهو يدخل في تكوين الغضاريف ($Chondroitin$) كمكون أساسي. وهناك العديد من مركبات المضادات الحيوية تحتوي في صيغتها التركيبية على بعض السكريات الامينية والذي يعتقد ان الفعالية الحيوية لهذه المضادات تعود الى السكريات الامينية. وفي أدناه بعض الامثلة عن السكريات الامينية :



2- Amino 2- Deoxy- D-glucose
Glucosamine or Chitosamine

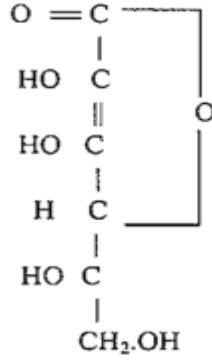


2- Amino 2- Deoxy- D-galactose
Galactosamine or Chondrosamine

3- الحوامض السكرية

تنتج السكريات الأحادية البسيطة مثل D - الكلوكوز (D- glucose)، ثلاثة أنواع من الاحماض السكرية عند اكدستها، منها يحتوي على مجموعة كربوكسيلية واحدة تستحدث بسبب اكسدة مجموعة الألديهيد فيسمى الحامض الناتج D - حامض الكلوكونيك (D- gluconic Acid) وهو أحد المركبات الوسطية في أيض الكلوكوز في بعض الكائنات الحية، ومنها ما يحتوي على مجموعتين كربوكسيليتين، بسبب تأكسد مجموعة الألديهيد ومجموعة الهيدروكسيل على ذرة الكربون الاخيرة (مجموعة الكحول الاولي) فيدعى المركب الناتج D- حامض كلوكاريك او يسمى في بعض الأحيان حامض D- كلوكا سكاريك (D- glucaric acid or D- glucosaccharic) إضافة الى امكانية الحصول على نوع ثالث من الاحماض السكرية ينتج من أكسدة مجموعة الكحول الأولي .

ان من أهم الاحماض السكرية هو حامض الاسكوريك (فيتامين C) والذي يؤدي نقصه عند الإنسان الى الاصابة بمرض الاسقربوط وفي أدناه الصيغة التركيبية لهذا الحامض :



حامض الاسكوريك (فيتامين C)

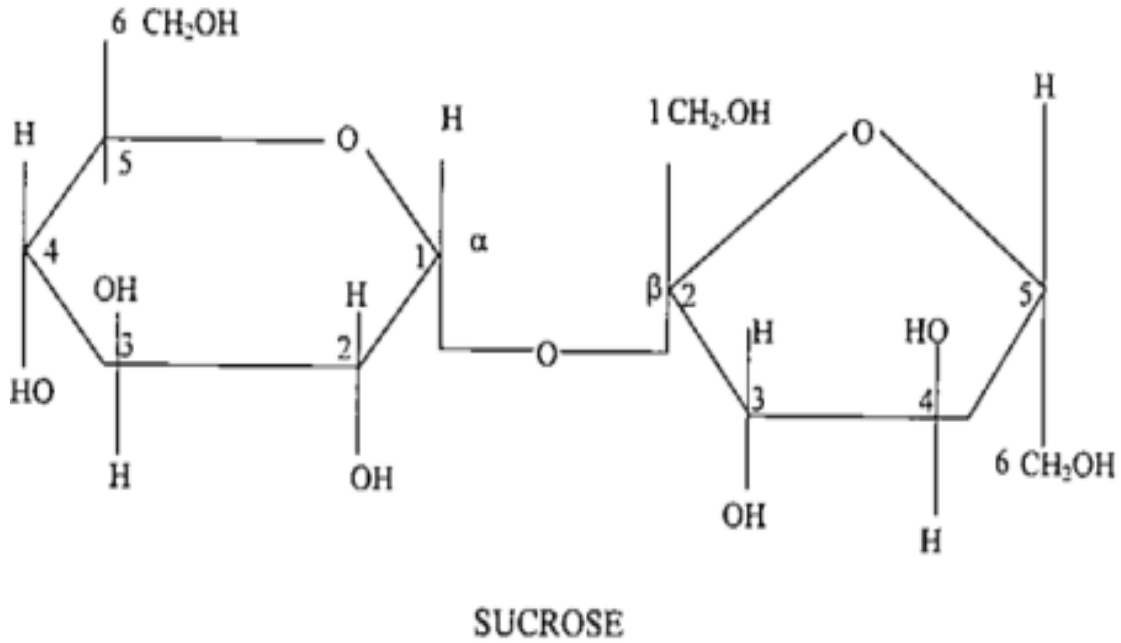
السكريات الثنائية : (Disaccharides)

1. السكروز (سكر القصب) (Sucrose) :

وهو السكر الاعتيادي المستعمل في الاغراض المنزلية، ويمكن الحصول عليه من عصارة النباتات السكرية مثل نبات البنجر وقصب السكر ويتبلور بسهولة من محاليله المائية وله دور هام في غذاء الإنسان وهو قابل للتخمر ومن السكريات غير المختزلة ولا يشكل الأوسازون.

يتكون السكروز من جزيئة واحدة من ألفا D- كلوكوز مرتبطة بجزيئة من بيتا D - فركتوز، حيث تتشكل الرابطة الكلوكوسيدية بين المجاميع المختزلة في كل من السكريين الاحاديين الكلوكوز والفركتوز بواسطة رباط أوكسجيني، وكما هو موضح في الشكل بطريقة هوارث (Haworth).

تتضمن عملية تفكك السكروز بواسطة حامض أو انزيم الانفرتيز (Invertase) تحول تركيب الفركتوز من فيورانوز الى بيرانوز لتتحول تبعاً لذلك درجة التدوير الضوئي من القيمة الموجبة الى القيمة السالبة.



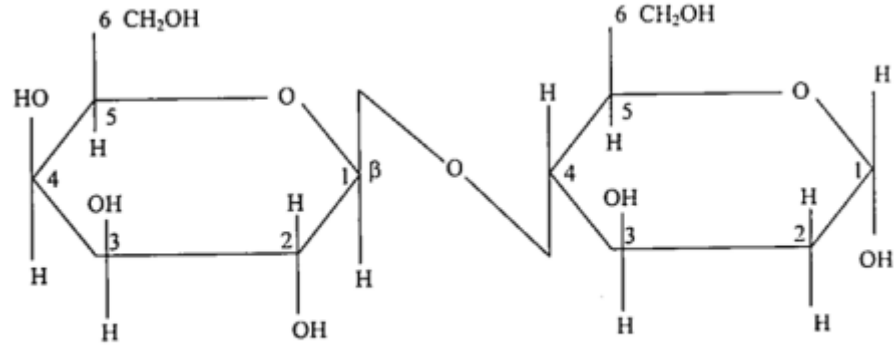
(α - D - glucopyranosyl - β - D - fructofuranoside)

2. اللاكتوز (سكر الحليب) (Lactose) :

يوجد سكر اللاكتوز في الحليب، ويحضر في غدد الحيوانات اللبنية من سكر الكلوكوز الموجود في الدم، ينحل بصعوبة في الماء ويتم الحصول عليه من عملية تخثر الحليب. اللاكتوز سكر صلب أبيض اللون ينصهر عند درجة (203)° م مع التكسر وهو من السكريات الذائبة في الماء.

تتألف جزيئة سكر اللاكتوز من جزيئة واحدة من ألفا - D - كلوكوز واخرى من بيتا - D - كلاكتوز. يعتبر سكر اللاكتوز من السكريات المختزلة، بسبب احتفاظ السكر بالنهاية المختزلة في جزء الكلوكوز، وبخلاف السكروز يمكن كتابة تركيب اللاكتوز بهيئة ألفا او بيتا اعتمادا على موقع المجموعة الهيدروكسيلية في النهاية المختزلة، والشكل التالي يمثل تركيب سكر اللاكتوز وفق طريقة هوارث (Haworth).

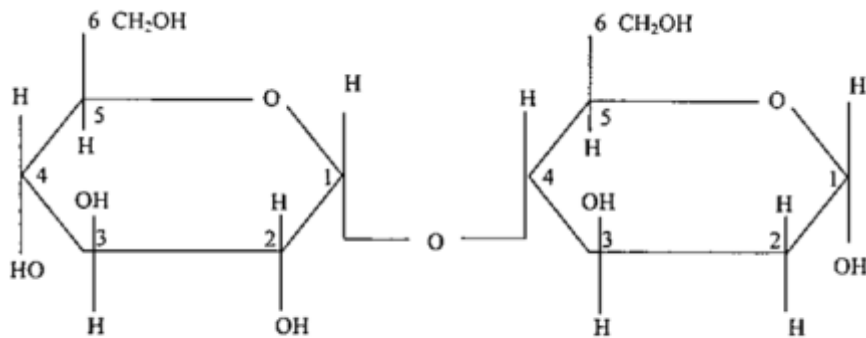
وبالامكان كتابة الشكل بيتا (B) للاكتوز بعد وضع مجموعة الهيدروكسيل على ذرة الكربون (1) في جزء الكلوكوز أعلى الصورة.



LACTOSE (α - form)

3. المالتوز (سكر الشعير) (Maltose) :

يوجد هذا السكر في الحبوب، ينحل بشكل جيد في الماء، ويتبلور في المحاليل المائية. ينتج كمركب وسطي خلال عملية تحلل النشا بواسطة أنزيم الأميليز. يتألف تركيب جزيئة المالتوز من جزيئتين من سكر الكلوكوز، ترتبط ذرة الكربون رقم (4) في أحدهما مع المجموعة المختزلة في ذرة الكربون رقم (1) من الجزيئة الثانية مكونة سكرًا مختزلًا، وكما هو في سكر اللاكتوز يتواجد المالتوز على شكلين ألفا وبيتا اعتماداً على موقع المجموعة الهيدروكسيلية المختزلة. يهضم المالتوز بسهولة، ويتعرض لفعل التخمر لاحتوائه على رابطة (الفا - الكليكوسيدية). الشكل التالي يوضح التركيب الكيميائي مرسوماً وفق طريقة هاورث :



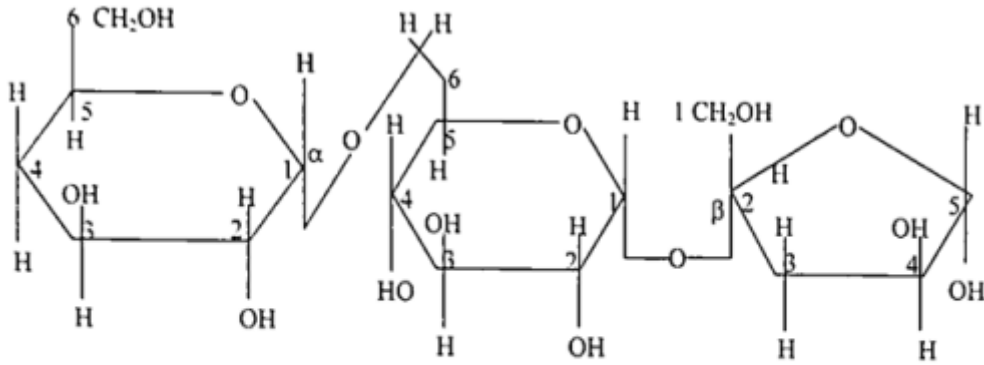
MALTOSE (α - form)

السكريات الثلاثية : (Trisaccharides)

تتألف السكريات الثلاثية من ثلاث جزيئات من السكريات الاحادية ترتبط مع بعضها بواسطة روابط كلايكوسيدية (روابط اوكسجينية) ومن أهم السكريات الثلاثية سكر الرافينوز (Raffinose) الذي يتألف تركيبه من جزيئة ألفا - D - كلوكوز، وألفا - D - كالاكتوز، وبيتا - D - فركتوز، الشكل التالي يوضح التركيب الابتدائي لسكر الرافينوز :

ويمثل الرافينوز المرتبة الثانية بعد السكروز من ناحية كثرة وجوده في المملكة النباتية، إلا إنه لا يوجد بشكله الحر إلا بحدود (0.05%) في نبات البنجر.

الرافينوز من السكريات غير المختزلة بسبب انشغال جميع مجاميعه المختزلة بالروابط الكلايكوسيدية (الروابط الاوكسجينية).



RAFFINOSE

O- α - D - galactopyranosyl (1-6), O- α - D- glucopyranosyl (1-2)- β - D- Fructofuranoside

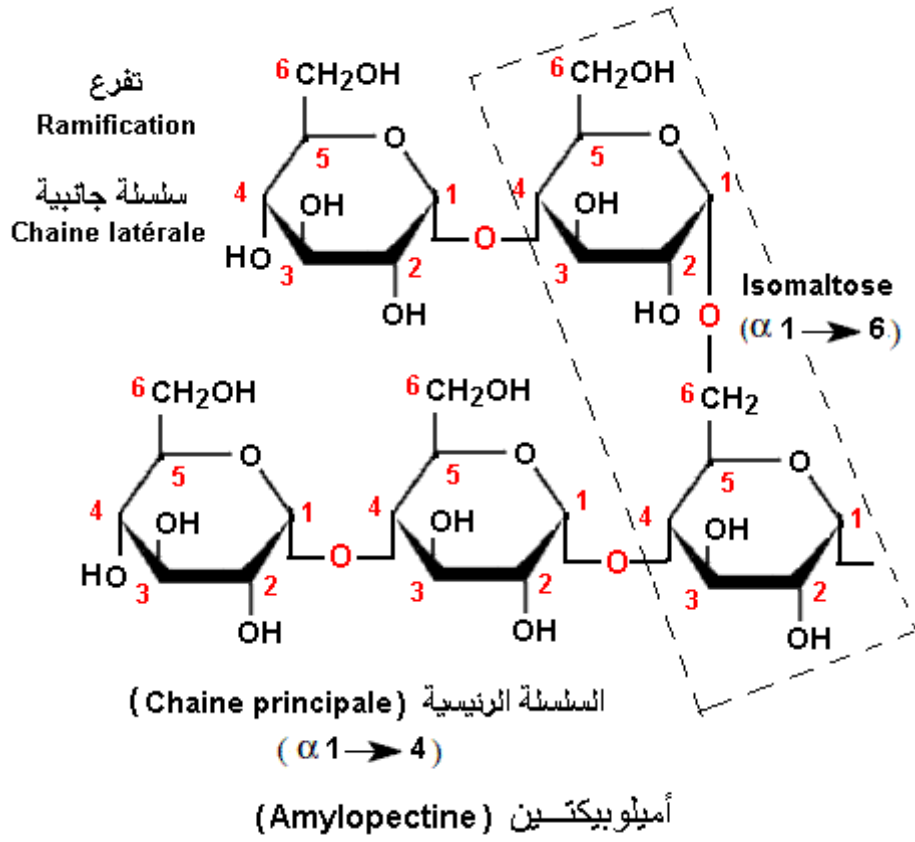
السكريات المتعددة : - Polysaccharide

النشأ Starch

تقوم النباتات بواسطة عملية البناء الضوئي بتصنيع الكلوكوز على شكل نشأ كخزين للطاقة التي قد تحتاجها النباتات او كمصدر غذائي للانسان الذي يتغذى على هذه النباتات ويوجد النشأ بشكل خاص في بعض الأجزاء النباتية كدرنات البطاطا.

يقسم النشأ الى قسمين هما الأميلوز amylose الذي يتكون من وحدات من سكر الكلوكوز ترتبط بأواصر كلايكوسيدية من نوع الفا(1-4) ضمن سلاسل مستقيمة غير متفرعة وقد تعد

امتدادا لتركيب المالتوز وتحتوي على مجموعة سكرية حرة في احدى نهاياتها أما القسم الثاني فهو الأميلوبكتين Amylopectine وهو اضافة الى احتوائه على وحدات من الكلوكوز تترتب ضمن سلاسل مستقيمة بما يشبه الاميلوز فان هذه السلاسل ترتبط مع بعضها بواسطة اواصر من نوع الفا (1-6) لتشكل تركيبا متفرعا

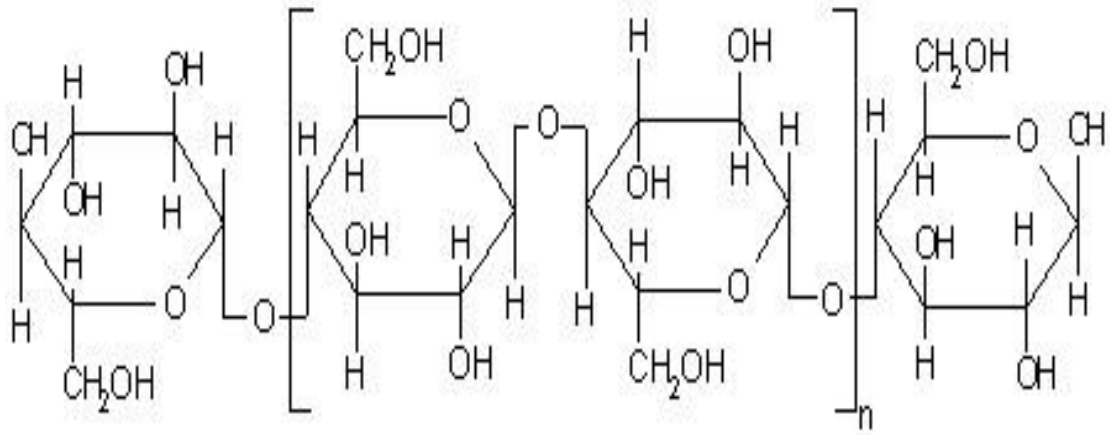


يتراوح الوزن الجزيئي للاميلوز الذي يعزل من النشأ ما بين 4000-400000 بينما يمتلك الاميلوبكتين الذي يفصل على نفس الاساس وزنا جزيئيا اعلى نسبيا يتراوح ما بين 50000 الى مليون ويمتاز الاميلوز باعطائه اللون الازرق عند اتحاده مع اليود بينما يعطي الاميلوبكتين لون احمر بنفسجي عند اتحاده مع اليود.

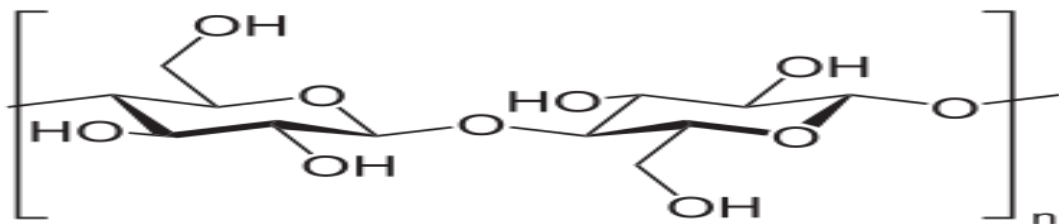
السليولوز -: Cellulose

يمتاز السليلوز كما السكريات المعقدة الأخرى بعدم قابليته للذوبان في الماء وعدم نفاذيته من خلال أغشية الخلايا . في عام 1838 أطلق **أنسيلم باين** Anselme Payen اسم السيلوز على المادة التي تتألف منها جدران الخلايا النباتية. ولكن السيلوز لا يوجد في الطبيعة بحالة نقية أبدا. وتعتبر ألياف القطن هي الأنقى من وجهة نظر سيللوزية، فهي تحتوي على ما يقارب 5% فقط من المواد الغريبة بعد أخذ المحتوى المائي بعين الاعتبار. وبشكل **المادة الخام** الأساسية في كثير من الصناعات المختلفة مثل صناعة **الورق واللدائن والمنسوجات** النباتية لا يتحلل السليلوز بواسطة انزيم الاميليز ، ولهذا فان السليلوز بالطعام يمر بالقناة الهضمية دون هضم ، الا ان له اهمية كبرى في منع الامساك وتنظيم حركة الامعاء .

ويعطي السليلوز التركيب العام $(C_6H_{10}O_5)_n$ حيث تمثل (n) عدد كبير يطلق عليه **درجة البلمرة** والنكاثف (Degree -of Polymerization) و يتحلل السليلوز بتأثير الأحماض يؤدي في النهاية إلى الكلوكوز. ويتكون السليلوز من الكلوكوز حيث يفقد جزيء من الماء لكل جزيء من الكلوكوز ويتكون من سلسلة طويلة مستقيمة غير متفرعة ناتجة من اتحاد عدد كبير من جزيئات بيتا - كلوكوز ، والاتصال بين جزيئات البيتا - كلوكوز (4 → 1) β يحدث بين ذرات الكاربون رقم (1) وذرة الكاربون رقم (4) في أحد وحدتي الكلوكوز اللتان ترتبطان برابطة أوكسجينية مع الوحدة المجاورة لها

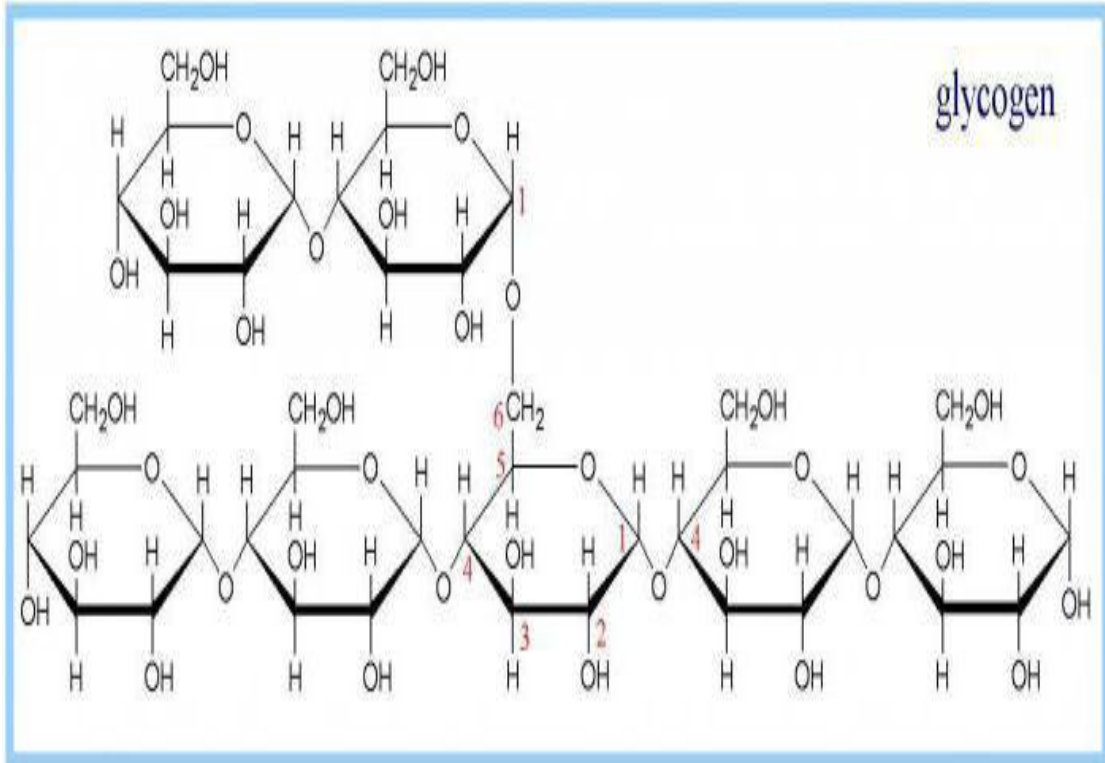


أو



الكلايكوجين Glycogen

بوليمر متعدد الوحدات، يشكل **الجلوكوز** وحدة البناء الأساسية في هذا الجزيء الذي يعمل كمخزن للطاقة في الحيوانات و**الفطريات**. ترتبط كل وحدة جلوكوز مع الوحدة التي تليها بروابط من نوع ألفا (1-4)، في حين تتكون التفرعات من روابط ألفا (1-6). عندما تقل نسبة **الجلوكوز** في الدم، تبدأ عملية تحطيم الجلايكوجين إلى الوحدات الأساسية المكونة له، الجلوكوز. في حين تتم عملية عكسية لتحويل جزيئات الجلوكوز إلى جلايكوجين، عندما ترتفع نسبة الجلوكوز في الدم. **الأنسولين** هو الهرمون المسؤول عن تكوين الجلايكوجين في جسم الإنسان، أما **الكبد** والعضلات فهما العضوان المسؤولان عن تخزينه.



الليبيدات Lipid :

تؤلف الليبيدات مع الكاربوهيدرات والبروتينات أهم المكونات الغذائية للإنسان وتعد الليبيدات بصورة خاصة مهمة جدا من الناحية البايوكيميائية لسببين رئيسيين أولهما الطاقة العالية التي يتضمنها المخزون الدهني في داخل الجسم الذي يفوق كثيرا الطاقة المخزونة على شكل كاربوهيدرات ويتمثل السبب الثاني في الدور الذي تلعبه هذه المركبات في التراكيب الخلوية اضافة الى ذلك فانها مهمة من الناحية التجارية اذ تستخرج منها انواع الصابون والمنظفات كما ان لبعض الزيوت دورا في صناعة الاصباغ

الدهون مركبات عضوية غير متجانسه تحتوي على ذرات الكربون والهيدروجين والأكسجين والأخيريين لا يوجدان بنسبة وجودهم في الماء بل تكون نسبة الهيدروجين إلى الأكسجين كبيرة. وتتميز الليبيدات بعدم قابليتها للذوبان في الماء لأنها مركبات غير قطبية و لكن تذوب في المذيبات الغير قطبية مثل الإثير و الكلوروفورم و البنزين الليبيدات ، والدهون ليست مكونة من نوع واحد من الجزيئات بل من أكثر من نوع.

ومصطلح الليبيدات يستخدم للدلالة على مجموعة كبيرة من **المركبات**، تشمل أحيانا كل ما هو غير ذائب في الماء، أو ما يمكن اعتباره موادا غير قطبية ذات أصل عضوي: بما في ذلك المواد الشمعية **waxes** ، **والحموض الدهنية** ومشتقاتها من **ليبيدات مفسفرة**، أو سفينكوليبيد أو ليبيدات سكرية أو تريينات وغيرها .

فوائد الليبيدات

- 1- مصدر للطاقة. حيث يعطي الجرام الواحد 9 كيلو كالوري.
- 2- تدخل في تركيب مكونات أغشية الخلايا
- 3- تدخل في تركيب بلازما الدم بنسبة معينة.
- 4- تدخل في تركيب الهرمونات الحيوانية
- 5- وجودها تحت الجلد يجعلها كعازل للتبادل الحراري - ويعطي الجلد ليونته
- 6- الدهون مواد حاملة للفيتامينات الذائبة في الدهون وضرورية لامتناسها ونقلها داخل الجسم .
- 7- تحمي بعض الاعضاء الداخلية في الجسم (الكلى والقلب) وبذلك تعمل على امتصاص الصدمات .
- 8- توجد بتركيز كبير في النسيج العصبي وتكون عازلا للكهرباء
- 9- يوجد جهاز نقل الالكترونات الكائن في الغلاف الداخلي للميتوكوندريا للحيوان في داخل الدهون المفسفرة
- 10- تدخل في تكوين خلايا الدماغ والأنسجة العصبية

تصنيف الدهون

تقسم الدهون إلى عدة أقسام وذلك حسب بنائها الكيميائي أو حسب مصادرها الغذائية أو حسب وظائفها.

1- الدهون أو الليبيدات البسيطة Simple Lipids:

استرات الأحماض الدهنية العالية مع الكحولات البسيطة مثل الجليسرول *glycerol* وتشمل:
أ- الزيوت والدهون (الشحوم الحيوانية) Oil & Fats: عبارة عن إسترات الأحماض الدهنية مع الكليسرول (الكليسرين).

ب- الشموع Wax: وهي إسترات الأحماض الدهنية (ذات الأوزان العالية) مع كحول (ذو وزن عالي) غير الكليسرول مثل الكوليسترول.

2- الليبيدات المركبة Compound Lipids:

هي مواد تتكون جزئياتها من عدة مركبات تتصل ببعضها بروابط كيميائية مختلفة.

وهي عبارة عن إسترات الأحماض الدهنية مع الجليسرول كما سبق في الزيوت والدهون، إلا أنها تحتوي على مجاميع إضافية أخرى كالتالي

أ- الفسفو ليبيدات Phospholipids:

وهي عبارة عن اتحاد بين الدهون(استرات الجليسرول أو الكحولات العالية مع الأحماض الدهنية) وحمض الفسفوريك مثل الليسثين والسيفالين (توجد في البيض والنسيج الدماغي والأنسجة العصبية). يدخل في بنائها قاعدة نيتروجينية وتقسم الى نوعين الأول مشتقات فوسفات الكليسرول ويرتبط حامض الفوسفوريك في هذا النوع من المركبات برابطة استر مع كحول نايتروجيني أو غير نايتروجيني والثاني مشتقات فوسفات الاسفكوسين التي تحتوي على حوامض دهنية ترتبط برابطة استر اضافة الى ارتباط الفوسفات بقاعدة نايتروجينية مثل الكولين والايثانول امين

ب- الدهون السكرية Glycolipids:

وهي الدهون المرتبطة بجزء كربوهيدراتي (جلوكوز أو جالاكتوز) يوجد في الدماغ والغمد النخاعي.

ج- الدهون البروتينية Lipoprotein:

وهي الدهون المرتبطة بجزء بروتيني مثل ليبوبروتين الدم الذي يرتبط فيه الكوليسترول مع جزء البروتين ويلعب دوراً مهماً في انتقال الدهون داخل الجسم، كما يوجد مثل هذا النوع كمكون لأغشية الخلايا.

د- الامينو ليبيدات : تتحد مع مجموعة أمين

هـ - السلفو ليبيدات: تتحد مع الكبريت مثل الموجودة في خلايا المخ

3- الدهون المشتقة **Derived Lipids**:

وهي عبارة عن نواتج تحلل الدهون وتشمل الأحماض الدهنية الحرة أو الكحولات المختلفة مثل الجليسرول أو الكوليسترول وقد تكون منفردة أو مرتبطة ارتباط غير كامل ببعض الأحماض الدهنية. وقد تكون فيتامينات مثل أ، د، ك. وتشمل:

- 1- الستيرويدات (Steroids) وهي استرات الاحماض الدهنية العالية مع الكحولات الحلقية ومن ضمنها الكوليسترول
- 2- الستيروولات (Sterols)
- 3-أحماض الصفراء (Bile Acids)
- 4- الهرمونات (Hormones)
- 5- الكاروتينويدات (Carotenoids)

الأحماض الدهنية **Fatty acids**

الأحماض الدهنية عبارة عن مجموعة من الأحماض العضوية، سميت بهذا الاسم لتواجدها كمكونات رئيسية في المركبات الدهنية كالكليريدات والفوسفوكليسيريدات والشموع وغيرها. تتواجد الأحماض الدهنية مرتبطة مع كحول الكليسرول Glycerol، على هيئة أسترات ونادراً ما توجد على صورة حرة في الأنسجة الحية، لقد تم فصل عدد كبير من الأحماض الدهنية عن بعضها البعض مثل حمض البيوتريك، حمض البالميثك (احماض دهنية مشبعة) وحمض الأوليك وحمض اللنوليك (غير مشبعة) و الأحماض الدهنية هي اللبنة الأساسية المكونة للدهون و منها أنواع متعددة و الصيغة العامة للأحماض الدهنية هي (R-COOH) وتقسم الأحماض الدهنية حسب مصادرها للإنسان إلى نوعين هما

1. الاحماض الدهنية الاساسية **Essential fatty acids, or EFAs**

وهي التي لا يستطيع جسم الانسان تصنيعها ويجب ان يحصل عليها من الغذاء وتتكون من مجموعتين هما : أحماض دهنية أوميغا3 مثل [alpha-linolenic acid](#) وأحماض دهنية أوميغا 6 مثل [linoleic acid](#)

2. الاحماض الدهنية غير الاساسية **Non essential fatty acids**

وهي التي يستطيع الجسم أن يصنعها (لا يحتاجها من مصدر خارجي) مثل arachidic acid, stearic acid, palmitic acid

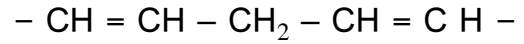
خواص الأحماض الدهنية Properties of fatty acids

1. يعود اختلاف الأحماض الدهنية المشبعة وغير المشبعة في خواصها الفيزيائية والكيميائية إلى الاختلافات التي تتواجد في سلسلتها الهيدروكربونية ، فالأحماض المشبعة تتواجد في الصورة المتعرجة، أما الأحماض غير المشبعة فنظراً لاحتوائها على أماكن عدم تشبع فإنه يجعل في سلسلتها الهيدروكربونية انثناءات بزوايا (30 °) تقريباً وهذا يجعلها تشغل حيزاً صغيراً (شكلاً صغيراً) الأمر الذي يكسبها أهمية حيوية كبيرة عند دخولها كمكون من مكونات الأغشية الخلوية في الأنسجة المختلفة.

2- تواجدها الأحماض الدهنية غير المشبعة على صورة مرتبطة في الجليسيريدات بكمية كبيرة تجعل الجليسيريدات في الصورة السائلة (Oils)، غير أن تواجدها الأحماض المشبعة بكمية كبيرة في المركبات السابقة (الجليسيريدات) يجعلها في الصورة الصلبة (fats).

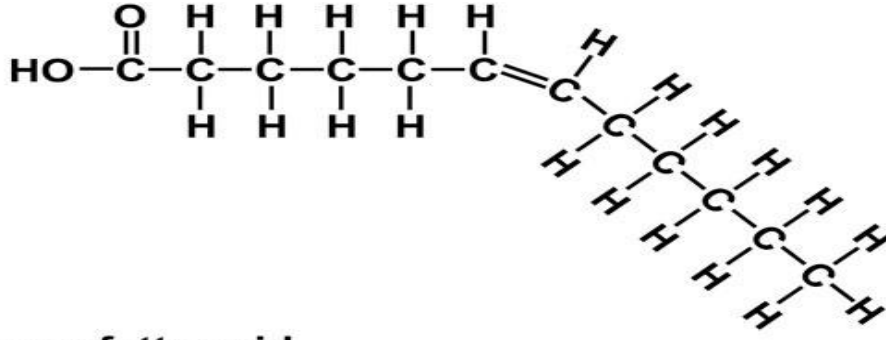
3- الأحماض الدهنية الطويلة السلسلة (16-18) ذرة كربون لا تذوب في الماء ولكن الأملاح الصودية والبوتاسية لهذه الأحماض تكون مع الماء محلولاً غروبياً (Colloid).

4- الأحماض الدهنية غير المشبعة والتي تحتوي على أكثر من رابطة مزدوجة في السلسلة الهيدروكربونية ، تكون هذه الروابط مفصولة عن بعضها البعض بمجموعة $CH_2 -$

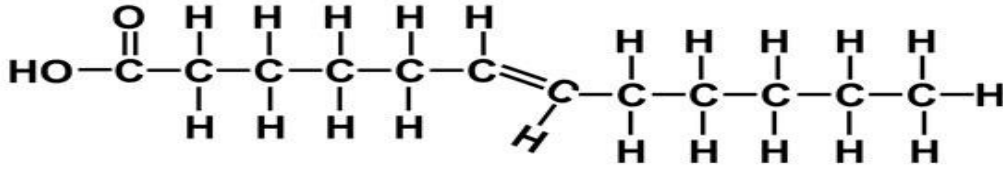


5- الأحماض الدهنية نمط المجاور (Cis) أقل ثباتاً من النمط المضاد (Trans) حيث يمكن تحويل نمط المجاور إلى المضاد بالتسخين بوجود عامل مؤكسد مثال ذلك حمض الأوليك (Oleic acid) ذو نمط Cis له درجة انصهار (13.5 °) يتحول إلى الاليديك (eliadic acid) من النمط المضاد Trans الذي له درجة انصهاره (43.5 °) بمعنى ان النمط المجاور أقل ثباتاً من النمط المضاد.

cis-fatty acid



trans-fatty acid



الفروق بين الأحماض الدهنية المشبعة والأحماض الدهنية غير المشبعة

saturated and unsaturated fatty acids

التعريف الأحماض الدهنية المشبعة هي أبسط أشكال الدهون التي هي سلاسل خطية غير متفرعة من مجموعات الميثان المرتبطة ببعضها البعض بواسطة روابط كربون-كربون مفردة مع حمض كربوكسيل طرفي. الأحماض الدهنية غير المشبعة هي أحماض دهنية أكثر تعقيداً مع سلاسل هيدروكربونية منحنية أو مقوسة مرتبطة ببعضها البعض بواسطة روابط ثنائية كربونية كربونية مع مجموعة حمض كربوكسيل طرفي .

الروابط المزدوجة لا تحتوي الأحماض الدهنية المشبعة على أي روابط كربون-كربون مزدوجة. قد تحتوي الأحماض الدهنية غير المشبعة على رابطة مزدوجة أو أكثر من الكربون والكربون . ذرات الهيدروجين تحتوي الأحماض الدهنية المشبعة على ذرات كربون مع أقصى قدر ممكن من ذرات الهيدروجين مرتبطة بها. لا تحتوي الأحماض الدهنية غير المشبعة على أقصى قدر ممكن من ذرات الهيدروجين المرتبطة بذرات الكربون .

سلسلة الهيدروكربونات السلاسل الهيدروكربونية في الأحماض الدهنية المشبعة خطية وغير متفرعة. سلاسل الهيدروكربون في الأحماض الدهنية غير المشبعة منحنية ومتفرعة .

الهدرجة الهدرجة غير ممكنة في الأحماض الدهنية المشبعة حيث لا يمكن إضافة المزيد من ذرات الهيدروجين إلى سلسلة الهيدروكربون. الهدرجة ممكنة في الأحماض الدهنية غير المشبعة حيث يمكن تحويل الروابط المزدوجة إلى روابط مفردة .

المصادر توجد الأحماض الدهنية المشبعة في الغالب في الدهون الحيوانية مثل الزبدة واللحوم والحليب كامل الدسم توجد الأحماض الدهنية غير المشبعة في الغالب من خلال مصادر نباتية مثل الزيت النباتي وزيت عباد الشمس وزيت الخردل وزيت الأفوكادو ، إلخ .

الأنواع الأحماض الدهنية المشبعة لا تنقسم إلى أي نوع. الأحماض الدهنية غير المشبعة تنقسم إلى أنواع بناءً على عدد الروابط المزدوجة .

التكوين Trans و cis التكوين غير ممكن في الأحماض الدهنية المشبعة. قد توجد الأحماض الدهنية غير المشبعة من نوع cis. او Trans

نقطة الانصهار للأحماض الدهنية المشبعة نقطة انصهار أعلى. الأحماض الدهنية غير المشبعة لها نقطة انصهار أقل .

الحالة في درجة حرارة الغرفة توجد الأحماض الدهنية المشبعة في الحالة الصلبة في درجة حرارة الغرفة. توجد الأحماض الدهنية غير المشبعة في الحالة السائلة عند درجة حرارة الغرفة .

اتزنخ الأحماض الدهنية المشبعة منخفضة التزنخ . الأحماض الدهنية غير المشبعة لديها نسبة عالية من التزنخ .

العمر التخزيني للأحماض المشبعة مدة صلاحية أعلى ، وبالتالي يمكن تخزينها لفترة طويلة دون تلف. الأحماض الدهنية غير المشبعة لها مدة صلاحية أقل ، وبالتالي لا يمكن تخزينها لفترة طويلة دون أن تفسد .

مستويات الدهون منخفضة الكثافة (LDL) تزيد الأحماض الدهنية المشبعة من مستويات الكوليسترول الضار في الجسم. الأحماض الدهنية غير المشبعة تقلل من مستويات الكوليسترول الضار في الجسم.

تكوين الأحماض الدهنية المشبعة تشكل الجزء الدهني من الليبيدات. تشكل الأحماض الدهنية غير المشبعة جزء الزيت من الليبيدات.

السرعات الحرارية يتم الحصول على 10٪ من السرعات الحرارية التي يحتاجها الجسم عن طريق الأحماض الدهنية المشبعة. يتم الحصول على 30٪ من إجمالي السرعات الحرارية اللازمة للجسم عن طريق الأحماض الدهنية غير المشبعة.

الذوبان في الفيتامينات الأحماض الدهنية المشبعة قابلة للذوبان في الفيتامينات. الأحماض الدهنية غير المشبعة غير قابلة للذوبان في الفيتامينات.

التخزين يتم تخزين الأحماض الدهنية المشبعة في الكبد وتحت الجلد في جسم الانسان. يتم تخزين الأحماض الدهنية غير المشبعة في بذور وثمار النباتات.

تسمى الخلايا التي تخزن الأحماض الدهنية المشبعة بالخلايا الدهنية في الحيوانات ، الأحماض الدهنية غير المشبعة ويتم تخزينها في شكل حبيبات دهنية في النباتات.

الاستهلاك المفرط الاستهلاك المفرط للأحماض الدهنية المشبعة قد يؤدي إلى أمراض القلب. قد يؤدي الاستهلاك المفرط للأحماض الدهنية غير المشبعة إلى تقليل نسبة الكوليسترول في الجسم.

أمثلة على الأحماض الدهنية المشبعة

حامض الستريك Stearic acid

- حمض الستريك هو مثال للأحماض الدهنية المشبعة طويلة السلسلة مع هيكل هيدروكربوني مكون من 18 ذرة كربون. الاسم العلمي لهذا الحمض هو octadecanoic
- توجد في الغالب في الحيوانات (30%) ، والدهون النباتية (5%)
- لونه أبيض ورائحته معتدلة ودرجة انصهاره في حدود 68-70 درجة مئوية .
- يتم إنتاج حمض الستريك عن طريق تصبن الدهون الثلاثية في الدهون والزيوت مع الماء المغلي .
- يمكن استخدام حمض الستريك كمضافات غذائية في بعض الأطعمة ، ويستخدم هذا الحمض الدهني كمواد تشحيم أو عامل تليين .
- كما أنها تستخدم بكثرة في الصناعات لصنع الصابون والمنظفات .
- في جسم الانسان يرتبط بمستويات LDL أقل من الأحماض الدهنية المشبعة الأخرى .

حامض البالمتيك Palmitic acid

- حمض البالمتيك مثال على الأحماض الدهنية المشبعة طويلة السلسلة مع هيكل هيدروكربوني مكون من 16 ذرة كربون. الاسم العلمي لهذا الحمض هو hexadecanoic
- يوجد بشكل طبيعي في زيت النخيل وزيت نواة النخيل إلى جانب مصادر أخرى مثل الزبدة والجبن والحليب واللحوم .
- أبيض اللون بقوام دهني ودرجة انصهار 63 درجة مئوية .
- يتم إنتاج حمض البالمتيك عن طريق عملية تصبن زيت النخيل في وجود الماء بدرجة حرارة أعلى .
- يستخدم في الصناعات لإنتاج المنظفات والصابون و مواد التشحيم الأخرى. إلى جانب ذلك ، يتم إضافته أيضاً كمضافات غذائية لأنه يضيف قوام للأطعمة المصنعة .

أمثلة على الأحماض الدهنية غير المشبعة

حامض اللينوليك Linoleic acid

- حمض اللينوليك هو مثال على الأحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة التي تعد واحدة من اثنين من الأحماض الدهنية الأساسية في الإنسان .
- هو حمض دهني يحتوي على 18 كربون يوجد معظمه في الزيوت النباتية .
- هو حمض دهني مضاعف غير مشبع ، يُعرف أيضًا باسم أحماض أوميغا 6 الدهنية ، ويوجد غالبًا في جليكوسيدات النبات .
- يوجد زيت عديم اللون أو أبيض غير قابل للذوبان في الماء .
- لا يتم تصنيعه داخل جسم الانسان وبالتالي يجب تناوله من خلال مصادر النظام الغذائي .
- يستخدم حمض اللينوليك في التخليق الحيوي لحمض الأراشيدونك ، ويشكل أيضًا طبقة الدهون في غشاء الخلية .
- استهلاك حمض اللينوليك ضروري للصحة ، وقد يؤدي نقصه إلى تساقط الشعر وحرق الجلد

حمض الأوليك Oleic acid

- حمض الأوليك هو مثال على الأحماض الدهنية الأحادية غير المشبعة الموجودة بشكل طبيعي في الدهون والزيوت النباتية .
- من الطبيعي أن يكون عديم اللون والرائحة ، ولكن قد يظهر حمض الأوليك المصنوع تجاريًا باللون الأصفر .
- حمض الأوليك هو أكثر الأحماض الدهنية الأحادية غير المشبعة شيوعًا في الطبيعة ، ولكنه موجود كإسترات بدلاً من الأحماض الدهنية أو أملاحها .
- يوجد بتركيزات عالية في دهون الجسم ودهون الفسفوليبيدات في غشاء الخلية. وهو أكثر الأحماض الدهنية وفرة في الأنسجة الدهنية في جسم الانسان .
- يحدث التخليق الحيوي لحمض الأوليك داخل الجسم عن طريق نزع الهيدروجين من حامض stearic acid في وجود إنزيم stearoyl-CoA 9-desaturase

هدرجة الزيوت Hydrogenation of oils

- تستخدم الهدرجة على نطاق واسع في عمليات الصناعات الغذائية ، حيث يتم معالجة الزيوت النباتية وذلك لغرض تحويل الأحماض الدهنية غير المشبعة إلى أحماض دهنية مشبعة .

وعملية إشباع الزيوت بالهيدروجين المقصود الرئيس منها هو إكساب تلك الزيوت النباتية الطبيعية قدرات فائقة غير طبيعية على مقاومة العوامل التي تُعجل في تأكسد الدهون وبالتالي فسادها، ما يعني أن مدة صلاحيتها ستتجاوز بمراحل عديدة جداً ما هو طبيعي منها. وتأثرها بالحرارة أو ضوء الشمس أو الهواء سيكون أيضاً أقل .

إن هدرجة الزيوت النباتية يجعل من السهل استخدامها في إعداد أطعمة تعيش لمدة أطول دون أن تفسد، وكذلك تُعطيها نكهة أفضل وشكلاً ذا بُنية غير قابلة للذبول. ولذا فإن الدهون التقابلية متركزة في المأكولات المقلية والحلويات من المعجنات والمعجنات المخبوزة والمقرمشات والبسكويت وغيرها كثير

أسباب استخدام الزيوت المهدرجة

تستخدم الزيوت المهدرجة في الأطعمة لثلاثة أسباب هي :

التكلفة: فالزيوت المهدرجة أرخص ثمناً من زيت الزيتون البكر وزيت جوز الهند الصحي، كما أنهما ليس لهما نفس المذاق ولا يحققان الطراوة المطلوبة .

العوامل التسويقية: لا تستطيع الزيوت النباتية الإحلال محل الزيوت المهدرجة في كل أنواع الطعام خاصة في المخبوزات، كما أن هناك عاملاً حقيقياً يرجع إلى " جهل بالمواد الموجودة في الطعام" فمعظمنا لا نقرأ لائحة المكونات، ومن يقرأها يجهل معناها، كما أن كلمة "خال من الكوليسترول" تعد كلمة سحرية، بعدها يشتري الشخص هذه المنتجات بلا تفكير وفي حقيقة الأمر هي ضارة وتحمل بداخلها أمراضاً كثيرة. مدة الصلاحية: تبقى الأطعمة التي تحتوي على زيوت مهدرجة لمدة أطول على الرف ولا تحتاج إلى الثلاجات لحفظها، وتحتفظ بنكهتها لمدة طويلة، كما أنها لا تكلف كثيراً بالنسبة للشحن، فهي لا تحتاج إلى الثلاجات و تتحمل الظروف القاسية أحياناً دون أن تفسد، لذا تستخدمها المصانع أحياناً دون الحاجة إلى وجودها في الطعام .

المستوى المسموح بتناوله من هذه الأطعمة

تسمح بريطانيا بتناول كحد أقصى 4.4 غرام للنساء و 5.6 للرجال، ولكن هل تعلم أن وجبة من الدجاج المقلي والبطاطس تحتوي على 4 غرامات من الزيوت المهدرجة (وتعد وجبة واحدة في اليوم

المخاطر الصحية

إن الأدلة العلمية الطبية تشير إلى أن تناول الدهون المتحولة يرفع من نسبة الكوليسترول الخفيف الضار بالجسم ارتفاعه، ويُقلل من نسبة الكوليسترول الثقيل المفيد للجسم ارتفاعه. ما يتسبب في إصابة الشرايين بمرض تصلب الشرايين وظهور ترسبات الكوليسترول السادة لها في أجزائها، الأمر الذي يؤدي إلى أمراض شرايين القلب والسكتة الدماغية.

ومن الناحية الصحية فإنه لا يُعلم حتى اليوم أي فائدة من تناول هذا النوع من الدهون ، بل على العكس فإن كل المؤشرات العلمية الطبية تتحدث عن مضارها على صحة الإنسان. ولذا يحرص أطباء القلب وغيرهم على النصيحة بتجنب تناولها وتناول الأطعمة المحتوية عليها أسوة بتحذيرهم من تناول الدهون المشبعة والكوليسترول. لكن الفارق في التحذير أن ثمة منافع للإنسان من تناول الدهون المشبعة والكوليسترول بكميات قليلة ، بخلاف الدهون المتحولة.

البروتينات

تكون البروتينات في معظم الخلايا حوالي 50% من الوزن الجاف والبروتينات بصورة عامة جزيئات كبيرة نوعا ما يتراوح وزنها الجزيئي من عدة الاف الى مليون أو أكثر . تتكون البروتينات من الكربون 50-55% والهيدروجين 6-8% والأوكسجين 20-23% والنايتروجين 15-18% والكبريت 0-4% . بعض البروتينات تحتوي على الفسفور والحديد والزنك والنحاس ويكون النايتروجين حوالي 16% من مكونات البروتين ويقدر عادة على شكل NH₃ بطريقة كدال ((Kjeldahl)) وعلى هذا الاساس تقدر نسبة البروتين بمعرفة محتوياته من النايتروجين وضرب الناتج ب 6.25 وهذا الرقم الاخير هو عبارة عن قسمة 100 على 16

البروتينات هي الصيغة التي تعبر فيها العوامل الوراثية عن نفسها وللبروتينات اهمية كبيرة في الخلية الحية اذ ان جميع الانزيمات هي عبارة عن مواد بروتينية

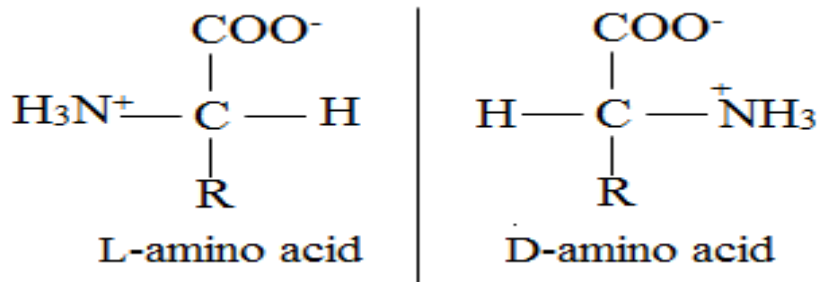
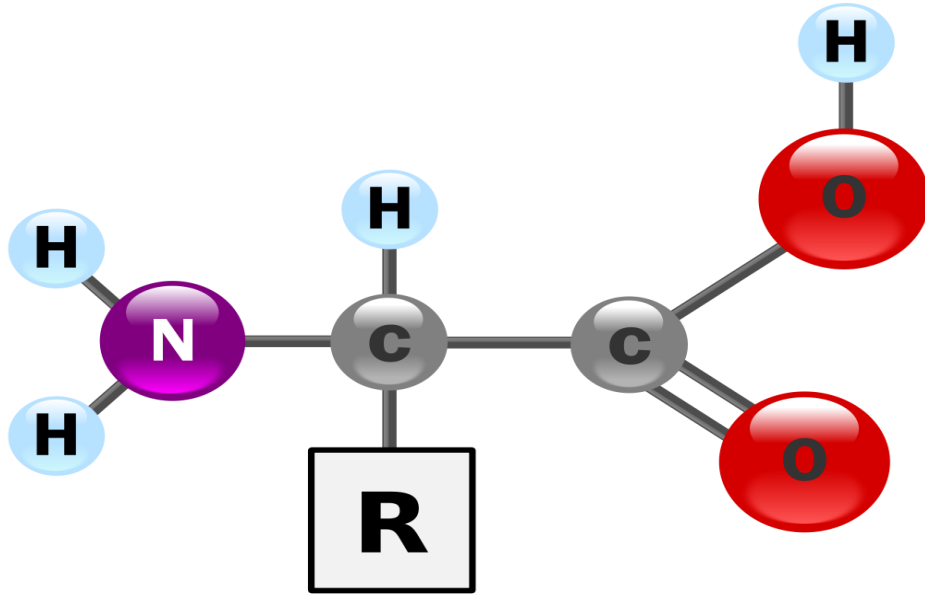
تركيب البروتينات

لقد تم فصل عدد كبير من البروتينات على شكل بلورات . تنتج الأحماض الأمينية من نوع ألفا عند تحليل البروتينات بصورة كاملة بواسطة الحوامض القوية ومن الجدير بالذكر ان البروتينات المختلفة لاتحتوي على جميع الاحماض الامينية العشرون الداخلة في تركيب البروتينات.

الأحماض الأمينية (Amino acid) مركبات عضوية ترتبط مع بعضها البعض مكونة مركبات عضوية أكبر تسمى البروتينات، كما تعد الأحماض الأمينية والبروتينات حجر الأساس لبناء جسم الإنسان.

أنواع الأحماض الأمينية

وهي وحدة البناء الرئيسية للبروتينات وتتركب الاحماض الامينية من مجموعة حامضية هي مجموعة الكربوكسيل COOH ومجموعة قاعدية هي مجموعة الامين NH_2 وتختلف تلك الاحماض الامينية عن بعضها البعض في موضع مجموعة الامين بالنسبة الى مجموعة الكربوكسيل فقد ترتبط بشكل ألفا أو بيتا أو كما ولكن البروتينات الطبيعية تمتاز باحتوائها على الشكل ألفا ولها الصيغة البنائية التالية



يوجد ما يقارب العشرون نوعاً من الأحماض الأمينية التي تتدمج مع بعضها مكونة مجموعة هائلة من البروتينات المختلفة، وبشكلٍ عام تقسم الأحماض الأمينية إلى ثلاثة أنواع أساسية، وتتضمن أنواع الأحماض الأمينية هذه كل من الاتي:

1. الأحماض الأمينية الأساسية (Essential amino acids)

يعد الغذاء هو المصدر الرئيس للأحماض الأمينية الأساسية ولهذا سميت بالأساسية، حيث أن جسم الإنسان لا يمتلك القدرة على تصنيعها، وفي ما يأتي قائمة بأنواع الأحماض الأمينية الأساسية :

- التربتوفان. (Tryptophan)
- الهيستيدين. (Histidine)
- الايزوليوسين. (Isoleucine)
- الميثيونين. (Methionine)
- الثريونين. (Threonine)
- الفالين. (Valine)
- الفينيل ألانين. (Phenylalanine)
- اللايسين. (Lysine)
- الليوسين. (Leucine)

2. الأحماض الأمينية غير الأساسية (Non-essential amino acids)

الأحماض الأمينية غير الأساسية، هي الأحماض الأمينية التي تصنع داخل الجسم، وسميت غير أساسية؛ لأن جسم الإنسان قادر على تصنيعها بشكل كاف ولا يحتاج الحصول عليها من المصادر الغذائية، وتشمل الأحماض الأمينية غير الأساسية الاتي:

- الأرجنين. (Arginine)
- الألانين. (Alanine)
- السيستين. (Cysteine)
- الأسباراجين. (Asparagine)
- حمض الأسبارتيك. (Aspartic acid)
- التايروسين. (Tyrosine)
- البرولين. (Proline)
- السيرين. (Serine)
- الكلوتامين. (Glutamine)

- حمض الكلوتاميك. (Glutamic acid)
- الكلايسين. (Glycine)

وظائف الأحماض الأمينية

تلعب الأحماض الأمينية دورًا أساسيًا في العديد من أنظمة الجسم ووظائفها الحيوية، وتتلخص وظائف الأحماض الأمينية بالآتي:

- تصنع بروتينات الجسم، ومن أبرز هذه البروتينات :
 - الإنزيمات.
 - الهرمونات، مثل: الثايروكسين، والأنسولين.
 - الأجسام المضادة.
 - النواقل العصبية، مثل: الهستامين، والسيروتونين.
 - الحمض النووي والحمض النووي الريبوزي.
 - البروتينات البنائية، مثل: الكولاجين والكيراتين.
 - البروتينات الناقلة للمركبات الحيوية الأخرى، مثل الهيموغلوبين وهو البروتين الذي ينقل الأكسجين بين أنسجة الجسم المختلفة.
 - البروتينات الخازنة، مثل الفيريتين (Ferritin) ، وهو البروتين المسؤول عن تخزين الحديد في الجسم.
- تعد مصدرًا للطاقة.
- تساهم في عملية النمو والتطور للعديد من الأعضاء، مثل: العضلات، والجلد، والشعر، والأظافر.
- قد يكون لها دور فعال في عملية إصلاح والتئام الأنسجة.
- تساعد في العمليات الأيضية وعمليات تحطيم الغذاء.
- تساهم في الحفاظ على حيوية وظائف القلب والشرابين.

المصادر الغذائية الغنية بالأحماض الأمينية الأساسية

بالرغم من أن الجسم غير قادر على تصنيع الأحماض الأمينية الأساسية، إلا أن الجسم يستطيع الحصول عليها من الغذاء اليومي بشكل كافٍ، وتوجد العديد من المصادر الغذائية الغنية بالأحماض الأمينية الأساسية خاصةً المصادر الغذائية الغنية بالبروتينات؛ سواء إن كانت مصادر حيوانية أو نباتية، وفي ما يأتي بعض الأمثلة على هذه المصادر الغذائية:

- **التربتوفان Tryptophan**: يتوفر التريبتوفان في معظم المصادر الغذائية الغنية بالبروتين، مثل اللحوم الحمراء والدواجن والجبن وجنين القمح.
- **الهستيدين Histidine**: يوجد الهستيدين في مصادر غذائية عديدة، مثل: اللحوم، والدواجن، والأسماك، والحبوب الكاملة، والمكسرات.
- **الايزوليوسين Isoleucine**: يتواجد الايزوليوسين بكثرة في الأسماك، واللحوم، والدواجن، والبيض، والجبن، والمكسرات، والعدس.
- **الميثيونين Methionine**: يعد البيض، والمكسرات، والحبوب من أبرز مصادر الميثيونين.
- **الثريونين Threonine**: يتواجد الثريونين بكثرة في جنين القمح وجبن القريش.
- **الفالين Valine**: يحتوي الفطر والجبن والحبوب الكاملة والخضراوات وفول الصويا والفول السوداني بكثرة على الفالين.
- **الفينيل ألانين Phenylalanine**: يتواجد الفينيل ألانين في مصادر غذائية كثيرة، نذكر منها: الأسماك، واللحوم، والدواجن، ومنتجات الألبان، والمكسرات، والفول، وفول الصويا.
- **اللايسين Lysine**: من أهم مصادر اللايسين: اللحوم، والبيض، وبذور القرع، والفاصوليا السوداء، وفول الصويا.
- **الليوسين Leucine**: يتوفر الليوسين بكميات عالية في البقوليات وفول الصويا ومنتجات الألبان.

حاجة الجسم من الأحماض الأمينية الأساسية

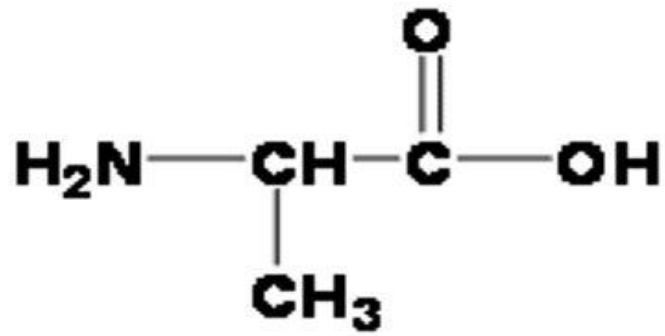
في الجدول الاتي بيان الكمية اليومية الموصى بتناولها من الأحماض الأمينية الأساسية بالمليغرام لكل 1 كيلوغرام من وزن الجسم:

نوع الحمض الأميني	الكمية الموصى بها (مليغرام لكل كيلوغرام)
التريبتوفان	5
الهستيدين	14
الايزوليوسين	19
الميثيونين	19
الثيونين	20
الفالين	24
الفنيل ألانين	33
اللايسين	38
الليوسين	42

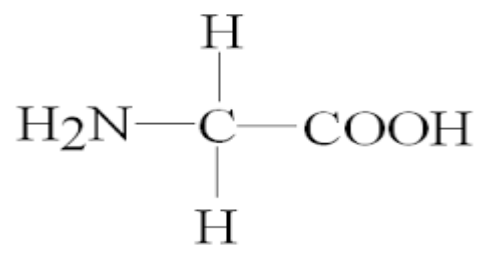
وعلى سبيل المثال تقدر الكمية اليومية الموصى بها من التريبتوفان لشخص يزن 60 كيلوغراماً 300 مليغرام.

كما تختلف الأحماض الأمينية بتركيبها حسب نوع المجموعة R التي قد تكون سلسلة هيدروكربونية اليقاتية مستقيمة او متفرعة او حلقية او عطرية تحتوي حلقة بنزين وتصنف الأحماض الأمينية على أساس عدد المجاميع الحامضية الكربوكسيلية والقاعدية الأمينية الى الأقسام التالية :

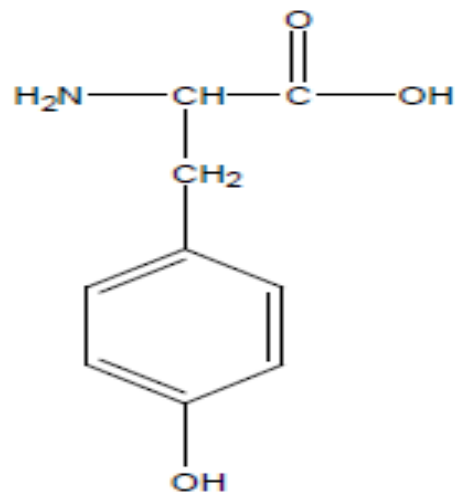
1-أحماض أمينية متعادلة :وهي التي تحتوي على عدد متساوي من تلك المجموعات الكربوكسيلية والأمينية في الجزئ مثل التايروسين والالانين والكلايسين



alanine

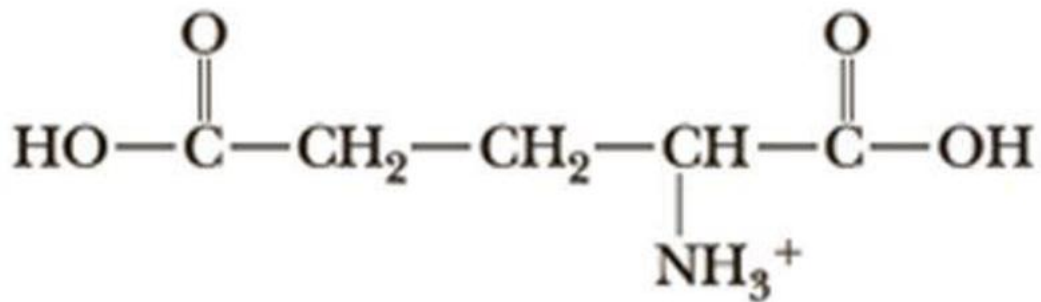


glycine

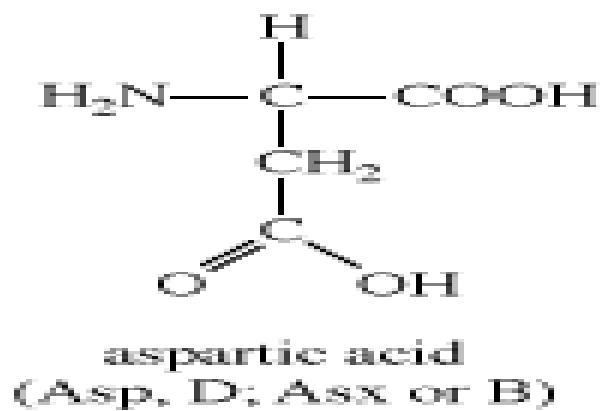


Tyrosine

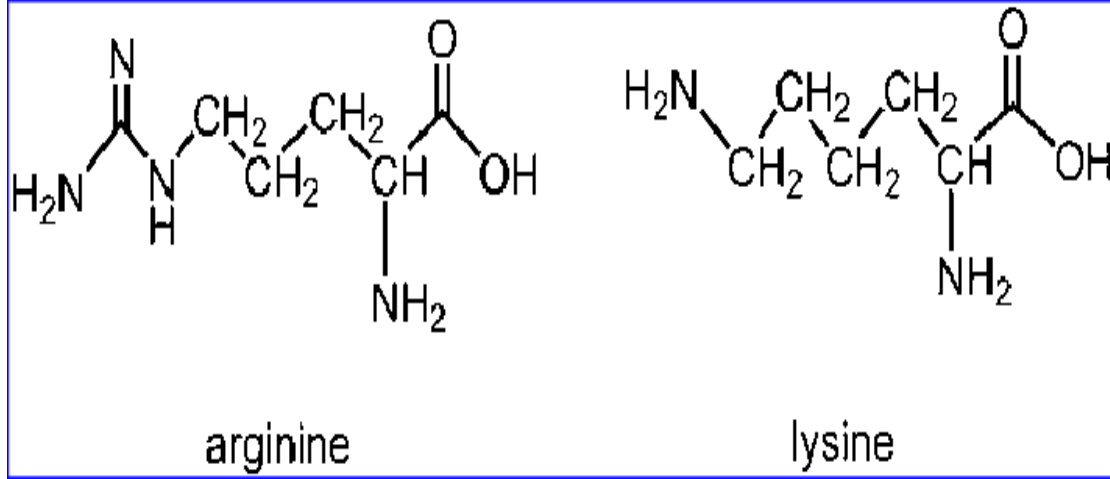
2-- **أحماض أمينية حامضية**: وهي التي تحتوي على مجاميع حامضية كربوكسيلية في الجزئ ذات عدد اكبر من المجاميع القاعدية الأمينية مثل حامض كلوتاميك وحامض أسبارتيك



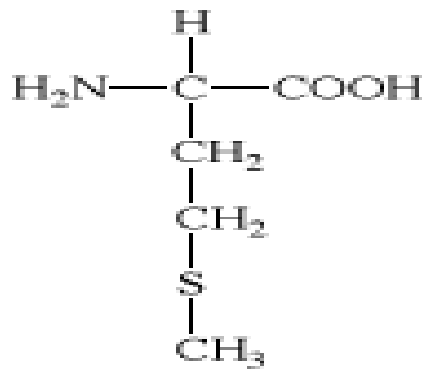
Glutamic acid



٣-أحماض أمينية قاعدية: وهي التي تحتوي على مجاميع قاعدية امينية في الجزء ذات عدداً أكبر من المجاميع الحامضية الكربوكسيلية. مثل اللايسين والارجنين



تحتوي بعض الأحماض الامينية على عنصر الكبريت الذي يوجد في حالة ثنائي كبريتيد (-S-S-) أو على حالة مجموعة سلفوهيدريل -SH كما تحتوي مجاميع قطبية مثل OH ويلاحظ أيضاً أن الاحماض الامينية تتميز باحتوائها على الأقل ذرة كربون واحدة غير متماثلة ماعدا الكلايسين ولذا يكون لها متشابهات ضوئية أحدهما D والآخر L ولذا تمتلك فعالية ضوئية وقد وجد أن جميع الأحماض الأمينية يمكن الحصول عليها بالتحلل المائي للبروتينات او بالتحضير الكيميائي في المختبر ولها خواص كيميائية تتضمن التفاعلات الخاصة بالمجموعة الكربوكسيلية والأمينية

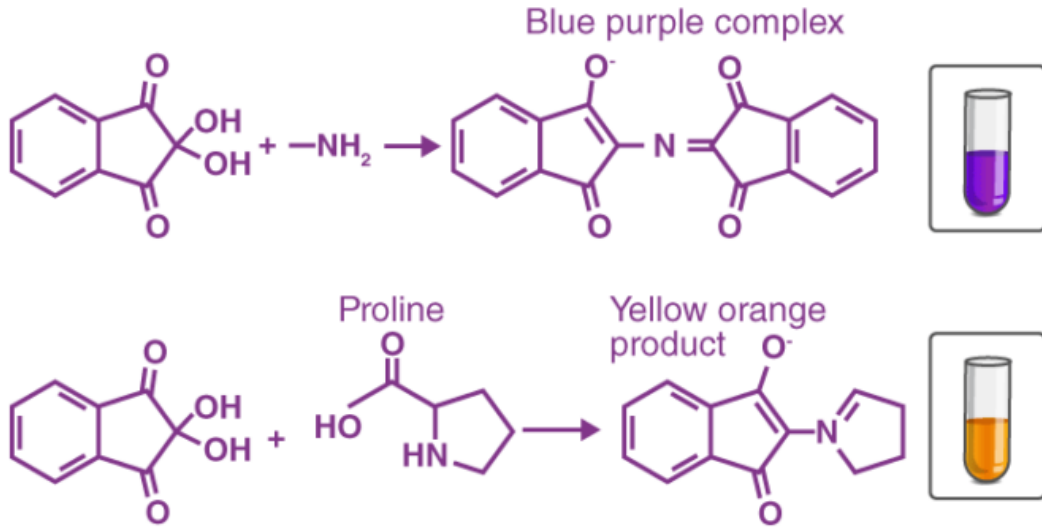


methionine
(Met, M)

التفاعلات الكيماوية للأحماض الأمينية

تحصل التفاعلات الكيماوية للأحماض الأمينية نتيجة وجود المجاميع الفعالة كمجاميع الكربوكسيل والمجاميع الأمينية فيها وفيما يلي بعض تلك التفاعلات.

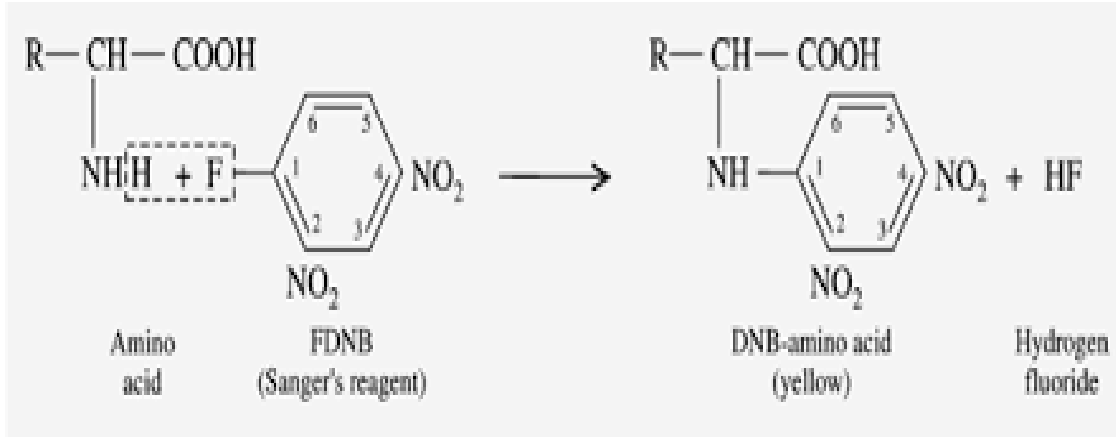
1. **التفاعل الأول** ويطلق عليه تفاعل الننهايدرين ninhydrin reaction ويستعمل في تقدير كميات قليلة جدا من الأحماض الأمينية فعند تسخين الأحماض الأمينية مع لننهايدرين فإنه يتفاعل مع المجموعة الأمينية الحرة الفا وينتج عنه لون أزرق باستثناء البرولين يعطي لون أصفر وسبب ذلك هو أن المجموعة الأمينية في هذا الحامض لا تكون حرة وأن وضعها في غير محله مقارنة بالمجاميع الأمينية الموجودة في الأحماض الأمينية الأخرى



2. التفاعل الثاني

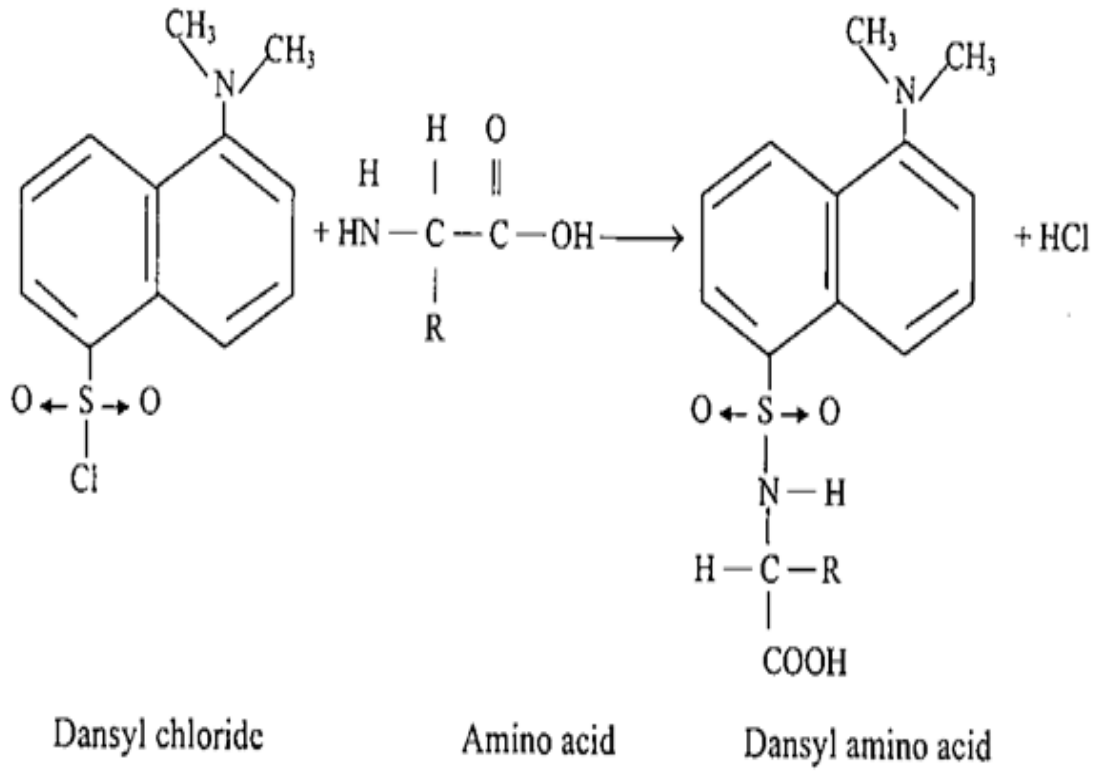
يتفاعل مركب **1-Fluoro-2,4-dinitrobenzene (FDNB)** تحت ظروف قاعدية معتدلة مع المجموعة الأمينية الفا للأحماض الأمينية لينتج مركب مشتق يسمى

2,4-dinitro phenylamino acid ويكون لونه اصفرولهذا التفاعل اهمية كبيرة في دراسة تركيب البروتينات اذ بواسطة هذا التفاعل يمكن معرفة الحامض الاميني الطرفي في بروتين معين



3. التفاعل الثالث

تتفاعل الاحماض الامينية والبيبتيدات مع مركب كلوريد الدانزيل لينتج مشتق للحامض الاميني ويكون مشع للضوء ويمكن تقدير كميات محدودة من الاحماض الامينية بهذه الطريقة ان حساسية هذا التفاعل يكون مئة مرة اكثر من تفاعل الثاني (FDNB)



البناء الضوئي Photosynthesis

النبات الأخضر بوجود الضوء قادر على تحويل ثاني أكسيد الكربون والماء الى كاربوهيدرات محررا الأوكسجين بعملية تسمى بالبناء الضوئي تمثل مقدرة النباتات على صنع غذائها العضوي، في تلك العملية التي تتحول فيها الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية تمهد لاختزال ثاني أكسيد الكربون الى مستوى الكاربوهيدرات ويمكن كتابة المعادلة العامة للبناء الضوئي كالتالي



وفي بعض انواع البكتريا يتم بناء الكاربوهيدرات بالرغم من خلو أجسامها من المادة الخضراء

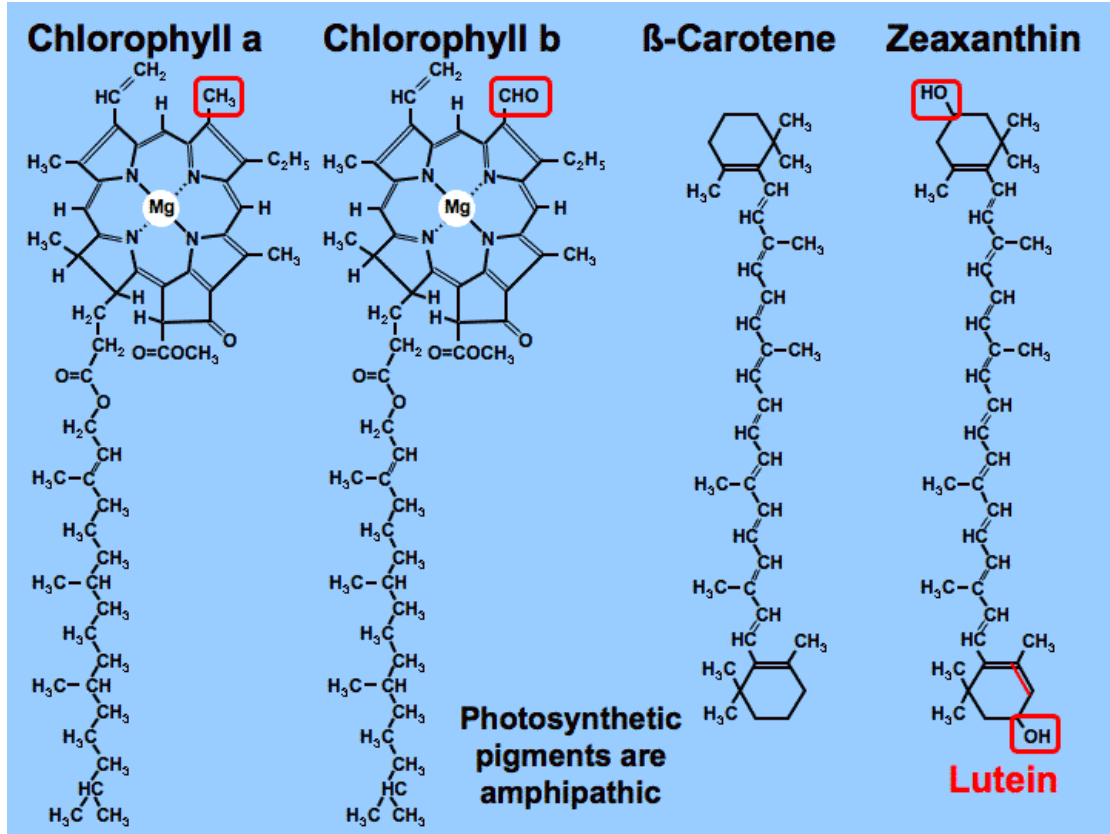
اذ تستخدم الطاقة التنفسية كمصدر للطاقة المستخدمة في هذا النوع من البناء الكربوهيدراتي
لذا تعرف هذه العملية بالبناء الكيمياوي **Chemosynthesis**

صبغات البناء الضوئي

الكلورفيل **Chlorophyll** هو الصبغة الخضراء في النبات ويعد أهم الصبغات النباتية في عملية البناء الضوئي وتوجد عدة انواع منه مثل **a , b , c , d , e** وأهم الانواع هي **a** لتواجدهم في بلاستيدات الخلايا النباتية اما بقية الأنواع فتوجد في الكائنات ذاتية التغذية مثل الطحالب الخضراء و البكتريا ويلاحظ ان كلوروفيل **a** يعطي لون اخضر مصفر أما كلوروفيل **b** يكون عادة ذو لون اخضر مزرق . اما عن التركيب الكيمياوي للكلورفيل فهو يتركب من أربع وحدات من البروفيرين ويوجد المغنسيوم في صورته الغير متأينة يتوسط جزئ الكلورفيل ويختلف كلورفيل **a** عن كلورفيل **b** في ارتباط ذرة الكربون رقم 3 في جزئ الكلورفيل **a** بمجموعة ميثيل **CH3** في حين تكون في كلورفيل **b** مجموعة الديهايد **CHO**

كما توجد صبغات أخرى يميل لونها إلى الأصفر تسمى الكاروتين والزانثوفيل وهذه الصبغات لها دور مساعد في عملية البناء الضوئي حيث تقوم بامتصاص والتقاط الطاقة الضوئية ثم تنقلها إلى صبغات الكلوروفيل. كما تقوم أيضاً بدور رئيسي في حماية الكلوروفيلات من عمليات الأكسدة الضوئية وخاصة في الضوء الساطع.

تم عملية البناء الضوئي داخل البلاستيدات الخضراء التي تتركب من جسيمات محاطة بغشاء سيتويلازمي مزدوج يحتوي على نوعين من الصفائح الأولى تسمى صفائح الكرانا **Grana** مفردتها **Granum** تحتوي على الصبغات الخاصة بعملية البناء الضوئي اذ يوجد في كل بلاستيدة 60 كرانا يتم فيها تحول الطاقة الضوئية الى طاقة كيمياوية أما الثانية تسمى صفائح الستروما **stroma** ويتم فيها اختزال ثاني أوكسيد الكربون الى كربوهيدرات.



ظاهرة الهبوط الأحمر والنظام الضوئي الأول (PSI) والثاني (PS II)

لقد سجل الباحث **Emerson** وآخرون أثناء دراستهم لكفاءة البناء الضوئي لمختلف الأطوال الموجية التي يمتصها طحلب **Chlorella** انخفاض في إنتاج الكوانتم عند طول موجي أكثر من 680 نانومتر إذ تمكنوا من حساب إنتاج الكوانتم والمقصود به عدد جزيئات الأوكسجين المنطلقة في عملية البناء الضوئي لكل كوانتم ممتص وسميت هذه الظاهرة بالهبوط الأحمر **Red drop** أي الهبوط في كفاءة البناء الضوئي . كما وجدوا ان استخدام نوعين من الأشعة الأول أقصر من 680 نانومتر والثاني أطول من 680 في آن واحد يفوق ويزيد عن مجموع كل من النوعين عند استعمال كل منها بمفرده وبالتالي تم التغلب على ظاهرة الهبوط الأحمر ويطلق على هذا الارتفاع في معدل البناء الضوئي نتيجة لاستعمال نوعي الأشعة في ان واحد بتأثير اميرسن .

لقد أسفر اكتشاف اميرسون لظاهرة الهبوط الأحمر وكذلك تأثير اميرسن عن وجهة نظر جديدة لدور الكلوروفيل والصبغات المساعدة في عملية البناء الضوئي اذ يبدو ان البناء الضوئي في النبات الأخضر يكون منظم بتفاعلين ضوئيين متتاليين يرتبط كل منهما بمجموعة خاصة من الصبغات وهما

1. النظام الضوئي الأول (PSI) photosystem I

2. النظام الضوئي الثاني (PS II) photo system II

هذين النظامين التابعين لتفاعل الضوء أو المرحلة الكيموضوئية Photo Chemical phase من التمثيل الضوئي غنيان بصبغات الكلوروفيل والكاروتين وفي كلا النظامين فإن الصبغات تعمل على حصاد وتجميع الطاقة الضوئية ونقلها إلى مراكز النشاط الرئيسية في كل النظامين (Reaction Centers) والتي تسمى المصائد Traps

كوانتم الضوء Quantum الممتص من قبل جزيء واحد من الكلوروفيل يرحل من جزيء إلى آخر وفي النهاية يستغل في عمل كيميائي وهو تكوين NADPH₂ & ATP وبمجرد أن يحدث إثارة لمراكز النشاط في النظامين الضوئيين وهما

P700 وتعني الصبغة 700 وهي مركز التفاعل للنظام الضوئي الأول Reaction

Center Of PS I

P680 وتعني الصبغة 680 وهي مركز التفاعل للنظام الضوئي الثاني

Reaction Center Of PS II

فإنها تحرر الكترولونات وبذلك تختزل مستقبلات الإلكترولون وهذه بدورها تحرر الإلكترولونات إلى مستقبلات أخرى

تفاعلات عملية البناء الضوئي

أوضحت الدراسات ان عملية البناء الضوئي تشمل نوعين من التفاعلات هي تفاعلات الضوء
Light reaction وتفاعلات الظلام Dark reaction

1. تفاعلات الضوء

تسمى أيضا بتفاعلات هيل **Hill reaction** اذ قام العالم Robert Hill سنة 1937 بدراسة تفاعلات البناء الضوئي على مستوى البلاستيدات الخضراء المعزولة بدلا من النباتات الكاملة وقد وجد ان البلاستيدة الخضراء المعزولة قادرة على انتاج الأوكسجين أي لها القدرة على اتمام التفاعل الضوئي بوجود عوامل مؤكسدة لها القدرة على أكسدة المركبات وتصبح هي مختزلة مثل مركبات **سيانيد الحديد Ferrocyanide** وأوكزالات البوتاسيوم الحديدية **ferric Potassium oxalate** ومركبات الكوينون التي تختزل الي الهيدروكوينون، حيث تتحول ايونات الحديد الى حديدوز ويتأكسد الماء اي تحل تلك المركبات محل **NADP** والذي يعتبر مستقبل الهيدروجين في عملية البناء الضوئي. عند سقوط الضوء الذي طول موجته 700 نانومتر على كلورفيل a والذي يعرف بالنظام الضوئي الاول **(PSI) photosystem** تصطدم فوتونات الضوء مع الكلورفيل فيصبح جزئ الكلورفيل مرتفع الطاقة و يتم ذلك بانتقال الكترون من مدار قريب من النواه الى مدار أبعد و يظل جزئ الكلورفيل في تلك الحالة المرتفعة من الطاقة **excited state** لفترة وجيزة جدا تبلغ 10⁻⁹ ثانية فاذا لم تستخدم الطاقة فأنها تتبد في صورة وميض او لصف الكلوروفيل **Fluorescence of chlorophyll**.

يتأكسد الكلورفيل في **النظام الضوئي الأول PSI** بفقد الالكترون فيستقبله مركب **Ferredoxin** وهي الصبغة التي تستقبل الالكترون وهي عامل مساعد بروتيني وتقوم باختزال المرافق الانزيمي المعروف باسم **NADP** في وجود أنزيم **Ferredoxin-NADP⁺ reductase** ويتحول **NADP** الي **NADPH** ومصدر الهيدروجين هنا هو الماء. وفي حالة عدم توفر المرافق الانزيمي الحامل للهيدروجين **NADP** والانزيم الذي يقوم باختزلة فان **Ferredoxin** تدفع تيار الالكترونات الى مستقبلات هي بالترتيب **سيتوكروم b** ثم **سيتوكروم f** ثم الى الصبغة **cu-containing**

Plstocyanine Protein (PC) ثم مرة أخرى الي **كلورفيل a** وذلك ليحافظ النظام الضوئي الأول (PSI) على صورته المختزلة المانحة للإلكترونات وفي تلك الدورة يفقد الإلكترون طاقتة و التي يمنحها الي المركب **ADP** ليكون مركب **ATP** بإضافة الفسفور اللاعضوي **ip** الي **ADP**

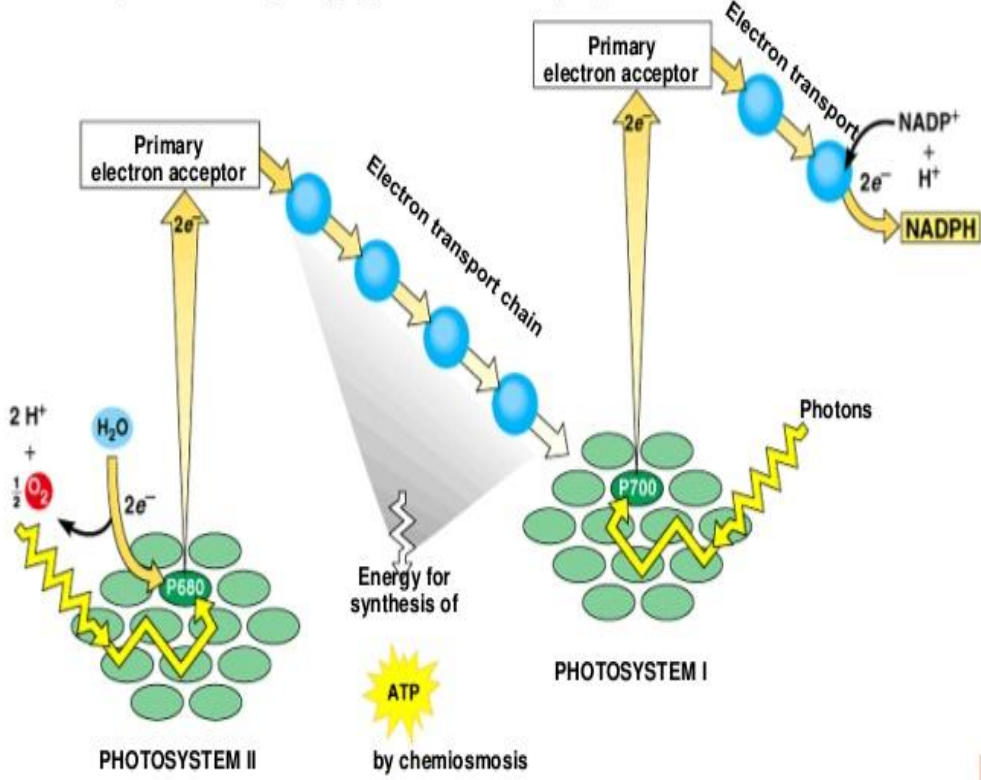


في نظام يعرف بأسم الفسفرة الضوئية الدائرية **Cyclic photophosphorylation**. تأتي الألكترونات من أكسدة الماء اذ تتأكسد جزيئات الماء الي اكسجين يتصاعد وهيدروجين والكثرونات

يستقبل الإلكترونات صبغة **Plastoquinone** التي تختزل وتقوم بنقل الإلكترون خلال **Cyt b** ثم **Cyt f** ثم الي المركب **plastocyanine (P C)** ثم الي **كلورفيل a (PSI)** لتعويض الإلكترون المفقود والذي استخدم في اختزال **NADP** الي **NADPH** واثناء ذلك يفقد الإلكترون طاقتة ويتكون **ATP** في نظام يعرف باسم الفسفرة الغير دائرية **Non cyclic photophosphorylation** ثم تستعيز صبغة **plastoquinone** عن الإلكترون المفقود بالكثرون آخر من أكسدة **الكلورفيل b (PS II)** نتيجة اكسدتها ضوئيا و يعوض **كلورفيل b** الإلكترون المفقود من أيونات الهيدروكسيل الناتجة من تحلل الماء و عليه ينتج من التفاعل الضوئي مركبان هامين لعملية اختزال ثاني اكسيد الكربون هما المركب الغني بالطاقة **ATP** و كذلك الموافق الانزيمي المختزل **NADPH** ومن الواضح أن عملية الفسفرة الضوئية اللادائرية هي أساس عملية البناء الضوئي في النباتات الراقية مع امكانية حدوث الفسفرة الضوئية الدائرية جنباً الي جنب معاً

Noncyclic Photophosphorylation

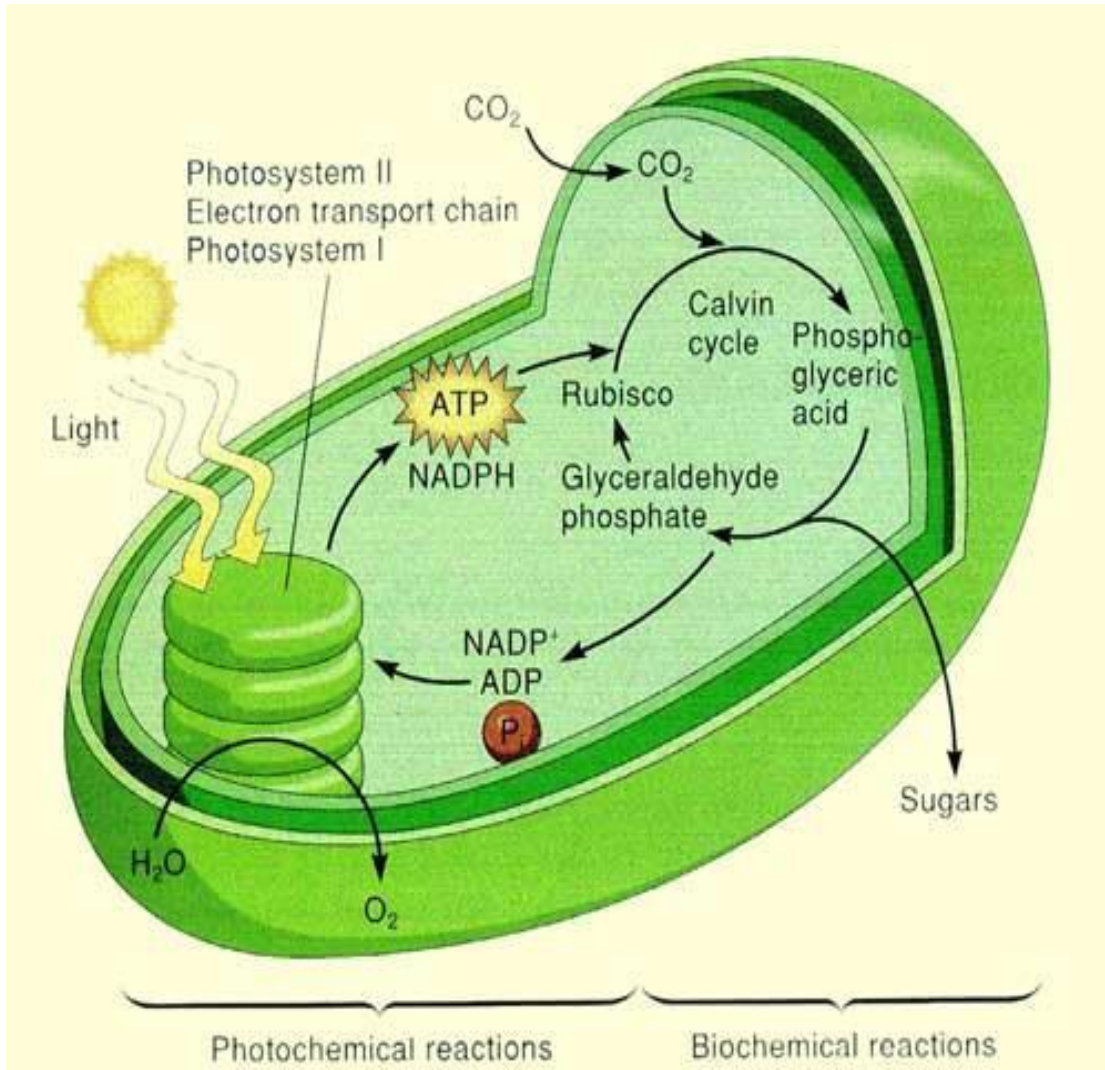
- Photosystem II regains electrons by splitting water, leaving O_2 gas as a by-product



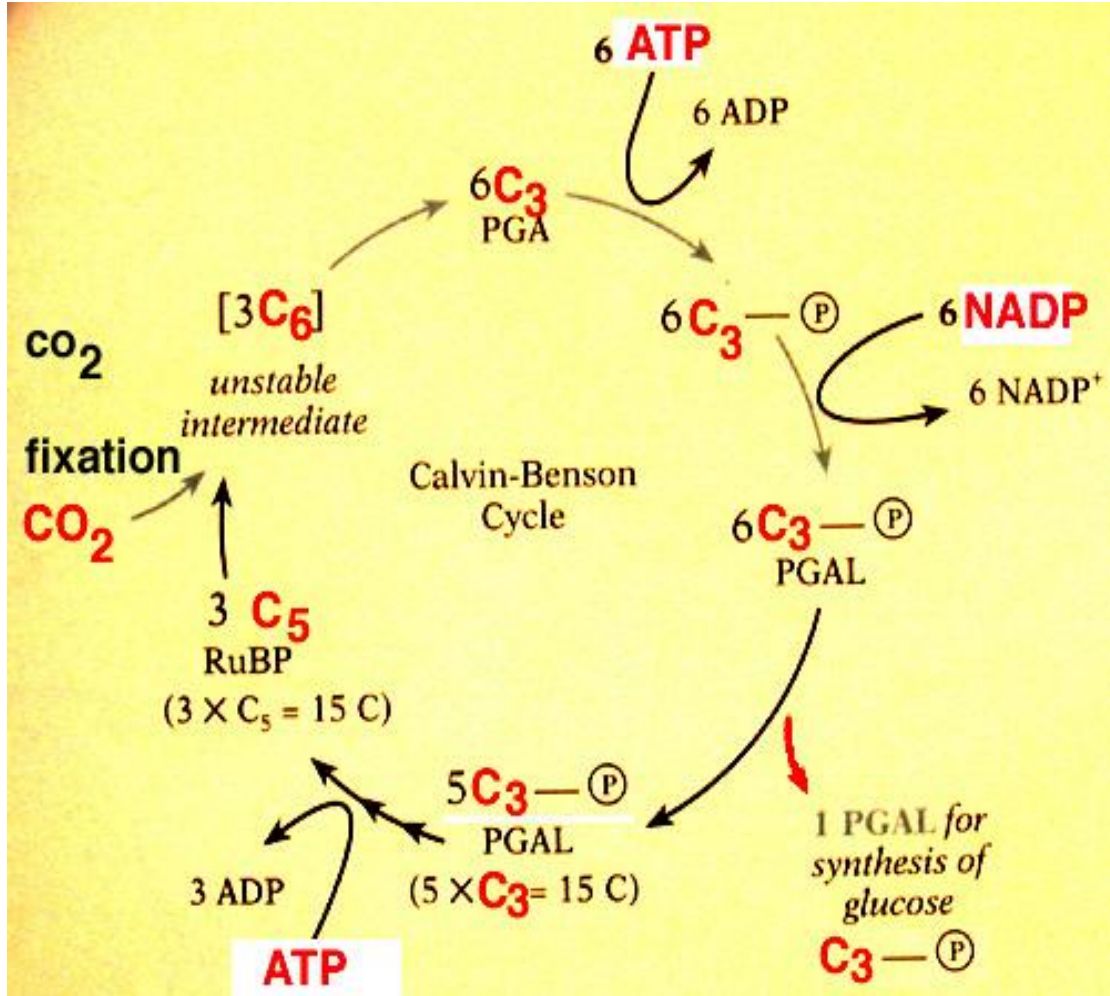
2. تفاعلات الظلام (Blackman reaction) Dark reaction

تتم تفاعلات هذه المرحلة في ستروما البلاستيدات الخضراء وهي تفاعلات لا تعتمد على وجود الضوء ولكن لاتمامها لابد ان تسبقها تفاعلات الضوء . تبدأ تفاعلات هذه المرحلة بثاني أوكسيد الكربون وتحتاج الى المرافق الانزيمي في صورته المختزلة $NADPH$ وكذلك ATP احدى الخطوات التي كان يحيط بها الكثير من الغموض في عملية البناء الضوئي من وجهة

نظر الكيمياء الحيوية هي الطبيعة الكيماوية والانزيمية للتفاعل الاول الذي يتم فيه دمج جزيئة ثاني اوكسيد الكربون مع جزيئة عضوية أخرى اكثر تعقيدا في طريقها لتكوين الكلوكوز. وقد أميط اللثام عن هذا الغموض باستعمال **CO2 المشع** ومن ثم عرضت الطحالب الى الطاقة الضوئية لفترة قصيرة جدا مما ادى الى تألقها واخذت بعض مستخلصات الطحالب وفحصت للكشف عن اول مركب يتم تكوينه ويدخل **CO2** المشع في تركيبه ونتيجة لذلك ان حامض **3-Phosphoglyceric acid (3PGA)** كان من بين اول المركبات التي دخل **CO2** المشع في تركيبه . كما وجد نتيجة التحليل الكيماوي لهذا الحامض ان معظم الكربون المشع كان في مجموعة الكربوكسيل ووجد بالتالي ان الخطوة الاولى لاختزال **CO2** كانت تفاعله مع **سكر مفسفر يحتوي 5 ذرات كربون** ويمكن توضيح الدورة كما يلي في دورة كالفن تستخدم **6 جزيئات من CO2** ويكون الناتج **جزيئة واحدة من الكلوكوز** أما تفاصيل الدورة فنلاحظ ان **6 جزيئات CO2** تتحد مع **6 جزيئات من سكر مفسفر يحتوي على 5 ذرات كربون هو Ribulose , 1,5-bisphosphate** وينتج عن هذا التفاعل **12 جزيئة من 3-phosphoglycerate (3PGA)** ويحتاج التفاعل الى انزيم يسمى **Rubisco** بعدها يتم استخدام **12 جزيئة من ATP** التي تعطي جزيئة من **Phosphate** الى **3-phosphoglycerate** ليتحول الى **1,3-bisphosphoglycerate** ويقوم **NADPH2** باعطاء الهيدروجين مع الالكترونات الى هذه المادة لتعطي **12 جزيئة من glyceraldehyde-3-phosphate** وتترك جزيئتين من **12 جزيئة** لتكون جزيئة من **الكلوكوز** أما ال**10 جزيئات** الباقية تتحول عن طريق انزيم **Rubisco** الى مركب **Ribulose -5-phosphate** الذي يتحول لاحقا الى **Ribulose 1,5-bisphosphate** ويلاحظ من تفاعلات الظلام انتاج **ADP** و **NADP** والتي تستخدم في تفاعلات الظلام مرة اخرى لتكون **ATP** و **NADPH**.



يسمى هذا المسار بمسار كالفن Calvin أو المسلك الثلاثي الكربون والنباتات التي يوجد فيها هذا المسار تسمى النباتات ثلاثية الكربون **C3-Plants** ومعظمها يعيش في المناطق المعتدلة والباردة.



كما اوضحت الدراسات انه في بعض النباتات وخاصة الاستوائية منها المركب الثابت الاول في عملية البناء الضوئي هو مركب رباعي الكربون **Oxaloacetic acid (OAA)**. وتعرف هذه النباتات بالنباتات رباعية الكربون وهذه النباتات تنمو عادة بصورة مثالية تحت ظروف تمتاز بشدة اضاءة عالية وتمتاز بما يلي:-

1. تمتلك سرعة بناء ضوئي عالية تتراوح بين $40-80 \text{ mgco}_2/\text{dm}^2/\text{h}$ في حين ان النباتات ثلاثية الكربون تتراوح سرعة البناء الضوئي فيها $15-40 \text{ mgco}_2/\text{dm}^2/\text{h}$.
2. لاتمتلك ظاهرة التنفس الضوئي **Photorespiration** أو قد يحدث بسرعة واطئة جدا.
3. تمتاز بقلّة كمية الماء المفقود مقارنة بالنباتات ثلاثية الكربون.

4. تمتلك تركيب تشريحي للورقة يختلف عن التركيب التشريحي للورقة في النباتات ثلاثية الكاربون.

5. تتحمل الملوحة ويعد الصوديوم أساسيا لأنه يزيد من نشاط انزيم PEP-Carboxylase

في هذا المسار الذي يعرف بمسار هاتس وسلاك **Hatch and Slack** والذي يوجد في بعض النباتات وخاصة الاستوائية وشبه الاستوائية مثل الذرة وقصب السكر يكون المستقبل لثاني أكسيد الكاربون هو مركب **PEP** ليتكون **OAA** الذي يتم اختزاله الى حامض المالك والذي ينتقل من خلايا النسيج المتوسط للأوراق حيث توجد صفائح الكرنا الى غمد الحزمة **Bundle sheath** اذ يتم تمثيل **CO2** الى مستوى الكربوهيدرات خلال دورة كالفن . تسمى هذه النباتات بالنباتات رباعية الكاربون **C4-Plants** وتكون اكثر كفاءة في عملية البناء الضوئي من النباتات ثلاثية الكاربون اذ يتم فيها مساران هما مسار هاتس وسلاك فضلا عن مسار كالفن أما النباتات الثلاثية الكاربون فيحدث فيها مسار كالفن فقط.

التنفس الضوئي Photorespiration

يعد انزيم **Rubisco** من اكثر الانزيمات المتوفرة ويمتاز بموقعه النشط وقدرة ارتباطه ب **CO2** و **O2** والتي تعتمد على التركيز النسبي لكليهما وان كان يجذب أكثر للارتباط ب **CO2** وفي عملية التنفس الضوئي في النباتات ثلاثية الكاربون نجد ان بعض جزيئات **O2** ترتبط مع الانزيم مما يؤدي الى انخفاض معدل البناء الضوئي وبالتالي بدلا من ان يتحول السكر الخماسي (**ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP)** الى جزيئين من **3PGA** فانه سوف يرتبط مع **O2** ليكون جزئ واحد من مركب ثنائي الكاربون **phosphoglycolate** و **3PGA** وتسمى هذه العملية بالتنفس الضوئي وفي هذه العملية لا يتم انتاج سكريات ولا **ATP** ولا **NADPH2** بل ينتج عنها اطلاق **CO2** واستهلاك طاقة اما النباتات رباعية الكاربون فتمتاز بامتلاكها الية تزيد من تركيز **CO2** في موقع الانزيم وذلك عن طريق تشكيل الحامض العضوي الرباعي الكاربون في خلايا الميزوفيل ثم تحطيمه في خلايا غمد الحزمة وبالتالي فان هذه النباتات تمتاز بانتاجية عالية ومقاومة لدرجات الحرارة العالية لعدم حدوث التنفس الضوئي.

البناء الضوئي في النباتات العصارية: - CAM- Photosynthesis

بعض النباتات مثل الصبار والتي تنمو في البيئة الحامضية تكون سيقانها لحمية ومعدل النتج منخفضا لذلك تسمى بالنباتات العصارية وهذه النباتات تقوم بتثبيت CO₂ كما يحدث في النباتات رباعية الكاربون ولكن هذه النباتات لا تمتلك التركيب التشريحي للنباتات رباعية الكاربون والمستقبل لغاز CO₂ هو مركب PEP كما في C₄-Plants وهذه النباتات تفتح ثغورها ليلا وتغلق نهارا فيدخل CO₂ ليلا من خلال الثغور ويرتبط بالمستقبل PEP ويختزل الى OAA ثم الى MA والذي يخزن في الفجوة العصارية مما يرفع عصارة الفجوة ويكون PH=4 . أما في النهار وفي وجود الضوء تغلق الثغور ويحدث نقل للحامض MA الى الكلوروبلاست اذ ينزع CO₂ من MA ويتحول الى PEP ويدخل CO₂ الى دورة كالفن ويحدث نقص في حموضة عصارة الفجوة ويكون PH=6

العوامل المؤثرة في عملية البناء الضوئي

1. الضوء

عند معدلات مناسبة من الحرارة وثاني اكسيد الكربون نجد أن معدل عملية البناء الضوئي تزداد بازدياد الكثافة الضوئية الى حد اقصى يقل بعده معدل عملية البناء الضوئي ، **وعند ازدياد الطاقة الضوئية الى حد بعيد نجد أن هناك عامل آخر يبدأ في التداخل في عملية البناء وهو الاكسدة الضوئية Photo oxidation** بمركبات الخلية الحية مما يؤدي الى استخدام الأوكسجين المتصاعد من عملية البناء الضوئي في أكسدة الكثير من محتويات الخلية اما من حيث اطوال الموجات الضوئية فهناك موجات تزيد عندها كفاءة البلاستيدات الخضراء في امتصاص الضوء مثل الازرق و الاحمر (466 - 650 ملليمكرون) و لذلك فان كفاءة عملية البناء بالتالي تصل الى اقصاها عند هذه الموجات

2. تركيز ثاني اكسيد الكربون

عند درجات حرارة وكثافة ضوئية ملائمة نجد ان ثاني اكسيد الكربون يعتبر العامل المحدد لسرعة عملية البناء الضوئي . ويتأثر محتوى الهواء الجوي بثاني اكسيد الكربون بمستوى الرطوبة الجوية فعند ارتفاع رطوبة الجو يزداد تركيز ثاني اكسيد الكربون ولذلك عادة ما يلاحظ ازدياد معدل البناء الضوئي في الأيام ذات الضباب عن غيرها اذا كانت العوامل الأخرى غير محددة لهذه العملية . وقد وجد أن عملية البناء الضوئي تستمر في الأسراع كلما ارتفع تركيز ثاني اكسيد الكربون بالجو الي أن يصل الي 0.5% و لكن لمدد محددة حيث أن استمرار زيادة التركيز الي 10-15 يوم يؤدي الي ظهور بعض الأضرار علي النباتات .

3. درجة الحرارة

تختلف درجة الحرارة المثلى باختلاف طبيعة النبات وطبيعة البيئة ومدى تأقلمه معها . ورغم اتساع المدى الحراري الذي تتم عنده عملية البناء الضوئي الا أنه يلاحظ ان انسب درجات حرارية بالنسبة لاغلب النباتات النامية بالاجواء المعتدلة يصل ما بين 10 - 35 درجة مئوية ويلاحظ أن معدل سرعة عملية البناء الضوئي يستمر في الارتفاع بارتفاع درجات الحرارة من 10 الي 25 درجة مئوية بالنسبة لاغلب النباتات . ويؤدي رفع درجة الحرارة عن المعدل السابق الي انخفاض سرعة عملية البناء و يرجع ذلك اساسا للتأثير الضار للحرارة المرتفعة على بروتوبلازم الخلايا الحية وخاصة الانزيمات المتواجدة بها كما قد يرجع التأثير الضار الي تراكم نواتج عملية البناء أو قد يرجع التأثير الي قلة كفاءة ذوبان ثاني اكسيد الكربون في بخار الماء بغرف الثغور وبالتالي قلة ما يصل منه الي البلاستيدات

4. الماء

وجد ان الكمية اللازمة من الماء لاستمرار عملية البناء الضوئي تقدر بحوالي 1 % فقط من جملة الماء الممتص بواسطة النبات . وقد لوحظ أن معدل او سرعة البناء الضوئي يرتفع اذا ما حدث جفاف بسيط بالأوراق (15 % فقد ماء) ولكن هذا المعدل ينخفض تماما اذا ما وجد جفاف شديد بهذه الاوراق (45 % فقد ماء) حيث أن فقد الماء الذي يبدأ بالخلايا الحارسة يؤدي الى الانكماش وبالتالي غلق الثغور فيقل معدل البناء الضوئي تبعا لذلك و يؤدي الجفاف أيضا الى قلة قابلية الأغشية البلازمية للنفاذية وجفاف الانزيمات النسبي وقد يؤدي الجفاف الى قلة سرعة تكوين المواد الكربوهيدراتية المتكونة من عملية البناء الضوئي مما يؤدي الى تراكمها في الاوراق وبالتالي بطء سرعة عملية البناء

5. تأثير العناصر الغذائية

عند	نقص	بعض	العناصر
مثل النايروجين ، البورون ، المغنيسيوم يلاحظ قلة معدل عملية البناء الضوئي لكونها عوامل مساعدة لبعض الانزيمات الخاصة بتفاعلات الظلام أو ضرورة وجودها لاتمام عملية تفاعل الضوء مثل الكلور والذي يؤدي نقصه الى عدم امكان نقل الالكترونات من الماء الى كلورفيل (b) وقد يكون نقص العنصر مؤثرا في بناء الكلورفيل نفسه كما في حالة نقص الحديد أو النتروجين أو المغنسيوم وغيرها كما نه يدخل كمادة تفاعل أثناء تفاعلات الظلام			