

الكيمياء الحيوية Biochemistry

المنهج المقرر لمادة الكيمياء الحيوية (المرحلة الأولى)

ت	الموضوع	عدد الساعات
1	الكربوهيدرات: تعريفها، فوائدها، تقسيها، السكريات الأحادية ، Optical activity، التركيب الحلقي، تفاعلات السكريات الأحادية (تفاعلات مجموعة الهيدروكسيل، تفاعلات مجموعة الكربونيل)، أمثلة للسكريات الأحادية (الكلوكو، الفركتوز، الكالاكتوز...)، أمثلة للسكريات المتعددة (النشأ، الكلايوجين، السليلوز، الأنيلين، الكايتين) أيض الكربوهيدرات، بناء الكربوهيدرات (Calvin cycle)، هدم الكربوهيدرات (Glycolysis، TCA cycle)، الفسفرة التأكسدية، حساب الطاقة.	6
2	الليبيدات: تعريفها، أهميتها، تصنيفها (الليبيدات البسيطة، الليبيدات المركبة، الليبيدات المشتقة)، الحوامض الدهنية (تقسيمها، الكشف عنها، تسميتها، الشكل الفراغي، خواصها الفيزيائية، خواصها الكيميائية) بناء الحوامض الدهنية، هدم الحوامض الدهنية.	4
3	البروتينات: الأحماض الأمينية (تركيبها، تصنيفها، وظائفها، مصادرها)، أيض الأحماض الأمينية، البروتينات، تعريفها، وظائفها، تقسيمها (البسيطة، المرتبطة، المشتقة)، البناء الكيميائي للبروتينات، ترسيب البروتينات، تغيير الصفات الطبيعية للبروتينات Denaturation.	6
4	الأحماض النووية: تعريفها، خواصها العامة، أنواعها، الفروق التركيبية بينها، أنواع القواعد النيتروجينية، دورها الحيوي.	4
5	الأنزيمات: تعريفها، خواصها العامة، أستعمالاتها، تقسيمها، طريقة عملها، العوامل المؤثرة على النشاط الأنزيمي والتفاعلات المحفزة بواسطة الأنزيمات (درجة الحرارة، الرقم الهيدروجيني، تركيز الأنزيم، تركيز المادة الأساس)، مثبطات الأنزيمات.	6

الكاربهيدرات Carbohydrates

تعريف الكاربهيدرات

هي مركبات عضوية ألدهايدية أو كيتونية عديدة الهيدروكسيل تصنع في النباتات الخضراء عبر عملية البناء الضوئي وصيغتها التركيبية العامة $(CH_2O)_n$ ، وتتميز بمايلي:

- 1) عدد مجاميع $(CH_2O)_n$ لا تقل عن ثلاثة.
- 2) تعطي نتيجة موجبة مع إختبار Molisch بتكون حلقة بنفسجية.
- 3) المركبات ذات طعم حلو.

فوائد الكاربهيدرات

1. الكاربهيدرات هي المصدر الرئيس لإنتاج الطاقة في جميع الكائنات الحية إذ عند تحللها وأكسدتها تنتج الطاقة عبر عملية التنفس الخلوي على هيئة مركبات غنية بالطاقة مثل Adenosine Triphosphate (ATP) و Guanidine Triphosphate (GTP) ليستعملها النظام الحيوي وفق متطلباته الحيوية.
2. تدخل الكاربهيدرات في تركيب الخلايا والأنسجة النباتية والحيوانية فضلاً عن الوظيفة الدعامية في النباتات على هيئة سليلوز وأنصاف السليلوز والسوبرين وغيرها.
3. تمثل الكاربهيدرات رصيد الطاقة الحيوي والغذائي للنبات إذ تخزن الطاقة الكيماوية المنتجة عبر عملية البناء الضوئي Photosynthesis على هيئة نشاء Starch.
4. تدخل الكاربهيدرات في تركيب العديد من المركبات البيولوجية مثل الكلايكوسيدات Glycosides و Glycoproteins والمضادات الحيوية Antibiotic وغيرها.

تقسيم الكاربهيدرات

تقسم الكاربهيدرات حسب عدد الوحدات البنائية لها كمايلي:

- 1) السكريات الأحادية Monosaccharides

كيمياء حيوية المحاضرة الأولى

(2) السكريات المحدودة (القليلة التعدد) Oligosaccharides

(3) السكريات المتعددة Polysaccharides

أولاً: السكريات الأحادية Monosaccharides

هي السكريات التي لا يمكن أن تتحلل إلى وحدات أصغر منها بواسطة التحلل المائي وتسمى السكريات البسيطة أحياناً Simple saccharides، ويمكن تقسيم هذه المركبات وفقاً لعدة أسس منها:

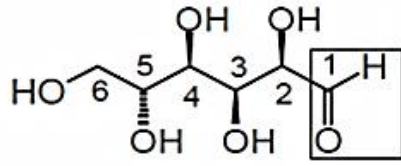
1) تقسم على أساس عدد ذرات الكربون في الهيكل البنائي لها إلى سكريات ثلاثية (تحتوي على ثلاث ذرات كربون) Triose ورباعية Tetrose وخماسية Pentose وسداسية Hexose وسباعية Heptose وثمانية Octose.

2. تقسم على أساس موقع مجموعة الكربونيل إلى سكريات ألدهايدية وكيوتونية، إذ تحتوي كل جزيئة سكر أحادي على مجموعة كربونيل Carbonyl Group وهي ذرة الكربون التي ترتبط مع ذرة أوكسجين بأصرة مزدوجة بخلاف بقية ذرات الكربون الأخرى التي ترتبط بأواصر مفردة مع مجموعة هيدروكسيل وذرة هيدروجين، وتعد مجموعة الكربونيل هي المجموعة الفعالة في السكريات الأحادية لذلك تقسم السكريات الأحادية على أساس مجموعة الكربونيل إلى:

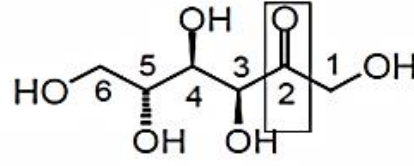
1. سكريات ألدهايدية وهي السكريات تحتوي على مجموعة الكربونيل في نهاية سلسلة ذرات الكربون وتسمى هذه السكريات Aldose sugar مثل سكر Glucose و Galactose و Mannose وبذلك يسمى سكر Glucose باحتوائه على 6 ذرات كربون ومجموعة ألدهايدية Aldohexose.

2. سكريات كيتونية هذه السكريات تحتوي على مجموعة الكربونيل في أي موقع من سلسلة ذرات الكربون باستثناء الطرفية منها وتسمى Ketose sugar مثل سكر Fructose و Sorbose وبذلك يسمى سكر Fructose باحتوائه على 6 ذرات كربون ومجموعة كيتونية Keto-hexose.

كيمياء حيوية المحاضرة الأولى

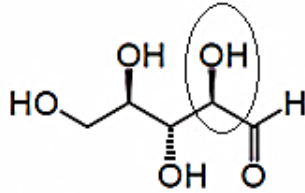


D-Glucose, an aldose

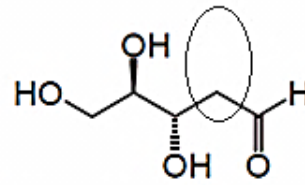


D-Fructose, a ketose

وقد تفقد بعض السكريات البسيطة مجموعة هيدروكسيل فتصبح ذات مجاميع هيدروكسيلية أقل من العدد الأصلي ويسمى السكر في هذه الحالة Deoxy كما في حالة سكر الريبوز Ribose الذي يسمى عند فقده مجموعة هيدروكسيل Deoxyribose الذي يعد أحد مكونات النيوكليوتيدات في الحامض النووي DNA.



D-Ribose, an aldopentose
A component of RNA nucleosides

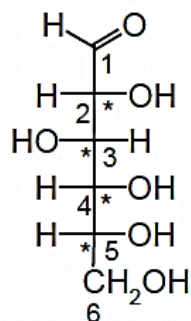


D-2-Deoxyribose, a deoxy aldopentose
A component of DNA nucleosides

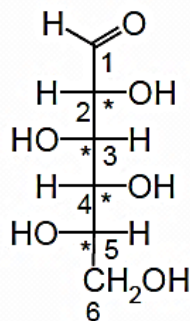
الفعالية البصرية للسكريات الأحادية Optical Activity of Monosaccharides

الضوء هو شعاع كهرومغناطيسي يتذبذب في كل الاتجاهات أما الضوء المستقطب فإنه شعاع يتذبذب بمستوى واحد Plane Polarized Light ويمكن تحويل الضوء الاعتيادي إلى ضوء مستقطب بإمراره بموشور نيكول Nikol Prism، فإذا أحتوى المركب السكري على ذرة كربون أو أكثر غير متناظرة Asymmetric فالمركب يكون فعالاً بصرياً Optically active، فعندما تمر حزمة ضوء مستقطب في جهاز مقياس الأستقطاب Polarimeter من خلال المحلول السكري فإن الضوء إما يدور يميناً فيكون المركب Dextrorotary ويرمز له + أو D أو يدور يساراً فيكون المركب Levorotary ويرمز له - أو L كما في ذرة الكربون رقم 5 في جزيئة سكر الكلوكوز.

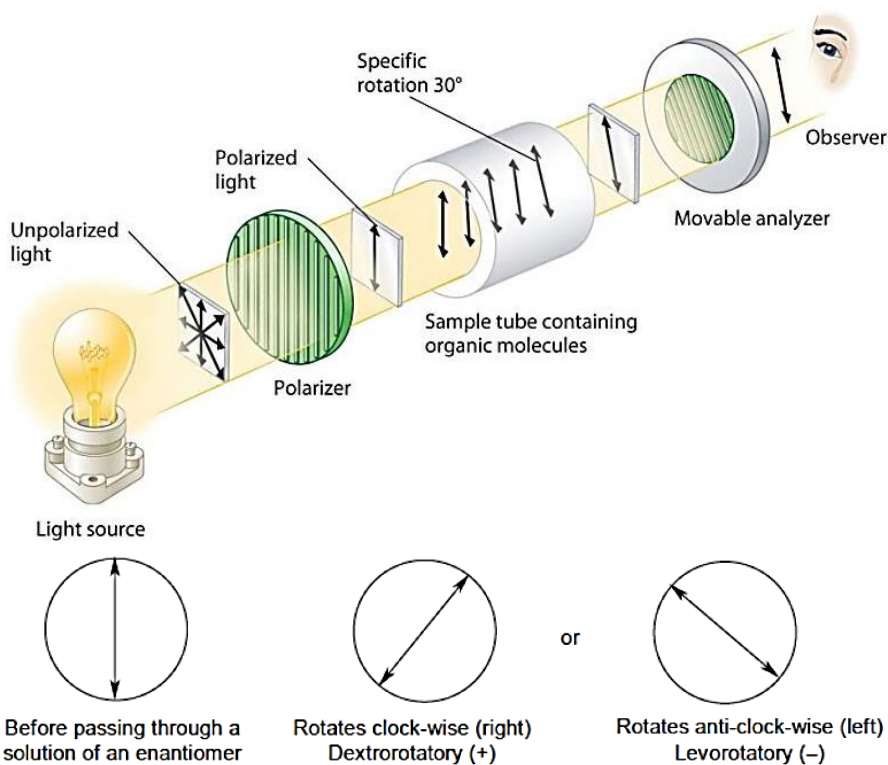
كيمياء حيوية المحاضرة الأولى



D-Glucose



L-Glucose

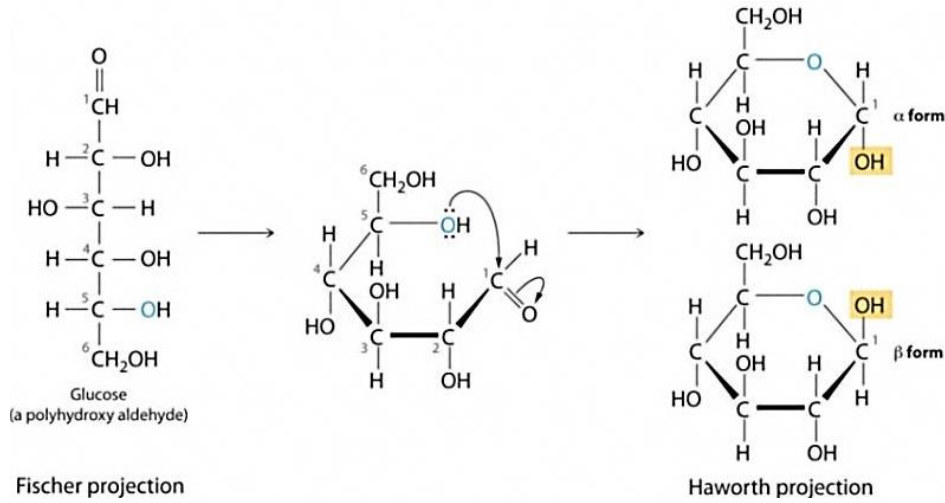


التركيب الحلقي للسكريات الأحادية Cyclic Structures of Monosaccharides

أثبتت الدراسات أن السلسلة المفتوحة (صيغة فشر Fisher projection) تعد ذات نسبة ضئيلة جداً في المحاليل السكرية، بينما تكون النسبة العظمى للشكل الحلقي (صيغة هاورث Haworth projection) الذي ينتج عنه متناظران بناءً على موقع إرتباط مجموعة OH بذرة C1 في السكريات السداسية الحلقة مثل سكر الكلوكوز الحلقي، فإذا كان موقع

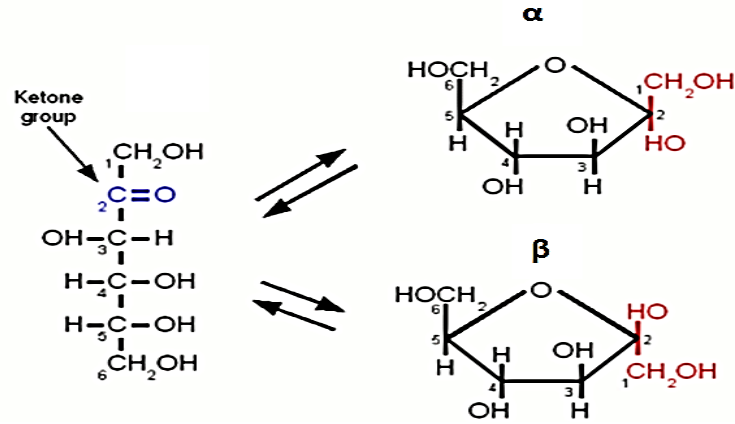
كيمياء حيوية المحاضرة الأولى

مجموعة OH إلى الأسفل من موقع C1 يطلق على المتناظر Alpha والعكس إذا أتجهت مجموعة OH إلى الأعلى من موقع C1 يطلق على المتناظر Beta وإذا كان للمركب متناظرين α و β فإن العلاقة بين المتناظرين تسمى علاقة أنوميرية Anomeric ويسمى كل متناظر أنومير Anomer.



أما بالنسبة إلى السكريات الخماسية الحلقة مثل الفركتوز فيكون التناظر بناءً على موقع إرتباط مجموعة OH بذرة C2، فإذا أتجهت مجموعة OH إلى الأسفل من موقع C2 يطلق على المتناظر Alpha والعكس إذا أتجهت مجموعة OH إلى الأعلى من موقع C2 يطلق على المتناظر Beta.

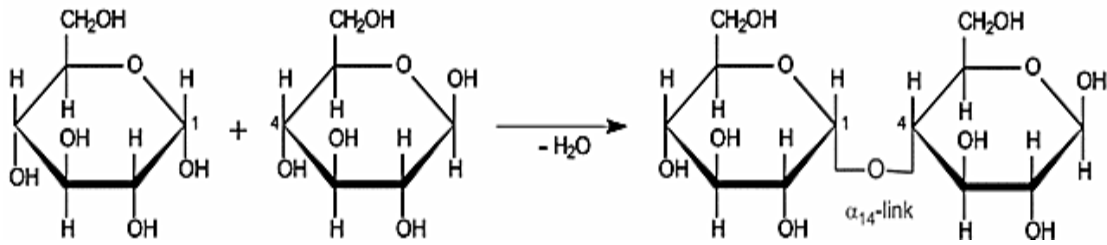
كيمياء حيوية المحاضرة الأولى



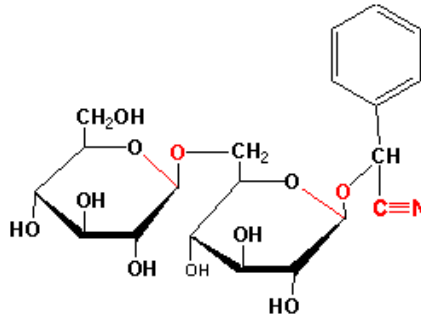
وتوجد ظاهرة في المحاليل المائية لبعض السكريات تسمى الدوران التلقائي Mutarotation وهي حصول حالة توازن بين الصيغة المفتوحة والصيغة الحلقية بشكلها α و β ، تحدث هذه الظاهرة في السكريات المختزلة Reducing Sugars الأحادية والثنائية بسبب وجود مجموعة كاربونيل حرة.

أهم تفاعلات السكريات الأحادية Reactions of Monosaccharides

1) تكوين الأصرة الكلايكوسيدية Glycosidic linkage formation
Disaccharide formation عند تفاعل سكرين أحاديين تتكون أصرة كلايكوسيدية بينهما
وسكر ثنائي مثل تفاعل جزيئين من Glucose لإنتاج جزيئة سكر Maltose وتكون أصرة
من نوع α -1-4.



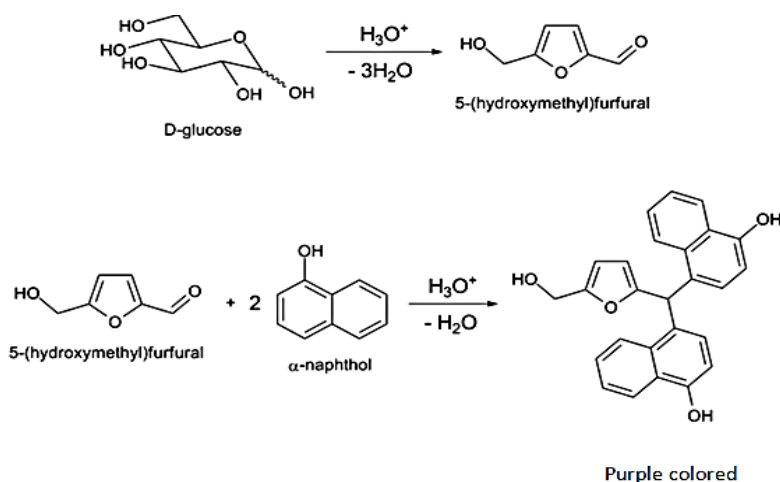
Glycosidic compounds formation يتفاعل السكر الأحادي مع مركب غير سكري
فتتكون أصرة كلايكوسيدية بينهما ومركب يسمى كلايكوسيد كما هو الحال في مئات
المركبات الكلايكوسيدية ذات النفع الطبي في التداوي من عشرات الأمراض مثل كلوكوسيد
Amygdalin الذي يحتوي على جزيئين من Glucose في تركيبه.



كيمياء حيوية المحاضرة الثانية

(2) نزع جزيئة الماء Dehydration

عند تسخين السكريات الأحادية مع حامض معدني مركز فانه يعمل على نزع ثلاثة جزيئات ماء ويكون مركب Furfural في حالة السكريات الخماسية مثل سكر Ribose وفي حالة السكريات السداسية مثل Glucose يتكون مركب Hydroxy methyl Furfural وعند إضافة كحولات أروماتية (فينولات) مثل Resorcinol أو Orcinol أو α -Naphthol إلى Furfural أو Hydroxy methyl Furfural يتكون مركب معقد ملون وهذا أساس الكشف للتمييز بين السكريات الخماسية Pentose sugar والسداسية Hexose في كاشف Molisch وكاشف Seliwanoff .

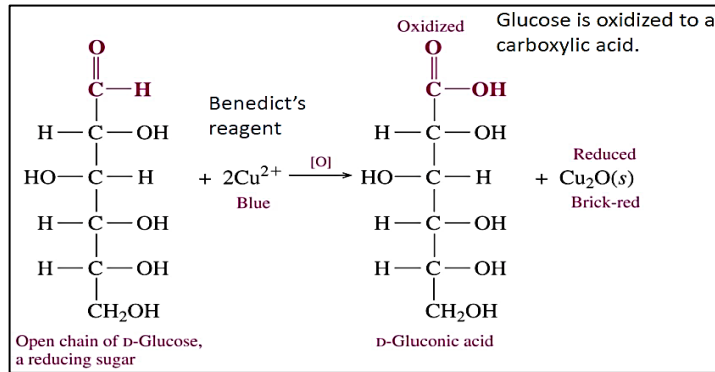
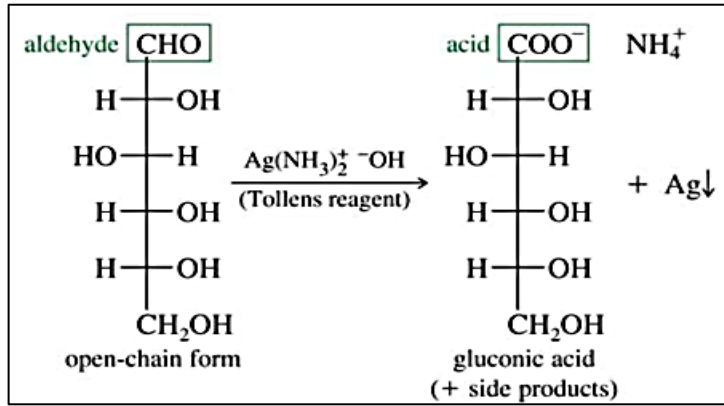


(3) الأكسدة بمحلول هيدروكسيدات الفلزات Oxidation by Hydroxides of Metals Solution

تقسم السكريات الأحادية إلى مختزلة Reducing Sugars تختزل محلول Fehling مثل (الأحادية Glucose و Fructose والثنائية Galactose و Lactose و Maltose) وغير مختزلة Non-Reducing Sugars مثل (Sucrose و Starch) وذلك حسب وجود أو عدم وجود مجموعة الكربونيل الحرة التي تتأكسد وتختزل بدورها أيونات النحاس والفضة في محاليل قلوية مخففة وينتج عن هذا التفاعل تكون مجموعة كاربوكسيلية بدلاً عن مجموعة

كيمياء حيوية المحاضرة الثانية

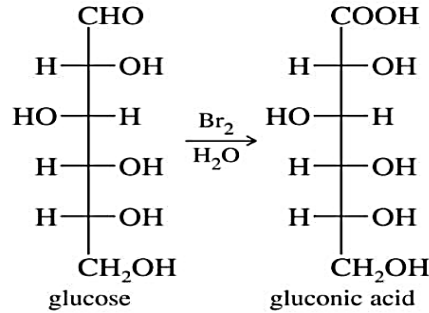
الكاربونيل وهذا أساس كشوفات Fehling و Benedict و Tollin، حيث يتم اختزال أيونات النحاسيك Cu^{+2} إلى نحاسوز Cu^{+1} وتكون راسب أحمر من أوكسيد النحاسوز Cu_2O .



4) الأوكسدة بماء البروم Bromine water

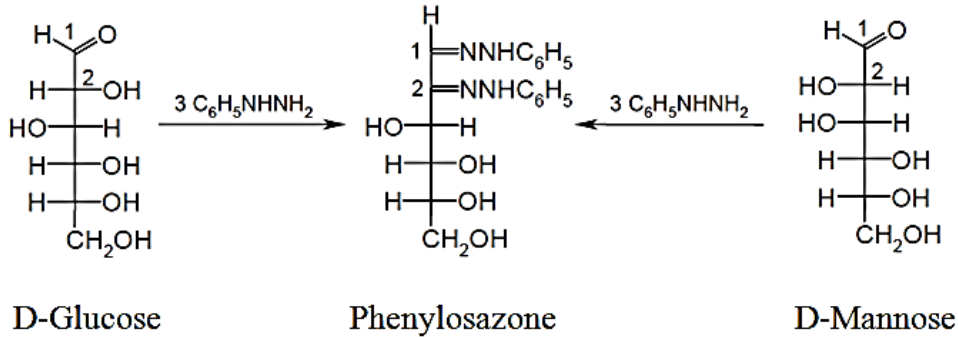
تتأكسد المجموعة الألديهائية في السكريات الأحادية إلى مجموعة كاربوكسيلية دون أن تتأثر مجموعة الهيدروكسيل الطرفية أو المجموعة الكيتونية لذلك يستعمل هذا الكشف للتمييز بين السكريات Aldoses و Ketoses.

كيمياء حيوية المحاضرة الثانية



(5) تكوين الأوسازون Osazone Formation

تتفاعل السكريات الأحادية المختزلة سواءً كانت ألديهيدية أو الكيتونية مع ثلاث مولات من Phenylhydrazine في موقع ذرتي الكاربون رقم 1 و 2 لتكون Phenyllosazone وهي مادة بلورية صلبة غير ذائبة صفراء اللون تختلف أشكالها البلورية باختلاف نوع السكر المختزل باستثناء سكر Glucose و Fructose و Mannose التي تعطي نفس البلورات لأن الإختلاف بينها يقع بين ذرتي الكاربون 1 و 2 والتي تكون نفس الأوسازون ويسمى هذا التفاعل أيضاً Osazone test للكشف عن نوع السكر المختزل.



(6) Caramel formation

عند تعرض السكريات الأحادية إلى قواعد قوية بتركيز أعلى من 0.5 نورمالتي لكل من NaOH أو KOH مع التسخين لمدة طويلة يتفكك السكر إلى مركبات تحتوي

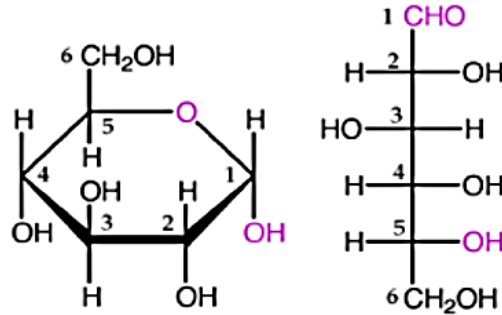
كيمياء حيوية المحاضرة الثانية

على ذرتين وثلاث ذرات أو أربع ذرات كاربون ويسمى هذا الخليط الذهبي الغامق بالكراميل.

أمثلة لأهم السكريات الأحادية

1. الكلوكوز (سكر العنب) Glucose

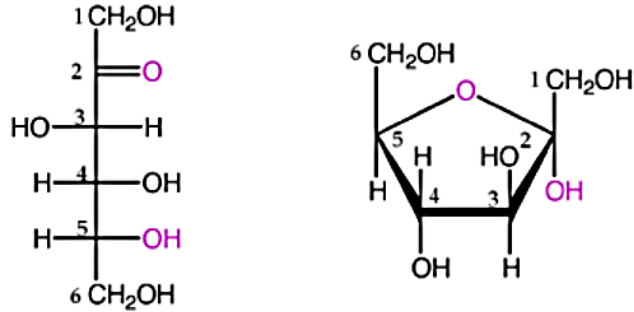
هو سكر سداسي ألدهايدي يكون حلقة سداسية، يتم إنتاجه داخل البلاستيدات الخضراء بعملية البناء الضوئي، ويعد أكثر السكريات الأحادية انتشاراً وأهميةً إذ يمثل المصدر الرئيس للطاقة في الكائنات الحية ويدخل في تركيب العديد من السكريات الأخرى الأكثر تعقيداً، الكلوكوز سكر مختزل يعطي نتيجة إيجابية مع اختبار Fehling بتكون راسب أحمر، ويكون أوسازون ذو بلورات صفراء أبرية متطاولة ويعطي لون شفاف مع اختبار Seliwanoff، يدور الضوء المستقطب إلى جهة اليمين Dextrorotary لذلك يسمى Dextrose، يوجد في الفواكه وخاصة العنب وتعد حلاوته أقل من السكروز بنسبة 75% إلا أنه يعطي نفس القيمة الحرارية للسكروز.



2. الفركتوز (سكر الفاكهة) Fructose

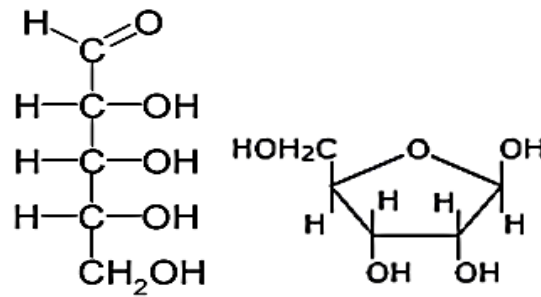
هو سكر سداسي كيتوني يكون حلقة خماسية، يعد أكثر السكريات حلوة إذ تصل حلاوته إلى ثلاثة أضعاف الجلوكوز وضعفي السكروز ويتميز بعدم تبلوره وبقائه بشكل سائل كثيف، كما أنه سكر مختزل يعطي نتيجة إيجابية مع اختبار Fehling بتكون راسب أحمر، ويكون أوسازون ذو بلورات صفراء أبرية متطاولة ويعطي لون أحمر مع اختبار Seliwanoff، يدور الضوء المستقطب إلى جهة اليسار Levorotary لذلك يسمى Levulose.

كيمياء حيوية المحاضرة الثانية



3. الرايبوز Ribose

هو سكر خماسي ألدهيدي يكون حلقة خماسية، يعد هذا السكر الأكثر تخصصاً بين السكريات البسيطة لأنه أحد المكونات الرئيسية للحوامض النووية RNA و DNA كما يدخل في تركيب العديد من المرافقات الإنزيمية.



ثانياً: السكريات المحدودة (القليلة التعداد) Oligosaccharides

السكريات المحدودة تتكون من وحدات سكرية قليلة العدد حوالي 2-10 وحدات سكر أحادي مرتبطة مع بعضها بأواصر كلايكوسيدية بعد فقد جزيئة ماء وعند تحللها مائياً تنتج السكريات الأحادية المتكونة منها، تقسم السكريات المحدودة حسب عدد الوحدات السكرية المكونة لها إلى:

1. السكريات الثنائية Disaccharides

وهي السكريات التي تتكون من وحدتين بنائيتين من السكر الأحادي ومنها سكر Sucrose و Lactose و Maltose وغيرها.

2. السكريات الثلاثية Trisaccharides

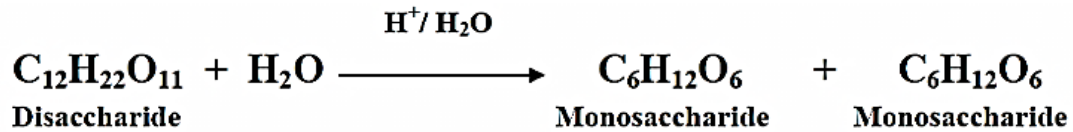
وهي السكريات التي تتكون من ثلاث وحدات بنائية من السكر الأحادي مثل سكر Mannotriose (يتكون من Ga + Ga + G) وسكر Raffinose (يتكون من F + G + Ga).

3. السكريات الرباعية Tetrasaccharides

وهي السكريات التي تتكون من أربع وحدات بنائية من السكر الأحادي مثل سكر Stachyose (يتكون من G + F + Ga + Ga).

السكريات الثنائية Disaccharides

تتكون السكريات الثنائية من وحدتين بنائيتين من السكر الأحادي صيغتها العامة $C_{12}H_{22}O_{11}$ ويمكن أن تتحلل مائياً في وسط حامضي دافئ إلى السكريات الأحادية كما في المعادلة التالية:



كيمياء حيوية المحاضرة الثالثة

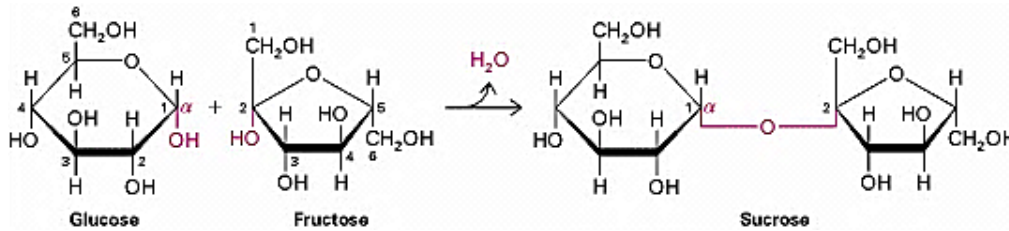
إن تكون السكريات الثنائية باتحاد جزئيتين من السكر الأحادي وطرح جزيئة ماء H_2O يحتمل وجود أكثر من موقع إرتباط بين جزئتي السكر الأحادي وباختلاف موقع الأرتباط تختلف خواص السكر الثنائي، إذ أن السكر الثنائي الناتج سيكون أما مختزل أو غير مختزل مثلاً عندما تكون كلا مجموعتي الكربونيل في السكرين الأحاديين (مجموعة الألديهيد C1 أو C2 مجموعة الكيتون) مشتركة في الترابط سيكون السكر الناتج غير مختزل وذلك لعدم وجود مجموعة كربونيل حرة وسيكون غير قادر على تكوين الأوسازون Osazone عند تفاعله مع Phenyl hydrazine ، أما إذا كانت إحدى مجاميع الكربونيل حرة في السكر الثنائي سيكون للسكر قابلية اختزالية وسيكون قادراً على تكوين Osazone ولهذا السبب يكون Lactose و Maltose سكران مختزلان بينما يكون Sucrose سكر غير مختزل، وعموماً تتميز السكريات الثنائية المختزلة عن غير المختزلة بمايلي:

1. تعطي كشف موجب مع إختباري Fehling و Tollens.
2. تكون بلورات Osazone عند تفاعلها مع Phenyl hydrazine.
3. توجد بشكل أنوميرات α و β والسكر غير المختزل يوجد بشكل واحد فقط.
4. تمتلك ظاهرة الدوران التلقائي Mutarotation.

أمثلة لأهم السكريات الثنائية

1. السكروز (سكر المائدة) Sucrose

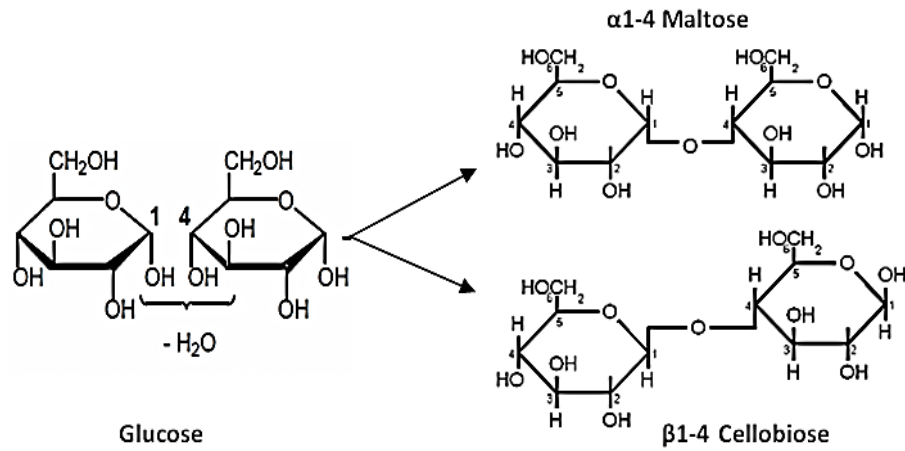
يوجد السكروز في البنجر والقصب السكري، يتكون من إرتباط مجموعة الألديهيد (C1) في سكر α -G مع مجموعة الكيتون (C2) في سكر β -F برابطة كلايكوسيدية من نوع α 1-2 لذلك لا توجد مجموعة كربونيل حرة وبذلك يكون السكروز غير مختزل.



كيمياء حيوية المحاضرة الثالثة

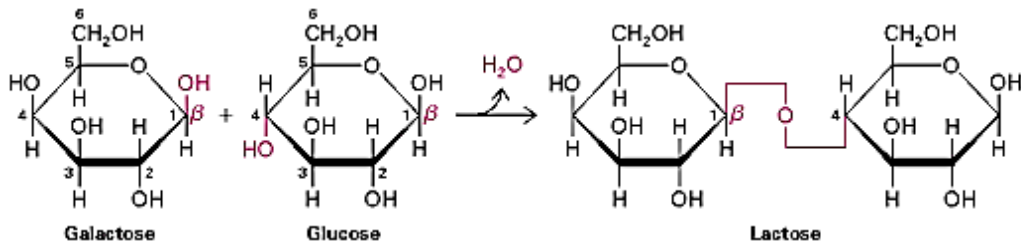
2. المالتوز (سكر الشعير) Maltose

هو سكر مختزل يوجد في حبوب الشعير، يتكون بنائياً من اتحاد جزئي Glucose بأصرة كلاكوسيدية من نوع $\alpha 1-4$ وعندما يكون الأرتباط $\beta 1-4$ فالسكر الناتج هو Cellobiose.



3. اللاكتوز (سكر الحليب) Lactose

هو سكر مختزل يوجد في الحليب خاصة، يتكون من اتحاد سكري Galactose و Glucose برابطة كلاكوسيدية من نوع $\alpha 1-4$.



كيمياء حيوية المحاضرة الثالثة

ثالثاً: السكريات المتعددة Polysaccharides

السكريات المتعددة هي مركبات تتكون من مئات إلى آلاف الوحدات السكرية مرتبطة مع بعضها بأواصر كلايكوسيدية والتي يمكن أن تتكسر بالتحلل المائي، وهناك نوعان من السكريات المتعددة:

1. السكريات المتعددة المتجانسة Homopolysaccharides

تتكون من وحدات سكرية متشابهة مثل النشا والسليولوز.

2. السكريات المتعددة غير المتجانسة Heteropolysaccharides

تتكون من وحدات سكرية مختلفة مثل Heparin و Hyaluronic acid.

أمثلة لأهم السكريات المتعددة

(1) النشاء Starch يتميز هذا السكر المتعدد بمايلي:

1. يتكون من إرتباط وحدات متكررة من α -Glucose بواسطة أواصر كلايكوسيدية من نوع

α 1-4 ويعد النشاء الصورة التي يخزن بها الكلوكوز في النبات كما في البطاطا والقمح

والذرة وغيرها.

2. النشاء محب للماء لكنه قليل الذوبان بالماء البارد على الرغم من وجود عدد هائل من

مجاميع الهيدروكسيل وذلك بسبب وزنه الجزيئي العالي.

3. النشاء سكر غير مختزل بالرغم من توفر مجموعة هيدروكسيل طرفية وذلك لان عدد

مجاميع الهيدروكسيل الطرفية قليل مقارنة بعدد جزيئات الجلوكوز غير الطرفية في جزيئة

النشاء الكبيرة الحجم.

4. يتحلل النشاء مائياً على عدة مراحل عند إستعمال حوامض معدنية أو أنزيمات خاصة، إذ

يتكون Dextrin أولاً (يتكون من 20 وحدة كلوكوز) ثم يتحلل الى Maltose ثم الى

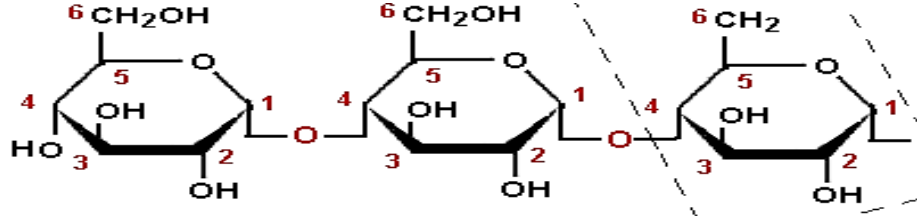
Glucose.

5. النشاء يعطي لون أزرق مع اليود لارتباط اليود بالأميلوز.

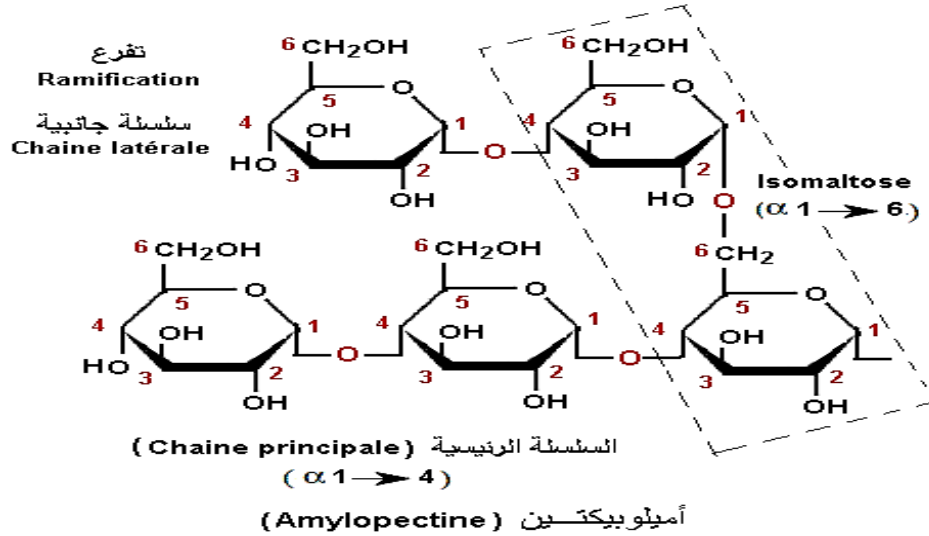
6. يعطي النشاء محلولاً غروباً عند تسخينه مع الماء ويتحلل إلى شكلين هما:

كيمياء حيوية المحاضرة الثالثة

1. Amylose يمثل 10-20% من النشاء ويتخذ شكلاً حلزونياً كل لفة من الحلزون تحتوي 6 جزيئات كلوكوز غير متفرعة تكون بينها رابطة من نوع α 1-4 وهو الجزء الذائب بالماء من النشاء ويعطي لون أزرق مع اليود في محلول يوديد البوتاسيوم.



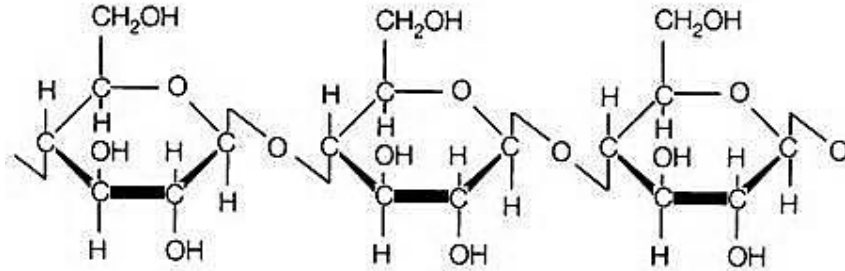
2. Amylopectin يمثل 80-90% من النشاء وعدد وحدات الكلوكوز المكونة له أكثر من الأميلوز إذ أنه يتكون من تفرعات كل تفرع يتكون من 12 وحدة كلوكوز تكون رابطة بينها من نوع α 1-6، وهو الجزء غير الذائب بالماء من النشاء ويعطي لون بنفسجياً مع اليود في محلول يوديد البوتاسيوم.



2) السليلوز Cellulose

يتميز هذا السكر المتعدد بمايلي:

1. ترتبط السلاسل المتجاورة من الكلوكوز المكونة لهذا السكر بروابط هيدروجينية تكسبه المزيد من القوة والصلابة لذلك يوجد في جدران خلايا السيقان ليكون الهيكل الدعامي للنباتات.
2. يتكون من سلسلة غير متفرعة من β -Glucose يتراوح عددها 2000-9000 جزيئة تربط بينها آصرة كلايكوسيدية نوع β 1-4 تعطي السليلوز القدرة على مقاومة الذوبان بالماء.
3. لا يستطيع الجهاز الهضمي للإنسان هضم السليلوز وذلك لعدم قدرة نظامه الأنزيمي على تصنيع إنزيمات تكسر الرابطة الكلايكوسيدية نوع Beta لكن يهضم بواسطة بعض البكتريا الموجودة في الأمعاء.



أيض الكربوهيدرات Metabolism of Carbohydrates

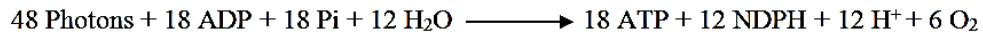
يعرف الأيض بأنه مجموعة من التفاعلات الكيميائية التي تحدث في خلية الكائن الحي، ويقسم الأيض إلى عملية البناء Anabolism وهي عملية بناء الجزيئات الكبيرة من الجزيئات الصغيرة لغرض المحافظة على تركيب الأنسجة، أما عملية الهدم Catabolism فهي عملية تكسير الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات صغيرة للاستفادة منها في عملية البناء وللحصول على الطاقة على هيئة ATP.

بناء الكربوهيدرات Anabolism of Carbohydrate

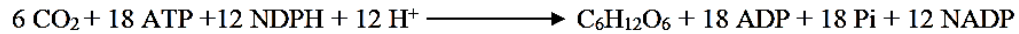
دورة كالفن Calvin Cycle

هي إحدى الدورات الحيوية المهمة في عملية تثبيت الطاقة في النبات، يتم فيها تثبيت الكربون الموجود في ثاني أكسيد الكربون بواسطة الطاقة المنتجة من عملية تفاعلات الضوء لتكوين مركب كربوهيدراتي ثلاثي الكربون داخل البلاستيدات الخضراء حيث توجد الإنزيمات اللازمة لإتمام هذه العملية دون الحاجة إلى الضوء لذلك تسمى تفاعلات الظلام وكما يلي:

Light reaction (Hill reaction)



Dark reaction (Calvin cycle)



كيمياء حيوية المحاضرة الرابعة

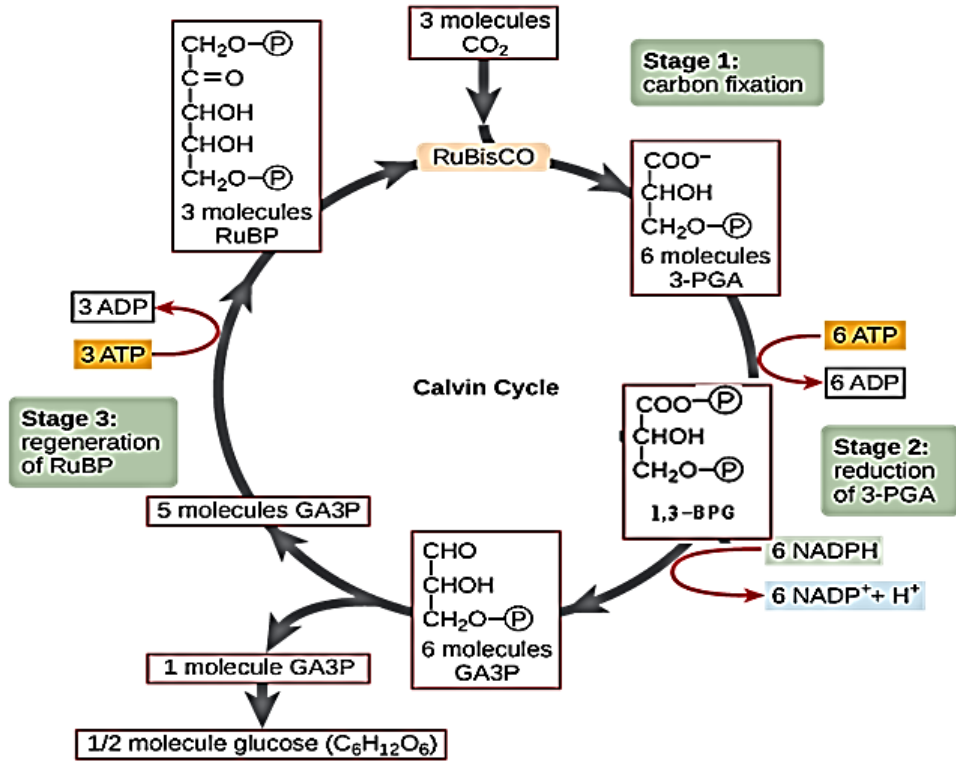
وتتم دورة كالفن أو تفاعلات الظلام بثلاث مراحل هي:

المرحلة الأولى Carbon fixation: يتم تثبيت ثلاث جزيئات من CO_2 واحدة تلو الأخرى بواسطة إنزيم Ribulose biphosphate carboxylase (Rubisco) مع مركب خماسي الكاربون Ribulose-1,5-biphosphate لينتج ستة جزيئات من مركب 3-Phosphoglycerate (3-PGA).

المرحلة الثانية Reduction of 3-PGA: تتم فسفرة الستة جزيئات من 3-PGA بواسطة ستة جزيئات ATP لينتج 1,3-Bisphosphoglucerate (1,3-BPG) ثم تعمل ستة جزيئات من NADPH_2 على إختزال المجموعة الكاربوكسيلية وتحويلها إلى مجموعة ألدهايد لتنتج ستة جزيئات من Glyceraldehyde-3-Phosphate (GA3P).

المرحلة الثالثة Regeneration of RuBP: تتم مشاركة جزيئة واحدة من Glyceraldehyde-3-phosphate لإنتاج نصف جزيئة Glucose ليكتمل بناء الجزيئة في الدورة التالية والخمسة جزيئات الأخرى من Glyceraldehyde-3-phosphate تشارك مع خمسة جزيئات أخرى من المركب نفسه في الدورة التالية لتنتج ستة جزيئات من Ribulose-1,5-diphosphate.

كيمياء حيوية المحاضرة الرابعة



بعد ذلك يمكن للنبات أن يحول Glucose إلى مركبات دهنية أو بروتينية أو مركبات أخرى وهذه أضخم عملية تتم في الطبيعة إذ أن إنتاج الكربوهيدرات يعني ضمناً إنتاج النفط والفحم والخشب فضلاً عن إنتاج O₂ وإستهلاك CO₂ الذي يعد أحد الغازات المسببة للاحتباس الحراري.

هدم الكربوهيدرات Catabolism of Carbohydrate

تشمل عملية هدم الكربوهيدرات ثلاث مراحل رئيسية هي:

أولاً: تحلل السكر Glycolysis

هي سلسلة من التفاعلات التي تتحول بها جزيئة Glucose إلى جزيئي Pyruvic acid هوائياً أو إلى جزيئي Lactic acid لاهوائياً ومن فوائد التحلل السكري مايلي:
 (1) إنتاج مركبات الطاقة العالية إذ ينتج عن التحلل اللاهوائي جزيئين ATP وجزيئين NADH.

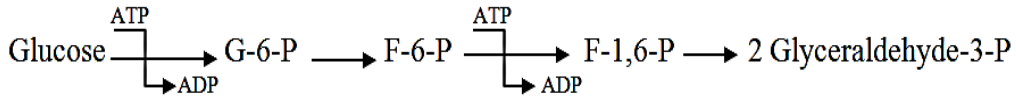
كيمياء حيوية المحاضرة الرابعة

(2) إنتاج Pyruvic acid الذي يدخل في Krebs Cycle لإنتاج الطاقة هوائيا في Mitochondria.

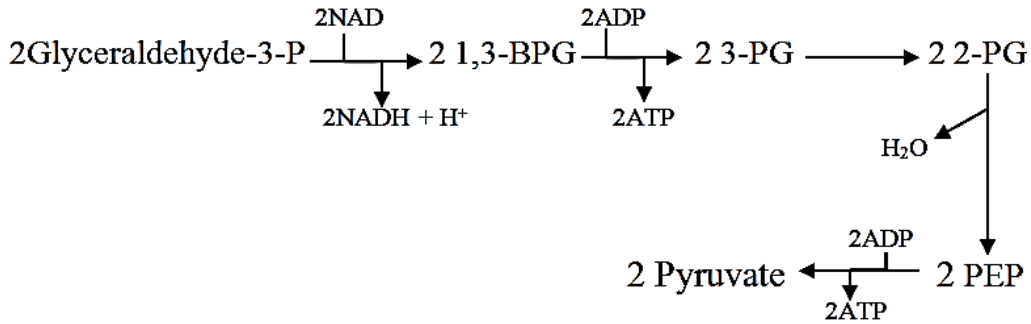
(3) إنتاج مركبات أخرى تدخل في عمليات حيوية مختلفة.

تتكون سلسلة تفاعلات التحلل السكري من مرحلتين:

يتم في المرحلة الأولى إستهلاك جزيئتان من ATP لإنتاج مركبات ذات طاقة عالية كمايلي:



في المرحلة الثانية تتحول جزيئتان من Glyceraldehyde-3-P إلى جزيئتين من مركب ذات طاقة اقل هو Pyruvic acid يصاحب ذلك إنتاج أربع جزيئات ATP وجزيئتان NADH_2 ، إن كل جزيئة NADH_2 تنتج عن طريق الفسفرة التأكسدية Phosphorylation ثلاث جزيئات ATP وبذلك يكون مجموع الطاقة المنتجة 10 ATP ومحصلة الطاقة من تحلل السكر هي 8 ATP.

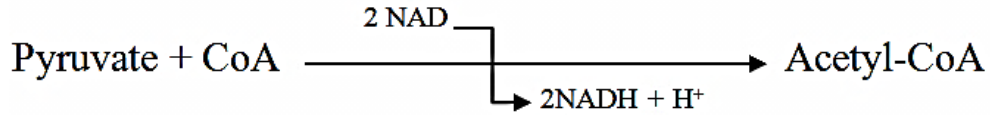


1,3-BPG : 1,3-Bisphosphoglycerate
3-PG : 3-Phosphoglycerate
PEP : Phosphoenolpyruvate

كيمياء حيوية المحاضرة الرابعة

ثانياً: دورة كريس Krebs Cycle

وتسمى أيضاً دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل Tri Carboxylic Acid cycle أو دورة حامض الستريك Citric Acid Cycle، يدخل Pyruvate المنتج من تفاعلات تحلل السكر إلى Mitochondria ليتحول إلى Acetyl-CoA بنزع مجموعة الكربوكسيل وإتحاد مجموعة الأستيل CoA لينتج Acetyl-CoA وتحرر جزيئي $NADH_2$ كمايلي:



تتضمن الدورة ثمانية مراحل هي كمايلي:

(1) Condensation تتم عملية تكثيف Acetyl-CoA مع Oxaloacetate لتكوين مركب Citrate.

(2) يتم في هذه المرحلة حدوث تفاعل على التوالي: التفاعل الأول Dehydration تنتزع جزيئة ماء من Citrate بواسطة إنزيم Aconitase لينتج مركب cis-Aconitate، والتفاعل الثاني Hydration إضافة جزيئة ماء إلى cis-Aconitate بواسطة الإنزيم نفسه لينتج مركب Isocitrate.

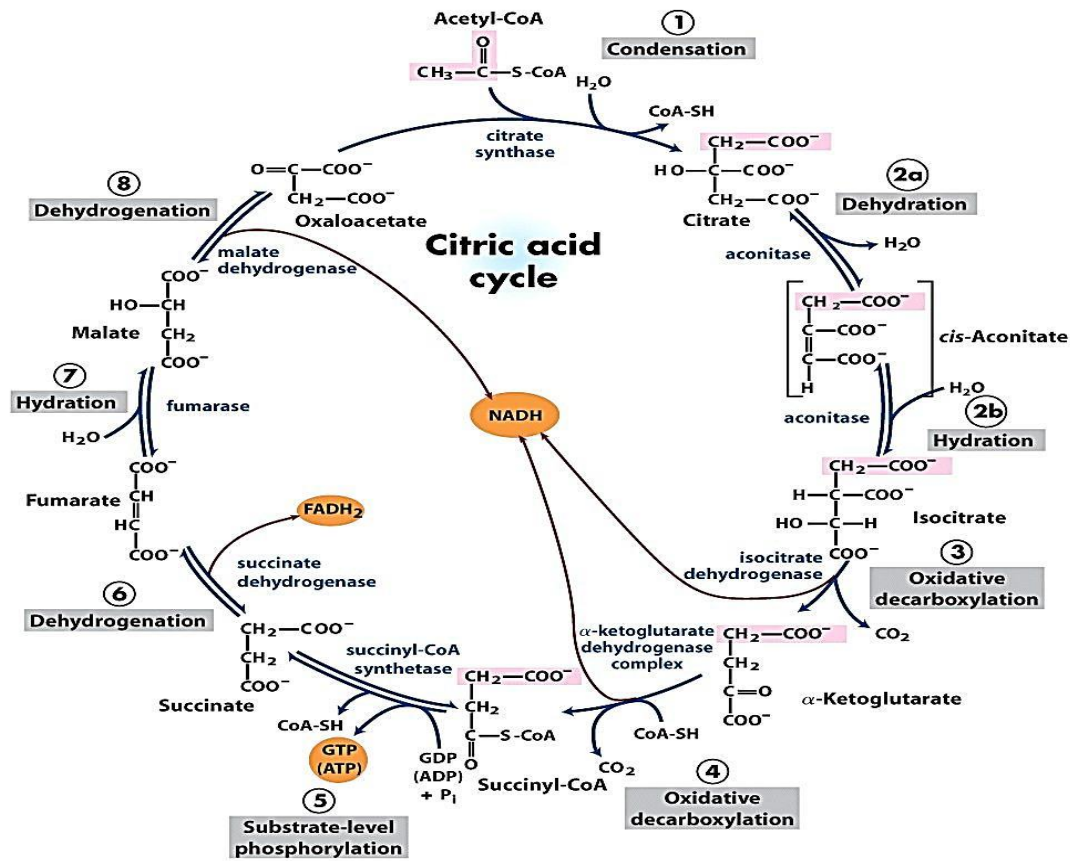
(3) Oxidative decarboxylation يتم إنتزاع جزيئة CO_2 من مركب Isocitrate وبذلك تتحرر ذرتي هيدروجين تختزل NAD ليتكون $NADH_2$ وينتج مركب α -Ketoglutarate.

(4) Oxidative decarboxylation في هذه المرحلة تنتزع من مركب α -Ketoglutarate جزيئة CO_2 أيضاً ويختزل NAD ليتكون $NADH_2$ وينتج مركب Succinyl-CoA.

(5) Substrate-level phosphorylation يفقد مركب Succinyl-CoA المرافق الأنزيمي CoA بوجود مركب Guanidine Diphosphate (GDP) لينتج GTP و Succinate.

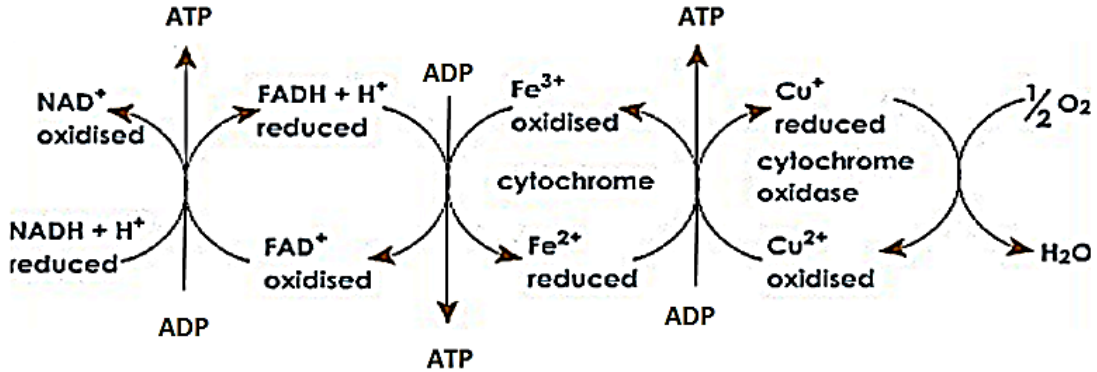
كيمياء حيوية المحاضرة الخامسة

- (6) Dehydrogenase يتفاعل مركب Succinate مع إنزيم Succinate dehydrogenase لينتج Fumarate وشحن مركب الطاقة FAD ليصبح $FADH_2$.
- (7) Hydration تضاف جزيئة ماء إلى مركب Fumarate لينتج مركب Malate.
- (8) Dehydrogenase ينتزع إلكترونين من Malate بواسطة إنزيم Malate dehydrogenase لتختزل NAD وينتج $NADH_2$ و Oxaloacetate.



ثالثاً: الفسفرة التأكسدية (سلسلة نقل الإلكترونات) Electron Transport Chain

تحدث هذه العملية في الماييتوكوندریا وتتضمن حمل الإلكترونات بواسطة المرافقات الإنزيمية لتتفاعل مع الأوكسجين وتنتج الماء الأيضي والطاقة على هيئة ATP، إذ تتم أكسدة جزئ $NADH_2$ لينتج ثلاث جزيئات ATP وأكسدة جزئ $FADH_2$ ينتج عنه جزيئين ATP كما في المخطط الآتي:



NAD: Nicotinamide adenine dinucleotide
FAD: Flavin Adenine Dinucleotide

كيمياء حيوية المحاضرة الخامسة

حساب الطاقة الناتجة من أيض جزئ واحد من الكلوكوز

(1) الطاقة الناتجة من تحلل السكر Glycolysis (تحول Glucose إلى Pyruvate) ينتج 8ATP.

(2) الطاقة الناتجة من تحول Pyruvate إلى Acetyl-CoA ينتج جزئتان من NADH₂ تتأكسد إلى 6ATP.

(3) الطاقة الناتجة من دورة كريس هي:

- 6 جزئتان من NADH₂ تتأكسد فنتج 18ATP.

- جزئتان من FADH₂ تتأكسد فنتج 4ATP.

- جزئتان من GTP تتأكسد فنتج 2ATP.

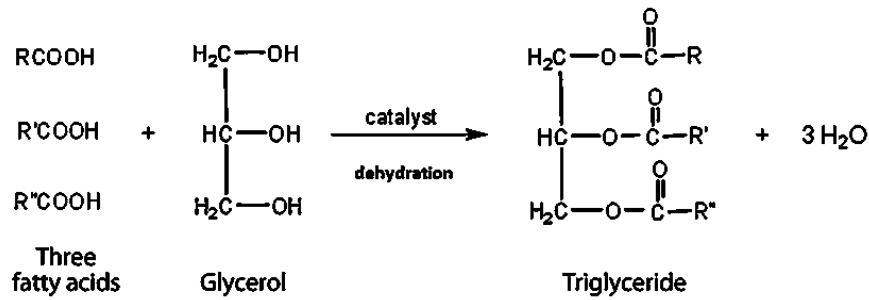
- مجموع الطاقة المنتجة في دورة كريس = 24ATP.

(4) إذن الطاقة النهائية من أيض جزئ كلوكوز واحد = 8 + 6 + 24 = 38ATP.

الليبيدات Lipids

تتميز الليبيدات بمايلي:

- (1) مجموعة مركبات عضوية تشمل الزيوت الثابتة والدهون والشموع والمواد ذات الطبيعة الدهنية تتميز باحتوائها على نسبة أوكسجين إلى هيدروجين أقل من نسبتها في الكربوهيدرات.
- (2) كل الليبيدات مركبات غير قطبية لا تذوب بالماء لكنها تذوب بالمذيبات العضوية (غير القطبية) مثل الإيثر والكلورفورم والبنزين.
- (3) تتركب الليبيدات من أسترات تنتج عن تفاعل حامض دهني مشبع أو غير مشبع مع كحول إما ثلاثي الهيدروكسيل (كليسول) أو أحادي الهيدروكسيل مكونة رابطة إستر.



أهمية الليبيدات

- (1) مخزن للطاقة في حال تعرض النبات لظروف بيئية أو تغذية غير مناسبة.
- (2) مصدر للفيتامينات التي لا تذوب في الماء مثل فيتامين E, D, A, H, K ومصدر للأحماض الدهنية التي قد يحتاج النبات إلى تدويرها بهيئة مركبات أخرى كربوهيدراتية أو بروتينية وغيرها.
- (3) تخزن في الثمار والبذور لغرض تجهيز الجنين بما يحتاجه من الطاقة والمركبات التغذوية.
- (4) تدخل في تركيب جدران الخلايا والأغشية الخلوية وبعض المركبات الثانوية مثل الهرمونات و Glycolipids و Phospholipids وغيرها.

تصنيف الليبيدات

أولاً: الليبيدات البسيطة Simple lipids

هي أسترات تتكون من تفاعل الأحماض الدهنية مع الكحولات وتقسم إلى:

- (1) الزيوت Oils وهي أسترات متكونة من تفاعل حوامض دهنية غير مشبعة مع كليسرول.
- (2) الدهون Fats وهي أسترات متكونة من تفاعل حوامض دهنية مشبعة مع كليسرول.
- (3) الشموع Waxes وهي أسترات لحوامض دهنية ذات أوزان جزيئية عالية مع كحولات أليفاتية أو أروماتية أحادية الهيدروكسيل.

ثانياً: الليبيدات المركبة Lipids compound

هي أسترات تتكون من تفاعل أحماض دهنية مع الكحولات وجزء غير دهني منها:

- (1) ليبيدات فوسفورية Phospholipids وهي أسترات يحل فيها حامض الفوسفوريك محل جزيء من جزيئات الحوامض الدهنية.
- (2) ليبيدات سكرية Glycolipids وهي أسترات تحتوي على كربوهيدرات.
- (3) ليبيدات البروتينية Lipoprotein وهي أسترات تحتوي على بروتينات.
- (4) الكيوتين والسوبرين Cutin & Suberin وهي أسترات لحوامض دهنية حرة ومشتقاتها مع كحولات أليفاتية أو أروماتية أحادية الهيدروكسيل كما في الشموع والفارق الكيمياوي بين الكيوتين والسوبرين هو الإختلاف في الحوامض الدهنية التي تكون كل منها.

ثالثاً: الليبيدات المشتقة Derived lipids

هي نواتج تكسير الليبيدات البسيطة والمركبة بواسطة المذيبات العضوية.

كيمياء حيوية المحاضرة السادسة

Fatty Acids الحوامض الدهنية

تعرف الحوامض الدهنية بأنها مركبات أليفاتية ذات سلسلة كاربونية طويلة غير متفرعة تحتوي على مجموعة كاربوكسيلية واحدة صيغتها الجزيئية $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$.

تقسيم الحوامض الدهنية

تقسم الحوامض الدهنية حسب إحتوائها على الأواصر المزدوجة إلى:

(1) Saturated Fatty Acids تتميز هذه الحوامض بعدم إحتوائها على أواصر مزدوجة وتعطي لبييدات صلبة ترتفع درجة إنصهارها كلما زاد عدد ذرات الكربون في تركيبها البنائي.

Saturated Fatty Acids		
Formula	Common Name	Melting Point
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}_2\text{H}$	lauric acid	45 °C
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CO}_2\text{H}$	palmitic acid	63 °C

(2) Unsaturated Fatty Acids تحتوي هذه الحوامض على أصرة مزدوجة أو أكثر وتعطي زيوت سائلة بدرجة حرارة الغرفة ومنها الحوامض الدهنية الأساسية التي لا تستطيع تصنيعها الخلية الحيوانية.

Unsaturated Fatty Acids		
Formula	Common Name	Melting Point
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	oleic acid	13 °C
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	linoleic acid	-5 °C

تسمية الحوامض الدهنية

للحوامض الدهنية أسماء شائعة أو تجارية وهذه الأسماء لا تدل على التركيب الكيميائي لها مثل حامض Palmitic acid (حامض النخيل) وحامض Linoleic acid وهكذا، بينما

كيمياء حيوية المحاضرة السادسة

تتضمن التسمية الكيمياوية للحوامض المشبعة يذكر فيه عدد ذرات الكربون مصحوبا بمقطع anonic مثل Palmitic acid أسمه الكيمياوي Hexadecanoic، وفي حالة الحوامض غير المشبعة يذكر مكان الأصرة المزدوجة ثم عدد ذرات الكربون ثم عدد الروابط المزدوجة مصحوبا بمقطع enonic مثل Linoleic acid أسمه الكيمياوي 9,12-Octadecadienoic.

ترميز الحوامض الدهنية

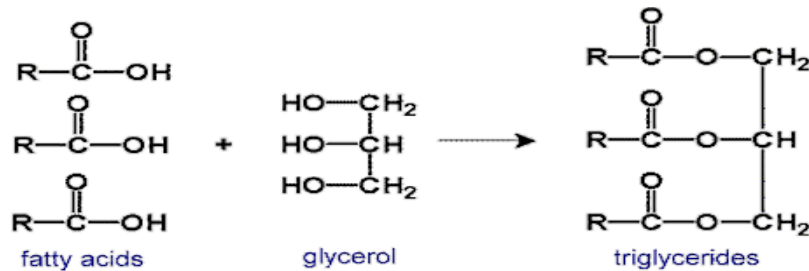
أما الرمز الرقمي الذي يستعمل مع الحوامض الدهنية المشبعة وغير المشبعة يدل على عدد ذرات الكربون وعدد الأواصر المزدوجة وأماكنها مثل Palmitic acid يحتوي على 16 ذرة كربون وهو مشبع فيرمز له C16:0 أما الحامض غير المشبع Linoleic acid يرمز له C18:2^{Δ9,12} فيدل الرقم 18 على عدد ذرات الكربون والرقم 2 على عدد الأواصر المزدوجة و Δ9,12 يدل على وجود أصرة مزدوجة بين ذرة الكربون رقم 9 و 10 وأخرى بين ذرة الكربون رقم 12 و 13.

الخواص الفيزياوية للحوامض الدهنية

- 1) تنخفض درجة إنصهار الحوامض الدهنية كلما قصرت السلسلة الكربونية وكلما زاد عدد الأواصر المزدوجة ولذلك توجد في حالة سائلة والعكس صحيح.
- 2) الحوامض الدهنية مركبات غير قطبية لا تذوب بالماء وتذوب بالمذيبات العضوية غير القطبية مثل الكلوروفورم والبنزين والإيثر.

الخواص الكيمياوية للحوامض الدهنية

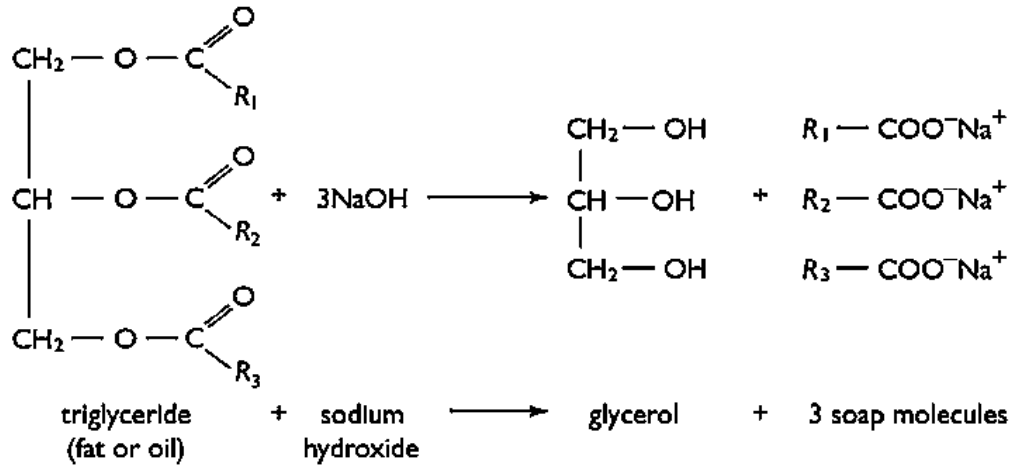
- 1) تتفاعل مجموعة الكربوكسيل في الحوامض الدهنية مع الكحولات مكونة إستر.



كيمياء حيوية المحاضرة السادسة

(2) تتأين مجموعة الكربوكسيل فتنتج $\text{RCOOH} \rightleftharpoons \text{RCOO}^- + \text{H}^+$ بروتوناً .

(3) تتفاعل الحوامض الدهنية مع القواعد مثل NaOH أو KOH فتنتج أملاحاً ويعرف هذا التفاعل برقم التصبن $\text{Saponification number}$ ويعرف بعدد مليغرامات KOH اللازمة لتصبن غرام واحد من الزيت أو الدهن، ويزداد هذا الرقم كلما زاد عدد الحوامض الدهنية.



(4) تفاعلات الأصرة المزدوجة في الحوامض الدهنية غير المشبعة

1. الرقم اليودي Iodine number تتفاعل الأصرة المزدوجة مع الهالوجينات سيما اليود وبمعرفة كمية اليود المضاف يمكن حساب عدد الأواصر المزدوجة الموجودة في الحامض الدهني، ويعرف الرقم اليودي بأنه عدد غرامات اليود التي تتفاعل مع 100 غرام من الحامض الدهني.

2. الهدرجة Hydrogenation تتشبع الحوامض الدهنية المحتوية على الأواصر مزدوجة بإضافة الهيدروجين وتحول تلك الأواصر المزدوجة إلى أحادية ويسمى هذا التفاعل بالهدرجة وينتج عنه تحول الحالة السائلة للزيت إلى الحالة الصلبة.

3. الأكسدة Oxidation أو التزنخ Rancidity هو ظهور طعم ورائحة غير مقبولين للدهون والزيوت نتيجة تأكسد طرفي الأصرة المزدوجة في الحوامض الدهنية غير المشبعة فتتحول إلى كحولات أو ألدهيدات أو كيتونات أو حوامض عضوية سامة بواسطة التحلل المائي بوجود الماء والحرارة وإنزيم Lipase أو قد يحدث التزنخ نتيجة لوجود الأوكسجين

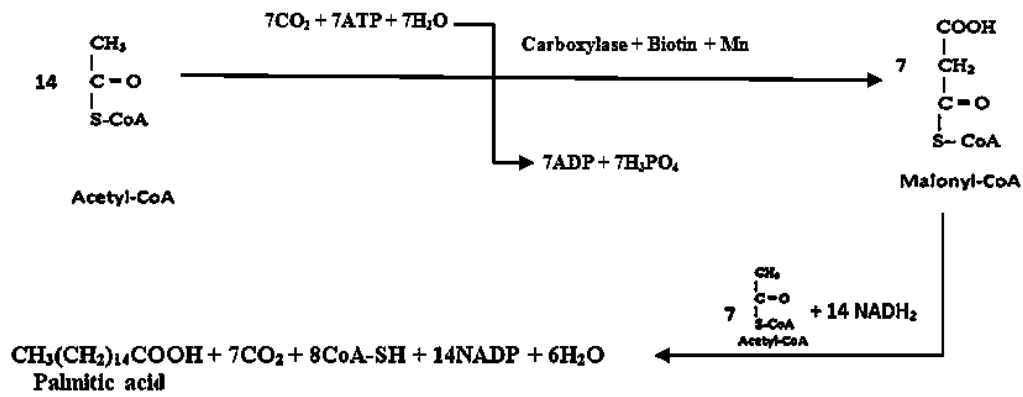
كيمياء حيوية المحاضرة السادسة

والرطوبة والحرارة. ويمكن الكشف عن التزنخ بواسطة تقدير رقم الحامض Acidity number الذي يعرف بأنه عدد مليغرامات KOH اللازمة لتعادل الحوامض الدهنية الحرة الموجودة في 1 غم من الزيت أو الدهن وكلما زاد رقم الحامض دل ذلك على وجود أو بداية حدوث التزنخ.

كيمياء حيوية المحاضرة السابعة

بناء الحوامض الدهنية Anabolism of Fatty acids

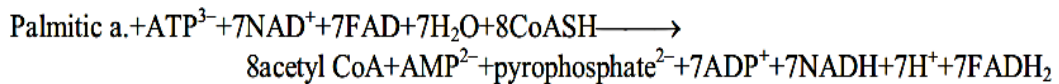
يرتبط بناء الحوامض الدهنية بعملية هدم جزئي الكلوكونز للحصول على Pyruvic acid الذي يتأكسد الى Acetyl-CoA، ولبناء الحامض الدهني الأولي يتم تكثيف جزئتي Acetyl-CoA لإنتاج Malonyl-CoA ثم تكثف جزئية أخرى من Acetyl-CoA مع Malonyl-CoA لينتج Palmitic acid كمايلي:



ولبناء الليبيدات يتم إنتاج Glycerol من مركب Dihydroxyacetone phosphate الناتج عن تجزئة F-1,6-P ثم يتم إختزال مجموعة الكاربونيل وفسفرتها لينتج Glycerol ويكون جاهزاً لاشتراك مع الحوامض الدهنية لإنتاج الليبيدات.

هدم الحوامض الدهنية Catabolism of Fatty acids

تتحلل الليبيدات مائياً بإنزيم Lipase ويتحرر الكليسيرول والحوامض الدهنية، تتكسر الحوامض الدهنية بمسار يدعى β -oxidation التي تحدث في الأجسام الدقيقة glyoxisomes وينتج عن تحلل Palmitic acid ثمان جزئيات Acetyl-CoA وطاقة تتأكسد على هيئة 28ATP وكمايلي:



كيمياء حيوية المحاضرة السابعة

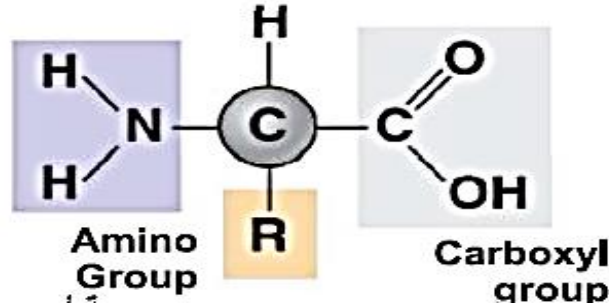
وهناك مسار آخر ضئيل المساهمة في أكسدة الأحماض الدهنية يدعى مسار α -oxidation الذي يتحول فيه الحامض الدهني الفردي بعدد ذرات الكربون إلى حامض دهني زوجي العدد بذرات الكربون لكي يدخل بالتالي في مسار β -oxidation.

البروتينات Proteins

- تعرف البروتينات بأنها مركبات عضوية ذات وزن جزيئي كبير تحتوي على N, O, H, C ويمكن إحتوائها على عناصر، ولا تخفى أهمية البروتينات الطبية والصناعية في تشخيص الأمراض والصناعات الدوائية والغذائية وغيرها ، وللبروتينات دور مهم في الخلية النباتية منها:
- (1) تعد مركبات بنائية تدخل في تركيب جدران الخلايا والإنزيمات والأجسام المضادة وبعض الهرمونات.
 - (2) للبروتينات وظائف بيولوجية متعددة مثل وظائف أيضية وتنظيمية ودفاعية ونقل وخرن وغيرها.
 - (3) توجد البروتينات تواجداً تخصصياً أي يعتمد على إحتياج الخلية فتوجد في كائن حي دون غيره أو في خلية دون غيرها في نفس الكائن وفي فترة عمرية معينة حسب إحتياج الخلية.

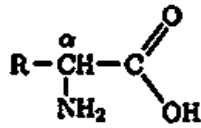
الحوامض الأمينية Amino acids

تعرف الحوامض الأمينية بأنها اللبنة الأساسية في تكوين البروتينات إذ ترتبط مع بعضها بروابط ببتيدية أو أميدية لتكون البروتين وعددها في الطبيعة 20 حامضاً أمينياً وصيغتها العامة $R-CHNH_2COOH$ ، ويتركب كل حامض أميني من مجموعتين وظيفيتين على الأقل هما مجموعة الأمين NH_2 ومجموعة الكربوكسيل $COOH$ بالإضافة إلى سلسلة كربونية جانبية R.

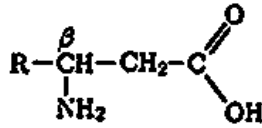


تقسيم الحوامض الأمينية

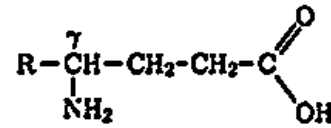
أولاً: تقسم الحوامض الأمينية حسب موقع إرتباط مجموعة الأمين بذرة الكاربون بالسلسلة الجانبية
إعتماداً على مجموعة الكاربوكسيل إلى حوامض Alpha أو Beta أو Gama .



α -amino acid



β - amino acid

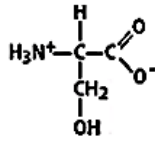


γ - amino acid

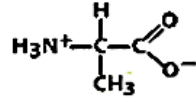
ثانياً: تقسم الحوامض الأمينية حسب قطبية السلسلة الكاربونية الجانبية R بالماء عند الرقم الهيدروجيني المتعادل إلى:

- (1) الحوامض الأمينية ذات سلاسل قطبية محبة للماء Hydrophilic مثل Serine.
- (2) الحوامض الأمينية ذات سلاسل غير قطبية كارهة للماء Hydrophobic مثل Alanine.
- (3) الحوامض الأمينية ذات سلاسل مشحونة بشحنة موجبة (قاعدية) مثل Lysine.
- (4) الحوامض الأمينية ذات سلاسل مشحونة بشحنة سالبة (حامضية) مثل Aspartate.

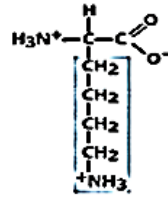
كيمياء حيوية المحاضرة السابعة



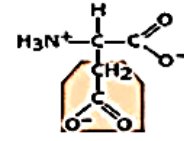
Serine



Alanine



Lysine



Aspartate

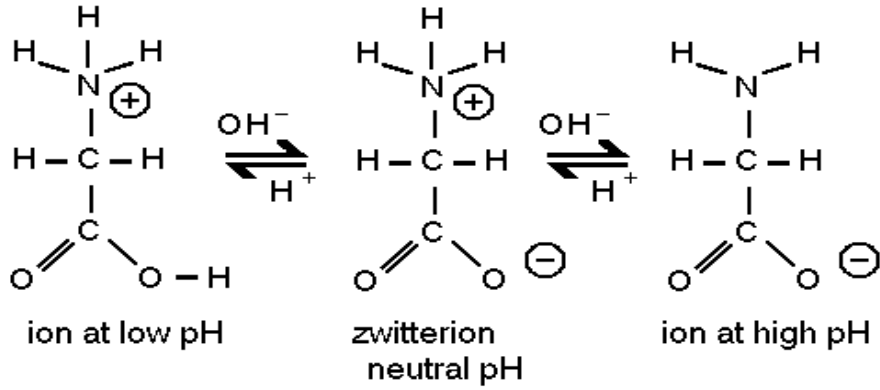
- ثالثاً: تقسم المركبات الناتجة عن إرتباط الحوامض الأمينية حسب عددها إلى:
- (1) ببتيديات ثنائية Dipeptide تتكون من إرتباط حامضين أميين.
 - (2) ببتيديات قليلة Oligopeptide تتكون من إرتباط 3-10 حامض أميني.
 - (3) عديدة الببتيد Polypeptide تتكون من إرتباط 10-100 حامض أميني.
 - (4) بروتين Protein تتكون من إرتباط أكثر من 100 حامض أميني.

خصائص الحوامض الأمينية

(1) الخاصية الأمفوتيرية Amphoteric property هي إحتواء المركب الكيميائي على الشحنتين السالبة والموجبة وبذلك يسلك المركب سلوك الحوامض والقواعد في التفاعلات الكيميائية وكما يلي:

- أ) تتفاعل في الوسط القلوي كحامض أي تفقد هيدروجين ويبقى عليها الشحنة السالبة.
- ب) تتفاعل في الوسط الحامضي كقلوي أي تستقبل هيدروجين وتصبح شحنتها موجبة.
- ج) تكون في الوسط المتعادل بحالة إتران ويتكون أيون ثنائي القطبية يحتوي على قدر متساوي من الشحنتين الموجبة والسالبة وتكون الشحنة الكلية تساوي صفر وتسمى هذه الحالة . Zwitter ion

كيمياء حيوية المحاضرة السابعة



(2) نقطة التعادل الكهربائي Isoelectric point وهي درجة الأس الهيدروجيني التي يكون فيها مجموع الشحنات السالبة والموجبة للحامض الأميني متساوية وبذلك تكون الشحنة الكلية متعادلة وعندها لا يتحرك للقطب السالب ولا للموجب إذا ما تعرض لمجال كهربائي ويكون معدل الذوبان أقل ما يمكن.

(3) الذوبان Solubility تذوب الحوامض الأمينية بالماء والمذيبات القطبية بسبب شحنتها الموجبة والسالبة.

(4) الإنصهار Fusion يحتاج الحامض الأميني الى حرارة عالية لإنصهارها بسبب الأواصر الأيونية القوية.

(5) النشاط الضوئي Photo activity جميعها نشطة ضوئياً باستثناء Glycine.

أيض الحوامض الأمينية

أولاً: بناء الحوامض الأمينية

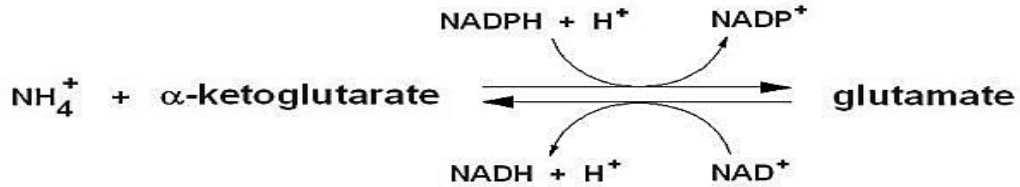
تشتمل تفاعلات بناء الحوامض الأمينية عدة مراحل هي:

المرحلة الأولى: إنتاج حوامض كيتونية تقابل من حيث تركيبها الحوامض الأمينية مثل Pyruvic acid و α -Ketoglutaric acid و Oxaloacetic acid وتنتج هذه

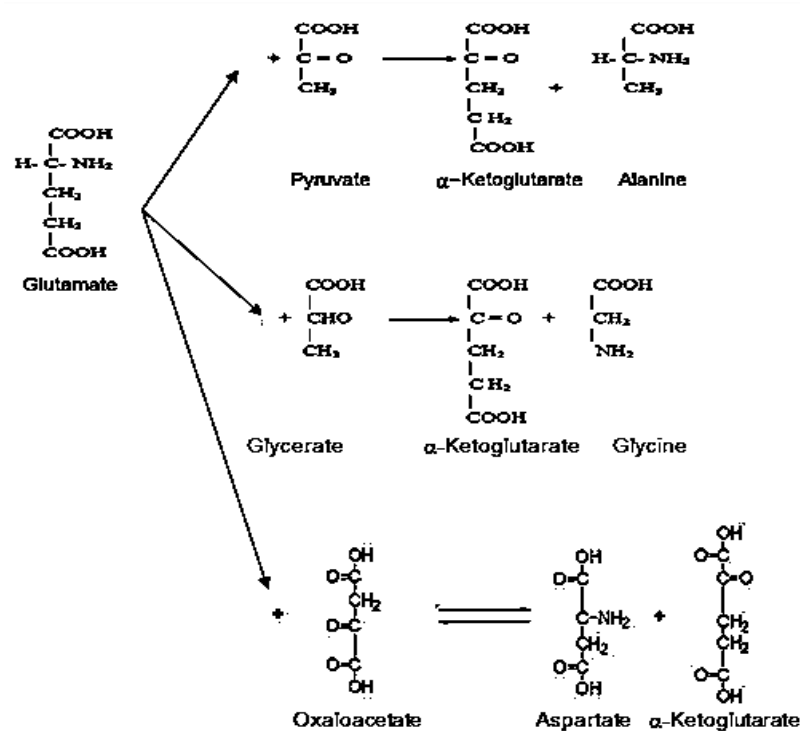
الحوامض الكيتونية عن طريق مسار Glycolysis و Krebs cycle.

كيمياء حيوية المحاضرة السابعة

المرحلة الثانية: إنتاج الأمونيا التي لا تلبث أن تتفاعل مع α -Ketoglutaric acid لتكوين Glutamate بواسطة أنزيم Glutamic dehydrogenase، وتنتج الأمونيا عن إختزال النترات أو الأمونيوم الممتصة عن طريق جذور النباتات في التربة.



المرحلة الثالثة: نقل مجموعة الأمين من Glutamate بواسطة أنزيمات Transaminases إلى أحد الحوامض الكيتونية لإنتاج حوامض أمينية أخرى مثل Pyruvate و α -Ketoglutarate و Oxaloacetate التي تتحول بدورها إلى الحوامض الأمينية Alanine و Glycine و Aspartate.



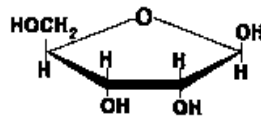
Nucleic Acid الحوامض النووية

هي جزيئات بيولوجية كبيرة الوزن الجزيئي Biomacromolecules توجد في جميع الخلايا الحية بصورة حرة أو متحدة مع البروتين، تتكون من وحدات تسمى Nucleotides ترتبط مكونات هذه الوحدات مع بعضها بترتيب يمثل الشيفرة الخاصة بالصفات الوراثية المسئولة عن نقل المعلومات والتحكم في بناء البروتين.

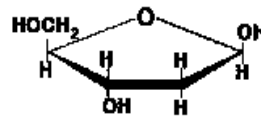
أنواع الحوامض النووية

يوجد نوعان من الأحماض النووية هي الحامض النووي الريبوزي Ribonucleic Acid (RNA) والحامض النووي الريبوزي المنقوص الأوكسجين Deoxyribonucleic Acid (DNA)، تحتوي معظم الكائنات الحية على كميات متفاوتة من الحوامض النووية بنوعيهما DNA و RNA بينما تحتوي الفيروسات على DNA فقط والبعض الآخر على RNA فقط، تتركب الاحماض النووية بنوعيهما من بوليمرات خيطية تسمى Nucleosides تتكون من قاعدة نيتروجينية (Purine و Pyrimidine) ترتبط بموقع ذرة النيتروجين رقم 9 بالنسبة لمجموعة Purine (Adenine و Guanine) وذرة النيتروجين رقم 1 لمجموعة Pyrimidine (Cytosine و Uracil و Thymine) مع ذرة الكربون رقم 1 في جزيئة السكر الخماسي (Ribose أو Deoxyribose) برابطة كليكوسيدية من النوع Beta مكونة Nucleosides التي ترتبط مع بعضها البعض عن طريق روابط الفوسفات ثنائية الاستر مكونه Nucleotides.

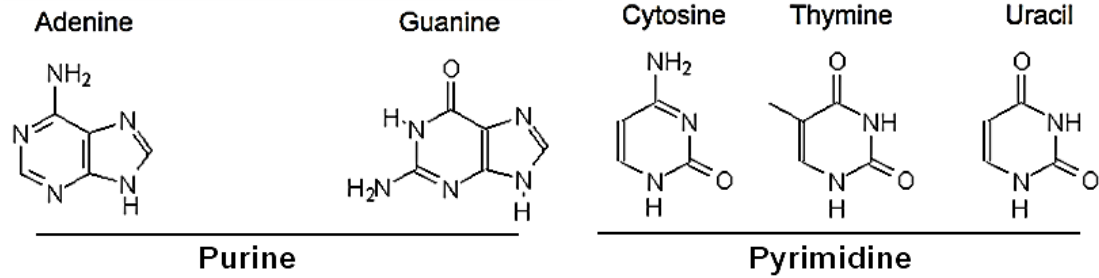
ribose
used in RNA



deoxyribose
used in DNA

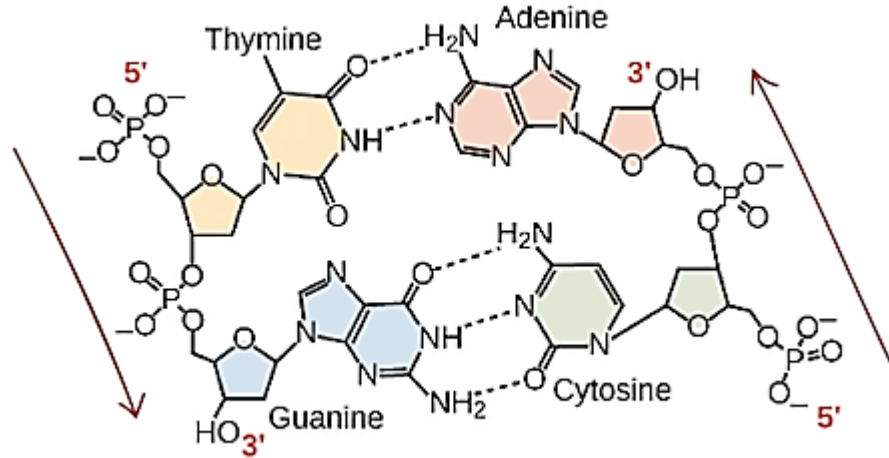


كيمياء حيوية المحاضرة الثامنة



الحامض النووي DNA

أوضح العالمان Crick و Watson عام 1953 البنية الحلزونية المزدوجة DNA الذي يتكون من سلسلتين متكاملتين تلتقان حول بعضهما ليكونا حلزوناً مزدوجاً منتظماً يبلغ قطره 20 أنكستروماً وتشكل فيه وحدات السكر الخماسي ومجموعة الفوسفات الجزء الخارجي للحلزون في حين تبقى القواعد النيتروجينية الى داخل العمود الفقري وتكون المسافة الفاصلة بين قاعدة وأخرى 3.4 أنكستروماً مما يعني ان كل سلسلة تحتوي على 10 نيكلوتيدات في كل لفة كاملة وترتبط سلسلتا الحلزون مع بعضهما بواسطة أواصر هيدروجينية تتكون بين ازواج القواعد النيتروجينية حيث يزدوج Adenine دائماً مع Thymine بواسطة آصرتين هايدروجينيتين و Guanine دائماً مع Cytosine بواسطة ثلاثة أواصر هيدروجينية ان هذا النوع من الازواج القاعدي هو الترتيب الممكن الوحيد. ولكل نوع من الأنواع الثلاثة وزن جزيئي وتركيب خاص به من القواعد النيتروجينية. ويحتوي DNA على القواعد النيتروجينية Adenine و Guanine (Purine) و Cytosine و Thymine (Pyrimidine) وسكر Deoxyribose كما في الرسم.



الحامض النووي RNA

يكون RNA حوالي 5-10% من الوزن الكلي للخلية وهناك ثلاثة أنواع رئيسية منه

هي:

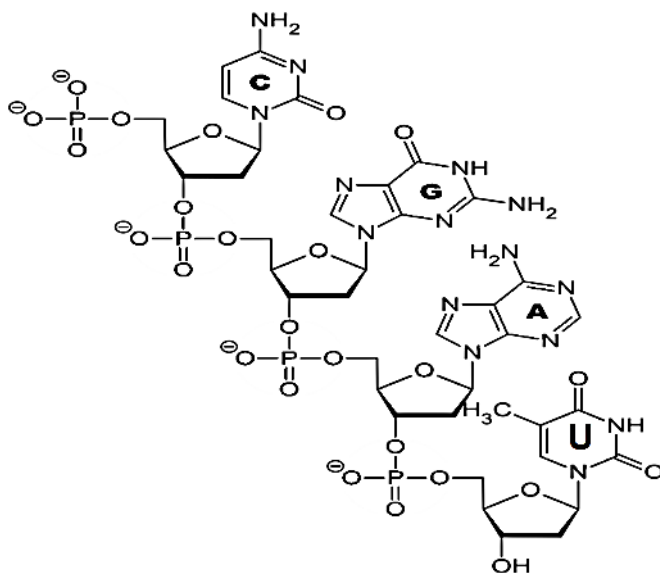
1. الحامض النووي الريبوزي الرسول (mRNA) Messenger RNA . يتكون في الخلية بواسطة إستنساخ DNA ويتركب من جزيئات مختلفة الاحجام ويكون مكملاً لجزيئة DNA المستنسخ عنها ووظيفة mRNA هي حمل المعلومات الوراثية من جزيئة DNA في النواة الى الريبوسومات Ribosomes في الساييتوبلازم .
2. الحامض النووي الريبوزي الريبوسومي (rRNA) Ribosomal RNA . يشترك في بناء الريبوسومات التي تعد مراكز تصنيع البروتينات في الخلية ويوجد على هيئة جزيئة طويلة مرنة.
3. الحامض النووي الريبوزي الناقل (tRNA) Transfer RNA . ينتج ايضاً بواسطة عملية الاستنساخ من DNA ويتواجد في الساييتوبلازم ومهمته هي نقل الاحماض الامينية المنشطة الى الريبوسوم Ribosome في عملية بناء البروتين وتكون جزيئة هذا الحامض قصيرة تتكون من 75-85 نيوكليوتيدة تشبه في شكلها ورقة البرسيم ولها خمس ذرع .

كيمياء حيوية المحاضرة الثامنة

مقارنة بين أنواع RNA

No	Compare with	mRNA	rRNA	tRNA
1	Length	Long molecular	Short molecular	Very Short molecular
2	Structure	Without protein	With protein	Without protein
3	Function	Encodes a polypeptide chain building	Formation of ribosome & linking amino acids	Transfer of Amino acids
4	% RNA	5%	80%	15%

ولكل نوع من الأنواع الثلاثة وزن جزيئي وتركيب خاص به من القواعد النيتروجينية. يحتوي RNA على القواعد النيتروجينية Adenine و Guanine (Purine) و Cytosine و Uracil (Pyrimidine) وسكر Ribose كما في الرسم.



مقارنة بين RNA و DNA

No	Compare with	RNA	DNA
1	Location in Cell	Nuclei, Ribosomes, Cytoplasm	Chromosomes, Plastids, Mitochondria
2	Pentose sugar	Ribose	Deoxyribose
3	Nitrogen base	Uracil	Thymine
4	Form	Single Strain	Dobell Helix
5	Hydrolysis by	RNase	DNase
6	Function (role)	Protein Syntheses	Genetic material
7	Molecular Weight	Relatively Low	Relatively Very High
8	Length	Very Short	Very Long

كيمياء حيوية المحاضرة التاسعة

ثانياً: هدم الأحماض الأمينية

يتم هدم الحامض الأميني بمرحلتين رئيسيتين هما:

المرحلة الأولى: يتم تجريد الحامض الأميني من المجموعة الأمينية التي تنطلق على هيئة أمونيا بواسطة أنزيم glutamic dehydrogenase في الأنسجة الحيوانية والنباتية بالتعاون مع

إنزيمات أخرى تسمى Transaminases.

المرحلة الثانية يتم أكسدة الهيكل الكربوني وتحويله إلى حامض كيتوني يستعمل في المسارات

الأيضية العامة مثل Pyruvic acid و α -Ketoglutaric acid و Oxaloacetic

acid التي أما تتأكسد

أكسدة كاملة عن طريق دورة كريس لإنتاج الطاقة أو تدخل الأيض الكربوهيدراتي مركبات أخرى.

تصنيف البروتينات

أولاً: تصنف البروتينات على أساس قابليتها للذوبان والإختلافات الكيماوية والفيزيائية إلى:

1) Simple proteins تتميز بإنتاج حوامض أمينية عند تحللها المائي وتتخذ شكلين:

أ. الشكل الليفي Fibrous form يكون غير ذائب بالماء ويدخل بتركيب الأنسجة الحيوانية مثل مجموعة Keratins يوجد في الشعر والصوف والحريز والأظافر ومجموعة Collagens يوجد في الأربطة والغضاريف ومجموعة Elastins يوجد في جدران الشرايين والحويصلات الهوائية.

ب. الشكل الكروي Globular form تتميز بذوبانها في الماء أو الكحولات وأهم هذه المجموع Globulins التي تنتمي لها معظم بروتينات النبات ومجموعة Glutelins توجد في الحبوب مثل Glutelin في القمح و Oryzenin في الرز.

2) Conjugated proteins توجد هذه البروتينات مرتبطة مع مواد غير بروتينية تسمى

مجاميع فعالة Prosthetic groups تكسب البروتين خصائص جديدة مثل:

1) Glycoproteins بروتينات تحتوي على كربوهيدرات توجد في الأغشية الخلوية.

2) Nucleoproteins ينتج عن تحللها المائي بروتين وحامض نووي.

كيمياء حيوية المحاضرة التاسعة

3) Chromoproteins بروتينات مرتبطة بمادة غير بروتينية تتضمن مثل

Flavoproteins و Phytochrom و Chlorophyll proteins وغيرها.

4) Metalloproteins بروتينات تحتوي على عناصر معدنية توجد في إنزيمات التنفس

الخلوي.

3) Derived proteins تعد هذه البروتينات مشتقة من البروتينات البسيطة والمرتبطة بواسطة

طرق كيميائية أو فيزيائية مثل Denatured proteins.

ثانياً: تقسم البروتينات على أساس وظيفتها البيولوجية إلى:

1) بروتينات تركيبية Structural proteins هي البروتينات التي تدخل في تركيب خلايا

الكائن الحي مثل البروتينات الليفية.

2) بروتينات أيضية Metabolic proteins هي المسؤولة عن عمليات الأيض الخلوي

بنوعيه البناء والهدم مثل الأنزيمات المشاركة في تحفيز التفاعلات الأيضية.

3) بروتينات تنظيمية Regulatory proteins تقوم بتنظيم جميع العمليات الخلوية مثل

تنظيم الضغط الأزموزي أو تنظيم عمل الأنسجة والأعضاء كما في دور هرمونات

النمو.

4) بروتينات النقل Transport proteins وهي المسؤولة عن نقل المواد من وإلى الخلية

مثل مضخة الصوديوم والبوتاسيوم.

5) بروتينات التخزين Storage proteins تساهم في عملية تخزين بعض المركبات مثل

بروتين الكازين Casein الذي يعمل على خزن الحديد في الحليب.

6) بروتينات دفاعية Defense proteins هي المسؤولة عن مهاجمة الأجسام الغريبة التي

تدخل الخلية مثل الأجسام المضادة.

7) بروتينات التعرف Recognition proteins تقوم بالتعرف على المواد المرغوبة وغير

المرغوبة التي تحيط بالخلايا وغالباً توجد على سطح الأغشية الخلوية.

8) الأنزيمات Enzymes وهي عوامل بيولوجية مساعدة Biocatalysts يبلغ عددها

1500 أنزيم كل منها يحفز تفاعلاً كيميائياً معيناً.

الأنزيمات Enzymes

هي محفزات كيميائية حيوية ذات تركيب بروتيني عالي الوزن الجزيئي يتألف من عدد كبير من الأحماض الأمينية التي تنتظم بسلسلة أو سلاسل عديدة الببتيد ترتبط فيما بينها بأواصر ببتيديّة.

وظيفة الأنزيم

يعمل الأنزيم كمادة عضوية محفزة أي مسرعة Catalyst لتفاعلات كيميائية معينة تعمل على تحويل مجموعة محددة من المواد الأساس Substrates إلى نواتج محددة Products عند درجة حرارة ذلك النظام الحيوي، وقد يزيد الأنزيم من سرعة التفاعل الكيمياوي الذي يحفزه إلى حوالي 10^{14} . وتسمى الأنزيمات أيضاً بالعوامل المحفزة لأنها تعمل على تسريع التفاعل دون أن تتأثر به ولا يتغير تركيبها بعملية التحفيز.

خصائص الأنزيم

- 1) يحتاج الأنزيم الى درجة حرارة وحموضة مثاليين ليقوم بوظيفته بسبب طبيعة بنيته البروتينية.
- 2) يفقد الأنزيم فعاليته عند تعرض الجزء البروتيني منه الى تغير تركيبه Denaturation بسبب تأثير الحوامض والقواعد القوية والتسخين الشديد وغيرها.
- 3) لا يستهلك الأنزيم في التفاعلات التي يشترك فيها.
- 4) كمية قليلة من الأنزيم تكفي لتحفيز تفاعل كمية كبيرة من المادة الأساس.
- 5) الأنزيم مادة متخصصة تقوم بتحفيز تفاعل مادة أساس معينة يرتبط معها الأنزيم بصورة خاصة ولا يرتبط مع غيرها من المواد، ويعود سبب تخصص الأنزيمات الى أنها تتركب من أحماض أمينية توجد في سلاسل متعددة الببتيد وفق تتابع معين خاص بكل أنزيم مما يؤدي

كيمياء حيوية المحاضرة التاسعة

في النهاية إلى تركيب فراغي محدد يعطي الأنزيم القدرة على الارتباط بمادة معينة وتسريع حدوث تفاعلها دون غيرها.

6) تحتاج عملية تنشيط فعالية بعض الأنزيمات إلى مواد كيميائية إضافية ترتبط بها تسمى بالعوامل المساعدة Co-Factors ، وقد تكون العوامل المساعدة على هيئة عناصر مثل Mg و Mn و Zn و Fe وغيرها أو على هيئة جزيئات عضوية تسمى مساعد الأنزيم Co-Enzyme وعند إكمال ارتباط الأنزيم مع العوامل المساعدة يسمى Holoenzyme ويسمى الجزء البروتيني منه Apoenzyme.

تصنيف الأنزيمات

أولاً: التصنيف القديم

1) اعتماداً على اسم المادة الأساس مثل سمي الأنزيم الذي يحفز تفاعل التحلل المائي للأرجنين Argenase.

2) اعتماداً على طبيعة التفاعل الذي تحفزه مثل سمي الأنزيم الذي يحفز تفاعل إزالة مجموعة الكربوكسيل من المادة الأساس Decarboxylase.

3) تسمية اعتبارية لبعض الأنزيمات مثل سميت إنزيمات التحلل المائي للبروتينات Pepsin و Trypsin.

ثانياً: التصنيف الحديث (النظامي)

في الوقت الحاضر وضعت الأنزيمات في ستة مجموعات اعتماداً على نوع التفاعل الذي تحفزه وتتضمن مجاميع الأنزيمات ما يلي:

1. أنزيمات النقل Transferases.

تقوم هذه الأنزيمات بنقل مجموعة كيميائية من مادة أساس إلى أخرى مثل إنزيم

Transmethyases الذي يقوم بنقل مجموعة الميثيل CH_3 .

2. أنزيمات الأكسدة والإختزال Oxidoreductases.

كيمياء حيوية المحاضرة التاسعة

تقوم هذه الأنزيمات بنقل الإلكترونات من مادة أساس إلى أخرى فتؤكسد الأولى وتختزل

الثانية مثل إنزيمات Oxidases و Dehydrogenases .

3. أنزيمات التحلل المائي Hydrolases.

تقوم هذه الأنزيمات بتحطيم بعض الروابط بإضافة الماء (التحلل المائي) مثل الإنزيمات

تحلل الأواصر الكلايكوسيدية مثل Sucrase و Amylase .

4. أنزيمات الفصل Lyases.

تقوم هذه الأنزيمات بنزع مجموعة كيميائية من المادة الأساس دون إضافة الماء وتحل

محل المجموعة المنزوعة أصرة مزدوجة مثل نزع مجموعة الأمين Deaminases بصورة

أمونيا.

5. أنزيمات التشكل Isomerases.

تقوم هذه الأنزيمات بتحويل المادة الأساس إلى هيئة آخر مثل أنزيمات

.Transisomerases

6. أنزيمات الإرتباط Ligases.

تقوم هذه الأنزيمات على إنشاء أصرة جديدة بين مركبين مختلفين وتعتمد في ذلك على

الطاقة ATP مثل أنزيم RNA Ligase الذي يشارك في عمليات بناء البروتين في الخلية

كيمياء حيوية المحاضرة العاشرة

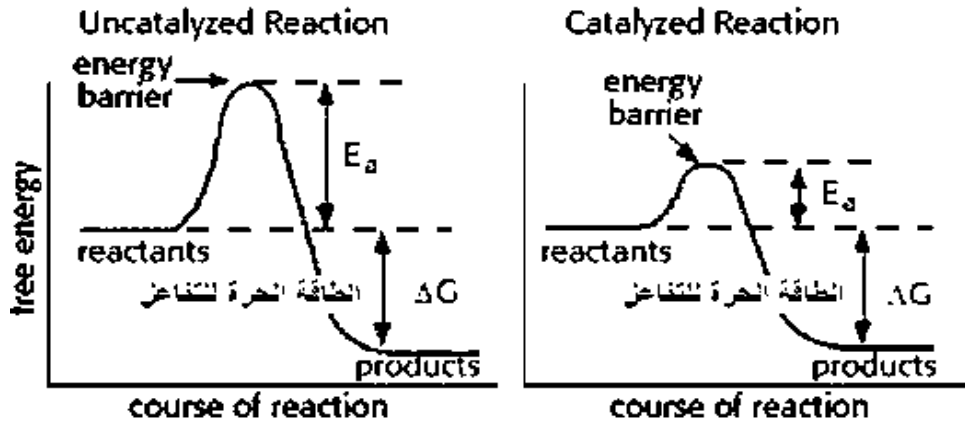
التحفيز الأنزيمي

هنالك طريقتان رئيستان لتعجيل التفاعل الكيميائي هي:

(1) زيادة درجة الحرارة تزيد من الحركة الحرارية وطاقة الجزيئات المتفاعلة وبذلك تزداد عدد الجزيئات التي تصل إلى حالة الإنتقال Transition state (الحالة التي تسبق تكوين النواتج) ويمكن مضاعفة سرعة التفاعل عند رفع درجة حرارة التفاعل 10 درجة مئوية.

(2) إضافة مادة محفزة تعجل التفاعل الكيميائي إذ تعمل على خفض طاقة التنشيط عن طريق الإتحاد مع المواد المتفاعلة لتصل بالتفاعل سريعاً إلى حالة الإنتقال الخاصة بتكون الناتج بسهولة وبسرعة.

تستطيع الأنزيمات تحفيز التفاعل بدرجة حرارة منخفضة وبذلك تقل الطاقة اللازمة لتنشيط التفاعل إذ كلما قلت طاقة التنشيط Activation Reaction (E_a) كلما زادت سرعة التفاعل عن طريق الإرتباط المؤقت مع المواد المتفاعلة للوصول إلى طاقة الإنتقال بسرعة عند درجة الحرارة الطبيعية.



تعريف هامة

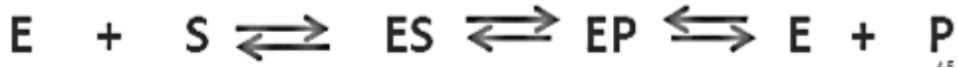
* طاقة التنشيط Activation Reaction هي كمية الطاقة بالسرعات الحرارية اللازمة لجلب جميع الجزيئات الموجودة في وزن جزيئي غرامي للمادة الأساس عند درجة حرارة معينة لحالة التفاعل.

كيمياء حيوية المحاضرة العاشرة

- * وحدة الأنزيم Enzyme Unit هي كمية الأنزيم اللازمة لتحويل مايكرومول واحد من المادة الأساس الى ناتج في دقيقة واحدة تحت الظروف المحددة للقياس.
- * درجة النشاط النوعية Specific Activity هي عدد وحدات الأنزيم لكل ملغم من البروتين.

آلية عمل الأنزيم

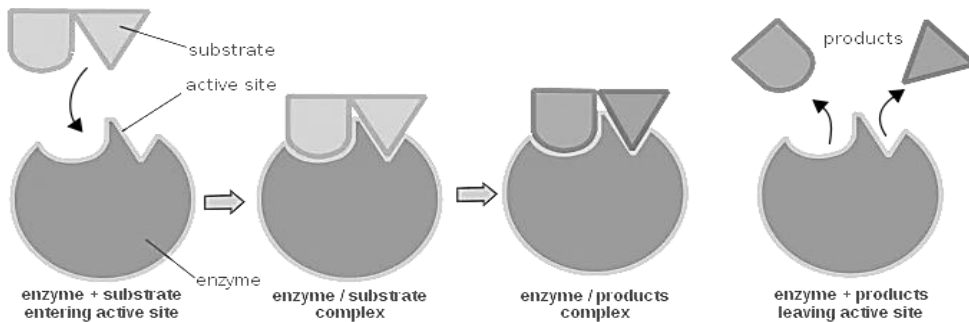
- (1) يتضمن التفاعل الأنزيمي ارتباط الأنزيم E مع المادة الأساس S ليكون معقد ES . Complex
- (2) تلي عملية الإرتباط تحول المعقد ES Complex الى معقد آخر EP Complex.
- (3) الخطوة الأخيرة تفكك المعقد EP Complex الى أنزيم E وناتج P كما يلي:



يتم إرتباط المادة الأساس بالأنزيم وفق أحد طريقتين:

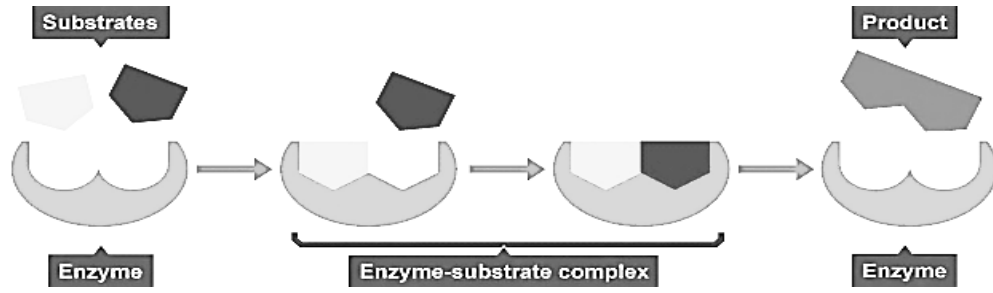
- (1) طريقة القفل والمفتاح Lock & Key Model .

في هذه الحالة تكون المادة الأساس ذات تركيب معين بحيث ترتبط مع الموقع الفعال كما يرتبط المفتاح مع القفل بمعنى أن الأنزيم لا يستطيع أن يرتبط بمادة أساس أخرى وهذا يدل على درجة عالية من التخصص في عمل الأنزيمات.



كيمياء حيوية المحاضرة العاشرة

1) طريقة الإرتباط الحفز Induce-fit Model . في هذه الحالة يغير الأنزيم من شكله عند الإرتباط مع المادة الأساس ويصبح للموقع الفعال شكلاً مكملاً لشكل المادة الأساس فقط بعد إرتباطها.



العوامل المؤثرة على سرعة التفاعل الأنزيمي

1) تركيز المادة الأساس Substrate Concentration.

يلاحظ عند ثبات تركيز الأنزيم والمادة الأساس بتركيز منخفض فان سرعة التفاعل تزداد زيادة طردية مع زيادة تركيز المادة الأساس، وعند زيادة تركيز المادة الأساس أكثر لتصبح عالية فان سرعة التفاعل لا تزداد وتبقى ثابتة عند سرعة معينة مهما زاد تركيز المادة الأساس وتسمى هذه السرعة بالسرعة القصوى V_{max} وفي هذه الحالة يكون الأنزيم مشبعاً بالمادة الأساس ولا يستطيع أن يزيد سرعة التفاعل أكثر.

2) تركيز الأنزيم Enzyme Concentration.

عند زيادة تركيز الأنزيم مع بقاء تركيز المادة الأساس ثابتاً فان سرعة التفاعل تزداد زيادة طردية بزيادة تركيز الأنزيم.

3) درجة الحرارة Temperature Degree.

يزداد معدل سرعة التفاعل الأنزيمي كلما زادت درجة الحرارة وتتضاعف سرعة التفاعل لكل 10 درجات مئوية حتى يصل الأنزيم الى قمة النشاط عند درجة حرارة 37

كيمياء حيوية المحاضرة العاشرة

درجة مئوية بعد ذلك تقل سرعة التفاعل حتى تصل في أدناها عند درجة حرارة 55
مئوي إذ تتفكك الأواصر الهيدروجينية لبروتينات الأنزيم ويتغير تركيبه.

(4) الرقم الهيدروجيني.

لكل أنزيم رقم هيدروجيني يكون عنده بأقصى سرعته ويسمى الرقم الهيدروجيني
المثالي Optimum-pH ويتراوح الرقم الهيدروجيني الأمثل بين 5-9 لمعظم
الأنزيمات.

مثبطات الأنزيمات Enzyme Inhibitors

هنالك الكثير من المواد التي تثبط الأنزيمات وتقلل من سرعة التفاعل وتعتمد طبيعة
التثبيط على نوع الإرتباط بين المثبط والأنزيم وكما يلي:

(1) التثبيط غير العكسي Irreversible Inhibition.

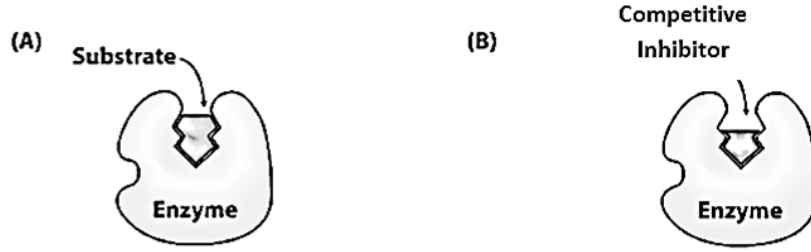
في هذه الحالة يرتبط المثبط إرتباطاً وثيقاً يصعب إنفصاله من الموقع الفعال للأنزيم مما
يمنع من إرتباط المادة الأساس ويفقد الأنزيم فعاليته.

(2) التثبيط العكسي Reversals Inhibition.

في هذه الحالة يرتبط المثبط إرتباطاً يسهل إنفصاله من الموقع الفعال للأنزيم ويستعيد
الأنزيم فعاليته وهنالك نوعان من التثبيط العكسي:

(أ) التثبيط التنافسي Competitive Inhibitor.

في هذه الحالة يشابه المثبط التنافسي في تركيبه المادة الأساس ويرتبط
بالموقع الفعال للأنزيم مما يؤدي الى منع المادة الأساس من الإرتباط بنفس الموقع
وبذلك يخفض المثبط التنافسي من سرعة تفاعل الأنزيم بتقليل عدد جزيئات الأنزيم
المرتبطة بالمادة الأساس ويمكن أن يزال تأثير هذا المثبط بزيادة تركيز المادة الأساس
مثل أنزيم Succinate dehydrogenase الذي يثبط سرعته Malonate.



ب) التثبيط غير التنافسي Noncompetitive Inhibitor.

يرتبط المثبط في مكان غير الموقع الفعال للأنزيم مما يؤدي الى تغيير هيئة الموقع الفعال فلا تستطيع المادة الأساس من الإرتباط بالأنزيم مثل وجود بعض العناصر كالمغنيسيوم والكالسيوم، ويلاحظ إن الفرق بين التثبيط التنافسي وغير التنافسي هو إمكانية إزالة تأثير المثبط بزيادة تركيز المادة الأساس في حالة التثبيط التنافسي في حين لا يؤدي زيادة التركيز إزالة المثبط غير التنافسي.

