المكونات الكيميائية للخلية

Chemical Compounds of the Cell

تتشابه الخلايا من حيث نوعية مكوناتها الكيميائية إلا أنها تختلف من حيث نسب تلك المكونات وكمياتها. وعمومًا فإن الخلية تحتوي على نوعين من المركبات الكيميائية، هما: المركبات اللاعضوية والمركبات العضوية.

أولاً: المركبات اللاعضوية Inorganic Substances

تشمل جميع المواد التي لا تحتوي جزيئاتها على روابط هيدروكربونية (C-H). وقد تندمج هذه المواد مع جزيئات كبيرة في الخلية لتكوين معقدات معينة، أو قد تبقى حرة وحدها على شكل جزيئات صغيرة، أهمها الماء والغازات والأملاح وأيوناتها المختلفة.

الماء

يتألف جسم الكائن الحي من نسبة عالية من الماء، وهو الجزء الأساسي والمهم في بناء معظم الخلايا الحية، وخير دليل على ذلك قوله تعالى: ﴿ وَجَعَلْنَا مِنَ ٱلْمَآءِ كُلَّ شَىْءٍ حَىٍّ ﴾ سورة الأنبياء، آية (٣٠). وتختلف نسبه الماء من خلية إلى أخرى. وتتراوح نسبته عمومًا بين ١٪ في خلايا الشعر والأظافر، إلى ٩٦٪ في خلايا بعض الكائنات البحرية البسيطة. ويوجد الماء في الخلية على صورتين، الأولى: الماء الحر Free Water ويشكل حوالي ٩٥٪ من الكمية الإجمالية للماء في الخلية ما عدا خلايا العظام، والماء الحر يعمل مذيبًا أساسيًا ووسطًا للتفاعلات الكيموحيوية Biochemical Reactions في الخلية. الثانية: الماء المرتبط Bound Water، ويشكل حوالي ٥٪؛ حيث يرتبط مع بعض المركبات العضوية الأخرى، كالمجموعات القطبية للبروتينات أو التركيب الغروي للبروتوبلازم، وهذا الماء يعد مكملا للجهاز الحيوي للجسم.

الوظائف الأساسية للماء: للماء صفات وخصائص كثيرة جعلته يساهم في أداء العديد من الوظائف الحيوية المهمة داخل الخلية خصوصًا وداخل جسم الكائن الحي عمومًا، ولعل من أهم تلك الخصائص تركيبه الجزيئي الكيميائي الفريد ذو العلاقة الوثيقة بالمادة الحية. وسوف نعرض هنا بعض أهم وظائف الماء الأساسية، وهي كما يلي:

١- **الماء مذيب قوي وفعال:** يعتبر الماء (H_2O) أفضل مذيب لكثير من المركبات الموجودة في الخلية، وخصوصًا الأملاح المتأينة مثل كلوريد الصوديوم NaCl. إن خاصية الإذابة تعزى لخاصية الاستقطاب التي يمتاز بها الماء؛ فالهيدروجين له شحنة موجبة (H^+) ، بينما الأكسجين له شحنة سالبة (O^-)، ففي كلوريد الصوديوم تتجه أيونات الصوديوم الموجبة (Na^+) إلى أيونات الأكسجين السالبة في الماء، بينما تتجه أيونات الكلور السالبة (Cl^-) لأيونات الهيدروجين الموجبة في الماء. وبهذا فالمادة المذابة ستتفكك وتذوب نتيجة إحاطتها بجزيئات الماء، وهذا ما يقصد بالتحلل المائي Hydrolysis.

٢- **الماء ضروري لتنظيم حرارة الجسم:** للماء حرارة نوعية عالية High Specific Heat مقارنة بالمواد الأخرى، ويعزى ذلك إلى شدة استقطاب الماء. وتعرف الحرارة النوعية بأنها كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة من ١ جرام من المادة لتتغير درجة حرارتها ١°م. إن الروابط الهيدروجينية للماء تستهلك حرارة في أثناء تكسرها، وتطلق حرارة عند تكونها. وهاتان العمليتان تتمان ببطء؛ فالارتفاع البطيء والانخفاض البطيء لحرارة الماء يجعل الماء يثبت حرارة الجسم، وكذلك حرارة المحيط، بالإضافة إلى ذلك فإن تبخر ١ جرام من الماء يمتص ٥٨٦ سعرًا حراريًا من الكتلة الخلوية. وهذا يفسر أهمية خروج العرق عند الكائنات الحية لتبريد أجسامها عند ارتفاع حرارتها بفعل ارتفاع حرارة الجو المحيط أو حتى حرارة أجسامها من الداخل. إن تصبب العرق عند ارتفاع درجات الحرارة عبارة عن عملية تبريد؛ فكمية قليلة من الماء تحتاج إلى كمية كبيرة من الطاقة الحرارية لغرض التبخر، وهذا هو أساس عملية التبريد الناتجة بفعل التبخر. علاوة على ذلك، فإن شرب الماء البارد يساعد على خفض حرارة الجسم والعكس صحيح.

٣- **الماء ينظم الأس الهيدروجيني:** لأن الماء متعادل الأس الهيدروجيني pH=٧ فإنه يعتبر وسطًا مناسبًا للتفاعلات الكيميائية.

٤- **الماء مشتت للمحاليل الغروية:** يعد الماء وسطًا مشتتًا (وسط الانتشار) للمحاليل الغروية في البروتوبلازم، فإذا انعدم وجود الماء جف البروتوبلازم، وتوقفت جميع العمليات الحيوية في الخلية. ولهذا فالماء ضروري لحياة الخلية، وفقدانه يؤدي إلى هلاك الكائن الحي قبل نفاد المخزون الغذائي في الجسم.

الأملاح وأيوناتها

تشمل جميع الأملاح والأحماض والقواعد التي يمكنها التأين إلى أيونات موجبة وأخرى سالبة، مثل كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) (Na^+Cl^-)، وحمض الهيدروكلوريك (H^+Cl^-)، وهيدروكسيد الصوديوم (Na^+OH^-)... إلخ. وقد توجد الأملاح داخل الخلية على شكل أيونات أو بشكل غير أيوني. وقد توجد الأيونات بصورة حرة أو مرتبطة مع جزيئات أخرى عضوية. وتبرز أهمية الأيونات من خلال دورها في المحافظة على تنظيم الضغط الأسموزي للخلية، وجعل ماء الخلية موصلاً جيدًا للموجات الكهربائية، كما يحدث في أثناء نقل السيالات العصبية مثلا. كما أن الأيونات تلعب دورًا أساسيًا في التحكم في الرقم الهيدروجيني pH للخلايا، والذي بدوره يساهم في تحديد سرعة التفاعلات الكيميائية الخلوية. وأي تغير مهما كان يسيرًا في قيمة الرقم الهيدروجيني سيؤثر في سرعة تلك التفاعلات. كما أن للأملاح المعدنية دورًا في تحديد شكل الجزئيات الكبيرة وتركيبها في الخلية، فمثلاً تدخل أيونات الفوسفات في تركيب الأحماض النووية وفي تركيب بعض البروتينات والدهون، وأيونات الكالسيوم والفسفور تدخل في تركيب العظام، ونقصها يؤدي إلى لين العظام وهشاشتها، وأيونات الحديدوز تدخل في تركيب هيموجلوبين الدم، وأيونات الحديديك تدخل في تركيب بعض الإنزيمات، وتدخل أيونات الفوسفات في تركيب مركب الأدينوسين ثلاثي الفوسفات Adenosine Triphosphate (ATP) المزود الرئيس للطاقة الكيميائية في التفاعلات الحيوية لعملية الفسفرة التأكسدية. وعمومًا فإن نوع الأملاح وتركيزها وأيوناتها في محلول الخلية يختلف من خلية إلى أخرى، إلا أنها ضرورية لاستمرار الحياة داخل الخلية، فمثلاً عند

إزالة قلب ضفدع ووضعه في ماء مقطر فإن خفقان (دقات) القلب سيتوقف بعد عدة دقائق بسبب انتفاخ خلاياه بالماء المقطر نتيجة لزيادة الضغط الأسموزي، وعند وضعه في محلول سكري محدد التركيز فإن فترة الخفقان (الحياة) ستطول عدة دقائق، وعند وضعه في محلول ملحي محدد التركيز فإن فترة الحياة ستطول أكثر، أما عند وضع القلب في محلول ملحي مكون من تراكيز محددة من أملاح الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنسيوم والكلور فإن الحياة (الخفقان) ستستمر عدة أيام، مما يؤكد أهمية هذه الأملاح لاستمرار حياة خلايا قلب الضفدع.

ثانيًا: المركبات العضوية Organic Substances

يحتوي جسم الكائن الحي على نسبة عالية من الماء، وكذلك نسبة من الأملاح المعدنية الضرورية للحياة، والتي تدخل ضمن المركبات اللاعضوية Inorganic Compounds. أما المركبات الضرورية الأخرى فهي المركبات العضوية Organic Compounds، وتسمى عضوية لأنها تنتج عن نباتات أو حيوانات. تحتوي جميع المركبات العضوية على عنصر الكربون إضافة إلى عناصر أخرى هي الهيدروجين والأكسجين والنيتروجين. قد توجد المركبات العضوية على شكل جزيئات صغيرة (Micromolecules) بشكل حر، أو على شكل جزيئات متجمعة على شكل سلاسل طويلة من الجزيئات الكبيرة (Macromolecules) ذات أهمية في خزن الغذاء أو بناء بعض التراكيب الخلوية.

ترتبط الجزيئات الصغيرة لتكون جزيئات أكبر يطلق عليها اسم بوليمرات Polymers متعددة، وكل بولمير يمثل سلسة طويلة من الوحدات التركيبية الأحادية Monomers والمتشابهة، ترتبط معًا بروابط تساهمية. وأهم تلك الجزيئات الكبيرة في الخلية الكربوهيدرات والبروتينات والدهون والأحماض النووية، فالكربوهيدرات تتكون من بوليمرات من السكاكر الأحادية، أما البروتينات فتتكون من بوليمرات من الأحماض الأمينية، وتعد الأحماض النووية بوليمرات مكونة من النيوكليوتيدات Nucleotides، كما سيتضح لاحقاً في الفصل العاشر. إن عملية ارتباط الوحدات الصغيرة لتكوين البوليمرات (الجزيئات الكبيرة) تتم عن طريق إزالة جزيء الماء بعملية

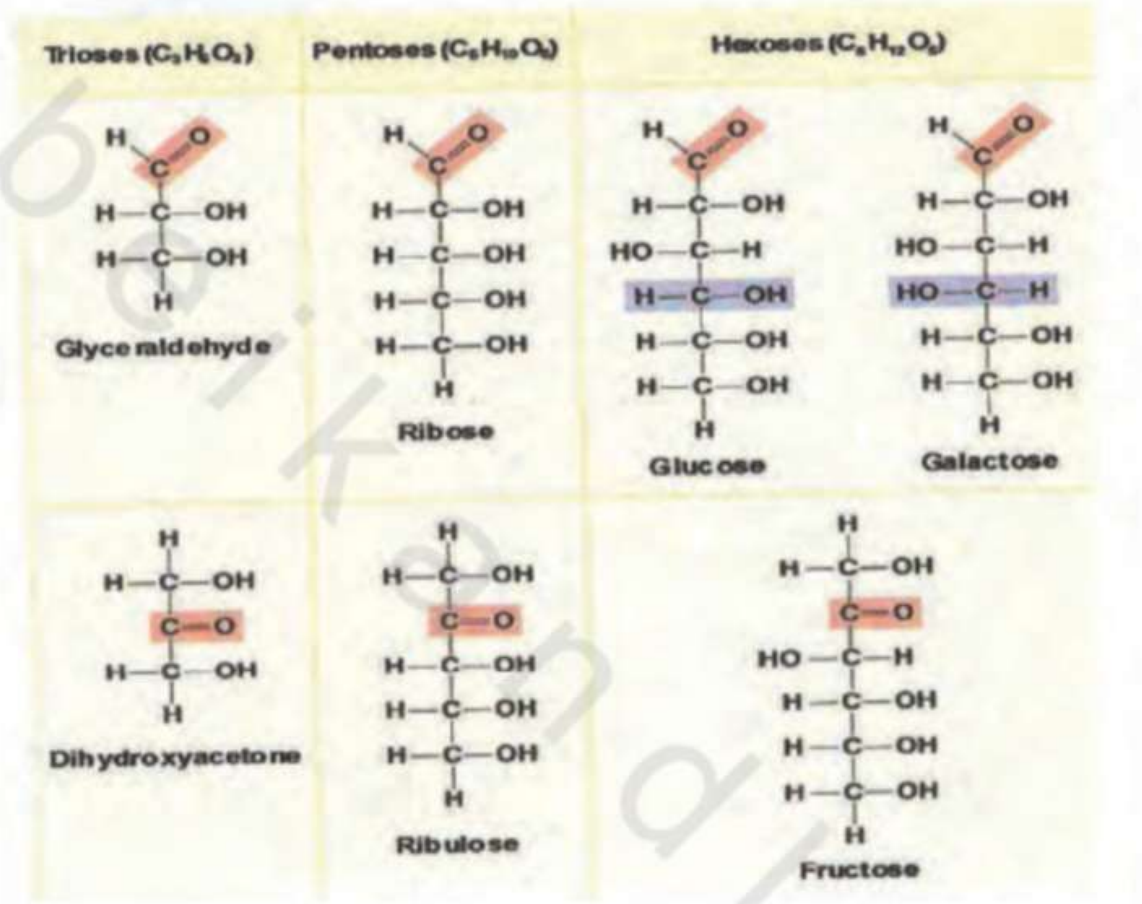
البلمرة Dehydration، وذلك بارتباط كل وحدتين أحاديتين معًا برابطة تساهمية، وتنتزع مجموعة الهيدروكسيل (OH) من الوحدة الأولى، ومجموعة الهيدروجين (H) من الوحدة الثانية، وبذلك يتم انتزاع جزيء ماء واحد لكل رابطة متكونة في سلسلة البوليمر. إن عملية البلمرة تتطلب تحرير طاقة. أما عملية تحلل البوليمرات الخاصة بهذه الجزيئات الكبيرة فتتم بعملية التحلل المائي Hydrolysis، وهي عملية معاكسة للبلمرة؛ إذ يتطلب توفير جزيء ماء واحد لكسر كل رابطة تساهمية في السلسلة مع وجود بعض الإنزيمات المحللة في هذه العملية. وتوجد الجزيئات الكبيرة في الخلايا بنسبة متفاوتة تعتمد على نوع الخلية وحجمها ومرحلة تطورها. ومن المركبات العضوية ما يلي:

الكربوهيدرات Carbohydrates

تتكون الكربوهيدرات من الكربون والهيدروجين والأكسجين بنسبة ١:٢:١ على التوالي، وصيغتها الكيميائية العامة هي $(C_nH_{2n}O_n)$. وتصنف الكربوهيدرات في ثلاث مجموعات رئيسة هي:

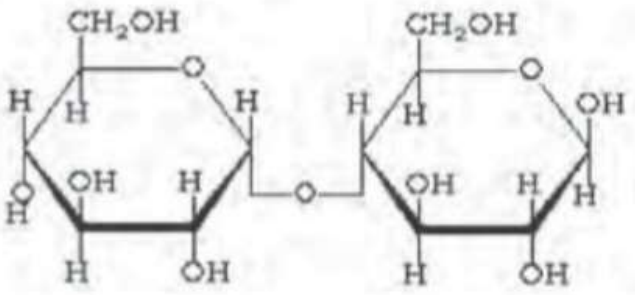
السكريات الأحادية Monosaccharides: هي أبسط أنواع الكربوهيدرات، وتصنف تبعًا لعدد ذرات الكربون الموجودة فيها (الشكل رقم ٣)، فمنها ثلاثية الكربون $(C_3H_6O_3)$ مثل الجلسرلدهيد Glyceraldehyde ورباعية الكربون $(C_4H_8O_4)$ مثل الإريثروز Erythrose وخماسية الكربون $(C_5H_{10}O_5)$ مثل سكر الريبوز Ribose وسداسية الكربون $(C_6H_{12}O_6)$ مثل الجلوكوز Glucose. يعد سكر الريبوز والديؤكسي ريبوز من السكريات الخماسية المهمة والتي تدخل في تركيب النيوكليوتيدات Nucleotides في الأحماض النووية Nucleic Acids الـ (DNA&RNA). ومن أمثلة السكاكر الأحادية سكر الجلوكوز (سكر العنب) وهو أكثر السكريات الأحادية أهمية؛ حيث يوجد في الدم وأنسجة الجسم الأخرى ويعتبر من أسرع المصادر التي تمد الجسم بالطاقة، وهو يتكون بفعل عملية التمثيل الضوئي في النبات. أما سكر الفركتوز (سكر الفاكهة) Fructose فهو سكر سداسي الكربون، ويشترك مع أي سكر أحادي سداسي الكربون في الصيغة الكيميائية، لكنه يختلف في صيغته البنائية، ويوجد في السائل المنوي لإمداد الحيوانات

المنوية بالطاقة أثناء حركتها ورحلتها الشاقة باتجاه البويضة في قناة فالوب. ومن أمثلة السكاكر أحادية سداسية الكربون سكر الجالاكتوز (سكر اللبن الأحادي) Galactose.



الشكل رقم (٣). بعض أنواع السكريات الأحادية.

السكريات الثنائية Disaccharides: هي كربوهيدرات (سكريات) ثنائية، وتتكون جزيئات السكر الثنائي من اتحاد سكرين أحاديين يرتبطان معًا بروابط كيميائية جليكوسيدية Glycosidic Bond، وينتج عن ذلك جزيء ماء واحد، وصيغتها الكيميائية ($C_{12}H_{22}O_{11}$)، مثل المالتوز Maltose (الشكل رقم ٤) أو ما يعرف بسكر الشعير ويتكون من (جلوكوز + جلوكوز) والسكروز Sucrose ويعرف بسكر القصب ويوجد في الفواكه، ويتكون من (جلوكوز + فركتوز) واللاكتوز Lactose ويعرف بسكر اللبن، ويوجد في لبن الثدييات ويتكون من (جلوكوز + جالاكتوز).



الشكل رقم (٤). سكر المالتوز.

السكريات المتعددة Polysaccharides: يطلق على النوعين الأولين من الكربوهيدرات اسم السكريات وذلك لمذاقها الحلو، بينما يطلق البعض على النوع الثالث اسم النشويات، وهذا النوع ليس حلو المذاق ولا يذوب في الماء. إلا أن عملية هضم النشويات – وكما هو معروف – تبدأ في الفم بفعل إنزيم أميليز اللعاب Amylase، فعند بدء عملية مضغ قطعة خبز مثلا (النشا) Starch تكون غير حلوة المذاق، ومع استمرار عملية المضغ لفترة أطول تتحلل بفعل الإنزيمات الهاضمة في الفم، وتتفكك إلى مكوناتها، فيشعر الشخص بطعمها أو مذاقها الحلو.

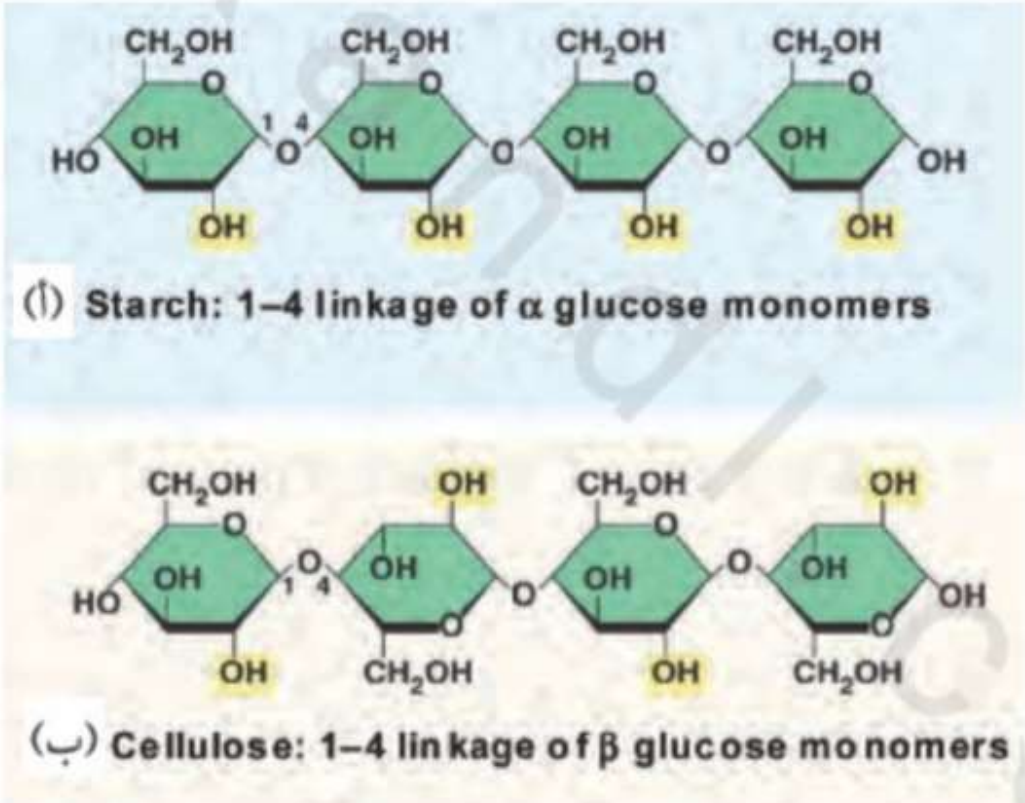
إن السكريات المتعددة تتكون من سلسلة طويلة من السكريات الأحادية المرتبطة معًا وتشتمل على الكثير من الروابط الهيدروكربونية (C-H) التي تختزن الطاقة فيها، ويفقد عند كل رابطة من تلك الروابط بين كل سكرين أحاديين في السلسلة جزيء ماء عند تكونه، ومن أمثلة السكريات المتعددة ما يلي:

١- **النشا Starch**: يمثل المواد الكربوهيدراتية المختزنة في خلايا النبات، ويتم تكوينه من ثاني أكسيد الكربون والماء في وجود صبغة الكلوروفيل الخضراء، ويخزن في خلايا النبات كالبطاطس والحبوب ويتكون من ٢٠٠-٤٠٠ وحدة جلوكوز (الشكل رقم ٥أ).

٢- **السليلوز Cellulose**: يوجد في جميع الخلايا النباتية، وهو التركيب الأساسي لجدرانها، كما أن له دورًا مهمًا في الدعامة الهيكلية للنبات. السليلوز من السكريات المعقدة، (الشكل رقم ٥ ب) ويتكون

من حوالي ٢٠٠٠ جزيء من سكر الجلوكوز، لكن طريقة ارتباط جزيئاته تختلف عما هي عليه في النشا. ويصعب على الإنسان هضم هذا السكر لعدم وجود إنزيم السليوليز Cellulase كما في الحيوانات العاشبة أو بعض أنواع البكتيريا.

٣- **الجليكوجين Glycogen**: يمكن تسميته النشا الحيواني، وهو يمثل الكربوهيدرات المخزنة بشكل أساسي في خلايا الكبد، كما أنه يخزن وبكميات أقل في العضلات والأنسجة الأخرى. يتكون أساسًا من وحدات سكر الجلوكوز، وهو يذوب في الماء وتتحرر الطاقة من روابطه عند تكسيرها.



الشكل رقم (٥). سكاكر عديدة: (أ) نشا، (ب) سليلوز.

أهمية الكربوهيدرات

١- تعد الكربوهيدرات مصدرًا أساسيًا للطاقة التي تكون على شكل مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP، تتحرر هذه الطاقة في أثناء عملية تحلل الجلوكوز Glycolysis، فينطلق من الجرام الواحد من الكربوهيدرات ٢ , ٤ سعرة حرارية. كما أن تمثيلها في الجسم أسرع من تمثيل الدهون، وهذا يفسر إعطاء المريض محلول الجلوكوز كسكر بسيط ليستفيد منه الجسم بشكل أسرع، رغم أن الدهون أغني بالطاقة من الكربوهيدرات.

٢- تكون الكربوهيدرات ما نسبته حوالي ٥٠٪ من غذاء الإنسان، وقد تزيد هذه النسبة في غذاء الحيوانات التي تعتمد في غذائها على النبات، ويعتمد الإنسان على تلك الحيوانات في غذائه بطريقة مباشرة. أي أن الكربوهيدرات مصدر غذاء مهم للإنسان والحيوان.

٣- تدخل الكربوهيدرات في تركيب أغشية الخلايا وعضياتها الخلوية المختلفة بنسبة تتراوح بين ٥- ٨٪، كما سيتضح لنا عند دراسة تركيب الأغشية الخلوية.

الدهون Lipids

هناك اختلاف حول معني كلمة دهون بالمعنى العام، فالبعض يذكر أن الشحوم أعم وأشمل من كلمة الدهون، وأن الدهون تعد نوعًا من أنواع الشحوم. تعرف الدهون بأنها عبارة عن مركبات كيميائية عضوية مختلفة غير قابلة للذوبان في الماء، لكنها تذوب في المذيبات العضوية كالكحول والإيثر والكلوروفورم...إلخ. وتعد الأحماض الدهنية (Fatty Acids) الوحدات البنائية الأساسية لهذه الدهون. تتكون الدهون من الهيدروجين والكربون والأكسجين، إلا أن نسبة وجود هذه العناصر تختلف عن نسبتها في الكربوهيدرات. يتركب جزيء الدهن من ثلاثة جزيئات دهنية مرتبطة بجزيء من الكحول. وتعرف الرابطة بينهما برابطة إستر Ester Bond، وتصنف الدهون عدة تصنيفات، إلا أنها صنفت هنا بناء على تركيبها الكيميائي، وهي كما يلي:

أولاً: الدهون البسيطة Simple Lipids: عبارة عن أسترات أحماض دهنية مرتبطة مع الجلسرين مثل الزيوت Oils أو أحماض دهنية مرتبطة مع الكحولات مثل الشموع Waxes.

ثانيًا: الدهون المركبة Compound Lipids: عبارة عن أسترات أحماض دهنية مرتبطة مع كحولات ومجموعات كيميائية أخرى مختلفة مثل الدهون المفسفرة Phospholipids والدهون السكرية Glycolipids والدهون البروتينية Lipoproteins.

ثالثًا: الدهون المشتقة Derived lipids: هي عبارة عن نواتج التحلل المائي للدهون البسيطة والمركبة مثل الأحماض الدهنية والكولسترول Cholesterol.

وقد تصنف الدهون كذلك إلى دهون مشبعة ودهون غير مشبعة، ويقصد بالمشبعة أن سلسلة الأحماض الدهنية غنية بذرات الهيدروجين. كما أن المشبعة هي التي تكون جامدة عند درجة حرارة الغرفة، مثل السمن، أما الدهون غير المشبعة فتكون سائلة عند درجة حرارة الغرفة مثل الزيوت النباتية.

أهمية الدهون: للدهون أهمية بالغة لجسم المخلوق الحي، كما أن تناول كميات كبيرة منها بما يزيد عن حاجة الجسم يكون له نتائج عكسية. يحصل الجسم على حاجته من الدهون عن طريق تناول الدهون الحيوانية أو النباتية، وتتفاوت حاجات البشر من الدهون حسب طبيعة الجسم ونشاطه والمرحلة العمرية كذلك، بالإضافة إلى العديد من المعايير الأخرى. وعموما يمكن إيجاز أهمية الدهون في النقاط التالية:

١ – الدهون مصدر مهم جدًا للطاقة، فيستفيد منها الجسم مباشرة أو يدخرها لحين الحاجة إليها، علما بأن امتصاص الدهن لا يتم إلا بعد تحويله إلى مستحلب دهني بواسطة العصارة الصفراوية. وإذا زاد مقدار المواد الدهنية عن حاجة الجسم عندئذ يمكن أن يتراكم عوضًا عن احتراقها، وذلك في أماكن مختلفة من الجسم، أهمها الأنسجة الشحمية حول القلب والكلى وتحت الجلد، وربما تتراكم في بطانة الأوعية الدموية. ويجدر التنويه هنا إلى أن الدهون تعتبر أساسية للحياة والصحة الجيدة، إلا أنها مضرة عند تناولها بكثرة.

٢ – تشكل الدهون حاجزًا تحت الجلد يحمي الجسم من فقدان حرارته في الجو البارد، كما أن الدهون تشكل بطانة داعمة للأعضاء الداخلية، وتساهم في امتصاص الصدمات.

٣– الكولسترول من المركبات المهمة لجسم الكائن الحي؛ حيث إنه موجود في جدران جميع الخلايا، ويعمل على منع تجمدها عند الانخفاض الشديد في درجة الحرارة،

كما يمنع من زيادة سيولتها وذوبانها عند الارتفاع الشديد في درجة الحرارة. ولكن عند زيادة نسبة الكولسترول عن الحد الطبيعي فإنه يسبب تصلبًا في أغشية الخلايا، كما يسبب ضيق الأوعية الدموية وانسدادها.

٤- تدخل الدهون في تركيب الأغشية الخلوية.

٥- تدخل الدهون في تركيب بعض الفيتامينات والهرمونات.