التركيب الكيميائي الحيوي للخلية
BIOCHEMICAL STRUCTURE OF THE CELL

المحتويات

- **أوّلاً. مقدّمة**
- **ثانياً. المركّبات اللاعضوية**
  - الماء
  - الأملاح والأيّونات المعدنية
- **ثالثاً. المركّبات العضوية**
  - خصائص ذرة الكربون
  - تفاعلات البلمهة والحلمهة
  - الإنزيمات
- **رابعاً. الجزيئات الكِبَرِيَّة**
  - السكاكر
  - الشحوم
  - البروتينات
  - الأحماض النووية

مقدمة

- الخلية جهاز معقد يتألّف من مليارات المركّبات والجزيئات الكيميائية المختلفة والمنتظمة وفق تناسق بديع من التفاعلات الكيميائية التي تشكّل بمجملها مفهوم الاستقلاب Metabolism. تؤدّي الخلية رغم صغر حجمها جميع الوظائف التي تُميّز الكائنات الحية، وتكمن الغاية الرئيسية من العمليات الحيوية التي تجري ضمن الخلية في الحفاظ على حياتها وتكاثرها.
- تضم الطبيعة المحيطة بنا اثنين وتسعين عنصراً كيميائياً رئيساً، يشكّل أربعة منها، الهيدروجين والكربون والأكسجين والآزوت، نحو /٩٩%/ من كتلة الذرات الموجودة في جسم الإنسان. وتكون العناصر الكيميائية السابقة جزيئات معقّدة أوزانها الجزيئية كبيرة كالبروتينات والسكريات والدسم والحموض النووية.
- لقد تمكن الباحثون باستخدام طرائق البحث المألوفة من استخلاص ودراسة أغلب المواد الداخلة في بنية الخلية وعضيّاتها Organelles، ووجدوا أن المادة الحية لدى مختلف الكائنات مكونة من ماء، وأملاح، وبروتينات، ودهون، وسكريات وحموض نووية، إضافة لوجود مركبات أخرى عضوية ولاعضوية لكن بكميات أقل من المركبات الأساسية.

الجزيئات العضوية واللاعضوية

الجدول 2-2: مقارنة بين الجزيئات العضوية واللاعضوية.	
الجزيئات اللاعضوية Inorganic	**الجزيئات العضوية Organic**
تحتوي عادةً أيّونات موجبة وسالبة	تحتوي دائماً على ذرة الكربون مرتبطةً بذرات أخرى
تتواسطها عادةً الروابط الأيّونيّة	تتواسطها دائماً الروابط التساهمية
تحتوي دائماً على عدد صغير من الذرات	عادةً ما تكون كبيرة الحجم وتحتوي العديد من الذرات
تترافق عادةً مع الأشياء غير الحيّة	تترافق عادةً مع الكائنات الحيّة

المركّبات اللاعضوية
INORGANIC COMPOUNDS

المركّبات اللاعضوية INORGANIC COMPOUNDS

وتعرف بالجزيئات البسيطة وتضم الماء والأملاح والأيّونات المعدنية.

- الماء WATER (H_2O):

يحتل الماء أهمية كبرى في حياة المتعضيات الحية، ويؤدي نفاده إلى تلف الخلايا، وذلك بالرغم من أن بعض الكائنات الحية تستطيع أن تتحمل انخفاض نسبة الماء في طور من أطوار حياتها كالنباتات في طور البذرة والحيوانات في طور الكيسة. ويدخل الماء جسم الكائن الحي عن طريق تناوله المباشر من الوسط الخارجي أو تناول الأغذية الحاوية عليه، كما تُنتِج التفاعلات الكيميائية الحيوية في الخلايا كمية من الماء يعرف بالماء الاستقلابي METABOLIC WATER. وتعبر المواد الغذائية إلى داخل الخلية وهي منحلة في الماء بفضل استقطاب جزيئاته، كما تجري جميع التفاعلات الكيميائية المتعلقة بحياة الخلية ضمن وسط مائي.

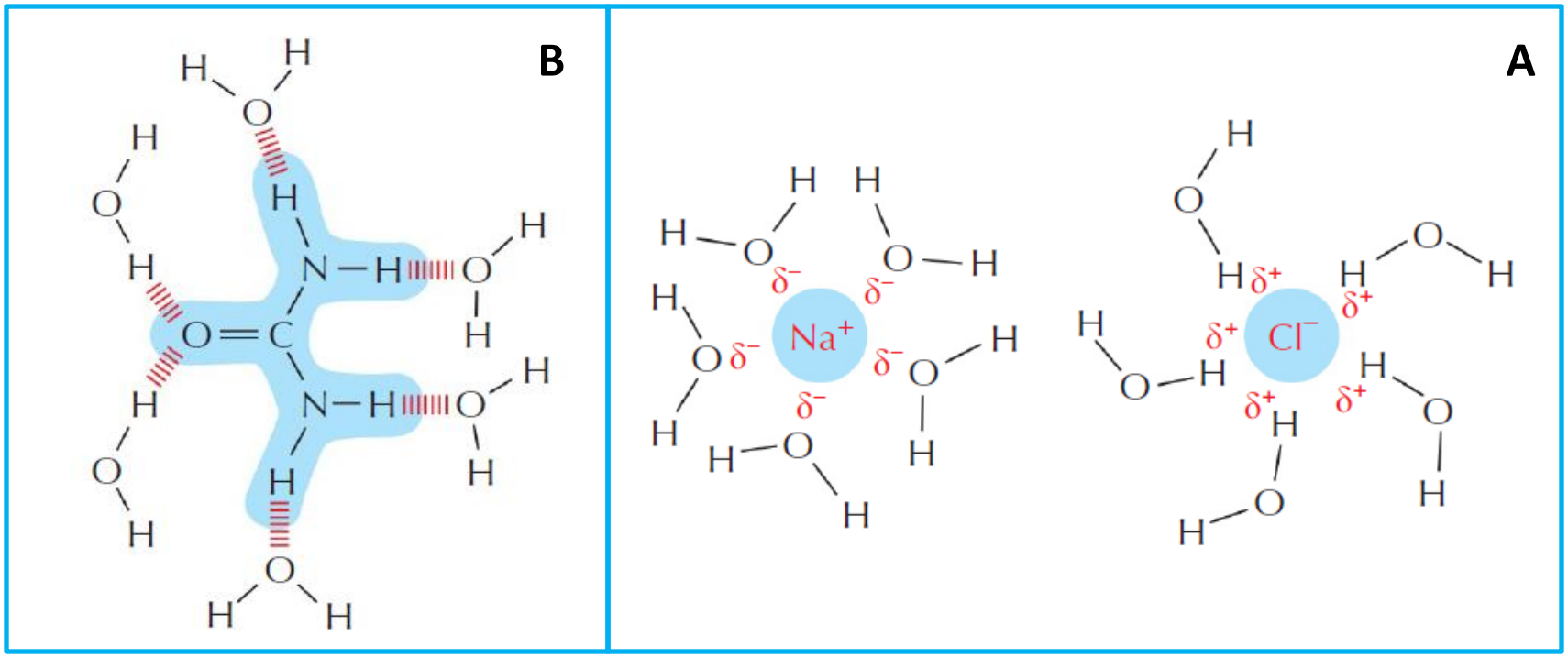
ويشكّل الماء الداخل في تركيب المادة الحية للخلايا نسبة تتراوح ما بين (٥٠-٩٠)% من كتلة الخلية. وترتبط هذه النسبة بنوع المتعضية، بريّة أو بحريّة، فترتفع نسبة الماء في الكائنات البحرية عنها في الكائنات التي تعيش على اليابسة، بحيث تصل نسبة الماء في قنديل البحر إلى (٩٩%) في حين لا تتعدى نسبته (٦٠%) في النباتات الخشبية. وتتفاوت نسبة الماء أيضاً من نسيج لآخر، فتصل إلى (٨٠%) في النسيج الدموي، بينما تبلغ في الهيكل العظمي (٢٠-٢٧)%. كما تتعلق النسبة بالنمط الخلوي وبالنشاط الوظيفي للخلية، إذ تحتوي المادة البيضاء للدماغ (٦٨%) من وزنها ماء في حين تصل نسبة الماء في المادة الرمادية إلى (٨٥%).

الماء الحر والماء المرتبط

يوجد الماء ضمن الخلية بحالتين هما:

- الماء الحر Free water: هو الماء المتوفر دائماً من أجل حادثات الاستقلاب الخلوي، ويشكّل الوسط الملائم لمختلف التفاعلات الكيميائية الحيوية، حيث يُعدُّ المذيب الأفضل للعديد من المركبات ضمن الخلية، كما يسمح بتشرّد المواد المذابة فيه
- الماء المرتبط Bound Water: ويُقصَد به الماء الذي يساهم في تشكيل الروابط الهيدروجينية في الجزيئات الكبيرة، إذ ترتبط جزيئاته مع جزيئات البروتين بروابط ضعيفة مشكّلةً الروابط الهيدروجينية بين جزيئات المواد ويساهم الماء بذلك في البنية الهندسية المعقدة لمكونات الخلية كبناء جزيئات الحمض النووي الريبي المنزوع الأوكسجين والبروتينات. . ويقدّر أن حوالي (٤.٤%) من ماء الخلية يكون مرتبطاً، في حين يكون معظم ماء الخلية بالشكل الحر.

الماء الحر والماء المرتبط



- (A) الماء الحر: يرتبط مع الأيّونات المنحلّة فيه بروابط أيّونيّة لاستقطاب الرابطة بين ذرتي الأكسجين والهيدروجين في الماء بحيث يكون الأكسجين سالباً جزئياً بينما يكون الهيدروجين موجباً جزئياً. (B) الماء المرتبط بالجزيئات المنحلّة بروابط هيدروجينية تجعل المادة المنحلّة مماهةً hydrated ترتبط بالعديد من جزيئات الماء المحيطة بها.

وظائف الماء

تتمثل وظائف الماء في الخلية بما يلي :

١ـ يعدّ الماء ناقلاً جيداً للحرارة مما يساعد على توزيع الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية ويمنع ارتفاعها الموضعي.

٢ـ يسهم في التنظيم الحراري THERMO-REGULATION والتوازن الأيّوني، ويخمد وطأة الفروق الحرارية ما بين الوسط المحيط والوسط الداخلي لخلايا المتعضية، وذلك بفضل السعة الحرارية العالية التي يملكها الماء.

٣ـ يعمل على إيصال المواد الغذائية المنحلة فيه إلى جميع الخلايا، وينقل فضلات الاستقلاب الى جهاز الإطراح للتخلص منها.

٤ ـ يشكّل الوسط الذي تجري فيه الحادثات الاستقلابية والتفاعلات الإنزيمية

٥ـ يعدّ الماء مذيباً جيداً للعديد من الأيّونات والمركبات العضوية المحبة للماء الموجودة في الخلايا.

٦ـ يعدّ الماء مصدراً لإمداد الخلية بالأكسجين والهيدروجين اللذين يدخلان في تركيب العديد من المركبات العضوية التي تبنى منها المادة الحية،

ـالأملاح والأيّونات المعدنية SALTS & IONS:

تشكّل الأملاح جزءاً مهمّاً من بنية الخلية، وتكون ضروريّةً لحياتها، وتوجد في جميع أنواعها منحلة في الوسط المائي للخلية. وغالباً ما تتشرد الأملاح في الأوساط المائية معطيةً أيّونات وزمراً كيميائية موجبة الشحنة مثل: MG^{++}، K^{+}، NA^{+}، CA^{++}، وأخرى سالبة الشحنة مثل : NO_3^{-}، CL^{-}، PO_4^{-3}، CO_3^{-} تتوزع بشكل متفاوت بين داخل الخلية وخارجها. وتتميز العناصر المعدنية بأنها متعددة وكثيرة، وتُقدّر نسبتها بالميليغرامات (ملغ) في جسم الإنسان، وتنقسم إلى مواد قابلة للانحلال بالماء وأخرى غير قابلة للانحلال فيه.

تؤدي الأملاح دوراً مهمّاً في الحفاظ على حياة الخلية وتساهم في ضبط الضغط الحلولي فإذا أزلنا الأملاح من الخلية بوضعها في ماء مقطر فإنها تموت مباشرة، كما أنها تسهم في تنظيم التوازن الحمضي القلوي. وقد أثبتت الدراسات أن الأيّونات المعدنية تسهم في إنجاز العديد من الوظائف الخلوية كالانقسام الخلوي، كما تتحكم بنفاذية الخلايا وتقلصها وقابليتها للتنبيه والاستجابة له، ويعزى ذلك إلى التوازن الدقيق للأيّونات الموجبة والسالبة داخل الخلية وخارجها.

لقد بينت طرائق التحليل أن نسبة أملاح البوتاسيوم K^{+} تكون مرتفعة داخل الخلية يليها أملاح المغنيزيوم MG^{+2} في حين تكون نسبة أيّونات الصوديوم NA^{+}والكالسيوم CA^{++} مرتفعة خارج الخلية. اما الأيّونات السالبة في الخلية فمعظمها من الفوسفات والبيكربونات ، إنّ لهذه الاختلافات والفروق في التراكيز والنسب بين الأيّونات دوراً مهمّاً جداً في حياة وعمل الخلية.

وظائف الأملاح والأيّونات المعدنية

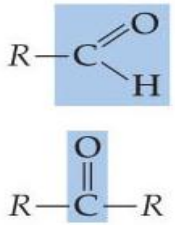
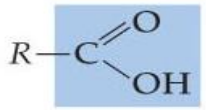
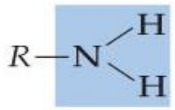
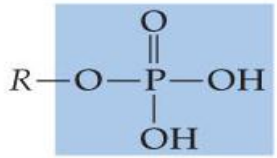
١. تساعد في تأمين التوازن المائي السّوي وتوزّع الماء في العضوية والسيطرة على حركة الماء بين خلايا الجسم.
٢. تسهم في الحفاظ على الضغط الحلولي Osmotic Pressure للدم والسوائل النسيجية.
٣. تساعد على تنظيم التوازن الحمضي – القلوي Acid-Base لسوائل الجسم.
٤. تشارك في التفاعلات الكيميائية العديدة كمحفزات Inducers.
٥. تؤدي دوراً في الاستثارة العصبية ونقل السيالات العصبية.
٦. تدخل في بنية بعض المركبات الحية المهمة مثل الأحماض النووية والهيموغلوبين .
٧. تؤدّي بعض الأيّونات المعدنية دور العوامل المساعدة Co-factors للإنزيمات، التي تصبح فعالة عند ارتباطها بالأيّونات، كما تسيطر على سرعة بعض التفاعلات في الخلية.

المركّبات العضوية
ORGANIC COMPOUNDS

يُقصد بالمركبات العضوية تلك الحاوية على عنصر الكربون.
يُعدُّ الكربون أساس البناء الحيوي، ويستطيع أن يكوّن معقدات ذات جزيئات ضخمة وسلاسل طويلة تميز المادة الحية. وهويتشارك فيها مع عناصر مختلفة هي بشكل رئيسي الهيدروجين و الآزوت و الأكسجين و الفوسفور و الكبريت.
وتعدّ الرابطة C-C من أكثر الروابط ثباتيةً، وهي بذلك تتمكّن من حفظ طاقة الرابطة BOND ENERGY بشكل ممتاز بحيث تمثّل الجزيئات الكبيرة المؤلفة من بوليمرات POLYMERS من ذرّة الكربون، والسكريات والدّسم إضافةً إلى البروتينات، المخزن الأساسي للطاقة في الكائنات الحيّة، تتحرّر منها بواسطة سلسلة من التفاعلات الإنزيمية التي تحطّم الرابطة C-C وتحرّر منها الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية في الخلية. ويمكن أن تكون بوليميرات الكربون بشكل سلاسل طويلة، كمركّب الأوكتان، أو بشكل حلقات RINGS.

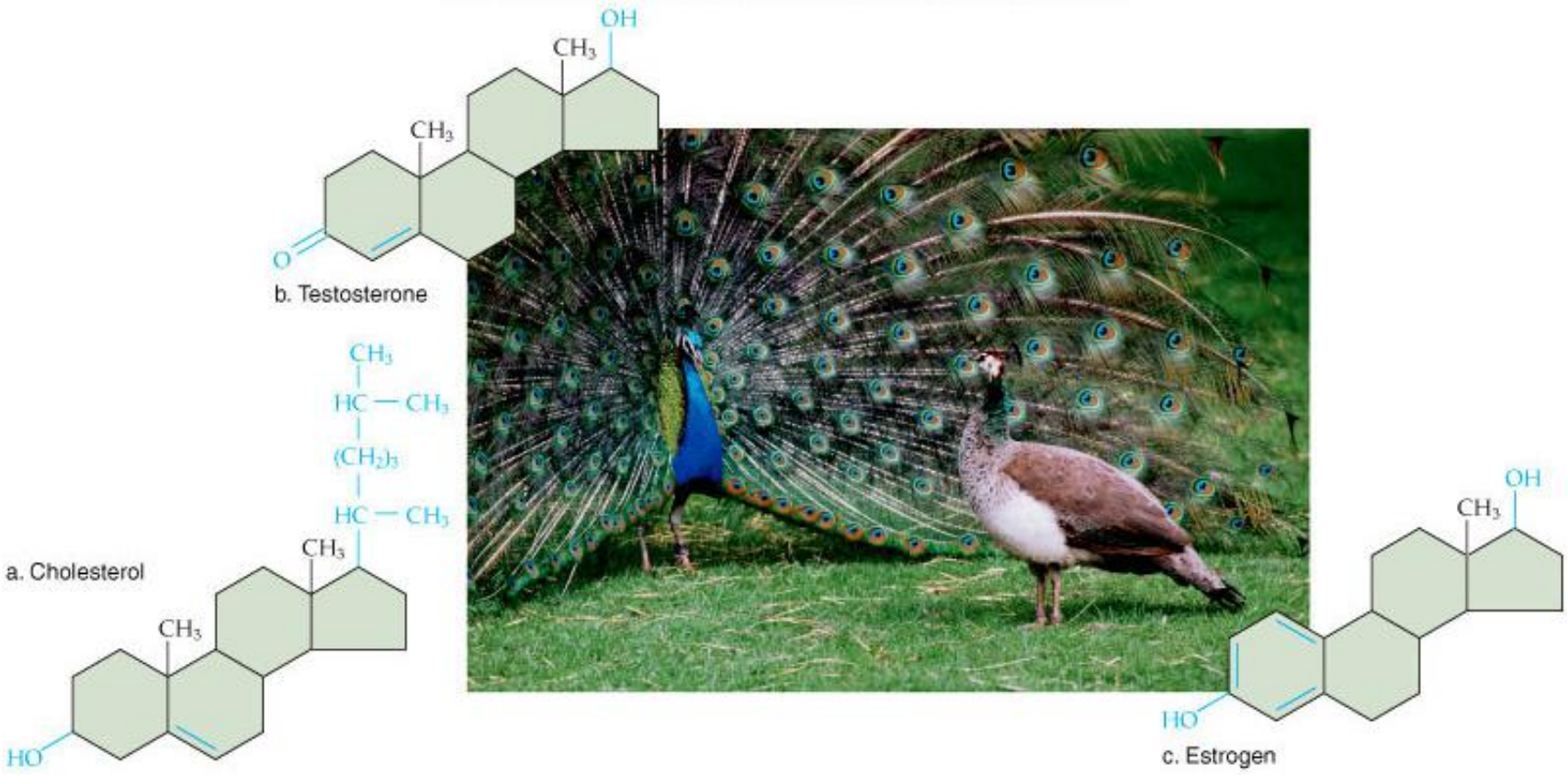
والمركبات العضوية هي متنوّعة جدّاً تختلف بعضها عن بعض بعدد ذرات الكربون والعناصر التي ترتبط بها.
يُضاف إلى هذا التنوع الكبير تعدّد المجموعات الوظيفية التي ترتبط بالمركبات العضوية، وتُضفي عليها خصائص متنوّعة تتعلّق بالمجموعة الوظيفية المرتبطة.

المجموعات الوظيفية الشائعة في المركّبات العضوية

Hydroxyl		الهدروكسيل: ويوجد في السكاكر وبعض الحموض الأمينية
Carbonyl		الكربونيل: ويكون إما بشكل ألدهيد Aldehyde يوجد في السكاكر أو خلون Keton يوجد في السكاكر
Carboxyl (acidic)		الكربوكسيل: ويوجد في الحموض الدسمة والحموض الأمينية
Amino		الأمين: ويوجد في الحموض الأمينية
Sulfhydryl		السلفهدريل: ويشكّل الجذور ثنائية الكبريت، ويوجد في الحمض الأميني السيستئين
Phosphate		الفسفات: ويوجد في الشحوم الفوسفورية (الفوسفوليبيدات) وفي النكليوتيدات

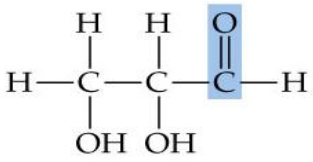
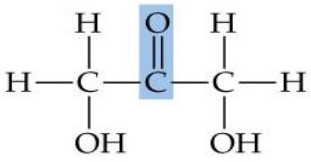
وتعرّف المجموعة الوظيفية بأنها مجموعة من الذرّات المترابطة التي تتفاعل دائماً بنفس الطريقة بغضّ النظر عن موقعها في الجزيء. ويمكن للمجموعة الوظيفية أن تؤدّي إلى تغيّر مهمّ وجذري في وظيفة المركّب العضوي وخصائص الكائن الحي. مثال ذلك، الفرق بين الهرمونين الجنسيين التستوستيرون والإستروجين، اللذين يختلف بعضهما عن بعض فقط باستبدال مجموعة (الكيتون) في الأوّل بمجموعة الهيدروكسيل في الثاني الأمر الذي يترافق مع تغيّر في جنس الكائن الحي.

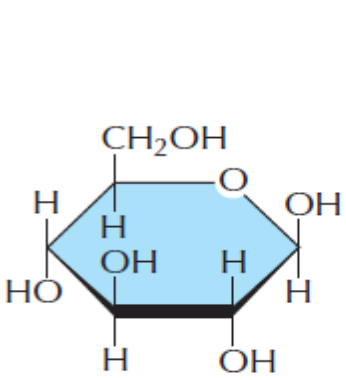
الشكل يبيّن الفرق بين الهرمونين الجنسيين الذكري والأنثوي، اللذيْن يُشتقان من الكولسترول

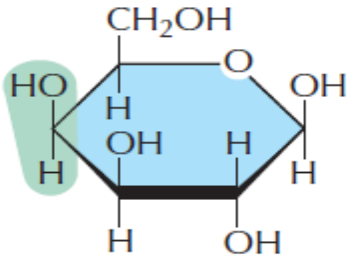


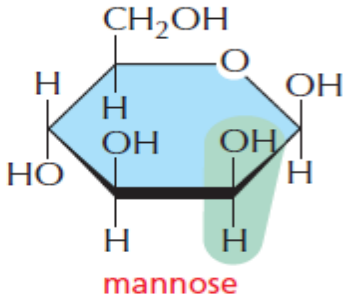
المماكبات Isomers

- تشترك بعض المركبات العضوية بالتركيب الجزيئي من الذرات لكنها تختلف بترتيب تلك الذرات

glyceraldehyde	dihydroxyacetone
	







بنية المماكبات Isomers، ويبيّن بنية المركبين: ثلاثيا الكربون الغليسير ألدهيد والدي هيدروكسي أستون تجمعهما الصيغة الجزيئية $C_3H_6O_3$ والمركبات سداسية الكربون الغلوكوز والغالاكتوز والمانوز ذات الصيغة الجزيئية $C_6H_{12}O_6$

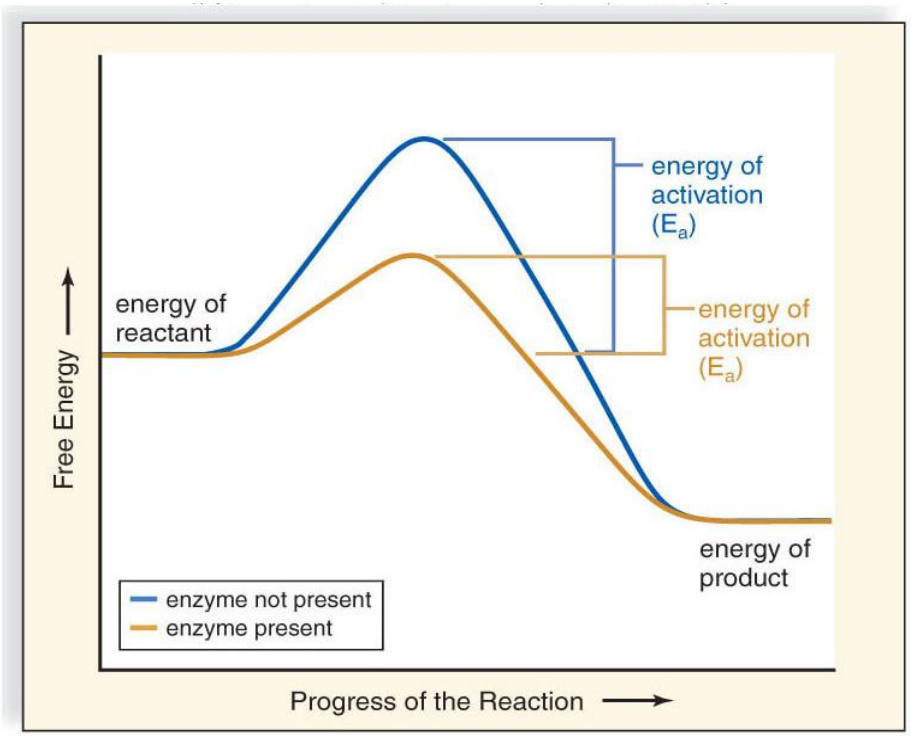
دور الانزيمات

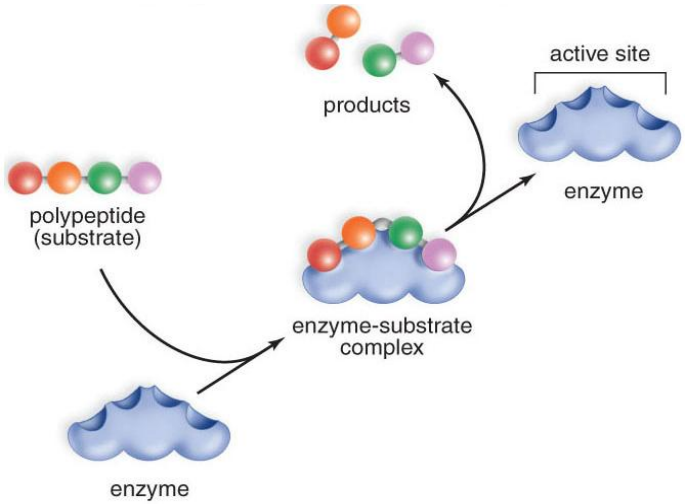
ويكمن الدور الحقيقي للإنزيمات في تسريع التفاعلات عن طريق خفض طاقة التنشيط ACTIVATION ENERGY الضرورية لحدوث التصادم بين الجزيئات المتفاعلة. ففي التفاعلات غير المتواسَطَة بالإنزيمات نحتاج عادةً إلى رفع طاقة التنشيط للعناصر المتفاعلة لنزيد من فرصة لقاء هذه العناصر بعضها مع بعض ضمن وسط التفاعل، ويكون ذلك عادةً بتسخين التفاعلات إلى درجات تقارب ٥٠-٦٠ºم لزيادة حركية الجزيئات في الوسط وتحفيز وزيادة احتمال لقائها اصطدامها إلى حين الوصول إلى نواتج التفاعل.

أما في التفاعلات المتواسَطَة بالإنزيمات، فلا نحتاج عادة إلى زيادة كبيرة في طاقة التنشيط إذ تحدث تلك التفاعلات في جسم الإنسان أو في التجارب المخبرية في الدرجة ٣٧ºم التي تكفي لتحقيق التلاقي بين الجزيئات المتفاعلة في تفاعلات التركيب، أو تحقيق الشكل الفراغي المناسب لتفكيك الجزيئات المتفاعلة في تفاعلات الهدم. ويكون ذلك بسبب امتلاك الإنزيمات لمواقع فعّالة ACTIVE SITES نوعية للجزيئات المتفاعلة تكون بمثابة المواقع المناسبة فراغياً لتوضّع الجزيئات المتفاعلة قريباً بعضها من بعض في تفاعلات التركيب،

وتجدر الإشارة إلى أنّ الإنزيمات لا تُستهلك في التفاعلات، إذ يقتصر دور الإنزيمات على تحفيز المواد المتفاعلة وتكوين المنتجات PRODUCTS، التي تنفصل لاحقاً عن الإنزيمات ليعاد استخدام هذه الأخيرة مرات ومرات إلى أن تتحوّل جميع الركائز إلى منتجات أو إلى أن يحدث تثبيط لعمل الإنزيمات بآليات متعددة. وأخيراً، فإن الغالبية العظمى من الإنزيمات هي بروتينات مع وجود بعض الإنزيمات الأخرى المكوّنة من الحمض النووي الريبوزومي RNA التي تدعى الريبوزيمات RIBOZYMES.

آلية عمل الإنزيمات





- **الشكل آلية عمل الإنزيمات. يبيّن الشكل إلى اليسار دور الإنزيمات في خفض طاقة التنشيط الضرورية لتحول المادة المتفاعلة Reactant إلى منتج Product، حيث يظهر منحنى تبدلات الطاقة باللون الأزرق للتفاعلات غير المتواسَطَة بالإنزيمات وباللون البني للتفاعلات المتواسَطَة بالإنزيمات. وتظهر في الشكل إلى اليمين المواقع الفعالة في جزيء الإنزيم، والتي تناسب فراغياً ارتباط الركازة Substrate، المكونة في هذا المثال من عديد ببتيدي، والذي يتفكّك بالإنزيم إلى ببتيدات أصغر، ليتحرّر الإنزيم مرة أخرى ويشارك في تحفيز المزيد من تفاعلات الحلمهة.**

السكريات (الكاربوهيدرات)
CARBOHYDRATES

السكريات الأحادية (السكريات البسيطة) Monosaccharides

قليلات السكاريد Oligosaccharides

عديدات السكاريد (السكاريدات المتعددة) Polysaccharides

ـ السكريات CARBOHYDRATES:

هي مواد عضوية تصنعها النباتات، يدخل في بنيتها ثلاثة عناصر هي الكربون بنسبة ذرة واحدة مع ذرتين من الهيدروجين وذرة واحدة من الأوكسجين، وتأخذ الصيغة العامة $C_N(H_2O)_N$.

وينتج عن أكسدتها طاقة تستخدم لإجراء التفاعلات الكيميائية في الخلية، كما تسهم المواد الناتجة عن أكسدتها كطلائع بنائيّة للمركبات العضوية الأخرى.

تدخل السكريات في تركيب خلايا وأنسجة كل الكائنات الحية، إذ تبلغ نسبتها في النباتات (٩٠%)، وتقل عند الحيوانات، وتصل نسبتها عند الإنسان إلى (٢%).

تعد السكريات مركبات وظيفية، تخزينية، دعامية ووقائية، كما أنها تشكل وحدات بنائية STRUCTURAL UNITS داخل الخلية، إذ يعد النشاء في الخلايا النباتية والغليكوجين في الخلايا الحيوانية من المواد السكرية التي تسهم في عمليات إمداد الخلية بالطاقة، في حين يدخل سكر الريبوز في بنية الحموض النووية الريبية RNA والريبوز منزوع الأوكسجين في تركيب الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين DNA.

تصنف السكريات حسب تركيبها وصفاتها وسلوكها عند وضعها في المحاليل الممددة للأحماض إلى ثلاثة أصناف رئيسة هي : سكريات أحادية، وقليلات وعديدات السكريدات.

السكريات الأحادية (السكريات البسيطة) MONOSACCHARIDES:

هي مركبات ذات هيكل كربوني مرتبط مع مجموعة هيدروكسيل يمكن أن تغير بنيتها من سلسلة خطية مفتوحة إلى بنية حلقية تحوي الأوكسجين. وتعد السكريات الأحادية جزيئات صغيرة، حلوة المذاق، تذوب بسرعة في الماء، لا لون لها ولا رائحة، متبلورة لا يمكن تحليلها مائياً إلى مركبات أبسط منها.

ترتبط السكريات الأحادية ببعضها مشكلة سكريات ثنائية مثل اللاكتوز أو سلاسل طويلة مثل الغليكوجين والسيللوز، وتقسم السكريات الأحادية حسب عدد ذرات الكربون الموجودة إلى عدة أنواع، هي:

السكريات الثلاثية TRIOSES(تريوزات): سكريدات أحادية تضم ثلاث ذرات من الكربون، صيغتها العامة ($C_3H_6O_3$)،.

السكريات الرباعية TETROSES(تيتروزات): وتضم أربع ذرات من الكربون وصيغتها العامة ($C_4H_8O_4$)،

السكريات الخماسية PENTOSES (بنتوزات): صيغتها الجزيئية ($C_5H_{10}O_5$)، وتعد من المركبات المهمّة للخلايا الحية، وأهمها سكر الريبوز الذي يدخل كوحدة بناء أساسية في تركيب الحموض النووية RNA وسكّر الريبوز منقوص الأكسجين في DNA.

السكريات السداسية HEXOSES (هكسوزات):

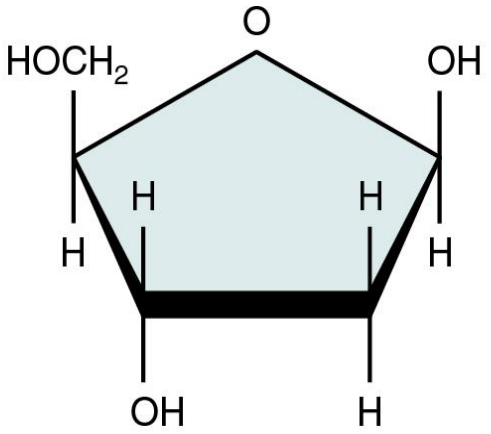
تعد من أكثر السكريات الأحادية انتشاراً، وأهمها: سكر الغلوكوز GLUCOSE، والغالاكتوز GALACTOSE، والمانوز MANNOSE، والفركتوز FRUCTOSE. ويعطي تفكك السكريات السداسية كمية كبيرة من الطاقة يستخدمها الكائن الحي في استمرار وظائفه الحيوية.

ويعدّ الغلوكوز أهم السكريات السداسية على الإطلاق، وهو سكر سداسي ألدهيدي يمكنه أن يكوّن مركباً حلقيّاً، ويعرف أيضاً بسكر العنب أو سكر الدم .

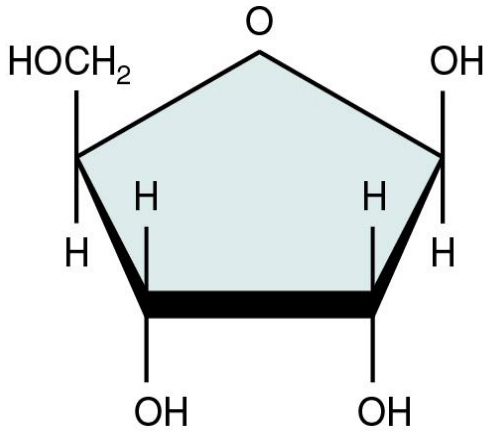
يعتبرال D FORM للغلوكوز هو الصورة البيولوجية الفعالة، فى حين تتمكّن الخلايا من استخدام L FORM في العمليات الكيميائية الحيوية.

- يعدّ الغلوكوز المركّب العضوي الأكثر توافراً في الطبيعة، وترجع أهميته إلى كونه مصدراً للطاقة في الخلايا الحية ووسيطاً في العمليات الاستقلابية، ويمثّل الناتج الأساسي لعملية التركيب الضوئي PHOTOSYNTHESIS كما أنه يدخل في عملية التنفس في كل من الخلايا بدائيات النواة (البكتريا) وحقيقيات النواة (النباتات والحيوانات).

السكرين الخماسيين الريبوز والريبوز منقوص الأكسجين.



Deoxyribose



Ribose

ـ قليلات السكاريد OLIGOSACCHARIDES:

تمثّل مجموعةً انتقاليةً ما بين السكريات الأحادية وعديدات السكاريدات، وتتكون من اتحاد عدة وحدات من السكريات الأحادية ببعضها مشكّلة سكاريدات ثنائية وثلاثية ..... وتُساعية، إذ تتشكل السكاريدات الثنائية نتيجة ارتباط سكرين أحاديين مع بعض برابطة غليكوزيدية GLYCOSIDES BOND، وفيها يرتبط السكر الأحادي مع اخر مع فقدان جزيئة ماء. وبتكرار هذه العملية تتكون سكاريدات ثلاثية ورباعية.

توجد قليلات السكاريدات بكثرة في الطبيعة، وتعطي قليلات السكاريدات بالحلمهة السكريات الأحادية، كما أنها تنحل في الحموض الممددة، وتكون متبلورة وذات طعم أقلّ حلاوةً من السكريات الأحادية. ومن أهم قليلات السكاريدات :

اللاكتوز LACTOSE(سكر الحليب): ويتكون نتيجة ارتباط د-غالاكتوز مع د-غلوكوز، ويعد المكون الرئيس في حليب المرضعات إذ يوجد بنسبة ٧٠غرام/لتر، وفي حليب الأبقار بنسبة ٥٠غرام/لتر، ويعطي بالحلمهة جزيء غلوكوز وجزيء غلاكتوز، وهو رديء الذوبان بالماء .

المالتوز MALTOSE(سكر الشعير): يوجد في أجسام النباتات والحيوانات كناتج للتحلل المائي اللنشاء، يتألف من ارتباط جزيئتي غلوكوز، ويشكل مرحلة انتقالية للأشكال الادخارية .

السكروز SUCROSE(سكر القصب): يُعدّ من السكاريدات الثنائية، التي تتبلور بشكل جيد، يذوب بسهولة في الماء وبصعوبة في الكحول، يتفكك بالتحلل المائي ليعطي جزيء غلوكوز وآخر من الفركتوز.

الرافينوز RAFFINOSE: يوجد في الفطور والشوندر السكّري، وهو من السكاريدات الثلاثية، يتشكل نتيجة ارتباط ثلاث جزيئات من السكريات الأحادية السداسية (الفركتوز والغلوكوز والغالاكتوز).

عديدات السكاريد (السكاريدات المتعددة) Polysaccharides

- عديدات السكاريد (السكاريدات المتعددة) Polysaccharides:
هي مركبات معقدة، مكوّنَة من عدد كبير من السكريات البسيطة المرتبطة بعضها بروابط غليكوزيدية وذات سلاسل طويلة مستقيمة (مثل Cellulose ، Amylos) أو متفرعة (Glycogen). لا تذوب في الماء، ولا طعم لها ولا رائحة، تشكل محلولاً غروياً بالماء الساخن . ولها نوعان؛ بنيوية Structural مثل السيللوز والكيتين، وادخارية Storing مثل الغليكوجين والنشاء. وتقسم عديدات السكاريدات إلى سكاريدات عديدة متجانسة homopolysaccharidesوسكريات عديدة غير متجانسة Heteropolysaccharidesتتشكل من ارتباط أكثر من نوع من السكاريدات الثنائية وسوف نستعرض الانماط الاكثر شهرة من عديدات السكاريدات .

الغليكوجين GLYCOGEN(مولد السكر):

يتركز وجوده بصورة رئيسة في الكبد والنسيج العضلي. ويأخذ الغليكوجين النقي شكل المسحوق الأبيض، ويشكل في الماء سائلاً هلامياً، ويعدّ من مدخرات الطاقة في الخلية. وهو ذو وزن جزيئي كبير، يحتوي على ما يقارب (١٠٠٠٠) وحدة غلوكوز في الجزيء الواحد.
يتشكل في الجسم بدءاً من غلوكوز الدم بعد أن يمتص في الأمعاء لينتقل بعدها إلى الكبد والعضلات، إذ تجري عملية البلمرة POLYMERIZATION بمساعدة إنزيمات نوعية ويخزّن هناك، وبهذا الشكل يحتفظ الجسم بمستوى ثابت من تركيز الغلوكوز الذي ينطلق المزيد منه إلى الدم عند الحاجة. ويوجد الغليكوجين ضمن سيتوبلاسما الخلية بشكل حبيبات GRANULES، يبلغ قطر الحبيبة (١٠-٤٠) نانومتر وتحتوي حتى (١٢٠٠٠٠) جزيئة غلوكوز.

السيللوز CELLULOSE: يشكّل الجزء الرئيس في تركيب جُدُر الخلايا النباتية، ويوجد بشكل نقي في بعض الحالات كألياف القطن (٩٠%). ويتكون من عدة مئات إلى آلاف من جزيئات الغلوكوز المرتبطة بعضها مع بعض، لا ينحل بالماء إطلاقاً، ويشكّل الألياف النباتية PLANT FIBERS التي لا تتأثر بالخمائر الموجودة في جهاز الهضم عند الإنسان وتبقى في الأمعاء دون تفكك. يصل إلى الجسم عبر الأغذية، ولا تهضمه إلا بعض الحيوانات مثل القوارض وبعض الحشرات والمجترّات التي تعتمد على البكتريا الموجودة في الأمعاء لهضم السيللوز، ومن ثَمّ تتمكّن هذه الحيوانات من استخلاص الطاقة من السللوز، على عكس الإنسان

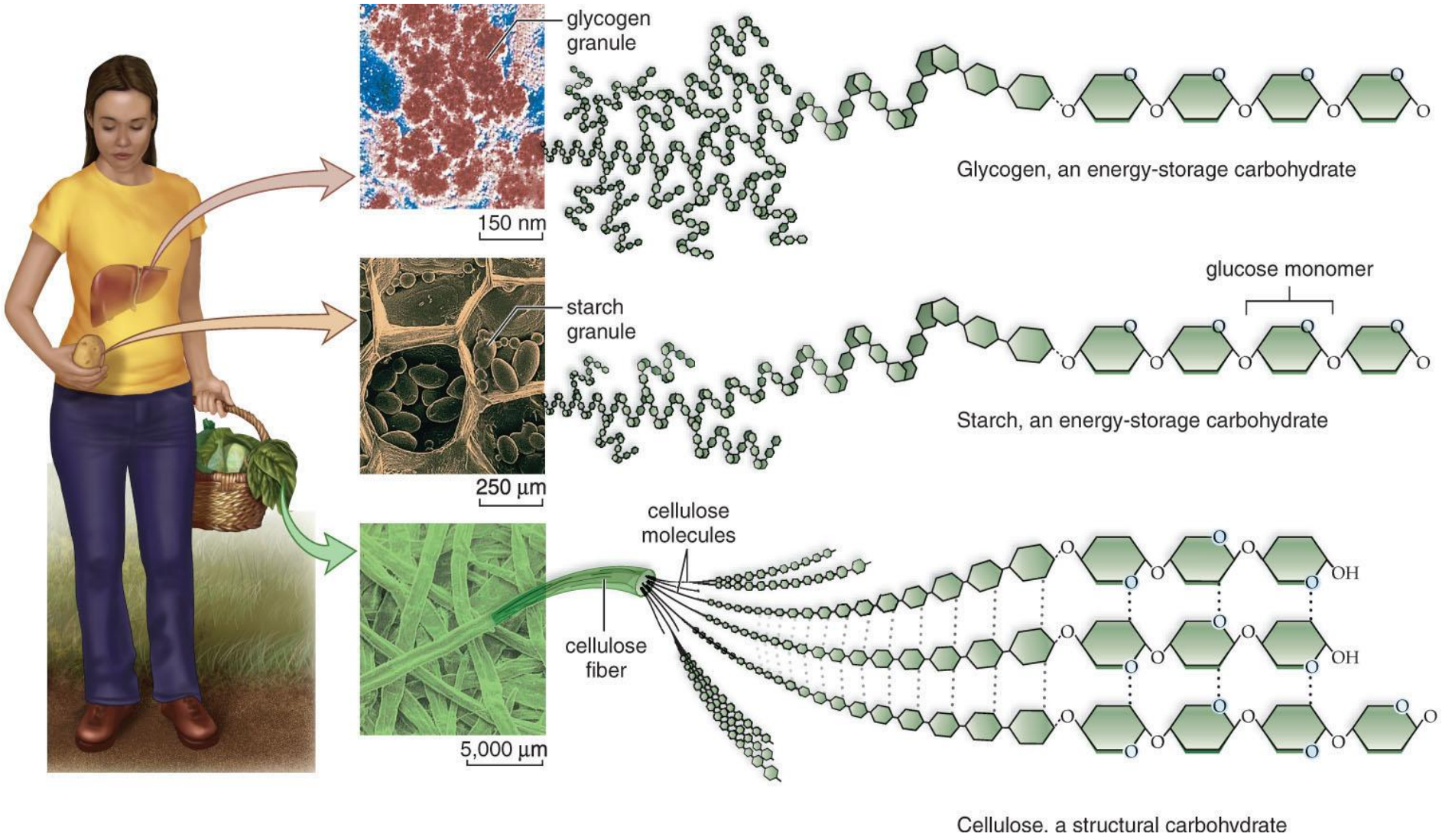
النشاء STARCH:

يُعدّ من عديدات السكاريدات الادّخارية، ويدخل في تركيب جذور الكثير من النباتات وثمارها وبذورها. يُخزَّن مشكلاً غذاءً احتياطياً للنبات، إلا أن الحيوانات تعتمد عليه أيضاً إذ يعدّ أحد مكونات غذائها الرئيسة، ويتحول بالتحلل المائي الحمضي أو الأنزيمي إلى مالتوز ثم غلوكوز، ويوجد النشاء على هيئة حبيبات ذات أشكال خاصة.

تتحد بعض أنواع عديدات السكاريدات مع البروتينات والدُّسُم مشكلة على التوالي البروتينات السكرية GLYCOPROTEINS والليبيدات السكرية GLYCOLIPIDS التي تدخل في بنية الغشاء السيتوبلازمي، الأمر الذي يحدد نوعية الغشاء، ويسهم في العديد من الوظائف النوعية المميزة. وتعرف بعض المركبات الناتجة عن اتحاد جزء بروتيني وسلاسل طويلة من السكريات بالسكريات المتعددة المخاطية MUCOPOLYSACCHARIDES أو البروتينات السكرية GLYCOPROTEINSتتوضع في االمتركس خارج الخلوي EXTRACELLULAR MATRIX (ECM) كتلك التي تدخل في تركيب المادة الأساسية بين الخلوية في الأنسجة الغضروفية، وكذلك التي تربط بين الخلايا الظهارية.

ولا بد هنا من الإشارة إلى أن جميع أنواع الخلايا الحيوانية تفرز السكاريدات المتعددة المخاطية لتشكيل بنية خاصة تربط الخلايا بعضها مع بعض. ومن المعلوم أن الكثير من الجراثيم والكائنات الدقيقة الممرضة التي تجتاح الجسم تفرز إنزيم الهيالولونيداز الذي يفكك الحمض الهيالوروني، ليعمل من ثَمّ على تفكيك الروابط بين الخلايا مما يسهل عبور الكائنات الدقيقة ووصولها إلى الخلايا الحية داخل الأنسجة.

أمثلة عن عديدات السكريدات؛ الغليكوجين في الكبد، والنشاء في درنات البطاطا، والسللوز في جدار الخلايا النباتية.



الدُّسُم أو اللبيدات LIPIDS

الأحماض الدسمة Fatty Acids
الليبيدات المعتدلة أو الغليسريدات Glycerides
الليبيدات Steroids
الليبيدات الفوسفورية Phospholipids (PL) (الفوسفوليبيدات)
الليبيدات السكرية Glycolipids
الليبيدات الشمعية Cerides

- **الليبيدات (الدُّسُم أو الشحوم) LIPIDS**

هي مركبات عضوية، متشابهة في الخواص الطبيعية ومختلفة في التركيب الكيميائي، يدخل في تركيبها الكربون والأوكسجين والهيدروجين، لا تنحل في الماء لفقدان الاستقطاب في جزيئاتها، لكنها تذوب في المذيبات العضوية غير القطبية، مثل الكحول والبنزين والأسيتون والإيثر، أو بالمذيبات ضعيفة القطبية كالميثانول وذلك بسبب طبيعتها الكارهة للماء HYDROPHOBIC.

تؤلف االليبيدات نحو (٥%) من المواد العضوية الداخلة في تركيب الخلية وتؤدي دوراً حيوياً مهمّاً، إذ تدخل في بنية الأغشية الخلوية الحيوانية والنباتية، وتشكل مصدراً مهمّاً من مصادر الطاقة ومدّخراً غذائياً فائضاً إضافة لحماية الجسم من الإصابات والصدمات، كما تدخل في تركيب بعض الفيتامينات والهرمونات.

تشكل الليبيدات مع البروتينات مركبات يطلق عليها الليبيدات شحوم البروتينية LIPOPROTEINS، وقد تكون االليبيدات بشكل دهون احتياطية تتوضع عند الإنسان والحيوان ضمن الأنسجة الضامة تحت الجلد أو حول بعض الأعضاء مثل القلب والكلى.

تتألف الليبيدات من ارتباط أحماض عضوية دسمة طويلة السلاسل برابطة استرية ESTER BOND مع الكحولات أو مشتقاتها. ونذكر من الكحولات الداخلة في بنية الشحميات الكحولات اللاحلقية، مثل الغليسترول $CH_2OH\text{-}CHOH\text{-}CH_2OH$، والكحولات الحلقية، مثل الكولسترول .

وكيميائياً، لا تعدو الشحوم عن كونها في معظم الحالات ارتباط لجزيء واحد من الغليسيرول GLYCEROLوثلاث جزيئات من أحد الحموض الدسمة.

وتقسم الشحميات الداخلة في بنية الخلية ومادتها الحية حسب تركيبها الكيميائي إلى عدة صفوف تضم الحموض الدهنية، والغليسيريدات الثلاثية، والليبيدات الفوسفورية، والليبيدات السكرية، والستيروئيدات والليبيدات الشمعية .

- الحموض الدسمة FATTY ACIDS:

تملك سلاسل كربونية طويلة، مفتوحة وغير متفرعة، صيغتها العامة $CH_3-(CH_2)_N-COOH$، وتعد جزيئات مستقطبة ثنائيّة الطور AMPHIPATHIC فالمجموعة الكربوكسيلية فيها تجعل أحد طرفيها قطبيّاً محباً للماء ويعرف عادة بالرأس، بينما تشكل السلسلة الهيدروكربونية الذيل أو القطب الثاني غير القطبي والكاره للماء.

ويوجد في الطبيعة أكثر من (٧٠) حمضاً دسماً، تختلف فيما بينها في عدد ذرات الكربون ذرة كربون، كما يختلف في عدد الروابط التي تربط ذرات الكربون بعضها مع بعض، وفي نوعية هذه الروابط (فردية أو زوجية)، إذ تتميز الحموض الدسمة غير المشبعة باحتوائها على رابطة مضاعفة أو أكثر في السلسلة الكربونية.

يمكن تقسيم الحموض الدسمة إلى عدة أنواع أهمها:

حموض دسمة مشبعة SATURATED FATTY ACIDS:

صيغتها العامة $CH_3-(CH_2)_N-COOH$ ومن أشهرها حمض الزبدة وحمض جوز الهند، وحمض النخيل،

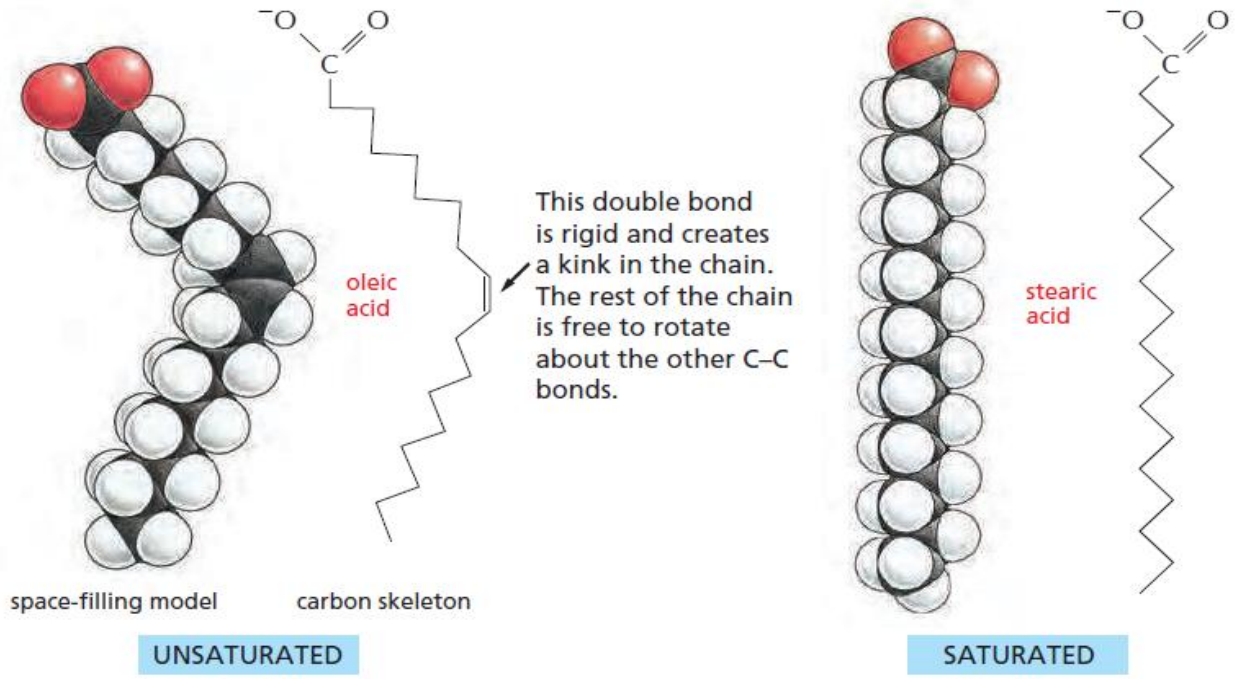
ترتبط خواص الحموض الدسمة المشبعة بطول السلسلة الكربونية المؤلفة لكل جزيء وبالزمرة الكربوكسيلية.

حموض دسمة غير مشبعة UNSATURATED FATTY ACIDS :

صيغتها العامة $C_NH_{(2N-2)}O_2$ من أشهرها حمض الزيت OLEIC ACID وحمض بذر الكتان LINOLEIC ACID، وتتميز بوجود رابطة زوجية واحدة أو أكثر في السلسلة الكربونية، مما يؤدي إلى انخفاض درجة انصهارها بشكل كبير مقارنة مع الحموض المشبعة. وتكون معظم الحموض غير المشبعة بحالة سائلة في درجة حرارة الغرفة.

الأحماض الدسمة Fatty Acids

- أحماض دسمة مشبعة Saturated Fatty Acids
- أحماض دسمة غير مشبعة Unsaturated Fatty Acids



- الشكل يبين الفارق بين بنية كل من حمض الشمع Stearic Acid الدسم المشبع، وحمض الزيت Oleic Acid الدسم غير المشبع، حيث تكون الرابطة الثنائية في حمض الزيت صلبة وتسبّب انعطافاً في اتجاه السلسلة الهيدروكربونية مما يؤثّر على البنية الفراغية للحمض الدسم.

ـ الليبيدات المعتدلة أو الغليسريدات GLYCERIDES:

تعد من الليبيدات البسيطة، وتتشكل غالباً نتيجة ارتباط الحموض الدسمة مع الغليسيرول بروابط استيرية نتيجة نزع ٣ جزيئات من الماء، وتتكون معظم الليبيدات من غليسيريدات ثلاثية TRIGLYCERI DES (TG) تُبنى من ارتباط ثلاث جزيئات من الحموض الدسمة مع جزيئة واحدة من الغليسيرول.

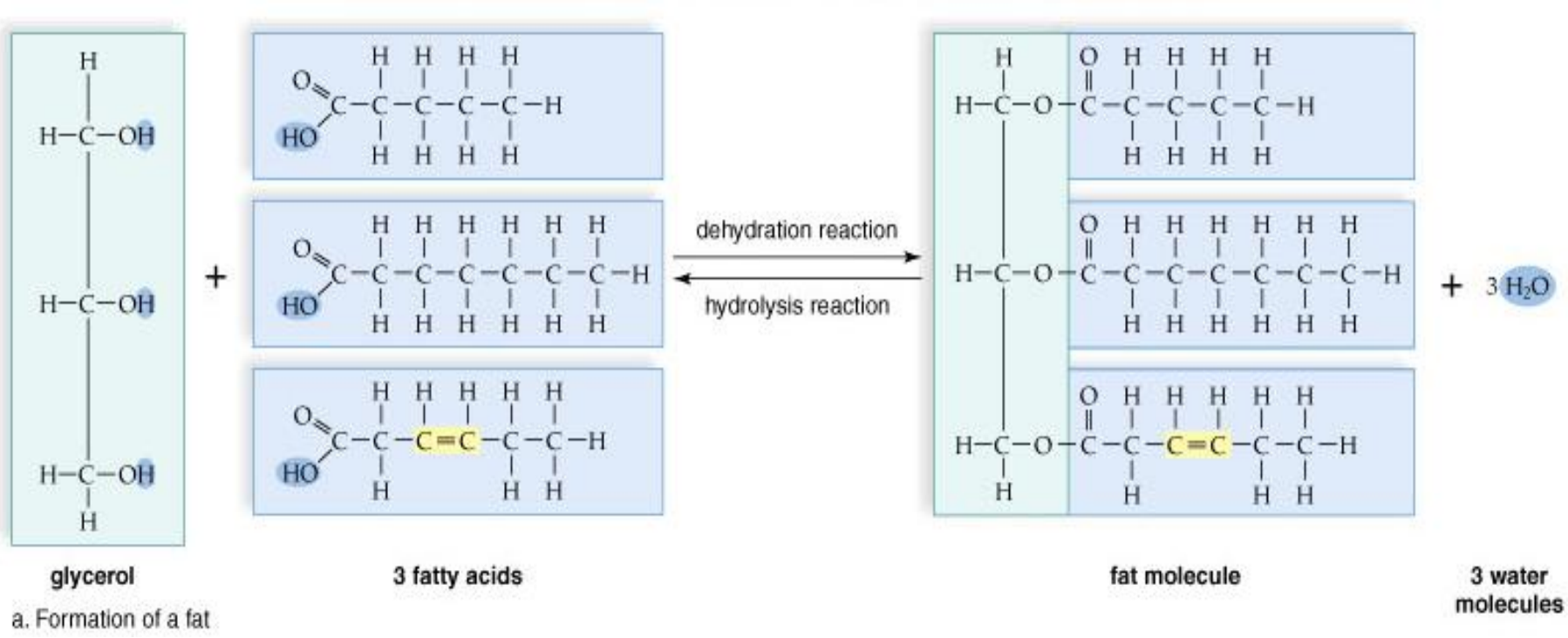
وتمتلك الخلية إضافة للغليسيريدات الثلاثية غليسيريدات أحادية MONOGLYCERIDES حاوية على جزيئة واحدة من الحمض الدسم مرتبطة برابطة إستيرية مع الغليسرول، في حين ترتبط جزيئتان من الحمض الدسم مع الغليسرول في الغليسيريدات الثنائية DIGLYCERIDES.

تكون المادة الدسمة بحالة صلبة في درجة حرارة الغرفة (كالزبدة والدهون) في حال كانت أغلبية الحموض الدسمة الداخلة في تركيب الغليسيريدات مشبعة، أما إذا كانت معظم الحموض الدسمة الداخلة في تركيب الغليسيريدات غير مشبعة فتكون بحالة سائلة في درجة حرارة الغرفة (الزيوت) .

توجد الغليسيريدات الثلاثية داخل سيتوبلازما الخلايا الشحمية FAT CELLS بشكل قطيرات كروية الشكل، كبيرة الحجم يتراوح قطرها بين ١ ـ ٢٠٠ نانومتر. وتتميز الغليسيريدات الثلاثية بعدم انحلالها بالماء لكنها تنحل جيداً في المحلات العضوية، وتتحلل إلى حموض دسمة حرة عند الاجهاد و أثناء الجوع الطويل وغليسيرول لتدخل إلى جهاز الدوران وتستخدم من قبل أنسجة الجسم كمصدر للطاقة بديل عن السكريات، وتعد مادة غذائية وادخارية، كما تستخدم بمثابة عازل تمنع فقدان الحرارة من الجسم، وتشكل حاجزاً أمام الرطوبة والمؤثرات الخارجية.

الليبيدات المعتدلة أو الغليسريدات Glycerides

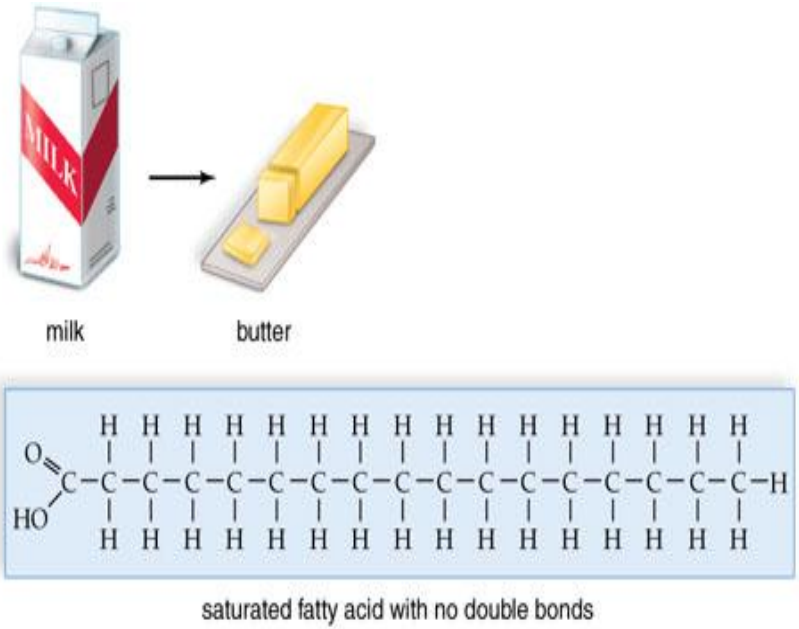
- تتشكل غالباً نتيجة ارتباط الأحماض الدسمة مع الغليسيرول بروابط استيرية نتيجة نزع ٣ جزيئات من الماء

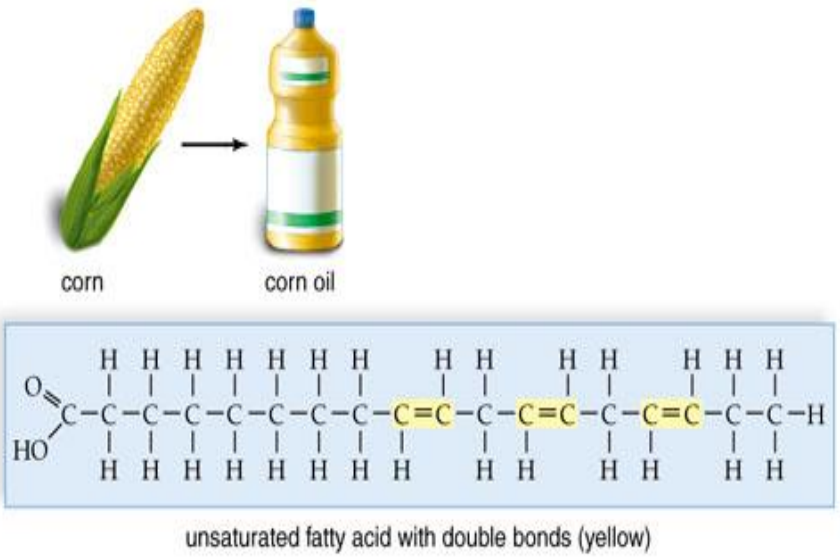


a. Formation of a fat

الشكل يوضح تشكّل الشحوم الثلاثية بدءاً من ارتباط الكحول الثلاثي الغليسيرول مع ٣ أحماض دسمة، في هذا المثال اثنان منها مشبعة وواحد غير مشبع، وينتج على الارتباط ٣جزيئات من الماء.

الليبيدات المعتدلة أو الغليسريدات Glycerides





الشكل يبين تكون الشحميات بشكل صلب (كالزبدة) عند غناها بالأحماض الدسمة المشبعة، بينما تكون بحالة سائلة عند غناها بالأحماض الدسمة غير المشبعة، وبخاصة متعددة عدم الإشباع، أي أكثر من رابطة مضاعفة.

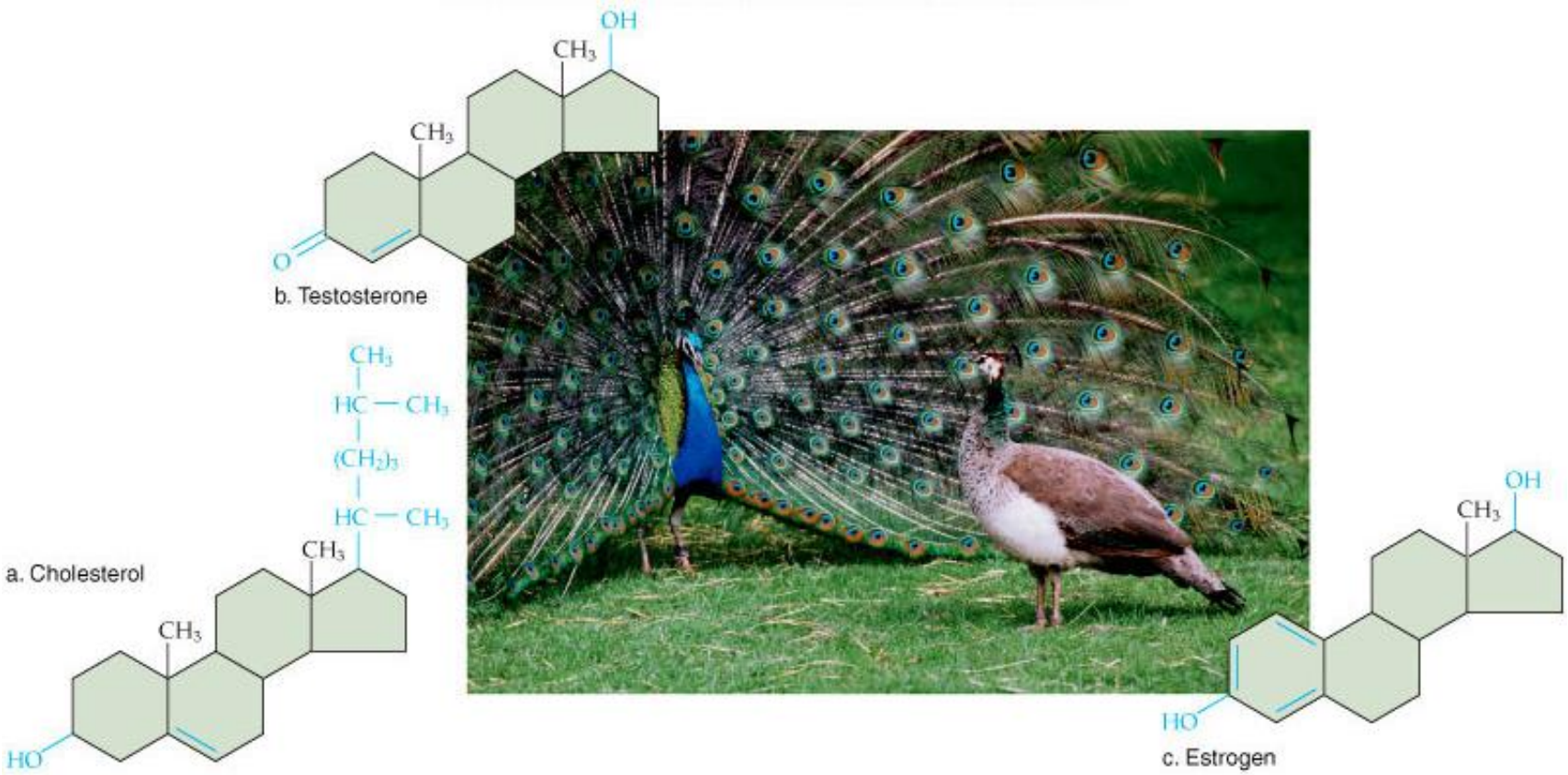
ـ الستيروئيدات STEROIDS:

تُعدّ من الليبيدات التي لا تحتوي على غليسيرول، وتشتق من مركّب رباعي الحلقات هو الفيناثرين PHENATHRENE، وتنتج بعد أسترة جزيئة الكوليسترول التي تعد بمثابة الجزيئة الأم للستيروئيدات.
وتشكّل الستيروئيدات نمطا واضحاً ومميزاً من الليبيدات، ويدخل بعضها في تركيب الأغشية الخلوية.
ويعدّ الكوليسترول CHOLESTEROL من أكثر أشكال الستيروئيدات انتشارا في خلايا الفقاريات.

وتعد أغلب الستيروئيدات كارهة للماء، ويدخل الكوليسترول في تركيب الأغشية السيتوبلاسمية وأغشية العضيات الخلوية في الخلايا الحيوانية ماعدا الغشاء الداخلي للميتكوندري، كما يوجد الكولسترول في بلاسما الدم PLASMA على شكل ليبيدات بروتينية LIPOPROTEINS، كما تحوي الأنسجة العصبية على الكوليسترول، وتشتق منه جميع الهرمونات الستيروئيدية كالهرمونات الجنسية الذكرية والأنثوية كالتستوسترون والإيستروجين وهرمونات قشر الكظر والفيتامين D.

الستيروئيدات Steroids

- تعد من الليبيدات التي لا تحتوي على غليسيرول، وتشتق من مركّب رباعي الحلقات هو الفيناثرين phenathrene، وتنتج بعد أسترة جزيئة الكوليسترول التي تعد بمثابة الجزيئة الأم للستيروئيدات.



ـ الليبيدات الفوسفورية PHOSPHOLIPIDS (PL) :

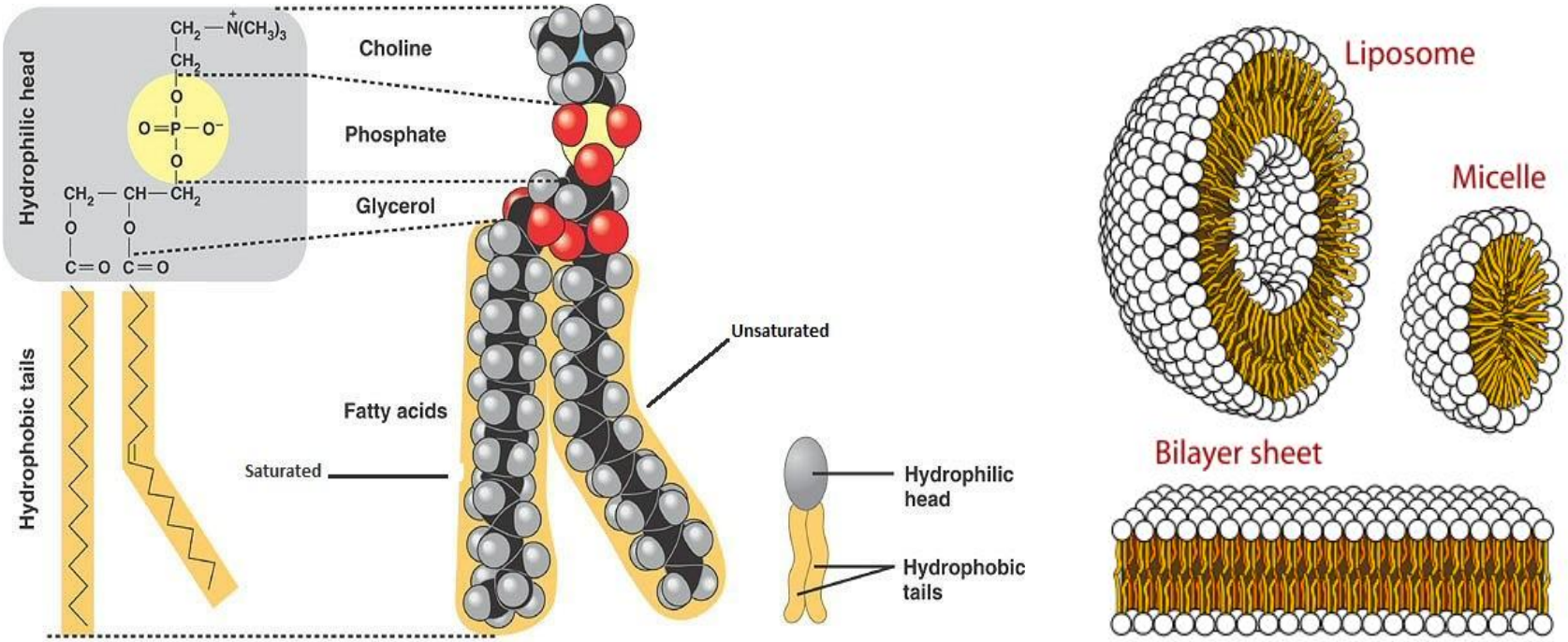
تعد من الليبيدات المعقدة، تحتوي بالإضافة إلى الكربون والهيدروجين والأوكسجين عنصر الفوسفور،وتتشكل الفوسفوليبيدات من ارتباط جزيء من الغليسيرول مع حمضين دهنيين، ويشغل حمض الفوسفور محل الحمض الدهني الثالث .

وتبرز أهمية الفوسفوليبيدات كونها تدخل في تركيب الأغشية الخلوية بما في ذلك أغشية العُضيّات الخلوية CELL ORGANELLES، إذ تعد أساس البنية الغشائية الموجودة فيها. يَمنح وجود المجموعة الأمينية المشحونة إيجاباً جنبا إلى جنب مع الزمرة الفوسفاتية المشحونة سلبيا جزيئات الفوسفوليبيدات خاصيّة التعادل الكهربائي، شديدة.

يتمتع جزيء الفوسفوليبيد بخاصيتين متنافرتين بقابلية الانحلال بالماء كونها تحوي على المجموعة الكربوكسيلية، وتقبل كذلك الانحلال في المذيبات إذ تساعد هذه الخاصية في إنجاز العديد من وظائف الأغشية عن طريق التحكم بانتقال المواد بين الوسط الداخلي للخلية ووسطها الخارجي.

الليبيدات الفوسفورية Phospholipids (PL) :

- تعرف أيضاً بالليبيدات الغليسيرو فوسفاتيدية Glycerophospholipids وتعد من الليبيدات المعقدة، تحتوي بالإضافة إلى الكربون والهيدروجين والأوكسجين عنصر الفوسفور



- الشكل ٢-١٨: بنية الفوسفوليبيدات، ويبيّن الرأس القطبي (المحب للماء) المتشكّل من الغليسيرول والفوسفات المرتبط، والذيل غير القطبي (الكاره للماء) المتشكّل من الحمضين الدسمين في هذه الحالة أحدهما مشبع والآخر غير مشبع. كما يبيّن الشكل إلى اليمين البُنى الثلاث المحتملة التي تشكّلها الفوسفوليبيدات في الوسط المائي؛ طبقة ثنائية أو مذيّلة Micelle أو ليبوزومات.

البروتينات PROTEINS

الأحماض الأمينية Amino Acids

الببتيدات Peptides

البنية الكيميائية للبروتينات

- البروتينات PROTEINS

تشكّل البنية الرئيسة للمادة الحية وتبلغ نسبتها حتى ١٥ % من المادة الحية. أوزانها الجزيئية ما بين عدة آلاف وعدة ملايين دالتون، وتدخل في بنية جميع الخلايا الحية وعضياتها وفي تركيب الإنزيمات والأضداد ANTIBODIES والعديد من الهرمونات المسؤولة عن عمليات التنظيم في أجسام الحيوانات، بمعنى أن جميع الوظائف الحيوية الرئيسة ترتبط بالنشاط الحيوي للبروتينات، إضافة لمسؤوليتها عن البنية المميزة لكل خلية.

تمتلك البروتينات مجموعة وظيفية أساسية (زمرة الأمين) ومجموعة وظيفية حمضية (زمرة الكربوكسيل)، وهي بذلك جزيئات ثنائية الأيونات. وتسلك البروتينات في الوسط القلوي سلوك الحمض وتعطي أيّونات الهيدروجين وتتجه في جهاز الرحلان الكهربائي نحو القطب الموجب، أما في الأوساط الحامضية فتسلك البروتينات سلوك الأسس، وذلك بتقابل الزمر الأمينية مع الماء، وتتجه نحو القطب السالب في جهاز الرحلان الكهربائي. وتتعادل درجة تشرّد الزمرتين الأمينية والكربوكسيلية في درجة حموضة معينة،.

تتفكك الروابط الببتيدية في البروتينات بتقنيات التحلل المائي الكيميائي أو الإنزيمي لتعطي ببتيدات متحولة بالتدريج إلى حموض أمينية.

تتشكّل البروتينات من وحدات بنائية هي الحموض الأمينية، وتحتوي جميع البروتينات في تركيبها عنصر الكربون، والهيدروجين، والأوكسجين والآزوت، كما أنّ كثيراً منها يتحوي عنصر الكبريت.

تصنيف الأحماض الأمينية

- الأحماض الأمينية اللاقطبية المتعادلة
- الأحماض الأمينية القطبية المتعادلة وغير المشحونة
- الأحماض الأمينية القطبية الحامضية المشحونة سلبياً
- الأحماض الأمينية القطبية الأساسية المشحونة ايجابياً

ـ الحموض الأمينية AMINO ACIDS :

تشكل الوحدة الأساسية لبناء البروتين، يعرف منها حتى اليوم عشرون حمضاً متشابهاً في البنية مختلفاً في الخواص الكيميائية. يتألف كل حمض أميني من مجموعة أمينية AMINO GROUP (NH_2) أساسية، ومجموعة كربوكسيلية CARBOXYL GROUP (COOH) حامضية، إضافةً إلى جذرٍ متغايرٍ R يميّز الحموض الأمينية بعضها من بعض .

ترتبط الحموض الأمينية بعضها مع بعض بروابط ببتيدية PEPTIDE BONDS، إذ ترتبط المجموعة الكربوكسيلية لحمض مع المجموعة الأمينية لحمض اخر برابطة ببتيدية وتتحرر جزيئة ماء .

وبزيادة عدد الحموض الأمينية تتشكل السلسلة الببتيدية. ويتحدد تتابع الحموض الأمينية في السلسلة بإشراف الجينات المتضمّنَة في جزيئات DNA. وتؤلف الروابط الببتيدية التي تتشكل نتيجة اتحاد الحموض الأمينية المتتالية ما يعرف بالعمود الفقري لجزيء البروتين، كما توجد روابط من نوع آخر في البروتين كالرابطة ثنائية الكبريت (-S-S-)، والرابطة الهيدروجينية (-OH-H-)، والرابطة الأيّونيّة (I- +I)، وجميع هذه الروابط ضرورية لاعطاء بنية البروتينات الوظيفية.

وعلى الرغم من وجود عشرين حمضاً أمينياً تدخل في تركيب المواد البروتينية فإننا لا نعثر عليها جميعا في كل نوع من أنواع البروتينات، يعطي التتالي للعشرين حمضاً أمينياً عددا كبيرا جدا من البروتينات وهي تشكل المجموعة الأكثر تنوعاً من بين الجزيئات الكبيرة، وهو متوقّعٌ لو أجرينا مقارنة ذلك مع عدد الحروف الأبجدية وعدد الكلمات وعدد الحروف التي تشكيلها.، وتختلف عنها في أيّ مادة بروتينية أخرى.

تكون بعض أنواع البروتينات غنية بالحموض الأمينية (القلوية أو الأساسية) مثل الهستونات HISTON التي توجد في النواة، وبعضها الآخر غنيٌّ بالحموض الأمينية (الحامضية) مثل البروتومينات و الميوزين MYOSIN الذي يشكل جزءاً أساسياً في الخلية العضلية.

تصنيف الحموض الأمينية:

اقترحت عدّة طرائق لتصنيف الحموض الأمينية معتمدة على اختلاف طبيعة السلسلة الجانبية (R)، وأهمها التصنيف التالي:

١ـ الحموض الأمينية اللاقطبية المتعادلة : تشتمل هذه المجموعة تسعة أحماض أمينية لا قطبية NONPOLAR ومتعادلة NEUTRAL وكارهة للماء HYDROPHOBIC، وهي الغليسين والألانين والفالين واللوسين والإيزولوسين والميثيونين والتريبتوفان والبرولين والفينيل ألانين.

٢ـ الحموض الأمينية القطبية المتعادلة وغير المشحونة: تحتوي هذه المجموعة ستة حموض أمينية قطبية غير مشحونة إلا أنها متعادلة، إذ يمتلك الجذر R في كل من الحموض (السيرين، الثريونين والتيروزين) على مجموعة الهيدروكسيل (-OH) مما يجعلها محبة للماء، في حين يشتمل الجذر R في الحمضين (الأسباراجين والغلوتامين) على المجموعة الأمينية (NH2 -) مما يكسبها خاصية محبة الماء مع العلم أنها تحمل شحنة موجبة في الأوساط المتعادلة، أما حمض السيستيئين فيضمّ الجذر R مجموعة سلفهدريل (-SH) والتي تساهم في تشكيل الجسر ثنائي الكبريت (S-S) DISULFIDE BRIDGE.

٣ـ الحموض الأمينية القطبية الحامضية المشحونة سلبياً: تضم الحمضين الأمينيين (الأسبارتي و الغلوتامي)، ويحوي الجذر R في كل منهما مجموعة كربوكسيلية المشحونة سلبياً، وهو ما يعطيها خاصيّة الجزيئات المستقطبة جداً.

٤ـ الحموض الأمينية القطبية الأساسية المشحونة إيجاباً: تنتسب إلى هذه المجموعة ثلاثة حموض أمينية هي الأرجينين والليزين والهيستيدين، وتمتلك مجموعة أمينية ($-NH_2$) كجزء من الجذر R

وهناك حموض أمينية خاصة تتشكل جرّاء تعديل بعض الحموض الأمينية الطبيعية مثل الهيدروكسي برولين والمشتق من الحمض الأميني البرولين عند تركيب ألياف الكولاجين COLLAGEN، وذلك بإضافة جذر هيدروكسيلي للبرولين، مما يزيد من ثبات ألياف الكولاجين.

ـ الببتيدات PEPTIDES :

من أهم ما تقوم به الحموض الامينية من تفاعلات هو تشكيل الرابطة الببتيدية. إذ ينتج الببتيد عن التحام حمضين أمينيين على الأقل بإزاحة جزيء ماء، فإذا ارتبط حمضان أمينيان معاً تشكل ثنائي الببتيد DIPEPTIDE، وإذا ارتبطت ثلاثة حموض تشكل ثلاثي الببتيد TRIPEPTIDE. ويطلق مصطلح قليلات الببتيد OLIGOPEPTIDES على الببتيدات القليلة المتكونة من أقل من عشرة حموض أمينية، مثل الغلوتاتيون GLUTATHIONE وهو ببتيد ثلاثي ينتشر في كثير من الأعضاء الحيوانية (الكظر، الكبد، الطحال، المعثكلة، القلب، الرئة). ويتألف عديد الببتيد POLYPEPTID من عشرات الحموض الأمينية، وعادةً ما تعرف الجزيئات البروتينية الصغيرة باسم عديدات الببتيدات عندما يقتصر تكوينها على ٥٠ حمضاً أمينياً أو أقل، بينما تضم البروتينات عدداً من الحموض الأمينية أكبر من ذلك.

البنية الكيميائية للبروتينات

- البنية الأولية Primary Structure
- البنية الثانوية Secondary Structure
- البنية الثالثية Tertiary Structure
- البنية الرابعية Quaternary Structure

ـ البنية الكيميائية للبروتينات:

يمكن أن يدخل في الجزيء البروتيني الواحد من عدة مئات وحتى ألف حمض أميني، ويستلزم النشاط الحيوي وجود عشرات الآلاف من البروتينات النوعية المختلفة.

ويكتمل تشكل بنية البروتينات من خلال أربعة تنظيمات معقّدة لتعطي بمجموعها بنية البروتين، وإذا تخرّبت أي من هذه التنظيمات الأربعة يفقد البروتين وظائفه الحيوية بعملية تدعى تمسّخ البروتينات .

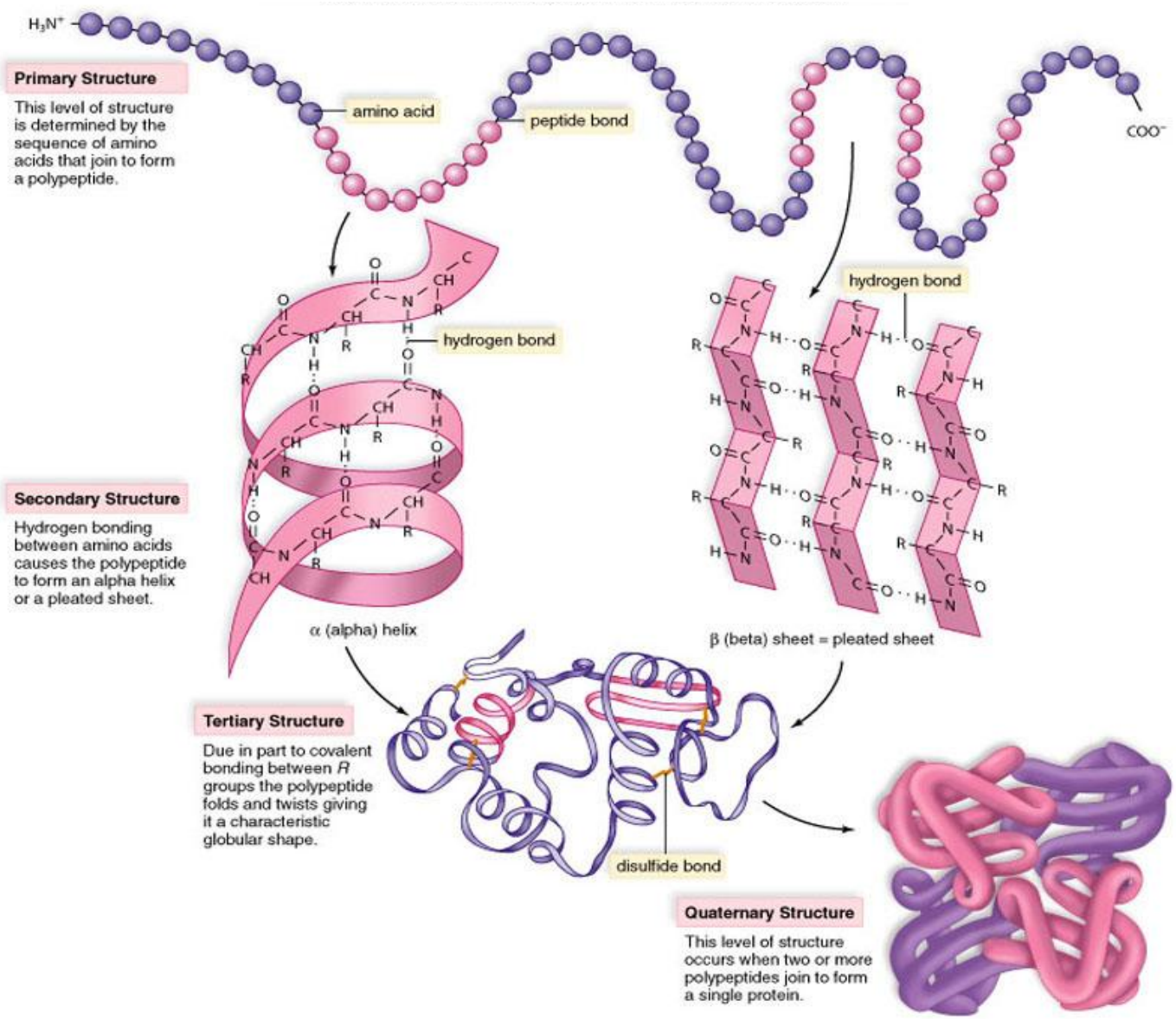
١ـ البنية الأولية PRIMARY STRUCTURE: البنية الأولية للبروتينات هي باختصار نوع وترتيب الحموض الأمينية المشكلة لسلسة عديد الببتيد الواحدة الخطية والخالية من التفرعات.تكون الرابطة التي تجمع الحموض الامينية هي الرابطة الببتيدية وعلى سبيل المثال، يعدّ الإنسولين أول بروتين تم تحديد نوع وتتابع حموضه الأمينية، ويتألّف من سلسلتين ببتيديتين إحداهما مكونة من ٢١ حمضاً أمينياً والثانية مؤلفة من ٣٠ حمضاً أمينياً تتصلان معاً بروابط ثنائية الكبريت بين السيستئين في كل سلسلة. ولكلّ من السلسلتين بنية أولية.

٢ـ البنية الثانوية SECONDARY STRUCTURE: تتكون من التفاف السلسلة الببتيدية الواحدة بعضها على بعض ضمن مستوى فراغي واحد، إذ بينت الدراسات باستخدام أشعة روتنجن لعدة بروتينات وجود سلاسل ببتيدية صفائحية SHEETED وسلاسل أخرى ملتفة بانتظام بشكل حلزوني HELICAL. وفي كلّ من البنتين الثانويتين تكون السلسلة الببتيدية الواحدة مرتبطة مع نفسها بروابط هيدروجينية دورية منتظمة تساعد في تثبيت السلاسل الصفائحية أو الحلزونية للبروتين، إذ تكون الروابط الهيدروجينية في هذه السلاسل بين أوكسجين مجموعة الكربونيل (C=O) في الروابط الببتيدية والهيدروجين في مجموعة الأميد (-NH) الخاصة بالرابطة الببتيدية الواقعة إما في الوجه المقابل مؤديةً إلى التفاف البروتين حول نفسه التفافاً صفائحياً أو حلزونياً مشكلاً تركيباً ثانوياً للبروتين.

٣- البنية الثالثية TERTIARY STRUCTURE: يشكل الجزء الأكبر من السلسلة الببتيدية الواحدة التفافاً فراغياً حول نفسه أكثر تعقيداً من الالتفاف الثانوي، ويكتسب شكلاً كروياً تقريباً مشكلاً البنية الثالثية للبروتين. وتسهم في تكوين البنية الثالثية أنواع عديدة من الروابط الهيدروجينية التي تنشأ نتيجة التفاعل بين المجموعات الفاعلة في السلسلة والمجموعات المحمولة على الجذر (R-) إضافةً إلى الروابط الكارهة للماء HYDROPHOBIC BONDSبين الحموض الأمينية غير القطبية والروابط الأيّونية بين الحموض الأمينية المتشرّدة إضافةً إلى الجسور ثنائية الكبريت للحمض الأميني السيستئين الموجودة فراغيّاً بعضها مقابل بعضٍ على نفس السلسلة الببتيدية. وتتميز البنية الثالثية بحدوث درجة كبيرة من الالتفاف والطي لضغط السلسلة الببتيدية الطويلة والحصول على تركيب ثابت ومعقد لجزيء البروتين.

٤- البنية الرابعية QUATERNARY STRUCTURE: تختصّ فقط بعض البروتينات بالبنية الرابعية، بحيث تتألف هذه البروتينات من أكثر من سلسلة ببتيدية سواءً كانت متشابهة أم غير متشابهة، يجتمع بعضها مع بعض لتكوّن البنية الرابعية للبروتين. وتقوم الروابط الهيدروجينية والأيّونيّة والكارهة للماء والجسور ثنائية الكبريت جميعها بتثبيت البنية الرابعية للبروتين، والتي تتشكّل بين الحموض الأمينية المتقابلة التابعة للسلاسل الببتيدية المختلفة. وكمثال على البنية الرابعية للبروتينات نذكر بروتين الهيموغلوبين، وهو يتألف من أربع سلاسل ببتيدية، سلسلتي ألفا α وسلسلتي بيتا B.

البنية الكيميائية للبروتينات



الشكل يبيّن البنى الأولية والثانوية والثالثية والرابعية للبروتين

اشكال البروتينات

- تقسم البروتينات حسب الشكل العام لتوضع جزيئاتها إلى صفين رئيسين هما:

– البروتينات الكروية Globular Proteins: تتمثل بالبروتينات التي تكون أشكالها قريبة من الشكل الكروي أو الإهليلجي لانطواء سلاسل عديدات الببتيد على بعضها البعض بدرجة كبيرة، مثل ألبومين مصل الدم وغلوبيولين مصل الدم. وهذا النوع من البروتينات ينحل في الماء، وفي المحاليل الملحية الممددة، كما أنه سريع النفوذ والانتشار.

– البروتينات الليفية Fibrous Proteins: وهي بروتينات غير منحلّة بالماء، ولا بالمحاليل الملحية الممددة، ومقاومة للأنزيمات المحللة للبروتينات. لها شكل خيطي أو حلزوني ألفا α مثل الميوسين Myosin، مولد الليفين Fibrinogenوالكيراتين Keratin. ويشكل هذا النوع من البروتينات الدعامة الهيكلية للأنسجة الضامّة Connective Tissues حيث أنها تشكل الألياف الكولاجينية الداخلة في تركيب الأوتار والعظام، كما نجدها في بروتين الإستين Elastin الداخل في بنية النسج الضامّة المرنة للرئة والشرايين.

البنية الكيميائية للبروتينات

- يمكن تصنيف البروتينات أيضاً بحسب تركيبها الكيميائي إلى بروتينات متجانسة وبروتينات غير متجانسة.

البروتينات المتجانسة Homoproteins: وتتألف من السلاسل الببتيدية فقط، وتضم:

- **الألبومينات Albumins:** يدخل في بنائها عدد قليل نسبياً من الحموض الأمينية، وزنها الجزيئي صغير، قابلة للانحلال في الماء النقي، تتخثر بالحرارة والكحول.
- **الغلوبيولينات Globulins:** مثل غلوبيولينات مصل الدم، وتضم عدة أنواع من ألفا وبيتا وغاما غلوبيولين، ويدخل هذا الأخير في تشكيل الأضداد Antibodies ذات الدور المناعي الهام.
- **الهستونات Histones:** تغلب فيها الحموض الأمينية القاعدية،ترتبط مع الحموض النووية في النواة، يساهم في تكثّف المادة الوراثية وتنظيم عمل الجينات.
- **البروتامينات Protamins:** تغلب فيها الحموض الأمينية الأساسية، تدخل في تركيب الكروموزمات لها دور تقلصي وانزيمي.
- **البروتينات الصلبة Seleroproteins :** تنتمي إليها البروتينات الداخلة في تركيب النسج الدعامية مثل الكرياتينات (بروتينات الشعر والصوف والأظافر)، وتتميّز بعدم قابليتها للانحلال في الماء.

البنية الكيميائية للبروتينات

البروتينات غير المتجانسة Heteroproteins:

- تضم هذه البروتينات إضافة للحموض الأمينية مركبات غير بروتينية، وتشمل:
- البروتينات الليبيدية Lipoproteins: يدخل في بنائها المواد الشحمية ومشتقاتها مثل الكوليسترول.
- البروتينات السكرية Glycoprotein's: تنتج من اتحاد جزيء بروتيني مع كمية قليلة من السكريات.
- البروتينات الملونة Chromo proteins: وتشمل على بعض المعادن كالهيموسيانين الذي يحوي على النحاس والهيموغلوبين الحاوي على الحديد.
- الفوسفو بروتينات Phosphoproteins: هي البروتينات المرتبطة بحمض الفوسفور مثل الكازائين Casein.

أما وظيفياً، فيمكن تصنيف البروتينات إلى الأنواع التالية:

١- بروتينات بنيوية STRUCTURAL PROTEINS: وهي البروتينات التي تدخل في تركيب الخلايا أو الكائن الحي بشكل عام،

٢- بروتينات استقلابية (أيضية) METABOLIC PROTEINS: هذه البروتينات هي المسؤولة عن عمليات الاستقلاب الخلوي بنوعيه البناء والهدم مثل الإنزيمات التي تحفز التفاعلات.

٣- بروتينات تنظيمية REGULATORY PROTEINS: تقوم هذه البروتينات بتنظيم جميع العمليات الخلوية التي تحدث داخل الخلية. وأهمها البروتينات التي تقوم بتنظيم عملية الضغط الأسموزي، أو تنظيم عمل الجينات. اوالهرمونات المسؤولة عن تنظيم الوظائف الخلوية مثل هرمون الأنسولين الذي ينظّم تركيز السكر في الدم والأدرينالين الذي ينظم قطر الأوعية الدموية.

٤- بروتينات ناقلة TRANSPORTER PROTEINS: وهي المسؤولة عن نقل المواد من وإلى الخلية. ومنها البروتينات الناقلة للشوارد عبر غشاء الخلية. و بروتينات التي تنقل بعض العناصر في الكائن الحي مثل بروتين الهيموغلوبين HEMOGLOBIN .

٥- بروتينات ادخارية STORAGE PROTEINS: تسهم هذه البروتينات في عملية تخزين بعض المركبات، مثل بروتين الفرتين FERRITIN المسؤول عن خزن الحديد في الطحال.

٦- بروتينات تقلصية CONTRACTILE PROTEINS: تعرف هذه المجموعة ببروتينات الأنسجة العضلية مثل بروتين الأكتين ACTIN والميوزين MYOSIN اللذين يعملان على تقلص العضلات.

٧- بروتينات دفاعية DEFENSE PROTEINS: لها دور مناعي وتعد المسؤولة عن مهاجمة الأجسام الغريبة التي تدخل الجسم أو الخلية. مثل الأضداد ANTIBODIES.

٨- بروتينات التعرف RECOGNITION PROTEINS: مسؤولةعن التعرف على الأجسام الغريبة. وتعرف هذه بالمستضدات ANTIGENS، وعادة ما توجد على سطح الأغشية الخلوية.

الحموض النووية
NUCLEIC ACIDS

السكرالخماسي Pentose Sugar

الأسس الآزوتية Nitrogen Bases

مجموعة الفوسفات Phosphate Group

بنية الدنا DNA والرنا RNA

البنية الثانوية للدنا DNAوالرنا RNA

الرنا المرسال(Messenger RNA (mRNA

الرنا الناقل Transfer RNA (tRNA)

الرنا الريبوزومي Ribosomal RNA (rRNA)

جزيء الـ ATP والخزن المؤقّت للطاقة

الحموض النووية NUCLEIC ACIDS

الحموض النووية هي جزيئات ضخمة على لها خطيّة غير متفرعة توجد في جميع الخلايا الحية بشكل حر أو مرتبط مع البروتين، وتتكون أساساً من وحدات بنائية عديدة من النوكليوتيدات NUCLEOTIDES.

تحمل الحموض النووية الصفات الوراثية، وتعد مسؤولة عن نقل المعلومات لتخليق البروتين، كما أنها تتحكم في ترجمة هذه المعلومات الى بروتينات امن خلال تحكمها في ترتيب الحموض الأمينية لكل بروتين .

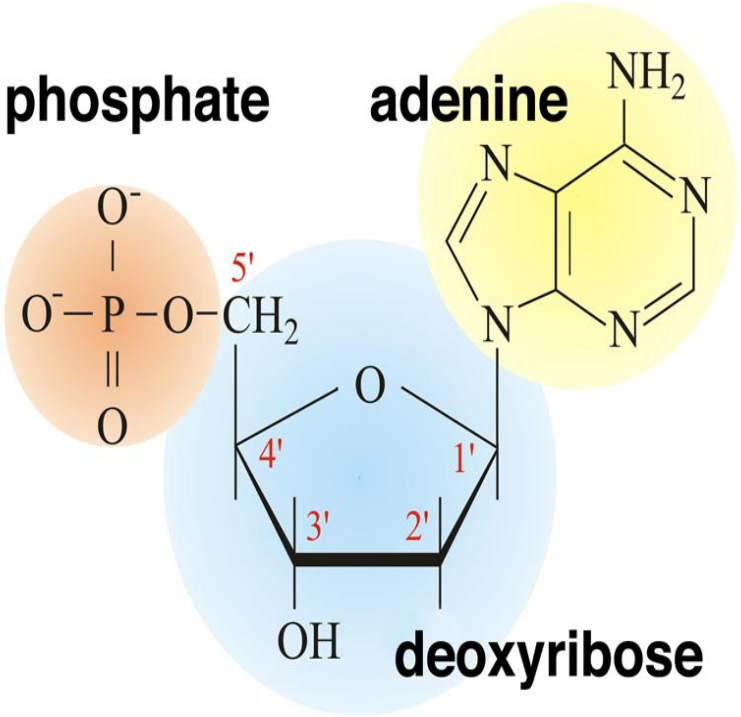
لا يقتصر وجود الحموض النووية فقد تبن وجوده ايضا في السيوبلاسما حيث أمكن العثور على كميات صغيرة من (DNA) في الميتوكوندري والصانعات الخضراء .

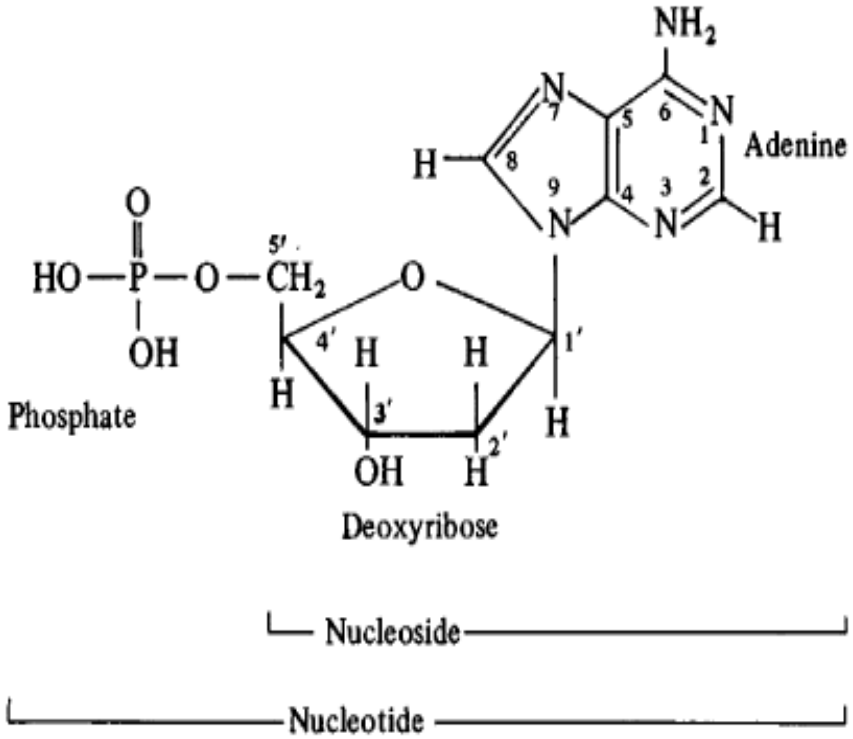
تحتوي الكائنات الحية على كميات متفاوتة من الحموض النووية بنوعيها الدنا DNA والرنا RNA، ويتألف الدنا والرنا من النيكليوتيدات التي ترتبط بعضها مع بعض بروابط فوسفاتية ثنائية الإستر PHOSPHODIESTER BONDS وتتكون من جزأين هما النكليوزيد NUCLEOSIDE ومجموعة الفوسفات.

يتركب النكليوزيد من ارتباط السكر بالأساس الآزوتي، يرتبط النيكلوزيد بالفوسفات ليعطي النيكلوتيد.

يمثل الDNA المادة الوراثية في جميع الكائنات باستثناء بعض انماط الفيروسات التي تكون لديها الRNAهو المادة الوراثية.

بنية النكليوتيد





- بنية نكليوزيد ونكليوتيد الأدنين منقوص الأكسجين أحد النكليوتيدات الأربعة المكوّنة للدنا.

السكرالخماسي PENTOSE SUGAR:

يدخل في بنية الحموض النووية نوعان من السكر الخماسي أحدهما D– ريبوز ويشاهد في حمض (RNA) والثاني الريبوز منقوص الأكسجين ويوجد في حمض (DNA) وقد أعطيت ذرات كربون السكر الخماسي الأرقام التالية (1`, 2`, 3`, 4`, 5`) لتمييزها عن الأرقام المعطاة لذرات الكربون والنيتروجين الموجودة في الأسس الآزوتية .

الأسس الآزوتية NITROGEN BASES:

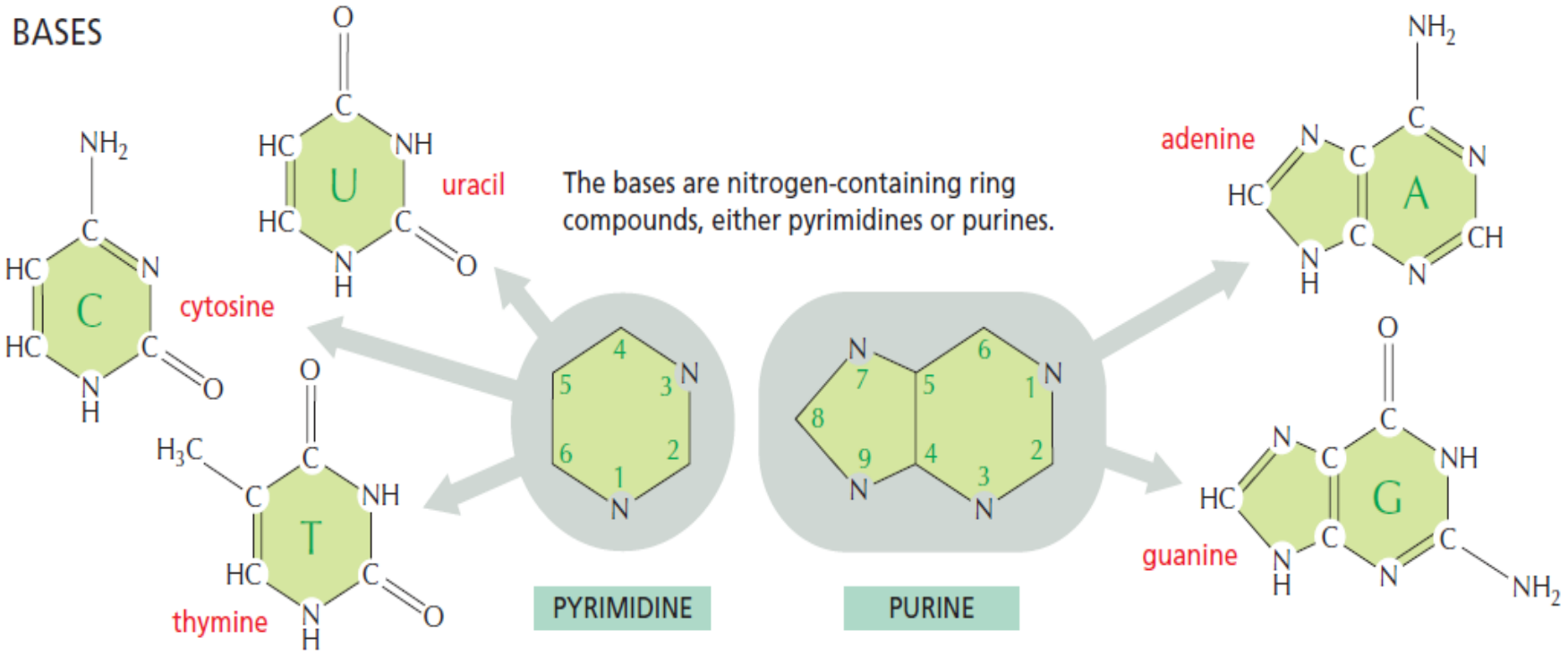
البيورينات PURINES: ويرجع مصدر هذه الأسس إلى مركب البيورين الذي يتكون من اتحاد حلقة البيريميدين السداسية بحلقة أخرى. وأهم مشتقات هذه القواعد الأدينين ADENINE و الغوانين GUANINE.

البيريميدينات PYRIMIDINES: هذه الأسس مشتقة من نواة البيريميدين باستبدال ذرات الهيدروجين الموجودة على كربون رقم ٢،٤،٥ بمجموعات أمينو أو هيدروكسيل أو ميثيل وأهمها السيتوزين CYTOSINE والثايمين THYMINE و اليوراسيل URACIL.

يحتوي كل من الحمضين النوويين DNA وRNA على القاعدتين الآزوتيتين من البيورين وهما الأدينين والغوانين، ونجد أيضاً أن كلاً من الحمضين النوويين DNA وRNA يحتويان على قاعدة آزوتية من نوع البيريميدين وهي سيتوزين CYTOSINE، ولكنهما يختلفان في القاعدة الآزوتية الثانية من نوع البيريميدين. فبينما يحتوي الحمض النووي RNA على القاعدة الآزوتية يوراسيل URACIL يحتوي الحمض النووي DNA على القاعدة الآزوتية ثايمين THYMINE.

مجموعة الفوسفات PHOSPHATE GROUP: تربط مجموعة الفوسفات بين مجموعات السكر الخماسية في سلاسل كل من الحمضين (DNA) و (RNA).

الأسس الآزوتية



الأسس الآزوتية الخمسة، البورينات (A و G) والبيريميدينات (C و T و U)

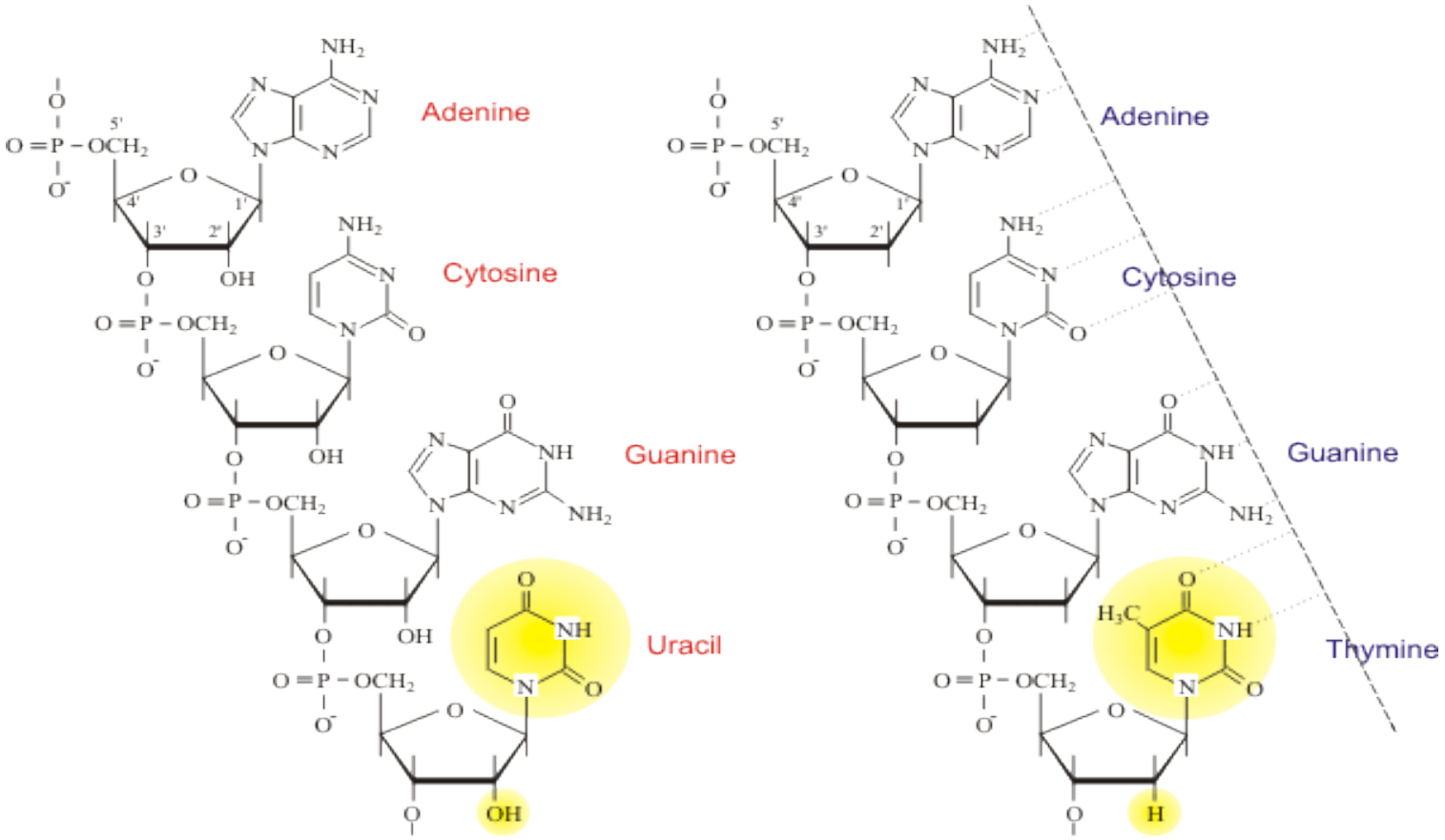
بنية الدنا DNA والرنا RNA:

البنية الأولية:

يتشكل النكليوتيد الواحد في الدنا والرنا من ارتباط أساس آزوتي مع سكر الريبوز منقوص الأكسجين (في الدنا) أو الريبوز (في الرنا) وحمض الفوسفور. يتم ارتباط الأساس الآزوتي البريميدين أو البيورين مع السكر الخماسي برابطة سكرية (غليكوزيدية)، ويحدث الارتباط بين ذرة الآزوت في الموقع (١) من الأسس البيريميدينية (تيمين وسيتوزين) وبين ذرة الكربون في الموقع ذي الرقم `1 للسكر أو بين ذرة الآزوت في الموقع ذي الرقم (٩) من الأسس البيورينية (أدنين أو غوانين) وبين ذرة الكربون `1 للسكر. من جهة أخرى، يرتبط حمض الفوسفور مع السكر برابطة استريه بذرة الكربون ا`5 للسكر. يرتبط كل نكليوتيد مع النكليوتيد الآخر في سلسلة الدنا أو الرنا برابطة إستريه تتشكل بين زمرة الهيدروكسيل المرتبطة مع الكربون `3 للسكر في النكليوتيد الأول وبين الفوسفور المرتبط مع الكربون `5 للنكليوتيد الثاني. وهكذا، تتمثّل البنية الأولية للدنا والرنا بسلسلة تتكون من عديد النكليوتيد يتعاقب فيها حمض الفوسفور والسكر الخماسي، بينما تتصل الأسس الآزوتية مع السكريات الخماسية عموديا على هذه السلسلة.

ويكون لسلسلة الدنا أو الرنا قطبية هي `5 - `3، وما يتغير على طول الساسلة هو نمط الاسس الازوتية وهو ما يمثل المعلومات الوراثية.

بنية الدنا DNA والرنا RNA



ارتباط نكليوتيدات الدنا أو الرنا مع بعضها البعض عن طريق رابطة استرية بين هدروكسيل الكربون `3 للنكليوتيد الأول وفوسفور الكربون `5 للنكليوتيد الثاني، وبحيث تكون قطبية عديد النكليوتيد هي `5 إلى `3. ويظهر الفرق بين الرنا والدنا في نوع السكر (الريبوز في الرنا والريبوز منقوص الأكسجين في الدنا) وفي كون الرنا يضم اليوراسيل بمقابل الثايمين في الدنا.

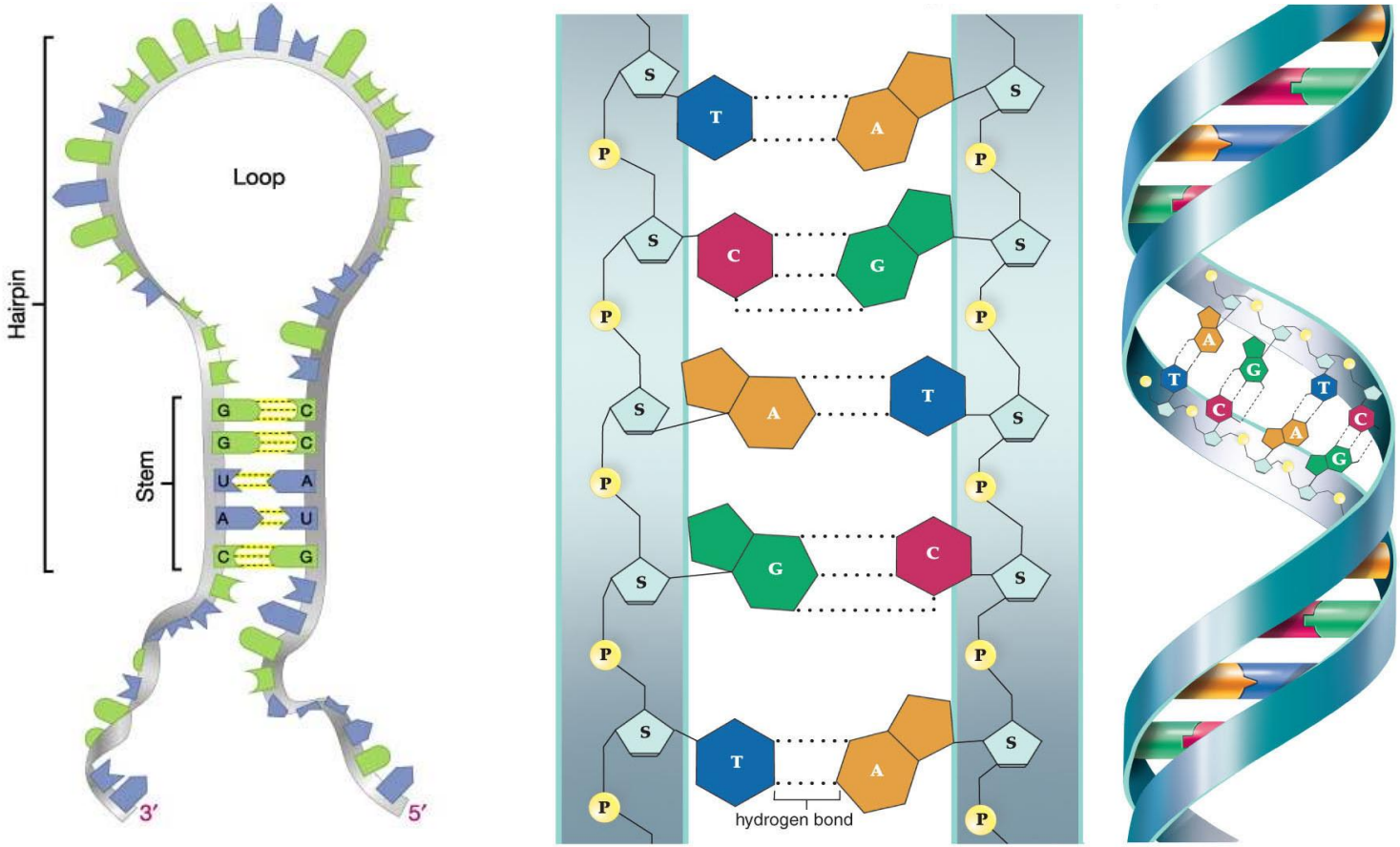
ـ البنية الثانوية للدنا DNA والرنا RNA:

يتألف جزيء الدنا حسب فرضية واطسون WATSONوكريك CRICK ١٩٥٣ من سلسلتين ملتفتين التفا حلزونيا يمينيا معاكسا ومنتظما حول محور واحد لتشكلا بذلك حلزوناً مضاعفاً يحقق لفة واحدة كل كل٣٤ أنغستروم A°، ينطبق في كل لفة عشرة اشفاع من النيكلوتيدات وبحيث يشغل كل شفع ٣,٤ انغستروم ,ويكون للسلسلتين قطبية معاكسة يؤدي نمط الالتفاف الى ظهور فراغات على سطحه تدعى بالأخاديد الكبيرة والصغيرة

تتحد سلسلتا الدنا بارتباط الأسس البيورينية مع الأسس البيريميدنية التي تقابلها، فيرتبط الأدينين A مع ثايمين T برابطتين هيدروجينيتين بينما يرتبط الغوانين G مع السيتوزين C بثلاث روابط هيدروجينية .

أما بالنسبة للرنا RNA، وعلى الرغم من كونه يتألف من سلسلة وحيدة، فتكثر المواقع التي تحصل فيها بنية ثانوية بحيث تلتف السلسلة على نفسها مشكّلة بنية تتقابل فيها الأسس المتممة، وتشكل روابط هيدروجينية مماثلة لتلك التي تشكّلها في جزيء الدنا، ومن مناطق يغيب فيها التقابل بين الأسس. وفي الواقع، يمكن لهذه البنى الثانوية لجزيء الرنا أن تكون بسيطة كما هي في بنية الرنا الناقل، أو شديدة التعقيد كما في بنية الرنا الريبوزومي او تغيب كليا كما هو الحال في الRNA الرسول .

البنية الثانوية للدنا DNA والرنا RNA



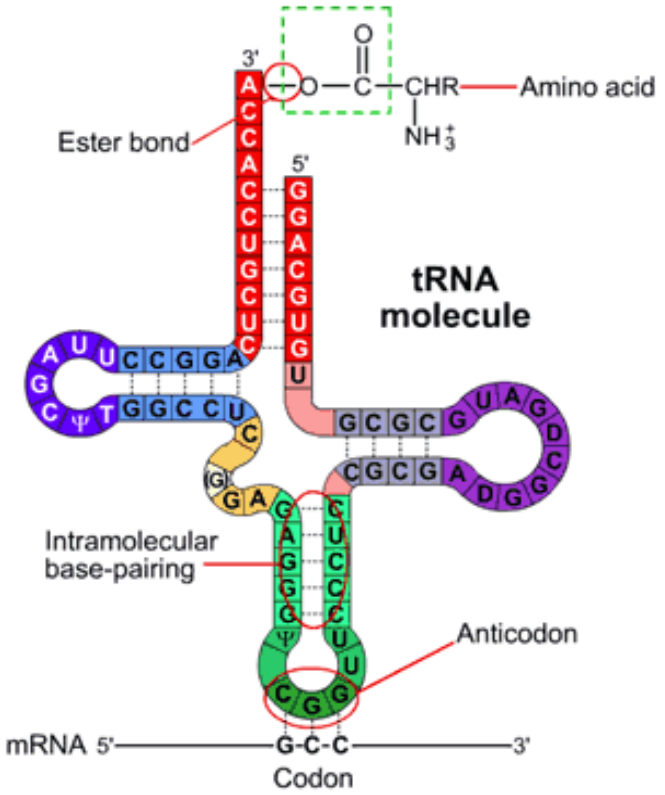
RNA

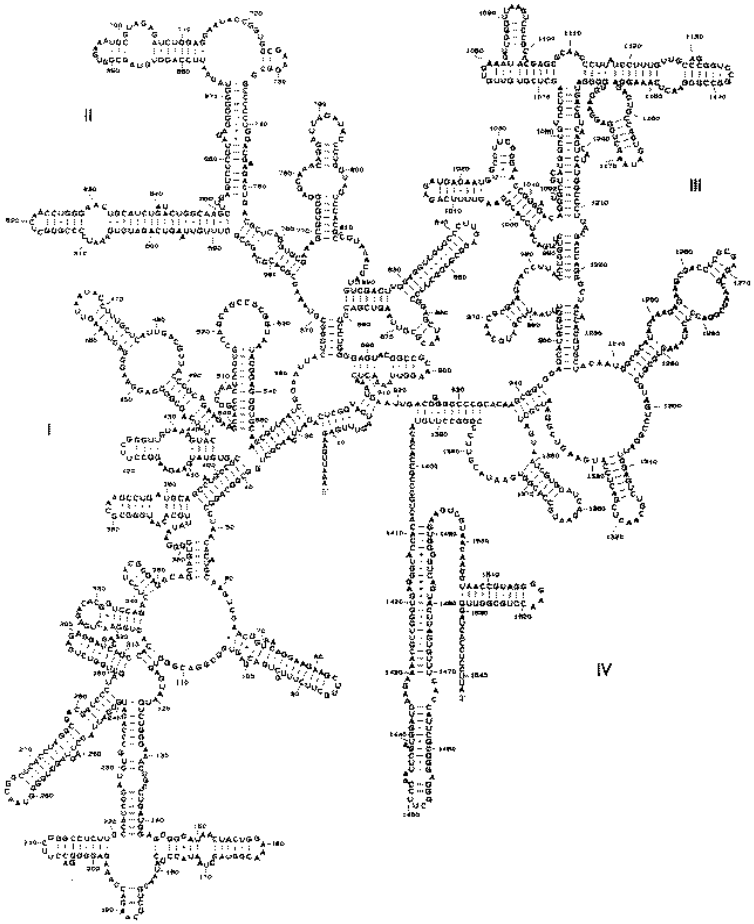
DNA: ladder configuration

DNA: double helix

البية الثانوية لكل من الدنا والرنا. يرتبط طاقا الدنا مع بعضهما بواسطة روابط هيدروجينية (رابطتان بين A و T، وثلاث روابط بين G و C) ويشكّل طاقا الدنا المتوازيان والمتعاكسان بالقطبية التفافاً حلزونياً. وبالنسبة للرنا، تظهر البنية الثانوية في أجزاء من الرنا حيث يلتف الطاق الوحيد للرنا على نفسه لتتقابل الأسس المتممة (A و U) و (G و C) لتشكّل بنية ملقط الشعر Hairpin المؤلفة من الساق Stemوالعروة Loop.

البنية الثانوية المعقّدة للرنا RNA





البنية الثانوية لجزيء الرنا الناقل tRNA (إلى اليسار) وشديدة التعقيد لجزيء الرنا الريبوزومي 16S rRNA (إلى اليمين).

انماط الRNA:

الرنا المرسال(MESSENGER RNA (MRNA: وتتمثل وظيفة في نقل المعلومات الوراثية المسجلة في الدنا إلى الريبوزومات في سيتوبلازما الخلية. حيث تتم الترجمة وتركيب بروتين يحدد بنيته الأولية تسلسل النكليوتيدات في الدنا . يوجد الرنا المرسال في النواة والسيتوبلازما للخلية على عكس الدنا الذي يوجد في النواة، فيما عدا الدنا الموجود داخل الميتكوندري. ويتألف الرنا المرسال من تتاليات ثلاثية للأسس النكليوتيدية يشكّل كل منها شيفرة CODON لأحد الحموض الأمينية العشرين.

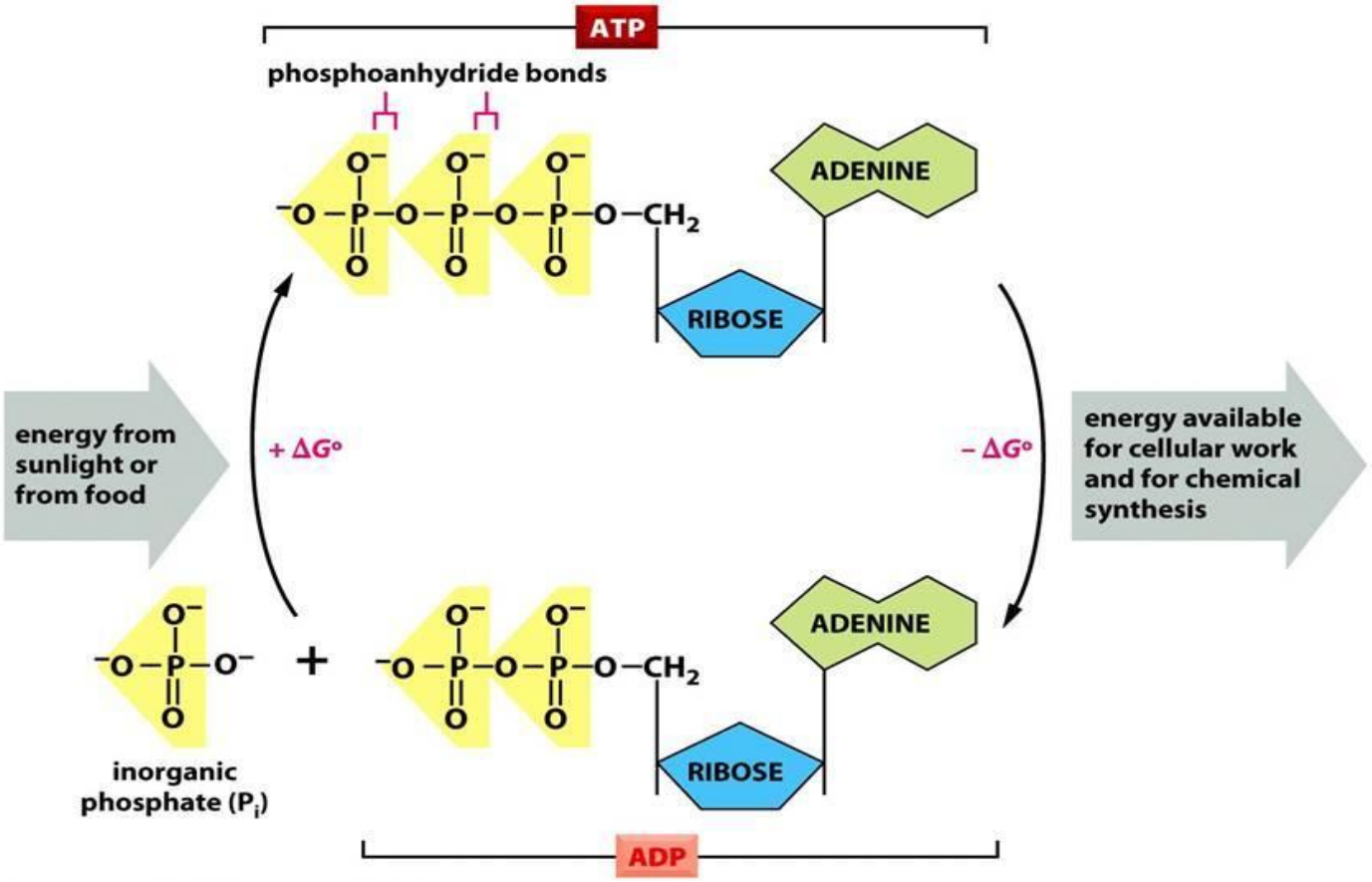
الرنا الناقل (TRANSFER RNA (TRNA: يؤدي وظيفة نقل الحموض الأمينية النوعية إلى مكان اصطناع البروتينات في الريبوزومات. ويؤلف هذا الحمض نحو ١٥ % من الرناللخلية. ويحتوي الرنا الناقل على الشيفرة المعاكسة الانتيكودون، وهي ثلاثية نكليوتيدية متممة لإحدى الشيفرات الوراثية في الرنا المرسال وهكذا، فإن الرنا الناقل النوعي يتعرف على الشيفرة في الرنا المرسال عبر شيفرته المعاكسةولكل حمض اميني RNA ناقلنوعي على الاقل.

الرنا الريبوزومي (RIBOSOMAL RNA (RRNA: يدخل هذا النوع من الرنا في تركيب الريبوزومات (الجسيمات الريبية) إذ تصل نسبته إلى ٦٠ % من كتلة الريبوزومات الكلية بينما تبلغ في البروتينات ٤٠%. وتختلف ثابتة التثفيل SVEDBERG CENTRIFUGATION CONSTANT لجزيئات الرنا الريبوزومي باختلاف نماذجها. فعند طليعيات النوى تبلغ 16S و 23S و 5S وتبلغ عند حقيقيات النوى28S و و18S و 7S و 5S.

الـ ATP والخزن المؤقّت للطاقة :

على الرغم من أن الحموض النووية لا تعدّ من الجزيئات الكبرية الخازنة للطاقة، كما هي حال السكريات والدسم والبروتينات، يمثّل أحد النكليوتيدات وهو الأدينوزين ثلاثي الفسفات ADENOSINE TRI PHOSPHATE أو ATP الشكل الرئيسي لنقل الطاقة الضرورية للعمليات الحيوية في كل أرجاء الخلية.
تقوم الخلايا النباتية بامتصاص طاقة الشمس وخزنها في السكريات بعملية التركيب الضوئي لتنتقل السكريات كغذاء إلى الحيوانات. وفي كلتا الخلايا النباتية والحيوانية تتم أكسدة السكريات في الميتوكوندري وتحرير الطاقة المختزنة في الروابط C-C لتخزّن هذه الطاقة وبشكل مؤقّت في الرابطة عالية الطاقة وسهلة التفكك بين الفوسفات الثالثة والثانية في جزيء الـ ATP المصطنع بدءاً من جزيء الأدينوزين ثنائي الفسفات ADP والفسفات اللاعضوي.

جزيء الـ ATP والخزن المؤقّت للطاقة



بنية جزيء الـ ATP، وتتوضح الرابطة بين مجموعة الفسفات الأخيرة والتي تتحطّم بتفاعل حلمهة لتعطي ADP ومجموعة فسفات غير عضوية إضافةً لتحرير طاقة الرابطة المتفككة لتستخدم في العمليات الحيوية داخل الخلية.