الفصل الثالث

البروتوبلازم The protoplasm

البروتوبلازم هو المادة الحية التى تتكون منها جميع الكائنات الحية : حيوانية كانت او نباتية والتى بدونها تنعدم الحياة ، ولهذا فقد عرفه **هكسلى** (Huxley) فى عام ١٨٦٨ على أنه " الأساس الطبيعى للحياة " إذ أن جميع الوظائف التى يقوم بها الكائن الحى ترجع إلى التغيرات الكيميائية والفيزيقية التى تحدث فى البروتوبلازم .

ويطلق لفظ بروتوبلازم على المواد المختلفة التى يتكون منها كل من السيتوبلازم والنواة ، أما المحتويات غير الحية مثل حبيبات المح (Yolk granules) فى البويضات وحبيبات الإفراز (secretory granules) فى الخلايا الغدية وغيرها فتوجد فى الستوبلازم نتيجة لنشاط السيتوبلازم أو النواة أو كليهما . ومعنى ذلك أن تلك المواد تتكون نتيجة لنشاط البروتوبلازم لكنها لا تشكل جزءا منه ، ويطلق عليها بصورة عامة المواد " **غير الحية** " (metaplasm or deutoplasm) . وتختلف مادة البروتوبلازم من نوع من الخلايا إلى نوع آخر . وهى مميزة لخلايا الأعضاء والأنسجة المختلفة .

التركيب الكيمائى للبروتوبلازم : Chemical composition of protoplasm

إن التركيب الكيميائى للبروتوبلازم غير معروف على وجه الدقة إذ لا يمكن تحليل البروتوبلازم دون قتله بواسطة مواد كيميائية ، وبهذا تحدث فيه تغيرات كيميائية ، كما أن البروتوبلازم يحتوى فى العادة على بعض افرازاته وبذلك لا يكون تحليله دقيقا . علاوة على هذا فإن البروتوبلازم يختلف من نوع من الخلايا الى نوع آخر ؛ فبروتوبلازم الخلية الكبدية يختلف عن مثيله فى الخلية العصبية وهكذا . إلا أنه على الرغم من ذلك فقد أثبتت التحاليل الكيميائية بأن البروتوبلازم فى جميع الأنسجة يحتوى على الكربون والهيدروجين والاكسجين والأزوت بنسب مختلفة ، كما أن به عناصر أخرى مثل الكالسيوم والكبريت والفسفور والمغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والحديد والكلور . وتتحد بعض العناصر مع بعضها مكونة موادا عضوية كالبروتينات . والكربوهيدراتات والدهون أو مواد غير عضوية مثل الأملاح غير العضوية (أو الأيونات المعدنية) والماء .

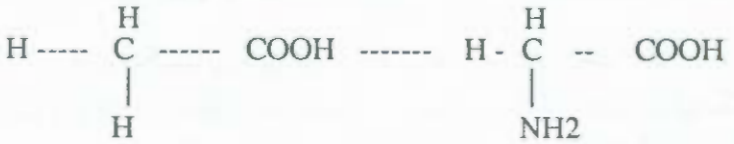
المركبات العضوية فى الخلية : Organic comporents of the cell

أ - البروتينات " Proteins "

البروتينات هـى أكثـر المركبات العضوية انتشارا فى البروتوبلازم الحيوانى . والبروتينات مميزة للمادة الحية والمواد المشتقة منها ، كما أنها تلعب دورا هاما فى بناء الأنسجة .

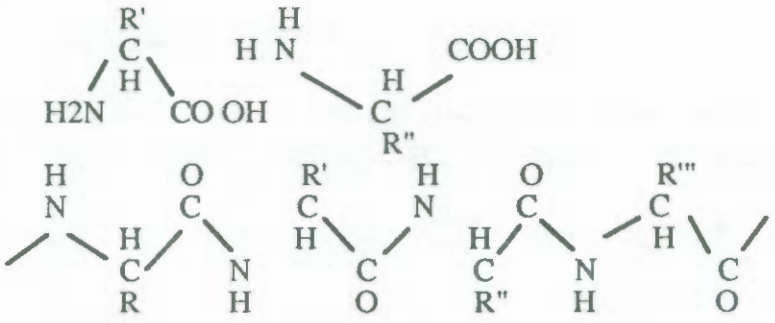
وتشتمل البروتينات على الكربون (C) والهيدروجين (H) والأكسجين (O) والنيتروجين (N) ، بالإضافة إلى كميات ضئيلة من الكبريت (S) والفوسفور (P) أو غيرها من العناصر . وجزيئات البروتين معقدة التركيب ووحداتها التركيبية هى **الأحماض الأمينية** (amino acids) التى تتميز بقابليتها الشديدة للاتحاد مع بعضها فى أنماط مختلفة ، كما يمكنها الاتحاد مع غيرها من المواد فينتج عن ذلك عدد كبير جدا من البروتينات ولذلك فإنه من المتعذر وضع صيغة كيميائية للبروتوبلازم .

والأحماض الأمينية هى أحماض عضوية تحتوى على مجموعة الأمينية ($-NH_2$) amino group ؛ وبعبارة أخرى ، فإن الأحماض الأمينية مشتقة من الأحماض الآليفاتية ، مثل حامـض الخليك (CH_3 COO H) وذلك باسـتبدال ذرة ألفاهيـدروجين بمجموعة الامونيا :



Acetic acid Amino acetic acid (Glycine)

ويمكن للأحماض الأمينية أن تتحد ببعضها مكونة سلاسل طويلة ؛ وترجع هذة الخاصة إلى وجود مجموعة الكربوكسيل الحمضية (-COOH) ومجموعة الأمونيا القاعدية (-NH2) فى كل جزىء من جزيئات الحمض الأمينى . ويطلق على مثل تلك المواد التى تحتوى فى نفس الوقت على مجموعة حمضية ومجموعة قاعدية اسم المواد متردد الخواص أى ذات التفاعلين " قاعدة حمض " (amphoteric) ويتم اتحاد الأحماض الأمينية لتكوين جزىء من البروتين بطريقة معينة يحدث أثناءها اتحاد الشق الحمضى فى أحد الجزيئات بالشق القاعدى فى الجزىء الذى يلية مع فقدان جزىء من الماء:



(تمثل كل من R, R', R" , R الشق فى كل حمض نووى)

وترجع أهمية البروتينات فى النشاط البروتوبلازمى جزئيا إلي خواصها المترددة : فهى قد تعمل – تحت ظروف خاصة – كقواعد أو تعمل كأحماض ، وعلى وجه العموم فإنها تعمل أثناء الحياة كمركبات حمضية .

وللأحماض الأمينية أهمية فسيولوجية كبيرة ، وذلك لأن البروتينات الموجودة فى المواد الغذائية تتحول الى أحماض أمينية أثناء عملية الهضم . ويتم ذلك بمساعدة بعض الأنزيمات على الوجة الآتى :

البروتينات (Proteins) ← بروتيوزات (Proteoses) ← ببتونات (Peptones) ← عديدة الببتيدات (Polypeptides) ← ثنائية الببتيدات (Dipeptides) ← أحماض أمينية (amino acids) .وتمر هذة الأحماض الأمينية الى الدورة الدموية التى تحملها إلى الخلايا حيث يتم تحويلها إلى بروتينات حيوانية (اى بروتينات خاصة شبيهة ببروتينات الجسم) وذلك تحت تأثير بعض الانزيمات الخلوية . ويمكن الحصول على الأحماض الأمينية من البروتينات بواسطة التحلل المائى (hydrolysis) فى وجود الأحماض أو القلويات أو الانزيمات الهاضمة . ويتكون من الأحماض الأمينية الطليقة (الحرة) ما يسمى بركة **الأحماض الأمينية** (amino-acid pool) التى تتخير منها كل خلية احتياجاتها لتبنى لنفسها البروتينات اللازمة لها . ومن ذلك يتضح أن البروتينات هى المسئولة عن إضافة مواد جديدة تساعد الكائن الحى على النمو أو على تعويض ما يتلف أو يفقد من جسمه .

أنواع البروتينات "Types of proteins"

يمكن تقسيم البروتينات إلى ثلاثة أنواع :

١- **بروتينات بسيطة** (Simple proteins) وتعطى عند تحللها أحماضا امينية فقط . وأهم هذه البروتينات : الالبومين والجلوبيولين والهستونات والبروتامينات :

أ - الألبومينات (Aloumins) وهى تذوب فى الماء وتتجلط بفعل الحرارة .

ب - الجلوبيولينات (Gobulins) وتذوب فى الأحماض والقلويات ومحاليل الاملاح ولكنها لا تذوب فى الماء .

جـ - الهستونات (Histones) وتذوب فى الماء ولكن لا تذوب فى الأمونيا المخففة . وقد تتحد الهستونات مع الأحماض النووية مكونة هستونات نووية كالتى توجد فى كثير من الخلايا كخلايا البنكرياس والغدة السيموسية .

د - البروتامينات (Protamines) وهى تذوب فى الماء ولكنها لا تتجلط بالحرارة ، وقد تتحد أيضا مع الأحماض النووية مكونة بروتينات نووية .

٢ - **البروتينات المرتبطة** (Conjugated proteins) وتشتمل على الانواع التى يكون فيها أحد البوتينات البسيطة متحدا بمادة أخرى . وتوجد من البروتينات المرتبطة الانواع التالية :

أ - البروتينات النووية (Nucleo proteins) وتنتج عن اتحاد البروتين مع الأحماض النووية . وتلعب هذه المركبات دورا هاما فى الأنشطة الحيوية للخلية ، كما أنها المكونات الأساسية للكروموسومات . وتختلف الكائنات الحية عن بعضها تبعا لاختلاف محتوياتها من هذه البروتينات .

ب - البروتينات السكرية (Clycoproteins) أو المخاطية (Mucoproteins) . وتكون فيها البروتينات متحدة بمادة كبريوهيدراتية مثال ذلك المادة المخاطية (mucin) .

جـ - البروتينات الدهنية (Lipoproteins) وتشتمل على مجموعة من المواد ذات الأهمية البيولوجية البالغة التى تتميز بالوانها المختلفة . ويتبع هذه المجموعة الهيموجلوبين والهيوسيانين وسلسلة من الانزيمات التنفسية مثل انزيمات السيتوكروم وبروتينات الفلافين .

٣ - **البروتينات المشتقة** (Derived proteins) وتشتمل على البروتينات المتجلطة والبروتينات المتحللة جزئيا ومنها البروتيوزات (proteoses) والببتونات (peptones) وعديدات الببتيد (polypeptides) .

دور البروتينات كدعامات ميكانيكية :

Role of proteins as mechanical support

تعتبر البوتينات من أهم المواد التى تدخل فى التركيبات الهيكلية ذات الأهمية الكبيرة فى تكوين الدعامة الميكانيية للجسم وذلك مثل الألياف البيضاء والألياف الصفراء والغضاريف والعضلات والقشور (الحراشيف) والأشعة الزعنفية .

بالإضافة الى ذلك فقد أوضح **ميكروسكوب الاستقطاب الضوئى** (Polarization microscope) وجود خيوط (بروتينية) بالغة الدقة فى كثير من التراكيب ، وذلك مثل الأهداب والأسواط والجزيئات العضلية فى الأوليات ، وفى ذيول الحيوانات المنوية والأشعة النجمية والخيوط المغزلية . كما تحتوى الأهداب المتحركة وجذيراتها على حبيبات بروتينية مترتبة فى الاتجاه المحورى لهذه الأجسام .

ويرى كثير من علماء الخلية أن هناك تركيبا داخليا فى الخلية يطلق عليه هيكل الخلية (Cytoskeleton) يتكون من شبكة من الخيوط الدقيقة المنتشرة فى أنحاء السيتوبلازم والتى يعزى اليها تدعيم البروتوبلازم والحفاظ على خواصه الميكانيكية . بالاضافة الى هذا فإنها مسئولة عن تغير الحالة الطبيعية للبروتوبلازم من الحالة الصلبة الى السائلة وبالعكس .

ويمكن مشاهدة هذه البروتينات الشبكية بوضوح فى بعض الكائنات مثل البلازموديوم ، فعند ما يضغط هذا الكائن بابرة دقيقة تظهر خيوط مرنة تقاوم ضغط الإبرة . بالإضافة إلى ذلك فان بعض العلماء يرون أنه يوجد تركيب بروتينى معين يسمى **الليبسين** (ellipsin) يتبقى فى الخلية بعد أن تزول منها جميع المحتويات البروتينية

الذائبة . وتكون هذه المادة اساسا لبعض التراكيب الخلوية الدائمة مثل بروتينات النواة والسيتوبلازم .

ب - المواد الكربوهيدراتية (CARBOHYDRATES)

الكربوهيدراتات مركبات من الكربون والهيدروجين والأكسجين يكون فيها العنصران الأخيران متحدين بنسبة ١:٢ ، وهى نفس نسبة وجودهما فى الماء . وأهم هذه المركبات فى الجسم **سكر العنب** (الجلوكوز)(glucose) **وسكر اللبن الأحادى** (جالاكتوز galactose) **والجليكوجين** (glycogen) . وتتحول الكربوهيدرات التى يحصل عليها الجسم إلى سكريات بسيطة قبل امتصاصها . وتتم أكسدة تلك السكريات مكونة بذلك أهم مصادر توليد الطاقة الحرارية التى يستهلكها الجسم فى أداء وظائفه المختلفة .

ويمكن تقسيم المواد الكربوهيدراتية الى مواد أحادية التسكر وثنائية التسكر وعديدة التسكر ، ويطلق على النوعين الأول والثانى المواد السكرية بسبب حلاوة طعمها ، كما أنها قابلة للذوبان فى الماء والكحول والانتشار خلال الأغشية مشبعة المنفذة . أما المواد عديدة التسكر فهى على العكس من ذلك تكون مع الماء محاليل غروية ، كما أنها غير قابلة للتبلور ولا تنتشر خلال الأغشية شبه المنفذة .

المواد أحادية التسكر (monosaccharides) وهى سكريات بسيطة تركيبها العام ك$_{ن}$(يد$_{٢}$ أ)$_{ن}$. وأهم هذه المركبات فى الخلية الأنواع الخماسية والسداسية وهى توجد متحدة بالبروتينات والليبيدات . وتعتبر السكريات الخماسية من أهم مكونات الكروماتين النووى . وتدخل هذه المجموعة ضمن تكوين حامض الريبوز والذى أكسى ريبوز النوويين . أما الجلوكوز (ك$_{٦}$ يد$_{١٢}$ أ$_{٦}$) فهو السكر السداسى الذى يقوم بدور أساسى فى توفير الطاقة الحيوية اللازمة للجسم .

المواد ثنائية التسكر (disaccharides) : وتتكون من جزئين من المواد احادية التسكر مع فقدان جزئ من الماء :

$$\text{٢ ك}_{٦}\text{ يد}_{١٢}\text{ أ}_{٦} \xrightarrow{\text{- يد}_{٢}\text{ أ}} \text{ك}_{١٢}\text{ يد}_{٢٢}\text{ أ}_{١١}$$

ومن أهم هذه الأنواع **سكر القصب** (سيكروز Sucrose) **وسكر الشعير** (مالتوز maltose) فى النباتات **وسكر اللبن الثنائى** أو اللاكتوز (lectose) فى الحيوانات .

ويتكون سكر الشعير من الجلوكوز ، أما جزئ سكر اللبن الثنائى فيتكون من جزئ جلوكوز وجزئ سكر لبن أحادى (galactose) . ويتكون جزئ قصب السكر من جزئ جلوكوز وجزئ سكر فواكه (فركتوز Fructose) .

سكر شعير = جلوكوز + جلوكوز .
اللاكتوز (سكر لبن ثنائى) = جلوكوز + سكر لبن أحادى (جلاكتوز)
سكر قصب = جلوكوز + سكرفاكهة

المواد عديدة التسكر (polysaccharides) : وهى تتكون من عدة جزئيات وحيدة التسكر مع فقدان عدد مناظر من جزيئات الماء :

$$\text{ن ك}_6\text{يد}_{12}\text{أ}_6 \text{ ---------- } (\text{ك}_6\text{يد}_{10}\text{أ}_5)_{\text{ن}} - \text{ن يد}_2\text{أ}$$

ومن أهم المركبات عديدة التسكر : **النشا والسليلوز** فى النبات **والجليكوجين** فى الحيوان .

والنشا (Starch) ويمثل المواد الكربوهيدراتية المختزنة فى الخلايا النباتية . ويتم تكوينه من ثانى أكسيد الكربون والماء فى وجود الكلورفيل .

السيليلوز : (cellulose) : وهو التركيب الأساسى فى جدار معظم الخلايا النباتية ، كما يدخل فى تكوين مجموعة من التراكيب التى تكون الدعامة الهيكلية للنباتات .

الجليكوجين (Glycogen) : ويمكن اعتباره نشا حيوانيا حيث يمثل المواد الكربوهيدراتية المختزنة فى خلايا الحيوان . وهو مادة ذات أهمية بالغة بالنسبة للحيوانات . ويوجد طليقا فى كثير من الأنسجة ويمثل مصدرا للطاقة فى الجسم . وعلى الرغم من وجود الجليكوجين فى كثير من أنسجة الجسم إلا أن الجزء الأكبر منه يوجد فى خلايا الكبد وخلايا العضلات ، وتختلف كمية الجليكوجين تبعا لنوع الغذاء ، ولكنه

يكون حوالى ٣ ٪ من الوزن الكلى للكبد . والجليكوجين فى حالة تحلل وتكوين بصورة مستمرة حيث يتم تكوينه من جزيئات الجلوكوز فى الكبد ومن حامض اللبنيك الذى ينتج فى الخلايا العضلية (دورة باستير - ما يرهوف) . كما أنه من الممكن ان يتكون من البروتينات والأحماض الأمينية .

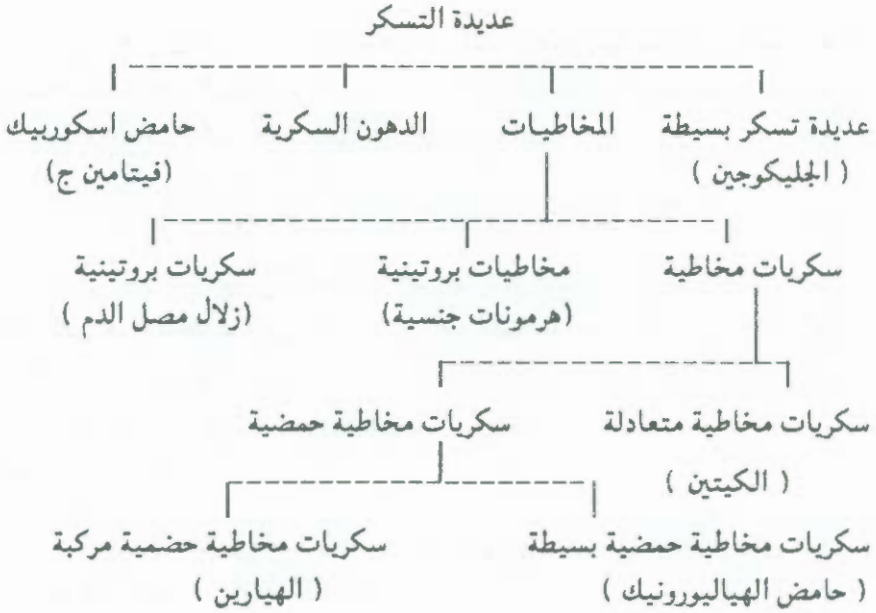
والجليكوجين قابل للذوبان الى حد ما فى الماء (١٥ - ٢٠ ٪) ومن الممكن أن يذوب فى البروتوبلازم . ومن الصعب توضيح الجليكوجين فى الخلايا الحية ولكن يمكن ترسيبه باستخدام بعض المثبتات ثم يوضح بعد ذلك هستوكيميائيا بواسطة تفاعل الأيودين الذى يعطى معه لونا أحمرا بنيا . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن الجليكوجين يعطى لونا احمر مع صبغ بست كارمين (Best carmine) كما يعطى لونا بنفسجيا داكنا مع تفاعل حامض بيرايوديك (PAS) .

السكريات المخاطية والمخاطيات البروتينية والسكريات البروتينية :
Mucopolysaccharides, Mucoproteins and Glyscoproteins

تشمل هذه الأنواع على العديد من المركبات ذات الأهمية الكبيرة فى التنظيم الجزيئى للخلية والمواد بين الخلوية .

فالسكريات المخاطية الحمضية ، وعلى الأخص منها **حامض هياليورنيك** (hyaluronic acid) **وكبريتات الكوندريتين** (chondroitin sulphuri) **وكبريتات موكيتين** (mucoitin sulphuric acid) لها أهمية خاصة من الناحية السيتولوجية . وتوجد هذه المواد الثلاث فى المادة الموجودة بين خلايا الأنسجة الضامة حيث تؤدى وظيفة ربط الأجزاء المختلفة وحمايتها . كما توجد هذه المواد أيضا فى الحبل السرى .

ويوجد حامض هياليورنيك فى السائل الزلالى فى المفاصل ، وفى الجسمين الزجاجى والمائى فى العين ، كما أنه يحيط بالكثير من الخلايا لحمايتها وإن كانت تسهل اذابته بواسطة إنزيم هياليورينيديز (Hyaluronidase) ويمكن تلخيص المواد عديدة التسكر فيما يلى :



الأحماض النووية (Nucleic acids)

تكون المواد الكربوهيدراتية مع بعض المواد الأخرى مركبات معينة كالبروتينات والأحماض الأمينية وغيرها . ومن هذه المركبات ذات الأهمية الخاصة من الناحية السيتولوجية مجموعة الأحماض النووية .

والأحماض النووية مركبات كيماوية بالغة الأهمية ، وتوجد فى جميع الكائنات الحية على هيئة حامض أو على هيئة نوع آخر يسمى دى أكسى ريبونيوكليك (ح ر ن) "RNA" (Ribonucleic acid) . وقد تحتوى بعض الڤيروسات على حامض الريبونيوكليك فقط مثال ذلك ڤيروس الطباق الموزايكى (Tobacco mosaic virus) وڤيروس الشلل (Poliomyelitis virus) أو يحتوى بعضها على حامض دى اكسى ريبونيوكليك فقط كاكلات البكتريا (bacteriophages) والفاكسينيا (Vaccinia) وأدينوڤيروس (adenovirus) ؛ أما البكتيريا والحيوانات الراقية فتحتوى على كلا النوعين من الحامض النووى .

ويوجد ح د ن (DNA) فى النواة ويكون معظم التركيب الكروموسومى (حوالى ٩٠ - ٩٥ ٪) وذلك عندما تكون الخلية فى حالة انقسـام . أما فى المرحلة البينية فيوجد ح د ن فى الكروماتين . وفى النـواة يتحد ح د ن مع البروتينات (الببتونات والبروتامينات) مكونا البروتينات النووية .

أما ح ر ن (RNA) فإنه يوجد فى الستوبلازم كما يوجد فى النواة حيث يكون بكميات قليلة فى النويات والكروموسومات والكروماتين) بينما يوجد بنسبة عالية فى السيتوبلازم حيث يكون جزءا كبيرا من الريبوسومات .

مكونات الأحماض النووية : Components of nucleic acids

التركيب الكيميائى للأحماض النووية بالغ التعقيد ، وهى تتكون نتيجة ارتباط عدد كبير من الوحدات التى يطلق عليها **نيوكليوتيدات** (nucleotides) . وتتكون كل نيوكليوتيدة (من ثلاثة جزيئات ، جزئ سكر خماسى (ريبوز دى اكسى ريبوز) يتصل به من احد جانبيه جزئ حامض فسفوريك ، ويتصل به من الجانب الاخر جزئ نيتروجين قاعدى (پيورين او پيريميدين) .

ويطلق على السكر الخماسى والنيتروجين القاعدى فى النيوكليوتيدة اسم **نيوكليوسيد** . (nucleoside)

ويربط حامض الفسفوريك النيوكليتيدات معا عن طريق ربط السكر الخماسى فى كل نيوكليوسيدين متتابعين برابطة استرفوسفاتية (ester phosphate bond) .

ويشتمل السكر **الخماسى** على نوعين ، نوع لكل حامض من الحامضين النوويين : سكر ريبوز فى حالة الحامض النووى ريبونيوكليك ، وسكر دى أكسى ريبوز بالنسبة لحامض دى أكسى ريبونيوكليك . ولكل من النوعين من السكر حلقة خماسية تشتمل على خمس ذرات كربون .

وتشتمل **البيريميدينات** القاعدية (pyrimidine bases) بصورة أساسية على سيتوسين (cytosine)، ثيمين (thymene) ، يوراسيل(Uracil) . ويوجد السيتوسين فى كل من ح د ن ، ح ر ن بينما يقتصر وجود الثيمين على ح د ن ويقتصر وجود اليوراسيل على ح ر ن . وبذلك يختلف ح د ن عن ح ر ن ليس فقط فى تركيب جزئ السكر ولكن أيضا فى واحد من البيريميدينات القاعدية .

وتشمل **البيورينا القاعدية** (purine bases) على ادينين (adenine) وجوانين (guanine) وكلاهما موجود في ح د ن ، ح ر ن . ومن الناحية التركيبية أو التنظيمية العامه يتكون جزئ ح د ن من سلسلتين عديدتى النيوكليوتيدات تمتدان بعكس بعضهما ، وهما ملتويتان على شكل حلزونى تسير لفاته حول محور رأسى مفرد .

وتتصل السلسلتان معا عن طريق الروابط الهيدروجينية لنيتروجيناتها القاعدية تبعا لنظام خاص بحيث يرتبط الأدينين فى إحداهما بالثيمين فى الآخر والسيتوسين بالجوانين فى السلسلة المواجهة لها . ويجب ملاحظة أن تغير تتابع النيتروجينات القاعدية فى سلسلة ح د ن هو اساس المعلومات الوراثية .

ويلعب ح ر ن دورا بالغ الأهمية فى تكوين البروتينات فى خلايا الجسم .

جـ - **الليبيدات** (Lipids) :

تضم المركبات الدهينة فى البروتوبلازم الدهون الحقيقية وعددا من المشتقات الأكثر تعقيدا كالفوسفوليبيدات وهى التى تحتوى على النيتروجين والفسفور - علاوة على الكربون والهيدروجين والأكسجين التى تتركب منها الدهون - والليبيدات غير قابلة تقريبا للذوبان فى الماء ولكنها تذوب فى المذيبات العضوية مثل البنزين وايثير البترولييوم والكلورفورم .

ويمكن تقسيم الليبيدات الى الأنواع التالية :

١ - **ليبيدات بسيطة** (simple lipids) وهى عبارة عن ايستيرات كحولية للأحماض الدهنية . وأهم هذه المركبات الدهون المتعادلة (neutral fats or glycerides) وتسمى عادة باسم الجليسريدات الثلاثية (triglycerides) وهى ايستيرات ثلاثية للأحماض الدهنية مع الجليسرول . والجليسرول كحول ثلاثى التميؤ (trihydric) تركيبه وصيغته الكيميائية هى :

$$\begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CH\ OH \\ | \\ CH_2OH \end{array}$$

ويتحد جزئ الجليسرول مع ثلاثة جزيئات من الحامض الدهنى مكونا جليسرول ثلاثى ، فمثلا يتحد مع ثلاثة جزيئات من حامض بيوتيريك (Butyric acid C_3H_7COOH) مكونا ثلاثى البيوثيرين (tributyrin) وهو أبسط أنواع الدهون ، ويوجد فى الزبد .

$$
\begin{array}{lcll}
CH_2OH & & HOOCC_2H_7 & CH_2.O.CO.C_3H_7 \\
 & & & | \\
CH\,OH & + & HOOCC_2H_7 \text{ -----} & CH.O.CO.C_3H_7 + 3H_2O \\
 & & & | \\
CH_2OH & & HOOCC_2H_7 & CH_2.\,O.\,CO.\,C_3H_7
\end{array}
$$

جليسرول　　حامض بيوتيريك　　ثلاثى البيوتيرين

وعلى ذلك تكون المعادلة العامة للدهون هى :

$$
\begin{array}{l}
CH_2.\,O.\,CO.\,R \\
| \\
CH\,.\,O.\,CO.\,R \\
| \\
CH_2.\,O.\,CO.\,R
\end{array}
$$

حيث تختلف R حسب نوع الحامض الدهنى الموجود .

وتعمل الجلسريدات الثلاثية كمخازن للطاقة وتشتمل بصورة أساسية على الدهون (الشحوم) والزيوت . وتكون الأولى فى الحالة الصلبة عند درجة ٢٠° مئوية بينما تكون الثانية فى الحالة السائلة عند هذه الدرجة . وعند التحلل المائى لهذه المركبات بواسطة مادة قلوية فإنها تعطى أحماضا دهنية .

٢ - الستيرويدات (Steroids) وتشتمل على بعض المواد مثل الهرمونات الجنسية وهرمونات قشرة الكظر وفيتامين د واحماض الصفراء .

وتعمل أحماض الصفراء على تمزيق البروتينات وتحويل الدهون إلى مستحلب ليسهل هضمها .

ويتكون كل ستيرويد من مجموعة حلقية أليفاتية (Aliphatic ring system) تشتمل على واحدة أو أكثر من الروابط الأليفاتية المزدوجة غير المشبعة وعدد من السلاسل الجانبية .

ويطلق على الستيرويدات التى تشتمل على مجموعة CH **ستيرولات** (Sterols) **والكوليسترول** (Cholesterol) أحد هذه الستيرولات واسعةالانتشار ويوجد فى الصفراء والمخ والغدد الكظرية وغيرها ، كما أنه المكون الرئيسى لدهن الصوف .

الأرجوسترول (Ergosterol) وهو استيرول موجود فى النبات ويوجد ايضا تحت الجلد ويتحول إلى ڤيتامين د المضاد للكساح تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية فى الضوء .

٣ - **الليبيدات المركبة أو المرتبطة** (Complex or conjugated lipids) وتحتوى على النيتروجين أو الفسفور والنيتروجين بالإضافة إلى الكربون والهيدروجين والأكسيجين الموجودة فى الدهون . وعلى ذلك فعند تحلل الليبيدات المركبة فانها تعطى علاوة على الكحول والأحماض الدهنية مركبات أخرى . ومن أمثلة الليبيدات المركبة مايأتى :

أ - **الفسفوليبيدات** (Phospholipids) وهى دهون تحتوى على الفسفات والنيتروجين مثل **الليسيثين** (Lecithin) **والسفالين** (Cephalin) **وسفينجوميلين** (Sphingomyelin) واسيتال الفسفوليبيدات (acetal phospholipids) .

ب - **الجليكوليبيدات** (Glycolipids) أو **السربروسيدات** (Cerebrocides)وهى عبارة عن أحماض دهنية متحدة مع النيتروجين ومحتوية على مواد كربوهيدراتية . وتوجد الفسفوليبيدات والسربروسيدات فى الأنسجة العصبية بصورة خاصة كمكونات رئيسية فى الميلين .

٤ - **الكاروتينويدات** " **الليبوكرومات** " (Carotenoids or lipochrones)

وهى صبغات خلوية حمراء وبرتقالية اللون لا تذوب فى الماء ولكنها تذوب فى المذيبات الدهنية ، ومنها الكاروتين (Carotene) الموجود فى الجزر والحشائش والزانثوفيل (Xanthophyl) فى الألياف وڤيتامين أ وصبغ صفار البيض .

٥ - **ليبيدات أخرى** (Other lipids) وذلك ثمل زانثوسيانين (Anthocyanin) الموجود فى النبات وشبيهات الميلانين الفينولية المتبلمرة والتى تذوب فيالمذيبات العضوية .

الدهون المرئية والمقنعة (Visible and masked lipids)

ومن الناحية السيتولوجية فإن من الأمور بالغة الأهمية هو التمييز بين الليبيدات المرئية والليبيدات المقنعة . وتعرف الأنواع الأولى بأنها تلك التى يمكن توضيحها مباشرة كقطرات مضيئة تعمل على انكسار الضوء وتعطى نتائج موجبة عند الكشف عن الدهون باستخدام الصبغات الدهنية أو رباعى الأوزميوم . أما الليبيدات المقنعة فإنها لا تعطى

تفاعلا موجبا مع الطرق المذكورة آنفا إلا إذا تم تحرره أو إزالة الأقنعة البروتينية عنها بواسطة الإنزيمات الخاصة بتحليل البروتينات .

أهمية الدهون فى الأنسجة الجسمية :

Significance of lipids in body tissues

تتوقف أهمية الدهون والدور الذى تلعبه فى الأنسجة الجسمية على موقعها وطريقة تواجدها فى تلك الأنسجة . فالجليسريدات تعمل كمخازن للطاقة الحرارية (أي يعتمد عليها الحيوان كمصدر للطاقة فى صورة حرارة) كما توفر الحماية ضد البرودة وأى أذى يلحق بالجسم . ويلعب الليسيثين دورا هاما فى المناشط الأيضية فى الكبد . وتوجد الفسفوليبيدات والسريبروسيدات بصفة أساسية فى النسيج العصبى كمكونات للميلين . وتعمل أحماض الصفراء على تحويل الدهون إلى مستحلب ، وبذلك تساعد فى هضمها . والكوليسترول هام فى تنظيم الخواص الميكانيكية للشعر وبشرة الجلد.

وتوجد الدهون فى كثير من أنسجة الجسم وفى مخازن الدهون حيث يكون الدهن مختزنا فيها على هيئة دهون متعادلة (جليسريدات ثلاثية) بينما تتكون دهون الأنسجة من نوعين ، دهون متعادلة وفسفوليبيدات حيث يوجد النوع الأول على هيئة دهون مختزنة بينما يوجد النوع الثانى كتركيب دهنى أساسى فى مادة البروتوبلازم .

وفى حالة الجوع ، تتناقص كمية الدهون المتعادلة فى الأنسجة بشكل واضح بينما لا تكاد تتأثر الفسفوليبيدات . فعلى سبيل المثال ،تظل محتويات أنسجة المخ من الفسفوليبيدات عند معدل مرتفع أثناء الصوم أو الجوع وذلك لأن الفسفوليبيدات فى أنسجة المخ ليست دهنا مختزنا ولكنها مواد ضرورية للمناشط الحيوية لهذه الانسجة .

ومن ذلك يتضح انه يمكن تصنيف الدهون تحت قسمين رئيسيين :

أ - **دهون دائمة** (Constant fats) : وهى الفسفوليبيدات ، بصورة رئيسية وهذه لا تختفى أثناء الجوع .

ب - **دهون متغيرة** : (Variable lipids) وتمثل الدهون المختزنة والتى يستخدمها الجسم اثناء الجوع أو الصيام . وقد أظهرت البحـــوث الحديثة ان الفسفوليبيدات ، خاصة فى الكبد ، قد تختزن على هيئة مركبات معقدة من الفسفوليبيدات والبروتينات المتحدة مع الأحماض النووية (nucleoproteins) وتلعب هذه

المركبات دورا رئيسيا فى عملية الأيض (Cellular metabolism) وقد تستخدم أثناء الجوع أو الصيام .

ويزداد معدل الدهون فى الكبد بشكل واضح فى بعض الأحوال كحالات التسمم بالزرنيخ أو الفسفور أو رباعى كلوريد الكربون أو بعض العقاقير الأخرى أو الإصابة بحالات مرضية معينة . ويلعب الكبد على وجه العموم دورا بالغ الأهمية فى عملية الأيض الخاصة بالدهون ، فيحتوى الكبد العادى على حوالى ٤ ٪ ليبيدات منها ٢٥ ٪ دهون أساسية ، ٧٥ ٪ فسفوليبيدات . ويزداد معدل الدهون فى الكبد خلال الفترات الأولى للتصويم أو التجويع وذلك لأن المواد الدهنية ترد من مخازن الدهون فى الجسم إلى الكبد لأكسدتها . وعندما يستنفذ الدهن المخزون فإن المحتوى الدهنى للكبد يأخذ تدريجيا فى النقصان .

المكونات غير العضوية فى الخلايا : Inorganic components of the cells

توجد المحتويات غير العضوية فى البروتوبلازم على هيئة أملاح متحدة مع البروتينات أو الكربوهيدراتات او الليبيدات . وقد تتحد مع الأحماض الأمينية مكونة هرمونا (مثل الثيروكسين) ، أو مع البروتينات مكونة مركبات معينة مثل الهيموجلوبين (الحديد) او السيتوكروم (الحديد) أو الهيموسيانين (النحاس) وغيرها ، كما تتحد مع البيورينات او البريميدينات والسكر الخماسى فى النيوكلوتيدات (Nucleotides) .

وتتحلل الأملاح إلى أنيونات (anions) مثل الكلور (كل :- cl) وكاتيونات (cations) مثل الصوديوم (ص$^{+}$ Na^{+}) والبوتاسيوم (بو$^{+}$: K^{+}) وهى مهمة جدا فى تنظيم الضغط الأسموزى والمحافظة على التوازن الحمضى - القاعدى للخلية .

ويختلف تركيز الأيونات المختلفة فى المادة داخل الخلية وخارجها ، فعلى سبيل المثال تحتوى الخلية على نسبة مرتفعة من البوتاسيوم - بو$^{+}$ (K^{+}) ، المنجنيز - م$^{++}$ (Mg^{++}) ، بينما يوجد كل من ص+ ، كل - بصورة أساسية فى السائل الموجود خارج الخلايا . والأنيون (anion) السائد فى الخلايا هو الفوسفات ، كما يوجد أيضا بعض البيكربونات .

ويوجد الكالسيوم فى الدم وفى الخلايا على هيئة أيونات طليقة . أما فى حالة العظم فيوجد الكالسيوم متحدا مع أيونات الفسفات والكربونات ، وتوجد أيونات الفوسفات أيضا فى الدم وفى سوائل الجسم ، ويوجد معظمها متحدا مع الليبيدات مكونا الفسفوليبيدات ، ومع السكر الخماسى والنيتروجينات القاعدية فى النيوكلوتيدات ، كما يوجد متحدا مع البروتينات . وبالاضافة إلى هذا فإن أنسجة الجسم يوجد بها أيونات أخرى مثل الكبويتات والكربونات والبيكربونات والمغنسيوم والأحماض الأمينية .

وفى بعض الأجزاء يكون الحديد غير متأين كما هو الحال فى الهيموجلوبين والسيتوكرومات وبعض الانزيما كأنزيم **كاتاليز** (Catalase) **وسيتوكروم اكسيديز** (Cytochrome oxidase) .

ويجب أن يتوافر عدد من الأيونات المختلفة بصورة متوازنة حتى يمكن التحفاظ على الأنشطة الخلوية العادية .

المـاء (Water) :

يلعب الماء دورا بالغ الأهمية فى حياة الخلية . ولا توجد مادة تفوق أهميتها أهمية الماءفى الكائن الحى . فهو يعمل كمذيب طبيعى للأيونات المعدنية وغيرها . وهو وسط للتفاعلات الحيوية ويشـارك فى التفاعلات عن طريق التحلل المائى (التميؤ hydrolysis) أو الانتزاع المائى (dehydration) . ويعمل الماء كوسط تشتتى أو انتشارى له أهمية كبيرة بالنسبة للطبيعة الغروية للبروتوبلازم .

والماء مهم أيضا بالنسبة لعمليات تبادل المواد بين الخلية والوسط المحيط بها ، كما فى حالة عمليات التبادل التى تتم بين الخلايا واللمف .

ويستعمل الماء فى امتصاص الحرارة نظرا لما يتميز به من معامل حرارى مرتفع وبذلك فانه يمنع حدوث تغيرات شديدة فى درجات الحرارة تضر بالخلية .

ويكون الماء حوالى ٧٥ - ٨٥ ٪ من وزن البروتوبلازم . وتختلف كمية الماء فى الخلية اختلافا كبيرا تبعا للظروف المختلفة كما تختلف من نسيج إلى آخر . كذلك تتغير كمية الماء فى الخلايا تبعا للعمر ففى مراحل العمر المتأخرة تكون كمية الماء أقل عنها فى مراحل العمر المبكرة .

ويوجد الماء بصورة طليقة (free) أو مرتبطة (bound) فى أنسجة الكائن الحى . ويمثل الماء الحر أو الطليق حوالى ٩٥ ٪ من الكمية الإجمالية للماء فى الخلايا وذلك باستثناء خلايا العظام ، ويعمل هذا الماء كمذيب أساسى وكذلك كوسط للتفاعلات الحيوية فى الخلية ، أما الماء المرتبط (٥ ٪ تقريبا من كمية الماء الكلية فى الخلية) فانه يكون بصورة أساسية – مرتبطا بالمجموعات القطبية للبروتينات ، وبعبارة أخرى فان كمية معينة من الماء توجد مرتبطة "bound" فى التركيب الغروى للبروتوبلازم ويجب اعتبار هذا الماء جزءا مكملا للجهاز الحيوى للجسم .

ويقاوم الماء المتحد تأثيرات الحرارة المنخفضة حيث يبقى سائلا غير متجمد بينما يكون الماء الطليق قد تبلور . ويبدو أن هذا التبلور هو الذى يتسبب فى موت البروتوبلازم فى درجات الحرارة المنخفضة .

الخصائص الطبيعية (الفيزيقية) للبروتوبلازم :

Physical characteristics of protoplasm

البوتوبلازم جهاز غروى معقد وذلك لأنه يشتمل على خصائص الغرويات . وتتركب المادة الغروية (colloid) من حبيبات بالغة الدقة تسمى **المادة المنتشرة** أو الوسط المنتشر (dispersed phase) معلقة (أو عالقة) فى مادة أخرى يطلق عليها **الوسط الدائم** او الوسط الانتشارى (Continuous phase or dispersion medium) .

وتختلف المواد المذابة عن بعضها بالنسبة لقابليتها للانتشار خلال الأغشية العضوية . فبعض المواد مثل محاليل السكريات والأملاح تنتشر بسهولة خلال هذه الأغشية ، بينما مواد أخرى مثل محاليل النشا أو بياض البياض أو الجيلاتين لا تعبر خلال تلك الأغشية . ويطلق على محاليل النوع الأول **المحاليل البلورية** (crystalloids) وعلى الثانية **المحاليل الغروية** (colloids) . وتعطى لمحاليل الغروية عند تبخرها كتلا ليس لها شكل معين بينما يتخلف عن المحاليل البلورية بلورات لها أشكال مميزة .

ويوجد نوعان من الغرويات : نوع يعرف بالمعلقات(suspensoids) مثل الحبر الهندى وفيه تكون حبيبات الكربون الدقيقة المكونة للمادة المنتشرة معلقة فى السائل ، أما النوع الثانى فهو **المستحلب** (emulsoid) ويكون فيه كل من الوسط المنتشر والوسط الانتشارى سائلا كما فى اللبن الذى يتكون من حبيبات دهنية (القشدة) معلقة فى الماء . وعلى الرغم من أن كلا المادتين سائلتان إلا أنهما لا يختلطان معا .

وفى معظم المستحلبات يستطيع الوسطان أن يتبادلا مكانيهما أى أن المادة المستحلبة يمكن ان تتغير من حالة إلى حالة أخرى مثل محلول الجيلاتين فى الماء . هذا المحلول عند درجة حرارة معينة يكون الوسط الانتشارى فيه هو الجيلاتين ، وفى هذه الحالة تكون المادة الغروية فى حالة أقرب للصلابة (هلامية القوام) ويطلق عليها **جل** (gel) . وعند ما ترتفع درجة الحرارة يصبح الماء هو الوسط الانتشارى ويتحول المحلول الغروى إلى حالة أقرب الى السيولة . ويطلق علـــى هذه الحالة السائلة **صُلْ** (sol) . ويتميز البروتوبلازم بنفس هذه الخاصية بمعنى انه تحت تأثير بعض المؤثرات الداخلية أو الخارجية يستطيع ان يتحول من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة والعكس بالعكس ، وعلى ذلك فإن البروتوبلازم **مستحلب انعكاسى** (reversible emulsoid) . وبعبارة أخرى فإن قوام البروتوبلازم قد يختلف فى الخلايا المختلفـــة ، كما أنه يختلف من لحظة إلى أخرى فى الخلية الواحدة من حالة الســـيولة إلى حالة الصلابة . وهذا التغير انعكاسى (منعكس) ويطلق عليه الحالة " الجيلاتينية العكسية " أى القابلة للانعكاس (reversible gelation) sol --- gel . وهذا التحول الانعكاس (أو العكسى) هو أساس الحركة الأميبية .

وتكمن الأهمية البالغة للبروتوبلازم كمحلول غروى فى أنه يحتوى على عدد كبير جدا من حبيبات بالغة الدقة معلقة فى وسط انتشارى وينتج عن هذا وجود سطح متسع جدا بين الحبيبات المنتشرة والوسط الانتشارى ، ولما كانت جميع التفاعلات تحدث على هذه الأسطح فإن الطبيعة الغروية للبروتوبلازم تكون بذلك بالغة الأهمية .

وبالنسبة لبناء البروتوبلازم أو هيكله العام فهناك عدة نظريات :

النظرية الأولى (النظرية الليفية أو الخيطية (fibrillar theory) وترى أن البروتوبلازم يتكون من الياف متصلة تكون تركيبا شبكيا فى الخلية ، وتحاط هذه الشبكة بالسائل مثل الاسفنج فى الماء . ويعتقد بعض العلماء أن الخيوط غير متصلة .

وجاءت بعد ذلك **النظرية الحويصلية** (alveolar theory) وتعتبر أن الجزء الأكثر صلابة فى البروتوبلازم يكون ما يشبه الرغاوى (foam) وفيه يحصر السائل فى تجاويف او حويصلات .

والنظرية الثالثة هى **النظرية الحبيبية** (granular theory) وترى أن البروتوبلازم يتكون من حبيبات (أجسام التمان) معلقة فى سائل .

إلا أنه قد وجد أن توزيع البروتوبلازم على هيئة خيوط أو حويصلات أو حبيبات ما هو إلا نتيجة لتجلط البروتينات تحت تأثير عوامل معينة ، وعلى ذلك فان أية دراسة للبروتوبلازم يجب أن تجرى على الخلية الحية .