نبات فسيولوجى

المحاضرة الثانية

إعداد

الأستاذ الدكتور/ أحمد لطفى ونس

أستاذ النبات وعميد الكلية

ثانيا: البروتوبلازم

هو عبارة عن الجزء الحى فى الخلية وهو يتكون من (١) السيتوبلازم الذي يشمل االسائل الغروي وهو البلازما الأساسى Ground plasm أو السيتوسول Cytosol وتسبح فيه عضيات كثيرة Organelles ويحيط به من الخارج الغشاء البلازمى (Plasmalemma) Plasma membrane والذى يسمى أيضا بالغشاء البلازمى الخارجى Ectoplast كما يحيط به من الداخل ويفصله عن الفجوة العصارية غشاء أخر يعرف بالغشاء البلازمى الداخلى Tonoplast أو الغشاء Vacuole membrane (٢) النواة Nucleus. يملأ البروتوبلازم جميع الحيز الداخلى فى الخلايا الحديثة أما فى الخلايا البالغة فيكون على هيئة شريط يبطن جدار الخلية من الداخل.

وبصفة عامة يتركب البروتوبلازم كيميائيا من ١٠-٢٠% بروتين، ٢-٣% ليبيدات، ١% كربوهيدرات، ١% أملاح معدنية ومواد أخرى، ٧٥- ٨٥% ماء، وهذه النسب تختلف تبعا لنوع الخلية ودرجة نشاطها وتبعا للنوع النباتى. والبروتين هو الذى يكسب البروتوبلازم خواصه الهامة بيوكيميائيا، والدهون تدخل فى تركيب الأغشية الخلوية كمكون هام، أما المواد الكربوهيدراتية فلها أهميتها فى تحولات الطاقة وبناء مواد أخرى للخلية. يتميز البروتوبلازم ببعض الخصائص التى تكسبه مظاهر الحياة وهى:

- الحركة: وأهمها الحركة الإنسيابية للسيتوبلازم فى إتجاهات عديدة داخل الخلية وكذلك من خلية لأخرى خلال البلازموديزماتا.
- الحساسية: وتتمثل فى الإستجابة للمؤثرات الخارجية التى تسرع أو تبطئ من حركة البروتوبلازم كما يحدث عند تعرض الخلايا لمؤثر كهربى أو حرارى.
- التحول الغذائى: الذى ينتج عن النشاط الإنزيمى للبروتوبلازم ويشمل عمليات البناء Anabolism والهدم Catabolism.
- ظاهرة التكاثر: وتتمثل فى زيادة عدد وحدات البروتوبلازم والنمو ويشاهد ذلك فى مناطق النمو بجسم النبات مثل قمم الجذور والسيقان.

السيتوبلازم Cytoplasm

السيتوبلازم هو المادة الغروية الأساسية للبروتوبلازم، ويطلق إسم السيتوبلازم على كل الطامرة البروتوبلازمية التى تحيط بالنواة، ويتكون السيتوبلازم من البلازما الأساسى Ground plasm أى السيتوسول Cytosol والأغشية البلازمية (Ectoplast & Tonoplast) والشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum.

وظائف السيتوبلازم: يمكن إيجازها فى الأتى:

١. هو بيئة العضيات الخلوية الهامة وهو نصف التكامل معها لإتمام وظائفها.
٢. هو محل كثير من التفاعلات الفسيولوجية مثل:
   أ- بناء الأحماض الأمينية وبناء البروتين.
   ب- بناء الأحماض الدهنية.
   ج- تفاعلات بناء السكروز وبعض المواد الكربوهيدراتية الأخرى.
   د- تفاعلات مسار Pentose phosphate pathway.
   هـ- تفاعلات الإنحلال الجليكولى Glycolysis.
٣- المساعدة فى إحتفاظ الخلية بعلاقات مائية ومحتوى مائى مناسبين.

البلازما الأساسى Ground plasm (السيتوسول Cytosol)

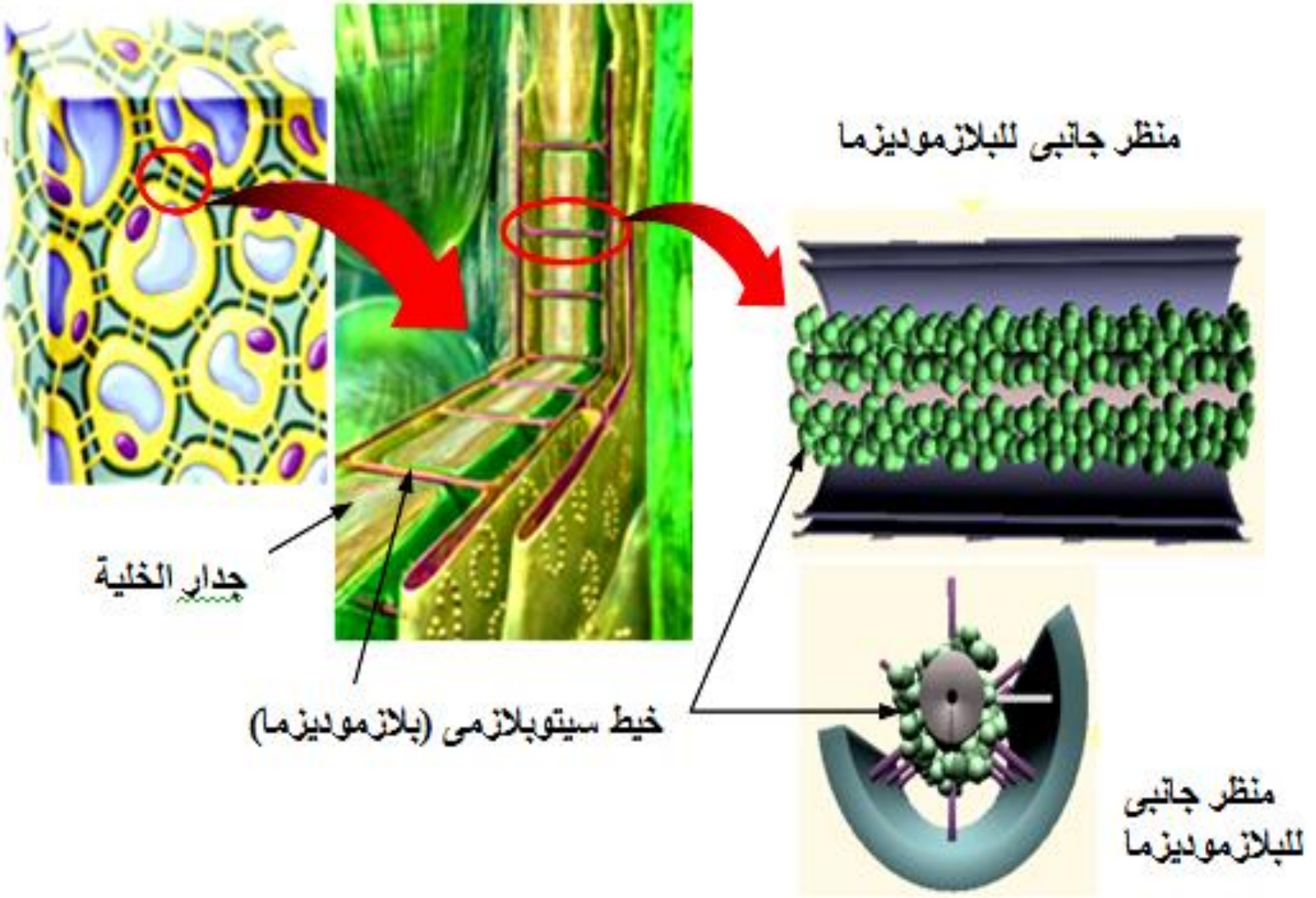
عبارة عن محلول غروي متجانس ذو قوام سائل وأكثر سيولة من الأغشية البلازمية وهو يمثل الجزء الأوسط من السيتوبلازم الذى يوجد به العضيات السيتوبلازمية وتختلف لزوجته بإختلاف نوع الخلية وعمرها، حيث يحتوى على الماء بنسبة ٨٠-٩٠% فى الخلايا النشطة فسيولوجيا بينما تنخفض إلى ٩% فى سيتوبلازم خلايا البذور الجافة، بالإضافة إلى الماء يتكون السيتوبلازم من مواد عضوية بروتينية ودهنية وبعض الكربوهيدرات والأحماض العضوية والأمينية كما يحتوى على أملاح معدنية للعناصر المختلفة بنسب تختلف بإختلاف الأنسجة النباتية الموجود بها الخلية.

ونظرا لأن السيتوبلازم يحتوى على نسبة كبيرة من البروتينات فهو ذو طبيعة مزدوجة Amphoteric فهو يحمل شحنات كهربائية ويختلف نوع الشحنة حسب درجة الرقم الأيدرجينى للسيتوبلازم pH فعلى الجانب الحامضى لنقطة التعادل الكهربائية Isoelectric point تكون الشحنات موجبة بينما على الجانب القاعدى تكون سالبة، وتقع نقطة التعادل الكهربائية للسيتوبلازم معظم الخلايا عند pH يتراوح بين ٤.٦- ٥ بينما الرقم الأيدرجينى لمعظم الخلايا النباتية هو حوالى ٦.٨-٧ أى أن السيتوبلازم يحمل شحنة سالبة فيها.

الإنسياب السيتوبلازمى Cycolysis

سيتوبلازم الخلايا النشطة يتحرك حركة إنسيابية حول جدار الخلية من الداخل تسمى Cytoplasmic streaming أو الإنسياب السيتوبلازمى Cyclosis والتى يمكن مشاهدتها عند فحص خلايا نشطة مثل خلايا أوراق الإلوديا حيث يلاحظ تحرك العضيات السيتوبلازمية مثل البلاستيدات حول جدار الخلية من الداخل بفعل الإنسياب السيتوبلازمى، وتفيد الحركة الإنسيابية للسيتوبلازم فى إنتقال المواد المختلفة داخل الخلية وكذلك من خلية لأخرى عبر الروابط السيتوبلازمية Plasmodesmata. تتأثر الحركة الإنسيابية للسيتوبلازم ببعض العوامل مثل درجة الحرارة، حيث يساعد رفع درجة حرارة السيتوبلازم إلى حد معين على سرعة هذه الحركة، بينما يؤدى رفع درجة الحرارة أكثر من ذلك إلى قتل السيتوبلازم نتيجة تجمع البروتينات وترسيبها، كما تتأثر أيضاً بدرجة لزوجة السيتوبلازم حيث تزداد الحركة الإنسيابية فى الخلايا النشطة والتى يميل فيها السيتوبلازم للسيولة، بينما تنعدم هذه الحركة فى الخلايا الكامنة مثل خلايا البذور والتى يتحول فيها السيتوبلازم إلى الحالة الهلامية شبه الصلبة (Gel) كما تنعدم الحركة الإنسيابية فى غياب الأكسجين وفى وجود المواد المخدرة أو المواد السامة مثل الكلوروفورم وكبريتات النحاس. نظرا لإحتواء السيتوبلازم على نسبة كبيرة من البروتين فهو يحمل خواص الغرويات السائلة المحبة للماء Hydrophilic Sols.

يتصل سيتوبلازم الخلايا المتجاورة ببعضه البعض عن طريق خيوط سيتوبلازمية تمر خلال النقر الموجودة فى جدار الخلايا يطلق عليها إسم الروابط السيتوبلازمية Plasmodesmata.

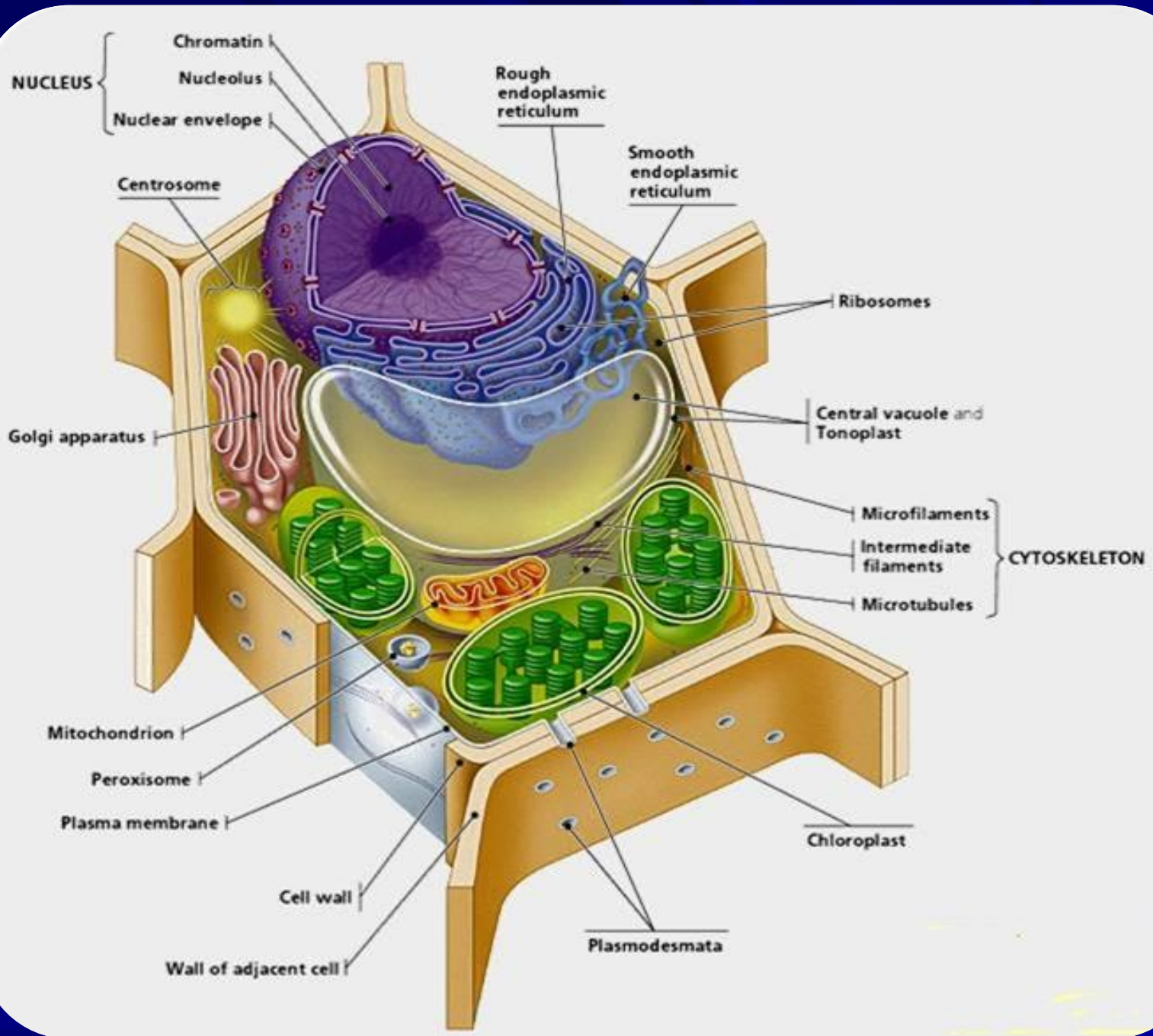

منظر جانبى للبلازموديزما
جدار الخلية
خيط سيتوبلازمى (بلازموديزما)
منظر جانبى
للبلازموديزما

الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum

يتشابك سيتوبلازم الخلية بنظام غشائى مترابط متقن يعرف بالشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum وتظهر هذه الشبكة الإندوبلازمية على هيئة قنوات أو صفائح غشائية مجوفة متفرعة ومتشابكة لتعطى شبكة من الأنيبات، وفى بعض أجزاء السيتوبلازم تظهر تلك الحويصلات كحافظات مفلطحه تعرف بالمستودعات الحويصلية Cisternae ومفردها Cisterna. يصاحب الشبكة الإندوبلازمية جسيمات خلوية تعرف باسم الريبوسومات، وعندما تلتصق الريبوسومات بالشبكة الإندوبلازمية تعرف فى هذه الحالة بالشبكة الإندوبلازمية الخشنة أو المحببة Rough ER حيث تشترك فى بناء البروتينات والتى تفرز إلى داخل تجويف الشبكة الإندوبلازمية.

قد لا تصاحب الريبوسومات الشبكة الإندوبلازمية وفى هذه الحالة تسمى بالشبكة الملساء Smooth ER، وتلعب تلك الشبكة الملساء دورا أساسياً هاماً فى تمثيل وتجميع الجليكوليبيدات Glycolipids أى المركبات التى تتكون من كحولات وأحماض دهنية وكربوهيدرات.

لوحظ أن هناك أجزاء من الشبكة الإندوبلازمية تتصل بالغلاف النووى، وتمتد هذه الأجزاء لتصل إلى سطح الخلية، وأن هناك تفرعات دقيقة جدا من هذا الشبكة الإندوبلازمية موجوده فى الجدر الإبتدائية لبعض الخلايا بل وتمتد إلى الخلايا المجاورة عرفت باسم الروابط البلازمية Plasmodesmata وقد أوضح العلماء أن إتصال الغشاء النووى مع الشبكة الإندوبلازمية يزيد من سطوح الإتصال بين المكونات النووية وسيتوبلازم الخلية، أى يعمل هذا النظام كنظام موصل داخل الخلية، وحيث أن هناك نظام شبكى بين الخلايا فهذا يعنى أن هناك إتصال مباشر بين أنوية الخلايا المتجاورة عن طريق الشبكة الإندوبلازمية المتصلة بأنوية الخلايا.


NUCLEUS
Chromatin
Nucleolus
Nuclear envelope
Centrosome
Rough endoplasmic reticulum
Smooth endoplasmic reticulum
Ribosomes
Golgi apparatus
Central vacuole and Tonoplast
Microfilaments
Intermediate filaments
Microtubules
CYTOSKELETON
Mitochondrion
Peroxisome
Plasma membrane
Cell wall
Wall of adjacent cell
Chloroplast
Plasmodesmata

وظيفة الشبكة الإندوبلازمية

- ✓ تدعيم السيتوبلازم وزيادة مساحة سطحه.
- ✓ تسهل مرور المواد من مكان إلى أخر داخل الخلية ومن خلية إلى أخرى عبر الروابط السيتوبلازمية (البلازمودبزماتا).
- ✓ تلعب مع أجسام جولجى دوراً هاماً فى بناء الجدار الخلوى.
- ✓ تتفرع منها خيوط دقيقة (البلازموديزماتا) التى تمر من خلال فتحات النقر لربط بروتوبلازم الخلايا المتجاورة مع بعضها كما تعمل كطرق موصلة للماء والذائبات من خلية لأخرى.
- ✓ الشبكة الإندوبلازمية الخشنة تقوم ببناء البروتينات.
- ✓ تقوم الشبكة الإندوبلازمية الملساء بتمثيل وتجميع الجليكوليبيدات.
- ✓ تعمل الشبكة الإندوبلازمية عل ربط أنوية الخلايا المتجاورة مع بعضها مما يساعدها على تنسيق العمل فيما بينها.
- ✓ تعمل على إتصال السيتوبلازم بالنواة وربما تعمل على توصيل الأوامر من النواة إلى باقى أجزاء الخلية.
- ✓ تعمل على تقسيم السيتوبلازم إلى حجرات يتم فى كل حجرة تفاعل أيضى واحد أوأكثر، وتعدد الحجرات يعنى تعدد أماكن التمثيل الغذائى داخل الخلية الواحدة وبمعنى أخر فإن هذه الحجرات تمثل معامل تمثيل غذائى، كل معمل يتم به مجموعة محددة من ألوان التمثيل الغذائى.

الأغشية الخلوية Cell membranes
(الأغشية البيولوجية Biological membranes)

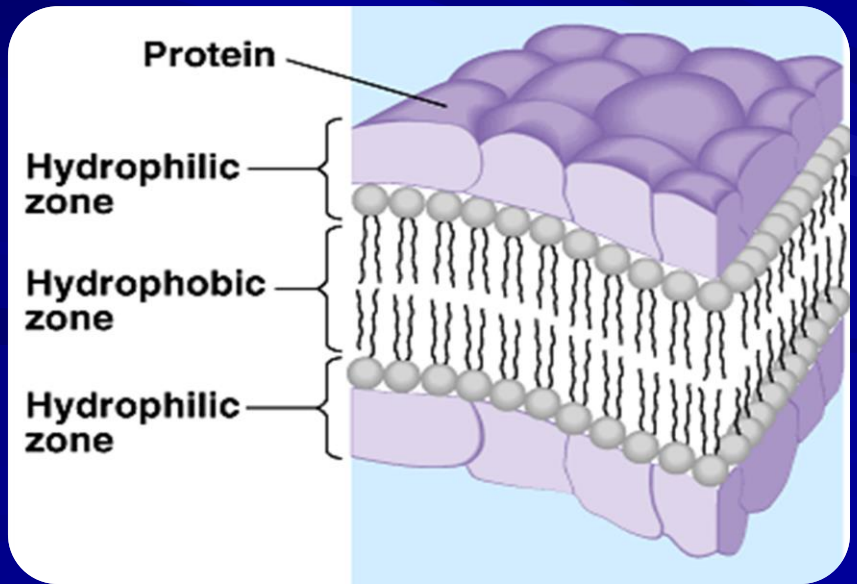
يحاط السيتوبلازم من الخارج بغشاء رقيق يفصله عن الجدار الخلوى السليلوزى يسمى الغشاء البلازمى Plasma membrane (Plasmalemma) أو الغشاء البلازمى الخارجى Ectoplast كما يحاط من الداخل بغشاء أخر يفصله عن الفجوة العصارية يعرف باسم بالغشاء البلازمى الداخلى Tonoplast، والأغشية البلازمية الداخلية والخارجية تغلف السيتوبلازم وتكون أقل سيولة منه. كما تحاط كل عضية من العضيات السيتوبلازمية بغشاء حى يشبه إلى حد كبير الأغشية البلازمية ويطلق على جموع هذه الأغشية إسم الأغشية الخلوية أو البيولوجية. تتكون الأغشية البلازمية من مواد السيتوبلازم نفسها ولكن يزيد فيها تركيز الفوسفوليبيدات بدرجة ملحوظة وتعتبر هذه الأغشية ذات تركيب مستقل عن السيتوبلازم وتتكون نتيجة خاصية التجمع السطحى أو الإمتزاز Adsorpation لمواد السيتوبلازم الخافضة للتوتر السطحى بين الجدار السليلوزى والسيتوبلازم وكذلك بين السيتوبلازم وبين الفجوة العصارية.

تتميز الأغشية البيولوجية خاصة الأغشية البلازمية بأنها إختيارية النفاذية أى أنها تتحكم فى تنظيم نفاذية المواد الذائبة من وإلى الخلية وأيضا من وإلى كل عضية تبعاً لإحتياجاتها.

النماذج المقترحة لتركيب الأغشية الخلوية

نموذج السندوتش Sandwich Model:

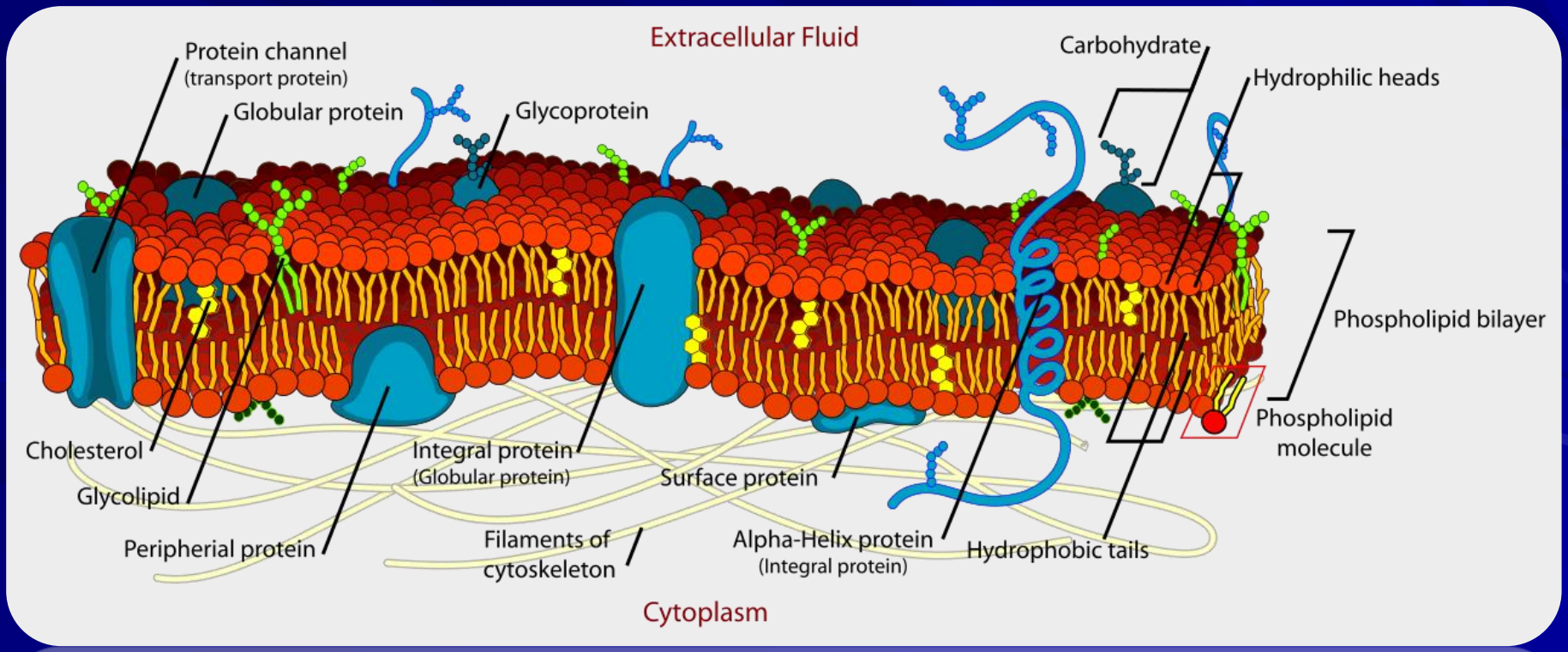
أمكن بإستخدام الميكروسكوب الإلكترونى فحص تركيب الأغشية الخلوية وكان أول من إقترح نموذجاً عاماً للتركيب الدقيق لهذه الأغشية هما العالمان دافسون ودانيللى Davson & Danielle حيث إقترحا أن الغشاء عبارة عن طبقتين من الفسفوليبيدات محصورتان بين طبقتين من البروتين وسمى النموذج الخاص بهما باسم نموذج السندوتش. وقد استطاع هذان العالمان أن يشرحا ظاهرة نفاذية الأغشية للمواد المختلفة (القطبية وغير القطبية) بواسطة النموذج الذى إقترحاه حيث إفترضا أن الدهون تسمح بمرور المواد الغير قطبية Non-polar أو المركبات التى لا تحمل شحنات على سطوحها بينما طبقة البروتين الموجودة على سطحى الغشاء تساعد على إنتقال المواد القطبية Polar المحبة للماء أو المواد التى تحمل شحنات سطحية، إلا أن النموذج لا يوضح ميكانيكية نفاذية الأغشية.



النماذج المقترحة لتركيب الأغشية الخلوية

النموذج المبرقش السائل Fluid mosaic model

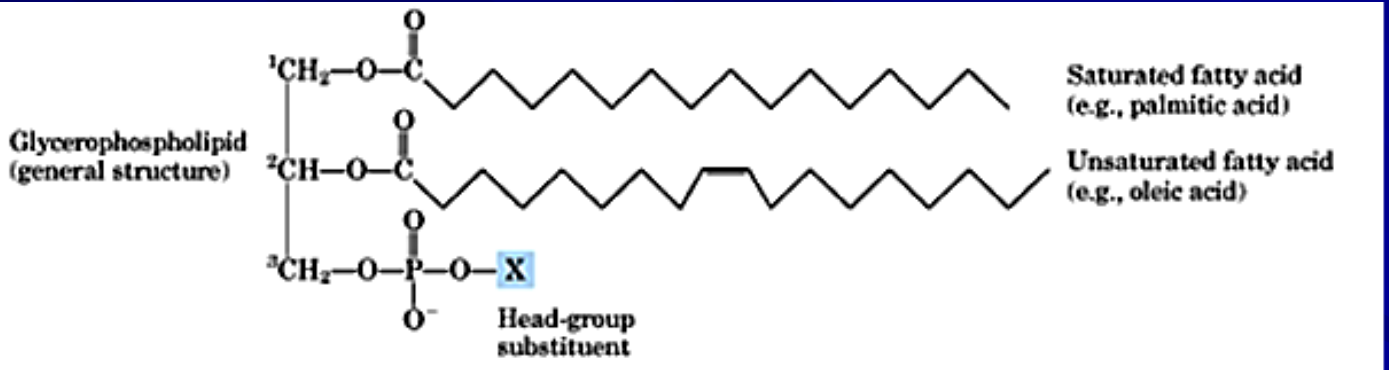
يعتبر النموذج المقبول حاليا على كل المستويات العلمية هو النموذج المبرقش السائل الذى إقترحه العالمان Singer and Nicholson عام ١٩٧٢ وقد أوضح هذا النموذج أن الغشاء مكون من طبقتين من الفوسفوليبيدات مرتبة بحيث تكون ذيولها المكونة من سلاسل هيدروكربونية لا قطبية متجه للداخل بينما رؤوسها القطبية المحبة للماء متجهة للخارج، وتنتشر البروتينات ككتل أو قطع الثلج العائمة أو الطافية فى بركة الفوسفوليبيدات شبه السائلة.



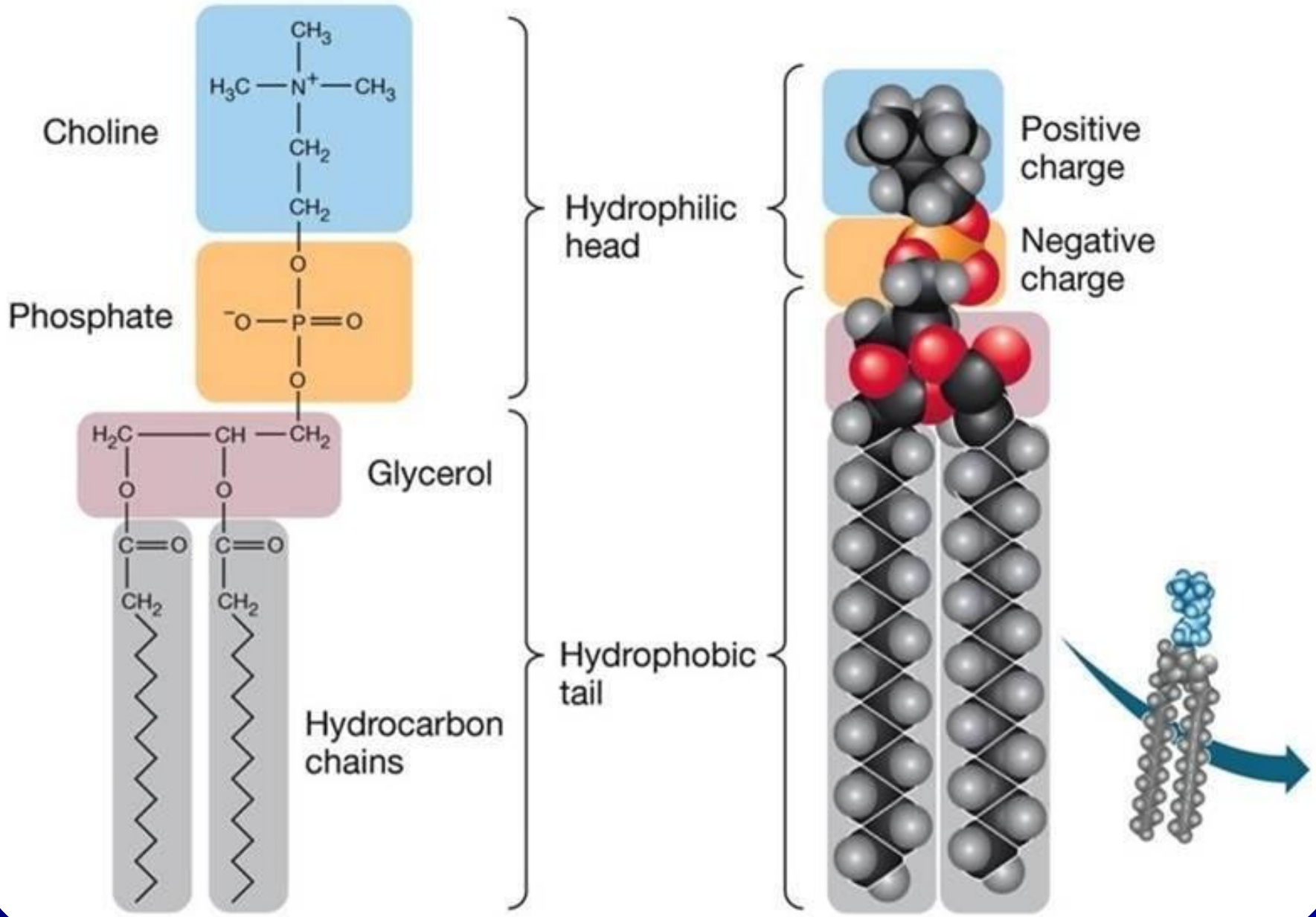
أولاً: الفوسفوليبيدات Phospholipids

١) الليثيسين وفيه يتحد حمض الفوسفاتيديك مع القاعدة النيتروجينية كولين ويسمى أيضا فوسفوتيدايل كولين أمين

٢) السيفالين وفيه يتحد حمض الفوسفاتيديك مع قاعدة مثل الإيثانول أمين ويسمى فوسفوتيدايل إيثانول أمين أو مع السيرين ويسمى فوسفوتيدايل سيرين أو مع الإنيستول ويسمى فوسفوتيدايل إنيستول.



Name of glycerophospholipid	Name of X	Formula of X	Net charge (at pH 7)
Phosphatidic acid	—	—H	−1
Phosphatidylethanolamine	Ethanolamine	$-CH_2-CH_2-\overset{+}{N}H_3$	0
Phosphatidylcholine	Choline	$-CH_2-CH_2-\overset{+}{N}(CH_3)_3$	0



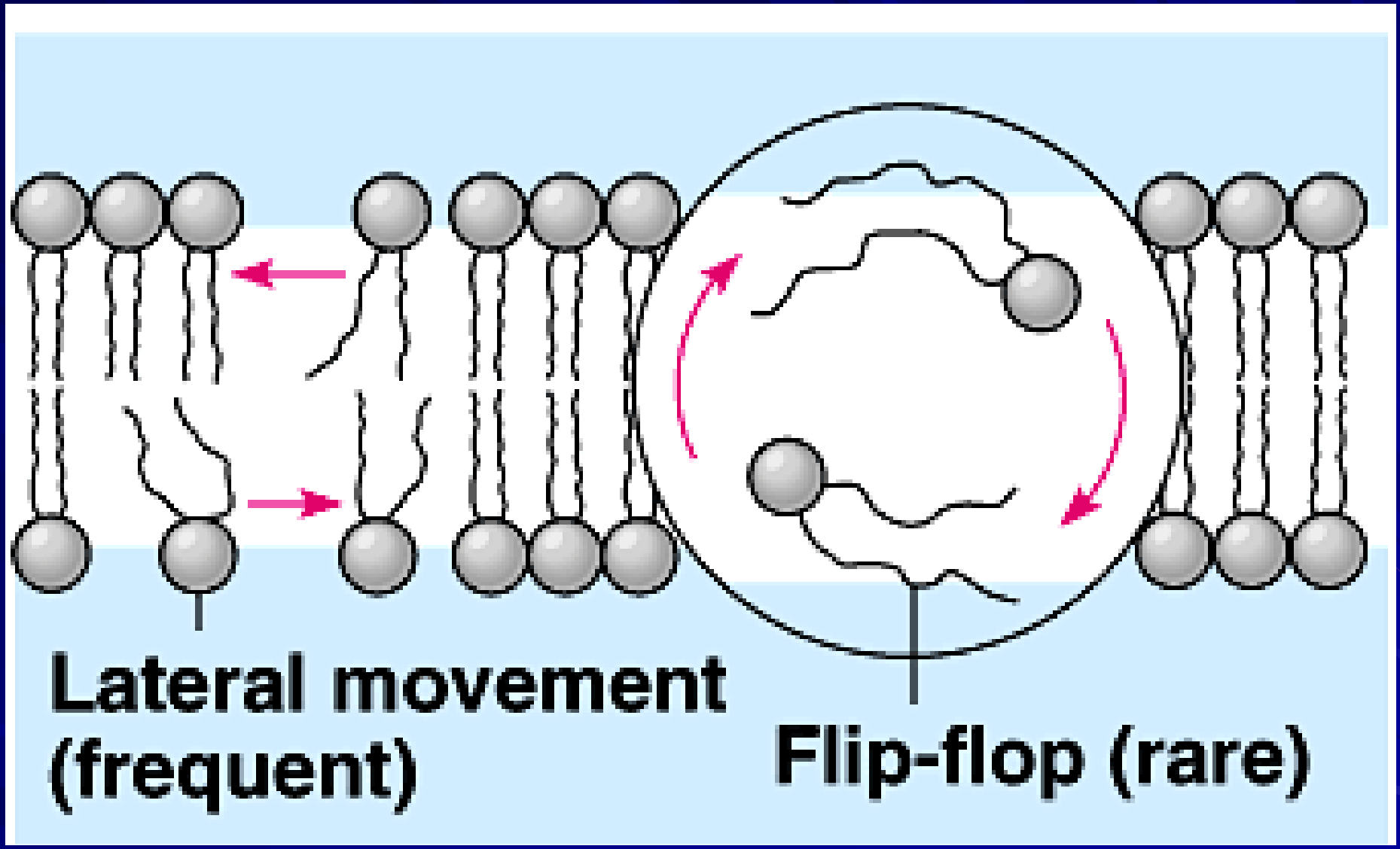
شكل يوضح تركيب فوسفوليبيد الليسيثين الذى يدخل فى بناء الأغشية الخلوية

تعتبر جزيئات الفوسفوليبيدات ذات سلوك مزدوج تجاه الماء **Ambivalent behavior** وذلك لأن كل جزئ يتركب من رأس محب للماء **Hydrophilic** وهو مكون من مجموعة فوسفات قطبية وذيل غير قطبى كاره للماء **Hydrophobic** وهو مكون من سلسلتين هيدروكربونيتين (حمضيين دهنيين)، وبما أن الأغشية الخلوية تكون مكونة من طبقتين من الفوسفوليبيدات فإن الرؤوس المحبة للماء فى أحد الطبقات تكون للداخل أما رؤوس الطبقة الأخرى فتكون للخارج (جهة جدار الخلية) في حين أن ذيول طبقتى الفوسفوليبيدات تكون قلب الغشاء الداخلي الكاره للماء وتجعل قلب الغشاء غير متماسك تماما نظراً لأن الروابط أو بالأحرى التداخلات الهيدروكربونية تكون ضعيفة وهذا يكسب الغشاء درجة من السيولة. بالإضافة إلى أن ليبيدات الغشاء تحتوى عادة على نسبة من الأحماض الدهنية غير المشبعة (سائلة على درجة الحرارة العادية) أعلى من نسبة الأحماض الدهنية المشبعة (صلبة على درجة الحرارة العادية) مما يكسبها خاصية السيولة **Fluidity** ولكنها لا تكون سائلة كلية وإنما تكون مائعة مما يجعل الغشاء البلازمى مائع كالبحر يسمح بتحرك الجزئيات المكونة له داخل الغشاء. وهذا يعنى أن جزيئات الفوسفوليبيدات لا تكون ثابتة فى مكانها ولكنها تكون فى حالة حركة مستمرة من لحظة إلى أخرى، والحركة قد تحدث فى كل جزئ فوسفوليبيد على حدة أو فى جميع جزيئات الطبقة فى صورة ذبذبات سريعة أو تكون الحركة بإنتقال جزيئات الفوسفوليبيدات من طبقة إلى أخرى فى نفس الغشاء أو جانبيا فى نفس الطبقة. وترجع أهمية خاصية السيولة للغشاء البلازمي إلى أنها:

١- تيسر حركة جزيئات الغشاء ذاته.

٢- تيسر نقل المواد عبر الغشاء.

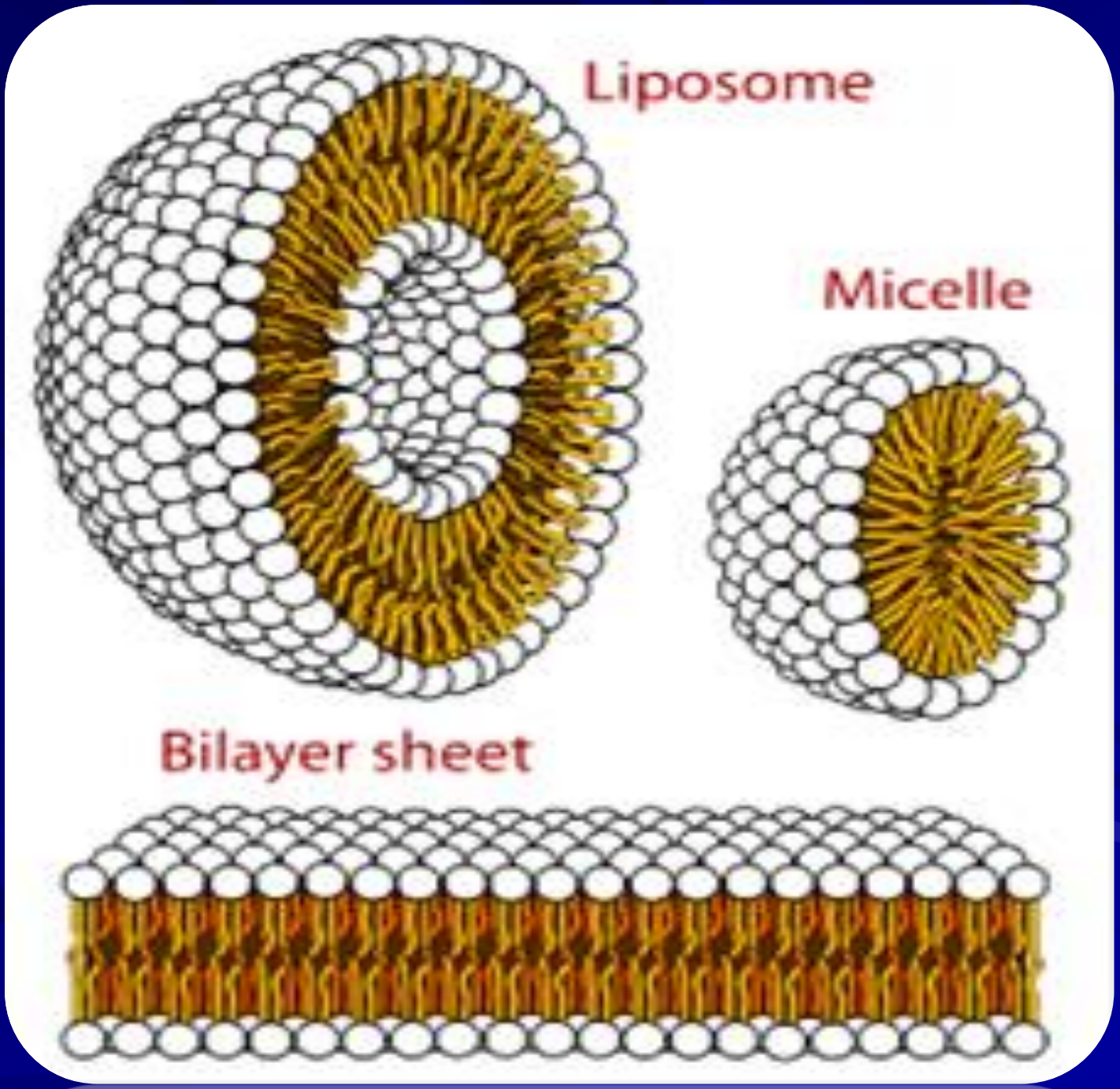
٣- سهولة إلتئام الغشاء إذا حدث تفكك لجزء منها أو إذا قطع جزء منه أو أضيف إليه جزء جديد.



رسم تخطيطى يوضح كيفية حدوث الحركة لجزيئات الفوسفوليبيدات وإتجاهاتها ومعدلاتها

تنظيم الفوسفوليبيدات وتكوين الحويصلات والطبقة المزدوجة

يتضح من الشكل السابق أن جزئ الفوسفوليبيدات يتركب من رأس قطبى **Polar** محب للماء وهو مكون من مجموعة فوسفات مرتبطة بالكولين، وزيل غير قطبى **Non-polar** كاره للماء وهو مكون من سلسلتين هيدروكربونيتين، وهذا التركيب له أهمية كبرى فى تكوين الحويصلات الغشائية والطبقة المزدوجة فى الغشاء البلازمى، حيث تتكون جزيئات الفوسفوليبيدات فى السيتوبلازم وهو محلول مائى لذلك يلامسه الجزء المحب له (الرأس القطبى) ويهرب منه الجزء الكاره للماء (الذبل غير القطبى)، فإذا كان هناك عدد قليل من جزئيات الفوسفوليبيدات فإنها تميل إلى تكوين كرات أو حويصلات صغيرة سطحها مكون من الروس المحبة للماء وقلبها يحوى الذيول الكاره للماء. أما إذا كان هناك عدد كبير جدا من هذه الجزيئات ونتيجة للتزاحم الشديد بين الجزيئات فإنها تميل للإنتظام فى طبقتين بحيث تكون الرؤوس القطبية فى كلا الطبقتين ملامسة للماء والذيول غير القطبية للداخل، وهذا ما يحدث عند تكوين الغشاء البلازمى حيث تتكون جزيئات الفوسفوليبيدات فى السيتوبلازم وتنتظم على شكل كرات صغيرة ثم تتجمع عند السطح الخارجى للسيتوبلازم بخاصية الإمتزاز **Adsorption** ويؤدى تجمع أعداد كبيرة من جزيئات الفوسفوليبيدات عند السطح الخارجى إلى تزاحمها ودفع بعضها البعض مما يؤدى إلى إنتظامها فى طبقتين بحيث تكون الرؤوس المحبة للماء فى أحد الطبقتين للخارج (جهة الجدار) وفى الطبقة الثانية تكون للداخل (جهة السيتوبلازم) أما الذيول الكارهة للماء فى كلا الطبقتين فتكون متجهة للداخل ومتقابلة بحيث تكون ما يعرف بساندويتش الفوسفوليبيدات **Phospholipids sandwich** الذى يكون القاعدة البنائية للأغشية الخلوية حيث تندمج فيها البروتينات لتكون الصورة النهائية للغشاء الخلوى.


Liposome
Micelle
Bilayer sheet

ثانياً: البروتينات Proteins

تختلف بروتينات الأغشية الخلوية فى النوع والكمية من غشاء إلى أخر ومن سطح إلى أخر فى الغشاء الواحد، والبروتينات التركيبية للغشاء بها أجزاء محبة للماء وأخرى كارهة له، وترتبط أجزاؤها الكارهة للماء بالذيول الهيدروكربونية للفوسفوليبيدات فتساعد على تدعيمها وثباتها كما يساعد هذا الإرتباط على تحرك جزيئات البروتين مع حركة جزيئات الفوسفوليبيدات جانبياً فى الغشاء، وتتميز بروتينات الأغشية حسب موقعها فى الغشاء إلى نوعين:

١- بروتينات داخلية (مندمجة أو تكاملية) Integral proteins

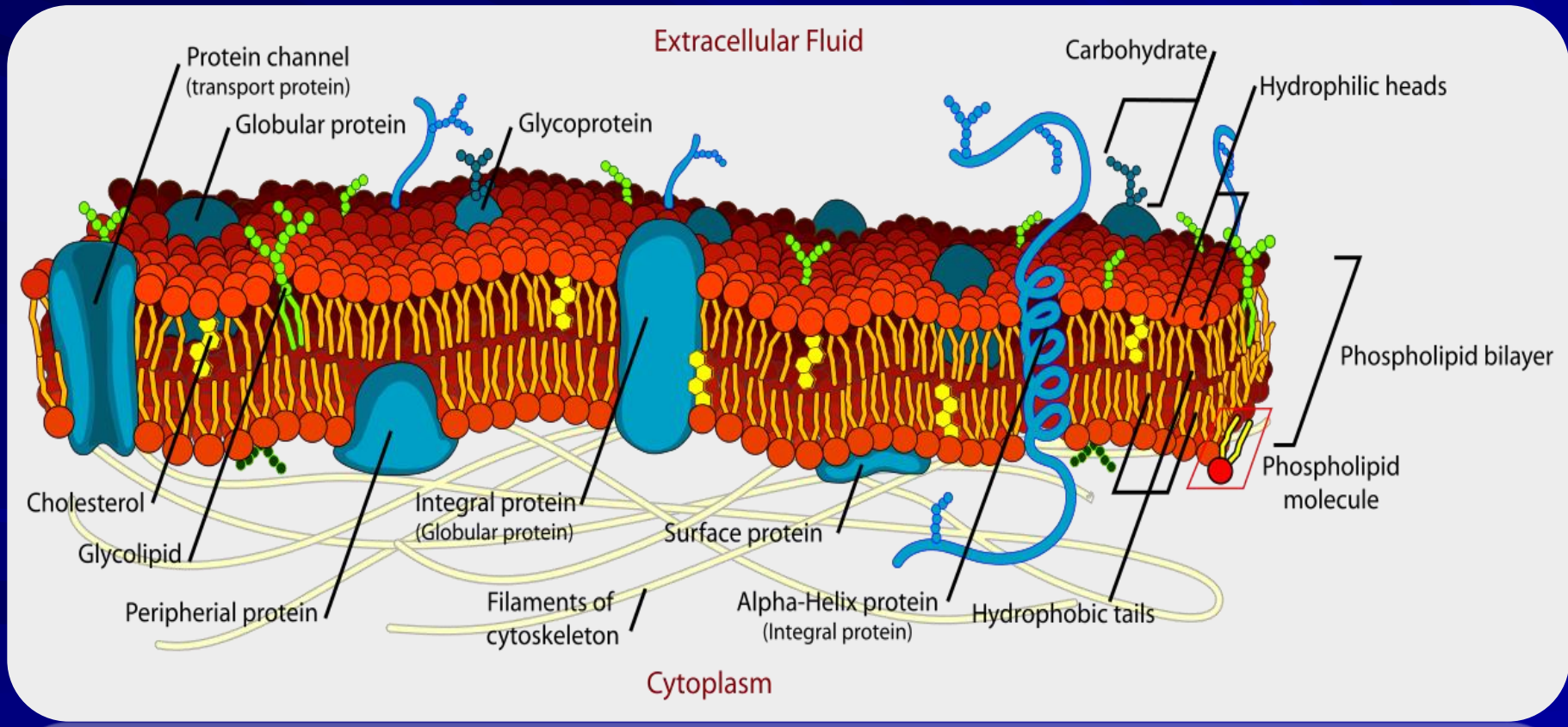
هى بروتينات مغموسة أو مدفونة داخل الفوسفوليبيدات ومنها ما يمتد من السطح إلى قلب الطبقة الدهنية دون أن يصل إلا السطح الأخر ومنها ما يمتد من السطح الخارجى إلى السطح الداخلى وهذه تسمى Transmembrane integral proteins. والبروتينات الداخلية بعضها يعمل كقنوات لمرور الجزئيات الكبيرة (بروتين قنوى)، والبعض يعمل كبروتينات حاملة أى تنقل المواد التى لا يمكنها أن تعبر خلال القنوات البروتينية إلى الداخل وبعضها يعمل كمضخات Pumps والبعض الأخر يعمل كإنزيمات.

٢- بروتينات خارجية (سطحية أو محيطية Peripheral proteins

هى بروتينات تكون طافية أو عائمة على سطح الفوسفوليبيدات وترتبط إرتباطا خفيفاً بسطح الغشاء عن طريق أحماضها الأمينية القطبية ولا تخترق طبقتى الدهون المفسفرة. فى الغالب توجد هذه البروتينات بالكامل متصلة بالسطح الداخلي للغشاء، حيث تكون مرتبطة بالبروتينات المندمجة وتعمل عادة كإنزيمات وهى سهلة الإنفصال والتفكك ويعاد بنائها مرة أخرى.

النموذج المبرقش السائل

Fluid mosaic model



ووظيفة البروتينات الغشائية مرتبطة بالنشاط الأيضي للغشاء فعلى سبيل المثال بعض البروتينات الغشائية تعمل كإنزيمات وبعض البروتينات تعمل ممر إختيارى لنقل بعض المواد الذائبة خلال الغشاء من الداخل إلى الخارج والعكس، والبعض الأخر يعمل كمستقبلات لنقل الإشارات، وبالتالى فإن البروتينات الموجودة فى الأغشية قد تكون:

أ- بروتينات تركيبية وهي البروتينات التي تدخل في التركيب الهيكلي للغشاء البلازمي حيث تشكل مع الفوسفوليبيدات دعامة للغشاء البلازمى أى أنها بنائية فقط.

ب- بروتينات تركيبية ووظيفية **Structural and functional proteins** وهي البروتينات التى تلعب دورا في التركيب كما أنها تؤدى وظيفة حيوية فمنها:

١)بروتين إنزيمى مثل أنزيم **(Glucose-6 phosphatase)** الذى يوجد فى أغشية الشبكة الإندوبلازمية وإنزيمات **Cytochrome oxidases** الذى يوجد فى أغشية الميتوكوندريا وإنزيم تخليق **ATP** فى أغشية الميتوكوندريا وثيلاكويدات البلاستيدات الخضراء. وهناك ما يعرف بالعلامات المميزة **Markers** وهى إنزيمات أو بروتينات خاصة مميزة لا توجد إلا فى نوع واحد من الأغشية مثل: إنزيم **Na^+/ K^+ transporting ATPase** الذى يوجد فى الأغشية البلازمية وإنزيم **Glucose- 6 phosphatase** لا يوجد إلا فى الشبكة الإندوبلازمية. وإنزيم **Succinate dehydrogenase** لا يوجد إلا فى الغشاء الداخلى للميتوكوندريا.

٢)بروتين حامل (حوامل نقل الطاقة وحوامل نقل المواد من وإلى الخلية)

٣)بروتين مستقبل مثل البروتين الذى يقوم بنقل المعلومات والإشارات داخل الخلية من النواة إلى العضيات المختلفة وكذلك من خارج الخلية إلى داخلها.

٤) مضخات البروتونات.

تحتوى الأغشية أيضا على نسبة قليلة (١ – ١٠ %) كربوهيدرات مرتبطة بالبروتينات (بروتينات سكرية **(Glycoproteins)** ودهون (دهون سكرية **Glycolipids**) على السطح الخارجى للغشاء.

من أهم خصائص الأغشية الخلوية التى أوضحها هذا النموذج «النموذج المبرقش السائل) أن نسبة المكونات البروتينية إلى الفسفوليبيدات تكون فى تغير مستمر، حيث يحدث تغير نسبى وكمى فى المجاميع المحبة والكارهة من لحظة إلى أخرى وتبعا لذلك تتغير نفاذية الغشاء للذائبات من وقت إلى أخر، لذلك توصف هذه الأغشية بأنها ذات نفاذية اختيارية Differentially ولا يجب إطلاقا أن توصف بأنها شبه منفذة وذلك لأن النفاذية تتغير من لحظة إلى أخرى فى نفس الغشاء طبقا لإختيارية الغشاء المرتبطة بالنشاط الأيضى فى الخلية، فقد يسمح فى لحظة ما لمواد معينة بالمرور فى إتجاه معين ولا يسمح لها بالمرور فى لحظة أخرى أو فى عكس إتجاه مرورها الأول. كما أن المواد البروتينية والفوسفوليبيدات تختلف فى النوع والكمية من غشاء عضية إلى أخر ومن وجه غشائى إلى أخر ومن ثم تختلف نفاذية غشاء كل عضية عن الأخرى تبعا لنوع المواد النافذة منها أو إليها، فمثلا أغشية كل من الشبكة الإندوبلازمية والميتوكوندريا والبلاستيدات والفجوة والغشاء البلازمى تختلف فى النفاذية لإختلاف المواد النافذة منها أو إليها.

وبناء على ما سبق أصبح النموذج النصف سائل المبرقش هو الأكثر قبولاً فى كل الأوساط العلمية حيث ساعد على توضيح ديناميكية نفاذية المواد المختلفة خاصة إنتقال المواد الغير قطبية المحبة للدهون والمواد القطبية المحبة للماء على السواء، كما يعلل وجود أنشطة إنزيمية فى الغشاء ويفسر التغير فى النفاذية من غشاء إلى أخر وأيضا من وجه غشائى إلى أخر ومن وقت إلى أخر فى نفس الغشاء.

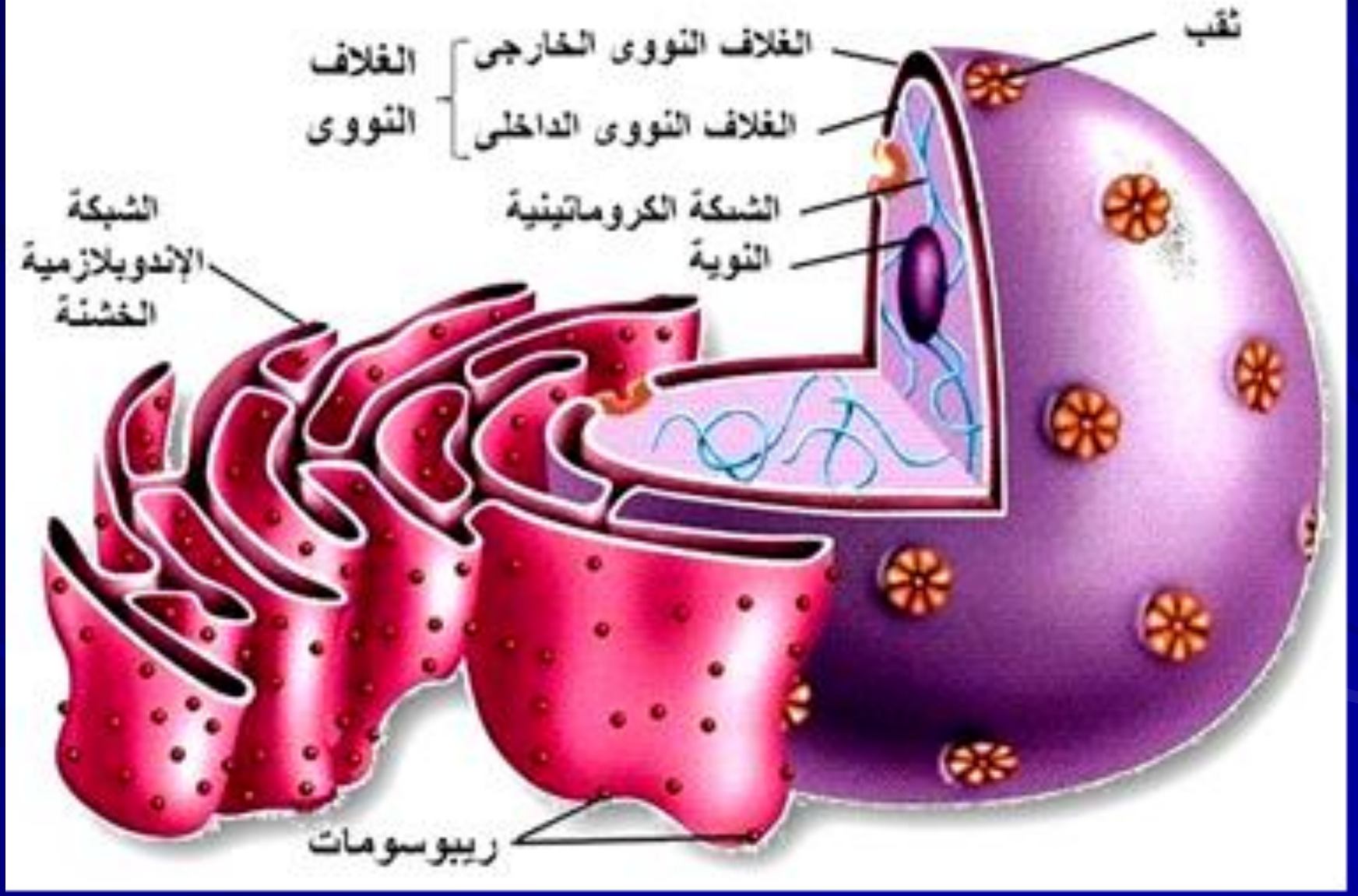
وظائف الأغشية الخلوية:

- ✓تحيط بالسيتوبلازم وبكل عضية من العضيات الخلوية لتحافظ على محتوياتها، وتنظم العلاقة بينها وبين ما يحيط بها، وتنظم ما يدخل إليها وما يخرج منها. وتعتمد سلامة الخلية وكذلك سلامة عضياتها وقدرتها على الإستمرار فى أداء وظائفها الحيوية على سلامة أغشيتها وما تحتويه من أنظمة ناقلة ودفاعية.
- ✓يحدث على سطح الغشاء الداخلى للميتوكوندريا وكذلك أغشية الثيلاكويدات داخل البلاستيدات الخضراء تفاعلات الفسفرة الهامة (إنتاج جزيئات ATP).
- ✓تمثل سطوح الشبكة الإندوبلازمية الخشنة مسرح تفاعلات بناء سلاسل البروتين.
- ✓تحتوى الأغشية على العديد من الإنزيمات والنظم الإنزيمية وحاملات الأيونات ومضخات البروتون ومستقبلات، لذا يحدث بها العديد من العمليات مثل نقل الإشارات من خارج الخلية إلى داخلها ومن عضية إلى أخرى بواسطة المستقبلات، والنقل الميسر والنقل النشط للأيونات، وعمليات نقل الطاقة.
- ✓لها إختيارية النفاذية مما يعنى أنها أغشية حية لها القدرة على التحكم فى تنظيم مرور المواد الذائبة والمذيبة بقواعد الأفضلية تبعا لإحتياجات الخلية.

(٢) النواة Nucleus

هى تلك الجسيم الأكبر حجما من باقى جسيمات الخلية، توجد فى الخلايا الحية فقط ويمكن مشاهدتها بوضوح بالميكروسكوب الضوئى، وهى أيضا الجسيم الخلوى المهيمن والمسيطر على جميع أنشطة الخلية، هذا وقد جذبت النواة إهتمام ألاف الباحثين منذ أن إكتشفها العالم روبرت براون عام ١٨٣٥ فقد كانت أول جسيمات الخلية التى تم إكتشافها نظرا لكبر حجمها. وكان إهتمام هذا الكم الهائل من الباحثين ينصب على حقيقة دورها المؤثر والمتحكم فى التوريث والنشاط الخلوى، فالنواة تتحكم وتسيطر وتدير تمثيل البروتينات التى تنظم الإنزيمات والتى بدورها تنظم معظم إن لم يكن كل التفاعلات الأيضية فى الخلية. والنواة هى المسئولة عن إرسال شفرة تتابع الأحماض الأمينية إلى الريبوسومات على الشبكة الإندويلازمية الخشنة وذلك لتكوين البروتينات المميزة لكل كائن حى على حدة. فى الحقيقة فإن المنطقة من DNA النووى المحتوية على تتابع المعلومات الجينية لتمثيل tRNA ماهى الا تنظيم نووى.

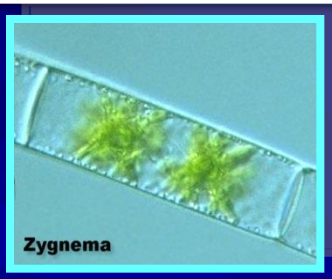
تركيب النواة

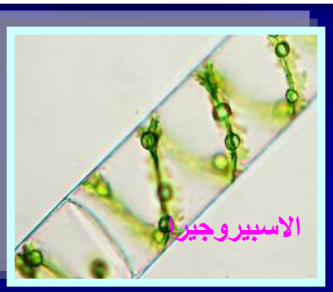


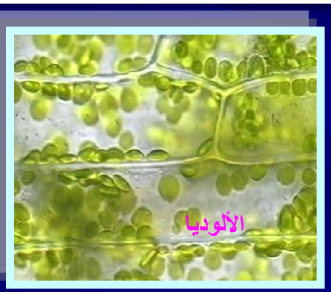
البلاستيدات Plastids

١ـ البلاستيدات الأولية Protoplastids:
توجد فى الخلايا المرستيمية وتطور أثناء نمو الخلايا الناتجة من الإنقسام لتعطى الأنواع الأخرى من البلاستيدات

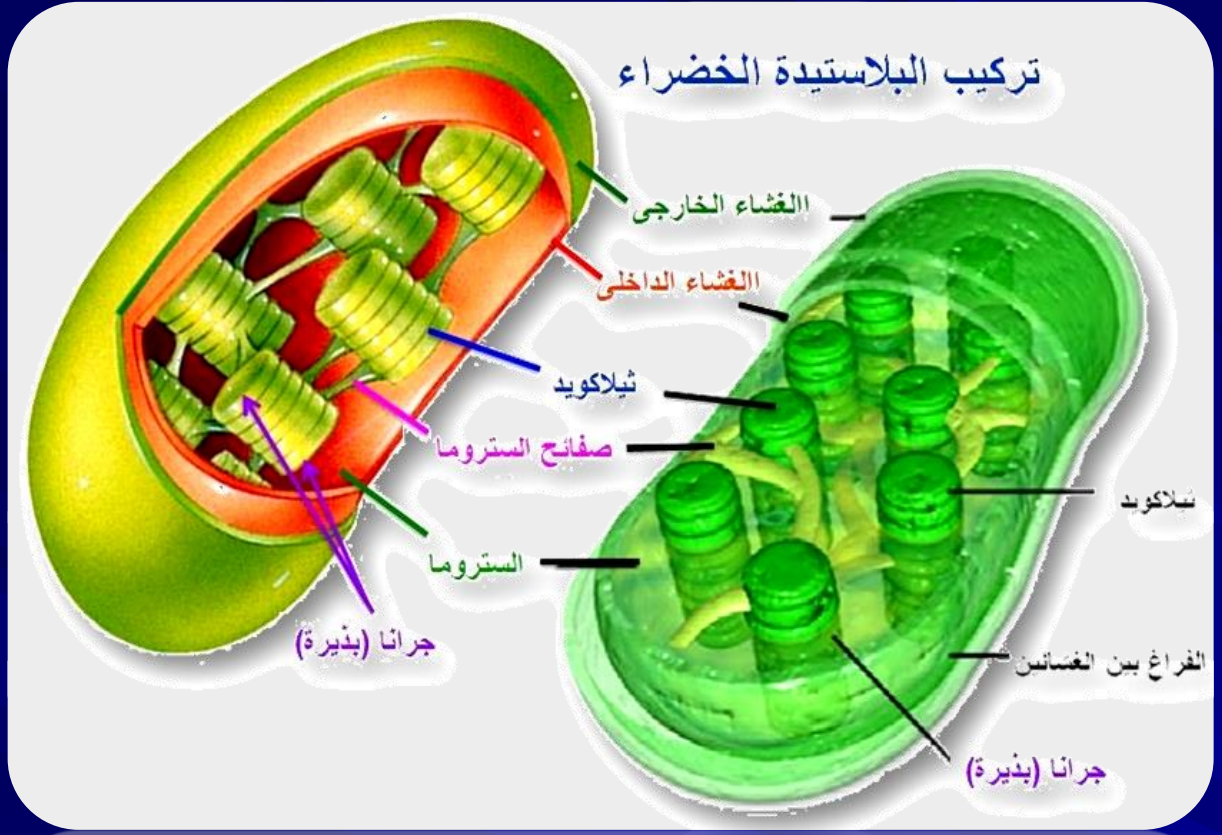
٢ـ البلاستيدات الخضراء Chloroplasts:
تختلف البلاستيدات فى أحجامها وأشكالها وعددها فى خلايا النباتات المختلفة ولكنها ثابتة فى النوع الواحد. فى النباتات الراقية يوجد ٥٠ : ١٠٠ بلاستيدة فى الخلية الواحدة وتأخذ شكل عدسى أو قرصى أو بيضاوى، بينما فى النباتات الأولية (الطحالب) يكون عددها محدود فى الخلية، لذا تكون كبيرة الحجم وتأخذ أشكال مميزة مثل الشكل الكأسى (طحلب كلاميدوموناس)، الحلزونى (طحلب اسبيروجيرا)، النجمى (طحلب زجنيما).

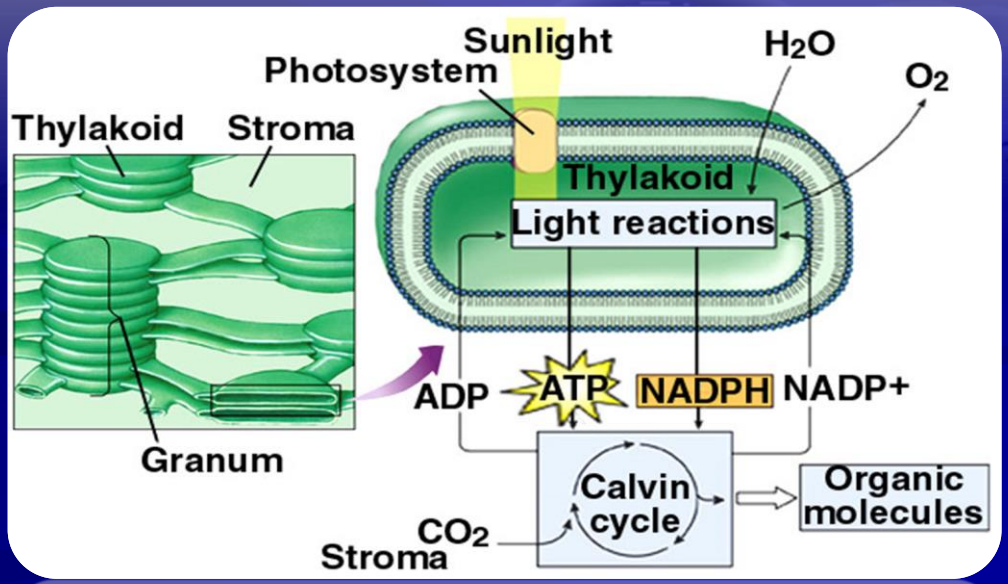






تركيب البلاستيدة الخضراء





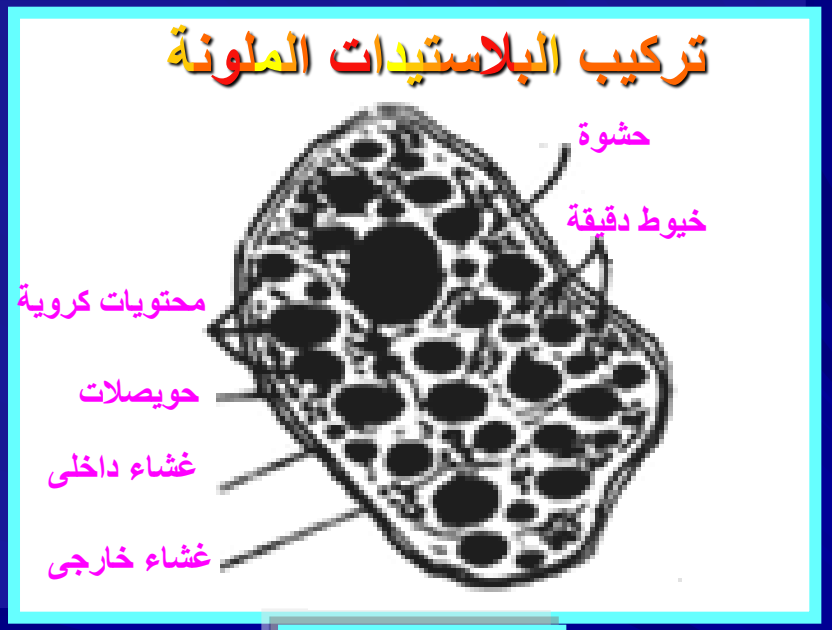
وظيفة البلاستيدات الخضراء

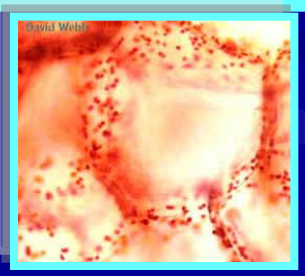
(أضغط هنا)

٣- البلاستيدات الملونة Chromoplasts

هى بلاستيدات ذات أشكال عديدة كما هو موضح بالرسم، تحتوى على صبغات الكاروتين والزانثوفيل ولاتحتوىعلى صبغات الكلوروفيل لذا فهى تأخذ اللون الأصفر أو الأحمر أو البرتقالى تبعا لنوع ونسب الموجودة بها

البلاستيدات الملونة فى الجذر





البلاستيدات الملونة فى الطماطم

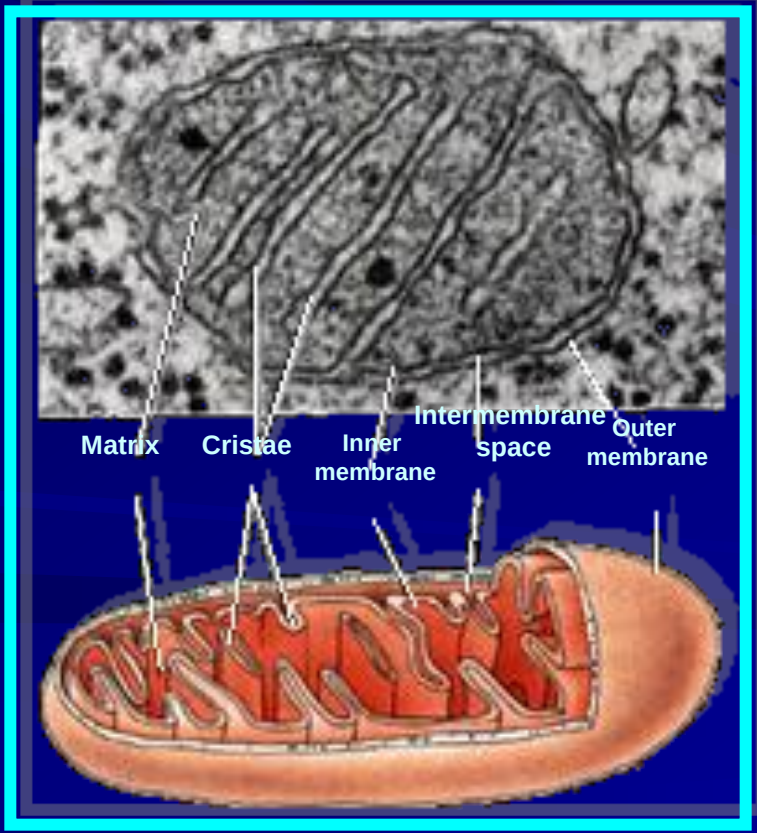
•وظيفة البلاستيدات الملونة:

هى المسئولة عن إعطاء اللون لبعض الثمار كالطماطم والبرتقال وبتلات الأزهار وبعض أنواع الجذور مثل الجزر.

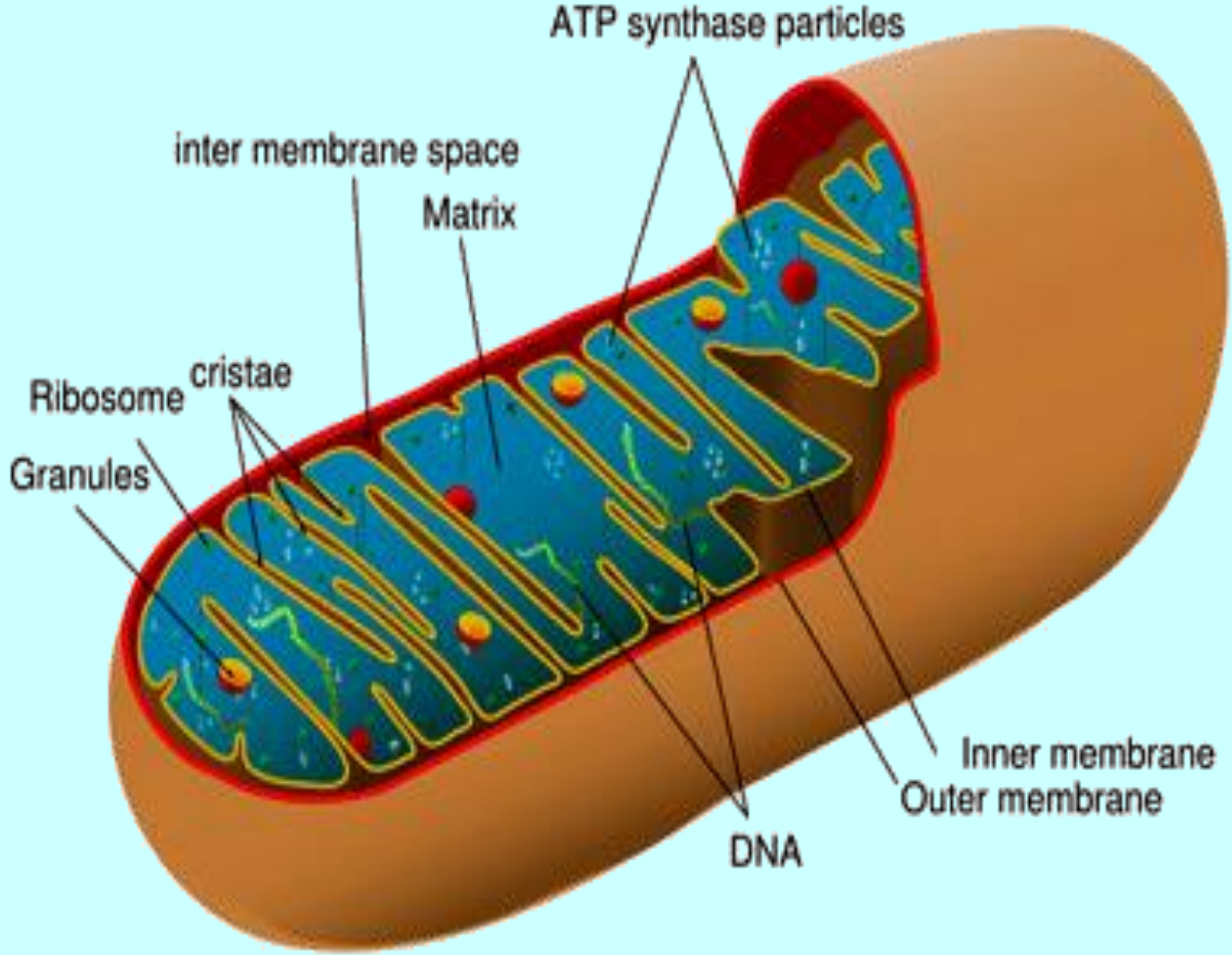
٤- البلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts

هى بلاستيدات خالية من الصبغات، ذات أشكال متعددة ويمكن أن يتغير شكلها لأنها ذات قدرة عالية على التمدد والمطاطية، توجد البلاستيدات عديمة اللون فى خلايا الأنسجة غير المعرضة للضوء كالدرنات والكورمات وإندوسبرم البذور. تقوم البلاستيدات عديمة اللون بوظيفة تكوين وتخزين المواد الغذائية، فنمها ما يختص بتكوين وتخزين النشا وتسمى بالبلاستيدات النشوية Amyloplasts ومنها ما يختص بتخزين الزيوت والدهون وتسمى بالبلاستيدات الزيتية Elaioplasts.

Mitochondria الميتوكوندريا

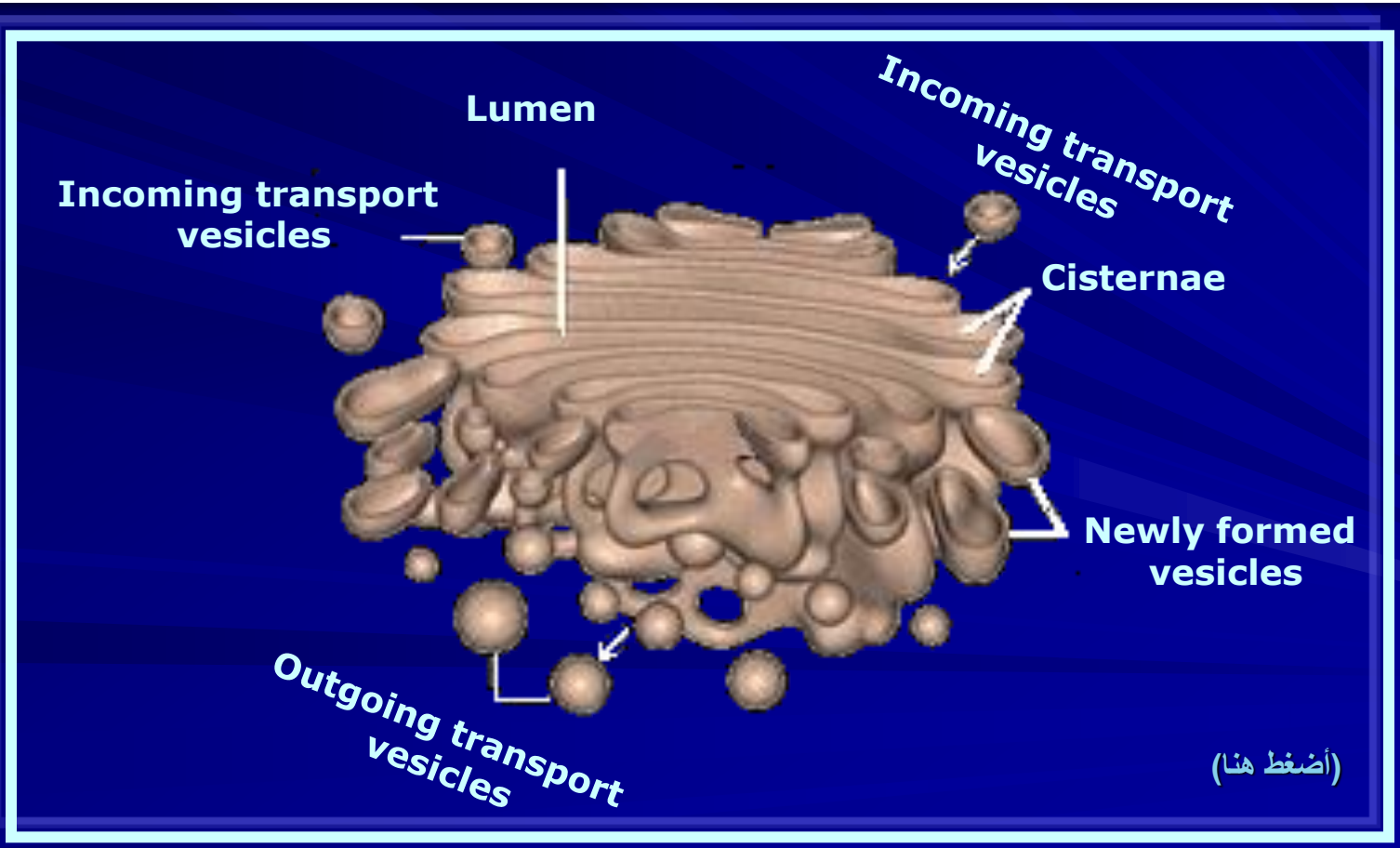


تتركب الميتوكوندريا من حشوه Matrix بروتينية تحتوى على ريبوسومات وجزيئات من DNA كما تحتوى على الإنزيمات اللازمة لدورة كربس وأنزيمات السيتوكروم وتغلف الحشوة بغلاف مكون من غشائين بينهما فراغ ويشبهان فى تركيبهما الأغشية البلازمية الأخرى، الغشاء الداخلى متعرج وذو نتوءات تبرز للداخل تسمى Cristae ويوجد على الغشاء الداخلى للميتوكوندريا ألاف من جسيمات دقيقة يتركب كل منها من رأس كروى وساق إسطوانية جوفاء متصلة بالغشاء تمثل إنزيمات تحويل أدينوسين ثنائى الفوسفات ADP إلى أدينوسين ثلاثى الفوسفات. وترجع أهمية الميتوكوندريا إلى أنها تتم بها تفاعلات دورة كربس وإنتاج الطاقة اللازمة لمختلف أنشطة الخلية.

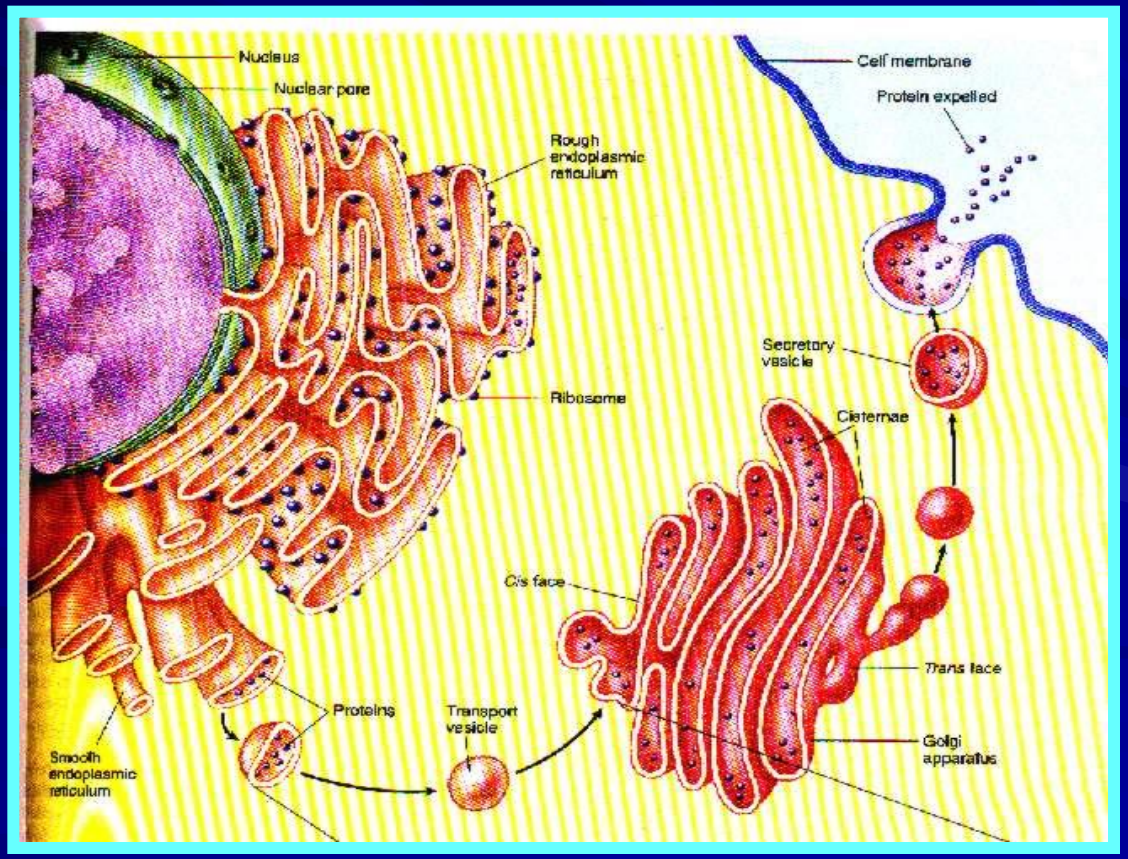

ATP synthase particles
inter membrane space
Matrix
Ribosome
cristae
Granules
Inner membrane
Outer membrane
DNA

الديكتيوسومات Dictyosomes

تسمى هذه العضيات البروتوبلازمية أيضا بأجسام جولجى Golgi bodies ويتكون كل ديكتيوسوم من صفائح قرصية غشائية مجوفة متراصة فوق بعضها البعض يتراوح عددها بين ٤ : ٨ صفائح قرصية تسمى سسترنات Cisternae تحتوى بداخلها على مركبات عديدة مثل البروتينات والكربوهيدرات، جدار كل قرص عبارة عن غشاء يشبه فى تركيبة باقى الأغشية البلازمية.



وظيفة أجسام جولجى هى الإفراز حيث تكون حويصلات غشائية، أغشيتها تتكون من بروتينات وفوسفوليبدات مشابهة لتلك الموجودة فى الغشاء البلازمى الخارجى وتحتوى تلك الحويصلات بداخلها على نواتج الإفراز التى تنتقل للديكتيوسومات عن طريق الشبكة الإندوبلازمية. تنفصل الحويصلات عن الديكتيوسومات وتتحرك فى إتجاه جدار الخلية حتى تلتحم بالغشاء البلازمى فتزيد من مساحة سطحه (خاصة فى الخلايا الناتجة حديثاً من الإنقسام والتى تنمو لتتحول إلى خلايا بالغة) وتفرز محتويات الحويصلات خارج الغشاء البلازمى فتدخل الكربوهيدرات والبروتينات فى تكوين الجدار الخلوى والصفيحة الوسطى كما يدخل جزء من البروتين فى تركيب الغشاء البلازمى، أما المواد الإفرازية (التى لاتحتاجها الخلية) فتفرز خارج الخلية ولذا يزداد عدد أجسام جولجى فى الخلايا المختصة بالإفراز كما فى خلايا قلنسوة الجذر والتى تفرز مواد لزجة لتساعد على سهولة إنزلاق الجذر بين حبيبات التربة.



أجسام جولجى

الريبوسومات Ribosomes

هى جسيمات برتوبلازمية صغيرة توجد إما حرة فى سيتوبلازم الخلية أو على السطوح الخارجية للشبكة الإندوبلازمية وغلاف النواة وفى السائل النووى والنوية وفى بعض العضيات البروتوبلازمية مثل الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء . الريبوسومات هى مركز بناء البروتينات من الأحماض الأمينة فى الخلية .

الأجسام الدقيقة Microbodies

هى أجسام دقيقة توجد فى سيتوبلازم الخلية تم إكتشف وتحديد ثلاث أنواع منها حتى الآن وهى

١- الجليوكسيسومات Glyoxysomes

توجد بصفة أساسية فى أنسجة البذور المخزنة للزيوت وتحتوى على إنزيمات دورة الجليوكسيلات Glyoxylate حيث تقوم بدورة مؤداها تمثيل وتحويل الزيوت والدهون إلى سكريات عند إنبات البذور الزيتية.

٢- البيروكسيسومات Peroxisomes

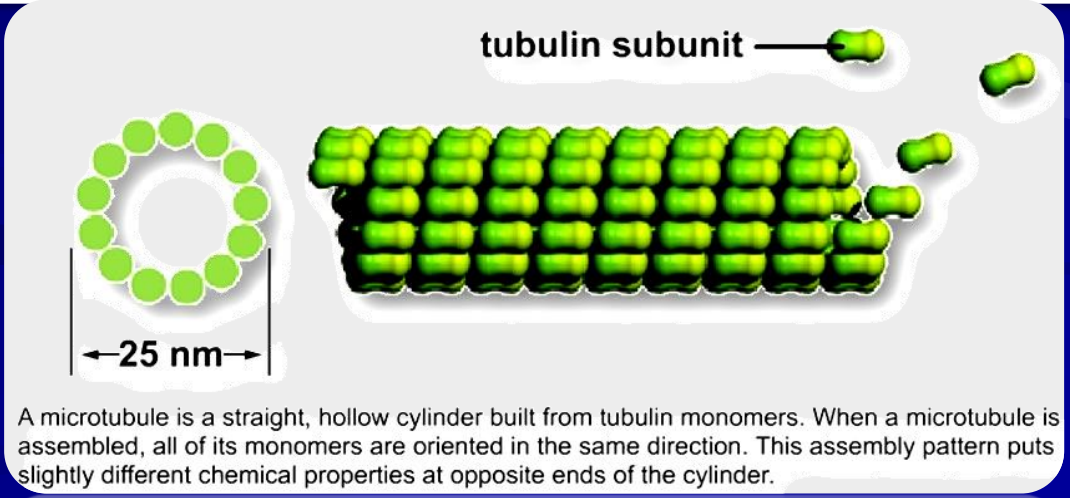
تحتوى هذه الجسيمات على إنزيمات عديدة مختصة بإنتاج وتحليل مركبات فوق الأكسيد، تشترك هذه الجسيمات فى عملية التنفس الضوئى التى تحدث فى النباتات ثلاثية الكربون حيث تقوم بتحليل فوق أكسيد الهيدروجين والذى يقوم بتحليله إنزيم الكتاليز وبالتالى تقلل من أضرار التنفس الضوئى.

٣- إسفيروسومات Spherosomes

تحتوى هذه الجسيمات على العديد من إنزيمات التحلل المائى مثل إنزيمات تحلل البروتين Proteases وإنزيمات تحلل الأحماض النووية Ribonucleasaes وأنزيمات الفسفتة Phosphatases وأنزيمات الأسترة Estrases. وقد تكون وظيفة هذه الجسيمات هى تحزين ونقل الليبدات ، كما تعتبر مخازن لأنزيمات التحلل المائى حيث ينفجر معظمها عند موت الخلية لتحرر الإنزيمات وتقوم بتحليل البروتوبلازم.

الأنيبيبات الدقيقة Microtubules

عبارة عن تراكيب دقيقة إسطوانية مجوفة يبلغ قطرها الكلى حوالى ٢٥ نانوميتر وقطر تجويفها الداخلى حوالى ١٥ نانوميتر. يتركب جدار الأنيبيبات الدقيقة من تحت وحدات بروتينية كثيرة تتجمع وتلتصق معا مكونة جدار الأنيبية، وتتكون الأنيبيبات الدقيقة من بروتين يسمى Tubulin. توجد تحت وحدات الـ Tubulin منتشرة فى السيتوبلازم ولكنها لا تتجمع لتكون الأنيبيبات الدقيقة إلا بتوجيه من وحدات توجد فى أماكن معينة بالخلية تسمى مراكز تنظيم الأنيبيبات الدقيقة Microtubules organizing Centers التى تنظم بناء وهدم الأنيبيبات الدقيقة تبعا لإحتياجات الخلية. توجد الأنيبيبات الدقيقة فى كل الخلايا الراقية (حقيقة النواة) وتؤدى عدة وظائف هامة منها تدعيم السيتوبلازم والمحافظة على شكل الخلية – حمل العضيات السيتوبلازمية - تعمل كمسارات تحدد حركة العضيات الخلوية والفجوات على طول إمتدادها داخل الخلية - تدخل كوحدات تحت تركيبية فى تكوين الأهداب والأسواط - تلعب دوراً هامً فى إنقسام الخلية حيث تشارك فى تكوين خيوط المغزل لفصل وهجرة الكروموسومات إلى قطبى الخلية فى الدور الإنفصالى من الإنقسام الميتوزى - تحدد مكان إنقسام السيتوبلازم وتكوين الصفيحة الوسطى فى الدور النهائى من الإنقسام الميتوزى، كذلك تلعب دوراً أساسياً فى تنظيم بناء الجدار الخلوى عن طريق توجيه ترسيب لويفات السليلوز الدقيقة فى الجدار وبالتالى توجيه إستطالة الخلية وبذلك تتحكم فى شكل الخلية النهائى.



A microtubule is a straight, hollow cylinder built from tubulin monomers. When a microtubule is assembled, all of its monomers are oriented in the same direction. This assembly pattern puts slightly different chemical properties at opposite ends of the cylinder.

ب-المكونات غير البروتوبلازمية

هى مكونات غير حية تمثل بعض نواتج عمليات الأيض بالخلية والتى قد تكون مفيدة للخلية كتلك المواد التى تدخل فى بناء الجدار الخلوى والأغشية الخلوية أو المواد المخزنة لكونها زائدة عن حاجة الخلية مثل النشا والبروتينات والزيوت، وقد تكون غير مفيدة أو فضلات يتم التخلص منها خارج الخلية أو تكون ضاره بالخلية فتجمعها داخل الفجوات العصارية فى صور مختلفة. توجد المكونات غير الحية فى جدار الخلية والسيتوبلازم والعصير الخلوى وهى إما أن تكون فى حالة ذائبة أو صلبة أو غروية، وقد تكون عضوية أو غير عضوية. لا توجد المكونات غير الحية فى الخلايا الحديثة ولكنها تظهر ويزداد مقدارها بنمو الخلايا وتقدمها فى العمر ويكون وجوده بصورة أوضح فى الخلايا المختصة بالتخزين. وسوف نشير هنا إلى أهم المكونات غير الحية الشائعة فى النباتات الزهرية .

الفجوة العصارية والعصير الخلوى

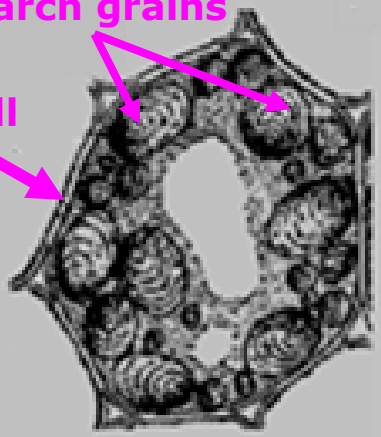
تعتبر الفجوة العصارية من مميزات الخلية النباتية، يختلف شكل وحجم وعدد الفجوات تبعاً لنوع الخلية وعمرها، فالخلية المرستيمية النشطة فى عملية الإنقسام تمتلئ بسيتوبلازم كثيف وتوجد به فجوات عصارية صغيرة جداً مبعثرة فى هذا السيتوبلازم وعند تطور الخلايا المرستيمية وفى أولى خطواتها نحو النمو والتميز فإنها تتشرب وتمتص كمية كبيرة من الماء والأملاح الذائبة والتى لا تلبث أن تتجمع فى الفجوات الصغيرة فيزداد حجمها شيئا فشىء وتلتحم مع بعضها البعض خلال مرحلة إستطالة الخلايا لتكون فى النهاية فجوة واحدة مركزية مما يدفع السيتوبلازم ليلاصق الجدر الخلوية على هيئة طبقة رقيقة من المادة الحية تبطن الجدار الخلوى من الداخل وتتمركز النواة عند أحد جوانب الخلية. وتحاط الفجوة العصارية بغشاء سيتوبلازمى يعرف بالتونوبلاست **Tronoplast** أى الغشاء الفجوى وهو غشاء إختيارى النفاذية يحيط العصير الخلوى **Cell sap** وهو محلول به العديد من المواد الذائبة ويمكن تلخيص وظائف الفجوة فيما يلى:

١) المحافظة على إستمرار ضغط إمتلاء الخلية **Turgor Pressure** وهذا الضغط الإمتلائى له دور هام فى التحكم فى تحرك الماء من وإلى الخلية، كما أنه يساعد فى التركيب الدعامى للخلايا والأنسجة والأعضاء النباتية. وإذا فقدت الخلية ضغط إمتلائها بدرجة كبيرة فإنها تفقد حيويتها وهو ما يعرف بالبلزمة **Plasmolysis** المستديمة، ويؤدى ذلك إلى تمزق الخيوط السيتوبلازمية التى تربط المادة الحية للخلايا المتجاورة ببعضها البعض.

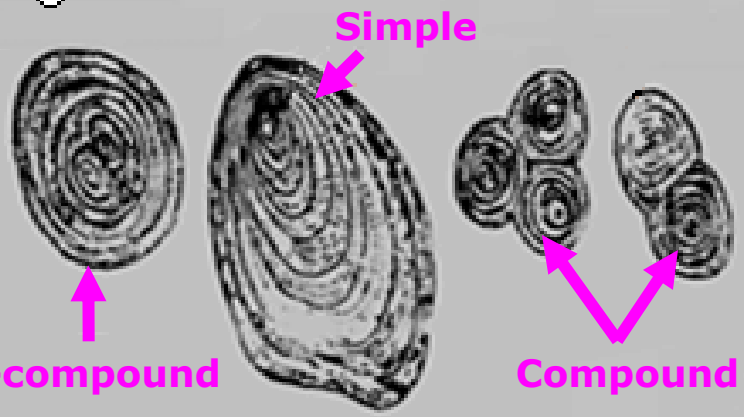
٢) يخزن فى الفجوة العصارية العديد من المواد الأساسية اللازمة للنشاط الأيضى.

٣) يتم فيها تراكم بعض نواتج الأيض الثانوى والعديد من المركبات السامة والمركبات الدفاعية الخلوية ضد بعض الكائنات الطفيلية.

رسومات تخطيطية توضح تركيب وأشكال حبيبات النشا من مصادر نباتية مختلفة



from potato tuber



from corn grains

from bean seeds

from banana fruits

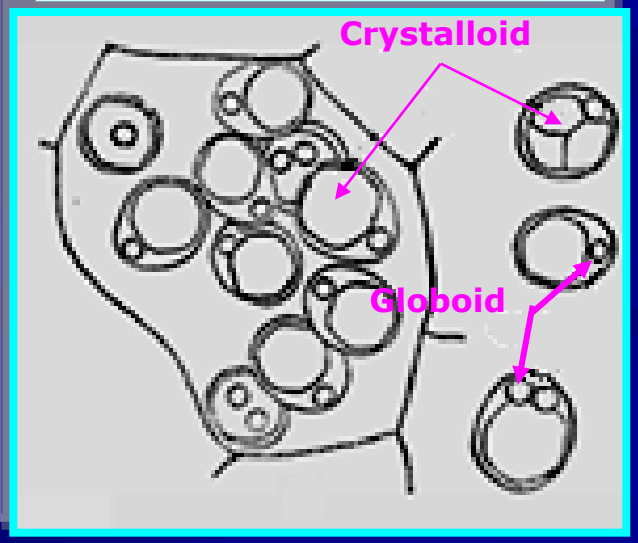
from rice grains

from wheat grains

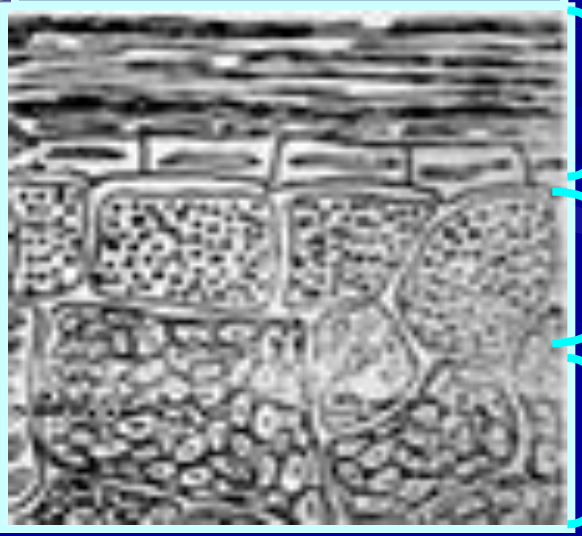
البروتينات Proteins

يدخل البروتين فى تكوين البروتوبلازم وفى بناء الأغشية والجدر الخلوية كما قد توجد أحيانا كمركب إختزانى فى صورة حبيبات تعرف بحبيبات الأليرون Aleurone grains وهذه الحبيبات تكون عادة كبيرة الحجم فى البذور الزيتية عنها فى البذور والحبوب النشوية، ففى القمح مثلا توجد طبقة واضحة ومميزة أسفل غلاف الحبة مباشرة تسمى طبقة الأليرون تحتوى على حبيبات أليرون صغيرة ومستديرة تتكون من بروتين غير متبلور أما فى البذور الزيتية مثل بذور الخروع فتتكون حبيبة الأليرون من غلاف بروتينى يوجد بداخله عادة جسمان أحدهما كبير ومضلع يتكون من بروتين نقى يعرف بالجسم شبه البللورى Crystalloid ويسمى كذلك لأنه يشبه الغرويات فى قدرته على تشرب الماء والإنتفاخ، والجسم الأخر صغير وكروى وغير متبلور يعرف بالجسم الكرى Globoid ويتكون من فيتين Phytin وهو عبارة عن بروتين مرتبط بفوسفات الكالسيوم والماغنسيوم ويوجد الجسمان فى وسط من الألبيومين السائل الذى يتصلب فيما بعد محيطان بالجسمين الشبه بللورى والكرى .

حبيبات الأليرون فى بذور الخروع



حبيبات الأليرون فى حبوب القمح



الزيوت والدهون Fats and oils

يكثر وجود الدهون والزيوت فى المحاصيل الزيتية مخزنة فى الثمار الناضجة والبذور وأحيانا فى الدرنات والريزومات . ويعتبر حمض الأوليك Oleic acid أكثر الأحماض الدهنية إنتشارا فى تركيب الدهون والزيوت النباتية يليه حمض اللينوليك Linoleic وحمض البالميتوليك Palmitoleic

أشباه القلويات (القلويدات)

هى مركبات أزوتية معقدة التركيب كثيرا ما تسبب تأثيرات فسيولوجية واضحة على الحيوانات ومن أمثبتها الكافيين Caffein الذى يوجد فى بذور البن وأوراق الشاى وهو يؤثر على الجهاز العصبى المركزى، والأفيون ذو التأثير المخدر وهو يوجد فى المادة اللبنية Latex التى تنتجها الثمار غير الناضجة لنبات الخشخاش *Papaver somniferum*، والكينين Quinine الذى يوجد فى قلف أشجار بعض أنواع نبات الكينا Cinchona.

الصبغات Pigments

الصبغات النباتية قد تكون غير قابلة للذوبان فى الماء وتذوب فى الكحول وهذه توجد فى البلاستيدات الخضراء مثل صبغات الكلوروفيل وصبغات الكاروتين والزانثوفيل، وقد تكون قابلة للذوبان فى الماء وهذه توجد فى الفجوات العصارية وتشمل صبغات الفلافونات Flavons ونواتج أكسدتها هى الأنثوسيانينات Anthocyanins المسئولة عن اللون فى كثير من الأزهار مثل أزهار حنك السبع والجارونيا وبذور ثمار الرمان وجذور بعض النباتات مثل البنجر. وصبغة الانثوسيانين ذات لون أزرق فى الوسط القلوى ويتغير لونها إلى الأحمر فى الوسط الحامضى .

البلورات Crystals

تختلف البلورات كثيرا فى تركيبها الكيميائى ، فقد تكون بروتينية وتظهر فى شكل مكعبات صغيرة كما فى درنات البطاطس وقد تكون سكرية مثل بلورات الأنيولين الكروية التى فى كثير من نباتات العائلة المركبة مثل نبات الداليا مخزنة فى الدرنات. وتعتبر بلورات أملاح الكالسيوم هى أكثر البلورات إنتشارا فى الخلايا النباتية ومنها بلورات أكسالات الكالسيوم التى توجد فى صور مختلفة، مثل البلورات المنشورية Prismatic crystals تشاهد فى ساق نبات الزيزفون ، والبلورات الوردية أو النجمية Rosette or Druses crystals تشاهد فى سيقان نبات الرجلة وفى جذور وسيقان نبات القطن، والبلورات الأبرية Acicular crystals التى توجد عادة متجمعة فى حزم تسمى رافيدات Raphids كما فى ساق الدراسينا والجذور الدرنية لنبات الأسبرجس. هناك أيضا بلورات كربونات الكالسيوم التى توجد عادة فى شكل عناقيد متدلية من جدر الخلايا التى تحتويها والتى يكبر حجمها كثير عن الخلايا المجاورة كما هو الحال فى خلايا بشرة أوراق نبات التين المطاطى حيث يظهر نتوء من جدار خلية البشرة الخارجى ويبرز داخل الخلية ثم تترسب عليه كربونات الكالسيوم مكونة البلورة التى تعرف بالحوصلة الحجرية Cystolith كما تسمى الخلية المحتوية عليها بخلية الحوصلة الحجرية .