الباب الأول
الخليـة النباتيـة

The Plant Cell

أثبت العالم الانجليزى روبرت هوك Robert Hook سنة ١٦٦٥ بعد أن فحص قطعة من الفلين بواسطة ميكروسكوبة البدائى، أن نسيج الفلين يتكون من وحدات، أطلق على كل وحدة من هذه الوحدات إسم خلية cell . تحقق هوك من أن خلايا الفلين خلايا ميتة وذلك عندما قارنها بالخلايا الحية الموجودة فى أوراق النبات حيث وجد أن الأخيرة تحتوى على ماأسماه بالعصير والذى عرف فيما بعد بالبروتوبلاست Protoplast . عقب ذلك بسنوات قليلة حوالى سنة ١٦٧٦ شاهد صانع العدسات الهولندى أنطون فان لوفنهوك Anton van Leouwen hock أجساما خضراء بداخل الخلايا النباتية، وهذه عرفت فيما بعد باسم البلاستيدات الخضراء. وفى سنة ١٨٣٣ أكتشف العالم الانجليزى روبرت براون Robert Brown النواة وذلك أثناء فحصه لخلايا نسيج بشرة نبات الأوركيد. ثم أثبت العالم الألمانى شلايدن M. Schleiden أن النواة تحتوى على نوية. وفى سنة ١٨٣٩ وضع كلا من عالم النبات شلايدن Schleidenوعالم الحيوان الألمانى شفان T. Schwann نظرية الخلية Cell theoryوفحواها أن الخلية هى الوحدة الأساسية لتكوين الكائن الحى وانها تقوم بجميع العمليات الحيوية وانها تنشأ من انقسام خلايا أخرى. وفى سنة ١٨٣٩ أطلق Purkinje إسم بروتوبلازم على المادة الحية للخلية. وفى سنة ١٨٩٨ اكتشف العالم الايطالى جولجى C. Golgi جهاز جولجى وذلك فى خلايا حيوانية. وفى سنة١٩٠٠ اكتشف العالم الألمانى التمان R. Altmann الميتوكوندريات.

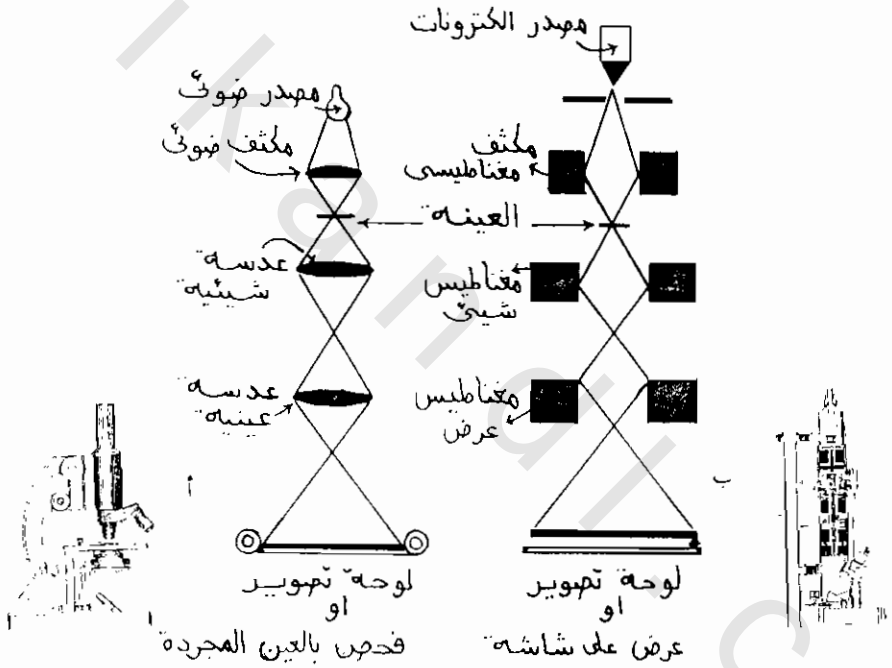
تتركب الخلية النباتية الحية من جدار خلوى يحيط بالبروتوبلاست. والبروتوبلاست هو إصطلاح أدخلة هانشتين Hanstein سنة ١٨٨٠ ليعرف به جميع مكونات الخلية ماعدا الجدار الخلوى. والبروتوبلاست يتكون من مواد بروتوبلازمية وغير بروتوبلازمية.

طرق فحص الخلية النباتية

تمت الدراسات الحديثة للخلية النباتية بعد أن أمكن التوصل إلى فحص الخلايا بقوى تكبير تصل حوالى ٣ مليون مرة وذلك باستخدام المجهر الإلكترونى بعد أن كانت أقصى قوة تكبير للمجهر الضوئى العادى حوالى ألف مرة.

يستعمل المجهر الضوئى الضوء العادى بينما يستعمل المجهر الإلكترونى الأشعة الإلكترونية المارة فى أنبوبة مفرغة وذلك لتكوين الصورة. وفى المجهر الضوئى تستخدم عدسات عينية وشيئية وعدسة مكثف وكلها زجاجية وذلك لتوجيه وتجميع الضوء بينما يستعمل فى المجهر الإلكترونى مجالات مغناطيسية لتوجيه وتجميع الأشعة الإلكترونية بدلا من العدسات الزجاجية (شكل ١).

وفى المجهر الضوئى يمكن رؤية الصورة بالعين أو بالتصوير، أما فى المجهر الإلكترونى فتظهر الصورة على شاشة خاصة أو تصور بجهاز خاص.



(شكل ١): المجهر الضوئى والمجهر الالكترونى العادى.

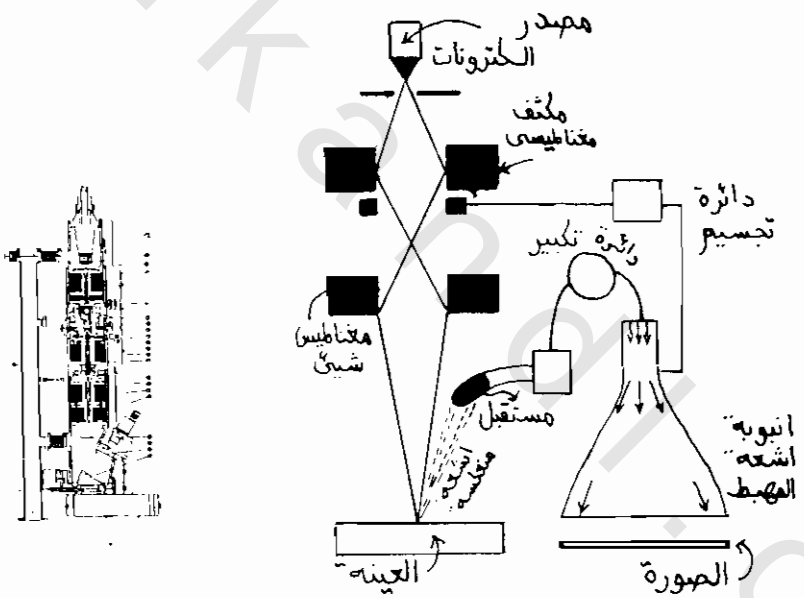
رسم تخطيطى مبسط يوضح تركيب المجهر الضوئى (أ) والمجهر الالكترونى

(ب) ومسار الأشعة فيهما مع بيان كيفية تكوين الصورة.

obeikandl.com

يوجد نوعين من المجهر الإلكترونى electronic microscope وهما المجهر الإلكترونى العادى transmission e. m. ويستعمل لفحص سطح العينة فى مستو واحد. والمجهر الإلكترونى المجسم scanning e. m. . ويستعمل لفحص مجسم للعينة وذلك فى ثلاثة أبعاد أو إتجاهات. وفى هذا المجهر لايوجد مجال مغناطيسى يحل محل العدسة العينية بل نجد أن الالكترونيات تنعكس وتتشتت من على سطح العينة المفحوصة ويوجد جزء حساس detector يستقبل هذه الأشعة الإلكترونية ويليه جزء آخر مكبر للأشعة ثم تنقل الأشعة إلى أنبوبة أشعة الكاثود (المهبط) ومنها تتكون الصورة. توجد دائرة تجسيم تصل إلى أنبوبة أشعة الكاثود (شكل ٢).

لفحص الأنسجة النباتية وخلاياها بواسطة المجهر الضوئى تعمل قطاعات رقيقة باستعمال أمواس حادة يدويا أو بواسطة جهاز الميكروتوم microtome الشمعى أو الثلجى. أما الفحص بالمجهر الإلكترونى فيحتاج إلى عمل قطاعات رقيقة جدا قد تصل فى السمك إلى ٣٠ ملليميكرون ويتم ذلك بتثبيت العينة ثم تحميلها فى نوع خاص من البلاستيك.



(شكل ٢): المجهر الالكترونى المجسم

رسم تخطيطى مبسط يوضح تركيب المجهر الالكترونى المجسم ومسار الأشعة فيه مع بيان كيفية تكوين الصورة.

ويجرى عمل القطاعات بواسطة أمواس خاصة من الزجاج المشطوف أو من الماس المصقول وذلك بواسطة جهاز ميكروتوم دقيق ultramicrotome وتستعمل حديثا وبكثرة طريقة لعمل القطاعات لفحصها بالمجهر الإلكترونى وتسمى طريقة التجميد والتبخير تحت تفريغ freeze etching. وفى هذه الطريقة تجمد العينة بسرعة ثم يجرى تقطيع الجزء المجمد بواسطة موس بارده. وعمل قطاعات تحت هذه الظروف بسبب إنشقاق الخلايا فى أضعف أجزائها وهى أسطح الأغشية الموجودة فى الخلية مما يسبب كشف التركيب الداخلى للخلية. ثم يسمح لبعض الماء المتجمد حول الأغشية أن يتبخر وهذا مايسمى etching ويعرض القطاع لبخار مزيج من البلاتين والكربون والذى يتراكم على السطوح المقطوعة مكونا صورة مكرره replica أو negative للتركيب الخلوى. تجرى جميع الخطوات السابقة تحت تفريغ under vacuum وذلك فى حجرة مفرغة. ثم تزال جميع أجزاء الخلية وتبقى الصورة المكرره replica للخلية وهى التى تفحص بالمجهر الإلكترونى وتعتبر هذه أحسن طريقة لفحص التركيب الدقيق للخلايا الحية.

وتتراوح أحجام الخلايا النباتية ومكوناتها كالآتى:

الوحدة	الطول أو القطر بالميكرون
أغلب خلايا النباتات الزهرية	٥ – ١٠٠
أغلب الخلايا البكتيرية	٠,٥ – ٥
البلاستيدات الخضراء	٢ – ١٠
الميتوكوندريا	٠,٥ – ٥
الريبوسومات	٠,٠٢

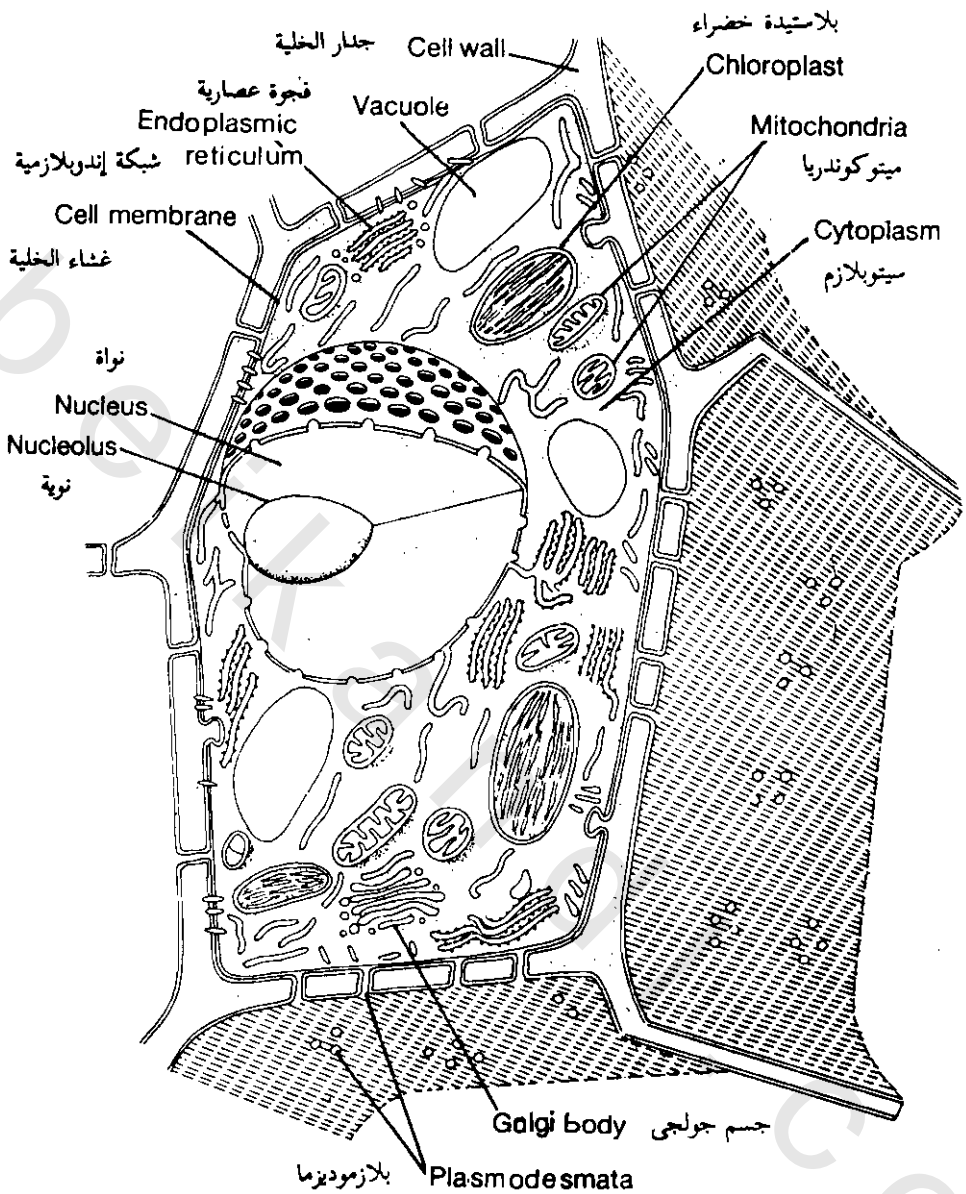
والوحدات التى تستعمل فى قياس أجزاء الخلية هى:

الميكرون ويرمز له μ أو m μ ($\frac{١}{١٠٠٠}$ من المليمتر.) ميكرومتر.

المليميكرون ويرمز له m μ = نانومتر nanometer ويرمز له nm

$= \frac{١}{١,٠٠٠,٠٠٠}$ من المليمتر

أنجستروم ويرمز له $A^{o} = \frac{١}{١٠,٠٠٠,٠٠٠}$ من المليمتر



(شكل ٣): قطاع فى خلية نباتية (مجسم).

صوره بالمجهر العادى

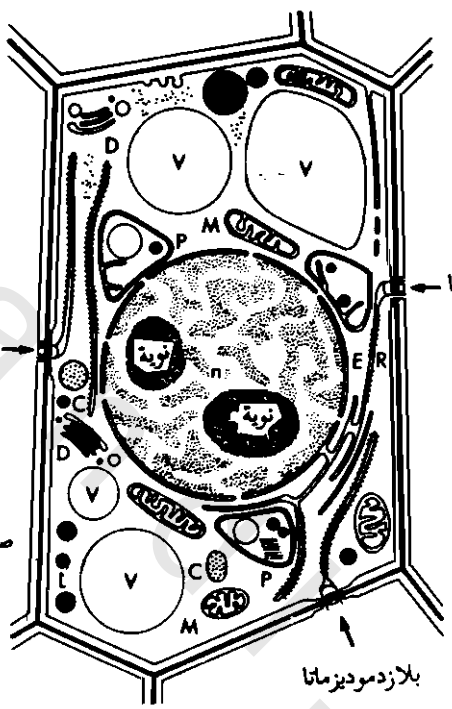
جدار الخلية

سيتوبلازم

نواة

بلاستيدة خضراء

فجوة عصارية



صوره بالمجهر الالكترونى

(شكل ٣ أ): قطاع طولى فى خلية

V- فجوة عصارية

ER- شبكة إندوبلازمية

D- جهاز جولجى

C- ليسوسوم

M- ميتوكوندريا

P- بلاستيدة

n - نواه

L- دهون

أجزاء الخلية النباتية

يمكن تقسيم أجزاء الخلية النباتية كالآتى (شكل ٣ و ٣ أ):

١ـ بروتوبلاست.

(أ) بروتوبلازم(مكونات بروتوبلازمية)

١) سيتوبلازم. ٢) نواة.

٣) ريبوسومات. ٤) بلاستيدات.

٥) ميتو كوندريات. ٦) أجسام كروية.

٧) جهاز جولجى. ٨) أنابيب دقيقة.

٩) بيروكسيسومات.

(ب) مكونات غير بروتوبلازمية.

١) فجوات عصارية.

٢) مواد غير حية مثل النشا والدهون والبروتين والبلورات

٢ـ جدار خلوى

البروتوبلازم Protoplasm

يقصد بالبروتوبلازم المادة الحية للخلايا، وتوجد فى داخل الكائن الحى فى نظام دقيق مكونة فى مجموعها الحياة. والبروتوبلازم مادة هلامية غير متجانسة تظهر بالفحص الميكروسكوبى الدقيق أنها تتكون من محلول غروى متجانس نسبياً يعرف بالسيتوبلازم، يوجد معه مكونات أخرى أكثر كثافة وهى النواة والبلاستيدات والميتو كوندريات والريبوسومات والأجسام الكروية. والبروتوبلازم فى مجموعة يتكون أساساً من بروتينات وأحماض نووية ودهون وماء.

يمتاز البروتوبلازم بعدة خواص أهمها الحركة والحساسية والتحول الغذائى والتكاثر والنمو. يوجد أنواع من الحركة motility للبروتوبلازم أهمها الحركة الانسيابية وفيها يتحرك السيتوبلازم فى اتجاهات عديدة داخل الخلية ومن خلية إلى أخرى خلال قنوات سيتوبلازمية تعرف بالبلازمودزمات plasmodesmata. الحساسية irritability هى قدرة البرتوبلازم على

الاستجابة للمؤثرات الخارجية يمكن إظهار ذلك بالاسراع أو بالاقلال من حركة البروتوبلازم بتعريض الخلايا لمؤثر ميكانيكى أو كهربائى أو طبيعى. التحول الغذائى metabolism ينتج عن النشاط الإنزيمى للبروتوبلازم ويشمل عمليات الهدم catabolism وعمليات البناء anabolism.ظاهرة التكاثر reproduction وينتج عنها زيادة عدد وحدات البرتوبلازم وظاهرة النمو growth وينتج عنها زيادة حجم النبات وتكشفه، يمكن مشاهدتهما فى مناطق النمو كالقمم النامية للسيقان والجذور.

السيتوبلازم Cytoplasm

السيتوبلازم هى المادة الغروية الأساسية للبروتو بلازم ويتكون من البلازم الأرضى (السيتوسول) والأغشية البلازمية والشبكة الاندوبلازمية.

البلازم الأرضى أو الأساسى groundplasm أى السيتوسول cytosol عبارة عن محلول غروى حقيقى يختلف فى لزوجته باختلاف الخلية ونوعها وعمرها. يحتوى على الماء بنسبة ٨٥ ـ ٩٠٪ كما يحتوى على أنواع مختلفة من البروتينات والدهون فى حالة غروية وسكريات وأملاح فى حالة ذائبة وهو المحلول الذى ينغمس فيه بقية أجزاء السيتوبلازم والخلية.

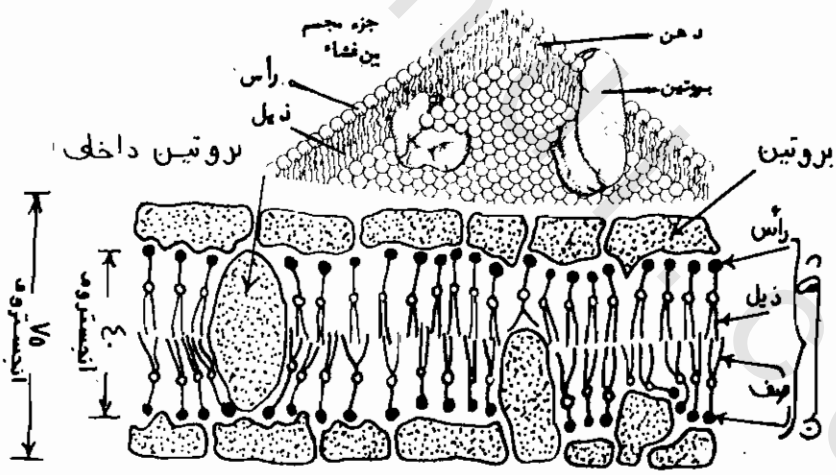
يمتاز السيتوبلازم بأغشيتة البلازمية plasma membranes التى تشاهد فى مناطق تلامسه مع الجدار الخلوية وتعرف بالاغشية البلازمية الخارجية ectoplasts أو plasmalemma ومع الفجوات العصارية وتعرف بالأغشية البلازمية الفجوية tonoplasts الاغشية البلازمية الخارجية والفجوية تغلف البلازم الارضى، وتمتاز بارتفاع نسبة البروتينات والدهون بها عن السيتوسول. والغشاء البلازمى رقيق سمكه حوالى ٧٥ انجستروم ويتكون من طبقتين بروتينيتين يوجد بينهما طبقة ثالثة دهنية. ويظهر الغشاء البلازمى عند الفحص بالميكروسكوب الإلكترونى كخطين غامقى اللون سمك كل منهما حوالى ١٧ أنجستروم هما طبقتى البروتين ويفصل بينهما طبقة رائقة سمكها حوالى ٤٠ أنجستروم هى الطبقة الدهنية.

وقد وجد أن طبقة البروتين تتكون من جزيئات بروتين منفصلة. كما يتخلل طبقة الدهن جزيئات بروتين. وطبقة الدهن تتكون من جزيئات دهن متراصة فى صفين بجانب بعضها البعض وكل جزئى يتكون من رأس head محب للماء وذيل tail كاره للماء(شكل ٤).

والأغشية البلازمية أغشية حية إختيارية النفاذية selective permeable أى لها القدرة على التحكم فى دخول الذائبات والمذيبات. كما أنها تحتوى على أنزيمات وحاملات أيونات

وجزيئات تساعد على نفاذ أيونات وجزيئات خاصة فى إتجاه عكسى بالنسبة للاتجاه الطبيعى لمنحدر التركيز وذلك تبعا لاحتياجات الخلية، وهذا يعرف بالنقل النشط active transport وعادة يوجد اختلاف فى النفاذية الاختيارية لكل من الغشاء البلازمى الخارجى والغشاء البلازمى الفجوى فمثلا نجد فى الطحلب الأخضر *Valonia* أن الغشاء البلازمى الخارجى ينفذ المغنسيوم، بينما لاينفذه الغشاء البلازمى الفجوى، لهذا نجد المغنسيوم موجودا فى السيتوسول ولايوجد فى الفجوة العصارية لهذا الطحلب.

الشبكة الإندوبلازمية endoplasmic reticulum عبارة عن أنابيب وحويصلات دقيقة متشابكة منغمسة فى السيتوسول وجدرها تماثل فى تركيبها الغشاء البلازمى. الشبكة الإندوبلازمية قد تكون ملساء أو خشنة (شكل٣). ويرجع خشونة النوع الأخير إلى أنها تحمل على سطوحها أجسام دقيقة تعرف بالريبوسومات. تتصل الشبكة الإندوبلازمية بالغشاء البلازمى الخارجى وبالغلاف النووى كذلك قد تتصل بجهاز جولجى. يعتقد أن وظيفة الشبكة الاندوبلازمية هى سهولة تمرير المواد داخل الخلية أو تخزينها وخاصة المركبات البروتينية. فالبروتين الذى يتكون على الريبوسومات يمر إلى تجاويف الشبكة الإندوبلازمية ويتجمع فيها وقد ينتقل بعد ذلك الى جهاز جولجى أو يرشح إلى السيتوبلازم. ومن المعروف أن الشبكة الإندوبلازمية يحدث لها تبرعم وتنفصل منها حويصلات تحتوى على البروتين وتتحرك عبر السيتوبلازم لتلتحم بالغشاء البلازمى الخارجى وتفرغ محتوياتها خارجة أو تلتحم بأغشية جهاز جولجى لتفرغ محتوياتها بداخله وبذلك تنقل محتويات الشبكة الاندوبلازمية إلى جهاز جولجى.



(شكل ٤) : الغشاء البلازمى الخارجى

قطاع عرضى فى جزء من غشاء بلازمى خارجى.

النـواة Nucleus

النواة جسم كروى أو بيضاوى، توجد وسط السيتوبلازم، ويختلف قطرها كثيرا حسب نوع الخلية ونوع النبات، وهى كبيرة نسبياً وتتوسط عادة الخلية فى الخلايا المرستيمية وصغيرة نسبياً، وتوجد عادة جانبيا فى الخلايا البالغة تحتوى الخلية النباتية للنباتات الراقية على نواة واحدة، عادة إلا أنه فى بعض الحالات كما فى الأنابيب اللبنية latix tubes نجد أن الخلية الواحدة تحتوى على عديد من النوايات. ومن المعروف أن الخلية تموت إذا فصلت منها النواة، إلا أن الأنابيب الغربالية الناضجة تستمر حية برغم خلوها من النواة. ويقال أن نواة الأنبوبة الغربالية الناضجة توجد فى حالة إنتشار فى سيتوبلازم الخلية. ويرى البعض أن الأنبوبة الغربالية تكون دائماً على صلة وثيقة بخلية مرافقة أو أكثر، وكل خلية مرافقة لها نواتها التى تخدمها وتخدم الأنبوبة الغربالية المجاورة.

تختلف النواة عن السيتوبلازم فى زيادة لزوجة النواة عن السيتوبلازم وفى زيادة نسبة الأحماض النووية فى النواة عن السيتوبلازم.

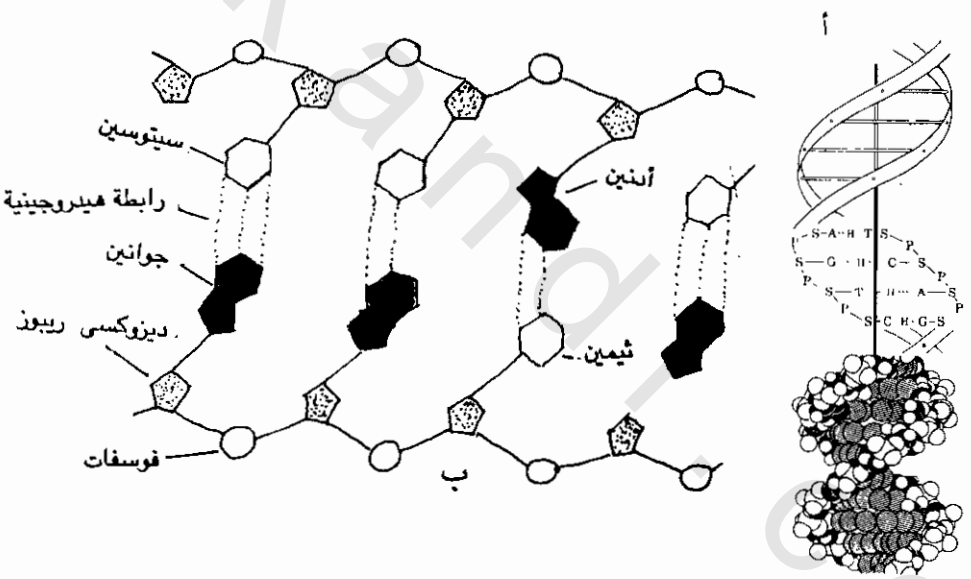
يوجد بالنواة نوعان رئيسيان من الأحماض النووية هما حمض الـدى اكسى ريبوز النووى deoxyribonucleic acid الذى يرمز له بالرمز DNA وحمض الريبوز النووى ribonucleic acidالذى يرمز له بالرمز RNA . يتركب كل من الحمضين النووين RNA أو DNA من وحدات تسمى نيو كليوتيدات nucleotides وكل وحدة من هذه الوحدات تتكون من جزىء من السكر الخماسى دى اكسى ريبوز فى حالة الحمض DNA أو سكر ريبوز فى حالة الحمض RNA ويرتبط مع السكر جزىء فوسفات من ناحية وقاعدة نيتروجينية من ناحية آخرى، والقاعدة النيتروجينية هى أدنين adenine أو ثيمين thymine أو جوانين guanine أو سيتوسينcytosine فى حالة الحمض DNA وأدنين أوجوانين أو سيتوسين أو يوراسيل فى حالة الحمض RNA . والقواعد النيتروجينية جزيئاتها حلقية فهى تتكون من حلقة واحدة سداسية كما فى سيتوسين وثيمين أو تتكون من حلقتين خماسية وسداسية كما فى أدنين وجوانين.

الحامض النووى DNA عبارة عن سلسلتين حلزونيتين من النيو كليوتيدات تلتفان حول بعضهما ويربط بين القواعد المتقابلة فى السلسلتين روابط إيدروجينية وهذه الروابط تربط بين أدنين وثيمين فى السلسلة الأخرى وأيضاً نفس الشىء بالنسبة لجوانين وسيتوسين(شكل٥) وأحيانا يكون عبارة عن خيط يوجد على هيئة حلقة كما فى البكتيريا كما قد يوجد فى الميتو كوندريا والبلاستيدات الخضراء شكل(٦).

الحامض النووى RNA عبارة عن خيط غير حلزونى ولايوجد إلتحام بين خيط وآخر بالروابط الإيدروجينية بعكس ماهو موجود DNA ولكن فى بعض الحالات كما فى حالة RNA ناقل فانه قد توجد روابط إيدروجينية بين القواعد فى نفس الجزيىء. ويوجد أنواع عديدة من RNA ولها وظائف مختلفة فى الخلية وهى كالآتى:

١ـ RNA ناقل(transfer RNA) وهو أصغر أنواع RNA حجما وله وزن جزئى ٢٥٠٠٠ دالتون daltons وهو يتكون من نيوكليوتيدات مرتبطة ببعضها توجد على هيئة قاعدة وساق وفرعين أو ثلاثة فروع وكل فرع ينتهى بدائرة.

وتوجد روابط إيدروجينية تصل بين أدنين ويوراسيل وبين سيتوسين وجوانين فى كل من الساق والفروع فقط. أما القاعدة والدوائر الثلاثة فلايوجد فيها روابط إيدروجينية والجزء القمى هو الذى يرتبط به الحامض الأمينى عند تكوين البروتين (شكل٩).



(شكل ٥): الحمـض النووى DNA

أ. ب – جزء من الحمض النووى DNA

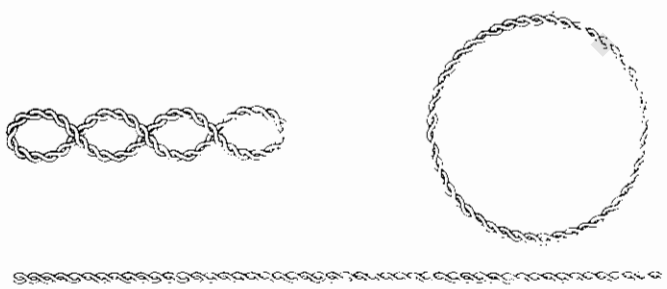
٢ـ RNA رسول(messenger RNA)وهو غير ثابت ويتغير وزنه الجزيئى ويتراوح من ٥٠,٠٠٠ ـ٥ مليون دالتون. وهو كبير الحجم نسبيا بحيث يمكن رؤيته بالمجهر الإلكترونى كخيط رفيع. ولايوجد روابط ايدروجينية للربط بين القواعد النيتروجينية (شكل ٨).

٣ـ RNA ريبوسومى(ribosomal RNA) يوجد أنواع عديدة منه تدخل فى تركيب الريبوسوم وتركيب بعض منها معروف. يوجد روابط ايدروجينية بين القواعد النيتروجينية فى بعض أجزاؤه.

تتكون النواة من مادة هلامية كثيفة غنية بالبروتينات أهمها الهستونات histones والبروتينات الدهنية والحمض النووىRNA وتعرف بالسائل النووى nuclear sap وتغلف بغلاف رقيق يتكون من غشائين يشبهان فى تركيبهما الأغشية البلازمية ويعرف بالغلاف أو الجدار النووى nuclear envelope والذى قد يحمل على سطحه الخارجى ريبوسومات. يوجد بالغلاف النووى ثقوب تمتلىء بمادة لزجة تفصل السائل النووى عن السيتوبلازم، ويمكن اعتبار الغلاف النووى ضمن الشبكة الغشائية للخلية لاتصاله فى أجزاء متعددة منه بالشبكة الاندوبلازمية.

يوجد وسط السائل النووى نوية أو أكثر. والنوية nucleolus جسم كروى أو بيضاوى أكثر لزوجة من السائل النووى. والنوية غنية بجزيئات الحامض النووى RNA والبروتينات وبها قليل من DNA. ولاتحاط النوية بغشاء. ويعتقد أن النويات تعمل كمراكز لتكوين الحمض النووى RNA والبروتينات وكما يعتقد أيضا أنها أماكن تخليق الريبوسومات ثم تعبر الريبوسومات من فتحات النواة إلى سيتوبلازم الخلية (شكل ٣).

تتركب الشبكة الكروماتينية chromatin reticulum من وحدات تشاهد منفصلة محددة فى بعض مراحل إنقسام الخلية تعرف باسم كروموسومات chromosomes وتكون فى الطور الوسطى وفى الخلايا البالغة فى شكل شبكة غير منتظمة. تتكون الشبكة الكروماتينية من بروتينات نووية، والبروتين النووى حمض نووى مرتبط مع بروتينات أهمها الهستونات histones



(شكل ٦): DNA حلقى وشريطى ومضفر.

ويعتقد أن فائدة هذا الارتباط هى حفظ الهستون لجزىء DNA من الضغوط التى تقع عليه وأيضا معادلة شحنات DNA السالبة. والحمض النووى DNA هو الحمض الأساسى الذى يدخل فى تركيب البروتينات النووية للشبكة الكروماتينية، كما يوجد الحمض النووى RNA بنسب أقل.

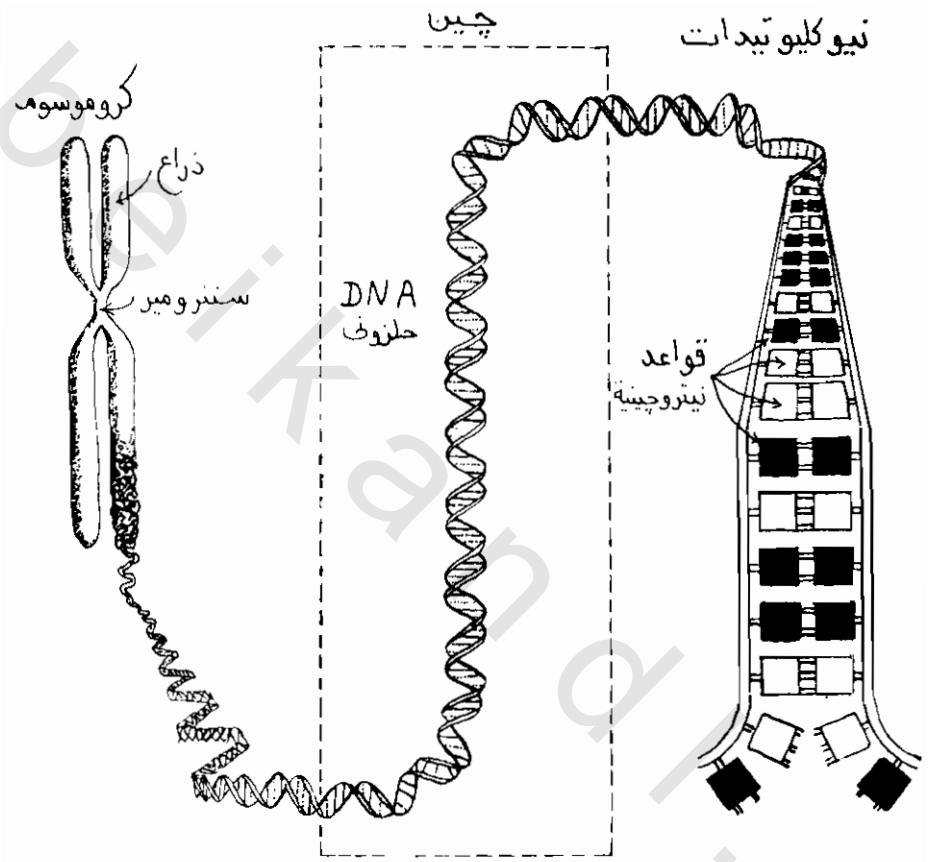
الكروموسوم يتكون من وحدتين طوليتين وتسمى كل وحدة كروماتيدة chromatidوكل كروماتيدة لها ذراعين arms . كروماتيدتى كل كروموسوم تلتحمان بواسطة جزء ضيق يسمى السنترومير centromere. الكروماتيدة تتكون من ماتريكس matrixوهو عبارة عن مادة تكون جسم وشكل الكروماتيدة وتتكون من بروتين وأحماض نووية وينغمس فى الماتريكس DNA ملفوف ملتو ويوجد على هيئة سلسلتين حلزونيتين من النيو كليوتيدات. تحمل الكروموسومات الجينات genes أى العوامل الوراثية وهى التى تتحكم فى الصفات الوراثية والتفاعلات الحيوية للنبات. الجين عبارة عن جزء من DNA ويتكون من عدد من النيوكليوتيدات (شكل ٧) يختلف باختلاف الجين.

ويحتوى السائل النووى، أيضا، على ريبوسومات ribosomes لها القدرة على تخليق أنواع مختلفة من البروتينات.

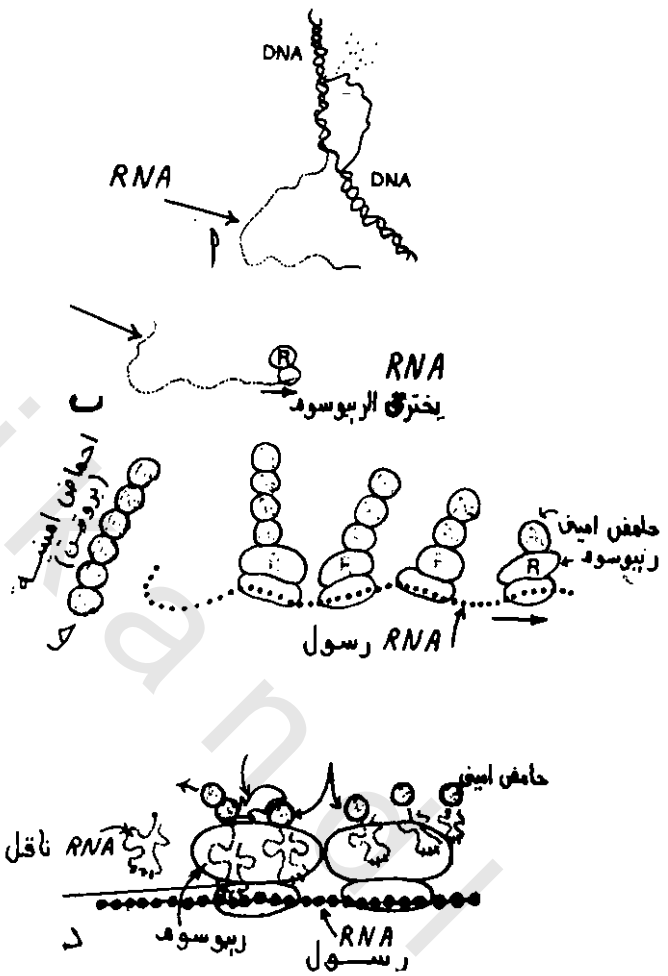
تتحكم النواة فى الوظائف الحيوية للخلية إذ أنه من المعروف أن الحمض النووى DNAالذى يدخل فى تركيب الشبكة الكروماتينية قادر على تكرار نفسه، أى أن جزىء معين من حمض DNA يمكنه تكوين جزيئات أخرى مشابهة منه. كما أن جزىء الحمض DNA قادر على التحكم فى تكوين نوع أو أكثر من جزىء الحمض RNA وذلك بتحديده لترتيب وحدات النيوكليوتيدات فى جزيئات الحمض RNA وذلك بأن ينفكا حلزونى DNA عن بعضهما ويسمحا بذلك تكوين RNA رسول الذى ينفصل عن DNA ويخترق الريبوسومات، وبذلك يربطها ببعضها مكونا عديد الريبوسومات. وأما عن RNA ناقل فانه يقوم بنقل الأحماض الأمينية إلى عديد الريبوسومات وذلك بأن تستقر قاعدته على RNA رسول، ثم يستمر إرتباط الأحماض الأمينية بروابط ببتيدية على هيئة سلسلة لتكوين البروتين الذى ينفصل عن الريبوسوم(شكل ٨).

ومن المعروف أن وحدة البروتين هى الحامض الأمينى. ومن ذلك يتضح أن جزيئات الحمض RNA المتكونة تتحكم فى تكوين نوع البروتين على الريبوسومات فى النواة أو فى السيتوبلازم، فالحمض النووى RNA يحدد ترتيب ربط الأحماض الأمينية ببعضها لتكون البروتين ونتيجة لإختلاف الترتيب تتكون أنواعا مختلفة من البروتينات والتى منها الإنزيمات.

وبهذا نجد أن النواة تتحكم فى عمليات النشاط الحيوى للخلية.



(شكل ٧): الكروموسوم والجين و D.N.A



(شكل٨): خطوات تكوين بروتين الخلية

(أ) تكوينRNA رسول منDNA .

(ب) اختراقRNA رسول للريبوسوم.

(جـ) عديد الريبوسوم يكون البروتين.

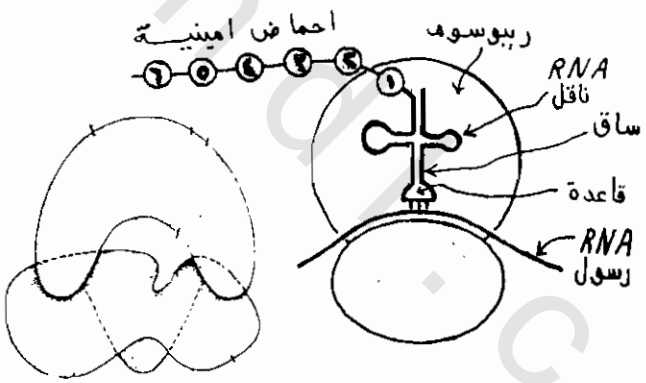
(د) منظر تفصيلى لعديد الريبوسومات وتكوين البروتين.

الريبوسومات Ribosomes

الريبوسومات أجسام بروتوبلازمية صغيرة، توجد حرة فى السيتوبلازم أو على أسطح الشبكة الإندوبلازمية الخشنة (شكل ٣)، كما توجد فى داخل البلاستيدات الخضراء والأنوية والميتوكوندريا والريبوسومات الموجودة فى البلاستيدات الخضراء. والميتوكوندريا أصغر فى حجمها عن المعتاد.

يتركب الريبوسومات من تحت وحدتين two subunits غير متساويتين فى الحجم. وتحت الوحدة الواحدة كروية إلى بيضاوية تقريبا وتتكون من بروتين مختلط معه الحمض النووى (شكل٩). والتميز بين حجم تحت الوحدتين يكون على أساس سرعة الترسيب عند تعريضهم لقوة طاردة مركزية قوية ultracentrifugation .

ترتبط الريبوسومات عادة فى مجاميع بواسطة نوع من الحمض النووى يسمى RNA رسول messenger RNA. وتعرف تلك المجاميع بعديد الريبوسومات polyribosomes أو polysomes. ويعتبر عديد الريبوسومات أماكن تخليق البروتين فى الخلية (شكل ٨). RNA رسول يخترق تحت الوحدة الصغيرة أو الكبيرة ولكن الرأى الحديث أنه يوجد مضغوط بين تحت الوحدتين الصغيرة والكبيرة.



(شكل ٩): الريبوسوم وحامض RNA ناقل وشكل مجسم للريبوسوم

البلاستيدات Plastids

البلاستيدات هى أجسام بروتوبلازمية لها القدرة على النمو والانقسام سواء كانت فى خلايا مرستيمية أو خلايا بالغة. وتنشأ البلاستيدات من أجسام صغيرة توجد فى خلايا الأنسجة المرستيمية وتعرف بمبادىء البلاستيدات proplastids أو تنشأ من إنقسام البلاستيدة الخضراء إلى بلاستيدتين.

لاتوجد البلاستيدات فى بعض النباتات الدنيئة كما فى البكتريا والفطريات. وقد تحتوى الخلية الواحدة على بلاستيدة واحدة كما فى بعض أنواع الطحالب. أما فى النباتات الراقية فغالبا ماتحتوى خلاياها على عديد من البلاستيدات.

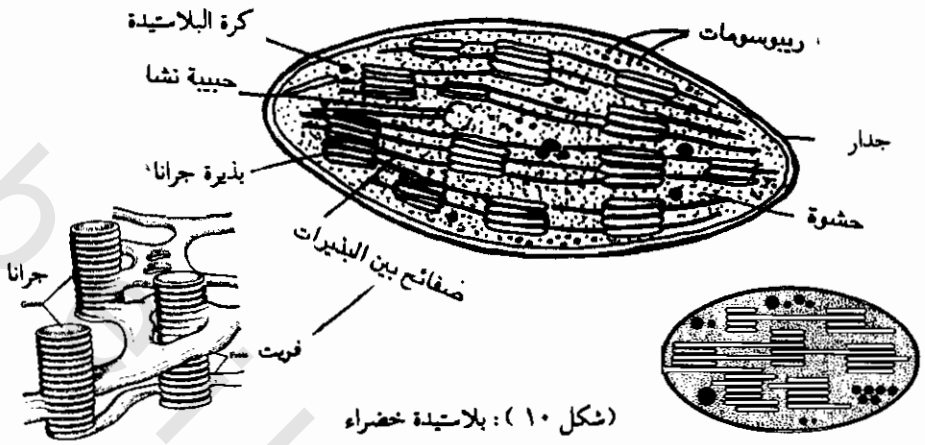
تقسم البلاستيدات على أساس غياب أو وجود صبغات معينة إلى بلاستيدات خضراء وبلاستيدات ملونة وبلاستيدات عديمة اللون. ويمكن للبلاستيدات أن تتحول من صورة إلى أخرى فتتحول البلاستيدات الخضراء فى الثمار والأزهار الصغيرة إلى بلاستيدات ملونة فى الثمار الناضجة والأزهار الكاملة النمو كما فى حالة ثمار الطماطم. ويمكن أيضا للبلاستيدات العديمة اللون أن تتحول إلى بلاستيدات خضراء عند تعرضها للضوء كما فى درنات البطاطس.

(أ) البلاستيدات الخضراء Chloroplasts: هى بلاستيدات ذات لون أخضر وذلك لاحتوائها على أصباغ الكلوروفيل واهمها كلوروفيل أ وكلوروفيل ب، وأصباغ الكاروتين ومنها الكاروتين والزانثوفيل. كما تحتوى على كل من الحمض النووى DNA ، RNA .كذلك تحتوى البلاستيدات الخضراء على ريبوسومات أصغر فى الحجم من الريبوسومات العادية ولذلك يمكنها الانقسام والتكاثر.

تختلف البلاستيدات الخضراء فى الحجم وغالباً ماتكون ذات أشكال قرصية أو كروية أو بيضاوية فى النباتات الراقية.

تتكون البلاستيدة الخضراء من كتلة كثيفة من وسط مائى به بروتين أساسا تعرف باسم stroma الحشوة وتغلف بغلاف يتكون من غشائين يشبهان باقى الاغشية البلازمية فى كون الغشاء يتركب من طبقتين بروتينيتين بينهما طبقة دهنية. وتحتوى الحشوة على اجزاء دقيقة محببة تعرف بالبذيرات grana وتتكون كل بذيرة من أقراص مجوفة متراصة فوق بعضها. وتتركب هذه الأقراص من أغشية تسمى ثيلاكويد thylakoid وتتركب الأغشية من بروتينات ودهون وصبغات الكلوروفيل والكاروتينات. وتوجد أيضاً أغشية تصل حواف أقراص كل بذيرة بحواف أقراص بذيرة أخرى مجاورة، وتسمى هذه الأغشية باسم صفائح بين البذيرات intergrana lamellae أو فريت fret. ويوجد فى الحشوة أيضاً أجسام كروية تعرف باسم كرات

البلاستيدة blastoglobuli، وهذه تحتوى على مركبات دهنية أو محبة للدهون ويعتقد أن هذه الكرات تخزن بها الدهون الزائدة عن حاجة البلاستيدة (شكل ١٠).

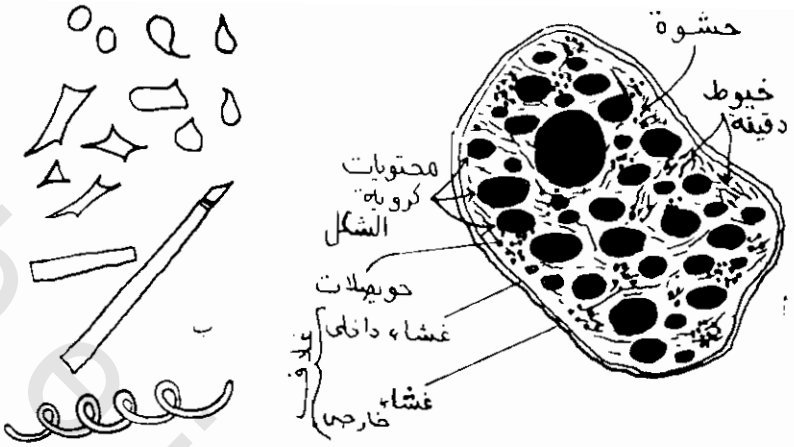


(شكل ١٠): بلاستيدة خضراء

وظيفة البلاستيدة الخضراء تحويل الطاقة الضوئية المستمدة من أشعة الشمس إلى طاقة مخزنة فى الغذاء المصنع الذى يكون على صورة سكريات ونشويات ويخزن السكر الزائد فى البلاستيدة على هيئة نشا وتتم هذه الخطوة فى الحشوة. والنشا المتكون فى البلاستيدة الخضراء يسمى بالنشا الانتقالى أو التمثيلى.

(ب) البلاستيدات الملونة Chromoplasts : هى بلاستيدات ذات ألوان مختلفة، عدا اللون الأخضر، فمنها الأصفر والبرتقالى والأحمر، ويتوقف اللون على نوع الصبغة الكاروتينية الموجودة ومقدارها. تختلف البلاستيدات الملونة كثيراً فى الشكل فمنها القرصى والكروى والعصوى والشريطى والخيطى والحلزونى المفصص وعديد الاضلع والبلورى(شكل ١١). وهذه البلاستيدات هى المسئولة عن اللون فى الأزهار والثمار كما فى الطماطم وبعض أنواع الجذور كالجزر.

تتكون البلاستيدة من كتلة كثيفة تسمى الحشوة stroma وتغلف بغلاف يتكون من غشائين كما فى البلاستيدة الخضراء. يوجد بالحشوة حويصلات قليلة العدد جدرانها غشائية وخيوط دقيقة fibrillar elements غير معروف طبيعتها ومحتويات كروية الشكل غير محاطة بأغشية ويعتقد أنها تحتوى الصبغات الكاروتينية الصفراء. وهى كثيرة العدد وتختلف كثيراً فى الحجم وقد يصل قطرها إلى ٥٠٠ نانومتر(شكل ١١).



(شكل ١١): بلاستيدات ملونة

أ- قطاع عرضى فى بلاستيدة ملونة. ب- أشكال مختلفة لبلاستيدات ملونة.

ومما يميز البلاستيدات الملونة أن لها القدرة على التمدد بدرجة كبيرة وذلك لكى تلائم شكل بلورات الصبغات التى قد تتبلور بداخلها.

وظيفة البلاستيدات الملونة غير معروفة بالضبط.

(جـ) البلاستيدات عديمة اللو... Leucop...: هى بلاستيدات لاتحتوى على صبغات، ذات أشكال متعددة كما فى البلاستيدات الملونة، ويمكن أن يتغير شكلها لأنها ذات قدرة عالية على التمدد والمطاطية. توجد البلاستيدات عديمة اللون فى الخلايا البالغة غير المعرضة للضوء كالدرنات والكورمات وفى اندوسبرم وفلقات البذور.

تقوم البلاستيدات عديمة اللون بتكوين وتخزين المواد الغذائية فمنها مايختص بالنشا ويعرف ببلاستيدات النشا ومنها مايختص بالدهون ويعرف ببلاستيدات الدهن.

بلاستيدات النشا amyloplasts تقوم بتحويل السكر إلى نشا، ثم تخزنه بداخلها ولهذا يعرف النشا الموجود بها بالنشا الاختزانى reserve ويختلف النشا الاختزانى الذى يتكون فى البلاستيدات العديمة اللون عن النشا الانتقالى الذى يتكون فى البلاستيدات الخضراء فى أن الأول حبيباته كبيرة الحجم ويوجد بأعداد قليلة ومستديمة فى البلاستيدة، فى حين أن الثانى

حبيباته صغيرة ويوجد بأعداد كبيرة ويختفى فى الظلام لتحوله إلى سكريات تنتقل إلى أنسجة النبات الأخرى. تتكون حبيبة النشا داخل البلاستيدة عديمة اللون وتكبر فى الحجم وذلك بترسيب طبقات جديدة فينتج عنها إنتفاخ جدار البلاستيدة الذى ينفجر عادة فى النهاية. وقد تتكون أكثر من حبيبة نشا داخل البلاستيدة الواحدة.

بلاستيدات الدهن elaioplasts تقوم بتكوين وتخزين الزيوت والدهون وهى موجودة أساسا فى بعض نباتات ذات الفلقة الواحدة وبعض النباتات الحزازية.

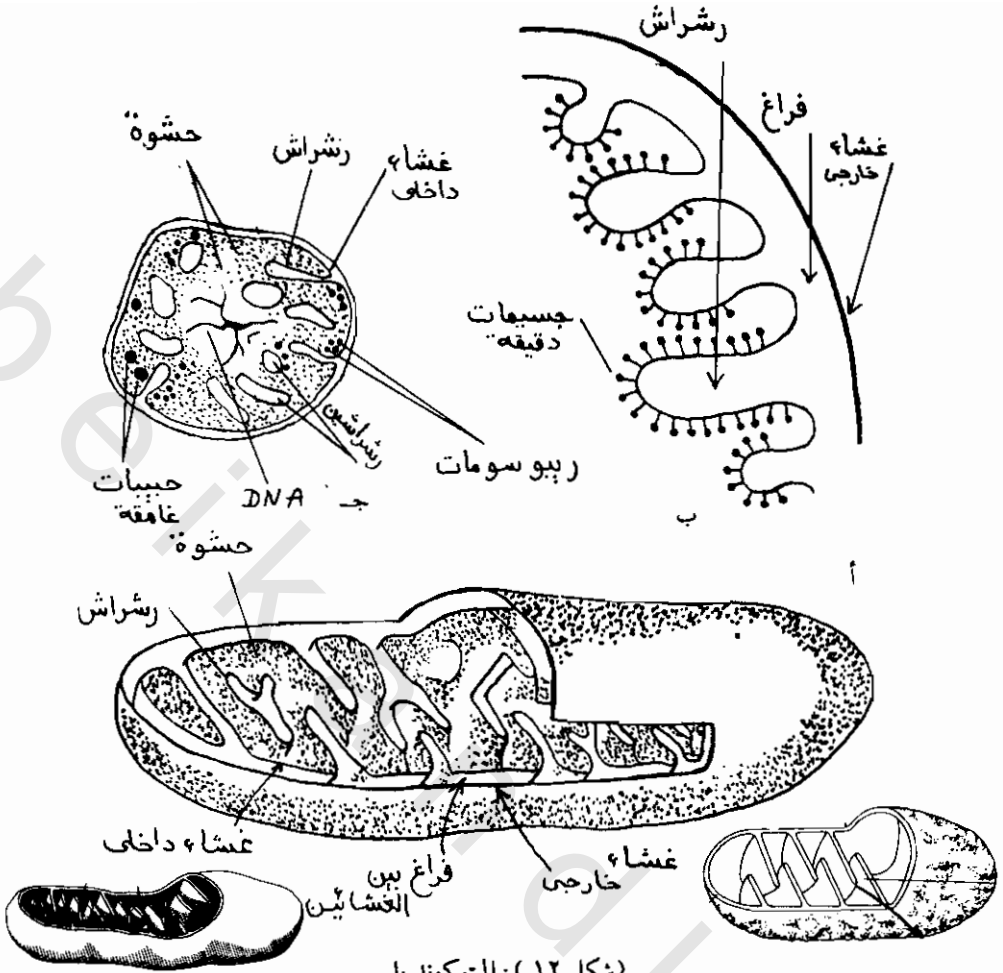
الميتوكوندريات Mitochondria

الميتوكوندريات هى أجسام بروتوبلازمية حية لها القدرة على النمو والإنقسام، وتشاهد مغمورة فى سيتوبلازم الخلايا النباتية المختلفة وبخاصة الخلايا المرستيمية، تضمحل وتختفى من الأنابيب الغربالية.

تشاهد الميتوكوندريات بأشكال مختلفة منها الكروى والعصوى والخيطى، والشكل العصوى هو الغالب(شكل ١٢). تتركب الميتوكوندريا من بروتينات ذائبة تعرف بالحشوهmatrix ويوجد بها DNA على هيئة جزء وسطى يخرج منه خيوط وريبوسومات أصغر فى حجمها عن المعتاد وحبيبات غامقة electron opaque granules غير معروف وظيفتها(شكل ١٢).

تغلف الحشوة بغلاف يتكون من غشائين بينهما فراغ يتكون كل غشاء من طبقتين بروتينيتين بينهما طبقة دهنية. الغشاء الداخلى متعرج وذو نتوءات تمتد للداخل تسمى رشراشات cristae ويوجد على الغشاء الداخلى للميتوكوندريات آلاف من جسيمات دقيقة يتركب كل منها من رأس كروى وساق أسطوانية جوفاء وقاعدة أسطوانية متصلة بالغشاء (شكل ١٢).

ويعتقد أن هذه الجسيمات تحتوى على الانزيمات اللازمة لتحويل مركب أدينوسين ثنائى الفوسفات الذى يرمز له بالرمز ADP إلى مركب أدينوسين ثلاثى الفوسفات الذى يرمز له بالرمز ATP .وكذلك فان الميتوكوندريا تحتوى على الانزيمات المختلفة اللازمة لدورة كربس وكذلك إنزيمات السيتوكروم. لهذا تظهر أهمية الميتوكوندريات فى أنها تقوم بتفاعلات التنفس لإعطاء الطاقة لمختلف أنشطة الخلية.



(شكل ١٢) : الميتوكوندريا

أ– منظر عام. ب– جزء من غلاف الميتوكوندريا. جـ ـ قطاع عرضي.

الأجسام الكروية Spherosomes

الاجسام الكروية أجسام بروتوبلازمية صغيرة كروية (شكل ٣) توجد فى الخلايا النباتية، وتشابه الليسوسومات lysosomes الموجودة فى الخلايا الحيوانية. يتكون الجسم الكروى من حشوة كثيفة بروتينية تحاط بغشاء مفرد، وهى تحتوى على أنزيمات تقوم بتحليل الجزيئات الكبيرة للمواد الداخلة فى تركيب بروتوبلازم الخلية. ومن المعروف أن هذه الانزيمات تبقى غير

نشطة مادامت موجودة داخل الأجسام الكروية، أما عند تمزق جدار هذه الأجسام فان الأنزيمات تنطلق لتساعد على هدم محتويات الخلية وموتها وذلك عند كبر الخلايا فى السن وكما يحدث فى الأوعية الخشبية والألياف والقصيبات عند نضجها.

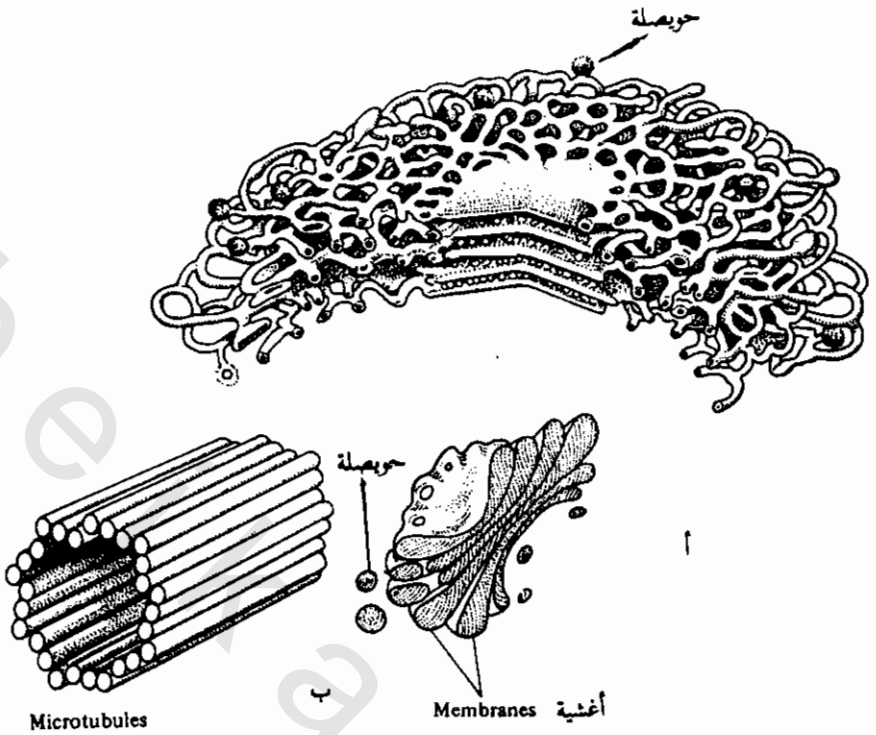
جهاز جولجى Golgi apparatus

يتكون من مجموعة أجسام تسمى ديكتيوسومات dictyosomes منتشرة فى البلازم الأرضى. ويتكون كل ديكتيوسوم من مجموعة أقراص جوفاء تسمى سستيرنى cisternae بداخلها مركبات عديدة مثل البروتينات والكربوايدرات. جدار كل قرص عبارة عن غشاء يتكون من بروتينات ودهون ويخرج من حواف هذه الأقراص أنابيب عديدة متفرعة ومتشابكة تنتهى عادة بحويصلات(شكل ١٣).

وظيفة جهاز جولجى هى الإفراز. فنجد أن الحويصلات التى يكونها جهاز جولجى جدارها عبارة عن بروتين ودهون ومماثل فى تركيبه الغشاء البلازمى الخارجى ولذلك فانها تتحرك فى الخلية حتى تلتحم بالغشاء البلازمى وتزيد من مساحة سطحه وخاصة فى الخلايا المنقسمة والتى تكبر فى الحجم(شكل ١٦). كما أن المحتويات الموجودة بداخل الحويصلات وهى عبارة عن بروتين وكربوايدرات ومواد إفرازية فانها تفرز خارج الغشاء البلازمى فالكربوايدرات تدخل فى تكوين الجدار الخلوى والصفيحة الوسطى مسببة زيادة مساحتها والبروتين قد يدخل فى تركيب الغشاء البلازمى، كما قد يكون فى صورة إنزيمات كما أن المواد الافرازية تفرز خارج الخلية ولذلك يزداد عدد وحدات جهاز جولجى فى خلايا النبات المختصة بالإفراز كما فى خلايا قلنسوة الجذر والتى تفرز مواد هلامية خارج الخلايا لتساعد على سهولة إنزلاق الجذر بين حبيبات التربة.

أنابيب دقيقة Microtubules

عبارة عن أغشية بروتينية عصوية الشكل جوفاء صلبة تختلف فى أطوالها كثيرا وقطرها حوالى ٢٧ نانومتر وقطر التجويف حوالى ٨ نانومتر. تتكون الأغشية من وحدات كروية كثيرة متلاصقة(شكل ١٣). وغير معروف وظيفتها حتى الآن ويوجد فى ذلك آراء كثيرة منها أنها تحدد مكان إنقسام النواة أو أنها تحدد إتجاه الحركة الإنسيابية للسيتوبلازم أو أنها عبارة عن هيكل للسيتوبلازم cytoskeletal وبذلك تعطيه شكله أو أنها تتحكم فى إتجاه ترسيب اللويفات الصغيرة السيليلوزية فى الجدار الخلوى وبذلك تتحكم فى شكل الخلية النهائى.



(شكل ١٣) : جهاز جولجى وأنابيب دقيقة

أ- ديكتيوسوم بعد ازالة نصفه الأمامى.

ب- منظر سطحى للانابيب الدقيقة.

بيروكسيسومات Peroxisomes

هى عبارة عن حويصلات قطرها حوالى ١ ميكرون ويوجد بداخلها محلول متجانس من البروتين. وهى تحتوى على إنزيمات عديدة مختصة بانتاج وتحليل مركبات فوق الاكسيد مثل فوق أكسيد الإيدروجين يد٢ أ٢ والذى يقوم بتحليله إنزيم الكاتاليز وهذه الأجسام لها دور رئيسى فى القيام بعملية التنفس الضوئى Photorespiration .

مكونات الخلية غير البروتوبلازمية

تحتوى الخلية النباتية بجانب البروتوبلازم على مكونات أخرى غير حية لاتدخل فى تركيب البروتوبلازم. توجد هذه المكونات فى صورة ذائبة أو غير ذائبة فى العصير الخلوى cell sap الذى يوجد فى الفجوات العصارية vacuoles أو توجد فى السيتوبلازم على هيئة بلورات أو فى صور غير ذائبة عادة.

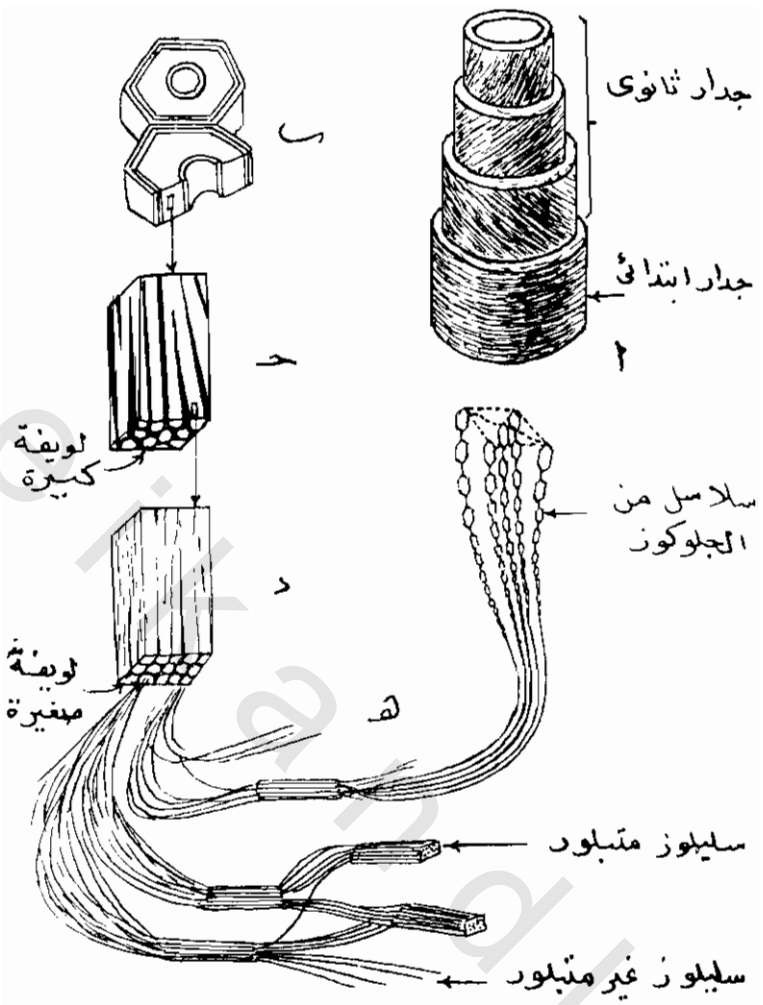
تحتوى الخلية النباتية على فجوة عصارية أو أكثر تبعاً لنوع الخلية وعمرها . وتحاط الفجوة العصارية من الخارج بغشاء بلازمى فجوى tonoplast ويتكون العصير الخلوى من محلول مائى مذاب فيه أو موجود به فى حالة غروية مركبات مختلفة منها السكريات والبروتينات وأحماض عضوية وأملاح غير عضوية وقلويدات وأصباغ، وقد تحتوى على بلورات مترسبة. وعادة تكون هذه المركبات هى نواتج عمليات التحويل الغذائى الغير مرغوب وجودها فى السيتوبلازم لتأثيرها الضار عليه. وجد حديثاً أن الفجوات العصارية قد تحتوى على إنزيمات محللة للـ RNA، DNA والبروتين والنشا ومثال ذلك خلايا القمم النامية لجذر الذرة.

الجدار الخلوى Cell Wall

فى الخطوات الأخيرة لإنقسام خلية نباتية يتكون غشاء يفصل البروتوبلاستين الناشئين، يعرف بالصفيحة الخلوية cell plate تتحول الصفيحة الخلوية إلى جدار بكتينى يعرف بالصفيحة الوسطى middle lamella تتكون أساساً من بكتات الكالسيوم والمغنسيوم ويعقب ذلك حدوث ترسيب على جانبى الصفيحة الوسطية مكونة الجدار الابتدائى primary wall الذى يتكون أساساً من السليلوز ويختلط معه مركبات أخرى مثل الهيميسليلوز والبكتين والبروتين. وقد يعقب ذلك ترسيب جدار آخر، يتكون بعد تمام نمو الخلية فى الحجم ويعرف بالجدار الثانوى secondary wall يتكون الجدار الثانوى عادة من ثلاث طبقات الوسطية منها سميكة، أما الطبقتان الخارجية والداخلية فرقيقتان ويتركب الجدار الثانوى من السليلوز أساساً، وتختلط معه مركبات أخرى غير سليلوزية أهمها اللجنين والسيوبرين.

أمكن باستعمال الميكروسكوب الإلكترونى، معرفة التركيب الدقيق للجدار الخلوى، فوجد أن الهيكل السليلوزى المكون للجدار يتركب من لويفات صغيرة microfibrils عديدة تختلف فى إتجاه ترتيبها ففى الجدر الابتدائية للخلايا التى ستصبح متطاولة، نجد أن اللويفات متوازية وعمودية أو موازية للمحور الطولى للخلية وفى الخلايا التى ستصبح كروية فان اللويفات تكون شبكة متداخلة. أما فى الجدر الثانوية فان اللويفات تكون متوازية ومائلة على المحور الطولى للخلية(شكل١٤). وعند تكون الجدار الثانوى من أكثر من طبقة فان اتجاه ميل اللويفات يختلف من طبقة إلى أخرى. ويمكن تحديد الجدار الثانوى من الجدار الإبتدائى بمعرفة إتجاه وضع اللويفات بالنسبة للمحور الطولى للخلية عند فحصها بالميكروسكوب الألكترونى (شكل١٤).

يتراوح سمك اللويفة الصغيرة من ١٠ـ٢٥ نانومتر، وقد تصل فى الطول إلى عدة ميكرونات وتحتوى كل لويفة صغيرة على عديد من الحزم bundles، وتتكون كل حزمة من عديد من جزيئات السليلوز. ويمكن تمييز سليلوز الحزمة الواحدة باستخدام أشعة X والضوء المستقطب إلى مناطق من سليلوز متبلور crystalline cellulose وتعرف باسم الميسيلى micelle، وتكون فيها جزيئات السليلوز متوازية وأخرى من سليلوز غير متبلور amorphous cellulose وتكون فيها جزيئات السليلوز غير متوازية (شكل ١٤). وترجع مرونة الجدر الإبتدائية إلى انخفاض نسبةالسليلوز المتبلور بها وارتفاع نسبة السليلوز غير المتبلور، فى حين ترجع قلة مرونة الجدر الثانوية الى ارتفاع نسبة السليلوز المتبلور وانخفاض نسبة السليلوز غير المتبلور ولهذا



(شكل ١٤): تركيب الجدار الخلوى

أ – اتجاه اللويفات الصغيرة فى كل من الجدار الابتدائى والجدار الثانوى.

ب – قطاع عرضى يبين الجدر الابتدائية والجدر الثانوية.

جـ ـ جزئ من الجدار الثانوى الوسطى مكبر يبين اللويفات الكبيرة.

د – جزء من لويفة كبيرة مكبر يبين اللويفات الصغيرة.

هـ ـ تركيب اللويفة الصغيرة.

نجد أن السليلوز المتبلور يوجد بنسب منخفضة فى جدر الخلايا الحديثة وتزداد هذه النسب مع كبر الخلايا فى السن حتى تصل نسبته إلى ٩٠٪ فى جدر بعض الألياف النباتية.

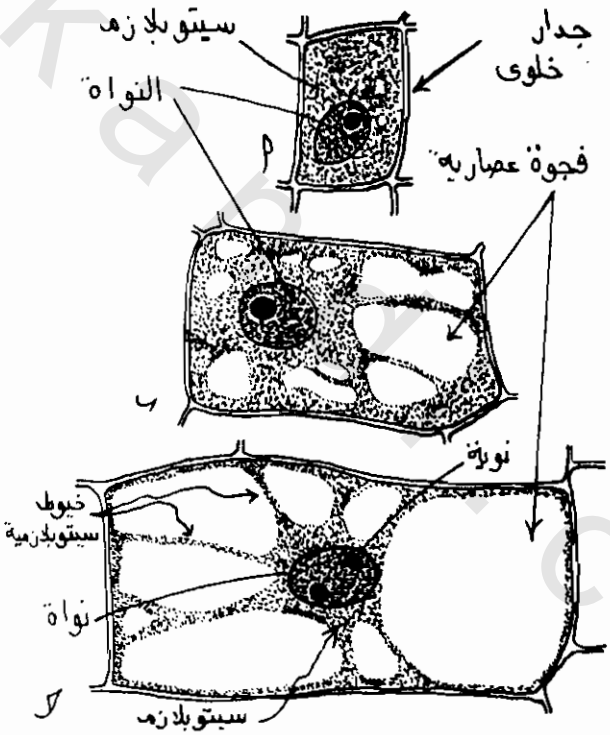
مما سبق يتضح أن الجدار الخلوى عبارة عن هيكل شبكى من سلاسل من السليلوز تتجمع فى حزم تفصلها فراغات. كما تتجمع الحزم فى لويفات صغيرة تفصلها أيضاً فراغات، كما قد تتجمع اللويفات الصغيرة فى الجدر الثانوية فى لويفات كبيرة macrofibrils تفصلها أيضاً فراغات (شكل ١٤) تترسب بهذه الفراغات المختلفة مواد مختلفة، تختلف حسب نوع الجدار ونوع وعمر الخلية ففى الجدر الابتدائية تمتلىء الفراغات أساساً بمركبات بكتينية، وفى جدر الأنسجة الخشبية والاسكلر نشيمية تمتلىء الفراغات أساساً باللجنين، وفى جدر البشرة يترسب الكيوتين، وفى جدر خلايا الفلين يترسب السيوبرين أما فى حالة الجدر التى تكاد تكون سليلوزية بحتة مثل الجدر الثانوية لشعيرات القطن فان الماء يشغل تلك الفراغات.

وظيفة الجدار الخلوى هو حفظ مكونات الخلية بداخلة كما أنه يعطى الخلية صلابة ومتانة.

obeikandl.com

الخلايا والأنسجة المرستيمية

الأنسجة المرستيمية هى أنسجة تتكون من خلايا ذات قدرة على الإنقسام والنمو، ولهذا فهى توجد فى مناطق النمو بالنبات. وتمتاز الخلايا المرستيمية بجدرها الرقيقة غير المغلظة وإحتوائها على سيتوبلازم كثيف ونواة كبيرة نسبياً (شكل ١٥). مع وجود فجوات صغيرة الحجم وقد تكون غير موجودة، الا أنه فى بعض الخلايا المرستيمية مثل خلايا الكامبيوم الوعائى تكون الجدر سميكة نسبيا والفجوات كبيرة وواضحة (شكل ١٨). توجد الخلايا المرستيمية متراصة والمسافات البينية بينها غير واضحة إلا بالفحص بالميكروسكوب الإلكترونى. تتحول بعض خلايا هذه الأنسجة إلى خلايا بالغة بأن تفقد خاصية الانقسام وتدخل فى مرحلتين متميزين، الكبر فى الحجم extension والتشكل differentiation المقصود بالتشكل هو أن تأخذ الخلية الشكل النهائى الذى يتلاءم مع وظيفتها وذلك حسب نوع النسيج البالغ المتكون (شكل ١٥ و١٨). فى بعض الاحيان وتحت ظروف خاصة تستعيد بعض الخلايا البالغة قدرتها على الانقسام متحولة إلى خلايا مرستيمية.

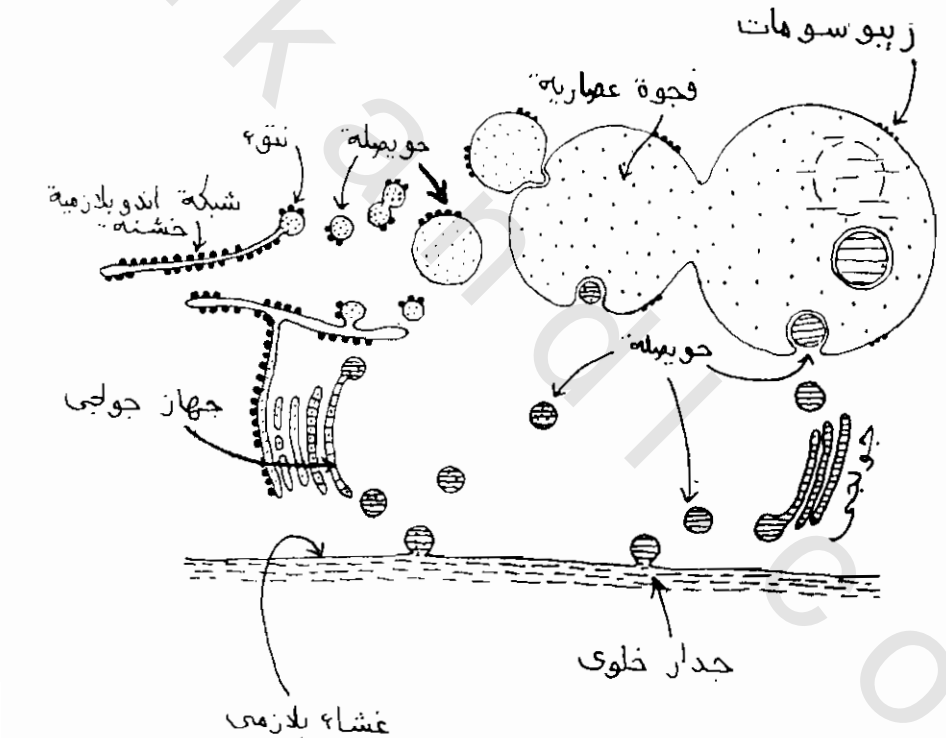


(شكل١٥): كبر وتشكل الخلايا.

(أ، ب، جـ) خطوات تكوين خلية بالغة من خلية مرستيمية.

وعادة تحتوى الخلايا المرستيمية والحديثة على فجوات صغيرة وعديدة ومع النضج يقل عدد الفجوات بالخلية وتزداد فى الحجم وفى النهاية قد تتحد الفجوات ويصبح بالخلية فجوة واحدة كبيرة وأحيانا قد يمتد خلال الفجوة العصارية الكبيرة خيوط سيتوبلازمية. أما عن كيفية تكون هذه الفجوات فانه يحدث نتوءات صغيرة على الشبكة الإندوبلازمية وتنفصل هذه النتوءات على هيئة حويصلات صغيرة وهذه الحويصلات تنتفخ وتتحد مع بعضها لتكون حويصلات أكبر وهذه بدورها تتحد مع الحويصلات الأكبر منها وفى النهاية تتكون فجوة أو فجوات عصارية كبيرة. كما أن أجسام جولجى ينطلق منها أيضا حويصلات منها مايستعمل فى بناء الغشاء البلازمى والجدار الخلوى ومنها مايتحد بالفجوة العصارية (شكل ١٦).

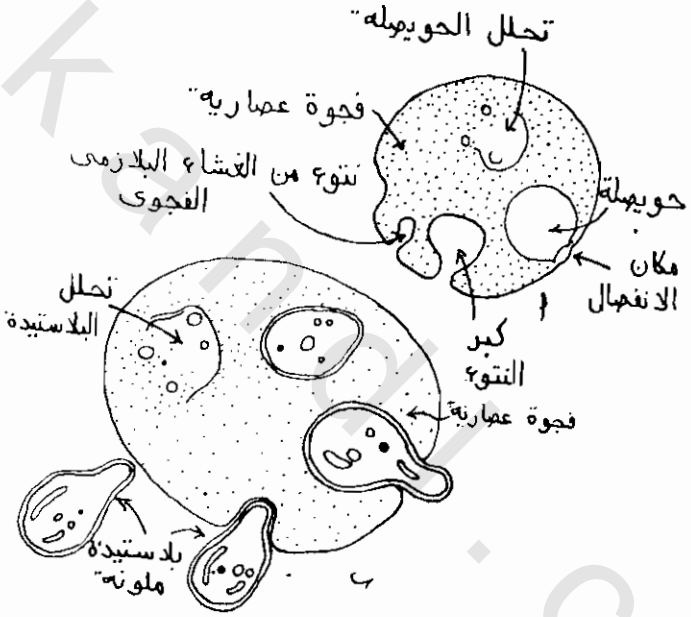
فى بعض الخلايا المرستيمية والعادية نجد أن الفجوات العصارية تحتوى أنزيمات عديدة تحلل DNA و RNA والبروتين والنشا ويكون لها القدرة على أخذ أجزاء من السيتوبلازم وتحليلها بداخلها وتسمى هذه الفجوات العصارية الملتقمة autophagic vacuoles .



(شكل ١٦): خطوات تكوين الفجوة العصارية والغشاء البلازمى والجدار الخلوى.

أما عن كيفية أخذ الفجوة العصارية لأجزاء السيتوبلازم فهى تختلف باختلاف الخلايا ففى بعض الخلايا نجد أن الفجوة العصارية تلتقم البلاستيدة أو الميتو كوندريا وفى البعض الآخر أن الغشاء البلازمى الفجوى يكون نتوءات للداخل وكل نتوء يأخذ جزء من السيتو بلازم ويكبر فى الحجم تدريجيا ثم ينفصل عن الغشاء البلازمى الفجوى وبذلك يوجد بداخل الفجوة حويصلات جدارها عبارة عن جزء من الغشاء البلازمى الفجوى وبداخلها جزء من السيتوبلازم (شكل ١٧).

ونتيجة لوجود الفجوات العصارية الملتقمة يقل حجم البروتوبلازم ويكبر حجم الفجوة العصارية مع كبر الخلية وذلك مايحدث فى أثناء تكوين خلايا الأنابيب الغربالية وقد يستهلك البروتوبلازم تماما وتصبح الخلية ميتة كما فى الأوعية الخشبية والقصيبات.



(شكل ١٧) : فجوات عصارية ملتقمة

أ – فجوة عصارية يتكون من غشائها البلازمى حويصلات

ب – فجوة عصارية وخطوات إلتقام بلاستيدة ملونة

الكامبيوم الوعائى Vascular Cambium

يعرف الكامبيوم الوعائى أيضا بالنسيج المرستيمى الوعائى. ويكون الكامبيوم الوعائى نسيجا ابتدائيا اذا نشأ عن استمرار انقسام بعض خلايا المرستيم القمى. ويكون نسيجا ثانويا اذا نشأ عن تجديد النشاط الانقسامى لبعض الخلايا البالغة، وعادة يكون خليطا من الحالتين كما يحدث عند التغليظ الثانوى للسيقان والجذور. تنقسم خلايا الكامبيوم الوعائى بجدر موازية لمحيط العضو النباتى معطية لحاء ثانويا للخارج وخشبا ثانويا للداخل، كما تعطى خلايا الأشعة النخاعية والوعائية. ويتسبب عن نشاط الكامبيوم الوعائى زيادة النمو فى السمك.

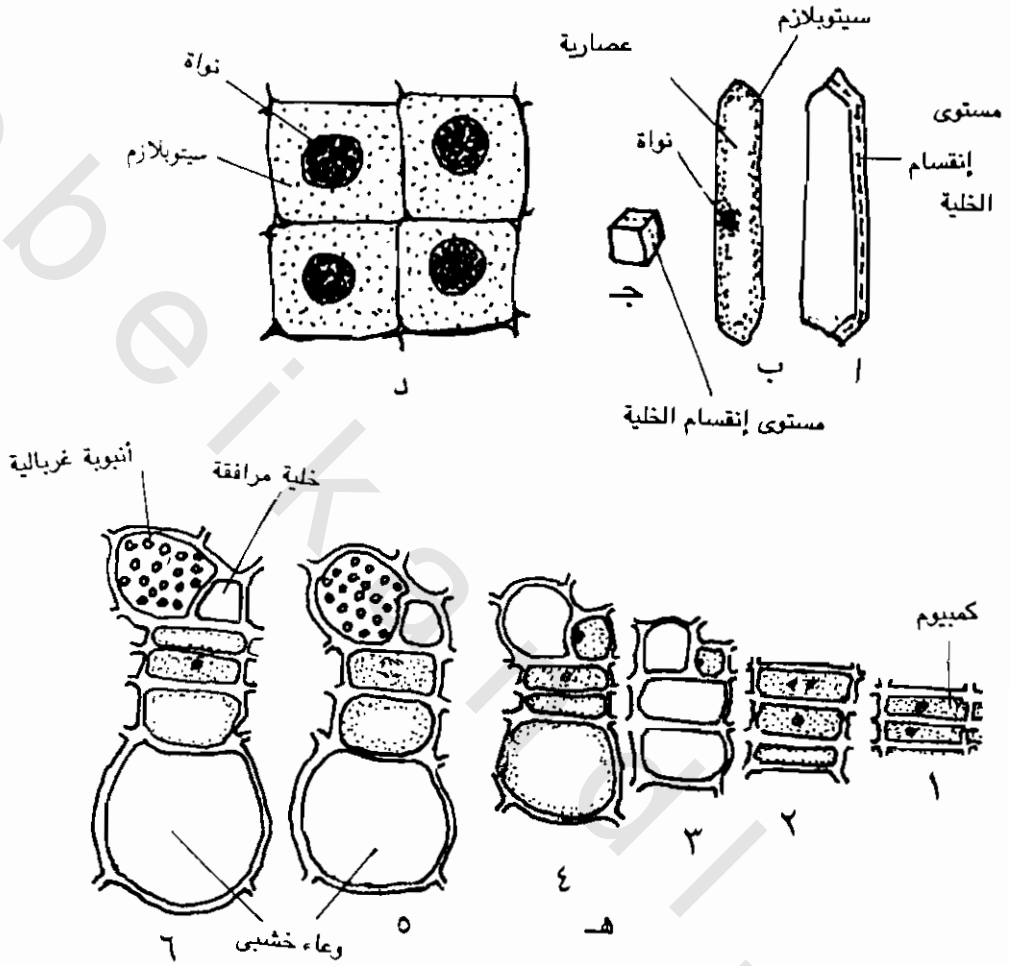
يوجد نوعان من خلايا الكامبيوم الوعائى. خلايا مغزلية وخلايا شعاعية.

الخلايا المغزلية fusiform هى خلايا طويلة فى اتجاه المحور الطولى للعضو النباتى، نهايتها مسحوبة قليلا. ويتكون منها خلايا أنسجة الخشب واللحاء فعند انقسام خلية مغزلية تعطى خليتين تبقى احداهما مرستيمية وتتحول الأخرى إذا كانت خارجية إلى خلية نسيج لحاء، أما إذ كانت داخلية فتتحول إلى خلية نسيج خشب. وبتكرار الانقسام تعطى مرة خلية نسيج لحاء وأخرى خلية نسيج خشب. وقد يتم ذلك بالتساوى، وكثيراً مالا يحدث ذلك بالتساوى فيكون معدل تكوين نسيج الخشب يزيد عن معدل تكوين نسيج اللحاء. والخلايا الشعاعية ray هى خلايا صغيرة متطاولة قليلا أو متساوية الأقطار تعطى عند انقسامها الخلايا البرنشيمية المكونة للأشعة النخاعية والأشعة الوعائية(شكل ١٨).

يحدث تغيرات فى أجزاء خلايا الكامبيوم على مدار السنة وهذه الأجزاء هى الفجوة العصارية والميتوكوندريات وجهاز جولجى والشبكة الإندوبلازمية.

الفجوة العصارية فى أثناء الخريف والشتاء تتجزأ إلى فجوات عصارية صغيرة متطاولة غير منتظمة الشكل وتسمى فى هذه الحالة بشكل ميلين myelin form ثم تصبح بعد ذلك كروية الشكل ولكن مع تكوين نتوءات وتكوين هذه النتوءات يدل على أن هذه الخلايا فى فصل الشتاء تكون غير ساكنة تماما بل لها نشاط نسبى. وفى شهر فبراير تتحد هذه الفجوات بأن يكبر كل نتوء ليكون شكل خطافى ويتداخل كل خطافين مع بعضهما ثم يزول مكان الإتصال بينهما ويحدث الإلتحام ويتكون نتيجة لذلك شكل شبكى يسمى بالشبكة الميلينية myelnic network (شكل ١٩).

وفى أوائل الربيع تبدأ الخلايا فى النشاط وإمتصاص الماء ولذلك فان الشبكة الميلينية تمتص الماء وتنتفخ لتكون فجوة عصارية مركزية قد يتخللها شرائط سيتوبلازمية. وهذا التحول فى شكل الفجوة العصارية من فجوات عصارية كروية إلى شبكة ميلينية أمكن إحداثه معمليا برفع



(شكل ١٨): أنسجة مرستيمية

أ ، ب – خلية كامبيوم مغزلى جـ – خلية كامبيوم شعاعى

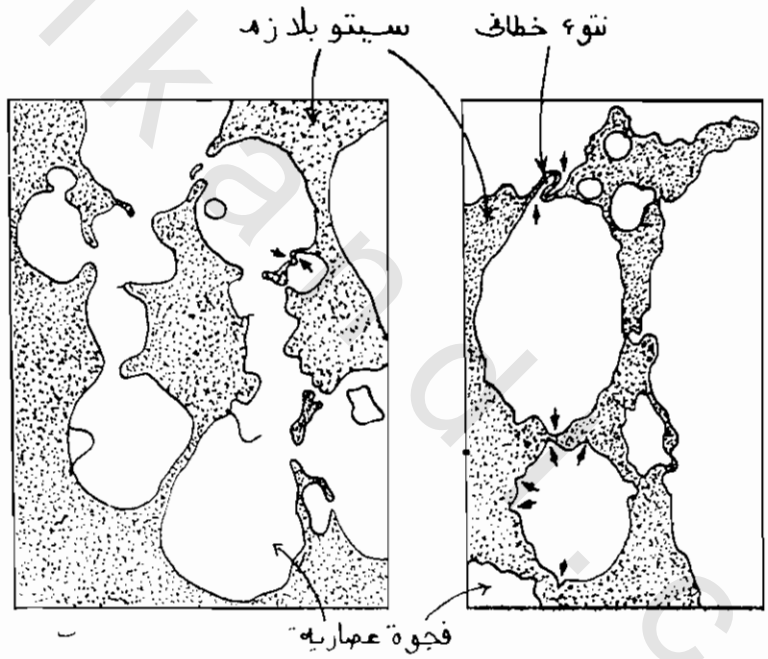
د – خلايا مرستيم قمى

هـ – خطوات إنقسام خلية كامبيوم وعائى وتكوين الخشب واللحاء

درجة الحرارة أو بخفض الضغط الأسموزى للخلايا. أما الخطوة العكسية والتى يحدث فيها تجزأ للفجوة العصارية إلى فجوات عصارية صغيرة الحجم لم يمكن إحداثها معمليا وغير معروف بالضبط العوامل التى تتحكم فى ذلك. ويعتقد أن المسئول عن ذلك هو حامض الأبسيسيك abscissic acid والذى يوجد فى سيقان النباتات فى فصل الخريف.

تحدث دورة للميتوكوندريا فى داخل خلايا الكامبيوم وهذه الدورة (شكل ٢٠) موجودة فى كثير من النباتات ومنها نبات الأسفندان *Acer pseudoplatanus*.

فى أوائل الربيع وقبل إنقسام الخلايا وعندما تمتص الخلايا الماء وتنتفخ خلايا الكمبيوم فان الميتوكوندريا تصبح مستطيلة. وفى أثناء موسم النمو فى الربيع تكون الميتوكوندريا كروية عادة، وفى أثناء الصيف تقل سرعة إنقسامها ويزيد طولها، وفى الخريف تكون طويلة ولها



(شكل ١٩) : الفجوات العصارية فى خلايا الكامبيوم.

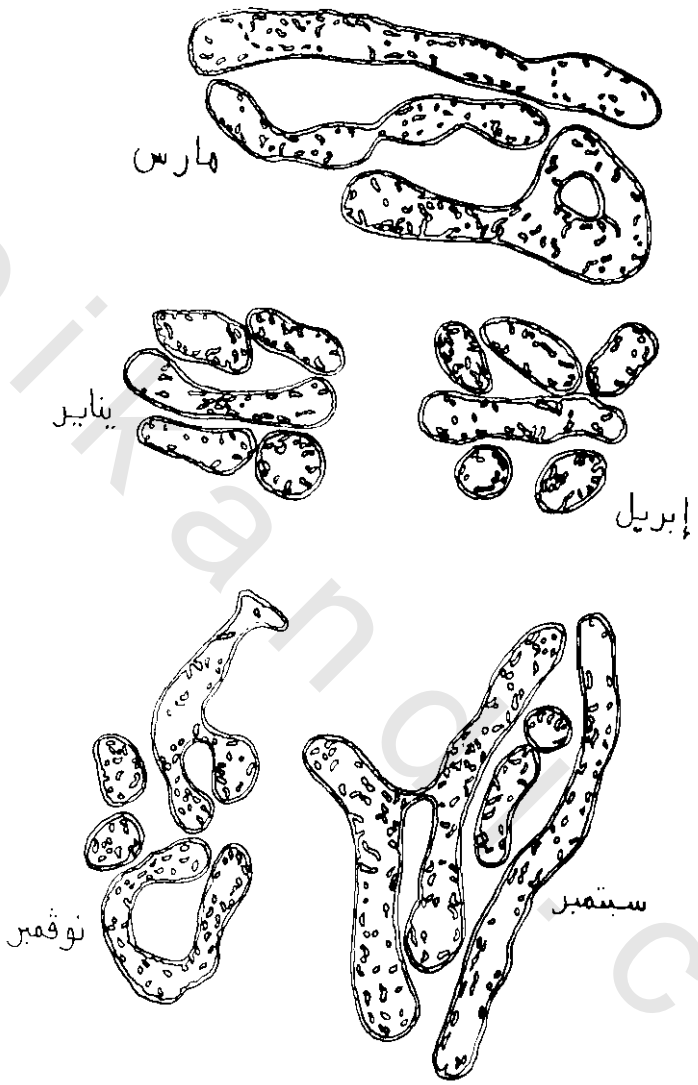
أ- خطوات تكوين الشبكة الميلينية. ب- شبكة ميلينية.

أشكال مختلفة مثل Q,y,x وفى وقت السكون للخلايا فى شهر يناير تصبح مرة أخرى قصيرة وكروية. وفى أثناء هذه الدورة يكون التركيب الدقيق للميتوكوندريا ثابت. وأما عن العوامل التى تتحكم فى حدوث تغير فى حجم الميتوكوندريا فهى إنخفاض درجة الحرارة وقلة الماء فى النسيج النباتى وسرعة الإنقسام الغير مباشر لخلايا الكمبيوم وزيادة سرعة الحركة الإنسيابية للبروتوبلازم داخل الخلايا كلها تسبب صغر حجم الميتوكوندريا وتصبح كروية والعكس صحيح.

فى جهاز جولجى فانه فى بعض النباتات لايوجد تغيير فى أجسام جولجى ولكن فى نباتات أخرى فان عدد أجسام جولجى فى الشتاء يكون قليل كما لاتوجد حويصلات منفصلة من هذه الأجسام ولكن فى الربيع فان عدد هذه الأجسام يزيد كما أنه يحدث تكوين وإنفصال حويصلات بكمية كبيرة ومن أحسن الأمثلة للنباتات التى يحدث فيها هذه الدورة هى الحور *Populus* والجميز.

تتكون الشبكة الإندوبلازمية بكميات كبيرة فى خلايا الكمبيوم. وعادة تتكون الشبكة الاندوبلازمية الخشنة بكميات كبيرة فى الربيع والصيف والعكس صحيح فى الشتاء وحيث تزيد كمية الشبكة الاندوبلازمية الملساء وفى المعتاد تكون الريبوسومات على هيئة عديد الريبوسومات فى الربيع وتصبح ريبوسومات منفردة فى الشتاء.

يعتقد أن التغيرات الموسمية فى تكوين جهاز جولجى والشبكة الإندوبلازمية مرتبط بتأثير الهرمونات النباتية. فوجود الهورمون النباتى إندول حامض الخليك يزيد من تخليق البروتين و RNA، ويسمح بتكوين أجسام جولجى وريبوسومات، بينما حامض الأبسيسيك يقلل من تخليق RNA ، DNA . ولذلك يعتقد أن دخول خلايا الكمبيوم مرحلة السكون فى الخريف والشتاء نتيجة لتثبيط كبير فى تكوين مركب RNA وذلك نتيجة لوجود حامض الأبسيسيك فى هذه الفترة.



(شكل ٢٠) : دورة الميتوكوندريا داخل خلايا الكامبيوم الوعائى