الباب الثالث

الخلية النباتية

أثبت العالم الإنجليزى روبرت هوك Robert Hook سنة 1665 ، بعد أن فحص قطعة من الفلين بواسطة ميكروسكوبه 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 ما أسماه بالعصير والذى عرف فيما بعد بالبروتوبلاست protoplast . عقب ذلك بسنوات قليلة حوالى سنة 1676 شاهد صانع العدسات الهولندى أنطون فان لوفنهوك Anton van Leeuwenhock أجساماً خضراء بداخل الخلايا النباتية ، وهذه عرفت فيما بعد باسم البلاستيدات الخضراء . وفى سنة 1833 إكتشف العالم الإنجليزى 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 1829 وضع كلا من عالم النبات شلايدن وعالم الحيوان الألمانى شفان T. Schwann نظرية الخلية cell theory وفحواها أن الخلية هى الوحدة الأساسية لتكوين الكائن الحى وأنها تقوم بجميع العمليات الحيوية وأنها تنشأ من إنقسام خلايا أخرى . وفى سنة 1829 أطلق بركنجى Purkinje اسم بروتوبلازم على المادة الحية للخلية . وفى سنة 1898 إكتشف العالم الإيطالى جولجى C. Golgi جهاز جولجى وذلك فى خلايا حيوانية . وفى سنة 1900 إكتشف العالم الألمانى ألتمان R. Altmann الميتوكوندريات .

تتركب الخلية النباتية الحية (شكل 3/3) من جدار خلوى cell wall يحيط بالبروتوبلاست ، والبروتوبلاست هو اصطلاح أدخله هانشتين Hanstein سنة 1880 ليعرف به جميع مكونات الخلية ما عدا الجدار الخلوى . والبروتوبلاست يتكون من مواد بروتوبلازمية وغير بروتوبلازمية .

طرق فحص الخلية النباتية

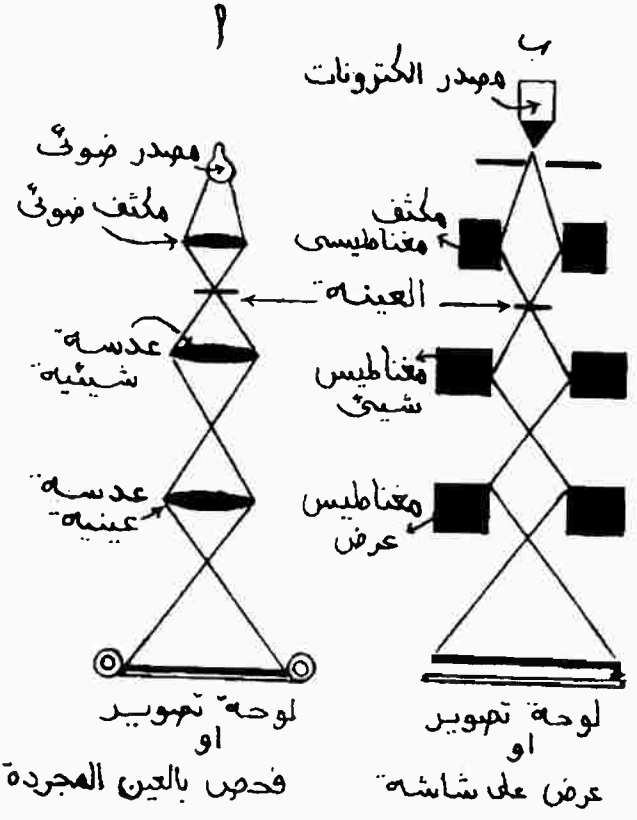
تمت الدراسات الدقيقة للخلية النباتية بعد أن أمكن التوصل إلى فحص الخلايا بقوى تكبير وصلت إلى حوالى 3 مليون مرة مع درجة توضيح تصل إلى 0.2 نانومتر وذلك باستخدام المجهر الالكترونى electronic microscope بعد أن كانت أقصى قوة تكبير للمجهر الضوئى العادى حوالى ألف مرة ، مع درجة توضيح لا تقل عن 0.2 ميكرون.

يستعمل المجهر الضوئى الضوء العادى فى تكوين الصورة بينما يستعمل المجهر الإلكترونى الأشعة الإلكترونية المارة فى أنبوبة مفرغة لذلك الغرض. 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 بدلاً من العدسات الزجاجية (شكل 1/3 أ ، ب).

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

يوجد نوعين من المجهر الإلكترونى وهما المجهر الإلكترونى النافذ transmission type ، ذلك أن الأشعة الإلكترونية تمر خلال العينة المراد فحصها معطية صورة تفصيلية لمكونات العينة ، والمجهر الإلكترونى الماسح scanning type ويستعمل لفحص مجسم لسطح العينة وذلك فى ثلاثة أبعاد أو إتجاهات. وفى المجهر الإلكترونى الماسح (شكل 2/3) لا يوجد مجال مغناطيسى يحل محل العدسة العينية بل نجد أن الألكترونات تنعكس وتتشتت من على سطح العينية المفحوصة ، ويوجد جزء حساس detector يستقبل هذه الأشعة الإلكترونية وينقلها إلى دائرة تكبير للأشعة ، ثم تنتقل الأشعة إلى أنبوبة أشعة الكاثود (المهبط) التى تتصل بها دائرة تجسيم فتتكون الصورة المكبرة المجسمة.

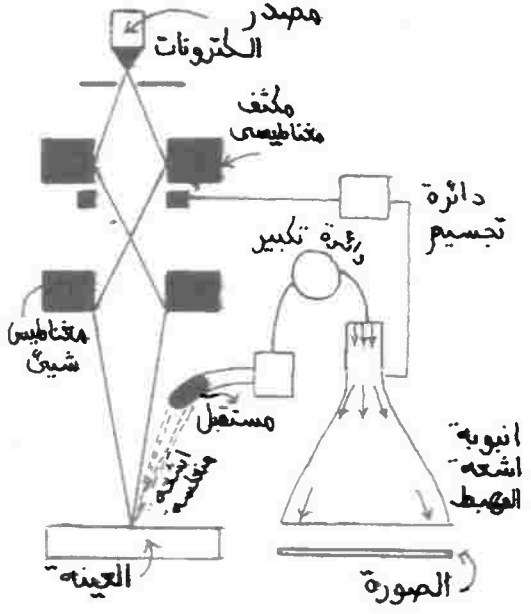
لفحص الأنسجة النباتية وخلاياها بواسطة المجهر الضوئى تعمل قطاعات رقيقة باستعمال أمواس حادة يدوية أو آليا بواسطة جهاز الميكروتوم microtome الشمعى أو الثلجى. أما الفحص بالمجهر الإلكترونى فيحتاج إلى عمل قطاعات رقيقة جداً قد تصل فى السمك إلى 30 ملليميكرون أو أقل ويتم ذلك بتثبيت العينة ثم تحميلها فى نوع خاص من البلاستيك.



(شكل 1/3) : المجهر الضوئى والمجهر الإلكترونى النافذ

رسم تخطيطى مبسط يوضح تركيب المجهر الضوئى (أ) والمجهر الإلكترونى النافذ (ب) ومسار الأشعة فيهما مع بيان كيفية تكوين الصورة

ويجرى عمل القطاعات بواسطة أمواس خاصة من الزجاج المشطوف أو من الماس المصقول وذلك بواسطة جهاز ميكروتوم دقيق ultramicrotome ويجب أن لا يزيد سمك القطاع فى حالة استخدام المجهر النافذ عن 100 نانومتر حتى يمكن للأشعة الإلكترونية النفاذ خلاله. وتستعمل حديثاً وبكثرة طريقة التجميد والتبخير تحت تفريغ freeze eiching لعمل القطاعات لفحصها بالمجهر الإلكترونى. وفى هذه الطريقة تجمد العينة بسرعة ثم يجرى تقطيع الجزء المجمد بواسطة موس باردة. وعمل قطاعات تحت هذه الظروف يسبب 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 ويعرض القطاع



(شكل 2/3) : المجهر الإلكترونى الماسح

رسم تخطيطى مبسط يوضح تركيب المجهر الإلكترونى الماسح ومسار الأشعة فيه مع بيان كيفية تكوين الصورة

لبخار مزيج من البلاتين والكربون والذى يتراكم على السطوح المقطوعة مكونا صورة سلبية negative أو مكررة replica للتركيب الخلوى. تجرى جميع الخطوات السابقة تحت تفريغ under vacuum. ثم تزال جميع أجزاء الخلية وتبقى الصورة المكررة replica للخلية وهى التى تفحص بالمجهر الإلكترونى وتعتبر هذه أحسن طريقة لفحص التركيب الدقيق للخلايا الحية.

وتتراوح أحجام الخلايا النباتية ومكوناتها كالآتى :

الوحـــــدة	الطول أو القطر بالميكرون
أغلب خلايا النباتات الزهرية	100 - 5
أغلب الخلايا البكتيرية	5 - 0.5
البلاستيدات الخضراء	10 - 2
الميتوكوندريات	5 - 0.5
الريبوسومات	0.02

والوحدات التى تستعمل فى قياس أجزاء الخلية هى :

الميكرون ويرمز له μ أو μm = $\frac{1}{1000}$ من المليمتر

الميلليميكرون ويرمز له μm = نانومتر nanometer ويرمز له $n m$ = $\frac{1}{1.000.000}$ من المليمتر

أنجستروم ويرمز له A° = $\frac{1}{10.000.000}$ من المليمتر

مكونات الخلية النباتية

تتكون الخلية النباتية من أجزاء مختلفة كالآتى :

1) بروتوبلاست

(أ) بروتوبلازم (مكونات بروتوبلازمية)

1- سيتوبلازم

2- نواة

3- ريبوسومات

4- بلاستيدات

5- ميتوكوندريات

6- أجسام كروية

7- جهاز جولجى

8- أنابيب دقيقة

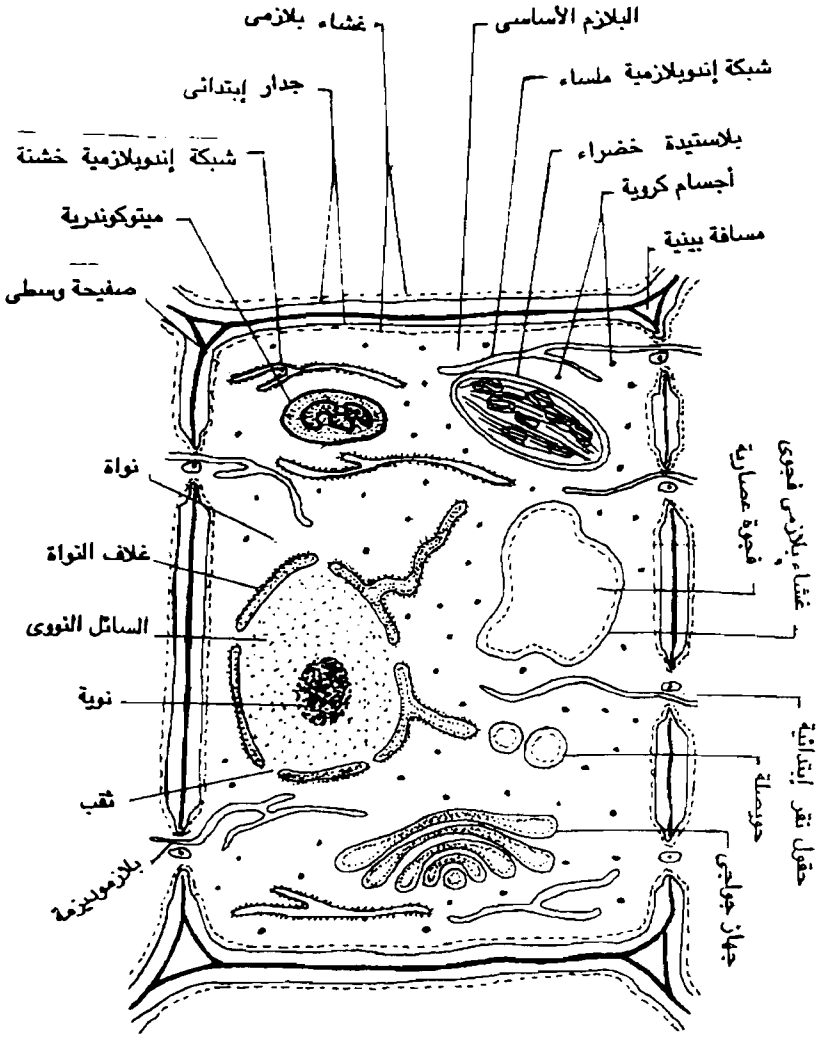
9- بيروكسيسومات

(ب) مكونات غير بروتوبلازمية

1- فجوات عصارية

2- مواد غير حية مثل النشا والدهون والبروتين والبلورات

2) جدار خلوى



(شكل 3/3) : قطاع فى خلية نباتية

البروتوبلازم

يقصد بالبروتوبلازم protoplasm المادة الحية للخلايا ، والبروتوبلازم مادة هلامية غير متجانسة ، ويتضح بالفحص الميكروسكوبى الدقيق تكونها من محلول غروى متجانس نسبياً يعرف بالسيتوبلازم ، يوجد معه مكونات أخرى أكثر كثافة وهى النواة والريبوسومات والبلاستيدات والميتوكوندريات والأجسام الكروية وأجهزة جولجى والأنابيب الدقيقة والبيروكسيسومات. يتكون البروتوبلازم 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 إتجاهات عديدة داخل الخلية ومن خلية إلى أخرى خلال قنوات سيتوبلازمية تعرف بالبلازمودزمات plasmodesmata. الحساسية irritability هى قدرة البروتوبلازم فى الاستجابة للمؤثرات الخارجية. يمكن إظهار ذلك بالإسراع أو بالإقلال 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 البروتوبلاست. ظاهرة النمو growth ينتج عنها زيادة حجم النبات وتكشفه. ويمكن مشاهدة ظاهرتى التكاثر والنمو فى مناطق النمو كالقمم النامية للسيقان والجذور.

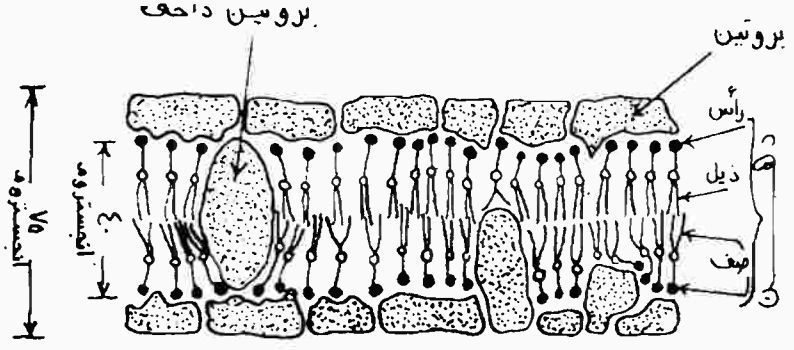
السيتوبلازم

السيتوبلازم cytoplasm هو المادة الغروية الأساسية للبروتوبلازم ويتكون من البلازم الأساسى والأغشية البلازمية والشبكة الأندوبلازمية.

البلازم الأساسى groundplasm عبارة عن محلول غروى حقيقى يختلف فى لزوجته باختلاف الخلية ونوعها وعمرها ، ويحتوى على الماء بنسبة 85- 90 %،

كما يحتوى على أنواع مختلفة من البروتينات والدهون فى حالة غروية وسكريات وأملاح فى حالة ذائبة ، وهو المحلول الذى ينغمس فيه بقية أجزاء السيتوبلازم.

يمتاز السيتوبلازم بأغشيته البلازمية plasma membranes فمنها ما يشاهد فى مناطق تلامسه مع الجدر الخلوية داخلياً وتعرف بالأغشية البلازمية الخارجية ectoplasts ، ومنها ما يغلف الفجوات العصارية وتعرف بالأغشية البلازمية الفجوية tonpoplasts. الأغشية البلازمية الخارجية والفجوية تغلف البلازم الأساسى ، وتمتاز بارتفاع نسبة البروتينات والدهون بها عن البلازم الأساسى. والغشاء البلازمى رقيق سمكه حوالى 75 انجستروم ويتكون من طبقتين بروتينيتين يوجد بينهما طبقة ثالثة دهنية. ويظهر الغشاء البلازمى عند الفحص بالميكروسكوب الإلكترونى كخطين غامقى اللون سمك كل منهما حوالى 17 أنجستروم هما طبقتى البروتين. ويفصل بينهما طبقة رائقة سمكها حوالى 40 أنسجتروم 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 4/3).



(شكل 4/3) : الغشاء البلازمى الخارجى
قطاع عرضى فى جزء من غشاء بلازمى خارجى

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 مرور أيونات وجزيئات خاصة فى اتجاه عكسى بالنسبة للإتجاه الطبيعى لمنحدر التركيز ، وذلك تبعاً لاحتياجات الخلية ، وهذا يعرف بالنقل النشط active transport . عادة يوجد اختلاف فى النفاذية الاختيارية لكل من الغشاء البلازمى الخارجى والغشاء البلازمى الفجوى فمثلاً نجد فى الطحلب الأخضر فالونيا *Valonia* أن الغشاء البلازمى الخارجى ينفذ المغنسيوم ، بينما لا ينفذه الغشاء البلازمى الفجوى ، لهذا نجد المغنسيوم موجود فى البلازم الأساسى ولا يوجد فى الفجوة العصارية لهذا الطحلب.

الشبكة الأندوبلازمية endoplasmic reticulum عبارة عن أنابيب وحويصلات دقيقة متشابكة منغمسة فى البلازم الأساسى وجدرها تماثل فى تركيبها الغشاء البلازمى. الشبكة الإندروبلازمية قد تكون ملساء أو خشنة (شكل 3/3) ، ويرجع خشونة النوع الأخير إلى أنها تحمل على سطوحها أجسام دقيقة تعرف بالريبوسومات ribosomes. تتصل الشبكة الإندوبلازمية بالغشاء البلازمى الخارجى وبالغلاف النووى ، كذلك قد تتصل بجهاز جوّلجى. يعتقد أن وظيفة الشبكة الإندوبلازمية 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 إلى 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 وتفرغ محتوياتها خارجه أو تلتحم بأغشية جهاز جولجى لتفرغ محتوياتها بداخله وبذلك تنقل محتويات الشبكة الإندوبلازمية إلى جهاز جولجى.

النـــواة

النـواة nucleus جسم كـروى أو بيـضاوى ، تختلـف أحجامهـا كثيـراً حـسب نوعيـة الخليـة ونـوع النبـات فهـى كبيـرة نـسبياً وتتوسـط عـادة الخليـة فـى الخلايـا المرستيمية ، وصغيرة نسبياً وتوجد عادة جانبياً فى الخلايا البالغة. تحتوى الخلية النباتية للنباتات الراقية على نواة واحدة عادة ، إلا أنه فى بعض الحالات كما فى الأنابيب اللبنية latex 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. ويرى البعض أن الأنبوبة الغربالية تكون دائماً على صلة وثيقة بخلية مرافقة أو أكثر ، كل خلية مرافقة لها نواتها التى تخدمها وتخدم الأنبوبة الغربالية المجاورة.

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

يوجد بالنواة نوعان رئيسيان من الأحماض النووية هما حمض الدى اكسى ريبوز النووى deoxyribonucleic acid الذى يرمز له بالرمز DNA وحمض الريبوز النووى ribonucleic acid الذى يرمز له بالرمز RNA. يتركب كل من الحمضين النوويين DNA و RNA من وحدات تسمى نيوكليوتيدات nucleotides، وتتكون كل وحدة من هذه الوحدات من جزىء من السكر الخماسى دى اكسى ريبوز فى حالة الحمض DNA أو سكر ريبوز فى حالة الحمض RNA. يرتبط مع السكر جزىء فوسفات من ناحية وقاعدة نيتروجينية من ناحية أخرى. تتكون القاعدة النيتروجينية من أدينين adenine ، وجوانين guanine وسيتوسين cytosine ، يضاف إليهم ثيمين thymine فى حالة الحمض DNA ويوراسيل uracil فى حالة الحمض RNA. القواعد النيتروجينية جزيئاتها حلقية فهى تتكون من حلقة واحدة سداسية كما فى سيتوسين وثيمين ويوراسيل وتعرف بالبيربميدينات pyrimidines أو تتكون من حلقتين خماسية وسداسية كما فى أدنين وجوانين وتعرف بالبيورينات purines.

الحامض النووى DNA عبارة عن سلسلتين حلزونيتين من النيوكليوتيدات تلتفان حول بعضهما ويربط بين بعض القواعد فى السلسلتين روابط أيدروجينية. وهذه الروابط تربط بين أدينين فى سلسلة وثيمين فى السلسلة الأخرى وأيضاً نفس الشيء بالنسبة لجوانين وسيتوسين (شكل 5/3 أ ، ب). وأحياناً يكون DNA عبارة عن خيط يوجد على هيئة حلقة كما فى البكتريا وأحياناً فى الميتوكوندريات والبلاستيدات الخضراء (شكل 6/3).

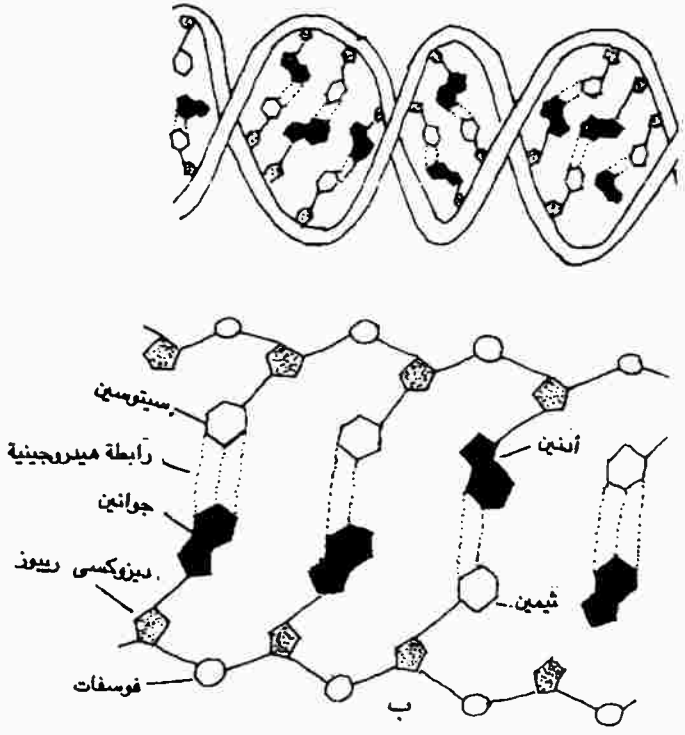
الحامض النووى RNA عبارة عن خيط حلزونى ولا يوجد إلتحام بين خيط وآخر بالروابط الإيدروجينية بعكس ما هو موجود فى DNA. ولكن فى بعض الحالات كما فى حالة حمض الريبوز النووى الناقل فإنه توجد روابط إيدروجينية بين القواعد فى نفس الجزيء. ويوجد أنواع عديدة من RNA ولها وظائف مختلفة فى الخلية وهى كالآتى :

1- حمض ريبوز نووى ناقل transfer RNA (t RNA) : وهو أصغر أنواع RNA حجماً وله وزن جزئى 25000 دالتون dalton [1]، وتلتصق به الأحماض الأمينية قبل تركيب البروتين. وهو يتكون من نيوكليوتيدات توجد على هيئة قاعدة وساق وفرعين أو ثلاثة فروع وكل فرع ينتهى بدائرة ، وتوجد روابط إيدروجينية بين أدنين ويوراسيل وبين جوانين وسيتوسين فى كل من الساق والثلاثة فروع فقط. أما القاعدة والدوائر الثلاثة فلا يوجد فيها روابط إيدروجينية والجزء القمى هو الذى يرتبط به الحامض الأمينى عند تكوين البروتين (شكل 8/3 ، 9/3).

2- حمض ريبوز نووى رسول messenger RNA (m RNA) : ويقوم بنقل الشفرة الوراثية من النواة إلى السيتوبلازم ، وهو غير ثابت ويتغير وزنه الجزيئى ويتراوح من 50.000 - 5 مليون دالتون. وهو كبير الحجم نسبياً بحيث يمكن رؤيته بالمجهر الإلكترونى كخيط رفيع. ولا يوجد روابط إيدروجينية للربط بين القواعد النيتروجينية (شكل 8/3).

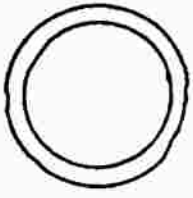
---

[1] الدالتون هى وحدة وزن تعادل $^1/_{16}$ من وزن ذرة اكسوجين ، وتعادل 1.65×10^{-24} جرام.



(شكل 5/3) : الحمض النووى DNA

أ ، ب جزء من الحمض النووى DNA



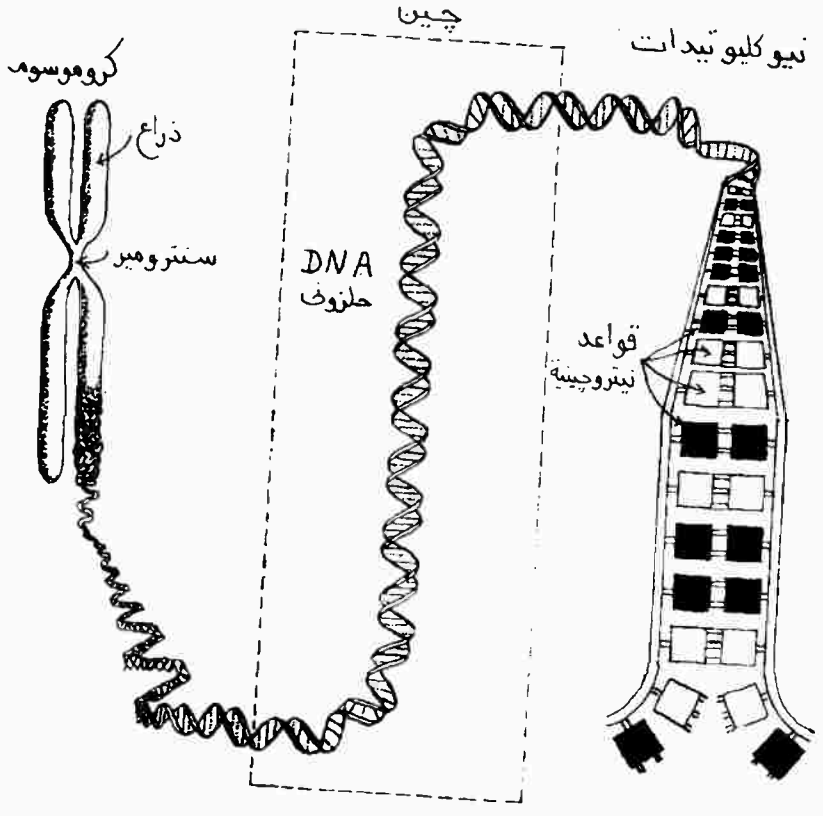
(شكل 6/3) : DNA حلقى

3- حمض ريبوز نووى ريبوسومى ribosomal RNA (r RNA) : توجد أنواع عديدة منه تدخل فى تركيب الريبوسوم وقد عرف تركيب بعضها ، وتوجد روابط ايدروجينية بين القواعد النيتروجينية فى بعض أجزائه.

تتكون النواة من مادة هلامية كثيفة غنية بالبروتينات والبروتينات الدهنية وحمض الريبوز النووى وتعرف بالسائل النووى nuclear sap ، وتغلف بغلاف رقيق يتكون من غشائين يشبهان فى تركيبهما الأغشية البلازمية ويعرف بالغلاف النووى nuclear envelop والذى 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 الأندوبلازمية. يوجد وسط السائل النووى نوية أو أكثر. والنوية nucleolus جسم كروى أو بيضاوى أكثر لزوجة من السائل النووى. والنوية غنية بجزئيات الحامض النووى RNA والبروتينات وبها قليل من الحمض النووى DNA ، ولا تحاط النوية بغشاء ، ويعتقد أن النويات تعمل كمراكز لتكوين الحمض النووى RNA والبروتينات ، كما يعتقد أيضاً أنها أماكن لتكوين الريبوسومات ثم تعبر الريبوسومات من فتحات النواة إلى سيتوبلازم الخلية (شكل 3/3). ويوجد بالسائل النووى شبكة كروماتينية.

تتركب الشبكة الكروماتينية chromatin reticulum من وحدات تشاهد منفصلة محددة فى بعض مراحل إنقسام الخلية تعرف باسم كروموسومات Chromosomes ، تشاهد فى الطور الوسطى وفى الخلايا البالغة فى شكل شبكة غير منتظمة. تتكون الشبكة الكروماتينية من بروتينات نووية ، والبروتين النووى هو حمض نووى مرتبط مع بروتينات أهمها الهستونات histones. ويعتقد أن فائدة هذا الإرتباط هى حفظ الهستون لجزىء DNA وهو الحمض الأساسى الذى يدخل فى تركيب البروتينات النووية للشبكة الكروماتينية ، كما يوجد الحمض النووى RNA بنسب أقل.

يتكون الكروموسوم من وحدتين طوليتين وتسمى كل وحدة كروماتيدة chromatid. وكل كروماتيدة لها ذراعين arms. تلتحم كروماتيدتى كل كروموسوم بواسطة جزء ضيق يسمى السنترومير centromere. تتكون الكروماتيدة من حشوة matrix ، عبارة عن مادة تكوين جسم الكروماتيدة وتتكون من بروتين وأحماض نووية. وينغمس فى الحشوة حمض دى اكس ريبوز نووى الذى يوجد على هيئة سلسلتين حلزونتين من النيوكليوتيدات. تحمل



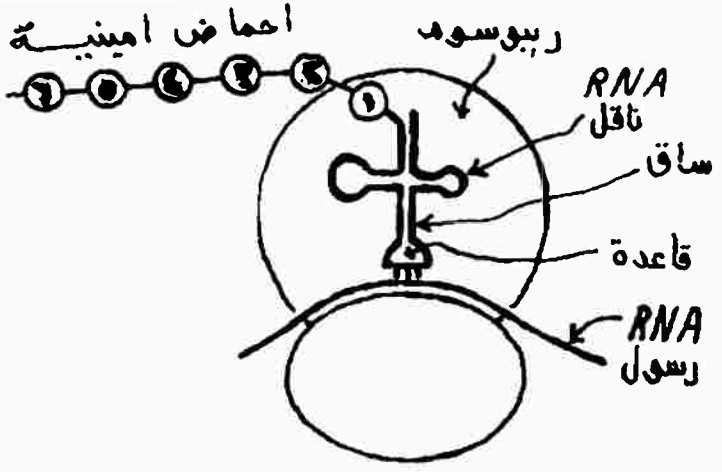
(شكل 7/3) : الكروموسوم والجين و DNA

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 7/3) يختلف بإختلاف الجين.

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

تتحكم النواة فى الوظائف الحيوية للخلية إذ أنه من المعروف أن الحمض النووى DNA الذى يدخل فى تركيب الشبكة الكروماتينية قادر على تكرار نفسه ، أى أن جزىء معين من حمض DNA يمكنه تكوين جزئيات أخرى مشابهة منه. كما أن جزىء الحمض DNA قادر على التحكم فى تكوين نوع أو أكثر من جزىء الحمض RNA ، وذلك بتحديده لترتيب وحدات النيوكلوتيدات فى جزيئات الحمض RNA ، وذلك بأن ينفك حلزونى DNA عن بعضهما ويسمحا بذلك تكوين m RNA ، الذى ينفصل عن DNA ويخترق الريبوسومات ، وبذلك يربطها ببعضها مكوناً عديد الريبوسومات. وأما عن t RNA فإنه ينقل الأحماض الأمينية إلى عديد الريبوسومات وذلك بأن تستقر قاعدته على m RNA ، ثم يستمر إرتباط الأحماض الأمينية بروابط ببتيدية على هيئة سلسلة لتكوين البروتين الذى ينفصل عن الريبوسوم (شكل 8/3).

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 السيتوبلازم ، فالحمض النووى RNA يحدد ترتيب ربط الأحماض الأمينية ببعضها لتكون البروتين ونتيجة لإختلاف الترتيب تتكون أنواعاً مختلفة من البروتينات والتى منها الإنزيمات. وبهذا نجد أن النواة تتحكم فى عمليات النشاط الحيوى للخلية.

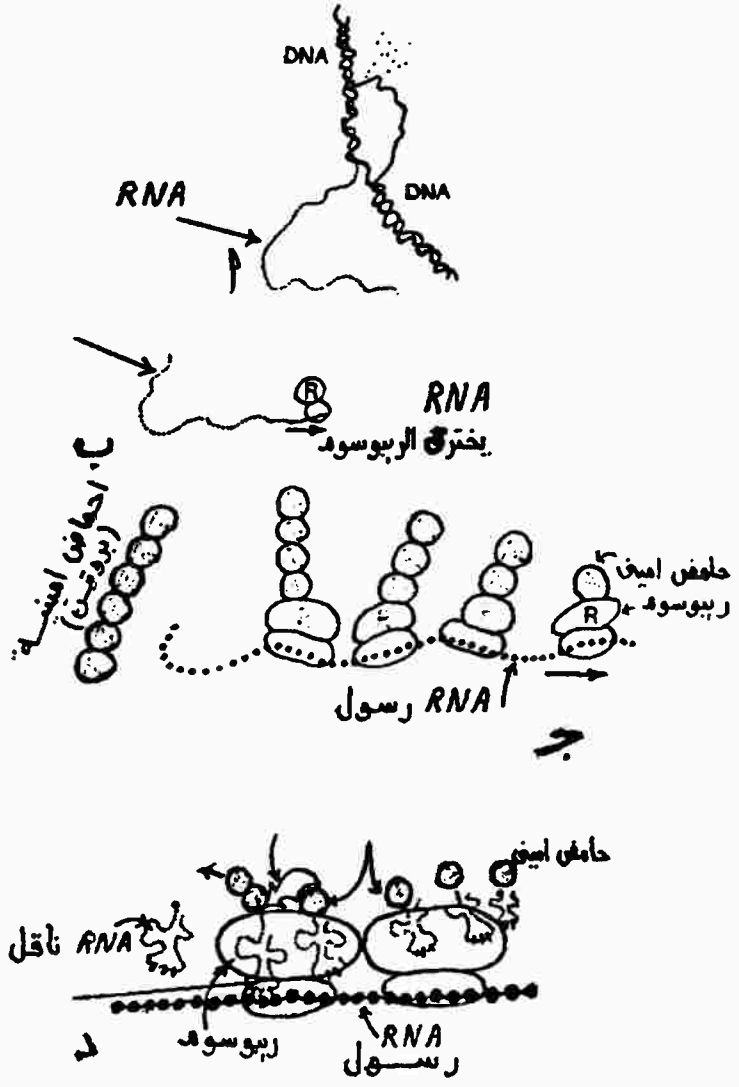


(شكل 8/3) : الريبوسوم

الريبوسومات

الريبوسومات ribosomes أجسام بروتوبلازمية صغيرة ، توجد حرة فى السيتوبلازم أو على أغشية الشبكة الإندروبلازمية الخشنة (شكل 3/3) ، كما توجد فى داخل البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريات. الريبوسومات الموجودة فى البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريات أصغر حجماً عن المعتاد.

يتركب الريبوسوم من وحدتين غير متساويتين فى الحجم ، الوحدة الواحدة كروية إلى بيضاوية تقريباً ، وتتكون من خليط من البروتين وحمض الريبوز النووى RNA (شكل 3/8). والتمييز بين حجم كل من الوحدتين يكون على أساس سرعة الترسيب عند تعريضهم لقوة طاردة مركزية قوية ultracentrifugation.



(شكل 9/3) : خطوات تكوين بروتين الخلية

أ) تكوين RNA رسول من DNA
ب) اختراق RNA رسول للريبوسوم
جـ) عديد الريبوسومات يكون البروتين
د) منظر تفصيلي لعديد الريبوسومات وتكوين البروتين

ترتبط الريبوسومات عادة فى مجاميع بواسطة حمض ريبوز نووى رسول m RNA. وتعرف تلك المجاميع بعديد الريبوسومات polysomes أو polyribosomes. ويعتبر عديد الريبوسومات أماكن تخليق البروتين فى الخلية (شكل 3/3). ويعمل حمض الريبوز النووى الرسول كقالب لتصنيع البروتين. ولا تتم بلمرة الأحماض الأمينية مباشرة ، ولكن يتطلب ذلك وجود نوع آخر من حمض الريبوز النووى وهو حمض الريبوز الناقل t RNA. ويختلف نوع t RNA بإختلاف نوع الحمض الأمينى.

البلاستيدات

البلاستيدات plastids 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 وتعرف بمبادىء البلاستيدات proplastids أو تنشأ من انقسام البلاستيدة الخضراء إلى بلاستيدتين.

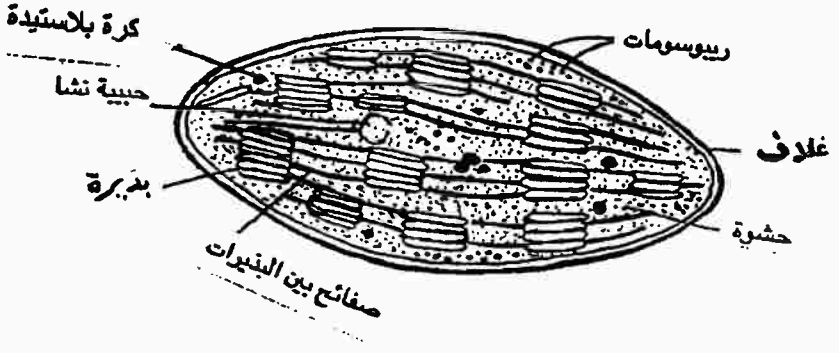
لا توجد البلاستيدات فى بعض النباتات الدنيئة كما فى البكتريا والفطريات. تحتوى الخلية الواحدة على بلاستيدة واحدة كما فى بعض أنواع الطحالب. أما فى النباتات الراقية فغالباً ما تحتوى خلاياها على عديد من البلاستيدات.

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 ، والبلاستيدات الخضراء تتحول فى الثمار والأزهار الصغيرة إلى بلاستيدات ملونة فى الثمار الناضجة والأزهار الكاملة النمو كما فى حالة ثمار الطماطم. ويمكن أيضاً للبلاستيدات العديمة اللون أن تتحول إلى بلاستيدات خضراء عند تعرضها للضوء كما فى درنات البطاطس.

1- البلاستيدات الخضراء Chloroplasts : هى بلاستيدات ذات لون أخضر وذلك لاحتوائها على أصباغ الكلوروفيل وأهمها كلوروفيل أو وكلوروفيل ب ،

وأصباغ الكاروتين ومنها الكاروتين والزانثوفيل. كما تحتوى على كل من الحمض النووى RNA و DNA. كذلك تحتوى البلاستيدات الخضراء على ريبوسومات أصغر فى الحجم من الريبوسومات العادية وكذلك يمكنها الانقسام والتكاثر. تختلف البلاستيدات الخضراء فى الحجم وغالباً ما تكون ذات أشكال قرصية أو بيضاوية فى النباتات الراقية.

تتكون البلاستيدة الخضراء من كتلة كثيفة من وسط مائى به بروتين أساساً تعرف بإسم الحشوة stroma وتغلف بغلاف يتكون من غشائين يشبهان باقى الأغشية البلازمية فى كون الغشاء يتركب من طبقتين بروتينيتين بينهما طبقة دهنية. وتحتوى الحشوة على أجزاء دقيقة محببة تعرف بالبذيرات grana ، وتتكون كل بذيرة من أقراص متراصة فوق بعضها. وتتركب هذه الأقراص من أغشية تسمى ثيلاكويد thylakoid. وتتركب الأغشية من بروتينات ودهون وصبغات الكلورفيل والكاروتينات. وتوجد أيضاً أغشية تصل حواف أقراص كل بذيرة بحواف أقراص بذيرة أخرى مجاورة ، وتسمى هذه الأغشية بإسم صفائح بين البذيرات intergrana lamellae ويوجد فى الحشوة أيضاً أجسام كروية تعرف باسم كرات البلاستيدة plastoglobuli. وهذه تحتوى على مركبات دهنية أو محبة للدهون ويعتقد أن هذه الكرات تخزن بها الدهون الزائدة عن حاجة البلاستيدة (شكل 10/3).



(شكل 10/3) : 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.

2- 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 والمفصص وعديد الأضلع والبلورى (شكل 11/3). وهذه البلاستيدات هى المسئولة عن اللون فى الأزهار والثمار كما فى الطماطم وبعض أنواع الجذور كالجزر.

تتكون البلاستيدة الملونة 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 على الصبغات الكاروتينية الصفراء وهى كثيرة العدد ، وتختلف كثيراً فى الحجم وقد يصل قطرها إلى 500 نانومتر.

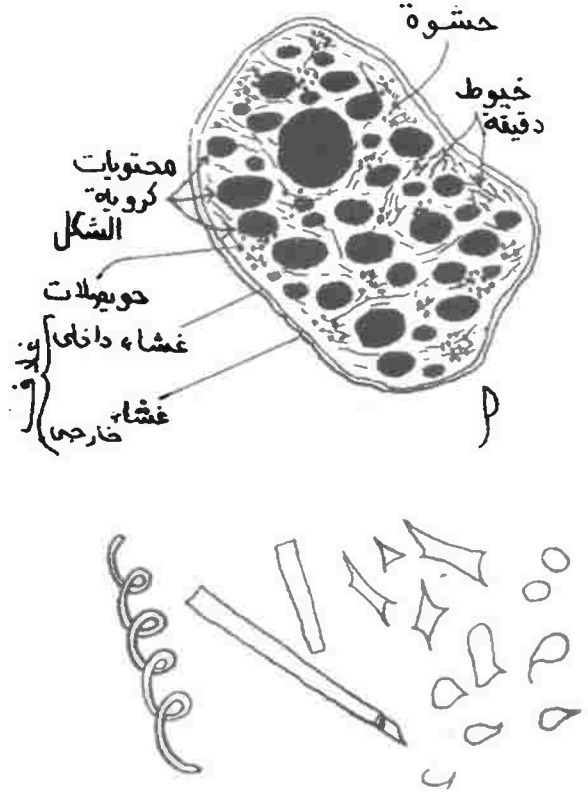
ومما يميز البلاستيدات الملونة أن لها القدرة على التمدد بدرجة كبيرة وذلك لكى تلائم شكل بلورات الصبغات التى قد تتبلور بداخلها.

وظيفة البلاستيدات الملونة غير معروفة بالضبط.

3- البلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts : هى بلاستيدات لا تحتوى 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 أندوسبرم وفلقات البذور .

تقوم البلاستيدات عديمة اللون بتكوين وتخزين المواد الغذائية فمنها ما يختص بالنشا ويعرف بيلاستيدات النشا ومنها ما يختص بالدهون وتعرف ببلاستيدات الدهن .



(شكل 11/3) : بلاستيدات ملونة

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

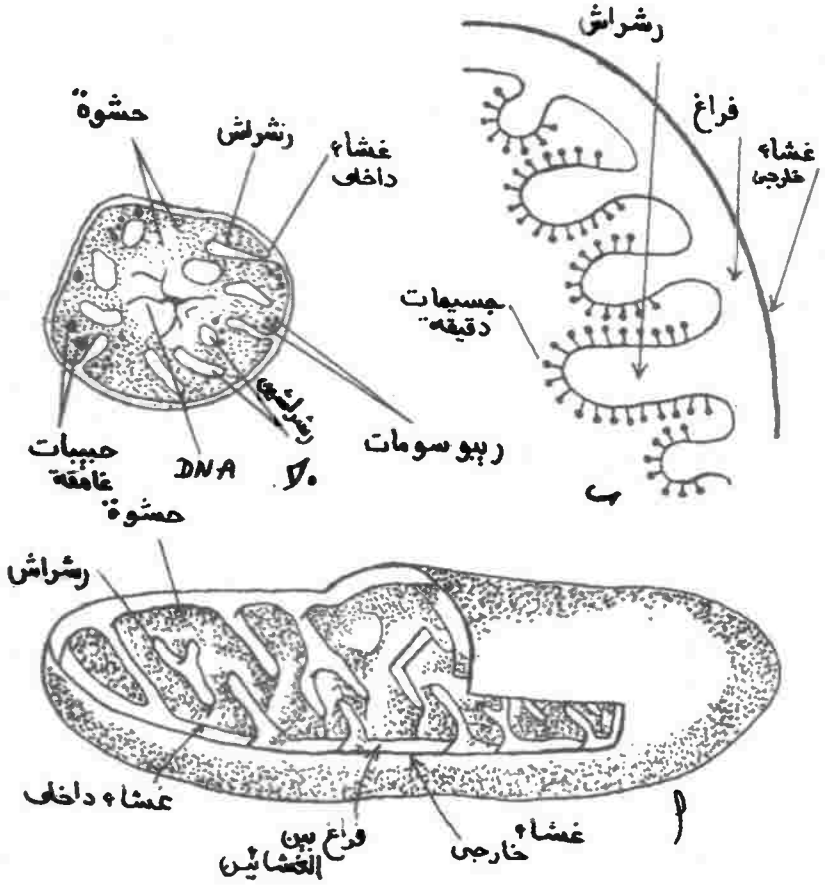
بلاستيدات النشا amylopasts تقوم بتحويل السكر إلى نشا ، ثم تخزنه بداخلها ولهذا يعرف النشا الموجود بها بالنشا الإختزانى reserve ، ويختلف النشا لإختزانى الذى يتكون فى البلاستيدات العديمة اللون عن النشا الإنتقالى الذى يتكون فى البلاستيدات الخضراء فى أن الأول حبيباته كبيرة الحجم ويوجد بأعداد قليلة ومستديمة 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 بترسب طبقات جديدة فينتج عنها انتفاخ جدار البلاستيدة (شكل 14/3 ى) الذى يتفجر عادة فى النهاية. وقد تتكون أكثر من حبيبة نشا داخل البلاستيدة الواحدة.

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

الميتوكوندريات

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

تشاهد الميتوكوندريات بأشكال مختلفة منها الكروى والعصوى والخيطى ، والشكل العصوى هو الغالب (شكل 12/3 أ). تتركب الميتوكوندرية من بروتينات ذائبة تعرف بالحشوة matrix ويوجد بها DNA على هيئة جزء وسطى يخرج منه خيوط وريبوسومات أصغر من حجمها المعتاد وحبيبات غامقة دقيقة electron-opaque granules غير معروف وظيفتها (شكل 12/3). 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 12/3 ب).



(شكل 12/3) : الميتوكوندرية

أ) منظر عام ب) جزء من غلاف الميتوكوندرية

جـ) قطاع عرضي

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

الأجسام الكروية

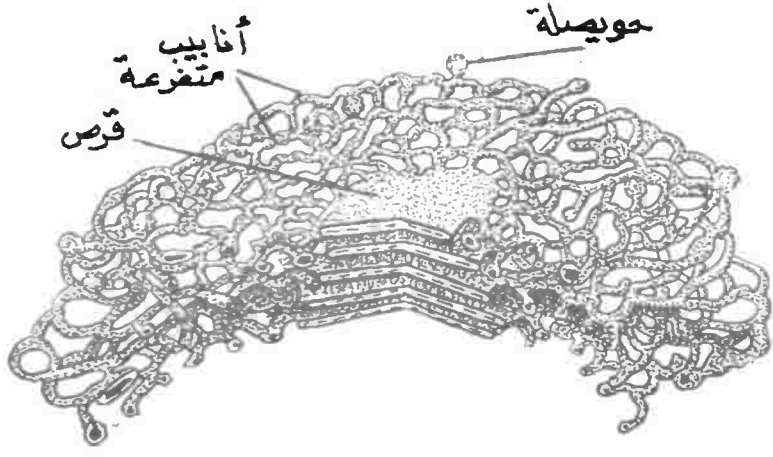
الأجسام الكروية spherosomes أجسام بروتوبلازمية صغيرة كروية (شكل 3/3) توجد فى الخلايا النباتية ، وتشابه الليسوسومات lysosomes الموجودة فى الخلايا الحيوانية. يتكون الجسم الكروى من حشوة كثيفة بروتينية تحاط بغشاء مفرد حيث يتكون من طبقة بروتين خارجية يليها للداخل طبقة دهنية. توجد الأجسام الكروية بكثرة فى الخلايا المخزنة للمواد الدهنية حيث تخزن بها الدهون ، وتقل أعدادها مع الإنبات وتحلل الدهون ، ويتوافق ذلك مع زيادة أعداد الأجسام الصغيرة microbodies. وهى تحتوى على أنزيمات تقوم بتحليل الجزيئات الكبيرة للمواد الداخلة فى تركيب بروتوبلازم الخلية وخاصة الدهون. ومن المعروف أن هذه الأنزيمات تبقى غير نشطة مادامت موجودة داخل الأجسام الكروية ، أما عند تمزق جدار هذه الأجسام فإن 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

يعرف جهاز جولجى Golgi apparatus باسم ديكتيوسوم dictyosome ، وتنتشر الديكتيوسومات فى البلازم الأساسى. ويتكون كل ديكتيوسوم من مجموعة أقراص تسمى سسترنات cisternae متراصة فوق بعضها ، وتحتوى بداخلها مركبات عديدة مثل البروتينات والكربوايدرات. وجدار كل قرص عبارة عن

غشاء يتكون من بروتينات ودهون ، ويخرج من حواف هذه الأقراص أنابيب عديدة متفرعة ومتشابكة تنتهى عادة بحويصلات (شكل 13/3).

وظيفة جهاز جولجى هى الإفراز ، فنجد أن أغشية الحويصلات التى يكونها جهاز جولجى تتكون من بروتين ودهون مماثلة فى ذلك الغشاء البلازمى الخارجى. تنفصل الحويصلات وتتحرك فى إتجاه جدار الخلية حتى تلتحم بالغشاء البلازمى وتزيد من مساحة سطحه ، وخاصة فى الخلايا المنقسمة والتى تكبر فى الحجم (شكل 2/5). تفرز المحتويات الموجودة بداخل الحويصلات وهى عبارة عن بروتين وكربوايدرات ومواد إفرازية خارج الغشاء البلازمى فيدخل الكربوايدرات فى تكوين الجدار الخلوى والصفيحة الوسطى مسبباً زيادة مساحتها. والبروتين قد يدخل فى تركيب الغشاء البلازمى. كما أن المواد الإفرازية تفرز خارج الخلية ولذلك يزداد عدد وحدات جهاز جولجى فى خلايا النبات المختصة بالإفراز كما فى قلنسوة الجذر والتى تفرز مواد هلامية خارج الخلايا لتساعد على سهولة إنزلاق الجذر بين حبيبات التربة.



(شكل 13/3) : جهاز جولجى بعد إزالة نصفه الأمامى

أنابيب دقيقة

الأنابيب الدقيقة microtubules عبارة عن أنابيب طويلة غير متفرعة جوفاء تختلف فى أطوالها كثيراً ، قطرها الخارجى حوالى 25 نانومتر وقطر التجويف حوالى 15 نانومتر ، يتكون جدار الأنبوبة الدقيقة من وحدات بروتينية protofilaments كروية كثيرة متلاصقة ، تشكل خيوطاً بروتينية تتلاصق ثلاثة عشر منها متجاورات لتكون الجدار . تدخل الأنابيب الدقيقة فى تكوين الأهداب والأسواط وكذلك فى تكوين خيوط المغزل حيث تلعب دوراً هاماً فى إنقسام الخلية ، ويعتقد أنها تحدد مكان إنقسام النواة كما تتحكم فى إتجاه ترسيب اللويفات السيليلوزية فى الجدار الخلوى وبذلك تتحكم فى شكل الخلية النهائى .

بيروكسيسومات

البيروكسيسومات peroxisomes عبارة عن حويصلات قطرها حوالى 1 ميكرون ويوجد بداخلها محلول متجانس من البروتين وهى تحتوى على إنزيمات عديدة مختصة بإنتاج وتحليل مركبات فوق الأكسيد مثل فوق أكسيد الإيدروجين H_2O_2 والذى يقوم بتحليله إنزيم الكاتاليز . ولهذه الأجسام دور رئيسى فى القيام بعملية التنفس الضوئى photorespiration .

مكونات الخلية غير البروتوبلازمية

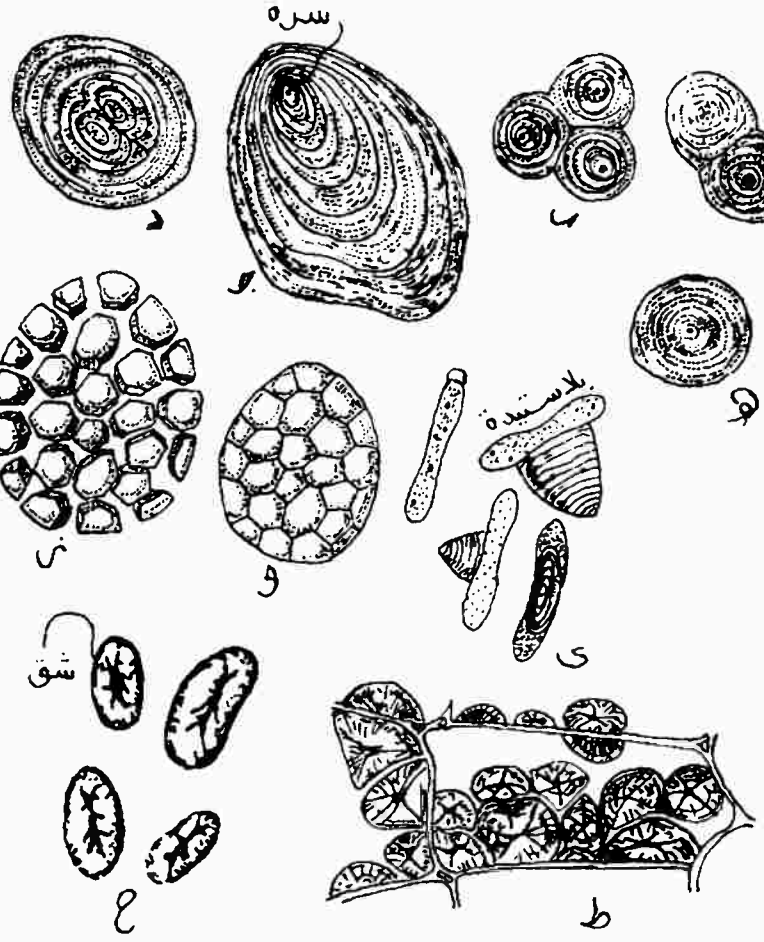
تحتوى الخلية النباتية بجانب البروتوبلازم على مكونات أخرى غير حية لا تدخل فى تركيب البروتوبلازم . توجد هذه المكونات فى صورة ذائبة أو غير ذائبة فى العصير الخلوى cell sap ، الذى يوجد فى الفجوات العصارية vacuoles . وقد توجد المكونات غير البروتوبلازمية فى السيتوبلازم على هيئة بلورات أو فى صور غير ذائبة عادة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

تحتوى الخلية النباتية على فجوة عصارية أو أكثر تبعاً لنوع الخلية وعمرها (شكل 1/5)٠ وتحاط الفجوة العصارية من الخارج بغشاء بلازمى فجوى tonoplast٠ ويتكون العصير الخلوى من محلول مذاب فيه أو موجود به فى حالة غروية مواد مختلفة منها السكريات والبروتينات وأحماض عضوية وأملاح غير عضوية وقلويدات وأصباغ ، وقد تحتوى على بلورات مترسبة٠ وعادة تكون هذه المركبات هى نواتج عمليات التحويل الغذائى الغير مرغوب وجودها فى السيتوبلازم لتأثيرها الضار عليه٠ وقد وجد حديثاً أن الفجوات العصارية قد تحتوى على إنزيمات محللة لحمضى RNA و DNA والبروتين والنشا ، ومثال ذلك خلايا القمم النامية لجذر الذرة٠ وفيما يلى شرح لأهم المكونات غير البروتوبلازمية فى السيتوبلازم والعصير الخلوى٠

حبيبات النشا

يعتبر النشا starch grains أهم المكونات غير البروتوبلازمية التى تتكون بداخل الخلية النباتية٠ ويوجد النشا فى صورة حبيبات تختلف شكلاً وحجماً حسب النبات المكون لها ، وكثيراً ما تظهر حبيبات النشا فى شكل حلقات متداخلة تتوسطها سرة hilum ، قد تكون وسطية ، أى مركزية centric كما فى القمح ، وقد تكون جانبية ، أى لا مركزية excentric كما فى البطاطس وتظهر السرة على هيئة نقطة كما فى حبيبات نشا البطاطس والقمح٠ وقد يظهر شق فى موضع السرة ، قد يكون متفرعاً كما فى حبيبات نشا البسلة والفاصوليا٠

وتعتبر حبيبة النشا المحتوية على سرة واحدة حبيبة بسيطة ، أما إذا تكونت بها أكثر من سرة وجمعتهم حلقات مشتركة فتعتبر حبيبة نصف مركبة ، فإذا لم تجمعهم حلقات مشتركة أى أن الحبيبة ناتجة عن تجمع حبيبات جزئية فإن الحبيبة المتكونة تكون مركبة ، وهذه الأنواع المختلفة موجودة فى البطاطس وتعتبر حبيبات نشا الأرز حبيبات مركبة (شكل 14/3)٠



(**شكل 14/3**) : مكونات غير بروتوبلازمية للخلايا النباتية

أ ، ب) حبيبتى بطاطس مركبة
د) حبيبة نشا بطاطس نصف مركبة
و ، ز) حبيبتى نشا أرز مركزية ومفككة
ط) بلورات انيولين داخل خلية نبات داليا

جـ) حبيبة نشا بطاطس بسيطة
هـ) حبيبة نشا قمح مركزية
ح) حبيبات نشا فاصوليا ذات شق متفرع
ى) بلاستيدات يتكون عليها حبيبات النشا فى مراحل مختلفة

تتكون الحلقات المتداخلة فى حبيبة النشا نتيجة تبادل حلقات غنية بالماء مع حلقات غنية بالنشا ، والسرة هى جزء غنى بالماء. ويعتقد البعض أن الحلقات تنتج عن تبادل نوعين من مكونات النشا هما الأميلوز amylose والأميلوبكتين amylopectin ، واختلاف درجة امتصاص كل من المركبين للماء وينتج عنه تكوني حلقات النشا عند وضع الحبيبة فى الماء ، إذ أن الأميلوز أكثر إمتصاصاً للماء من الأميلوبكتين. ويعتقد أن التغيير فى الظروف البيئية مثل الضوء ودرجة الحرارة أثناء تكوين الحبيبات ينتج عنه تكوين هذه الحلقات ، ولهذا فإن تثبيت الظروف البيئية أثناء تكون الحبيبات ينتج عنه عدم تكون الحلقات.

يتكون النشا فى البلاستيدات الخضراء عندما تحتوى الخلية على مواد سكرية زائدة ، فإذا قل المحتوى السكرى فى الخلية عن المعدل يتحول النشا إلى سكريات ذائبة ، ولهذا فيعتبر هذا النشا إنتقالى ، وكذلك يتكون النشا فى البلاستيدات عديمة اللون ويخزن بها ولذلك يعتبر نشا إختزانى. ويخزن النشا عادة ، فى الخلايا البرنشيمية للريزومات والدرنات والثمار وفلقات واندوسبرم البذور.

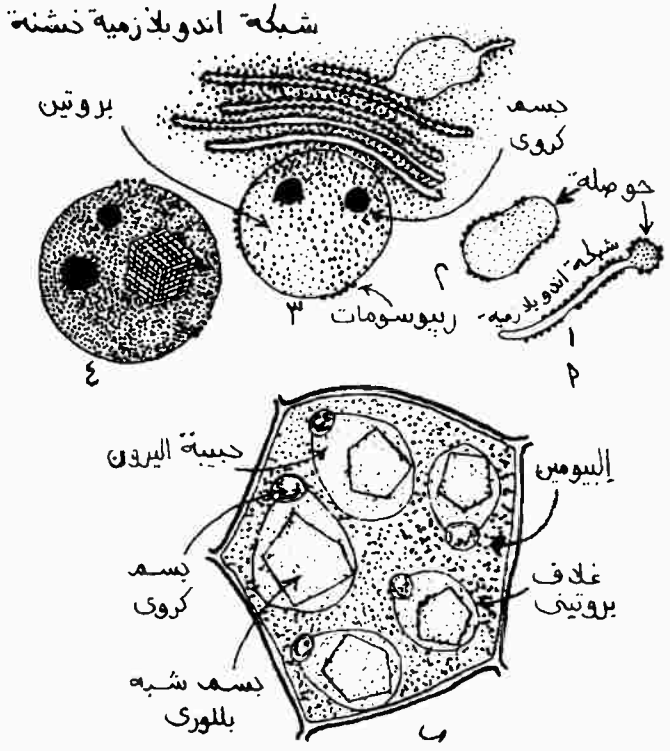
البـــروتين

يدخل البروتين protein فى تكوين البروتوبلازم ، ويوجد أحياناً كمركب إختزانى. يوجد البروتين فى حبيبات الأليرون aleurone grains فى حبة القمح وفى بذرة الخروج (شكل 14/3 ط). تتكون حبيبات الأليرون فى حبة القمح من بروتين غير متبلور. ويعتبر البعض طبقة الأليرون الموجودة فى الحبوب هى المسئولية عن إنبات تلك الحبوب وذلك لإفرازها إنزيمات تساعد على الإنبات.

حبيبة الأليرون فى بذرة الخروع تتكون من غلاف خارجى بروتينى يوجد بداخله عادة جسمان أحدهما كبير ومضلع ويتكون من بروتين نقى ويعرف بالجسم شبه البللورى crystalloid وسمى كذلك لأنه يشبه الغرويات فى قدرته على تشـرب الماء والإنتفاخ. والجسم الآخر صغير وكروى وغير متبلور ويعرف بالجسم الكروى globoid ويتكون من فيتين phytin وهو عبارة عن ملح المغنسيوم

والكالسيوم لاينوسيتول حمض الفسفوريك. ويوجد الجسمان فى وسط من الألبيومين السائل الذى يتصلب فيما بعد محيطاً بالجسمين الشبه البللورى والكروى (15/3).

أما عن كيفية تكون حبيبات الأليرون فإن الحبيبة تنشأ كحويصلة من الشبكة الإندوبلازمية ثم تنفصل عنها ويوجد على غلافها ريبوسومات. وتكبر الحويصلة فى الحجم وتحتوى بداخلها على بروتين ، ثم يتكون الجسم أو الجسمين الكرويين ثم الجسم الشبه البللورى (شكل 15/3 أ) ، وبذلك تصبح حبيبة أليرون.



(شكل 15/3) : حبيبات الاليرون

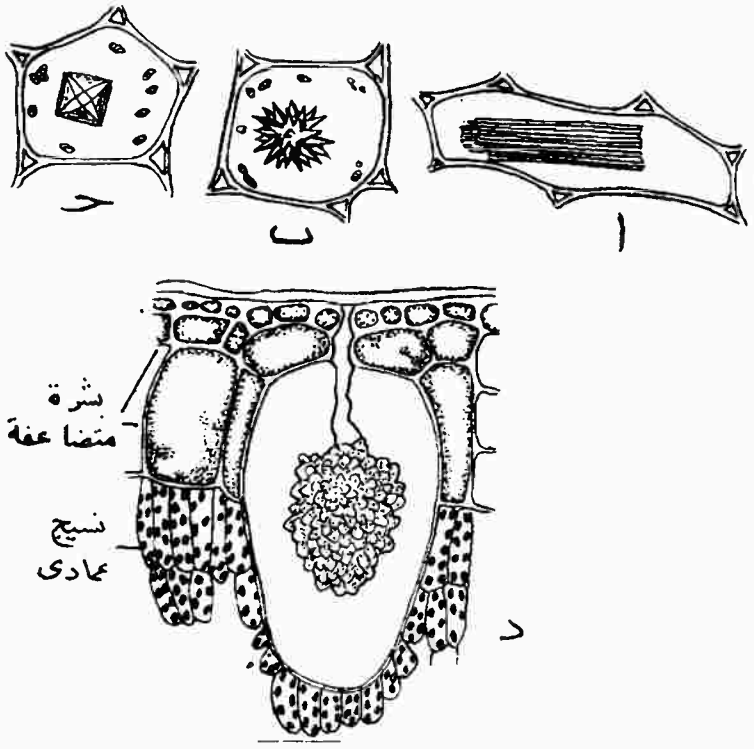
أ) خطوات تكوين حبيبة أليرون (١، ٢، ٣ ، ٤ تدريجياً)
ب) خلية بها حبيبات أليرون

الدهـون والزيـــوت

يكثر وجود الدهون fats والزيوت oils فى النباتات الزيتية مخزنة فى الثمار الناضجة والبذور وأحياناً فى الدرنات والريزومات٠ ويعتبر حمض الأوليك oleic acid أكثر الأحماض الدهنية وجوداً فى تركيب الدهون والزيوت النباتية ويليه فى الانتشار حمض اللينوليك linoleic والبالميتوليك palmitoleic٠

البـــلورات

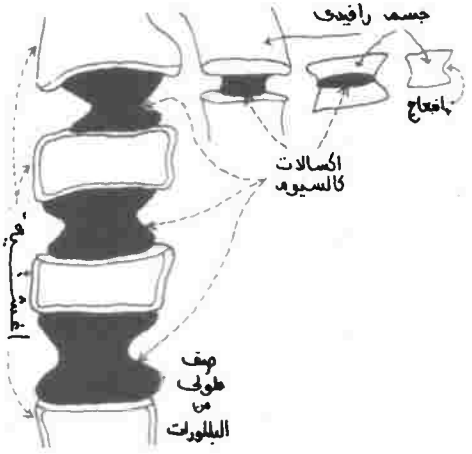
تختلف البلورات crystals كثيراً فى تركيبها الكيماوى ، فقد تكون بروتينية ، وتظهر بشكل مكعبات صغيرة فى درنات البطاطس ، وقد تكون سكرية كيلورات الأنيولين inulin الكروية التى تتكون من وحدات سكر فركتوز ، والتى توجد فى درنات نباتات الداليا (شكل 14/3 ط)٠ وتعتبر بلورات أملاح الكالسيوم هى أكثر البلورات إنتشاراً بالخلايا النباتية٠ وتوجد بلورات اكسالات الكالسيوم فى صور مختلفة ، فقد تكون معينة الشكل rbombic أو نجمية الشكل druses وتوجد فى أعناق أوراق نبات البيجونيا وكذلك فى جذور وسيقان نبات القطن (شكل 16/3 ب ، جـ) ، وقد تكون إبرية الشكل وتوجد فى حزم تعرف باسم رافيدات raphids (شكل 16/3 أ) كما فى ساق نبات الدراسينا *Dracaena* والجذور الدرنية لنبات كشك ألماظ *Asparagus*٠ تتكون البلورات الإبرية فى الفجوة العصارية داخل أجسام رافيدية raphidosomes ، عبارة عن أغشية تنشأ بجانب الغشاء البلازمى الفجوى٠ وبعمل قطاع عرضى فيها تظهر بشكل مستطيل منبعج للداخل من الجانبين ، ويعتقد أن هذين الإنبعاجين يعملان على دفع الكالسيوم داخل الجسم الرافيدى٠ ويبدأ حدوث تبلور أكسالات الكالسيوم فى منتصف المستطيل بين الإنبعاجين ، وتكبر البلورة فى الحجم تدريجياً ونتيجة لذلك يكبر الجسم فى الحجم٠ ثم يصبح هذا الجسم جزء من نظام غشائى موجود داخل الفجوة العصارية يعمل على تنظيم وترتيب هذه الأغشية والبلورات الموجودة بداخلها على هيئة صفوف طويلة (شكل 17/3)٠



(**شكل 16/3**) : بلورات أملاح الكالسيوم فى خلايا نباتية

أ) بلورات إبرية
ب) بلورة نجمية
جـ) بلورة معينة
د) حوصلة حجرية

توجد بلورات كربونات الكالسيوم فى شكل عناقيد متدلية من جدر الخلايا التى تكبر كثيراً فى الحجم عن الخلايا المجاورة ، كما فى خلايا بشرة أوراق نبات التين المطاط *Ficus elastica* ، فيظهر نتوء سليلوزى يخرج من جدار الخلية ، ويترسب عليه كربونات الكالسيوم مكوناً الحوصلة الحجرية cystolith . وتعرف الخلية المحتوية على الحوصلة الحجرية بخلية الحوصلة الحجرية lithocyst (شكل 16/3 د) .



(شكل 17/3) : بلورات إبرية من اكسالات كالسيوم
قطاع عرضى فى خلية يبين خطوات تكوين البلورات (أ - د)

التـــانينات

التانينات tannins عبارة عن مجموعة غير متجانسة من مشتقات الفينول التى يغلب وجودها فى الأنسجة الميتة كما فى الخشب الصميمى ، كما توجد فى الأنسجة المرستيمية ، وقد توجد فى السيتوبلازم والنواة والفجوات العصارية والجدر الخلوية. وقد توجد التانينات بكميات كبيرة فتظهر فى القطاعات بشكل كتل خشنة أو سميكة ملساء أو رقيقة ذات أحجام مختلفة وملونة باللون الأصفر أو الأحمر أو البنى.

توجد نظريات مختلفة حول أهمية التانينات فى النبات. يعتقد البعض أنها كالغرويات تتشرب بالماء ، وبذلك تحمى النبات من الجفاف ، ويعتقد البعض أنها مركبات مضادة للتأكسد ، كما يعتقد البعض أنها مركبات تقلل أو تمنع إصابة النبات بالكائنات الحية الدقيقة وبذلك تحميه من العفن.

أشبـــاه القلويـات

أشباه القلويات (القلويدات) alkaloids هى مركبات أزوتية معقدة التركيب ، كثيراً ما تسبب تأثيرات فسيولوجية واضحة على الحيوانات ، ومن أمثلتها الكافيين caffein الذى يؤثر على الجهاز العصبى المركزى والذى يوجد فى بذور البن وأوراق الشاى ، والأفيون ذو التأثير المخدر والذى يوجد فى المادة اللبنية latex التى تنتج من الثمار غير الناضجة لنبات الخشخاش *Papaver somniferum* ، والكينين quinine والذى يسبب هبوط فى عضلات القلب ويستعمل طبياً فى علاج الملاريا والذى يوجد فى قلف بعض الأنواع من نباتات الكينا *Cinhona*.

الصبـغات

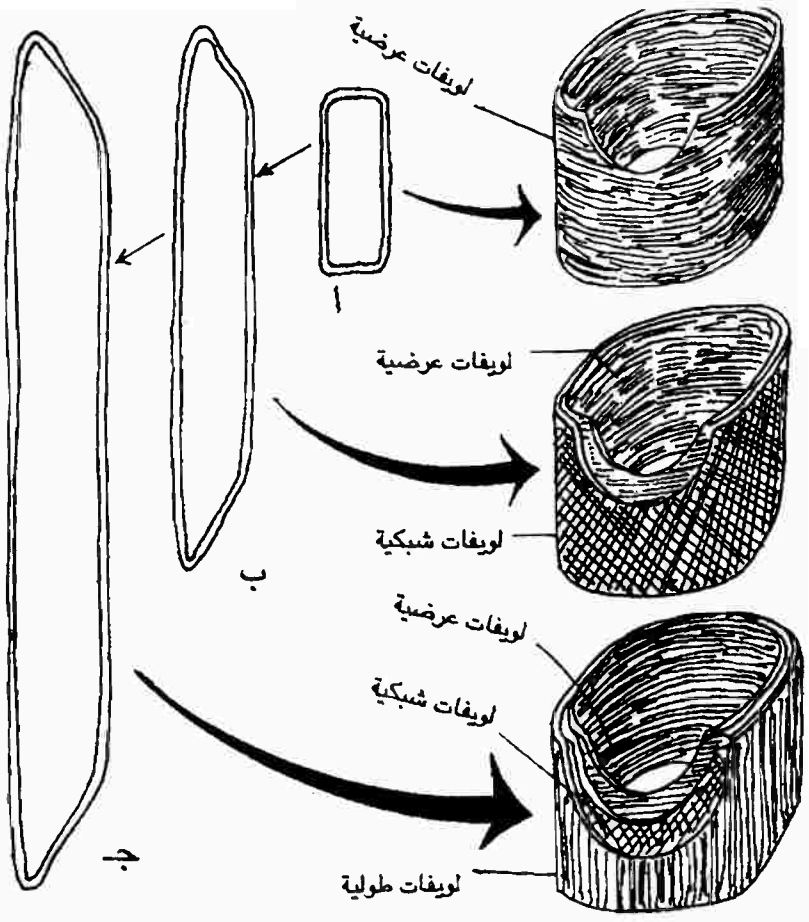
الصبغات النباتية pigments قد تكون غير قابلة للذوبان فى الماء وتذوب فى الكحول ، وتوجد فى البلاستيدات الخضراء كما فى الصبغات الكلوروفيلية ذات اللون الأخضر والصبغات الكاروتينية ذات اللون الأصفر ، وقد تكون قابلة للذوبان فى الماء وتوجد فى الفجوات العصارية وتشمل صبغات الفلافونات flavons ونواتج أكسدتها هى الأنثوسيانينات anthocyanins المسئولة عن اللون فى كثير من الأزهار والثمار والجذور فهمى تعطى اللون لأزهار حنك السبع والبلارجونيوم وبذور ثمار الرمان وجذور البنجر. ويتغير لون صبغة الأنثوسيانين تبعاً لدرجة الحموضة ، ففى الوسط الحامضى تكون ذات لون أحمر وفى الوسط القلوى تكون ذات لون أزرق. ويعزى تلون أوراق بعض الأشجار فى الخريف إلى قلة نسبة الكلوروفيل والكاروتين وزيادة نسبة الأنثوسيانين والتانين وصبغات أخرى غير شائعة.

الجـدار الخلـوى

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 الوسطى مكونة الجدار الابتدائى primary wall الذى يتكون أساساً من السيليلوز ويختلط معه مركبات أخرى مثل الهيميسيليلوز والبكتين والبروتين• وقد يعقب ذلك ترسيب جدار آخر داخلى ، 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 السيليلوز أساساً ، وتختلط معه مركبات أخرى غير سيليلوزية أهمها اللجنين والسيوبرين•

أمكن باستعمال الميكروسكوب الإلكترونى ، معرفة التركيب الدقيق للجدار الخلوى ، فوجد أن الهيكل السيليلوزى المكون للجدار يتركب من لويفات صغيرة microfibrils عديدة تختلف فى اتجاه ترتيبها ، ففى الجدر الإبتدائية للخلايا التى ستصبح متطاولة ، نجد أن اللويفات متوازية وعمودية أو موازية للمحور الطولى للخلية (شكل 18/3)• وفى الخلايا التى ستصبح كروية فإن اللويفات تكون شبكية متداخلة• أما فى الجدر الثانوية فإن اللويفات تكون متوازية ومائلة على المحور الطولى للخلية (شكل 19/3 أ)• وعند تكون الجدار الثانوى من أكثر من طبقة فإن 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 بالميكروسكون الإلكترونى (شكل 19/3 أ ، ب)•

يتراوح سمك اللويفة الصغيرة من 10-25 نانومتر ، وقد تصل فى الطول إلى عدة ميكرونات• وتحتوى كل لويفة صغيرة على عديد من الحزم bundles ،



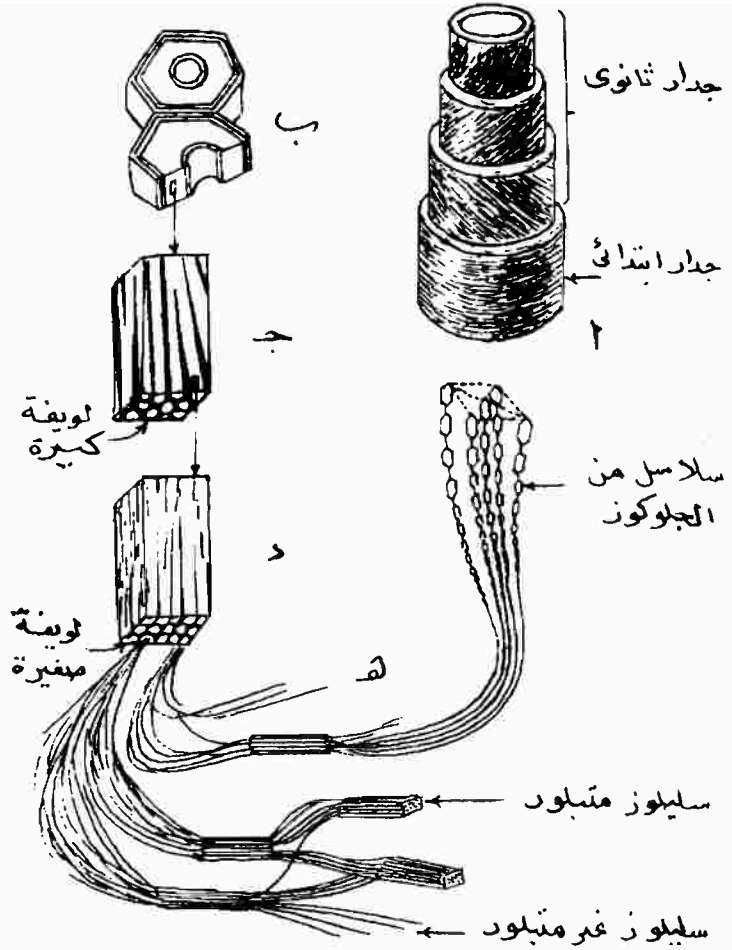
(شكل 18/3) : النمو الشبكى المتعدد

كيفية ترتيب اللويفات الصغيرة فى الجدار الابتدائى أثناء خطوات نمو الخلية (أ ، ب ، جـ)

وتتكون كل حزمة من عديد من جزيئات السليلوز ، ويمكن تمييز سليلوز الحزمة الواحدة باستخدام أشعة X والضوء المستقطب إلى مناطق من سيليلوز متبلور crystalline cellulose وتعرف باسم الميسيلى micelle ، وتكون فيها جزيئات السليلوز متوازية ، وأخرى من سيليلوز غير متبلور amorphous cellulose وتكون فيها جزيئات السيليوز غير متوازية (شكل 19/3 هـ)٠ وترجع مرونة الجدر الابتدائية إلى انخفاض نسبة السليلوز المتبلور بها وارتفاع نسبة السليلوز غير المتبلور ، فى حين ترجع قلة مرونة الجدر الثانوية إلى إرتفاع نسبة السليلوز المتبلور وانخفاض نسبة السليلوز غير المتبلور ، ولهذا نجد أن السليلوز المتبلور يوجد بنسبة منخفضة فى جدر الخلايا الحديثة وتزداد هذه النسب مع كبر الخلايا فى السن حتى نصل نسبته إلى 90 % فى جدر بعض الألياف النباتية٠

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 19/3 جـ ، د ، هـ)٠ 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 والاسكلرنشيمية تمتلىء الفراغات أساساً باللجنين ، وفى جدر البشرة يترسب الكيوتين ، وفى جدر خلايا الفلين يترسب السيويرين ، أما فى حالة الجدر التى تكاد تكون سليلوزية بحتة مثل الجدر الثانوية لشعيرات القطن فإن الماء يشغل تلك الفراغات٠

وظيفة الجدار الخلوى هو حفظ مكونات الخلية بداخله كما أنه يعطى الخلية صلابة ومتانة٠



(شكل 19/3) : تركيب الجدار الخلوى

أ) اتجاه اللويفات الصغيرة فى كل من الجدار الابتدائى والجدار الثانوى
ب) قطاع عرضى يبين الجدر الابتدائية والجدر الثانوية
جـ) جزء من الجدار الثانوى الوسطى مكبر يبين اللويفات الكبيرة
د) جزء من لويفة كبيرة مكبر يبين اللويفات الصغيرة
هـ) تركيب اللويفة الصغيرة

اختلفت الآراء نحو كيفية النمو والترسيب فى الجدار الخلوى ووضعت لذلك مختلفة ، منها نظريتان قديمتان هما نظرتبى التداخل والتراكم وأدخل عليهما تعديلات فى نظريتين حديثيتين وضعتا بعد استعمال الميكروسكوب الإلكترونى ، وهما نظريتى النمو الموازيكى والنمو الشبكى المتعدد.

1- نظرية التداخل Intussusceptions theory : تعتبر هذه النظرية أن نمو الجدار الخلوى ينتج عن تكوين مواد جديدة للجدار بين المواد السابقة، فمثلاً عندما تتكون جزيئات سليلوز حديثة ويتكون منها لويفات صغيرة توضع متداخلة بين اللويفات الصغيرة القديمة. ويعتقد أن ذلك يحدث عند نمو واستطالة الخلية الذى يؤدى إلى اتساع المسافات بين اللويفات الصغيرة المكونة للجدار ، ولهذا فإن ملىء هذه المسافات بلويفات صغيرة جديدة يمنع من رقة الجدر وتمزقها.

2- نظرية التراكم Opposition theory : تعتبر هذه النظرية أن نمو الجدار الخلوى ينتج عن تكوين مواد جديدة فوق مواد الجدار السابقة ، أى يحدث النمو على هيئة طبقات بعضها فوق بعض ، ويؤدى هذا إلى حدوث نمو فى سمك الجدار وليس فى مساحته.

3- نظرية النمو الموازيكى Mosaic growth theory : تبنى هذه النظرية على وجود مساحات دقيقة من الجدار الابتدائى يتخللها السيتوبلازم ، ويحدث فى هذه المساحات تخليق لسيتوبلازم جديد يؤدى إلى زيادة كميته، وبالتالى إلى ابتعاد اللويفات الصغيرة عن بعضها وكبر سطح الخلية ، يلى ذلك تكون لويفات صغيرة أخرى تملأ هذه الفراغات الدقيقة.

4- نظرية النمو الشبكى المتعدد Multinet growth theory : تقول هذه النظرية أن نمو الجدار الابتدائى تتم بطريقة التراكم مع تغيير اتجاه اللويفات الصغيرة فى الطبقات المختلفة ، فبعد أن تكون اللويفات الصغيرة

متشابكة وعرضية تقريباً ، أى عمودية على المحور الطولى للخلية وذلك فى طبقات الجدار الأولى ، نجد أنها تتحول تدريجياً فى الطبقات التالية إلى أن تصبح طولية ، أى موازية للمحور الطولى للخلية ، ثم تتكون طبقات أخرى إلى الداخل تكون اللويفات فيها متشابكة تقريباً (شكل 18/3)٠

النقـــر

أثناء تكوين الجدر الخلوية لا يتم ترسيب مواد الجدار بانتظام بل تترك مساحات محدودة منخفضة عن باقى سطح الجدار ، بها عادة ثقوب دقيقة تعرف بالنقر pits ، تمر خلالها فى جدار الخلايا الحية شرائط سيتوبلازمية تعرف بالبلازمودزمات plasmodesmata ، تصل ما بين سيتوبلازم الخلايا المتجاورة٠

ومن أنواع النقر ما يأتى :

1- حقول النقر الابتدائية

تظهر حقول النقر الابتدائية primary pit fields أثناء تكون الجدار الابتدائى فوق الصفيحة الوسطى ، حيث أن تكوين الجدار لا يتم بنفس السمك فى جميع أجزائه ، بل تترك مساحات رقيقة تعرف بحقول النقر الابتدائية ويطلق عليها البعض مبادىء النقر primordial pits (شكل 20/3 أ)٠ تمر البلازمودزمات خلال حقول النقر الابتدائية٠ ونظراً لدقة البلازمودزمات فلا يمكن رؤيتها فى معظم الخلايا باستعمال الميكروسكوب الضوئى إلا باستعمال طرق خاصة ، وترى بسهولة نسبياً فى جدر خلايا أندوسبرم بعض البذور كما فى البلح والبن (شكل 20/3 ب)٠ وتظهر البلازمودزمات عند الفحص بالميكروسكوب الألكترونى (شكل 20/3 جـ) كخيوط سيتوبلازمية تصل خلية بأخرى٠ البلازمودزمة أنبوبية الشكل قطرها حوالى 500 أنجستروم ولها جدار مماثل تماماً فى تركيبة الغشاء البلازمى ، ويوجد بداخل الجدار فراغ lumin ويتوسط الفراغ تركيب كثيف غير معروف طبيعته

الابتدائيــة فقــط ، أو مبعثــرة وتختــرق الجــدر فــى مواضــع عديــدة ، وخيــوط البلازمودزمـات قـد تكـون متفرعـة كمـا فـى الأثـل *Tamarix* . ويعتقـد أن وظيفـة البلازمودزمات هى نقل المواد من خلية إلى أخرى.

توجـد حقـول النقـر الابتدائيـة فـى الخلايـا ذات الجـدر الابتدائيـة مثـل الخلايـا البرنشيمية والأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة.

2- النقر البسيطة

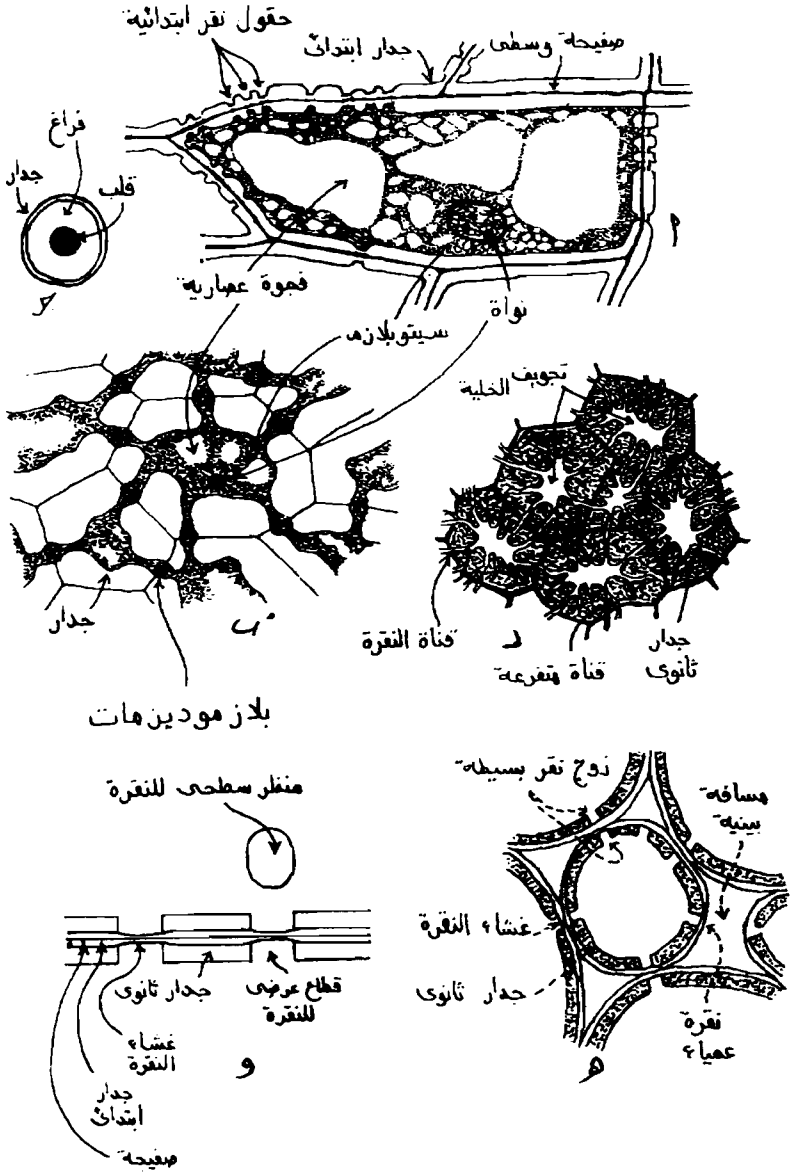
أثنـاء تكـون الجـدار الثـانوى فـوق الجـدار الابتـدائى ، تتـرك مسـاحات صـغيرة متنـاثرة بـدون تغليـظ ، تظهـر فـى المنظـر السـطحى كثقـوب دائريـة ، وفـى القطـاع العرضـى كقنوات منتظمة القطر فى جدار الخلية.

تتكـون النقـر البسـيطة simple pits عـادة فـى منطقـة حقـول النقـر الابتدائيـة ، فتتكون نقرة أو أكثر فـوق الحقـل الواحـد ، غالبـاً مـا يقابل كل نقـرة فى خلية نقرة أخرى فـى الخليـة المجـاورة ، وتسمى النقرتـان المتجـاورتان باسم زوج النقـر pit pair. ويعرف الجدار الرقيق الفاصل بين كل نقرتين متجاورتين بغشاء النقرة pit membrane. وقـد تتكـون نقرة مقابـل مسـافة بينيـة وتسمى النقرة فـى هذه الحالـة بالنقرة العمياء blind pit (شكل 20/3 هـ).

وتظهـر النقـر البـسيطة بالميكروسـكوب الالكترونـى علـى هيئـة إنخفاضـات بيضاوية أو دائرية فى اللويفات الصغيرة المكونة للجدار. ويظهر غشاء النقرة فـى قاع الانخفاض مكوناً من لويفات صغيرة أيضاً ، ويوجد بين لويفات الغشاء ثقوب عديدة واضحة هى مواضع البلازمودزمات.

(شكل 20/3) : أنواع النقـــــر

أ) خلية تبين حقول النقل الابتدائية
ب) خلية أندوسبرم بلح تبين حقول النقر الابتدائية والبلازموديزمات
جـ) قطاع عرضى فى بلازموديزمة تحت المجهر الالكترونى
د) خلية حجرية ذات نقر متفرعة
هـ) أزواج نقر بسيطة ونقر عمياء
و) جزء مكبر لنقر بسيطة


حقول نقر ابتدائية
جدار ابتدائى
صفيحة وسطى
فراغ
جدار
قلب
أ
فجوة عصارية
سيتوبلازم
نواة
تجويف الخلية
جدار
ب
قناة النقرة
جدار ثانوى
قناة متفرعة
جـ
بلازموديزمات
منظر سطحى للنقرة
جدار ثانوى
قطاع عرضى للنقرة
غشاء النقرة
جدار ابتدائى
صفيحة
و
نوع نقر بسيطة
مسافة بينية
غشاء النقرة
جدار ثانوى
نقرة عمياء
هـ

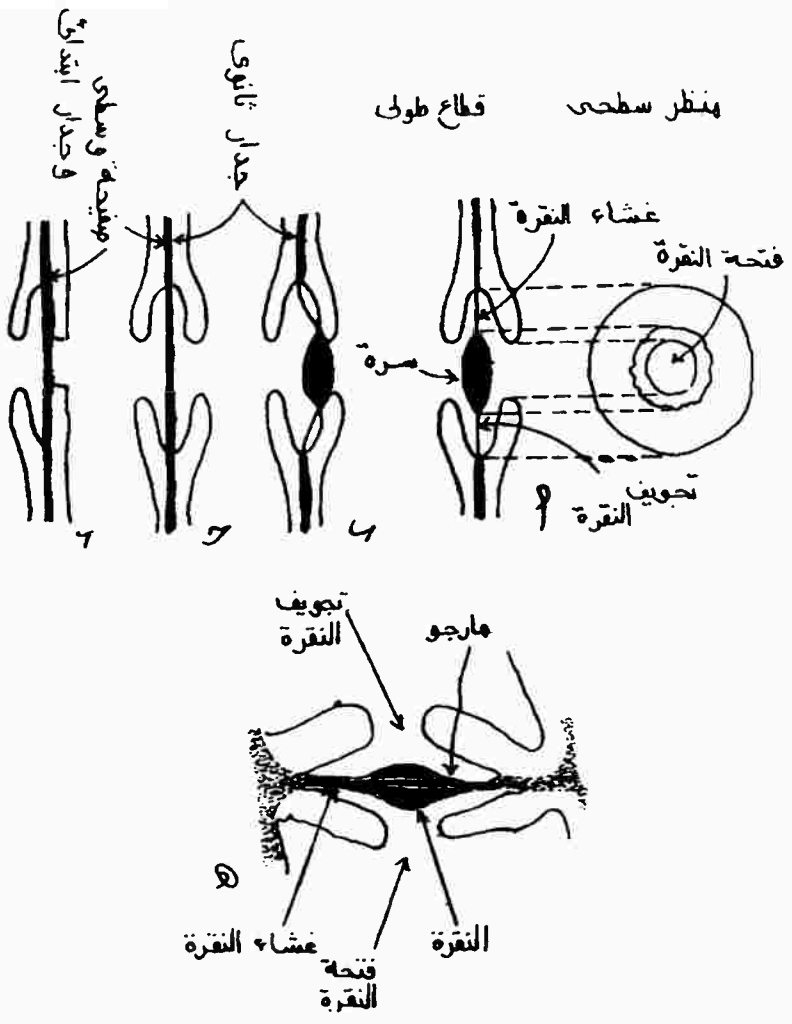
وفى الخلايا السميكة الجدر مثل الخلايا الاسكليريدية تكون انخفاضات النقر عميقة لدرجة كبيرة نظراً لسمك الجدار ، ولهذا تسمى هذه الانخفاضات بقنوات النقر pit canals• وفى الخلايا الحجرية قد تشترك نقرة بسيطة أو أكثر فى قناة واحدة متفرعة وتعرف هذه النقر باسم النقر المتفرعة ramiform pits (شكل 20/3 د)•

وتوجد النقر البسيطة فى خلايا البشرة المغلظة والخلايا البرنشيمية المغلظة والاسكلرنشيمية وبعض الأوعية الخشبية والقصيبات•

3- النقر المضفوفة

تتميز النقر المضفوفة bordered pits بحدوث تغليظ جزئى فى غشاء النقرة، وبأن الجدار الثانوى المتكون ينفصل عن الجدار الابتدائى نامياً فوق النقرة بشكل قبة تحيط بغشاء النقرة ، تاركة فتحة مركزية صغيرة تختلف فى شكلها وتعرف بفتحة النقرة pit aperture• ويعرف الفراغ الموجود بين غشاء النقرة والجدار الثانوى بتجويف النقرة pit cavity• وفى قليل من كاسيات البذور وفى كثير من عاريات البذور وخاصة المخروطيات يحدث علاوة على ما سبق تغليظ مصمت غير منفذ للماء فى شكل عدسة محدبة الوجهين وذلك فى منتصف غشاء النقرة ، ويعرف هذا التغليظ بالسرة torus ، وقطر السرة أكبر قليلاً من قطر فتحة النقرة• وعموماً فتمثل النقرة المضفوفة فى المنظر السطحى بدائرتين متداخلتين ، الداخلية تمثل فتحة النقرة ، والخارجية تمثل الحد الخارجى لجدار النقرة (شكل 21/3 أ)•

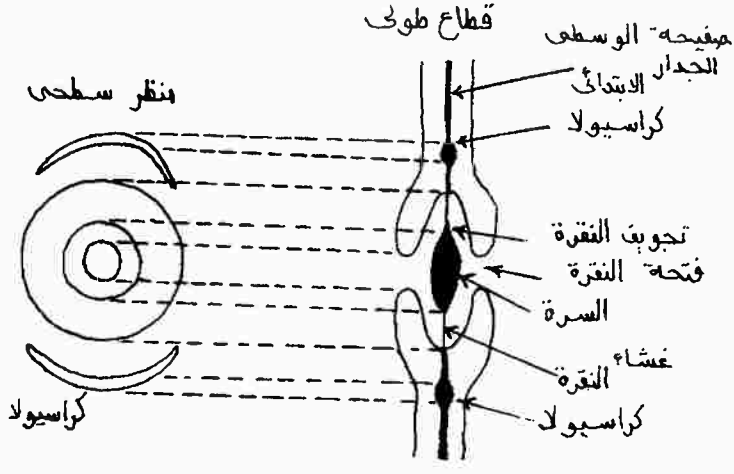
يتكون غشاء النقرة من لويفات سليلوزية صغيرة كثيرة متشابكة وبها فتحات أكبر من فتحات خيوط البلازمودزمات ، وعن طريق هذه الفتحات يعبر الماء والعناصر الذائبة غشاء النقرة• وفى حالة النقرة المضفوفة ذات السرة ، فإن السرة تكون معلقة فى هذه اللويفات• والجزء المرتفع من غشاء النقرة ، والذى يحيط بالسرة تكون لويفاته غير متشابكة بل متوازية قطرياً ، يسمى مارجو margo (شكل 21/3 هـ)•



(شكل 21/3) : قطاعات طولية فى النقر المضفوفة

أ) زوج نقر مضفوفة ذات سرة فى موضع وسطى
ب) زوج نقر مضفوفة بها سرة فى وضع جانبى
جـ) زوج نقر مضفوفة بدون سرة
د) زوج نقر نصف مضفوفة
هـ) زوج نقر مضفوفة ذات سرة (بالميكروسكوب الالكترونى)

وفى حالة الأنسجة النشطة ذات النقر المضفوفة ذات السرة فإنه عندما يكون إندفاع الماء من خلية إلى أخرى عن طريق النقرة شديد فإن غشاء النقرة يتحرك فى اتجاه فتحة النقرة ويغلقها بواسطة السرة (شكل 21/3 ب)٠ وفى هذه الحالة يمنع مرور الماء من خلية إلى أخرى مجاورة٠ وعندما يتغير الضغط المائى فإن غشاء النقرة يعود إلى موضعه الطبيعى مرة أخرى فيسهل حركة الماء من الخلية إلى الخلية المجاورة٠ وجود فقاعات هوائية فى الأوعية أو القصيبات يتسبب فى قطع اتصال عمود الماء ، وبذلك تمنع صعود الماء إلى أعلى فى نسيج الخشب ، ولذلك يتحرك غشاء النقرة ناحية فقاعة الهواء مسبباً غلق فتحة السرة ، وبذلك تأمن الأوعية والقصيبات من دخول الهواء إليها وقطع عمود الماء فيها٠ أما فى الأنسجة غير النشطة مثل أنسجة الخشب الصميمى فإن غشاء النقرة يتحرك جانبياً وتغلق السرة فتحة النقرة وتبقى هكذا حيث أن غشاء النقرة يفقد مرونته وقدرته على الحركة٠ ولذلك فإن النقر المضفوفة ذات السرة تعمل على تنظيم مرور الماء فى



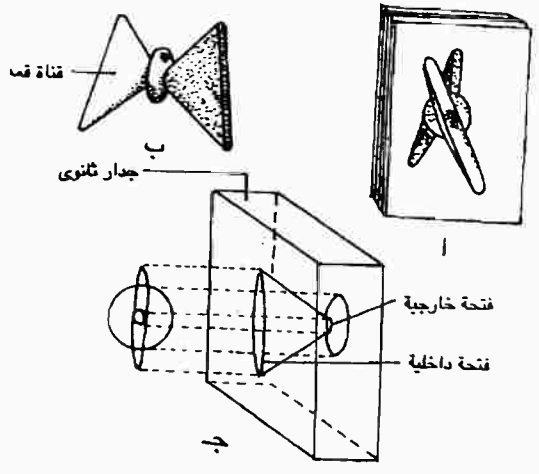
(شكل 22/3) : نقرة مضفوفة

قطاع طولى ومنظر سطحى لنقرة مضفوفة ذات كراسيولات crassulae

الأوعية الخشبية والقصيبات وغيرها من الخلايا ، ولعله نوع من صمام الأمن يعمل على مواجهة تغييرات الضغط المائى داخل الأوعية الخشبية والقصيبات ، كما تعمل أيضاً على عدم قطع أعمدة الماء فى نسيج الخشب بواسطة الفقاقيع الهوائية وبذلك تزيد من كفاءة هذا النسيج فى توصيل الماء والأملاح الذائبة من الجذر إلى المجموع الخضرى.

تتكون النقر المضفوفة فى أزواج عادة ، وأحياناً تتكون نقر نصف مضفوفة half bordered pits كما يحدث عندما يجاور وعاء خشبى خلية برنشيمية فيكون زوج النقر المتكون مضفوف على جانب الوعاء الخشبى وبسيط على جانب الخلية البرنشيمية ، وقد توجد سرة أو نصف سرة أو لا توجد إطلاقاً (شكل 21/3 د).

فى بعض النباتات عاريات البذور مثل الصنوبر يوجد تغليظ للصفيحة الوسطى والجدار الابتدائى يظهر فى المنظر السطحى على هيئة خط أو قوس يسمى كراسيولا crassula وعادة يوجد اثنان منهما يحيطان بكل نقرة (شكل 22/3).



(شكل 23/3) : زوج نقر مضفوفة ذات قناة قمعية

أ) منظر سطحى ب) منظر جانبى جـ) مسقط

يوجد نوع آخر من النقر المضفوفة موجود أساساً فى الألياف القصبية fiber tracheids فنجد أن النقرة لها قناة خاصة مميزة متطاولة وذات شكل قمعى مسطح flattened funnel تصل عادة ما بين تجويف النقرة وتجويف الخلية مارة عبر الجدار الخلوى السميك ، ولذلك فالقناة الواحدة تفتح من ناحية فى تجويف الخلية بفتحة كبيرة بيضاوية أو شريطية الشكل وتفتح من الناحية الأخرى خارجياً فى تجويف النقرة بفتحة دائرية صغيرة٠ وتجويف النقرة فى هذا النوع من النقر يكون أضيق من مثيله فى النقر المضفوفة العادية ، ويوجد لكل زوج نقر قناتان ، قد تكونان متوازيتين أو متعامدتين عتلى شكل X (شكل 23/3)٠

كيمياء الجدار الخلوى

يتكون جدار الخلية النباتية من هيكل سيليلوزى يوجد معه مركبات أخرى مختلفة ويتلخص التركيب الكيماوى لأهم مكونات الجدار الخلوى فى الآتى :

1- سيليلوز Cellulose : يكون السيليلوز الهيكل الأساسى للجدر الخلوية ، وهو عبارة عن مركب كربوايدراتى عديد التسكر يتكون من سلسلة طويلة من جزيئات سكر الجلوكوز $C_6 H_{12} O_6$ يتراوح عددها فى جزىء السليلوز الواحد ما بين 3000 إلى 8000 جزىء٠ والسليلوز ينفذ الماء والمواد الذائبة تماماً٠ تصبغ الجدر السليلوزية باللون الأزرق عند إضافة اليود ثم حامض كبريتيك بتركيز 66 %٠

2- هيميسيليلوز Hemicellulose : يوجد الهيميسيليلوز فى الجدر الابتدائية وهو مركب كربوايدراتى معقد يتكون من خليط من سلاسل وحداتها سكريات خماسية $C_5 H_{10} O_5$ مثل أرابينوز وزيلوز ، وسكريات سداسية $C_6 H_{12} O_6$ مثل مانوز وجالا كتوز ، مع خليط من مركبات أخرى٠

3- بكتين Pectin : يكثر وجود البكتين فى تركيب الصفيحة الوسطية ، والبكتين مادة كربوايدارتية غروية محبة للماء ، تتكون من سلاسل من إسترميثيل حمض الجالاكتيورونيك ester methyl galacturonic acid ٠

4- لجنين Lignin : يوجد اللجنين فى الصفائح الوسطية والجدر الابتدائية والجدر الثانوية لأوعية وقصيبات الخشب والخلايا الاسكلرنشيمية ، واللجنين يكسب الخلايا صلابة وقوة٠ اللجنين مادة غير كربوايدراتية معقدة ، تركيبها الدقيق غير معروف ، ولكن يعتقد أنها تتكون من حلقات عطرية ووحدة التركيب فيها هو فينيل البرويان phenyl propanoid٠ وينفذ اللجنين الماء والمواد الذائبة تماماً٠ وتأخذ الجدر الملجننة لوناً أصفر عند معاملتها بمحلول من كبريتات الأنيلين٠

5- سيوبرين Suberin : يوجد السيوبرين فى جدر خلايا الفلين٠ والسيويرين مادة دهنية غير منفذة للماء والغازات ، ولهذا يستعمل الفلين كسدادات للقوارير٠ وتصبغ الجدر المسوبرة بلون أصفر عند معالمتها بمحلول اليود ، وبلون أحمر عند معاملتها بصبغة سودان 3 ٠

6- كيوتين Cutin : يغلب وجود الكيوتين فى الجدر الخارجية لخلايا البشرة، وتوجد منه طبقات فوق الجدر الخارجية للبشرة مكونة الأديم cuticle٠ والكيوتين مادة دهنية غير منفذة للماء والغازات ، تقاوم تأثير كثير من التفاعلاتّ التى تحلل أو تذيب السيليلوز ويمكن صبغ الكيوتين بلون أحمر عند معاملته بصبغة سودان 3٠

7- السيليكا Silica : مادة معدنية تترسب فى الجدر الخارجية لبعض الأنسجة النباتية ، كما فى بشرة كثير من النباتات النجيلية٠ فتصبح حواف أوراقها حادة مسننة كما توجد السليكا فى جدر بعض أنواع الطحالب مثل الدياتومات٠

8- كيتين Chitin : يوجد الكيتين فى جدر الفطريات وبعض النباتات الدنيئة الأخرى٠ والكيتين مركب معقد تتكون وحداته من جلوكوز أمين glocosamine٠

9- جيلاتين Gelatin : يوجد الجيلاتين فى الجدر الثانوية لألياف بعض النباتات كاسيات البذور ، وكذلك فى أنسجة بعض الثمار والبذور ، والجيلاتين مادة بروتينية ، وفائدته غير معروفة بالضبط.

10- كالوس Callose : مادة كربوايدراتية عديدة التسكر ، تعطى عند تحللها جلوكوز ، وتوجد فى بعض أنواع خلايا اللحاء وأنابيب حبوب اللقاح ، يأخذ الكالوس اللون الأزرق عند صبغه بصبغة لاكموید lacmoid أو أزرق ريسورسين resorcin blue.

11- مركبات أخرى مثل التانينات والصموغ والراتنجات : ويكثر وجود هذه المركبات فى جدر الخشب الصميمى ومعظمها يزيد من متانة وتحمل مقاومة الخشب الصميمى بمقارنته بالخشب الرخو.