الباب الأول

الخلية النباتية The Plant Cell

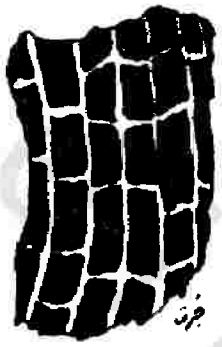
إذا فحصنا ميكروسكوبياً أحد خيوط الطحالب مثل *Spirogyra* أو *Oedogonium*، فاننا نلاحظ أن المحتويات السائلة والشبه سائلة توجد مقفلة داخل جدار رقيق فى شكل أنبوبة طويلة ، كما أنها ترى مقسمة على مسافات متقاربة بحواجز عرضية إلى حجرات صغيرة ، وتتكون هذه الحواجز العرضية من نفس المادة المكون منها الجدر الخارجية . ولهذا كان الخيط مكوناً من مجموعة من الحجرات المتشابهة أو الوحدات Units ، تسمى كل وحدة منها بالخلية Cell . فجسم النبات الطحلبي يعتبر لذلك خيطاً من الخلايا .

وكلمة « خلية » اصطلاح يستعمل نباتياً ، كما أنها وحدة الكائنات الحية فى النبات والحيوان . وهى فى النبات عبارة عن كتلة من المادة الحية محاطة بجدار خلوى ، أما فى الحيوان فتوجد غالباً عارية من هذا الجدار . والخلية الفردية تعتبر وحدة ليس فقط من الوجهة المورفولوجية ، بل أيضاً من الوجهة الفسيولوجية ، والخلايا حية كانت أو ميتة تقوم بدور هام فى حياة النبات .

وتتكون كل الأعضاء الخضرية فى النباتات الراقية من خلايا ذات أشكال وأحجام مختلفة . ففى بعض الأحيان قد لا يزيد طولها عن $\frac{1}{10}$ من الملليمتر وفى أحيان أخرى كما فى الخلايا المكونة لشعيرات القطن قد يبلغ طولها عدة سنتيمترات ، كما أن منها المستدير والعديد الأوجه المتساوية الأقطار ، ومنها الأنبوبى والمتفرع والمنشورى والإبرى ذو الأطراف المدببة .

وقد كان بدء معرفة الخلية النباتية مقروناً باكتشاف الميكروسكوب . فكان أول من رآها ووصفها هو Robert Hooke (١٦٦٥ م) ، بعد أن أجرى عدة قطاعات

فى الفلين المستعمل كسدادات وفحصها تحت الميكروسكوب ، فشاهد عدة حجرات مكونة من فجوات محاطة بجدر تشبه فى شكلها خلايا النحل ، ومن ذلك اشتقت كلمة « خلية » (شكل ١) . ولو أن ما شاهده روبرت هوك كان عبارة عن الخلايا الفلينية الميتة ، إلا أنه فتح منذ هذا التاريخ باب الفحص والاكتشاف أمام علماء النبات، فعرفوا شيئاً كثيراً عن محتويات الخلايا وخواصها . ومنهم Malpighi و Grew وقد قاما بكشف الكثير عن تركيب الخلية فى أواخر القرن السابع عشر . وبتقدم استعمال الميكروسكوب تمكن Robert Brown من رؤية النواة ووصفها ، كما أظهر Schleiden أن المادة الحية أهم جزء فى الخلية، وأطلق عليها Von Mohl لأول مرة لفظة بروتوبلازم ثم أطلق عليها Hanstein لفظ بروتوبلاست ، أما اللفظ الأول (بروتوبلازم) فهو المادة الكيميائية التى يتكون منها البروتوبلاست . وتتميز الخلية النباتية بوجود :



(شكل ١)
الخلايا كما رآها روبرت هوك ،
(عن ستراسبرجر)

(أولا) البروتوبلاست .
(ثانياً) العصير الخلوى .
(ثالثاً) الجدار الخلوى .

أولا — البروتوبلاست Protoplast

يعتبر البروتوبلاست الجوهر الأساسى الحى فى الخلية ومصدر النشاط الفسيولوجى بها، ففيه تتم عمليات التحول الغذائى من هدم وبناء وغير ذلك من التغيرات الكيميائية، وبه يحدث تبادل الطاقة وهى ذات أهمية فى انتقال المواد الغذائية . وهو الذى يقوم بكل العمليات التى ترتبط بالنمو وبكل من التكاثر الجنسى واللاجنسى والتى تعمل كعجلة للعوامل الوراثية للنبات .

والبروتوبلاست ذو قوام شبه سائل ، وملمس هلامى لزج ، ويعتبر مخلوطاً سائلا أو مستحلباً معقد التركيب . ويتكون كيميائياً من مادة البروتوبلازم Protoplasm

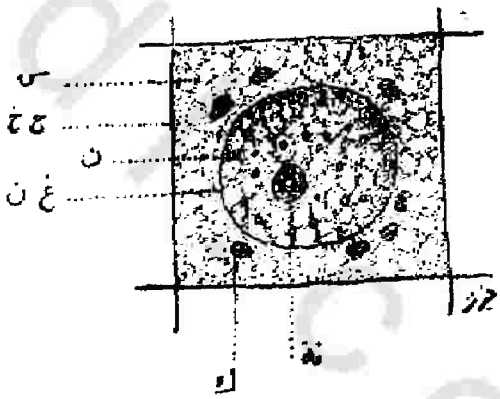
ويدخل فى تركيبها بعض الكربوايدرات والبروتين والدهون وكذلك بعض العناصر المعدنية ذات الأهمية لنمو النبات مثل الكالسيوم والمغنسيوم والبوتاسيوم والكبريت والفوسفور والحديد والاكسيجين والايدروجين ، وعليه فحيثما وجدت الحياة وجد البروتوبلازم ، أما الموت فمعناه تحلل هذه المادة وتلفها . ولا يكون البروتوبلازم متجانساً فى كل أجزاء الخلية ؛ بل يكون مختلفاً فى تركيبه تبعاً لاختلاف هذه الأجزاء وعلاقة بعضها بالبعض وبالنسبة لأطوار تكوينها ثم على طبيعة نشاطها الخاص . ويشتمل البروتوبلازم عموماً على المحتويات الحية فى الخلية ممثلة فى السيتوبلازم والبلاستيدات المختلفة والنواة .

المحتويات الحيـــة فى الخلية

The Living Cell Contents

١ — السيتوبلازم Cytoplasm

وهو مادة حبيبية دقيقة سائلة تسمى بلازما الخلية Cell Plasm ويرى بها أجسام بروتوبلازمية أكثف قواماً منوط بها وظائف خاصة ، وأهم هذه الأجسام وأكبرها حجما هى النواة . وفى حالة الخلايا المرستيمية التى تكون القمم النامية للنباتات الراقية ، فمن المعتاد أن يكون الفراغ الداخلى للخلية ممتلئاً تماماً بالبروتوبلازم ، ويتوسط مركز مثل هذه الخلايا النواة (شكل ٢) . أما السنتروزوم Centrosome وهو عضو دقيق يظهر عادة فى الخلايا الحيوانية فانه فى الخلايا النباتية يكون عادة مرافقاً للنواة . ويتجمع حول النواة عدة كرات متوسطة الحجم عديمة اللون أو ذات لون أخضر باهت تسمى Chromatophores . وتوجد كل هذه الأعضاء رافدة فى بلازما الخلية أو السيتوبلازم كما يعتبر السيتوبلازم مجموعة البروتوبلازم ناقصاً النواة ، وهو يشغل أكبر نسبة من حجم



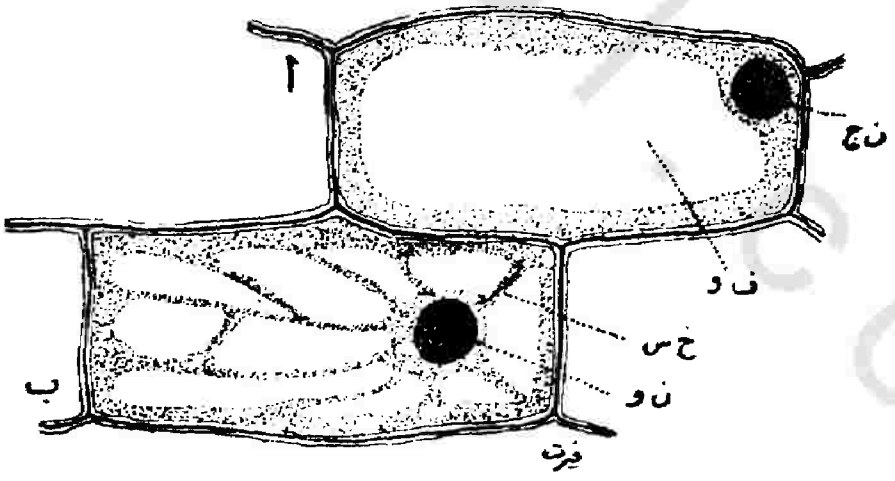
(شكل ٢)

خلية مرستيمية — ج خ = جدار خلوى ، س = سيتوبلازم ، ن = النواة ، غ ن = غشاء النواة ، نة = نوية ، ك = كروماتوفورز × ١٠٠٠ ،

(عن ستراسبرجر)

الخلية الداخلى . وباستعمال الألترامیکروسکوب یری مکونا من مادة جیلاتینیة یرقد بها حبیبات دقیقة مکونة محلولا غرویا Colloidal Sol . وبتحلیلها بعد موتها یری أنها مکونة من البروتین ومواد عضویة تحتوی علی عناصر الکربون والإیدروجین والاکسیجین والأزوت والکبریت وغالباً الفوسفور ، وتوجد علاوة علی ذلك المواد الکاربوایدراتیة کما توجد الزیوت ونسب صغیرة من مواد غیر عضویة .

وقد تکون طبقات معینة من السیتوبلازم حبیبیة أکثر من الأخری ، فالطبقات التی تحده خارجیاً أو بمعنی آخر الملاصقة للجدار الخلوی ، وکذلك التی تحیط بالفجوات Vacuoles « فی حالة الخلایا البالغة » ، تکون رقیقة جداً وشفافة خالیة من الحبیبات وتسمی بالغشاء السیتوبلازمی Cytoplasmic Membrane . وهذا الغشاء رقیق جداً وقد یبلغ سمکه ١٠٠٠ مم ، ویکون طبقة ذات أهمیة خاصة فی تنظیم ومرور السوائل فی الخلیة وله تأثیر خاص فی عملیة الانتشار واختیار محالیل دون الأخری ، ولو أنه من الصعب فی بعض الأحوال مشاهدته فی کثیر من الخلایا النباتیة . وتسمی هذه الطبقة الخارجیة الزجاجیة الشفافة من السیتوبلازم بالاکتوبلاست Ectoplast أما باقی السیتوبلازم الداخلی الحبیبی فیسمی بالاندوبلاست Endoplast .



(شکل ٣)

خلایا بالغة : (أ) ذات فجوة واحدة کبیرة الحجم — ف و = فجوة واحدة ، ن ج = نواة جانبیة .

(ب) ذات عدة فجوات — ن و = نواة وسطیة ، خ س = خیط سیتوبلازمی .

والسيتوبلازم — باستثناء الاكتوبلاست — غالباً مايرى فى حركة قد تزداد أوتقل تبعاً لمؤثرات خاصة كارتفاع درجة الحرارة . وتسمى هذه الحركة Protoplasmic Rotation or Circulation ، وفى كلتا الحالتين ترى الحركة بملاحظة الحبيبات الموجودة بالسيتوبلازم . وفى حالة وجود النواة فى وضع جانبى الى جانب جدار الخلية حيث توجد فى هذه الحالة فى الخلية البالغة فجوة واحدة كبيرة الحجم (شكل٣ — ا) ، ترى الحركة دائرية حول الخلية تحت الجدار الخلوى وتسمى عادة Rotation ، ويمكن مشاهدتها فى أوراق نبات الإلوديا (Canadian Water-Weed) *Elodea* . أما اذا كانت النواة معلقة فى الخيوط السيتوبلازمية Cytoplasmic Strands فى حالة وجود أكثر من فجوة واحدة (شكل ٣ — ـ) فتتجه الحركة فى إحدى هذه الخيوط ثم الى الطبقة السيتوبلازمية الخارجية Lining Layer ثم الى الخيط الثانى متجهة نحو النواة . وهذه الحركة المستمرة من النواة واليها تسمى Circulation ويمكن مشاهدتها بوضوح فى خلايا شعيرات أسدية نبات *Tradescantia* .

وهذه الحركة السيتوبلازمية تسهل انتقال المواد داخل الخلايا وعملية التحول الغذائى بصفة عامة ، كما تمكن المواد التى تدخل الخلية من توزيع نفسها والانتقال من خلية لأخرى . ويذكر Bierberg أن أزوتات البوتاسيوم وكربونات الليثيوم وكبريتات الثاليوم تتحرك كلها فى أوراق نبات الالوديا و *Vallisneria* بواسطة حركة السيتوبلازم . وتحدث هذه الحركة عادة نتيجة جرح أحد أجزاء النبات وفى هذه الحالة تزداد حركة السيتوبلازم فى الخلايا التى تحيط بالمنطقة المصابة . وفى الخلايا المستطيلة فان التيار غالباً ما يتجه موازياً للمحور الطويل للخلية ، وفى حالة ما يحدث نمو موضعى فى السمك أو سطحياً فى جدار الخلية فانه من المعتاد أن تتحرك هذه التيارات السيتوبلازمية على طول هذه المناطق من الجدار . وقد لاحظ Dippele, Criiger أن لهذه الحالة علاقة بتكوين كل من التغليظ الحلزونى والشبكى . وفى حالات أخرى قد تكون الحركة فى المناطق النامية من النبات ولهذا الوضع علاقة بالزيادة فى سمك الجدر الخارجية لخلايا البشرة وكذلك فى تقوية الجدر الخارجية للخلايا الحارسة، وفى الامتداد والنمط الطولى للشعيرات الجذرية وغير ذلك .

٢ — البلاستيدات Plastids

البلاستيدات أو الكروماتوفورز Chromatophores هى أعضاء بروتوبلازمية مميزة وتوجد فى كل أقسام المملكة النباتية مع استثناء الفطر والبكتريا والميكسوميسيتس وليس من الضرورى أن توجد فى كل خلايا أو أنسجة النبات ، وهى تتكون بكثرة فى الأنسجة التى تقوم بوظائف فسيولوجية أو بيئية ، وتتميز عن باقى الأعضاء البروتوبلازمية بأنها تحتوى على صبغات مميزة . وقد ميز Schimper ثلاثة أنواع منها تختلف فى أشكالها وأحجامها وألوانها وسماها على التوالى :

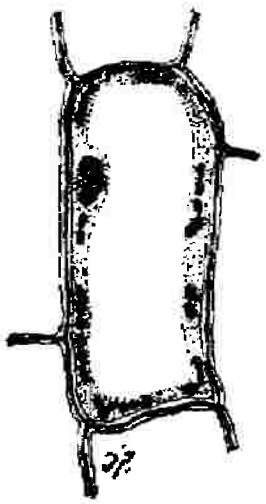
(ا) الكلوروبلاستيدات .

(ب) والكروموبلاستيدات .

(ج) واللايوكوبلاستيدات .

(ا) الكلوروبلاستيدات Chloroplasts

البلاستيدات الخضراء هى أهم الانواع وتكتسب هذه الأجسام لونها الأخضر المميز بالنسبة لاحتوائها على اللون الاخضر المسمى كلوروفيل Chlorophyll ويكون مصحوبا بكميات قليلة من مواد صفراء اللون تسمى Xanthophylls .



(شكل ٤)
احدى خلايا نبات الالوديا وبها البلاستيدات منغمسة فى السيتوبلازم

والكلوروبلاستيدات أجسام ذات أهمية كبيرة للنبات ، فهى الاعضاء التى تقوم بالتمثيل الضوئى فى الخلايا ، وهى التى تعطى اللون الاخضر لاجزاء النبات المختلفة ويكون شكلها فى الغالب دائريا أو بيضياً (شكل ٤) وقد تكون على هيئة أشرطة كما فى خلايا نبات سبيروجيرا Spirogyra. والكلوروفيل مادة غير قابلة للذوبان فى الماء ويمكن استخلاصه بواسطة الكحول أو الاثير أوالاسيتون أو بعض المذيبات العضوية الاخرى . ويمكن استخلاص الكلوروفيل أيضاً من الأوراق المجففة المسحوقة بعاملتها فى مخلوط مكون من ٨٠٪ أسيتون و ٢٠٪ ماء

ثم تنقى بعد ذلك من الشوائب الأخرى باستعمال البنزول . ويكون المحلول غنياً بالمادة الخضراء مصحوبة بمادة ذات لون أحمر كالدم . ويتكون المزيج المسمى خلاصة الكلوروفيل من كلوروفيل (ا) و(ب) ثم كاروتين وزانثوفيل . والاثنين الأولين لونهما أخضر بينما الأخيرين لونهما أصفر . ونسبة المواد الخضراء فى الخليط أكثر جداً من الصفراء ولذا تتغلب عليها حاجة لونها الطبيعى ، ويمكن فصلهما عن بعضهما باستعمال البنزول Benzol .

ومعادلة الكلوروفيل ا هى : $ك_{٥٥} يد_{٧٢} ا_{٥} ز_{٤} مغ$ (الوزن الذرى ٩٠٢) .

ومعادلة الكلوروفيل ب هى : $ك_{٥٥} يد_{٧٠} ا_{٦} ز_{٤} مغ$ (الوزن الذرى ٩٠٧) .

والكاروتين ومعادلته هى : $ك_{٤٠} يد_{٥٦}$ ، وقد اشتق اسمه من كونه موجوداً فى الجذر الوتدى للجزر . وللكاروتين علاقة كبيرة بفيتامين ا ، وهو كثير فى الأوراق الخضراء .

والزانثوفيل ذو صلة بالكاروتين ومعادلته هى : $ك_{٤٠} يد_{٥٦} ا_{٢}$ ، ويوجد فى البتلات الملونة لبعض الأزهار . وتختلف النسب التى توجد عليها هذه المحتويات الأربعة فى الأجزاء الخضراء من النبات من نوع إلى نوع ومن رتبة إلى فصيلة . وفى المتوسط تحتوى الأوراق الغضة الخضراء على ٢ر٠٪ كلوروفيل ا و ٧٥ر٠٠٪ كلوروفيل ب و ١٧ر٠٪ كاروتين و ٠٣ر٠٠٪ زانثوفيل .

وفى الأعشاب البحرية الحمراء والبنية توجد فى البلاستيدات مواد ملونة مختلفة التركيب كما فى الكلوروفيل . وبوضع هذه النباتات فى ماء مغلى لقتل البروتوبلازم يمكن استخلاص هذه المواد الملونة ، كما يمكن أن يظهر الكلوروفيل بوضوح بعد أن كان مختفياً . ويستعمل الكلوروفيل تجارياً فى بعض الأدوية وتلوين الشموع وبعض الزيوت والصابون وخلافها ، والرطل من الأوراق الخضراء يعطى من ½ إلى ١ جم من الكلوروفيل النقى .

(ب) الكروموبلاستيدات Chromoplasts

ويحتوى هذا النوع من البلاستيدات على مادة أو أكثر من المواد الملونة ، فقد تكون صفراء أو برتقالية أو حمراء . وقد تكون المادة الملونة معلقة فى الجسم البروتوبلازمى

العديم اللون فى شكل كرات دقيقة وقد تكون فى شكل بلورات أنبوبية أو عصوية ولكنها غالبا ماتكون فى شكل أجسام أبرية مستقيمة أو غير منتظمة وقد تتجمع فى شكل حزم . والكروموبلاستيدات الموجودة فى الطاطم تحتوى على كل من الحبيبات الصفراء والبلورات الحمراء ، وفى بعض الأحوال قد يكون اللون مصحوبا ببلورات بروتينية .

والكروموبلاستيدات قد تكون مغزلية أو ابرية أو غير منتظمة الشكل وقد تكون مفصصة (شكل ٥) ، ويعود اليها اللون البراق الجذاب لبتلات الأزهار والفواكه الناضجة والبذور وبعض الجذور. والكروموبلاستيدات غالبا ما تكون مشتقة من الكلوروبلاستيدات كما فى الفواكه الناضجة والطاطم والفلفل مثلا ، فالابيض فى الأزهار الصغيرة تكون خضراء اللون وعند نضوج الثمار تتحول البلاستيدات الخضراء الى ملونة تدريجيا. وقد لا يرجع اللون فى كثير من الأزهار والفواكه الى البلاستيدات الملونة فقط بل قد يعود الي وجود بعض المواد الملونة الذائبة فى السوائل الموجودة فى فجوات الخلايا، كما قد يكون الجو سببا فى تحول البلاستيدات الخضراء الى لون أصفر أو بنى كما يحدث لأوراق بعض الأشجار وقت الخريف .

(شكل ٥)

الأشكال المختلفة للكروموبلاستيدات : (ا) النوع المفصص من بتلات *Genista tinctoria* . (ب) النوع المغزلى من الغلاف الزهرى لنبات *Hemerocallis fulva* (حـ) من ثمار *Sorbus aucuparia* وملأها بلورات من مادة ملونة على هيئة خيوط . (د) من خلايا السطح العلوى لكأس زهرة نبات أبو خنجر . (هـ) من خلايا جذر الجزر ويوجد مع بعضها حبيبات النشا ؛
(عن هابرلاندت وستراسبرجر)

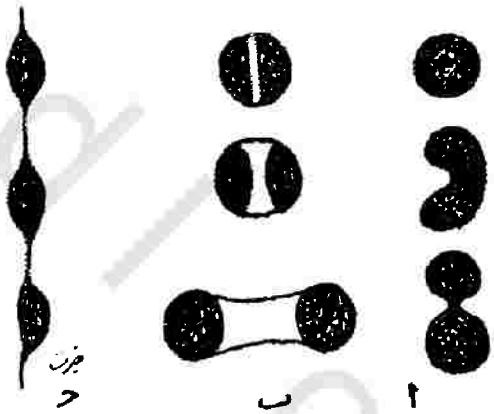
(ج) اللوكوبلاستيدات Leucoplasts

وهى عادة عديمة اللون ولكن لها القدرة على حمل اللون تحت شروط خاصة فتتحول إلى كلوروبلاستيدات أو كروموبلاستيدات . وهى عادة أجسام دقيقة كروية ولكن

شكلها قد يتغير كثيراً بالنسبة لمحتوياتها التى تتكون من بللورات البروتين وحبيبات النشا . والبلاستيدات عديمة اللون توجد قريبة من النواة وذات علاقة بها وتقوم بأغراض عدة . ففى الخلايا المرستيمية فانها تمثل الكلوروبلاستيدات والكروموبلاستيدات المستقبلة ، والتى لازالت فى حالة عديمة اللون ، وفى الخلايا المخزنة فانها المسئولة عن تكوين حبيبات النشا من المادة الكاربوايدراتية الذائبة ، ولذلك أسماها Schimper بالأميلوبلاست Amyloplasts .

وقد تتحول البلاستيدات عديمة اللون الى ملونة ، فقد تكتسب اللون الأخضر عند تعريضها للضوء ، كما فى حالة درنات البطاطس الصغيرة ، وقد تتحول تدريجيا من عديمة اللون الى خضراء ثم الى ملونة كما يظهر فى الخلايا القريبة من بشرة بعض الفواكه وخلافها ، فالبيض وهو صغير يكون عديم اللون ثم يخضر لونه بكبر حجمه وأخيراً يتلون .

والأنواع الثلاثة المذكورة من البلاستيدات متجانسة فى تركيبها ، كما أنها فى حالات كثيرة ذات علاقة وراثية . فبينما نراها فى الخلايا المرستيمية عديمة اللون فانها سرعان ما تتحول الى كلوروبلاستيدات ثم تتحول بدورها الى كروموبلاستيدات فى آخر أطوارها ، كما أن البلاستيدات الخضراء قد تتحول الى عديمة اللون فى أحوال خاصة كما فى خلايا البشرة وخصوصا فى الزوائد الموجودة عليها . والبلاستيدات أجسام تتكشف من السيتوبلازم العادى وتتكاثر عادة بالانقسام ، ويقال انه يوجد بكل خلية من الخلايا الانشائية كروماتوفور واحد ينقسم مرة واحدة لكل انقسام للخلية ، ولكنها أخيراً تنقسم بسرعة أكثر من انقسام الخلايا . وتنقسم الكلوروبلاستيدات عادة انقساما بسيطاً Simple Fission يشبه



(شكل ٦)

انقسام البلاستيدات — (أ) الانقسام البسيط Simple Fission . (ب) الانقسام بتباعد المادة الملونة فى قطبين متقابلين . (حـ) سلسلة من البلاستيدات ،

(عن Mikosch)

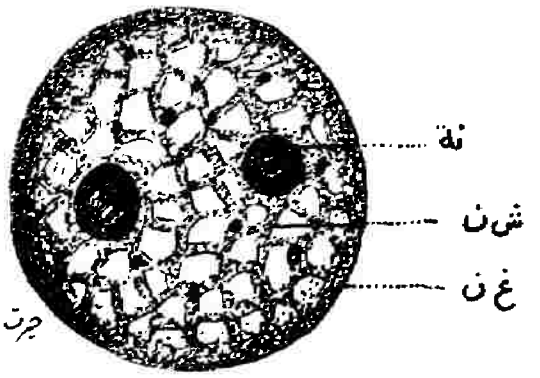
كثيراً ما يحدث للنواة . وأول من شاهد انقسام الكلوروبلاستيدات هو Nägeli فى بعض الطحالب والأجسام الثالوثية للسراخس ، وقد يحدث الانقسام باجتماع المادة الملونة فى قطبين متقابلين ثم يختفى اللون فى المنطقة التى تتوسطهما وبذلك تصبح الكلوروبلاست فى شكل Dumbell-shaped ، ثم يتباعد كل منهما على حدة من المنطقة الوسطى ويتكوران تدريجيا ثم تتلاشى المنطقة العديمة اللون أخيراً . وقد تبقى البلاستيدات الخضراء المنقسمة على التوالى متصلة بخيط دقيق ، وعلى ذلك فالسلسلة من الكلوروبلاستيدات التى ترى فى خليته متقدمة فى السن فى القشرة مثلا هى نتيجة لانقسام كلوروبلاستيدة أصلية واحدة فى مبدأ الأمر (شكل ٦) .

٣ — النواة The Nucleus

يحتوى البروتوبلاست النموذجى للخلايا النباتية على عضو خلوى مميز يسمى بالنواة ، ولهذا العضو الأهمية الأولى من كل من جهتى وجوده وتكوينه . وتتكون النواة من كتلة من خيوط دقيقة متداخلة فى بعضها ومتصل كل منها بالأخرى ، وهذه يمكن وصفها بدقة عند تثبيتها وصبغها فترى هذه الخيوط وقد رقدت بها حبيبات أكثر قبولا للصبغ تسمى كروماتين Chromatin ، ويغلب أن تحتوى هذه الحبيبات على Nucleins وهى المحتويات الكيمياوية لمادة النواة . كما يلاحظ بين الشبكة النووية Nuclear Reticulum جسم أو أكثر كروى براق يسمى كل منها بالنوية Nucleoli ، وهى مستديرة الشكل ويسهل تميزها عن حبيبات الكروماتين بخاصية قبولها للصبغات الحمضية وأحياناً القاعدية . ويملأ النسيج الشبكى للنواة عصير نووى Karyolymph أو Nuclear Sap متجانس شفاف ، ويعتبر المادة التى يتعلق بها الجسم الشبكى ، كما يعتبر أيضاً ولحد ما موضعاً للمواد المختزنة التى تمتصها الكروموسومات أثناء عملية الانقسام . وتظهر النواة منفصلة عما يحيط بها من البيتوبلازم بغشاء بروتوبلازمى يسمى بالغشاء النووى Nuclear Membrane ، ينتظم عن طريقه تبادل المواد بين النواة نفسها والستيوبلازم (شكل ٧) .

ولشكل النواة (لحدّ ما) علاقة بالخلية التى توجد بها ، فهى عادة كروية أو قرصية فى الخلايا المتساوية الأقطار ، بينما يكون شكلها مستطيلا عصويا أو مغزلياً فى الخلايا

المستطيلة . ولكن هناك حالات يشذ فيها شكل النواة عن هذه القاعدة ، فكثير من خلايا الألياف ، كما فى الكتان ، تحتوى على نوايا صغيرة كروية الشكل . ونوايا بعض الخلايا الحارسة لثغور بعض النباتات صليبية الشكل ، كما قد تكون فى الخلايا المماثلة لبعض الحشائش Dumbell-shaped ، وذلك بالنسبة لشكل الفجوات بالخلايا . وقد يكون شكلها مفصصاً Lobed كما فى حبوب اللقاح لكثير من مغطاة البذور ، وقد تكون مزودة بامتدادات مدببة ، ويرى هذا الشكل فى خلايا بشرة بعض النباتات وفى بعض الشعيرات الموجودة على أعناق الأوراق وفى بعض الخلايا الهاضمة . وعلى أى الأحوال فان الشكل الغير عادى للنواة له علاقة خاصة بالوظائف المختلفة التى تقوم بها .



(شكل ٧)
رسم تخطيطى مكبر للنواة — غ ن = غشاء نووى ، ش ن = شبكة كروماتينية ، نة = نوية ،
(عن Small)

وحجم النواة ذو مزايا خاصة ويعتمد لحد ما على الوظيفة الفسيولوجية للخلية أو النسيج . وعموما يختلف حجم النواة باختلاف خلايا الأنسجة التى توجد بها ، ويكون حجمها كبيراً عادة فى الأنسجة المرستيمية ، ويقول Strasburger أن قطر النواة قد يبلغ فى هذه الحالة ثلثى قطر الخلية الموجودة بها . وتحتوى الخلايا الغدية عادة على نواة كبيرة الحجم قد تصل أقطارها من ٥ — ٢٥ ميكرون ، وقد تصل أحياناً الى ٦٠٠ ميكرون فى بعض النباتات ، وقد تكون ميكروناً واحداً فى البعض الآخر ، وعلى أى الأحوال فغالباً ما تكون أحجام النوايا متساوية فى خلايا النسيج الواحد . وقد يكون لحجم النواة نسبة خاصة الى كمية السيتوبلازم الموجودة فى الخلية وتعرف هذه النسبة باسم Karioplasmic Ratio ، وقد تكون هذه النسبة ثابتة فى بعض الخلايا فى حالاتها المرستيمية وكذلك بعد نموها ، غير أن ذلك غير سائد فى جميع الحالات .

وتحتوى الخلية النباتية النموذجية على نواة واحدة ، وقد وجد Treub أن خلايا بعض النباتات الراقية تحتوى على عدد كبير من هذه الأجسام كما فى خلايا الألياف المستطيلة والأنابيب اللبنية كما قد يظهر هذا الوضع فى الخلايا البرنشيمة المسنة لبعض نباتات ذات الفلقة الواحدة .

والنواة كعضو بروتوبلازمى مميز وذو توزيع عام تلعب دوراً هاما فى حياة الخلية ، فهى التى تحمل العوامل الوراثية للنبات ، فى مادة تسمى Idioplasm فى شكل أشرطة دقيقة مكونة شبكة تستمر فى كل جزء من أجزاء النبات ، وهذه الأشرطة ذات عدد ثابت وهى التى تمثل الكروموزومات Chromosomes فى حالة اندماجها . والشبكة النووية التى تنفصل الى كروموسومات عند انقسام الخلية تعتبر الجزء الهام الذى يحمل العوامل الوراثية ، وهذه يصعب تميز كل منها على حدة فى الشبكة التامة التكوين . والنواة علاوة على حملها للعوامل الوراثية فهى العضو الذى يتحكم فى نمو وتكشف الخلايا وهى مركز الحركة فى الخلية وبانقساماتها المتتالية يزداد عدد الخلايا وتكبر الأنسجة فى الحجم .

ويتحدد موضع النواة فى الخلية تبعاً لعوامل عدة ، ففى الخلية العديمة الفجوات تتوسط النواة فى العادة الكتلة السيتوبلازمية ، كما أنه فى حالة وجود الفجوات ترى منغمسة دائماً فى السيتوبلازم مهما بلغت درجة سمكه ولا توجد فى الفجوات إطلاقا . وهى عموما توجد راقدة فى المنطقة الأكثر نشاطاً أو نمواً ، فنمو الخلايا عموما وخطوات الزيادة فى السمك أو الجذب السطحى للجدر لها علاقة بتحديد موضع النواة . ففى خلايا البشرة التى تزداد جدرها الخارجية فى السمك عن الجدر الجانبية أو الداخلية ترى النواة عادة راقدة إلى جوار الجدار الخارجى الذى تترسب عليه المواد للزيادة فى سمكه ، وفى الشعيرات الجذرية أثناء تكوينها والتى يكون فيها النمو قمياً ترى النواة فى موضع قريب من قمتها ، وكذلك أيضاً فى الأنابيب الناتجة من إنبات حبوب اللقاح . كما يعتبر نشاط التمثيل الضوئى للبلاستيدات الخضراء وتكوين النشا ذو علاقة بوجود النواة .

ثانياً — العصير الخلوى Cell-Sap

إذا ما بدأت الخلايا الانشائية فى النمو بازدياد مساحة جدرها فان البروتوبلاست الذى تبقى نسبته ثابتة سرعان مايكون فجوات ذات أحجام مختلفة ، وهذه تمتلئ بسائل مائى أو عصير خلوى . وبازدياد كبر الخلية فى الحجم فان هذه الفجوات تتجمع عادة لتكون فجوة عصارية واحدة رئيسية بينما يبطن البروتوبلاست الجدار من الداخل حيث تكون النواة منغمسة فيه . ويفصل السيتوبلازم عن هذه الفجوات أو الفجوة الفردية غشاء داخلى بلازمانى . ويحتوى العصير الخلوى عادة على سائل مائى رائق ذو تأثير حمضى ، كما يحتوى على مواد ذائبة مختلفة غير عضوية وعضوية ، وخصوصاً الأخير منها .

والمحتويات الأكثر وجوداً فى العصير الخلوى هى عدة أحماض عضوية معينة مثل حمض المـاليك Malic Acid والاوكساليك Oxalic Acid . . . الخ وكذلك أملاحها ، وهذه مع مواد أخرى متبلورة مسئولة عن الزيادة أو النقص فى الضغط الازموزى Osmotic Pressure الموزع بواسطة العصير الخلوى على البروتوبلازم الخارجى وعلى جدار الخلية .

والعصير الخلوى سائل يختلف فى تركيبه غير أن أساس تكوينه هو المـاء والمواد القابلة للذوبان التى يمكن دخولهـا إلى جسم النبات ، كما أنه يحتوى على المواد المختزنة ذات العلاقة بعمليات النمو مثل سكر القصب والعنب والانيولين وكلها مركبات كاربوايدراتية ذات أهمية كبيرة ، كما تظهر به أحيانا البروتينات والاسپرجين Asparagine ، فمثلا حبيبات الأليرون التى ترى عادة فى الانسجة المخزنة للبذور هى نتيجة لجفاف المحتويات البروتينية للفجوات ، وتوجد به أيضاً كميات مختلفة من الاملاح الغير عضوية فى حالة نترات وكبريتات وفوسفات . ومن جهة أخرى فان الفجوات العصارية تحتوى على بعض الافرازات التى تخزن فى الخلايا مثل القلويات Alkaloids والتانين Tannins والجلوكوسيدز Glucosides ، كما أن بعض هذه الافرازات التى لايحتاج اليها النبات والتى تختزن داخل فجوات الخلايا قد يكون لهـا أهمية خاصة فى البيئات المختلفة لحماية النبات ضد الحيوانات الضارة .

وقد يحتوى العصير الخلوى على مواد ذائبة ملونة كما فى كثير من بتلات الازهار وفى الفواكه ومواضع أخرى من النبات . وتسمى هذه المادة الملونة الانثوسيانين Anthocyanin ، وتكون على هيئة محلول أحمر أرجوانى اللون فى الحالة الحمضية وذو لون أزرق فى الحالة القلوية للعصير الخلوى ، ويساعد هذا اللون على عمليات التلقيح أو انتشار البذور بواسطة الحيوانات .

وفى بعض الأحيان لا تكون محتويات العصير الخلوى فى الفجوات المختلفة الموجودة فى البروتوبلاست ذات طبيعة واحدة ، فقد تختلف فى كل منها عن الاخرى فى التركيب الكيمياوى أو فى المحتويات أو فى غير ذلك ، فقد نجد فجوات بها عصير خلوى ملون إلى جانب أخرى محتوياتها عديمة اللون ، وكذلك الفجوات التى تحتوى على التانين فقد تكون مصاحبة لاخرى لا توجد بها هذه المادة . ويعزى الطعم الخاص للفواكه والخضروات التى نأكلها غالبا إلى المواد الذائبة فى عصارة فجوات خلاياها .

المحتويات الغير حية فى الخلية

The Non-Living Cell Contents

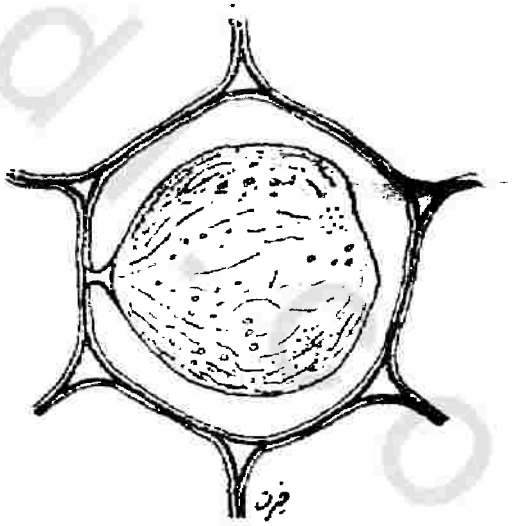
سبق أن ذكرنا أن السيتوبلازم والبلاستيدات المختلفة والنواة تمثل المحتويات الحية فى الخلية، غير أنه علاوة على هذه المحتويات الحية توجد محتويات أخرى غير حية لها أهميتها الخاصة إلى جانب الاولى . وقد سبق وصف جانب منها ممثلا فى الفجوات وما بها من العصير الخلوى الذى يشمل مواداً كثيرة ومختلفة فى حالة ميتة ، غير أنه علاوة على ما سبق ذكره توجد أجسام أخرى يشملها السيتوبلازم وهى :

١ — الكندريوزومز Chondriosomes

وهى أجسام دقيقة عصوية منحنية أو كروية أو شبكية ، وقد يعتبرها البعض مواداً حية والآخر أجساماً ميتة ، وتوجد بكثرة فى الخلايا الحديثة السن وتقل وتنعدم تقريباً فى الخلايا البالغة ، وعملها فى الخلية غير معروف بصفة قاطعة غير أنها قد يكون لها علاقة بعمليات الاختزال والأكسدة .

٢ — الفجوات الزيتية Oil Vacuoles

علاوة على الفجوات العصارية السابق ذكرها توجد أخرى صغيرة الحجم تحتوى على قطرات من الزيوت الدهنية وترى فى البذور مثل بذور الخروع والنخيل والكتان والزيتون ، كما توجد فى الأنسجة المرستيمية والأجنة وبعض أجزاء النبات الأخرى على حالة مستحلب مع المـاء . وقد يتحد عدد كبير من هذه الفجوات الزيتية الصغيرة مكونة فجوة زيتية كبيرة محاطة بالسيتوبلازم ويتكون لهـا فيما بعد نتوء يتجه نحو جدار الخلية ويلتصق بها أخيرا فى موضع فردى ؛ ويسمى هذا النوع بالحوصلات الزيتية Oil-Vesicles أو الاكياس الزيتية Oil sacs وقد تحتوى مثل هذه الاكياس على المواد الراتنجية أو الزيوت الاثيرية Ethereal Oils . وتوجد فى الانسجة البرنشيمية لنباتات مختلفة وتظهر فردية أو فى تجاميع ، وهى عادة كبيرة مستديرة الشكل متساوية الاقطار (شكل ٨) . وتكون جدر الخلايا التى تحتوى على هذه الاكياس رقيقة عادة ، أما العنق الذى تتعلق به هذه الاكياس إلى الجدار فيكون مكوتنا Cutinised . وسواء وجدت المواد الراتنجية أو الزيوت الاثيرية على هيئة قطرات منغمسة فى السيتوبلازم أو على حالة أكياس كبيرة ، فانها تعطى الرائحة الخاصة التى تمتاز بها أجزاء معينة من النبات ، مثل بتلات معظم الازهار . وتوجد مثل هذه الخلايا فى ريزومات نباتات معينة ، وقد توجد فى قلف الاشجار مثـــل *Cinnamomum* ، وقد توجد فى الأوراق كما فى *Laurus nobilis* ، وفى الغلاف الثمرى لبعض البذور مثل الفلفل *Piper nigrum* .



(شكل ٨)

كيس زيتى فى احدى خلايا النسيج الأساسى لريزوم ، (عن هابرلاندت)

٣ — الأجسام السيليكية Siliceous Bodies

وهذه توجد فى سيتوبلازم كثير من الخلايا وخصوصاً النخيل والأوركدز ، وقد تملأ أحياناً معظم فراغ الخليـة ، وهى تذوب فى حامض الهيدروفلوريك Hydrofluoric Acid ، كما تتراسب عادة على الجدر الخلوية لنباتات عدة .

٤ — المواد الغروية Mucilagenous Matter

وتوجد أحياناً كجزء متمم لمحتويات الخلية ، كما فى الأبصال ودرنات الأوركدز وكذلك فى الأعضاء الهوائية وخصوصاً فى أوراق النباتات العصارية التى تعيش فى المناطق الجافة والتى بواسطة خلاياها الغروية تكون قادرة على الاحتفاظ بكمية المـاء اللازمة لهـا .

٥ — التانين Tannin

يغلب وجوده فى الخلايا البرنشيمية للسوق فى منطقة القشرة فتمتلئ فجوات سيتوبلازم الخلايا بمحلول مركز من التانين . كما توجد هـذه المركبات على هيئة أكياس Tannin Sacs فى صفوف طولية ذات علاقة بالأشرطة الوعائية ، وترى فى أعناق أوراق كثيرة من النباتات السرخسية ، وقد تظهر فى منطقة النخاع مقابل كل حزمة وعائية . وقد يبلغ طول هذه الأكياس عند تمـام تكوينها من ١٨ — ٢٠ مم أو أكثر ومتوسط اتساعها من ٠٫٠٢٥ إلى ٠٫١٦٤ مم ، ويتكون كل كيس من خلية واحدة مغزلية الشكل زائدة الطول . ويوجد التانين أيضاً فى خلايا البشرة فى بعض النباتات ، وتكون الخلايا متساوية الأقطار أنبوبية الشـكل ذات جدر قطرية مموجة وشكل مميز من بين خلايا البشرة . وأهمية التانين أنه واسطة فى وقاية النباتات من القواقع وغيرها من الحيوانات ، وإذا عوملت الخلايا المحتوية عليه بكلورور الحديديك أو كبريتات الحديديك تحول لونه إلى أزرق داكن أو أخضر ، وإذا أضيف إليها محلول من بيكرومات البوتاسيوم حصلنا على راسب ذو لون بنى محمر .

٦ — المـادة اللبنية Latex

توجد هذه المـادة فى عدد من النباتات التابعة لعائلات مختلفة منها URTICACEAE و EUPHORBIACEAE و SAPOTACEAE ، وتظهر بشكل عصير لبنى Milk Sap

فى فجوات خلايا خاصة[1] ، وتكون على هيئة كرات صغيرة عديدة معلقة فى عصير مائى فتعطى بذلك للعصير الخلوى لون اللبن ، كما يحتوى هذا العصير على مواد كثيرة فى حالة ذائبة مختلطة بمواد أخرى فى حالة غروية كالزيوت والصموغ . وهذه المادة عند فصلها أو عند جرح النبات ونزفها يتغير لونها وتتجمد على هيئة الكاوتشوك ، كما أنها تحمى النباتات من الحيوانات الضارة وخصوصاً إذا احتوت على المواد السامة .

٧ — حبيبات الاليرون Aleurone Grains

وتسمى أيضاً حبيبات البروتين وتوجد فى بذور الكثير من النباتات . وهى كبيرة الحجم وأكثر تمييزاً فى البذور الزيتية ، أما فى البذور النشوية فتكون أصغر حجما وراقدة متزاحمة بين حبيبات النشا والمادة البروتوبلازمية ، والنوع النموذجى منها مستدير حبيبى الشكل يتكون أساسيا من الجلوبيولين القابل للذوبان فى الماء (عن Kritzler و Tschirch). ويقول Werminski و Wakker أن حبيبات الاليرون توجد فى فجوات خاصة ، وتحتوى هذه الفجوات فى أول أمرها على محلول بروتينى كثير التركيز ، وهذا بجفافه تدريجياً مع نضج البذور يكون هذه الحبيبات . وعند إنبات هذه البذور فان حبيبات الاليرون تمتص الماء مرة ثانية ، وتتحول إلى عدد من الفجوات تتجمع فى النهاية لتكون فجوة عصارية واحدة .

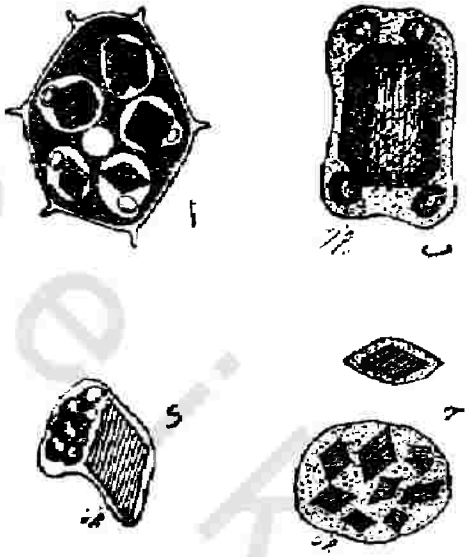
وحبيبات الاليرون ذات شكل مستدير أو بيضى ، وقد تكون أحياناً على هيئة أجسام غير منتظمة . وغالباً ما يتبلور جزء من مادة الاليومين ولذلك يتكون مع حبيبة الاليرون الواحدة بللورة واحدة أو جسم بللورى واحد Crystalloid . وأحيانا توجد عدة بللورات داخل الجسم الاساسى Matrix الغير متبلور ، وهذا باذابته فى الماء يمكن مشاهدة هذه البللورات بوضوح كما فى بذور الخروع وغيرها من بذور النباتات اليوفوربية. وغالباً ما يوجد فى حبيبات الاليرون المحتوية على بللورات الاليومين أجسام كروية تسمى Globoids ، وهى كما يقول Pfeffer تتكون من فوسفات الكلسيوم

(١) الأنابيب أو الخلايا اللبنية فى باب الجهاز الوعائى أو الناقل .

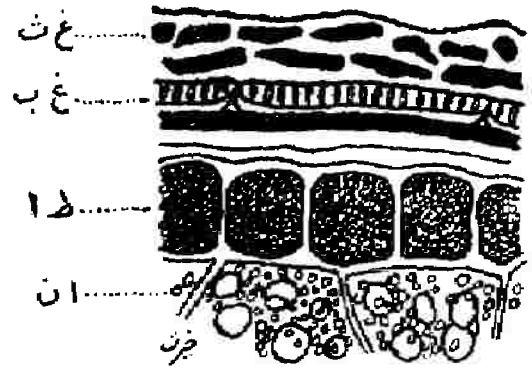
والمغنيسيوم المزدوجة متحدة مع مواد عضوية خاصة ، كما أنه قد يوجد أحيانا بللورات من أوكسالات الكلسيوم داخل حبيبات الاليرون . ويختلف أيضاً عدد الاجسام الكروية الموجودة ، فعادة يوجد جسم كروى واحد وقد يصل عددها إلى أربعة ، كما يشاهد فى حبيبات اليرون أندوسبرم الخروع ، وهو خير أنموذج لحبيبات الاليرون التى تحتوى على الاجسام البللورية والكروية معاً (شكل ٩) .

وربما تظهر الأجسام البللورية فى السيتوبلازم مباشرة بدون الأجسام الكروية فى الخلايا الفقيرة فى النشا كما فى الطبقات الخارجية للبطاطس أسفل الغلاف الخارجى الرقيق .

وفى التجليات مثل حبوب القمح والشعير والشوفان وخلافها ، بفحص القطاع العرضى نلاحظ أسفل الغلافين الثمرى والبذرى Spermoderm ، طبقة خلوية مكونة من صف واحد من الخلايا الكبيرة الحجم المربعة الشكل أوالمستطيلة نوعا ، تحتوى كل منها على بروتوبلازم وافرشبه زيتى ونواة كبيرة مركزية كما يملأها عدد كبير من حبيبات الأليرون ، ولذلك



(شكل ٩)
(ا) خلية بها حبيبات الأليرون من أندوسبرم الخروع × ٤٠٠ ، (ب) حبيبة أليرون بها جسم بللورى وأربعة أجسام كروية × ٨٠٠ (هـ) حبيبة أليرون فى نبات *Elaeis guianensis* × ٥٠٠ (ء) حبيبة أليرون من ملقات نبات *Bertholletia excelsa* × ٥٠٠ ،
(عن PFEFFER)



(شكل ١٠)
ق . ع . فى الأنسجة الخارجية لحبة القمح — غ ث = غلاف ثمرى ، غ ب = غلاف بذرى ، ط ا = طبقة الأليرون ، ا ن = اندوسبرم نشوى × ٣٠٠ ،
(عن هابرلاندت)

تسمى هذه الطبقة Aleurone Layer ، ويليها من الداخل خلايا الاندوسپرم الممتلئة بحبيبات النشا (شكل ١٠) .

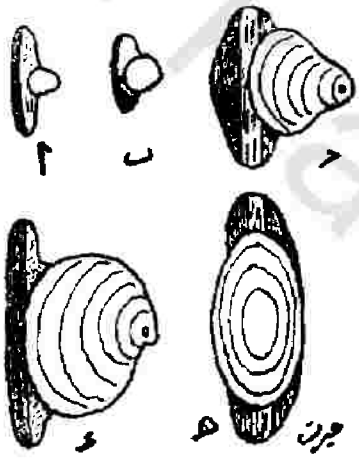
وحبيبات الأليرون فى القمح مع أنها صغيرة الحجم إلا أنها تتركب كالمعتاد من كل من الأجسام البللورية والكروية . ولما كانت طبقة الاليرون فى القمح ملاصقة للأغلفة الخارجية فإن الدقيق بعد فصل الطبقات الخارجية عنه (الردّة) يكون فقيراً فى مادة الاليبومين . وفى الارز توجد حبيبات الاليرون فى طبقتين وفى الشعير توجد فى ثلاث طبقات أو أربعة ويرجع ذلك إلى الانقسام التماسى للخلايا .

وباضافة محلول اليود تتلون طبقة الاليرون بلون بنى مصفر ، بينما تتلون حبيبات النشا باللون الازرق .

٨ — حبيبات النشا Starch Grains

يوجد النشا على هيئة أجسام أو حبيبات مستديرة أو عديدة الاوجه تختلف كثيراً فى أشكالها وأحجامها الميكروسكوبية والالترامیكروسكوبية . ويختلف شكل الحبيبة الفردية كثيراً بالنسبة للنباتات المختلفة ، غير أن الحبيبات الموجودة فى نبات معين تتشابه غالباً فى كل أفرادها . وتوجد حبيبات النشا عادة فى البلاستيدات الخضراء فى أعضاء النباتات المعرضة للضوء وخصوصاً الاوراق ، وتكون هذه الحبيبات صغيرة الحجم جداً وتعتبر أول المنتجات التى يمكن رؤيتها نتيجة لتمثيل المواد الغير عضوية ، وتتكون عادة بكميات كبيرة غير أن ذوبانها المستمر يجعلها دائماً صغيرة الحجم ، وتسمى بالنشا المحول Assimilation Starch ، أما الحبيبات الكبيرة الحجم فتوجد فى أعضاء النبات المخزنة وتسمى بالنشا المدخر أو المخزن Reserve Starch . ويعتبر كل النشا الذى يستعمل اقتصاديا من النوع المخزن ويمكن استخلاصه على هيئة مسحوق أبيض اللون . ولا تنشأ حبيبات النشا مستقلة بذاتها فالبلاستيدات العديمة اللون (الليوكوبلاستز أو الكروماتوفورز أو الاميلوبلاستز) دخل كبير فى ذلك ، فهى التى تقوم أساسياً بتكوين النشا فى حالة الانسجة المخزنة ولذلك

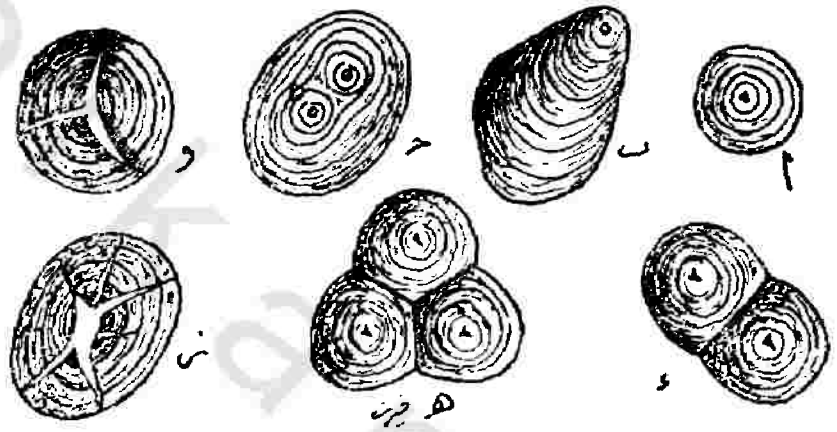
سميت بانيات النشا Starch Builders (شكل ١١) . وتتكون كل حبة من حبيبات النشا داخل بلاستيدة عديمة اللون ، ويرجح أنها تبقى مغلفة بصفة دائمة فى طبقة من نفس مادتها ، غير أن مظهرها يدل فى حالات كثيرة على بروز جزء من الحبة خلال الغلاف السابق ذكره . ويرى Schimper أن شكل الحبة وطبيعة وضع طبقاتها يختلفان تبعاً لانتظام توزيع هذا الغلاف ، أى إلى وضع الحبة المتكونة بالنسبة للبلاستيدة العديمة اللون . فاذا نشأت فى مركز بلاستيدة كروية الشكل صارت من النوع المركزى السرة Concentric حيث توضع الطبقات المتتالية فى شكل دوائر منتظمة بالنسبة لتماثل شروط النمو فى كل المواضع السطحية . أما إذا كان منشؤها قريباً من سطحها كان غلاف الاخيرة غير منتظم التوزيع حول الحبيبة الصغيرة ، ولذلك يوضع النشا فى جانب بنسبة أكثر مما يوضع فى الجانب الآخر فيتكون بذلك النوع الجانبى السرة Eccentric . وتعتبر السرة Hilum مركزاً مورفولوجيا شبه مثل تتراسب طبقات النشا حوله مركزيا أو جانبياً لتكون النوعين السابق ذكرهما ، وتكون هذه الطبقات كاملة تماما فى الحبيبات الجانبية السرة . وتختلف طبقات النشا الموجودة حول السرة فى تركيبها ، وخصوصاً فى كمية الماء ، فكلما اقتربنا من السرة زادت كميته . ويعود الاختلال فى بعض مواضع إحدى هذه الطبقات أو فى عدد منها إلى إذابة موضعية فى الحبة نفسها ، كما يعود وضوح هذه الطبقات المتتالية الى الاختلاف فى كثافة ترسيبها ، حيث تتبادل طبقة أقل احتواء للماء وأكثر كثافة مع أخرى أكثر احتواء له وأقل كثافة . وقد تختفى البلاستيدة العديمة اللون بعد استنفاد نشاطها تاركة حبيبة النشا مستقلة بذاتها .



(شكل ١١)

البلاستيدات عديمة اللون تحمل كل منها حبيبة من النشا . أ ، ب ، جـ ، د تبين المنظر الجانبى ، هـ تبين المنظر السطحى ، (عن ستراسبرجر)

وعلاوة على الحبيبات البسيطة العادية فهناك أيضاً النوع المركب Compound S.G. وقد يكون مكوناً من حبتين أو أكثر ، ويكون لمثل هذه الحبيبات أكثر من سرة واحدة . وقد يتزاحم عدد كبير من حبيبات النشا أثناء تكوينها داخل بلاستيدة واحدة عديمة اللون وقد يصل هذا العدد الى عدة مئات منها . ويصحب الحبيبات البسيطة فى العادة النوع المركب أيضاً، كما فى البطاطس والقمح وغيرهما . وفى الأرز والشوفان يغلب أن تكون



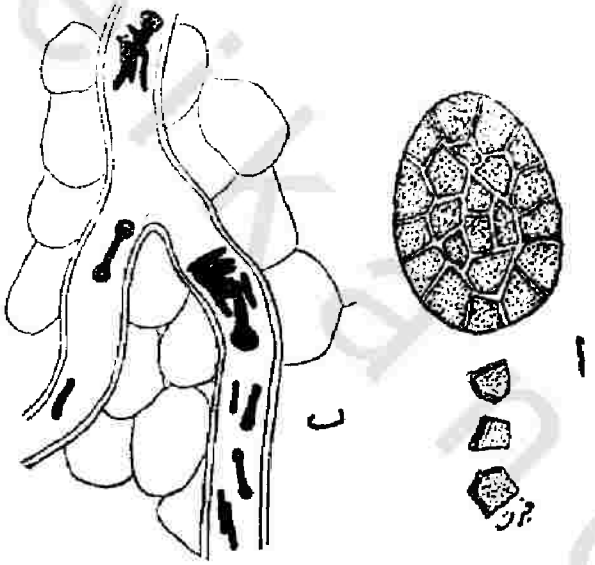
(شكل ١٢)

حبيبات النشا — (ا) قرصية فى القمح . (ب) جانبية السرة . (حـ) حبة نصف مركبة . (د،هـ) حبيبات مركبة فى البطاطس . (و،ز) حبيبات ذات شقوق متفرعة فى البسلة ،
(عن ستراسبرجر)

من النوع المركب فيحتوى كل منها من ٤ — ١٠٠ حبة فردية (عن Nägelli) (شكل ١٣ — ا) ، مصاحباً لها عدد قليل من الحبيبات البسيطة المنتثرة . والنوع المركب قد يكون كاملا Completely Comp. ، وفى هذه الحالة تمتد الحواجز الفاصلة بين الحبيبات وبعضها حتى السطح الخارجى ، وقد يكون مركباً جزئياً Partially Comp. ، وفى هذه الحالة تغلف الحبيبات المكونة للحبة المركبة بعدد من الطبقات العادية الإضافية الخارجية وتسمى الحبة تبعاً الى ذلك بالنصف مركبة Semi, Half Comp. S.G. .

ويختلف شكل الحبيبات الفردية كثيراً فى النباتات المختلفة ، فهى فى الفول والبسلة وغيرهما من النباتات البقلية إهليلجية الشكل ذات سرة مركزية على هيئة عدة شقوق متفرعة من المركز (شكل ١٢ — و ، ز) . وفى القمح والشوفان تكون عدسية قرصية مختلفة

الأحجام (شكل ١٢ — ا) ، أما فى درنات البطاطس فهى فى العادة كبيرة الحجم فيبلغ متوسط حجمها ٠٫٠٩ مم وترى طبقات النشا المتتالية بها بوضوح ، وهى فى العادة إما مستديرة أو بيضية الشكل ذات سرة مركزية أو جانبية ، ويشاهد بينها عدد قليل من الحبيبات النصف مركبة والمركبة (شكل ١٢ — ب ، حـ ، و ، هـ) . وفى العادة تظهر الأشكال المستديرة فى المواضع المتسعة حيث يسهل لها الامتداد بسهولة فى كل الجهات وبذلك لا تعطل إحداها الأخرى أثناء تكوينها ، أما فى حالة تزاحمها فيغلب أن تكون عديدة الأوجه ففى منطقة الأندوسپرم القرنى للذرة تكون عديدة الأوجه أما فى منطقة الأندوسپرم الدقيقى فتكون من النوع المستدير .



(شكل ١٣)
(ا) حبة نشا مركبة فى الشوفان وأجزاء منها منعزلة.
(ب) جزء من الأنبوبة اللبنية لليوفوربيا سپلندنز بها حبيبات نشا عصوية وأخرى Dumbell-Shaped ،
(عن ستراسبرجر ، Small)

وتختلف حبيبات النشا فى أحجامها ما بين ٠٫٠٠٢ مم ، ١٧٠٫٠ مم . ويمكن مشاهدة أكبر أحجامها فى ريزوم نبات الكنا *Cama* حيث يسهل مشاهدتها بالعين المجردة . وقد يكون شكلها عصويا كما فى العصير الخلوى اللبنى Latex لأوراق نبات اليوفوربيا ، أما فى الأنواع الاستوائية لهذا النبات مثل ***Euphorbia splendens*** فتحتوى عصارة الأنابيب اللبنية فى السوق على شكل خاص يسمى Dumbell-Shaped أو Bone-Shaped (شكل ١٣ — ب) ، مختلطا مع النوع العصوى .

وتتكون حبيبات النشا كيمائيا من عدد من الكاربوايدرات المختلفة يمثلها جميعا المعادلة ($C_6H_{10}O_5$) ن مع الماء وكمية صغيرة من الاملاح المعدنية . وقد ذكر Nägeli أن حبيبة النشا تتكون أساساً من الجرانيولوز Granulose وهى المادة التى تسبب

تلون النشا باللون الازرق عند إضافة اليود اليه ، وتوجد هذه المادة بين التفرعات الشبكية الدقيقة لنشا السليلوز Starch Cellulose الذى يصبح بعد إزالة الجرانيولوز منه بواسطة بعض المذيبات مثل الساليفا أو أى حامض معدنى مخفف فى شكل هيكلى . ويرى Meyer أن معظم حبيبات النشا تتكون من مادة فردية تسمى Amylose ، ميز بين نوعين منها يسمى أحدهما (B-Amylose) وهذا يختفى عند الغلى فى الماء ، والآخر (A-Amylose) وهذا يبقى فى حالة صبة تحت نفس هذه الشروط ، ويشابه النوع الأول لما أسماه Nägeli بالجرانيولوز أما الثانى فيماثل نشا السليلوز . وقد اختلفت الآراء بالنسبة للجسم الهيكلى السابق ذكره الذى يبقى بعد إضافة مادة الساليفا أو الاحماض المعدنية المخففة إلى حبيبات النشا . وتختلف حبيبات النشا فى الأرز والملت عن غيرها فى تلونها باللون الاحمر بدلا من الازرق إذا ما عوملت باليود ، ويقول Meyer أنها تتكون رئيسياً من Amylodextrine وهو أحد مشتقات الاميلوز ، غير أن Bütcheli يرى وجود مادة كاربوايدراتية أميلوزية تسمى *Amyloerythrine* فى مثل هذه الحالات .

وتختلف آراء علماء النبات فى تركيب حبيبات النشا ، ويعتبرها الغالبية منهم كبللورات متجمعة (Sphaerocrystals (Sphaerites فى شكل أجسام ذات ألياف قطرية أو بمعنى آخر فى شكل بللورات ابرية دقيقة Trichites كثيرة العدد متتالية الترتيب فى نظام قطرى . ويرى Meyer أن الاختلاف فى سمك طبقة هذه البللورات وفى عددها مما يميز طبقات الحبة المتراسبة المتتالية ، ويرجع ذلك إلى الاختلاف فى كثافة المادة التى تزود بها الحبيبات فى خطوات تكوينها ، فاذا مازودت البلاستيدة العديمة اللون بكمية وافرة من السكر أنتجت كمية كبيرة من مادة النشا لتكون إحدى الطبقات الكثيفة ، أما اذا حدث عكس ذلك كانت الطبقة أقل كثافة . وعادة تتكون الطبقات الكثيفة فى وجود الضوء أما الفترات المظلمة فتكون طبقاتها رقيقة مائية . ويعتقد Hugo Fischer فى وجود بعض الماء فى الطبقات الأقل كثافة فى شقوق قطرية تزول عند انقباض

الحبة بسبب جفافها ، كما يرى Büitcheli أن حبيبات النشا ذات تركيب شبه رغوى مشابهة فى ذلك البروتوبلازم .

٩ — البللورات Crystals

تتكون الغالبية الكبرى من البللورات الموجودة فى الأنسجة النباتية من أوكسالات الكلسيوم ، وتظهر كميات قليلة من هذا المركب فى الخلايا التى تكون الأنسجة المختلفة . ويمثل هذا المركب أحد النواتج الافرازية ، فحامض الأوكساليك الذى يتكون فى النبات نتيجة لعملية التحول الغذائى ذو طبيعة سامة للبروتوبلازم ، ولذلك فانه يتحد مع الكالسيوم مكوناً هذه البللورات الغير قابلة للذوبان ، وفى أحوال معينة قد تذاب أوكسالات الكلسيوم ثانية وتعود مرة أخرى لعمليات التحول الغذائى وذلك لقلة مادة الكلسيوم وحاجة النبات اليها .

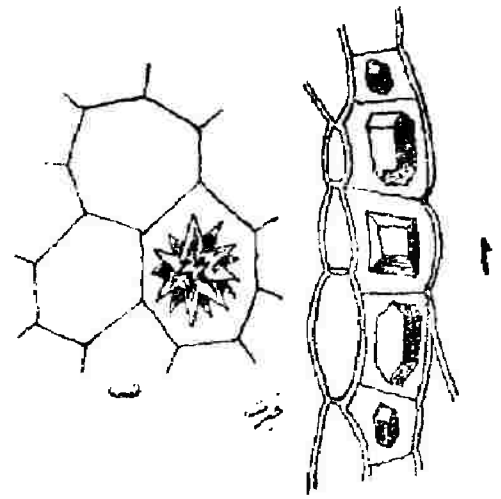
وتتميز الخلايا التى تسمى بالأكياس البللورية Crystal Sacs بأن بللورات أوكسالات الكلسيوم قد تشغل معظم محتوياتها — فى السيتوبلازم وفى الفجوات — وهى عند كبرها فى الحجم قد تملأ الفراغ الداخلى للخلية تقريباً ، وغالباً ما تعتبر الخلية البللورية التامة التكوين ميتة ، وفى مثل هذه الحالات تختزل المحتويات الداخلية للخلية كثيراً ، وقد يتغير حجمها وشكلها تبعاً لوجود هذه البللورات ، كما قد توجد البللورات فى حالة فردية فى الخلايا أو تكون مجتمعة معاً فى الخلية الواحدة .

والخلايا التى تحتوى على البللورات يتوقف نظام وجودها على عدة عوامل ، فهى مثل الأعضاء الإفرازية تميل لأن تكون مجاورة للأنسجة البرنشيمة الناقلة فى القشرة الأولية والثانوية وفى النخاع وفى الحزم الوعائية . ويقل وجودها فى الخلايا المجاورة للأنسجة الميكانيكية ، وذلك لعدم تبادل المواد بين الألياف مثلا والبرنشيمة الناقلة المجاورة لها ، وقليلا ما تظهر الأكياس البللورية بين خلايا البشرة ، كما قد توجد فى الشعيرات . فبعض الشعيرات العديدة الخلايا لجوز الهند تحتوى على البللورات الإبرية من نوع Raphides ، كما ترى أيضاً فى الشعيرات اللاذعة Stinging Hairs .

وقد تكون الأكياس البللورية مرتبة فى صفوف طولية كما فى معظم نباتات العائلة الزنبقية Liliaceae ونباتات Commelynaceae و Amaryllidaceae وتوجد البللورات عموما على أشكال مختلفة ، وقد تحتوى بعض النباتات على عدة أشكال منها . وأهم أنواعها ما يأتى :

(ا) البللورات الفردية Solitary Crystals

وهى معينة الشكل عادة فى أشكال وأحجام مختلفة (شكل ١٤ — ا) . ومثل هذه البللورات المميزة والتى توجد عادة على حالة فردية فى الخلايا تظهر فى أوراق Iridaceae وفى لحاء Pomaceae ، وأحسن أنواعها ما يرى فى الطبقة البللورية Crystal Layer لقصرات بعض البذور مثل الفاصوليا والملوخية . والنوع التام التكوين من هذه البللورات يظهر دائماً قريباً أو داخل الخلايا النجمية الحجرية Sclerotic C. التى توجد فى الأطوار المتأخرة بعد تكوين البريدرم وغيره من الأنسجة الثانوية ، كما توجد فى بعض الثمار فى مناطق خاصة ، وهى ذات علاقة بانفتاح الثمرة بعد جفافها كما فى ثمرة الملوخية . وترى فى حالة مزدوجة فى ثانى طبقات قصره *Phaseolus vulgaris*.



(شكل ١٤)
(ا) بللورات فردية . (ب) بللورة متجمعة

(ب) المسحوق المتبلور
Crystal Dust (Sand)

يتكون هذا النوع من بللورات عديدة دقيقة جداً لا يمكن تمييز حوافها وزواياها حتى تحت القوى المكبرة . وهذه تظهر عادة فى الخلايا ذات الجدر الرقيقة فى أوراق كثير من نباتات العائلة الباذنجانية Solanaceae ، وكذلك فى اللحاء الابتدائى فى سوق بعض النباتات مثل *Liriodendron* و *Sambucus* و *Cinchona* .

(ج) البللورات المتجمعة
Spherical Aggregates أو Sphaerraphides أو Drusy Masses

وهى عبارة عن مجموعة مستديرة الشكل لعدد من البللورات المتجمعة مع بعضها ، تشبه فى شكلها لحد ما النجمة المركبة أو الرؤوس ذات الزوائد الحادة التى كانت تستعمل فى الحروب (شكل ١٤ — ب) وهذه المجاميع تظهر دائمـا فى حالة فردية فى الخلايا المتساوية الاقطار . وتوجد بكثرة فى العائلات المختلفة مثل : Chenopodiaceae و Caryophyllaceae و Cactaceae و Araliaceae و Malvaceae و Tiliaceae .

وقد يظهر هذا النوع مختلطاً مع النوع الفردى فى اللحاء الثانوى كما فى نبات *Quercus pedunculata* و *Morus alba* وخلافها ، كما أنها ذات علاقة بسقوط الأوراق وقت الخريف .

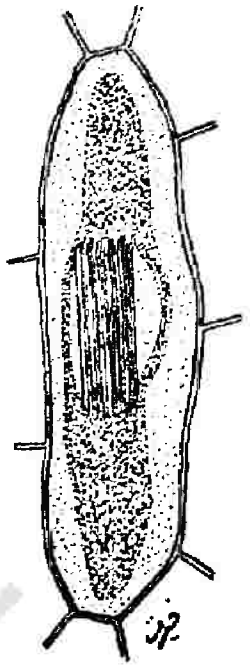
(د) السفيرايتس Genuine Sphaerocrystals or Sphaerites

يندر وجود هذا النوع من البللورات فى المملكة النباتية ، وترى فى نخاع أفرع *Terminalia Bellerica* و *T. paniculata* (عن Von Höhnel) ، وفى بعض نباتات Cactaceae (عن Möbius) ، فى قصرات بذور *Elisanthe noctiflora* و *Silene Cucubalus* وكذا بعض قصرات بذور Caryophyllaceae (عن Hegelmaier) .

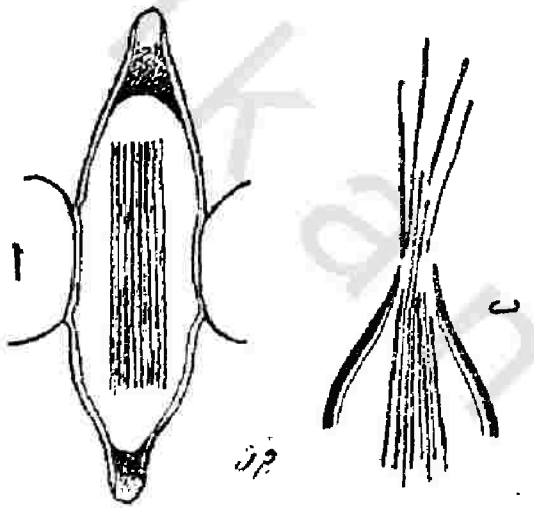
(هـ) الرافايدز Raphides

وهى بللورات طويلة ابرية تتجمع مع بعضها مكونة شكل حزمة ، ترقد فيها كل البللورات موازياً بعضها البعض ، وهى عادة متساوية فى الطول . والنوع النموذجى منها يوجد فى أوراق نباتات عائلات ذات الفلقة الواحدة مثل Liliaceae و Orchidaceae و Commelynaceae و Musaceae ، وقد توجد أيضاً فى بعض نباتات ذات الفلقتين مثل العنب . وقد تكون البللورات الابرية دقيقة جداً Trichites كثيرة العدد متتالية الترتيب فى نظام قطرى كما فى الطبقات المتتالية لحبيبات النشا .

والخلايا التى توجد بها هذه البللورات تكون مستطيلة أنبوبية الشكل (شكل ١٥)، وتكون كل بللورة فردية من الحزمة مغلفة فى غلاف رقيق يكون فى مبدأ أمره ذو طبيعة بروتوبلازمية ثم يتحول فيما بعد إلى مادة لا يعرف تركيبها الكيماوى . وحزمة الرافايدز بدورها تكون راقدة فى كتلة من مادة غروية ، وهذه تتكون داخل فجوة خاصة ، ولهذه المادة قابلية التقلص السريع عند ملامستها للماء . وأوكسالات الكلسيوم



(شكل ١٥)
خلية من قشرة نبات الدراسينا مملوءة بالمادة الغروية وتحتوى على حزمة الرافيدز × ١٦٠ ،
(عن ستراسبرجر)



(شكل ١٦)
(ا) خلية تحتوى على الرافيدز فى ورقة نبات *Pistia stratiotes* (ب) طرف الخلية مكبراً مبيناً اندفاع البللورات الى الخارج ،
(عن هابرلاندت)

المترسبة على هيئة هذه البللورات الإبرية ذات أهمية خاصة من جهة البيئة فهى تحمى النبات من الحيوانات الضارة . ويقول Lewin أن هذه الاجسام لاتؤذى الحيوانات ولكنها تساعد على حقنها بمواد سامة ، كما يحدث للاطراف الحادة للشعيرات اللاذعة Stinging Hairs . وعلى أى الاحوال فان شكل أكياس الرافايدز وخواص المادة الغروية المحيطة بالحزمة وحالة تغليظ جدر الخلية الموجودة بها ، كلها صفات تجعل

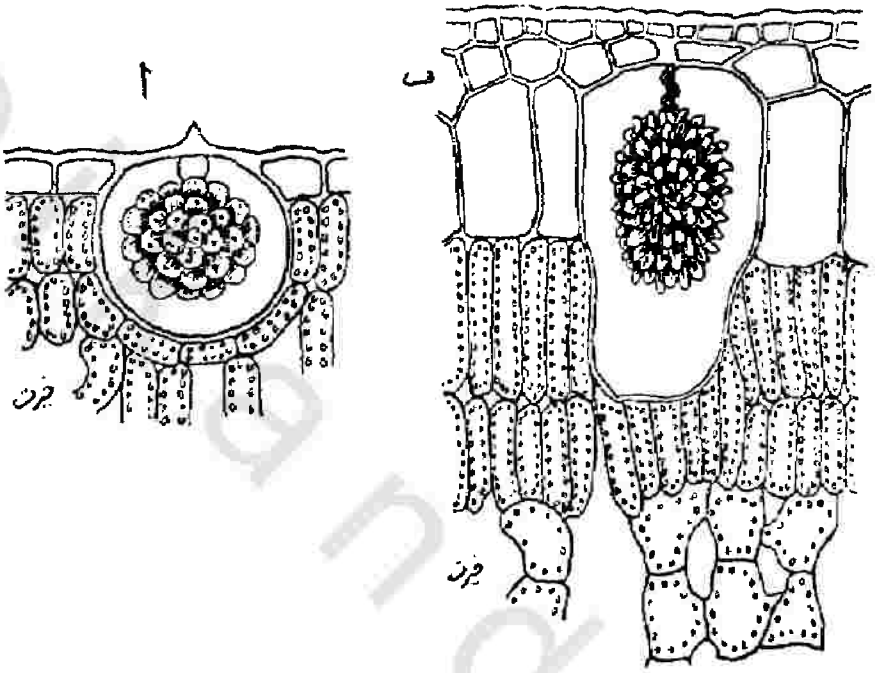
أكياس الرافايدز كعضو متخصص للوقاية . وأحسن مثال لذلك ورق نبات *Pistia stratiotes* ، فيتخلل طبقة الخلايا البرنشيمية التى تحيط بالغرف الهوائية على مسافات معينة خلايا مغزلية الشكل تحتوى على حزم الرافايدز وتمتد داخل هذه الغرف الهوائية . وجدر هذه الخلايا سميكة عادة ما عدا الطرفين فهما مستديرين ويغطى كل منهما غشاء رقيق (شكل ١٦) . فاذا هوجمت إحدى هذه الاكياس فسرعان ما ينفصل الغشاء الطرفى وتبرز الرافايدز للخارج بقوة كبيرة ، وغالباً تخرج بللورة واحدة تليها الاخرى، وذلك بسبب تقلص الغلاف الغروى ، وقد يجرح الحيوان الضار فى عدة مواضع بواسطة كيس واحد يحوى هذه البللورات .

(و) الحوصلات الحجرية Cystoliths

الانواع السابق ذكرها من البللورات متكونة كلها من أوكسالات الكلسيوم غير أنها قد تتكون أيضاً من مادة كربونات الكليسوم كما فى الحوصلات الحجرية Cystoliths ، وهى عبارة عن تغليظات كلسية ذات شكل خاص تتكون على جدر بعض الخلايا فى معظم نباتات URTICACEAE و MORACEAE و ACANTHACEAE وفى كثير من COMBRETACEAE و BORAGINACEAE . وفى العائلتين الأولى والثانية (مع استثناء بعض نباتاتهما) ، تتكون هذه الأجسام فى بعض خلايا البشرة ، داخل جدرها الخارجية وتتميز هذه بكبرها فى الحجم وبأنها مزودة ببروز على شكل عنق مغطى بعدة زوائد قد تكون مدببة أحيانا ، وترسب مادة كربونات الكلسيوم على هذا الامتداد بشكل عنقودى يكون معلقاً على الجدار الخارجى بواسطة العنق . والحوصلة الحجرية قد تملا الفراغ الداخلى للخلية أحيانا ، وتكون تامة التكوين فى أنواع معينة من جنس الفيكس مثل *F. elastica* و *F. carica* وخلافها . فتنشأ الحوصلة الحجرية فى بعض خلايا البشرة الخارجية للأوراق بينما يحدث للخلايا الأخرى عدة انقسامات تماسية لتكون البشرة المتضاعفة (شكل ١٧) .

والحوصلات الحجرية فى ACANTHACEAE ذات شكل مغزلى ولها عنق جانبى قصير ضعيف قد يصعب تميزه ، وتظهر فى خلايا بشرة الأوراق وكذلك فى النسيج البرنشيمى للجذور والسوق .

وإذا أذبنا المادة المعدنية فى حامض ما ، تبقى قاعدة عضوية مكونة من السليلوز المائى ، فى هيكل يظهر مكونا من طبقات مركزية غنية بمادة السليلوز . وغالبا ما يحتوى جسم الحوصلة الحجرية على قليل من السليكا وفى MORACEAE و URTICACEAE تزداد المادة السليكية بالعنق .



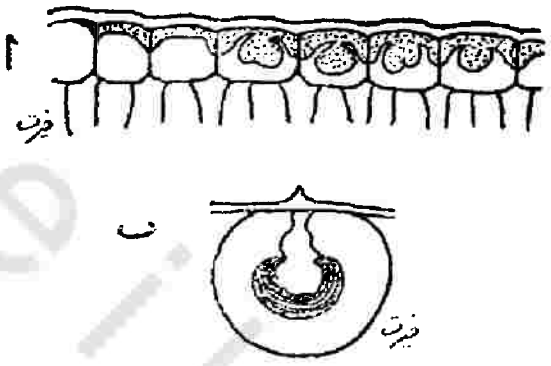
(شكل ١٧)

حوصلات حجرية (أ) *F. elastica* (ب) *F. carica* ، (عن هابرلاندت)

وهناك عدد من الأجسام ، أقل تميزاً ولكنها قريبة الشبه من الحوصلات الحجرية النموذجية ، وترى فى أوراق *Ficus carica* ، وتكون جدر خلايا البشرة العليا الخارجية كثيرة التغليظ ، ومنها تمتد الى داخل الخلايا أجسام على هيئة العقد تغطيها مادة كربونات الكلسيوم ، وهذه الأجسام المشابهة للحوصلات الحجرية يرى ما يماثلها فى بعض نباتات العائلة القرعية (شكل ١٨ — ا) .

وإذا كان من المحتمل أن تكون الحوصلات الحجرية أجسام ذات طبيعة إفرازية ، فان النباتات المزودة بها يبدو أنها تحتاج إلى كمية كبيرة من الكلسيوم ، فتختزن فى مثل هذه الأماكن مادة كربونات الكلسيوم حيث يحتاج اليها النبات أثناء عمليات التحول الغذائى .

وفى أحوال خاصة تذاب المادة الحيرية المتراسبة فى هذه الحوصلات مرة أخرى وتبقى الأعناق كما هى ، أما جسم الحوصلة فلا يبقى به شىء خلاف هيكل سليلوزى بنى اللون . ويرى ذلك فى بعض الحوصلات الحجرية لنبات *Ficus carica* وخصوصاً وقت الخريف (شكل ١٨ — ب) ، كما ترى هذه الحالة أيضاً فى الأوراق المسنة لنبات *Ficus elastica* . وقد توجد الحوصلات الحجرية فى حالة زوجية أو فى هيئة مجموعة كما يشاهد فى النسيج الميزوفللى لنبات *Cansjera timorensis* .



(شكل ١٨)

(أ) الحوصلات الشبه حجرية . (ب) حوصلة حجرية وقت الخريف ، (عن هابرلاندت)

ثالثاً — الجدار الخلوى The Cell Wall

القاعدة العامة فى النباتات الراقية أن تكون خلية البيضة المخصبة وكل مايليها من خطوات وأطوار الخلايا المشتقة منها التى تكون أو يبنى منها جسم النبات ، مزودة من مبدأ أمرها بغشاء خلوى . ويعتبر التركيب المميز لجدار الخلية النباتية أحد الفوارق الهامة بين النبات والحيوان ، ففى الأخير لا يكون للخلايا جدر واضحة تماما وهى ظاهرة خاصة بكثير من الأنسجة الحيوانية . وتقوم الجدر الخلوية التى تتكون بفعل الخلية النباتية مقام الهيكل العظمى فى الحيوان .

ويعتبر جدار الخلية مركباً عديم الحياة ، يوضع على سطح البروتوبلاست أثناء خطوات تكشف الخلية ولو أن السيتوبلازم ينفذ منه من أماكن معينة . وتعتمد الأشكال المختلفة للخلايا كثيراً على العلاقة بين البروتوبلاست وبين جدر الخلايا عند بلوغها .

أصل وتكوين الجدار الخلوى

The Origin and Development of the C.W.

تكون الخلايا المرستيمية فى القمم النامية رقيقة الجدر ، وبدراسة إحداها قبل تمام عملية الانقسام تلاحظ بعض الترسيبات على الألياف المغزليـــة فى المنطقة الوسطية

وتسمى هذه المنطقة التى تمثل ابتداء تكون الجدار Cell Plate ، وتكون فى أول أمرها فى حالة شبه سائلة تمر من النواة إلى المنطقة الاستوائية للخلية ثم تتحول تدريجياً إلى مادة نصف سائلة . ويرجع تكوين هذا الغشاء الرقيق إلى البروتوبلازم إما بافرازه للمواد المكونة له أو بتحول أجزاء منه إلى المادة التى يتكون منها هذا الغشاء . ويعتقد البعض أن هذا الغشاء ينشق بعد تكوينه إلى نصفين يتكون بينهما الجدار المتوسط Middle Lamella أو Intercellular Matter ، إلا أن البعض الآخر يستبعد ذلك . ويعتقد أن هذا الغشاء يتحول كيميائياً إلى الجدار المتوسط بترسيب مادة البكتين Pectin أولا ثم الكلسيوم ، وباتحادهما معاً تتكون مادة بكتات الكلسيوم ، وفائدتها لصق الخلايا بعضها . ولفحص خلايا الأنسجة المختلفة فى حالة مفككة Macerated Tissues ، تذاب هذه المادة اللاصقة باضافة مخلوط متساو من ١٠ ٪ حامض البروميك و ١٠ ٪ حامض الأزوتيك على درجة ٣٥° لمدة ٢٤ ساعة ، أو باستعمال كلورات الكلسيوم مع حامض الأزوتيك .

ويقع الجدار المتوسط بعد تمام تكوينه بين بروتوبلاستين متقابلين ، يفرز كل منهما طبقة سميكة أو أقل سمكا تتكون من السليلوز ومواد بكتنية مكونة الجدار الأولى للخلية Primary Wall ، وبذلك يصير الجدار المتوسط بين جدارين أوليين وهو يختلف عنهما وعن الجدر الثانوية فى تركيبه الكيمياوى . ويصعب أن يميز بين الجدار المتوسط والاولى بواسطة الميكروسكوب الا بعد معاملتهما بصبغات خاصة وكذلك باستعمال الضوء الفضى Polarized Light ، فيظهر الجدار المتوسط كخط أسود اللون بينما ينفذ الضوء من الجدر الاولية ، وبغير هذه الطريقة يظهر الجداران الاوليان مع الجدار المتوسط الذى بينهما كأنها طبقة واحدة . والجدار الاولى يكون عادة قابلا للمد السطحى والنمو بالنسبة لنمو الخلية وكبرها فى السن ، وبذلك تحدث به عدة تغييرات من جهة شكله وسمكه وتركيبه الكيمياوى .

الجدار الثانوى The Secondary Wall

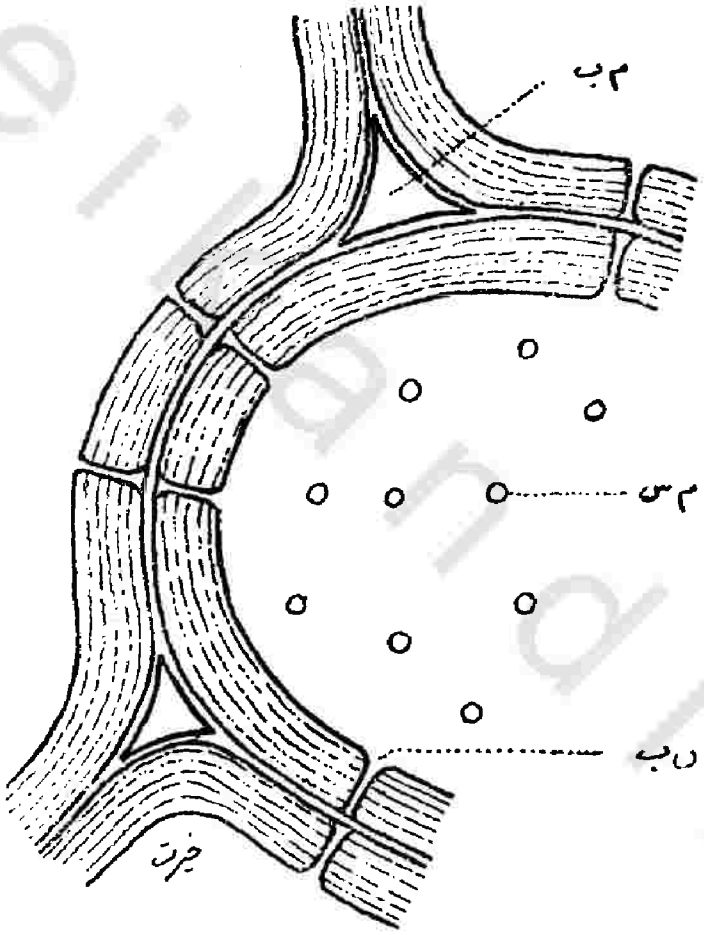
يتغير شكل الخلايا كلما اضطردت فى الكبر بالنسبة لعظم امتداد جدرها فى بعض الجهات دون الاخرى ، وقد تصبح الخلية تبعاً لذلك غير منتظمة الشكل ومثال ذلك الخلايا النجمية الشكل فى نخاع بنات *Juncus* . ويزداد الجدار الخلوى فى السمك باضطراد تحول الخلايا من مرستيمية إلى بالغة تبعاً لازدياد مقتضياته الميكانيكية . والزيادة فى السمك هامة فى أغراض عدة ، كما فى حالة تخزين الماء ويصحب ذلك تحورات غروية ، أو فى ترسيب المادة الغذائية السليلوزية المختزنة كما فى أندوسپرم البلح . ولا تحدث الزيادة فى السمك فى كل مناطق الجدار الخلوى بل تترك أماكن دقيقة بدون تغليظ ، بينما تزداد الاجزاء الاخرى فى السمك مكونة الجدار الثانوى الذى يعتبر من المنتجات التى يفرزها البروتوپلاست ، إما فى اتجاه Centrifugal (خارجى) أو Centripetal (داخلى) .

والزيادة فى السمك فى الحالة الأولى Centrifugal تحدث فى الخلايا التى لا تلامسها أخرى من كل جهاتها أو على الاقل فى جانب واحد . وأحسن الامثلة لهذا النوع من الزيادة فى السمك توجد بين حبوب اللقاح والجراثيم ، فيكون لها عادة سطح خشن الملمس يساعدها على الالتصاق بالاجسام الاخرى ، كما ترى أيضاً فى خلايا البشرة وفى الشعيرات فيظهر سطحها تبعاً لذلك متعرجا أو ذو عقد دقيقة .

أما فى الحالة الثانية Centripetal فان الجدار الثانوى يتكون داخل الاولى . وقد تحدث الزيادة فى سمك الجدار بتكوين أجزاء جديدة « تندمج » داخل التى تكونت من قبل ، وتسمى هذه الحالة Intussusception ، أما اذا تراسبت أو « أضيفت » أو « تراكمت » المواد الجديدة فوق القديمة فى شكل طبقات منفصلة ومتتالية (كصفحات الكتاب) فتسمى هذه الحالة Apposition (شكل ١٩) . ويغلب أن تزداد جدر الخلايا فى السمك بواسطة التراكم ، غير أنه فى كثير من الحالات قد يحدث للجدر الثانوية التى تكونت بالتراكم زيادة أخرى فى السمك بواسطة الاندماج ، وتسمى هذه الحالة Superposition .

وتتكشف عادة فى جدر الخلايا التى يزداد فيها السمك عدة طبقات مركزية تختلف كل منها عن الأخرى فى شكلها وفى تركيبها الكيمياوى ، وتسمى هذه الحالة

Stratification . واذا عوملت هذه الجدر بالمحاليل الكاشفة المناسبة تظهر كل طبقة مستقلة عن الأخرى وتسمى Stratum وهى تتكون بدورها من عدد من الطبقات الدقيقة . ففى خلايا الخشب والألياف يمكن أن تميز ثلاثة طبقات تسمى على التوالى : أولية وهى الخارجية ، وثانوية وهى المتوسطة ، وثالثة وهى الداخلية ، والثانوية المتوسطة هى فى العادة الأقوى تكويناً وتكون جزءاً أساسياً من الجدار الخلوى ، وتكون الطبقات الدقيقة فيها موازية للمحور الطولى للخلية ، بينما تكون الطبقة الثالثة الداخلية رقيقة ، وينتج هذا الوضع عن عوامل طبيعية وكيميائية .



(شكل ١٩)

الزيادة فى السمك بواسطة الأضافة — ن ب = نقرة بسيطة ، م ب = مسافة بينية ، م س = المنظر السطحى للنقرة البسيطة .

وفى بعض الأحيان تكون الطبقات الناتجة من الزيادة فى السمك فى الجدار الخلوى ، اذا فحصت فى منظرها السطحى ، متجهة فى وضع مائل بالنسبة للمحور الطولى للخلية . ويسمى هذا الوضع Striation ، ويعتمد كما فى الحالة الأولى على الاختلاف فى كمية الماء وعلى اختلافات كيميائية أخرى أو على وجود هذين العاملين معاً . وترى هذه الحالة فى جدر خلايا البشرة لنبات الهياسنت *Hyacinth* ، وكذلك فى جدر خلايا الألياف فى الطبقتين الخارجية والداخلية .

وقد تبقى أجزاء من الجدار الخلوى رقيقة لأسباب متعددة ، كما يشاهد فى الخلايا المسماة Velamen ، وكذا فى حالات التغليظ الشبكى والحلقى والحلزونى للأوعية الخشبية ليسهل على الساق الزيادة فى الطول .

التركيب الكيميائى للجدار الخلوى

تعتبر المحتويات الكيميائية الأساسية للجدر الخلوية النباتية كاربوايدراتية من مجموعة السليلوز ، ومعادلتها هى ز (ك٦ يد١٠ ا٥)٠ ويدخل السليلوز بنسبة كبيرة فى تركيب جدر خلايا الأنسجة النباتية المختلفة فى النباتات المزهرة ، كما يتكون بنسبة أقل فى النباتات اللازهرية والفطريات والطحالب ، وتختلف نسبته اختلافا كبيراً باختلاف عمر الخلايا ووظائفها وموضعها من النبات ، فكلما تقدمت درجة نمو الخلية زادت الطبقات المتكونة من السليلوز وعظمت كميته بها حتى يصل فى معظم الأحيان الى ملء معظم فراغها تاركا حيزاً ضئيلا تشغله محتوياتها . فاذا ما كمل نموها وبدأت فى الهرم أخذت المادة الحية فى الجفاف والالتصاق بالجدر الثانوية على هيئة غشاء مركب من مواد مختلفة بعضها عضوى مثل البروتين والدهن والزيوت وبعضها معدنى مثل النترات والفوسفات . ويذوب السليلوز فى أكسيد النحاس النشادرى بدون انحلال ، كما يذوب بسرعة وبدون انحلال أيضاً فى حامض الكبريتيك المركز . وتتخذ الجدر السليلوزية لوناً أزرقاً فاتحاً اذا أضيف اليها اليود مع حامض الكبريتيك المركز ، كما يختلف لونها ما بين الأزرق والبنفسجى القاتم باضافة كلور الزنك اليودى (Schulze's Solu.) .

ويكثر انتشار المادة المسماة هميسليلوز فى المملكة النباتية وتكون نسبة كبيرة من طبقات جدر الخلايا المغلظة فى الأنسجة المخزنة وخصوصاً فى حالة الأندوسپرم ، وهذه يسهل امتصاصها أثناء خطوات الانبات . وهى تختلف عن السليلوز العادى فى خواصها حيث تعطى بتحللها أنواعاً أخرى من السكر غير الجلوكوز . وتختلف نسبة وجود هذه المادة فى النبات باختلاف عمره ، ومن المعتقد أنها سليلوز احتياطى قابل للتغير فى حين أن السليلوز العادى لا يتغير اذا ما تكون فى الخلية . وبمعاملتها بالأحماض المخففة يسهل ذوبانها

فى القلويات ، كما تتحول بسهولة بالتسخين الى سكر خماسى وسداسى . وتنتمى المواد البكتينية الى الهميسليلوز وتتميز بمحتوياتها الغروية أو الجلاتينية ، كما تعتبر مادة الشيتين Chitin من أهم محتويات جدر خلايا الفطريات .

ويصحب رسوب السليلوز فى الخلية فى كثير من الأحيان رسوب مواد عضوية أخرى تختلف اختلافا كبيراً باختلاف موضع الخلية من النبات وباختلاف النبات نفسه . وتتصل هذه المواد اتصالا وثيقاً بالسليلوز حتى انه لايمكن فصلها عنه بسهولة ، ويعتقد أنها متحدة معه اتحاداً كيميائياً ، ويطلق على مثل هذا السليلوز اسم السليلوز المركب Comp. Cellulose. ومن المعتقد أن هذا الاتحاد ليس كيميائياً بل ادمصاصياً Adsorption ، بمعنى أن هذه المواد تتحد بالسليلوز بفعل الجاذبية السطحية التى تمليها الذرية الاضافية فى المواد (التجمع السطحى). وينقسم السليلوز تبعاً لذلك الى الاجنوسليلوز والبكتوسليلوز والسليلوز المخاطى والسليلوز الفلينى . ويوجد البكتوسليلوز أحيانا كمادة مختزنة فى الجذور الشحمية والريزومات.

وتحتوى جدر الخلايا الملجننة على عدة مواد مثل Xylan و Lignic Acids . وهى التى تكسبها اللون الأصفر باضافة سلفات الآنيلين ، والأحمر باضافة الفلوروجلوسين مع حامض الكلوردريك ، أو صبغة السفرانين .

ويتخلل جدر الخلايا المسوبرة أو المكوتنة مادة ذات طبيعة دهنية . ومثل هذه الجدر غير قابلة للذوبان فى حامض الكبريتيك ، وتكتسب اللون الأصفر باضافة اليوناسا الكاوية ، واللون البنى المصفر باضافة كاور الزنك اليودى .

وتتكون الجدر الغروية للخلايا بواسطة تحورات خاصة للسليلوز أو الأغشية البكتينية ، كما تحتوى كل الجدر الخلوية على كمية معينة من المادة المعدنية ، وتكون نسبة المواد الغير عضوية كبيرة فى حالة المسن منها ، فالسليكا وأملاح الكلسيوم (كربونات وأوكسالات الكلسيوم) من أكثر المحتويات المعدنية وجوداً فى جدر الخلايا المسنة .

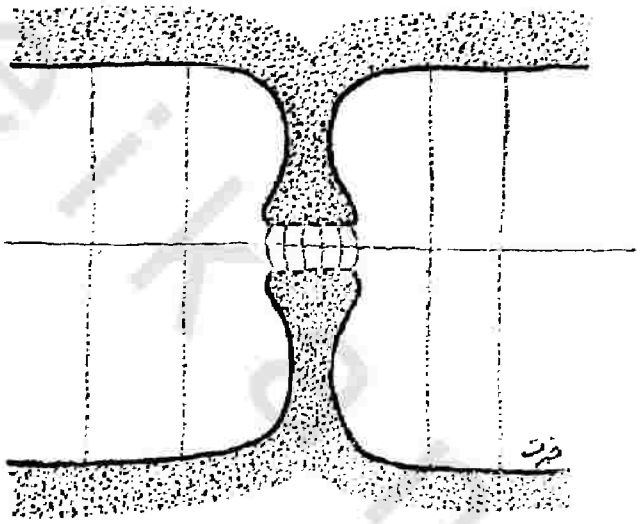
والتركيب الكيمياوى للجدر الخلوية ذو أهمية فسيولوجية وبيئية فمادة السوبرين والكيوتين تؤثر على مرور الماء والغازات ، وتوجد الأخيرة على جدر الخلايا الخارجية

للبشرة مكونة غطاء سطحياً للسوق الحديثة وكذا الأوراق فى النباتات الراقية. ويساعد اللجنين على انتقال الماء، حيث ان التيار يسير على الجدر وليس فى فراغات العناصر الناقلة. والجدر الغروية واسطة فى تخزين الماء وخصوصاً إذا ما وجدت فى الأوراق الخضراء، وفى حالة البذور والفواكه فان المادة الغروية تساعد على تثبيتها فى التربة أثناء الخطوات الأولى من الانبات، وفى كثير من النباتات البقولية تكون الجدر الغروية لخلايا الاندوسپرم كموضع لاختزان المادة المرنة، كما تعتبر المادة الغروية التى تظهر أحيانا فى النباتات المغمورة كأداة لحمايتها من الحيوانات الضارة . ووظيفة الجدر المحتوية على مادة السليكا والجير ميكانيكية غالباً، وخصوصاً فى حالة خلايا البشرة والشعيرات فان وجود هذه المواد بها يجعلها صلبة براقة، وقد تكون كظاهرة هامة فى أعضاء النبات التى تتخصص فى حمايته من الحيوانات الضارة، كما ينتج عن وجود هاتين المادتين سهولة فصل أطارف الشعيرات اللاذعة .

النقـــر The Pits

عندما يتكون الجدار الثانوى فى الخلايا تبقى مناطق عدة فى الجدار الخلوى بدون تغليظ وتسمي بالنقر Pits (شكل ٢٠)، وتوجد بقلة على الجدر الأولية كما يزداد وجودها فى الجدر الثانوية. والنقر ذات أهمية كبيرة حيث إنها تساعد فى تسهيل الانتشار بين الخلايا كما تقوم بنقل المواد من خلية لأخرى . وتقع هذه المساحات الغير مغلظة أمام بعضها فى الخلايا المتجاورة، أى ان كل نقرة فى الجدار الثانوى لاحدى الخلايا يقابلها نقرة مماثلة لها فى جدار الخلية الملاصقة، وقد تكون مختلفة عنها فى بعض الأحيان، وتظهر هذه المواضع مستديرة أو بيضية فى قطاعها العرضى . ويظن أن هذه النقر تنشأ فى جدر الخلايا فى أماكن معينة متخصصة تسمى بالمناطق التكوينية للنقر Primordial Pit Areas ، وفى هذه المناطق لا يحدث الترسيب الذى يكون الجدار الثانوى بل يشغلها فجوات تسمي Pit Cavities, Chambers يبطنها الاكتوپلاسب من الداخل، كما يفصل كل فجوتين متقابلتين غشاء يسمى غشاء النقرة Pit Closing Membrane. وتكون معظم أغشية النقر المتكونة بين الخلايا الحية مثقوبة بثقوب دقيقة يمر منها خيوط سيتوپلازمية دقيقة Cytoplasmic Threads أسماها ستراسبرجر Plasmodesma ، وهذه الخيوط

هى الواسطة الوحيدة فى الاتصال المباشر بين بروتوبلاست الخلايا المتجاورة ، كما تمثل هذه الاتصالات البروتوبلازمية قنوات مفتوحة لانتقال المواد من خلية الى أخرى . وقد تكون هذه القنوات كبيرة الاتساع كما يشاهد فى الانابيب الغربالية ، وذلك بسبب مرور كميات كبيرة من المواد البروتينية خلال الثقوب المتسعة للحواجز الغربالية .



(شكل ٢٠)

جزء من جدار خلية أندوسپرمية يبين الخيوط السيتوبلازمية مخترقة غشاء النقرة البسيطة وكذلك كل سمك الجدار × ١٥٠٠ ، (عن ستراسبرجر)

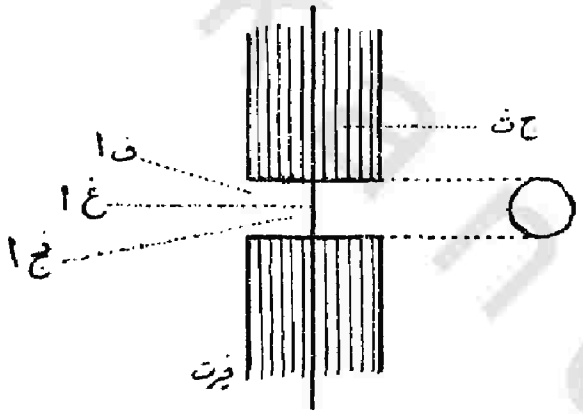
وأول من شاهد الخيوط السيتوبلازمية هو Tangl ، وتتقاطع هذه الخيوط مع كل جدار الخلية حتى فى المناطق المغلظة منه ، والقاعدة أن يزداد عددها عند أغشية النقر (شكل ٢٠)، أما الأجزاء المغلظة من الجدار فتتخللها هذه الخيوط فى حالة فردية وبذلك ترى مجاميع منها متقاطعة مع أغشية النقر بينما يتقاطع مع باقى الجدار خيوط فردية . وقد وجد Kuhla فى الخلايا البرنشيمية لقشرة نبات *Viscum album* أن عدد الخيوط التى تمر فى الغشاء الواحد للنقرة الواحدة قد يزيد عن ٢٠ خيطاً . ومن المحتمل أن تكون هذه الخيوط متكونة من مادة الاكتوبلاست وتعتبر امتدادات من هذه المادة التى تبطن فجوة النقرة من الداخل ، وانهما معاً يكونان مادة واحدة ، وتظهر عادة فى طور مبكر قبل تكوين الجدر الثانوية . وقد توجد هذه الخيوط الواصلة فى المحاليق فى الجدر التى تفصل خلايا البشرة عن الخلايا البرنشيمية الموجودة أسفلها ، كما يكثر عددها فى الخلايا المكونة لأطراف الجذور ، وهذه الخيوط هى المسئولة عن عمليتى التنبيه والحساسية . وقد يكون تأثير النواة فى تكوين جدر الخلايا منتقلا من خلية الى أخرى بواسطة هذه

الاتصالات السيتوبلازمية ، كما أنها تقوم علاوة على ذلك بنقل المواد المرنة كما يشاهد فى خلايا الأنسجة المخزنة لبعض البذور الأندوسپرمية .

والنقر على أنواع مختلفة منها :

١ — النقر البسيطة Simple Pits

يوجد هذا النوع فى خلايا النبات الحية البرنشيمية عموما وفى الجدر الداخلية لخلايا البشرة عند اتصالها بالنسيج الميزوفلى للأوراق ، وفى برنشيمية الخشب والأشعة النخاعية وفى خلايا الأنابيب الغربالية . وتظهر فى الجدار الثانوى كثقوب تمثل المناطق الغير مغلظة منه وفجواتها عادة منتظمة الاتساع ، ويكون شكلها فى المسقط الأفقى بيضياً أو مستديراً (شكل ٢١) .



(شكل ٢١)

رسم تخطيطى للقطاع الطولى والمسقط الأفقى للنقرة البسيطة — ج ث = جدار ثانوى ، غ ا = غشاء النقرة ، ف ا = فوهة النقرة ، فج ا = فجوة النقرة .

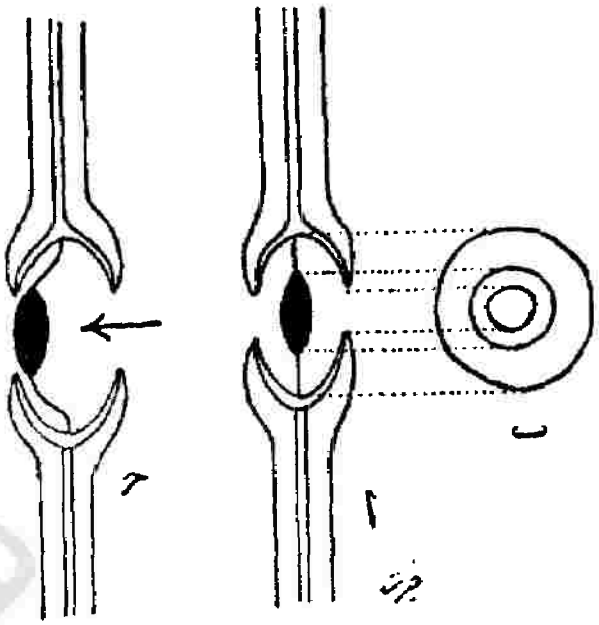
وتظهر النقر البسيطة فى خلايا الأنسجة المفككة فى منظرها السطحى كنقط مستديرة حمراء وذلك بالنسبة لانعكاس الضوء على غشاء النقرة ، وهذا مما يميزها عن المحتويات الأخرى الموجودة فى السيتوپلام أو فى فجوة الخلية (شكل ١٩) .

ويسهل مشاهدة هذا النوع من النقر فى النسيج الاندوسپرمى لبذرة البلح ، وخلاياه الخارجية مستطيلة الشكل تشبه الخلايا العمادية وتتحول الى متساوية الأقطار فى الداخل ، وهذه تحتوى جدرها الجانبية على عدد كبير من النقر البسيطة بينما تقل أو تنعدم فى الخلايا المكونة للطبقة الخارجية .

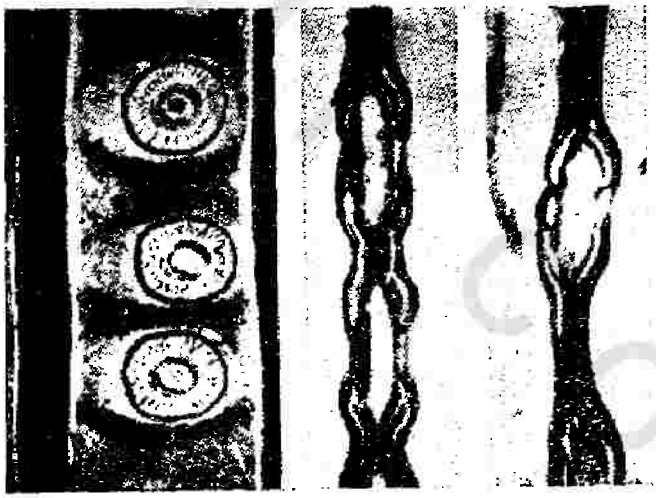
٢ — النقر المضفوفة ذات الجانبين Two-Sided Bordered Pits

وهى عبارة عن تحور مميز من النقرة البسيطة العادية ، وتمتاز بوجودها الخلايا الناقلة للماء ، وهى ذات شكل خاص وتقوم بوظيفة فسيولوجية هامة . والنقرة المضفوفة

بخلاف البسيطة فجوتها غير منتظمة الاتساع فيزداد اتساعها كثيراً قرب غشاء النقرة ، والسبب فى استدارة فجوتها امتداد من الجدار الثانوى يسمى Border . وتكون فجوة النقرة بسبب تقابل نقرتين على جانبى الجدار ، وتكون منقسمة الى نصفين متساويين بواسطة غشاء النقرة المتوسط . ولا يكون سمك هذا الغشاء متساويا فى كل أجزائه إذ يوجد على مركزه كتلة قد يزداد أو يقل سمكها تسمى بالسرة Torus ، يزيد قطرها قليلا عن فوهة النقرة (شكل ٢٢ — ا) . وفى بعض المخروطيات يكون مقطعها عصويا فى خشب الربيع أو محدبا فى خشب الخريف . أما باقى غشاء النقـــرة فرقيق وذو قابلية للصبغ بصبغات الهيماتوكسيلين والأيوسين . وتظهر النقرة المضفوفة فى منظرها السطحى بشكل الزرار وتتكون من ثلاثة دوائر مركزية (يظهر منها اثنتان غالباً) ،



(شكل ٢٢)
رسم تخطيطى للنقرة المضفوفة — (ا) قطاع طولى .
(ب) المسقط الأفقى . (حـ) السرة منضغطة نحو فوهة النقرة .



رسم فوتوغرافى لكل من المنظر السطحى والجانبى للنقر المضفوفة لنباتى *Larix laricina* و *Pinus sp.* × ١٠٠٠
(عن Baily)

فالخارجية منها تبين حدود فجوة النقرة ، والوسطى تبين السرة ، والداخلية تمثل فوهة النقرة (شكل ٢٢ — ب) . ويختلف شكل النقر المضفوفة فى منظرها السطحى كثيراً بالنسبة لاختلاف شكل الفوهة والفجوة فقد تكون هذه الأجزاء مستديرة أو اهليلجية أو ضيقة مستطيلة .

وقد تكون النقر المضفوفة مرتبة فى صفوف طولية أو أفقية أو فى مجاميع حلزونية وقد تكون متباعدة عن بعضها أو متزاحمة .

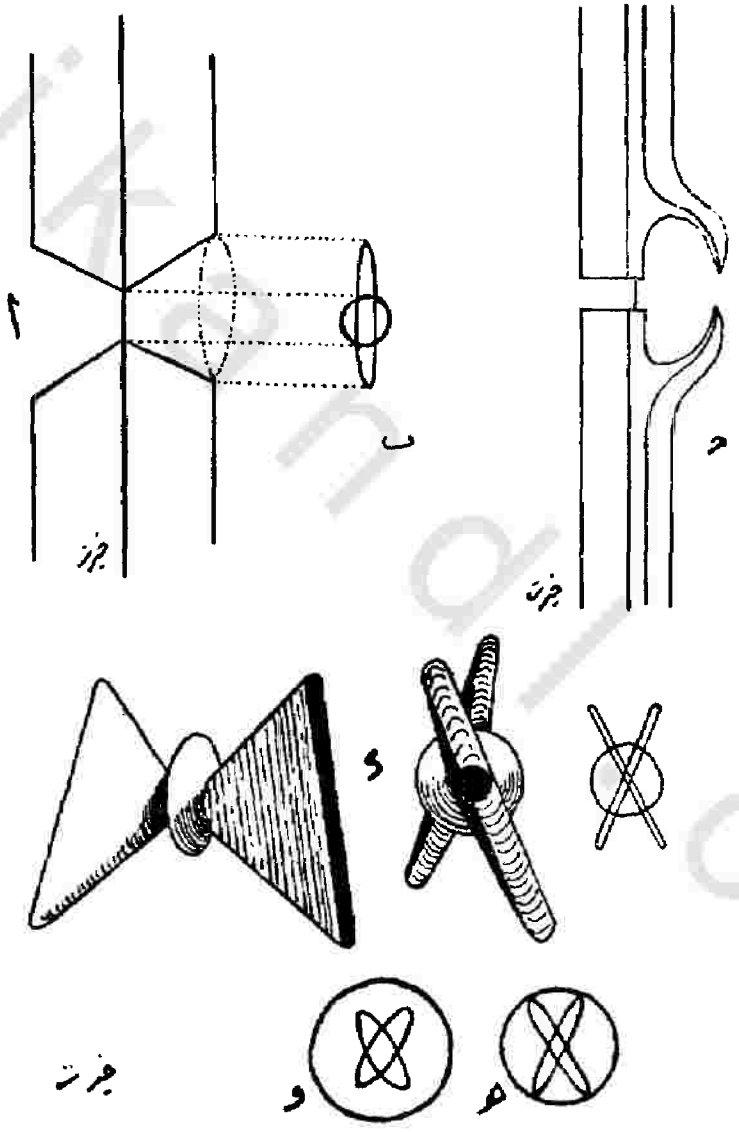
وقد وجد Burns نقراً مضفوفة أنموذجية (وهى التى تختص بوجودها الأوعية الناقلة للماء) فى الجدر الجانبية لخلايا بشرة أنواع معينة من النباتات مثل *Stylidium Streptocarpum* وتكون هذه الجدر فى هذه الحالة مغلظة لأسباب ميكانيكية كما يسهل وجود هذا النوع من النقر بها تبادل الماء بين خلايا البشرة المتجاورة .

والسرة ذات أهمية خاصة فى تنظيم توزيع الماء ، فقد تضغط نحو فوهة النقرة وبذلك تقفلها وذلك فى حالة عدم تساوى الضغط على جانبي غشاء النقرة (شكل ٢٢ — حـ) ، وفى حالة تساوى الضغط على الجانبين أو إذا كان الفرق قليلا بينهما تبقى السرة فى وضعها ويحدث الانتشار فى هذه الحالة فى النقرة بسهولة من المساحة الخافية الرقيقة للغشاء . وإذا تركت قطعة رقيقة من خشب المخروطيات لتجف فإن النقر تنقفل جميعها وتتجه كل أغشيتها نحو الجانب الأقل ضغطاً . ويسهل دراسة تكوين النقرة المضفوفة فى بعض المخروطيات مثل *Pinus sylvestris* .

٣ — النقر النصف مضفوفة أو ذات الجانب الواحد Half-Bordered or One Sided- Pits.

وهى تمثل تقابل نقرتين إحداهما مضفوفة والأخرى بسيطة فى خليتين الأولى ميتة والثانية حية ، ومثال ذلك النقر التى تظهر على جدر القصبات والقصيبات التى يجاورها خلايا برنشيمية كبرنشيمة الخشب والأشعة النخاعية فتتكون بذلك النقر ذات الجانب الواحد (شكل ٢٣ — حـ) . ويكون نصف النقرة من جهة الوعاء الناقل مضفوفا والنصف

المقابل له من جهة الخلية البرنشيمية بسيطاً . وفى هذه الحالة لا تتكون السرة فى غشاء النقرة الذى يبقى رقيقاً فى كل أجزائه . وقد بسبب الضغط فى الخلية البرنشيمية اندفاع هذا الغشاء جهة الجانب المضغوط ، وبذلك يصبح شكل غشاء النقرة أنبوبياً ويندفع فى فجوة النقرة جهة فتحتها وينفذ فى الفراغ الداخلى للوعاء مكونا مايسمى بالحوصلة التيلوزية.



(شكل ٢٣)

(ا ، ب) قطاع طولى ومسقط أفقى فى نقرة مختزلة . (حـ) نقرة نصف مضغوطة . (د) أحد أشكال النقرة المختزلة يبين تقاطع الفوهتين . (هـ) نقرة مختزلة تساوت فوهتها مع فتحة فجوتها . (و) نقرة مختزلة صغرت فوهتها عن فتحة فجوتها .

٤ — النقر المختزلة أو الأثرية Reduced or Vestigial Pits

يظهر هذا النوع من النقر فى الخلايا الزائدة فى الطول وذات الجدر الزائدة التغليظ كمعظم ألياف الخشب واللحاء ، وتظهر فى شكل مجاميع طولية أو مائلة ، كما قد توجد فى قواعد بعض الشعيرات .

ويعتبر هذا النوع مورفولوجيا كالنقر المضفوفة ، الا أن النقرة المضفوفة النموذجية تمتاز باستدارة كل من فتحات فجواتها وفوهاتها ، أما هذا النوع فيختلف عنها فى أحجامها وتركيبها . ففى هذا النوع من النقر تمتد الفوهة نحو الفجوة فى هيئة أنبوبية وذلك بالنسبة لسمك جدر العناصر الموجودة بها ، وكلما زاد سمك هذه الجدر كلما صغرت الفجوة عادة ، وتبقى الفجوة فى هذه الحالة مستديرة الشكل دائما . وتظهر النقرة فى مقطعها الطولى كالقمع المنضغط أو المنبسط (شكل ٢٣ — ا) ، وذلك بسبب انضغاط قناة الفتحة وخصوصاً من جهة نهايتها الخارجية ، إلا أن فتحة قاعدة القمع من جهة الداخل تبقى مستديرة بصفة دائمة . والفتحة الخارجية ، تكون ضيقة ذات شكل إهليجى وبذلك يظهر المنظر السطحى لأحد جانبى النقرة فى شكل دائرة صغيرة مستديرة (فتحة قاعدة القمع جهة الفجوة) يتقاطع معها دائرة منضغطة طولياً (الفوهة الخارجية) ، (شكل ٢٣ — ب) . وقد تظهر النقرة فى شكل دائرة صغيرة يتقاطع معها فوهة كل من الجانبين فى شكل × بالنسبة لميل وضع كل فوهة عن وضع الفوهة الأخرى (شكل ٢٣ — د) . وقد تكون الفوهة أصغر حجما من الفجوة أو قد تساويها (شكل ٢٣ — هـ ، و) ، الا أنها غالبا ما تزداد عنها وذلك بسبب ازدياد ضيقها وانضغاطها وهذا هو الوضع الذى تغلب مشاهدته . ويكون غشاء مثل هذه النقر بسيط التركيب خالياً من السرة كما يفقد القدرة على تغيير موضعه ، ومثل هذه النقر لا وظيفة لها من الوجهة الفسيولوجية .

٥ — النقر الحافية Marginal Pits

قد تزود الجدر الخارجية للبشرة فى بعض النباتات بمواضع تختلف فى أشكالها وتشبه النقر ، وقد تكون عديمة الوظيفة غير أنه يقال انها تسهل عملية التحول الغذائى المتبادلة بين النبات والوسط المحيط به .

٦ — نقر التهوية Ventilating Pits

وتوجد فى سوق وأعناق بعض النبات فى مظهر يشبه العديسات ، وهى عبارة عن انخفاضات مملوءة بنسيج مفكك كثير المسافات البينية تنشأ أسفل الثغور ويكون تكوينها سبباً فى تمزق خلايا البشرة الموجودة أعلاها . وهى غير مزدود بمرستيم مستمر وتتصل مباشرة بالنسيج الأساسى البرنشيمى وتعتبر فتحات للتهوية .

انقسام الخلية The Cell Division

يعتمد تكوين الأنسجة فى كل النباتات الراقية على الانقسام المتكرر للخلية ، والنبات الكامل ينشأ فى الأصل من البيضة المخصبة أو الزيجوت وهذا بتوالى انقسامه يكون الجنين بأجزائه المختلفة ، وتتكون معظم هذه الأجزاء من خلايا مرستيمية تنشط عند الإنبات ويحدث بها عمليات الانقسام . فنمو النبات راجع الى الزيادة فى عدد هذه الخلايا وكذلك الى الزيادة فى أحجامها . ويشمل الانقسام النموذجى فى الخلية النباتية وحيدة النواة للنباتات الراقية مجموعتين من التغيرات ، أولهـا : تجزؤ البروتوبلاست حيث يكوّن عادة جداراً بين الخليتين الناتجتين عن عملية الانقسام ، وثانيها : انقسام النواة ، والنواة تتكون من الشبكة النووية وما هى إلا كروموسومات مندمجة مع بعضها فى حالة سكون . ولما كانت الكروموسومات تحمل العوامل الوراثية كان من اللازم عند الانقسام وجود عوامل خاصة تحفظ هذه الصفات .

ويحدث انقسام الخلايا فى النباتات الراقية بطريقتين وهما : (أولا) الانقسام الغير مباشر ، (ثانياً) الانقسام الاختزالى :

أولا — الانقسام الغير مباشر
Indirect, Metotic Division (Mitosis)

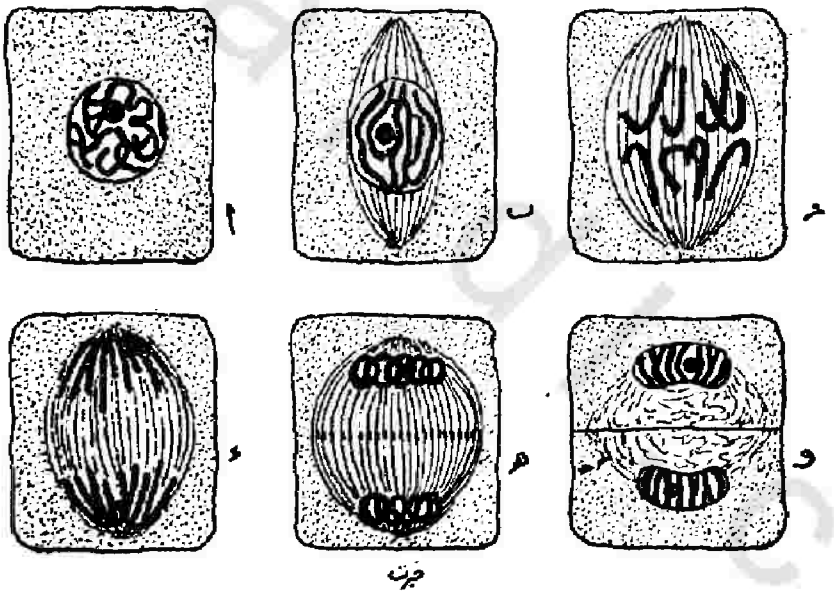
يحدث هذا النوع من الانقسام عادة فى الخلايا النشطة فى الساق والجذر والورقة ويسمى أيضاً Somatic or Homophyte Division ، وأطلق عليه Schleicher اسم Kariokinesis . ويضمن هذا الانقسام أن كتلة النواة الأصلية تقسم من حيث

الكمية والنوع بالتساوى بين نواتى الخليتين الناتجتين ، كما يتساوى عدد الكروموسومات فى كل من النواتين الناتجتين مع عدده فى النواة الأصلية . ولما كانت النواة هى الأداة التى تحمل العوامل الوراثية التى تنتج عنها الصفات فيما بعد ، كان هذا النوع من الانقسام خير ضمان لتوزيع هذه العوامل فى جميع خلايا النبات الناتجة من عملية الانقسام .

ويتميز الانقسام الغير مباشر بالخطوات الآتية :

١ — الطور التحضيرى Prophase

إذا أوشكت الخلية على بدء عملية الانقسام يحدث للنواة عدة تغيرات تمهد لها ذلك ، فخيوط الشبكة النووية تزداد فى السمك ويقل طولها (شكل ٢٤ — ١) ،



(شكل ٢٤)

الخطوات المختلفة لانقسام الخلية الغير مباشر كما ترى فى القمة النامية لجذر البصل *Allium cepa* ،
(عن هابرلاندت)

وفى نفس الوقت فان كرات الكروماتين يكبر حجمها وتشبه الأقراص فى شكلها ثم تتحل الشبكة مكونة حبلا ملتويا . وفى هذه الأثناء تتلاشى النوية أو النويات كما يبدأ الغشاء النووى بدوره فى التلاشى .

٢ — الطور الانقسامى Metaphase

ينقسم الحبل الكروماتينى الى عدد محدود من أجسام تسمى بالكروموسومات Chromosomes (شكل ٢٤ — هـ) ، وهى قضبان تتخذ عادة شكل حرف U أو L . ثم تنتظم الكروموسومات فى مستوى واحد فى وسط الخلية مكونة ما يسمى بالصفحة الوسطية Equatorial Plate ، وتتجه الناحية المنحنية فى الشكلين U أو L دائماً نحو وسط الخلية . ويلاحظ فى هذا الطور انقسام كل كروموسوم طولياً الى نصفين متساويين فى طور مبكر .

وأثناء حدوث هذه التغيرات تظهر أشرطة بلازمية عند القطبين أولا وتسمى Polar Caps ثم تتكشف خيوط بروتوبلازمية مماثلة مكونة شكل حزمتين متصلتين بالقطبين (شكل ٢٤ — ب ، هـ) .

وتكون النوية والغشاء النووى فى هذه الحالة قد اختفتا تماما بينما تمتد الخيوط من كل من القطبين الى الداخل وتثبت نفسها فى ظهور الكروموسومات ، كما تتكون خيوط أخرى من القطبين تتصل أطرافها مكونة خيوطاً كاملة تجرى من كل قطب نحو الآخر. وتسمى كل هذه الخيوط البروتوبلازمية بالألياف المغزلية Spindle Fibres ، كما تسمى فى مجموعها بمغزل النواة Nuclear Spindle .

٣ — الطور الانفصالى Anaphase

تنقسم الكروموسومات طولياً كما سبق ذكره ، ثم ينجذب نصف كل كروموسوم متجهاً نحو القطب المقابل له ، وبذلك تتكون مجموعتين متقابلتين تبدأ كل منهما فى تكوين نواة جديدة (شكل ٢٤ — و) بأن تتصل أعضاء كل مجموعة بطرق مختلفة ، ثم يظهر الغشاء النووى محيطاً بكل منهما ، كما تتكون النويات كذلك .

وتعتبر الألياف المغزلية كخيوط مرنة تجذب الكروموسومات من الصفحة الوسطية الى القطبين المتقابلين ، أو كخطوط ذات قوة مغناطيسية ممثلة الممرات التى تسير فيها الكروموسومات .

٤ — الطور النهائى Telophase

بعد تمام تكوين نواتى الخليتين الجديدتين ، يضاف الى مجموعة الألياف المغزلية عدد من الخيوط الأخرى تنبعج كلها مكونة شكل البرميل ، ويزداد سمك هذه الخيوط فى المنطقة الوسطية مكونة أجساما شبه عصوية وهذه تتصل مع بعضها لتكون ما يسمى صفحة الخلية Cell Plate (شكل ٢٤ — ه) . وهى تتكون في أول الأمر من غشاء بلازمانى متجانس يشبه الاكتوبلاست ثم ينقسم الى طبقتين يفرز بينهما جدار الخلية الجديد (شكل ٢٤ — و) ، وبذلك يتكون من الخلية الأمية الخليتين الجديدتين ، ثم تتلاشى الخيوط تدريجياً ويصعب تمييزها حيث تندمج مع سيتوبلازم الخلايا الجديدة ، وبذلك تتم عملية الانقسام .

وقد تنقسم الخلية انقساما مباشراً Direct Division بانقسام النواة إلى قسمين بدون ضمان تساوى توزيع مادتها ونوعها ، كما يحدث فى النباتات الدنيئة . ونادراً ما يظهر هذا الانقسام فى النباتات الراقية ، وقد يشاهد فى الخلايا المسنة كما فى سلاميات نبات *Tradescantia* فتظهر النواة وقد انقسمت الى قسمين غير متساويين وغير منتظمى الشكل . إلا أن الانقسام الغير المباشر فى الخلايا وحيدة النواة يتبعه كقاعدة عامة انقسام فى الخلية ، ولا يحدث هذا فى حالة الانقسام المباشر .

وقد تنقسم النواة انقساما مستمراً ويتكون تبعا لذلك عدد كبير من الخلايا ، وتسمي هذه الحالة Free Nuclear Division and Multicellular Formation . فنواة الكيس الجنينى عند تكوين اندوسپرم البذور تنقسم إلى قسمين وينقسم كل منهما بدوره إلى قسمين وهكذا ، حتى يتكون فى النهاية آلاف من النوايا . ولا يصحب هذا الانقسام المتكرر للنواة انقسام فى الخلايا ، بل تبقى هذه النوايا مبعثرة فى السيتوبلازم الملاصق لجدار الكيس الجنينى من الداخل . ولما ينتهى الكيس الجنينى من الكبر فى الحجم تحيط النوايا نفسها بخيوط تصلها ببعضها وتتشعب منها فى كل الاتجاهات ، ثم تظهر الصفحات الخلوية فى هذه الخيوط ومنها تنشأ جدر الخلايا .

ثانياً — الانقسام الاختزالى
Reduction, Heterophyte, Sexual Division (Meiosis)

يتم هذا النوع من الانقسام فى الخلايا الجنسية للنباتات الراقية ، كما فى حبوب اللقاح والبويضات ، وتحتوى نواة كل منهما تبعاً لهذا الانقسام على نصف الكروموسومات بدلا من العدد الكامل المعتاد وجوده فى نوايا خلايا النبات الأخرى . وبعد عملية الاخصاب يكون الزيجوت محتويا على العدد الأصلى ، وتنقسم خلاياه بطريقة الانقسام الغير مباشر لينكون النبات الجديد .

وخطوات الانقسام الاختزالى هى :

١ — الطور التحضيرى

وخطواته أكثر تعقيداً مما هو فى الانقسام الغير مباشر ، فتكبر الخلية الأمية فى الحجم وتنفصل تدريجيا عما يجاورها من الخلايا ويصبح شكلها بيضياً ، وتزداد كمية العصير النووى كما تتجه الشبكة الكروماتينية نحو أحد جوانب النواة ، ثم تتفكك إلى عدد من الكروموسومات ، ويقل بعد ذلك حجم وكمية العصير النووى كما تظهر مجاميع من خيوط بروتوبلازمية مارة من غشاء النواة نحو السيتوبلازم .

٢ — الطور الانقسامى

تأخذ الكروموسومات فى القصر كما تزداد فى السمك ، وتظهر فى حالة أزواج يلتف بها كل كروموسوم حول الآخر — وذلك ما يسمى بعملية الازدواج Synapsis . وتختفى النويات والعصير النووى ويقل حجم النواة كما تظهر بها الكروموسومات المتقاربة محاطة بالغشاء النووى ، أما الخيوط البروتوبلازمية فتتجه كل مجموعة منها نحو قطبين متقابلين فى شكل مغزلى Bipolar Spindle .

٣ — الطور الانفصالى

يتلاشى الغشاء النووى وتنفرد الكروموسومات وتصطف فى وسط الخلية فى صفين متقابلين يشمل كل منهما نصف عددها ، ثم تتجه كل مجموعة نحو القطب المقابل لها وتتجمع لتكون شبكة نووية ، كما يبدأ الغشاء النووى فى التكوين والنويات فى الظهور .

٤ — الطور النهائى

تختفى الخيوط البروتوبلازمية ويتكون العصير الخلوى بين كروموسومات كل من النواتين الجديدتين كما تتكون صفحة وسطية تفصل كلا منهما عن الأخرى . وبذلك تتم عملية الانقسام الاختزالى بانقسام الخلية الأمية إلى خليتين تحتوى نواة كل منهما على نصف عدد الكروموسومات التى كانت موجودة فى نواة الخلية الأمية الأصلية .

وفى العادة يتلو الانقسام الاختزالى انقسام غير مباشر ، ففى تكوين حبوب اللقاح تنقسم الخلية الأمية أولا انقساما اختزالياً إلى خليتين ، ثم تنقسم كل من هاتين الخليتين انقساما غير مباشر ، وبذلك تتكون أربعة خلايا ، ويمثل هـذا الانقسام الرباعى Tetrad Division تتكون أنواع الجراثيم المختلفة .