فسلجـــة النبات Plant physiology

المحاضرة الاولى

إعداد: د. أنس منير توفيق

كلية الزراعة/جامعة تكريت

الخلية النباتية The plant cell

تعرف الخلية بشكل عام بأنها اصغر تركيب منتظم يمثل الوحدة التركيبية والوظيفية الفسلجية التي يبنى منها الكائن الحي نباتاً كان ام حيواناً.

ومن الممكن تعريف الخلية النباتية بانها قطعة سايتوبلازمية ذات نواة محاطة بجدار خلوي توجد في صورة منفردة او على هيئة مجاميع وتحتوي على تراكيب متعددة الانواع، واصل كلمة Cell هي الكلمة اللاتينية Cellula اي الحُجرة الصغيرة واول من استعمل هذا اللفظ هو العالم الانجليزى روبرت هوك في القرن السابع عشر كما اسلفنا سابقاً.

وقد يتكون جسم النبات من عدة خلايا (متعدد الخلايا Multicellular) حيث نجد فيه انواع مختلفة من الخلايا فيما يتعلق بالوظيفة والتركيب، وتسمى فيه مجموعة الخلايا التي تنجز سوية وظيفة معينة بالنسيج Tissue. وهناك نوع اخر من النباتات يتكون من خلية واحدة (وحيد الخلية Unicellular) تنجز فيه الخلية جميع الفعاليات الحيوية بنفسها وقد تكون هذه النباتات وحيدة الخلية مفردة او قد تكون مرتبطة بشكل او باخر لكن هذا الارتباط لا يعني ان هناك اي نوع من تقسيم العمل فيما بينها.

هناك نوعان اساسيان من الخلايا هما الخلايا الطلائعية النوى Prokaryotic cells والخلايا حقيقية النوى Eukaryotic cells وهما يختلفان عن بعضهما بالحجم، والبنية الداخلية وبالعضيات.

جدول يمثل اوجه المقارنة بين الخلايا Prokaryotic cells و Eukaryotic cells .

الصفة	Prokaryotic cells	Eukaryotic cells
حجم الخلية	٠,٥ – ٥ مايكرون	تصل حتى ٤٠ مايكرون
الشكل	وحيدة الخلية	وحيدة الخلية، او كثيرة الخلايا
المادة الوراثية DNA	DNA صغير الحجم، حلقي موزع في السايتوبلازم، لاتوجد نواة حقيقية ولانوية ولاكروماسومات تتضمن نسخة واحدة من DNA كروموسوم مفرد	DNA كبير الحجم خيطي يشترك مع البروتينات في تكوين الكروموسومات، وتوجد ضمن النواة، وتوجد نوية. تتضمن الخلايا الجسمية نسختين من كروموسوم
الرايبوسومات	صغيرة	كبيرة
العضيات الخلوية	قليلة العدد ولاتوجد عضيات محاطة بغشاء مثل النواة والبلاستيدات والمايتوكوندرية	كثيرة ومتنوعة محاطة بغشاء بسيط او مركب وتتخصص كل منها بوضيفة محددة
التنفس	يحدث في طيات داخلية من الغشاء الخلوي	يحدث التنفس الهوائي داخل المايتوكوندريا
الجدار الخلوي	يحتوي الهيموسيلّلوز مع احماض امينية، المركب الاساس الذي يقوي الجدار مادة الميورين	يحتوي عند النباتات الخضراء على الهيموسيللوز، و يكون البكتين المركب الرئيسي لدى الفطريات
التركيب الضوئي	لاتوجد بلاستيدات خضراء، يتم في حال وجوده فوق الاغشية	يحدث في البلاستيدات الحاوية اغشية يتكدس بعضها فوق بعض
الانقسام الخلوي	انقسام مباشر	انقسام خيطي Mitosis
التكاثر الجنسي	التكاثر الجنس الحقيقي مفقود، وقد يصادف ان يكون هناك اقتران يتم خلاله تبادلDNA بين خليتين	يوجد تكاثر جنسي حقيقي يتضمن حدوث انقسام منصف Meiosis
تثبيت النتروجين	بعضها يملك هذه الخاصية	لايملك اي منها هذه الخاصية

شكل الخلية وحجمها Cell shape and size

تختلف الخلايا النباتية في الشكل كما تختلف في الحجم، فمن ناحية الشكل قد تكون الخلايا النباتية مكعبة Cubical او منشورية Prismatic او انبوبية Tubular او اسطوانية Cylindrical او كروية Spherical او بيضوية Oval او متعدد السطوح Polyhedral .

وتختلف الخلايا النباتية في احجامها حسب اختلاف النباتات و حسب موقعها في النبات الواحد، وعلى العموم فاكثر الخلايا النباتية يقع حجمها بين ١٠ - ١٠٠ مايكرون على الرغم من ان بعض البكتيريا يقرب حجمها من مايكرون واحد، وان بعض الالياف النباتية قد يصل الي عدة سنتيمترات وقد يصل طول الخلية الحليبية Latex Cell الي عدة امتار حين تمتد خلال النبات.

تتميز الخلايا النباتية بوجود جدار يحيط بها وينشا منذ بداية تكوين الخلية النباتية، وتفصل هذه الجدران بين مناطق نشاط النوى وتدعم الوحدات البروتوبلاستية، كما وتحفظ النبات وتعطيه هيكل معين، وبناءاً على هذا فان جدران الخلايا لها اهمية كبيرة من ناحيتي التحديد الوظيفي و الثبات الميكانيكي للنبات.

ان عدم ملائمة الظروف الخارجية للبروتوبلازم الحي والمحافظة على الجسم النباتي ادى الى تخصص الخلايا في صور مختلفة وخاصة في بناء الجدار الخلوي، وهذا ما نلاحظه في النباتات الراقية من تعدد انواع الخلايا واختلافها في الوظيفة والتركيب والتنظيم وتركيب الجدار، فهناك اختلاف في الخلايا من ناحية التركيب والوظيفة واختلاف في علاقات الخلايا مع بعضها واختلاف في نسق انتظام الخلايا والتئامها في مجموعات بينها صلات ولها علاقة بجسم النبات ككل. ان مثل هذه الامور تضيف تعقيدا للتنظيم الخلوي في النباتات الى درجه ان تعقد التركيب الخلوي في جسم النبات يتناسب مع مرتبته في السلم التطوري. وان هذا التداخل في مهام الخلية يدعى بالتعقيد الخلوي في النبات Cellular Complexities in Plants.

تركيب الخلية النباتية The structure of plant cell

توجد انواع متعددة من الخلايا في النباتات الراقية وتختلف هذه الخلايا في الوظيفة والتركيب بالاضافة الى الشكل والحجم والترتيب وتعقد الجدار. وتتكون الخلية النباتية من جزئين متميزين هما البروتوبلاست وجدار الخلية.

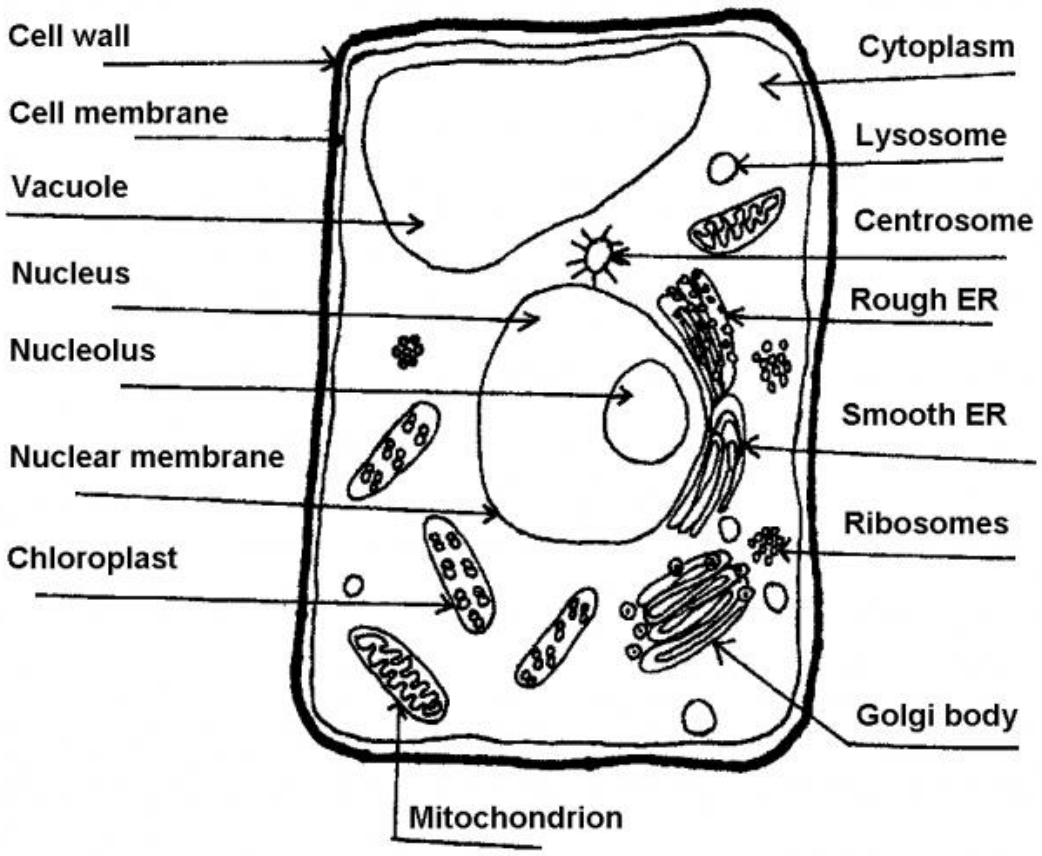
أولاً- البروتوبلاست Protoplast وهو يمثل وحدة البروتوبلازم بكل ما يحتويه ضمن الخلية الواحدة من مكونات حية وغير حية. ومن الناحية الكيميائية يعتبر البروتوبلازم خليط من مواد عضوية واخرى غير عضوية، وتشكل البروتينات والليبيدات والكربوهيدرات والحوامض العضوية اهم المركبات العضوية في البروتوبلاست. ويعتبر البروتين اكثر هذه المواد توفراً فهو يؤلف حوالي ثلث الوزن الجاف من البروتوبلازم. اما المركبات غير العضوية الموجودة في البروتوبلازم فهي الماء والاملاح باختلاف انواعها ويكون الماء ما نسبته ٨٥-٩٠% من الوزن

الطري للبروتوبلازم الفعال، اما الاملاح العضوية فهي لاتزيد عن ١% عادة، وان نسبة الماء العالية في البروتوبلازم تعتبر ذات اهمية كبيرة حيث وجد انه كلما ازداد المحتوى المائي للبروتوبلازم كلما ازدادت فعاليته الايضية Metabolic activities . وعلى سبيل المثال فان البذور لا تبدأ فيها عمليات الانبات اذا بقيت جافة في حين ان تجهيزها بالماء يزيد من فعالية البروتوبلازم الذي له علاقة بالتفاعلات الكيميائية والعمليات الايضية (بسبب عدم نشاط الكثير من المواد الكيميائية بدون وجود الماء). وتعتبر هذه الحاله مثال واضح على اهمية الماء في حيوية البروتوبلازم وفي انبات البذور.

ويعتبر البروتوبلازم وسط معقد جداً من الناحية الفيزيائية والكيميائية، حيث توجد البروتينات والليبيدات بصورة غروية او مستحلبة او معلقة، اما الاملاح والكربوهيدرات فتوجد على هيئة محلول حقيقي. وان اهمية البروتوبلازم تكمن في امكانيته الفسلجية حيث تحدث فيه عمليات التحول الغذائي بما في ذلك عملية الهدم Anabolism و تحرير الطاقة وعمليات البناء Catabolism والتي تتضمن عملية التركيب الضوئي وتكوين الليبيدات والبروتينات والجدران الخلوية وغيرها من مكونات الخلية، وعملية التمثيل Assimilation التي تعتبر اخر العمليات الحيوية في البروتوبلازم والتي تؤدي الى تكوين بروتوبلازم حي جديد من مواد غير حية.

ويتضمن البروتوبلاست نوعين من المكونات هما المكونات البروتوبلازمية كالسايتوبلازم والبلاستيدات والمايتوكندريا وغيرها، ومكونات غير بروتوبلازمية كالعصير الخلوي والمواد الايضية غير الحية الاخرى.

PLANT CELL



cell membrane, centrosome, cytoplasm, Golgi body, lysosome, mitochondrion, nuclear membrane, nucleolus, nucleus, ribosome, rough endoplasmic reticulum (rough ER), smooth endoplasmic reticulum (smooth ER), vacuole, chloroplast, cell wall

أ- المكونات البروتوبلازمية Protoplasmic Components

١- السايتوبلازم والاغشية البلازمية Cytoplasm and Protoplasmic Membranes

السايتوبلازم في الخلايا الحية الفعالة يكون على هيئة مادة سائلة متجانسة نسبياً يحيط به من الخارج غشاء يدعى الغشاء البلازمي او الاكتوبلاست Plasma membrane or Ectoplast

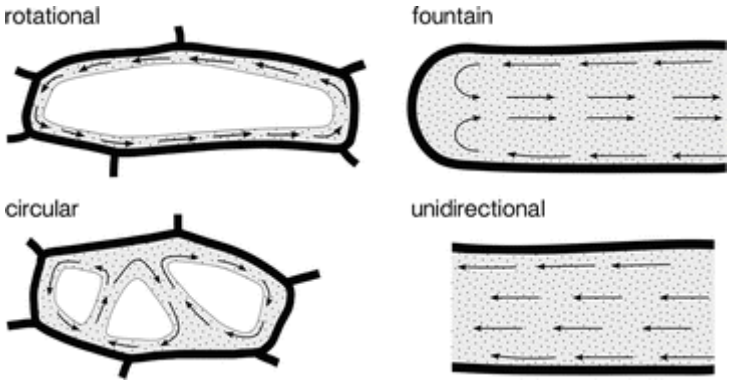
وهو الغشاء الذي يغطي جدار الخلية النباتية كما يوجد فيه غشاء يفصله عن كل تركيب يتضمنه. ويدعى الغشاء الذي يحيط بالفجوة العصارية بالغشاء الفجوي Vacuolar membrane or Tonoplast. واغشية السايتوبلازم هي اجزاء حية وفعالة من الخلية ولها القابلية على النمو بالاضافة الى قابليتها على الالتئام اذا ما حدثت فيها تشققات بسيطة، وهي اغشية تفاضلية او انتخابية Differentially or Selectively Permeable membranes يعتمد مرور المواد المذابة من خلالها على حجم وطبيعة هذه المواد وعلى طبيعة الغشاء نفسه وعلى الظروف الفسلجية والبيئة للسايتوبلازم. وعلى الرغم من عدم امكانية رؤية الاغشية البلازمية بواسطة المجاهر الاعتيادية، فانه من الممكن التاكد من وجودها اما بعملية البلزمة او بواسطة ضغطها بابرة صغيرة Microneedle حيث ان زوال الضغط على الغشاء يرجعه الى حالته الطبيعية، اما اذا حدث في الغشاء تشققات بسيطة فانها سرعان ما تلتئم.

وقد اوضح بواسطة المجهر الالكتروني ان السايتوبلازم يتكون من تركيب دقيق يتضمن جهاز معقدا من الاغشية، وهذا المعقد الغشائي يعرف بالشبكة الاندوبلازمية. وتتكون الشبكة الاندوبلازمية من تجاويف محاطة بغشاء وتظهر هذه التجاويف بشكل مقاطع مزدوجة الخطوط وكل خط من هذه الخطين يمثل غشاءا منفرداً. وتوجد بين هذين الغشائين مادة غير معروفة التركيب يوجد على سطحها باتجاه السايتوبلازم حبيبات صغيرة تعرف بالرايبوسومات. ويعتقد ان الشبكة الاندوبلازمية تجهز الخلية بغشاء داخلي واسع تتوزع عليه الانزيمات بصورة منتظمة كما تجهزها بحواجز تفصل المواد الايضية او المتحولة Metabolites عن بعضها. واذا كانت الشبكة مستمرة بامتدادها داخل الخلية، فان ذلك يساعد على نقل المواد من جزء الى اخر داخل الخلية.

وقد ثبت ان السايتوبلازم والنواة يكونان معا نظاماً فسلجياً متكاملاً ذلك ان كلا منهما يحتاج الاخر لكي يبقى حياً. فاذا اخرجت النواة من السايتوبلازم او قسمت خليه الى قسمين احدهما يحتوي على النواة والاخر لا يحتوي عليها فإن السايتوبلازم عديم النواة لا يستطيع الاستمرار في العيش و يؤدي ذلك الى موته.

السايتوبلازم يتحرك داخل الخلية، وتدعى هذه الحركة بالحركة السايتوبلازمية Cytoplasmic Streaming ويستدل على هذه الحركة من ملاحظة الحبيبات الموجودة في السايتوبلازم او من ملاحظة البلاستيدات اذا كانت موجودة. وتختلف هذه الحركة باختلاف الظروف الخارجية كدرجة الحرارة مثلاً، وتكون هذه الحركة على شكلين اما دائرية Circulatory او محيطية

Rotatory، حيث تكون دائرية عندما تكون النواة في وسط الخلية تقريباً حيث يتصل السايتوبلازم المبطن لجدار الخلية بالسايتوبلازم المحيط بالنواة بواسطة خيوط سايتوبلازمية، وتكون الحركة عند ذلك في احد هذه الخيوط متجهة من السيتوبلازم المبطن للجدار باتجاه السايتوبلازم المحيط بالنواة وفي الخيط الاخر بالعكس (عكس الاتجاه). وتكون الحركة محيطية عندما تكون النواة في وضع جانبي نتيجة لوجود فجوة عصارية واحدة كبيرة الحجم تتوسط الخلية ويتحرك السايتوبلازم عند ذلك باتجاه واحد بمحاذاة الجدار الخلوي (لاحظ الشكل ادناه). وان هذه الحركة تسهل انتقال المواد داخل الخلايا كما تساعد على انجاز عمليات التحول الغذائي و توزيع المواد من خلية الى اخرى.



٢- النواة The Nucleus

توجد النواة داخل السايتوبلازم باشكال مختلفة داخل الخلية النباتية التي ليست في حالة انقسام، هي تكون اما شبه كروية او شبه اهليليجية او مفصصة، او تكون باشكال اخرى. و تحاط بغشاء يسمى بالغلاف او الغشاء النووي Nuclear Membrane or Envelope و هو يشبه الشبكة الاندوبلازمية في حالة كونه مزدوجاً. بالاضافة الي وجود اتصال بين الغشائين النووي و الاندوبلازمي. وبما ان الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum متصلة بالروابط البلازمية Plasmodesmata فهذا يعني ان هناك جهاز غشائي يربط النواة بنوى الخلايا المجاورة. وللغشاء النووي ثقوب هي اداة الوصل بين محتويات النواة والسايتوبلازم.

وبسبب كثرة العصير النووي في النبات يمكن اعتبار النواة كمادة سائلة في بروتوبلاست الخلية وان نسبة البروتين في السايتوبلازم هي اعلى ما تكون عليه في النواة، وتعتبر نسبه الـ DNA و الـ RNA كاساس للتمييز بين السايتوبلازم والنواة. ففي النواة تكون نسبة الـ DNA اعلى مما هي عليه في السايتوبلازم وعلى العكس تكون نسبة الـ RNA. ويعتبر الـ DNA هو المسؤول عن

حمل الصفات الوراثية ويتمركز الـ RNA في النوية. ولا تختلف النوى في حجومها واشكالها في خلايا النباتات المختلفة فقط بل هي تختلف في خلايا النسيج الواحد في نفس النبات ويعود السبب الى عدد الكروموسومات الموجودة في النواة وفي حجم كل كروموسوم وبالنسبة لكمية العصير النووي. كذلك يمكن ان يختلف حجم النواة بالنسبة لمراحل انقساماتها.

وتوجد النويات داخل النواة وهي تختفي في نهاية الطور التمهيدي Prophase من الانقسام النووي وتظهر ثانية في مراحل الطور النهائي Telophase في كروموسومات معينة في جميع الكائنات الحية تقريبا لها زوج من الكروموسومات على الاقل كل فرد منها يحمل نوية هذا وان عدد النويات يعتبر صفه مميزة لنوع معين من الكائنات الحية عن بقية الانواع كما يكون عليه عدد الكروموسومات، وقد وجد ان عدد النويات قد يصل الى عشرة في بعض النباتات وقد يكون عدد النويات في خلايا نسيج من الانسجة متغيراً وذلك ناتج عن اندماج النويات حالا بعد مرحلة الطور النهائي.

لقد اوضحت العديد من الدراسات الكيمياوية ان النوية مركز تجمع الحامض النووي RNA. ويصنع في هذه المنطقة الحامض النووي RNA الرايبوسومي r-RNA ويمكن صنع هذه الحوامض النووية من قبل جينات قريبة من بعضها في نفس الكروموسوم تحتل منطقة من الكروموسوم المتصلة بالنوية ويطلق على منطقة هذه الجينات بمنطقة تنظيم النوية Nucleolar Organizing region. اما صنع البروتينات في النوية فالادلة تشير الى ان البروتينات تصنع في السايتوبلازم ثم تنتقل الى النواة والنوية ولايعرف فيما اذا كانت البروتينات تصنع في النوية نفسها غير ان ذلك غير محتمل بسبب عدم وجود رايبوسومات ناضجة تستطيع اداء مثل هذا البناء البروتيني ويعتقد بأن النوية تساهم في ربط البروتين مع r-RNA لتكوين جسيمات رايبوسومية اولية pre-ribosomal particle. هذا وان النويات لزجو ونصف صلبة واكثف من العصير النووي وهي تحتوي على فجوات واجسام شبه بلورية.

٣- البلاستيدات Plastids

وهي اجسام بروتوبلازمية محددة بصورة واضحة ذات تركيب خاص ووظيفة معينة وتحتوي على غشاء مزدوج عادة يتضمن اجساماً هي الاخرى ذات غشاء. وعلى الرغم من اختلاف البلاستيدات في التركيب والوظيفة والشكل فان منشأ البلاستيدات جميعا من تراكيب اولية Pro-plastids متشابهة. والبلاستيدات لها القدرة على التغير من نوع الى اخر و توجد في

جميع النباتات عدا بعض النباتات الواطئة كالفطريات و بعض الطحالب و البكتيريا. وهي على هذا الاساس تعتبر من الخصائص المهمة التي تتميز بها النباتات عن الحيوانات و يوجد في الخلية الواحدة عدد من البلاستيدات يختلف من واحدة او اثنتين في بعض النباتات الواطئة الى اعداد كبيرة في خلايا النباتات الراقية. ويعتمد تصنيف البلاستيدات على وجود او عدم وجود صبغات Pigments معينة في هذه الاجسام.

ان البلاستيدات التي لاتوجد فيها صبغة تدعى بالبلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts والبلاستيدات ذات الصبغات تدعى بالبلاستيدات الملونة Chromoplasts. ومن بين البلاستيدات الملونه تعتبر البلاستيدات الخضراء Chloroplasts ذات اهمية خاصة نظراً لعلاقتها بعملية التركيب الضوئي Photosynthesis ، ولهذا فان البلاستيدات الخضراء تصنف ضمن مجموعة مستقلة تختلف عن مجموعة البلاستيدات الملونة.

للبلاستيدات القدرة على التكاثر بالانقسام المباشر وقد وجد ان الخلايا المرستيمية تحتوي على بلاستيدات اولية لا تحتوي على تراكيب داخلية، وكل بلاستيدة تحتوي على حبة نشأ وتدعى هذه البلاستيدات بالبلاستيدات الاولية Proplastids.

أ- البلاستيدات الخضراء Chloroplasts

توجد بكثرة في الانسجة التي تقوم بعملية التركيب الضوئي كالنسيج الوسطي للورقة والاجزاء الخضراء الاخرى من النبات. وتكون قرصية او قاعدية الشكل ثابتة من ناحية الشكل والحجم (عكس البلاستيدات الملونة) تتركب من غشاء مزدوج يحيط بالسدى Stroma ويسمى احيانا Matrix وتحتوي على حبيبات Grana تتركب من اقراص غشائية معقدة تسمى Thylakoids منضدة بعضها فوق البعض الاخر وتتصل الكرانا فيما بينها باغشية ما بين الحبيبات تسمى intergrana lamellae. ويعزى اللون الاخضر في البلاستيدات الى وجود مادة الكلوروفيل الذي يتكون بالاساس من نوعين هما كلوروفيل a ولونه اخضر مزرق، وكلوروفيل b ولونه اخضر. كما توجد صبغات اخرى في البلاستيدا ت الخضراء مثل الزانثوفيل والكاروتين ولكنها تختفي تحت تأثير اللون الاخضر.

ب- البلاستيدات الملونة Chromoplasts

وهي تراكيب ذات الوان مختلفة منها الاحمر والاصفر والبرتقالي واليها تعزى الالوان النباتية في الغالب وتوجد في جميع اجزاء النبات حيث لا يرتبط وجودها بالضوء وتكون ذات اشكال

مختلفة فمنها الكروي والعصوي والمفصص واشكال اخرى كثيرة غير منتظمة. ويكثر وجود هذه البلاستيدات في الازهار والثمار وهي تنشأ من بلاستيدات خضراء او عديمة اللون. ان سيادة بعض الالوان مثل اللون الاحمر في النبات يعود الى زيادة نسبة الكاروتين Carotene وزيادة الزانثوفيل Xanthophyll تعطي اللون الاصفر. من وظائف هذا النوع من البلاستيدات هو المساعدة على جذب الحشرات لغرض التلقيح، كما وتعمل على تخفيف التاثير الضار الناتج من شدة الاضاءة، وامتصاص الطاقة الضوئية وتحويلها الى الكلوروفيل a ، كما انها مصدر جيد لفيتامين A. كما انها مسؤولة عن انتاج هرمون Abscisic acid او هرمون الشيخوخة الذي يعمل كمثبط نمو في النبات.

ومما تجدر الاشارة اليه ان اللون في بعض الثمار والازهار والجذور قد يكون ناجماً عن وجود مادة ملونة ذائبة في العصير الخلوي كمادة اللانثوسيانين Anthocyanin التي توجد في جذور الجزر الاحمر والبنجر.

جـ البلاستيدات العديمة اللون Leucoplasts or Non-pigmented plastids .

توجد في جميع اجزاء النبات غير المعرضة للضوء كالجذور والبذور والدرنات، وظيفتها خزن النشأ كما في بلاستيدات النشأ Amyloplasts وخزن الزيت Elaioplasts وكذلك صنع الزيت بالاضافة الى بلاستيدات البروتين Proteinplast التي تقوم بخزن البروتينات لحين الحاجة لها. وتوجد البلاستيدات الزيتية في الحزازيات ، ذوات الفلقة الواحدة وفي نبات السوسن Iris تقوم بخزن الزيت والنشأ معا. وتوجد البلاستيدات عديمة اللون بحالات عديدة منها البلاستيدات الاولية Proplastids تكون موجودة في الاطوار الاولى من تطور الانسجة وعند تعرضها للضوء تتحول الى خضراء. والبلاستيدات المبيضة Etioplasts التي تنتج عن حرمان الورقة من الضوء حيث تختفي الصبغة الخضراء.

٤- المايتوكوندريا Mitochondria

هي اجسام بروتوبلازمية حية لها القدرة على النمو والانقسام ، تكون مغمورة في سايتوبلازم الخلايا المختلفة وبخاصة الخلايا المرستيمية. لها اشكال مختلفة اكثرها شيوعاً الشكل العصوي وتكون اكثر لزوجة وكثافة من السايتوبلازم. تتركب من بروتينات ذائبة تعرف بالحشوة matrix ويوجد بها DNA الخاص بها وتحتوي على الرا يبوسومات ، وتغلف الحشوة بغلاف يتكون من طبقتين يشبه في تركيبه الغشاء البلازمي، الغشاء الداخلي متعرج وذو نتوءات تمتد

للداخل تسمى الرشراشات Cristae ويوجد على هذه الطبقة الاف من جسيمات تشبه الدبابيس متصلة بالغشاء، يعتقد ان هذه الجسيمات تحتوي على الانزيمات اللازمة لتحويل مركب ADP الى مركب ATP ، فضلاً عن احتوائها على الانزيمات اللازمة لدورة كربس ، لهذا تظهر اهمية الما يتوكوندريا في انها تقوم بتفاعلات التنفس لإعطاء الطاقة لمختلف انشطة الخلية.

٤- الرايبوسومات Ribosomes

وهي اجسام بروتوبلازمية متناهية الصغر، وقد توجد حره على شكل مجاميع سابحة في السايتوبلازم، او متصلة بالشبكة الاندوبلازمية الخشنة، وقد توجد على طول الغشاء النووي اوداخل النواة، كما توجد داخل البلاستيدات الخضراء والمايتوكوندريا ولكن بأحجام اصغر من المعتاد.يتكون جسم الرايبوسوم من جزئينٌ غير متساويين احدهما بروتيني ويبلغ وزنه حوال ٤٠% والاخر الحامض النووي RNA ويبلغ حوالي٦٠% من الرايبوسوم. تقوم جسيمات الرايبوسومات بوظيفة تكوين البروتين، ويجب ان تتجمع الرايبوسومات لغرض ان تصبح نشطة في تكوين البروتين، وترتبط الرايبوسومات عادة في مجاميع بواسطة نوع من الحامض النووي يسمى mRNA . وعموماً توجد الرايبُوسومات في المناطق النشطة فسلجياً.

٥- اجسام كولجي Golgi bodies

يتكون جهاز كولجي من مجموعة اجسام تسمى دكتيوسومات Dictyosomes منتشرة في السايتوبلازم وتتكون من اقراص جوفاء ذات غشاء مفرد تدعى Cisternae مرتبة بشكل طبقات Stacks يوجد بداخلها مركبات عديدة كالبروتينات والكاربوهيدرات، يخرج من اطراف الاقراص انابيب عديدة متفرعة تنته عادة بحويصلات، ويعتقد بأن الحويصلات تستعمل في بناء الغشاء البلازمي والجدار الخلوي والفجوة العصارية، كما ان المواد الافرازية قد تفرز خارج الخلية لذلك يزداد عدد وحدات جهاز كولجي في الخلايا النباتية المختصة بالإفراز كما في خلايا القلنسوة للجذر والتي تفرز مواد هلامية خارج الخلايا تساعد على سهولة انزلاق الجذر بين حبيبات التربة، لذا فان وظيفة جهاز كولجي هي الافراز.

٦- الاجسام الكرويةٌ Spherosomes

جسيمات بروتوبلازمية كروية الشكل تشبه الليسوسومات الموجودة في الخلايا الحيوانية، يتكون الجسم المركزي من حشوة كثيفة بروتينية تحاط بغشاء مفرد، يعتقد بانها تحتوي على انزيمات التحلل لذا تدعى بالاجسام الحالة كما وتلعب دور في عمليات الخزن وصنع الدهون.

٧- الجسم المركزي Centriole

يتكون من انابيب دقيقة microtubules مرتبة حول محيط الاسطوانة على هيئة تسعة مجاميع كل مجموعة تحتوي على ثلاثة من الانابيب الدقيقة، وهذه الانابيب توجد في الحشوة المكونة من مواد غير متبلورة. يظُّهر الجسم المركزي عندما تكون الخلية في طور السكون على شكل حبيبة صغيرة بجانب النواة، اما اثناء انقسام الخلية فيظُّهر زوج من الاجسام المركزية تقوم بترتيب المغزل في عملية انقسام الخلية.

٨- -الاجسام الدقيقة Microbodies

تراكيب حويصلية غشائية تشبه لحد كبير الاجسام الحالة، قد تحتوي على تراكيب بلورية. تنشأ من الشبكة الاندوبلازمية عن طريق التبرعم ، تحتوي بداخلها على بعض الانزيمات كأنزيم الكاتاليز الذي يحلل بيروكسيد الهيدروجين وبذلك تتخلص الخلية من ضرره التأكسدي السام، كما وتوجد في خلايا البذور أذ تعمل على تحويل الدهون الى سكريات يستغلها الجنين عند الانبات. كما يعتقد ان لها دوراً مهماً في التخلص من نصف كمية الكحول الاثيلي بأكسدته لمركب الاستيلدهايد وتكسير الاحماض الدهنية وتكوين انزيم Acetyl co-enzyme A .

ب- المكونات غير البروتوبلازمية Non-protoplasmic Components

١- الفجوات والعصير الخلوي Vascuoles and Cell Sap

توجد الفجوات على هيئة تجاويف داخل السايتوبلازم مملوءة بسائل هو العصير الخلوي الذي تتغير مكوناته من خلية الى اخرى او حتى من فجوة الى اخرى في نفس الخلية. وتتميز الفجوات في الخلايا المرستيمية بأنها صغيرة الحجم كثيرة العدد وعندما تنمو الخلية ويكبر حجمها فان الفجوات الصغيرة تندمج مع بعضها فيقل عددها ويكبر حجمها حتى تصل في بعض الخلايا الناضجة الى فجوة واحدة تحتل مركز الخلية. ويدعى الغشاء الذي يفصل العصير الخلوي الموجود في الفجوة عن السايتوبلازم بغشاء الفجوة Tonoplast ويتميز هذا الغشاء بكونه تفاضلي النفاذية. ويعتبر الماء المادة الرئيسية المكونة للعصير الخلوي، وتوجد في الماء مواد مختلفة اما على هيئة محلول حقيقي او في الحالة الغروية. وتوجد المواد في عصير الفجوة على هيئة املاح او سكريات او حوامض عضوية او مركبات اخرى ذائبة. وعلى العموم فان العصير الخلوي ذو وسط حامضي ضعيف ويختلف تركيز العصير الخلوي من خلية الى اخرى وقد يختلف تركيزه في نفس الخلية في مراحل حياتها المختلفة.

٢- المواد الايضية الاخرى Ergastic Substance

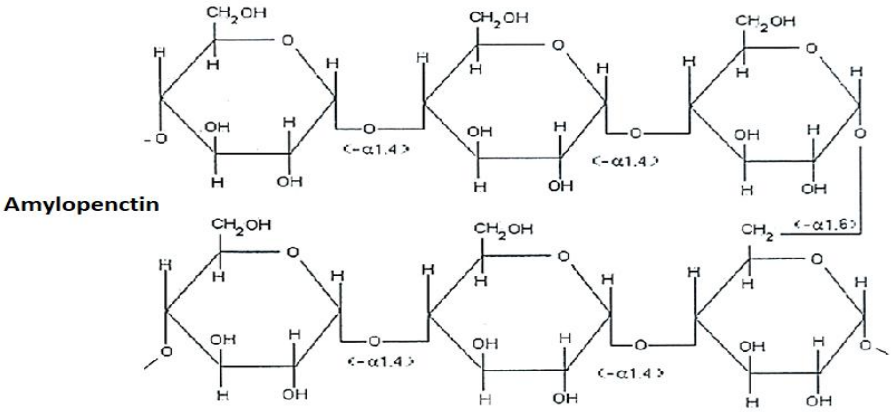
تنتج هذه المواد عن الفعاليات الخلوية Cellular activities وهي إما ان تكون على هيئة مواد مخزونة أو تكون على هيئة فضلات Waste products وهي بسيطة جداً في تركيبها اذا ما قورنت بالمواد البروتوبلازمية، وقد تظهر او تختفي في اوقات مختلفة من حياة الخلية النباتية. ومن الامثلة على هذه المواد الايضية هي الكاربوهيدرات التي تشمل السليلوز والنشأ والمواد البروتينية والليبيدات وبعض الاملاح على هيئة بلورات. وهناك مواد ايضية اخرى لم تعرف وظائفها بعد مثل المطاط Rubber والمواد المخاطية Mucilage والمواد الدباغية Tannins والحليب النباتي Latex واشباه القلويات Alkaloids والزيوت العطرية Essential oils. وعلى الرغم من ان المواد الايضية تؤلف الجزء الغير حي من البروتوبلاست، إلا ان وجودها ضروري للفعاليات الفسيولوجية. وتوجد المواد الايضية في الفجوات وفي جدار الخلية. وفيما يلي شرح موجز لبعض المواد الايضية المتوفرة في الخلايا النباتية:

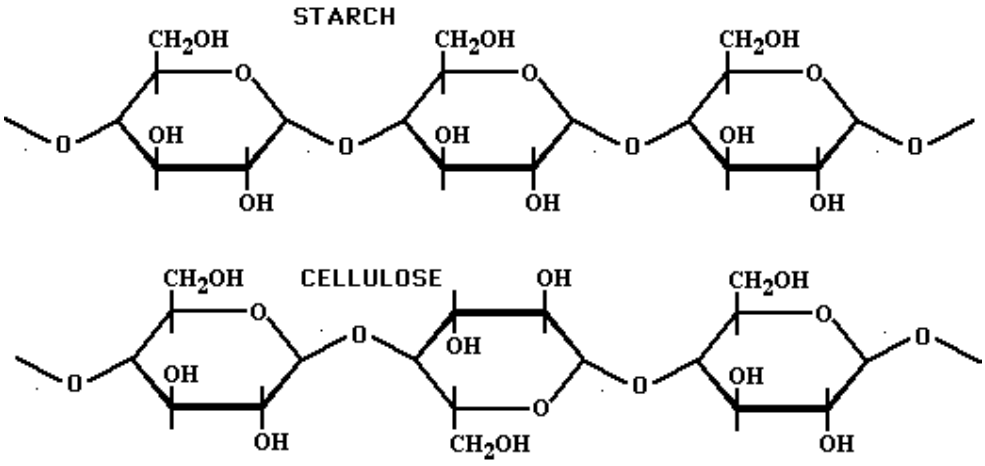
أ- الكاربوهيدرات Carbohydrates

١- السيليلوز والنشأ Cellulose and Starch

يعتبر السليلوز المكون الرئيسي في جدار الخلية النباتية بينما يوجد النشأ كمادة مخزونة في بروتوبلاست الخلية. يتكون كل من السليلوز والنشأ من سلسلة طويلة من جزيئات سكر الكلوكوز اللامائية ذات الصيغة الكيميائية $C_6H_{12}O_6$ وكلاهما ذو ترتيب معين للجزيئات. وترتبط جزيئات الكلوكوز بالماء في كل من النشأ والسيليلوز لكن بنسبة مختلفة، ففي النشأ يكون الماء اكثر مما هو عليه في السليلوز ويتميز كل من السليلوز والنشأ بمميزات غروية حيث تتميز بقابليتها على التشرب بالماء والانتفاخ. والفرق بينهما ان الكلوكوز في النشأ من نوع ألفا ، بينما في السيليلوز من نوع بيتا.

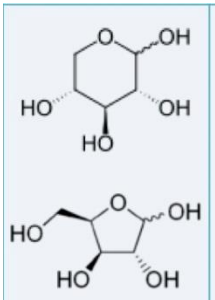
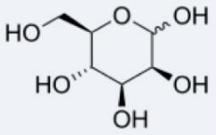
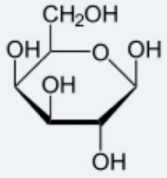
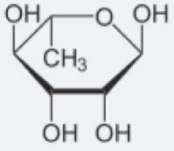
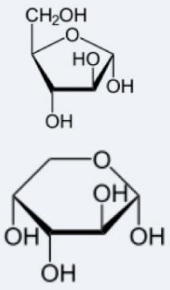
وحبيبات النشأ غالباً ذات شكل بيضوي او مستدير تتكون من جزيئين هما السرة Hilum وهي تمثل مركز تكون طبقات النشأ والطبقات المترسبة حولها. وقد يكون موقع السرة مركزياً او جانبياً. وقد تسمى السرة بالسرة المركبة Compound hilum في حال تلاصق حبيبتا نشأ دون ان يجمعها حلقات مشتركة من الطبقات، أما اذا تداخلت الحبيبات بطبقات من النشأ مشتركة فتسمى بالحبيبات نصف المركبة Semi-compounds. وان سبب تكون النشأ على شكل طبقات يعود الى النشاط اليومي للبلاستيدة المكونة لحبة النشأ. ويعتقد ان الطبقة الداخلية تحتوي على الكمية الاكبر من الماء. والنشأ بشكل عام يكون على نوعين ، فعندما يذاب النشا في الماء فإن جزءاً بسيطاً منه يذوب يسمى الأميلوز Amylose (حوالي ٢٠%)، والجزء الأكبر (حوالي ٨٠%) لايذوب ويسمى والأميلوبكتين Amylopectin ، بينما السليلوز لا يذوب في الماء. ان وظيفة النشا في النبات هي كمخزون غذائي احتياطي في يخزن في الجذور والثمار والبذور. أما وظيفة السليليلوز فهي دعامة لجسم النبات نظراً لصلابته، فساق النبات مكون من السيليلوز.

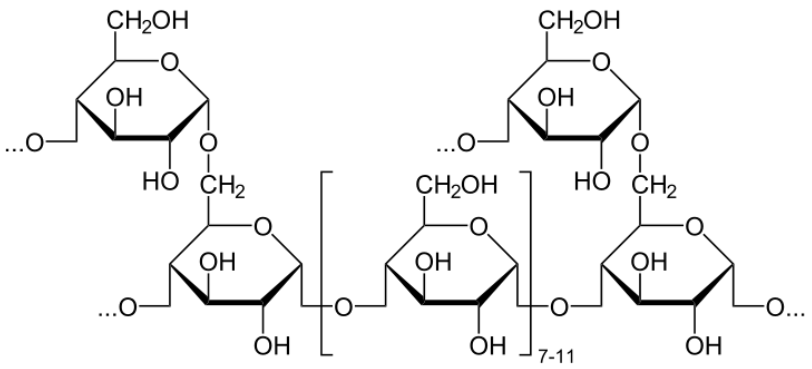




٢- أنصاف السيليلوز Hemicellulose

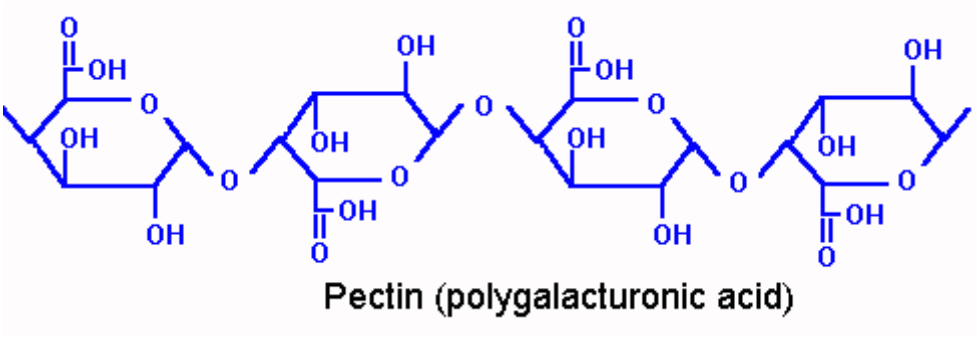
هي مجموعة غير متماثلة من السكريات المعقدة والتي تتميز بقابليات معينة على الذوبان. ومن مكوناتها الزايلان Xylans والمانان Mannans والكالاكتان Glucans. وتوجد انصاف السيليلوزات في جدران بذور كثير من النباتات كما في كبذور نخيل التمر التي تؤلف فيها انصاف السيليلوزات الجزء الاعظم من الجدار الخلوي.

				
a) xylose	b) mannose	c) galactose	d) rhamnose	e) arabinose



٣- المركبات البكتية Pectic Compounds

هي مركبات ذات علاقة قريبة بانصاف السيليلوزات ولكنها ذات قابليات ذوبان مختلفة وتوجد على ثلاثة اشكال هي البكتين الاولى والبكتين وحامض اللاكتيك و المركبات البكتية هي مواد غراوية غير متبلورة تتميز بكثرة حبها للماء. ولا تكون المركبات البكتية الصفيحة الوسطى Middle lamella فقط بل هي تدخل ايضا في تركيب طبقات اخرى من جدران بعض الخلايا.



Pectin (polygalacturonic acid)

٤- الاصماغ Gums

وهي مواد ذات علاقة بالمركبات البكتية حيث تتصف بصفة الانتفاخ بالماء. وتظهر الاصماغ في النباتات نتيجة الاختلالات المرضية او الفسلجية التي تسبب تحطم جدران ومحتويات الخلايا.

٥- اللكنين Lignin

وهو مادة متعددة الكاربون تتكون من وحدات الفنيل بروبانويد Phenyl propanoid units وتوجد على عدة اشكال. يعتبر اللكنين احد النواتج النهائية لعملية الأيض Metabolism ووظيفته الرئيسية هي كمكون تركيبي مهم يتميز بصلابته في جميع طبقات جدار الخلية.

ب- البروتينات Proteins

توجد إما على شكل متبلور يجمع بين صفتي التبلور والحالة الغروية وتسمى مواد شبه بلورية Crystalloids، او بشكل غير منتظم. وتحتوي كثير من البذور على بروتينات مخزونة على شكل Aleurone grains حبيبات اليرونية التي قد تكون بسيطة او معقدة.

جـ - اللبيدات Lipids

وهي مواد زيتية او شحمية تخزنها النباتات في بذورها او ثمارها مثل بذور القطن والسمسم والكتان وثمار الزيتون وجوز الهند والذرة الصفراء.

كما وتوجد على شكل زيوت عطرية طيارة Volatile oils (Essential oils) في ازهار واوراق كثير من النباتات وغلاف الكثير من الثمار مما يعطي تلك النباتات والازهار والثمار رائحة مميزة ممثل قشور ثمار البرتقال واوراق نبات الريحان ونبات اكليل الجبل. وقد تختلط الزيوت الطيارة مع مواد راتنجية واصماغ كما في بذور الكمون واليانسون. وتستعمل الزيوت الطيارة كمواد مطهرة ومضادة للمايكروبات والبكتريا.

وتوجد مواد الكيوتين والسوبرين والشمع على او في جدران الخلايا النباتية وتمثل مواد حماية للنباتات والخلية النباتية.

د- الحليب النباتي Latex

هو مستحلب لخليط من مواد بروتينية ومخاطية وصمغية ودباغية ومطاطية واشباه قلويات. يتميز الحليب النباتي بلون ابيض او ابيض مصفر يتجمد عند تعرضه للهواء الجوي. وهو يوجد في انابيب خاصة تمتد في انسجة النبات تعرف بالتراكيب الحليبية Laticifers. ويستغل الحليب النباتي لبعض النباتات في النواحي الصناعية مثل المطاط، وفي الجانب الطبي مثل المورفين.

هـ - المواد الدباغية Tannins

وهي مجموعة غير متجانسة من مشتقات الفينول لها صفات خاصة بحيث تظهر على شكل كتل حبيبية دقيقة او خشنة او اجسام ذات احجام مختلفة عند دراستها في مقاطع الاجزاء النباتية التي تحتويها. وقد توجد المواد الدباغية داخل الخلية داخل البروتوبلاست او في الجدار ضمن تراكيب خاصة تعرف بالاكياس الدباغية Tannin saca. وظيفة المواد الدباغية هي حماية البروتوبلاست من الجفاف او التقسخ او من التلف بواسطة الحيوانات. وتستعمل المواد الدباغية في دباغة الجلود وخاصة تلك المواد المستخرجة من نباتات البلوط والعفص.

ز- البلورات Crystals

هي مركبات غير ذائبة تتكون من اتحاد الحوامض المذابة في العصير الخلوي مع الكالسيوم عادة. ويعتبر حامض الاوكزاليك من الحوامض الرئيسية التي تكون البلورات. اذ يتميز هذا

الحامض بكونه مميتا اذا ما زاد تركيزه عن حد معين في الخلية، فيكون عمل البلورات هو تقليل تركيز هذا الحامض في العصير الخلوي ويخلص الخلية من نتائج قد تكون مميتة.وتختلف البلورات المتكونة من اوكزالات الكالسيوم فيما بينها بالشكل والتركيب الكيمياوي وتوجد عادة في فجوات الخلايا في اي جزء من النبات الا انها تتركز في اللب والقشرة واللحاء اكثر من مناطق اخرى. اشكالها قد تكون رقيقة شبيهة بلابرة وتسمى بلورات ابرية Raphides او نجمية Druses او منشورية Prismatic او منفردة Solitary.

اما البلورات المتكونة من كاربونات الكالسيوم فتتمثل بنوع معين هو البلورات المعلقة Cystoliths والذي تكون على شكل نمو لجدار الخلية نحو تجويفها تتجمع في نهاية هذا النمو املاح كاربونات الكالسيوم المكونة لجسم البلورة.

وتوجد هذه البلورات في الخلايا الحشوية وفي خلايا البشرة لبعض النباتات تكون في خلايا خاصة متسعة تدعى بحويصلات البلورات Lithocysts وتتكون من البلورة من عنق Stalk وجسم Body.

ثانياً- جدار الخلية Cell wall

ان اهم ميزة تتميز بها الخلية النباتية عن الخلية الحيوانية هي وجود جدار خلوي غير بروتوبلازمي متين نسبياً وصلب يحدد شكل الخلية. يتميز الجدار الخلوي بدرجة من المرونة والتي تمكنه من مقاومة الشد والضغط والالتواء دون ان يتشقق. ولهذا، فان الجدران الخلوية تكون شبكة مترابطة في جسم النبات ذات وظيفة مهمة جداً وهي اعطاء القوة والاسناد والحماية لجسم النبات ويساعد ذلك في اعطاء القوام المطلوب للجزء الهوائي من النبات وبيمكنه من مقاومة الظروف الخارجية كالرياح والعوامل الميكانيكية الاخرى.

وجدار الخلية هو احد النواتج الايضية للبروتوبلاست ويمثل مادة غير حية يفرزها البروتوبلاست خارجه لكي تترسب عليه وتحيط به.

طبقات الجدار الخلوي Cell wall layers

تختلف جدران الخلايا عن بعضها في السمك، فجدران الخلايا اليافعة تكون رقيقة في حين جدران الخلايا الناضجة تكون سميكة في بعض الخلايا بينما تبقى رقيقة ونحيفة حتى بعد النضوج في أنواع اخرى. وبغض النظر عن سمك الجدار فانه يتميز بتركيب معقد يتكون من طبقات تختلف فيما بينها تركيبيا (كيميائيا). وبشكل عام فان جدران الخلايا تتكون من ثلاث طبقات تختلف عن بعضها في مراحل تكونها Development وفي تركيبها وهي:

١- الصفيحة الوسطى Middle Lamella

وهي توجد بين جدارين ابتدائيين لخليتين متجاورتين. يبدأ تكوين الصفيحة الوسطى بين النواتين اثناء الانقسام الخلوي على هيئة تركيب يطلق عليه الصفيحة الخلوية Cell plate وعند تكامل تكونها تربط بين جدران الخلايا المتجاورة.

٢- الجدار الابتدائي Primary wall

وهو اول طبقة تضاف الى الصفيحة الوسطى وبذلك يصبح موقع الصفيحة الوسطى بين جدارين ابتدائيين تابعين لخليتين متجاورتين. وقد تبقى الخلية محاطة بصفيحة وسطى وجدار ابتدائي فقط دون اضافة اي طبقة اخرى.

يتكون الجدار الابتدائي من طبقة واحدة ولايمكن تمييزه الى طبقات او مناطق ويتكون بشكل رئيسي من مادة السيليلوز وانصاف السيليلوز وبعض المواد البكتية وقد يصبح ملكنناً. يبدا

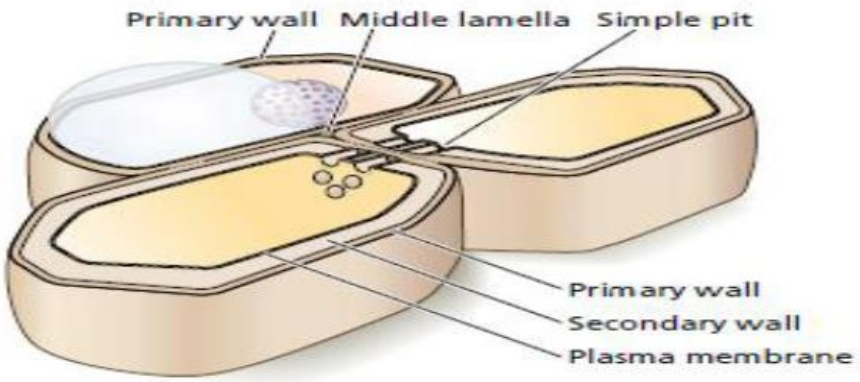
تشكيل الجدار الابتدائي في الخلايا الفتية ويكون قابل للتوسع في مساحته السطحية لكي يتواكب مع نمو الخلية وازدياد حجمها.

٣- الجدار الثانوي Secondary wall

يتكون الجدار الثانوي بعد تكون الجدار الابتدائي وتوقفه عن الاتساع حيث تكون الخلية في هذه المرحلة قد نضجت توقفت عن النمو. ويقترن وجود الجدار الثانوي بالخلايا التي تفقد الحياة بعد اكتمال نضجها عادة. يتكون الجدار الثانوي عادة من ثلاث طبقات هي خارجية ووسطى وداخلية واولى الطبقات من ناحية التكون هي الخارجية. يتركب الجدار الثانوي من مادة السيليلوز بشكل رئيسي وقد توجد كميات من اللكنين والسوبرين.

يمثل الجدول التالي المقارنة بين الجدار الاولي والثانوي:

مواد المقارنة	الجدار الاولي	الجدار الثانوي
السيليلوز	نسبة واطئة (10%)	نسبة عالية (50%)
الهيميسيليلوز والبكتين	نسبة عالية	نسبة واطئة
مدى تجمع الالياف	نسبة واطئة	نسبة عالية
طول سلاسل السيليلوز	حوالي 0.5 ميكرون	حوالي 5- 10 مايكرون
نسيج الليفات	الليفات مبعثرة	الليفات مرتبطة بطبقات وملتفة مع بعضها
مدى المرونة	نسبياً عالية	نسبياً واطئة
نوعية النمو (اضافة مواد جديدة الى الجدار)	اضافة النمو في السطح بعملية Aposition او بعملية التداخل	النمو سطحياً Aposition



شكل توضيحي يمثل خلايا نباتية يلاحظ فيما بينها الجدر الفلصلة

النقر Pits

اثناء تكون الجدار الخلوي لايتم ترسيب مواد الجدار على الجدار بانتظام بل تترك مساحات محدودة منخفضة عن باق سطح الجدار، تحتوي هذه المساحات عادة على ثقوب دقيقة تمر خلالها في الخلايا الحية شرائط سايتوبلازمية تعرف بالخيوط السايتوبلازمية Plasmodesmata تصل سا يتوبلازم الخلايا المتجاورة بعضها مع البعض الاخر. وانواع النقر هي:

١- حقول النقر الابتدائية Primary pit fields

تظهر عند تكون الجار الابتدائي فوق الصفيحة الوسطى، حيث ان تكون الجدار لايتم بنفس السمك في جميع اجزائه، بل تترك مساحات رقيقة تعرف بحقول النقر ويطُّلق عليها مبادئ النقر Primordial pits وخلال حقول النقر الابتدائية تمر الخيوط السايتوبلازمية. توجد هذه النقر، في الخلايا الحية ذات الجدران الابتدائية مثل الخلايا البرنكيمية والانابيب الغربالية والخلايا المرافقة.

٢- النقر البسيطة Simple pits

اثناء تكون الجدار الثانوي فوق الجدار الابتدائي، تترك مساحات صغيرة بدون تغلظ عادة في منطقة حقول النقر الابتدائية، تظهر كثقوب دائرية او كقنوات منتظمة القطر (حسب نوع العينة اذا كانت عرضية او طولية) في جدار الخلية . وغالباً مايقُابل كل نقرة في خلية نقرة اخرى

في الخلية المجاورة ، وتسمى النقرتان البسيطتان المتجاورتان بالزوج النقري البسيط Simple pit pair وقد تكون النقرة على جانب من الجدار غير مقترنة بأخرى في الجانب الاخر، وتسمى في هذه الحالة بالنقر العمياء Blind pit مثل النقر التي تقابلها مسافات بينية، او التي تتكون في الجدران الفاصلة بين القصيبات والالياف.

٣- النقر المضفوفة Bordered pit

تتميز بحدوث تغلظ جزئي في منطقة النقرة، والجدار الثانوي المتكون ينفصل عن الجدار الابتدائي نام ياً فوق النقرة بشكل قبة تحيط بغشاء النقرة وتجويفها، وتاركاً فتحة مركزية صغيرة تعرف بفتحة النقرة. وفي بعض النباتات يحدث علاوة على ما سبق تغلظ مصمت غير منفذ للماء على شكل عدسة محدبة الوجهين وذلك في منتصف غشاء النقرة يعرف بالسرةTorus

ويكون قطر السرة اكبر بقليل من قطر فتحة النقرة. ولذلك فان النقر المضفوفة ذات السرة تعمل على تنظيم مرور الماء في الاوعيةٌ الخشبية والقصيبات وغيرها من الخلايا، فعملها كصمام ا مانيعمل على مواجهة تغيرات الضغط المائي داخل الاوعية الخشبية والقصيبات.

تتكون النقر المضفوفة في ازواج عادة، فعند اقتران نقرة مضفوفة على جانب من الجوانب مع اخرى مماثلة على الجانب الاخر فتدعى زوج نقري مضفوف Bordered pit pair ، وعند اقتران نقرة مضفوفة على جانب من الجدار بأخرى بسيطة على الجانب الاخر فتدعى زوج نقري نصف مضفوف Half Bordered pit pair .