محاضرات

212نبت (تشريح نبات)

الجزء الأول

المقدمة

التشريح: Anatomy

يستخدم مصطلح التشريح Anatomy للدلالة على العلم الذي يتبنى تشريح الكائن الحي سواءاً كان حيواناً أو نباتاً وذلك بغرض دراسة تركيبه الداخلي والعلاقة الموجودة بين أعضاءه المختلفة والتعرف على الارتباط الموجود بين الخلايا والأنسجة والأعضاء مع بعضها، ويستعمل للدلالة على تشريح الإنسان أكثر من سواه، ولكن إذا أدخل على هذا المصطلح أو سبقه كلمة نبات Plant دل دلالة تامة على علم خاص من علوم الحياة هو علم تشريح النبات Plant Anatomy. وسوف نتناول في دراستنا هذه تشريح النبات أو تركيبه الداخلي.

تشريح النبات Plant Anatomy

وهو دراسة التركيب الداخلي للنبات والعلاقة الموجودة بين الخلايا والأنسجة والنظم النسيجية والأعضاء المختلفة المكونة للجسم النباتي. وسوف نؤكد في دراستنا بصورة رئيسة على التراكيب الداخلية للنباتات الوعائية الراقية، وتكيفها للقيام بوظائفها المختلفة. وخاصة النباتات كاسيات البذور Angiosperms وعاريات البذور Gymnosperms مع التطرق إلى دراسة بعض النباتات البدائية وخاصة عند دراسة الأنسجة. والسبب في ذلك يرجع إلى تعقيد تراكيب أجسام هذه النباتات عن غيرها من النباتات البدائية التي يتكون جسمها إما من خلية واحدة أو من نوع واحد من الخلايا ذات التركيب المتشابه.

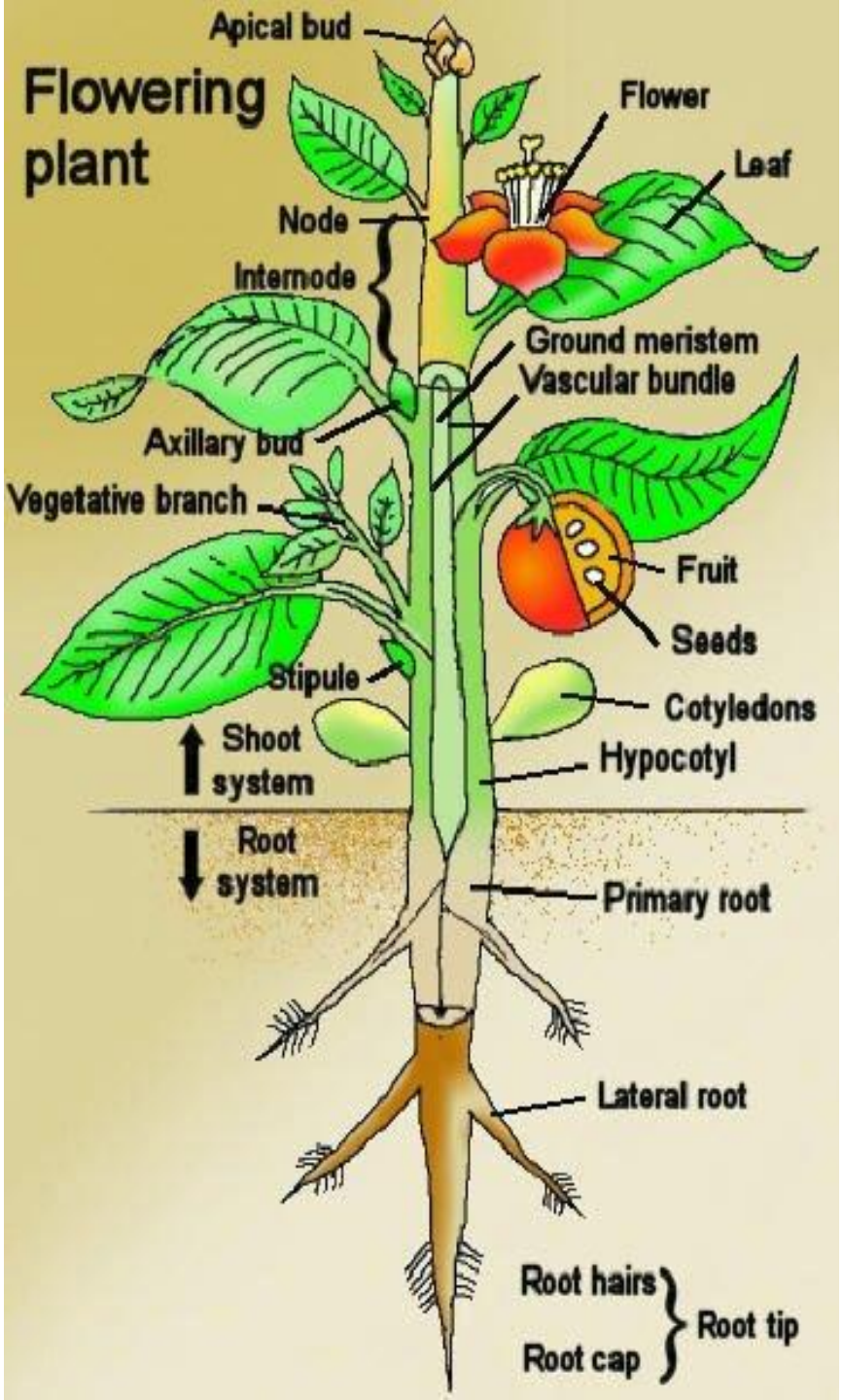
إن علم تشريح النبات له علاقة وثيقة بكل من العلوم الآتية:

- علم الخلية Cytology
- علم الأنسجة Histology
- علم الكيمياء الحيوية Biochemistry
- علم التحضيرات المجهرية Microtechnique
- علم الفسيولوجيا Physiology
- علم التصنيف Taxonomy
- علم البيئة Ecology
- علم الوراثة Genetics

الجسم النباتي Plant body

بالرغم من الاختلافات الكبيرة بين النباتات الوعائية المختلفة في المظهر والحجم والشكل النباتي من أعشاب وشجيرات وأشجار. إلا أن هناك صفة عامة تشترك فيها جميع النباتات الراقية وهذه الصفة أن النبات يتكون عادة من محور رئيسي ذو زوائد جانبية. ويظهر هذا الجسم النباتي تطوراً عالياً في صفات التخصص التركيبي والوظيفي منعكسة في التميز لهذا الجسم خارجياً إلى أعضاء وداخلياً إلى أنواع مختلفة من خلايا وأنسجة ثم نظم نسيجية.

وبالرغم من تداخل الأجزاء النباتية المختلفة الجذر والورقة والساق وكذلك الزهرة. وارتباطها ببعض خلال فترة نمو الجسم النباتي فإن من المفيد دراسة النبات كأعضاء منفصلة بعضها عن البعض الآخر ولكن يجب أن لا يؤكد عليها إلى درجة تخفي وحدة الجسم النباتي المتكاملة وتجعلها كأجزاء مختلفة.(شكل 1)


Flowering plant
Apical bud
Flower
Leaf
Node
Internode
Ground meristem
Vascular bundle
Axillary bud
Vegetative branch
Fruit
Seeds
Stipule
Cotyledons
Shoot system
Hypocotyl
Root system
Primary root
Lateral root
Root hairs
Root cap
Root tip

ويمكن تقسيم **الجسم النباتي** بصورة عامة إلى جزئيين أساسيين هما:-

أ ـ المجموع الجذري Root system

وهو الجزء الذي ينمو عادة تحت سطح التربة ويشمل الجذر والجذور الجانبية.

ب ـ المجموع الخضري Shoot system

وهو الذي ينمو عادة فوق سطح التربة ويشمل الساق ـ وما تحمله من أوراق وأغصان وأفرع مختلفة.

وعلى الرغم من أن الزهرة تمثل عضواً متحوراً ومتكيفاً للقيام بعملية التكاثر وأن معظم الأجزاء الزهرية تمثل أوراقاً متحورة أو سيقاناً متحورة، إلا أنه من المفيد فصل الزهرة كعضو منفصل ودراسته منفردا نظراً لما يتميز به من صفات مورفولوجية وتشريحية.

وعلى هذا الأساس يمكن اعتبار الجسم النباتي مكوناً من الأعضاء الآتية:

أ ـ الجذر Root

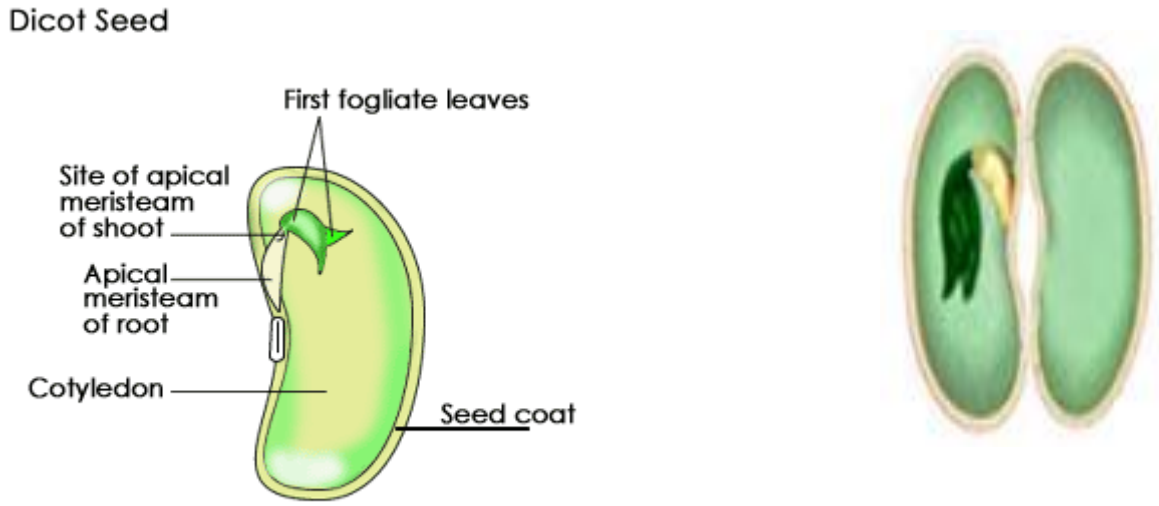
ب ـ الساق Stem أجزاء (أعضاء) خضرية Vegetative organs

ج ـ الورقة Leaf

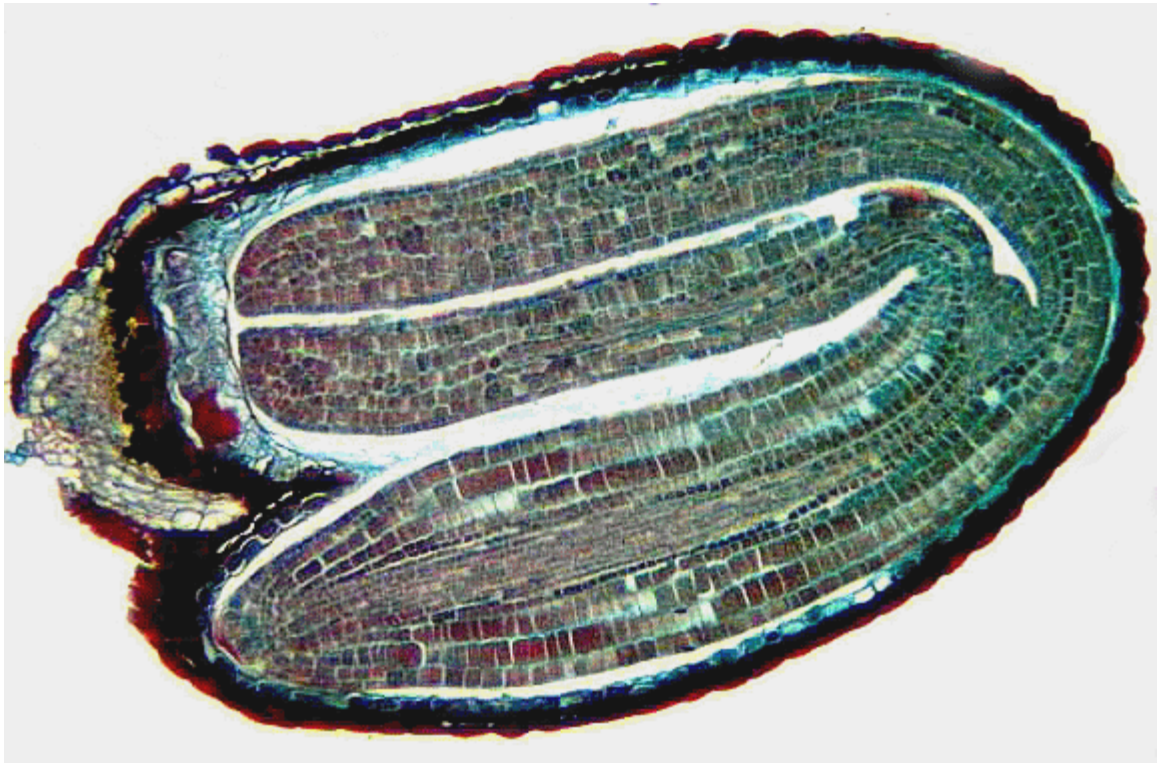
د ـ الزهرة Flower جزء (عضو) تكاثري Reproductive organ

- ولكن الزهرة قد تُعرَّف بأنها مجموعة أعضاء بعضاً منها أعضاءاً تكاثرية (الطلع والمتاع) والبعض الآخر منها خضرياً أو عقيماً مثل (السبلات والبتلات Sepals and petals وبما أن موضوع دراستنا في الغالب هو النباتات الزهرية الراقية وهي من الكائنات التي تتكاثر تكاثراً جنسياً حيث تكون فيها الأمشاج Gametes أحادية المجموعة الصبغية Haploid أو ما يعرف بالطور المشيجي Gametophyte وعند تكوين اللاقحة Zygote يصبح عدد الصبغيات في الخلية ثنائي المجموعة الصبغية Deploid والطور السائد في هذه المجموعة من النباتات هو الطور البوغي Sporophyte . أما الطور المشيجي فقصير جداً ويتمثل في كل من حبيبات اللقاح والبويضة. ويبدأ الطور البوغي حياته في النباتات الراقية (الوعائية) كخلية واحدة ثنائية المجموعة الصبغية هذه الخلية هي الاقحة Zygote

وبعد أن تمر بعدة انقسامات (انقسام غير مباشر) يتكون نتيجة ذلك الجنين Embryoالذي تكون خلاياه ثنائية المجموعة الصبغية ومن الجنين يتكون بعد الإنبات النبات الكامل، والجنين إذا ما قورن بالنبات المعقد التركيب فإنه يصبح بسيطاً في تركيبه حيث يتكون من شكل محوري محاطاً بعدد من الزوائد (شكل2).



شكل (2) رسم توضيحي لجنين نباتات ذوات الفلقتين



كيفية تكوين النبات المعقد التركيب من الجنين البسيط التركيب:

لو فحصنا جنين النباتات البذرية فإنه يوجد منطقتين إنشائيتين على طرفي محور الجنين هما النسيج الإنشائي القمي للساق Apical meristem of shootأو قمة الساق Shoot apex والنسيج الإنشائي القمي للجذر Apical root meristem of أو قمة الجذر Root apex وبنشاط هاتين المنطقتين وما يرافقهما من تميز Differentiation وتخصص Specialization إلى خلايا وأنسجة مختلفة ثم ترتيبها في نظام معين لتكوين الأعضاء Organization من ذلك يتحول الجنين البسيط التركيب إلى نبات نامي معقد يمثل الطور البوغي من دورة حياة النبات (شكل 1).

Internal organization of التعضى الداخلي لجسم النبات Plant body

يتكون الجسم النباتي داخلياً من وحدات متميزة في المظهر الخارجي هي الخلايا وكل خلية تحاط بجدار وتلتحم مع الخلايا المجاورة بمواد بين خلوية تسمى بالصفيحة الوسطى Middle lamella، والتي تتكون من المواد البكتية Pectic substances لتكون مجموعة من الخلايا المتشابهه إما وظيفياً أو تركيبياً أو كلاهما معاً. هذه المجاميع تدعى بالأنسجة Tissues وتعتمد اختلافات تراكيب الأنسجة على الاختلافات في محتويات الخلايا و تنوع ارتباطها مع بعض.

فبعض الأنسجة تتكون من نوع واحد من الخلايا ويسمى نسيج بسيط Simple tissue. وبعضها يتكون من أكثر نوع واحد من الخلايا و يسمى بالنسيج المعقد Complex tissue.

إن ترتيب الأنسجة في النبات الكامل وفي معظم أعضاءه يعطي تعضياً تركيبياً ووظيفياً معاً. فالأنسجة المسؤولة عن توصيل الغذاء والماء (الأنسجة التوصيلية) تكون جهازاً متماسكاً يمتد في كل عضو من أعضاء النبات وفي النبات الكامل. هذه الأنسجة تعمل على توصيل أماكن امتصاص الماء ومصانع الغذاء بمناطق النمو والتخزين. أما الأنسجة غير الموصلة فهي أيضاً متصلة مع بعض ونظامها يدل على وجود علاقات بينية معينة (مثلاً بين التخزيني والموصل) أو وظائف متخصصة (مثل التدعيم والتخزين).

ولضرورة تمييز الأنسجة إلى وحدات كبيرة مظهرة الوحدة الأساسية للجسم النباتي فقد اقترح مصطلح النظام النسيجي Tissue system إلا أن تصنيف الخلايا والأنسجة يعتبر طريقة عشوائية. ولكن لابد من الأخذ بهذا التقسيم لغرض الوصف المرتب للنبات.

أما بعض العلماء فيقسمون الأنسجة النباتية إلى:

- نسيج وقائي Dermal tissue
- نسيج توصيلي Vascular tissue
- نسيج دعامي Mecanieal tissue
- نسيج إفرازي Secretory tissue
- نسيج أساسي Ground tissue

إن النمو الذي يحصل في أي جزء من أجزاء النبات وفي أي عضو من أعضاءه منذ فترة نشوءه حتى توقف نمو العضو النباتي في الطول يطلق عليه بالنمو الابتدائي Primary growth والجسم الناتج يعتبر جسماً ابتدائياً Primary body. وجميع الأنسجة المتكونة في هذه الفترة ناتجة من أنسجة إنشائية ابتدائية Primary meristems. وقد يقتصر النبات طول حياته على هذا النوع من النمو. أما النمو الذي يحصل بعد استكمال استطالة العضو النباتي والذي يسبب زيادة في سمك أعضاء النبات فيسمى بالنمو الثانوي Secondary growth والأنسجة الناتجة خلال هذه الفترة من النمو تسمى بالأنسجة الثانوية Secondary tissues والجسم النباتي المتكون أثناء ذلك يسمى بالجسم النباتي الثانوي Secondary bodyوالذي قد يحل محل الجسم النباتي الابتدائي خاصة في السيقان والجذور للنباتات الخشبية. وتقسم الأنسجة النباتية حسب النشاط الانقسامي إلى: أنسجة إنشائية وأنسجة مستديمة (جدول 2).

الخلية النباتية The plant cell

في سنة 1839م أطلق العالم الألماني شلايدين Schleiden (عالم نباتي) والعالم شوان Schwann (عالم حيواني) نظرية الخلية Cell theory ومضمونها أن الخلية هي الوحدة التركيبية والوظيفية للكائن الحي وأنها تنشأ من انقسام خلية سابقة.

ولهذا فالخلية هي الوحدة التركيبية والوظيفية للكائن العضوي الحي. وسميت خلية نسبة إلى خلايا النحل، وقد أخذت التسمية Cell من الأصل اللاتيني Cellula ومعناه المسكن الصغير. وأول من شاهد الخلية روبرت هوك Robert Hooke في القرن السابع عشر الميلادي في قطاع من نسيج الفلين شاهدها كفراغ محدد بجدار. بعد ذلك بفترة ومن خلال فحص عينة حية رأى سائلاً داخل هذا التجويف أطلق عليه فيما بعد بالبروتوبلاست أو البروتوبلازم Protoplast or protoplasm ثم زاد الاهتمام بهذا السائل حتى اكتشف روبرت براون Robert Brown جسماً كروياً أطلق عليه اسم النواة (Nucleus) عام (1831م). تلى ذلك التمييز بين المادة البروتوبلازمية والعصير الخلوي ثم أطلق على المادة التي تحيط بالنواة اسم السيتوبلازم Cytoplasm ومن ثم توالت اكتشافات مكونات الخلية أولاً بالمجهر الضوئي ثم بالمجهر الإلكتروني (شكل 2).

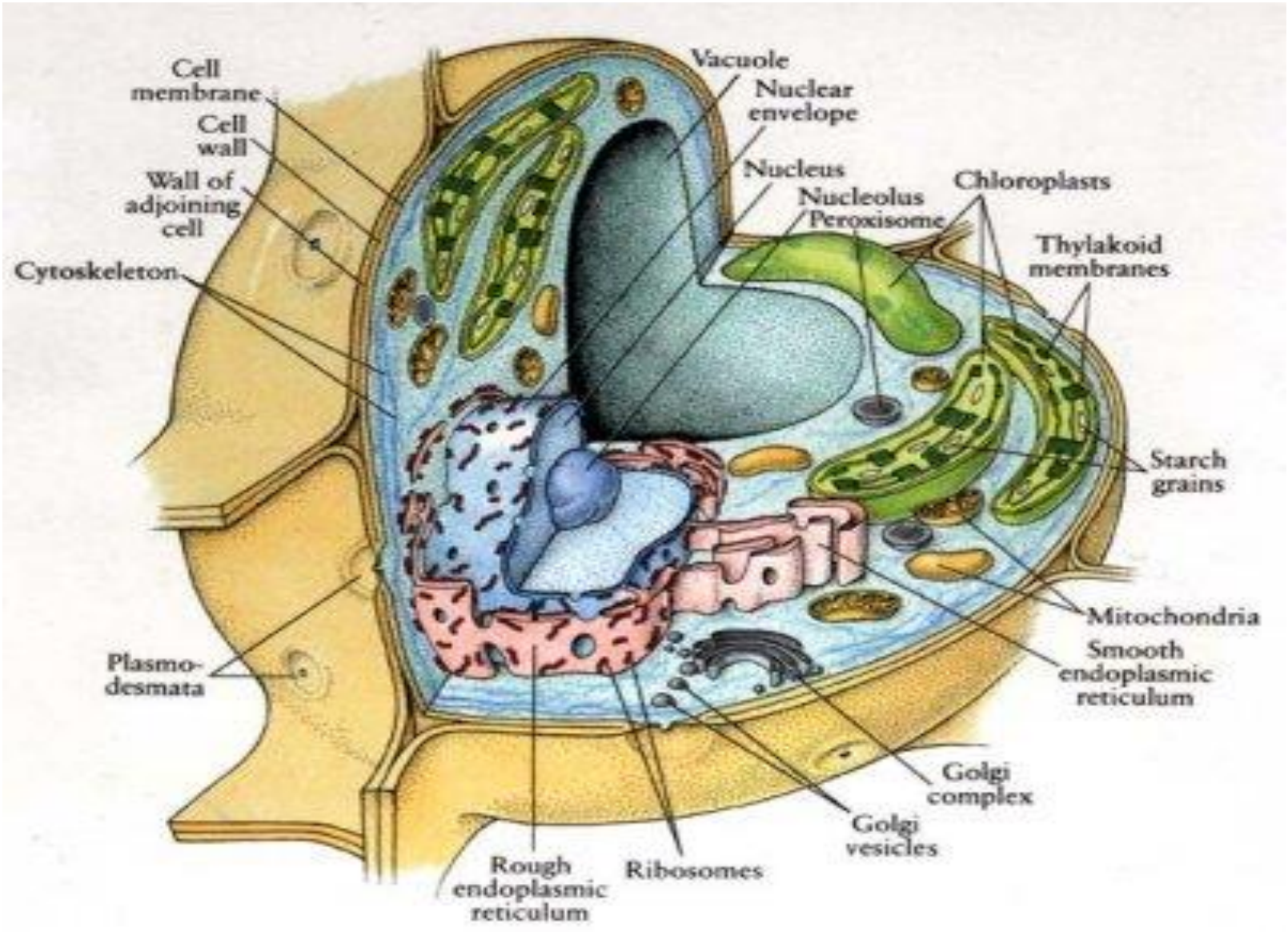
إن مدى التعضي الداخلي للخلايا في الكائنات الحية يحتم تمييز نوعين من الخلايا هما:

1. خلية بدائية النواة Prokaryotic

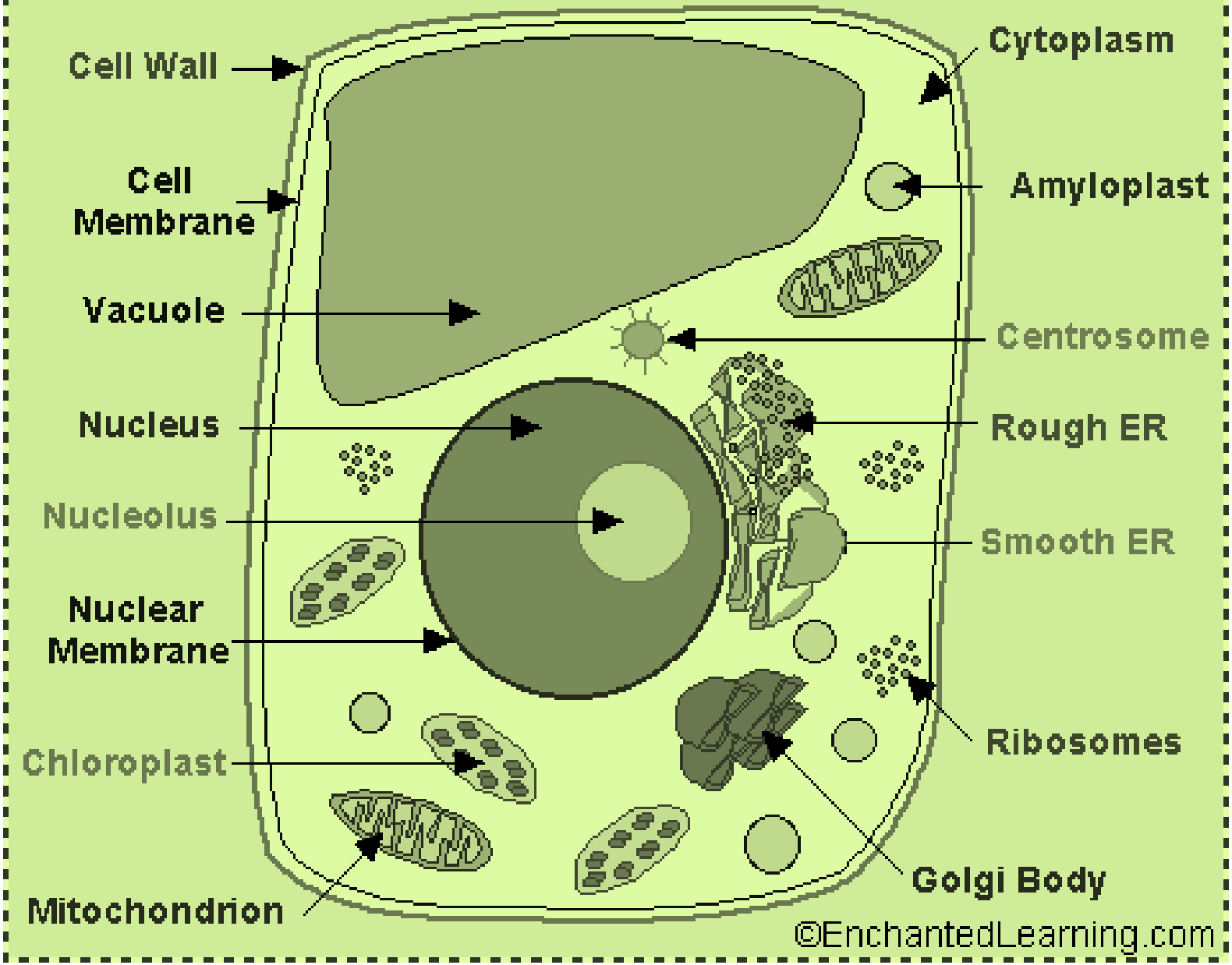
وهي بسيطة الشكل ولا تحتوي على وحدات منفصلة عن السيتوبلازم لتظهر وظائف معينة كما أن حامض DNA ينتشر في جزء كبير من الخلية دون أن يكون ضمن غلاف غشائي.
والأحياء التي تتصف بهذا النوع من الخلايا هي البكتيريا والبكتيريا المزرقة (والطحالب الخضراء المزرقة).

2. خلية حقيقية النواة Eukaryotic

وتتصف بها جميع الأحياء النباتية ما عدا البكتيريا والبكتيريا المزرقة وتقسم هذه الخلية داخلياً إلى أجزاء مميزة تظهر وظائف مختلفة. فحامض DNA يتركز في الصبغيات التي بدورها توجد في النواة المحاطة بغشاء نووي. والتمثيل الضوئي تقوم به عضيات صغيرة يطلق عليها البلاستيدات Plastids. كما أن التنفس الخلوي يتم عن طريق الأجسام السبحية Mitochondria. كما أن الدكتوسومات Dictyosomes تفرز مادة الجدار الخلوي ونواتج أخرى. بينما يتم تكوين البروتين بواسطة الرايبوسومات Ribosomes والجهاز الغشائي الذي يسمى بالشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic Reticulum. جميع هذه العضيات والأغشية مغمورة في مادة سائلة تسمى بالمادة الحية Hyaloplasm أو السيتوبلازم الأساسي Ground plasm أو ما يعرف حديثاً بالسيتوسول Cytosol.


Cell membrane
Cell wall
Wall of adjoining cell
Cytoskeleton
Vacuole
Nuclear envelope
Nucleus
Nucleolus
Peroxisome
Chloroplasts
Thylakoid membranes
Starch grains
Mitochondria
Smooth endoplasmic reticulum
Golgi complex
Golgi vesicles
Ribosomes
Rough endoplasmic reticulum
Plasmo-desmata

Cross-Section of a Plant Cell



البروتوبلاست Protoplast

يعني المادة الحية في أبسط معانيها وتشمل السيتوبلازم والنواة ويطلق على جميع مكونات الخلية ماعدا الجدار (شكل، 2).

السيتوبلازم Cytoplasm

مادة بروتوبلازمية غروية تحيط بكل المواد البروتوبلازمية الأخرى وغير البروتوبلازمية. وتكون النظم الغشائية في الخلية. ويظهر متجانساً أو حبيبياً تحت المجهر الضوئي ولكن يُظهر تميزاً غشائياً خاصة الشبكة الإندوبلازمية E. R تحت المجهر الإلكتروني. ويُحد السيتوبلازم ناحية جدار الخلية بغشاء يسمى بالغشاء الخارجي Ectoplast وناحية فراغ الخلية بغشاء داخلي Tonoplast ويضم السيتوبلازم حبيبات ليبيرية وبروتنية بالإضافة إلى الريبوسومات التي إما أن تكون طليقة أو ملتصقة بالغشاء الخارجي للشبكة الإندوبلازمية. ويميل الكثير إلى أن السيتوبلازم مادة أساسية لم يتعرف بعد على شكل ثابت لها تسمى بالسيتوبلازم الأساسي Ground plasm أو المادة الحية Hayloplasmأو ما يعرف الآن بالسيتوسول Cytosol، وعضيات قابلة للتحلل في البروتوبلاست ذات طبيعة غشائية أو حبيبية ومن هذه العضيات النواة و البلاستيدات و الأجسام السبحية وأحياناً الشبكة الإندوبلازمية ER والدكتيوسومات Dictyosomes والأخيران قد يعتبران من الأنظمة الغشائية. ويظهر السيتوبلازم في الخلايا الحية كمادة نصف شفافة يكوّن الماء 85 – 90٪ من مكوناته. كما توجد الأملاح والمواد الكربوايدراتية والمواد الذائبة منتشرة في صورة أيونية أو جزيئية. كما توجد البروتينات والدهون في حالة غروية وهي المكونات الأساسية للنظم الغشائية الموجودة في السيتوبلازم (شكل 2).

الأغشية البلازمية Plasma membranes

هي أغشية سيتوبلازمية تحيط بالسيتوبلازم، وتتكون من غشاء بلازمي خارجي Ectoplast وغشاء بلازمي داخلي Tonoplast or Endoplast وهي رقيقة جدا حوالي 7.5 مليميكرمتر وتتكون من طبقتين داكنتين يوجد بينهما طبقة ثالثة فاتحة ، وتظهر تحت المجهر الإلكتروني مزدوجة التركيب نظراً لوجود طبقتي البروتين الداكنة والتي تتكون من جزيئات بروتينية منفصلة بينما تتكون الطبقة الدهنية من جزيئات متراصة في صفين منتظمين يتكون كل منها من رأس محب للماء وذيل كاره للماء. وقد توصل العلماء الآن إلى أن الغشاء يتكون من طبقتين من الدهون ينغمس فيها بروتينات كروية تعبر طبقتين الدهون وتبرز على جانبيهما (شكل 3).

Plasma Membrane Structural Components

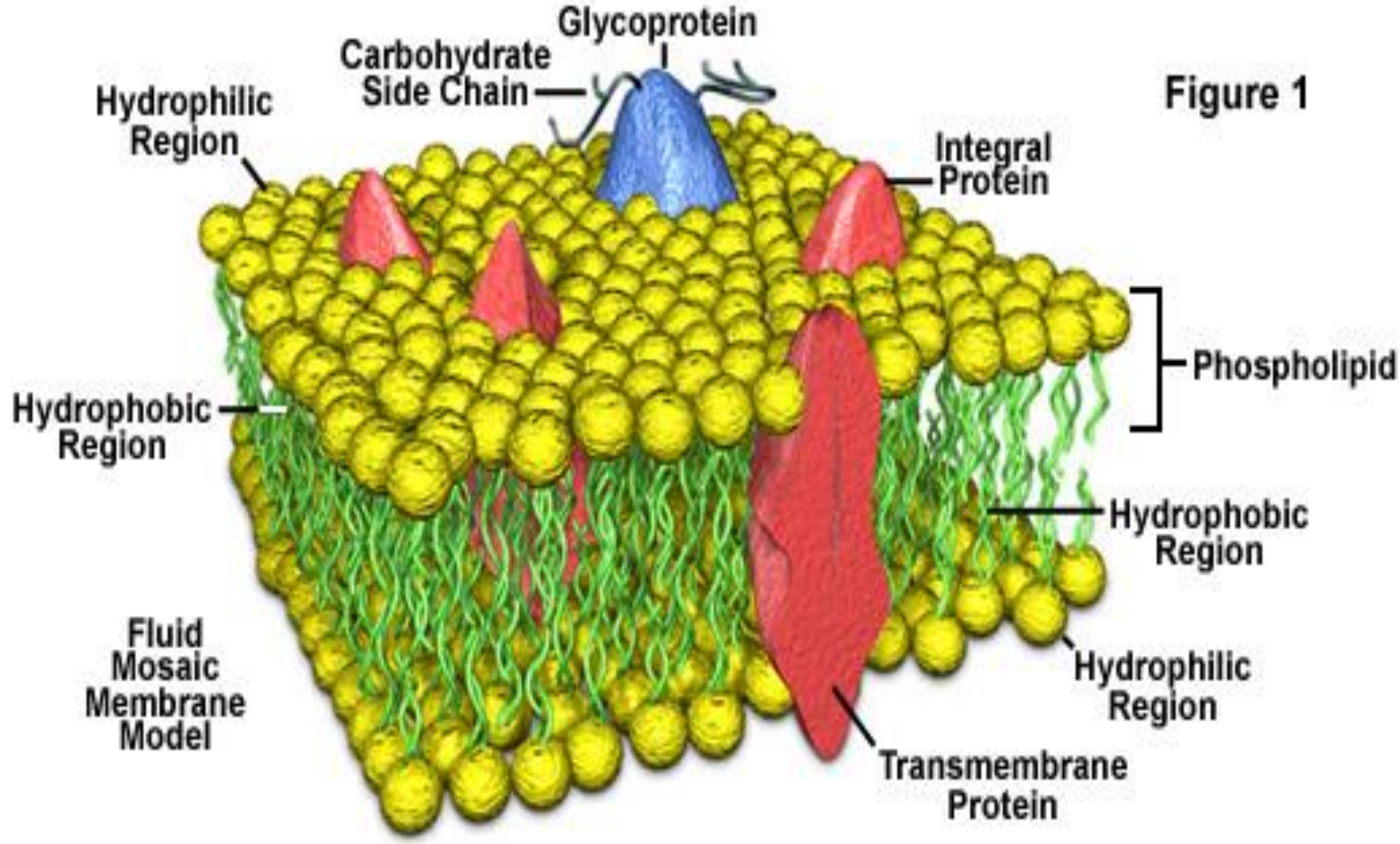


Figure 1

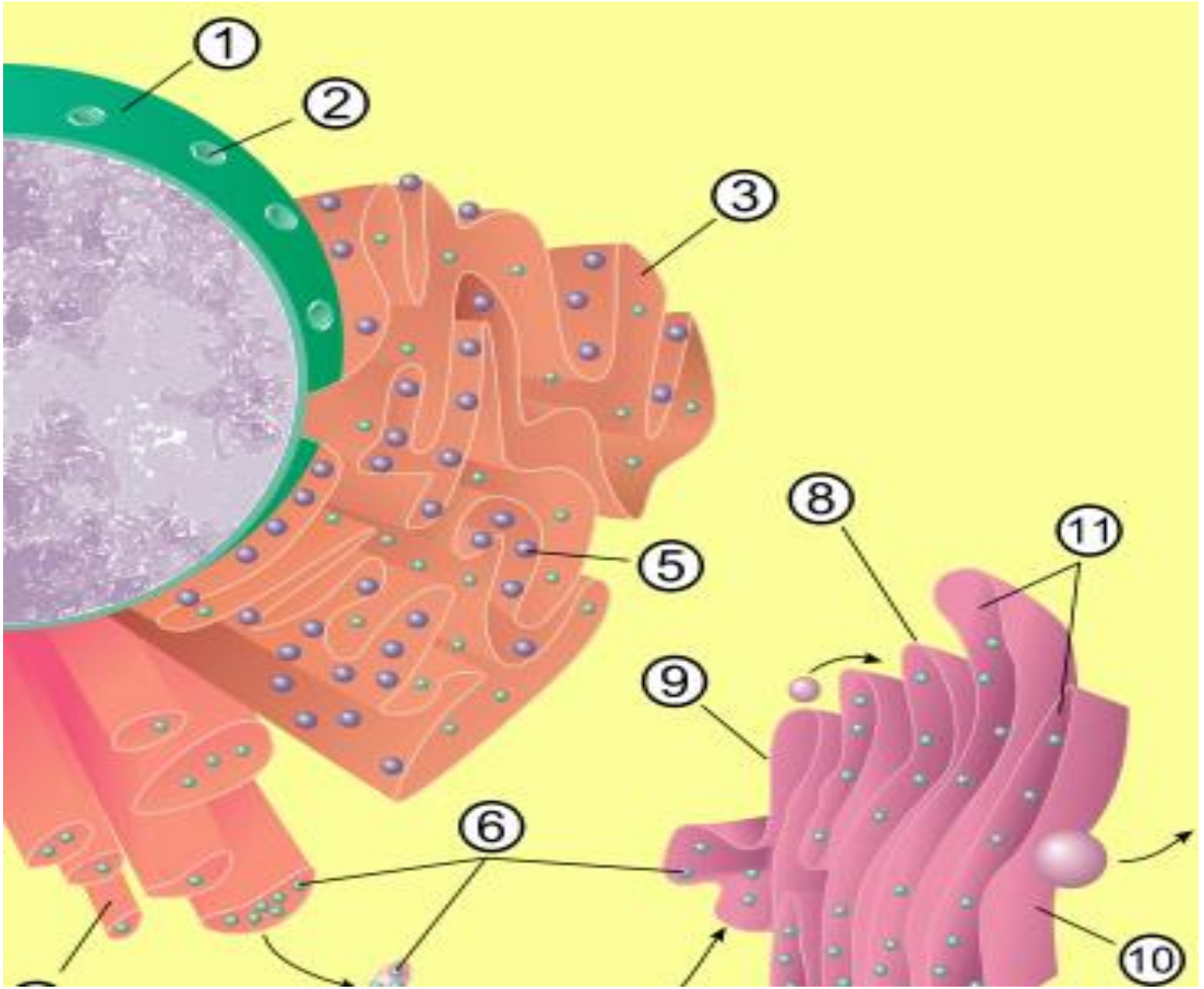
المكونات الأساسية للنظم الغشائية الموجودة في السيتوبلازم Endomembrane system.

وتشمل جميع الأغشية الخلوية ماعدا أغشية البلاستيدات والأجسام السبحية والاجسام البيروكسية ومنها:

أ. الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic Retiulum

هي نظام من فراغات محاطة بأغشية (Cistemae) أو هي غشاء مزدوج يحيط بفراغ ضيق يحتوي وسطاً غير معروف التركيب. والشبكة الاندوبلازمية تملأ الخلية بسطح غشائي داخلي كبير تتوزع خلاله الأنزيمات كما يمكن أن تعمل على تكثيف أو تجميع النواتج الأيضيه وقد تقوم بنقلها من مكان إلى آخر وقد وجد أن لها حوالي 16منطقة وظيفية في الخلية النباتية (Staehelin,1997).

وتوصف الشبكة الاندوبلازمية بذات السطح الخشن إذا التصقت عليها الريبوسومات وبالسطح الأملس إذا خلت منها (شكل 4).


1
2
3
5
8
11
9
6
10

ب . الروابط (الخيوط) السيتوبلازمية Plasmodesmata

تظهر تحت المجهر الالكتروني كخيوط سيتوبلازمية تصل الخلية الحية بما يجاورها من خلايا حية، وهي أنبوبية الشكل قطرها حوالي 40 مليميكرومتر ولها جدار يشبه غشاء السيتوبلازم ويوجد بداخله فراغ يتوسطه تركيب كثيف غير معروف يسمى بالقلب Core وتوجد الروابط السيتوبلازمية إما متجمعة تمر خلال الحقول النقرية الابتدائية أو متفرقة تخترق جدار الخلية في مواضع متعددة وقد تتفرع هذه الروابط ويعتقد أن وظيفتها نقل المواد الغذائية (شكل 5).

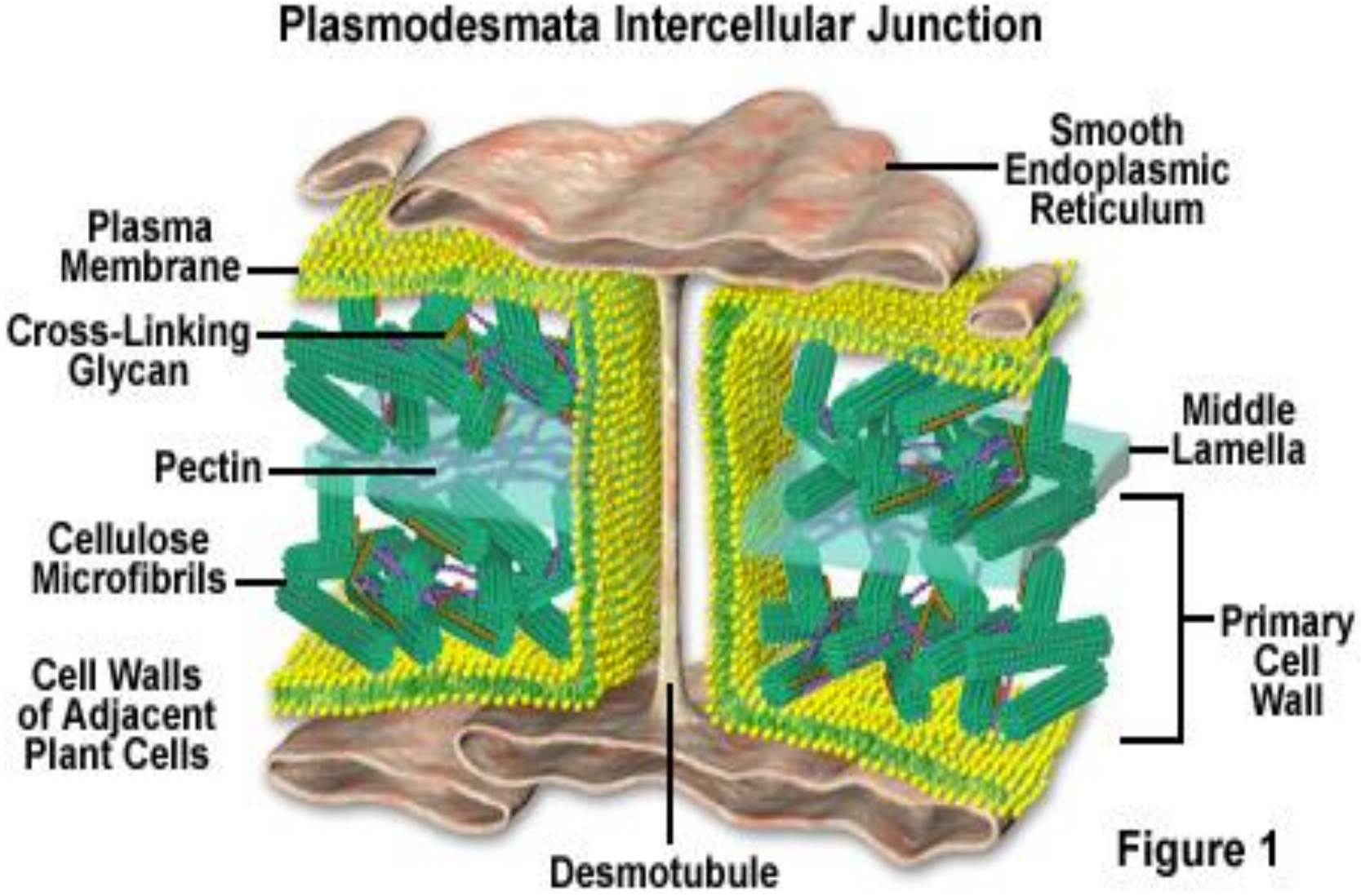

Plasmodesmata Intercellular Junction
Smooth Endoplasmic Reticulum
Plasma Membrane
Cross-Linking Glycan
Middle Lamella
Pectin
Cellulose Microfibrils
Primary Cell Wall
Cell Walls of Adjacent Plant Cells
Desmotubule

Figure 1

النـواة Nucleus

تظهـر النـواة في حالـة عـدم الانقسـام على هيئـة جسـم كـروي أو بيضـاوي محاطـة بالسـيتوبلازم. وتغلـف بغشـاء مـزدوج رقيـق يعـرف بغشـاء النـواة Nuclear membrane ويتصـل بالشـبكة الاندوبلازميـة وقـد تتصـل خلالهـا محتويـات النـواة بالسـيتوبلازم. ويوجـد داخـل الغشـاء النـووي البلازمـا النوويـة Nucleoplasm والشـبكة Reticulum الـتي تتمثـل في الكروماتينـات والنـوية Nucleolus. ولم يظهر المجهر الالكتروني أي تميز غشائي داخل النواة (شكل 6).

وتمتـاز النـواة بلزوجـة كبيرة ونسـبة البروتينـات أقـل فيهـا ممـا هـو في السـيتوبلازم. كمـا تتميز بوجـود حمض DNAحامل المادة الوراثية أو الجينية وكذلك حمض RNA ولكن الأخير يكون بنسبة أقل ممـا هـو في السـيتوبلازم ويتركـز بصـفة خاصـة في النويـة أو النـويات وجميـع المعلومـات الوراثيـة المخزنـة في النواة يطلق عليها مصطلح المجموعة الوراثية Genome.

النوية Nucleolus

هلاميـة ونصـف صـلبة وأكـبر كثافـة مـن العصـير النـووي وتحتـوي عـادة فراغـات وأجسـام بلوريـة. ويعتقـد أن النـويات تعمـل كمراكـز لتكـوين الحمـض النـووي RNA والبروتينـات مـع حلقـات كبيرة من الحمض النووي DNA تعرف بمناطق تكوين تحتوي على مجموعة من rRNA وكذلك أماكن لتكوين الريبوسومات.

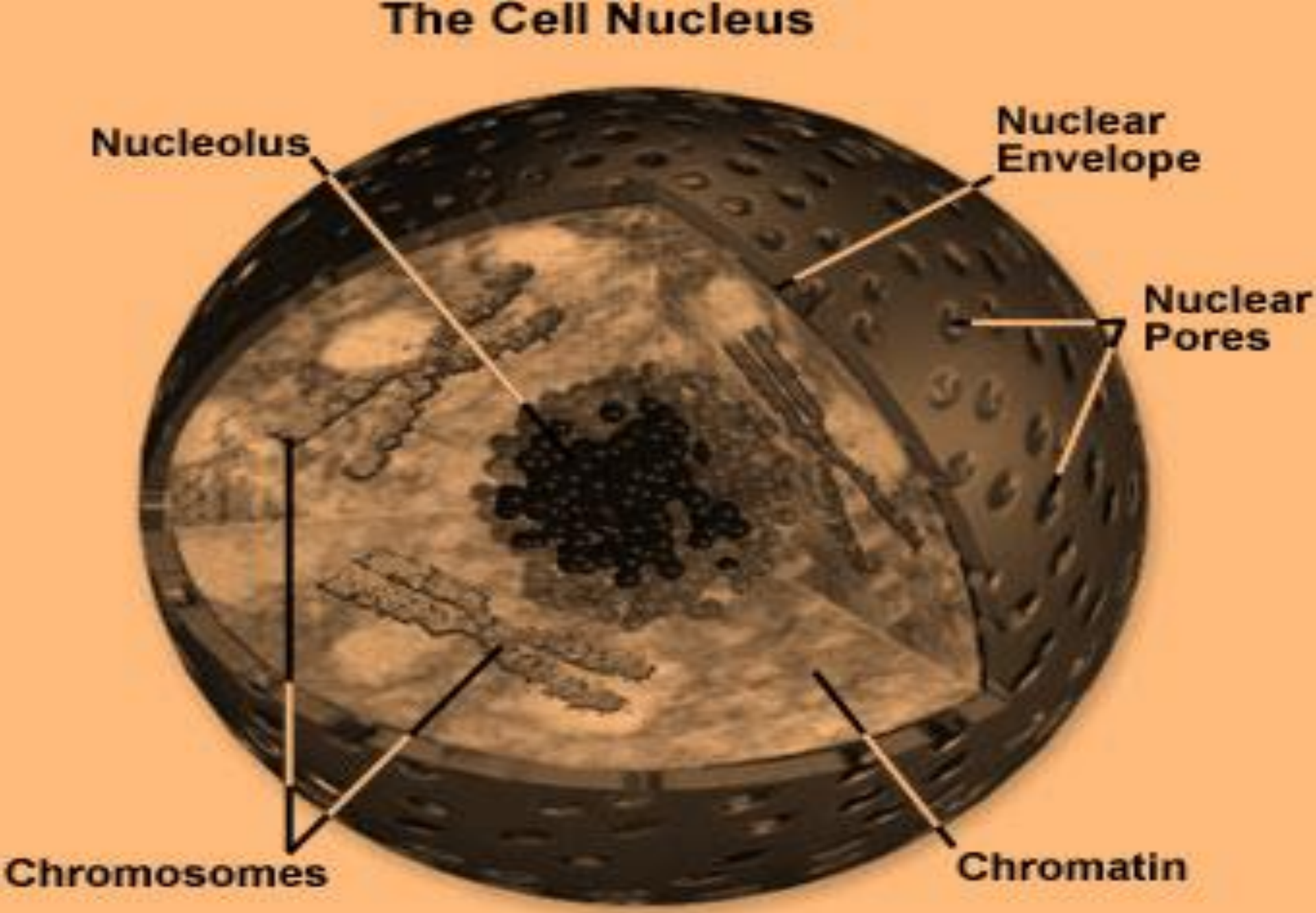

The Cell Nucleus
Nucleolus
Nuclear Envelope
Nuclear Pores
Chromosomes
Chromatin

Figure 1

البلاستيدات Plastids

اكتشفها العالم فان لوفينهوك (1676م) وهي: أجسام بروتوبلازمية ذات وظيفة وشكل متخصص وقد لا توجد البلاستيدات في النباتات الواطئة وخاصة البلاستيدات الخضر كما في الفطريات على التصنيف القديم. أو قد توجد بلاستيدة واحدة كما في بعض الطحالب مثل طحلب الاسبيروجيرا. أما في النباتات الراقية فإن الخلية تحتوي عدداً كبيراً من البلاستيدات. والبلاستيدات أجسام لزجة تحاط بغشاء مزدوج ومجموعة معقدة من الأغشية الداخلية. وتنشأ البلاستيدات من بلاستيدات أولية Proplastids ذات أصل متشابه ثم تأخذ في التميز مع تميز الخلية ونموها. وتستطيع البلاستيدة أن تتكاثر في الانقسام المباشر ولا يرتبط انقسامها بانقسام الخلية (أشكال(7 -9).

وتقسم **البلاستيدات** حسب وجود أو غياب الأصباغ إلى:

- بلاستيدات ملونة Chromoplasts (ويدخل ضمنها **البلاستيدات الخضر** Chloroplasts)
- **بلاستيدات عديمة اللون** Leucoplasts.

أما الرأي الثاني فيقسم **البلاستيدات** إلى:

- بلاستيدات خضر
- بلاستيدات عديمة اللون
- بلاستيدات ملونة

وغالباً ما يؤخذ بالتقسيم الأخير للبلاستيدات لأهمية البلاستيدات الخضر حيث أنها تلعب دوراً كبيراً في عملية البناء الضوئي في النبات.

البلاستيدات الخضر

يوجد هذا النوع من البلاستيدات في الأنسجة التمثيلية (النسيج الوسطي للورقة والأجزاء القريبة من الضوء) وقد توجد أحياناً في الأجزاء البعيدة عن الضوء مثل الجنين وبرنشيمة الأنسجة الوعائية.

والبلاستيدات الخضر أجسام قرصية الشكل أو مقعرة كالطبق وشكلها وحجمها عادة ثابتين. وتتركب البلاستيدة (شكل 8) من غشاء مزدوج يسمى غشاء البلاستيدة Plastid envelope يفصلها عن السيتوبلازم ويحيط بمجموعة من الحبيبات البلاستيدية يطلق عليها الجرانا (grana) ومفردها (granum) وهي مكونة من أكياس مفلطحة تشبه الأقراص محدده بغشاء محيطي أو حويصلات مبططة تسمى أحياناً بالصفيحات (lamellae) أو التايلاكويدز Tylakoids ويظهر بأن الجرانا تتصل مع بعضها البعض على مسافات معينة بصفائح بين جرانية (Intergrana-lamellae) وتغمر الجرانا والصفائح عادة في مادة غير معروفة التركيب تسمى الحشوة (stroma) أو الستروما. والجرانا هي الأماكن الأساسية لموضع اليخضور (الكلوروفيل) ويعزي تحول البلاستيدات الخضر إلى عديمة اللون أحياناً إلى تحلل الجرانا.

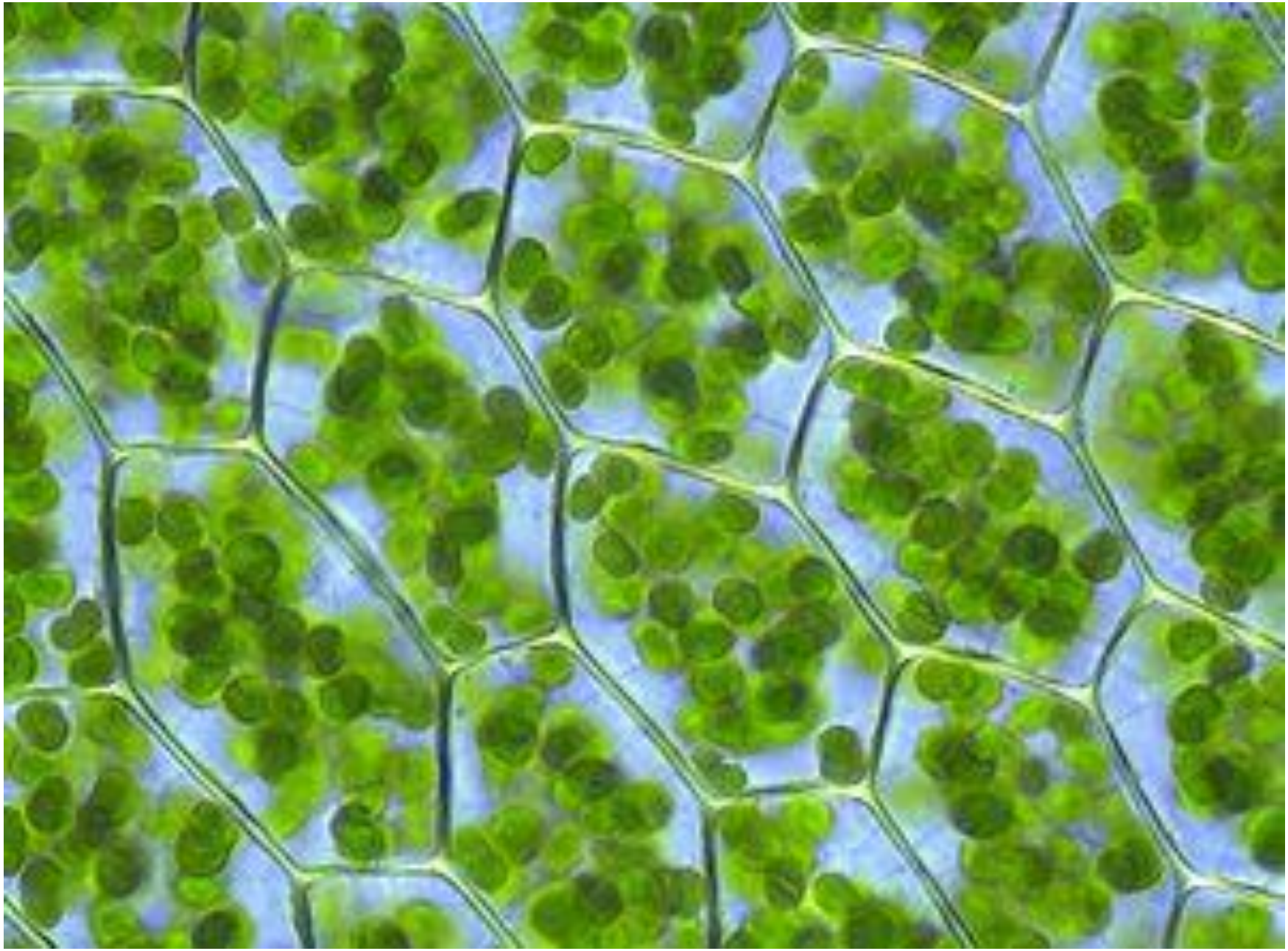
ويمكـن تقسـيم **البلاسـتيدات الخضـر** حسـب أشـباه الكاروتينـات (Evert, 2006) إلى:

1 . بلاستيدات خضر كروية Globular chloroplasts

2 . بلاستيدات خضر غشائية Membranous chloroplasts

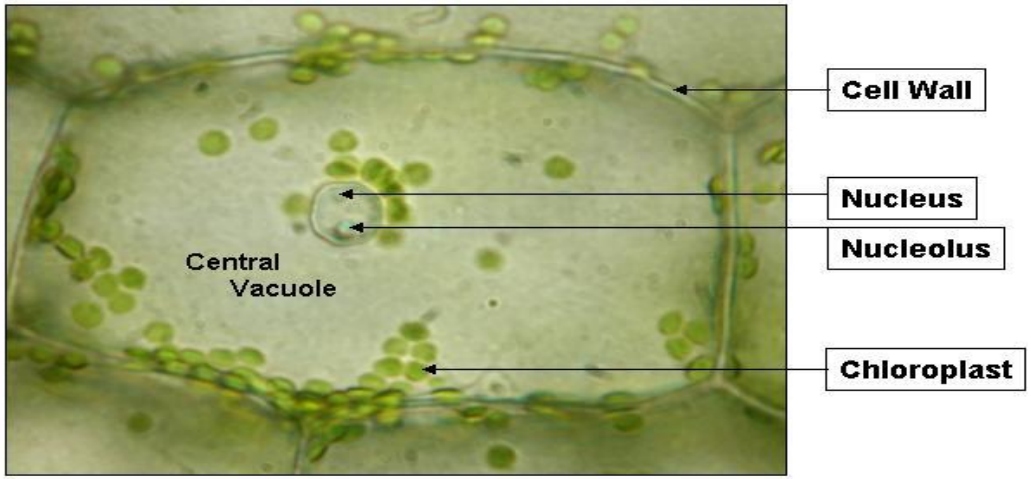
3 . بلاستيدات خضر أنبوبية Tubular chloroplasts

4 . بلاستيدات خضر بلورية Crystalline chloroplasts



Elodea Leaf - Plant Cell

1,000 Magnification

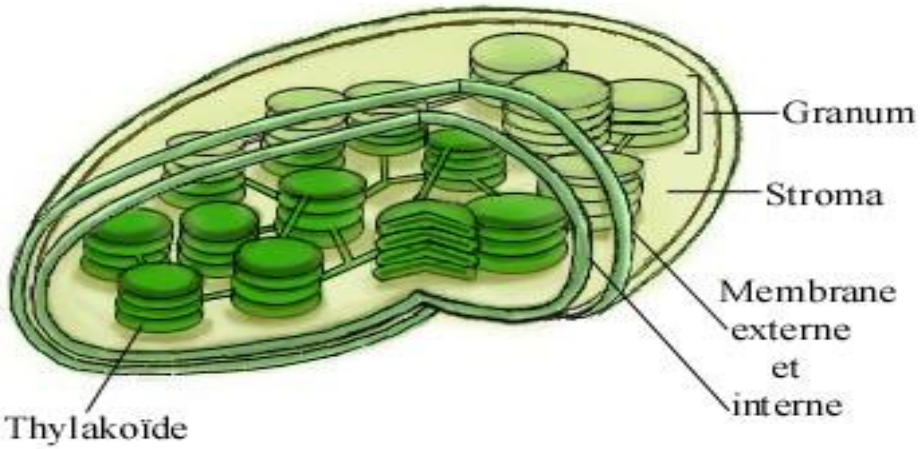


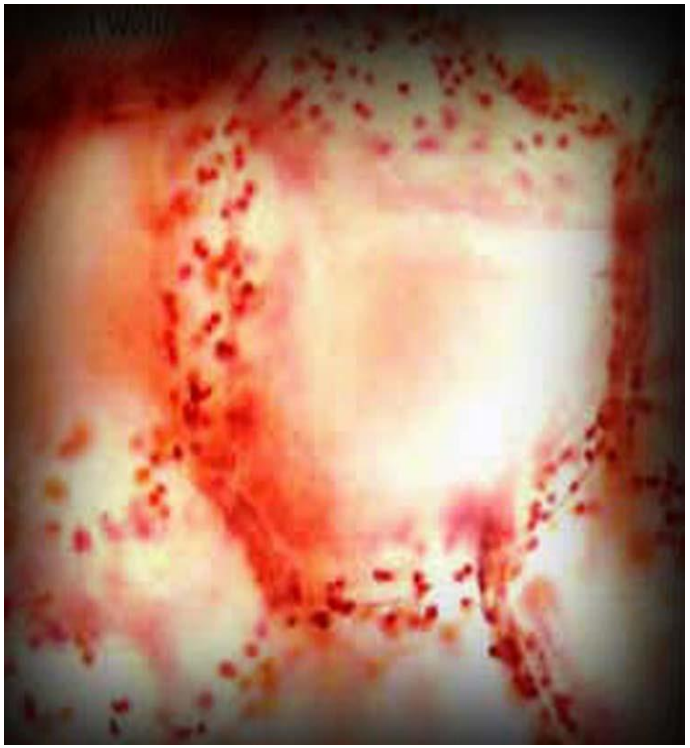
البلاستيدات الملونة

خذ **البلاستيدات الملونة** أشكالاً متعددة فمنها المستطيلة والمفصصة والزاوية والمستديرة وعادة ما تكون صفراء أو برتقالية (شكل 8). وتتبع الأصباغ المسئولة عن هذه الألوان أشباه **الكاروتينات**.

والبلاستيدات الملونة قد تحتوي على بلورات أشباه الكاروتين كما في الجزر وثمرة الطماطم أو حزم من خيوط تحت مجهرية كما في الفلفل الأحمر ولم يثبت وجود غلاف مزدوج حول هذه **البلاستيدات** كما أن وظيفتها لم تعرف بعد، ولكن قد تلعب دوراً في جذب الحشرات وبعض الحيوانات لإتمام عملية التلقيح وكذلك تسهم في انتشار الثمار والبذور. ريفن وآخـرون (Ravin,et,al 2005).

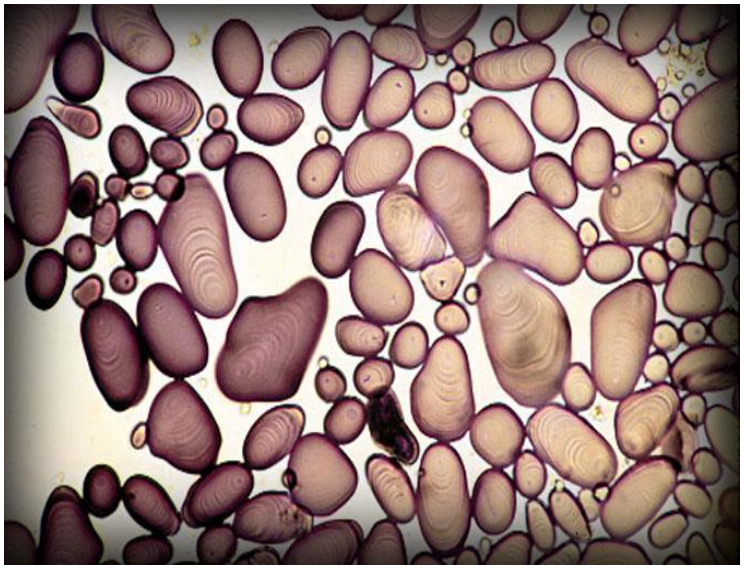
Chloroplaste





البلاستيدات عديمة اللون

بلاستيدات غير واضحة التحديد وهي كتل صغيرة من البروتوبلازم متفاوتة في الشكل وغير ثابتة تتجمع عادة قرب النواة وتوجد عادة في الخلايا البالغة البعيدة عن الضوء كالنخاع بالساق وكثير من الأجزاء الأرضية وكذلك توجد في خلايا البشرة وتعتبر البلاستيدات عديمة اللون أماكن لتجميع مادة النشا، وعندما تختص لهذا الغرض يطلق عليها **بلاستيدات نشوية** Amyloplasts (شكل (9).



الأجسام السبحية Mitochondria

اكتشفها العالم الألماني التمان (1900م) وهي مكونات بروتوبلازمية حية قطرها حوالي0.5 ميكرومتر وطولها 6 ميكرومترات، تظهر تحت المجهر الضوئي كحبيبات صغيرة مستديرة أو عصوية. أما تحت المجهر الالكتروني فتظهر إما مستديرة أو مستطيلة وأحياناً أجسام مفصصة يحيط بهذه العضيات غشاء مزدوج الجزء الداخلي ذو ثنيات cristae تمتد إلى الداخل لزيادة السطح الغشائي الداخلي. وتوجد بين أجزاء الغشاء مادة غير مميزة أو معروفة ولكنها غالباً تتكون من بروتين. ويقال أن نمو السبحيات يتبعه انقسام مباشر كطريقة للتكاثر. وتوجد عدة أنزيمات من ضمنها الأنزيمات الداخلية في دورة كربس والإنزيمات المؤكسدة. وقد تحتوي السبحيات على حمض DNA والرايبوسومات ولكن قدرتها الوراثية محدودة وتتكاثر بالإنقسام المباشر. وقد تقوم بدور في برمجة موت الخلية(Evert, 2006).

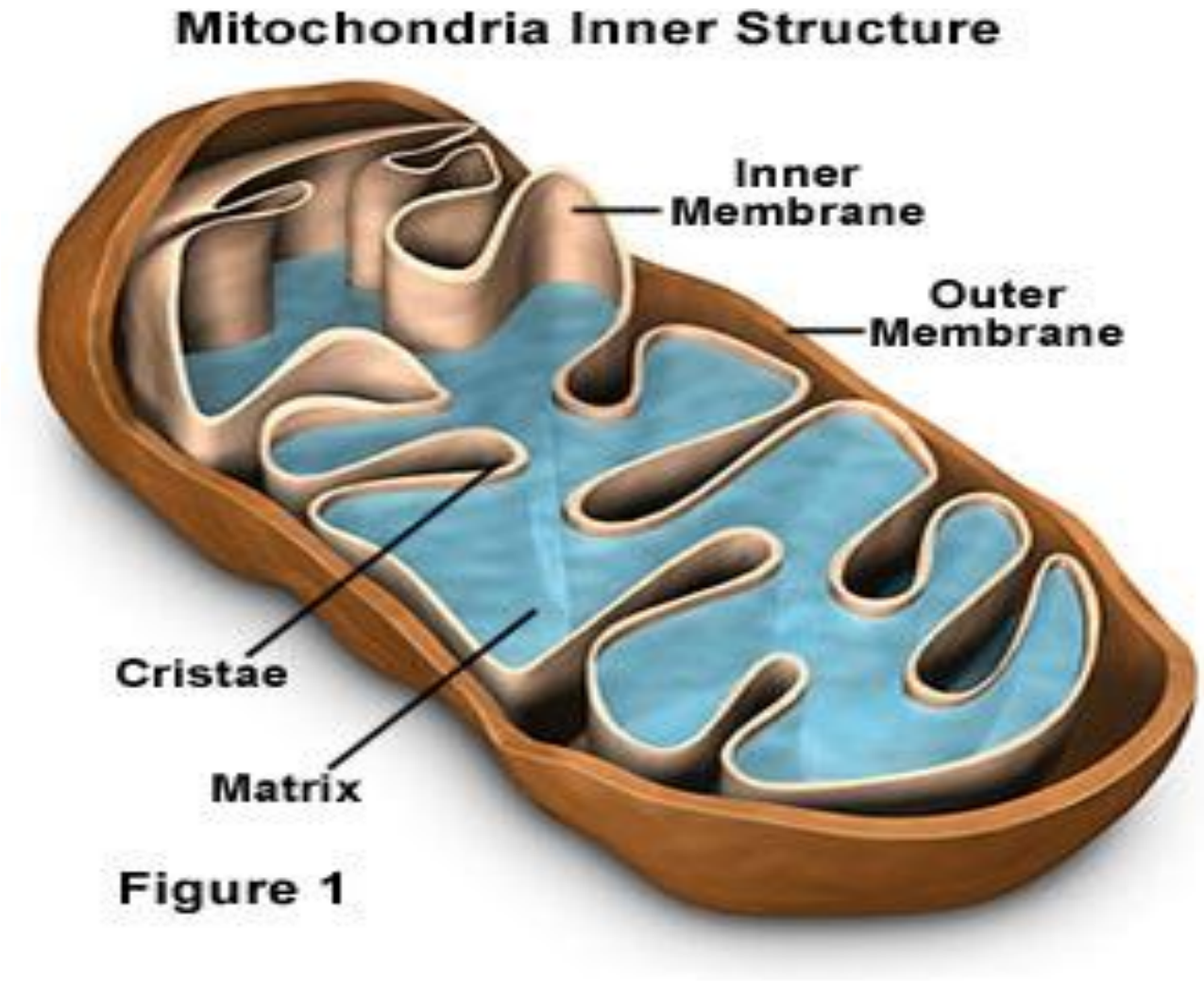
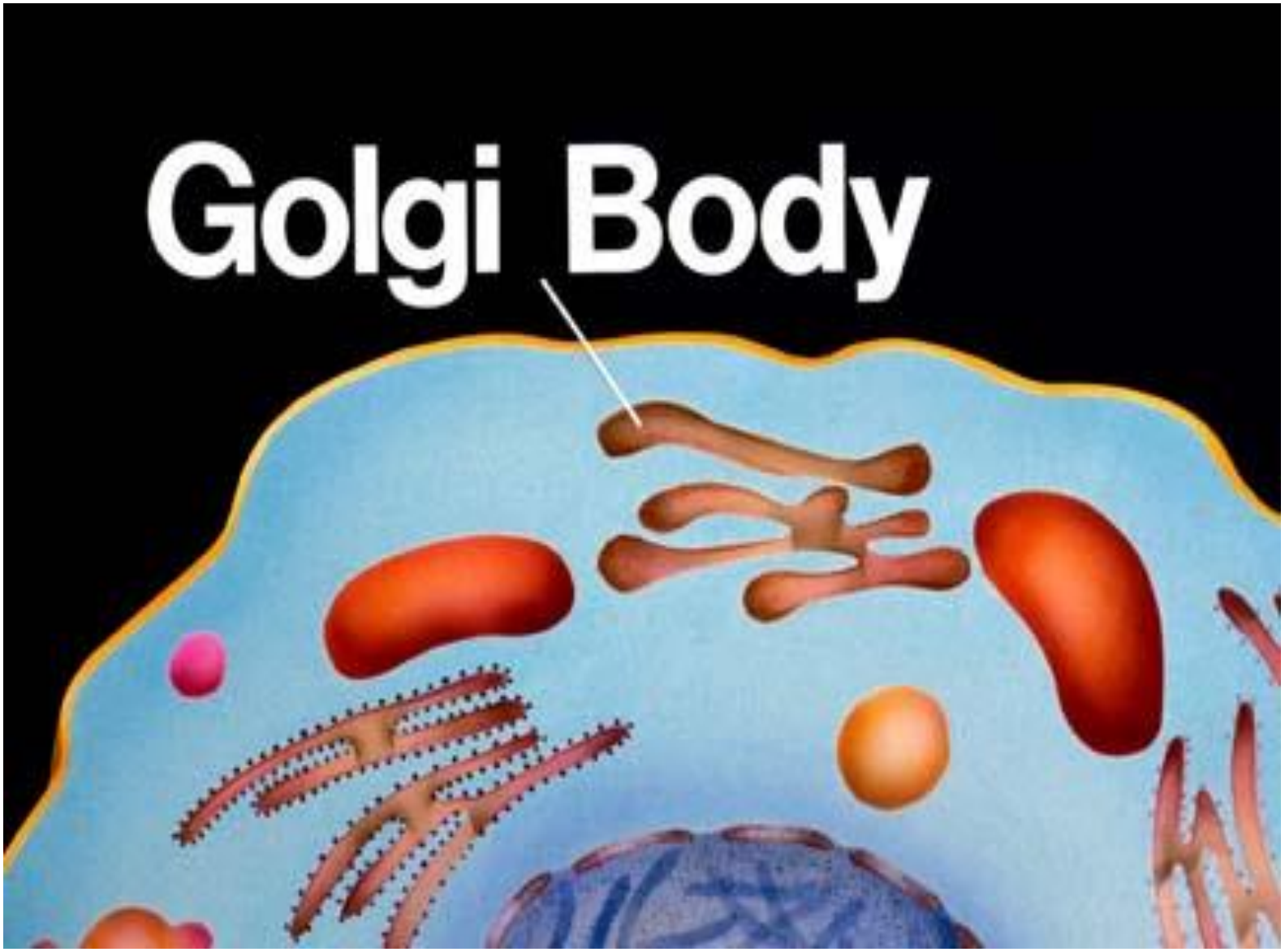

Mitochondria Inner Structure
Inner Membrane
Outer Membrane
Cristae
Matrix

Figure 1

الدكتيوســومات (أجســام جــولجي) Dictyosomes أو Golgi Apparatus

اكتشفها العالم جولجي (1898م) في الخلية الحيوانية وهي عضيات تتكون من حزمة مفلطحة من الأكياس المستديرة كل كيس محاط بغشاء وحافته غالباً ما تكون ذات ثقوب أو فتحات عميقة وعندما تمتد هذه الفتحات تظهر الأكياس شبه أنبوبية وتشبه أجسام جولجي في الخلية الحيوانية وتتكون الدكتيوسومات في النبات من 2-7 أكياس (شكل 11) وتقوم هذه المجموعة من الأكياس بعملية تجميع مادة الجدار الخلوي وإفرازها حيث تفرز المواد على هيئة حويصلات تتحد مع غشاء السيتوبلازم ثم تفرز المواد تجاه الجدار الخلوي. ويقوم بتوجيه هذه الحويصلات إلى الغشاء الخارجي للسيتوبلازم ومن ثم لجدار الخلية ما يعرف **بالأنابيب الدقيقة**.


Golgi Body

الفجوات Vacuoles

تعتبر الفجوات من أهم مكونات البروتبلازم فهي تحتوي على الماء والمواد العضوية وغير العضوية ومعظمها تكون في حالة سائلة وقد تكون هذه المواد تخزينية مثل السكر، الأحماض العضوية، البروتينات والفوسفات وأحياناً تكون نواتج إفرازية مثل أكسالات الكالسيوم والتانينات (الدباغيات)

وأظهرت الدراسة الحديثة أن الفجوات لا تقتصر فقط على تجميع النواتج الأيضية ولكن تشترك في أعادة المواد الكيميائية النباتية في الخلية (شكل 2).

لذلك فأن الفجوات تستطيع أن تعمل كعضي يقوم بوظيفة حيوية مثل عملية الأيض، والتكشف، وتحريك المواد المخزنة نظراً لوجود بعض الإنزيمات التي تقوم بمثل هذه العمليات. وكأماكن لتجميع الصبغات خاصة (الأنثوسيانات) المسؤولة عن تلون الأزهار والثمار.

الرايبوسومات Ribosomes

هي جسيمات قطرها حوالي 17-23 مليميكرومتر وهي أماكن تكوين البروتينات من الأحماض الأمينية وتتكون من كمية متساوية من البروتينات وحمض RNA وعند تكوين البروتين تتحد الرايبوسومات في مجاميع إلى رايبوسومات متعددة بواسطة حمض M.RNA حاملاً الرسالة الوراثية من النواة. والأحماض الأمينية التي يتكون منها البروتين تأتي إلى الرايبوسومات المتعددة بواسطة حمض T. RNA الناقل الموجود في السيتوبلازم. وتوجد الرايبوسومات إما طليقة في السيتوبلازم أو متصلة بالشبكة الإندوبلازمية كما توجد متصلة بغشاء النواة وفي النوية والبلاستيدات وكذلك في الأجسام السبحية (شكل 2 ، 4).

الأنابيب الدقيقة Microtubules

أنابيب مستقيمة مجوفة حوالي 23-27 ميليميكرومتر في القطر تتكون من تحت وحدات من جزيئات البروتين (ألفا ، بيتا)

تيوبيولين وهي مكونات الخيوط المغزلية وتساعد في تكوين الجدار الخلوي في الانقسام الخلوي. وكذلك توجيه المواد الجديدة التي تترسب على الجدار الخلوي. كما أنها تكون مع خيوط الآكتين ما يعرف بالهيكل السيتوبلازمي Cytoskeleton (شكل 2).

الأجسام الدقيقة Microbodies(Peroxisomes)

هي أجسام بروتوبلازمية كروية صغيرة الحجم 0.5 – 1.5 ميكرومتر، توجد في الخلايا النباتية تتكون من حشوة تحاط بغشاء مفرد ويقال بأنها تحتوي على أنزيمات تقوم بتحليل الجزيئات الكبيرة الداخلة في تركيب البروتوبلازم وعند تمزق الغشاء المفرد لهذه الأجسام فإن هذه الإنزيمات تعمل على تحليل محتويات الخلية وموتها ويحدث ذلك عند كبر الخلية وبلوغها أو تخصصها كما يحدث في الأوعية والقصيبات والألياف (شكل 2).

الأجسام الكروية Spherosomes(Oil Bodies)

تراكيب كروية ذات مظهر حبيبي تحت المجهر الضوئي، أما تحت المجهر الإلكتروني فليس لها تركيب مميز. توجد في جميع الخلايا النباتية ولكنها توجد بكثرة في الثمار والبذور (شكل 2).

المواد غير البروتوبلازمية (غير الحية)

هي مواد أو نواتج الأيض الغذائي ويمكن أن تظهر أو تختفي في أوقات مختلفة في حياة الخلية وهي إما أن تكون نواتج مختزنة أو إفرازية ناتجة عن فعالية الخلية. وأهمها السليولوز Cellulose والنشا Starch والبروتينات Proteins والدهون والزيوت Oils & Fats والبلورات Crystals والأجسام السليكية Silica bodies. كما تضم أيضاً بعض المواد العضوية مثل التانينات Tannins والراتنج Resins والصموغ Gums والأصباغ Pigments والشموع Waxes .

السليولوز Cellulose

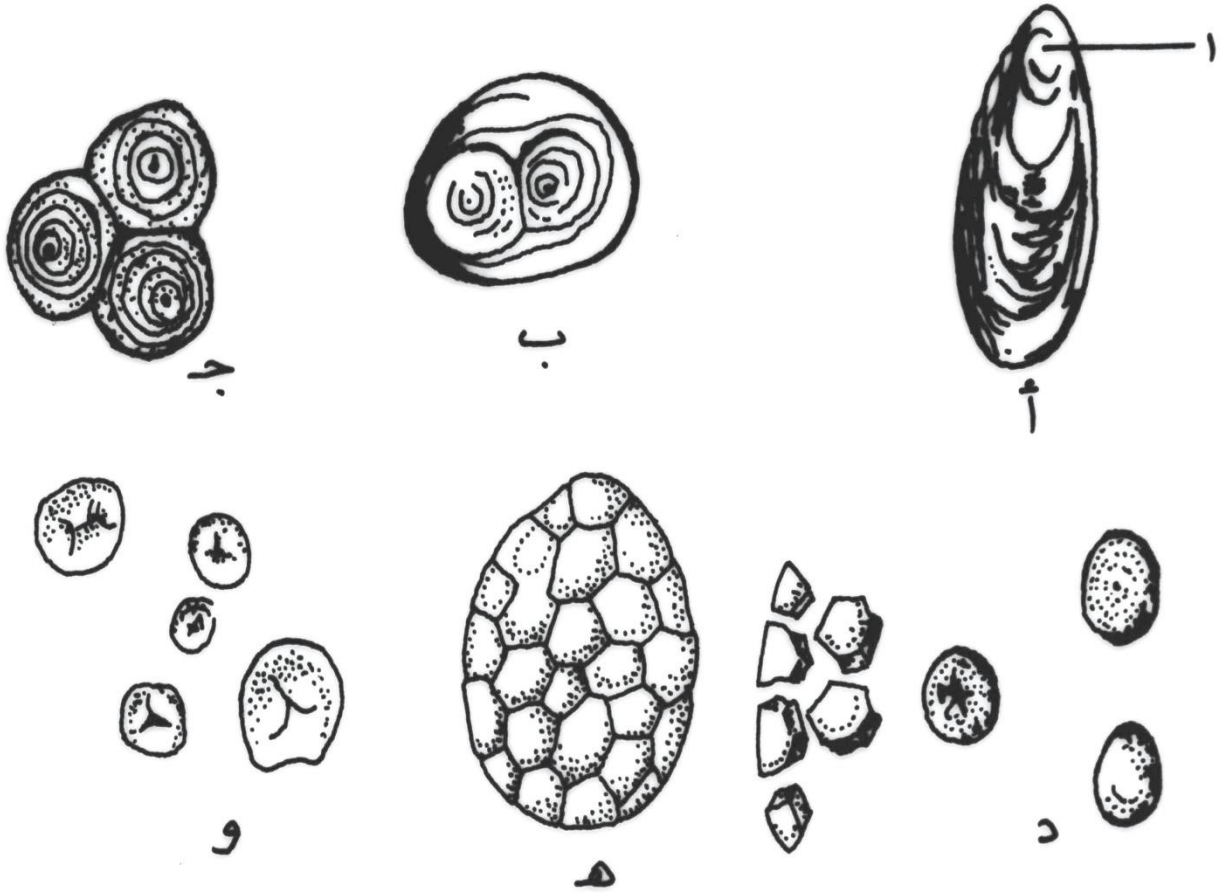
هو المادة الرئيسة في تكوين الجدار الخلوي. وهو مركب كربوايدراتي عديد التسكر محب للماء و يكون على صورة متبلمرة ويتكون من جزيئات على هيئة سلسلة طويلة وحداتها الأساسية بقايا جلوكوز غير مائي بالرمز $(C_6H_{10}O_5)^n$ وتوجد الجزيئات مرتبة ولذلك فلها خاصيتي الاستقطاب الضوئي (ظاهرة تكون فيها الاهتزازات في الموجه الضوئية في اتجاه واحد)، والانكسار الثنائي (ظاهرة تشعب شعاع الضوء الساقط إلى شعاعين) (شكل 16).

النشا Starch

هو من أهم المواد غير البروتوبلازمية ويتكون على هيئة حبيبات تنشأ في البلاستيدات. ويعتبر من أكثر المواد الكربوهيدراتية انتشاراً في عالم النبات. فخلال التركيب الضوئي يتكون النشا في البلاستيدات الخضر وأخيراً يتحلل ثم يعاد تكوينه كنشا تخزيني في البلاستيدات النشوية Amyloplast التي قد تحتوي على واحدة أو أكثر من حبيبات النشا.

حبيبات النشا ذات أشكال مختلفة (شكل 12)كما أنها تختلف أيضاً في موضع السرة hilum وفي تكوينها على هيئة طبقات. مما يجعلها ذات أهمية كبيرة في تعريف النبات. فحبيبة النشا في البطاطس تتكون من سرة جانبية excentric يترسب حولها النشا على هيئة طبقات متفاوتة في الكثافة وذات درجات انكسار مختلفة. بينما حبيبة النشا في الذرة ذات سره مركزية concentric وقد تكون السرة على هيئة شق طويل كما في الفاصوليا وقد تكون أحياناً مستطيلة ومتفرعة.

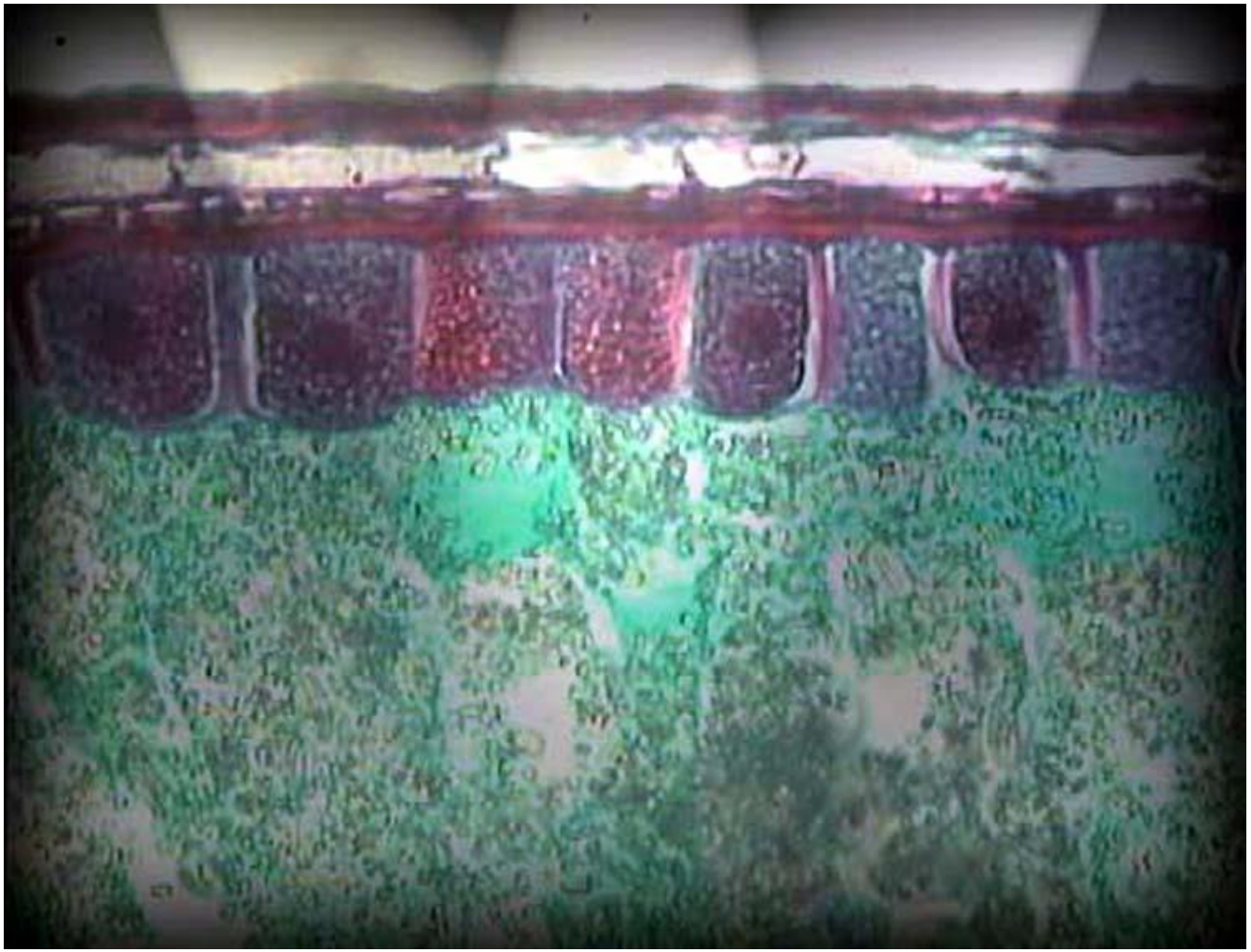
وقد تكون حبيبة النشا بسيطة simple إذا احتوت الحبيبة على سره واحدة أو مركبة compound إذا احتوت حبيبة النشا على أكثر من سرة كما في نشا البطاطس. وقد تتجمع حبيبات النشا الصغيرة في مجاميع مختلفة كما في نشا الأرز وأحياناً تأخذ حبيبات النشا أشكالاً مختلفة كما في نشا الموز.

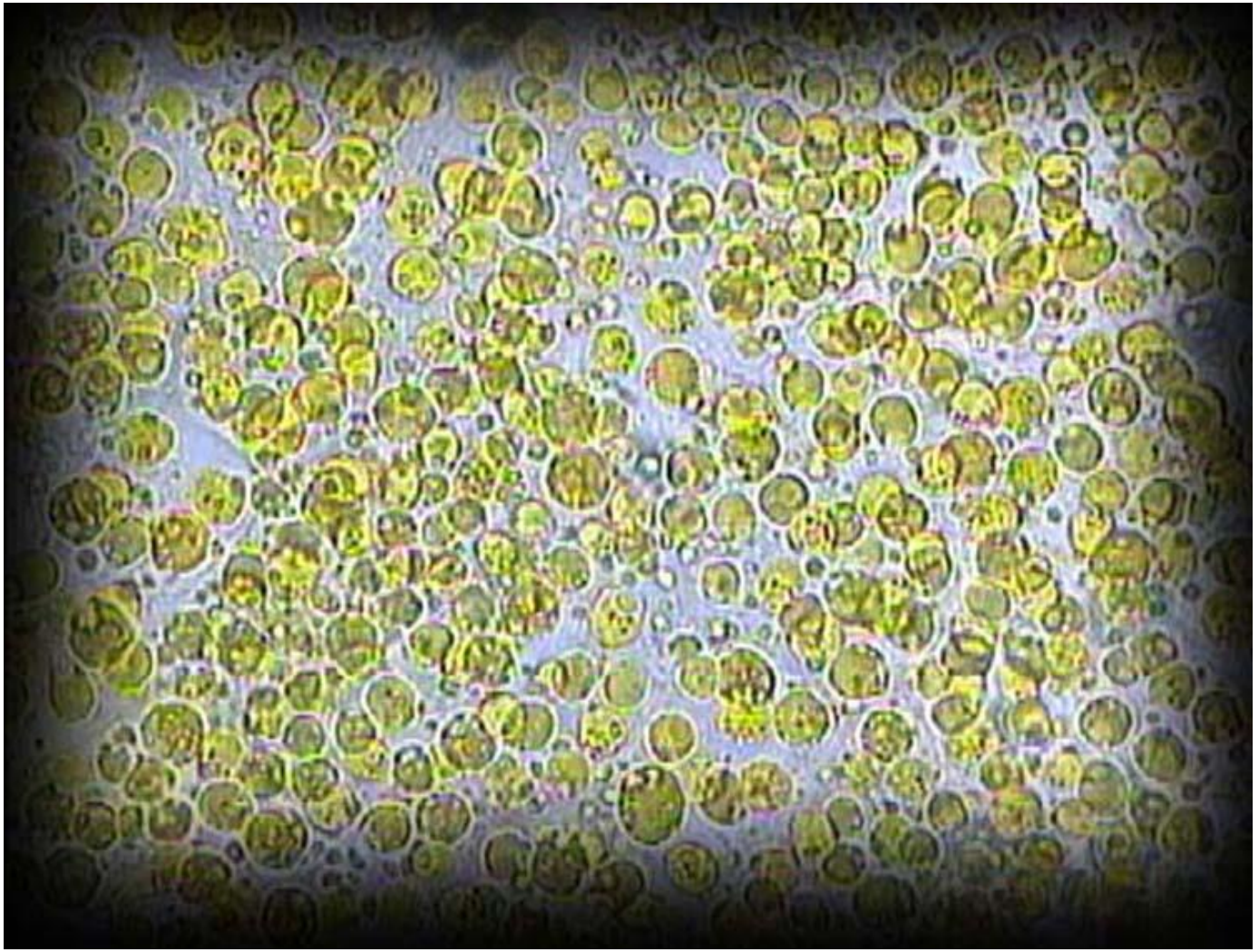

ا
أ
ب
جـ
د
هـ
و

البروتينات Proteins

هي المكونات الأساسية للأجسام البروتوبلازمية الحية، وتختزن على هيئة أجسام بروتينية أو **حبيبات أليرون** Aleurone grains في الثمار والبذور لعدة أنواع من النباتات، وتوجد البروتينات المختزنة على صورة متبلورة وغير متبلورة. فغير المتبلورة تكون على هيئة أشباه كرات (Globoids) أو كتل ليس لها شكل خاص بينما البروتين المتبلور يجمع بين الخواص الغروية والبلورية ولذلك فإنه يتكون من جسم شبه بلَّوري بروتيني Crystalloid وجسم شبه كروي مائي غير بروتيني Globoids يحاطان بغشاء رقيق من البروتين وينغمران في مادة بروتينية تختلف عن بروتين الجسم البلَّوري (شكل، 13).

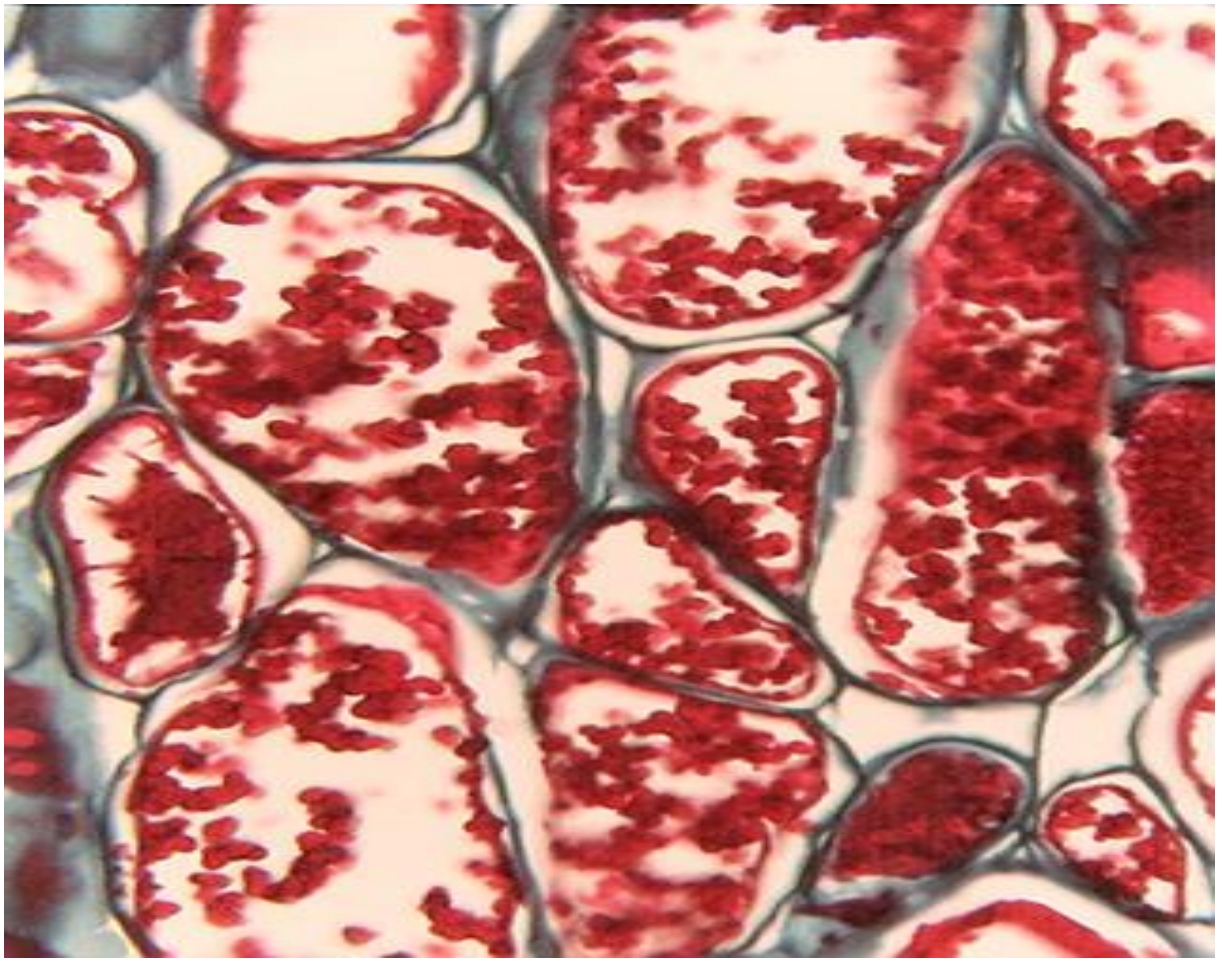
يتراكم البروتين المخزون في فجوات الخلايا وفي هذه الحالة تتجزأ الفجوات الكبيرة إلى وحدات صغيرة وعند البلوغ لتلك الأنسجة الخازنة تتحول كل فجوة صغيرة إلى أجسام بروتينية مع بقاء الغشاء الداخلي Tonoplast أو غشاء الفجوة كغشاء للجسم البروتيني. وفي عملية الإنبات يستهلك البروتين وتعود تلك الفجوات الصغيرة إلى فجوة كبيرة.





الدباغيات (التانينات) Tannins

هي مجموعة غير متجانسة من مشتقات الفينول واسعة الانتشار في جسم النبات وتظهر واضحة في القطاعات ككتل خشنة أو ملساء أو كأجسام ذات أحجام مختلفة وتظهر في لون أحمر أو أصفر أو بني ولا يخلو تماماً أي نسيج من **المواد الدباغية**. وتوجد **الدباغيات** بكثرة في الألياف والأنسجة الوعائية والبريدرم والفواكه غير الناضجة وفي أغلفة البذور ويوجد في الخلية إما في السيتوبلازم أو في الفجوة أو داخل تركيب الجدار وأحياناً توجد **الدباغيات** في خلايا كبيرة تعرف **بالأكياس الدباغية** Tannin sacs، وأحياناً تكون ذات أهمية في إيجاد العلاقة التصنيفية للنبات. وتستعمل **المواد الدباغية** لدبغ الجلود (شكل 14).



الدهون والزيوت والشموع Oils, Fats & Waxes

هي من المواد غير الحية وتعتبر ذات أهمية كبيرة في النباتات التي تستعمل تجارياً أي ذات أهمية اقتصادية. فالشموع هي أسترات لأحماض دهنية وكحولات أحادية التميؤ. أما الدهون والزيوت فهي جلسريدات لأحماض دهنية معينة والفرق بين الدهون والزيوت هو أن الدهون تكون صلبة في درجة الحرارة العادية بينما تكون الزيوت سائلة. وتعتبر جميعها ليبدات مختزنة ويمكن إطلاق مصطلح الدهون لكلا الاثنين. وتوجد الدهون في جميع النباتات بل في كل خلية على الأقل بكميات قليلة وقد توجد في حالة صلبة أو سائلة كنقط دهنية. أما على هيئة بلورات فنادراً ما يحدث ذلك كما في بعض أنواع النخيل حيث تكون الخلية ممتلئة ببلورات إبرية قصيرة من الدهون.

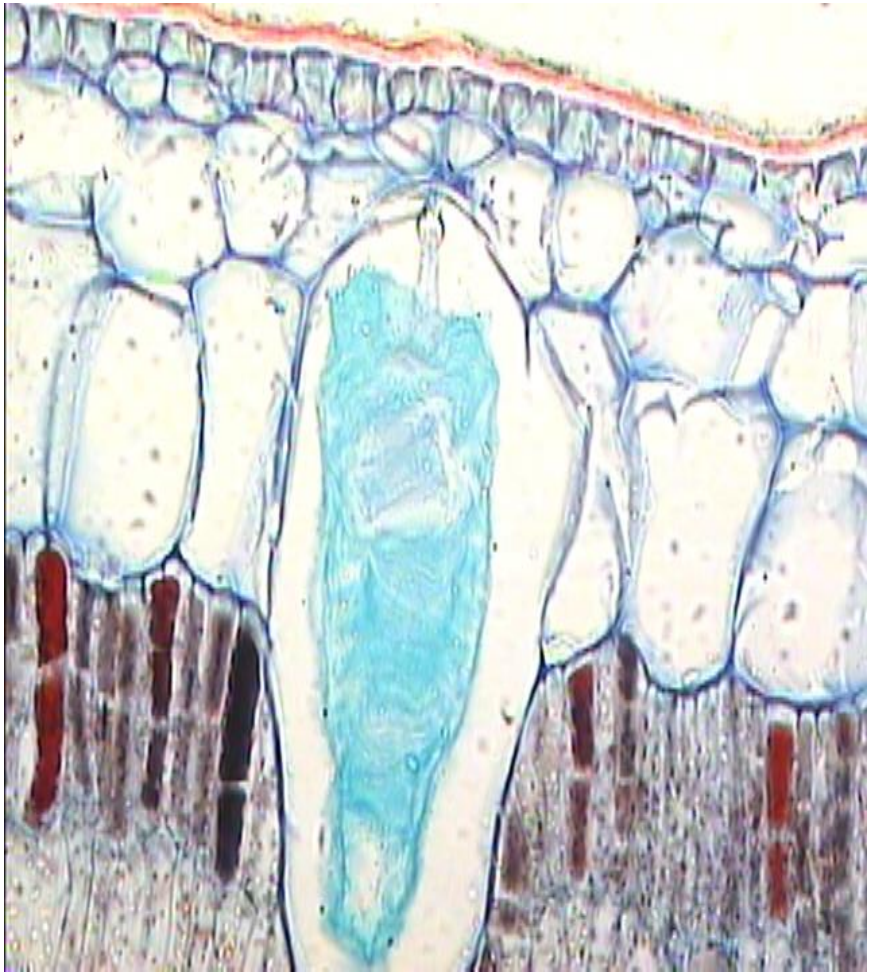
والشموع مادة وقائية توجد فوق البشرة ولكن قد تفرز في الخلية. أما الزيوت الطيارة فتفرز في خلايا متخصصة أو تفرز إلى تجاويف بين خلوية ويمكن الكشف عن الدهون بمعاملة الأنسجة النباتية في سودان 3 أو 4.

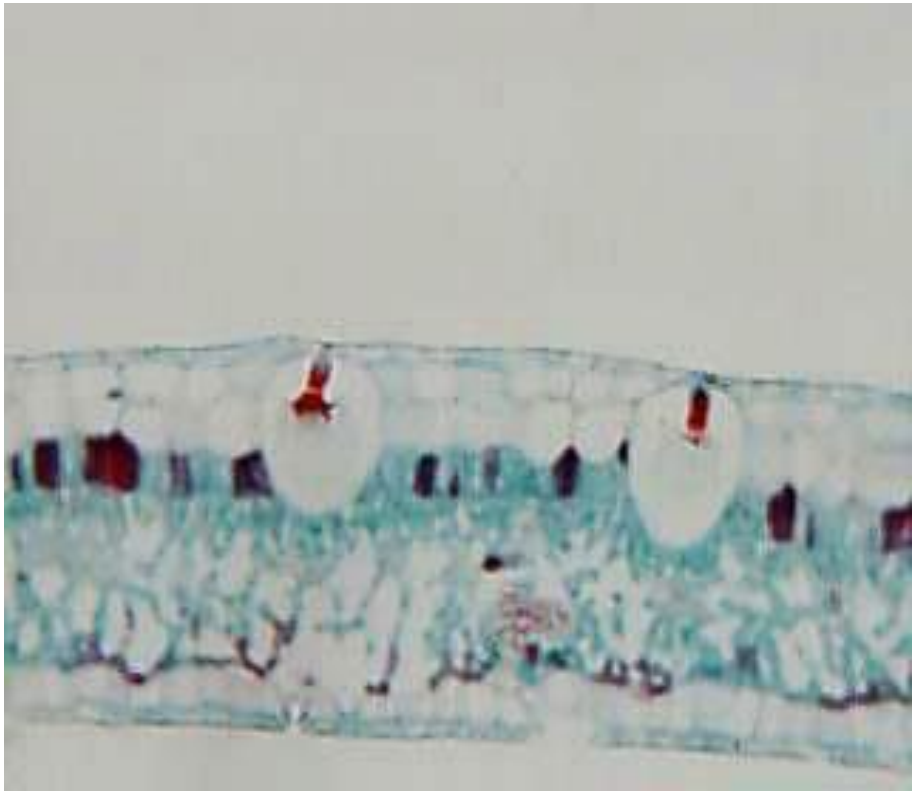
البلورات Crystals

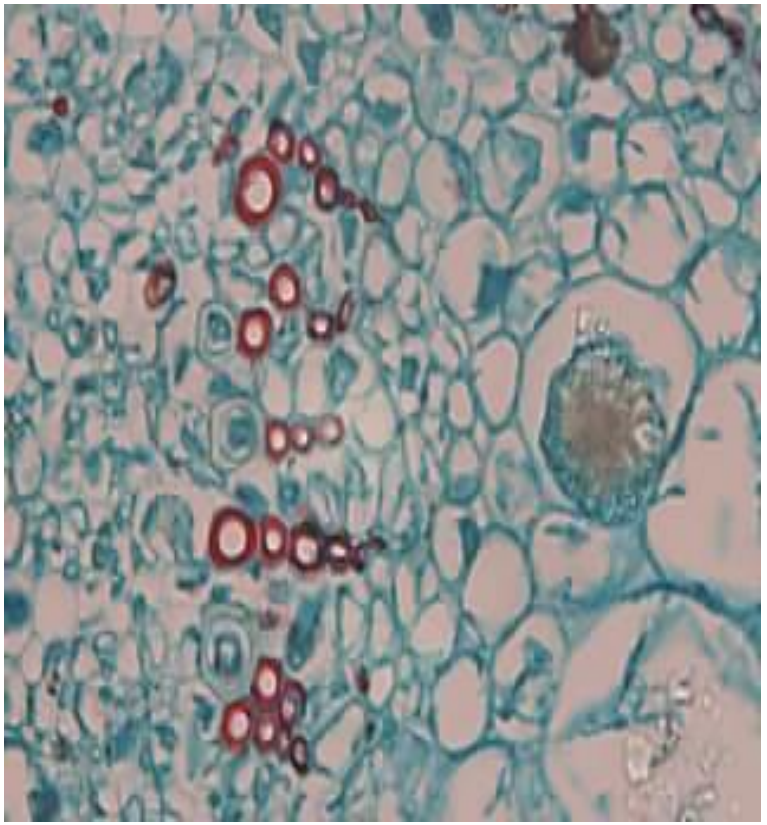
هي **أملاح الكالسيوم** وتعتبر من النواتج الأيضية الإفرازية التي تفرز إلى تجويف أو سيتوبلازم الخلية ولكنها لا تفرز إلى الخارج ومن أهمها **أكسالات الكالسيوم وكربونات الكالسيوم**.

أكسالات الكالسيوم Calcium oxalate تترسب في أشكال مختلفة فتظهر على هيئة بلورات إبرية Raphides أو فردية Solitary أو أعمدة بلورية مستطيلة منشورية Prisms مضلعة أو مثلثة الشكل. كما تترسب على شكل نجمي Droses ويوجد أيضا بلّورات صغيرة عادة تتجمع في كتل يطلق عليها اسم الرمل البلّوري Crystal sand. وترسب أكسالات الكالسيوم بأشكال مختلفة يجعلها ذات أهمية كبيرة في تعريف النبات (شكل 15).

أما كربونات الكالسيوم فيندر وجودها على هيئة بلّورات جيدة التكوين ولكن يوجد منها **الحويصلات الحجرية** Cystoliths وهي نموات في جدار الخلية (المعروفة **بخلية الحويصلة الحجرية** Lithocyst) إلى الداخل تترسب عليها مادة كربونات الكالسيوم وتوجد في البرنشيمة البالغة وفي خلايا البشرة والشعيرات أو في خلايا خاصة.







أشباه القلويات Alkaloids

مركبات آزوتية (نيتروجينية) معقدة التركيب لها تأثير فسيولوجي على الإنسان والحيوان، ويتعرف عليها في النبات حسب أنواعها مثل **الكافين** Caffeine الذي يوجد في بذور القطن وأوراق الشاي والقهوة. والأفيون (مادة الكوكائين Cocaine) التي توجد في المادة اللبنية في الثمار غير الناضجة لنبات الخشخاش *Papaver somniferum* **والكينين** (Quinine) الذي يسبب هبوطاً في عضلات القلب كما أنه يستعمل طبياً في علاج مرضى الملاريا ويوجد في بعض نباتات الكينا.

الأتروبلين Atroplene يوجد في نباتات الفصيلة الباذنجانية والسكران ويستعمل في الطب لتوسعة حدقة العين في الجراحة. **النكوتين Necotine** ويوجد في نبات الدخان ويستعمل كمادة مخدرة.

الهيوسيامين Hyoscymine مادة توجد في نبات السكران وهي شبيهه بالأتروبين.

الصبغات Pigments

منها اللون الأخضر الذي يوجد في البلاستيدات الخضر وصبغات الكاروتين ذات اللون الأصفر. وصبغات الفلافونات Flavonoids ونواتج أكسدتها (وهي الأنثوسيانيات Anthocynins) المسؤلة عن اللون في الثمار والأزهار والجذور. والصبغات إما أن تكون غير قابلة للذوبان في الماء وتذوب في الكحول مثل الصبغ الأخضر في البلاستيدات الخضر والصبغات الكاروتينية. أو صبغات تذوب في الماء وتوجد في الفجوات مثل صبغات الفلافيونات (الأنثوسيانات).

جدار الخلية Cell wall

من أهم خصائص الخلية النباتية وجود جدار خلوي غالباً سليولوزي، يميزها عن الخلية الحيوانية التي تفتقر إلى مثل هذا الجدار. وهناك قليل من الخلايا النباتية التي ليس لها جدار مثل الجراثيم السابحة في الطحالب والفطريات والخلايا التناسلية في كل من النباتات البدائية والراقية. ويتميز جدار الخلية مجهرياً إلى ثلاثة أجزاء وهي حسب النشأة كما يلي:

- الصفيحة الوسطى Middle lamella
- الجدار الابتدائي Primary wall
- الجدار الثانوي Secondary wall

الصفيحة الوسطى

هي مادة بين خلوية Intercellular substances غير متبلورة وغير نشطة ضوئياً وتتكون أساساً من مركبات بكتينية Pectic substances ربما متحدة مع الكالسيوم. وفي الأنسجة الخشبية تكون الصفيحة الوسطى عادة ملجننة أي يدخل اللجنين في تركيبها. وعادة ما يكون من الصعب التمييز بين الصفيحة الوسطى والجدار الابتدائي عندما يكون كلاهما ملجننين. وأحياناً تشترك الطبقة الداخلية من الجدار الثانوي في عدم التمييز ويحدث ذلك في القصيبات والألياف ويسمى عند ذلك **بالصفيحة المركبة** Campound middle lamella(شكل 16).

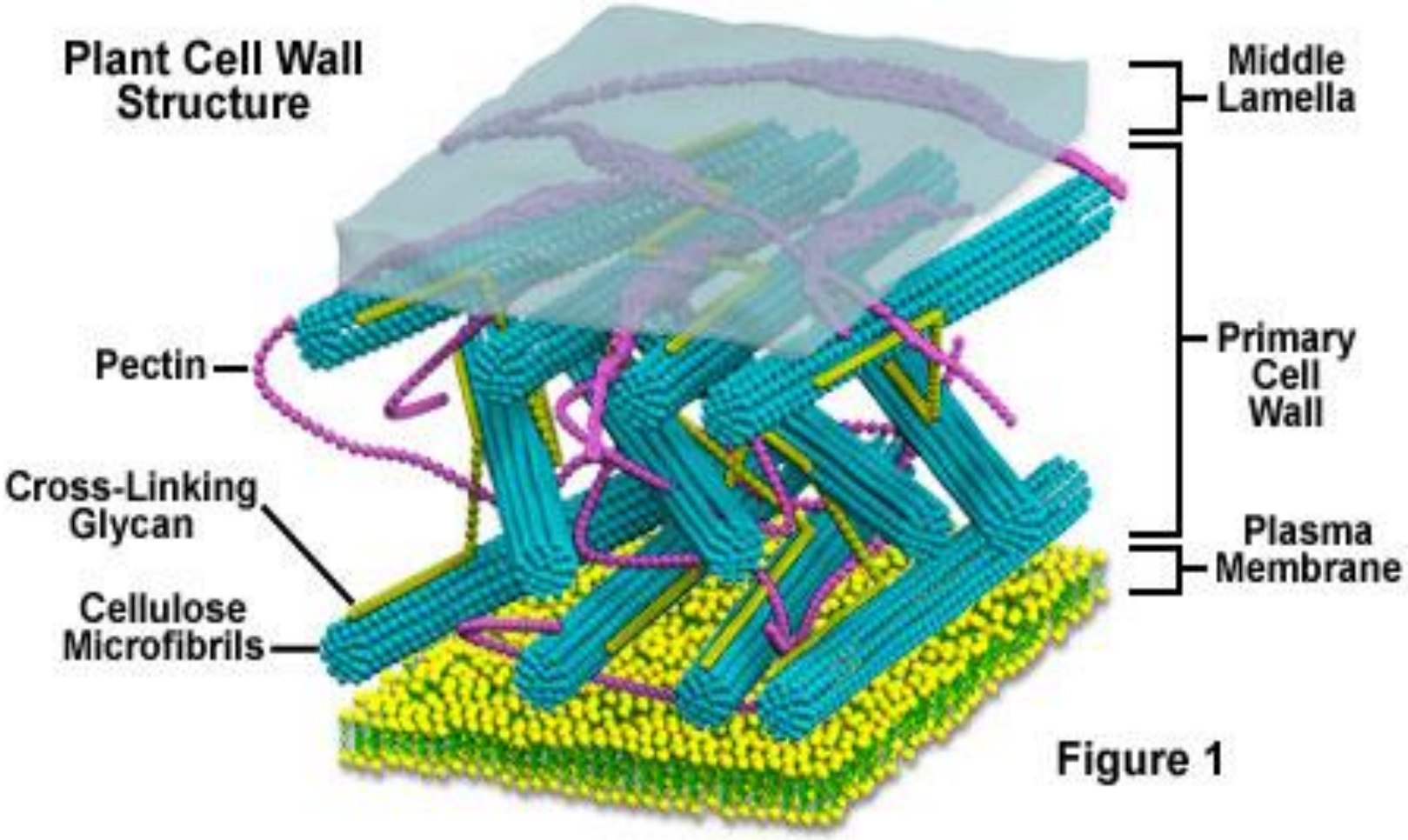

Plant Cell Wall Structure
Middle Lamella
Primary Cell Wall
Plasma Membrane
Pectin
Cross-Linking Glycan
Cellulose Microfibrils

Figure 1

الجدار الابتدائي

وهو الجدار الأساسي الأول الذي يتكون أثناء نمو الخلية، وهو الجدار الوحيد في كثير من أنواع الخلايا، ويتكون هذا الجدار من مادة السليولوز وأشباه السليولوز وقد يدخل اللجنين في تركيبه في بعض الخلايا كالألياف والقصيبات ولوجود مادة السليولوز في تكوين الجدار الابتدائي فإنه غير متماثل ضوئياً ويختلف سمك الجدار الابتدائي من خلية إلى أخرى حسب ترسب مادة السليولوز فقد يكون رقيقاً thin كما في جدر الخلايا الكلورنشيمه Chlorenchyma أو سميكاً Thick كما في جدر خلايا أندوسبيرم بذرة البلح أو الأنسجة المختزنة للمواد الغذائية في جدر خلاياها. وتترسب مادة السليولوز في طبقات متتالية في الجدر السميكة مما يعطي الجدر مظهراً صفائحياً Stratification. وينمو الجدار الابتدائي في مساحة السطح من بدء الخلية في النمو كما يتبعها فترة متصلة أو منفصلة من النمو في سمك الجدار.

والخلايا التي تتميز بوجود الجدار الابتدائي هي الخلايا الإنشائية ومشتقاتها الحديثة وكذلك الخلايا التي تحتفظ في بروتوبلازمها الحي مثل الخلايا البرنشيمية Parenchyma، والخلايا التمثيلية Chlorenchyma، والكولنشيمية Collenchyma، والخلايا الغربالية Sieve cells، وعناصر الأنابيب الغربالية Sieve tube elements، والخلايا المرافقة Companion cells.

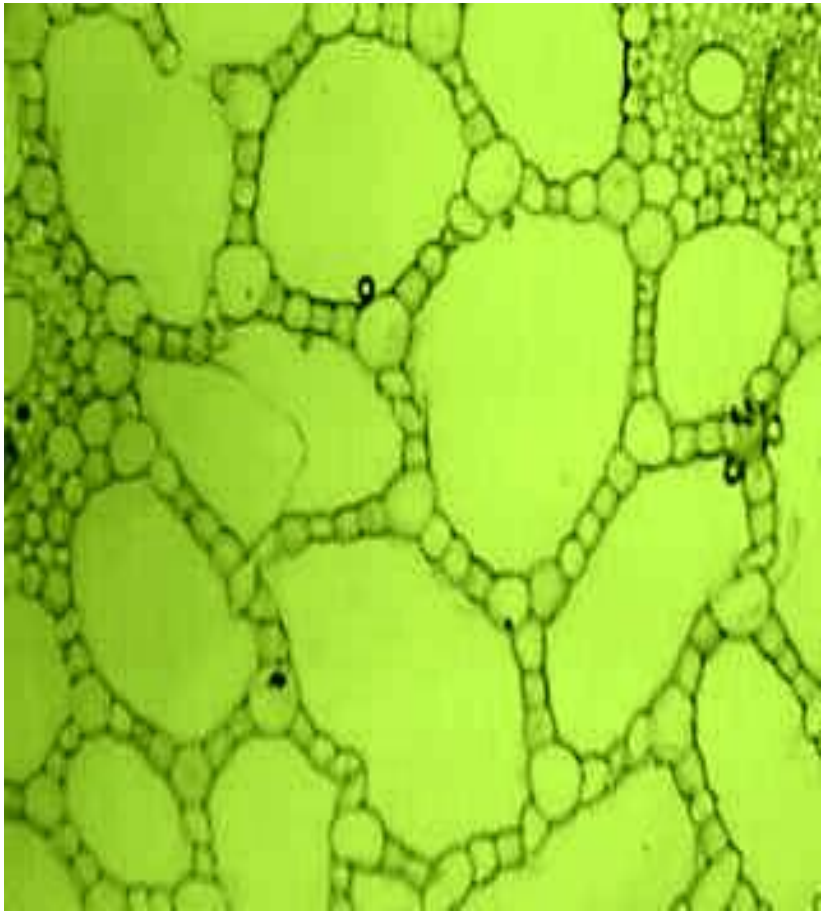
الجدار الثانوي

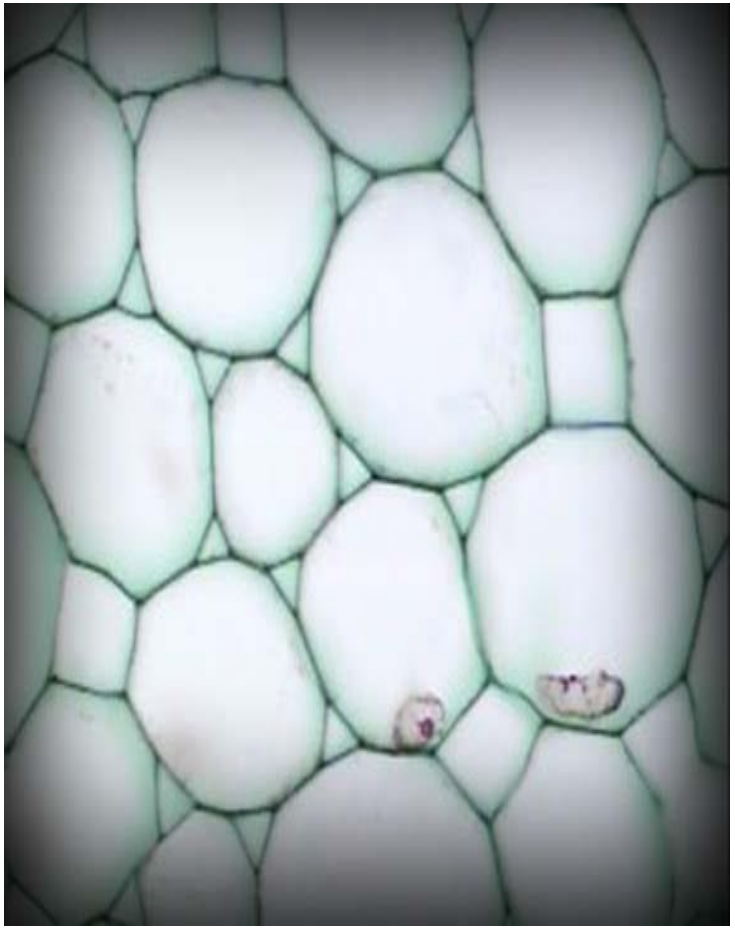
وهو الجدار الذي يتشكل تالياً للجدار الابتدائي ويتكون أساساً من السليولوز أو السليولوز وأشباه الهميسليولوز وقد يتغير هذا التركيب نتيجة لترسب مادة اللجنين ومواد أخرى مختلفة. والجدار الثانوي لخلايا الألياف والقصيبات يتكون من ثلاث طبقات ذات اختلافات طبيعية وكيمائية وأحياناً يعزى التفريق أو التمييز بين تلك الطبقات إلى اتجاه الليفيات التي تتكون منها كل طبقة (شكل 16).

ويبدأ ترسب مادة الجدار الثانوي عادة بعد توقف الجدار الابتدائي عن الزيادة في مساحة السطح وفي هذا الوقت فإن الخلية كلها تقف عن النمو والاستطالة. ويرى البعض بأن الطبقة الأولى من الجدار الثانوي تستطيل قليلاً بسبب ترسبها قبل أن يقف الجدار الابتدائي عن الزيادة في مساحة السطح.

المسافات البينية Intercellular spaces

أحياناً يحدث انفصال للجدر الابتدائية للخلايا المتجاورة وذلك عن طريق إذابة الصفيحة الوسطى التي تربط بين تلك الخلايا. بسبب بعض الإنزيمات التي تذيب المواد البكتينية التي تتكون منها الصفيحة الوسطى وتسمى المسافات الناتجة عن ذوبان المادة بين الخلوية هذه بالمسافات البينية Intercellular spaces. وهي تشغل حيزا كبيرا من جسم النبات وبالتالي فهي تميز الأنسجة البالغة مثل النسيج الوسطي للورقة Mesophyll وأنسجة النباتات المائية Hydrophytes وقد توجد في بعض الأنسجة الإنشائية (شكل 49).



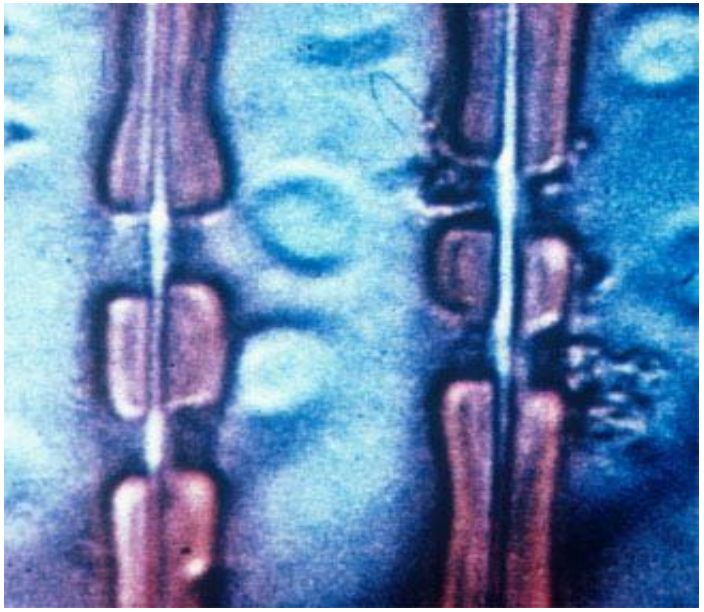


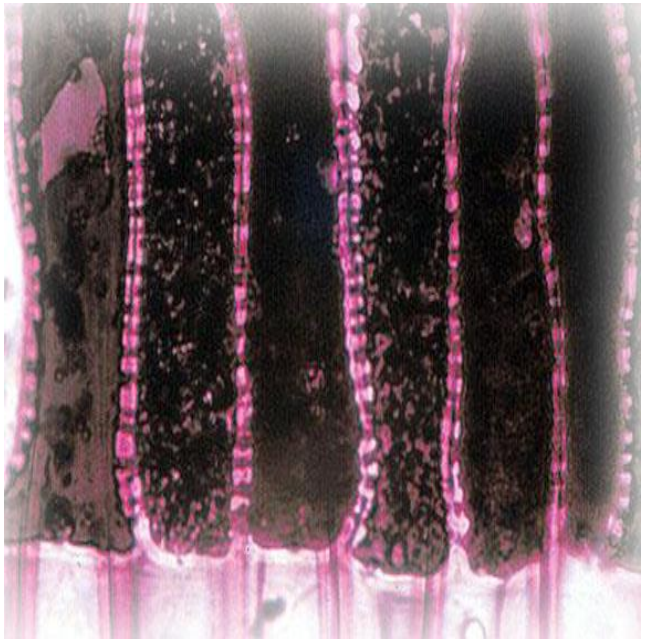
النقر Pits

تتميز جدر الخلايا النباتية بوجود انخفاضات أو تجاويف متفاوتة في العمق والاتساع يطلق عليها بالحقول النقرية الإبتدائية Primary pit-fields في حالة وجودها في الجدر الابتدائية. بينما يطلق عليها نقراً pits في حالة وجودها في الجدر الثانوية (شكل 17).

والفرق ين هذين النوعين من النقر طفيف جداً حيث أن غشاء النقرة في حالة الحقول النقرية الإبتدائية يتكون فقط من الصفيحة الوسطى وأن عدد هذه النقر كبير جداً حيث يظهر الجدار الابتدائي مسبحي Beaded بينما يشترك الجدار الابتدائي في تكوين غشاء النقرة في حالة النقر سواء كانت بسيطة Simple أو مضفوفة Bordered pits كما أن الجدار الثانوي لا يغطي تماماً الجدار الابتدائي في مواضع النقر وتتكون النقرة pit فوق حقل نقري إبتدائي أو بعيدة عن بعضها.

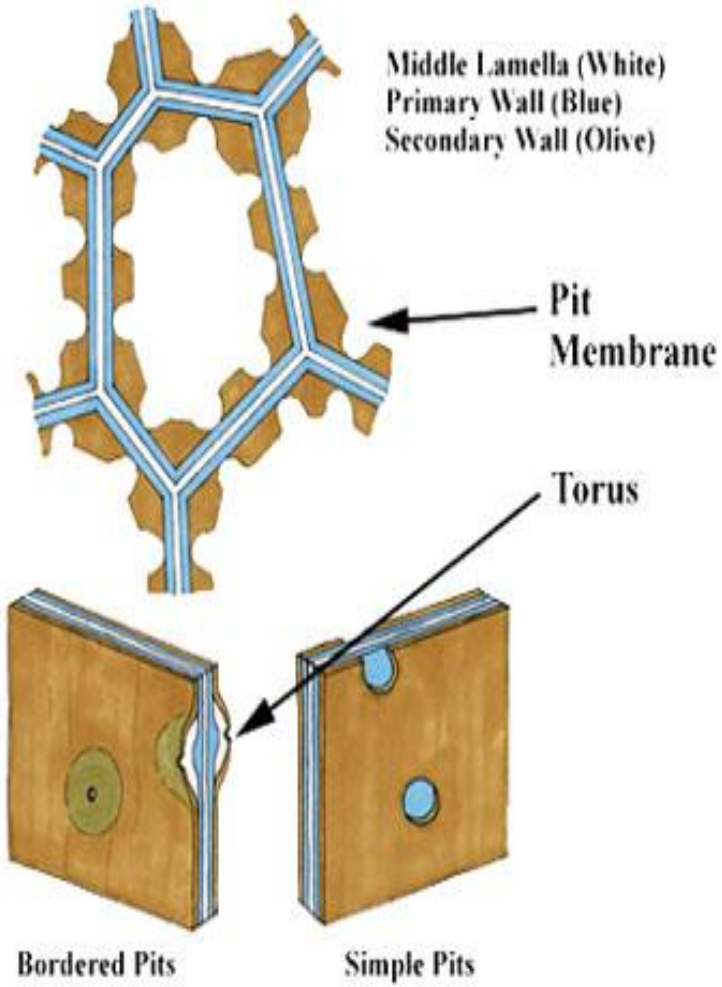
وتتكون النقرة من فراغ النقرة Pit cavity وغشاء النقرة Pit membrane ويفتح فراغ النقرة إلى تجويف الخلية بفتحة النقرة Pit aperture و إلى الخارجي بغشاء النقرة.



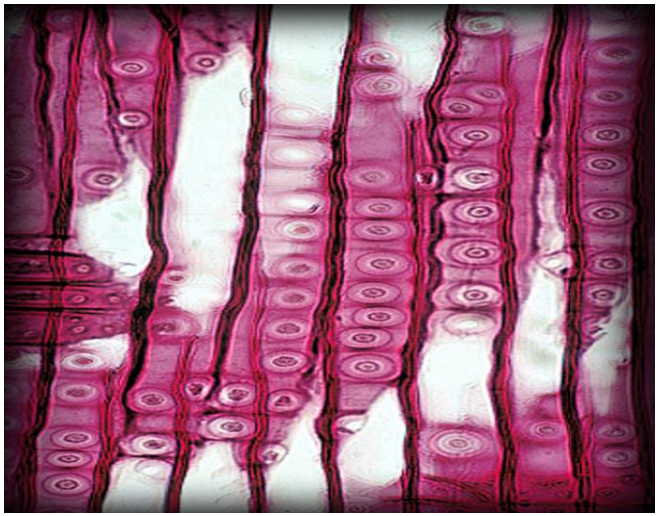


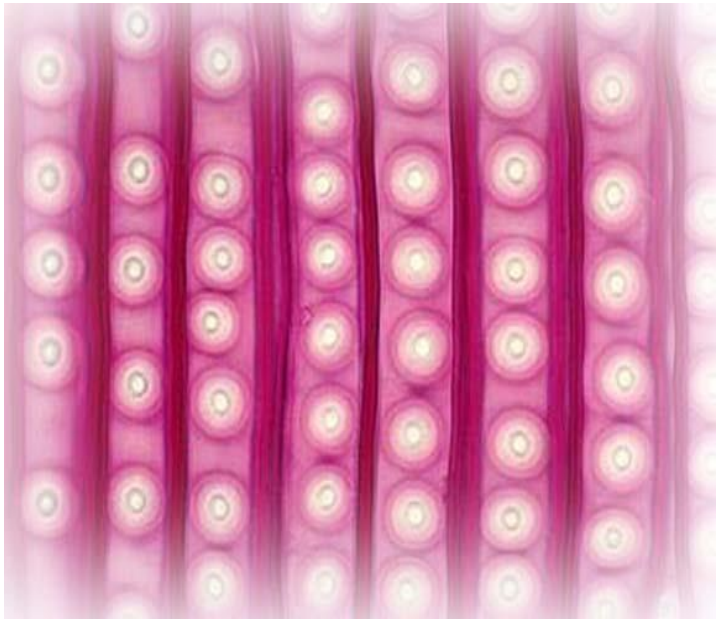
وتقسم النقر إلى نوعين نقر بسيطة Simple pits وفيها ينتهي الجدار الثانوي طبيعياً في فراغ النقرة حيث يبقى الفراغ وفتحة النقرة في اتساع واحد وعادة ما تتقابل النقر البسيطة ويطلق عليها زوج من النقر البسيطة Simple pit-pairs .

أما إذا تقوس الجدار الثانوي على فراغ النقرة مكوناً ما يسمى بالضفة Border فإن هذا النوع من النقر يطلق عليه بالنقر المضفوفة Bordered pits وإذا تقابل نقرتان مضفوفتان وهو الشائع سميتا بزوج من النقر المضفوفة Bordered pit-pair . أما إذا تقابل نقرة مضفوفة مع أخرى بسيطة سمي هذا الوضع بالنقر نصف المضفوفة Half bordered pit-pair ويحدث هذا بين الألياف التي تحتوي على نقر بسيطة وما يجاورها من أوعية أو قصيبات في عناصر الخشب Xylem elements وقد تقابل النقرة أحد المسافات البينية وحينئذ تسمى بالنقرة العمياء أو الصماء Blind pit لأنها تفتح إلى مسافة بينية مثل الخلايا البرنشيمية. وتتكون النقرة المضفوفة Bordered pit من فتحة النقرة Pit aperture ، وفراغ النقرة Pit cavity وغشاء النقرة Pit membrane ويوجد في بعض النقر المضفوفة وخاصة في قصيبات عاريات البذور مثل الصنوبر ما يسمى بالتخت Torus وعندما يكون الجدار الثانوي سميكاً فإن بعض النقر البسيطة تتفرع وتسمى بالنقر البسيطة المتفرعة Ramiform pits كما في الخلايا الحجرية Sclereids أما النقر المضفوفة فيتكون لها قناة Canal ذات فتحتين فتحة داخلية تفتح إلى فراغ الخلية Lumen وفتحة خارجية تفتح إلى فراغ النقرة.


Middle Lamella (White)
Primary Wall (Blue)
Secondary Wall (Olive)
Pit Membrane
Torus
Bordered Pits
Simple Pits

Pits





التركيب الكيميائي لجدار الخلية

من أهم المواد التي تدخل في تركيب الجدار الخلوي مادة السليولوز وقد سبق الحديث عنها عند دراسة محتويات الخلية، وأشباه (أنصاف) السليولوز Hemicelluloses وهي مجموعة غير متجانسة من عديد السكريات ذات درجات ذوبان معينة وبعض أفراد هذه المجموعة المانالات Mannals والجلاكتانات Gloctans والجلوكانات Glucans وهي تشبه للمواد البكتينية ولكنها ذات درجات ذوبان مختلفة وتعطي المواد نصف السليولوزية لوناً أحمراً عند معاملتها بأحمر روثينيم Ruthenium red أما المواد البكتينية Pectic substances فتوجد في ثلاث صور هي البكتين الأولي Propectin والبكتين Pectin وحمض البكتيك Pectic acid وهي مواد غير متبلرة غروية ومحبة للماء بشدة وتكون الصفيحة الوسطى وأحياناً تدخل في تكوين الجدر الابتدائية.

ومن أهم مواد الجدار الخلوي التي تضاف بعد تكوينه:

1. اللجنين Lignins وتركيبها الكيميائي غير معروف بدقة ويقال بأنها بلمرات ذات محتوى كربوني عالي متميز عن المواد الكربوهيدراتية ويتكون أساساً من فينيل البروبان في صور مختلفة. واللجنين ناتج نهائي للأيض فإذا تكون فإنه يعمل كمادة أساسية تضاف للجدار الخلوي. وهو مادة صلبة قد تدخل في تكوين الصفيحة الوسطى والجدار الابتدائي ولكنها تعمل كمادة أساسية إضافية للجدار الثانوي ويعطي اللجنين لوناً أحمر عند معاملته بصبغة الصفرانين Safranin وكذلك محلول فلوروجلسينول Phloroglycenol وحمض الهيدروكلوريك المركز.

2 ـ الكيوتين **Cutin** فهو مادة دهنية لا تنصهر ولا تذوب بسهولة في مذيبات الدهون وهو مركب من أحماض دهنية عالية البلمرة. ويكون طبقة متصلة على سطح البشرة الخارجي للأجزاء الهوائية تدعى بالأدمة Cuticle كما يوجد الكيوتين مع السليولوز في الجدر الخارجية لخلايا البشرة وتعرف عملية تخلل الكيوتين للجدر باسم الكوتنة Cutinization وتكوين الأدمة بالتأدم Cuticularization. ويوجد الكيوتين بالأدمة الداخلية لأغلفة البذور بعد تحولها من أغلفة البويضة ويوجد أيضاً في جدر خلايا النسيج الوسطي Mesophyll المحيطة بالغرف الهوائية التي تقع عادة تحت الثغور في الورقة.

3 ـ السيوبرين **Suberin** فيشبه مادة الكيوتين في التركيب ويوجد مع السليولوز في جدر خلايا الفلين في البريديرم Periderm وتعرف عملية تخلل السيوبرين للسليولوز بالجدر الخلوية بالسوبرة suberigation كما يوجد أيضاً في الإندوديرمس (البشرة الداخلية) والإكسوديرمس (البشرة الخارجية) في الجذور.

4 . الشموع **Waxes** توجد بمصاحبة الكيوتين والسيوبرين وقد توجد فوق الأدمة بأشكال مختلفة. مما يجعلها ذات وظيفة وقائية وأنها ذات أهمية في **Gums and mucilages** تعريف وتصنيف النبات.

5 . الصموغ والمواد المخاطية وقد سبق الحديث عنها عند دراسة محتويات الخلية. هذه المواد لها علاقة بالمواد البكتينية كما أن لها خاصية الانتفاخ بالماء وتوجد نتيجة الاضطرابات الفسيولوجية أو المرضية محدثة تحللا في جدر الخلايا. وتوجد في الخلايا الخارجية في عديد من النباتات المائية وفي أغلفة البذور كأوراق نبات السنامكي.

التركيب المجهري لجدار الخلية

يتكون جدار الخلية من السليولوز الذي يكون على صورة جزيئات طويلة السلسلة وتتحد هذه الجزيئات في حزم تتراوح بين تلك التي ترى بالمجهر الالكتروني إلى التي ترى بالمجهر الضوئي وقد وصفت سلسلة جزئي السليولوز بأن طولها حوالي 4 ميكرومترات وتتحد هذه الجزيئات في ليفة دقيقة أولية (elementary fibril) Micelle تحتوي على 100 جزئ سليولوز في المقطع العرضي وعرضها 3-5 مليميكرومترات وهي تتجمع وتكون ما يعرف بالليفة الدقيقة Microfibril عرضها 20-30 مليميكروماتراً وبها 2000 جزئ في المقطع العرضي وتتحد الليفات الدقيقة لتكون ليفات كبيرة Macrofibrils سمكها 0.4 أو 0.5 مكرومتر وبها 500.000 جزئ سليولوز في المقطع العرضي وفي النهاية يكون 2 بليون جزئ سليلولوز المقطع العرضي للجدار الثانوي لخلية الليفة. (فري وزلنج Frey – Wyssling 1976 وولدر Wilder 1970) (شكل 16) .

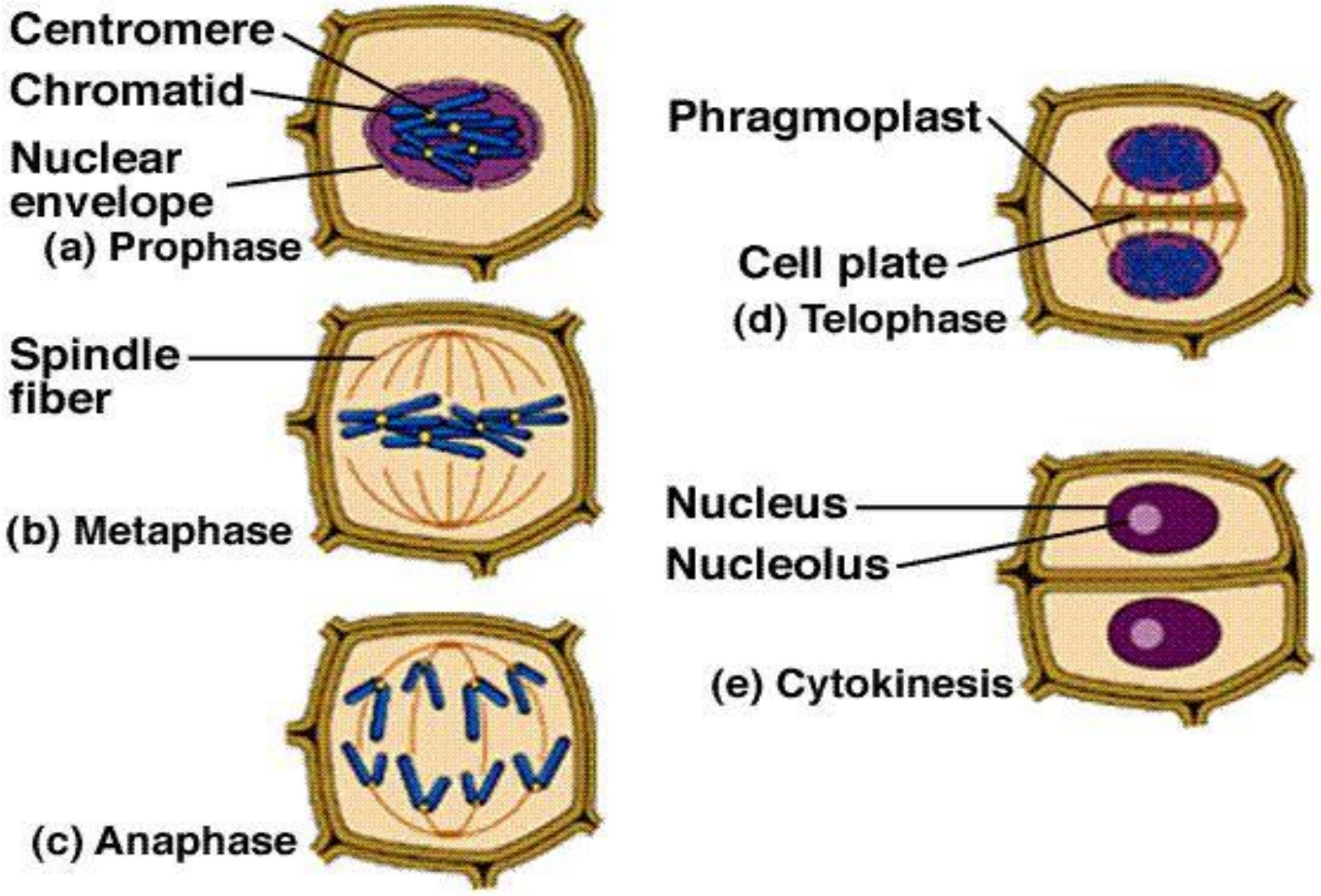
وهذا النظام السليولوزي الليفي يتخلله نظام من أنابيب شعرية ذات أحجام مختلفة ممتلئة بالماء ومكونات سليولوزية متبلرة وكذلك مواد كيميائية أخرى داخلة في تكوين الجدار. وأنزيمات قد تكون إنزيمات بناء ونقل وإنزيمات تحلل للجزيئات الكبيرة في الجدار.

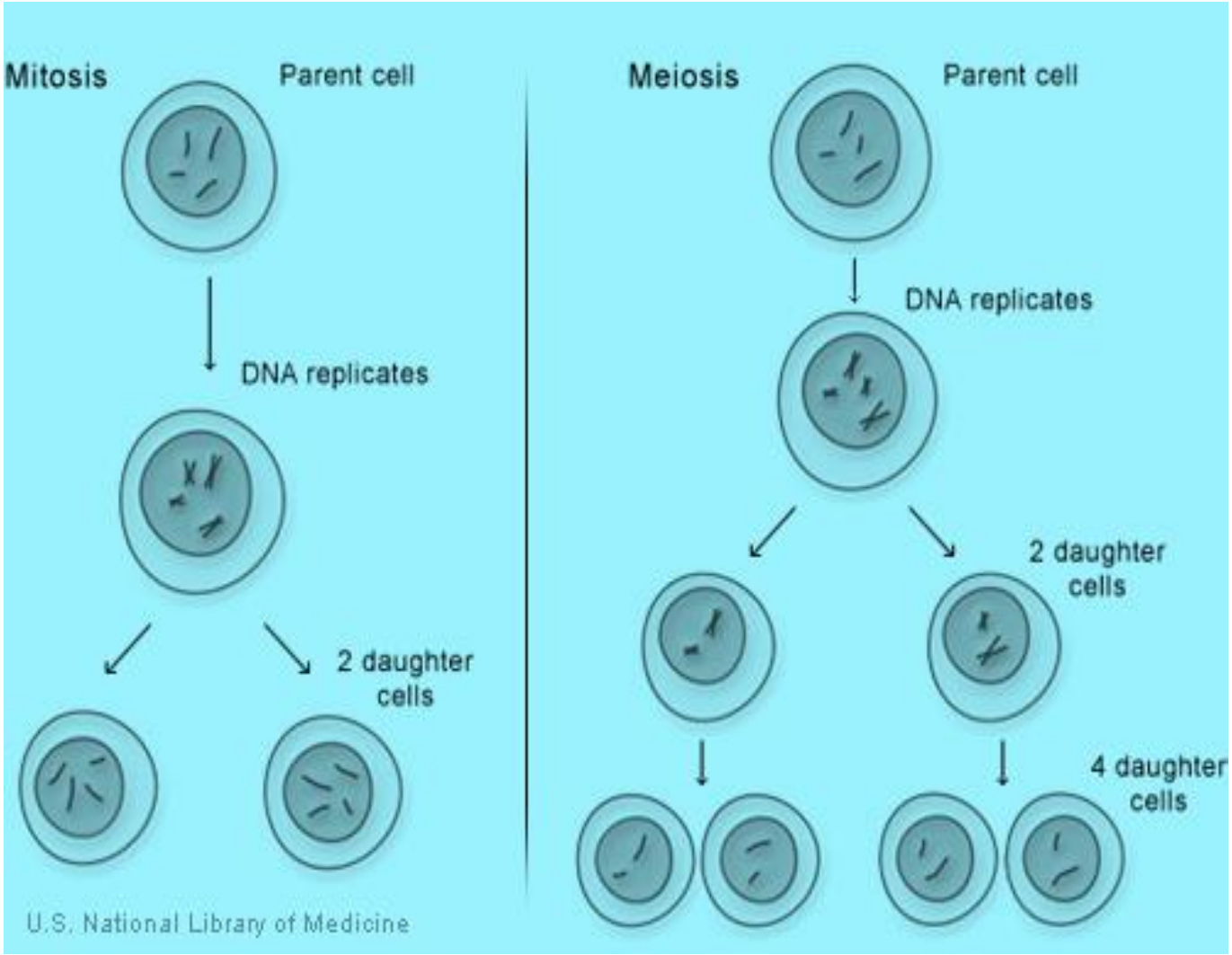
تكوين الجدار الخلوي

يبدأ تكوين الجدار أثناء انقسام الخلية غير المباشر حيث تنقسم النواة Karyokinesis بالخلية المنقسمة ثم تنقسم المواد الأخرى Cytokinesis بالخلية، ويتكون الجدار أثناء انقسام السيتوبلازم أي بعد مراحل انقسام النواة انقساماً غير مباشر Mitosis، ويعرف الفاصل بين البروتوبلازم الجديد بالصفيحة الخلوية Cell plate حيث يتجمع في موضع القرص الاستوائي شكل مغزلي شبكي يعرف بالفراجموبلاست Phragmoplast بين الصبغيات التي تبتعد عن بعض مع الانقسام ثم تتجمع مواد نصف سائلة في القرص الاستوائي للفراجموبلاست تعرف بالصفيحة الخلوية Cell plate تقسم البروتوبلازم إلى قسمين متحولة فيما بعد إلى أغشية بلازمية خارجية للخليتين الجديدتين، بينما تكون المواد البكتينية الموجودة بهذه الأغشية الصفيحة الوسطى Middle lamella أو المادة بين الخلوية Intercellulor substances، ثم بعد ذلك تترسب طبقات من السليولوز خارج الأغشية البروتوبلازمية مكونة الجدار الابتدائي.

Randy Moore, Dennis Clark, and Darrell Vodopich, Botany Visual Resource Library © 1998 The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

Mitosis and Cytokinesis




Mitosis
Parent cell
DNA replicates
2 daughter cells
Meiosis
Parent cell
DNA replicates
2 daughter cells
4 daughter cells
U.S. National Library of Medicine

الأنسجة النباتية Plant tissues

النسيج هو مجموعة من الخلايا التي إما أن تكون متشابهه في الشكل والتركيب والوظيفة ويطلق على النسيج في هذه الحالة بالنسيج البسيط Simple tissue مثل النسيج الكولنشيمي Collenchyma وإما أن تكون الخلايا مختلفة في الشكل أو الوظيفة ويطلق على هذا النسيج بالنسيج المعقد Complex مثل النسيج السكلرنشيمي Sclerenchyma ونسيج الخشب Xylem tissue .

وتقسم الأنسجة النباتية إلى قسمين حسب النشاط الانقسامي لتلك الخلايا المكونة لهذه الأنسجة وهي كما يلي:

- أنسجة إنشائية.
- أنسجة مستديمة أو بالغة.

أولاً : الأنسجة الإنشائية (المرستيمية) Meristematic tissues

النسيج الإنشائي مجموعة من الخلايا القابلة للانقسام ومشتقاتها البالغة Mature derivatives تضاف إلى الأنسجة المستديمة المكونة للجسم النباتي. ويحتوي النسيج الإنشائي على خلايا معينة تسمى بالخلايا المنشئة Initial cells وهذه الخلايا لا تغير مواقعها ولا تتحول إلى خلايا بالغة، ففي الانقسام الأول تضاف إحدى الخلايا الناتجة إلى النسيج الإنشائي (المشتقات) والتي بدورها بعد عدة انقسامات تضاف إلى النسيج المستديم وتبقى الخلية الأخرى إنشائية.

لقد أخذت كلمة Meristem من الكلمة اللاتينية Meristo ومعناه القابل للانقسام، ويختص النسيج الإنشائي بالنمو سواء في الكتلة أو الحجم. وتوجد الأنسجة الإنشائية (المرستيمية) في قمم السيقان والجذور الأصلية والفرعية وعددها كبير في النبات الواحد كما توجد ممثلة في المنشئ الوعائي Vascular cambium (الحزمي و بين الحزمي) والمنشئ الفليني Phellogen. ويؤدي نشاط هذه الأنسجة الإنشائية إلى تكوين جسم النبات الكبير المعقد. وتعمل الأنسجة الإنشائية القمية على إنتاج النمو الابتدائي الذي يسبب زيادة في حجم النبات سواء في الطول أو مساحة أسطحه الملامسة للهواء والتربة ويكون أيضاً الأعضاء التكاثرية. أما الأنسجة الإنشائية الجانبية والممثلة في المنشئ الوعائي (الحزمي وبين الحزمي) والمنشئ الفليني فإنهما يزيدان من حجم المجموع التوصيلي والوقائي لتلائم احتياجات جسم النبات.

ويبدأ **الجنين النباتي** في الانقسام والتكوين من بداية انقسام **الخلية البيضية المخصبة** (**اللاقحة**) فيكّون خلايا جديدة بانقسام جميع خلاياه وذلك في الأطوار الأولى من بداية تكوينه، ولكن في المراحل (الأطوار) النهائية تنحصر إضافة الخلايا الجديدة تدريجياً في أجزاء خاصة من جسم النبات بينما تتخصص الأجزاء الأخرى بوظائف أخرى غير النمو، ولذلك فإن النبات يتكون من مجموعتين من الأنسجة: أنسجة إنشائية وأنسجة بالغة وهذه الصفة توجد في النبات ولا توجد في الحيوان.

وتقسم الأنسجة الإنشائية حسب موضعها من جسم النبات إلى أنواع هي :

1 . نسيج إنشائي قمي Apical meristem

يقع في قمة كل من المجموع الخضري والمجموع الجذري.

2 . نسيج إنشائي جانبي: Lateral meristem

ويقع موازياً للمحور الطولي للعضو النباتي الذي يحدث فيه.

3 . نسيج إنشائي بيني Intercalary meristem

ويقع بين خلايا وأنسجة بالغة ويعتبر جزء من النسيج الإنشائي القمي إنفصل عنه واستمر في النشاط الإنقسامي لفترة معينة.مثل ماهو موجود بالسلاميات وأغلفة الأوراق.

كما أن هناك مجموعة من العلماء تقسم الأنسجة الإنشائية حسب نشأتها إلى:

1 . نسيج إنشائي ابتدائي: Primary meristem

وينشأ مع نشأة الجنين أي يتكون أثناء تكوين الجنين النباتي ويشمل كل من النسيج الإنشائي القمي للمجموع الخضري والمجموع الجذري.

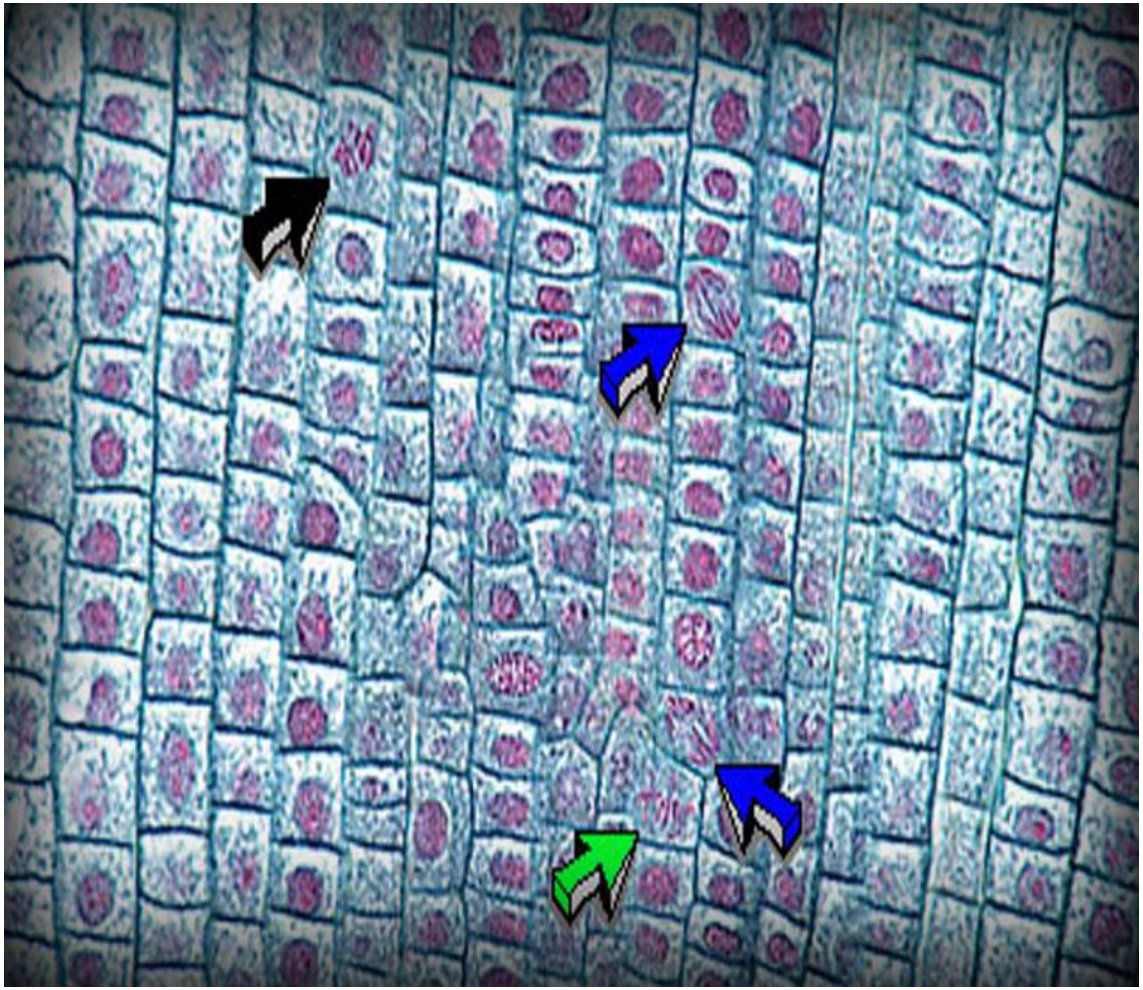
2 . نسيج إنشائي ثانوي: Secondary meristem

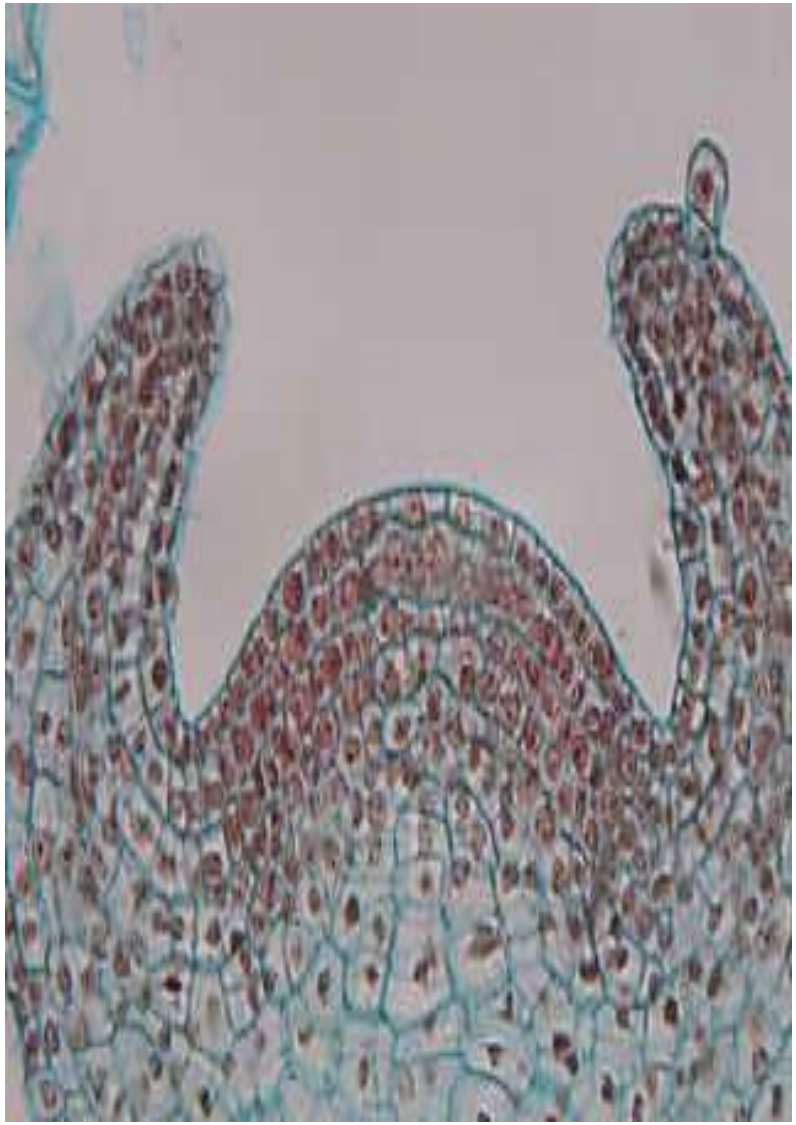
وينشأ بعد تكوين الجنين وإنبات النبات وتميزه إلى نبات بالغ ويشمل كل من المنشئ الوعائي والمنشئ الفليني.

وسوف نتبع في دراستنا لهذه الأنسجة الإنشائية رأي العالمة اشاو Esau (1965م) والتي تتبع تقسيم الأنسجة الإنشائية إلى قمية وجانبية وبينية أي نأخذ بتقسيم الأنسجة الإنشائية حسب موضع هذه الأنسجة من جسم النبات، وقبل أن نبدأ في دراسة الأنسجة الإنشائية نلقي نظرة على الصفات السيتولوجية للأنسجة الإنشائية وترتيبها، وكذلك ترتيب النمو فيها ثم تميزها إلى خلايا وأنسجة مستديمة (بالغة) كما يلي : .

أ. الصفات السيتولوجية للخلية الإنشائية (شكل 18):

1_ قابلة للانقسام.
2_ لا يوجد في الخلايا الإنشائية أثناء الانقسام النشط محتويات أيضية أو تخزينية.
3_ البلاستيدات تكون في مرحلة بلاستيدات أولية غير متميزة.
4_ توجد كمية قليلة من الشبكة الإندوبلازمية.
5_ السبحيات (Mitochondria) قليلة التعقيد أي في حالة أولية.
6_ا لبروتوبلازم كثيف (غزير).
7_ كون الفجوات عادة صغيرة أو معدومة وأحياناً توجد فجوات كبيرة ولكنها نادرة.
8_ النواة كبيرة بالنسبة لحجم الخلية.
9_ حجم الخلية صغير عادة ومتساوي الأقطار في الخلايا الإنشائية للأنسجة الإنشائية القمية، ومستطيلة ضيقة في الأنسجة الإنشائية الجانبية.
10_ جدار الخلية ابتدائي رقيق وبه حقول نقرية ابتدائية ويتكون من مواد سليولوزية.





ب . ترتيب النمو في الأنسجة الإنشائية

في بعض النباتات توجد خلية إنشائية واحدة تمثل النسيج الإنشائي القمي للنبات سواء كان ذلك في قمة المجموع الجذري أو المجموع الخضري، ويعطي نشاط هذه الخلية جميع أنسجة النبات الداخلية، كما يكون جميع الأعضاء الأخرى كبدايات الأوراق وبدايات البراعم وما إلى ذلك من زيادة مساحة أسطح النبات، ولهذا فإن هذه الخلية تعطي توزيعاً منتظماً من الخلايا. كما هو الحال في السراخس، ونبات ذيل الحصان *Equesetum* (شكل 19).

أما في حالة النباتات الراقية فإن النسيج الإنشائي يتكون من أكثر من خلية واحدة ولهذا فإن انقسام الخلايا في القمم أي في الأنسجة الإنشائية القمية يكون بنظام أقل ترتيباً ولكنه ليس عشوائياً، فقد تنقسم بعض خلايا النسيج الإنشائي ببطئ وتكبر في الحجم بينما تنقسم خلايا أخرى بسرعة فينتج خلايا صغيرة، كما تنقسم بعض الخلايا في محاور مختلفة أي باتجاهات عديدة مختلفة فينتج نمواً حجمياً، بينما تنقسم خلايا أخرى عادة بجدر عمودية على سطح النسيج الإنشائي فتعطي نمواً سطحياً. كذلك تنقسم خلايا النسيج الإنشائي الجانبي انقسامات موازية لسطح العضو النباتي (انقسامات محيطية Periclinal division) فيؤدي ذلك إلى تكوين صفوف من الخلايا موازية لمحيط المحور ينتج عنها زيادة في سمك محيط العضو النباتي (شكل 19).

ج . تميز الخلايا الإنشائية إلى خلايا بالغة Cell Differentiation

يقصد بالتميز العمليات المرتبطة مع بعضها البعض ذات الطبيعة الكيميائية والوظيفية والشكلية التي تؤدي إلى تخصص الخلايا ويحدث أثناء التميز تغيرات في الخلية الإنشائية منها :ـ

1ـ زيادة واضحة للعصير الخلوي بفجوة الخلية.

2ـ كتمال نمو وتميز البلاستيدات إلى أنواعها المختلفة وأخذها اللون المميز.

3ـ تجمع مواد النواتج الأيضية (المواد التخزينية والإفرازية).

4ـ يتغير شكل وحجم الخلايا.

5ـ يحدث تغير في تركيب وتكوين جدار الخلية.

6ـ اختفاء البروتوبلازم في الخلايا الميتة.

7ـ حدوث تضاعف كروموزومي داخل الخلايا كما هو الحال في الخلايا البرنشيمية المختزنة للماء . ولكن لا يحدث ذلك بكثرة في الخلايا المكونة للبشرة والأنسجة التمثيلية .كما قد يصاحب ذلك زيادة في حجم النواة ومحتوى DNA.

8ـ قد يحدث تغيرات في جدار الخلية كاللجننة والسوبرة والكوتنة والسيلكة.

9ـ قد يزال جزء من الجدار المكون للخلية المتخصصة كما هو الحال في خلايا الأوعية الخشبية.

10ـ تكون مسافات بينية بين الخلايا المتجاورة وذلك في منطقة التلاقي.

11. قد يغير وجود المسافات البينية ترتيب الخلايا عما كان عليه في الخلايا الإنشائية.

12. تقف الخلية عن الإنقسام.

والتميز: كما تعرفه أشاو Esau (1977م) هو عملية التحول من النسيج الإنشائي البسيط التركيب إلى أنسجة مختلفة ومعقدة ويمكن أن يفسر ذلك بالمفردات التالية : خلايا مفردة، ثم نسيج، ونظام نسيجي، ثم عضو أو نبات كامل، وأحياناً ينظر للتميز أنه عملية مزدوجة فأولاً تكون الخلايا مختلفة عن السلف الإنشائي وثانياً تصبح مختلفة عن الخلايا أو الأنسجة المجاورة.

التخصص: Specialization

عند فحص التركيب الداخلي للعضو النباتي ومقارنة الخلايا التي اكتمل تميزها فإننا نلاحظ أن بعض هذه الخلايا قد أصبحت أكثر تميزاً عن الخلايا الإنشائية من البعض الآخر. وهذا النوع من التميز يسمى بالتخصص ويتعلق ذلك بالوظائف التي تقوم بها الخلايا المختلفة في الجسم النباتي وأعلى درجة توضح التخصص ما يحدث في الخلايا والعناصر التوصيلية للماء في الخشب حيث تكون خلاياه ذات جدر سميكة وخالية من المحتويات عند البلوغ. وكذلك الأوعية الموصلة للمواد الغذائية (الأنابيب الغربالية) في اللحاء والتي تفقد أنويتها عند البلوغ.

النسيج الإنشائي القمي للمجموع الخضري
Apical meristem of shoot

توجد الأنسجة الإنشائية القمية في قمم الساق وفروعها ويسمى النسيج الإنشائي القمي بالنسيج الإنشائي الأولي Promeristemفي المجموع الخضري ولكن هذه التسمية قديمة وتدل على الخلايا الإنشائية ومشتقاتها الحديثة فقط. وتحت هذه المنطقة الإنشائية تتميز الخلايا الناتجة من الخلايا الإنشائية الأولية بحدوث الزيادة في الحجم ودرجة وجود الفجوات، ومعدل واتجاه الانقسام الخلوي وعلى مسافة أبعد من ذلك ناحية الأسفل توجد ظاهرة التعضي أو تكوين الأعضاء مثل تكوين بدايات الأوراق والبراعم، وظاهرة تكوين الأنسجة في المنطقة المحيطية التي تتكون فيها بدايات الأوراق
ومنشآت كل من البشرة والقشرة وكذلك منشئ الأنسجة الوعائية تكون متميزة عن منشئ
النخاع . ولهذا يتميز النسيج الإنشائي القمي في هذه المنطقة إلى ثلاثة منشآت (شكل 20) هي:

1_ منشئ البشرة:

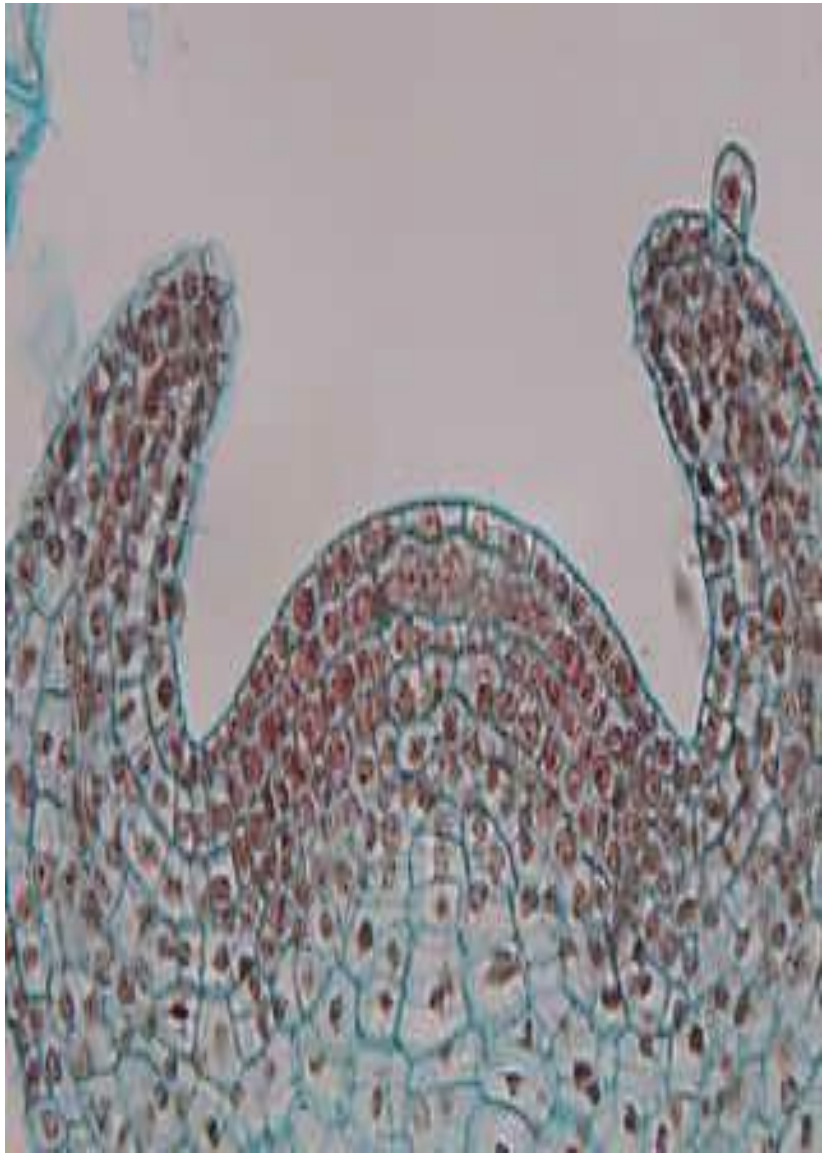
ويكتسب صفات خلايا البشرة حيث تكون الخلايا مستطيلة في المقطع العرضي والطولي. ويعطي أو يتميز إلى البشرة.

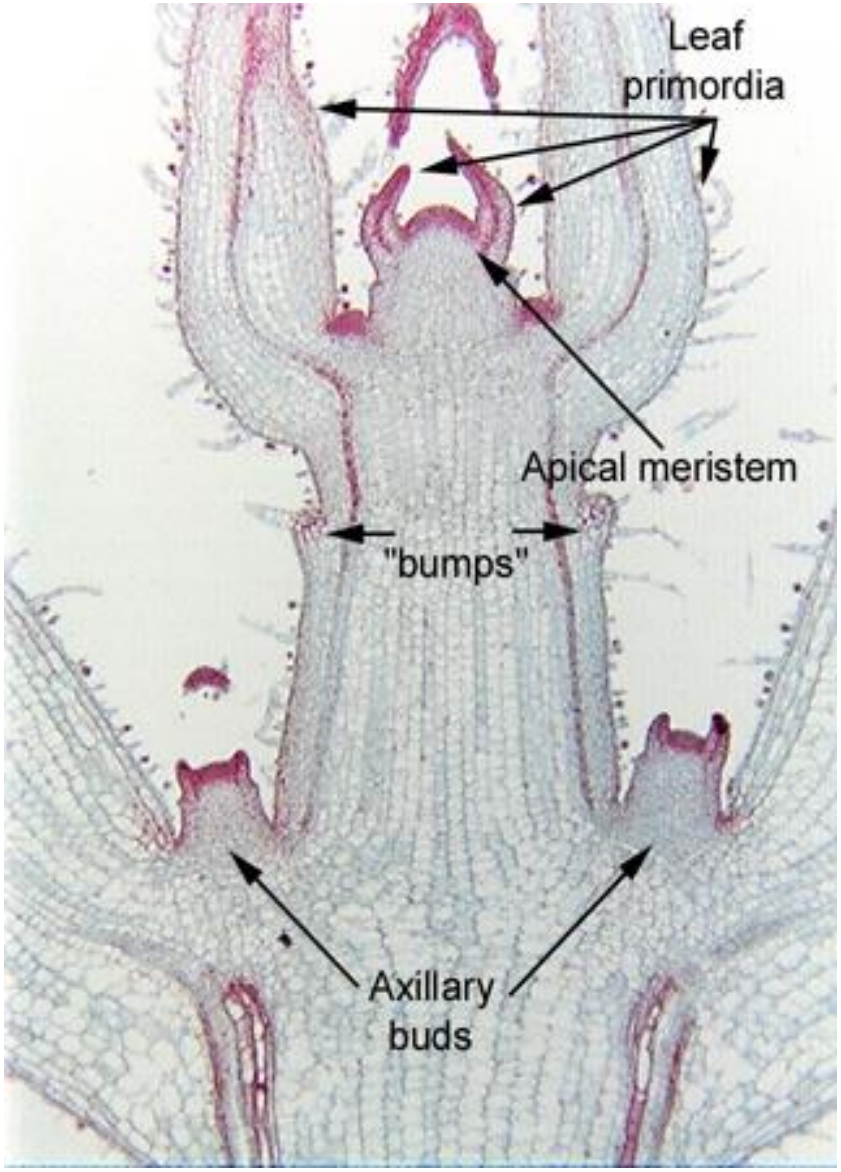
2_ منشئ النسيج الوعائي:

وتوصف خلاياه بشكل ضيق ومستطيل بسبب الانقسامات الطولية. ويتميز إلى النسيج الوعائي الابتدائي.

3_ منشئ النسيج الأساسي:

وتكون خلاياه أقل استطالة وأوسع من خلايا منشئ النسيج الوعائي. ويتميز إلى النسيج الأساسي أو الأرضي (القشرة والنخاع).




Leaf primordia
Apical meristem
"bumps"
Axillary buds

تطور مفهوم التعضي القمي:

نظراً لتقدم العلم في مجال البحث عن مسببات نمو واستطالة العضو النباتي فقد توالت الدراسات على قمة كل من المجموع الخضري والمجموع الجذري للنبات ونتيجة لهذه الدراسات المستفيضة والمركزة فقد اقترح عدة نظريات حول النسيج الإنشائي القمي لهذه المجاميع النباتية مبنياً على ترتيب ونشاط هذا النسيج في تكوين جسم النبات وسوف نستعرض هذه النظريات حسب قدمها وتركيبها وهي:

- **نظرية الخلية القمية: Apical cell theory**

اقترح هذه النظرية العالم ناجيلي (Najeli) عام 1844م عند فحصه النسيج الإنشائي القمي للمجموع الخضري لبعض النباتات غير الوعائية الزهرية وقد اعتقد أن هذه الخلية القمية توجد في جميع النباتات سواء الزهرية منها وغير الزهرية. وتنص هذه النظرية على أن النسيج الإنشائي القمي للمجموع الخضري يتكون من خلية قمية واحدة سميت بالخلية القمية الإنشائية Apical initial cell تحتل هذه الخلية المنطقة البعيدة (الطرفية) من مجموع الخلايا المجاورة وخاصة في المجموع الخضري. وتظهر كمصدر لإنشاء جميع الخلايا والأنسجة في المجموع الخضري والمجموع الجذري للنبات.

وقد وصفت هذه الخلية بأنها هرمية الشكل رباعية الأضلاع كما في نبات ذيل الحصان *Equisetun* أو عدسية الشكل كما في تالوس طحلب الدكتيوتا *Dictyota*. والخلية الهرمية الشكل تنقسم انقسامات موازية للأضلاع الثلاثة الداخلية حيث تظهر الخلايا الناتجة مترتبة بنظام معين دالة على هذا الانقسام (شكل 20).

والخلية الهرمية الشكل يتجه رأس الهرم فيها إلى ناحية قاعدة العضو النباتي أي إلى الداخل بينما تتجه قاعدة الهرم ناحية السطح البعيد أو الحر. وتظهر الخلية القمية كبيرة وذات فجوة كبيرة وكذلك مشتقاتها الأولى Derivatives، ولكن كلما انقسمت هذه المشتقات ثانية فإنها تصغر في الحجم وتزداد كثافة سيتوبلازمها. ويظهر ذلك واضحاً في الخلايا أو المشتقات المحيطية بينما تظهر الخلايا الوسطية ذات فجوات كبيرة.

•نظرية أصل النسيج Histogen theory

لقد اقترح هذه النظرية العالم هانشتاين Hanistein (1868م) عندما درس عدد كبير من قمم المجموع الخضري والمجموع الجذري للنباتات الراقية. حيث وجد أن جسم النبات المتكون لا ينمو من خلية قمية إنشائية واحدة. كما ذكر ناجيلي. ولكنه ينمو نتيجة لنشاط وانقسام مجموعة من الخلايا القمية الإنشائية أطلق عليها فيما بعد بالنسيج الإنشائي القمي. هذا ويمكن أن تقسم هذه المجموعة من الخلايا إلى ثلاثة منشئات (شكل 20) هي :

•منشئ البشرة Protoderm

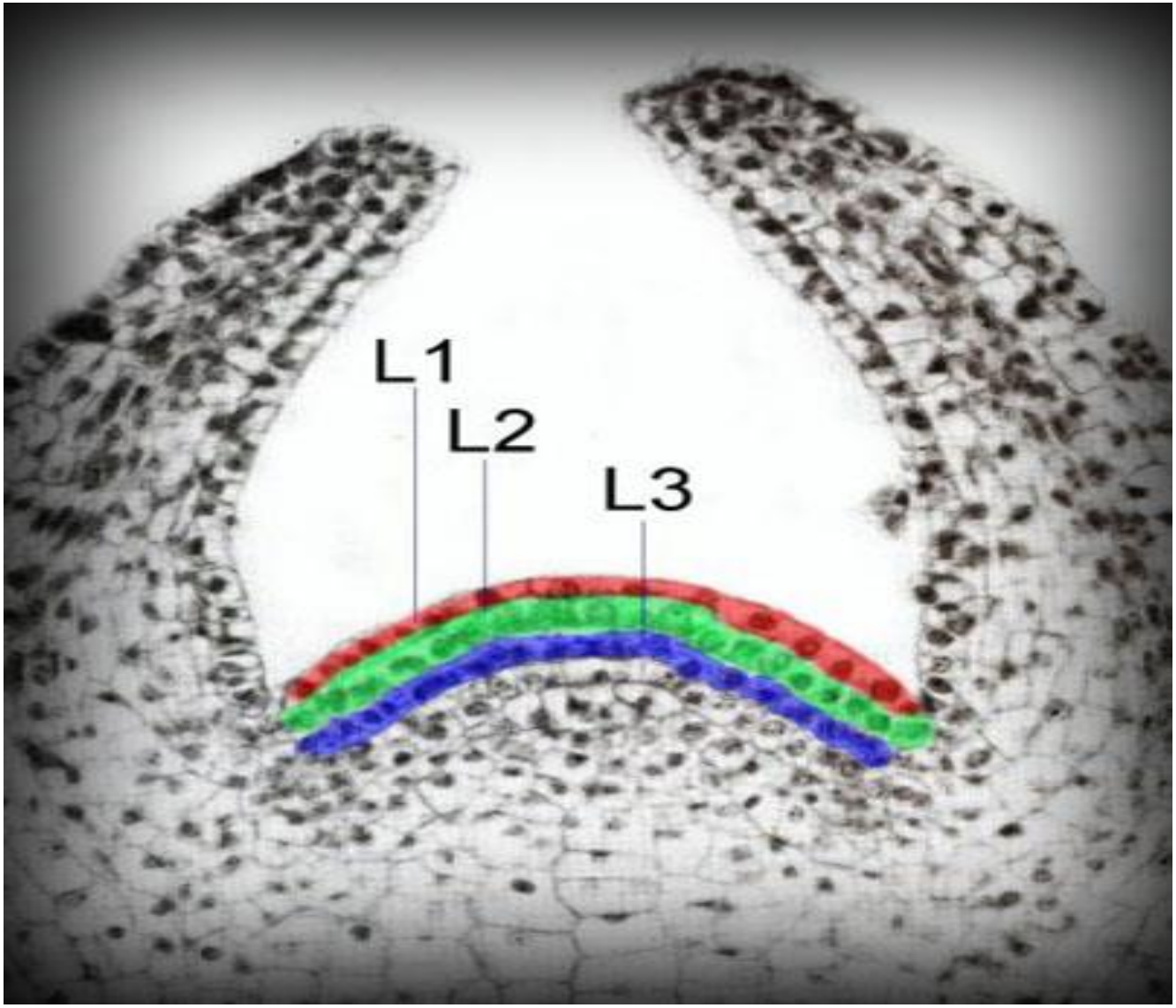
ويعطي نشاطه وانقسامه بشرة العضو النباتي.

•منشئ القشرة Periblem

ويعطي نشاطه القشرة وأحياناً يسمى بمنشئ القشرة والنخاع حيث يعطي نشاطه كل من نسيج القشرة Cortex والنخاع Medulla

•منشئ الاسطوانة المركزية Plerome

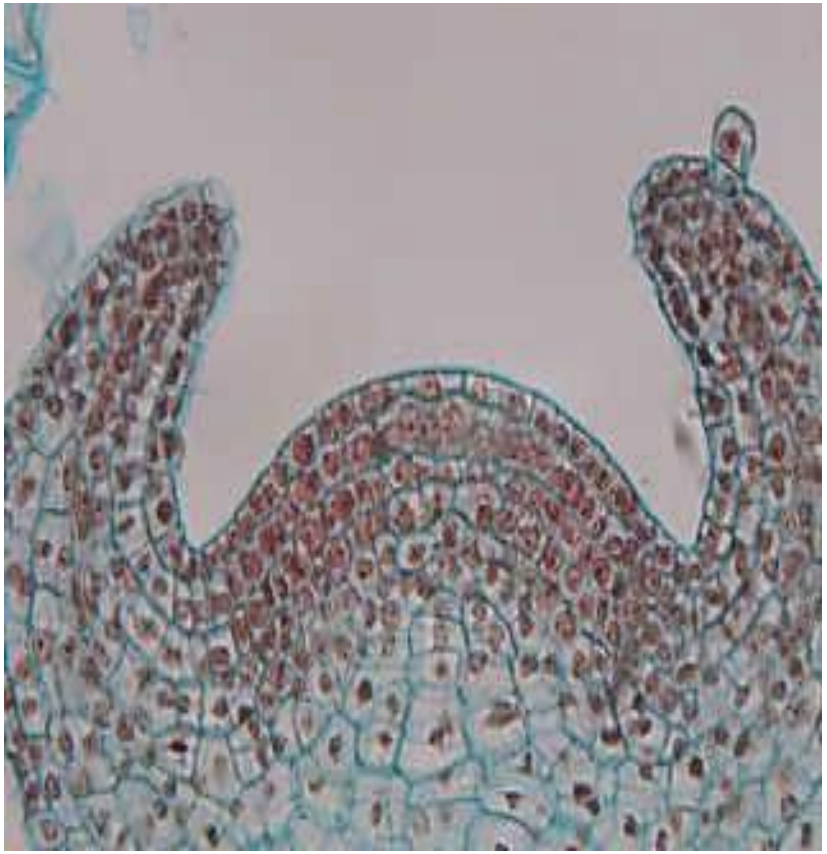
يؤدي نشاطه إلى تكوين أنسجة الجزء المركزي من محور العضو النباتي أي يعطي الاسطوانة الوعائية وهي . الأنسجة الوعائية والنخاع إن وجد . ولكن بعض العلماء يطلق على منشئ الأنسجة الوعائية **بالكامبيوم الأولي** Procambium في حالة وجود منشئ خاص بالقشرة والنخاع.

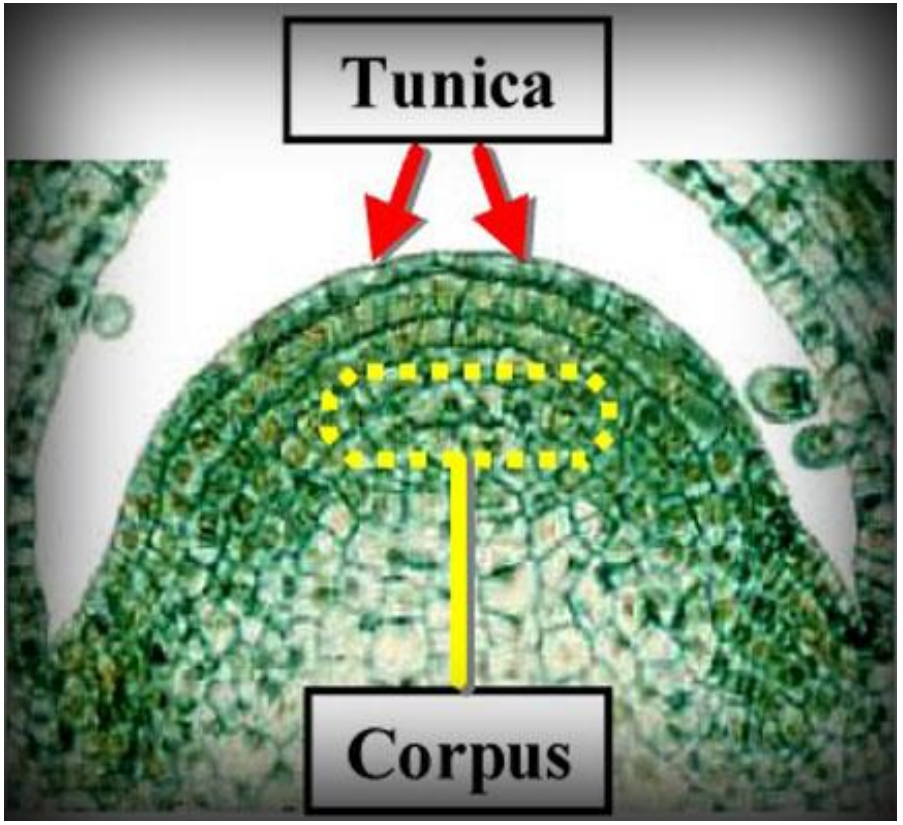

L1
L2
L3

نظرية الغطاء والجسد : Tunica–corpus theory

لقد اقترح هذه النظرية العالم شمت Schmidt في أوائل القرن العشرين وبالتحديد في عام 1924م وذلك نتيجة لدراسات عديدة أجريت على قمة المجموع الخضري للنباتات الراقية وبالذات النباتات كاسيات البذور. وفي هذه النظرية وجد أن النسيج الإنشائي القمي للمجموع الخضري لهذه النباتات لا يتكون من مجموعة متشابهه من الخلايا الإنشائية بل أمكن تمييز منطقتين من الخلايا ذات انقسامات باتجاهات مختلفة فأطلق على الخلايا ذات الانقسامات العمودية على السطح الواقعة على محيط العضو النباتي بالغطاء Tunica وأما الخلايا الداخلية والتي ذات انقسامات باتجاهات مختلفة فقد أطلق عليها مصطلح الجسد Corpus ووجد أن الغطاء قد يتكون من طبقة أو طبقتين فأكثر تحيط هذه الطبقات بمجموعة الخلايا الأخرى التي هي عبارة عن ما سمي بالجسد (شكل 22).

لقد وجد بالدراسة والبحث أن الجسد يحتوي علي طبقة واحدة من الخلايا الإنشائية بينما وجد أن لكل طبقة من طبقات الغطاء خلية أو أكثر من الخلايا المنشئة وبهذا يكون مجموع الطبقات المنشئة في هذا النسيج الإنشائي القمي هي عدد طبقات الغطاء مضافاً إليها الطبقة المنشأة للجسد (أي عدد طبقات الغطاء + 1). وفي هذه الحالة تنشأ البشرة دائماً من الطبقة الخارجية للغطاء بينما تنشأ الأنسجة الأخرى (القشرة والإسطوانة الوعائية والنخاع) من الغطاء والجسد معاً.




Tunica
Corpus

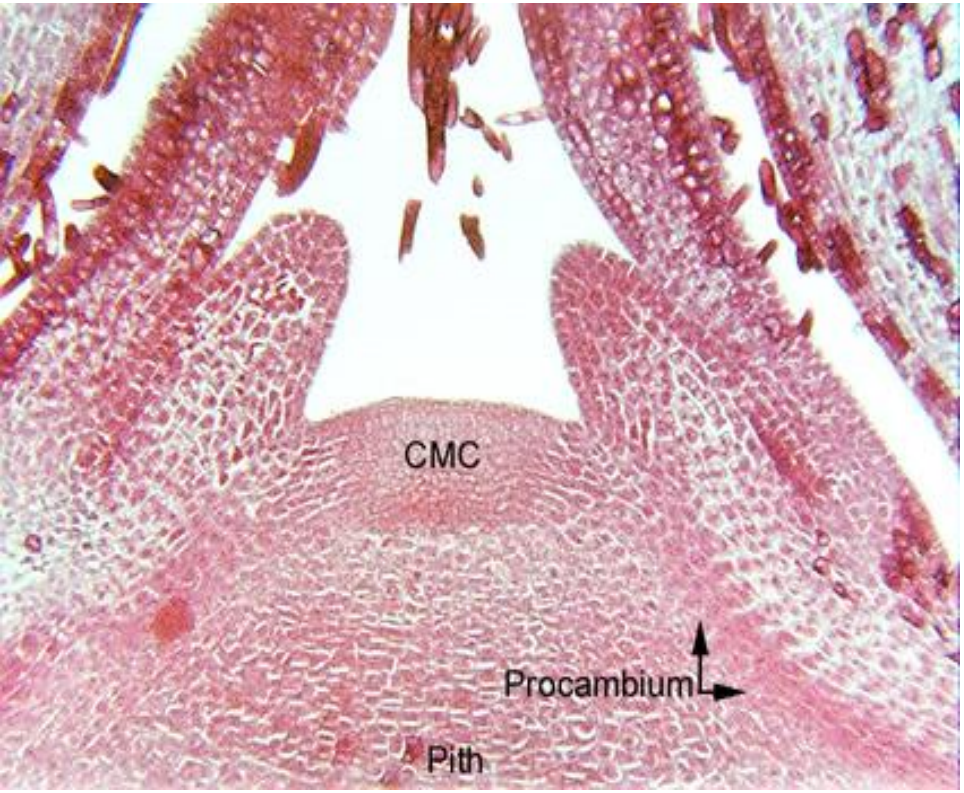
4. نظرية المناطق الخلوية (التمنطق الخلوي) Cytological zones

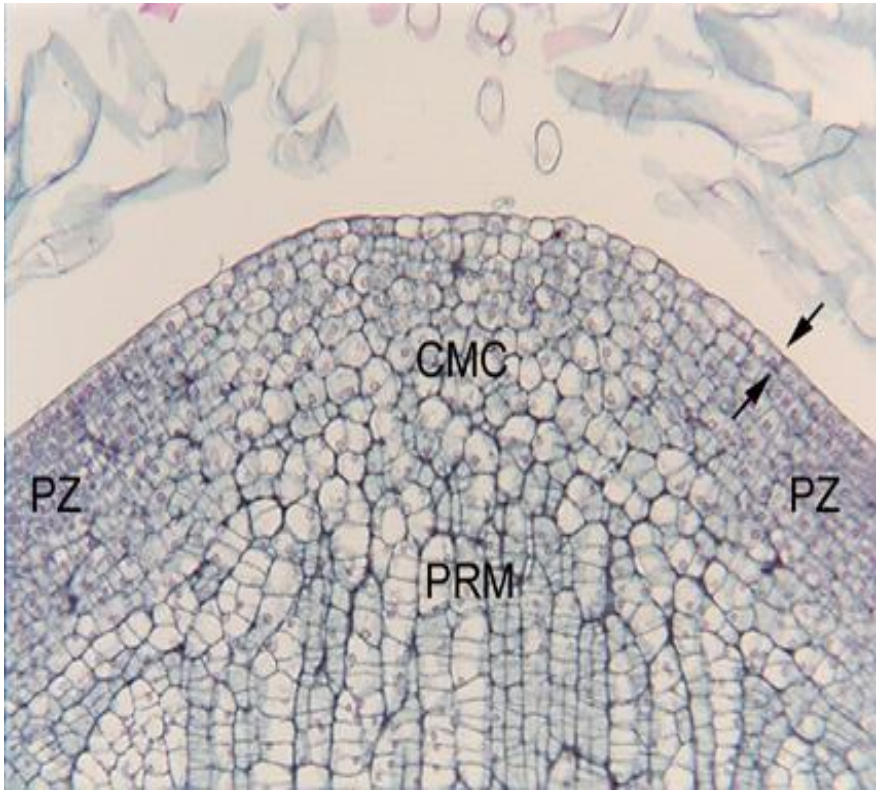
Cyto-histological zonation

(لقد اقترح هذه النظرية العالم فوستر Foster عام 1938م على غرار ما وجد في قمم كل من نبات الجينكو *Genko biloba* ونبات الصنوبر *Pinus* sp. وفي هذه النظرية يقسم النسيج الإنشائي القمي إلى منطقة محورية بعيدة Distal apical zone ينتهي فيها المحور النباتي ومنطقتين تنشآن عنها أو تشتقان منها وهما المنطقة الداخلية (inner zone) Rib meristem وتظهر مباشرة تحت المنطقة المحورية البعيدة ويعطي نشاطها وانقسامها النخاع بعد عدة انقسامات ويطلق على المنطقة الداخلية أحياناً بالنسيج الإنشائي العمودي (الضلعي) Rib meristem. والمنطقة الخارجية أو Outer zone أو المنطقة المحيطية Peripheral zone وهي تحيط بالمنطقة الداخلية وأحياناً تسمى بالنسيج الإنشائي الحقيقي Eumeristem أو النسيج الإنشائي الجانبي Flank meristem (شكل 23).

وتتميز المنطقة المحيطية أو الخارجية بأنها ذات خلايا صغيرة غزيرة البروتوبلازم وأنها ذات نشاط مرستيمي عالي حيث تعطي هذه المنطقة بدايات الأوراق والبراعم، والنسيج الإنشائي الأساسي الذي يعطي القشرة وكذلك منشئ الأنسجة الوعائية الذي يعطي اللحاء والخشب الأبتدائيين.

أما المنطقة الداخلية فإن خلاياها ذات بروتوبلازم أقل كثافة من خلايا المنطقة الخارجية ويعطي نشاط هذه المنطقة نسيج النخاع.

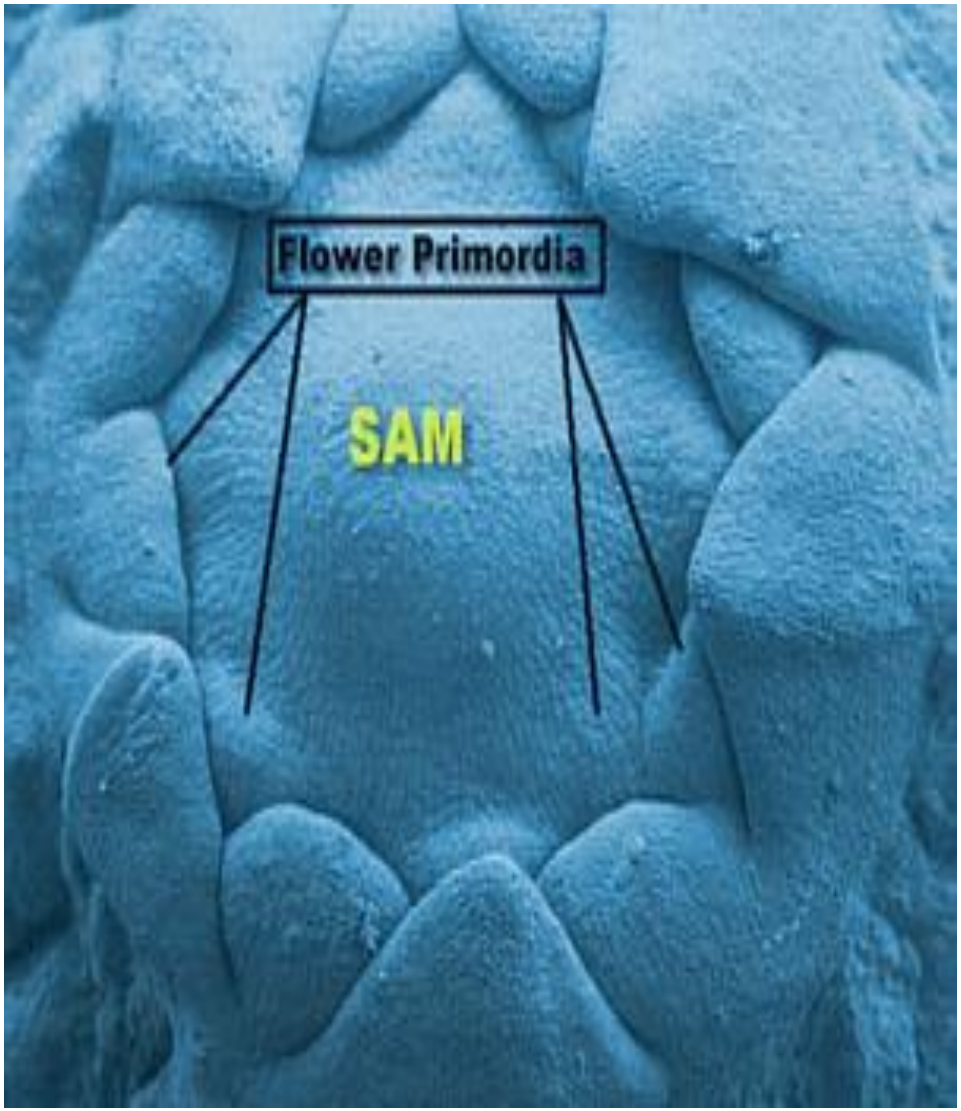

CMC
Procambium
Pith


CMC
PZ
PZ
PRM

نظرية النسيج الإنشائي المنتظر والحلقة الإنشائية

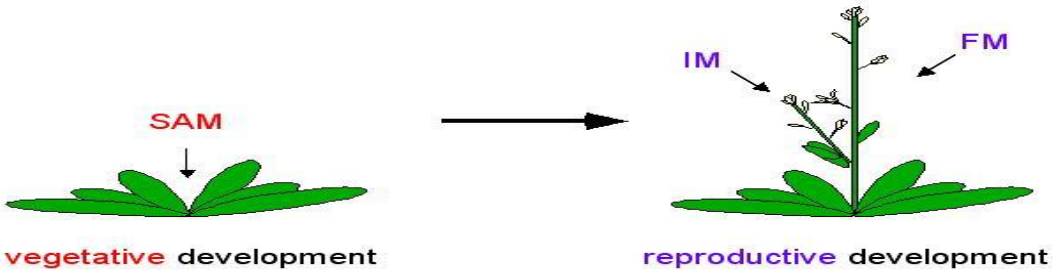
Waitting meristem and initiating ring Theory

لقد اقترح هذه النظرية بوفا Buvat وطلابه عام 1955م ، ثم أيد هذا الاقتراح العالم كلاوس Clawes بعد ذلك بسنوات وكان ذلك في عام 1961م وفي هذه النظرية نلاحظ أن النشاط الإنشائي يلعب دوراً كبيراً في اقتراحها حيث أن الدراسات السيتولوجية وكيمياء الأنسجة والبنيات الدقيقة على المنطقة البعيدة Distal zone المقترحة من قبل فوستر 1938م والتي تمثل النسيج الإنشائي القمي Apical meristem تدل على أن هذه المنطقة خاملة خلال النمو الخضري للعضو النباتي بمقارنتها بالمنطقة الخارجية (أو النسيج الإنشائي الحقيقي) ولهذا أطلق عليها بوفا اسم النسيج الإنشائي المنتظر (النسيج الإنشائي المترقب) Waiting meristem لأنه يعتقد أن هذه المنطقة البعيدة تظل خاملة أي غير نشطة حتى وقت التحول من الطور الخضري إلى الطور التكاثري وفي هذه المرحلة يلاحظ أنه يبدأ النسيج الإنشائي المنتظر في النشاط والانقسام ونتيجة لهذا النشاط ينتج المجموع الزهري أو التكاثري (شكل 24).


Flower Primordia
SAM

DAVID WEBB
Apical Meristem
F
F
F
F
Receptacle

ونظراً لأن المنطقة الخارجية (النسيج الإنشائي الحقيقي) ذات نشاط انقسامي كبير وأنها تنشئ بدايات الأوراق والبراعم الجانبية بالإضافة إلى الأنسجة الداخلية ما عدا نسيج النخاع فقد أطلق عليها بوفات بالحلق. ة الإنشائية Initiating ring واعتبر المنطقة الداخلية منشئة للنخاع Medullary meristem



هذا وقد امتدت نظرية المنطقة البعيدة الخاملة من وجودها في المجموع الخضري لنباتات كاسيات البذور إلى نباتات عاريات البذور كما وجدت أيضاً في النباتات الوعائية البدائية وكذلك في الجذور لمعظم النباتات الراقية، والتي سميت فيما بعد بالمركز الساكن Quiescent center (كلاوس 1961م) .

قمة المجموع الخضري للنباتات الوعائية غير الزهرية

تتميز هذه النباتات بوجود خلية قمية واحدة Single apical cell أو أحياناً عدة خلايا إنشائية. وعادة ما تكون الخلية القمية الفردية هرمية الشكل تتجه قاعدتها إلى ناحية السطح الحر وتتجه الجوانب الثلاثة الأخرى ناحية الداخل. وتنتج الخلايا الجديدة موازية للأضلاع الثلاثة وخير مثل على ذلك ما يوجد في قمة المجموع الخضري لنبات ذيل الحصان وكثير من السراخس ما عدا السراخس الحقيقية (شكل 20).

قمة المجموع الخضري للنباتات عاريات البذور

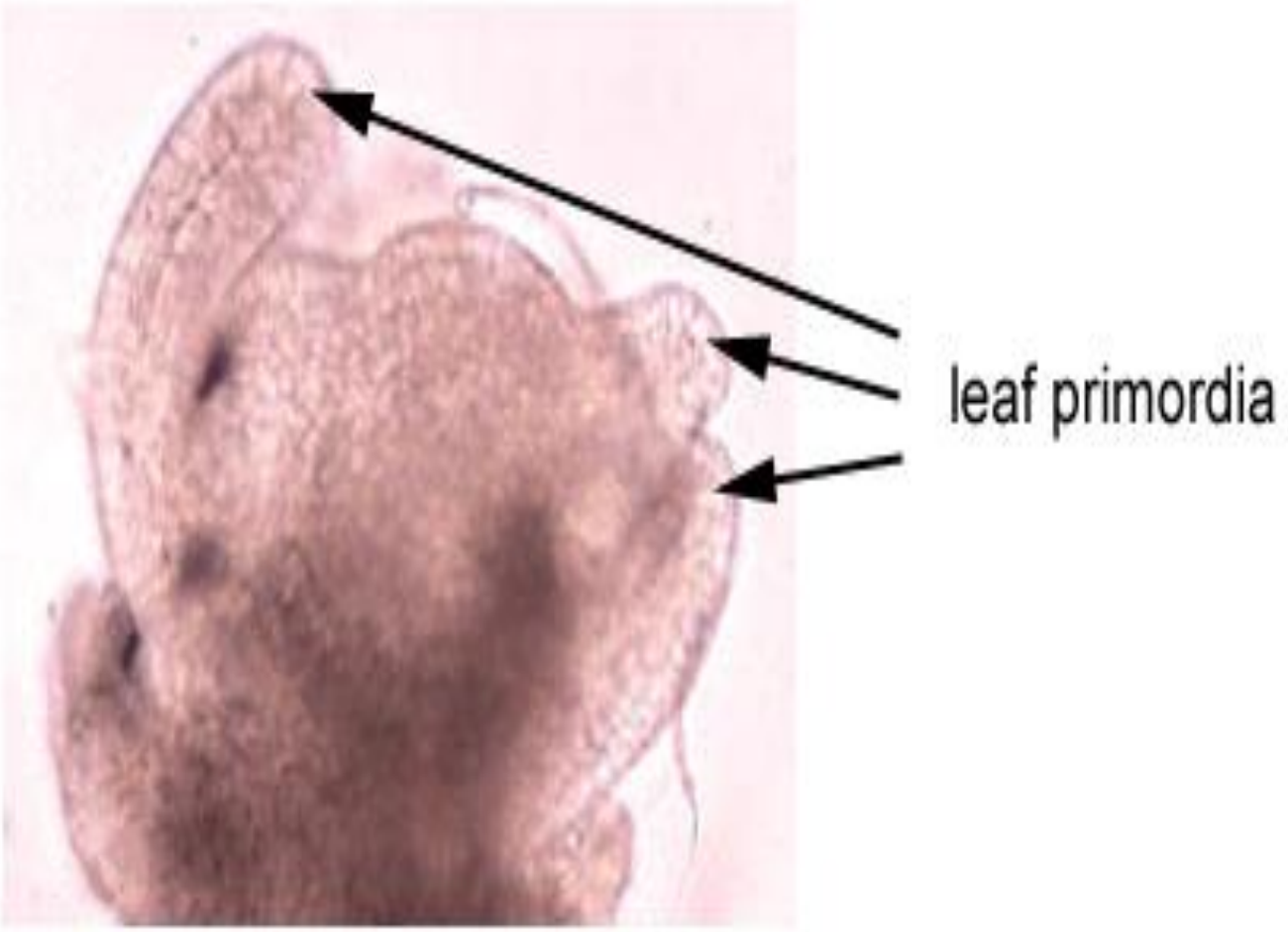
اكتشفت نظرية المناطق الخلوية في النسيج الإنشائي القمي لكل من نبات الجينكو ونباتات الصنوبر. وقسم النسيج الإنشائي الابتدائي في تلك النباتات إلى منطقة محورية بعيدة ذات خلايا إنشائية متشابهة في الشكل ونشاط إنشائي قليل وهذه المنطقة يعطي نشاطها إلى تكوين منطقتين من الخلايا الإنشائية: منطقة خارجية. يعطي نشاطها جميع الخلايا والأنسجة ما عدا النخاع، ومنطقة داخلية يعطي نشاطها نسيج النخاع (شكل 23).

قمة المجموع الخضري للنباتات كاسيات البذور

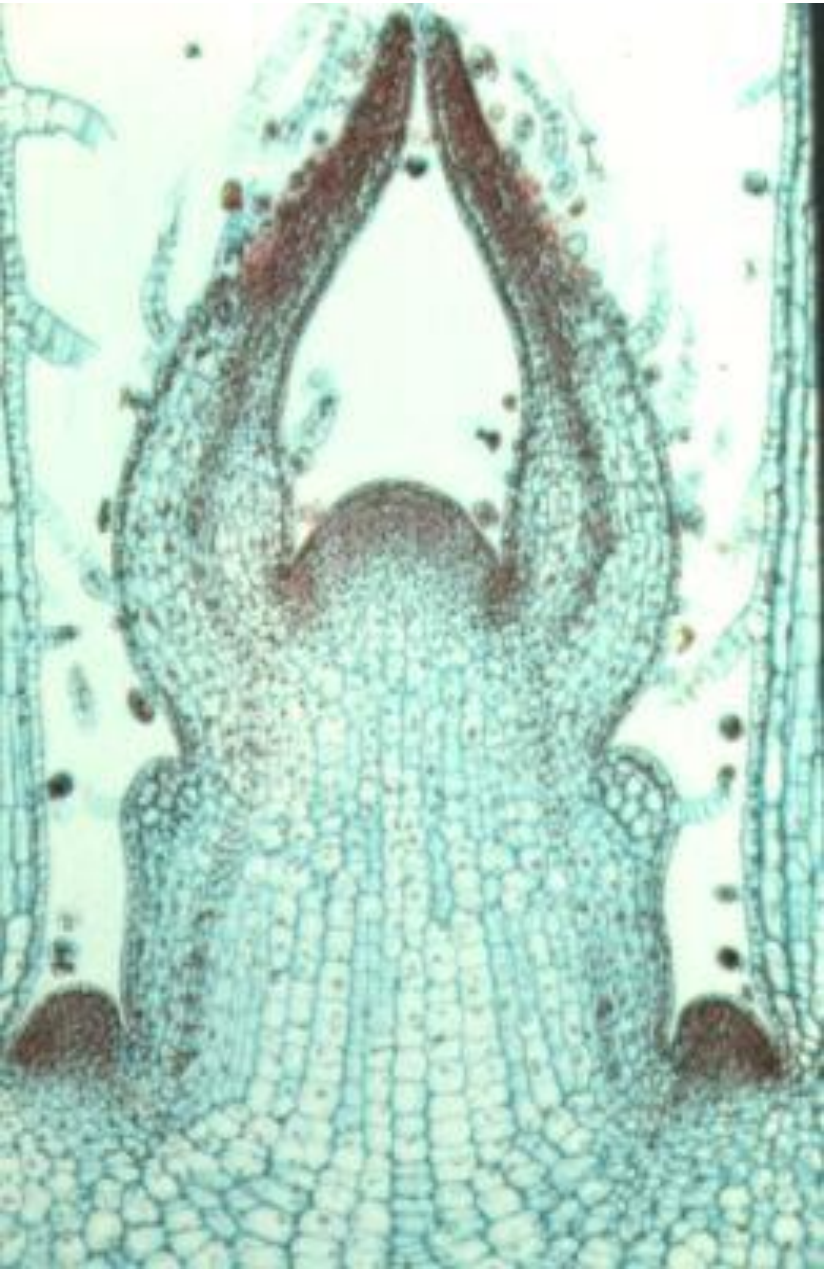
تنطبق نظرية الغطاء والجسد على معظم أفراد هذه المجموعة من النباتات : ففي نباتات ذوات الفلقتين يتكون الغطاء من طبقة إلى خمس طبقات وغالباً ما يوجد طبقتين. بينما في نباتات ذوات الفلقة الواحدة يتكون الغطاء من طبقة إلى 4 طبقات وعادة ما يكون الغطاء طبقة واحدة في أغلب النباتات. وهناك آراء تقول بأن الغطاء لا يتكون من أكثر من طبقتين هما منشئ البشرة ومنشئ تحت البشرة (شكل 22).

منشأ الأوراق: Leaf origin

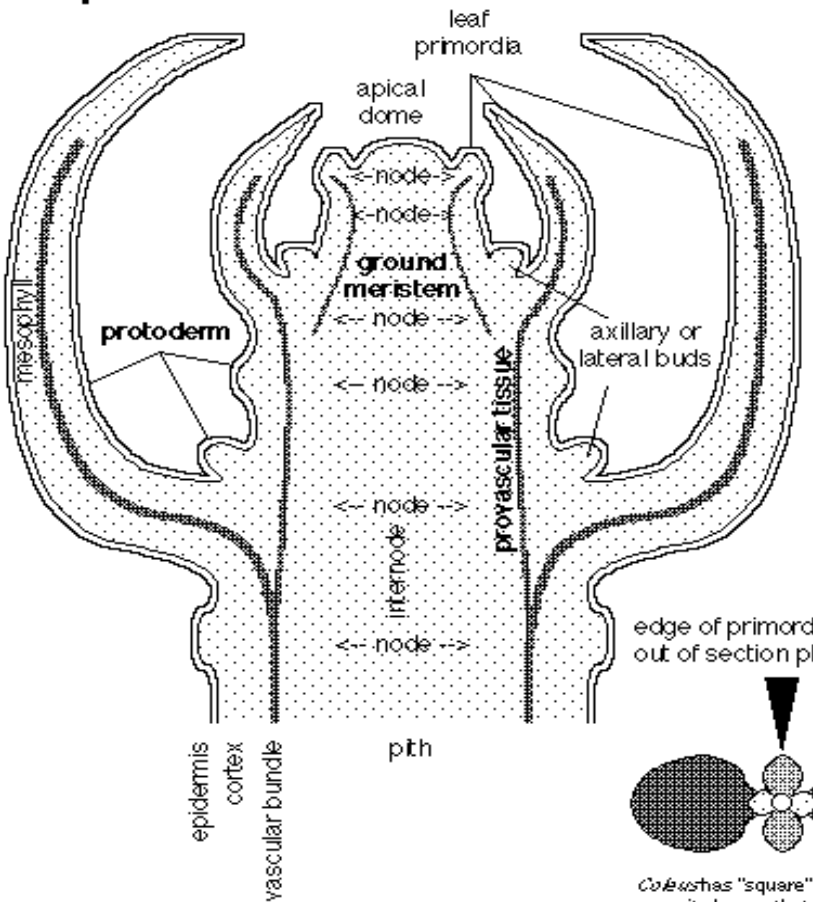
من أهم العلماء الذين بحثوا في منشأ الورقة هو العالم جو تنبرج Guttenberg(1960م)، وقد وجد **أن أوراق نباتات ذوات الفلقتين** تنشأ عادة من الطبقة تحت السطحية من الغطاء حيث يبدأ الانقسام الأول موازياً للسطح في الطبقة تحت السطحية ثم يتبع ذلك انقسامات متشابهة في الطبقة التي تليها من الداخل. كما يصاحب ذلك انقسامات متعامدة على السطح في الطبقة السطحية فقط، مكونة بشرة الورقة، بينما تكون الانقسامات الموازية للسطح في الطبقة تحت السطحية والتي تليها من الداخل النسيج الوسطي للورقة بالإشتراك مع الطبقة السطحية من الجسد حيث يتكون في بداية الأمر مجموعة من النسيج الإنشائي تبرز إلى خارج النسيج الإنشائي القمي أو العضو النباتي تسمى ببداية الورقة Leaf primordium وعند مضي مرحلة من الانقسامات تسمى بزر الورقة Leaf buttressالذي يتحول إلى ما يعرف بمحور الورقة Leaf axis (شكل 25) ومن ثم يتكون منشئات خاصة لتكوين الورقة منشئ حافي Marginal meristem، ومنشئ سطحي، Plate meristem ومنشئ كتلي Mass meristem. تعمل جميعها على تشكل الورقة.


leaf primordia

Meristem Structure



Shoot Apical Meristem



Coleus has "square" stems and opposite leaves that alternate sides in pairs (decussate)

- No cap for protection - leaf primordia serve sufficiently
- Apical dome, leaf primordia tips, lateral buds - interrupted zones of division
- Internodes - interrupted zones of elongation (nodes quiescent)
- Maturation also mosaic because of interspersed meristematic regions

أما **في نباتات ذوات الفلقة الواحدة** : فتنشأ الأوراق من انقسام الطبقة السطحية للغطاء بانقسامات موازية للسطح حيث تعطي معظم النسيج الداخلي للورقة أو جزءاً كبيراً منه بالإضافة إلى البشرة. ولكن قد تشارك الطبقات تحت السطحية من الغطاء والسطحية من الجسد أيضاً في تكوين جزءاً من النسيج الوسطي للورقة. وعموماً فإن نشأة الأوراق في نباتات كاسيات البذور سواء نباتات ذوات الفلقتين أو ذات الفلقة الواحدة يتبع نظاما ثانياً مع الاختلاف في عمق أو عدد الطبقات المشتركة لكل من الغطاء والجسد. ولهذا فإن كل من الغطاء والجسد يشتركان في تكوين الورقة بنسب مختلفة حسب المجاميع النباتية.

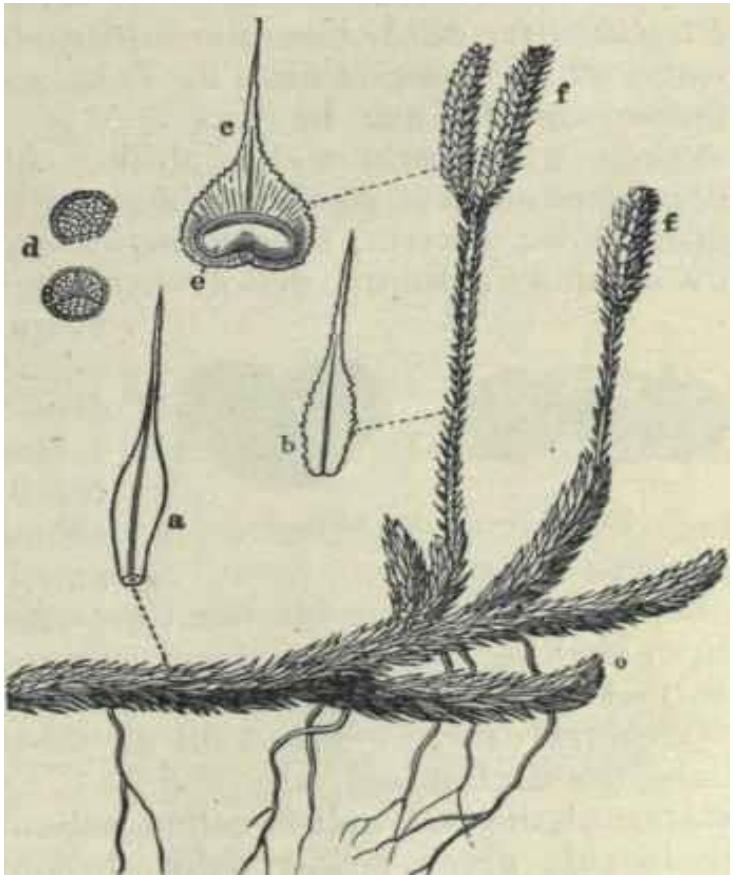
أما في نباتات عاريات البذور فتنشأ الورقة (الأوراق) من المنطقة المحيطية أو المنشئ الحقيقي Eumeristem (وقد تساهم الطبقة السطحية في تكوين النسيج الداخلي لبداية الورقة) بحدوث انقسامات مماسية في منشأ بداية الورقة يؤدي إلى تكوين بروز جانبي يقع تحت النسيج الإنشائي القمي الأولي Protomeristen بقليل يعرف بزر الورقة Leaf buttress حيث ينمو مكوناً الورقة فيما بعد وتختلف مواضع تكوين الأزرار الورقية حسب نوع النبات.

تفرع الساق Stem branching

يقسم التفرع في ساق النبات إلى نوعين هما:

1. تفرع قمي Apical branching

تنقسم الخلية القمية الأنشائية إلى خليتين متساويتين، يعطى النشاط الانقسامي لكل منهما فرعاً مستقلاً ثم يتكرر ذلك الانقسام في كل قمة إنشائية ويعرف بالتفرع الثنائي Dichotomous branching كما في طحلب الدكتيوتا *Dictyota* (شكل، 26) ونباتي السيلاجينيلا والليكوبوديوم. أو تنقسم القمة النامية إلى قسمين متساويين يعطي كل منهما فرعاً مستقلاً ثم يتكرر ذلك في كل قمة مثل نبات نخيل الدوم *Hyphaene thebaica*


c
f
d
e
f
b
a
o

2 . تفرع جانبي Lateral branching

وهو الشائع في النباتات الراقية وفيه تتكون بدايات البراعم (الفروع) تحت المرستيم القمي الأولي بقليل وفي آباط الأوراق. ويقسم إلى نوعين:

أ . تفرع صادق المحور Monopodial branching وفيه يستمر نمو البرعم الطرفي ونشاطه إلى زمن غير محدود ويضيف باستمرار أعضاء جديدة (أوراق وفروع) إلى محور النبات مثل نبات الكازورينا *Casuarina* والزان والبلوط. وتخرج الفروع الجانبية من هذا المحور في آباط الأوراق ويكون أحدثها أقربها إلى القمة ويعرف ذلك بالتعاقب القمي Acropetal succession(شكل 26)

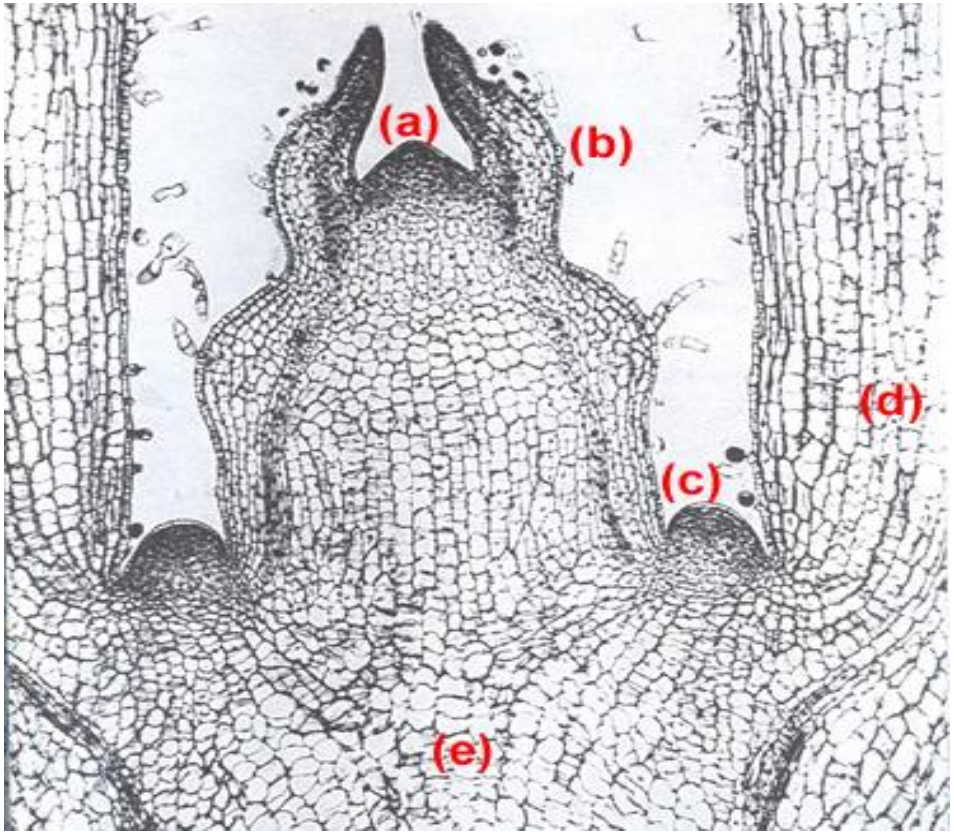
ب . تفرع كاذب المحور Sympodial branching

وفي هذا النوع ينشط البرعم الطرفي لفترة محدودة ثم يتحور إلى عضو مستديم أي يقف نشاطه ويتم نمو المحور الأصلي بدلاً منه فرع جانبي ينمو على استقامته فترة من الزمن ثم يتحور برعمه الطرفي إلى عضو مستديم ويكمل المحور فرع جديد وهكذا وبذلك يتكون المحور من أجزاء ذات أصول مختلفة كل منها يمثل فرعاً جانبياً مثل ساق العنب (شكل، 26).

Vitis vinifera L.
Image processed by Thomas Schoepke
www.plant-pictures.de

منشأ الفروع Origin of branches

يتكون البرعم في النباتات الوعائية الراقية نتيجة الانقسامات المتعامدة على السطح في الطبقتين الأولى والثانية السطحيتين للمحور الصغير أو النسيج الإنشائي القمي وحدوث عدد كبير من الانقسامات الموازية للسطح Periclinal divisions في الطبقات العميقة. ويسبب هذا النمو في السطح والحجم إبراز البرعم فوق سطح المحور النباتي. وأحياناً تكون الانقسامات منتظمة بدرجة كبيرة مما ينتج عنه تكوين سلسلة منحنية من الطبقات المتوازية، ولهذا يسمى هذا الوضع للنسيج الإنشائي المبكر للبرعم بالمنطقة القشرية Shell zone. واعتماداً على مقدار العلاقة بين الغطاء والجسد في قمم المجموع الخضري في النباتات كاسيات البذور فإن نواتج أو مشتقات هاتين المنطقتين تكون مختلفة من حيث الاشتراك في تكوين النسيج الإنشائي للبرعم الأبطي، ولهذا فإن البراعم تنشأ من طبقات أكثر عمقاً مما هو عليه في منشأ الأوراق (شكل 27). أما البراعم التي تنشأ من أنسجة بالغة دون أي علاقة مع النسيج الإنشائي القمي أو بمعنى آخر تنشأ بعيدة عنه فيطلق عليها **البراعم العرضية** Adventitious buds ومن الواضح أنه ليس هناك تمييز نشوئي واضح بين البراعم الأبطية والبراعم العرضية لأن الأولى قد تنشأ أيضاً من خلايا برنشيمية بالغة ولكن تتكون البراعم العرضية على السيقان والجذور والأوراق في النباتات السليمة أو المجروحة أو الأوراق المعزولة وقد تكون خارجية أو داخلية المنشأ Endogenous أما البراعم الإبطية فدائماً تكون خارجية المنشأ Exogenous أي تنشأ من الطبقات السطحية للنسيج الإنشائي القمي.


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)

منشأ الأزهار Flower origin

في حالة التكاثر (تكوين الأزهار) في النباتات الزهرية (كاسيات البذور) يحل النسيج الإنشائي القمي الزهري محل النسيج الإنشائي القمي الخضري إما مباشرة أو عن طريق نمو حوامل زهرية ومن ثم تتكون الأزهار على الحامل الزهري في أشكالها المختلفة. والنمو التركيبي الذي يحدث في النسيج الإنشائي القمي خلال التغيير إلى الطور التكاثري يمكن أن يشاهد في قمة الحامل الزهري. ولهذا فإن دراسة القمم الزهرية يجب أن تشتمل على كل من الحامل الزهري والنسيج الإنشائي القمي الزهري. ومن هذه الملاحظات ما شاهده كل من باركر واستيورد Barker and Steward 1962م وعلماء آخرون من قبله من تغير إلى الطور التكاثري عن طريق تحور الشكل الظاهري للساق وهي :

- الإسراع في تكوين براعم إبطية.
- نمو أعضاء ورقية تتأبط هذه البراعم تختلف في مظهرها وطبيعتها عن الأوراق تعرف بالقنابات Bracts.
- تنشأ البراعم الأبطية قبل بدايات الأوراق وهذا مخالفاً لما هو عليه في النسيج الإنشائي القمي الخضري حيث تنشأ بدايات الأوراق أولاً.
- الاستطالة المفاجئة للسلاميات كما هو الحال في النباتات التي لا يستطيل الساق فيها خلال النمو الخضري كما في بعض الأعشاب والنباتات النجمية.
- يختلف النسيج الإنشائي التكاثري هستولوجياً عن النسيج الإنشائي الخضري فقد يحتفظ في عدد طبقات الغطاء والجسد كما هو الحال في المجموع الخضري أو قد تقل أو تزيد عدد الطبقات السطحية (الغطاء).

•توزيع خلايا النسيج الإنشائي الحقيقي في عدد من النباتات، فمنطقة الغطاء تكون ذات خلايا صغيرة متماثلة تأخذ صبغة داكنة تكون على هيئة قناع تحيط بخلايا كبيرة وتأخذ صبغة خفيفة. وهذه القمة تكون أكثر اتساعاً من قمة المجموع الخضري.

•ليس من الضروري أن تكون منطقة القناع ممثلة بالغطاء فقد يدخل جزءا من خلايا الجسد في تكوين هذا القناع.

•يحدد النسيج الإنشائي الزهري (التكاثري) استطالة الساق.

•النسيج الإنشائي المحوري الموجود في النسيج الإنشائي القمي الخضري يقل نشاطه، وينحصر النشاط الإنشائي في القناع (المنطقة الخارجية) ويكون مسؤولاً عن تكوين الأعضاء التكاثرية فقط.

وحسب نظرية بوفا Buvat التي تقسم النسيج الإنشائي القمي إلى:

- النسيج الإنشائي المنتظر Waiting meristem الذي يتميز إلى نسيجين إنشائيين هما:

أ ـ نسيج إنشائي أولي بوغي يعطي الأجزاء الزهرية التكاثرية والبتلات (الأسدية ـ المدقة ـ البتلات) (شكل 28).

ب ـ نسيج إنشائي تختي ويعطي التخت الزهري.

- الحلقة الإنشائية Initial ring: وتعطي السبلات فقط ومن ثم يقف نشاطها مباشرة بعد إعطاء السبلات (شكل، 28).

و**الأسباب** التي تؤدي إلى تحول النسيج الإنشائي القمي الخضري إلى نسيج إنشائي قمي تكاثري (زهري) غير واضحة التحديد ولكن هناك بعض **الآراء** حول ذلك منها:

- أنه ليس هناك علاقة نشوئية بين النسيج الإنشائي للمجموع الخضري والنسيج الإنشائي للمجموع التكاثري لأنهما يختلفان وظيفياً.
- أن النسيج الإنشائي القمي التكاثري ينشأ من إعادة تنظيم كبير للنسيج الإنشائي القمي للمجموع الخضري في نباتات عاريات وكاسيات البذور.
- أن النسيج الإنشائي القمي والتكاثري يتداخلان من خلال وجود أشكال متوسطة وأن الاختلافات بينهما ليست أساسية وترجع إلى الأشكال المختلفة للنمو في محور كل من المجموع الخضري والتكاثري.
- أن التغير الواضح ينشأ عن انعكاس بعض التغيرات الفسيولوجية في النبات.

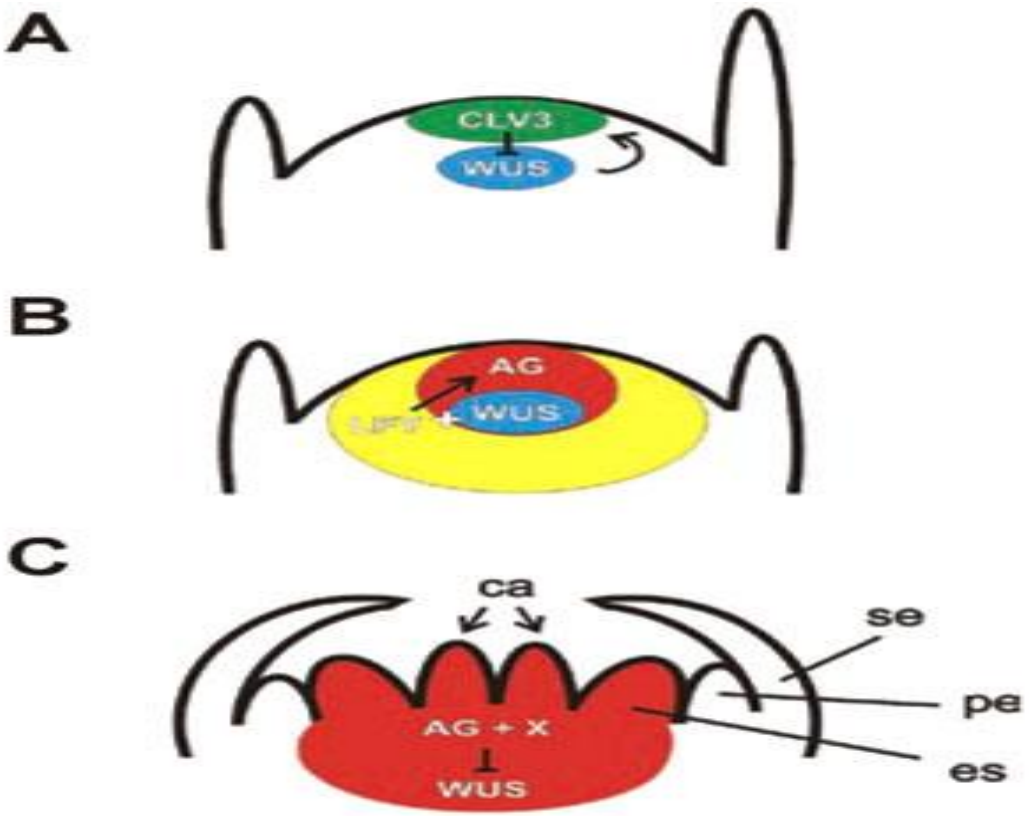
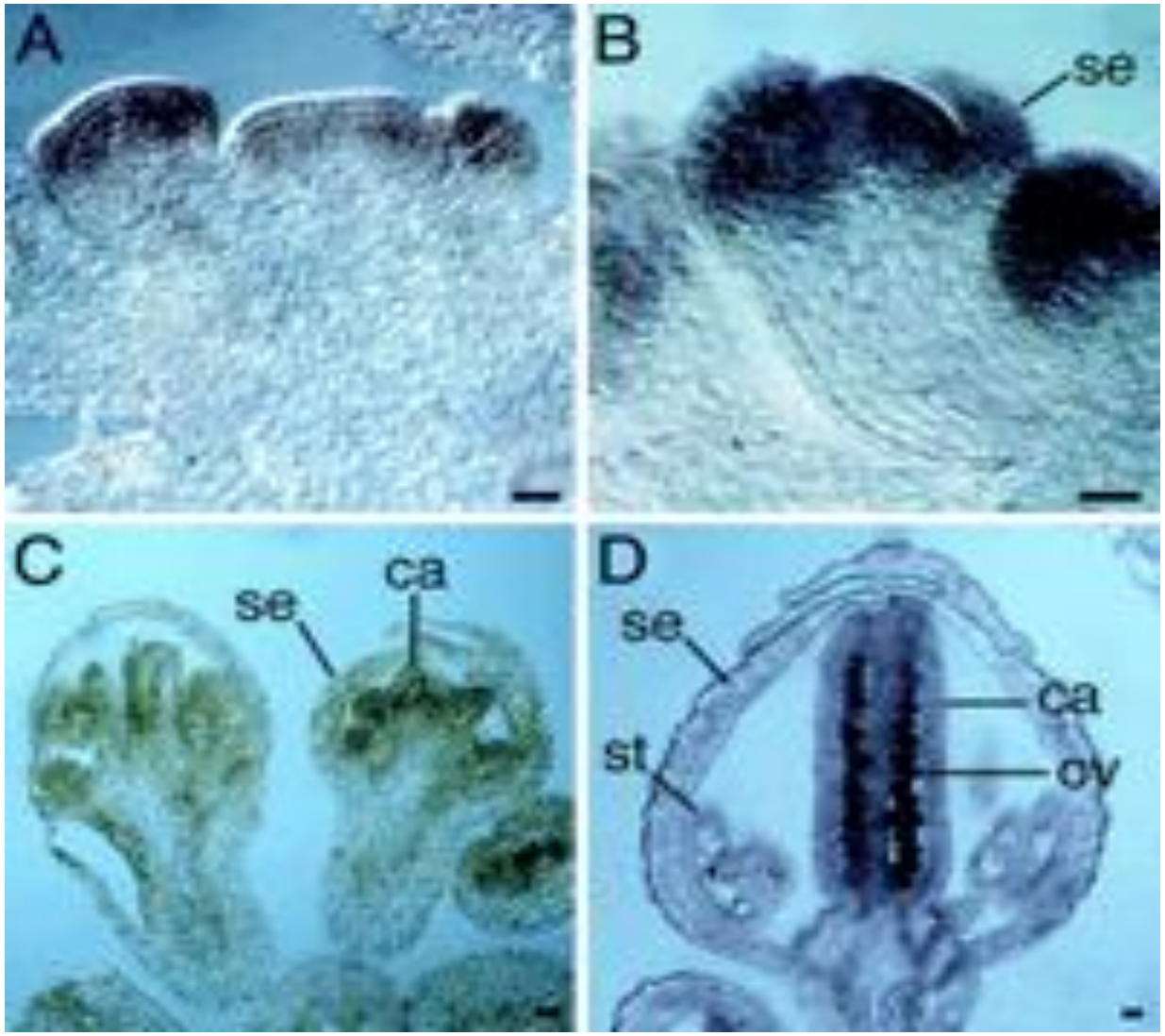


Figure 4. Molecular model of the feedback loop regulating stem cell determination in *Arabidopsis*. **A**: Schematic representation of an indeterminate vegetative apical meristem, showing the interaction between *CLV3* and *WUS* in their respective domains. In the vegetative meristem, *LFY* is normally absent and *AG* expression is not induced. **B**: In early floral meristems, *LFY* begins to be expressed and acts together with WUS to induce *AG* transcription in the center of the developing flower. **C**: At the time of carpel initiation, *AG* and an additional, as yet unidentified factor (X) repress *WUS* expression to terminate stem cell activity and make the meristem determinate. **ca**: carpel primordia; **es**: stamen primordium; **pe**: petal primordium; **se**: sepal primordium.


A
B
se
C
se
ca
D
se
ca
st
cv

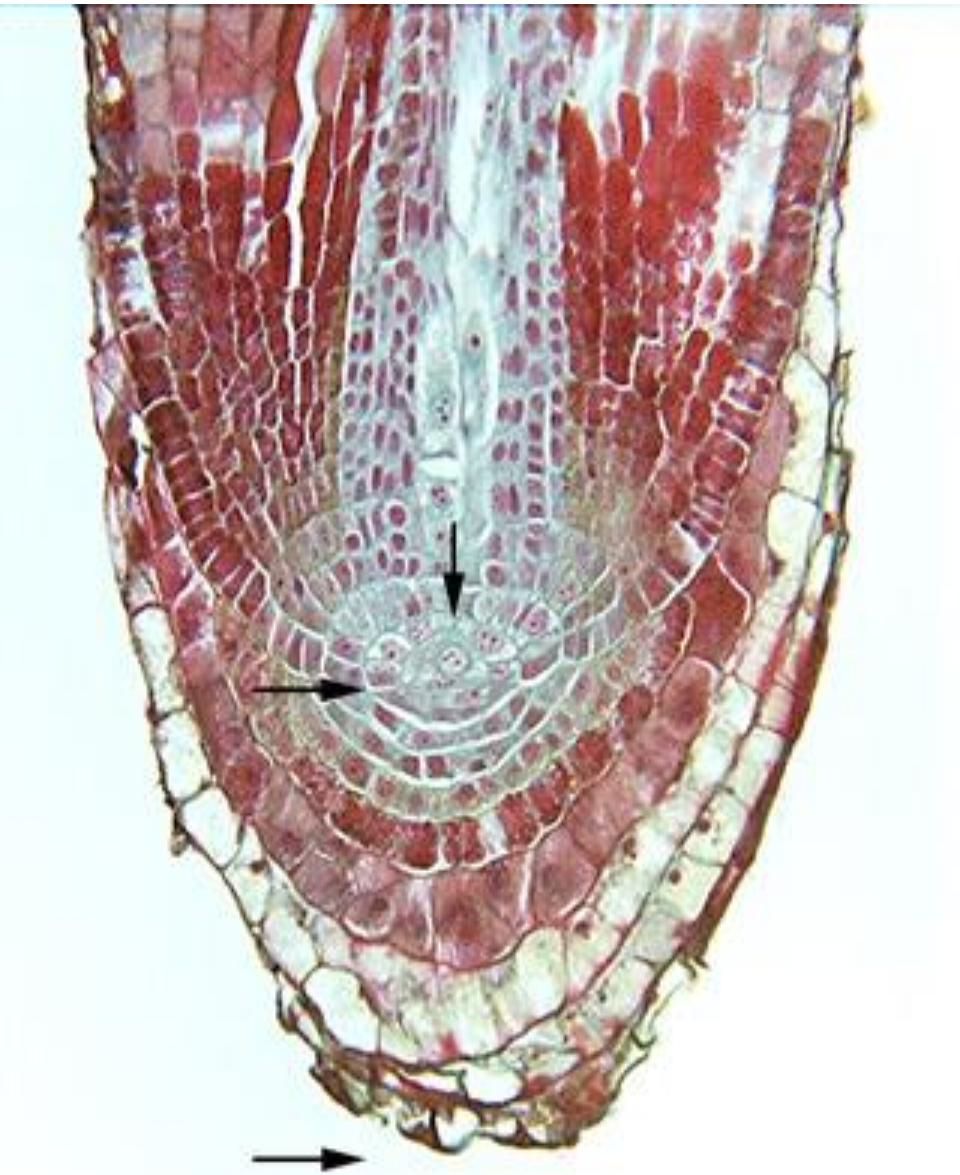
النسيج الإنشائي القمي للمجموع الجذري
Apical meristem of root

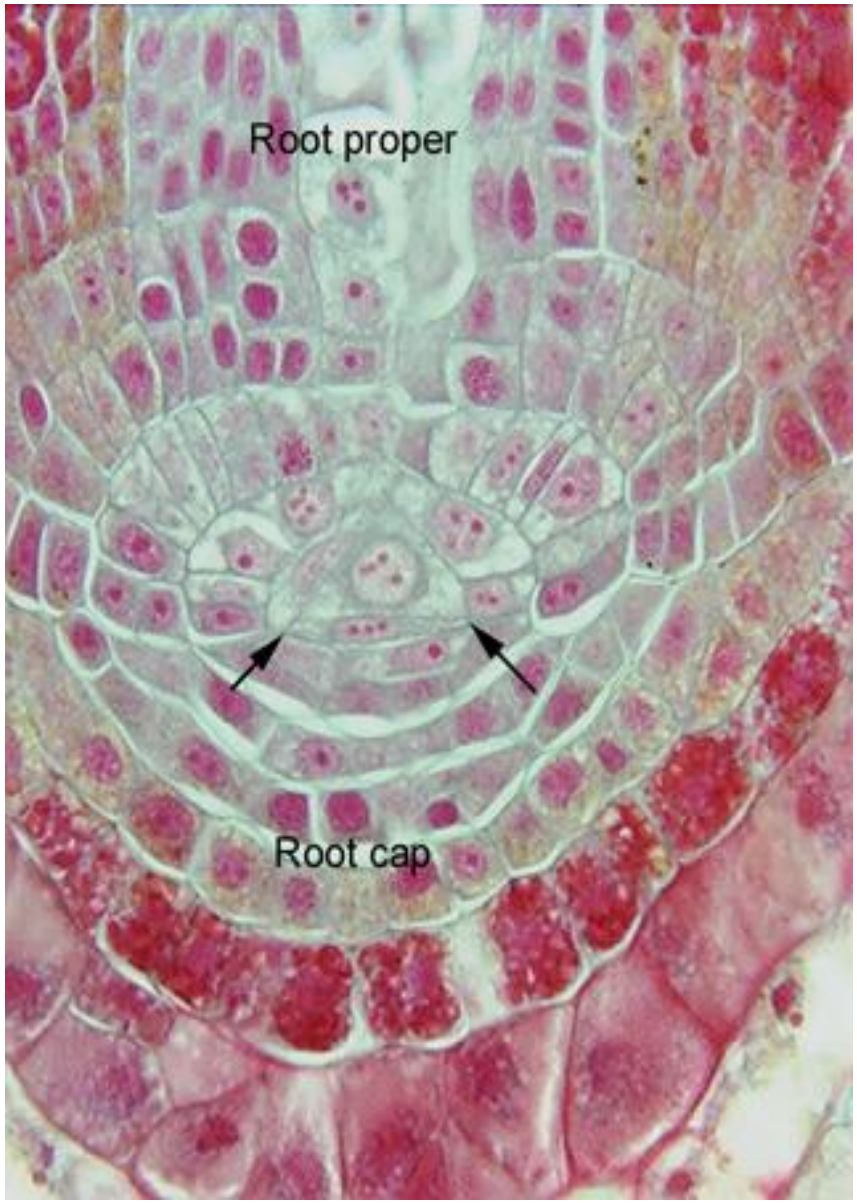
تختلف قمة الجذر النامية عن قمة الساق في أن النسيج الإنشائي تنتج خلايا ناحية المحور إلى جانب خلايا بعيدة عن المحور وهي خلايا القلنسوة وبسبب وجود قلنسوة الجذر فإن الجزء البعيد من النسيج الإنشائي القمي ليس قمياً ولكنه تحت قمي في الموضع أي أنه يقع تحت قلنسوة الجذر. كما أن الجذر لا ينتج عقداً أو سلاميات، وقد يسمى الجزء البعيد من قمة الجذر **بالنسيج الإنشائي الأولي** Protomeristem الذي يتميز إلى منشئ القشرة Periblem ومنشئ الاسطوانة الوعائية Plerome وقد يطلق عليها مصطلح الاسطوانة المركزية إذا لم يوجد نخاع في الاسطوانة الوعائية.

ويختلف نمط النمو في النسيج الإنشائي القمي للجذر في النباتات الوعائية المختلفة كما يلي:

قمة الجذر في النباتات الوعائية غير الزهرية:

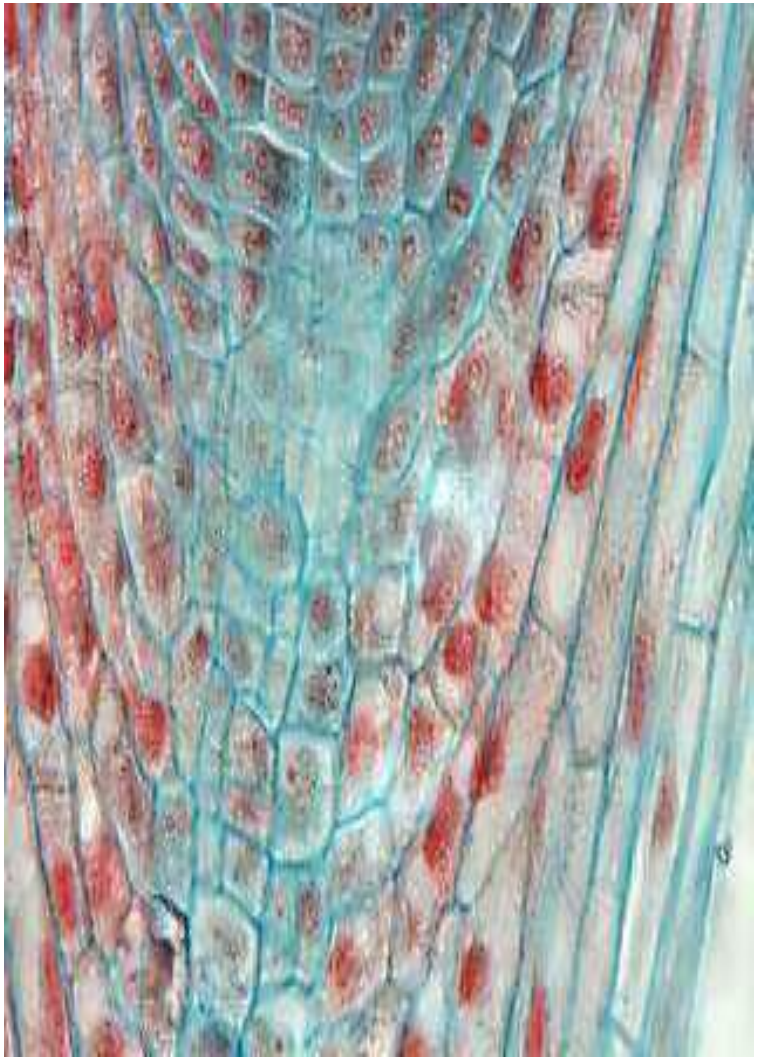
تنتج جميع الأنسجة من خلية واحدة أو عدة خلايا مرتبة في صف واحد وتشبه الشكل الموجود في الساق كما في جذر كزبرة البئر *Adiantum*. ولكن الخلية الهرمية الممثلة للمنشئ الأولي تختلف عنها في المجموع الخضري حيث تنقسم انقسامات موازية للأضلاع الأربعة معطية بذلك القلنسوة، والقشرة والأسطوانة الوعائية (شكل 29).

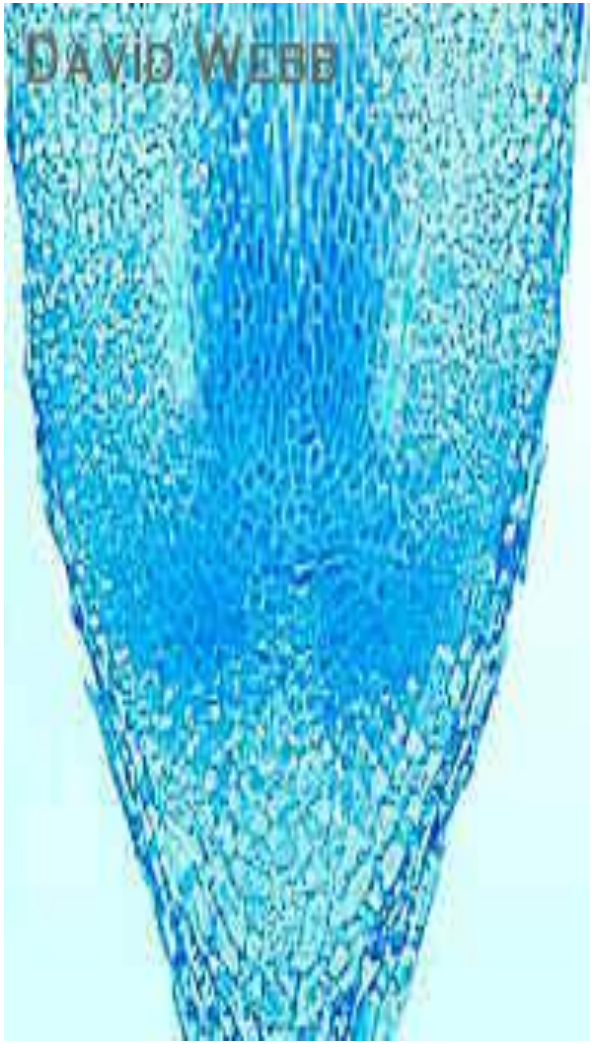



Root proper
Root cap

قمة الجذر في النباتات عاريات البذور:

في معظم عاريات البذور تنتج الأنسجة بالجذر أو جميعها (القلنسوة والقشرة والبشرة) ما عدا الاسطوانة الوعائية من طبقة واحدة من الخلايا الإنشائية، بينما تنشأ الاسطوانة الوعائية من طبقة أخرى من الخلايا الإنشائية بمعنى آخر أن هناك طبقتين إنشائيتين إحداهما تعطي القلنسوة والبشرة والقشرة والأخرى تعطي الاسطوانة الوعائية. كما في نبات الصنوبر (شكل 30).

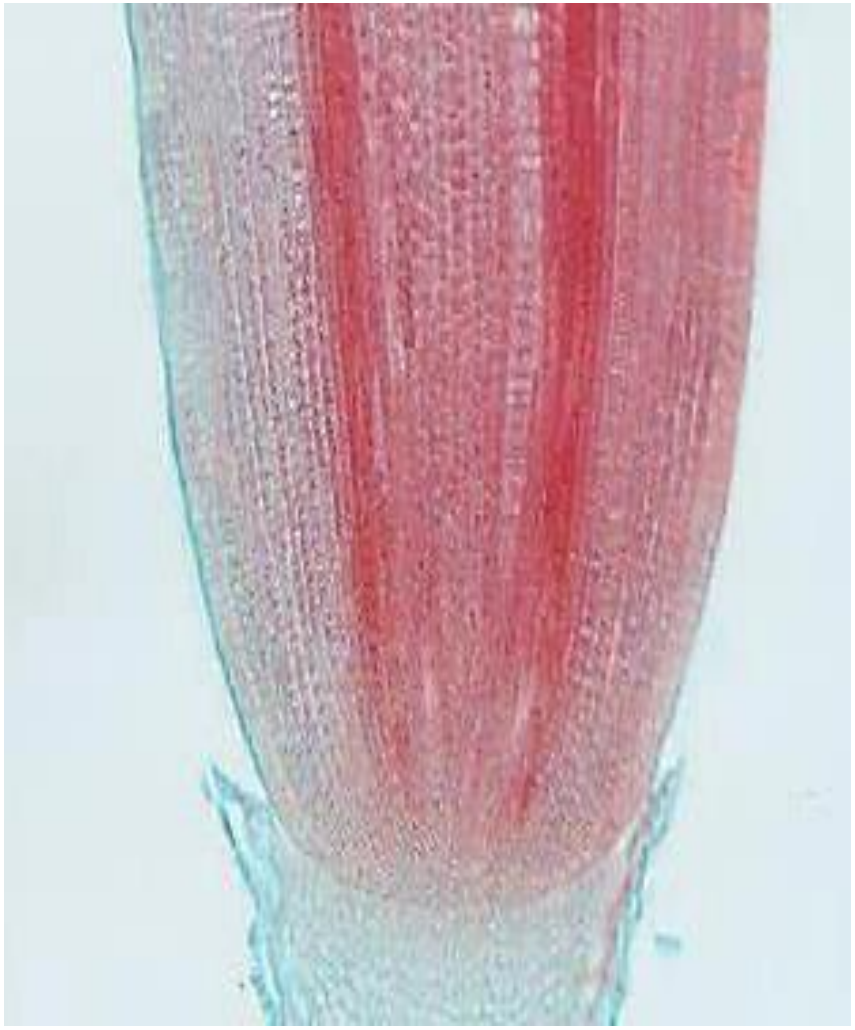


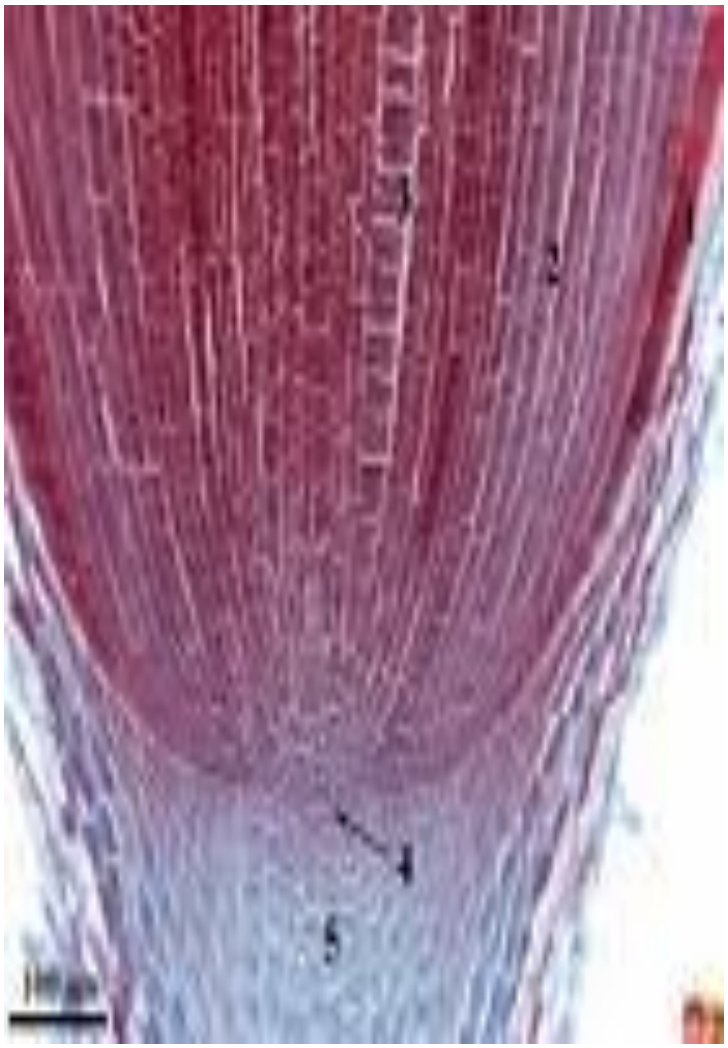


النسيج الإنشائي القمي لجذر عاريات لبذور شكل (30)

قمة الجذر في النباتات كاسيات البذور:

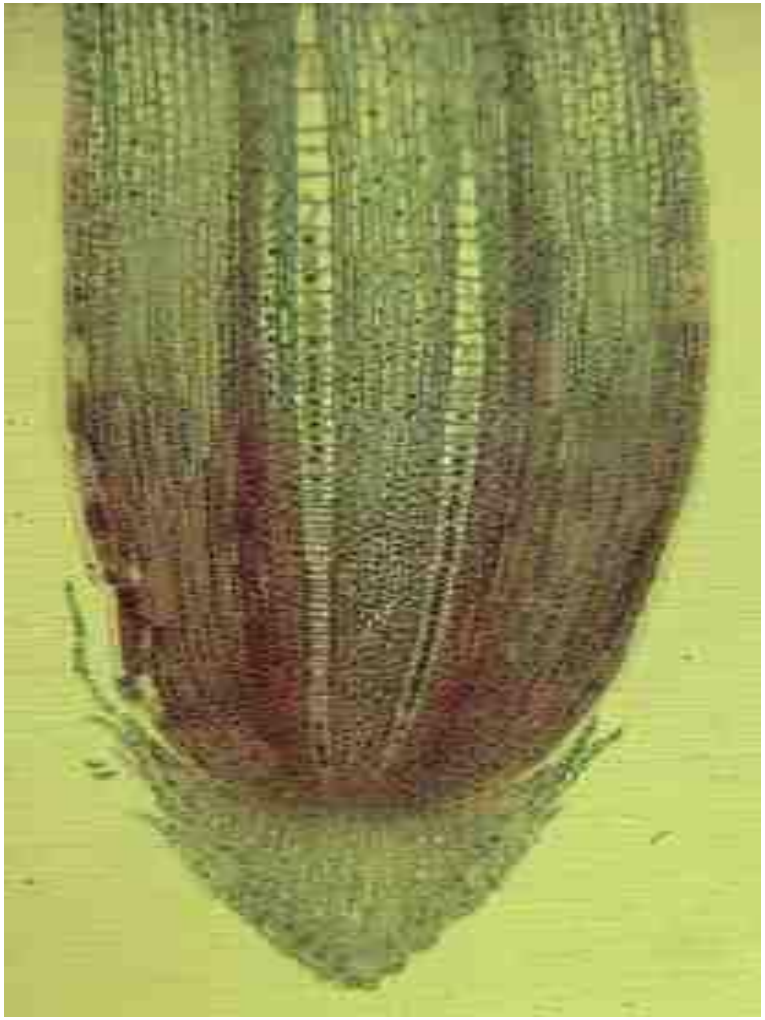
إن قمة الجذر لبعض كاسيات البذور تتبع أو تشابه قمة الجذر في عاريات البذور. والبعض الآخر يوجد فيه نوعين من النسيج الإنشائي الأولي Protomerestemهما: مغلق Closed ومفتوح Open. ففي النوع المغلق توجد ثلاث صفوف من الخلايا الإنشائية أحدهما في قمة الاسطوانة الوعائية ويعطي الاسطوانة المركزية، والثاني يعطي القشرة Cortex، وأما الثالث فيعطي القلنسوة (Root cap) Calyptra وتقسم هذه الصفوف الثلاثة من الأنسجة الإنشائية حسب نشأة البشرة، ففي مجموعة من النباتات مثل الذرة تنشأ البشرة من الطبقة الخارجية من القشرة ويكون لها أصل مشترك مع القشرة (شكل 31). أما في مجموعات أخرى من النباتات مثل نبات الدخان فتنشأ البشرة من منشأ القلنسوة وبذلك يكون للبشرة أصل مشترك مع القلنسوة (شكل 32).





شكل (31) النسيج الإنشائي لجذر الذرة

وقد يكون للبشرة منشئ خاص فيتكون المنشئ الأولي من أربع طبقات هي منشئ الأسطوانة الوعائية، منشئ القشرة، منشئ البشرة ومنشئ القلنسوة (شكل 33).



الكاميرات النباتية Plant chimeras

الكاميرات هي عبارة عن نباتات تكون فيها طبقة أو أكثر من الخلايا أو جزء أو نسيج يحتوي على خلايا منطفرة سواء كانت الطفرة الحاصلة فيها على مستوى الكروموسومات Chromosomal mutation أو على المستوى الجيني Gene mutation بينما تبقى طبقات أو أنسجة النبات الأخرى حاوية على خلايا اعتيادية. أو قد تكون قد عانت طفرات من نوع آخر . وفي الواقع فإن الخلايا المنطفرة قد تظهر اختلافاً في عدد صبغياتها (كروموسوماتها) أو في جوانب أخرى كاللون أو الحجم أو غير ذلك من الصفات الظاهرية التي قد تميز هذه الأجزاء المنطفرة عن بقية أجزاء النبات الأخرى.

وفي بعض الأحيان يتغير النبات جميعه نتيجة لحصول **طفرة جنينية** أو **صبغية** وذلك في جميع خلايا الجسم النباتي وفي هذه الحالة فلا يسمى هذا النوع من الطفرة للنبات بالكاميرا النباتية بل يأخذ أسم الطفرة التي حصلت فيه والتي تكون ممثلة في جميع خلاياه مثال ذلك لو حصل طفرة تتعلق بطول النبات أو حجمه أو وفرة اليخضور (الكلوروفيل) فيه أو مايتعلق بلون الأزهار فإن هذه الطفرات لاتحول النبات إلى كاميرا نباتية مالم تحصل هذه الطفرات في صورة جزئية في بعض الأنسجة فقط.

إن أول من استخدم مصطلح كاميرا هو العالم فينكلر Vinkler(1907 م) وذلك عندما أطلق هذا الاسم على نبات استنتجه من تطعيم نباتيين من نباتات العائلة الباذنجانية حيث استخدم نبات *Solanum lycopersicum* كأصل ونبات *Solanum nigar* كطعم فاستنتج من تجاربه أن بعض النباتات الناتجة تحتوي على بعض الأنسجة من أحدى النباتين، بينما تظهر الأنسجة الأخرى تماثلاً مع النبات الآخر.

توالت البحوث بعد ذلك على دراسة الكاميرا النباتية ومن أهمها ما قام به العالم بور Baur حيث قسم الكاميرات النباتية إلى نوعين هما الكاميرا المحيطية Periclinal chimeras والكاميرا القطاعية Sectional chimeras ثم سميث بالفسيفساء الوراثية mosaics Genetic، (ماركوتيرجيانو، Marcotrigiano2001م) وعلماء آخرين من قبله. تلى ذلك تقسيم الكاميرات النباتية إلى أربعة أنواع رئيسية هي:

- **كاميرات محيطية Periclinal chimeras**

وفيها تكون طبقة أو أكثر من الطبقات السطحية للنسيج الإنشائي القمي مختلفة وراثياً عن الطبقات والمناطق الأخرى، ويعتبر هذا النوع من الكاميرات ذو أهمية كبيرة لعلم التشكل (تخليق الشكل) Morphogenesis– علم نشؤ الأنسجة والأعضاء . وكذلك علم نشوء الأنسجة. وكذلك الطبقات المختلفة للنسيج الإنشائي حيث يمكن تتبع نواتج كل طبقة من الطبقات الإنشائية . وذلك في القمم الإنشائية . من المراحل المبكرة لهذه المناطق وحتى المراحل التي تصبح فيها هذه المناطق قد تكشفت إلى أنسجة وأعضاء.

فقد استخدمت الكاميرات المحيطية على سبيل المثال لا الحصر في تتبع منشأ البشرة في الورقة والساق حيث وجد أنها تنشأ من الطبقة الخارجية الإنشائية في النسيج الإنشائي القمي للساق . Tunica1 . كما أن النسيج الوسطي للورقة ينشأ من الطبقة الإنشائية الثانية . Tunica II . وذلك في نبات يتكون الغطاء بالقمة الإنشائية من طبقتين ومن الفوائد الأساسية للكاميرات المحيطية معرفة عدد الطبقات الإنشائية في القمم الإنشائية للمجموع الخضري (شكل 34).

- **الكاميرات القطاعية Sectional chimeras**

وفي هذا النوع تشكل الخلايا المنطفرة قطاعاً معيناً في عضو النبات أو تحتل غصناً من الأغصان. وهذا النمو من الكاميرات أثبت وجود أكثر من خلية إنشائية واحدة في كل طبقة من الطبقات الإنشائية المستقلة (شكل 34).

- **الكاميرات الناقصة Mericlinal chimeras**

وهي الكميرات التي تحصل فيها الطفرة في أحدى الطبقات السطحية بصورة جزئية بينما تظل بقية خلايا الطبقة نفسها والطبقات الأخرى في حالة عادية، أو أنها تعاني طفرات من نوع آخر. ويلعب هذا النوع من الكاميرات دوراً هاماً في علم نشوء الأنسجة كما أثبتت أيضاً وتجود أكثر من خلية واحدة إنشائية في كل طبقة من الطبقات الإنشائية في القمم الإنشائية للساق (شكل 34).

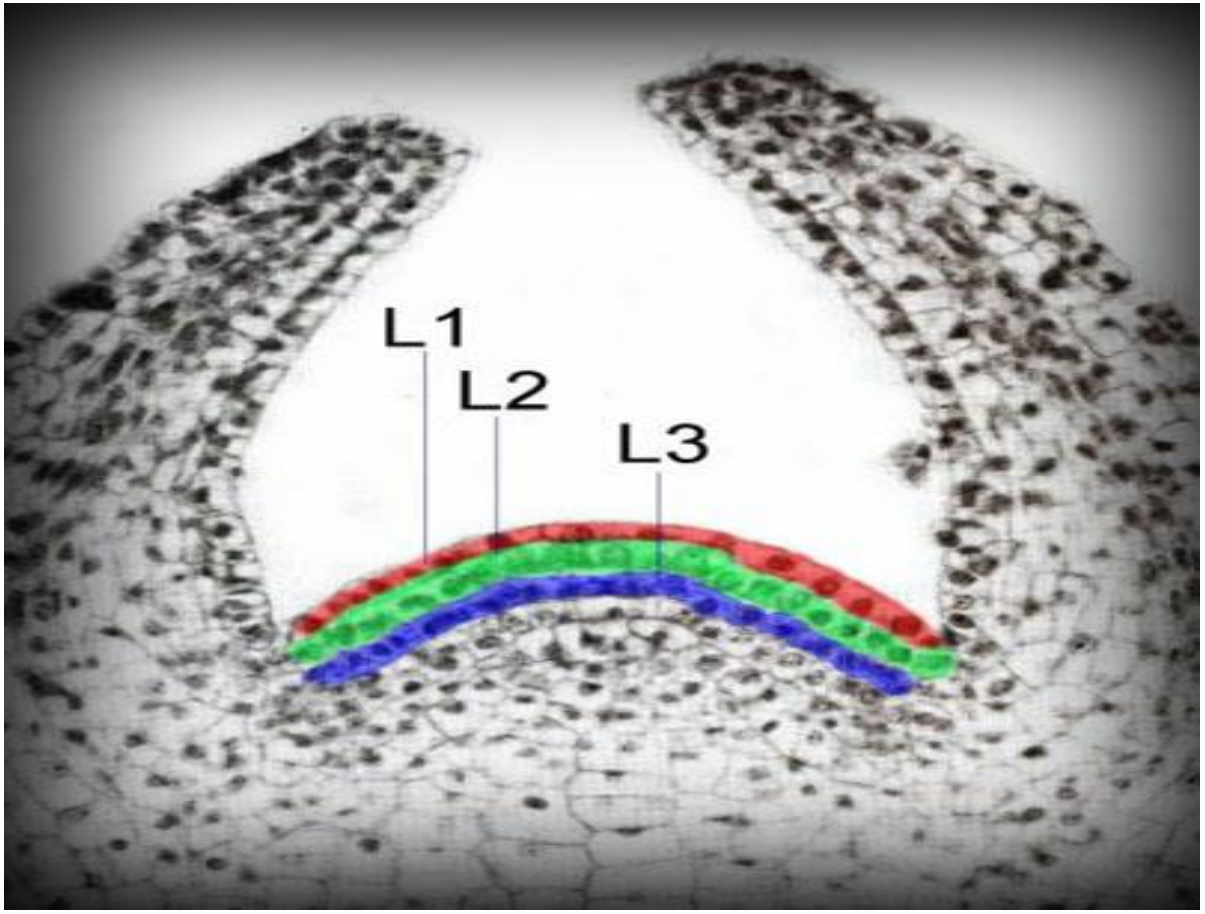
- **الكاميرات المختلطة**

وهي نباتات تكون الخلايا المنطفرة فيها متناثرة هنا وهناك إما بصورة مفردة أو على شكل مجاميع مطمورة في نسيج عادي لم تعان خلاياه أي نوع من الطفرة.

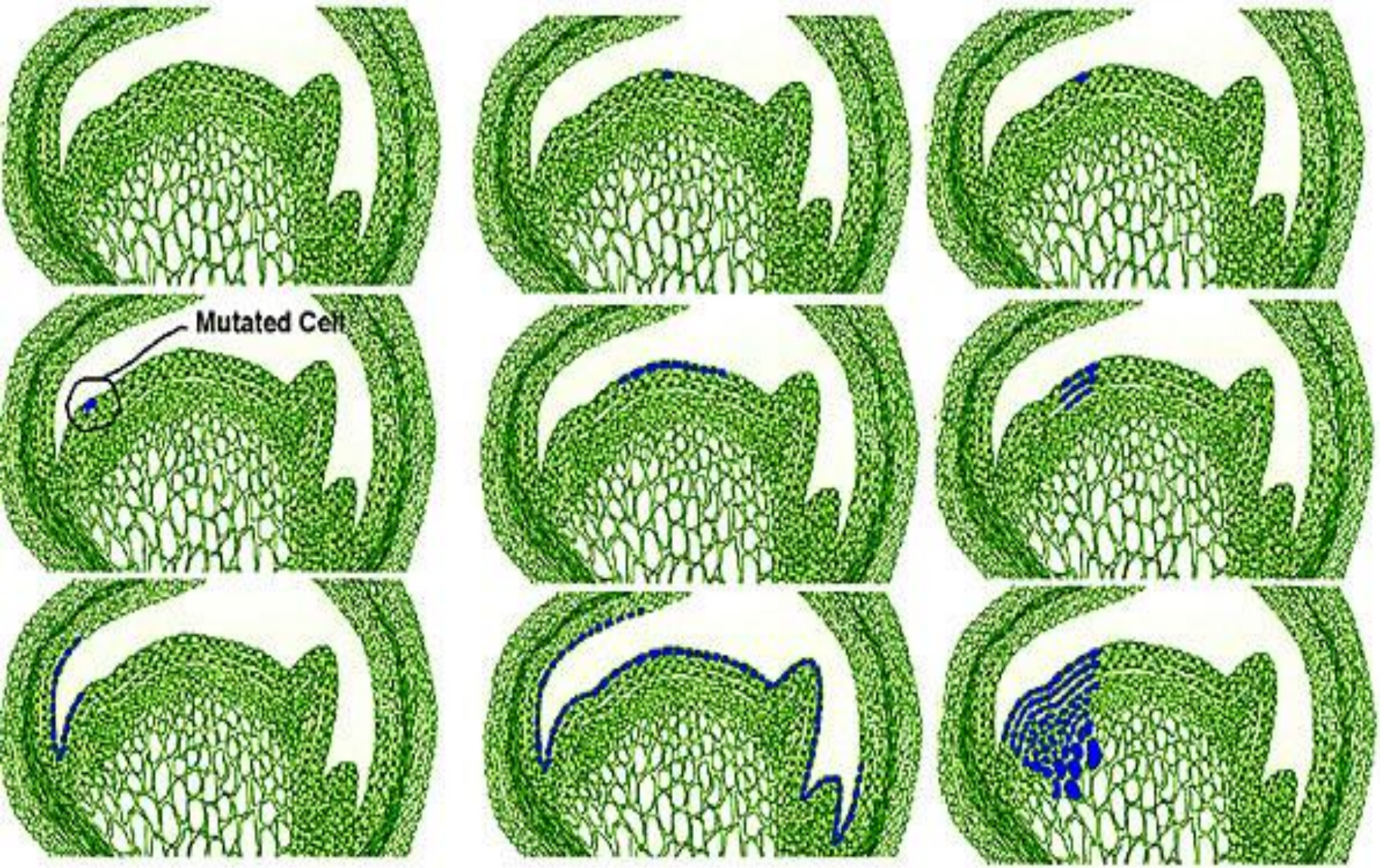
والكاميرات النباتية قد تتكون في الطبيعة بصورة ذاتية بدون أي تدخل من الإنسان أو أي عوامل بيئية أخرى وتسمى هذه الكاميرات النباتية بالذاتية Spontaneus chimeras أما التي تنتج بعد معاملة النبات ببعض المواد الكيميائية أو بعد التعرض لبعض الظروف الفيزيائية كالحرارة والأشعاعات الذرية وما إلى ذلك بحيث ينتج عنها طفرات في بعض الخلايا والأنسجة دون البعض الآخر فيطلق عليها بالكاميرات المستحدثة Induced chimeras مثل :

الكاميرا المتعددة Polyploid chimeras

وتنتج هذه الكاميرا النباتية من إضافة مادة الكولشيسين Colchicine إلى النسيج الإنشائي القمي للنبات والتي تمنع تكون خيوط المغزل التي تعمل على شد أو سحب الصبغيات (الكروموسومات) إلى أقطاب الخلية. فتعمل على توقف الإنقسام في الطور الاستوائي بعد تضاعف الصبغيات ومن ثم ينتقل الانقسام إلى الطور النهائي دون حدوث الطور الانفصالي أي دون حدوث انفصال للصبغيات مسببة تضاعف صبغي للنواة وقد يتكرر التضاعف الصبغي مرة ثانية إلى حدوث الانقسام الغير مباشر تحت تأثير صبغة الكولشيسين وتستعمل هذه التجربة للتعرف على طبقات النسيج الإنشائي كما في نبات الداتوره (شكل 35).


L1
L2
L3

Development of Chimeras



الأنسجة المستديمة أو البالغة

Permanent (Mature) tissues

النسيج المستديم (البالغ) هو مجموعة من الخلايا المتميزة أو المتخصصة ويشتمل الجسم النباتي على ثلاثة أنظمة (أجهزة) رئيسية هي :

أ- النظام (الجهاز) النسيجي الوقائي Dermal tissue system ويتكون من نسيج البشرة أو نسيج البشرة الطباقية (البريدرم).

ب_ النظام (الجهاز) النسيجي الأساسي Ground tissue system ويتكون من النسيج البرنشيمي و النسيج الكولنشيمي و النسيج السكلرنشيمي في بعض الأحيان.

ج_ النظام (الجهاز) النسيجي الوعائي Vascular tissue system ويتكون من نسيج الخشب Xylem tissue ونسيج اللحاء Phloem tissue.

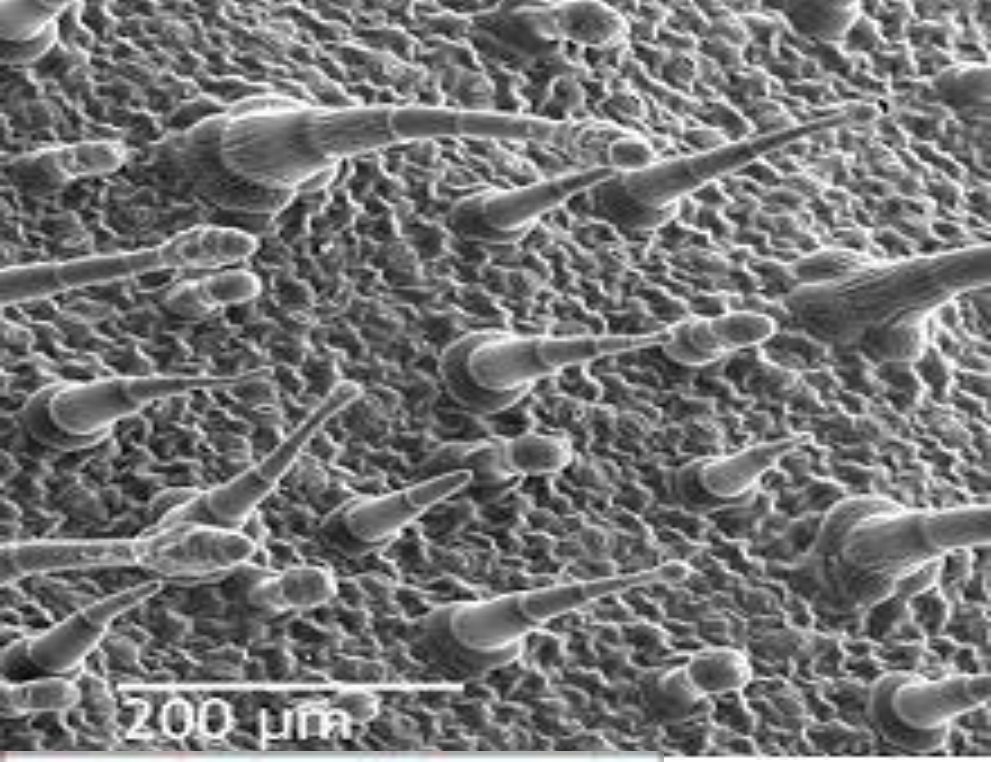
1 . **النظام النسيجي الوقائي**: ويشمل كل من نسيج البشرة في الجسم النباتي الابتدائي أونسيجي لبشرة والبشرة الطباقية في الجسم النباتي الثانوي، وغالباً مايكون نسيج البشرة الطباقية فقط نظراً لتمزق البشرة في الجسم النباتي الثانوي.

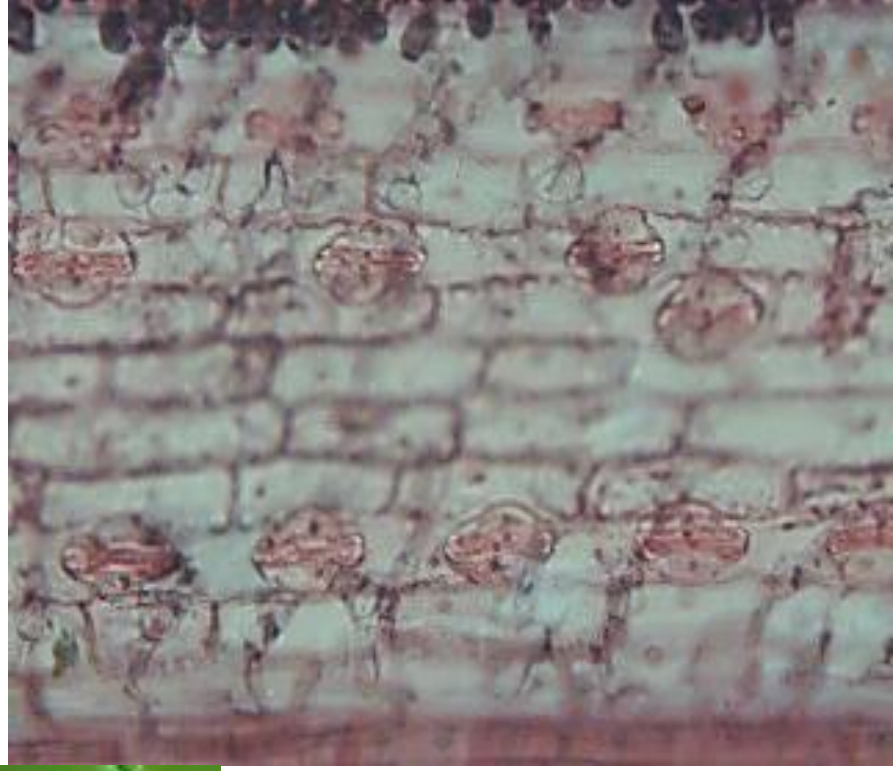
البشرة Epidermis

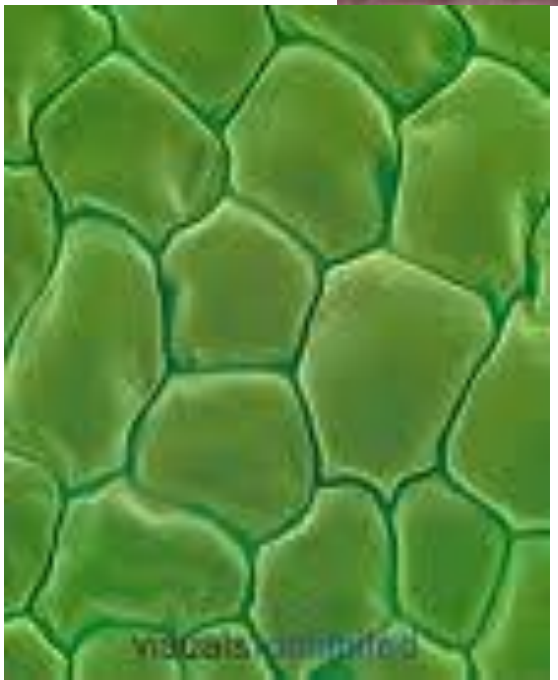
هي الطبقة الخارجية من جسم النبات الابتدائي في كل من الساق والجذر والورقة وأجزاء الزهرة والبذرة والثمرة، وهي نسيج من خلايا متراصةلايوجد بينها مسافات ما عدا فتحات الثغور. ووظائف البشرة في الأجزاء الهوائية هي الحماية وتقليل النتح وتبادل الغازات من خلال الثغور وتخزين الماء والمواد الأيضية، أما في الجذور فوظيفتها امتصاص الماء والأملاح عبر الشعيرات الجذرية.

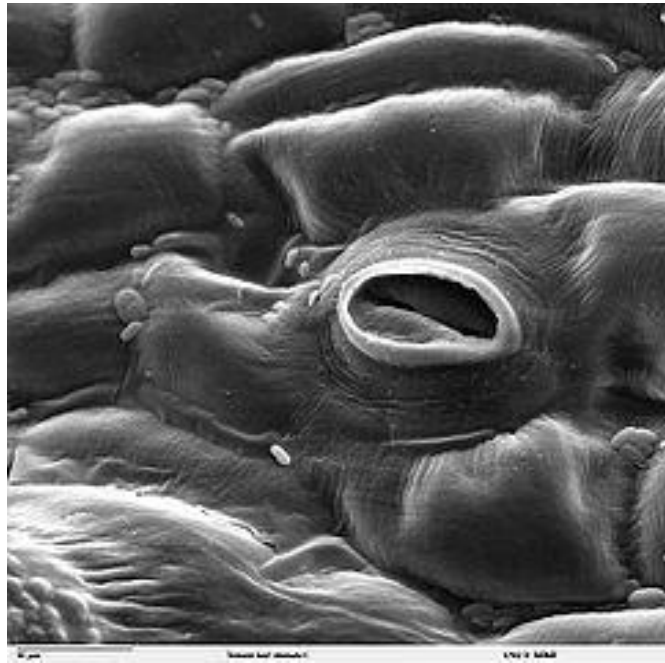
وتنشأ البشرة في المجموع الخضري من الطبقة الخارجية للغلاف Tunica من منشئ البشرة Protoderm، أو تنشأ من منشئ البشرة في الجذر Dermatogen حيث تتكون هذه المنشئات من انقسامات محيطية في الجنين النامي، أو يكون لها أصل (منشأ) مشترك مع القشرة أو القل

والظواهر المختلفة التي تسبب اختلاف الخلايا في النسيج الإنشائي المتجانس يمكن أن تشاهد عند تميز وتكشف خلايا البشرة وخاصة في خلايا بشرة النجيل، حيث تنقسم خلية منشئ البشرة إلى خليتين غير متساويتين أحدهما صغيرة والأخرى كبيرة وتتميز أو تتكشف الخلايا الصغيرة إلى خلايا متخصصة مثل منشئ الشعيرة Trichoblast، والخلايا الحارسة Guard cells وخلايا الفلين Cork cells وأيضاً خلايا السيليكا Silica cells. وكذلك في تكوين الشعيرات الجذرية Root hairs. بينما تتميز الخلايا الكبيرة إلى خلايا بشرة عادية (شكل 37).


200 µm







أن خلايا الفلين وخلايا السليكا لبشرة النجيليات التي تنشأ من منشأ عام توضح نمواً ثابتاً. فالخلايا الفلينية تتسع وتتسوبر بينما خلايا السيليكا تفقد بروتوبلازمها وتتسيلك ويقال بأن ترسب مادة السيليكا تحدث بطريقة آلية غير أيضية مجهولة وأن وجود السيليكا يزيد من مقاومة مختلف الحشرات والفطريات وكذلك البكتيريا (أجاري وآخرون Agarie, et. el. 1996م) .

وتترتب خلايا البشرة بإحكام أي لا يوجد عادة بينها مسافات بيئية وقد تختلف خلايا البشرة عن الشكل العام للبشرة فقد تشبه الألياف كما في بعض نباتات ذوات الفلقتين أو تكون بعض الخلايا على هيئة أكياس تعرف **بالخلايا الميروسين** Myrosin cells كما في الفصيلة الصليبية، وقد تعطي حويصلات حجرية كما في الفصيلة الأكانشية والتوتية والقرعية والحراقية. وبشرة البذور تتكون من الخلايا الحجرية مترتبة في إحكام. وتتكون البشرة في الغالب من طبقة واحدة أو من عدة طبقات، تأخذ الطبقة السطحية منها صفات البشرة وحيدة الطبقة، أما بقية الطبقات فتأخذ صفات النسيج الداخلي للنبات.

أنواع خلايا البشرة:

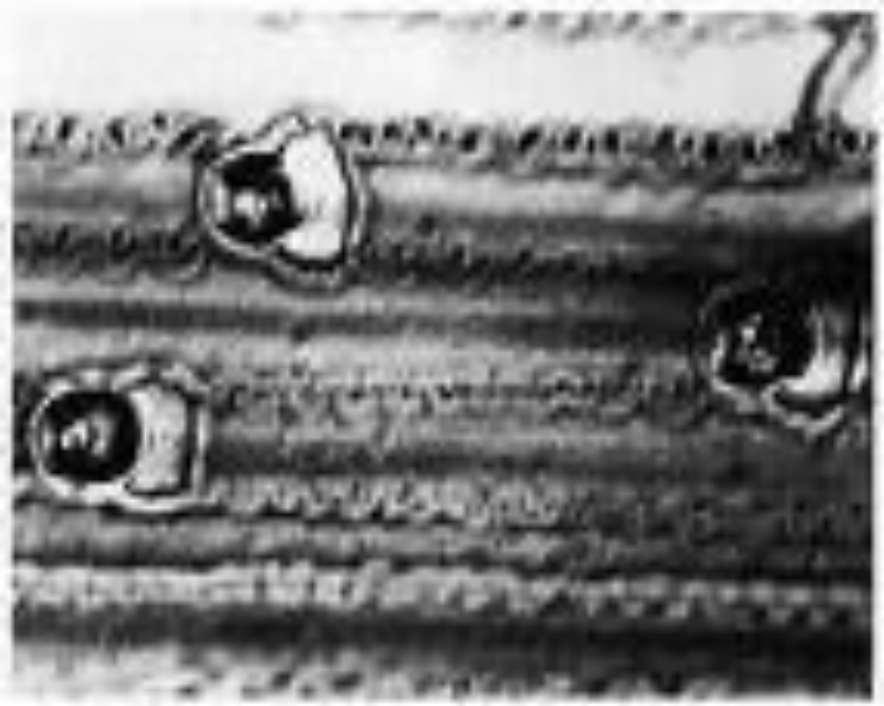
تتكون البشرة من عدة أنواع من خلايا هي:

1. خلايا البشرة العادية: Normal epidermal cells

توصف خلية البشرة العادية البالغة في القطاع العرضي عادة بأنها خلية مفلطحة Tabular (عرضها وهو المتعامد على السطح قليل) وقد توجد خلايا بشرة ذات عمق كبير في بعض أغلفة البذور. أما في المنظر السطحي فتوجد الأشكال المستطيلة للبشرة في الأعضاء المستطيلة مثل الساق وعنق الورقة وعروقها، وأوراق ذوات الفلقة الواحدة، وقد يختلف شكل خلايا البشرة العليا عن البشرة السفلى وجدر خلايا البشرة ذات شكل متموج عادة. ويعزى ذلك إلى الضغوط الناتجة أثناء نمو الورقة أو نتيجة جفاف الأدمة أثناء التشكل (شكل، 36).

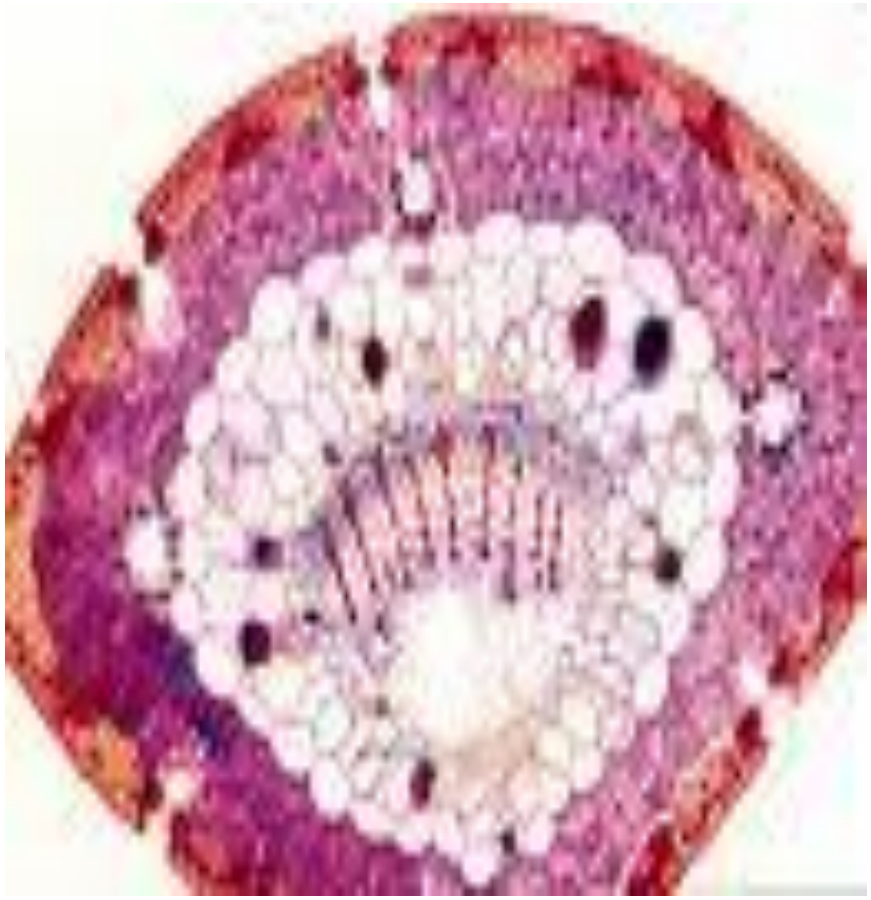
محتويات خلية البشرة

محتويات خلايا البشرة لم تعط حقها من الدراسة الكافية حتى الآن، ولكن بما أن هذه الخلايا تحتوي على بروتوبلاست فإنه من المحتمل أن تحتوي على مواد مختلفة معتمدة على درجة تخصصها. فإن بلاستيدات خلايا البشرة ليست متكشفة إلى بلاستيدات خضر ولكنها في بعض النباتات تحتوي مادة اليخضور ويمكن أن يوجد النشا في البلاستيدات لبعض السراخس والنباتات المائية وفي نباتات الظل تحتوي خلايا البشرة على بلاستيدات خضر. ويحتوي العصير الخلوي في الفجوات على مادة الأنثوسيانين. وقد تشابه محتوياتها محتويات الخلايا البرنشيمية (شكل 37).



تركيب جدار خلية البشرة:

عند فحص خلايا البشرة في قطاع عرضي فإن الجدار الخارجي لخلية البشرة عادة يكون أسمك من الجدر الداخلية في الخلايا ذات الجدر الرقيقة، وقد تتغلظ جدرها كثيراً كما في المخروطيات، وتوجد جدر ثانوية في الخلايا التي تتحول إلى خلايا حجرية في أغلفة البذور. وقد تكون جدر الخلايا ملجننة أو مسوبرة. كما أن جدر خلايا البشرة قد تكون سليولوزية رقيقة إما مستقيمة أو متموجة في المنظر السطحي وذات حقول نقرية إبتدائية (شكل 37).



© Clouds Hill Imaging/www.lastrefuge.co.uk

الأدمة : Cuticle

تترسب مادة الكيوتين في طبقة متصلة فوق الجدار الخارجي لخلية البشرة وتعطي ما يسمى بالأدمة Cuticle التي تغطي بشرة جميع الأجزاء الخضرية للنبات ويتوقف سمك الأدمة على العوامل البيئية فقد يكون رقيقاً جداً كما في النباتات المائية والنباتات ذات المحتوى المائي الأمثل أو سميكة كما في النباتات الصحراوية وقد يكون سطح الأدمة ناعماً Smooth أو يحمل **بروزات أو ثنايا** Striated وقد توجد طبقة متأدمة Cutinized layer تحت الأدمة ولها شكل معقد ففي النباتات ذات الأدمة السميكة تتكون من عدة صفائح من السليولوز المكوتن تتبادل مع طبقات غنية بالبكتين، كما وجد طبقة من البكتين بين الأدمة والطبقة المتأدمة.

كما يترسب الشمع والزيت والراتنج والأملاح المتبلرة على السطح الخارجي لبشرة النباتات مثل نباتي الأثل والفرانكلينيا.

ويفسر تكوين الأدمة بانسياب مادة سابقة للكيوتين شبيهة بالزيت وجفاف هذه المادة فيما بعد نتيجة للبلمرة بواسطة أكسجين الهواء تنتج مادة الكيوتين.

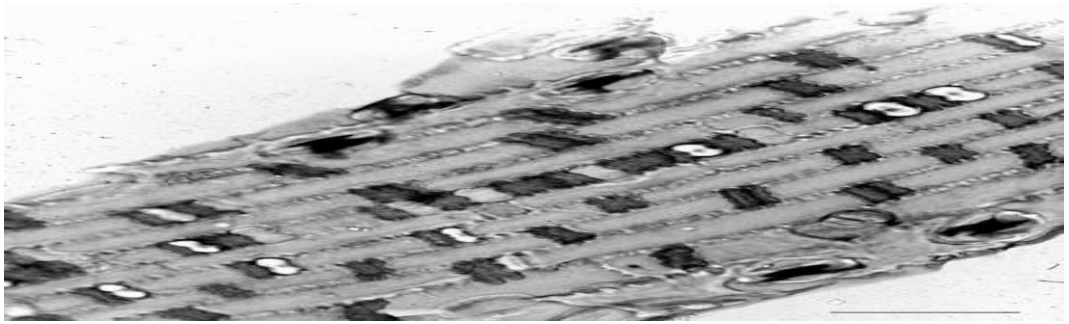
تتكشف الأدمة خلال المراحل المبكرة من نمو الأعضاء، حيث تهاجر أسلاف الكيوتين على هيئة قطرات صغيرة خلال مادة جدر خلايا البشرة وهذه الأسلاف يتوقع أن تكون أحماض دهنية غير مشبعة، حيث تترسب مادة الأدمة ناحية المركز من الخارج إلى الداخل حيث تتكون الطبقات الخارجية ثم تتصلب تدريجياً نتيجة للأكسدة المستمرة والبلمرة. وقد برزت عدة نظريات حول تكوين الأدمة منها وجود قنوات دقيقة في الجدار الخارجي للبشرة تنفذ من خلالها مادة الأدمة الأولية سكات وآخرون Scatt et.al 1957وأنتون وآخرون Anton et.al 1994. والرأي الثاني أن التركيب الطبيعي لجدار خلية البشرة الخارجي يتيح تسرب هذه المادة إلى الخارج. حيث يوجد اللجنين في جدر خلايا البشرة وخاصة الجدر الخارجية (شكل 38).

2. خلايا السيليكا Silica cells

توجد في الغالب فوق العروق ضمن خلايا بشرة نباتات من الفصيلة النجيلية وهي خلايا صغيرة متميزة تحتوي على أجسام سيليكية Silica bodies، وتنشأ بجانب خلايا أخرى متخصصة تعرف بخلايا الفلين ولها وظيفة دفاعية لوجود الأجسام السيليكية حيث تسبب تهيجاً لبطانة الفم لبعض الحيوانات (شكل 39).

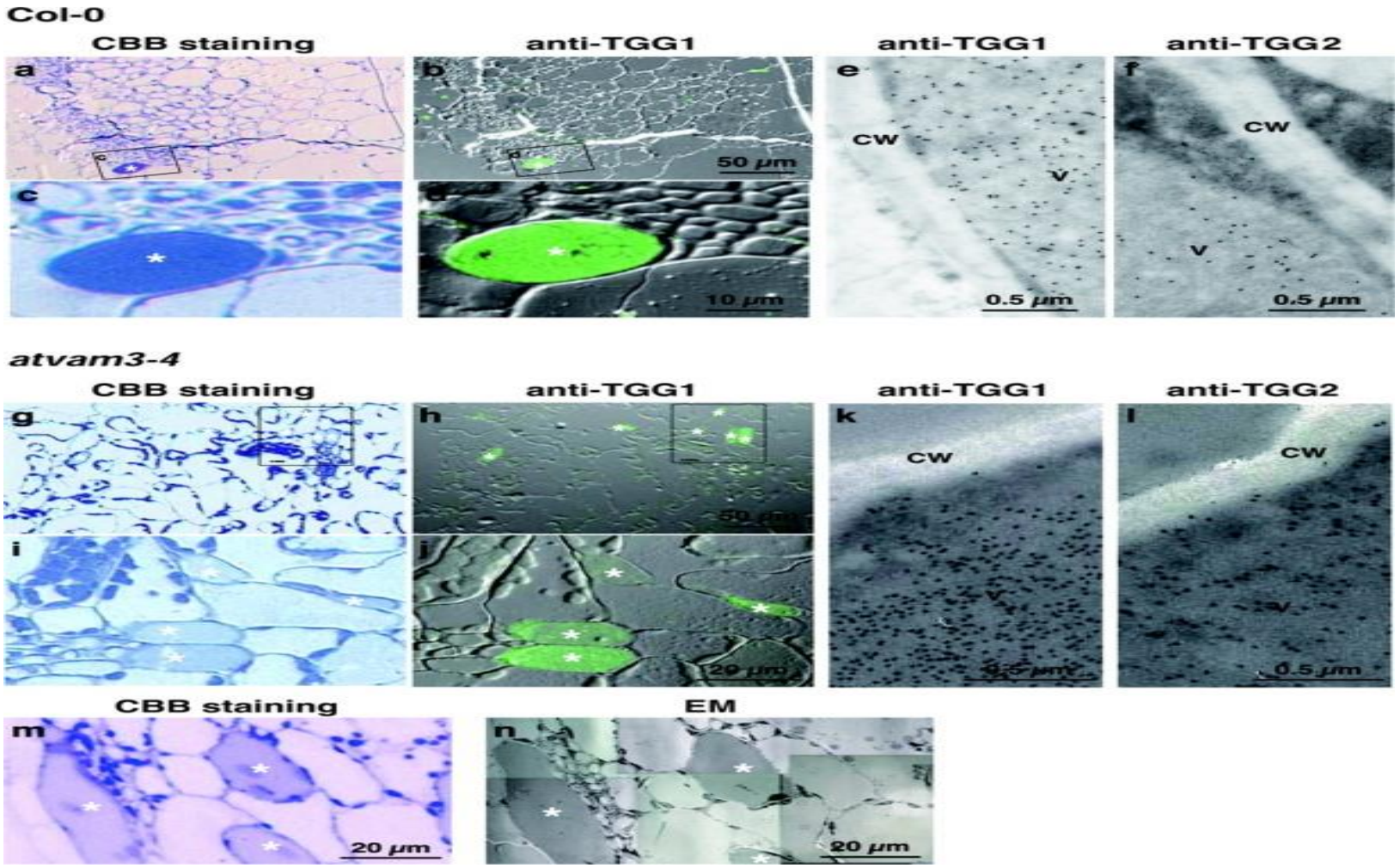
3. خلايا الفلين Cork cells

خلايا صغيرة الحجم ذات جدر مسوبرة وقد تحتوي على أجسام سيليكية ولكنها قليلة، وتنشأ هذه الخلايا بجوار الخلايا السيليكية في بشرة بعض النباتات النجيلية (شكل 39).



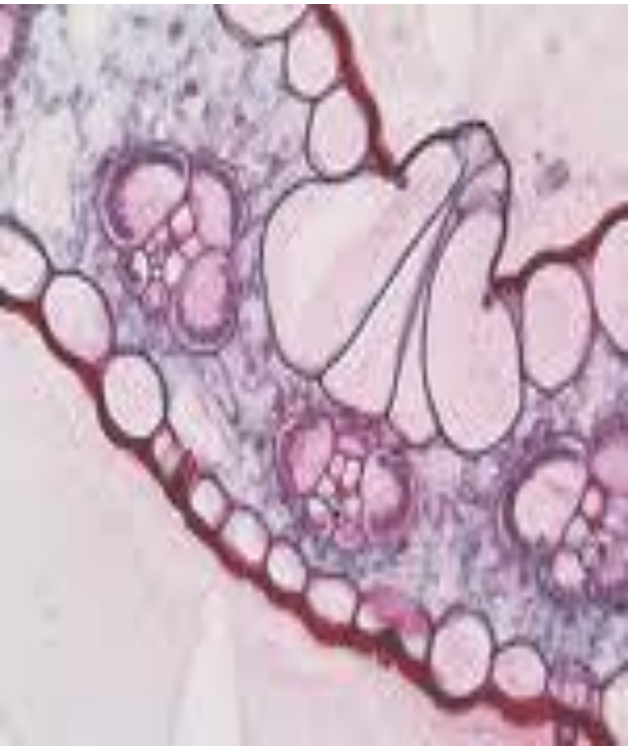
4 . الخلايا الميروسنية Myrosin cells

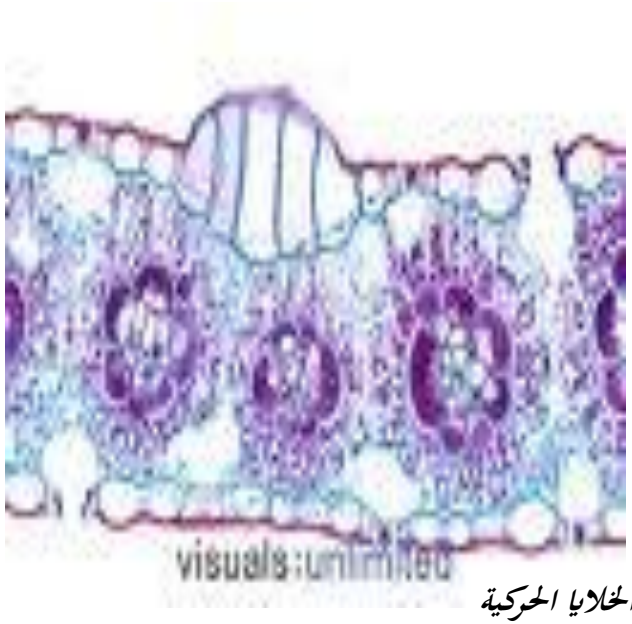
خلايا كبيرة الحجم تحتوي على جلوكوسينوليتات Glucosinolates (زيت الخردل) و أنزيمات الميروسينيز التي تحلل الجلوسينوليتات وتوجد في سبع فصائل نباتية مثل فصيلة بنت القنصل Euphorbiaceae والفصيلة الصليبية Brassicaceae (شكل 40).



5 . الخلايا الحركية Bulliform cells

خلايا كبيرة الحجم وذات جدر سليولوزية رقيقة وذات فجوات كبيرة، وتحتوي هذه الخلايا على كمية كبيرة من الماء وقد تكون خالية من البلاستيدات الخضر، وتقوم بالتفاف الأوراق، كما تساعد في تفتح الأوراق في البراعم (شكل 41).

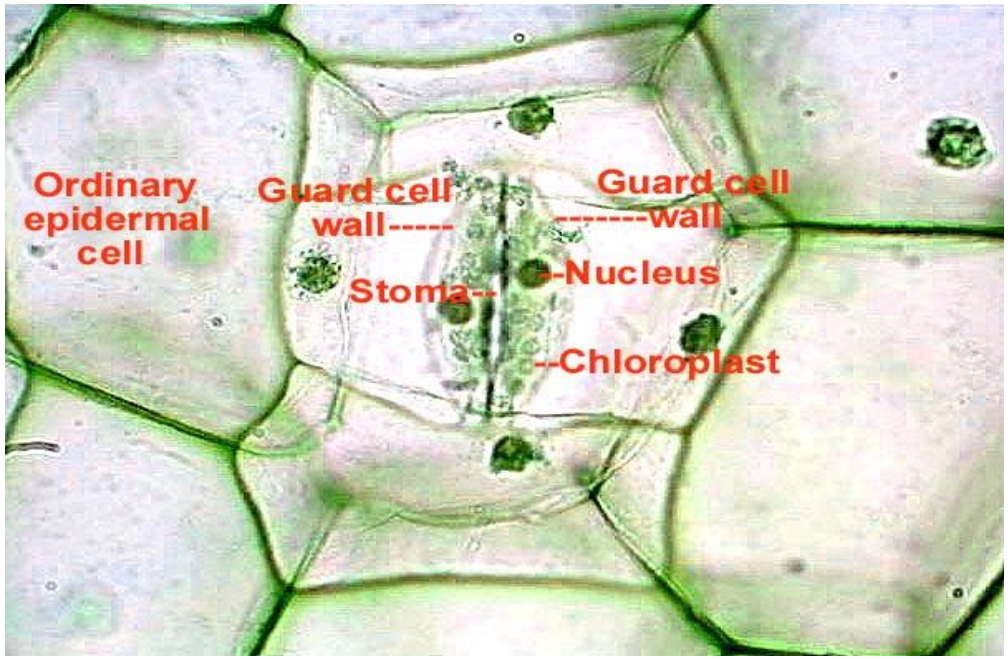




شكل (41) انماط الخلايا الحركية

6. الثغور Stomata

مفردها ثغر Stoma وهو فتحة في البشرة تحد بخليتين تسميان بالخلايا الحارسة Guard cells وتتحكم هاتين الخليتين في فتحة الثغر وتقع تحت فتحة الثغر مسافة بين خلوية تسمى بالغرفة تحت الثغرية وتتصل بالمسافات بين الخلوية في النسيج الوسطي. كما توجد في كثير من النباتات خليتين أو أكثر، ذات علاقة وظيفية بالخليتين الحارستين تعرف بالخلايا المساعدة Subsidiary cells.(شكل 42).



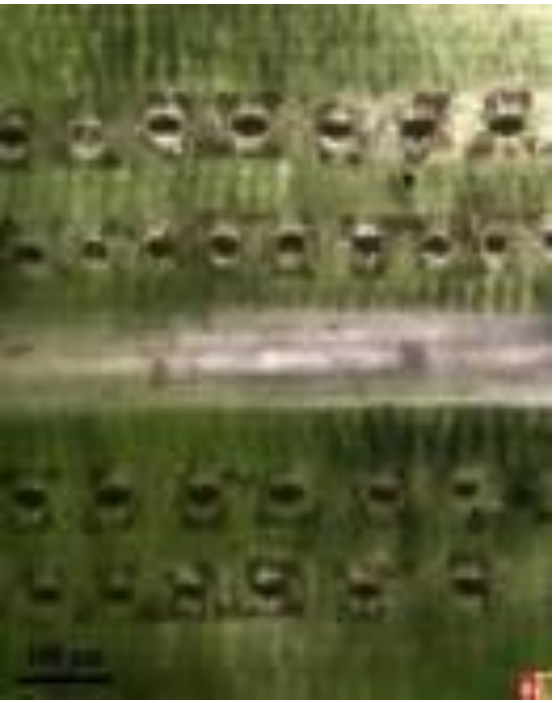
شكل (42) تركيب الثغر

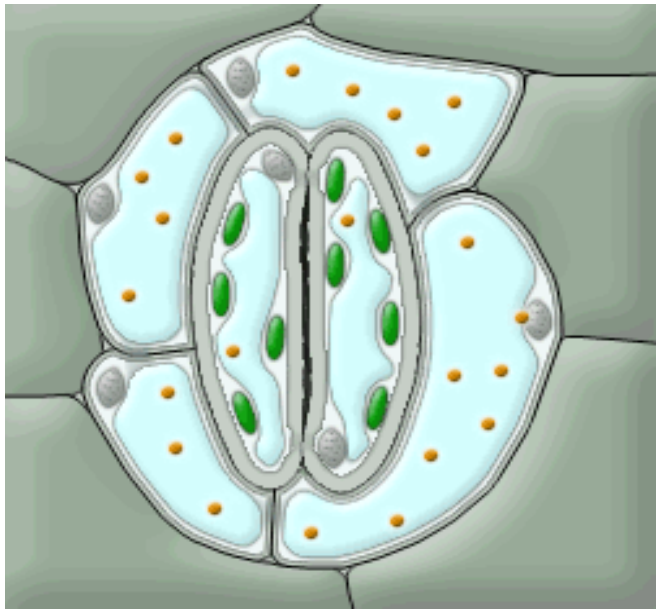
توجد الثغور في الأجزاء الخضراء الهوائية (الساق والورقة وأجزاء الزهرة). كما توجد الثغور على الأوراق أحياناً في كلا السطحين.

ترتيب الثغور:

في الأوراق متوازية التعرق تكون الثغور في صفوف متوازية مثل ذوات الفلقة الواحدة وفي الأوراق شبكية التعرق تكون الثغور مبعثرة.

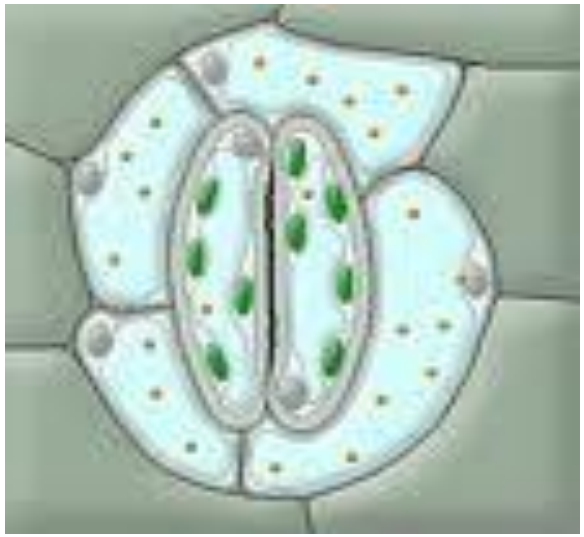
قد توجد الخلايا الحارسة بمستوى خلايا البشرة المجاورة أو تعلوها أو قد تكون غائرة كما في أوراق





شكل الخلايا الحارسة:

عادة تكون الخلايا الحارسة هلالية أو كلوية Kidny shaped كما في ذوات الفلقتين أو منتفختي الطرفين كما في ذوات الفلقة الواحدة – Dumb bell shaped أي على شكل وحدتي أثقال (شكل 43).



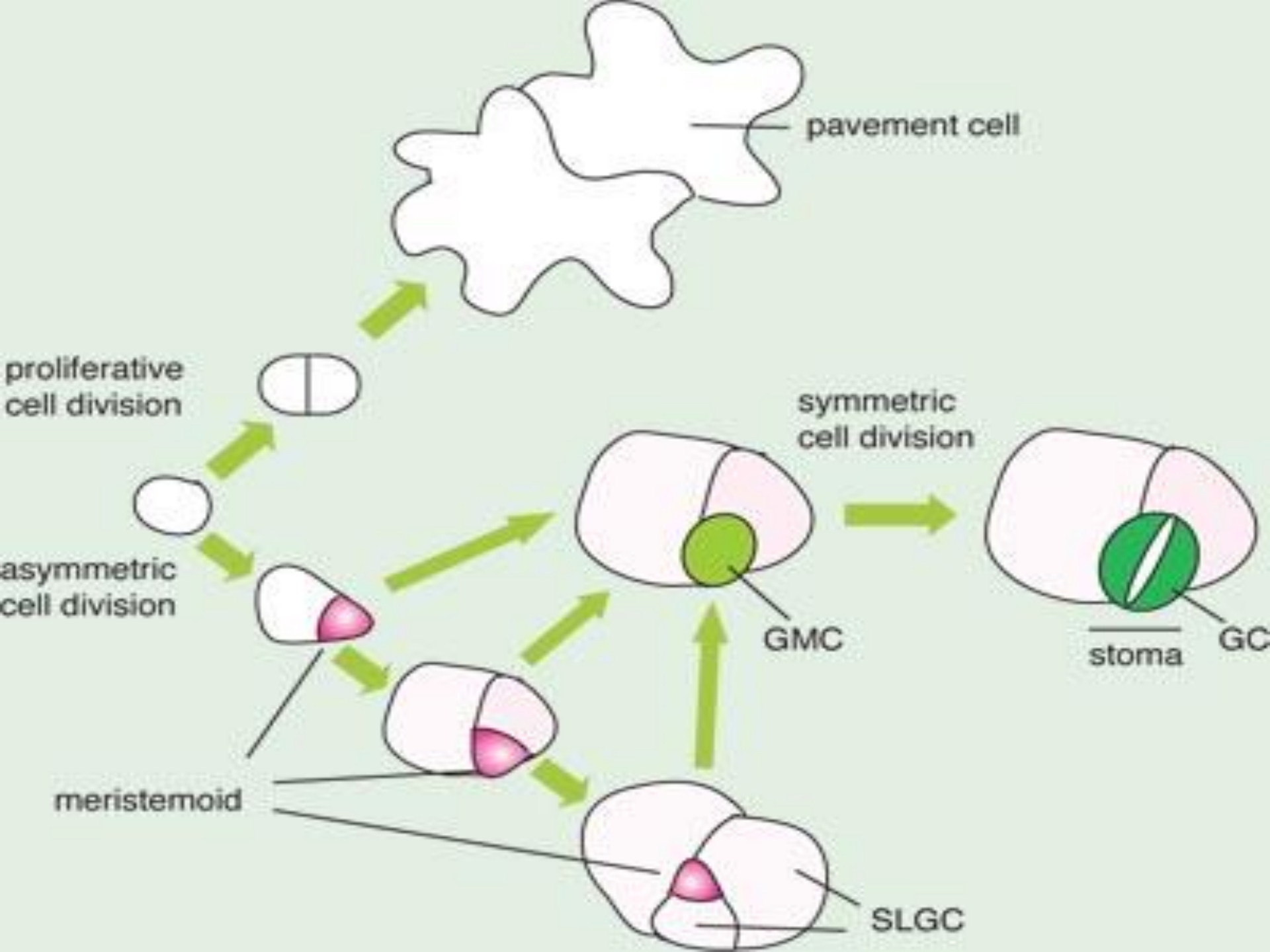
شكل (43) أشكال الخلايا الحارسة

محتويات الخلايا الحارسة Guard cells

تحتوي الخلية الحارسة على نواة واضحة أو كبيرة وبلاستيدات خضر تجمع النشا على فترات ويكون الجهاز الفراغي مجزءاً بدرجات مختلفة، كما تحتوي على العديد من الأجسام السبحية. وأن الجدار غير منتظم السمك (شكل 43).

نشأة الثغر :

يتكون الثغر نتيجة الإنقسامات في منشئ البشرة Protoderm فبعد عدة انقسامات لخلية منشئ البشرة تصبح أحد الخلايا الناتجة خلية منشئة للثغر (خلية أمية للثغر) ثم تنقسم هذه إلى خليتين حارستين وتكبران وتأخذان الشكل الهلالي أو الكلوي كما في ذوات الفلقتين أو الصولجاني كما في ذوات الفلقة الواحدة. وتحتل المسافة التي ستكون فتحة الثغر كتلة من مادة بكتية عدسية الشكل تذوب فيما بعد وتقع الخلية الأمية للثغر في مستوى خلايا البشرة ولكن يتغير موضعها بعد ذلك حسب بروز أو انخفاض الثغر عن سطح البشرة.


pavement cell
proliferative
cell division
symmetric
cell division
asymmetric
cell division
GMC
stoma
GC
meristemoid
SLGC

آلية فتح وغلق الثغر:

من أهم مميزات الثغر عدم انتظام تغلظ الجدار بالخلايا الحارسة ويظهر ذلك أن له علاقة بتغير الشكل والحجم نتيجة تغيرات التوتر في الخلايا الحارسة.

ويحدث فتح وغلق الثغر في النوع ذو الخلايا الحارسة كلوية الشكل نتيجة تحرك الجدار الخلفي الذي يبتعد بعيداً عن فتحة الثغر وهو جدار رقيق ومطاط بخلاف الجدار المواجه للفتحة حيث يكون سميكاً وعند امتلاء الخلية يبتعد الجدار الخلفي عن فتحة الثغر بينما يصبح الجدار الأمامي مستقيماً أو مقعراً ويعود الثغر إلى الإنقلاق عندما يقل ضغط الإمتلاء.

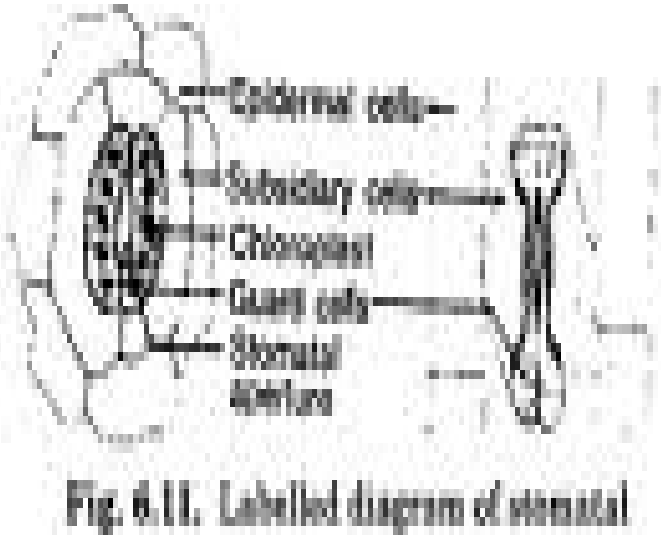
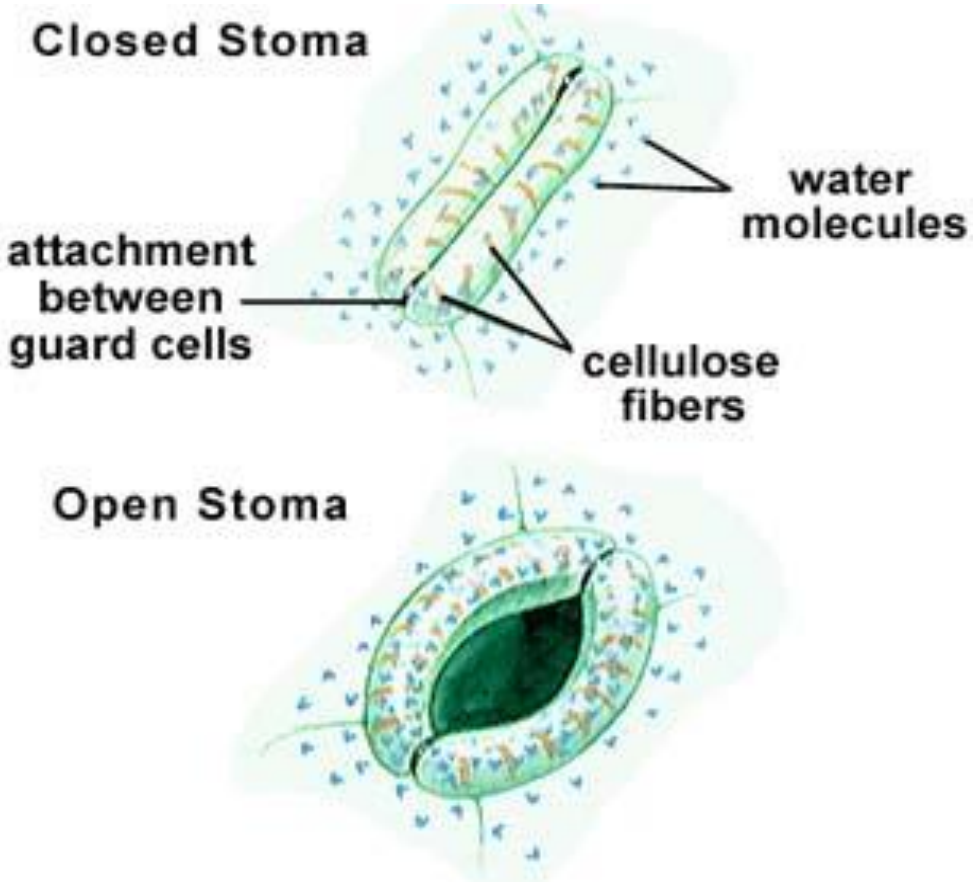


Fig. 6.11. Labelled diagram of stomatal



وفي النوع ذو الخلايا منتفخة الأطراف فإن النهايات أو أطراف الخلايا تكون رقيقة الجدر بينما يكون الوسط سميك ويسبب زيادة الامتلاء انتفاخ النهايات وبالتالي ابتعاد الأجزاء الوسطية المستقيمة من جدر الخلايا الحارسة عن البعض مسبباً بذلك انفتاح الثغر.

إن آلية حركة فتح وغلق الثغر مازالت موضوع دراسات ونقاشات مستفيضة فانتقال أيون البوتاسيوم K^+ ، من الخلايا الحارسة والخلايا المجاورة أحد العوامل في حركة الخلايا الحارسة فينفتح الثغر بوجود زيادة من أيون البوتاسيوم K^+ كما أن استجابة الثغر للضوء والتغيرات في تركيز ثاني أكسيد الكربون تشارك أيضاً في حركة الثغر. كما أن الهرمون النباتي حمض الأبسيسيك (Abscisic acid (ABA يدخل في تنظيم حركة الثغر.

فخلال انفتاح الثغور يختفي النشا من البلاستيدات وفي نفس الوقت يدخل أيون البوتاسيوم إلى الخلية أما النظرية القديمة التي تقول إن تحلل النشا يسهم في زيادة الضغط الأزموزي في الخلايا الحارسة بسبب تكون السكر فقد استبدلت بفكرة أن تميؤ* النشا يعطي أيونات عضوية لها علاقة بامتصاص أيون البوتاسيوم.

أنواع الثغور في النباتات ذوات الفلقتين:

تصنف ثغور نباتات ذوات الفلقتين حسب الخلايا المساعدة إلى:

1_ ثغر غير منتظم الخلايا Anomocytic (Ranunculaceous)

حيط بالخلايا الحارسة أربع أو خمس خلايا غير منتظمة ولا يتميز إلى خلايا مساعدة الفصيلة الشقيقية، والقرعية، والخبازية و الفصيلة الشقيقية.(شكل 44 أ).

2_ ثغر غير متساوي الخلايا المساعدة Anisocytic (Cruciferous)

تحيط في الخلايا الحارسة ثلاث خلايا مساعدة أحداهن صغيرة مثل الفول، ودوار الشمس (الفصيلة الصليبية) (شكل 44 ب).

3_ ثغر متوازي الخلايا المساعدة Paracytic (Rubiaceous)

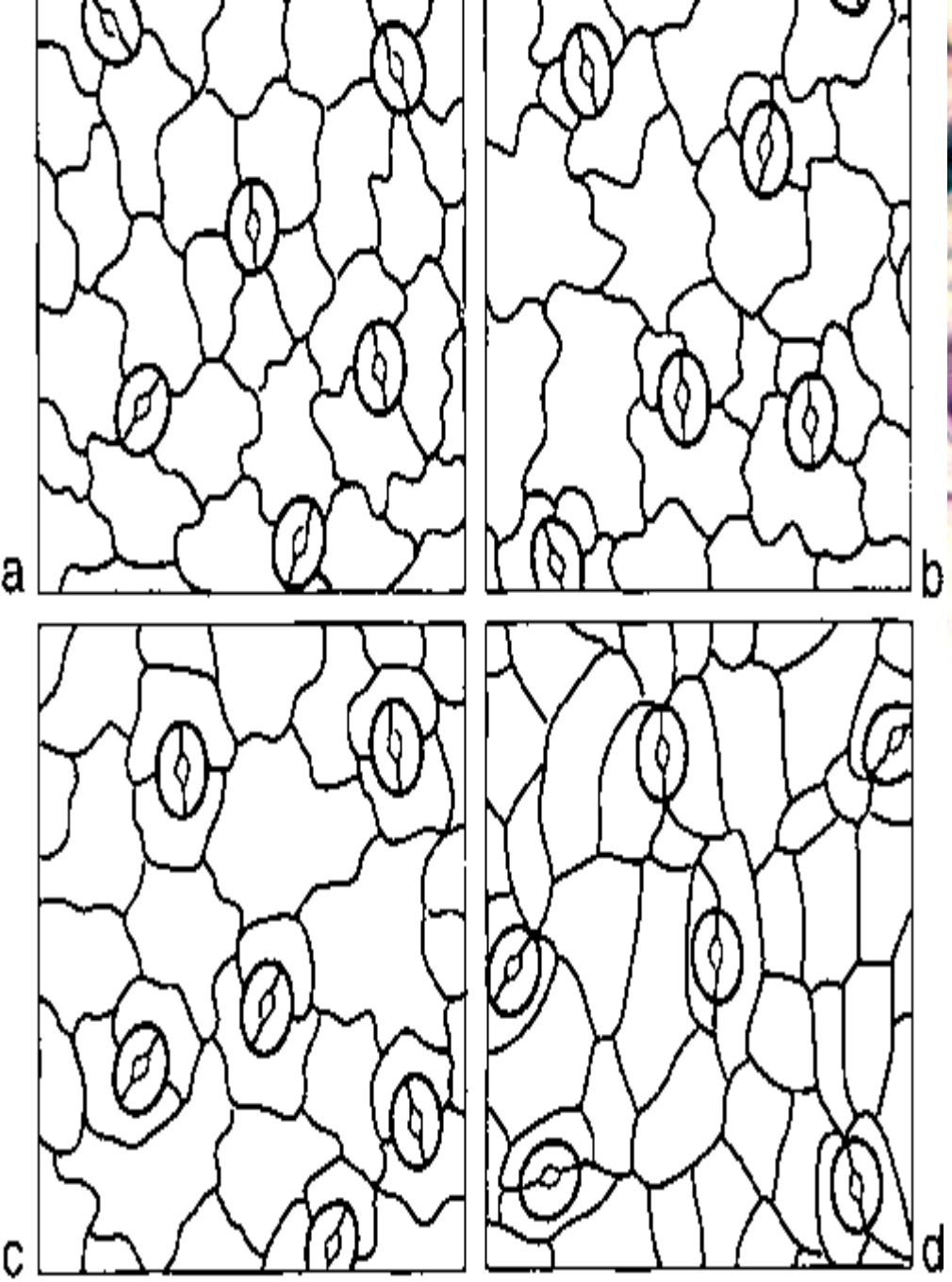
خليتان من الخلايا المساعدة تحيط بالخلايا الحارسة جدارهما المشترك موازي للمحور الطولي لفتحة الثغرالفصيلة الروبية) والفصيلة العلاقية (شكل 44 ج).

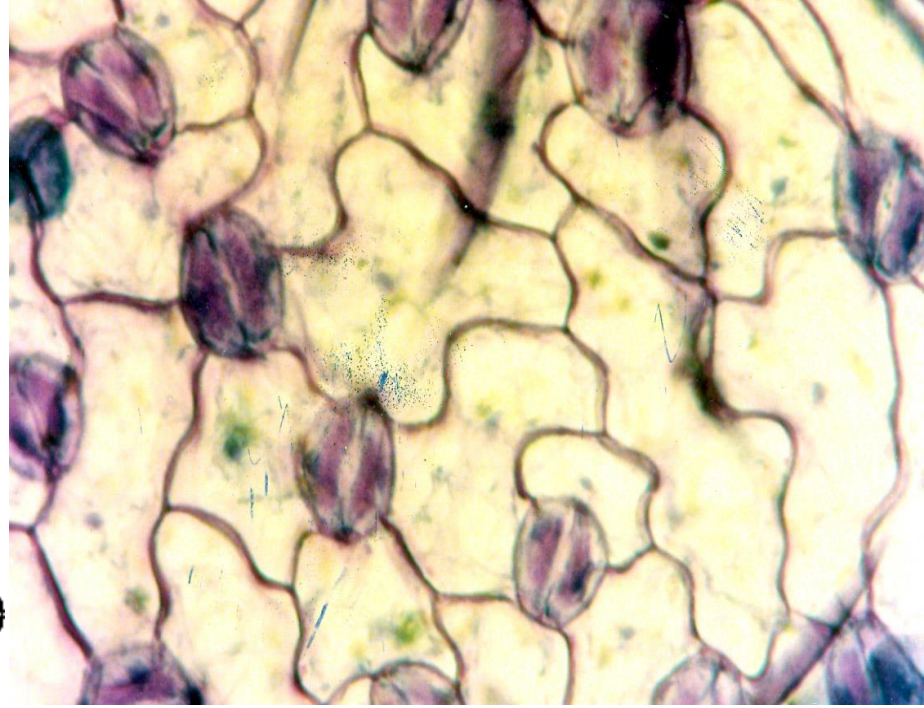
4_ ثغر متعامد الخلايا المساعدة Diacytic (Caryophyllaceous)

خليتين مساعدتين تحيط بالخلايا الحارسة جدارهما المشترك متعامد على المحور الطولي للثغر (المنثور) القرنفل (الفصيلة الأكاشية) (شكل 44 د).

5_ ثغر شعاعي الخلايا المساعدة Actinoeytic

تحيط بالخلايا الحارسة مجموعة من الخلايا المساعدة منتظمة قطرياً مع الثغر (شكل 44 هـ).


a
b
c
d



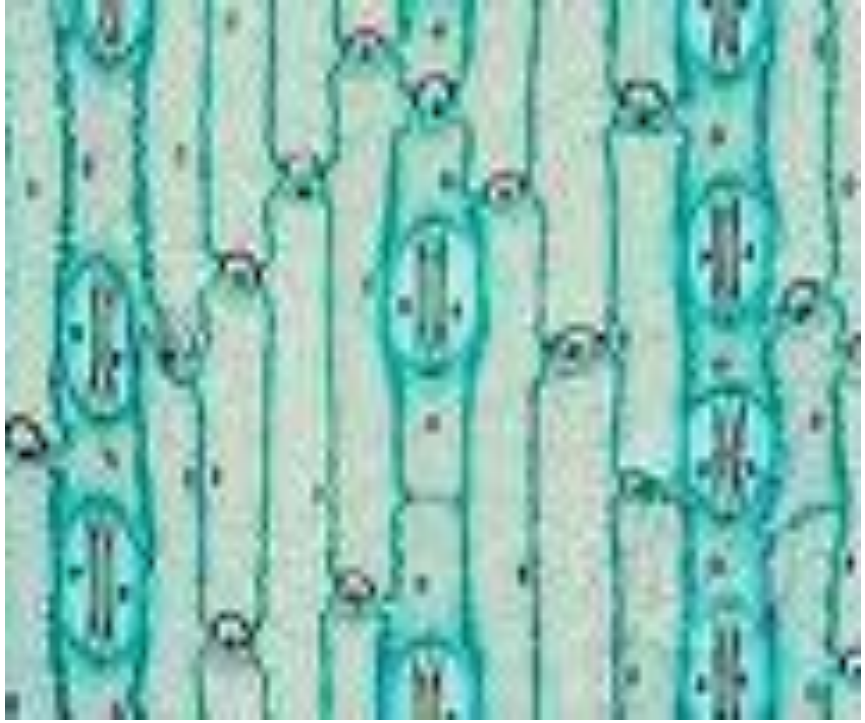
أنواع الثغور في ذوات الفلقة الواحدة:

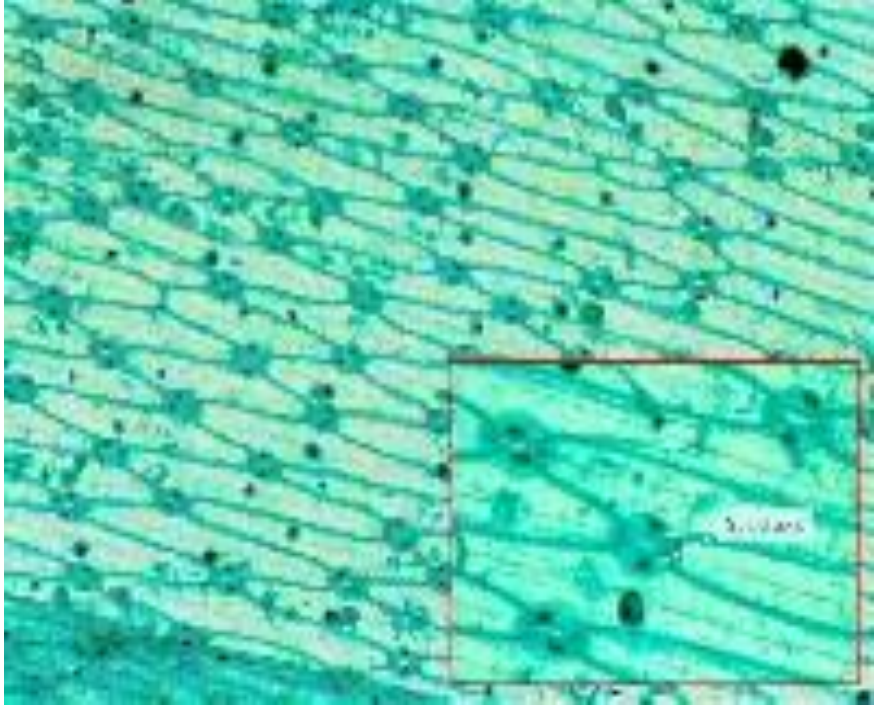
يوجد أيضاً في نباتات ذوات الفلقة الواحدة أربعة أنواع من التراكيب الثغرية هي:

- ثغر ذات أربع إلى ست خلايا مساعدة حول الخلايا الحارسة، ويوجد في كل من الفصائل التالية الموزية، والزنجبيلية، وفصائل أخرى (شكل 45 أ).

1. تحاط الخلايا الحارسة بأربع إلى ست خلايا مساعدة اثنتان مستديرة وأصغر من البقية وتقعان عند نهاية الخلايا الحارسة، توجد في الفصيلة النخيلية. (شكل 45 ب).
2. تحاط الخلايا الحارسة جانبياً بخليتين مساعدتين على جانبي الخلايا الحارسة توجد في الفصيلة السعدية والنخيلية. (شكل 45 ج).

لايوجد خلايا مساعدة متميزة ويوجد في الفصيلة الزنبقية مثل البصل.(شكل 45 د).





7. الشعيرات Trichomes

يطلق على زوائد البشرة سواء وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا بالشعيرات وهي إما أن تكون ذات جدار سليولوزي رقيق أو سميك حسب نوع الشعيرة وأحياناً قد يكون سميك ملجنن ذو تغلظ ثانوي وقد تفقد الشعيرات بروتوبلازمها. والشعيرات ذات أهمية تصنيفية كبيرة على مستوى الفصائل وأحياناً على مستوى الجنس والنوع.

ويمكن أن تقسم الشعيرات إلى:

أولاً : شعيرات لا غدية Nonglandular trichomes

1. غير متفرعة Non–glandular unbranched trichomes(شكل 46 أ ، ب ، ج).

1. وحيدة الخلية مثل حنك السبع. وكما في الفصيلة الصليبية
2. عديدة الخلايا وحيدة الصف مثل حنك السبع
3. عديدة الخلايا عديدة الصفوف مثل نبات بورتيولاكيا *Portulaca* وفي عدد كبير من الفصيلة المركبة.

1. تفرعة **Nonglandular branched**(شكل 46 د ، هـ ، و).

1.وحيدة الخلية متفرعة أو على شكل حرف T مثل نبات *Lobularia* والمنثور *Matthiola*

2.عديدة الخلايا متفرعة مثل الشمعدانية Candelabra مثل الفيربسكم من فصيلة حنك السبع و نجمية Stellate كما في نبات السيدا *Sida*

3.شعيرات حرشفية أو قرصية Petate وتوجد في نبات الزيتون.

ثانياً : شعيرات غدية Glandular trichomes

تفرز الشعيرات الغدية أنواع عديدة من المواد مثل المحلول الملحي، المحلول السكري (Necter) والتربينات (Terpenes) والصموغ (Glands) ويمكن أن يطلق على الشعيرات المفرزة بالغدد Glands. وتتكون الشعيرة الغدية عادة من جزئين قاعدة bose أو القدم foot وتكون مغمورة في البشرة، والجسم body وهو الجزء البارز على سطح البشرة ويمكن أن يقسم إلى :

أ . العنق Stalk وهو يتكون من خلية إلى عدة خلايا.

ب . الرأس head وهو يتكون من خلية إلى عدة خلايا ويعرف أيضاً بالغدة Gland (شكل 47).

ويمكن أن تصنف الشعيرات الغدية حسب الشكل:

1 . شعيرات غدية غير متفرعة Unbranched glandular t.(شكل 47 أ . هـ).

- وحيدة العنق وحيدة الرأس.
- ثنائية العنق أحادية الرأس أو أحادية العنق ثنائية الرأس. (حنك السبع).
- عديدة خلايا العنق وحيدة الرأس فصيلة حنك السبع (حنك السبع).
- عديدة خلايا الرأس وحيدة العنق فصيلة حنك السبع (حنك السبع).

هـ – عديدة خلايا العنق عديدة خلايا الرأس فصيلة حنك السبع (حنك السبع).

2 . شعيرات غدية متفرعة Branched glandular t.(شكل 47 و . ح).

عديدة خلايا العنق وحيدة الرأس (فصيلة حنك السبع) (سبلات) مثل حنك السبع.

عديدة خلايا العنق ثنائية الرأس (فصيلة حنك السبع) حنك السبع.

عديدة خلايا العنق عديدة الرأس (فصيلة حنك السبع) حنك السبع.

وتقسم الشعيرات حسب نوع الوظيفة التي تقوم بها في جسم النبات وهي محاولة من بعض العلماء لمعرفة وظيفة هذه الشعيرات:

3_ زوائد أو شعيرات خازنة الماء Water storage trichomes

هي عبارة عن خلايا فردية تختص لخزن الماء الذي يبقى إما في العصير الخلوي أو الجزء الداخلي للجدار الخلوي (شكل 48 أ).

1_ زوائد أو شعيرات ماصة للماء Water absorbing trichomes

هذه الشعيرات تشمل الشعيرات الموجودة على الأوراق الخضراء وخاصة أوراق النباتات الصحراوية حيث تمكن النبات من امتصاص الندى في الليل والرطوبة في الطقس الرطب.
ويمكن أن تكون هذه الشعيرات وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا وتشمل أيضاً الحراشف الامتصاصية والخلايا الحركية لبعض النباتات الصحراوية التي تتعلق بلف أو فرد الأوراق (شكل 48 ب).

1.الشعيرات الواقية Protective hairs

هذه الشعيرات تتحور لتقي النبات من رعي الماشية ويمكن أن تكون ميكانيكيا خالص أو سامة وكمثل الشعيرات الآلية التأثير (Pristte) وهي شعيرات خشنة قصيرة جدرها متكلسة أو مسيلكة ومغطاة ببثيرات صغيرة أما الشعيرات السامة فهي مثل الشعيرات اللاسعة الموجودة في نبات الحريق (شكل 48 ج).

1.الشعيرات المغطية Clothing or covering trichomes

هذه الشعيرات تعطي تغطية عامة لسطح الورقة وتعمل كشاشة خفيفة وكطبقة عازلة ضد تغيرات الحرارة الشديدة كما تقلل معدل النتح ويمكن أن تكون وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا (شكل 48 د).

شكل 48 د).

1.شعيرات متسلقة Climbing hairs

توجد في النباتات الملتفة والمتسلقة وتنتظم بشكل معين بحيث تحمي الساق من الإنزلاق من الدعامة. وغالباً ما تكون الشعيرة معكوفة النهاية (شكل 48 هـ).

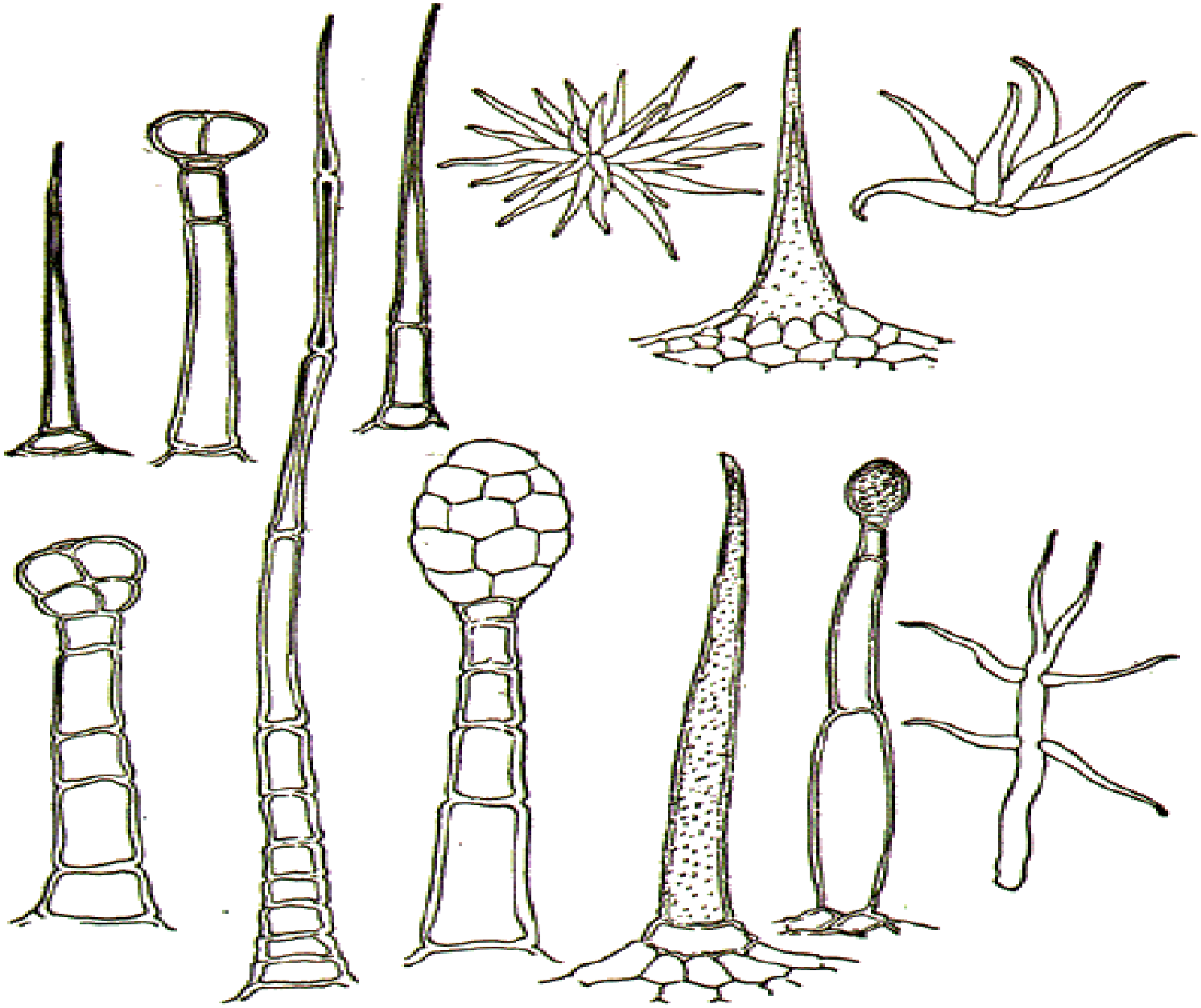
1.غدد هاضمة بسيطة Simple digestive glands

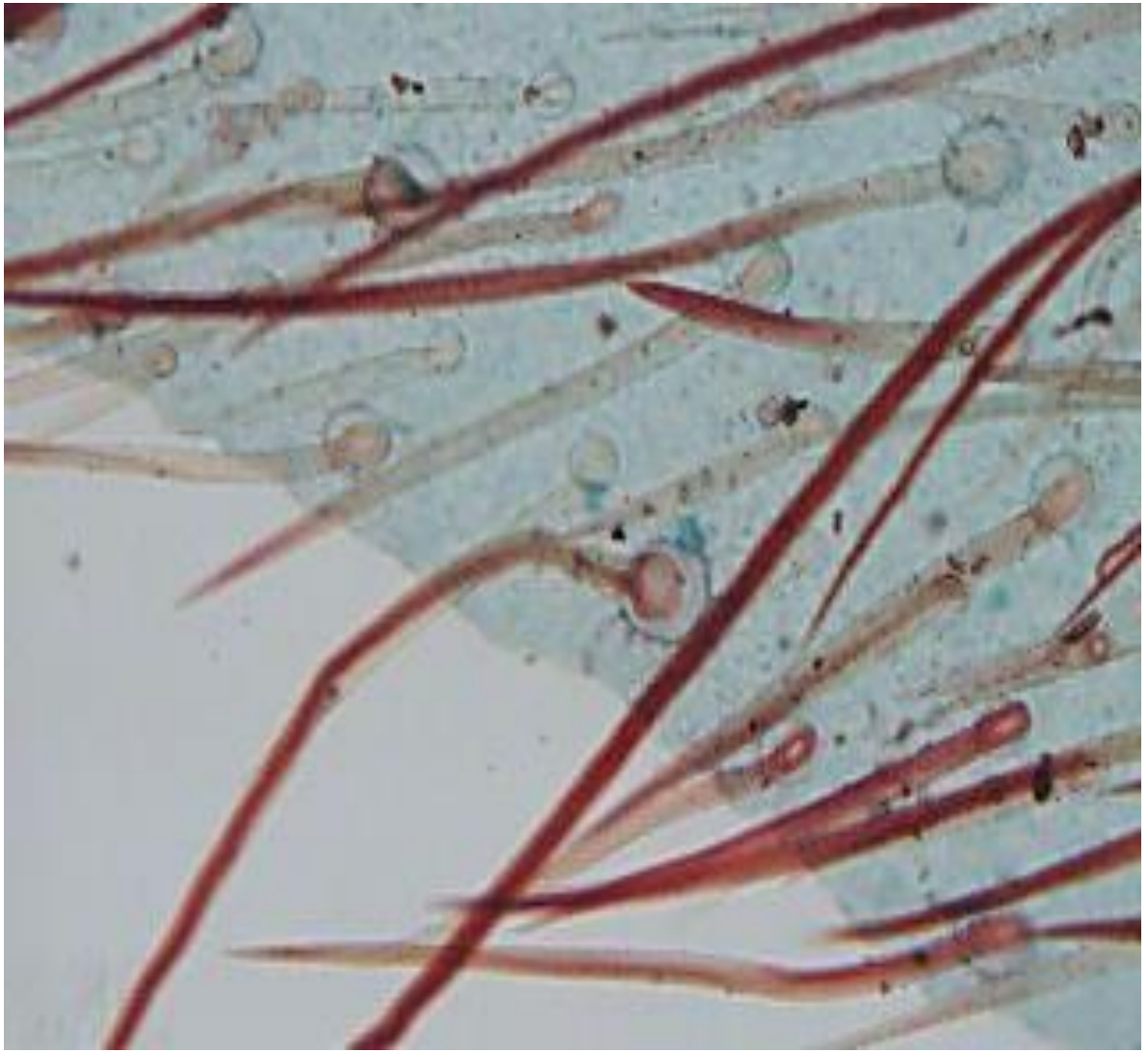
يوجد هذا النوع من الغدد في البشرة للنباتات آكلة الحشرات (Insectiverous plants) وهي غدد تفرز أنزيمات هاضمة لبروتين الكائنات الحية تمكن النبات من امتصاص نواتج الهضم مثل الشعيرات الهاضمة في نبات الدوسيرا *Drosera* (شكل 48: و)

1.غدد غير هاضمة Non-Simple digestive glands

وهي زوائد غدية تفرز مواد مثل الزيت أو الراتنج (resin) أو المخاط (شكل 48: ز).

A sample of trichome types:





الثغور المائية Hydathodes

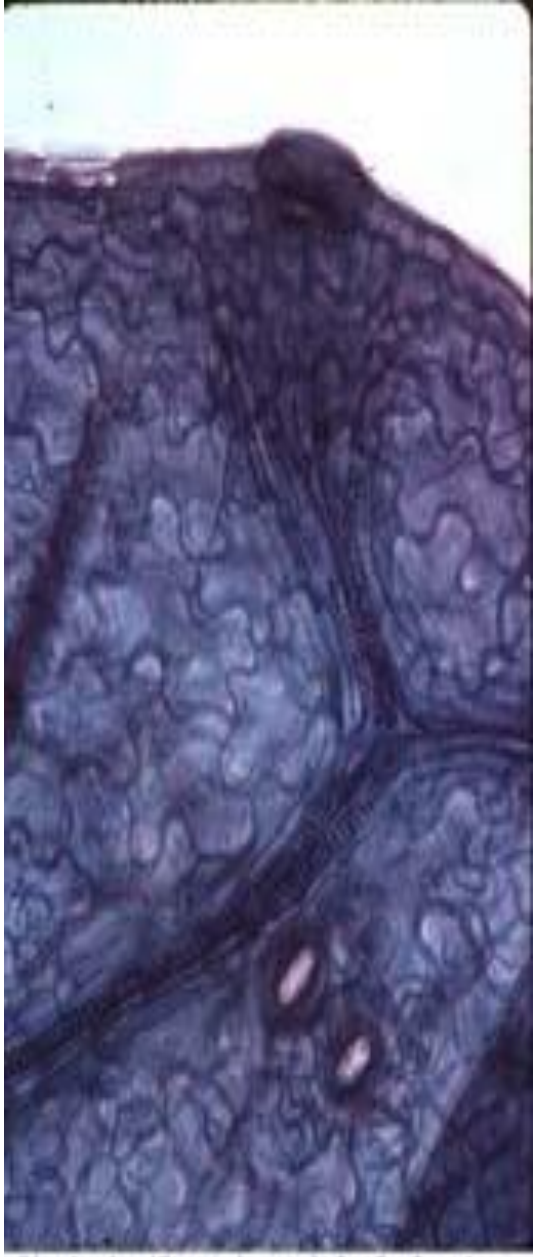
وهي تراكيب تزيل أو تطرد السائل المائي من داخل الورقة إلى سطحها وهناك نوعين:

أ ـ ثغور مائية بشرية Epidermal hydathodes

وتعتبر شعيرات متحورة تعمل على إفراز الماء ويمكن أن تكون أحادية الخلية أو عديدة الخلايا (شكل 48: ح).

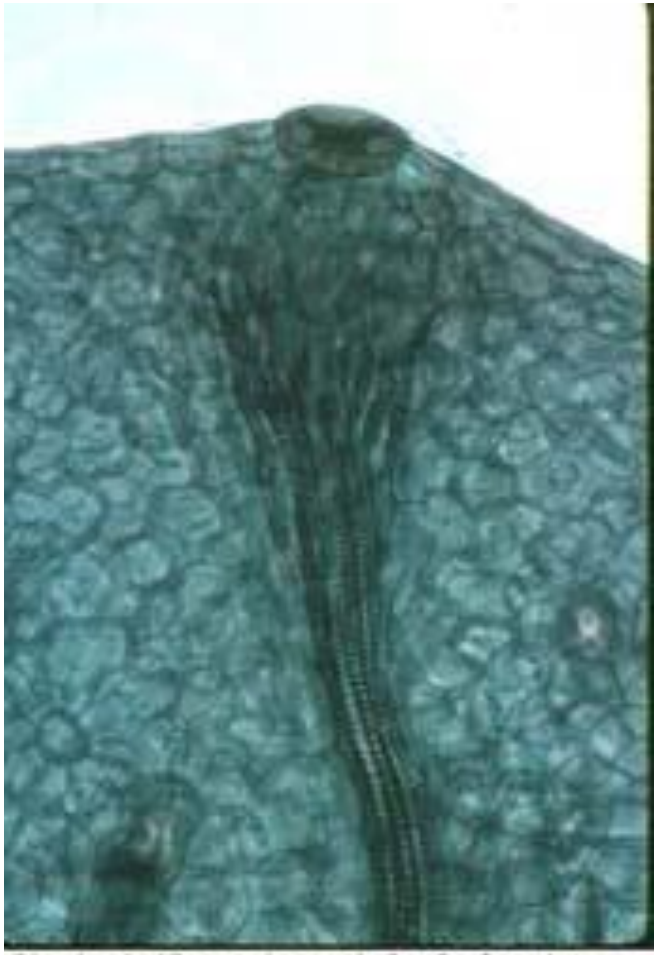
ب ـ الثغور المائية الطلائية Epithem hydathodes

وهذه الثغور المائية لها علاقة مباشرة مع الخشب الذي ينتهي بالقصيبات حيث تتصل بنسيج برنشيمي خاص يسمى الطبقة الطلائية Epithem وهذا يحاط بغلاف حزمي يمكن أن يكون خلايا برنشيمية أو خلايا مسوبرة أو خلايا فيها شرائط كاسبر، وتوجد الثغور المفتوحة في البشرة فوق الطبقة الطلائية ويمر الماء إلى الفتحات الثغرية من خلال النسيج الطلائي ذي المسافات البينية الواسعة ويفرز إلى الخارج على هيئة قطرات مائية تعرف بالإدماع Guttation (شكل)



Sinningia (Gesneriaceae) leaf clearing with one water pore on the hydathode.

Potentilla palustris leaf with guttating hydathodes.



Sinningia (Gesneriaceae) leaf clearing focused on single water pore and vascular bundle end in hydathode.

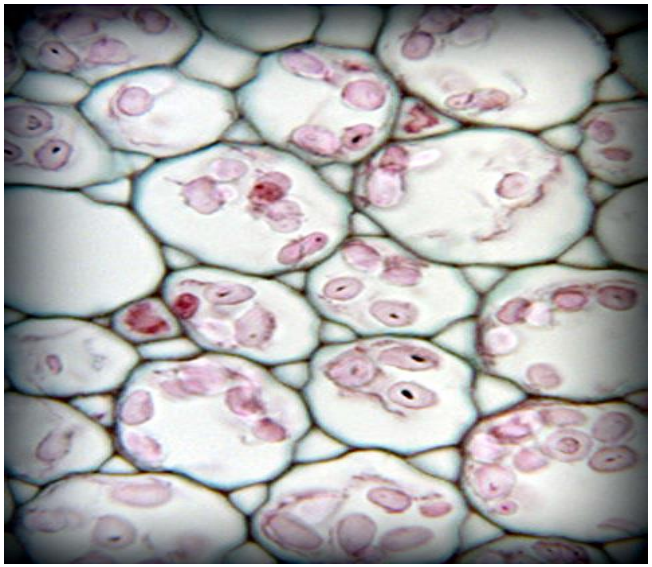
2. النظام (الجهاز) النسيجي الأساسي:

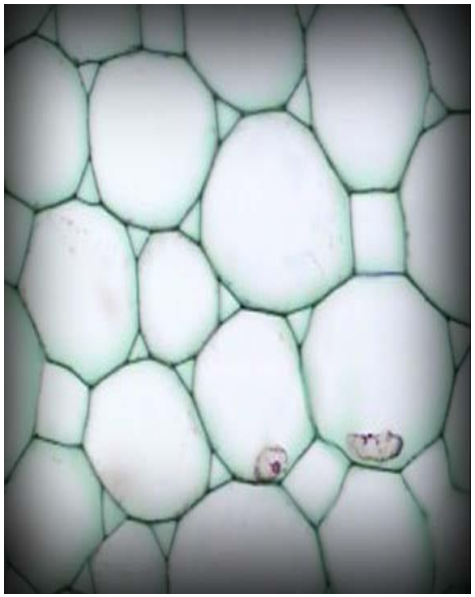
Ground tissue system

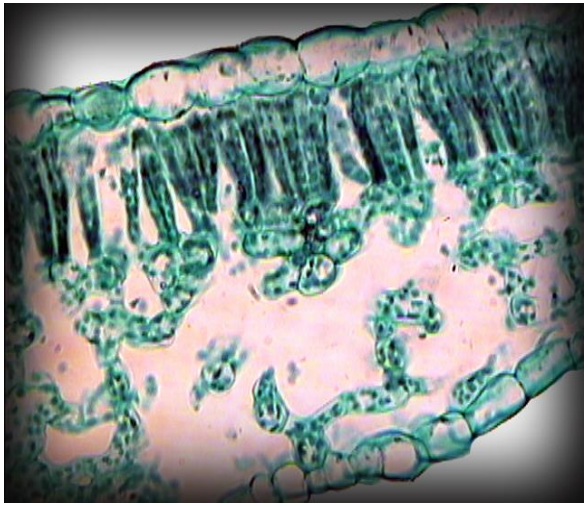
ويتكون أساساً من النسيج البرنشيمي وقد يدخل كل من النسيج الكولنشيمي والنسيج السكلرنشيمي في تكوينه.

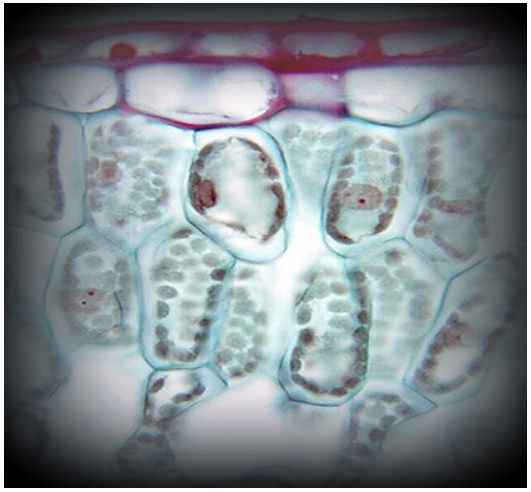
النسيج البرنشيمي Parenchyma

يتكون النسيج البرنشيمي من خلايا حية تختلف في أشكالها ووظائفها ولهذا فقد يطلق عليها مصطلح نسيجاً معقداً. وهذه الخلايا لها جدر رقيقة عادة وتعرف بالنسيج الأساسي في الجسم النباتي، وهي تتطابق مع هذا التعريف من الناحيتين الشكلية والوظيفية، ويمكن اعتبارها مكونات الجسم النباتي الرئيسية نظراً لأن الخلايا الإنشائية في النسيج الإنشائي القمي والخلايا التكاثرية ذات طبيعة









برنشيمية. كما أنه من الناحية التطورية تعتبر المصدر الأولي للأنسجة الأخرى. كما يتضح من تركيب معظم النباتات الحزازية المنبطحة مثل الريشيا والماركانتيا.

إن الخلايا البرنشيمية هي قاعدة الأنشطة الحيوية في النباتات والتي تتم فيها كثير من العمليات الأساسية مثل البناء الضوئي والأيض والتنفس والتخزين والإفراز والإخراج. تلك الأنشطة تعتمد على وجود بروتوبلازم حي. وهذا يدل بدوره على كون الخلايا البرنشيمية خلايا حية.

و قد ذكرت أشاو Esau 1965م أن الخلايا البرنشيمية الموجودة في أنسجة الخشب واللحاء قد تلعب دوراً هاماً أولاً في تحرك الماء في العناصر الوعائية غير الحية، وثانياً إنتقال الغذاء في عناصر الأنابيب الغربالية والتي لا تحتوي على نواة مميزة في بروتوبلازمها.

تميز الخلايا البرنشيمية:

إن **الخلايا البرنشيمية** من الناحية التكوينية تعتبر غير متميزة تماماً فهي ليست متخصصة شكلياً أو وظيفياً بمقارنتها بالخلايا الأخرى كالعناصر الغربالية والقصيبات أو الألياف، ولهذا فقد تغير الخلية البرنشيمية وظيفتها أو تجمع بين وظائف مختلفة، ولكنها قد تتخصص أحياناً بأن تتخصص للتمثيل الضوئي عندما تحتوي على بلاستيدات خضر، كما هو الحال في الخلايا العمادية والأسفنجية بالورقة. أو تتخصص في التخزين كما هو الحال في **الخلايا البرنشيمية** للطبقة الأليرونية في الحبوب والتي تتخصص في تخزين البروتين. أو خلايا الأندوسبيرم في البذور، وخلايا الغلاف النشوي في سيقان نباتات ذات الفلقتين والتي تتخصص في تخزين النشا. وكذلك الخلايا التي تتخصص لترسيب المواد الفائضة عن حاجة النبات. ومن أبرز صفات **الخلايا البرنشيمية** هي قابليتها على إعادة النشاط الإنشائي وهذا يعود كما ذكرنا سابقاً إلى كونها أقل تميزاً وتكشفاً عن باقي الخلايا. فالخلايا البرنشيمية الموجودة في قشرة الساق كثيراً ما تستعيد نشاطها الإنشائي مكونة الكامبيوم الفليني،

والخلايا البرنشيمية الموجودة بقواعد أعناق الأوراق والأزهار. والثمار كثيرا ما تستعيد نشاطها الإنشائي مكونة نسيجاً إنشائياً يعطي نشاطه ما يعرف بمنطقة الانفصال Abscission region. والخلايا البرنشيمية المكونة للأشعة النخاعية بساق نباتات ذات الفلقتين هي الأخرى تستعيد نشاطها الإنشائي مكونة **الكامبيوم بين الحزمي** Interfascicular cambium، كما أن الخلايا البرنشيمية الموجودة بين اللحاء الابتدائي بجذور نباتات ذات الفلقتين أيضاً تستعيد قابليتها للإنقسام وتكون نسيجاً إنشائياً. كما تشير الأبحاث إلى أن **الخلايا البرنشيمية** المكونة للنسيج العمادي المستديم بالورقة قد تستعيد نشاطها الإنقسامي دون تكوين نسيج إنشائي متميز. والجدير بالذكر أنه من الأمثلة السابقة يتضح مقدرة **الخلايا البرنشيمية** على استعادة نشاطها الإنشائي ومن ثم الأنقسام وهي ما زالت داخل جسم النبات.

وتدل الأبحاث الحديثة (باركر Barker 1953) إلى **أن الخلايا البرنشيمية** المكونة للنخاع نادراً ما تعيد قابليتها للإنقسام وهي في جسم النبات، وقد يرجع ذلك إلى حاجة النبات. أما عند عزل خلايا من النخاع لساق نبات الزيزفون عمره حوالي خمسون عاماً وتنمية هذا النسيج على بيئة صناعية خاصة تحت ظروف معقمة، فإن هذه الخلايا البرنشيمية استعادة نشاطها الإنشائي وكونت كالوساً Callus أي مجموعة من الخلايا البرنشيمية ذات الجدر الرقيقة، وهذه النتيجة تدل ليس فقط على مقدرة هذه الخلايا على الإنقسام بل تدل دلالة واضحة على احتفاظ هذه الخلايا بمقدرتها على الإنقسام طوال هذه الفترة من عمر النبات. كما أنه في تجربة مشابهه قام بها (استيورد وآخرون Steward,et.al 1970) على خلايا من نخاع جذر الجزر ونماها على بيئة صناعية سائلة تحت ظروف الهز الميكانيكي المستمر فتفككت خلايا هذا الكالوس مما أمكن الحصول على خلايا منفردة، أخذت احداها ونميت حتى كونت نباتاً كاملاً نمي حتى وصل مرحلة الإزهار. وهذه الدراسة وما شابهها من دراسات لاحقة تثبت أن **الخلية البرنشيمية** تحتوي جميع المعلومات الوراثية اللازمة لتكوين نباتاً كاملاً وأنها تحت ظروف معينة تستطيع أن تؤدي كل ما تؤديه خلية اللاقحة.

محتويات الخلايا البرنشيمية:

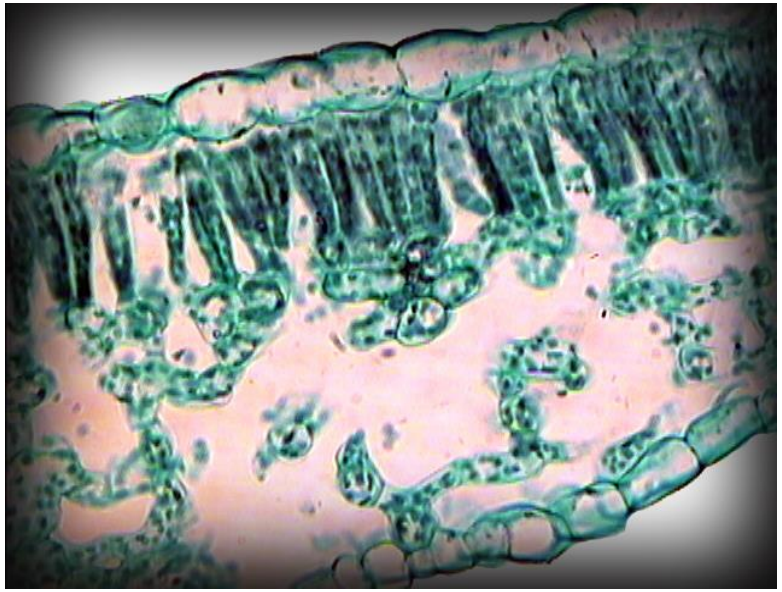
تختلف محتويات **الخلايا البرنشيمية** حسب نوع الوظيفة التي تقوم بها **الخلية البرنشيمية**، حيث أن هناك علاقة وثيقة بين محتويات هذه الخلايا وما تقوم به من نشاطات ووظائف في الجسم النباتي. فقد تحتوي **الخلايا البرنشيمية** على بلاستيدات خضر كما في النسيج التمثيلي للورقة أو قشرة الساق، وقد توجد بلاستيدات عديمة اللون كما هو الحال في نخاع الساق وقد تحتوي **الخلية البرنشيمية** على العديد من المواد الغذائية في العصير الخلوي، أو على صورة مواد صلبة أو سائلة في البروتوبلازم، وقد تكون هذه المحتويات مواد أيضية مثل النشا والبروتين والدهون والزيوت أو مواداً مختزنة من السكر والمواد الكربوهيدراتية الذائبة. كما قد تختزن الماء وفي هذه الحالة تكون نسيجاً خازناً للماء كما هو الحال في النباتات العصيرية مثل الصبار. وقد تحتوي **الخلايا البرنشيمية** على المواد الدباغية (التانينات) والمواد المعدنية على هيئة بلورات. وعلى أساس محتويات الخلايا البرنشيمية وما تقوم به من وظائف في جسم النبات فإنه أمكن تقسيم **النسيج البرنشيمي** إلى عدة أنماط منها:

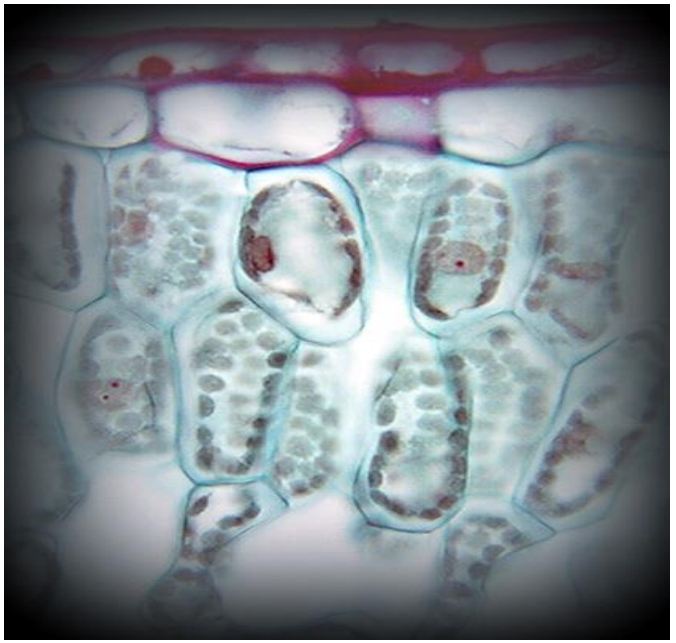
.خلايا برنشيمية تمثيلية Chlorenchyma

وهي خلايا تحتوي على بلاستيدات خضر وتوجد هذه الخلايا في النسيج الوسطي للورقة و في قشرة الساق وقشرة الجذور الهوائية. وتعتبر **الخلايا البرنشيمية التمثيلية** في النسيج الوسطي للأوراق أكثر تخصصاً من تلك الموجودة في أنسجة النبات الأخرى لدورها الرئيسي في عملية البناء الضوئي وتكوين المواد الغذائية للنبات (شكل 49: أ).

2. خلايا برنشيمية خازنة للغذاء Food – storage tissues

تقوم هذه الخلايا بتخزين العديد من المواد الغذائية إما على هيئة مواد ذائبة أو صلبة في العصير الخلوي بداخل الفجوات العصارية أو داخل أجسام خاصة في السيتوبلازم كما هو الحال في تخزين المواد البروتينية على هيئة أجسام بروتينية أو تخزين حبيبات النشا وتخزين الدهون والزيوت. كما قد تحتوي الخلايا البرنشيمية على مواد مختزنة إما بصورة ذائبة في العصير الخلوي وإما بصورة صلبة في السيتوبلازم في نفس الخلية كما هو الحال في الخلايا البرنشيمية لدرنات البطاطس وريزومات العديد من النباتات حيث يحتوي العصير على أميدات وبروتينات ذائبة، ويحتوي السيتوبلازم على حبيبات نشا كما قد يحتوي سيتوبلازم الخلايا البرنشيمية على أكثر من مادة غذائية مختزنة كما هو الحال في الخلايا البرنشيمية في فلقات بذور الفاصوليا والبازلاء





والعدس والتي تحتوي على حبيبات أليرون وحبيبات نشا، وفي بذور نباتات أخرى مثل نباتي الخروع وفول الصويا فإن الخلايا البرنشيمية لفلقات نبات فول الصويا وأندوسبيرم بذرة الخروع تحتوي في سيتوبلازمها على حبيبات أليرون وزيوت (شكل 49 أ ، ب).

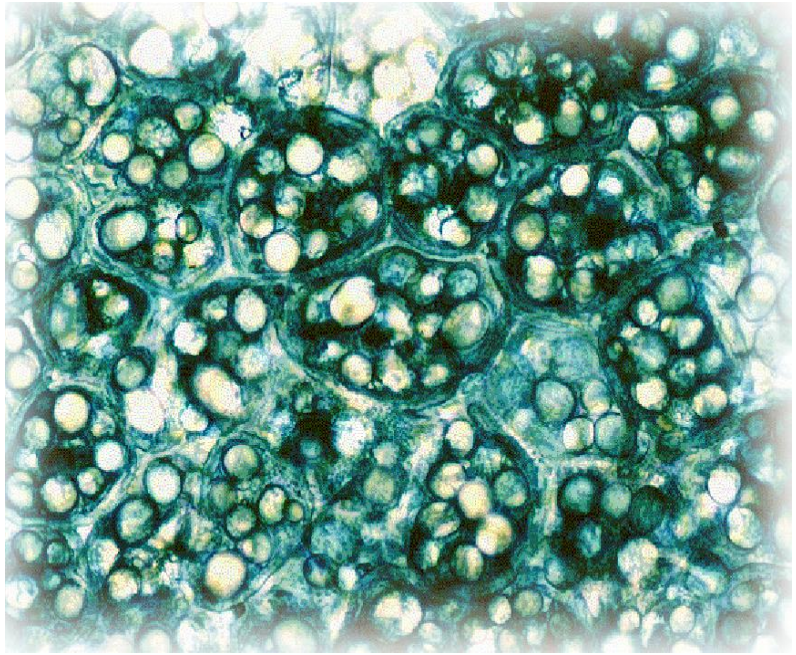
يعتبر النشا أكثر المواد المدخرة شيوعاً حيث يوجد في الخلايا البرنشيمية للقشرة والنخاع، وكذلك **الخلايا البرنشيمية** للأنسجة الوعائية مثل برنشيمة الخشب، برنشيمة اللحاء، والأشعة البرنشيمية، ولا يكاد يخلو أي نسيج برنشيمي من مادة النشا.

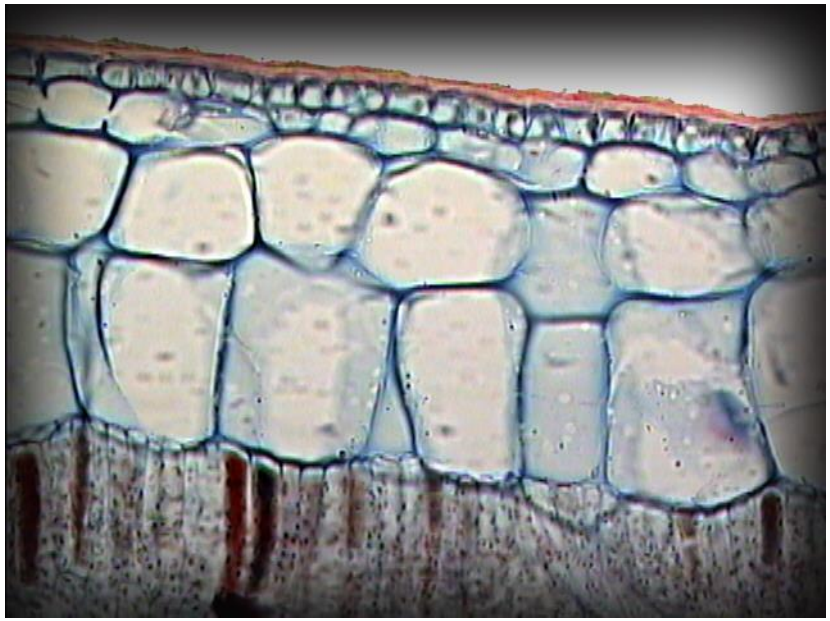
بالإضافة إلى تخزين المواد الغذائية في السيتوبلازم وفي العصير الخلوي فإن بعض **الخلايا البرنشيمية** تختزن المواد الكربوهيدراتية وخاصة أشباه السليولوز Hemicelluloses في جدرانها الخلوية على هيئة ترسبات مما يؤدي إلى سمك هذه الجدر الخلوية كما هو الحال في خلايا أندوسبيرم بذرة البلح وبذرة وبذرة البن العربي.

.خلايا برنشيمية خازنة للماء Water-storage tissues

تحتوي **الخلايا البرنشيمية** الحية ذات الفجوات العصارية الكبيرة على كميات كبيرة من الماء وبالتالي فهي تلعب دوراً كبيراً كخلايا خازنة للماء، ولكن هناك بعض الخلايا البرنشيمية تتخصص لخزن الماء مكونة بذلك نسيجاً مختزناً للماء وتكون خلايا هذا النسيج خلايا حية ذات جدر رقيقة، كبيرة الحجم، وغالباً تكون في صفوف أو تكون أحياناً مستطيلة كالخلايا العمادية. ويوجد بكل خلية طبقة رقيقة من السيتوبلازم تحيط بجدار الخلية من الداخل. ونواة مميزة، وفجوة عصارية كبيرة ذات محتويات مائية أو مخاطية تقريباً. وهذه المادة المخاطية تزيد من قدرة هذه الخلايا على تجميع الماء وادمصاصه والإحتفاظ به وقد توجد المادة المخاطية في البروتوبلازم وفي جدار الخلية أيضاً. وفي كثير من النباتات العصيرية مثل الصبار تحتوي أنسجتها التي تقوم بعملية البناء الضوئي على **خلايا برنشيمية** خالية من البلاستيدات الخضر متخصصة لتخزين كمية كبيرة من الماء.

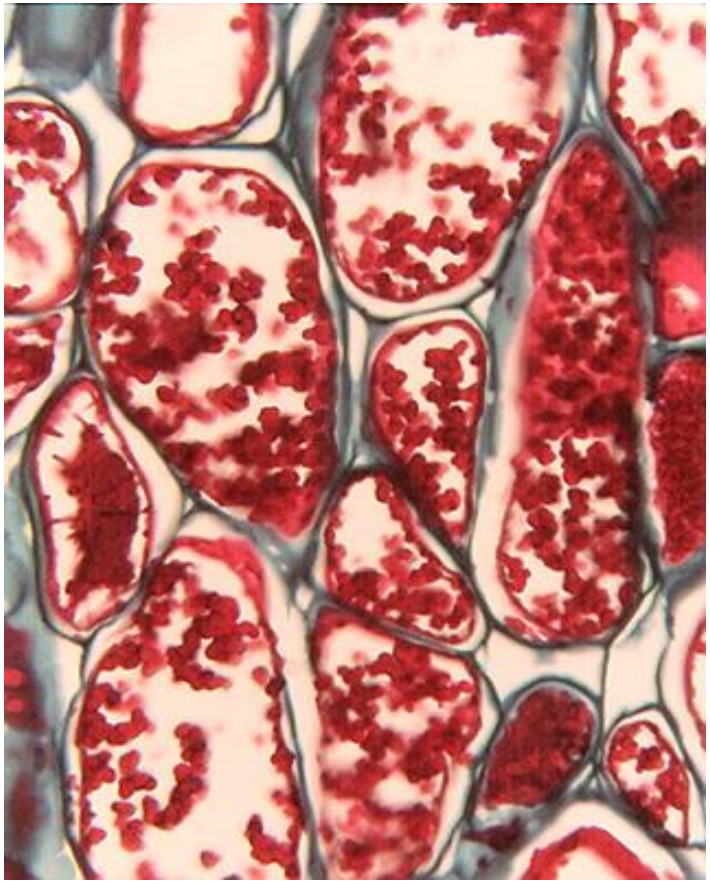
إن أعضاء التخزين الأرضية كالدرنات والكورمات والريزومات والأبصال لا تحتوي في الغالب على **خلايا برنشيمية** خاصة لإختزان الماء. ولكن الخلايا المختزنة للنشا والمواد الغذائية الأخرى تحتوي على كميات كبيرة من الماء (شكل 49: ج).

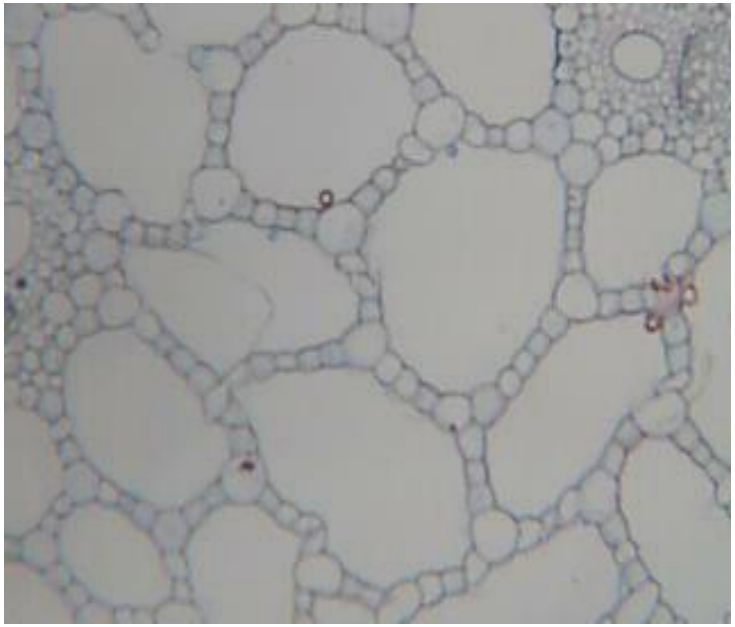


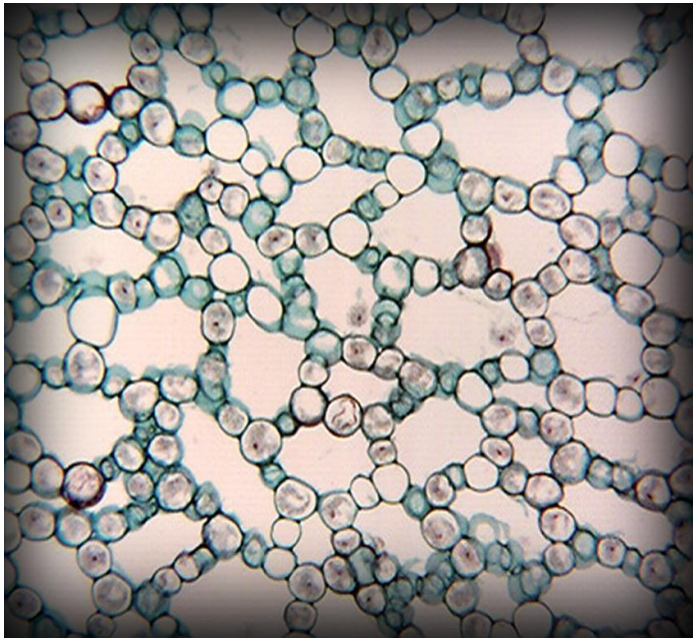


.خلايا برنشيمية هوائية Aerenchyma

وهي **خلايا برنشيمية** ذات مسافات بينية واسعة تصل إلى ما يعرف بالغرف الهوائية. ويوجد هذا النوع من **الخلايا البرنشيمية** في النباتات المائية ونباتات الأوساط الرطبة، وتختلف أحجام هذه المسافات البينية تبعاً لبيئة النبات فهي واسعة جداً في أجزاء النباتات المغمورة في الماء. وهذه المسافات البينية تنشأ عادة من انفصال جدر الخلايا المتجاورة جزئياً وابتعادها عن بعضها البعض، وأحياناً أخرى تنشأ هذه المسافات البينية نتيجة لتمزق جدر الخلايا المتجاورة. وتقوم هذه الخلايا ذات المسافات البينية بتخزين الهواء (الغازات) في المسافات البينية التي تكون على اتصال مع فتحات الثغور من خلال الأنسجة النباتية مما يسهل تبادل الغازات، وحيث أن كمية الغازات تقل في البيئة المائية فإن الأجزاء المغمورة من النبات تستطيع أن تحصل على ما تحتاجه من الغازات عن طريق هذا المخزون الموجود في المسافات البينية لهذه **الخلايا البرنشيمية** (شكل 49: د).







.خلايا برنشيمية خازنة المواد الدباغية (للتانينات)

قد توجد هذه **الخلايا الخازنة للمواد الدباغية** موزعة بصورة منفردة أو في مجموعات وتوجد هذه الخلايا عادة في الأوراق وفي الساق إما منفصلة و إما متصلة على هيئة حلقة وعادة توجد كطبقة خارج اللحاء تحيط بالحزم الوعائية، وقد توجد بداخل الحزم الوعائية على هيئة خلايا منفردة أو في مجاميع. كما توجد الخلايا الدباغية قريبة من الجروح والأنسجة المصابة، وتتراكم المواد الدباغية في الفجوات العصارية ويظهر أن تكون المواد الدباغية في **الخلايا البرنشيمية** لا يمنع نشاطها الحيوي، حيث وجد أن هذه الخلايا المحتوية على الدباغيات تستعيد نشاطها الإنشائي مكونة منشئ فليني ويمكنها أن تشارك في استطالة الساق، كما يمكنها أن تكون تايلوزات في العناصر الوعائية المجاورة، كما أنه عند تنميتها على بيئة صناعية قامت هذه الخلايا بالانقسام وتكوين الكالوس دلالة أيضاً على أن تكون المواد الدباغية لا يمنع أو يحد من نشاطها. وأحياناً يزداد تراكم المواد الدباغية في الخلايا البرنشيمية إلى حد يجعلها تتخصص في تخزين هذه المواد وفي هذه الحالة يطلق عليها **أكياساً تانينية** Tannin sacs . والمواد الدباغية مجموعة غير متجانسة من مشتقات الفينول واسعة الإنتشار في النبات وتظهر في القطاعات العرضية للإجزاء النباتية ككتل خشنة أو ملساء تملأ الخلية ذات لون بني أو أحمر أو أصفر (شكل 49: و).

خلايا برنشيمية خازنة للمواد المعدنية Idioblasts

تقوم بعض **الخلايا البرنشيمية** بتخزين المواد المعدنية على صورة بلّورات بأشكال مختلفة (انظر محتويات الخلية)، وهذه الخلايا تظل محتفظة في بروتوبلازمها بعد تكوين تلك البلّورات ولكن البعض الآخر يفقد البروتوبلازم ويكبر في الحجم بعد تكوين البلورات ويصبح خلايا ميتة ذات شكل متميز تسمى **بالخلايا المتخصصة Idioblasts** تخصصت لتخزين المواد المعدنية على هيئة بلّورات (شكل 49: هـ).

جدر الخلايا البرنشيمية

تكون **الخلايا البرنشيمية** عادة ذات جدر ابتدائية رقيقة سليولوزية، وقد توجد الجدر السليولوزية الابتدائية السميكة **للخلايا البرنشيمية** كما هو الحال في خلايا اندوسبيرم بذرة البلح. وقد توجد الجدر الثانوية الملجننة كما هو الحال في برنشيمية الخشب والقشرة أو النخاع. أما **الخلايا البرنشيمية التمثيلية والتخزينية** فإنها في الغالب ذات جدر ابتدائية سليولوزية رقيقة (شكل 49).

ترتيب الخلايا البرنشيمية

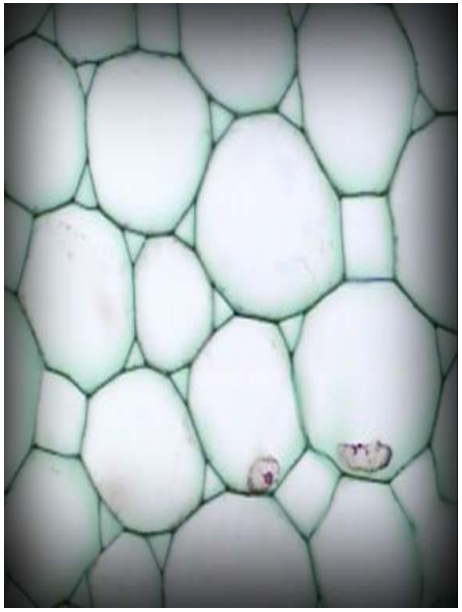
إن أهم **صفات النسيج البرنشيمي** المستديم وجود المسافات البينية، وهي قد تكون ضيقة أو واسعة ويعتمد ذلك على نوع الوظيفة التي يقوم بها النسيج، ففي النسيج التمثيلي والنسيج التخزيني للأجزاء الهوائية والنسيج الهوائي تكون المسافات البينية واسعة، ولكنها أيضاً تختلف أحجامها من نسيج إلى آخر، بينما في النسيج التخزيني لأندوسبيرم البذور تكون المسافات البينية ضيقة أو معدومة.

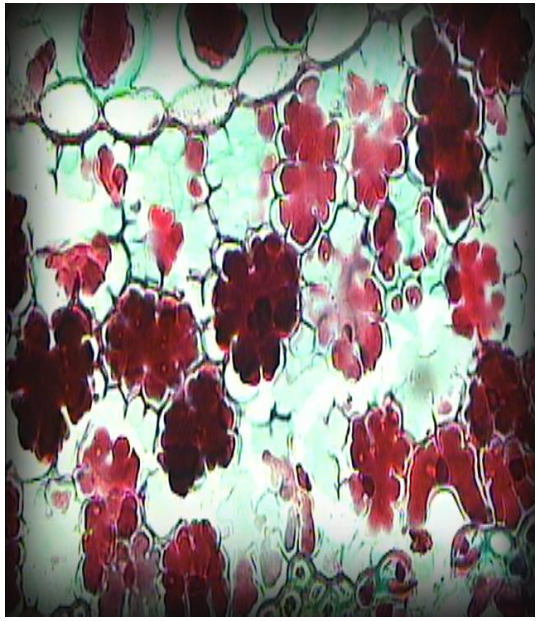
أشكال الخلايا البرنشيمية:

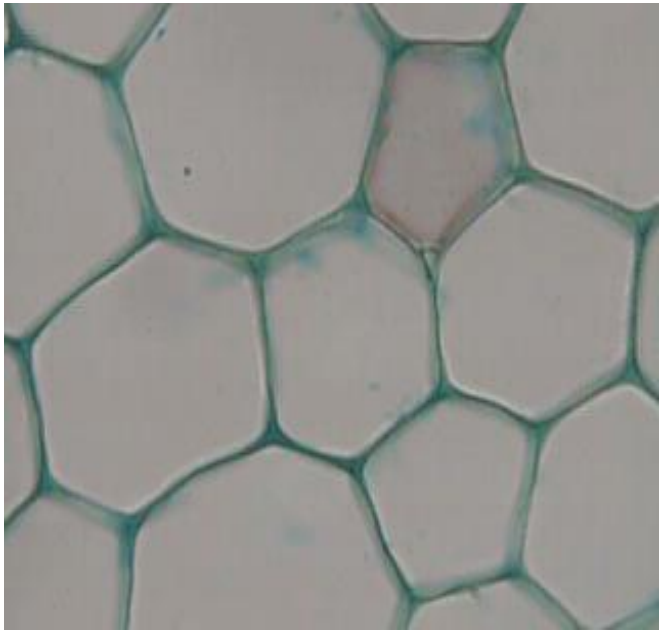
تكون **الخلية البرنشيمية** متعددة الأضلاع قد تصل أضلاعها إلى 20 ضلعاً (شكل 50) وأبعادها مختلفة، ولكنها متساوية العدد في النبات نفسه. تأخذ بعض **الخلايا البرنشيمية** شكلاً مستطيلاً ذا أطراف مدببة في المقطع الطولي حيث تعرف بالخلايا البروزنشيمية Prosenchyma كما هو الحال في **برنشيمية النسيج الوعائي**، كما أنها قد تأخذ أشكالاً مفصصة أو منثنية أو متفرعة كما هي الحال في برنشيمة النسيج الوسطي للورقة وهي تظهر في المقطع العرضي إما مستديرة أو مضلعة، أما في القطاع الطولي فتظهر مستديرة أو بيضاوية إلى مستطيلة.

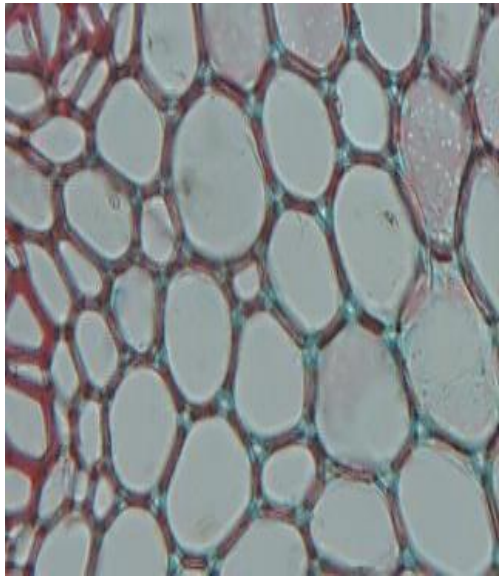
منشأ الخلايا البرنشيمية:

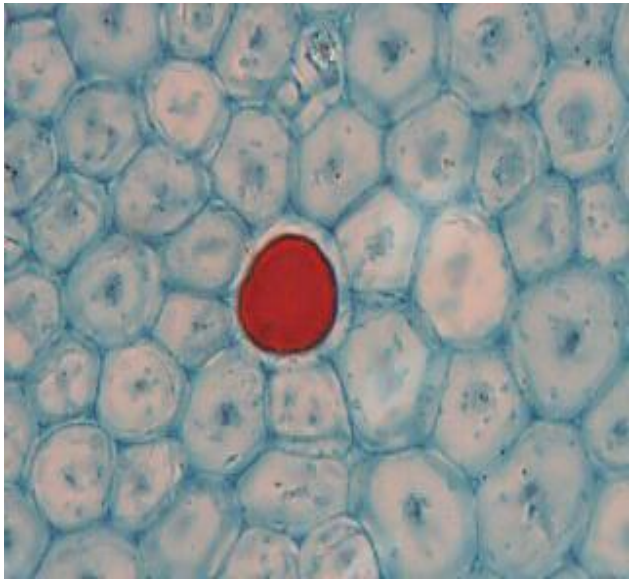
تنشأ **الخلايا البرنشيمية** من منشئات مختلفة، ففي الجسم النباتي الإبتدائي تنشأ من المنشئ الأساسي Ground meristem، وهي **برنشيمة القشرة** الإبتدائية والنخاع، **وبرنشيمة النسيج الوسطي** للأوراق وأجزاء الزهرة، بينما تنشأ **برنشيمة الخشب واللحاء الإبتدائيين** من المنشئ الأولي Procambium، كما تنشأ **برنشيمة اللحاء والخشب** الثانويين من المنشئ الوعائي Vascular cambium، أما برنشيمة القشرة الفلينية فتنشأ من المنشئ الفليني Phellogen، بينما تنشأ **الخلايا البرنشيمية** في البشرة المضاعفة من منشئ البشرة Protoderm.

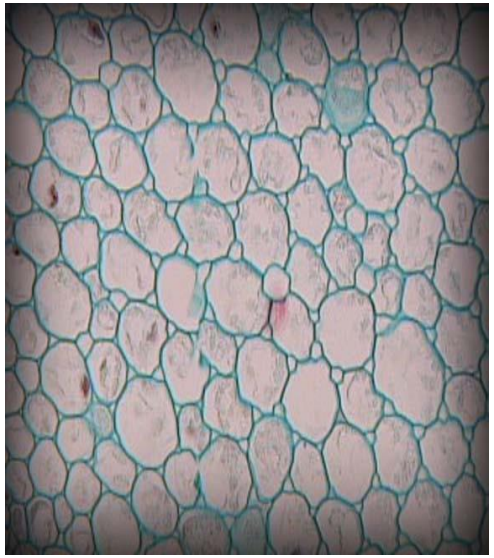












وظائف الخلايا البرنشيمية

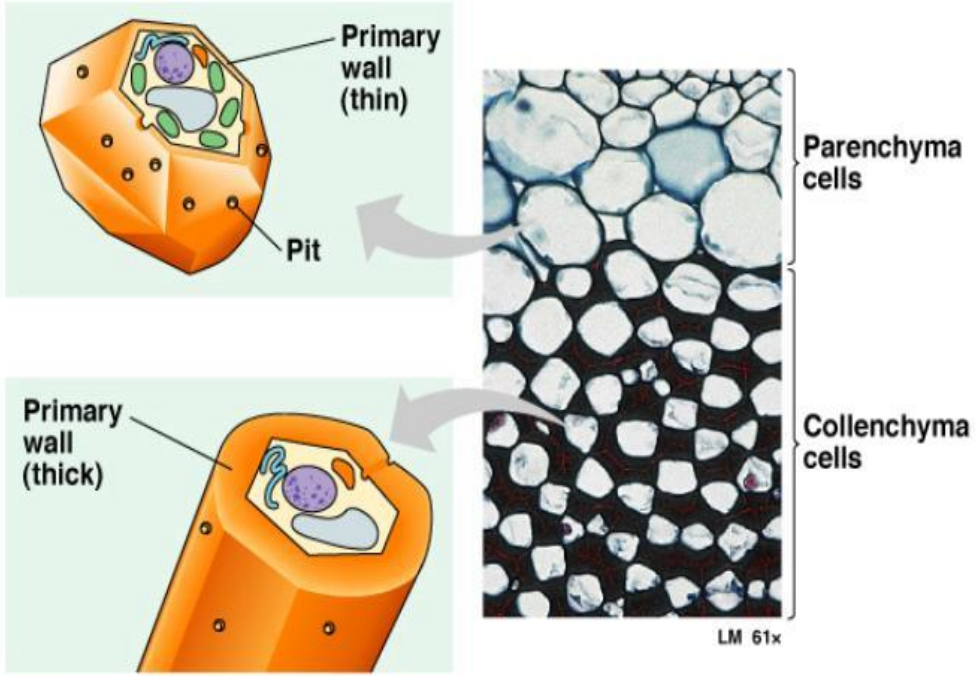
مما تقدم من استعراض أنماط **الخلايا البرنشيمية** يتضح أنها تقوم بعدة وظائف في الجسم النباتي منها:

- القيام بعملية البناء الضوئي.

1. تخزين المواد الغذائية أوالماء.
2. تمد النبات بما يحتاج من الغازات خاصة النباتات المائية.
3. تساعد النباتات المائية في الطفو في الماء.
4. لها القدرة على استعادة نشاطها الإنقسامي فتساعد على إلتآم الجروح، كما تساعد في نجاح عملية التطعيم، وكذلك تقوم بتكوين البراعم والجذور العرضية.
5. **الخلايا البرنشيمية** المعزولة لها القدرة على الإنقسام وتكوين الكالوس ومن ثم النمو وتكوين نبات كامل إذا ما زرعت في بيئة صناعية مناسبة.

النسيج الكولنشيمي: Collenchyma

هو نسيج بسيط يتكون من خلايا حية مستطيلة بعض الشيئ وذات جدر ابتدائية سليولوزية مغلظة تغلظاً غير منتظم ولكنها غير ملجننة ويدل شكلها وتوزيعها في جسم النبات على أن وظيفتها دعامية في الأعضاء النامية، فهي تجمع بين اللدونة والمرونة. وهي تشبه **الخلايا البرنشيمية** في وجود البروتوبلازم وفي الشكل والتركيب، ولكنها عادة أطول وأضيق من الخلايا البرنشيمية. وتوجد أشكال انتقالية بين كل **من الخلايا الكولنشيمية** والخلايا البرنشيمية وخاصة إذا وجد النسيجان متجاوران في العضو النباتي نفسه ويوجد في **الخلايا الكولنشيمية** بلاستيدات خضر ولكنها تقل عندما تصبح الخلايا تامة النمو، كما توجد المواد الدباغية.


Primary wall (thin)
Pit
Primary wall (thick)
Parenchyma cells
Collenchyma cells
LM 61×

تتكون **الخلايا الكولنشيمية** في الأعضاء النامية من النباتات الخشبية وفي الأعضاء تامة النمو من النباتات العشبية التي لم يحدث فيها نمواً ثانوياً. وتقع هذه **الخلايا الكولنشيمية** في الأجزاء الخارجية من السيقان أي الأجزاء القريبة من السطح الخارجي للسيقان وقد توجد **الخلايا الكولنشيمية** تحت البشرة مباشرة كما هي الحال في ساق نبات البيلسان أو تنفصل عن البشرة بطبقة أو طبقتين من الخلايا البرنشيمية كما في عنق ورقة نبات حشيشة الدينار *Humulus* وقد توجد تحت البشرة على هيئة اسطوانة غير متصلة كما في ورقة نبات القرع أو متصلة كما في ساق نبات البيلسان أو على هيئة أشرطة متباعدة كما في ساق نبات الجزر الأبيض *Pastinaca sativa* أو على هيئة مجاميع في أركان السيقان المضلعة كما هو الحال في سيقان نبات السلفيا وتوجد **الخلايا الكولنشيمية** بالإضافة إلى السيقان في أعناق الأوراق والعروق الوسطية للأوراق. كما قد توجد في قشرة الجذر المعرض للضوء. وأحياناً قليلة في سيقان نباتات ذات الفلقة وتعتبر **الخلايا الكولنشيمية** النسيج الدعامي في أوراق نباتات ذوات الفلقتين والسيقان الخضر العشبية التي لم يحدث فيها نمواً ثانوياً.

شكل الخلايا الكولنشيمية

تكون **الخلية الكولنشيمية** طويلة وقد يصل طولها إلى 2ملم ونهاياتها مدببة، عديدة الأضلاع في المقطع العرضي وقد تختلف في الشكل والحجم في النبات نفسه بل وفي النسيج نفسه. وهذا الاختلاف قد يكون ناتجاً من اختلاف المنشأ لهذه الخلايا. ويتكون شريط ال**خلايا الكولنشيمية** نتيجة لسلسلة من الانقسامات الطولية لخلايا النسيج الإنشائي الأساسي، ويبدأ تميزها من الوسط ثم ينتشر ناحية خارج الشريط. ثم يعقب ذلك استطالة للخلايا الناتجة ولهذا فإن الخلايا الداخلية للشريط المتكون تكون أكثر استطالة من الخلايا الخارجية حديثة التكوين التي تصبح قصيرة عند تمام النمو وذات نهايات مدببة قليلاً (شكل 51).

جدر الخلايا الكولنشيمية

إن تركيب جدار **الخلية الكولنشيمية** يعتبر من أهم صفات هذه الخلايا. حيث أن مادة السليولوز المكونة للجدار تترسب بطريقة غير منتظمة مما يجعل هذه الخلايا تأخذ أشكالاً مختلفة في مختلف النباتات التي توجد فيها. وجدار الخلية الكولنشيمية سليولوزي ابتدائي وقد يوجد به قليل من المواد البكتينية ويكون الماء حوالي 76 ٪ من مكونات الجدار. وقد قام رولوفسين Roelofsen 1959م بإجراء دراسة على مكونات جدار الخلية الكولنشيمية لنباتات *Petasites* sp. فوجد أنه يتكون من 45٪ بكتين، 35 ٪ أنصاف سليولوز وحوالي 20٪ سليولوز، وهذا يشير إلى أن جدر الخلايا الكولنشيمية تحتوي على كمية كبيرة من البكتين وأشباه السليولوز، وأيده في ذلك كل من جارفس Jarvis وأبيرلي Apperley 1990.

. وتبعاً لترسيب مادة الجدار الخلوي غير المنتظمة لهذه الخلايا فقد اقترح مولر Müllar 1890 تقسيم **الخلايا الكولنشيمية** إلى الأنواع التالية:

1. خلايا كولنشيمية زاوية Angular collenchyma

تترسب مادة جدار الخلية بكميات كبيرة في أركان الخلايا المتجاورة كما هو الحال في ساق نبات العنب وساق نبات القرع، والتين والتوت وإذا زاد هذا التغلظ فإن فراغ الخلية يظهر مستديراً وتكون أركان هذه الخلايا ذات تغلظ واضح بمقارنته في بقية جدار الخلية (شكل 51: أ).

2. خلايا كولنشيمية صفيحية Lamellar collenchyma

تترسب مادة الجدار الخلوي بكميات كبيرة على الجدر المماسية، فتظهر هذه الجدر سميكة بمقارنتها بالجدر القطرية كما في ساق نبات البيلسان (شكل 51: ب).

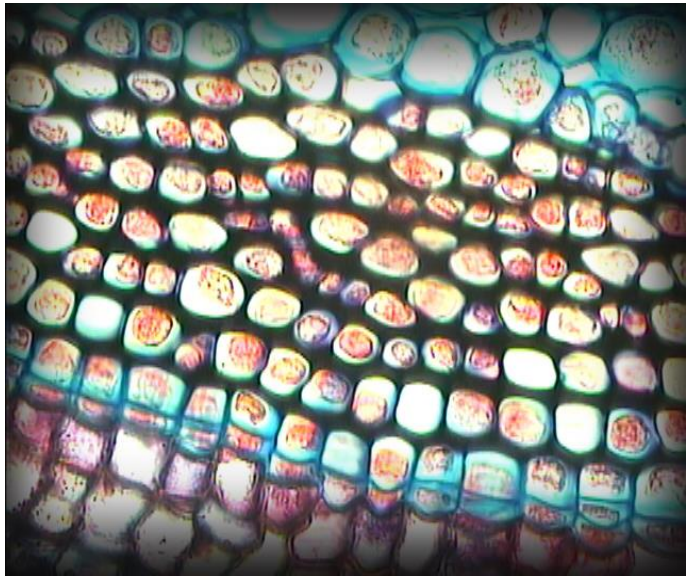
3. خلايا كولنشيمية فراغية Lacunar collenchyma

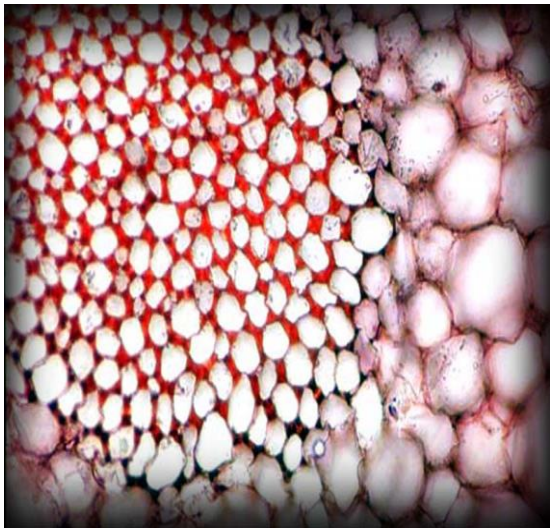
تترسب مادة جدار الخلية بكميات كبيرة على الجدر المواجهة للمسافات البينية كما هو الحال في أعناق نباتات الفصيلة المركبة ونباتات السلفيا والخباز والخطمية (شكل 51:ج).

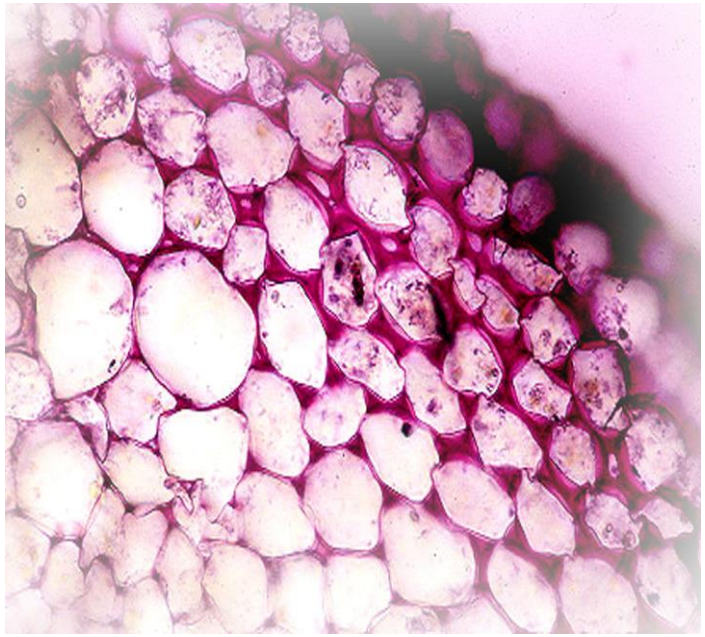
ثم أضاف متكالف Metcalfe 1979 نوعاً آخر قريباً جداً من الزاوي هو :

4. خلايا كولنشيمية حلقية Annular collenchyma

وفيها يكون التغلظ تقريباً متساوياً في جميع الجدار، ويظهر تجويف الخلية دائرياً، ويرى فين وآخرون Vian et.al 1993 أن هذا النوع من الكولنشيمة يمكن أن يكون البديل للنوع الزاوي (شكل 51: د).







تبدأ **التغلظات** التي يتصف بها **جدار الخلية الكولنشيمية** في التكوين قبل أن تنهي الخلية استطالتها، ولهذا فقد وجدت طبقات متتالية من مادة الجدار في جميع جدار الخلية ولكن هذه الطبقات تكون أكثر سمكاً في مناطق التغلظ. ومن الملاحظ أن **الخلايا الكولنشيمية** قد يوجد بينها مسافات بينية أو لا يوجد، ففي حالة عدم وجود مسافات بينية فإن الأركان التي بين الخلايا تتكون من مواد بكتينية. ويرى وولكر Walker 1960 م أن زيادة سمك **جدر الخلايا الكولنشيمية** أثناء النمو ناتج عن تعرض النبات للحركة بفعل الرياح، وامتناع الخلايا عن الاستطالة في الوقت نفسه.

وتذكر بعض الأبحاث إلى أن سمك **جدر الخلايا الكولنشيمية** قد يزول كما يحدث عند تكون المنشئ الفليني في تلك الأنسجة أو عندما تتعرض الخلايا الكولنشيمية لأضرار معينة كالجروح. وقد **تتحور جدر الخلايا الكولنشيمية** في النباتات المسنة عما هي عليه في جسم النبات الابتدائي وذلك لتساير الزيادة الكبيرة في محيط العضو النباتي وخاصة تلك النباتات التي يحدث بها نمواً ثانوياً. حيث تشير الأبحاث إلى أن الخلايا تستطيل وتصبح جدرها رقيقة في النباتات التي يحدث بها نمواً ثانوياً كما هي الحال في الزيزفون، والقيقب. ولم تؤكد هذه الأبحاث ما إذا كان هذا النقص في سمك الجدر ناتجاً عن حذف جزءاً من مواد الجدار أو أنه ناتج عن شد الجدار ونزع كمية من الماء المكون لهذا الجدار. وتجدر الإشارة إلى أن بعض الأبحاث تبرهن على وجود **خلايا كولنشيمية** ذات جدر ثانوية ملجننة ويعزى ذلك إلى أن هذه الخلايا تتحول إلى خلايا سكلرنشيمية. (فينويك وآخرون Fenwieck,et.al 1997م) كما وجد حديثاً أن الجدار يتكون من أشباه السيليولوز والبكتين مما يجعله صلباً قوياً يؤدي دور التدعيم (ليو وآخرون Liu, et.al 1999م).

محتويات الخلايا الكولنشيمية

تحتوي **الخلية الكولنشيمية** على بروتوبلازم فهي إذن خلية حية كما توجد بها البلاستيدات الخضر بكميات مختلفة فهي عديدة في الخلايا الكولنشيمية القريبة الشبه بالخلايا البرنشيمية. أما **الخلايا الكولنشيمية** التي وصلت مرحلة متقدمة من تمام النمو فإنها تحتوي على عدد قليل من البلاستيدات الخضر أو تكون خالية منها.

منشأ الخلايا الكولنشيمية

نظراً لتكون **الخلايا الكولنشيمية** في الجزء الخارجي من قشرة الساق فإن منشؤها غير واضح، فبعض العلماء ينسب منشأ **الخلايا الكولنشيمية** إلى النسيج الإنشائي الأساسي والبعض الآخر ينسبه إلى المنشئ الأولي وهو منشئ الأنسجة الوعائية الإبتدائية، وبالرجوع إلى النسيج الإنشائي القمي وتقسيمه إلى ثلاث منشئات وهي منشئ البشرة Protoderm ومنشئ النسيج الأساسي Ground meristem ومنشئ النسيج الوعائي الأولي Procambium فإنه قد يكون هناك تمييز بين منشئ البشرة ومنشئ النسيج الأساسي، ولكن لا يوجد حد أو فاصل واضح في المنشأ بين منشئ النسيج الأساسي ومنشئ النسيج الوعائي حيث أن منشئ القشرة والمنشئ الأولي متقاربان في بعض النباتات كما في نبات الفصيلة الخيمية، بينما يكون المنشئان متباعدين في نباتات أخرى كما في نباتات الفصيلة الشفوية والمركبة والصليبية.

وتشير بعض الأبحاث التي أجريت حول دراسة منشأ الخلايا الكولنشيمية إلى أن **الخلايا الكولنشيمية** المتميزة كثيراً عن الخلايا البرنشيمية تنشأ من المنشئ الأولي بينما الخلايا الكولنشيمية الأقل تميزاً فتنشأ من النسيج الإنشائي الأساسي.

وظائف الخلايا الكولنشيمية

تُكوّن **الخلايا الكولنشيمية** نسيجاً دعامياً تحور ليدعم الأعضاء النباتية النامية، وحيث أنه ذو خلايا لها جدر سميكة وخال تقريباً من المسافات البينية فيعتبر نسيجاً صلباً كما أن مرونته وقدرته على الاستطالة أثناء نمو النبات لا تفقده قوته ولدونته. كما أنه يساعد في عملية البناء الضوئي لإحتوائه على بلاستيدات خضر. إن **الخلايا الكولنشيمية** تستطيع أن تعود إلى الحالة الإنشائية مثلها مثل **الخلايا البرنشيمية** حيث تنقسم وتعطي خلايا جديدة كما هي الحال عند تكوين المنشئ الفليني.

النسيج السكلرنشيمي Sclerenchyma

يتكون من مجموعة من الخلايا ذات جدر سميكة ملجننة في الغالب تفقد هذه الخلايا بروتوبلازمها عند تمام النمو فتصبح خلايا ميتة. وهو نسيج يقوم بوظيفة تدعيم جسم النبات وحماية أنسجته الداخلية حيث يساعد النبات على مقاومة الضغوط المختلفة الناتجة عن الشد والثني أو الثقل. وتتصف خلايا هذا النسيج بالمتانة والمرونة عند مقاومة الضغوط المختلفة دون أن تحدث أي ضرر للخلايا الأخرى ذات الجدر الرقيقة بعكس **خلايا النسيج الكولنشيمي** التي تتصف باللدونة والمرونة.

وقد ذكر فان وليشيم Fahn and leshem(1963 م) أن بعضاً من **خلايا النسيج السكلرنشيمي** تحتفظ في بروتوبلازمها عند تمام النمو لفترة طويلة قد تصل إلى خمس سنوات من عمر الخلية كالألياف، ولهذا فهي تقوم ببعض الوظائف الحيوية بالإضافة إلى وظيفة التدعيم الأساسية. وقد تختلف **خلايا النسيج السكلرنشيمي** في الشكل والتركيب، وكذلك في المنشأ والتكوين، كما قد يوجد أشكالاً انتقالية بين أنواع الخلايا السكلرنشيمية مما يجعل من الصعب تقسيمها إلى أنواع متميزة وثابتة، ونظراً لوجود أكثر من نوع من الخلايا المكونة **للنسيج السكلرنشيمي**، فقد يطلق عليه نسيجاً معقداً، حيث يتكون من نوعين من الخلايا هما : الألياف Fibres و الخلايا الحجرية Sclereids. بالرغم من قيامهما بوظيفة واحدة هي التدعيم.

وتوصف **الألياف** بأنها خلايا طويلة، بينما تكون الخلايا الحجرية قصيرة. ولكن هذا الوصف ليس ثابتاً فقد توجد خلايا حجرية طويلة، وكذلك قد توجد ألياف قصيرة، ولكن يمكن تمييز الألياف عن الخلايا الحجرية بتركيب النقر الموجودة في جدر خلاياها، حيث تكون النقر في الخلايا الحجرية عديدة ذات تجاويف ضيقة وفتحات مستديرة وقد تكون متفرعة نتيجة للزيادة الكبيرة في جدر الخلايا. وقد أجريت عدة محاولات للتمييز بين **الألياف والخلايا الحجرية** من حيث المنشأ، فوجد أن الخلايا الحجرية تنشأ أحياناً من خلايا برنشيمية ذات جدر ثانوية، بينما تنشأ الألياف من خلايا إنشائية. ولكن هذا التمييز من حيث المنشأ غير كاف نظراً لعدم تميز **الألياف والخلايا الحجرية** بعضها عن بعض بصورة كافية، فمن الصعب التفريق بين أنواعها نتيجة لوجود أشكال انتقالية أثناء النمو وكذلك لصعوبة التمييز بينها وبين **الخلايا البرانشيمية** ذات الجدر الثانوية كما هي الحال في خلايا برنشيمة الخشب.

الألياف Fibres

تتكون **الألياف** في أماكن عديدة من جسم النبات الإبتدائي والثانوي. فقد توجد في سيقان ذوات الفلقتين بالجزء الخارجي من اللحاء الابتدائي على هيئة حزم منفصلة كما في ساق نبات دوار الشمس، أو على شكل اسطوانة متصلة في قشرة الساق كما في نبات الكتان، أو في مجموعات منتشرة في النسيج الأساسي كما في ساق بعض نباتات جنس حنك السبع، أو توجد **الألياف** في اللحاء والخشب ضمن عناصرهما، وأحياناً توجد الألياف مفردة متناثرة في قشرة الساق و في النسيج الوسطي للورقة كما في وريقات **نبات السيكاس**. وتقسم الألياف تبعاً لموقعها من الجسم النباتي إلى نوعين هما:

1 . ألياف الخشب Xylary fibres

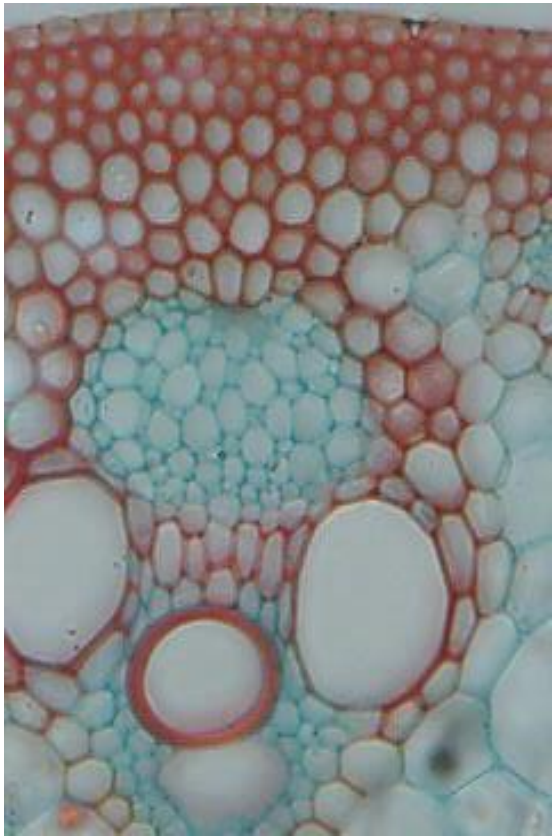
وهي خلايا تفقد بروتوبلازمها عند تمام النمو وذات أصل واحد حيث تنشأ من المنشئ الوعائي نفسه الذي تنشأ منه عناصر الخشب، ولكنها تتباين في الشكل وتتكامل مع العناصر الوعائية غير المثقبة . القصيبات والخلايا البرنشيمية . وتقسم ألياف الخشب إلى ثلاثة أنماط هي:

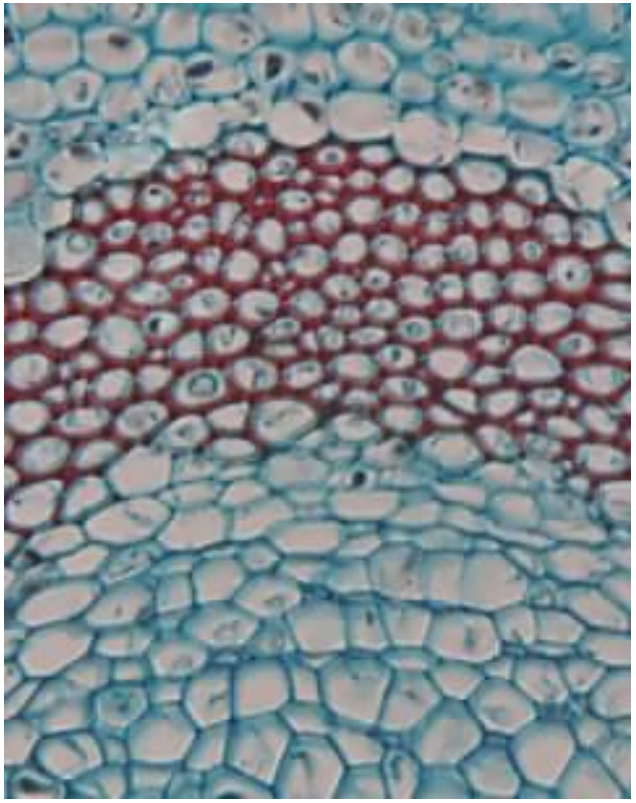
2_ألياف مدببة Libriform fibres

وهي خلايا طويلة مدببة الطرفين ذات جدر ثانوية سميكة ملجننة عادة، تتميز بنقر بسيطة، ونتيجة للزيادة الكبيرة في سمك الجدر الثانوية للخلايا فقد تكون تجاويفها ضيقة جداً (شكل 52: أ).

3_ألياف قصيبية Fibre – tracheids

وهي صور انتقالية بين القصيبات Tracheids . التي سيرد ذكرها ضمن عناصر الخشب . والحالة القصوى للألياف المدببة حيث تكون جدر الخلايا ذات سمك متوسط بمعنى أنها أقل سمكاً من جدر الألياف وأكثر سمكاً من جدر القصيبات. كما أن جدر الألياف القصبية تحتوي على نقر مضفوفة ذات تجاويف أضيق مما هو عليه الحال في النقر المضفوفة الموجودة بالقصيبات وكذلك فإن تجاويف الخلايا القصيبية تكون أوسع من تجاويف الألياف المدببة (شكل 52: ب).





ج. ألياف جلاتينية أو مخاطية Gelatinous or mucilaginous fibres

ألياف طويلة مدببة الطرفين. وتحتوي الطبقة الداخلية لجدار الليفة على كمية كبيرة من ألفا سليولوز وقليل من مادة اللجنين، ويطلق على هذه الطبقة بطبقة جي G-layer حيث تمتص هذه الطبقة الماء، ولذلك فقد تنتفخ حتى تملأ تجويف الليفة (داد سويل وواردروب Dadswell and wardrop 1955م) كما أن عدم وجود الماء يجعلها تتقلص بالاتجاه المعاكس، وقد وجد أن هذه الطبقة ذات تركيب مسامي وأنها أقل تماسكاً من بقية الطبقات الأخرى لجدار الليفة. وتوجد **الألياف الجلاتينية** في الخشب الثانوي وبالذات في **خشب التوتر** Tention wood الموجود في **خشب التفاعل** Reaction wood الذي يقع في القسم العلوي لفروع نباتات ذوات الفلقتين (شكل 52: ج).

2 . ألياف خارج الخشب Extra– xylary fibres

هي ألياف طويلة مغزلية الشكل ومدببة الطرفين تشبه الألياف المدببة، ولكن قد توجد الألياف القصيرة ذات النهايات المستديرة. وتشمل ألياف خارج الخشب جميع الألياف التي توجد في جسم النبات ماعدا ألياف الخشب وهي : ألياف القشرة وألياف بعض الحزم الوعائية ما عدا التي تحيط بالحزم من الخارج كما هو الحال في بعض الحزم الوعائية لنباتات ذوات الفلقة الواحدة، وألياف اللحاء الابتدائي والتي كانت تسمى سابقاً بألياف الدائرة المحيطية . ألياف البريسيكل . وألياف اللحاء.

لقد أوضحت الدراسات الحديثة على الألياف أن تقسيمها إلى ألياف خشب وألياف خارج الخشب لم يكن ملائماً أو ثابتاً حيث يوجد ما تسمى بالألياف المقسمة Septate fibres والتي توجد في خشب ولحاء حتى النبات الواحد، كما هو الحال في نبات العنب. وهذه الألياف تتميز بوجود حواجز داخلية في الليفة الواحدة تقسمها إلى عدة غرف، كما تحتوي على بروتوبلازم، وتتكون الحواجز الليفية بالانقسام المباشر، ويتكون الحاجز من الصفيحة الوسطى وطبقة تشبه الجدار الابتدائي على جانبها، ويتخلل هذا الحاجز عدد كبير من الروابط السيتوبلازمية، ويرى بعض علماء النبات بأن الحاجز لا يلتحم بجدار خلية الليفة ولكنه يكون عريضاً في نقطة التلاقي بينه وبين جدار خلية الليفة. وتحتوي الألياف المقسمة على حبيبات نشا وزيوت، ولهذا توصف بأنها ذات وظيفة تخزينية وقد تحتوي على مواد راتنجية وبلّورات. وتوجد الألياف المقسمة في الخشب الثانوي للعديد من نباتات ذوات الفلقتين (شكل 53).

كما أظهرت الدراسات المستفيضة على الألياف، أن الألياف تامة النمو (المستديمة) منها ذات جدر ثانوية سميكة ملجننة وقد يزداد سمك هذه الجدر الثانوية زيادة كبيرة بحيث تصل إلى ملء تجويف الليفة، وبما أن مادة الجدار الثانوي تترسب على هيئة صفيحات تتفاوت في السمك لهذا فهي تظهر واضحة في هذه الألياف، وقد وجد في **نبات الكتان** *Linum* sp. أن سمك الصفيحة يتراوح بين 0.1 – 0.2 ميكروميتر.وتجدر الإشارة إلى أن هناك أليافاً طويلة توجد في الخشب الثانوي ذات جدر ثانوية تماثل في سمكها جدر الخلايا البرنشيمية، وتحتوي هذه الألياف على بروتوبلازم، وقد أطلق عليها العالم سانو Sanio عن هيبرلانت Haberlandt(1918 م) **مصطلح ألياف بديلة** Substitute fibres والتي يرى فان وآخرون Fahn,et.al. (1983م) أنها يجب أن تكون ضمن برنشيمة الخشب، ولا يمكن أن يخلط بينها وبين الألياف المدببة والألياف القصيبية الحية.

لقد أشير سلفاً إلى أن الألياف تكون غالباً طويلة جداً مقارنة بالخلايا الأخرى، وذات تجاويف ضيقة ونهايات مدببة وأحياناً متفرعة. ولكن طول الألياف يختلف كثيراً من نبات إلى آخر. وعلى العموم فإن ألياف خارج الخشب تكون أطول بكثير من ألياف الخشب. وهناك بعض الأمثلة النباتية التي تظهر التفاوت الكبير في طول الألياف ذكرها الدابا Aldaba (1927م). فمثلاً في **نبات القنب** (Hemp) *Cannabis sativa* يصل طول الألياف من 0.5 – 5.5 سم بينما يصل طول ألياف نبات الكتان (*Linicm usitatissimum* (Flax من 0.8 – 6.9 سم، كما أن ألياف **نبات الرامي**(**Ramie**) *Boehmeria nivea* قد يصل طولها من 5 سم إلى 55 سم وهي ألياف ذات أهمية اقتصادية.

منشأ الألياف ونموها:

تنشأ **الألياف** من أنسجة إنشائية مختلفة حسب موقعها من الجسم النباتي، فقد تنشأ من **النسيج الإنشائي الأولي (المنشئ الوعائي الأولي)** كألياف الخشب واللحاء الابتدائيين، أو قد تنشأ **من المنشئ الوعائي** كما هو الحال في ألياف الخشب واللحاء الثانويتين وقد تنشأ الألياف من **النسيج الإنشائي الأساسي** كألياف القشرة، كما قد تنشأ من منشئ البشرة كما هو الحال في بعض نباتات الفصيلتين النجيلية والسعدية. وقد تنشأ الألياف من الخلايا البرنشيمية كما هو الحال في اللحاء الأول.

إن الألياف التي تنشأ من خلايا إنشائية قصيرة كما في ألياف نبات الكتان وألياف نبات الرامي والتي تكون طويلة جداً عند تمام نموها لابد وأنها استطالت كثيراً أثناء نموها ففي ألياف الرامي مثلاً يكون طول الخلايا المنشئة لألياف اللحاء الابتدائي حوالي 20 ميكرومترًا بينما طول الألياف البالغة حوالي 55سم أي حوالي 550.000 ميكرومترًا وهذا المثال يدل دلالة واضحة على أن الألياف تستطيل كثيراً أثناء نمو النبات، وهذه الاستطالة في الألياف تحدث بالتدريج لمدة قد تصل إلى عدة أشهر. إن استطالة الألياف أثناء نمو النبات تتضمن نمواً معقداً للجدار الثانوي للألياف. فبينما **تنمو الألياف تناسقياً** Symplastically فإن نهاياتها تظل رقيقة الجدار، بينما يبدأ تكون الجدار الثانوي من وسط الليفة في الأجزاء التي وقفت عن الاستطالة، ولهذا فإن الصفائح الجديدة من الجدار الثانوي تضاف ناحية المركز على هيئة حلقات مفتوحة الطرفين وفي نفس الوقت فإن الحلقات أيضاً تستمر في الاستطالة ناحية نهايات الألياف وتصل إليها بعد أن تقف عن النمو والاستطالة (شكل 52:ج).

أما **الألياف القصيرة** مثل ألياف الأجاف *Agave* **والموز الليفي** *Musa textelis* التي لا يتجاوز طولها بضعة مليمترات فإن جميع أجزاء جدار الخلية ينمو بنفس المعدل. إن الاختلافات في طريقة النمو لكل من ألياف الجسم النباتي الابتدائي وألياف الجسم النباتي الثانوي تكون ثابتة، **فمنشئات ألياف الجسم النباتي الابتدائي** تظهر مبكراً قبل أن يستطيل العضو النباتي الذي توجد فيه ولهذا فهي تنمو في **الطول تناسقاً** مع الخلايا المجاورة لها والتي ما زالت تنقسم، وبالإضافة إلى **النمو التناسقي** لهذه الألياف فقد يحدث **أيضاً نمواً تداخلياً ونمواً انزلاقياً** Gliding لنهايات الألياف التي تتداخل بين الخلايا المجاورة. أما **منشئات ألياف الجسم النباتي الثانوي** والتي تنشأ في الأعضاء التي توقفت عن الاستطالة فإن نمو الألياف يكون **نمواً تداخلياً قمياً**.

وهذا الاختلاف الثابت في طريقة النمو لكل من ألياف الجسم النباتي الابتدائي وألياف الجسم النباتي الثانوي قد يجيب على السؤال لماذا تكون ألياف الجسم النباتي الابتدائي دائماً أطول من ألياف الجسم النباتي الثانوي للنبات نفسه ؟ كما هي الحال في نبات الرامي حيث أن متوسط طول ألياف اللحاء الابتدائي 6 و 146ملم بينما متوسط طول ألياف اللحاء الثانوي لا يتجاوز 5 و 15 ملم. لقد دلت الدراسات بالمجهر الالكتروني على ألياف الخشب أنه خلال تكوين الجدار الثانوي لهذه الألياف فإن السيتوبلازم يكون ذو فراغات واضحة ولكنها لا تمتد إلى نهايات الألياف، كما أن النواة تكون كبيرة وأن بقية العضيات الأخرى تكون قليلة العدد ولكنها شوهدت متراكمة بالقرب من نهايات الألياف بينما تظهر الشبكة الأندوبلازمية موازية لسطح الجدار الخلوي من الداخل.

لقد وجدت اشاو Esau (1938، 1943) أثناء نمو اللحاء الابتدائي لنبات التبغ ونبات الكتان أن بروتوبلاست الألياف يكون عديد الأنوية بينما يكون وحيد النواة في ألياف اللحاء الثانوي، وصفت الألياف المدببة والقصيبية تامة النمو بأنها خلايا ميتة ذات وظيفة دعامية، واقتصر وجود البروتوبلازم على ألياف اللحاء والألياف المقسمة، ولكن بيلي Bailey 1953 ذكر بأن الألياف المدببة قد تحتفظ أحياناً في بروتوبلازمها تبعاً لتكوين الجدار الثانوي الملجنن مما يمكنها من القيام بوظيفة التخزين بالإضافة إلى وظيفة التدعيم الأساسية.

أما الدراسات الحديثة التي أجراها فان وآخرون Fahn,et.al. (1963) على الألياف فتثبت وجود بروتوبلازم وأنوية واضحة في الألياف المدببة والألياف القصيبية كما في بعض أنواع جنس الأثل *Tamarix* وفي عديد من الأنواع الخشبية للفصيلة الرمرامية وفي أشجار وشجيرات عديدة من نباتات ذوات الفلقتين ونباتات ذوات الفلقة الواحدة.

تطور ألياف الخشب

لقد ذكر سلفاً أن ألياف الخشب تختلف في الشكل والحجم وسمك الجدار، وكذلك في نوع وكمية النقر، ولقد افترض من الوجهة التطورية أن الألياف تطورت عن القصيبات، وهذا الافتراض كان مدعماً بالحقائق التي تبين وجود عدداً من الأشكال الانتقالية بين الألياف والقصيبات في كثير من نباتات ذوات الفلقتين كما في أنواع نباتات البلوط، واستنتج من التغيرات التي حدثت أثناء تطور الألياف من القصيبات مايلي:

(1) زيادة سمك الجدار الخلوي.

(2) اختزال عدد النقر واختزال تجاويفها.

(3) اختفاء الضفة من النقر المضفوفة تدريجياً لتصبح نقراً بسيطة.

(4) تصبح الخلايا الإنشائية قصيرة وليست الألياف تامة النمو.

(5) الزيادة في طول الألياف تعتبر ثانوية ناتجة عن النمو التداخلي القمي في نهايات

الألياف التجارية

من الواضح أن مصطلح الليفة المستعمل في المصانع لا يحمل معنى الليفة الذي أطلقه علماء النبات، فمثلاً **ألياف الكتان** *Linum* **والرامي** *Boehmeria* هي في الواقع مجاميع من الألياف، بينما ألياف نباتات ذوات الفلقة الواحدة **كألياف الموز الليفي** و الأجاف يقصد بها الحزم الوعائية بما فيها من ألياف وعناصر وعائية وقد يقصد بالألياف التجارية الجهاز الوعائي كما في جذر نبات الماهلنبيكيا *Muhlenberia*، أو النبات بكاملة كما في نبات التيلاندزيا *Tillandsia*، كما يقصد **بالألياف التجارية** لنبات **القطن** *Gossypium* تلك الشعيرات الموجودة على قصرة بذور القطن، **وألياف القبك** *Ceiba* sp. تلك الشعيرات التي تنمو على سطح ثمرة النبات.

وتقسم الألياف التجارية إلى نوعين هما: ألياف صلبة Hard fibres، **وألياف طرية** Soft fibres. الألياف الصلبة هي التي تحتوي على كمية من اللجنين في جدرها ولهذا فهي صلبة التركيب ويحصل عليها من نباتات ذوات الفلقة الواحدة كالأجاف والموز الليفي. أما الألياف الطرية فهي قد تكون ذات جدر ملجننة أو غير ملجننة وهي ألياف مرنة ومطاطية وتوجد في نباتات ذوات الفلقتين كالكتان والقنب والرامي والجوت والتيل والقبك والقطن الذي تعتبر أليافه من أهم الألياف التجارية في الوقت الحاضر.

كما تقسم الألياف التجارية حسب استعمالاتها إلى:

(1) **ألياف نسيج** Textile fibres وهي الألياف التي تستعمل لصناعة الأقمشة كألياف القطن.

(2) **ألياف الحبال** Cordage fibres مثل ألياف الأجاف والموز الليفي.

(3) **ألياف الحشو** Filling fibres كألياف القبك وهي تستعمل في تعبئة أو حشو المفارش والمطارح أو صناعة التنجيد وأحزمة النجاة والتغليف وذلك في التقوية والتدعيم.

(4) **ألياف الفرش** Brush fibres مثل الألياف المستخدمة في صناعة الفرش.

وتستعمل الألياف في صناعة الورق، واعتماداً على صفاتها الطبيعية والكيميائية فإن أنواعاً عديدة من الورق يمكن تصنيعها منها. ومن الناحية التقنية فإن شكل خلية الليفة وطولها وتركيب جدارها ذات أهمية كبيرة في الصناعة الليفية. فقد اهتم الخبراء في صناعة الألياف بطول الليفة وإلى أي مدى تتراكب نهاياتها مع الخلايا المجاورة، وكيف ترتبط هذه الألياف مع بعضها. كما عني أيضاً باتجاه وحدات السليولوز (الليفات) في الجدار حيث وجد أن له تأثير على الصفات الفيزيائية للخشب والألياف التجارية، وقد وجد برستون Preston (1963) أن المرونة والتوصيل الحراري للألياف تزداد مع درجة اتجاه وحدات السليولوز المتوافقة مع زيادة طول الألياف.

وتقسم الألياف التجارية حسب المتانة وقوة الشد وطول الحزم الليفية، وكذلك حسب النعومة والتجانس والمرونة إلى أربعة أصناف (فان Fahn, 1982) كما في الجدول التالي:

نوع الألياف	الصنف			
	1	2	3	4
الألياف الصلبة	الموز الليفي	الأجاف (الصبار الأمريكي)	الفورمييوم تبناكس	فوركيريا جاينختيا
الألياف الناعمة	الكتان	الرامي	القنب	الجوت

الخلايا الحجرية Sclereids

هي خلايا قصيرة ذات جدر ثانوية سميكة ملجننة تحتوي على نقر بسيطة عديدة ذات فتحات مستديرة وعادة تكون تجاويفها متفرعة نتيجة للزيادة الكبيرة في سمك الجدار الذي يبدو صفائحياً نظراً لتراكم مادة الجدار الثانوي، كما تصبح تجاويف الخلايا الحجرية ضيقة وخالية من المكونات الحية. ولكن أنواع من الخلايا الحجرية تحتفظ في بروتوبلازمها عند تمام النمو.

توجد **الخلايا الحجرية** في أماكن عديدة من جسم النبات. فتوجد في القشرة والنخاع لسيقان نباتات عاريات البذور ونباتات ذوات الفلقتين، إما منفردة كما في سيقان نباتات حنك السبع أو في مجموعات كما في نباتات أخرى من الجنس نفسه، كما توجد في الخشب واللحاء. وقد توجد على هيئة اسطوانة كاملة تحيط بالاسطوانة الوعائية من الخارج كما في ساق نبات التبغ، وتوجد في كثير من أوراق نباتات المناطق الحارة، وفي الثمار وخاصة الثمار اللبية كالكمثرى، وفي بشرة البذور كما في بذرة الفاصوليا والفول أو معظم بذور البقوليات بصفة عامة.

تشير الدراسات المستفيضة التي أجريت على هذه الخلايا الحجرية أنها تتكون بأشكال مختلفة في الجسم النباتي. وقد اقترح تشرخ Tschirch(1889) تقسيمها إلى أربعة أنواع ثم أضاف بلوخ Bloch(1946) نوعاً خامساً، ويذكر روي Rao, (1991) أن هذا التقسيم للخلايا الحجرية قد لايكون صحيحاً لأنه لا يغطي جميع أشكالها وهي:

1_ خلايا حجرية مستديرة Brachysclereids

وهي خلايا تشبه الخلايا البرنشيمية من حيث الشكل والحجم فهي قصيرة متساوية الأقطار تقريباً وذات جدر سميكة ملجننة، وتوجد في لب الثمار كما في الكمثرى والجوافة كما قد تنتشر في قشرة ولحاء ونخاع السيقان لنباتات مختلفة (شكل 54: أ).

2_ خلايا حجرية كبيرة Macrosclereids

وهي خلايا مستطيلة عصوية الشكل، توجد على هيئة طبقة متراصة بجانب بعضها البعض كخلايا عمادية في قصرة كثير من بذور الفصيلة البقولية كما في الفاصوليا (شكل 54: ب).

3_ خلايا حجرية عظمية Osteosclereids

وهي خلايا تشبه العظمة حيث تنتفخ في نهاياتها، وأحياناً تتفرع هذه النهايات، وتوجد في أوراق كثير من نباتات ذوات الفلقتين كما في أوراق نبات الهاكيا *Hakea* وفي أغلفة بعض البذور (شكل 54: ج).

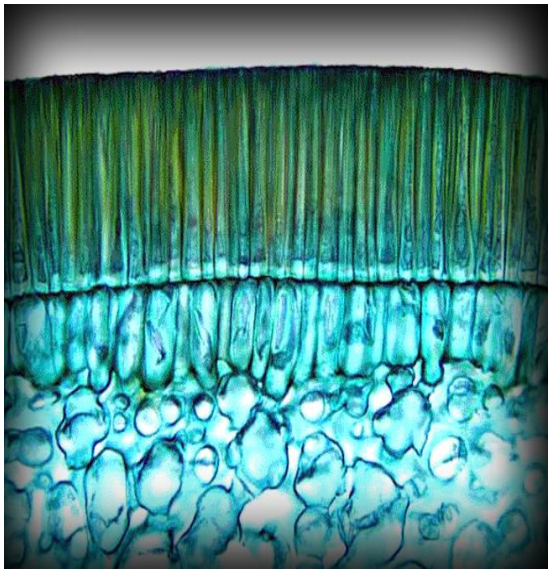
4_ خلايا حجرية نجمية Astrosclereids

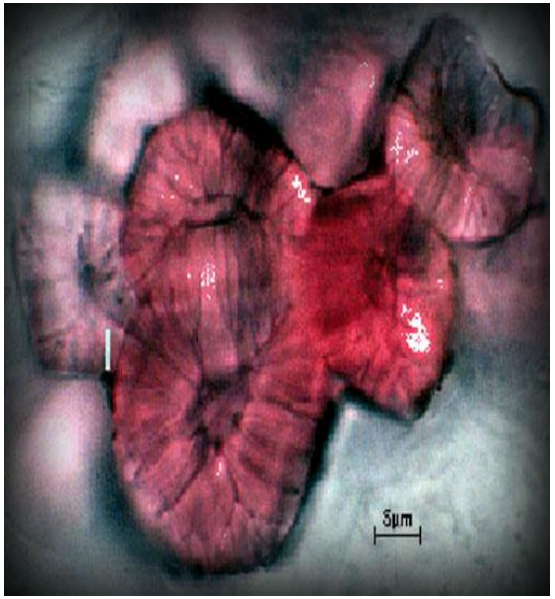
وهي خلايا متفرعة بدرجات متفاوتة وغالباً ما تشبه النجمة وتوجد في أوراق ذوات الفلقتين كما في أوراق نبات البشنين *Nymphaea* (شكل 54 : د).

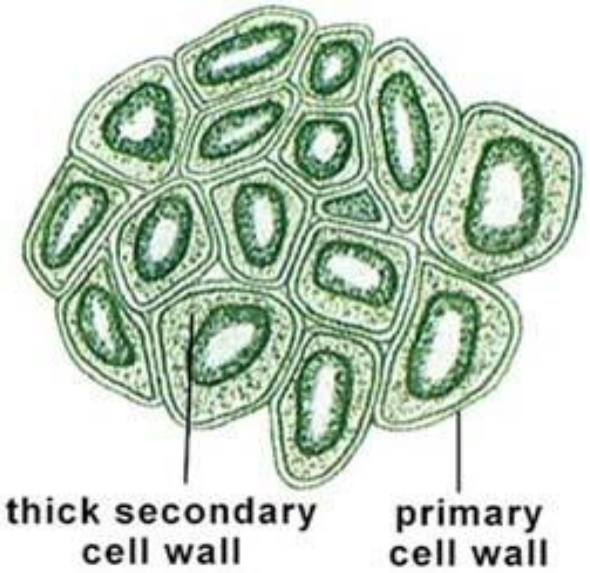
5_ خلايا حجرية شعرية Trichosclereids

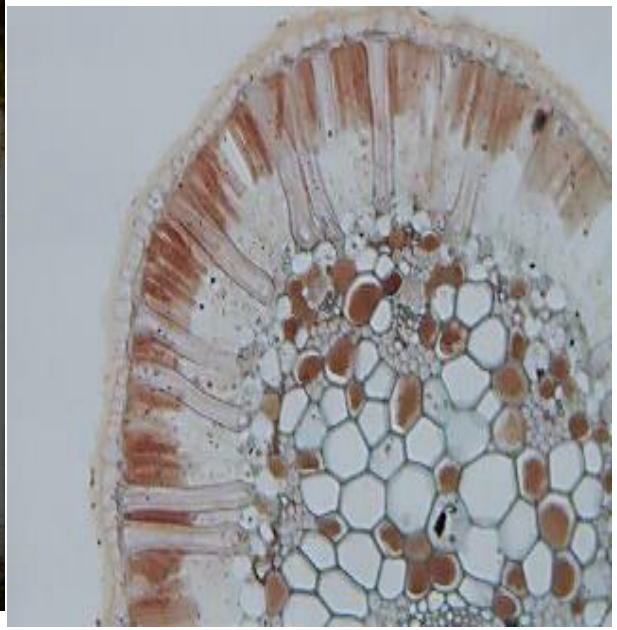
خلايا حجرية رقيقة الجدر متفرعة تتداخل الفروع بين المسافات البينية للخلايا كما في كثير من النباتات المائية. وهذا النوع قد يسمى خلايا حجرية رفيعة Filiform sclereids (شكل 54: هـ)

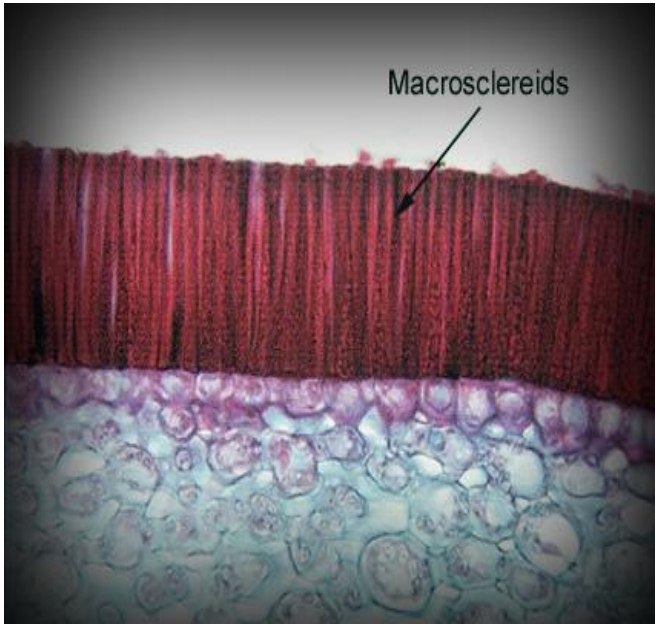
وقد تقسم الخلايا الحجرية إلى أكثر من ذلك، هذا وأن اختلاف أشكالها له أهمية كبيرة في تعريف النبات وربما له أهمية في التصنيف أيضاً.




5µm


thick secondary cell wall
primary cell wall




Macrosclereids

منشأ الخلايا الحجرية

لقد عمل العديد من الأبحاث حول منشأ **الخلايا الحجرية**، ولكن ما يزال المجال مفتوحاً إلى المزيد من هذه الدراسات نظراً لتعدد الآراء حول منشأها. كما أن تعدد أشكالها وتداخلها مع الألياف يجعل من الصعوبة بمكان تتبع منشأها، ولكن بالرغم من هذا فقد اقترح أنها قد تنشأ من **خلايا برنشيمية** وذلك بزيادة ترسب مادة جدار الخلية وفي هذه الحالة يكون منشأها ثانوياً أو من خلية إنشائية تخصصت لهذا الغرض (فوستر ,Foster 1947) (شكل 55).

وتنشأ **الخلايا الحجرية** الموجودة في الاسطوانة الوعائية من المنشئ الوعائي الأولي إذا كانت ضمن عناصر الخشب واللحاء الابتدائيين (بلوخ Bloch 1946) أو تنشأ من المنشئ الوعائي إذا كانت ضمن عناصر الخشب واللحاء الثانويين (إيفرت Evert 1963). أما **الخلايا الحجرية** الموجودة في النسيج الوقائي الثانوي ـ البشرة الطباقية ـ فتنشأ من المنشئ الفليني. كما تنشأ **الخلايا الحجرية** الموجودة في البشرة من منشئها. إن نمو وتكشف **الخلايا الحجرية** قد يفسر بأنه خليط من نمو سطحي في المراحل المبكرة لتكشف الخلايا ونمو ترسيبي تداخلي قمي لها في المراحل المتأخرة لتكشفها وذلك عندما تستطيل وتتداخل في المسافات البينية للنسيج النباتي (شكل 55).