فسيولوجى نبات

المحاضرة الأولى

الخلية النباتية

الجزء الأول

إعداد

أ.د/ أحمد لطفى ونس

أستاذ النبات وعميد الكلية

الخلية النباتية

تمهيد

الخلية هى الوحدة التركيبية والوظيفية الأساسية للحياة، فهى أصغر تركيب قادر على النمو والتكاثر، ويعتبر هذا المفهوم جزء من نظرية الخلية التى اقترحها فى مطلع القرن التاسع عشر كل من عالم النبات ماتياس شليدين Mthias Schleiden وعالم الحيوان تيودور شوان Thedor Schwann وقبل ظهور نظرية دارون، وتعتبر نظرية الخلية ونظرية التطور والنشوء هما الركيزة الأساسية للعلوم الحيوية (البيولوجية) الحديثة.

فى الكائنات وحيدة الخلية تعتبر الخلية كائن حى كامل، بينما فى الكائنات الراقية عديدة الخلايا فإنه يوجد تجمع لعدد كبير من الخلايا المختلفة والتى تنتظم فى منظومة دقيقة وفى تعاون شديد فيما بينها مكونة أنسجة مختفة (النسيج مجموعة من الخلايا المقترنة معاً ولها نفس الأصل وتشارك فى أداء وظيفة أساسية واحدة) وتنتظم عدة أنسجة مختلفة لتكون عضواً، والأعضاء المختلفة تكون جسم الكائن الحى نباتا كان أو حيوانا، كما أن الخلايا تشترك أيضا فى عملية النمو Growth والتطور Development أو التغير التشكلى Morphogenesis لهذه الكائنات عديدة الخلايا من خلال تفاعلاتها الكيموحيوية وتخصصاتها الوظيفية، فليس من المدهش إذن أن حجم وشكل النبات يتحدد أساسا بعدد ومورفولوجية وتركيب الخلايا النباتية وليس من المدهش حقا وجود علاقة بين التركيب الخلوى والوظيفة.

لذلك فإن فهم تركيب وفسيولوجيا النبات يتوقف على فهم الأساس التركيبى والوظيفى لوحدة بناء جسم النبات ألا وهى الخلية، وقد ساعدت التقنيات الحديثة فى الفحص باستخدام الأجيال المتعاقبة من الميكروسكوب الإلكتروني على كسب كما هائلا من االمعلومات فى مجال دراسة الخلية النباتية.

لمحة تاريخية:

أول من شاهد الخلية تحت المجهر هو العالم الإنجليزي روبرت هوك Robert Hook عام 1665عند فحصه لقطاع فى نسيج الفلين حيث شاهدها كفراغ محدد بجدار بشبه الحجرة الصغيرة فأطلق عليها إسم الخلية Cell وترجع تسميتها بهذا الإسم إلى مشابهتها لشكل خلايا النحل وقد إشتق الإسم الإنجليزي (Cell) من الكلمة اللاتينية Cellula وتعنى الحجرة الصغيرة، واتضح له بعد ذلك أن خلية الفلين هى خلية ميتة عندما قارنها بخلايا أوراق بعض النباتات حيث لاحظ أن خلايا الأوراق تحتوى على سائل أطلق علية إسم عصير Juice والذى أطلق عليه هانشتاين Hanstein عام 1880 مصطلح البروتوبلاست Protoplast وهو مصطلح يطلق حاليا على جميع محتويات الخلية عدا الجدار الخلوى، ومن ثم زاد الإهتمام بدراسة هذا السائل حيث إكتشف روبرت براون Robert Brownعام 1831 جسماً كروياً أسماه النواة Nucleus عند فحصه لخلايا بشرة نبات من جنس الأوركيد Orchids كما ميز هوجو فون مول Hugo Von Mohlعام 1846 بين البروتوبلازم والعصير الخلوي Cell sap ثم إقترح كوليكر Kollikerعام 1862 إطلاق إسم السيتوبلازم Cytoplasm على المادة التي تحيط بالنواة، ومنذ ذلك التاريخ إلى يومنا الحاضر توالت الإهتمامات بدراسة الخلية التي نتج عنها العديد من الإكتشافات لمحتويات الخلية سواء كان ذلك بالمجهر الضوئى أو المجهر الالكتروني مما جعل دراسة الخلية علما قائما بذاته.

نظرية الخلية Cell Theory

هى نظرية إشترك فى وضعها عالمان ألمانيان أحدهما عالم نبات هو Schleiden والأخر عالم حيوان هو Schwannعام 1839 وتتلخص مبادىء هذه النطرية فى النقاط التالية:

1- الخلية هى وحدة بناء جسم الكائن الحى. 2- الخلية تقوم بجميع العمليات الحيوية.

3- الخلايا تنشأ من إنقسام خلايا سابقة أى أن الزيادة فى عدد الخلايا يحدث نتيجة لإنقسام الخلايا.

ونظرية الخلية نظرية عامة تنطبق على كل الكائنات الحية نباتية كانت أو حيوانية، فهناك كائنات وحيدة الخلية (كائنات أولية) وأخرى عديدة الخلايا، وقد يقتصر تركيب الكائن عديد الخلايا على عدد محدود منها كما فى مستعمرة طحلب باندورينا وهو من الطحالب الخضراء ويتكون من 16 خلية فقط، فى حين يرتفع العدد في كائنات أخرى مثل النباتات والحيوانات الراقية لدرجة يصعب معها حصره بدقة، وأى كائن حى مهما كبر حجمه نشأ فى وقتا ما من خلية واحدة (الزيجوت) إنقسمت وكونت الجنين الذى بإنقسام خلاياه ونموها وتشكلها كون الكائن الضخم نباتا كان أو حيوان.

وقد أدى التقدم فى بعض العلوم مثل الكيمياء الحيوية والبيولوجية الجزيئية وفى وسائل البحث العلمى والفحص بالمجهر الإلكترونى إلى إكتشاف إختلافات كبيره فى تركيب وسلوك الخلية البكتيرية عن خلايا الكائنات الحية الأخرى مما أدى إلى تقسيم الكائنات الحية إلى مجموعتين متميزتين هما:

أهم الإختلافات بين الخلية بدائية النواة والخلية حقيقة النواة

يتكون الجهاز الحامل للصفات الوراثية (النواة البدائية) فى البروكاريوتات من خيط واحد مزدوج من DNA غير مرتبط مع RNA ولا يفصله عن السيتوبلازم أى غشاء، وكثيراً ما يكون الجهاز الوراثى بالخلية على شكل حلقة ويعرف حينئذ بالكروموسوم الدائرى .

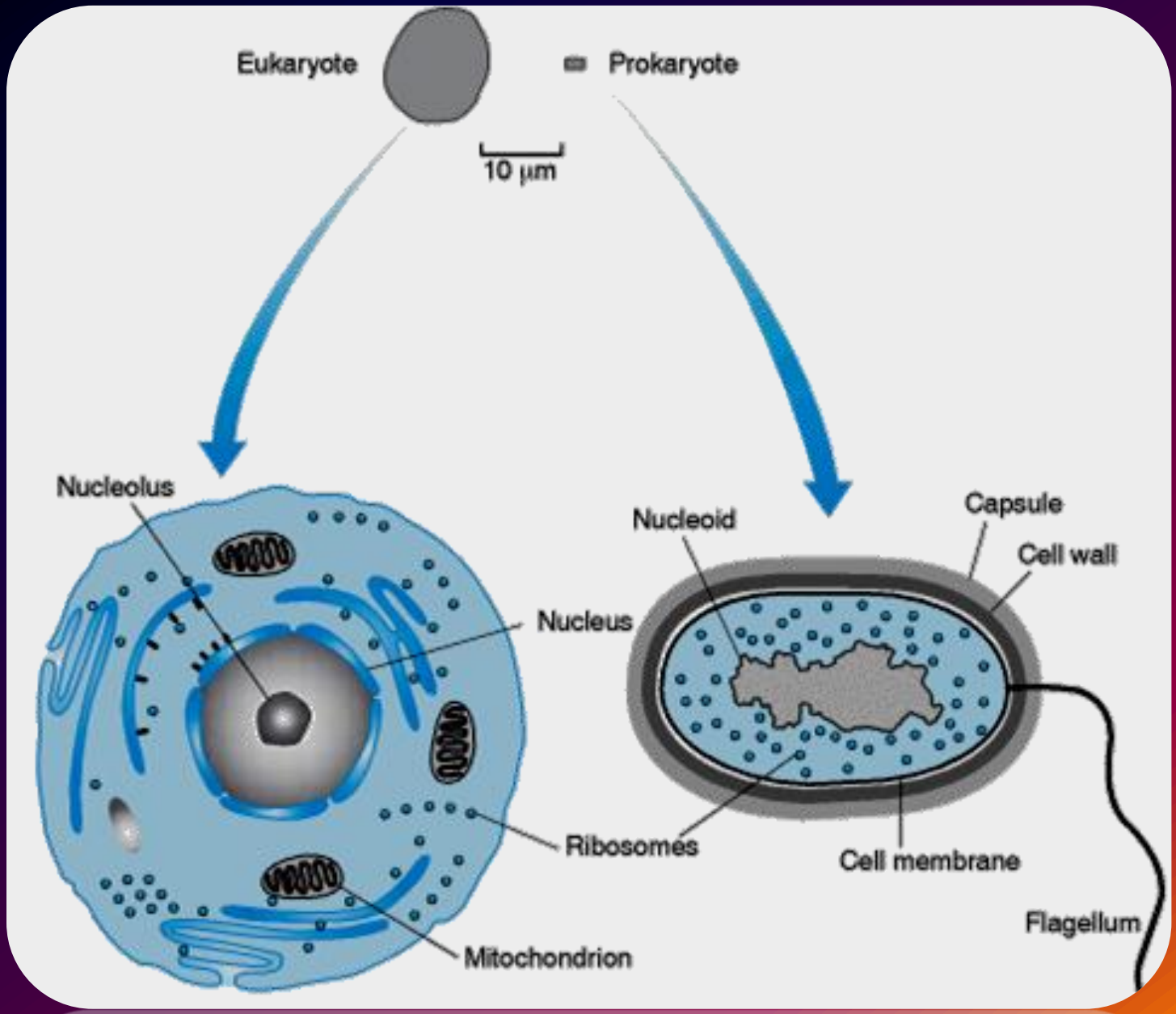
1) تفتقر البروكاريوتات إلى الإنقسام الميتوزى وتكوين خيوط مغزلية وتتكاثر بالإنقسام الثنائى البسيط والتكاثر الجنسى غير شائع ويكون غير كامل حيث تحدث توافيق جزيئية بين المادة الوراثية للخلايا إذا ما حدث إقتران بين فردين.

2) تفتقر خلايا البروكاريوتات إلى العضيات الغشائية مثل الميتوكوندريا والبلاستيدات وأجسام جولجى والشبكة الإندوبلازمية والفجوات العصارية.

3) الغشاء البلازمى ينثنى مكونا طيات تسمى الجسيمات المتوسطة Mesosomes تحوي إنزيمات لإنتاج الطاقة أى تقوم بعمل الميتوكوندريا في الكائنات ذات الأنوية الحقيقية أو تحتوى على صبغات أو إنزيمات خاصة بالبناء الضوئي فتقوم بعمل البلاستيدات الخضراء في النبات الراقى.

4) الريبوسومات فى البروكاريوتات صغيرة الحجم وذات ثابت ترسيب Svedberg unit قيمته 70 S وهو يعبر عن حجم الريبوسومات حيث تدل على السرعة التى تترسب بها خلال الطرد المركزى فكلما كبرت قيمة S كانت الريبوسومات أكبر حجما، بينما ثابت الترسيب فى الإيوكاريوتات قيمته 80 S.

5) تحاط خلايا البروكاريوتات بجدار خلوى غير سليلوزى يتكون من سكريات عديدة ببتيدية تسمى Peptidoglycans (PG) وهذه المادة تكسب جدار الخلية صفات خاصة إذ يكون صلبا قويا وغير مرن.



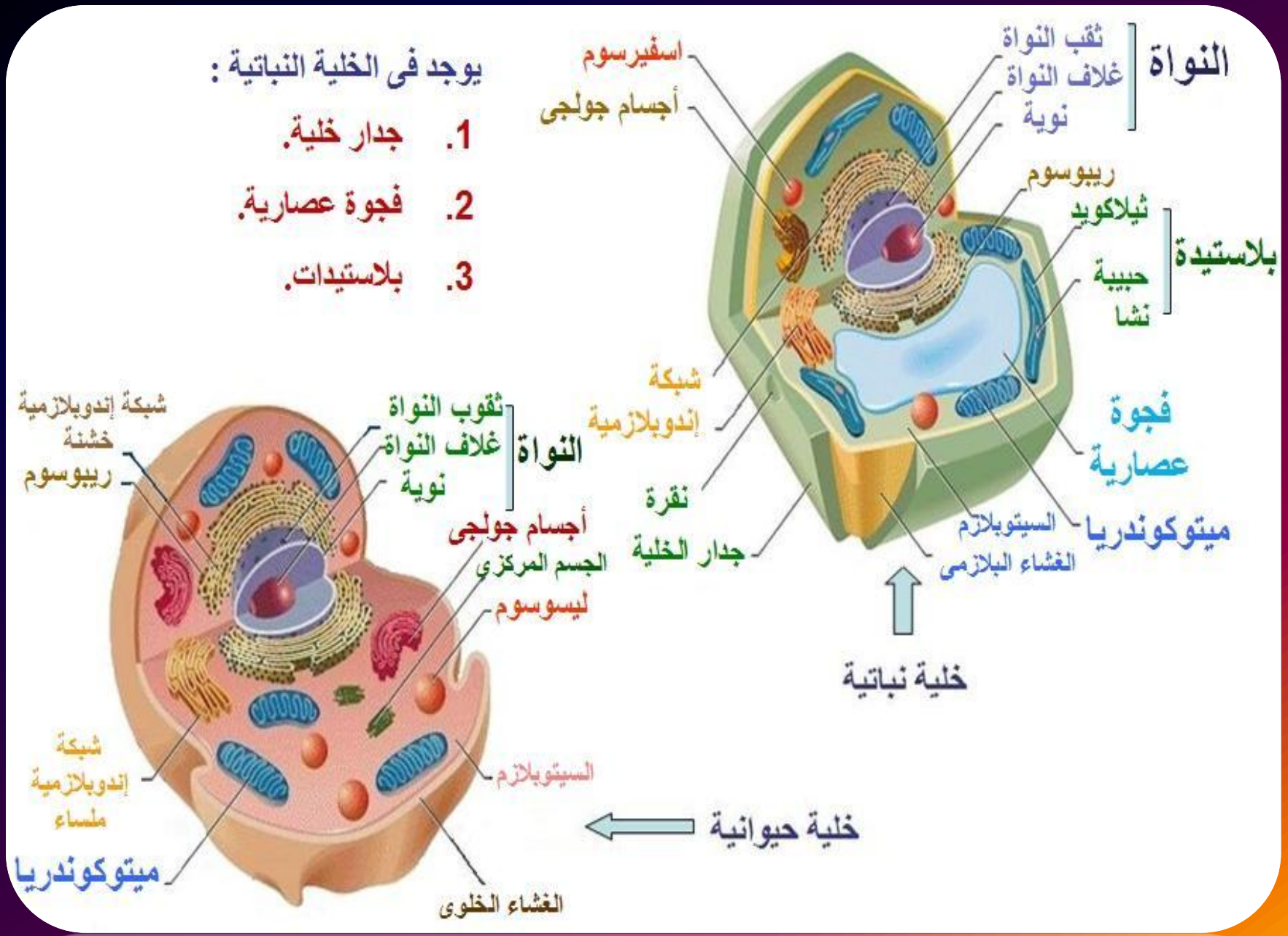
رسم تخطيطى يوضح تركيب خلية بدائية النواة وأخرى حقيقية النواة.

الخلايا الحقيقية تتميز بوجود نواة حقيقية محاطة بغشاء أو غلاف نووى به ثقوب يقسم بروتوبلازم الخلية إلى قسمين أساسين هما النواة والسيتوبلازم، ويحاط السيتوبلازم بالغشاء البلازمى ويحاط الغشاء البلازمي من الخارج فى الخلايا النباتية بجدار صلب يعرف "بجدار الخلية" حيث تتخلله نقر أو قنوات تمر بها خيوط بروتوبلازمية تعرف بالبلازموديزمات Plasmodesmata. أما الخلية الحيوانية فلا تحاط بمثل هذا الجدار بل تحاط بغشاء بلازمى يغطى جزء منه بغشاء خلوى حيوانى يعرف باسم Extraneous-coat. تحتوى الخلايا حقيقية النواة نباتية كانت أو حيوانية على عضيات خلوية غشائية مثل الميتوكوندريا وأجسام جولجى والريبوسومات وغيرها، إلا أن هناك إختلافات تركيبية هامة بين الخلية النباتية والخلية الحيوانية

وجه المقارنة	الخليــة النباتيـــــة	الخليــة الحيوانيــة
الجدار الخلوى	يوجد لها جدار سليلوزى منفذ يليه من الداخل غشاء بلازمى ذو نفاذية إختيارية	لا يوجد لها جدار سليلوزى ولكن يوجد غشاء بلازمى ذو نفاذية إختيارية
البلاستيدات	تحتوى على بلاستيدات	لا تحتوى على بلاستيدات
الفجوات العصارية	تحتوى على فجوات عصارية وفى الخلايا البالغة توجد فجوة مركزية كبيرة	لا توجد فجوات وإن وجدت فهى صغيرة الحجم وعادة توجد في الحيوانات الأولية وحيدة الخلية التي تعيش في الماء العذب
الجسم المركزى	لا يوجد جسم مركزى	يوجد جسم مركزى

يوجد فى الخلية النباتية :

1. جدار خلية.
2. فجوة عصارية.
3. بلاستيدات.



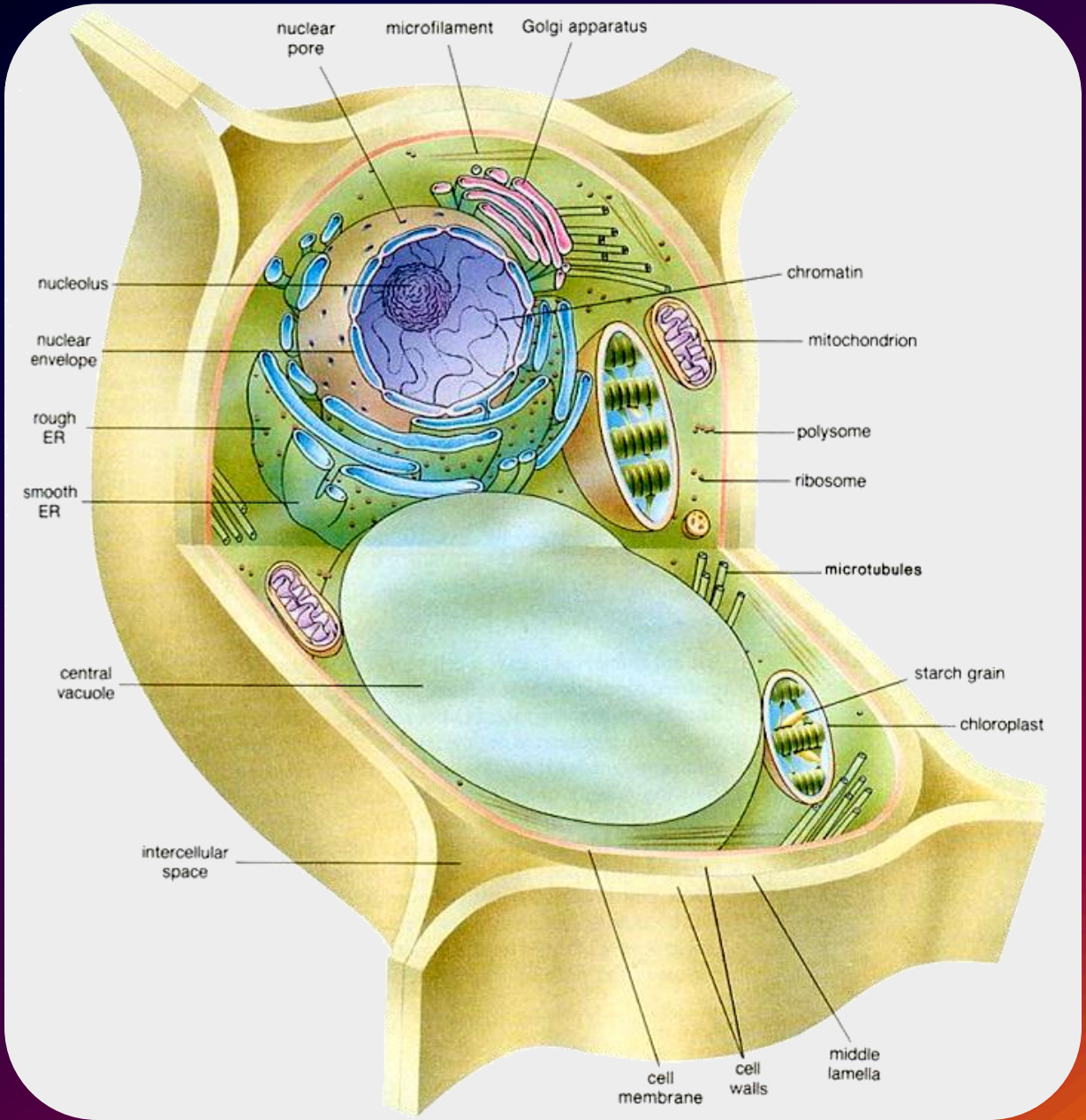
رسومات ثلاثية الأبعاد توضح تركيب كل من الخلية النباتية والخلية الحيوانية.

الخلية النباتية Plant cell

يتكون جسم النبات الراقى من مجموعة أعضاء Organs هى الجذور والسيقان والأوراق والأزهار والثمار، وكل عضو يتكون من مجموعة من الأنسجة Tissues، ويتكون النسيج من مجموعة من الخلايا التى لها نفس الأصل وتشترك فى أداء وظيفة أساسية واحدة، لذا تعتبر الخلية النباتية هى الوحدة التركيبية والوظيفية للنبات حيث تتميز بقدرتها الكامنة أو الظاهرة على القيام بجميع الوظائف الحيوية اللازمة لصفة الحياة.

ويمكن وصف حياة الخلية النباتية بأنها مجموعة من التفاعلات الكيموحيوية المختلفة والمتزامنة فى تناسق دقيق، وبعبارة أبسط فإن الخلية فسيولوجياً هى وحدة بيولوجية ذات كفاءة متكاملة وعالية ومكيفة للنمو والتطور، وتختلف الخلايا فى الشكل والوظيفة والحجم.

وقد ساعد المجهر الإلكترونى فى الحصول على تصورا مجسما عن التفاصيل الدقيقة لما تحتويه الخلية النباتية، حيث تتميز داخلياً إلى أجزاء مميزة تظهر وظائف مختلفة فالمادة الوراثية (DNA & RNA) توجد ضمن النواة المحاطة بالغشاء النووي Nuclear membrane، ويقوم بالبناء الضوئى عضيات صغيرة ذات شكل مميز هي البلاستيدات الخضراء Chloroplasts وتحاط هي الأخرى بغشاء يفصلها عن السيتوبلازم، كما يتم التنفس في الخلية عن طريق عضيات صغيرة محاطة بغشاء هي الميتوكوندريا Mitochondria، وتفرز مواد الجدار الخلوى من جسيمات خاصة تأخذ صفة غشائية هي الدكتيوسومات Dictyosomes، ويتم تكوين البروتين بواسطة الريبوسومات Ribosomes والشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum (E.R.) وجميع هذه العضيات الغشائية مغموسة في مادة سائلة هى البلازما الأساسى Ground plasma. وبعبارة أخرى فإن الوظائف الحيوية تتم فى جسيمات أو عضيات منفصلة ومنتظمة التركيب ومتعاونة للعمل بإيقاع متزن بيولوجياً على مستوى الخلية بل وكثيراً على مستوى النسيج النباتى، وأن النواة هى أساس التحكم فى العوامل الوراثية وبالتالى التحكم فى الإنقسام والوظائف الفسيولوجية والنمو.



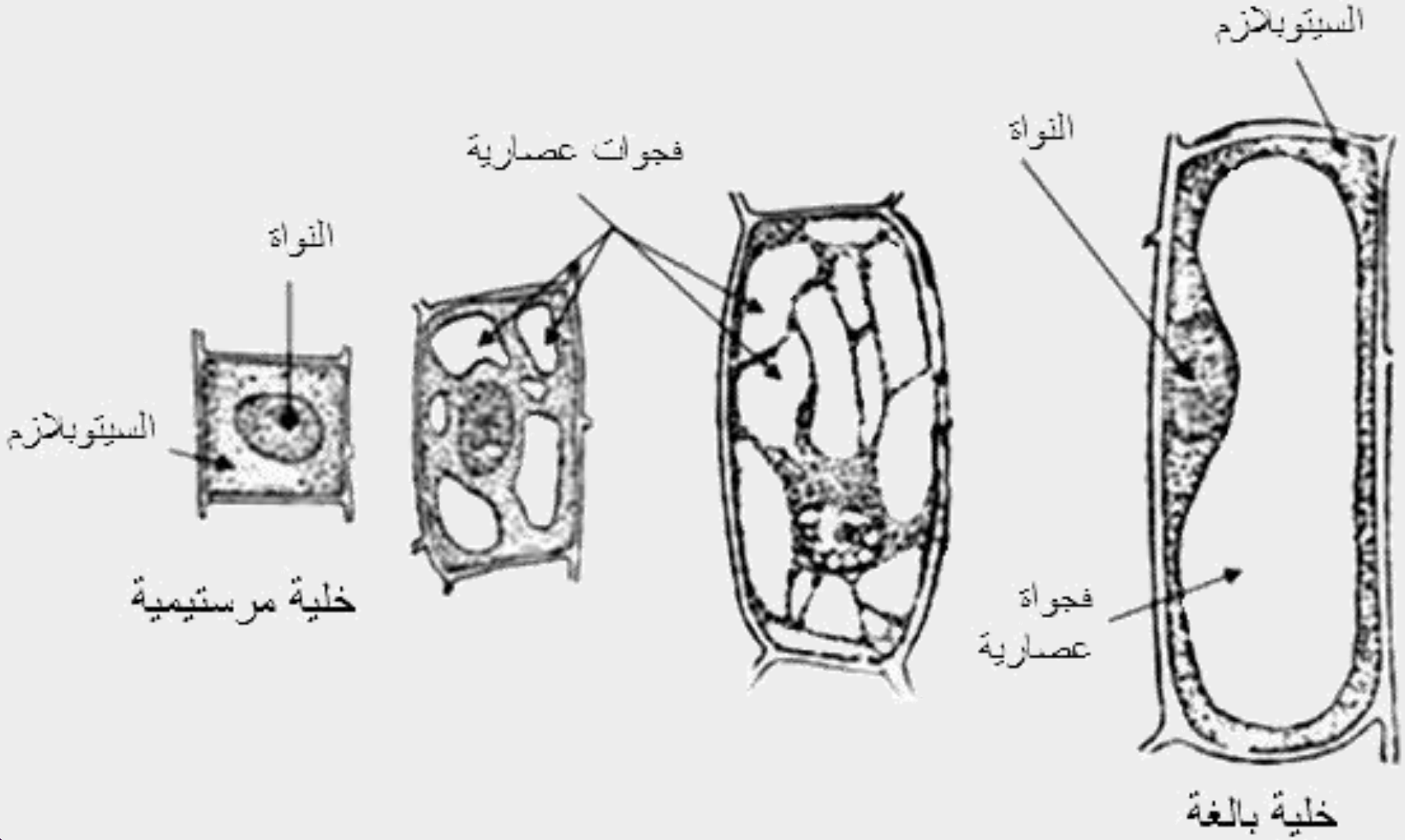
رسم ثلاثى الأبعاد يوضح تركيب الخلية النباتية النمطية.

مراحل نمو الخلية النباتية

تمر الخلية النباتية فى نموها بثلاثة مراحل:

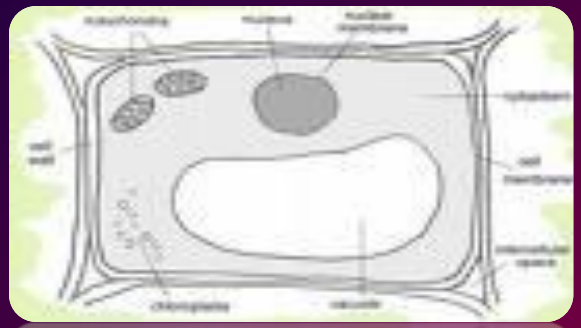
- المرحلة الإنشائية: تحدث هذه المرحلة فى مناطق النمو بجسم النبات وهى قمم السيقان والأفرع والجذور وكذلك بدايات الأوراق والبراعم وهى مناطق تتكون من خلايا مرستيمية تتميز بأنها رقيقة الجدار، صغيرة الحجم، تحتوى على أنوية وسطية، النواة تبدو كبيرة الحجم نظرا لصغر حجم الخلية، تحتوى على سيتوبلازم كثيف، تظهر بها فجوات عصارية صغيرة وتشاهد بينها مسافات بينية دقيقة إذا ما فحصت بإستخدام الميكروسكوب الإلكترونى. وظيفة الخلايا المرستيمية هى الإنقسام وتكوين خلايا جديدة تنمو وتتشكل لتبنى جسم النبات.

- مرحلة الإستطالة (التحول إلى خلايا بالغة): تنمو الخلايا الناتجة من الإنقسام وتزداد فى الحجم نتيجة إنتقال الماء والذائبات إليها من الخلايا المجاورة والوسط المحيط بها فتتمدد محتوياتها الداخلية وتضغط على الجدار الخلوى فيتمدد بدورة مسببا إتساع الخلية (جدار الخلية فى هذه المرحلة جدار إبتدائى رقيق يمتاز باللدونة والمطاطية حتى لا يعوق الخلية عن الإستطالة)، يتجمع الماء والذائبات فى بادئ الأمر داخل فجوات عصارية صغيرة تظهر على هيئة قطرات ثم تزداد فى الحجم تدريجياً باستمرار دخول الماء والذائبات إلى الخلية مما يؤدى إندماج بعض الفجوات معا مكونة فجوات أكبر تكسب السيتوبلازم مظهرا شبكيا وتظهر النواة فى وسط الخلية ممسوكة ببعض خيوط السيتوبلازم، ومع إستمرار دخول الماء والذائبات إلى الخلية يزداد حجم الفجوات العصارية فتندمج مع بعضها فى النهاية مكونة فجوة واحدة كبيرة وسطية تدفع السيتوبلازم والنواة بجوار جدار الخلية. يصاحب زيادة الخلايا فى الحجم حدوث تغير فى شكلها نتيجة تزاحم الخلايا أثناء نموها وضغطها على بعضها البعض، ويؤدى التغير فى شكل الخلايا أثناء نموها إلى حدوث إنفصال جزئى للصفيحة الوسطى التى تلصق الخلايا المتجاورة ببعضها مما يؤدى إلى ظهور المسافات البينية بين الخلايا. بعد وصول الخلايا إلى الحجم النهائى لها والذى يصبح عنده الجدار الإبتدائى فى أدنى درجات المطاطية تتوقف عن الإستطالة بأن يبدأ تكوين الجدار الثانوى وحينئذ تكون الخلايا قد أصبحت خلايا بالغة

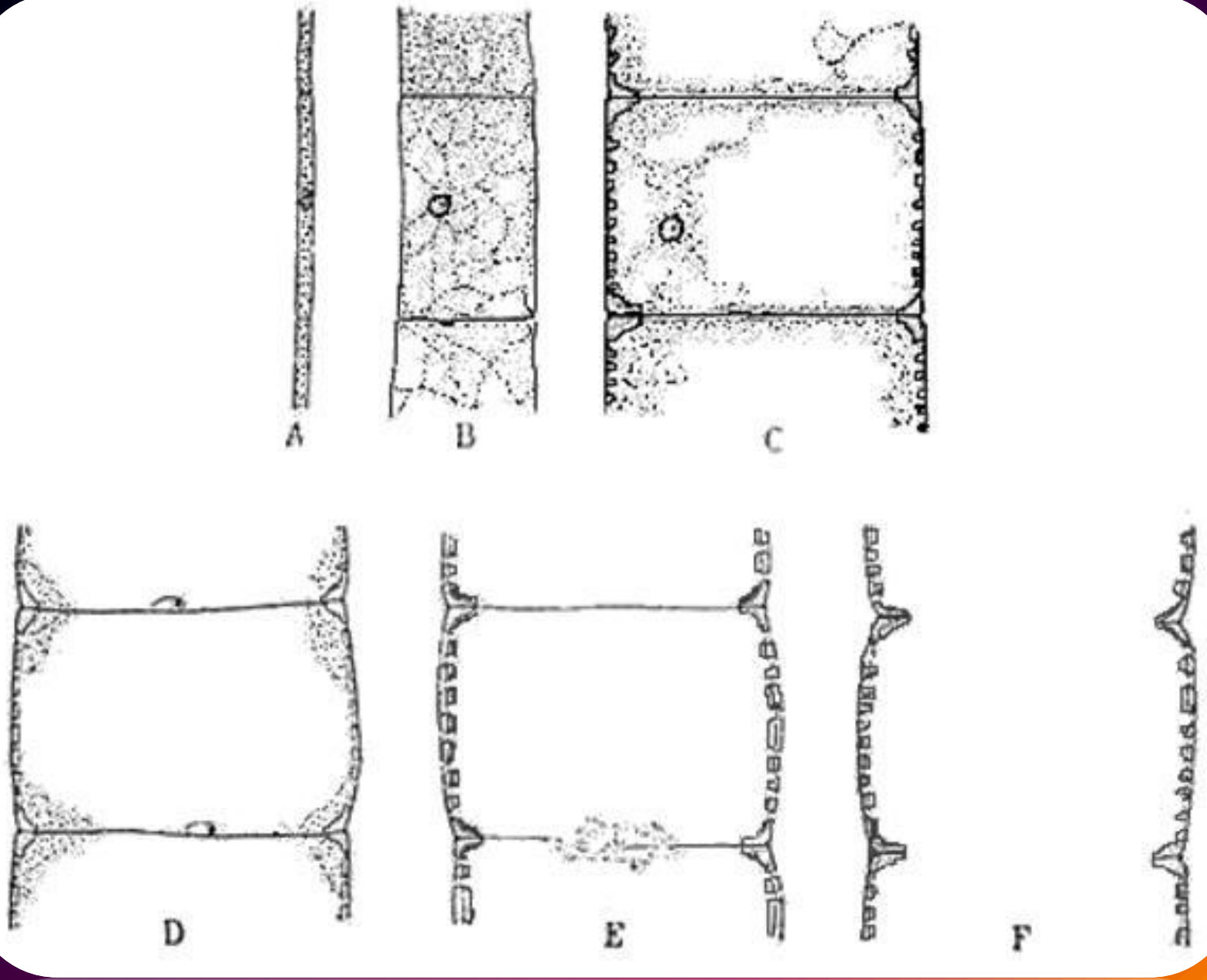


رسم تخطيطى يوضح مراحل نمو خلية ناتجة حديثا من الانقسام وتحولها إلى خلية بالغة

مقارنة بين الخلية المرستيمية والخلية البالغة

وجه المقارنة	الخلية المرستيمية	الخلية البالغة
حجم الخلية	صغيرة الحجم	كبيرة الحجم
سمك الجدار	رقيق (جدار إبتدائى)	سميك (جدار إبتدائى + ثانوى)
السيتوبلازم	كثيف	طبقة رقيقة تبطن الجدار الخلوى
النواة	كبيرة نسبياً	صغيرة نسبياً
الفجوات	لا توجد فجوات أو تكون دقيقة	توجد فجوة واحدة كبيرة عادة
السافات البينية	صغيرة جدا أو غير موجودة	توجد مسافات بينية واسعة عادة
القدرة على الإنقسام	لها القدرة على الإنقسام	فقدت القدرة على الإنقسام
الرسم		

- **مرحلة التخصص أو التميز:** فى هذه المرحلة يتم تشكل الخلايا بعد أن أصبحت خلايا بالغة لتؤدى كل مجموعة منها وظيفة معينة تبعا لمنشأها وموضعها فى جسم النبات، ويتم تشكل الخلايا بحدوث تغير فى تركيبها يلائم الوظيفة التى ستؤديها، فمثلاً إذا كانت الخلية ستصبح خلية بشرة لساق هوائية أو ورقة خوصية يترسب على جدارها الخارجى (المعرض للجو) مادة الكيوتين لتكون طبقة الأدمة **Cuticle** وهى تمثل جداراً ثانوياً يزيد فى تدعيم خلية البشرة ويعمل على حماية الأنسجة الداخلية من فقد الماء بالتبخير، أما إذا كانت ستصبح خلية بشرة جذر فإن جدارها الخارجى يمتد للخارج مكون نتوء أنبوبى الشكل يعرف بالشعيرة الجذرية **Root hair** تندفع النواة بداخلها مع جزء من السيتوبلازم وتستقر بالقرب من طرفها ولا تكون خلايا بشرة الجذر جدر ثانوية (طبقة الكيوتيكل) كما يحدث فى بشرة السيقان الهوائية والأوراق، وذلك لأن وظيفة البشرة فى الجذر هى إمتصاص الماء والأملاح الذائبة من التربة. إذا كانت الخلية ستصبح خلية كلورانكيمية فإنه يتكون بها عدد كبير من البلاستيدات الخضراء التى تقوم بعملية البناء الضوئى ولا تحتاج هذه الخلايا إلى تكوين جدر ثانوية. يوضح الشكل التالى خطوات نمو وتشكل الوعائى الخشبى، حيث ينشأ وعاء الخشب من صف رأسى من الخلايا الناتجة من إنقسام خلايا البروكامبيوم (فى حالة الخشب الإبتدائى) أو الكامبيوم الوعائى (فى حالة الخشب الثانوى) والتى تنمو وتستطيل حتى تصل إلى حجمها النهائى ثم تتشكل مكونه وعاء خشبى وذلك بأن يترسب على جدرها الطولية (وهى جدر إبتدائية) جدار ثانوى من السليلوز واللجنين يأخذ أشكال مختلفة، ويذوب الجدار الإبتدائى والصفيحة الوسطى فى أماكن تكوين الثقوب فى الجدر المستعرضة بواسطة الإنزيمات الموجودة فى البروتوبلاست وقد تذوب الجدر المستعرضة بالكامل ويتكون مكان كل منها ثقب واحد متسع، كما يتحلل البروتوبلاست ذاته بواسطة الإنزيمات التى تفرزها الإسفيروسومات وتقوم الفجوات العصارية بإلتقام العضيات الخلوية وتحللها ثم تتحل أغشية الفجوات نفسها وتختفى وبذلك تصبح خلايا الوعاء الخشبى خلايا ميتة عند نضجها وتصبح تجاويف هذه الخلايا متصلة ببعضها البعض عن طريق الثقوب الموجودة بالجدر المستعرضة مما يسمح للماء والمواد الذائبة فيه بالمرور خلال الوعاء فى الإتجاه الرأسى دون أى عائق، كما أن وجود النقر فى الجدر الجانبية لوحدات الوعاء يسمح للماء بما فيه من مواد ذائبة بالإنتشار الجانبى.



رسم تخطيطى يوضح خطوات نمو وتشكل الوعاء الخشبى.

Structure of plant cell تركيب الخلية النباتية

1- الجدار الخلوى Cell wall

2- البرتوبلاست Protoplast ويتكون من:

(أ) البروتوبلازم Protoplasm(المكونات الحية) وتشمل:

- السيتوبلازم ويتركب من:

الأغشية البلازمية Plasma membranes أى الغشاء البلازمى خارجى Ectoplast والغشاء البلازمى الداخلى Tonoplast ويسمى أيضا بالغشاء الفجوى Vacuolar membrane - بلازما الأساس Ground plasm - الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum، ويوجد به عضيات سيتوبلازمية غشائية مثل البلاستيدات Plastids والميتوكوندريا Mitochonderia والريبوسومات Ribosomes والديكتيوسومات Dectyosomes والجسيمات الدقيقة Microbodies وعضيات غير غشائية مثل الأنيبيبات الدقيقة Microtubules.

- النواة Nucleusوتتركب من:

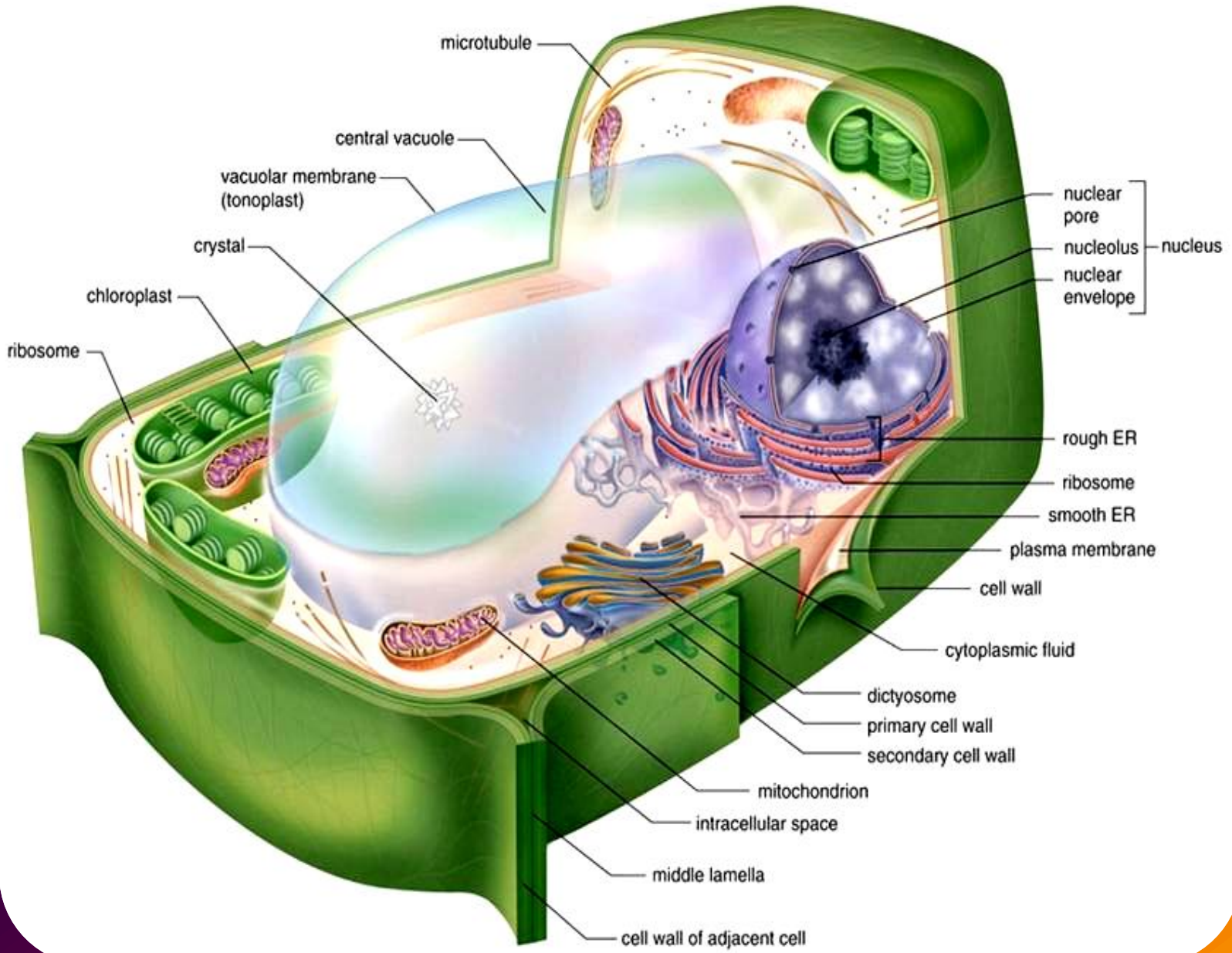
غلاف نووى Nuclear envlope - العصير النووى Nuclear sap - الشبكة الكروماتينية Chromatin reticulum- نوية Nucleolus.

(ب) مكونات غير بروتوبلازمية (مكونات غير حية) وتشمل:

- العصير الخلوى الذى يوجد داخل الفجوة العصارية Vacuole
- المواد الكربوهيدراتية Carbohydrates
- البروتينات Proteins
- الدهون Fats

أشباه القلويات Alkaloids - التأنينات Tannins - الصموغ Gums - الأصباغ Stains

Plant Cell Structure



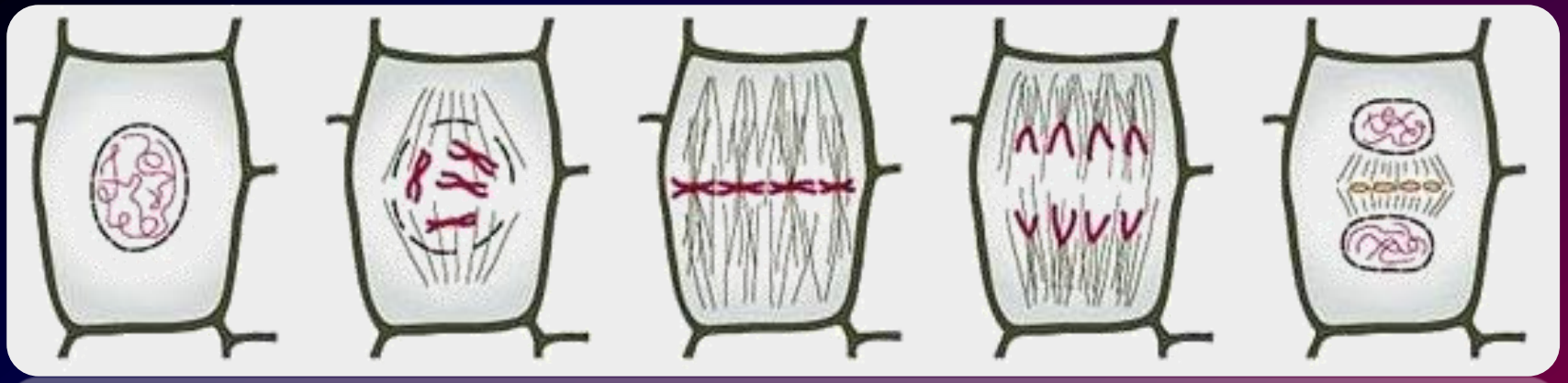
الجدار الخلوى Cell wall

تكوين الجدار الخلوى Cell wall formation

يختلف سمك وتركيب الجدار الخلوى تبعاً عمر الخلية ونوعها، ويتركب الجدار الخلوي من ثلاث أجزاء هي الصفيحة الوسطى Middle lamella - الجدار الإبتدائى Primary wall - الجدار الثانوى Secondary wall.

1- الصفيحة الوسطى Middle lamella:

نحن نعلم أن الخلايا المرستيمية نشطة فى إنقسامها وهذا الإنقسام يعرف بالإنقسام الميتوزى Mitosis والذى يسبب تضاعف الخلايا الجسمية تمييزاً له عن الإنقسام الميوزى أو ما يعرف بالإنقسام الاختزالى Meiosisذلك الإنقسام المرتبط بتكوين الجاميطات الجنسية (وهى خلايا عديمة الجدر الخلوية) عند حدوث التكاثر الجنسى. أما فى الإنقسام الميتوزى الذى يؤدى إلى تضاعف الخلايا الجسمية ذات الجدر الخلوية، فيبدأ تكوين الجدار الخلوى فى الطور النهائى من الإنقسام Telophase بعد أن تكون نواة الخلية الأم قد إنقسمت إلى نواتين واستقرت كل نواة مع جزء من السيتوبلازم فى أحد طرفى الخلية يعقب ذلك حدوث إنقسام للسيتوبلازم بتكوين الصفيحة الوسطى التى تقسم الخلية الأم إلى خليتين، حيث تهاجر الأنيبيبات الدقيقة Microtubulesالتى توجد فى السيتوبلازم إلى المنطقة الإستوائية للخلية الأمية مكونة نظام لتجميع مكونات الصفيحة الوسطى بين النواتين البنويتين يعرف بالفرجموبلاست Phragmoplast تنتقل إليه حويصلات تنتجها أجسام جولجى تحتوى على مواد الصفيحة الوسطى ثم تلتحم هذه الحويصلات معا على طول الفرجموبلاست لتكوين الصفيحة الوسطى التى تقسم السيتوبلازم وفى نفس الوقت تعمل كمادة لاصقة لجدر الخلايا الناتجة من الإنقسام. تشبه الصفيحة الوسطى فى بداية تكوينها الهلام لإحتوائها على نسبة عالية من حامض البكتيك والذى يحتوى جزيئه على ما يقرب من مائة جزىء من حمض الجلاكتورونيك Galacturonic acid، ثم تتصلب بعد ذلك نتيجة لتشبعها ببكتات الكالسيوم والمغنسيوم (أملاح غير ذائبة) بالإضافة إلى عديدات التسكر كالسليلوز وفى بعض الأحيان اللجنين، كما تحتوى الصفيحة الوسطى أيضا على كميات ضئيلة من البروتوبكتينيات Protopactins.



الطور النهائى الطور الانفصالى الطور الإستوائى الطور التمهيدى الطور البينى

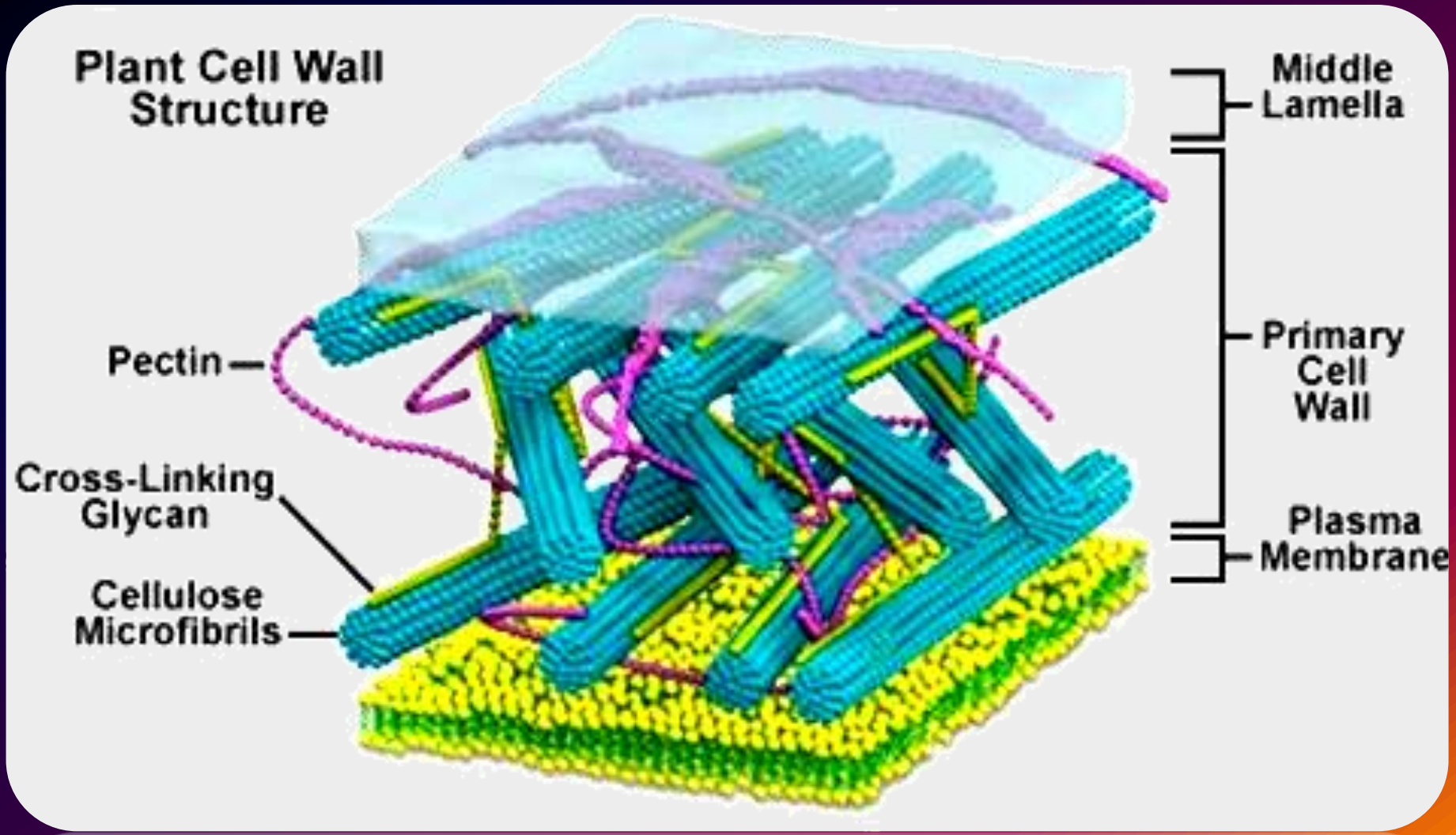
ترجع خاصية ليونة الثمار عند نضجها إلى زيادة فى ذوبانية المركبات البكتينية للصفيحة الوسطى كما تفقد تلك المركبات خاصية ترابطها ويعزى ذلك إلى تلك التفاعلات التى تشترك فيها إنزيمات تحليل البكتينات والتى يتزايد نشاطها كلما تقدمت الثمار فى النضج.

عند إحلال الصوديوم محل الكالسيوم والماغنسيوم فى أملاح البكتات تتفكك الخلايا عن بعضها، وهذا ما يحدث أثناء حفظ الثمار فى المحاليل الملحية المركزة والتى تحتوى على ملح الطعام.

إذن الدور تلعبه مكونات الصفيحة الوسطى هو لصق جدر الخلايا المتجاورة ببعضها البعض أى أنها تعمل على تماسك كل العدد الهائل من الخلايا والأنسجة المكونة للنبات ككل.

2- الجدار الإبتدائى Primary wall

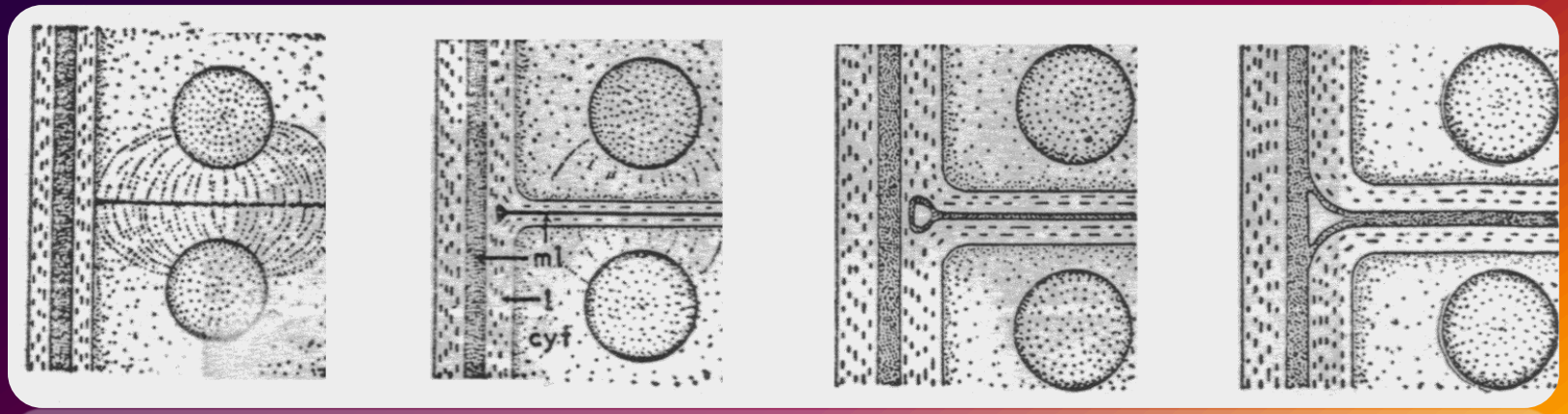
بمجرد تكوين الصفيحة الوسطى التى تقسم الخلية الأم إلى خليتين تنمو الخلايا الناتجة من الإنقسام وتزداد فى الحجم لتتحول إلى خلايا بالغة (مرحلة الإستطالة) ويصاحب ذلك تكوين الجدار الإبتدائى والذى يبدأ تكوينه عقب تكوين الصفيحة الوسطى مباشرة بأن يقوم سيتوبلازم كل خلية من الخليتين الناتجتين من الإنقسام بإنتاج مواد الجدار الإبتدائى (السليلوز كهيكل أساسى والهيميسليلوز وجليكوبروتينات ومواد بكتينية كمواد مكملة) ويرسبها فوق الصفيحة الوسطى التى تتكون من مواد جيلاتينية تشبه فى الفعل الصمغ اللاصق فينتج عن هذا الترسيب طبقة سمكها 1 : 3 ميكرون تمثل الجدار الإبتدائى أو الأولى وتصبح الصفيحة الوسطى محصورة بين جدارين إبتدائيين لخليتين متجاورتين، يتميز الجدار الإبتدائى فى بداية تكوينه بخاصية المطاطية العالية (القابلية للتمدد) حتى لا يعوق الخلية عن الزيادة فى الحجم. يستمر تكوين مواد الجدار الإبتدائى وترسيبها طوال مرحلة الإستطالة حتى يجارى الزيادة فى حجم الخلية دون أن يتمزق ويتم ذلك من خلال عمليتين، الأولى هى عملية الإغماد الداخلى Intrassusceptionوهى دخول المواد الجدارية الناتجة من السيتوبلازم مباشرة فى فراغات الجدار، والثانية هى عملية التراكم Apposition وهى ترسيب المواد الجدارية فى صورة طبقات جديدة فوق طبقات الجدار السابق تكوينها. ترجع المطاطية العالية التى يتميز بها الجدار الإبتدائى فى بداية مرحلة الإستطالة إلى إحتوائه على كمية كبيرة من السليلوز غير المتبلور وإلى المسام الدقيقة التى تمتلئ بالمركبات البكتينية المحبة للماء، ثم تقل نسبة السليلوز غير المتبلور وتزداد نسبة السليلوز المتبلور تدريجيا مع إستمرار زيادة الخلية فى الحجم وزيادة ترسيب وتراكم مكونات الجدار الإبتدائى فتزداد صلابته، مما يؤدى إلى فقد الجدار الإبتدائى لمطاطيته تدريجيا حتى يصبح فى أدنى درجات المطاطية وحينئذ تتوقف الخلية عن الزيادة فى الحجم.



رسم ثلاثى الأبعاد يوضح طريقة ترسيب لويفات السليلوز والمواد المكملة فى الجدار الإبتدائى

3- الجدار الثانوى Secondary wall

معظم الخلايا الحية مثل الخلايا البارنكيمية والكولنكيمية والأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة بعد أن تصل إلى الحجم النهائى لها (أى تصبح خلايا بالغة) تتوقف عن الإستطالة وعن ترسيب أى مواد جدارية أخرى ولذا تكون هذه الخلايا ذات جدر إبتدائية فقط. لكن بعض الخلايا الأخرى مثل القصيبات والأوعية الخشبية والألياف والخلايا الحجرية يستمر تغليظ جدرها بعد توقف الخلايا عن الإستطالة وتحدد شكلها لتكون جدار إضافى فوق الجدار الإبتدائى يعرف بالجدار الثانوى والذى يتكون من هيكل أساسى من السليلوز يختلط معه مواد أخرى مكملة تختلف تبعا لنوع الخلية فقد تكون اللجنين كما فى أوعية الخشب والقصيبات والألياف والخلايا الحجرية أو السوبرين كما فى خلايا الفلين أو الكيوتين كما فى خلايا بشرة والأوراق والسيقان العشبية، وقد يتكون الجدار الثانوى كله من السليلوز مثل ألياف اللحاء فى الكتان. يتميز الجدار الثانوى بأنه سميك وصلب حيث يتكون من عدة طبقات، لذا فإنه بعد الإنتهاء من ترسيب الجدار الثانوى تصبح الجدر الخلوية غير مرنة وغير مطاطة بالمرة ومن ثم تفقد الخلية القدرة على الزيادة فى الحجم. وقد يزداد تغلظ الجدار الثانوى إلى حد أنه يشغل معظم الحيز الداخلى للخلية ويسبب موت وتحلل البروتوبلازم تاركا تجويفا ضيقا مكانه وتصبح الخلية ميتة وتتركب من جدار خلوى فقط مثل أوعية الخشب والقصيبات والألياف والاسكلريدات



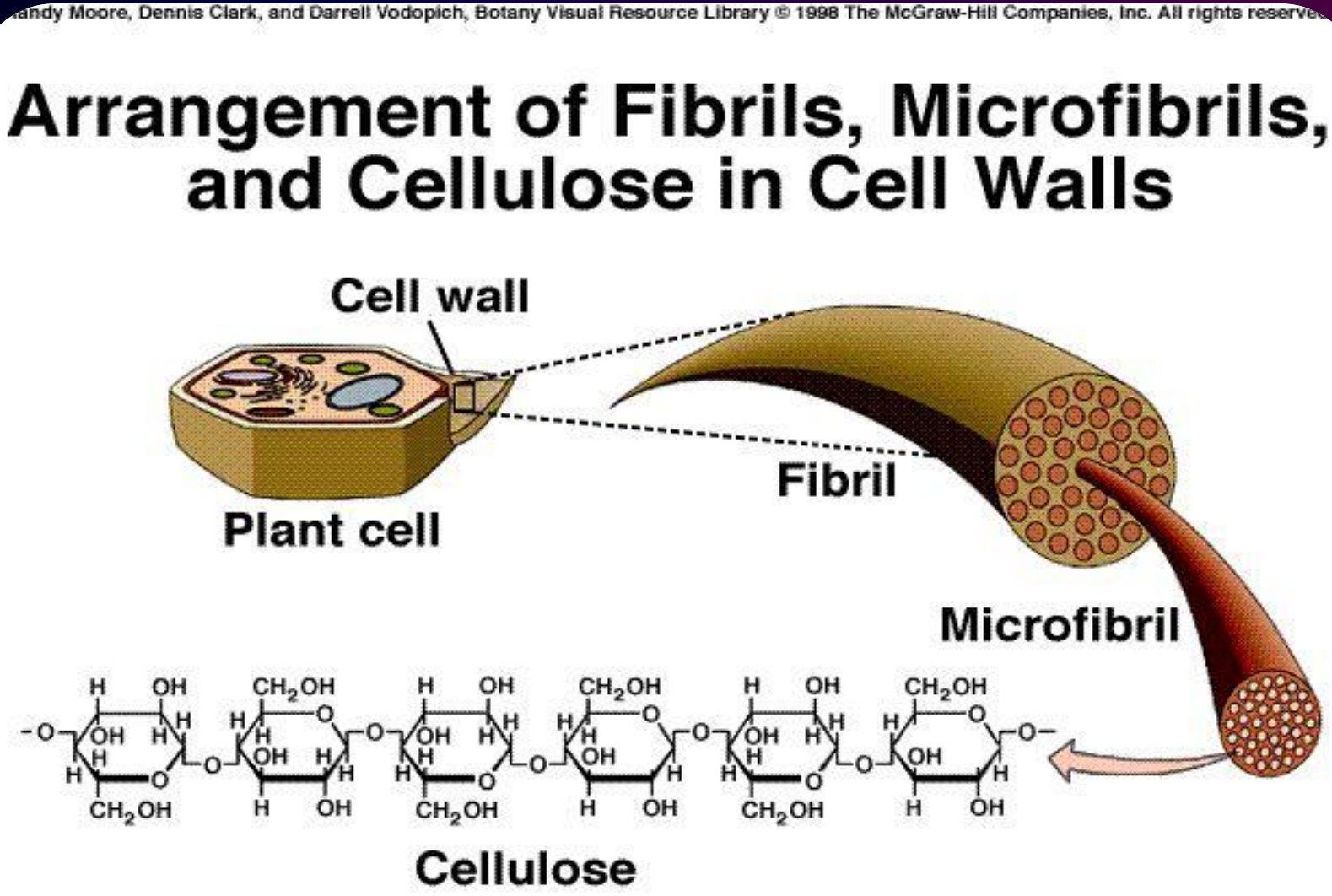
التنظيم الهرمى للهيكل السليلوزى فى الجدار الخلوى

ذكرنا من قبل أن الجدر الخلوية تتكون من مركبات عديدة إلا أن السليلوز هو المكون الرئيسى والسائد فى بناء الجدر الخلوية يليه اللجنين ثم بعض المركبات الأخرى. يكون السليلوز الهيكل الأساسى للجدار الخلوى، وهناك تدرج هرمى لتنظيم ترتيب السليلوز فى جدار الخلية وهذا التنظيم يبدأ بسلسلة بسيطة من السليلوز وكل مجموعة من السلاسل تكون الميسيلية Micelle وكل مجموعة من الميسيلات تكون لويفة دقيقة Microfibril وكل مجموعة من اللويفات الدقيقة تكون لويفة كبيرة Macrofibril.

يعتقد أن سلسلة السليلوز تتكون من ألف إلى عشرة ألاف من جزيئات الجلوكوز مرتبطة معا بروابط بيتا-1،4 جليكوسيد (ß-1,4 glycosid linkage)، ,تتجمع كل 100 سلسلة من السليلوز وترتبط مع بعضها فى حزمة منتظمة مكونة لويفة أولية أو ميسيلية Micelles Elementary fibril or والتى تظهر بها مناطق من سليلوز متبلور Crystalline Cellulose وفيها تكون سلاسل السليلوز متوازية ومناطق أخرى من سليلوز غير متبلور Amorphous Cellulose وفيها تكون سلاسل السليلوز غير متوازية، وتختلف النسبة بين السليلوز المتبلور والسليلوز غير التبلور تبعا لنوع وعمر الخلية ونوع الجدار، وتعتبر الميسيلية هى أصغر وحدة تركيبية للجدار الخلوى. والمستوى الثانى فى تنظيم ترسيب السليلوز هو تكوين اللويفات الدقيقة Microfibrils حيث تتجمع كل عشرين ميسيلية معا لتكوين لويفة دقيقة، وهذا يعنى أن كل لويفة دقيقة تتكون من حوالى 2000 سلسلة سليلوزية، ثم يحدث تجمع لكل حوالى 250 لويفة دقيقة تنتظم معا مكونة لويفة كبيرة، وتلك اللويفات الكبيرة تشبه نسيج أو جدل الحبل Woven rope(شكل 10) وكل لويفة منها عرضها 4 ميكرون وطولها 3,5 ميكرون.

التنظيم الهرمى لترتيب السليلوز فى الجدر الخلوية

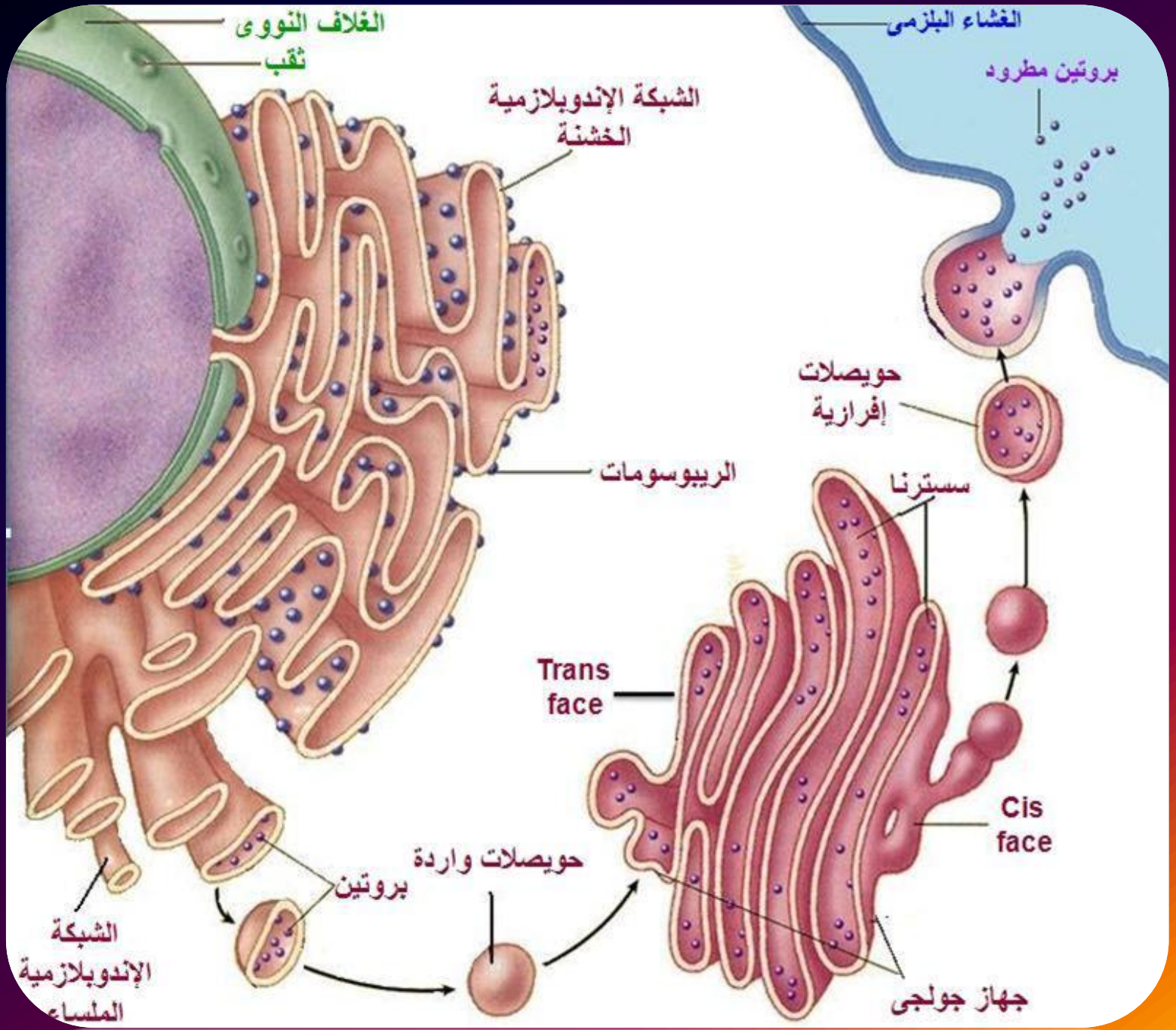
andy Moore, Dennis Clark, and Darrell Vodopich, Botany Visual Resource Library © 1998 The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserve



تمثيل الجدر الخلوية Cell wall synthesis

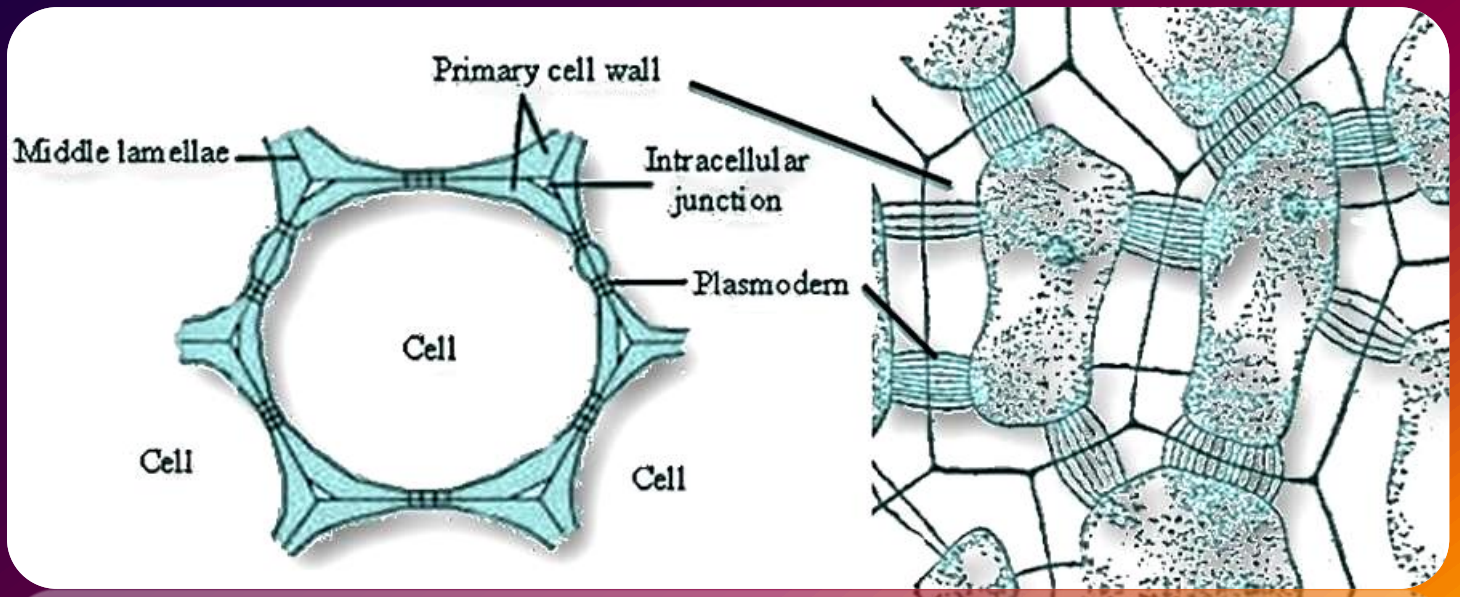
يتم بناء مكونات الجدر الخلوية فى السيتوبلازم وبالطبع لابد أن تنتقل هذه المركبات خلال الغشاء البلازمى إلى مناطق تكوين الجدار، فبروتينات الجدر الخلوي تنتجها الشبكة الإندوبلازمية الخشنة الحاملة للريبوسومات ثم تنتقل منها إلى أجسام جولجى، وعديدات التسكر (السليلوز والهيميسليلوزات) والمركبات البكتينية تنتجها أجسام جولجى ثم تتجمع هذه المركبات فى حويصلات تتبرعم من أجسام جولجى وتتحرك نحو الغشاء البلازمى حتى تصل إليه فتندمج معه بطريقة عكس طريقة البلعمة بحيث تنتشر محتوياتها على السطح الخارجى للغشاء البلازمى فى منطقة تكوين الجدار.

ويجب أن ننوه هنا إلى أن الأنيبات الدقيقة قد تلعب دورا أساسياً ومباشراً فى توجيه ترسيب اللويفات السليلوزية الدقيقة عند تكوين الجدار الخلوى خاصة أنه قد لوحظ إنتظام هذه الأنيبات الدقيقة بجوار الجدر أثناء تكوينها، وقد لوحظ أن اللويفات الدقيقة يتم ترسيبها فى المراحل الأولى من تكوين الجدار بشكل شبكى بينما يتم ترسيبها فى المراحل المتأخرة من تكوين الجدار فى نظام متوازى.


الغلاف النووى
ثقب
الشبكة الإندوبلازمية الخشنة
الريبوسومات
الغشاء البلزمى
بروتين مطرود
حويصلات إفرازية
سسترنا
Trans face
Cis face
جهاز جولجى
حويصلات واردة
بروتين
الشبكة الإندوبلازمية الملساء

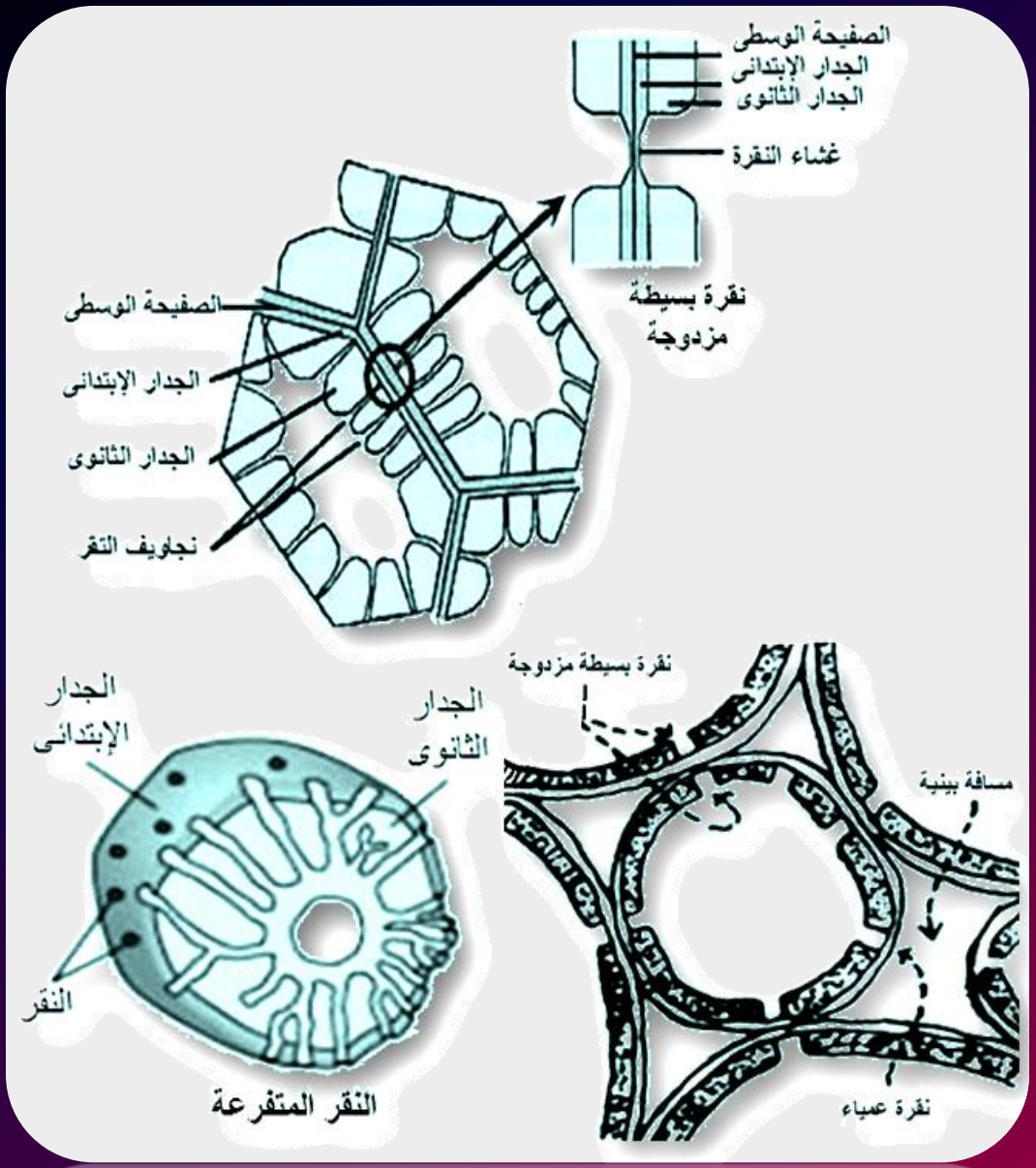
النقـــر Pits

النقر عبارة عن فتحات دقيقة فى جدر الخلايا يبدأ تكوينها أثناء تكوين الجدار الإبتدائى للخلية، حيث لا يتم ترسيب مواد الجدار الإبتدائى بإنتظام على سطح الصفيحة الوسطى بل تترك مساحات محدودة تكون منخفضة عن باقى سطح الجدار تسمى بحقول النقر الإبتدائية Primary pit fields توجد بها ثقوب دقيقة تمر منها خيوط بروتوبلازمية دقيقة تعرف بالبلازموديزماتا Plasmodesmata لتعمل على ربط المادة الحية للخلايا المتجاورة مع بعضها كما تعمل كطرق موصلة للماء والذائبات بين الخلايا المتجاورة. توجد حقول النقر الإبتدائية فى جدر الخلايا الحية مثل الخلايا المرستيمية والبارنكيمية والأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة. وعند تكوين الجدار الثانوى يتم ترسيب مكوناته فوق الجدار الإبتدائى ما عدا مناطق حقول النقر الإبتدائية فيزداد عمقها وتبدو كتجاويف صغيرة فى الجدار وتسمى أنذاك بالنقر Pits التى تتنوع فى أشكالها وأحجامها وتركيبها، وعادة تتكون النقر فى أزواج متقابلة فعندما تتكون نقرة فى جدار خلية تتكون نقرة مقابلة لها فى جدار الخلية المجاورة ويطلق عليهما معا إسم نقرة مزدوجة Pit-pair، أما إذا تكونت النقرة فى مقابل مسافة بينية فتسمى بالنقرة العمياء Blind pit.

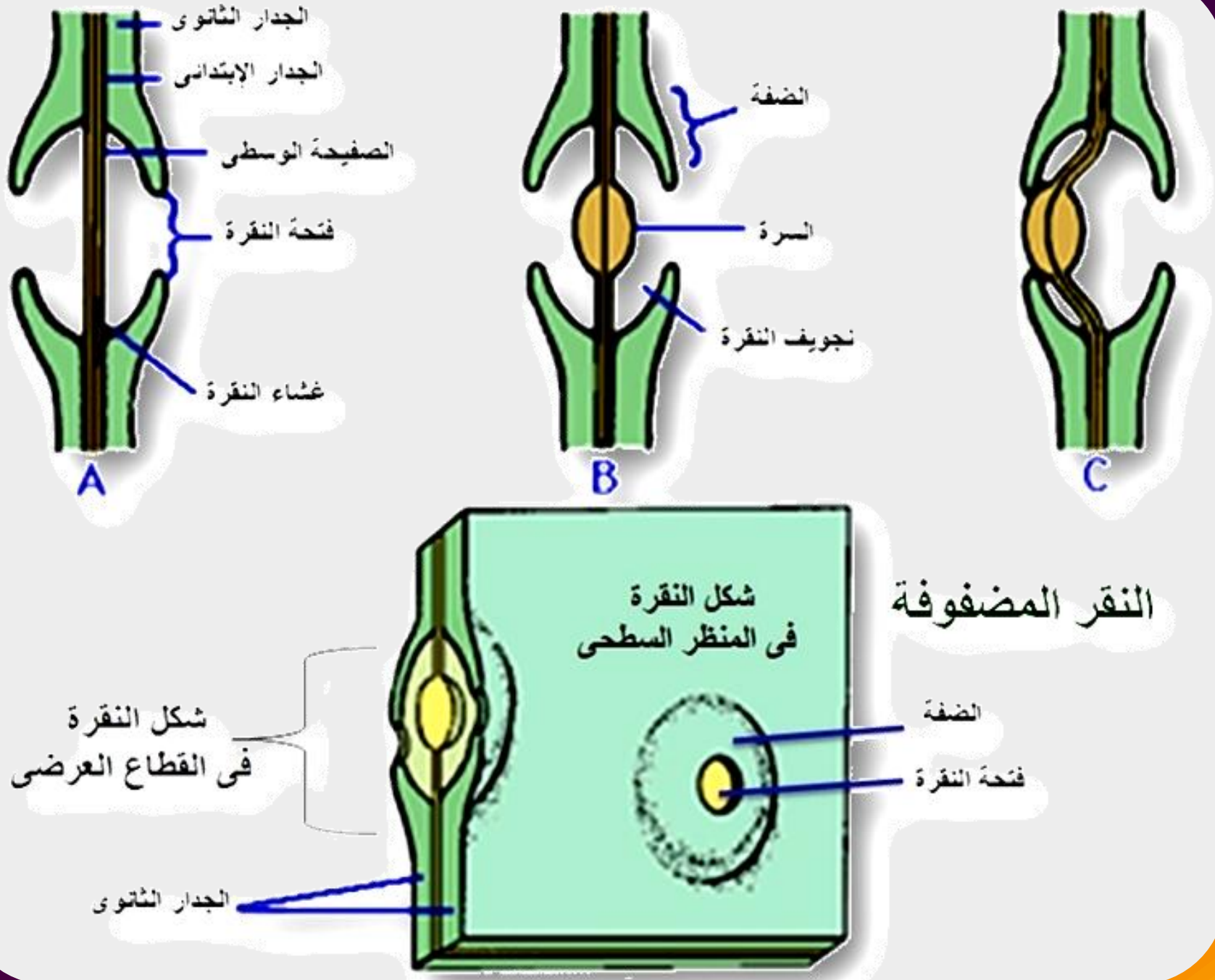


أنواع النقـــــــر

1-النقر البسيطة Simple pits تظهر هذه النقر فى المنظر السطحى كثقوب دائرية بينما تظهر فى القطاع العرضى كقنوات منتظمة القطر فى جدار الخلية، توجد النقر البسيطة فى جدر خلايا البشرة والخلايا البارنكيمية مغلظة الجدر (بارنكيما الخشب الثانوى) والألياف والخلايا الحجرية وبعض الأوعية الخشبية والقصيبات. وفى الخلايا الحجرية يكون سمك الجدار الثانوى كبير ويملئ معظم حيز الخلية مسببا موت البروتوبلازم وتحلله ونتيجة لذلك تصبح النقر ذات قنوات عميقة وتفتح كلها فى تجويف الخلية الذى يبدو فى القطاع العرضى كتجويف متفرع ولذا يطلق على هذا النوع من النقر إسم النقر المتفرعة Ramiform pits



1. **النقر المضفوفة Bordered pits**
2. تختلف النقر المضفوفة عن النقر البسيطة فى أن الجدار الثانوى عند ترسيبه فوق الجدار الإبتدائى ينمو فوق موضع النقرة على شكل قبة تاركا فتحة فى وسطها تسمى فتحة النقرة **Pit aperture**، وفى كثير من الأحيان يتكون فى منتصف غشاء النقرة تغليظ مصمط غير منفذ للماء ذو شكل محدب يسمى السرة. تنتشر هذه النقر فى أوعية الخشب للنباتات ذات الفلقتين الخشبية وقصيبات الخشب فى المخروطيات مثل الصنوبر. تلعب النقر المضفوفة ذات السرة دور هام فى تنظيم مرور الماء داخل الأوعية والقصيبات فعندما يكون إندفاع الماء من الأوعية أو القصيبات إلى الخلايا المجاورة عبر النقرة شديدا يرتخى غشاء النقرة فتتحرك السرة نحو فتحة النقرة وتغلقها لتسمح بصعود الماء إلى أعلى والعكس صحيح، كما تمنع السرة دخول فقاقيع الهواء داخل الأوعية والقصيبات لتمنع تقطع خيوط الماء داخل هذه العناصر الناقلة. تتكون النقر المضفوفة فى أزواج متقابلة وتسمى نقر مضفوفة مزدوجة. أحيانا قد تتكون نقر نصف مضفوفة وذلك عندما يجاور وعاء خشبى أو قصيبة خلية بارنكيمية فيكون زوج النقر المتكون إحداهما مضفوفة وهى التى تكونت فى جدار الوعاء أو القصيبة والأخرى بسيطة وهى التى تكونت فى جدار الخلية البارنكيمية فيطلق على هذا الزوج من النقر إسم النقرة نصف المضفوفة **Half-bordered pit**


الجدار الثانوى
الجدار الإبتدائى
الصفيحة الوسطى
فتحة النقرة
غشاء النقرة
A
الضفة
السرة
تجويف النقرة
B
C
النقر المضفوفة
شكل النقرة
فى المنظر السطحى
الضفة
فتحة النقرة
شكل النقرة
فى القطاع العرضى
الجدار الثانوى

وظائف الجدار الخلوى:

1) يحيط بالبروتوبلاست ويحميه ويحدد شكل الخلية وحجمها.
2) تمثل الجدر الخلوية حدودا فاصلة بين الخلايا ذات الوظائف المختلفة.
3) تكون الجدر الخلوية معا هيكلا مترابطا يحفظ للنبات وأعضائه شكلها العام.
4) يلعب مع الغشاء البلازمى دورا هاما فى إنتقال الماء والذائبات من وإلى الخلية.
5) تصل الجدر الخلوية فى الخلايا الميتة إلى درجة عالية من التخصص بحيث تقوم هى بوظيفة الخلية كما هو الحال فى الأوعية الخشبية والقصيبات والتى تقوم أساسا بوظيفة تدعيم جسم النبات إلى جانب توصيل الماء والأملاح من الجذر إلى باقى أجزاء النبات وأيضا الألياف التى تقوم بوظيفة التدعيم وجميعها خلايا ميتة تتركب من جدر خلوية فقط.
6) صلابة هذا الجدار مع ضغط الماء في الفجوات هما المسئولان عن ضغط الإمتلاء الذى يساعد في تدعيم جسم النبات ويحفظ له إستقامته.
7) يلعب الجدار الخلوي دوراً هاماً فى مقاومة الأمراض، فهو ينتج أجسام مضادة وقد يحتوي على مضادات الإختراق لمقاومة الطفيليات.