

التركيب الداخلي للورقة Internal structure of leaf

تعريف الورقة: هي عبارة عن نموات خارجية مسطحة تنشأ عند العقد وتكون خضراء اللون عادة وتحمل في ابطها برعمًا، وتقوم بعملية التركيب الضوئي والنتح. هل ان الاوراق لوحدها تقوم بعملية التركيب الضوئي؟ الجواب كلا ان كل الاجزاء الخضراء في النبات سواء كانت سيقان وسويقات الاوراق والاوراق الزهرية الخضراء والجذور الهوائية الخضراء تقوم بعملية التركيب الضوئي فعلى سبيل المثال السيقان الورقية في نبات السفندر *Ruscus* او السيقان العشبية الخضراء او النباتات الواطئة الخضراء كالتحالب تقوم بعملية التركيب الضوئي. استناداً الى ما مر علينا سابقاً تشترك الاجزاء النباتية ومنها الورقة بوجود ثلاثة انظمة نسيجية رئيسية هي:

1- النظام النسيجي الضام Dermal tissue system

2- النظام النسيجي الاساسي Ground tissue system

3- النظام النسيجي الوعائي Vascular tissue system

غير انه توجد اختلافات في توزيعها وترتيبها وهذا يتماشى مع الوظيفة الاساسية للجزء النباتي الذي يضم تلك الانظمة فعلى سبيل المثال وفرة النسيج الاخضر واتساع وامتداد انسجة التهوية في حين تكون في الساق بوضع مختلف يتناسب مع الانسجة الوعائية والدعامية الموجودة في الساق.

نشأة الورقة Leaf Development

يبدأ نشوء الورقة بانقسامات محيطية Periclinal division قرب سطح المرستيم apical meristem اسفل منطقة المرستيم الاول promeristem ويصاحب ذلك انقسامات عمودية في الطبقة السطحية anticlinal division وباستمرار الانقسامات يتكون نتوء او انتفاخ يسمى bulge ويسمى ايضاً بالمسند الورقي leaf buttress ويحوي هذا المسند على بشرة اولية وكتلة من خلايا المرستيم الاساسي واشرطة كامبيومية ويتحول المسند الورقي الى البداية الورقية وذلك بعد توالي الانقسامات فيه leaf primordium وهناك نوعين من الانقسامات قمية apical وحافيه والنوع الاول يسبق النوع الثاني، ويترافق القمي مع الحافي حتى يكتمل النصل blade وهناك تباين في نمو اوراق النباتات في معراة البذور و مغطاة البذور تصل الورقة الى مرحلة النضج بعد فترة قصيرة اما في السرخسيات فيستمر النمو القمي رغم وصول القاعدة الى تمام النضج. ان الاوراق قرب القمة النامية تنمو وتغطي القمة النامية الساقية، وقد تتحور الى حراشف في حالة بعض البراعم الشتوية

عند تكشف البدايات الورقية تتميز منطقتان

أ- جزء قاعدي قد يصبح لحمياً وسادياً او غمدياً او يكون اذنيات

ب- جزء علوي يكون النصل

ج- جزء بين القاعدة والنصل يمثل سوق الورق في حالة وجوده

فيما يخص الطبقات التي تنشأ من المرستيم القمي الانتشائي apical initial والمرستيم تحت القمي الانتشائي وكذلك المرستيم الحافي وتحت الحافي وكما مر علينا في الفصل الاول فيما يخص انواع الاوراق بالنسبة لتوزيع الطبقة العمادية في نسيج الميزوفيل اذ يوجد اوراق ذات طبقة واحدة Bifacial او dorsiventral وفي حالة وجود طبقتين من الطبقات العمادية، عليا وسفلى يطلق على الورقة isolateral

تشريح الورقة Leaf Anatomy

1- البشرة epidermis تحتوي الاوراق على بشرتين عليا adaxial وسفلى abaxial وتتباين خلايا البشرة كما مر علينا سابقا فهناك خلايا البشرة الاعتيادية ordinary epidermal cells والخلايا المساعدة subsidiary cells والحارسة Guard cells وتتباين الثغور في عددها وحجومها وهناك ما يسمى بدليل الثغور وزوائد البشرة Trichomes المتنوعة،

دليل الثغور = (عدد الثغور / عدد الثغور + عدد الخلايا الاعتيادية) × 100

اما في النجيليات فقد لاحظنا خلايا طويلة long cells وخلايا قصيرة short cells وهي على نوعين cork cells اي خلايا فلينية وخلايا سيليكية silica cells وكذلك يلاحظ احيانا خلايا خاصة هي الخلايا المحركة Motor cells كما مر علينا ايضا هناك خلايا اخرى كالبورات المعلقة lithocytes والتي تحتوي على البورات cytolith وهناك ثلاثة انواع من الاوراق بالنسبة لتوزيع الثغور هي:

1- epistomatic leaf حيث يقتصر وجود الثغور على البشرة العليا

2- hypostomatic leaf حيث يقتصر وجود الثغور على البشرة السفلى

3- Amphistomic leaf حيث تتوزع الثغور على السطحين العلوي والسفلي وقد يتساوى توزيع الثغور في حالة النوع الاخير مع البشريتين او لا يتساوى حسب نوع النبات.

خلايا البشرة الاعتيادية خالية من الكلوروفيل فيما عدا النباتات المائية ونباتات الظل وبعض النباتات الواطنة كالسراخس.

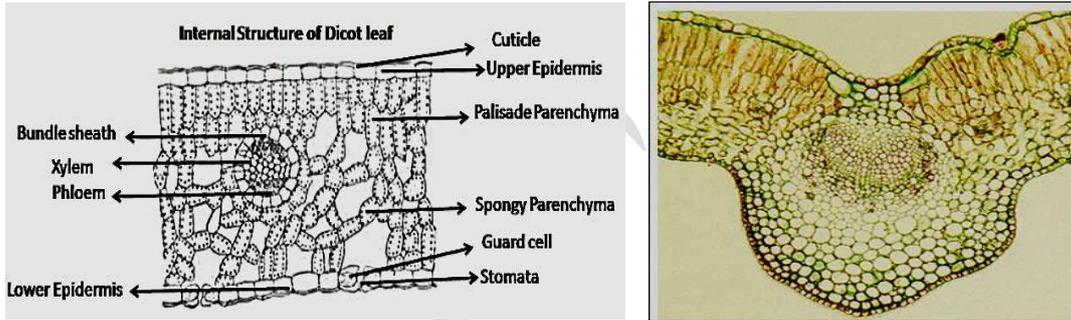
وظائف البشرة مرت علينا في الانسجة الضامة.

2- النسيج المتوسط **Mesophyll**: يعرف بانه النسيج الواقع بين البشرة العليا والسفلى مكون من خلايا بارنكيميية عادة الا انه قد يحتوي على سكلريدات كما في الهاكيا التي درستها في العملي الخلايا الميزوفيلية عادة غنية بالبلاستيدات. هناك نوعين من النسيج المتوسط نسيج غير مقسم الى خلايا عمادية وخلايا اسفنجية ونسيج مقسم.

1- الطبقة العمادية: **Palisade layer**

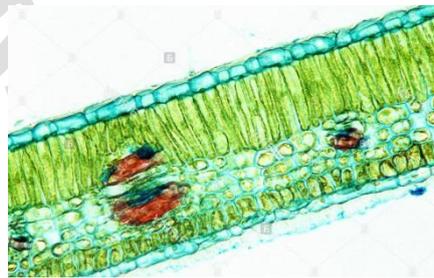
مميزات الطبقة العمادية: خلايا مستطيلة، متراسة، متوازية جدرانها عمودية على سطح الورقة عادة وتكون غنية بالبلاستيدات وهناك انواع مختلفة من الطبقات العمادية من حيث عدد الطبقات وتوزيعها، فقد تتكون البارنكيميا العمادية من طبقة واحدة او أكثر وقد تكون الخلايا ذات اذرع كما في بعض الابصال فمن حيث التوزيع:

1- اوراق ذات طبقة عمادية واحدة تحت البشرة العليا وهي حالة شائعة.

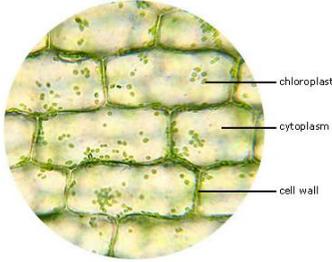
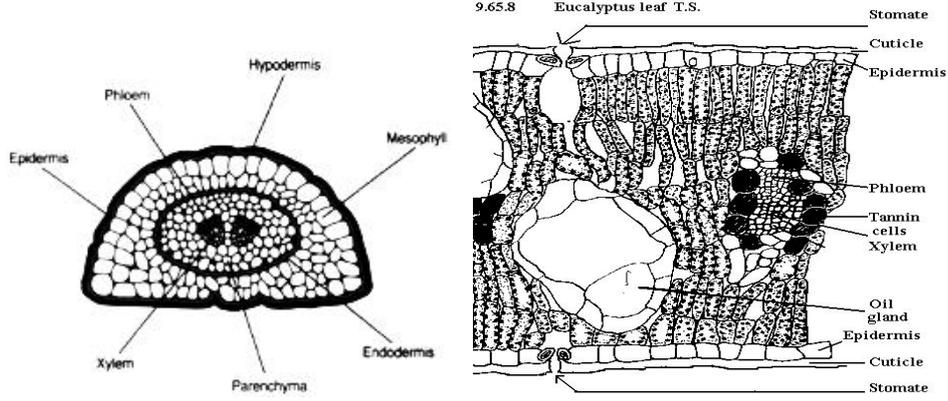


2- اوراق ذات طبقة عمادية واحدة تقع فوق البشرة السفلى كما في نبات الثمليا *Thymelaea*

3- اوراق ذات طبقتين عماديتين اسفل البشرة العليا ووفق البشرة السفلى كما في التين *Ficus* *elastic* والكسوب *Centaurea*.

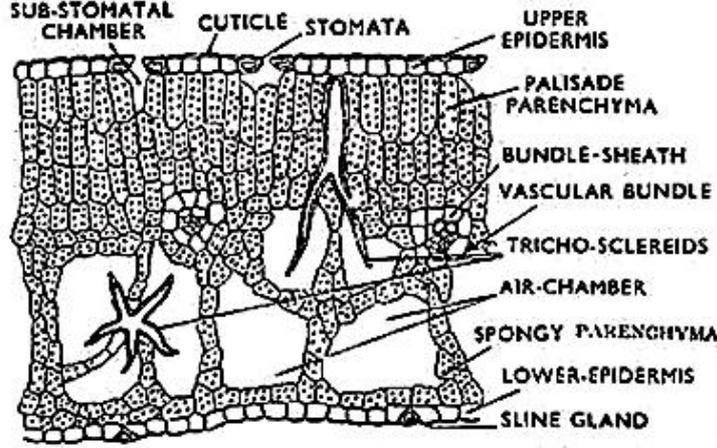


4- اوراق يكون جميع النسيج الميزوفيل عبارة عن طبقة عمادية كما في الكالبتوز *Eucalyptus* والرغل *Atriplex* وبعض الاوراق الاسطوانية كالهكيا *Hakea*.



5- اوراق ذات خلايا عمادية موازية لمحور الورقة كما في الالوديا *Elodea* او موازية لسطح الورقة وعمودية على محور الورقة كما في نبات الاليرس *Iris* والكلايولس *Gladiolus*

6- اوراق ذات نسيج عمادي ذو اذرع كما في الزنبق *Lily*



س: لماذا يبدو السطح العلوي اكثر اخضراراً في معظم الاوراق؟ لوجود الطبقة العمادية والتي تحتوي على القسم الاكبر من الكلوروفيل.

ب- النسيج الاسفنجي: الخلايا ذات اشكال مختلفة عادة غير منتظمة، او تكون متساوية الاقطار او مستطيلة، وقد تكون ذات اذرع متصلة مع بعضها وتتخللها مسافات بينية (لماذا؟) حتى تتعرض للغازات.

الخلايا المجمعّة **collecting cells**: وهي خلايا تقع في النسيج الاسفنجي متصلة باللحاء تلقتي بها مجموعة من الخلايا العمادية ويعتقد انها تقوم بجمع الغذاء ونقله الى اللحاء النوع الثاني من الاوراق يكون النسيج الميزوفيلي غير مقسم الى طبقة عمادية واسفنجية:

هذا النوع من الاوراق يتمثل في نباتات ذوات الفلقة الواحدة في النجيليات واوراق الصنوبر *Pinus* وفي الاخير تكون الخلايا ذات ثنيات الى الداخل

الانسجة الوعائية في الورقة **Vascular tissue of the leaf**:

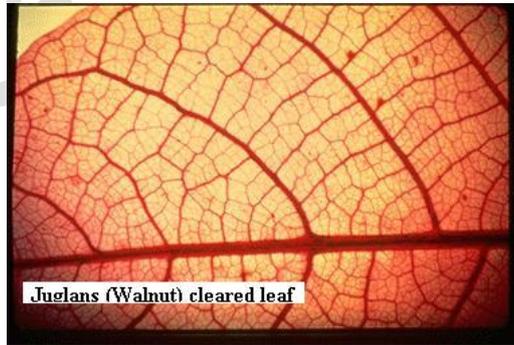
يطلق على الحزم الوعائية في الورقة بالعروق *Veins*، كما يطلق على نظام توزيع العروق في النصل بالتعرق *venation*. العرق *vein* قد يتكون من حزمة وعائية واحدة او عدة حزم، اما عدد العروق في الورقة فقد يكون واحد او اثنين او اكثر ففي الصنوبريات او المخروطيات *conifers* تحتوي الاوراق على عرق واحد فقط، اما في النباتات الراقية فيكون عدد العروق كثير. التعرق في مغطاة البذور يكون:

1- شبكي *Reticulate v.* وهو شائع في ذوات الفلقتين

2- متوازي *parallel v.* وهو شائع في ذوات الفلقة الواحدة

كلا النوعين اما ان يكون ريشي *pinnate* او كفي *palmate* والآخر اما ان يكون متلاقي *convergent* كما في حالة النبق *Zizyphus* في ذوات الفلقتين والحنطة *Triticum* في ذوات الفلقة او يكون متباعد *Divergent* كما في العنب في حالة ذوات الفلقتين ونخيل الزينة او المروحة *Washingtonia* في حالة ذوات الفلقة الواحدة. ان التعرق الشبكي يتفرع الى اصغر فاصغر مكوناً في نهايات العروق مساحات تسمى *areoles*.

في حالة التعرق الشبكي الريشي يوجد عرق رئيس واحد يسمى بالعرق الوسطي *midrib* والحزم الوعائية في العرق الوسطي هي امتداد للحزم من الجذر الى الساق الى الورقة ويكون اتجاه الخشب في الحزم الوعائية داخل النصل الى الاعلى وللحاء الى الاسفل.



Juglans (Walnut) cleared leaf

مكونات الخشب في العرق الكبيرة: اوعية *vessels* - قصبيات *Tracheids* - الياف *fibers* -

xylem parenchyma اما العروق الصغيرة فيبقى فيها قصبية وخلايا بارنكيمية

مكونات اللحاء في العروق الكبيرة: انابيب منخلية sieve tube - خلايا مرافقة fibre-companion cells وبارنكيما اللحاء phloem parenchyma. اما نهايات اللحاء فينتهي بعناصر منخلية وخلايا مرافقة وقد يختزل الى مجموعة صغيرة من الخلايا البارنكيمية وقصيبة

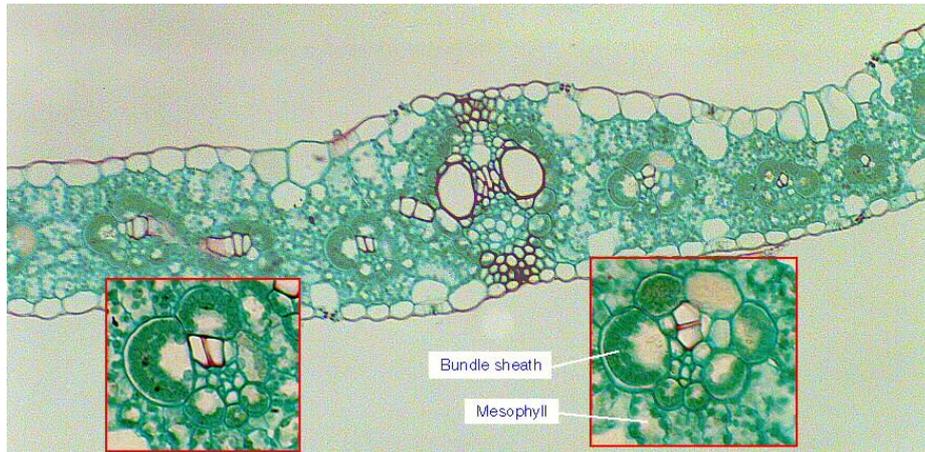
غلاف الحزمة Bundle sheath:

تحاط الحزم الوعائية الكبيرة بخلايا بارنكيمية متميزة تمتد قليلاً وبموازاة العرق وتكون هذه الخلايا قليلة الكلوروفيل تسمى بغلاف الحزم والخلايا بالخلايا المتاخمة وقد تحتوي على شريط كاسبار casperian strip كما في العائلة الوردية Rosaceae وعندما تحتوي على حبيبات نشوية فهي تقابل الغلاف النشوي او القشرة الداخلية عندما تكون حاوية على شريط كاسبار ويطلق عليها احياناً border parenchyma. من الجدير بالذكر ان هذه الخلايا تتباين باعداد الكلوروبلاست فمنها قليل البلاستيدات ومنها معدوم ومنها لا يختلف عن الخلايا الميزوفيلية الاخرى، ويمتد هذا الغلاف الى نهاية الحزمة ليغلف نهاياتها، احياناً في بعض ذوات الفلقتين تمتد خلايا من غلاف الحزمة باتجاه البشريتين العليا والسفلى وحياناً الى جهة واحدة من البشرات ويطلق على امتداد الغلاف الحزمي Bundle sheath extensions.

ورقة النجيليات Grass leaf:

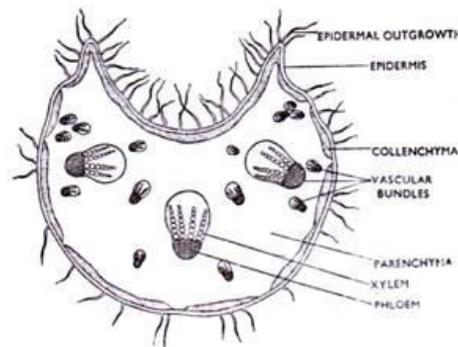
تتفرد النجيليات كالحنطة والشعير والذرة والحشائش الاخرى عن غيرها من نباتات ذوات الفلقتين والفلقة الواحدة. ففي المقطع نلاحظ الطبقات الثلاث الاتية: بشرة عليا- نسيج ميزوفيلي غير متميز الى طبقة عمادية واسفنجية- بشرة سفلى اما الانسجة الوعائية فتنتشر في النسيج الميزوفيلي او المتوسط. البشرة قد تحتوي على خلايا متميزة هي الخلايا المحركة Motor cells او تسمى بالخلايا الفقاعية Bulliform cells تمتاز بكبر حجمها ورقة جدرانها وهي مسؤولة عن انطواء وانبساط الاوراق لدى تغير الرطوبة. الثغور هي الاخرى تختلف فهي من النوع Gramineae- Cyperaceae type. فيما يخص النسيج المتوسط يلاحظ في بعض الاوراق تنتظم بشكل شعاعي حول الحزم الوعائية وفي البعض الاخر تكون غير منتظمة. اما فيما يخص الحزم الوعائية فهي تمتد طولياً بشكل متوازي يفصلها عن بعضها النسيج المتوسط وتكون بحجوم مختلفة الا انه توجد حزمة وعائية رئيسية في منتصف مقطع الورقة اما بقية الحزم فتتباين ويمكن ان يكون لهذا التباين فائدة تصنيفية، وتحاط الحزم الوعائية بغمد او غمدين الداخلي تكون خلايا ذات جدران ثانوية والخارجي تكون خلايا ذات جدران رقيقة تفتقد الى الكلوروفيل. الا انه

في السعد *Cyperus* تحاط الحزم باغلفة تمتاز بغزارة الكلوروفيل. يصاحب الكثير من الحزم الوعائية امتداد غلاف حزمي Bundle sheath extension مكون من خلايا سكلرنكيميية عادة يمتد من الحزمة الى البشريتين العليا والسفلى او الى احدى البشريتين وهذا الامتداد يساهم في تقوية الورقة.



التركيب الداخلي لسويق (عق) الورقة Internal Structure of Petiole :

هناك اشكال مختلفة لسويق الورقة في المقطع منها: الدائري- دائرة غير كاملة او يكون منبسطاً او مقعراً من الجهة العليا او ذو اجنحة اما الحزم الوعائية والمسارات الورقية فتختلف من نبات لآخر فقد تكون اسطوانة جوفاء كما في الخروع او تكون اكثر من حلقة. النسيج الاساسي في ذوات الفلقتين ذو نسيج كولنكيمي وفي ذوات الفلقة ذو نسيج سكلرنكيمي.



الكامبيوم الوعائي Vascular Cambium موقعه في النبات location in the plant

الكامبيوم الوعائي مرستيم جانبي lateral meristem منه ينشأ النسيج الوعائي الثانوي secondary vascular tissues والذي يشمل الخشب الثانوي secondary xylem واللحاء الثانوي secondary phloem. كما مر علينا سابقاً بان الـ procambium هو نسيج مرستيمي ابتدائي يكون الخشب واللحاء الابتدائيين primary phloem & xylem في النباتات التي لا يحصل فيها تغلظ ثانوي كما في معظم ذوات الفلقة الواحدة وبعض الاعشاب من ذوات الفلقتين

حزم الـ Procambium في ذوات الفلقة الواحدة تكون مبعثرة في السيقان.

ان خلايا الـ procambium تتحول الى عناصر خشبية ولحائية ابتدائية في النباتات الحولية من ذوات الفلقتين وذوات الفلقة الواحدة الا ان البروكامبيوم في ذوات الفلقتين يبقى جزء منه غير متميز بين الخشب واللحاء الابتدائيين يطلق عليه بالكامبيوم الحزمي fascicular cambium ان هذا النوع من الكامبيوم نجده في ذوات الفلقتين وعاريات البذور ويتحول الكامبيوم الوعائي في معرفة ومغطة البذور المعمرة بعد ان يتحول النسيج البارنكيمي الذي يقع على امتداده والواقع ضمن الاشعة اللبية الى ما يسمى بكامبيوم ما بين الحزم interfascicular cambium. غير انه قد تتحول جميع خلايا البروكامبيوم الى خشب ولحاء ابتدائيين في النباتات الحولية. عليه فان الكامبيوم الوعائي هو جزء من المرستيم القمي حافظ على صفته المرستيمية ليكون منطقة نمو تخالف وظيفتها وموقعها المرستيم القمي. ان الهيئة التي يوجد فيها الكامبيوم الوعائي هي على نوعين:

1- على هيئة صفائح منفصلة ضمن الحزم الوعائية كما في السيقان الفتية وكما في الاوراق والسويقات الورقية.

2- بهيئة اسطوانة كما في السيقان المعمرة

فاذا كان الكامبيوم بهيئة صفائح او اسطوانة يكون ممتداً بالاتجاه الطولي بالنسبة لمحور النبات **ملاحظة:** هناك بعض النباتات يتكون فيها الكامبيوم الوعائي خارج الخشب واللحاء كما يحصل في حالات النمو الشاذ Anomalous secondary growth كما في العائلة الرمرامية

Chenopodiaceae

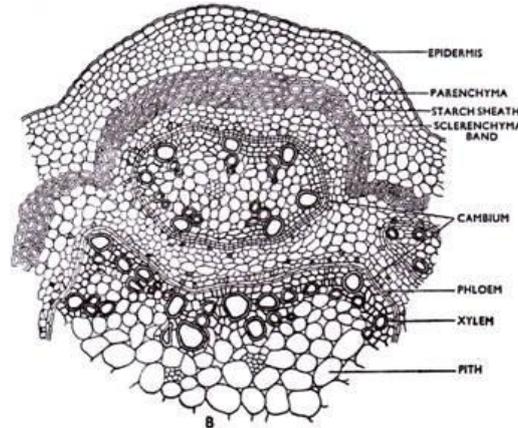


Fig. 650. Stem of *Serjania* with anomalous structures. A. T.s. of stem (diagrammatic).
B. Magnified view of a part showing tissues.

منطقة الكمبيوم Cambial zone:

ان منطقة الكمبيوم الوعائي تتكون من اكثر من صف واحد من الخلايا المرتبة بهيئة صفوف قطرية وتدعى هذه المنطقة cambial zone وهي في الحقيقة مؤلفة من الخلايا المولدة للكامبيوم cambial initials ومن مشتقاتها derivatives مما حدى الباحثين اتخاذا رأيين: الاول يقول بوجود طبقة واحدة من الكمبيوم اي صف واحد من الخلايا المولدة وعلى جانبيها المشتقات derivatives. والثاني: يدعى بان الخلايا الانشائية للكامبيوم مرتبة في اكثر من صف واحد من الخلايا، وفي دراستنا سنعتبر طبقة الكمبيوم مكونة من صف واحد من الخلايا الانشائية لصعوبة التمييز.

ومن الجدير بالذكر ان الخلايا المشتقة من الخلايا الانشائية قد تنقسم مرة واحدة او اكثر، في النهاية تتوقف عن عملية الانقسام بعد تخصصها جميعاً الى خلايا خشبية او لحائية حسب موقعها الانقسامات هنا مماسية غير ان البعض قطرية لتتماشى مع الزيادة القطرية للنبات.

انواع خلايا الكمبيوم cell types: يتألف الكمبيوم الوعائي من نوعين من الخلايا هما:

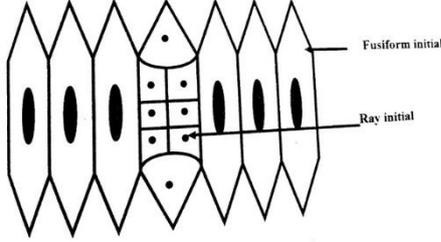
1- الخلايا او الاصول المغزلية **Fusiform initials**: وهي خلايا متطاولة ومغزلية الشكل وقد تكون مدببة النهايات وبانقساماتها تنتج كافة الخلايا المتطاولة باتجاه المحور الطولي للعضو النباتي الذي توجد فيه كالقصبات والالياف والاعوية الخشبية في الخشب والعناصر المرافقة والمنخلية في اللحاء، وقد يصل طول هذه الاصول الى 8 ملم.

2- الاصول او الخلايا الشعاعية **Ray initials** او اصول الاشعة الوعائية **vascular ray initials**:

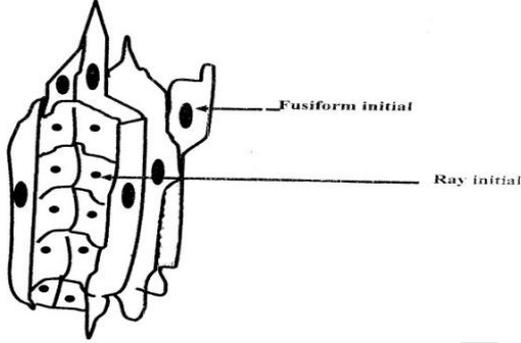
وهي خلايا متساوية الابعاد isodiametric عادة او متطاولة قليلاً وينشأ عن فعاليتها بالانقسام جميع الخلايا التي يمتد محاورها الطولية قطرياً في العضو الذي توجد فيه وتوجد عادة بشكل مجاميع ويشمل هذا الاشعة الخشبية xylem rays والاشعة اللحائية

phloem rays هذا وان القطاعات المماسية (Trangential longitudinal section)

T.L.S للكامبيوم تظهر الخلايا الانشائية مرتبة بطريقتين وكما يلي:



1- منضدة بشكل صفوف رقيقة تنتهي بمستوى افقي واحد
لذا تسمى بالمنضد او المصفف او ذات الطبقات
storied او stratified.



2- غير منضد او متراكب الخلايا وبغير
انتظام non-stratified or non-
storied ان النوع الاول من الناحية
التطورية هو ارقى من الانواع الاخرى. ان
النوع الاول هو الارقى من مميزات
النباتات الراقية من ذوات الفلقتين، بينما
الثاني فهو من مميزات النباتات الوعائية

كالا fossile ومعرفة البذور living pteridlophytes, Gymnosperms ان اطوال الخلايا
الانشائية المغزلية في الكامبيوم تختلف باختلاف نوع النبات وعمره والموسم الذي يفحص فيه
النبات؟ هذا وانها تزداد طولاً بازدياد عمر النبات وقد وجد مثلاً في الصنوبر الذي عمره سنة
طول الخلية 870 مايكرون بينما طولها 4000 مايكرون في نفس النوع الذي عمره 60
سنة.

مميزات خلايا الكامبيوم

- 1- تحتوي على سايتوبلازم ونواة وتكون في المغزلية اكبر من الشعاعية.
- 2- غزارة الفجوات الصغيرة بالاضافة الى واحدة كبيرة حيث يكون الساييتوبلازم محيطياً
- 3- تحتوي على حقول نظرية ابتدائية تخترقها بلازمودماتا
- 4- الجدران القطرية اسك من المماسية لتوالي الانقسامات المماسية الموازية للسطح

الانقسام الخلوي في الكامبيوم:

تنقسم هذه الخلايا لمدة غير محدودة مولدة خلايا تتخصص الى عناصر خشبية ولحاءية
بالاضافة الى زيادة الخلايا الانشائية في الكامبيوم نفسه زيادة تتناسب مع زيادة محيط العضو
الذي يقع فيه ويتم الانقسام بطريقتين:

1- الطريقة المماسية Periclinal or tangential division

وتتكون نتيجة الانقسام خلايا الخشب واللحاء، حيث تنتج خليتان صغيرتان من انقسام خلية كمبيومية، واحدة تكون الخلية الام للخشب xylem mother cell او تسمى xylem initial والخلية الام للحاء phloem initial or phloem mother cell وذلك بحسب موقعها والثانية خلية الكامبيوم الدائمة persistent cambium cell هذا وان كل خلية ناتجة من الانقسام تتوسع حتى تبلغ حجماً معيناً كحجم خلية الكامبيوم الاصلية في حالة الخلية الدائمة للكامبيوم، اما الخلايا الانشائية للخشب او اللحاء (المشتقات derivatives) فقد تنقسم مرة واحدة الى عدة مرات قبل ان تتخصص او قد تتخصص مباشرة بعد الانقسام من الخلية الام (ان الانقسام خلايا الكامبيوم وازافة خلايا لحائية او خشبية بالتبادل اي مرة الى اللحاء ومرة الى الخشب ليس بالامر الضروري ان يحدث هذا دائماً فقد تضاف خلايا مشتقة الى جهة ما اكثر من الثانية) ان تكوين العناصر الخشبية واللحائية لا ينتج عن الخلايا الانشائية للكامبيوم نفسها فقط بل يعتمد في بعض الحالات على الخلايا الانشائية او الخلايا الامية للخشب واللحاء ايضاً كما وينتج عن هذا الانقسام الاشعة الخشبية واللحائية.

2- الطريقة القطرية Anticlinal or radial division

تهدف هذه الطريقة من الانقسام الى زيادة عدد الخلايا الانشائية للكامبيوم زيادة متناسب ومحيط العضو الذي توجد فيه وذلك لتكون كتلة كثيفة من الخشب الثانوي داخلياً والذي بسببه يتم دفع اسطوانة الكامبيوم الوعائي الى الخارج مما يستلزم زيادة في عدد الخلايا الانشائية للكامبيوم زيادة تتفق وزيادة قطر العضو الذي توجد فيه. ان الاصول الانشائية تنقسم بصورة قطرية الى خليتين وبجدار قطري وتتوسع الخلايا الناتجة عن الانقسام حتى تبلغ حجم الخلية الانشائية المغزلية الاصلية، اما الاصول الشعاعية فهي في الغالب تنشأ نتيجة لانقسام خلايا الاصول المغزلية كلياً او جزئياً اي يحدث فقدان للاصول المغزلية وتحل محلها اصول شعاعية.

والخلاصة ان الانقسام في الكامبيوم يحصل بطريقتين هما:

1- مماسي ينتج عنه العناصر الخشبية واللحائية بالاضافة الى اشعتيهما.

2- قطري ينتج عنه خلايا انشائية للكامبيوم نفسه بالاضافة الى الاشعة واصول شعاعية جديدة.

ملاحظة: الانقسام القطري او المتعامد Radial or anticlinal division الذي يؤدي الى زيادة محيط الكامبيوم يكون متعامد في حالة الكامبيوم المنضد stratified cambium

(storied) اما في حالة الكامبيوم غير المنضد (nonstaratified cambium (nonstoried) فيكون الانقسام متعامد ومائل oblique and anticline ثم يتبعه نمو انحشاري قمي. ان اتساع اسطوانة الكامبيوم يتبعه تكون اصول شعاعية جديدة ray initials وذلك من خلال فقدان اصول مغزلية لتحل محلها الاصول الشعاعية الجديدة وتكون بإحدى الطرق الاربعة التالية والتي مر ذكرها ورسمها:

- 1- اقتطاع خلية شعاعية من طرف خلية مغزلية
 - 2- انقسام خلية مغزلية لتعطي على احد جانبيها خلية شعاعية جديدة
 - 3- انقسام خلية مغزلية عرضياً لتعطي صف من الخلايا الشعاعية
 - 4- تحول خلية مغزلية متضائلة تدريجياً الى خلية شعاعية
- اما بالنسبة للانقسامات الطولية فتكون كما يلي (كما في الرسم المرفق)

النشاط الكامبيومي Cambial activity

تعتمد سعة منطقة الكامبيوم على النمو القطري ومعدل تميز خلايا الكامبيوم نفسه وهناك حالتين هما:

- 1- زيادة معدل انقسام خلايا الكامبيوم على معدل تميزها يؤدي ذلك الى اتساع منطقة الكامبيوم
- 2- تساوي معدل الانقسام مع معدل التميز يؤدي الى بقاء المنطقة الكامبيومية ضيقة وواضحة الحدود.

هناك عوامل تؤثر على مدة ونشاط الكامبيوم فيها.

- 1- طول الفترة الضوئية التي يتعرض لها النبات
- 2- تعرض النبات الى تحفيز معين كالجروح وربما يعود ذلك الى الهرمونات المتكونة بواسطة الجروح.
- 2- درجات الحرارة.

النشاط الموسمي للكامبيوم cambial seasonal activity

يعتمد النشاط الموسمي للكامبيوم على البيئة التي ينمو فيها النبات ففي حالة النباتات الاستوائية Tropical plants يستمر طيلة فترة حياة النبات اي يضيف خشب ولحاء ثانويين وهذا يحدث في نباتات ايضاً تعيش في المناطق المعتدلة الدافئة warm temperate zone. في حالة النباتات التي تعيش في مناطق مناخها يتميز بالتعاقب الموسمي غالباً ما يكون موسم النشاط في الربيع spring ويتوقف في الصيف والشتاء (المناطق المعتدلة) نشاط الكامبيوم يمر بمرحلتين:

- 1- استطالة خلايا الكميوم قطرياً مما يؤدي الى رقة الجدران وضعف قوة احتمالها الامر الذي يسبب انفصال القلف bark
- 2- عملية الانقسام الاعتيادية ونتيجة لذلك تتكون عدة طبقات من خلايا الخشب الحديثة ولكون الجدر الابتدائية الرقيقة تؤدي الى انفصال قلف من الخشب.

دوام الكميوم Duration of the cambium

- 1- في النباتات الحولية والاوراق والنورات يتحول الكميوم الى خلايا متميزة بأكمله غير ان في بعض النباتات العشبية من ذوات الفلقتين قد يكون الكميوم بعض الانسجة الثانوية
- 2- في النباتات المعمرة perennial يبقى طيلة فترة حياة النبات.

تأثير النشاط الكميومي على جسم النبات الابتدائي

من المعروف ان جسم النبات الابتدائي يضم حزم وعائية ولب واشعة لبية، ان تكوين الانسجة الثانوية من قبل الكميوم الوعائي سيحيط بالانسجة الابتدائية مما يؤدي الى فصله عن الاجزاء الخارجية ويمكن تحديد ذلك في الجذور والسيقان. اما الانسجة الابتدائية التي تقع خارج الانسجة الوعائية الى الخارج من الكميوم كالحاء والقشرة فانها تعاني من الضغط وبالتالي تتفطح في الاتجاه المماسي او تتمزق وبعضها يبقى لفترة ثم تسقط وبالتالي تتكون انسجة البشرة المحيطة غير انه هناك حالات خاصة عندما تستطيع بعض الخلايا كالبشرة في الاسفندان وبعض خلايا القشرة من الانقسام ومجارة الزيادة القطرية.

كما توجد حالات اخرى في النباتات العشبية حيث تتواجد الانسجة الابتدائية والثانوية معاً وقدرة الانسجة الابتدائية على مجارة الزيادة القطرية نتيجة النمو الثانوي يؤدي الى عدم تأثرها بنشاط الكميوم.

الخشب الثانوي Secondary xylem

تمتاز النباتات الخشبية الضخمة بوجود كميات كبيرة من الخشب الثانوي ناتج عن نشاط الكميوم الوعائي، ويتكون من الاوعية vessels والقصبيات Thracheids والالياف fibers والاشعة البارنكيميية ray parenchyma، ويمكن الاستفادة من الاختلافات في كمية وحجم وتركيب العناصر الخشبية تصنيفياً.

تركيب الخشب الثانوي: يتكون من نظامين:

- 1- vertical or axial system (tracheids+ vessels+ fibers+ parenchyma)

2- Horizontal or radial system (xylem rays= parenchyma+ in some conifers ray tracheids قصيبات شعاعية)

تتصل الخلايا الحية الموجودة في النظامين مع بعضها بالاضافة الى اتصالها بالدائرة المحيطة والحاء.

Tracheary elements

Primary xylem	Secondary xylem
1- اطول (ربما يعود الى استئطالها اثناء النمو الطولي)	1- اقصر
2- التغلظ حلقي annular وحلزوني spira	2- التغلظ ربما يكون شبكي او سلمي او منقر
3- اشعة الخشب غير موجودة الخلايا البارنكيميية تكون غير منتظم وان وجدت تسمى بالاشعة الكاذبة false rays	3- اشعة الخشب موجودة وتكون حقيقية

برنكيما الخشب Xylem parenchyma:

Secondary xylem parenchyma → axial parenchyma ← cambial fusiform Initials
 → Ray parenchyma ← cambial ray initials

تمتاز جدران الخلايا البارنكيميية الشعاعية والمحورية بكونها ابتدائية الا انها قد تكون ثانوية ملكنة. وفي حالة وجود الجدار الثانوي تكون الأزواج النقرية pit-pairs بين الخلايا البارنكيميية ربما تكون مصفوفة او نصف مصفوفة او بسيطة. بعض الخلايا البارنكيميية يحصل لها تصلب لتكون سكلريدات. كما ان الخلايا البارنكيميية التي تحوي على بلورات عادة تكون ذات جدران ملكنة وربما تقسم بحواجز لتحوي كل جزء على بلورة.

التايلوزات Tyloses واشباه التايلوزات Tylosids

التايلوزات Tylosis (pl. Tyloses): نموات خارجية من الخلايا البارنكيميية الشعاعية او المحورية تتكون عبر النقر لتمتد داخل الاوعية وتعمل على سد الاوعية جزئياً او كلياً او القصيبات وتحدث هذه الحالة عندما يصبح الخشب خاملاً او عند اصابته بضرر وتكون جدرانها ابتدائية او ثانوية اما اشباه التايلوزات Tylosids فهي خلايا طلائية متضخمة تتكون من الخلايا الطلائية المحيطة بالقنوات الراتنجية ويطلق اصطلاح اشباه التايلوزات على امتداد الخلايا البارنكيميية داخل قصيبات او اوعية الخشب الاول خلال الاجزاء الضعيفة او الممزقة

الحلقات السنوية: Annual rings = حلقات النمو Growth rings

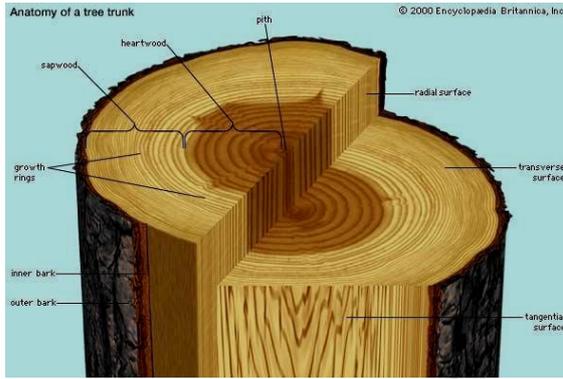
تتكون في النباتات الخشبية المعمرة نتيجة لنشاط الكميوم الموسمي في النباتات التي تعيش في المناطق المعتدلة او الاستوائية عندما يحدث تبادل بين المواسم المطيرة والجافة وتكون الحلقة من:

1- خشب الربيع early wood =spring wood (الاوعية ذات اقطار واسعة والياف قليلة)

2- خشب الصيف late wood =summer wood (الاوعية ضيقة والالياف كثيرة)

Spring wood+ summer wood →annual ring

اما الحلقات الشتوية الكاذبة **false annual ring**: واحدة او اكثر من طبقات النمو تكون خلال فصل نمو واحد.

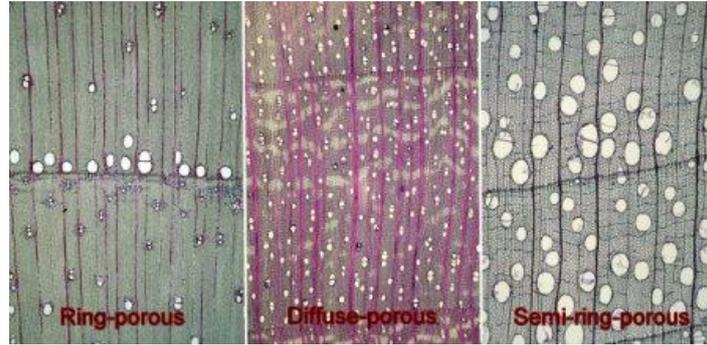


الخشب منتشر المسام وحلقي المسام Diffuse- and Ring- porous wood

Diffuse-porous wood: وهو الخشب التي تكون فيه اقطار الاوعية متساوية تقريباً وموزعة داخل الخشب توزيعاً منتظماً او يتغير الحجم تدريجياً من الخشب المبكر الى الخشب المتأخر كما في الاسفندان *Acer* والحور او الغرب *Populous alba* والتامول *Betula* والزيتون *Olea* والكافور *Eucalyptus*. ويعد هذا النوع بدائي

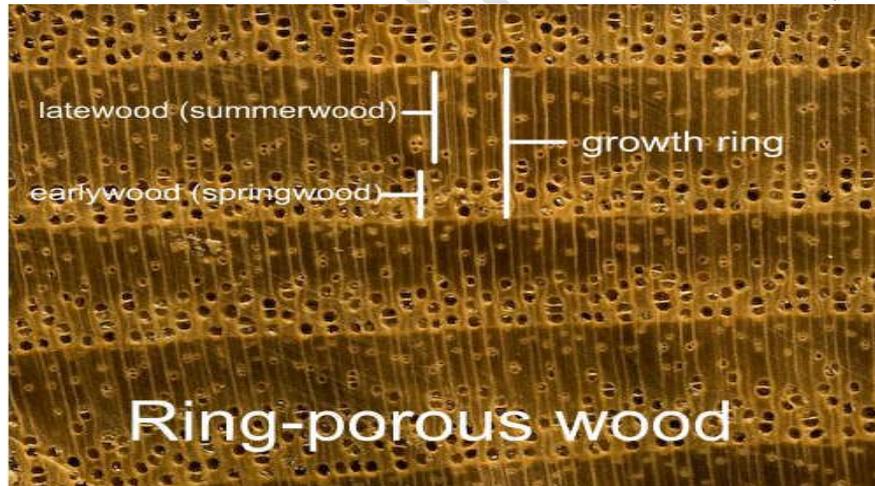
Ring porous wood: وهو الخشب التي تكون فيه اقطار الاوعية متباينة حية تكون اقطار الاوعية المتكونة مبكراً واسعة والمتكون في الصيف ضيقة ويكون اكثر تطوراً من الخشب المنتشر المسام كما في الدردار *Fraxinus* والبلوط *Quercus* و *Robinia*

* يوصف خشب عاريات البذور بانه لا مسامي لخلوه من الاوعية في حين تكون مغطاة البذور مسامية.



الخشب الصميمي والخشب الرخو Heart & sap wood

الخشب الصميمي Heart wood : طبقات الخشب الداخلية اي الخشب المركزي والذي يفقد وظيفته التوصيلية نتيجة لفقدان العناصر الحية لحيويتها وتترسب فيها مادة اللكتين وتترسب في داخل الاوعية زيوت واصماغ وراتنج ومواد دباغية وظيفته الاسناد.
الخشب الرخو sap wood : وهو الخشب المتكون مؤخراً ويتميز بلونه الفاتح ووقوعه خارج الخشب الصمي وعناصره تبقى حية ووظيفته الاسناد والنقل.



الخشب الثانوي في عاريات البذور Secondary xylem in Gymnosperm

مميزاته:

- 1- ايسر تركيب واقل تجانساً من خشب مغطاة البذور
- 2- لا يحتوي على اوعية ما عدا مرتبة الـ Gnetales
- 3- البارنكيما قليلة خصوصاً المحورية اي انها قد توجد او لا توجد
- 4- خالي من الالياف المستدقة libri-form

- 5- توجد النقر المصفوفة على الجدران القطرية عادة
- 6- توجد في بعض عاريات البذور تراكيب هلالية تسمى (Bars of Sanio (crassulae).
- 7- قد توجد زوائد جدارية Trabeculae تمتد ما بين الجدران (sing.crassula) **crassulae**: في قصيبات معرة البذور: وهي تثخات المادة البينية والجدار الابتدائي على طول حافتي النقرة العليا والسفلى
- Trabecula** وهي تراكيب شبيهة بالقضبان ناشئة من جدران الخلية تمتد ما بين الجدران المماسية في بعض القصبات عبر التجويف الخلوي وتربط هذه الجدران ببعضها، وتتنظم القصببات التي تحويها بصفوف قطرية.
- 8- الاشعة تكون على نوعين
- أ- متجانسة Homocellular rays مكونة من خلايا بارنكيمية
- ب- غير متجانسة Heterocellular rays مكونة من خلايا بارنكيمية + قصيبات تسمى القصببات الشعاعية Ray tracheids وهي ذات جدران ملكنة ونقر مضغوطة وهي اما توجد فرادى او في صفوف.
- 9- الاشعة اما ان تكون وحيدة الصف او متعددة الصفوف
- Cross field**: الحقل المستعرض وهو المنطقة التي تلتقي فيها القصبه المحورية بالخلية البارنكيمية الشعاعية وتحتوي على نقر نصف مصفوفة (من جهة القصبه نقره مصفوفة ومن جهة الخلية البارنكيمية مكونة بسيطة ويعد هذا الحقل مهماً من الناحية التصنيفية.
- Resin duct**: توجد في النظامين المحوري والشعاعي وتتكون بالطريقة الانشطارية والخلايا الطلائية المحيطة قد تكون التايلوزات او تتلكنن جدرانها مما يؤدي الى موتها، وقد تبقى لعدة سنوات.
- اسباب تكونها: اما نتيجة لضرر او جرح او ضغط او صقيع- او طبيعية كما في الصنوبر لا تتكون فيه قنوات راتنجية.