la feuille الورقـــة

الورقة هي أحد الأعضاء الرئيسية الهوائية المهمة المكونة للنبات وبجزئه الهوائي, وتعتبر مصدر الغذاء الحياتي للإنسان والحيوان والنبات نفسه قبل ذلك. وتعتبر مصفاة الهواء والجو الطبيعية، وفيها تتم غالبية عملية التمثيل الضوئي

معظم النباتات الوعائية تحتوى على عضو نباتى منبسط أخضر اللون ويقوم بعملية التمثيل الضوئى *photosynthesis* وبناء المواد الكربوهيدراتية إلى جانب القيام بعملية النتح *transpiration* أو التبادل الغازى وهذا العضو فى النباتات البذرية وكثير من السراخس يطلق عليه أوراق كبيرة *megaphyllous* وفى بعض السراخس يطلق عليه الأوراق الصغيرة *microphyllous* ونقطة اتصال الورقة بالساق هى منطقة العقدة *node* على الساق والزاوية بين الورقة والساق من أعلا تسمى إبط الورقة *leaf axil*

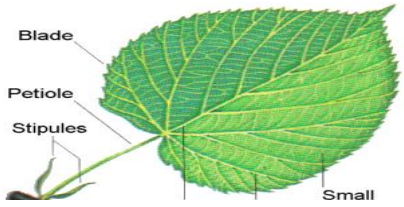
أجزاء الورقة:

1- **النصل** *blade (lamina)*

2- **العنق***petiol*

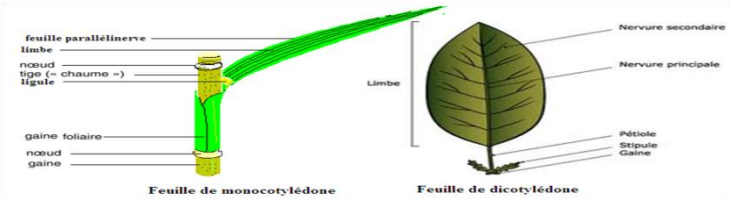
3- **القاعدة** *Base*

4- **الاذينات** **Stipules**



وقد تحاط القاعدة بذائدتين على هيئة شبة ورقية كما فى البسلة أو على صورة أشواك كما فى السنط وتسمى الزائدتان بالأذنات *stipules*وأيضا قد تكون ملتصقة مع العنق .

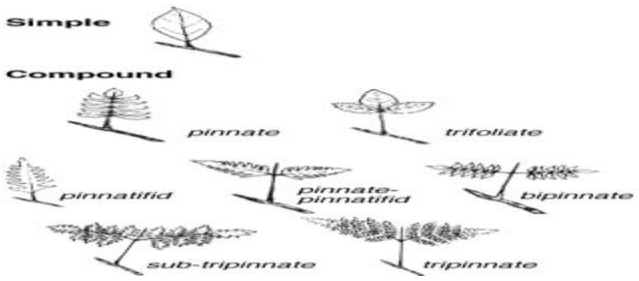
تنشأ الأوراق من نموات بارزة لبعض خلايا المرستيم القمى تسمى مبادئ الأوراق *leaf primordia*وباستمرار نموها تتكون الأوراق وفى البداية تشمل الانقسام كل المنطقة القمية حتى يكتمل نمو الورقة فى ذوات الفلقتين ولكن فى ذوات الفلقة تصل الورقة الشريطية إلى أقصى طول لها نتيجة وجود مرستيم بينى فى قواعد الأوراق.



نصل الورقة *Leaf blade*

النصل هو الجزء المنبسط الرقيق من الأوراق والأخضر اللون فى معظم الأحيان ويقوم بعمليتى البناء الضوئى والنتح.

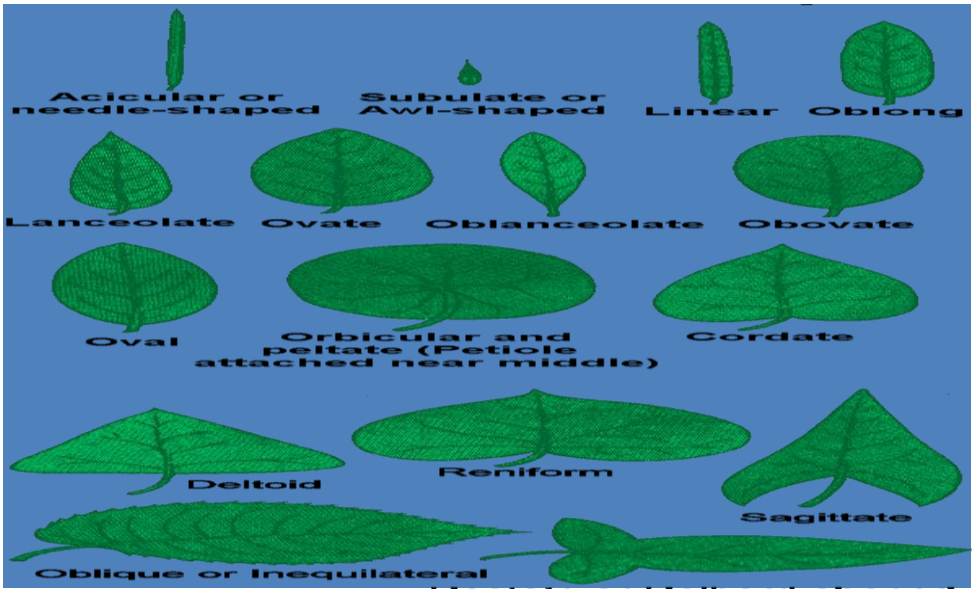
وتعتبر الأوراق بسيطة*Simple leaf* إذا تكون النصل من قطعة واحدة أما إذا تكون النصل من عدة أجزاء تسمى الورقة مركبة*Compound leaf* ويسمى كل جزء وريقة*Leaflet* . وتشبه الوريقات الورقة البسيطة ولكن لا يوجد فى أباطها براعم. والأوراق المركبة قد تكون مركبة ريشية*pinnate compound leaf* إذا كانت الوريقات فى صفين على جانبى محور الورقة الذى يقع على امتداد عنق الورقة. وقد ينتهى محور الورقة المركبة الريشية بوريقة واحدة وفى هذه الحالة تسمى ورقة مركبة ريشية فردية أو تنتهى بوريقتين وتسمى ورقة مركبة ريشية زوجية. وعندما تخرج الوريقات من نقطة واحدة فإن الورقة المركبة فى هذه الحالة تسمى ورقة مركبة راحية*palmate compound leaf* . وفى حالة الورقة المركبة الراحية يمكن أن توصف بأنها ثلاثية أو رباعية أو خماسية وهكذا بناء على عدد الوريقات الموجودة. وأيضاً فى حالة الورقة المركبة الريشية ممكن أن تتجزأ الوريقات إلى وحدات أصغر منها تسمى رويشات وفى هذه الحالة يطلق على الورقة المركبة الريشية بأنها ريشية متضاعفة



أشكال النصل *Blade shapes*

نصل الورقة يأخذ أشكالاً عديدة ومن هذه الأشكال:-

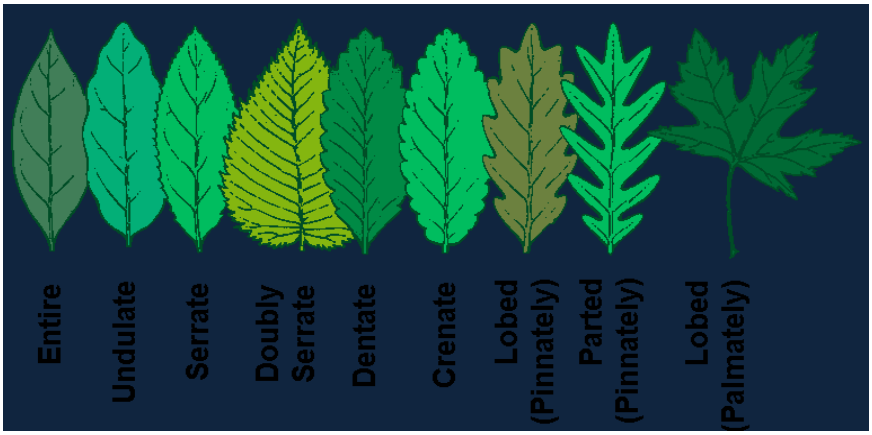
1. الأبرى *Acicular* كما فى الصنوبر 2. شريطى *Linear* فى النجيليات
3. الرمحى *Lanceolate* فى الدفلة 4. السهمى *Ssgittate* كما فى السلق والكلا
5. البيضى *Ovate* الدورانتا والملوخية 6. والبيضاوى *elliptic* فى الياسمين الزفر
7. المستطيل *Oblong* فى اللبخ 8. الدرعى *Peltate* فى أبو خنجر
9. القلبى *Cordate* فى المشمش والبطاطا 10. الملعقى *Spatulate* فى الرجلة والأقحوان 11. دائرى *Orbicular* البلارجونيم 12. الأنبوبى *Tubular* فى البصل
13. مزراقى *Hastate* فى العليق 14. شبه مثلث *deltoid* فى الحور.



حافة النصل *Blade margin*

يختلف شكل الحافة من نبات إلى آخر ومن أهم هذه الأشكال:-

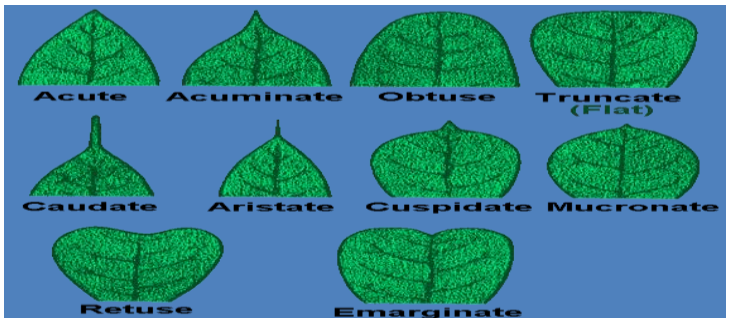
1. حافة كاملة *Entire* الكافور 2. حافة منشارية *serrate* الملوخية ووريقات الورد
3. حافة مسننة *dentate* المشمش 4. حافة شوكية *Spiny* الصبار
5. حافة متموجة *crenate* التوت والخطمته. 6. حافة مجزأة *Parted* مثل الجرجير
7. حافة مفصصة *Lobed* ريشياً *Pinnately* مثل الفحل أو راحياً *Palmately* مثل الخروع والعنب.



قمة النصل *Blade Apices*

تأخذ قمة الورقة أشكال مختلفة منها:-

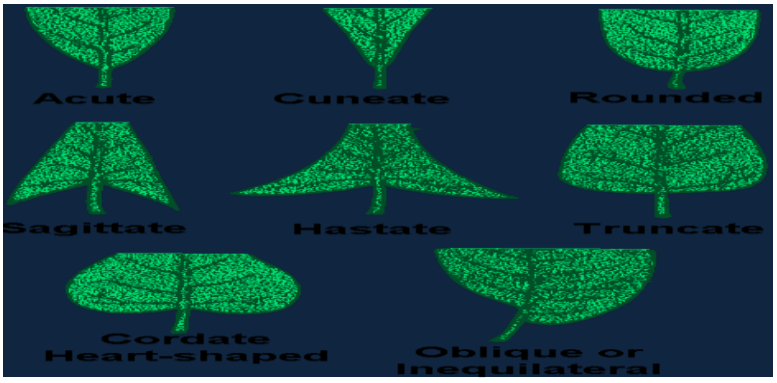
1. القمة الحادة *acute* الدفلة والدورانتا
2. القمة المستدقة *acuminate* السرسوع
3. قمة مستديرة *Obtuse* النبق واللبخ
4. قمة منخفضة *emarginate* خف الجمل
5. قمة شوكية *aristate* نخيل البلح والصبار
6. قمة مذنبة *Cudate* بعض أنواع الفيكس



قاعدة النصل *Blade bases*

توصف القاعدة كما توصف أشكال النصل منها:

1. قاعدة قلبية *Cordate* البطاطا والمشمش
2. قاعدة سهمية *Sagitate* العليق
3. مزراقية *Hastate* العليق
4. المسحوبة *acuminate*
5. القاعدة المستديرة *rounded*.

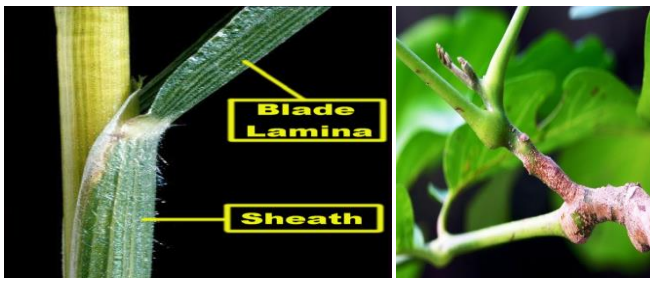


عنق الورقة *Leaf petiole*

هو ذلك الجزء الاسطوانى فى معظم الأحيان ويحمل النصل ويصله بالساق فى منطقة العقدة *node*. والعنق ما بين قصير وطويل ومعدوم فى بعض النباتات. والورقة المعنقة *Petiolate* وهى الورقة التى لها عنق والورقة الجالسة *Sessile* هى الورقة التى ليس لها عنق. وقد يأخذ العنق شكل مجنح *Winged* كما فى النارنج- وقد يكون عريض وشبه ورقى فيسمى بالعنق المتورق *Phyllode*- وفى حالات أخرى يأخذ العنق شكل محلاقى *Tendril* للالتفاف كما فى أبو خنجر.

3. قاعدة الورقة *Leaf base*

وهى الجزء القاعدى من العنق والذى يتصل مباشرة بعقدة الساق- وفى كثير من الأحيان تكون هذه القاعدة منتفخة على هيئة وسادة*Pulvinus* كما فى البونسيانا والفاصوليا- وقد تكون عريضة وتحيط منطقة العقدة كما فى البقدونس والكرفس. وتنتشر القاعدة الغمدية*Sheath* فى نباتات الفلقة الواحدة مثل الذرة والقمح .

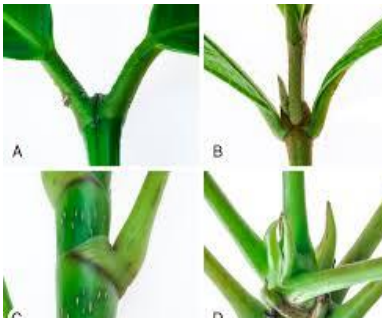


يطلق على مكان خروج الورقة من على الساق اسم منبت الورقة ويطلق على مكان خروج الورقة على الساق الهوائية واضحة العقدة والسلاميات بالمنبت الأصلى- وفى حالة السيقان القصيرة منضغطة العقدة والسلاميات مثل الفجل والجزر وتظهر فيها الأوراق كما لو كانت خارجة من الجذر- سمى المنبت بالمنبت الجذرى – *Radical Leaf* وفى بعض النباتات تتراكب قواعد الأوراق فوق بعضها كما فى الأبصال فتسمى بالورقة المتراكبة المنبت *Equitant*.

4- الاذينات Stipules

وهي زوج من الزوائد الصغيرة توجد عند قاعدة السويق الورقي وفي حالة وجودها تسمى الورقة بالمؤذنة stipulate leaf و تسمى الورقة غير المؤذنة في حالة عدم وجودها estipulate or exstipulate مثال ورقة الباقلاء *Vicia*في الحالة الاولى والكالبتوز *Eucalyptus* في حالة الورقة غير المؤذنة اما اذينة الوريقة فتسمى stipel كما في الماش *Vigna* والفاصوليا *Phaseolus*

وهناك زوائد تقع عند قاعدة نصل بعض اوراق النباتات وتسمى هذه الزوائد الاذنيات النصلية auricle كما في الملوخية *Corchorus* والمديدر *Convolvulus* تتخذ الاذنيات اشكال مختلفة.



a) الورقية Leafy stipule كما في البزاليا والباقلاء *Vicia& Pisum*
b) الحرشفية scaly stipule كما في التوت *Morus* والخباز *Malva*
c) الشوكية spiny stipule كما في النبق *Zizyphus* والشفلح *Capparis*
d) الغشائيةmembranous اوالغمدية sheathing وتدعى هذه الاذينة والتي تكون محيطة بالعقده ocrea او ochrea كما في معظم افراد العائلة Polygonaceae
e) الملتحمة adnate كما في الورد الاشرفي
f) المحلاقية وهي تراكيب خيطية الشكل تلتف حول المسند كما في العشبة المغربية *Smilax* من العائلة الزنبقية.

التعريق *Venation*

يوجد منشر داخل نصل الورقة مجموعة عروق *veins* وهى عبارة عن توزيع الحزم الوعائية داخل النصل والتى تقوم بنقل الغذاء المصنع فى الورقة أو المنقول إلى الورقة من الجذور والسيقان ولذلك تنقل هذه الحزم بحزم العنق ثم الساق ثم الجذر. والعروق إلى جانب عملية النقل والتوصيل فهى أيضا تكسب النصل المتانة والقوة التى تحميها من عملية التمزق. ويتم توزيع العروق داخل النصل بنظام محكم وأهم هذه النظم هى التعريق الشبكى *Reticulate* والتعريق المتوازى *parallel* .

التعريق الشبكى *Reticulate venation*

1. شبكى ريشى *Pinnate* كما فى التوت – المشمش – الملوخية وهكذا..

2. شبكى راحى *Palmate R.* كما في العنب – الخروع – القطن....

التعريق المتوازى *Parallel Venation*

1. المتوازى الطولى *Basal parallel* كما فى الذرة – القمح – الشعير

2. المتوازى العرض *Parallel costal* كما في نبات الموز.

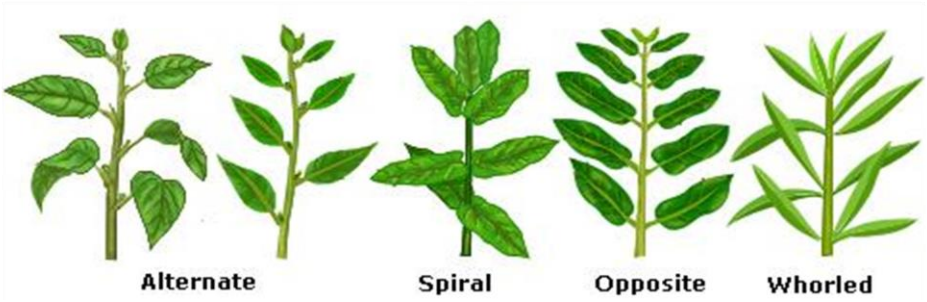
نظام وضع الأوراق على الساق *phyllotaxy*

يختلف نظام توزيع الأوراق على ساق النبات من نوع نباتى إلى آخر وهناك ثلاث نظم رئيسية لترتيب الأوراق على سيقان النباتات هى المتبادل والمتقابل والسوارى.

النظام المتقابل *Opposite*

-النظام المتبادل أو الحلزونى *Altennate or spiral*

النظام السوارى *whorled*

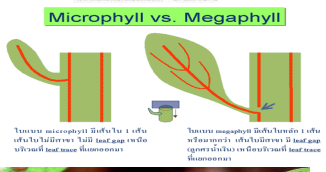


التباين الورقى *Heterophylly*

وهى ظاهرة وجود أكثر من شكل ورقى على نفس النبات- فقد يختلف شكل الورقة خلال المراحل المختلفة من النمو والمثال على ذلك نبات القطن حيث يختلف شكل الورقة فى مرحلة النمو الخضرى عن مرحلة النمو الزهرى والثمرى .

أنواع الأوراق ***Type of leaves***

توجد صور مختلفة من الأوراق يمكن حصر أهمها فى الأنواع التالية:-



1- **الأوراق الأولية** *Prophylls*

2- **الأوراق الفلقية** *Coyledonary*

3- **الأوراق الحرشفية** *Scaly leaves*

4- **الأوراق الصغيرة** *Microphylls*

5- **الأوراق الكبيرة** *Megaphylls*

6- **الأوراق الخوصية** *Foliage leaves*

7- **الأوراق الجرثومية** *Sporophylls*

الأوراق المتحورة ***Modified leaves***

وهى أوراق تحورت عن الشكل الطبيعى للورقة وقد يكون ذلك مرتبط بوظيفة جديدة للورقة غير الوظائف العادية من بناء ضوئى ونتح ومن هذه التحورات:-

1- **الأوراق المخزنة** *Storage leaves*

2- **الأوراق المتسلقة** *Climbing Leaves*

3- **الأوراق الشوكية** *Spiny leaves*

4- أوراق للحماية *Protective*

5- **الأوراق الزهرية** *Flowering Leaves*

6- **أوراق النباتات قانصة الحشرات**

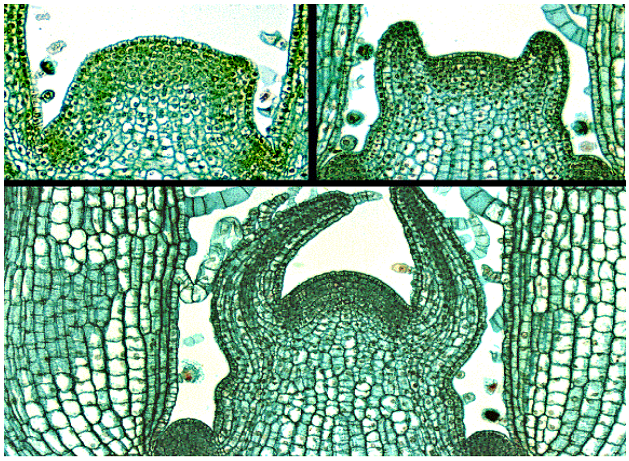
التركيب الداخلى للأوراق Internal structure of leaves

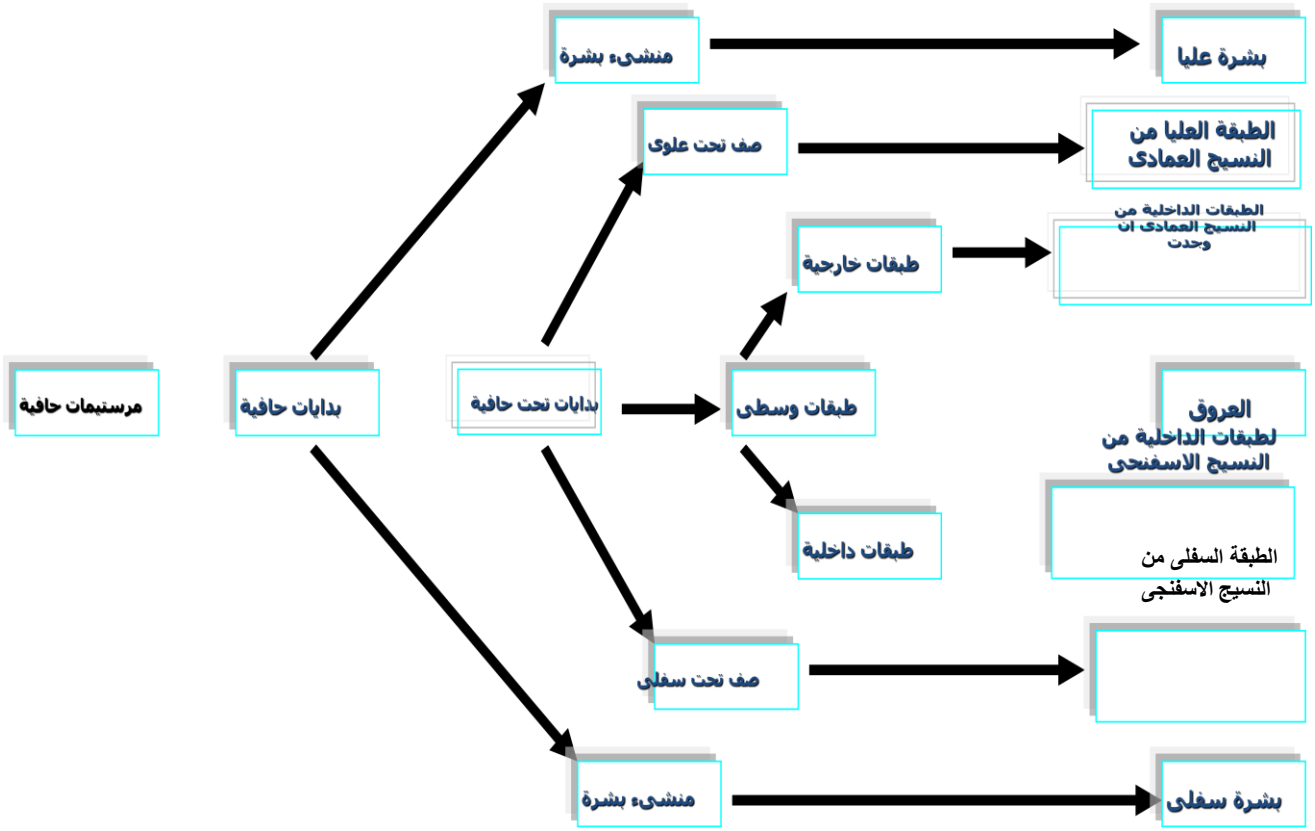
تنشأ الأوراق من بدايات الأوراق التى توجد حول المرستيم القمى فى البراعم , يحدث النمو فى البداية فى جميع أجزاء بداية الورقة ويكون معظمه ناتج عن نشاط الخلايا المرستيمية الموجودة فى قمة بداية الورقة ثم يقل النمو القمى ويتوقف مبكرا ويكتمل نمو الورقة الصغيرة بنمو باقى أجزائها وخاصة الجزء الوسطى كما فى أوراق معظم النباتات ذات الفلقتين أو الجزء القاعدى فى أوراق معظم النباتات ذات الفلقة الواحدة.

أول ما يظهر من بداية الورقة نتوء جانبى صغير على أحد جوانب المرستيم القمى يسمى سند الورقة Leaf buttress ثم يتركز النشاط الإنقسامى فى منطقة علوية محدودة من سند الورقة مكونة محور الورقة Leaf axis ثم يتكون على جانبى

محور الورقة عدا عند القاعدة مجموعتان من المرستيمات الحافية Marginal meristems وهى التى بتكون منها نصل الورقة بينما ينشأ العرق الوسطى من نسيج محور الورقة المحصور بين المرستيمات الحافية وينشأ عنق الورقة من الجزء القاعدى لمحور الورقة.

تشمل المرستيمات الحافية نوعين من البدايات المرستيمية هما البدايات الحافية والبدايات تحت الحافية . البدايات الحافية Marginal initials هى خلايا مرستيمية تكون الطبقة السطحية لمحور الورقة وتنقسم خلاياها بجدر عمودية على السطح لتكون منشئ البشرة Dermatogen الذى بإنقسام ونمو وتشكل خلاياه يكون البشرتين العليا والسفلى للورقة . أما البدايات تحت الحافية Sub-marginal initials فتنقسم بجدر موازية للسطح مكونة صفين من الخلايا أحدهما داخلى والأخر خارجى . تنقسم خلايا الصف الخارجى بجدر عمودية على السطح وينتج عن ذلك تكوين صفين من الخلايا , صف تحت علوى (أى تحت منشئ البشرة العليا) وهذا يعطى الطبقة العليا من النسيج العمادى , وصف تحت سفلى (أى تحت منشئ البشرة السفلى) وهذا يعطى الطبقة السفلى من النسيج الأسفنجى . أما الصف الداخلى من البدايات تحت الحافية فتنقسم خلاياه فى إتجاهات مختلفة مكونة باقى النسيج الأسفنجى وكذلك نسيج البروكامبيوم الذى تنشأ الحزم الوعائية, وقد تتكون منه طبقات داخلية من النسيج العمادى وذلك فى الأوراق التى يكون نسيجها العمادى مكون من أكثر من طبقة واحدة . تتشكل الأنسجة الوعائية من البروكامبيوم ويبدأ التشكل من قاعدة الورقة على إمتداد الأثر الورقى متجها إلى أعلى فى نصل الورقة , واللحاء هو أول ما يتشكل من الأنسجة الوعائية يليه الخشب ويحدث التشكل بنفس الترتيب فى الأثر الورقى.

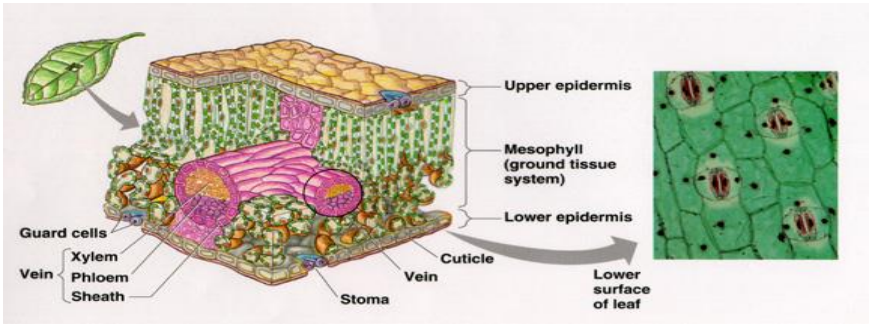




تركيب الورقة فى نباتات ذات الفلقتين

أ-البشرة *epidermis*

تتركب البشرة عادة من صف واحد من الخلايا المتراصة الخالية من المسافات البينية والمغطاة بطبقة الكيوتيكل *cuticle* وقد تتركب البشرة من أكثر من صف من الخلايا فى نباتات البيئات الخاصة وينتشر الثغور فى البشرة السفلى بنسبة أكثر منها فى البشرة العليا- وكثيراً ما يخرج من خلايا البشرة زوائد على هيئة شعور أو أشواك وتسمى بزوائد البشرة *trichomes*. خلايا البشرة عادة خالية من البلاستيدات الخضراء ماعدا الخلايا الحارسة للثغور .



النسيج المتوسط *mesophyll*

هو النسيج الأساسى فى الورقة والذى يقع ما بين البشرة العليا والسفلى ويتميز فى نباتات ذات الفلقتين إلى نسيج عمادى ونسيج إسفنجى. وخلايا النسيج الأساسى بصفة عامة برانكيمية كبيرة الحجم تحتوى على نسبة عالية من البلاستيدات الخضراء. وتظهر خلايا النسيج المتوسط المجاورة للبشرة العليا فى القطاع العرضى- مستطيلة وعمودية على سطح الورقة ونسبة البلاستيدات الخضراء بها أعلى من نسبتها فى بقية خلايا النسيج والمسافات البينية بينها قليلة وتسمى هذه المنطقة من النسيج الأساسى باسم الخلايا العمادية *palisade cells*. أما الخلايا المجاورة للبشرة السفلى فتظهر بأشكال غير منتظمة

ونسبة البلاستيدات الخضراء بها أقل من الخلايا العمادية والمسافات البينية بها كثيرة وكبيرة وتسمى بالخلايا الإسفنجية *Spongy cells*. فى بعض الأجناس يوجد نسيج عمادى مجاور للبشرة العليا وأيضاً للبشرة السفلى. النسيج العمادى يتكون عادة من صف واحد من الخلايا ولكن فى بعض الأجناس وتحت ظروف خاصة يتكون النسيج العمادى من أكثر من صف من الخلايا.

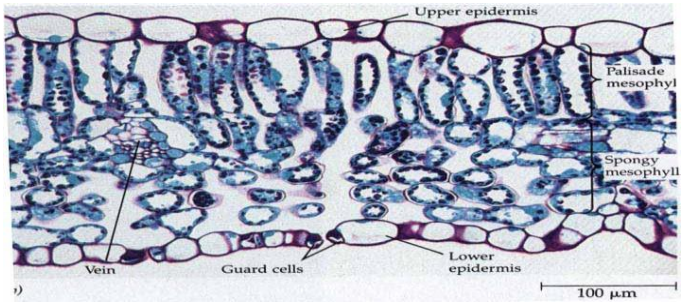
يوجد فى النسيج الأساسى خلايا تقوم بعملية التدعيم للنصل وخاصة حول العروق فى مناطق الحزم الوعائية وهذه الخلايا قد تكون كولنكيمية أو اسكلرانكيمية وتوزيع هذه الخلايا يختلف من نبات إلى آخر.

الأنسجة الوعائية *Vascular tissues*

العروق *veins* وهى عبارة عن نهايات النسيج الوعائى للنبات وتوجد مغمورة فى خلايا النسيج المتوسط. وتقوم الحزم الوعائية فى منطقة العروق بعملية التوصيل وأيضاً عملية التدعيم للنصل. وأكبر الحزم الوعائية هى حزمة العرق الوسطى الرئيسى- وتتركب الحزمة الوعائية من خشب ابتدائى جهة البشرة العليا ولحاء ابتدائى جهة البشرة السفلى- وتترتب أوعية الخشب فى الحزمة بحيث يكون الخشب الأول جهة البشرة العليا والخشب التالى جهة البشرة السفلى مجاور للماء والحزمة جانبية مفتوحة وقد تحتوى منطقة العرق الوسطى على حزمة واحدة هلالية الشكل وبعض الأحيان تكون مستديرة الشكل. وعند وجود أكثر من حزمة عادة تظهر جميعها فى شكل دائرى أو نصف دائرى وفى بعض الأحيان تكون مبعثرة.

وتتركب الحزمة الوعائية الرئيسية من نسيج لحاء يتركب من أنابيب غربالية وخلايا مرافقة وخلايا برانشيمية. الحزم الوعائية الصغيرة البسيطة فى التركيب فيتركب الخشب من القصيبات فقط واللحاء من خلايا برانشيمية فقط. تحاط الحزمة الوعائية بخلايا برانشيمية متماسكة تعرف باسم غلاف الحزمة.

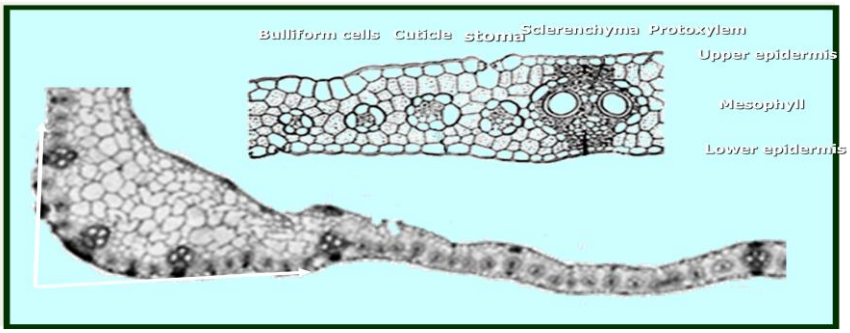
وتركيب النسيج الوعائى فى عنق الورقة عبارة عن امتداد للتركيب الوعائى للسيقان الحديثة لنفس النبات. ويوجد فى العنق حزم وعائية تشبه حزم الساق وتكون الحزم مرتبة فى دائرة واحدة وقد تترتب فى نصف دائرة وفى أعناق الوراق الحديثة يوجد حزمة واحدة هلالية الشكل.



البنية التشريحية لأوراق أحاديات الفلقة:

البشرة *epidermis*

تتركب البشرة من صف واحد من الخلايا المتراصة تشبه مثيلاتها فى ذات الفلقتين وكثيراً ما يوجد خلايا كبيرة الحجم ذات جدر رقيقة فى البشرة وتنثنى عندها الورقة *f* سهولة ولذلك يسمى بالخلايا اللافة أو المحركة *Motor cells* . ويوجد أيضاً خلايا قصيرة تسمى بخلايا الفلين وخلايا السليكا- والثغور تترتب فى صفوف طولية- والخلايا الحارسة تأخذ شكل صولجانى *Dumbells*.

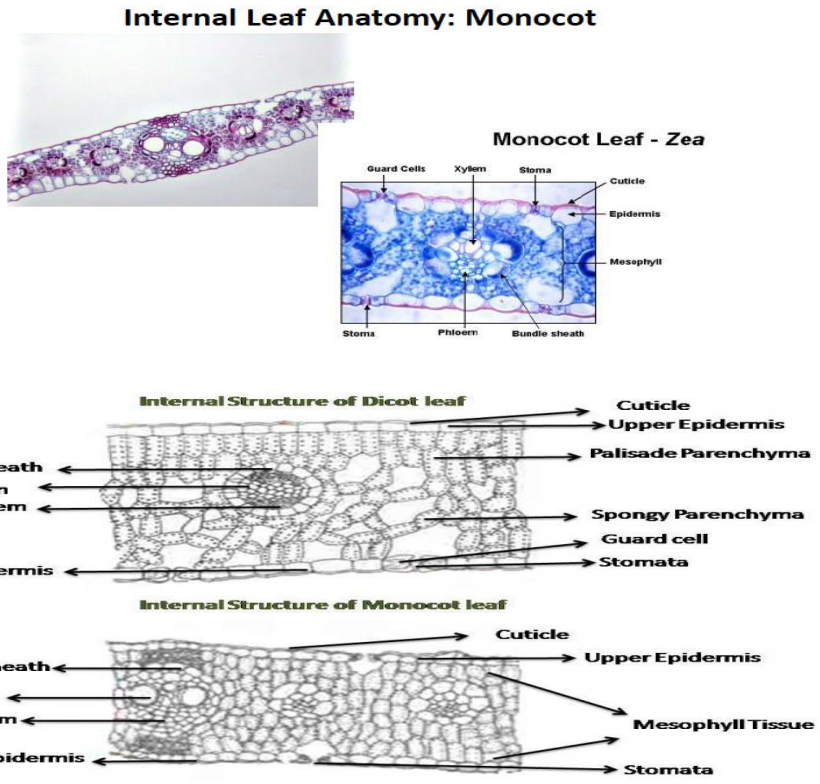


المتوسط *mesophyll*

يتركب من خلايا غنية بالبلاستيدات الخضراء كبيرة الحجم ولا تتميز عادة إلى عمادى وإسفنجى وتقل بينها المسافات البينية. وتوجد الخلايا الاسكلرانكيمية بنسبة كبيرة فى النسيج المتوسط وهى تقوم بتغليف الحزمة الوعائية تغليفاً تاماً أو من أعلا وأسفل فقط وفى بعض الأحيان من جهة واحدة.

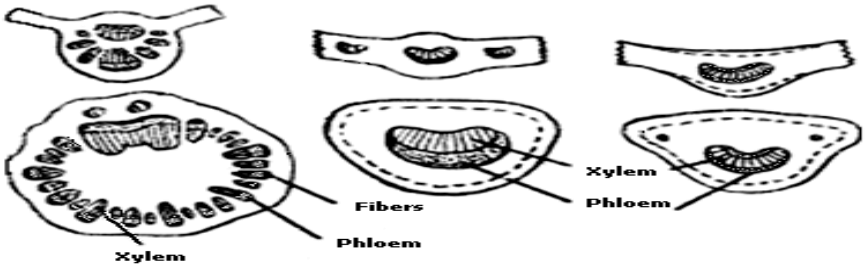
3. الأنسجة الوعائية

تنتشر العروق متوازية طولياً وتظهر الحزم الوعائية فى القطاعات العرضية من النوع الجانبى المقفل وتشبه الحزمة حزمة سيقان ذات الفلقة الواحدة. اللحاء ناحية البشرة السفلى والخشب ناحية البشرة العليا وتترتب أوعية الخشب على شكل حرف Y والخشب الأول تجاه البشرة العليا، والحزم الصغيرة تحتوى على عدد قليل من العناصر الناقلة ويشغل الخشب التالى زراعى حرف Y والخشب الأولى يشغل ساق الحرف Y. وتغلف الحزمة بغلاف حزمى من الخلايا البرانكيمية أو الخلايا الاسكلرانكيمية. ويشبه تركيب نسيج الخشب اللحاء فى أوراق نباتات ذات الفلقة مثيلة فى أوراق ذات الفلقتين.



التركيب الداخلى لأعناق الأوراق

لا تظهر أعناق الأوراق فى القطاعات العرضية بشكل كامل الإستدارة إلا فى حالات قليلة كما فى أوراق العنب إذ تكون عادة مسطحة أو مقعرة قليلا فى السطح العلوى . تتركب أعناق الأوراق عادة من نفس الأنسجة الموجودة فى السيقان الحديثة لنفس النباتات , فالبشرة تشبه مثيلتها فى الساق وتحتوى عادة على ثغور وكثيرا ما توجد بها زوائد بشرة , والنسيج الأساسى يتكون عادة من خلايا بارنكيمية تحتوى على بلاستيدات خضراء فى طبقاتها الخارجية القريبة من البشرة وكثيرا ما يحتوى النسيج الأساسى على خلايا كولنكيمية خاصة فى أعناق أوراق ذوات الفلقتين وخلايا إسكلرانكيمية فى أعناق أوراق ذوات الفلقة الواحدة وتتركز الخلايا الكولنكيمية و الإسكلرانكيمية كأنسجة تدعيمية فى الطبقات الخارجية قريبا من البشرة . أما الأنسجة الوعائية فى عنق الورقة فهى تمثل إمتدادت للأنسجة الوعائية الموجودة فى السيقان الحديثة لنفس النبات , لذا يوجد فى عنق الورقة حزم وعائية تشبه تلك الموجودة فى الساق الحديثة لنفس النبات , وقد تكون الحزم الوعائية فى العنق مرتبة فى شكل دائرة واحدة كما فى أعناق أوراق العنب ولكنها غالبا تكون مرتبة فى شكل نصف دائرة أو هلال يكون فيه الخشب متجها إلى أعلى واللحاء متجها إلى أسفل , وعادة يكون عدد الحزم الوعائية فى العنق من 1 إلى 3 وذلك فى أوراق ذوات الفلقتين ذات التعريق الريشى وأكثر من ذلك فى الأوراق ذات التعريق الراحى , بينما تكون الحزم الوعائية عديدة فى أعناق أوراق ذوات الفلقة الواحدة.



رسومات تخطيطية لقطاعات عرضية فى الجزء الوسطى من النصل (الصف العلوى) وأعناق الأوراق (الصف السفلى) فى [1] العنب ، [2] يوفيسن ، [3] الافلة .

تساقط لأوراق *Leaf abscission*

التساقط عبارة عن احدى الظاهر الفسيولوجيه التى تحدث فى النبات وهى ظاهرة مرتبطه بدورة حياة النبات. وتعتبر ظاهرة تساقط الاوراق احدى الميكانيكيات التى تحدث فى النباتات متساقطة الأوراق لمقاومه برودة الشتاء ويحدث التساقط فى الشتاء نتيجه لانخفاض درجة الحرارة والنهار القصير وزيادة الماء المفقود بالنتح نتيجه لزيادة سرعه الرياح.

كما يحدث التساقط ايضاً فى فصل الصيف حيث تسقط الاوراق والبراعم الزهريه والثمار الصغيرة حديثه التكوين فى الموالح ويحدث هذا التساقط نتيجه لارتفاع درجة حرارة الجو وزيادة كميه الماء المفقود بالنتح بالاضافة الى حدوث خلل فى الهرمونات الداخليه. كذلك يؤدى تعرض النبات لظروف غير ملائمه للنمو مثل غمر النباتات اثناء الرى، الجفاف والتعرض لدرجات الحراره المرتفعه او المنخفضه ونقص العناصر الغذائية الى حدوث تساقط الاعضاء النباتيه، يتضمن تساقط الاوراق عمليتين هامتين هما:

اولاً: تكوين طبقة الانفصال *Separation Layer Formation*

ويتضمن انفصال الورقه ثلاث ميكانيكيات هى:

- ذوبان الصفيحه الوسطى *Middle lamella* بين الخلايا المتجاورة فى منطقه الانفصال
- فى بعض النباتات تذوب الصفيحه الوسطى والجدار الابتدائى فى منطقه الانفصال

- فى النباتات العشبيه يحدث ذوبان طبقه او اكثر من خلايا منطقة التساقط.

ثانياً: تكوين منطقة الحماية *Protective layer Formation*

وهى تحمى خلايا منطقة التساقط بعد انفصال الورقه من الجفاف والمسببات المرضيه ومهاجمة الحشرات وذلك بتكوين طبقات حمايه ذات فنشأ ابتدائى واخرى ذات منشأ ثانوى.

- طبقه الحمايه الابتدائيه
- تكوين طبقه حمايه ثانويه: وتتضمن تكوين نسيج البريدرم *Periderm*

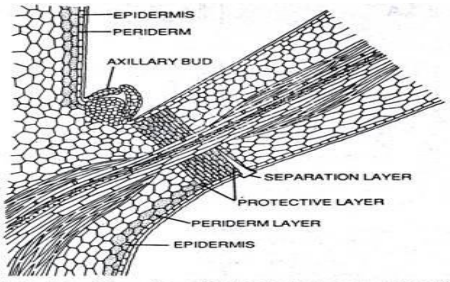


Fig. 41.45. Leaf abscission. Separation within the abscission zone and initiation of periderm.