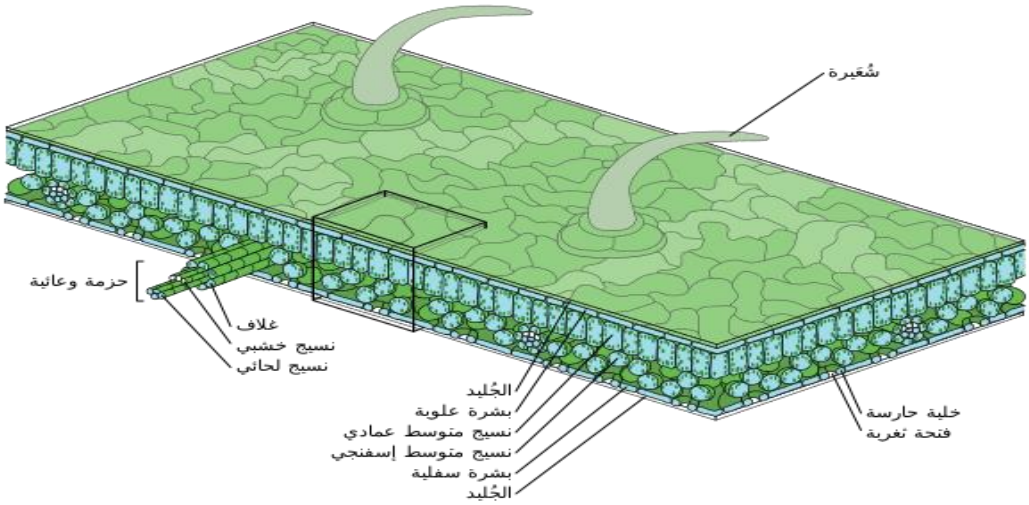
التركيب الداخلي للورقة Internal structure of leaf :

الورقة في أبسط تعريف لها هي جزء منبسط من جسم النبات ينشأ عند العقدة ويحمل في أبطه برعماً ومتكيف في الحالات النموذجية شكلاً وتركيباً للقيام بوظيفتي التمثيل الضوئي والنتح . وتعتبر الورقة في النباتات الراقية العضو المتخصص لهاتين العمليتين . ففي بعض النباتات الواطئة الحاوية على الكلوروفيل كالطحالب يقوم الجزء الأكبر من جسم النبات بعملية التمثيل الضوئي نظراً لعدم وجود أعضاء متخصصة لذلك . وفي بعض النباتات الخضر الراقية - كالنباتات العشبية - تزود الساق أيضاً بأنسجة خضراء ، وبذلك تشترك مع الأوراق في عملية التمثيل الضوئي . كما أن هناك نباتات راقية تعيش في بيئات خاصة تضمر أوراقها وتتحور سيقانها لتقوم هي ذاتها بهذه العملية كما في السفندر *Ruscus* . أما في النباتات المعمرة فتتخصص الأوراق لعملية التمثيل الضوئي بالإضافة إلى عملية النتح . وفي هذه الحالة تكون الورقة مكيفة تركيبياً للقيام بهاتين الوظيفتين .

ورغم أن الورقة تشترك مع الساق في احتوائها إلى حد كبير على نفس الأجهزة النسيجية الرئيسية وهي الضام Dermal tissue system والوعائي Vascular tissue system والأساسي Ground tissue system إلا أنهما تختلفان من حيث التوزيع النسبي لهذه الأنسجة ، ويرجع هذا الاختلاف إلى طبيعة وظيفة كل منهما . فالوضع الرأسي للأنسجة الوعائية ووفرة الأنسجة الدعامية في الساق هما من مستلزمات وظيفتي التوصيل والتدعيم المناطة بهما ، في حين تتميز الورقة بوفرة النسيج الأخضر وأتساع السطح وامتداد أنسجة التهوية داخلها كمستلزمات لعمليات التمثيل والتبادل الغازي.



نشأة الورقة Leaf development :

تنشأ الورقة من المرستيم القمي للساق Shoot apex كنتوء صغير يطلق عليه مصطلح المسند الورقي ينمو ويزداد في الحجم تدريجياً نتيجة استمرار انقسام الخلايا وتكشفها leaf buttress

فيتحول إلى الورقة الأولية أو البداية الورقية Leaf primordium وتتميز أول معالم نشوء الورقة في النباتات الراقية بحصول انقسامات محيطية Periclinal dividions في الطبقة المغلفة تحت السطحية غالباً وينتج عن ذلك تكوين المسند الورقي Leaf buttress يتحول تدريجياً إلى البداية الورقية Leaf primordium ، ويكون الانقسام في بادئ الأمر قمياً Apical ولكنه سرعان ما يستمر قمياً وحافياً Harginal إلى أن تصل الورقة إلى كامل حجمها . وفي عاريات البذور ومغطاة البذور تصل الورقة إلى كامل نضجها بعد فترة قصيرة ، إلا أنها في السرخسيات قد تستمر في نموها القمي بعض الوقت رغم وصول قاعدتها إلى تمام نضجها وفي معظم النباتات تنمو الأوراق من البراعم إلى ما بعد القمة النامية وتغطيها وتقوم بحمايتها . وفي حالة البراعم الشتوية Winter buds تتحور الأوراق الخارجية إلى حراشيف برعمية Bud scales تحتفظ البرعم حتى الربيع التالي . وحينئذ تتفتح البراعم وتنمو الأوراق إلى كامل حجمها . وخلال تكشف البدايات الورقية تتميز منطقتان : منطقة تمثل جزءاً قاعدياً ومنطقة تمثل مبدأ النصل الورقي .

والجزء القاعدي قد يصبح سميكاً ولحمياً ليكون ما يسمى الوسادة Pulvinus ، أو قد يكون عمداً ورقياً Leaf sheath كما في النجيليات ، أو قد يكون أذينات Stipules وذلك بالنسبة للأوراق المؤذنة Stipualte leaves في حين ينمو الجزء القمي إلى تركيب منبسط تمتد خلاله العروق ويتحول إلى نصل الورقة Leaf blade or Lamina وفي الأوراق المعنقة يتكون العنق Petiole ما بين النصل والقاعدة .

ويصاحب التميز الخارجي للورقة أثناء نشوئها تميز داخلي في أنسجتها فالطبقات السطحية على جهتي الورقة تتكشف نتيجة للانقسام المستمر إلى البشرة العليا Upper epidermis والبشرة السفلى Lower epidermis ، في حين تتكشف الأنسجة إلى الداخل من البشرة إلى النسيج المتوسط Mesophyll . وهذا النسيج قد يكون متجانساً ومكونا من نوع واحد من الخلايا كما هي الحال في أوراق النجيليات Gramineae أو قد يتميز إلى نسيج عمادي Palisade tissue ونسيج أسفنجي Spongy tissue كما هي الحال في نباتات البيئة المتوسطة mesophytes . ويتكشف الجزء المركزي من الورقة إلى الأنسجة الوعائية . وبذلك تتميز الورقة عند تمام نضجها داخلياً إلى البشرتين : البشرة العليا Upper epidermis والسفلى Lower epidermis والنسيج المتوسط Mesophyll والأنسجة الوعائية Vascular tissue ويمكن تتبع هذه الأنسجة بالتفصيل كما يلي :

١ - البشرة Epidermis :

تحتوي البشرة في الورقة عادة على أكثر من نوع واحد من الخلايا . فقد تضم بالإضافة إلى الخلايا الاعتيادية للبشرة الخلايا الحارسة Guard cells ، والخلايا المساعدة Subsidiary cells والتي كثيراً ما تصاحب الخلايا الحارسة في العديد من النباتات والشعيرات البشرية Epidermal hairs . كما أن النجيليات (الحشائش) قد تحتوي علاوة على هذه الخلايا والتراكيب خلايا أخرى مثل الخلايا الفلينية Cork cells والخلايا السليكية Sillica cells . وفي بعض ذوات الفلقة الواحدة توجد أيضاً خلايا خاصة تسمى الخلايا الحركية Motor cells تؤثر على انطواء الورقة وانبساطها تبعاً لتغير درجة الرطوبة في الجو

المحيط بالنبات . كما ويوجد في بشرة بعض النباتات مثل التين المطاط *Ficus elastica* خلايا خاصة يطلق عليها خلايا البلورات المعلقة Lithocytes تتميز بوجود بلورات من نوع خاص تسمى البلورات المعلقة Cystolith . وتتميز الورقة بوجود الثغور بها على السطح السفلي فقط أو على السطح العلوي فقط أو السطحين السفلي والعلوي معاً حينئذ تكون أكثر انتشاراً عادة على السطح السفلي . إلا أن توزيعها قد يكون في بعض الحالات متساوياً على السطحين كما في الأوراق العمودية التي توجد في كثير من ذوات الفلقة الواحدة . وفي النباتات الأرضية Terrestrial plants تكون خلايا البشرة الاعتيادية خالية من الكلوروفيل عادة . أما في النباتات المائية Hydrophytes وفي بعض النباتات الوعائية الواطئة مثل كزبرة البئر Adiantum وبوليبوديوم Polypodium وكذلك في نباتات الظل Shade plants فتحتوي خلايا البشرة على كلوروفيل بدرجة ربما أكثر مما تحتها من أنسجة . أما بالنسبة للوظيفة.

فالبشرة تكون طبقة واقية مستمرة فيما عدا فتحات الثغور وتقوم بصفة خاصة بصيانة الورقة ضد الفقدان المفرط للماء كما أنها تقوم أيضاً بمهمتها الدعامية كنسيج ضام له أهميته من هذه الناحية.

٢- النسيج المتوسط Mesophyll tissue :

يطلق لفظ النسيج المتوسط في الورقة على النسيج الأساسي الواقع بين بشرتي الورقة العليا والسفلى والذي يقوم بعد تكشفه بوظيفة معينة هي التمثيل الضوئي . يتكون هذا النسيج بصورة نموذجية من نسيج برنكيمي رقيق الجدران غزير البلاستيدات الخضر ويضم فيما بين خلاياه مسافات بينية واسعة. وفي كثير من النباتات وبوجه خاص نباتات البيئة المتوسطة Mesophytes من ذوات الفلقتين - **يتميز النسيج المتوسط عادة إلى نوعين من الخلايا البرنكيمية:**

a- **برنكيما عمادية Palisade parenchyma: وقد أطلق لفظ النسيج العمادي على النوع الأول من الخلايا نتيجة لكونها مستطيلة الشكل ومتراصة بصورة متوازية بجدر بعضها عموديا على سطح الورقة .**

b- **وبرنكيما أسفنجية Spongy parenchyma: هي الخلايا التي سميت بالنسيج الأسفنجي نتيجة لكونها غير منتظمة الشكل وتضم فيما بينها مسافات بينية بوفرة .**

ويوجد النسيج العمادي عادة في الجهة العليا من الورقة فقط إلا أنه قد يوجد في الجهتين العليا والسفلى كما في ورقة تين المطاط *Ficus elastica* والكسوب *Centaurea* مع وجود قدر قليل من النسيج الأسفنجي بينما وتوصف الورقة في هذه الحالة بأنها ذات وجهين Bifacial أما في حالة وجود الخلايا العمادية تحت سطح واحد فقط فتسمى أحادية الوجه Monofacial وبهذه الخاصية قيمة تصنيفية . وقد تنتظم الخلايا العمادية في صنف واحد أو أكثر . وفي الحالة الأخيرة قد تكون الخلايا متساوية في الطول في الصفوف المختلفة أو تصغر كلما اتجهت إلى الداخل . كما أن هناك بعض الحالات القليلة مثل ورقة *Thymelaea hirsuta* يوجد النسيج العمادي في الجهة السفلية فقط وفي بعض ذوات الفلقتين مثل نبات الكافور *Eucalyptus* والعبل أو الرغل *Atriplex* يتكون النسيج المتوسط من نسيج عمادي فقط كما أن بعض الأوراق الأسطوانية مثل ورقة نبات هاكيا *Hakea* تحتوي أيضاً على نسيج عمادي فقط يحيط بالورقة كلها

ويقع تحت البشرة . أما في ذوات الفلقة الواحدة – وعلى الأخص في النجيليات - فلا يتميز النسيج المتوسط بشكل واضح إلى نسيج عمادي ونسيج أسفنجي بل يكون هناك نوع واحد من الخلايا البرنكيمية غزيرة البلاستيدات وذات مسافات بينية واسعة . وخلايا النسيج العمادي بصورة عامة أسطوانية الشكل أو مستطيلة محكمة الانتظام بجوار بعضها بشكل يجعلها أكثر كفاءة للقيام بوظيفة التمثيل الضوئي إذ تنتظم البلاستيدات بفعل تأثير الضوء تحت الجدار مباشرة بصورة تجعلها تستفيد من الضوء الساقط على الورقة أقصى استفادة ممكنة . وقد تترتب الخلايا العمادية في طبقة أو طبقتين تتواجد مباشرة داخل البشرة أو طبقة تحت البشرة Hypodermis وتتخذ وضعها بحيث يكون محور الخلايا متعامداً. مع سطح الورقة . وفي بعض الحالات قد تكون الخلايا موازية للمحور الرئيسي للورقة كما في ورقة نبات الوديا *Elodea* . كما أنها في أحيان أخرى قد تكون الخلايا موازية لسطح الورقة ومتعامدة في نفس الوقت على المحور الرئيسي للورقة كما في نبات الكولونية *Freezia* والسوسن *Iris* وكلاديولس *Gladiolus* وقد تكون خلايا النسيج العمادي قمعية الشكل ومرتبة باتجاه فتحة القمع إلى السطح العلوي كما في أوراق الزنبق *Lily* . وفي أوراق الصنوبر *Pinus* وبعض المخروطيات لا يتميز النسيج المتوسط إلى عمادي وأسفنجي أنما تتخذ خلاياه شكلاً خاصاً إذ تنثني جدر الخلايا إلى الداخل على صورة بروزات تتراص عندها البلاستيدات وتصبح أيسر اتصالا بالهواء الموجود في المسافات البينية ويطلق على هذا النوع من النسيج العمادي أسم النسيج العمادي ذي الأذرع Armed palisade tissue . ويستحوذ النسيج العمادي على القسط الأكبر من الكلوروفيل ولذلك يبدو السطح العلوي عادة أكثر اخضراراً من السطح السفلي .

أما النسيج الأسفنجي فتتخذ خلاياه أشكالا مختلفة فقد تكون متساوية الأقطار Isodiametric أو مستطيلة Elongated ولكنها عادة غير منتظمة Irregular ذات أذرع ممتدة ومتصلة بحيث تكون شبكة من النسيج الأخضر الغني بالمسافات البينية يتعرض الجزء الأكبر من سطحه للغازات الموجودة بهذه المسافات البينية .

وفي حالات كثيرة كما في ورقة المطاط *Ficus elastica* والدفلة *Nerium* توجد مجموعات من الخلايا العمادية تلتقي أطرافها بخلية واحدة من النسيج الأسفنجي متصلة مباشرة بنسيج اللحاء وتسمي هذه الخلايا بالخلايا المجتمعة Collecting cells ويعتقد أنها تقوم بجمع الغذاء المتكون في النسيج العمادي ونقله إلى نسيج اللحاء .

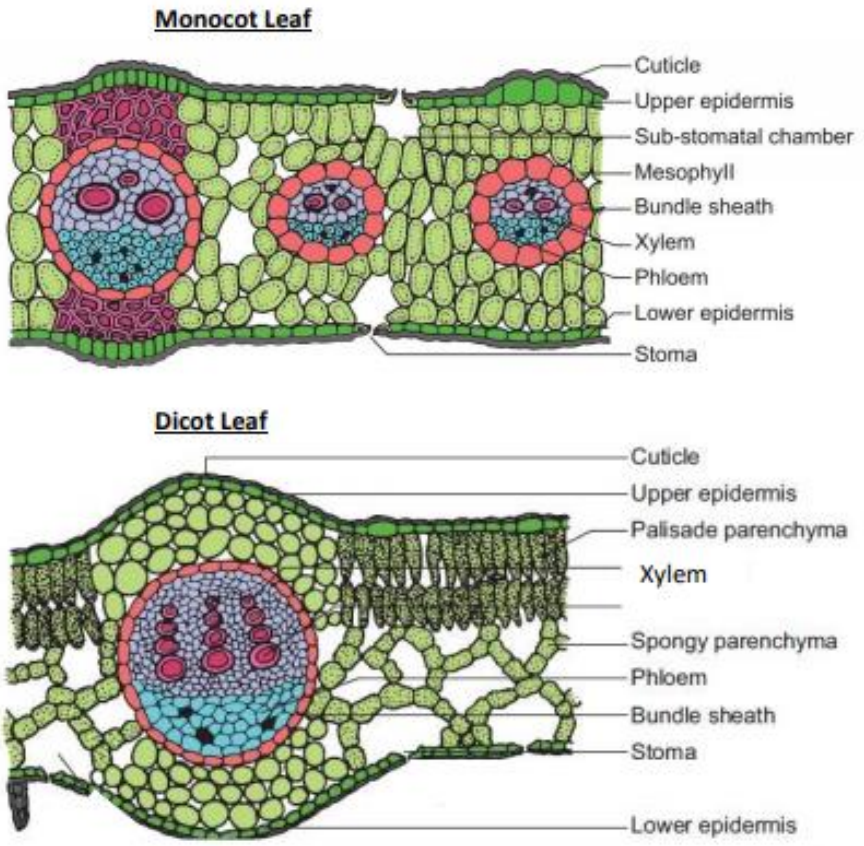
٣- الأنسجة الوعائية بالورقة Vascular tissue of the leaf :

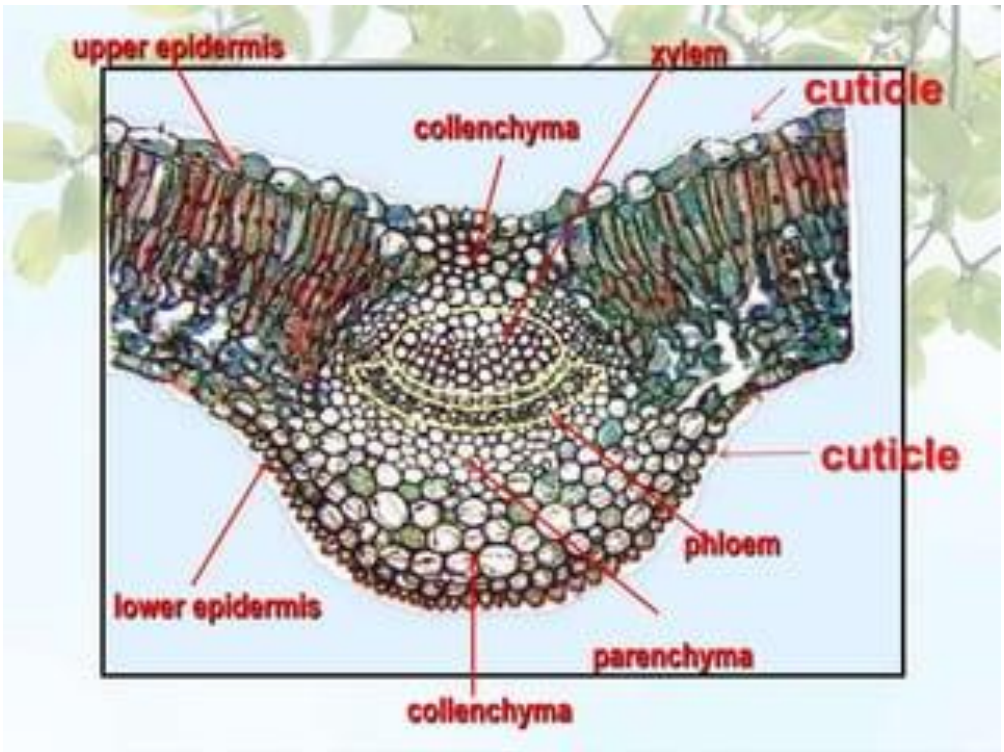
تتوزع الأنسجة الوعائية بالورقة بطريقة يعبر عنها بالتعرق Venation المشتقة . من كلمة عرق vein . والعرق في الورقة قد يتكون من حزمة وعائية واحدة أو مجموعة من الحزم الوعائية . وقد تحتوي الورقة على عرق واحد فقط كما في الصنوبريات ، أما في مغطاة البذور فيوجد نوعان من التعرق : تعرق شبكي Reticulate venation وهو شائع بين ذوات الفلقتين وتعرق متوازي Parallel venation شائع بين ذوات الفلقة الواحدة . وفي التعرق الشبكي تتفرع وتتشابك العروق الرئيسية إلى أن تصل إلى تلك العروق

الدقيقة المسماة بنهايات الحزم Bundle ends ، أما في التعرق المتوازي فتنتظم العروق الرئيسية بطريقة متوازية وتتصل ببعضها عن طريق العروق الصغيرة . ويمكن تمييز التعرق الشبكي في أوراق ذوات الفلقتين إلى نوعين هما تعرق شبكي ريشي Pinnately reticulate وتعرق شبكي راحي Palmetely reticulate ففي التعرق الشبكي الريشي يوجد عرق رئيسي كبير في الوسط يكون ما يسمى بالعرق الوسطي Midrib وتتفرع العروق الصغيرة من العرق الوسطي . أما في التعرق الشبكي الراحي فتوجد عدة عروق رئيسية تنشأ مباشرة من نهاية عنق الورقة ، وهي في حقيقة الأمر استمرار لمسار الأجهزة الوعائية Leaf traces الذي يمتد من الجذر إلى الساق وينتهي أخيراً بالورقة . وتوجد العروق الصغيرة أو الحزم الوعائية المنفردة بوجه عام داخل النسيج الأسفنجي أما العروق الكبيرة فتحتل حيزاً كبيراً من نصل الورقة وقد تمتد ما بين البشرة العليا والبشرة السفلى . وحيث أن الشريط الوعائي يمتد من الساق إلى عنق الورقة ثم إلى نصلها فإن الأنسجة الوعائية تحتفظ بوضعها فيبقى الخشب - في حالة الحزم الوعائية الجانبية على سبيل المثال – متجها نحو السطح العلوي للورقة واللحاء نحو السطح السفلي ، كما أن الأنسجة الوعائية الموجودة بالورقة لا تختلف في طبيعتها عن تلك الموجودة في بقية أجزاء النبات . فيتكون الخشب في العروق الكبيرة من أوعية Vessels وقصيبات Trachids وألياف Fibers وبرنكيما خشب ، وكلما صغرت العروق تقل كمية العناصر تدريجياً حتى تصبح في النهاية مكونة من قصيبة واحدة شبكية أو حلزونية ، وذلك فيما يسمى بنهايات الحزم Bundle ends. ويتكون اللحاء في العروق الكبيرة من أنابيب منخلية Sieve tubes وخلايا مرافقة Companion cells بالإضافة إلى برنكيما اللحاء في أوراق ذوات الفلقتين ، أما في العروق الصغيرة فإن نسيج اللحاء يقل تدريجياً حتى يصل إلى مجرد مجموعة صغيرة من الخلايا البرنكيمية مكونة مع القصيبة الوحيدة نهاية الحزمة .

والحزم الوعائية الكبيرة تحاط عادة بغلاف برنكيمي تحتوي خلاياه على القليل من الكلوروفيل ويعرف في بعض الأحيان باسم غلاف الحزمة bundle sheath . والخلايا المكونة لغلاف الحزمة تكون عادة رقيقة الجدر وممتدة طولياً موازية لمحور العرق . ونظراً لندرة الكلوروفيل بها فهي سهلة التمييز عن بقية خلايا النسيج المتوسط المحيط بها . وفي بعض الحالات القليلة كما في بعض نباتات العائلة الوردية Rosaceae تحتوي خلايا غلاف الحزمة على أشرطة كاسبرية Casparian strips وحينئذ تماثل طبقة القشرة الداخلية النموذجية ، وقد تحتوي في حالات أخرى على حبيبات نشوية وحينئذ تعتبر غلافاً نشوياً . كما أن هناك ما يثبت أن لهذه الخلايا أهمية خاصة بالنسبة للتوصيل وبالنسبة لاختزان المواد الغذائية .

ورقة ذوات الفلقة	ورقة ذوات الفلقتين
تحتوي على الخلايا المحركةmotor cell	لا تحتوي
يكون من خلايا برنكيمية لا يتميز الى نسيج عمادي واسفنجي	يتكون من خلايا برنكيمية عمادية واخرى اسفنجية
العروق متوازية	العروق شبكية
توجد الانسجة الوعائية في نظام متوازي لان تعرق الاوراق متوازي	توجد الانسجة الوعائية في نظام متشابك مكون من عروق الورقة. تقع الحزمة الوعائية الرئيسية في العرق الوسطي
اوعية الخشب على شكل حرف V أو Y	اوعية الخشب على شكل صفوف قطرية مستقيمة

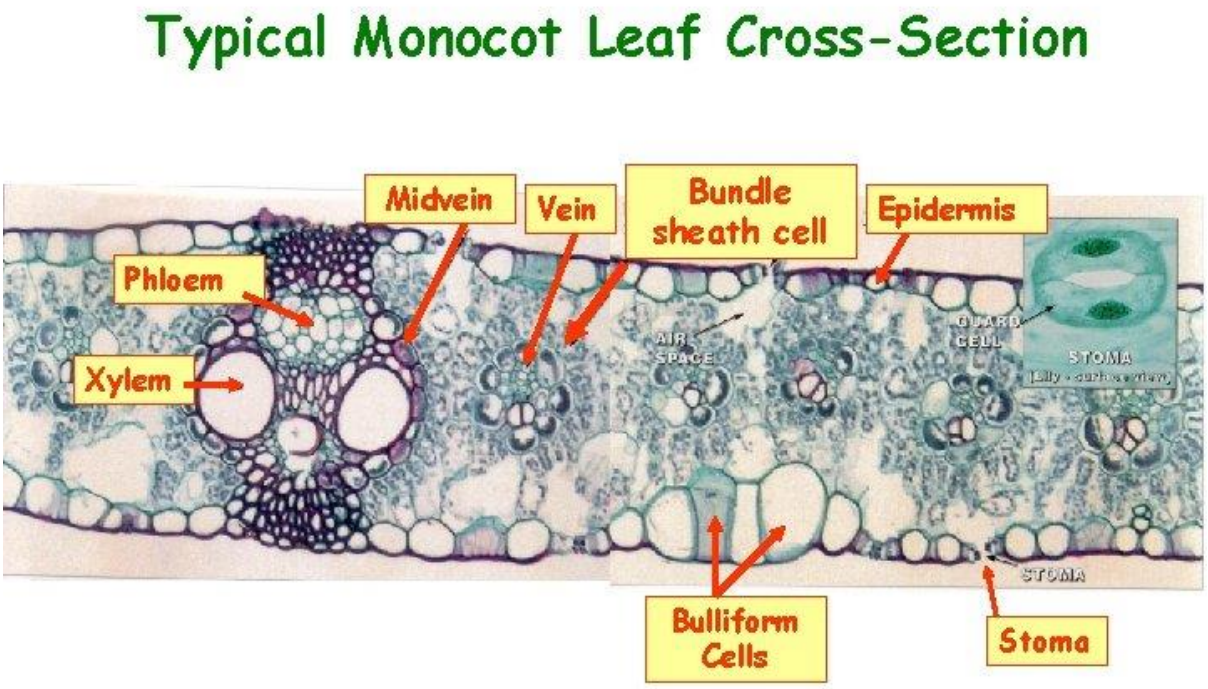

Monocot Leaf
Cuticle
Upper epidermis
Sub-stomatal chamber
Mesophyll
Bundle sheath
Xylem
Phloem
Lower epidermis
Stoma
Dicot Leaf
Cuticle
Upper epidermis
Palisade parenchyma
Xylem
Spongy parenchyma
Phloem
Bundle sheath
Stoma
Lower epidermis


upper epidermis
xylem
cuticle
collenchyma
cuticle
phloem
lower epidermis
parenchyma
collenchyma

ورقة النجيليات Grass Leaf :

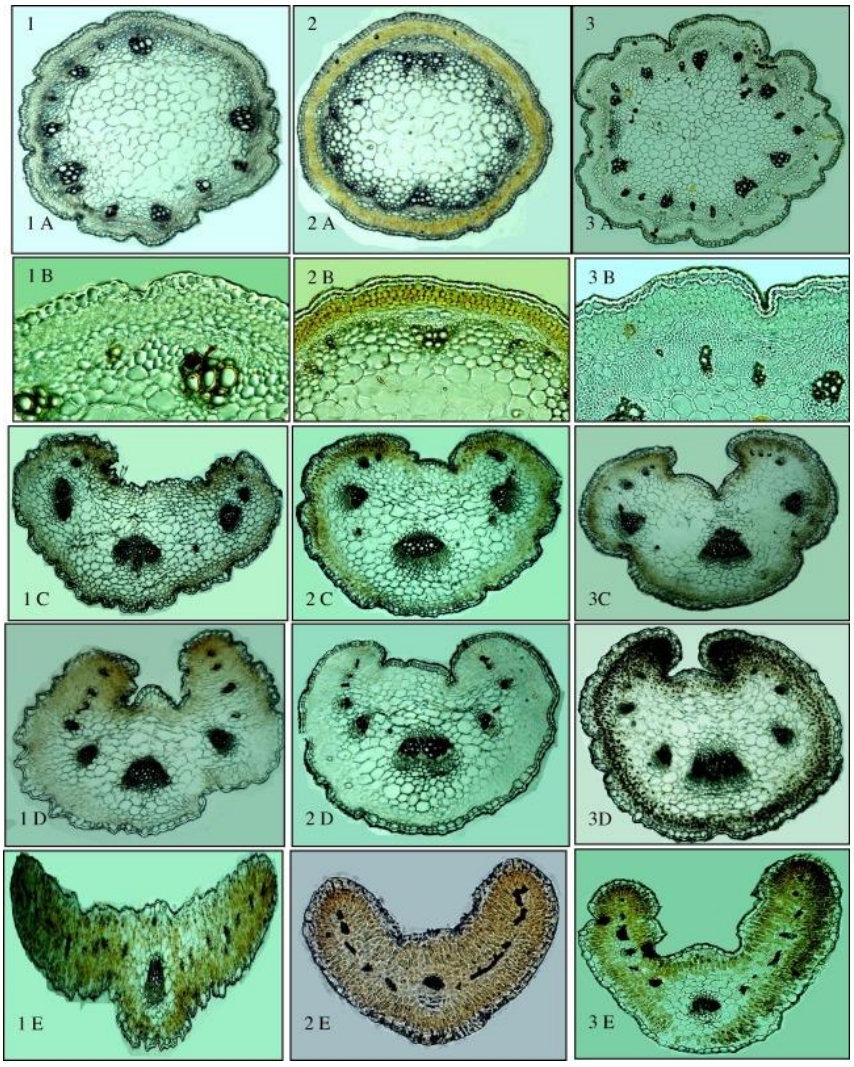
ينطبق ما سبقت دراسته في واقع الأمر على أوراق ذوات الفلقتين وبعض ذوات الفلقة الواحدة إلا أوراق النجيليات Gramineae تنفرد بتركيب خاص يميزها عن ذوات الفلقتين وحتى عن بقية ذوات الفلقة الواحدة وذلك من حيث تكوين أنسجة الورقة المختلفة من بشرة ونسيج متوسط وأنسجة وعائية، فخلايا البشرة تمتد على طول الورقة بشكل صفوف منتظمة وهي مستطيلة في المنظر السطحي إلا أنها مربعة في المقطع المستعرض ، وتكون مغلظة الجدار صغيرة الحجم فوق الحزم الوعائية ، وتعترض الخلايا الاعتيادية من البشرة على أبعاد منتظمة خلايا خاصة تسمى بالخلايا الحركية Bulliform cells or Motor cells تتميز بكبر حجم ورقة جدرانها وتعتبر هذه الخلايا مسؤولة عن انطواء وانبساط الورقة لدى تغير نسبة الرطوبة في الجو المحيط بالورقة . وتتميز أوراق النجيليات بصفة خاصة وذلك بالإضافة إلى ما سبق بنوع الثغور الموجودة بها والذي يسمى بالطراز النجيلي السعدي من الثغور Gramineae – Cyberaceae type .

أما في النسيج المتوسط Palisade tissue فهو عادة غير متميز إلى عمادي وأسفنجي كما هي الحال في أوراق ذوات الفلقتين . وأحياناً قد تتميز طبقة من الجهتين تحت البشرة مباشرة وذلك عن طريق أحكام ترتيب خلاياها في حين يوجد بقية النسيج المتوسط على هيئة خلايا غير منتظمة الشكل . وفي حالات قليلة كما في أوراق السعد *Cyperus* تتواجد الأنسجة الخضراء حول الحزم بشكل أغلفة حزمية Bundle heaths تتميز بغزارة الكلوروفيل بها عن بقية النسيج المتوسط . أما الحزم الوعائية فتمتد طولياً بشكل متواز خلال الورقة يفصلها عن بعضها النسيج المتوسط كما وتكاد تحتفظ الحزمة بحجمها خلال مسارها بالورقة . وتوجد عادة حزمة وعائية مركزية كبيرة تصاحب العرق الوسطي . وهذه الحزمة تشبه إلى حد كبير نظيراتها بالساق أما الحزم الأخرى فتنتظم في صفين أو ثلاثة مرتبة داخل نصل الورقة وتتكون من كمية أصغر من الأنسجة الوعائية ومن الأنسجة الدعامية كذلك . ويصاحب الحزم الوعائية عادة في أوراق النجيليات نسيج سكلرنكيمي ويوجد بشكل عام على هيئة أشرطة ليفية Fibrous strands على الجوانب العليا والسفلى للحزمة ويطلق عليه أحياناً أسم امتداد الغلاف الحزمي Bundle sheath extension . وقد تمتد هذه الأشرطة مع الحزم الوعائية فيما بين البشرة العليا والسفلى وبذلك تساهم بشكل فعال في تقوية الورقة. وفي نجيليات البيئة الجافة يكون النسيج السكلرنكيمي جزءاً كبيراً من نسيج الورقة كما يتضح ذلك في ورقة نبات *Ammophila arenaria* على سبيل المثال . وتحاط الحزمة الوعائية عادة بغمد حزمي من طبقتين من الخلايا : الداخلية منها غليظة الجدران محاكية بذلك طبقة القشرة الداخلية أو مغلظة بصورة عادية ذات طبيعة ميكانيكية، أما الخارجية فتكون من خلايا برنكيمية عادية رقيقة الجدران تفتقر عادة إلى الكلوروفيل ولذلك فهي سهلة التمييز عما يحيطها من نسيج متوسط وقد تحتوي على كلوروفيل ولكن بكمية أقل مما تحتويه الخلايا المجاورة .



التركيب الداخلي لعنق الورقة Internal Structure of Petrole :

قد يتخذ عنق الورقة في بعض الأحيان في المقطع المستعرض شكلاً دائرياً كاملاً ولكن الحالة الأكثر شيوعاً هي أن يكون المقطع على هيئة دائرة غير كاملة ، منبسطاً أو مقعراً من الجهة العليا مع وجود حافتين بارزتين بدرجات متفاوتة تختلف باختلاف النباتات . أما الأشرطة الوعائية والمسارات الورقية فتختلف في طريقة انتظامها وتركيبها تبعاً لذلك . ففي الأعناق المستديرة تتخذ الأشرطة الوعائية نفس الوضع والتركيب الموجودين في الساق التي امتدت منها هذه الأشرطة كما هي الحال في عنق ورقة نبات أكاليفا *Acalypha* أو تكون أسطوانة جوفاء كما في عنق ورقة نبات الخروع *Ricinus communis* . أما في الأعناق ذات السطح العلوي المنبسط أو المقعر فقد تتخذ الحزم الوعائية شكل حذوة الحصان كما في عنق ورقة نبات بوذية *Buddleia* وفي حالات أخرى قد تنحرف الأشرطة الوعائية عن مسارها بالإضافة إلى أنها أيضاً تتجزأ بحيث تصبح مرتبة في أكثر من حلقة واحدة كما في عنق ورقة نبات خف الجمل *Bauhinia* . أما النسيج الأساسي فيكون الخارجي منه مكوناً عادة من خلايا مغلظة الجدران وتكون هذه الخلايا على هيئة نسيج كولنكيمي Collenchyma في أعناق أوراق ذوات الفلقتين وعلى هيئة نسيج سكلرنكيمي Sclerenchyma في ذوات الفلقة الواحدة ، أما بقية النسيج فيتكون من خلايا برنكيمية رقيقة الجدران تتسع تدريجياً كلما أتجت نحو المركز .


1
1 A
2
2 A
3
3 A
1 B
2 B
3 B
1 C
2 C
3C
1 D
2 D
3D
1 E
2 E
3 E