الباب الثامن

الورقـــة

الأوراق هـــى أعـضاء نباتيـــة محـــدودة النمـــو ، مـــسطحة ، رقيقـــة ، غنيـــة بالكلوروفيل عادة ، تخرج من الساق من مناطق تعرف بالعقد ، وتنمو البراعم فى آباطها ، أى فـى الزوايـا العليـا المحصورة بين الأوراق والساق ٠ توجد الأوراق علـى الساق بترتيب هندسـى ثابت لكل نـوع من النباتـات ، والأوراق هـى أكثـــر أعضاء النبات الخضرية إختلافاً ، سواء من الناحية المورفولوجية أو من الناحية التشريحية ، ويرجع ذلك إلـى ضرورات فسيولوجية ، لأن الورقة نظراً لسطوحها الكبيرة أكثر أعضاء النبات تـأثراً بـالظروف البيئية ، زيادة على ذلك فإن تركيب الورقة يجب أن يفى بغرضين متضادين وهما ضرورة وجود سطح كبير معرض للشمس للقيام بعملية التمثيل الضوئى ، وضـرورة الوقاية ضد شدة النتح التى تنتج عن كبر مساحة أسطح الأوراق ، وتعتبر الأزهار أهم أعضاء النبات إستخداماً فى التعرف على النباتات ، يليها فى ذلك الأوراق٠

الأوراق خارجية المنشأ فهى تنشأ كنتوءات سطحية من القمم النامية فى تتابع منتظم ، ويكون أصغر الأوراق أقربها للقمة وتتدرج الأوراق فى الكبر كلما إتجهنا إلى أسفل ٠

للورقـة وظيفتـان رئيسيتان هما التمثيـل الـضوئى والنـتح ، فنظراً لإحتـواء الأوراق على كميات كبيرة من الكلوروفيل ولشكلها المسطح عادة ، فإن أهم وظيفة تقوم بها الأوراق للنبات هى التمثيل الضوئى ، أى تكوين المواد الكربوايداتية من ثـانى أكسيد الكربـون والمـاء مستخدمة فى ذلك الطاقة الضوئية وذلك فى وجود الكلوروفيل ٠ كذلك فإنه نظراً لاحتواء الأوراق على نسبة عالية من الثغور ، ولكبر مساحة سطوحها بالنسبة لأحجامها فهى أهم الأعضاء النباتية قياماً بعملية النتح ويعتبر النتح أهم عامل يساعد فى صعود الماء والعناصر الذائبة من الجذور إلى أعلى النباتات وهذا ما يعرف بالقوة السالبة٠

الفصل الأول
مورفولوجيا الورقة

الأوراق هى أكثر أعضاء النبات تبايناً فى النباتات المختلفة ، فهى تختلف من حيث أجزائها وأحجامها وأشكالها العامة وأشكال حواف أنصالها وقممها وقواعدها ، كما قد يحدث لها تحورات تتغير معه أشكال كثير منها عن الأشكال المثالية وذلك تبعاً لنوع الوظيفة التى تقوم بها.

تركيب الورقة

تتركب الأوراق الخضراء المثالية للنبات من ثلاثة أجزاء ، هى القاعدة والعنق والنصل .

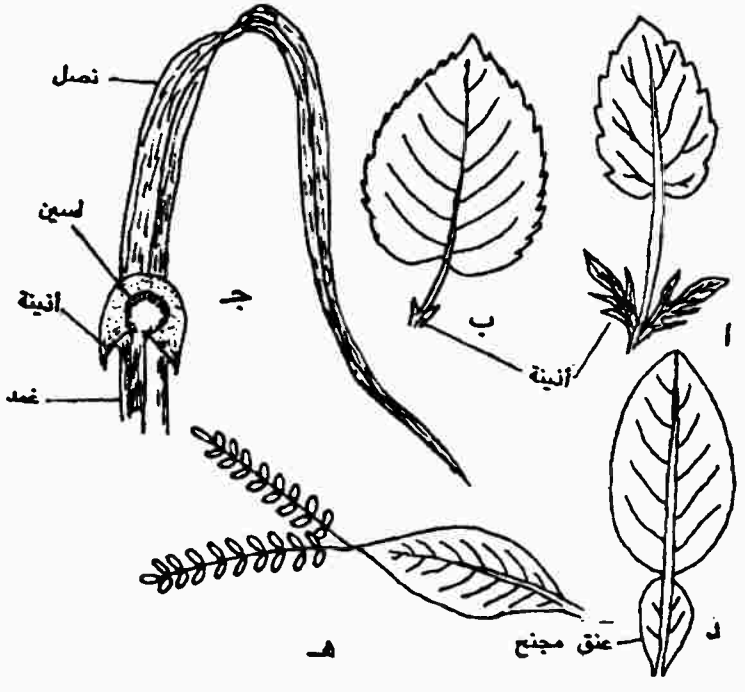
1- قاعدة الورقة

قاعدة الورقة leaf base هى الجزء من الورقة المتصل بالساق ويكون عادة متضخم قليلاً أو كثيراً تبعاً لنوع النبات ، ويعتقد أن وظيفة قاعدة الورقة هى حماية البراعم الإبطية كما أنها قد تقوم بوظائف أخرى كما فى البوانسيانا *Poinciana* وكثير من نباتات العائلة البقولية ، حيث تتضخم قاعدة الورقة مكونة عضو الحركة pulvinus (شكل 2/8 و) ، الذى يساعد على تغيير إتجاه الورقة نتيجة لظروف بيئية غير واضحة تماماً وقد يكون ذلك تبعاً لاتجاه مصدر أو نوع الضوء . وفى نباتات الست المستحية *Mimosa pudica* توجد أعضاء الحركة فى قاعدة الورقة وكذلك فى قواعد الوريقات فتتحرك الورقة وكذلك وريقاتها تحت تأثير اللمس أو الحرارة الشديدة (شكل 11/8 د).

وينمو من قاعدة الورقة فى بعض النباتات ذات الفلقتين ونادراً فى ذوات الفلقة الواحدة زائدتان يسميان بالأذينتين stipules ، وتوصف الورقة بأنها ذات أذينات

stipulate كما توصف الورقة الخالية من الأذينات بأنها عديمة الأذينات exstipulate • قد تكون الأذينات صغيرة كما فى أوراق التفاح (شكل 1/8 ب) ، وقد تكون متورقة وتقوم بعملية التمثيل الضوئى كما فى البسلة (شكل 12/8 أ ، ب) والبانسية (شكل 1/8 أ) وقد تكون شوكية كما فى السنط (شكل 11/8 ب)•

وفى كثير من أوراق النباتات ذات الفلقة الواحدة كما فى العائلات النجيلية والسعدية والموزية وبعض ذوات الفلقتين كما فى العائلة الخيمية نجد أن قاعدة الورقة قد نمت واستطالت وأحاطت بالساق مكونة غمد sheath • وفى نباتات



(شكل 1/8) : قاعدة وعنق الورقة

أ) أذينات متورقة فى ورقة البانسية
ب) أذينات صغيرة فى ورقة التفاح
جـ) قاعدة غمدية فى ورقة شعير
د) عنق مجنح فى ورقة النارنج
هـ) عنق متورق فى ورقة أكاسيا

العائلة النجيلية يوجد بمنطقة إتصال النصل بالغمد نمو غشائى كما فى القمح والشعير ، وقد يكون شعرى كما فى الحجنة *Phragmites communis* ويسمى اللسين ligule ، وهو فى كثير من الأحوال يعمل على منع الماء والمواد الغريبة من السقوط بين الساق والغمد • وفى بعض النباتات مثل الشعير تمتد قاعدة النصل فى شكل زائدتين تعرفان بالأذنتان auricles ، وتلتفان حول الساق (شكل 1/8 جـ)•

2- عنق الورقة

العنق petiole هو نمو أسطوانى عادة ، فائدته أن يضع النصل بعيداً عن الساق حتى يتعرض للضوء والهواء المناسبين • وقد يكون العنق مجنحاً كما فى النارنج (شكل 1/8 د) ، وقد يكون ورقياً phyllode كما فى نبات أكاسيا *Acacia pycnantha* (شكل 1/8 هـ)•

وفى الحالات التى لا يوجد للورقة عنق كما فى أوراق نبات الزينيا *Zinnia* والكتان تعرف تلك الأوراق بأنها جالسة sessile •

3- نصل الورقة

النصل Lamina هو الجزء المنبسط من الأوراق ، وأكثر أجزائها تبايناً فى الشكل وهو أهم أجزائها لأهميته فى عمليتى التمثيل الضوئى والنتح•

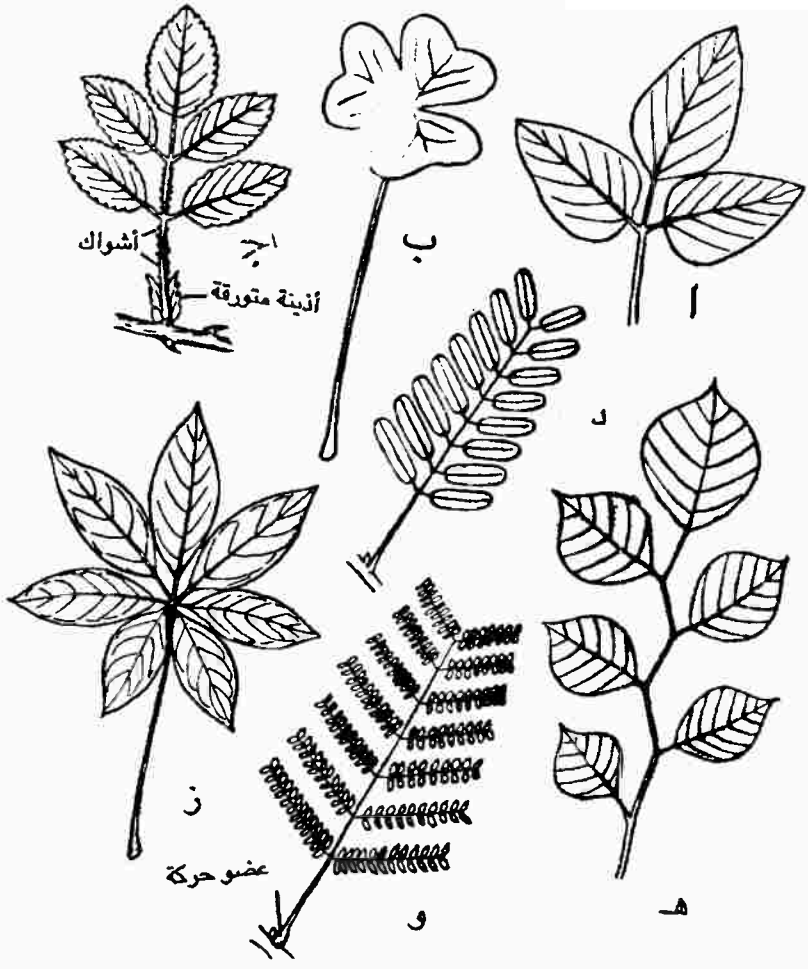
وتعتبر الأوراق بسيطة simple إذا تكون نصلها من قطعة واحدة ، وتعتبر الورقة مركبة compound إذا تكون نصلها من عدة أجزاء تسمى كل منها وريقة leaflet أو ريشة pinna (شكل 2/8) ، والوريقات قد تكون ذات عنق كما فى الفاصوليا (شكل 2/8 أ) وقد تكون جالسة كما فى الأكساليس (شكل 2/8 ب) • تشبه الوريقات الأوراق البسيطة إلا أنه لا يوجد فى آباط الوريقات براعم ، فى حين توجد براعم فى آباط الأوراق ، كذلك فإن وريقات الورقة الواحدة توجد على مستوى سطح واحد فى حين أن أوراق الفرع توجد ، عادة ، على مستويات مختلفة • ويمكن تمييز أفرع الساق عن الأوراق المركبة ، ذلك أن الفرع ينتهى ببرعم طرفى

قد يستمر فى النمو وقد يتحور إلى عضو ثابت فى حين أن محور الورقة المركبة لا ينتهى ببرعم طرفى ، بالإضافة إلى عدم وجود براعم فى آباط الأفرع ووجودها فى آباط الأوراق المركبة.

توجد طريقتان لترتيب الوريقات فى الورقة المركبة ، فى الطريقة الأولى ترتب الوريقات فى صفين على جانبى محور الورقة الذى يقع على إمتداد عنق الورقة ، بحيث تكون كل وريقتين متقابلتين ، وتسمى الورقة فى هذه الحالة ورقة مركبة ريشية compound pinnate . الورقة المركبة الريشية قد تنتهى بوريقة طرفية واحدة توجد بقمة محور الورقة وتسمى ورقة مركبة ريشية فردية كما فى أوراق الورد (شكل 2/8 جـ) ، أو قد ينتهى محور الورقة بورقتين فتسمى ورقة مركبة ريشية زوجية كما فى أوراق اللبخ *Albizzia lebbek* (شكل 2/8 د). فى بعض الحالات توجد الوريقات متبادلة على محور الورقة كما فى السرسوع *Dalbergia sissoo* الذى تتكون ورقته من 5 إلى 7 وريقات ، ومحور الورقة متعرج (شكل 2/8 هـ).

فى الأوراق المركبة الريشية قد تكون الوريقات مكونة من وحدات أصغر تسمى كل منها رويشة pinnule تشبه فى ترتيبها بالوريقة ترتيب أجزاء الورقة المركبة الريشية وتسمى الورقة فى هذه الحالة ورقة مركبة ريشية متضاعفة compound bipinnnate ، وذلك كما فى ورقة أشجار البوانسيانا والسنط (شكل 2/8 و).

فى الطريقة الثانية لترتيب الوريقات فى الورقة المركبة نجد أن الوريقات تخرج من نقطة واحدة عند قمة العنق فتسمى الورقة مركبة راحية compound palmate كما فى الترمس والأراليا (شكل 2/8 ز) . وتعتبر الورقة المركبة من ثلاثة وريقات راحية إذا كانت أعناق وريقاتها متساوية الطول أو جميعها جالسة كما فى أنواع الأكساليس .*Oxalis* spp (شكل 2/8 ب) ، وتعتبر الورقة ريشية فردية حين تكون الوريقة الوسطية ذات عنق أطول من باقى الوريقات كما فى الفاصوليا



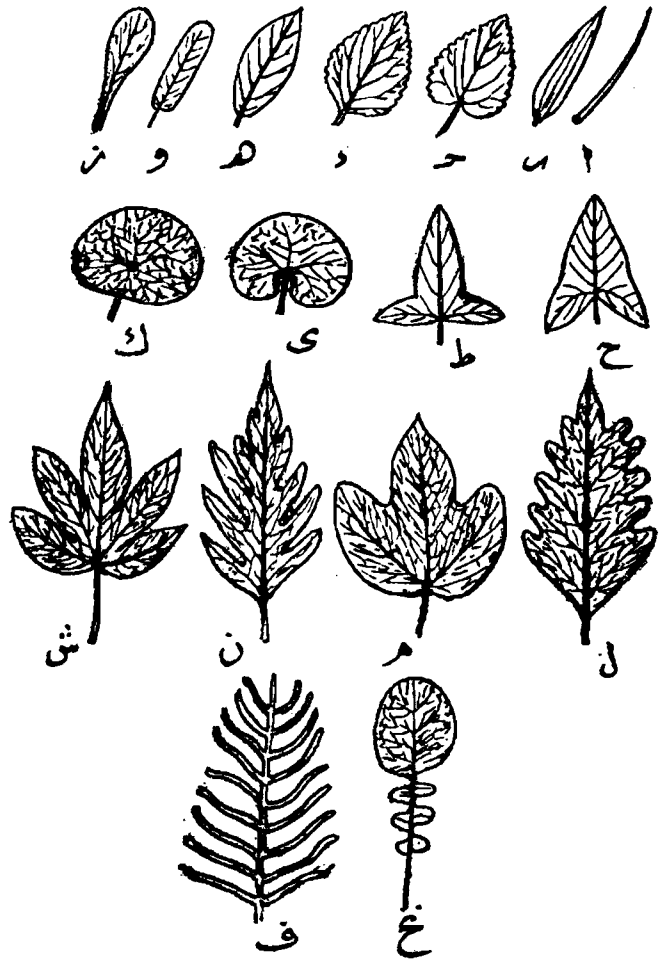
(شكل 2/8) : الورقة المركبة

أ) ورقة مركبة ريشية ثلاثية فى الفاصوليا
ب) ورقة مركبة راحية ثلاثية فى الأكساليس
جـ) ورقة مركبة ريشية فردية فى الورد
د) ورقة مركبة ريشية زوجية فى اللبخ
هـ) ورقة مركبة ريشية فى السرسوع
و) ورقة مركبة ريشية متضاعفة فى البوانسيانا
ز) ورقة مركبة راحية فى الاراليا

(شكل 2/8 أ) ، أو عندما تظهر الوريقة الوسطية معنقة وتكون الوريقتان الجانبيتان جالستان كما فى البرسيم المصرى *Trifolium alexandrinum* ، والواقع أن الوريقة الوسطية غير معنقة بل ما يعتبره البعض عنقاً هو عبارة عن جزء من محور الورقة .

أوراق النباتات ذات الفلقة الواحدة نادراً ما تكون مركبة أو مفصصة ، وإذا كانت كذلك كما فى بعض أنواع النخيل فنجد أن الورقة تنشأ من ورقة بسيطة عادية ثم تصبح الورقة مفصصة أو مركبة نتيجة لموت بعض الخلايا والورقة لا زالت صغيرة فى السن ، وبذلك فهى تختلف فى نشأتها عن الأوراق المركبة أو المفصصة فى النباتات ذات الفلقتين حيث يكون شكلها محدداً من وقت نشأتها.

أشكال النصل : يختلف نصل الورقة كثيراً فى الشكل (شكل 3/8) ، فقد يكون إبريا acicular بشكل الإبرة كما فى ورقة الصنوبر *Pinus* ، أو أنبوبياً tubular فيكون بشكل الإبرة إلا أنه مجوفاً كما فى أوراق البصل ، أو شريطياً linear كما فى أوراق نباتات العائلة النجيلية (شكل 1/8 جـ) ، أو رمحياً lanceolate فيكون مستدقاً من أعلى وعريضاً نوعاً من أسفل كما فى أوراق الكافور والقرنفل ، أو قلبياً cordate كما فى ورقة المشمش والبنفسج ، أو بيضياً ovate كما فى أوراق الدورنتا *Duranta* ، أو بيضاوياً elliptic كما فى أوراق أبو فروة *Kastanea* أو مستطيلاً oblong كما فى وريقات اللبخ ، أو ملعقياً spatulate فيكون نصل الورقة عريضاً من أعلى وضيقاً من أسفل كما فى ورقة البتسبورم *Pittosporum* ، أو سهمياً sagittate كما فى ورقة الكلا *Zantedeschia* أو مزراقياً hastate وهى تشبه السهمية إلا أن زاويتى مؤخرة النصل تمتدان للخارج كما فى أوراق العليق *Convolvulus* ، أو كلويا reniform كما فى أوراق خف الجمل *Bauhinia*، أو درعياً peltate حيث يكون النصل دائرى الشكل عادة ويخرج العنق من منتصفه كما فى نصل ورقة أبوخنجر *Tropaeolum* .



(شكل 3/8) : أشكال النصـــل

أ) أنبوبية	ب) رمحية	جـ) قلبية	د) بيضية
هـ) بيضاوية	و) مستطيلة	ز) ملعقية	ح) سهمية
ط) مزراقية	ى) كلوية	ك) درعية	ل) مفصصة ريشية
م) مفصصة راحية	ن) مقسمة ريشية	س) مقسمة راحية	
غ) مجزأة	ف) مجزأة خيطية		

قد تكون الأوراق مفصصة lobed وفيها يزداد تموج النصل وتصل عمق الإنخفاضات إلى أقل من نصف النصل ، وقد تكون مفصصة ريشياً كما فى أوراق الكريزانثيمم *Chrysanthemum* أو تكون مفصصة راحياً كما فى أوراق القطن ، وقد تكون الورقة مقسمة clefted وفيها يزداد عمق التفصيص إلى أكثر من نصف النصل ولا تصل للعرق الوسطى ، وقد تكون مقسمة ريشياً كما فى ورقة الخشخاش *Papaver* أو مقسمة راحيا كما فى ورقة الخروع والتين ، وقد تكون الورقة مجزأة pinnatified وفيها يصل عمق التقسيم إلى العرق الوسطى تقريباً كما فى الجرجير، وقد تكون الورقة مجزأة خيطية فيكون النصل مجزأ بشكل خيوط عديدة كما فى ورقة الشبت والأنيمون *Anemone* .

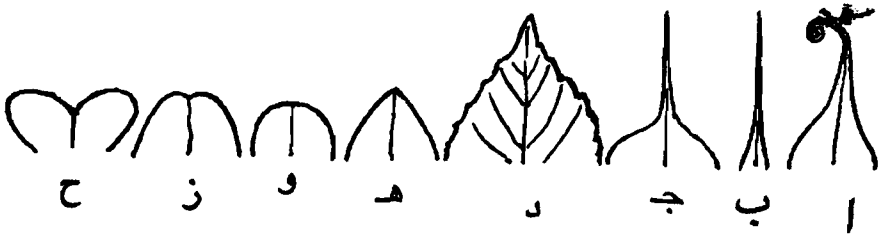
أشكال حافة النصل : توجد عدة أنواع من أشكال الحافة (شكل 4/8) ، منها الحافة الكاملة entire ، وهى خالية من التموجات والتسننيات كما فى ورقة الزيتون ، ومنها الحافة المسننة dentate وهى ذات أسنان حادة متماثلة ومتجهة للخارج كما فى ورقة المشمش ، ومنها الحافة المنشارية serrate وهى ذات أسنان حادة واتجاه الأسنان ناحية قمة النصل كما فى ورقة الدورنتا ، ومنها الحافة

(شكل 4/8) : أشكال حافة النصل

ا) حافة كاملة ب) حافة مسننة جـ) حافة منشارية
د) حافة منشارية متضاعفة هـ) حافة متموجة و) حافة متضرسة

المنشارية المتضاعفة double serrate وفيها تكون الحافة ذات أسنان منشارية كبيرة والأسنان الكبيرة تكون مسننة إلى أسنان أصغر كما فى أوراق الغرغار *Ulmus* ، ومنها الحافة الشوكية spiny وفيها تكون الأسنان كبيرة وصلبة ومدببة الأطراف كالأشواك كما فى أوراق الخشخاش الشوكى *Argemone mexicana* (شكل 11/8 جـ) ، ومنها الحافة المتموجة قليلاً undulate كما فى نصل ورقة أبو خنجر، ومنها الحافة المتضرسة sinuate وفيها تتموج الحافة بشكل إنخفاضات وبروزات بعضها كبير وبعضها صغير كما فى أوراق البلارجونيم *Pelargonium* .

أشكال قمة النصل : يختلف شكل قمة النصل (شكل 5/8) فقد تكون محلاقية cirrhous كما فى جلوريوزا *Gloriosa simplex* ، وقد تكون مسحوبة شوكية aristate أى مسحوبة وصلبة كما فى أوراق السيسل *Agave sislana* ، وقد تكون مسحوبة caudate كما فى ورقة فيكس ريليجيوزا *Ficus religiosa* ، وقد تكون مستدقة acuminate وقمتها لها نتوء صغير كما فى الدورنتا ، وقد تكون حادة acute وتظهر بشكل زاوية حادة كما فى الريحان ، وقد تكون مستديرة obtuse كما فى ورقة البتسبورم ، وقد تكون مسطحة flattened كما فى وريقات اللبخ ، وقد تكون معقودة retuse ، أى بها إنخفاض صغير كما فى وريقات البرسيم ، وقد تكون منخفضة emarginated أى بها إنخفاض كبير كما فى ورقة خلف الجمل.



(شكل 5/8) : أشكال قمة النصل

أ) قمة محلاقية — ب) قمة مسحوبة شوكية — جـ) قمة مسحوبة
د) قمة مستدقة — هـ) قمة حادة — و) قمة مستديرة
ز) قمة معقودة — ح) قمة منخفضة

أشكال قاعدة النصل : يختلف شكل قاعدة النصل (شكل 6/8) فقد تكون مستدقة attenuate كما فى ورقة البتسبورم ، أو تكون مثلثة cuneate كما فى الدورنتا ، أو مستديرة obtuse كما فى وريقات الأراليا ، أو مسطحة truncate كما فى الهبسكس ، أو قلبية cordate كما فى ورقة المشمش ، أو درعية peltate عند إتصال العنق بالنصل من سطحه وليس من حافته كما فى أبو خنجر ، أو منقوبة perfoliate وفيها يكون النصل جالساً وتحيط قاعدته بالساق إحاطة تامة كما فى لونيسرا *Lonicera caprifolium* .

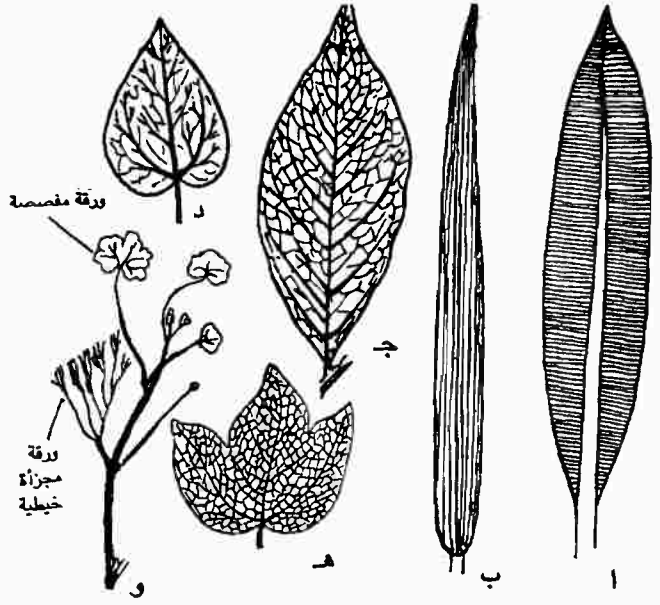
(شكل 6/8) : أشكال قاعدة النصل

أ) قاعدة مستدقة	ب) قاعدة مثلثة	جـ) قاعدة مستديرة
د) قاعدة مسطحة	هـ) قاعدة قلبية	و) قاعدة درعية
ز) قاعدة منقوبة		

تعريق النصل Venation : يوجد بداخل نصل الورقة عروق كثيرة هى مجموع الحزم الوعائية التى تمر بها والتى تقوم بنقل الغذاء الخام إلى الأوراق والغذاء المجهز من الأوراق . تكسب العروق النصل الرقيق متانة وقوة ، فتحميه من التمزق كما تساعد على فرده ، وبذلك تساعد النصل على القيام بعمليتى التمثيل الضوئى والنتح على أكمل وجه.

يختلف نظام توزيع العروق فى الأوراق ، ولكن يوجد نظامان أساسيان لذلك ، يعرف أحدهما بالتعريق الشبكى ويعرف الآخر بالتعريق المتوازى.

1- التعريق الشبكى Reticulate venation : هذا التعريق من مميزات النباتات ذات الفلقتين (شكل 7/8 جـ ، هـ) ، ويندر وجوده فى النباتات ذات الفلقة الواحدة كالقلقاس • وفى هذا النوع تتفرع العروق عدة مرات وتتقابل نهايات العروق الصغيرة وتتصل فى شكل شبكى • وقد ينتج التعريق الشبكى فى النصل الواحد عن عرق رئيسى واحد midrib يتفرع ويسمى النظام فى هذه الحالة بالتعريق الشبكى الريشى كما فى أوراق الدخان والونكا • وقد ينتج التعريق الشبكى من عدة عروق رئيسية متساوية فى أقطارها تقريباً تخرج من نقطة واحدة هى قمة عنق الورقة ، وتخرج من العروق الرئيسية عروق جانبية وهكذا ، ويسمى التعريق فيها شبكى راحى كما فى أوراق القطن والخروع ، وفى جميع حالات التعريق الشبكى يمكن رؤيته عادة بالعين المجردة•



(شكل 7/8) : تعريق وتباين الأوراق

أ) تعريق متوازى عرضى فى الموز
ب) تعريق متوازى طولى فى القمح
جـ) تعريق ريشى شبكى
د ، هـ) تعريق راحى شبكى فى القطن
و) تباين الأوراق فى الشقيق المائى

2- التعريق المتوازى Parallel venation : وهـذا التعـريق من مميـزات النباتات ذات الفلقة الواحدة ، ويندر وجوده فى النباتات ذات الفلقتين مثل نوع من نبات بلانتاجو *Plantago* • فى هذا التعريق يوجد بالنصل عديد من العروق الرئيسية الموازية لبعضها (شكل 7/8 أ ، ب) ، العروق المتوازية تكون واضحة بالعين المجردة وتتصل ببعضها بعروق صغيرة واضحة بالعين المجردة عادة • يوجد نوعان من التعريق المتوازى ، متوازى طولى ومتوازى عرضى ، ففى التعريق المتوازى الطولى تكون العروق المتوازية موازية أيضاً لمحور النصل الطويل كما فى نباتات العائلية النجيلية • وفى التعريق المتوازى العرضى تكون العروق المتوازية متفرعة من العرق الوسطى الرئيسى للورقة الذى يمر بطول الورقة ، قد تكون العروق المتوازية عمودية على العرق الرئيسى كما فى أوراق الموز أو تكون العروق المتوازية مائلة على العرق الرئيسى كما فى الكانا *Canna indica* •

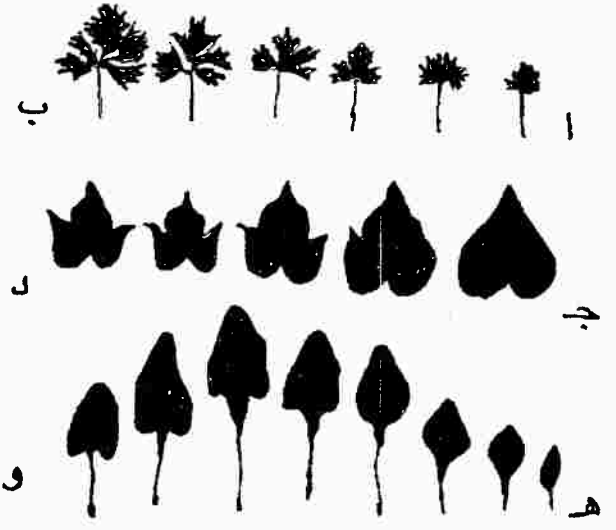
وتوجد حالات وسطية بين التعريقين الشبكى والمتوازى كما فى أوراق الدفلة•

تباين الأوراق

تحمل بعض النباتات أكثر من نوع من الأوراق تختلف عن بعضها فى الشكل وتعرف هذه الظاهرة بتباين الأوراق heterophylly ، ومن أمثلة ذلك ما نجده فى نبات الشقيق المائى *Ranunculus aquatilis* حيث تكون الأوراق المغمورة فى الماء مجزأة خيطية ، وتكون الأوراق العلوية المكشوفة للهواء مفصصة (شكل 7/8 و) ، وكذلك نجد فى النباتات الصحراوية أن بعضها ينتج أنواعاً مختلفة من الأوراق تبعاً للموسم كما فى نبات السلة *Zilla spinosa* الذى يكون أوراقاً عادية فى موسم الأمطار ويستبدلها بأوراق صغيرة جداً فى موسم الجفاف • وبعض النباتات الوسطية تكون نوعين من الأوراق تبعاً لعمر النبات كما فى القطن الذى يكون أوراقاً صغيرة قلبية الشكل تقريباً والنبات صغير ثم يكون أوراقاً مفصصة عند كبر النبات (شكل 7/8 د ، هـ) •

تدرج شكل الأوراق أثناء نمو النبات

شوهد فى بعض النباتات حدوث تدرج فى شكل وحجم الأوراق أثناء نموها heteroblastic development ، حيث نجد أن أوراق النبات الصغير لها شكل معين وأثناء نمو النبات يحدث تغيرتدريجى فى شكل وحجم الأوراق ثم يثبت الشكل والحجم عند كبر النبات ، ويعقب ذلك الدخول فى مرحلة إزهار وإثمار النبات • وبذلك يمكن الاستدلال من شكل وحجم الورقة على مرحلة نمو النبات ومدى قربها أو بعدها عن مرحلة الإزهار والإثمار • ففى نبات العائق *Delphinium ajacus* الصغير تكون الأوراق صغيرة مفصصة ثم تتحول تدريجياً إلى أوراق كبيرة مجزأة فى نهاية النمو الخضرى للنبات، وفى نبات الإيبوميا *Ipomea hederacea* تتحول الورقة تدريجياً أثناء نمو النبات من ورقة كاملة إلى مفصصة ، وفى نبات البنجر تتحول الورقة تدريجياً أثناء نمو النبات من ورقة رمحية أو بيضاوية صغيرة إلى ورقة سهمية كبيرة (شكل 8/8)•



(شكل 8/8) : تدرج شكل الأوراق أثناء نمو النبات من بداية عمر النبات حتى مرحلة الإزهار

أ - ب) نبات العائق　　جـ - د) أيبوميا　　هـ - و) البنجر

ومما يثبت أن هذه الحالة هى دليل على إتجاه النبات إلى النضج والدخول فى مرحلة الإزهار والإثمار فإن أصناف القطن مبكرة الإزهار يحدث فيها تدرج واضح فى شكل الأوراق بين خطوة وأخرى ، أما أصناف القطن متأخرة الإزهار فيحدث فيها نفس التغيير ولكن التدريج يكون غير واضح بين خطوة وأخرى لطول فترة النمو ٠

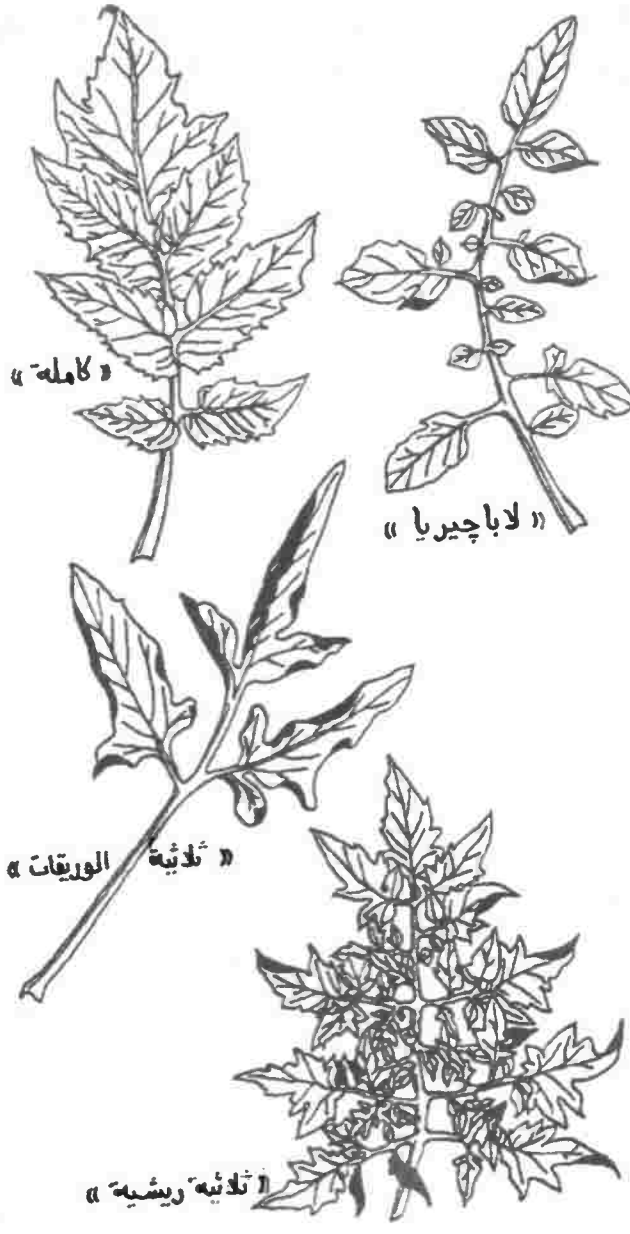
ومما هو جدير بالذكر أن حالة تدرج شكل الأوراق أثناء النمو تعتبر إحدى حالات تباين الأوراق ٠

العوامل التى تؤثر على شكل الورقة

يتحدد شكل النبات بفعل عوامل وراثية وعوامل بيئية ، أى أنه بتغيير العوامل الوراثية أو العوامل البيئية يمكن تغيير شكل الورقة٠

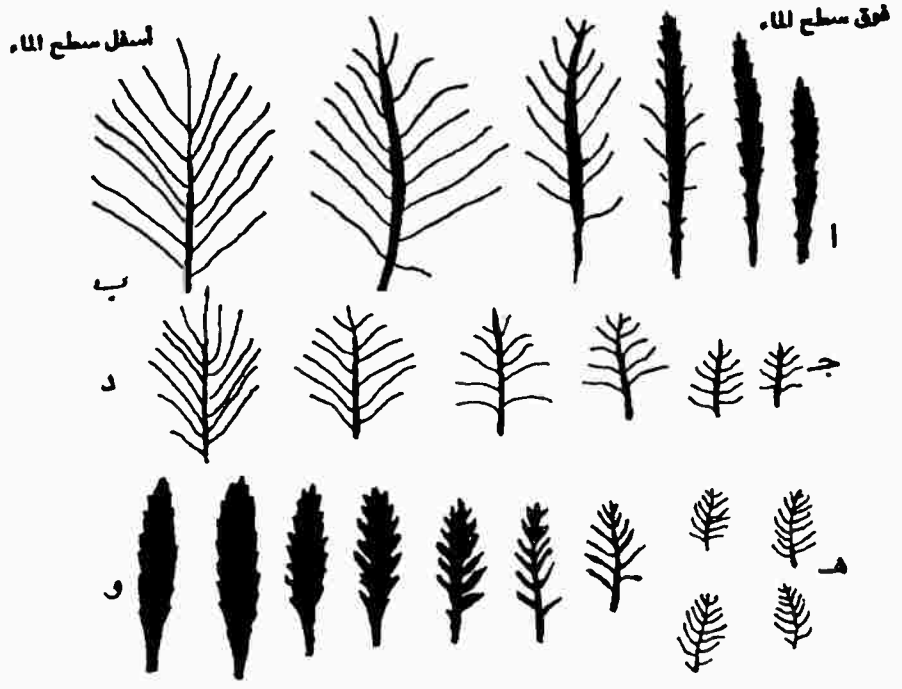
من حيث العوامل الوراثية فمن المعروف أن نبات الطماطم يكون أربعة طرز types من النباتات وكل طراز له شكل معين من الأوراق ٠ وأشكال الأوراق الأربعة هى كاملة entire وثلاثية الوريقات trifoliate ولاباجيريا lapageria وثلاثية ريشية tripinnate (شكل 9/8) ، وهذه الأربعة طرز من النباتات تختلف عن بعضها فى عامل وراثى (جين) واحد فقط ، من ذلك يتضح أن العوامل الوراثية تتحكم وتحدد شكل الورقة٠

من حيث العوامل البيئية فمن المعروف أن النبات المائى بروسيربيناكا *Proserpinaca palustris* تكون أوراقه الموجودة فوق سطح الماء منشارية الحافة فى حين أن أوراق نفس النبات المغمورة تحت سطح الماء تتجزأ حتى تصبح مجزأة خيطية (شكل 10/8 أ إلى ب)٠ وقد وجد أنه يمكن تغيير شكل الأوراق بتغيير مدة الإضاءة التى تتعرض لها الأوراق ، فعند تعريض الأوراق الهوائية إلى نهار قصير (فترة إضاءة قصيرة) بعد أن كانت معرضة لنهار طويل (فترة إضاءة طويلة) فإن الأوراق تتحول تدريجياً من منشارية إلى مجزأة خيطية (شكل 10/8 و إلى هـ) ٠ وفى حالة أخرى عند رفع الأوراق المغمورة أعلى سطح الماء فى



(شكل 9/8) : أشكال مختلفة لأوراق نباتات طماطم

وجود نهار قصير فإن الأوراق تصبح مجزأة خيطية بدرجة أقل (شكل 10/8 د إلى جـ) . من ذلك يتضح أن العوامل البيئية مثل الغمر فى الماء أو مدة الإضاءة تغير من شكل الأوراق.



(شكل 10/8) : تأثير العوامل البيئية على شكل الورقة

حالات بيئية مختلفة لأوراق نبات بروسيربينلكا

أ- ب) أوراق هوائية (فوق سطح الماء) إلى أوراق مغمورة (تحت سطح الماء) فى وجود نهار طويل

د - جـ) أوراق هوائية إلى أوراق مغمورة فى وجود نهار قصير

هـ - و) أوراق هوائية ونهار قصير إلى نهار طويل

وجد أيضاً أن معاملة بعض النباتات بمركب الجيريللين يسبب تغيير شكل الورقة فعند تنمية نبات سنتوريا *Centuria solstitialis* فى بيئة مغذية معقمة تحتوى على الجيريللين فإن أوراق النبات تكون بسيطة كاملة الحافة فى حين أنها فى الحالة العادية تكون مقسمة أو مجزأة.

أنواع الأوراق

توجد أنواع مختلفة من الأوراق تختلف تبعاً للوظائف التى تقوم بها فالوظيفتين الأساسيتين للأوراق هى القيام بعمليتى التمثيل الضوئى والنتح ولكن بعض الأوراق تقوم بوظائف أخرى تختلف باختلاف النبات ، وأماكن تكونها على النبات ، ووقت تكونها وذلك كما يأتى :

1- أوراق خضرية

الأوراق الخضرية foliage leaves هى أوراق النبات العادية والتى تقوم أساساً بوظيفتى التمثيل الضوئى والنتح والتى يعتمد عليها النبات فى تكوين غذائه وفى رفع الماء والأملاح من الجذر إلى الأوراق ، وهى تتكون عادة من ثلاثة أجزاء هى القاعدة والعنق والنصل . ويعتبر النصل هو أهم أجزاء الورقة الخضرية ، ولكن فى بعض الحالات النادرة يختزل النصل وقد يسقط ويأخذ عنق الورقة شكل النصل ويقوم بوظائفه ويسمى بالعنق الورقى كما فى بعض أنواع أكسايا *Acacia pycnantha* (شكل 1/8) .

2- أوراق فلقيـــة

الأوراق الفلقية cotyledonary leaves هى الأوراق الموجودة بالجنين فى البذور والتى تعرف بالفلقات ، وقد يوجد بالجنين ورقة واحدة فلقية أو ورقتان أو أكثر . فى بعض النباتات تكون وظيفة الأوراق الفلقية هى تخزين الغذاء اللازم لنمو الريشة والجذير كما فى الفول والترمس ، وفى بعض النباتات الأخرى تظهر

الأوراق الفلقية فوق سطح التربة فى أول الإنبات فيخضر لونها وتقوم بعملية التمثيل الضوئى مساهمة بذلك فى تغذية النبات الصغير قبل أن يكون النبات أوراقه الخضرية كما فى الخروع والبصل والصنوبر (أشكال 3/1 ، 6/1 ، 7/1)· أحياناً تقوم الأوراق الفلقية بهضم وامتصاص الغذاء الأندوسبرمى وإعطائه للجنين النامى كما فى البلح (شكل 5/1) ، وأحياناً تقوم بحمل الريشة والجذير خارج البذرة كما فى البلح والبصل (شكل 5/1 ، 6/1)·

3- أوراق أولية

الأوراق الأولية prophylls هى الأوراق التى تظهر عادة على ساق البادرة أو النبات فى أعماره الأولى ، وتختلف شكلاً عن الأوراق العادية ، وهى عادة أصغر حجماً وأرق سمكاً عن الأوراق العادية وتؤدى نفس الوظيفة الرئيسية للأوراق الخضرية وذلك كما فى بادرات الفول حيث تظهر على ساقها ورقتان أوليتان · والورقة الأولية فى الفول جالسة بسيطة صغيرة عديمة الأذينات ، فى حين أن الأوراق الخضرية معنقة مركبة ريشية ذات أذينات (شكل 2/1)·

4- أوراق حرشفية

الأوراق الحرشفية scaly leaves هى أوراق لا تقوم بالتمثيل الضوئى فهى أوراق عديمة الكلوروفيل ، قد تكون صغيرة وجافة ورقيقة كما فى الأوراق الحرشفية للسيقان الأرضية كالريزومات والدرنات والكورمات ، كما توجد على السيقان الهوائية لبعض النباتات الجفافية مثل المهلنبيكيا والسفندر(شكل3/7ب، جـ)·

وقد تكون الأوراق الحرشفية صغيرة وسميكة ومغطاه بشعور كما فى كثير من البراعم المغطاة للأشجار المتساقطة الأوراق ، وقد تكون كبيرة وعصارية كما فى بعض الأبصال (شكل 6/7 أ ، ب)·

5- أوراق قنابية

الأوراق القنابية bracts هى الأوراق التى تخرج من آباطها الأزهار ووظيفتها الأساسية هى حماية البرعم الزهرى ، والأوراق القنابية قد تكون خضراء عادية كما

فى العائق ، وكثيراً ما تختلف فى الشكل عن الأوراق العادية فقد تكون صغيرة ، وأحياناً تكون ملونة جذابة كما فى الجهنمية (شكل 3/7 د) • قد تكون الأوراق القنابية غائبة كما فى المنتور •

6- أوراق زهرية

الأوراق الزهرية floral leaves هى الأوراق المكونة لمحيطات الزهرة • تتكون الزهرة من أربعة محيطات (شكل 8/7) ، المحيط الخارجى هو الكأس وأوراقه تسمى سبلات sepals ، والمحيط التالى هو التويج وأوراقه تسمى بتلات petals ، ويليه محيط أعضاء التذكير ويسمى الطلع وأوراقه المتحورة تسمى أسدية stamens ، والمحيط الداخلى هو محيط أعضاء التأنيث ويسمى المتاع وأوراقه المتحورة تسمى كرابل carpels • وظيفة السبلات والبتلات هى حماية الأعضاء الأساسية للزهرة أى الأسدية والكرابل ، كما قد تقوم البتلات بجذب الحشرات لتلقيح الزهرة ، أما الأسدية والكرابل فهما الأعضاء الجنسية للزهرة ، فالأسدية تكون حبوب اللقاح والكرابل تكون البويضات التى ينتج عن إخصابها وتكشفها تكون البذور •

7- أوراق خضرية اكثارية

الأوراق الخضرية الإكثارية هى أوراق خضرية عادية تتكون عليها براعم عرضية ، تكون عند نشاطها وتكشفها نباتات جديدة ، وبذلك تساعد على التكاثر الخضرى للنبات كما فى أوراق البرايوفيللم (شكل 11/7 جـ) والودنة والبيجونيا •

8- أوراق للحمـــاية

قد تؤدى الأوراق وظيفة الحماية للنبات protective leaves بأن يحدث لها تحورات خاصة • قد تكون الحماية ضد الحيوانات آكلة الأعشاب فتتحور الأوراق كلها أو أجزاء منها إلى أشواك • يفيد هذا التحور فى نفس الوقت فى الإقلال من النتح وبالتالى يفيد النباتات الموجودة فى بيئات جافة ، فتتحور الورقة كلها فى التين الشوكى إلى شوكة ، ويستدل على هذا التحور بوجود برعم فى إبط الشوكة (شكل

3/7 أ) ٠ وفى أوراق نبات البربرى *Berberis* تتحور الورقة إلى ثلاث أشواك (شكل 11/8 أ) ٠ وفى نباتات السنط *Acacia farnesiana* تنشأ الأشواك عن أذينات الأوراق فيوجد عند قاعدة كل ورقة شوكتان (شكل 11/8 ب) ٠ وفى نبات الخشخاش الشوكى *Argemone mexicana* تتكون أشواك على حواف أنصال الأوراق (شكل 11/8 جـ) ٠ وفى نبات السيسل *Agave sislana* تكون قمة الأوراق مسحوبة شوكية (شكل 5/8 ب)٠ وفى نبات الورد تتكون أشواك على محور الورقة المركبة (شكل 2/8 جـ) وفى نبات زومبيا *Zombia* تتعفن قواعد الأوراق ويتبقى منها أشواك على الساق تبرز فى جميع الاتجاهات ٠

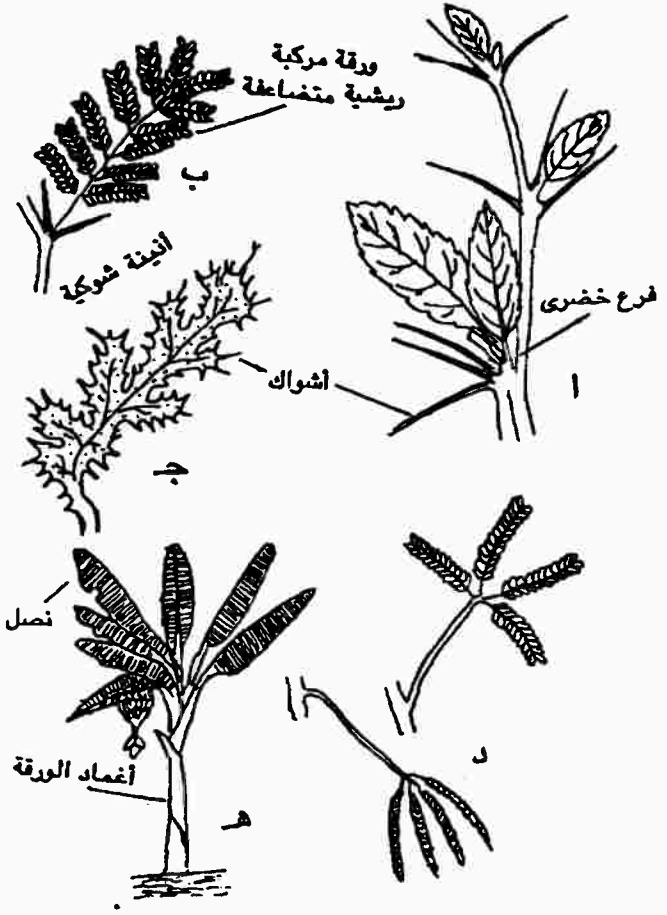
وقد تحدث الحماية ضد الحيوانات بطريقة أخرى وذلك بأن تكون الأوراق حساسة فبمجرد أن يلمسها الحيوان تنطوى على نفسها لوجود أعضاء حركة pulvini بقواعد الأوراق والوريقات ، وبذلك تظهر الأوراق كأنها ذابلة فتكون أقل إغراءاً للحيوان آكل العشب كما فى الست المستحية *Mimosa pudica* (شكل 11/8 د)٠

وقد تكون الحماية ضد أضرار الصقيع كالأوراق الحرشفية التى تغطى بشعور ومواد شمعية وتحمى البراعم المغطاة أثناء موسم الشتاء (شكل 10/7 أ)٠

9- أوراق متسلقة قابضة

تقوم الأوراق المتسلقة القابضة grasping leaves بالإمساك بالدعامات وبذلك تساعد السيقان الضعيفة على التسلق ٠ قد يتحور نصل الورقة كله أو أجزاء منه إلى أعضاء قابضة تكون فى صورة محاليق tendrils أو خطاطيف hooks ٠ ففى نوع من البسلة *Lathyrus alpaca* ، يتحور نصل الورقة كله إلى محلاق ، وتكبر الأذينات وتقوم بعمل النصل (شكل 12/8 أ)٠ وفى بسلة الزهور *Lathyrus odoratus* تتحور فقط بعض الوريقات الطرفية إلى محاليق تساعد النبات على التسلق بالتفافها حول الدعامات (شكل 12/8 ب)٠ وفى نبات سميلاكس *Smilax* تتحور الأذينات إلى محاليق (شكل 12/8 جـ) ٠ وقد تكون قمة الورقة محلاقية كما فى جلوريوزا (شكل 5/8 أ)٠

فى نبات البيجنونيا *Begnonia unguis-cati* ذو الأزهار الصفراء نجد أن الورقة مركبة وتتكون من وريقتين عاديتين وتتحور الثلاث وريقات الطرفية إلى ثلاثة خطاطيف صلبة تمسك بها فى الدعامة (شكل 12/8)٠



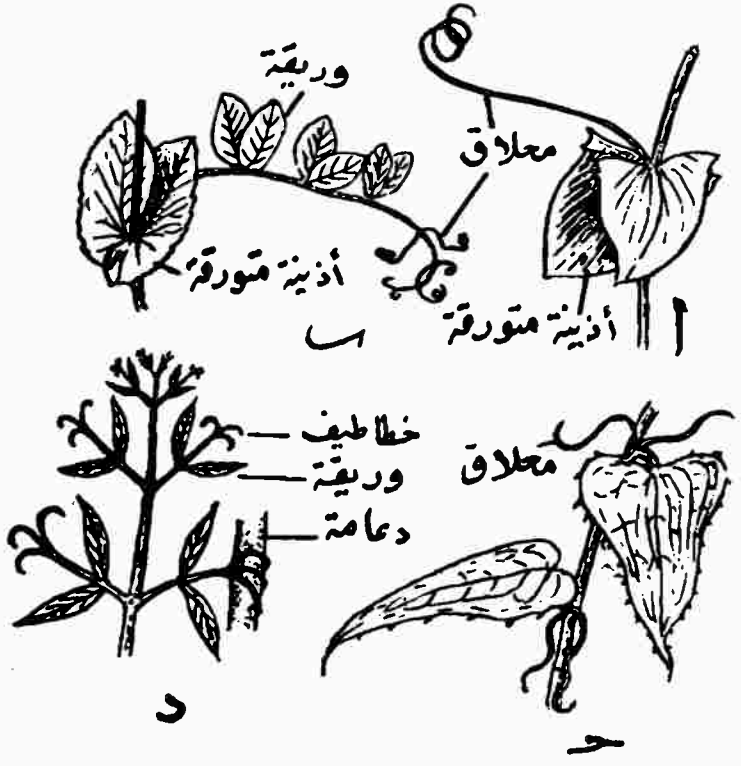
(شكل 11/8) : أوراق للحماية والتدعيم

ا) أوراق بربرى
ب) ورقة سنط
جـ) ورقة خشخاش شوكى
د) ورقتى نبات الست المستحية قبل وبعد اللمس
هـ) أغماد أوراق دعامية فى نبات الموز

وقد يتسلق النبات بواسطة عنق الورقة كما فى نبات أبو خنجر والكليماتس.

10- أوراق عوامة

تتكون الأوراق العوامة buoyant leaves فى بعض النباتات المائية لتساعدها على الطفو على سطح الماء ، وذلك كما فى نبات الياسنت المائى (ورد النيل) *Eichhornia* حيث نجد أن أعناق الأوراق تكون منتفخة وتمتلىء أنسجتها بالهواء (شكل 13/8 جـ).

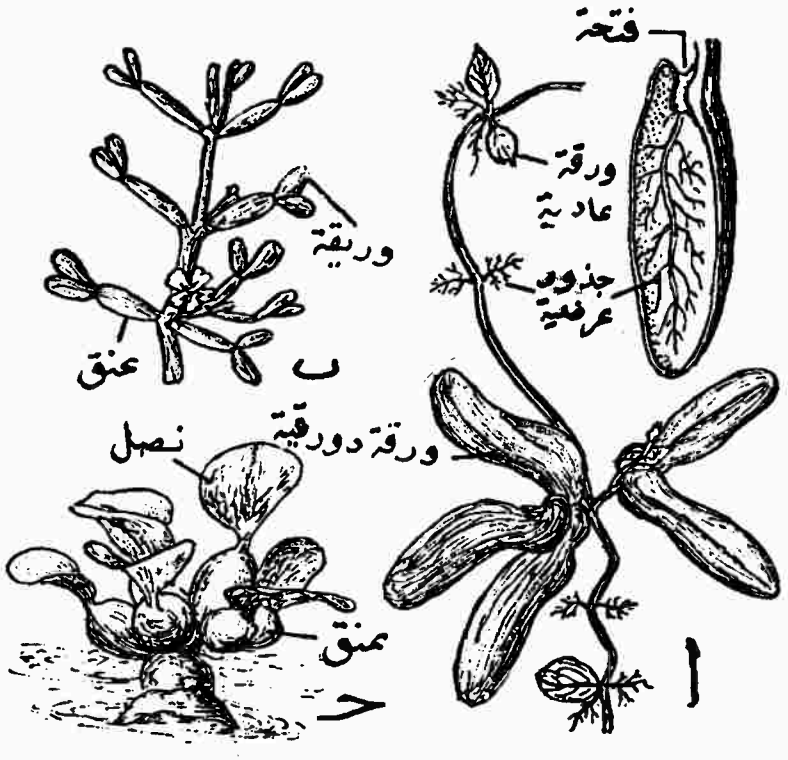


(شكل 12/8) : أوراق متسلقة قابضة

أ ، ب) أوراق ووريقات محلاقية فى البسلة
جـ) أذينات محلاقية فى أوراق سميلاكس
د) وريقات خطافية فى البيجنونيا

11- أوراق دعامية

تتكون الأوراق الدعامية supporting leaves في بعض النباتات ذات السيقان القصيرة جداً وقد يكون نمو تلك السيقان أفقياً ، ولذلك نجد أنه في بعض النباتات مثل نباتات العائلة الموزية حيث تلتف أعماد الأوراق على بعضها مكونة قاعدة صلبة تشكل جذع النبات وتحمل أنصال الأوراق إلى مستوى مرتفع لتعريضها إلى أشعة الشمس (شكل 11/8هـ).



(شكل 13/8) : أوراق عوامة ومخزنة

أ) جزء من نبات ديشيديا وقطاع طولى فى ورقة دورقية الشكل .
ب) جزء من ساق الرطريط وعليه أوراق مخزنة للماء .
جـ) أوراق نبات الياسنت المائى .

12- أوراق مخزنة

تقوم الأوراق المخزنة storage leaves بتخزين الماء وخاصة فى النباتات الجفافية وذلك كما فى أوراق الحى علم *Mesembryanthemum* والصبار *Agave* والرطريط *Zygophyllum* ، وفى الرطريط نجد أن أعناق الأوراق وكذلك الوريقات متضخمة عصارية (شكل 13/8 ب)٠

يكون نبات ديشيديا *Dischidia rafflesiana* نوعين من الأوراق ، أوراق خضرية عادية وأوراق دورقية الشكل ذات فوهات ضيقة يتجمع فيها الماء الناتج عن تكثف بخار الماء الناتج عن النتح ٠ كذلك فإن بقايا وإفرازات حشرة النمل التى تزور وتسكن هذه الدوارق تعتبر مواد غذائية للنبات ٠ يحصل النبات على الماء والغذاء من هذه الأوراق الدورقية بواسطة جذور متفرعة تنمو بداخل الدوارق (شكل 13/8 أ)٠

فى الأبصال تعتبر قواعد الأوراق العصارية الموجودة على الساق القرصية أوراقاً مخزنة للغذاء يستعملها النبات فى موسم النمو التالى لتكوين الأزهار أو لنمو البراعم الإبطية (شكل 6/7 أ ، ب)٠

فى الأبصال تعتبر قواعد الأوراق العصارية الموجودة على الساق القرصية أوراقاً مخزنة للغذاء يستعملها النبات فى موسم النمو التالى لتكوين الأزهار أو لنمو البراعم الإبطية (شكل 6/7 أ ، ب)٠

13- أوراق لإمتصاص الماء

الأوراق المختصة لامتصاص الماء water absorbing leaves تشاهد عادة فى النباتات المائية فهى تمتص الماء بسهولة من أسطحها ٠ بعض النباتات الأرضية التابعة لعائلة الأناناس لها زوائد على الأوراق تمتص بها بخار الماء من الجو ٠ يكون نبات تيلاندسيا *Tillandsia usneoides* شعوراً درعية على أسطح أوراقه يمتص بها الماء فى حين يستخدم جذوره فى تثبيت النبات فقط٠

12- أوراق مخزنة

تقوم الأوراق المخزنة storage leaves بتخزين الماء وخاصة فى النباتات الجفافية وذلك كما فى أوراق الحى علم *Mesembryanthemum* والصبار *Agave* والرطريط *Zygophyllum* ، وفى الرطريط نجد أن أعناق الأوراق وكذلك الوريقات متضخمة عصارية (شكل 13/8 ب)٠

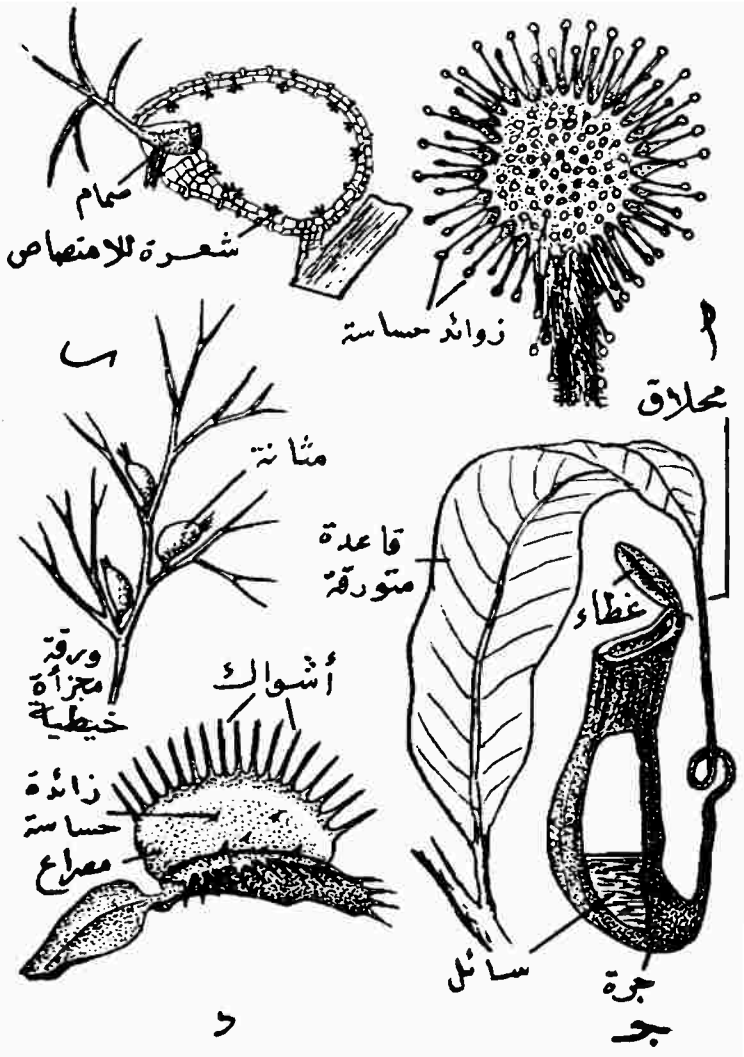
يكون نبات ديشيديا *Dischidia rafflesiana* نوعين من الأوراق ، أوراق خضرية عادية وأوراق دورقية الشكل ذات فوهات ضيقة يتجمع فيها الماء الناتج عن تكثف بخار الماء الناتج عن النتح ٠ كذلك فإن بقايا وإفرازات حشرة النمل التى تزور وتسكن هذه الدوارق تعتبر مواد غذائية للنبات ٠ يحصل النبات على الماء والغذاء من هذه الأوراق الدورقية بواسطة جذور متفرعة تنمو بداخل الدوارق (شكل 13/8 أ)٠

فى الأبصال تعتبر قواعد الأوراق العصارية الموجودة على الساق القرصية أوراقاً مخزنة للغذاء يستعملها النبات فى موسم النمو التالى لتكوين الأزهار أو لنمو البراعم الإبطية (شكل 6/7 أ ، ب)٠

فى الأبصال تعتبر قواعد الأوراق العصارية الموجودة على الساق القرصية أوراقاً مخزنة للغذاء يستعملها النبات فى موسم النمو التالى لتكوين الأزهار أو لنمو البراعم الإبطية (شكل 6/7 أ ، ب)٠

13- أوراق لإمتصاص الماء

الأوراق المختصة لامتصاص الماء water absorbing leaves تشاهد عادة فى النباتات المائية فهى تمتص الماء بسهولة من أسطحها ٠ بعض النباتات الأرضية التابعة لعائلة الأناناس لها زوائد على الأوراق تمتص بها بخار الماء من الجو ٠ يكون نبات تيلاندسيا *Tillandsia usneoides* شعوراً درعية على أسطح أوراقه يمتص بها الماء فى حين يستخدم جذوره فى تثبيت النبات فقط٠



(شكل 14/8) : أوراق نباتات آكلة الحشرات

أ) جزء من ورقة ورد الشمس
ب) ورقة مجزأة خيطية من حامول الماء وقطاع طولى فى مثانة
جـ) ورقة نبات الجرة
د) جزء من ورقة خناق الذباب

وفى نبات الجرة *Nepenthes* تتورق قاعدة الورقة ويصبح الجزء الوسطى من عنق الورقة محلاقياً ، أما الجزء الطرفى من عنق الورقة فيصبح بشكل الجرة ٠ نصل الورقة صغير فى الحجم بالنسبة للعنق ويكون غطاء الجرة ٠ ويعتقد البعض أن الجرة هى جزء من النصل وليس من العنق ٠ الجدر الداخلية للجرة مغطاة بمادة شمعية ملساء أو شعيرات متجهة إلى أسفل كما توجد عليها غدد تفرز مادة سائلة تملأ جزء من الجرة ، ويوجد على حافة فتحة الجرة مادة عسلية لزجة تجذب الحشرات ، التى تنزلق للداخل بتأثير نعومة الجزء الداخلى للجرة أو بفعل الشعيرات المتجهة إلى أسفل ، تسقط الحشرة فى السائل فتنبه تكوين الإنزيمات الهاضمة التى تهضم الحشرة (شكل 14/8 جـ)٠

وفى نبات خناق الذباب *Dionaea* يكون عنق الورقة متورقاً ويتكون النصل من مصراعين يتحركان حول العرق الوسطى ، ويوجد على السطح العلوى لكل مصراع غدد إفرازية منتشرة وثلاثة زوائد حساسة ، كما يوجد على حواف كل مصراع صف من الأشواك ٠ وعند ملامسة حشرة للزوائد الحساسة يتحرك المصراعان بسرعة حول العرق الوسطى ويغلقان على الحشرة ، ثم تفرز الغدد الإنزيمات وتمتص نواتج الهضم (شكل 14/8 د)٠

ترتيب الأوراق على الساق
Phyllotaxy

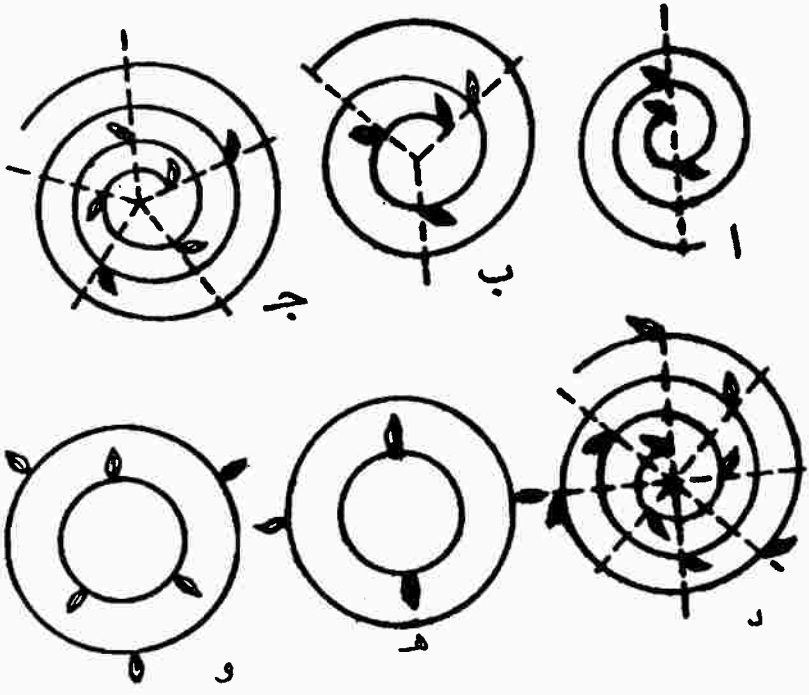
ترتب الأوراق على الساق بطرق مختلفة تختلف حسب نوع النبات ، ويتحدد ترتيب الأوراق عند تكون مبادىء الأوراق حول القمة النامية • وتوجد ثلاث طرق عامة لترتيب الأوراق وهى كالآتى :

1- ترتيب حلزونى

الترتيب الحلزونى spiral هو أكثر النظم شيوعاً لترتيب الأوراق على الساق (شكل 15/8 أ – د) • توجد على العقدة الواحدة ورقة واحدة ، ويختلف ترتيب الأوراق على العقد المختلفة لنفس الساق • ففى أبسط أنواع الترتيب الحلوزونى تقع الورقة على العقدة الثانية فى وضع مقابل لورقة العقدة الأولى ، ثم تقع ورقة العقدة الثالثة فوق ورقة العقدة الأولى وهكذا ، ويعرف هذا النظام بالنظام المتبادل ، ويميز نباتات العائلة النجيلية كالقمح • وفى نوع آخر من الترتيب الحلزونى تقع الورقة الرابعة فوق الورقة الأولى والورقة الخامسة فوق الورقة الثانية وهكذا ، وذلك كما فى نبات الزان *Fagus* • ونوع وترتيب الأوراق الحلزونى ثابت دائماً بالنسبة للنبات ، مما يدل على أن كل ورقة فى النبات الواحد تنفصل عن الورقة التالية بزاوية ثابتة من محيط الدائرة تعرف بزاوية الإنفراج angle of divergence ، وهى عبارة عن كسر حسابى يمثل بسطة عدد الدوائر الكاملة التى تحدث إذا مررنا خيط من قاعدة ورقة ماراً بقواعد الأوراق التالية أعلاها حتى نصل إلى الورقة التى تقع رأسياً فوق الورقة الأولى مباشرة ، ويمثل المقام عدد قواعد الأوراق التى مر بها الخيط ما عدا الورقة الأولى ، ففى حالة القمح يمر الخيط بثلاث قواعد أوراق ليعمل دائرة واحدة فتكون زاوية الإنفراج $^{1}/_{3-1}$ أى $^{1}/_{2}$ دائرة ، وفى حالة الزان تكون زاوية الإنفراج $^{1}/_{4-1}$ أى $^{1}/_{3}$ دائرة ، وفى حالة التفاح والحور يعمل الخيط دائرتين كاملتين ليمر من قاعدة الأولى حتى قاعدة الورقة التى تعلوها مباشرة وهى الورقة السادسة وبذلك تكون زاوية إنفراج أوراقه $^{2}/_{6-1}$ أى $^{2}/_{5}$ دائرة•

ونظم ترتيب الأوراق ثابت للصنف النباتى الواحد والنظم المعروفة فى الطبيعة هى $1/2$ و $1/3$ و $2/5$ و $3/8$ و $5/13$ و $8/21$ و $13/34$ و $21/55$ إلا أن النظم $2/5$ و $3/8$ هى أكثر النظم شيوعاً فى النباتات ذات الفلقتين.

يدل مقام كسر زاوية الإنفراج على عدد صفوف الأوراق على الساق ، ففى حالة الكسر $2/5$ تكون الأوراق موجودة فى خمسة صفوف ، وفى حالة الكسر $3/8$ تكون الأوراق موجودة فى ثمان صفوف وهكذا.



(شكل 15/8) : ترتيب الأوراق على الساق

ا ، د) ترتيب حلزونى $1/2$ ، $1/3$ ، $2/5$ ، $3/8$

هـ) ترتيب متقابل متصالب

و) ترتيب سوارى

2 - ترتيب متقابل

فى الترتيب المتقابل opposite يوجد على العقدة الواحدة للساق ورقتان متقابلتان ، وعادة تقع الورقتان المتقابلتان على العقدة التالية فى وضع متعامد مع ورقتى العقدة السابقة ثم تقع ورقتى العقدة الثالثة فوق ورقتى العقدة الأولى مباشرة ، وهكذا ، ويسمى هذا النظام بالمتقابل المتصالب decussate ، وبذلك تظهر الأوراق فى أربعة صفوف طولية على الساق ، وذلك كما فى نبات الدورنتا *Duranta* (شكل 15/8 هـ)٠

3- ترتيب سوارى

فى الترتيب السوارى يتكون على العقدة الواحدة أكثر من ورقتين كما فى نبات الدفلة *Nerium oleander* حيث يتكون على العقدة الواحدة ثلاث ورقات (شكل 15/8 و) ، وفى نبات الكازورينا *Casuarina* يتكون على العقدة الواحدة ثمانى أوراق حرشفية عادة ٠

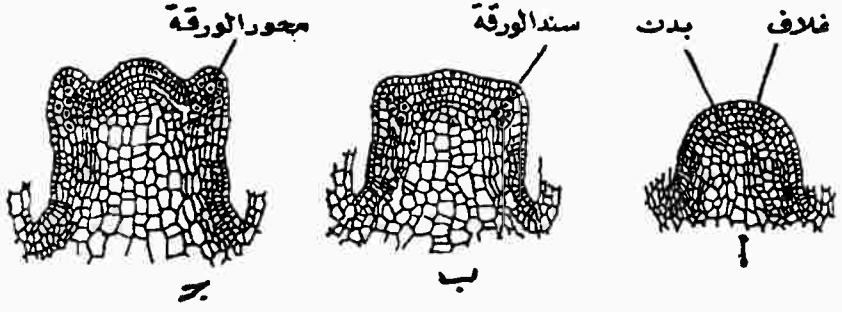
الفصل الثانى
تشـــريح الورقـــة

نشوء وتكشف الورقة

تنشأ الأوراق من مبادىء الأوراق leaf primordial التى توجد حول المرستيم القمى للبراعم • يحدث النمو فى المبدأ فى جميع أجزاء بدائى الورقة ويكون معظمه ناتجاً عن النمو فى القمة • يقل النمو القمى ثم يقف مبكراً ويكتمل نمو الورقة بنمو باقى أجزائها وبخاصة الجزء الوسطى فى معظم أوراق النباتات ذات الفلقتين وفى الجزء القاعدى فى معظم أوراق النباتات ذات الفلقة الواحدة •

يبدأ نشوء الورقة بواسطة انقسامات موازية للسطح الخارجى فى مجموعة قليلة من الخلايا على أحد جوانب القمة النامية للساق • وتنشأ مبادىء الأوراق على جوانب القمة النامية على فترات زمنية ثابتة تقريباً بالنسبة للنوع النباتى الواحد وتحت ظروف بيئية واحدة وتسمى الفترة الزمنية بين نشوء بدائى ورقة وبدائى ورقة أخرى تالية مباشرة بلاستوكرون plastochrone •

تختلف مناطـــق نشـوء الورقة من مرستيمات القمة النامية باختلاف النباتات •

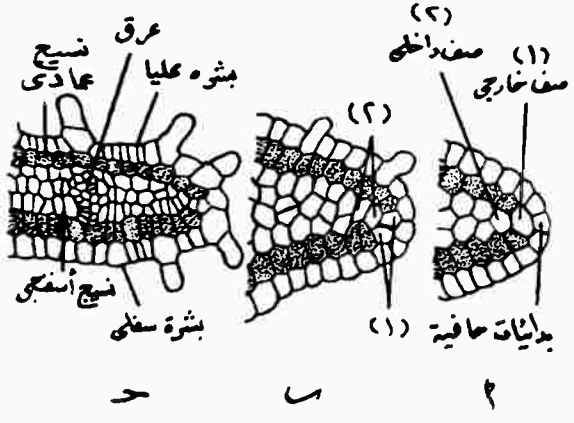


(شكل 16/8) : خطوات تكوين بدائى الورقة

ففى النباتات ذات الفلقتين تحدث الإنقسامات الموازية للسطح فى طبقة أو أكثر أسفل الطبقة السطحية ، وهذا يعنى أنه فى الحالات التى يكون فيها الغلاف مكوناً من طبقة واحدة فإن الانقسامات الموازية للسطح تحدث فى البدن فقط أما إذا زاد الغلاف عن طبقة واحدة فإن الإنقسامات تتكون من الغلاف والبدن أو من الغلاف فقط ، وفى النباتات ذات الفلقة الواحدة تحدث الإنقسامات الموازية للسطح فى الطبقة السطحية عادة ، أى أن بدائى الورقة فى هذه الحالة ينشأ من الغلاف فقط .

تختلف الطرق التى يتم بها تكشف الأوراق . والطريقة الشائعة التى يتم بها الإنقسام والتكشف فى كثير من الأوراق البسيطة ذات الفلقتين كالآتى :

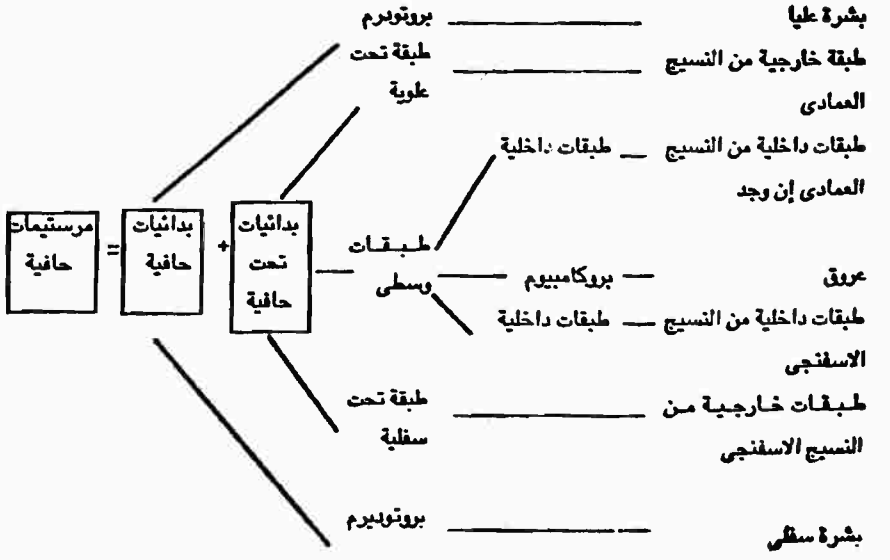
أول ما يظهر من بدائى الورقة هو نتوء جانبى صغير على قمة الساق يسمى سند الورقة leaf buttress ، ثم يتركز نشاط الخلايا المرستيمية بعد ذلك فى منطقة علوية محدودة من سند الورقة مكوناً محور الورقة leaf axis (شكل 16/8) . ثم يتكون على جانبى محور الورقة ، عدا عند القاعدة ، مجموعتان من المرستيمات الحافية marginal meristems التى يتكون منها نصل الورقة . ينشأ العرق الوسطى من نسيج محور الورقة المحصور بين المرستيمات الحافية . وينشأ عنق الورقة من الجزء القاعدى من محور الورقة .



(شكل 17/8) : خطوات تكوين نصل الورقة

تشمل المرستيمات الحافية نوعين من البدائيات ، هما البدائيات الحافية والبدائيات تحت الحافية ، البدائيات الحافية marginal initials هى خلايا مرستيمية تكون الطبقة السطحية ، وتنقسم بجدر عمودية على السطح ويتكون منها منشىء البشرة protoderm والذى بانقسامه وتكشفه يكون البشرتين العليا والسفلى للورقة.

البدائيات تحت الحافية sub-marginal initials هى خلايا مرستيمية توجد أسفل البدائيات الحافية ، وتنقسم بجدر موازية للسطح فيتكون عنها صفان من الخلايا أحدهما داخلى والآخر خارجى ، تنقسم الخلايا الخارجية بجدر عمودية على السطح الخارجى وينشأ عن ذلك صفان من الخلايا ، تعطى الخلايا العلوية منها الطبقة العليا من النسيج العمادى وتعطى السفلى منها الطبقة السفلى من النسيج الاسفنجى ، أما صف الخلايا الداخلية فتنقسم خلاياه فى إتجاهات مختلفة مكونة باقى النسيج الاسفنجى وكذلك نسيج البروكامبيوم الذى تنشأ منه عروق الأوراق ، وفى بعض



(شكل 18/8) : نشوء وتكشف نصل الورقة من المرستيمات الحافية

الحالات يتكون منها طبقات داخلية من الخلايا العمادية إن وجدت (شكل 17/8 و 18/8).

تتشكل الأنسجة الوعاية من البروكامبيوم ، ويبدأ التشكل من قاعدة الورقة متجهاً إلى أعلى فى نصل الورقة ، واللحاء هو أول ما يتشكل من الأنسجة الوعائية يليه الخشب . ويحدث التكشف بنفس الترتيب فى الأثر الورقى .

أنسجة الورقة

أنسجة الورقة البالغة ، جميعها أنسجة ابتدائية ، إذ لا يحدث تغليظ ثانوى فى أنصال الأوراق ، عادة ، وقد يحدث لحد ما فى أعناق الأوراق والعروق الوسطية ، لا يتكون نسيج بريديرم على الأوراق إلا فى حالة بعض حراشيف البراعم المغطاة.

تتكون الورقة من ثلاثة مجاميع رئيسية من الأنسجة تشبه لحد كبير تلك الموجودة فى السيقان والجذور الحديثة ، إلا أنها تختلف فى توزيعها وذلك لتلائم وظيفتى الأوراق الأساسية وهما التمثيل الضوئى والنتح . الأنسجة الرئيسية المكونة للورقة هى النسيج السطحى الذى يتمثل فى البشرة وزواندها ، والنسيج الأساسى الذى يتكون من النسيج الوسطى والنسيج المحيط بالعروق ، والأنسجة الوعائية التى تنغمس فى النسيج الأساسى ، وتتكون من الخشب واللحاء ، ونادراً ما يوجد كامبيوم.

التركيب التشريحى لأنصال أوراق النباتات ذات الفلقتين

بالفحص التشريحى لأنصال أوراق نباتات ذات الفلقتين يلاحظ أنها تتركب من الأنسجة الآتية من أعلى أسفل (شكل 19/8) ٠

البشرة العليا

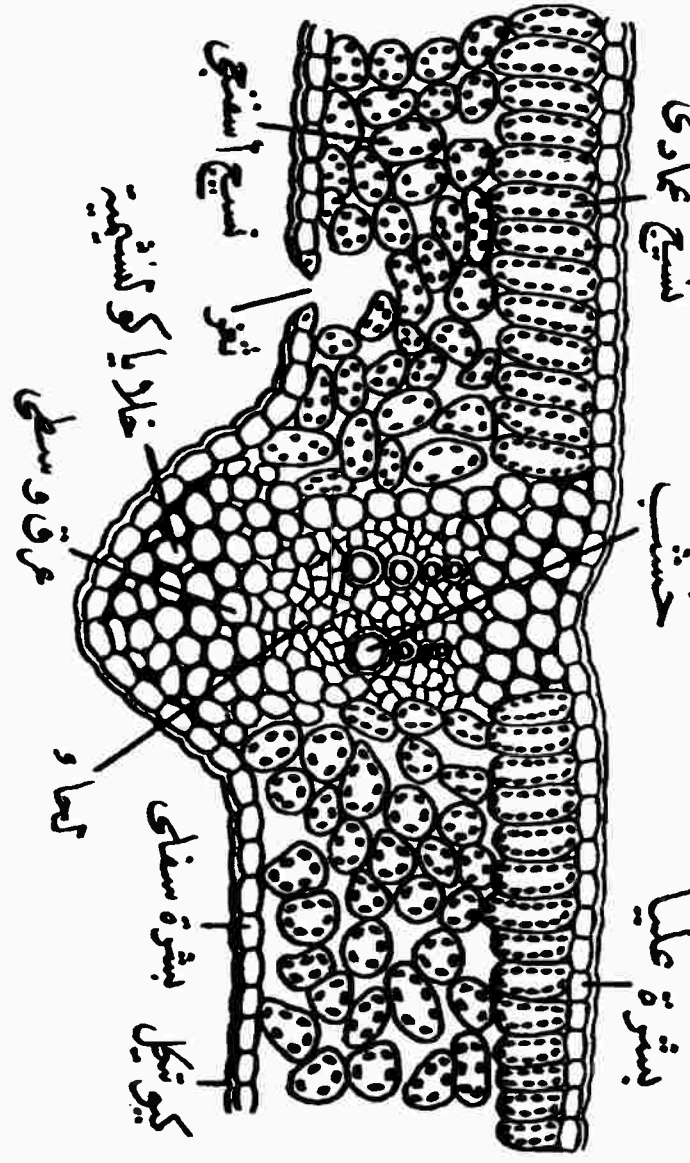
تتكون البشرة العليا من صف واحد من الخلايا التى تظهر فى القطاع العرضى متطاولة ومتراصة بجانب بعضها ، وهى خالية من الكلوروفيل ما عدا فى الخلايا الحارسة المحيطة بفتحات الثغور والتى تحتوى على الكلوروفيل ٠ تظهر خلايا البشرة فى المظهر السطحى بشكل متعرج غير منتظم عادة ، وقد تكون مضلعة وبها ثغور مبعثرة (شكل 1/5 أ ، ب ، د) ٠ والثغور ، عادة ، مرتفعة عن سطح الورقة فى النباتات المائية ومنخفضة فى النباتات الجفافية وقد يوجد ذلك أيضاً فى النباتات الوسطية ٠ قد تتكون البشرة العليا وخاصة فى بعض النباتات الجفافية من صفين أو أكثر من الخلايا المتراصة كما فى أوراق الدفلة (شكل 10/9) ٠ تغطى الجدر الخارجية لخلايا البشرة المعرضة للجو بطبقة الأدمة ، وكثيراً ما تمتد من الجدر الخارجية زوائد بشرة (شكل 11/5 ، 14/5)٠

النسيج الأساسى

هو الجزء الأكبر من نصل الورقة ، ويتكون من نسيجين هما النسيج الوسطى mesophyll ، والنسيج المحيط بالعروق الكبيرة ٠

يتكون النسيج الوسطى من خلايا كلورنشيمية كبيرة الحجم عادة ، غنية بالبلاستيدات الخضراء ويتميز إلى نسيج عمادى palisade ونسيج أسفنجى spongy ٠

يوجد النسيج العمادى جهة البشرة العليا ويتكون من صف واحد أو أكثر من خلايا أسطوانية أضلعها الطويلة عمودية على خلايا البشرة ومرتبة بجانب بعضها



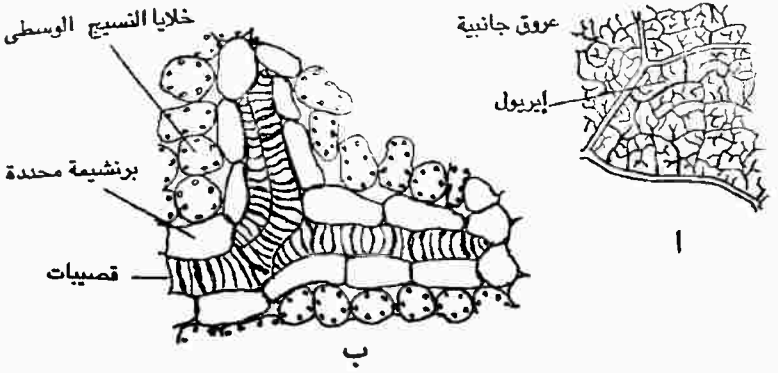
(شكل 19/8) : قطاع عرضي في جزء من ورقة نبات ذو فلقتين ماراً بالعرق الوسطي

وغنية بالبلاستيدات الخضراء وتوجد بينها مسافات بينية • فى قليل من النباتات وبخاصة فى النباتات الجفافية يوجد نسيج عمادى آخر أعلى البشرة السفلى ، وذلك كما فى أوراق السنتوريا *Centaurea* والدفلة •

يوجد النسيج الأسفنجى أسفل النسيج العمادى جهة البشرة السفلى ، ويتكون من عدة طبقات وخلاياه عادة تتراوح فى شكلها من كروية إلى غير منتظمة الشكل ، قد تمتد بشكل فروع أو أذرع تصل الخلايا ببعضها وتكثر بينها المسافات البينية • هذا النسيج تحتوى خلاياه على بلاستيدات خضراء ولكن بنسبة أقل منها فى خلايا النسيج العمادى •

قد يكون النسيج الوسطى متجانس نسبياً ، أى غير متميز إلى نسيج عمادى وآخر أسفنجى وذلك كما فى البسلة والكتان •

وتساعد المسافات البينية الكثيرة بين خلايا النسيج الوسطى على زيادة السطح المتصل بالهواء الخارجى عن طريق الثغور ، ويساعد ذلك الخلايا على القيام بعمليات التنفس والتمثيل الضوئى والنتح بكفاءة عالية ، حيث أن الهواء يتوفر باستمرار حول الخلايا •



(شكل 20/8) : نهايات العروق فى الأوراق

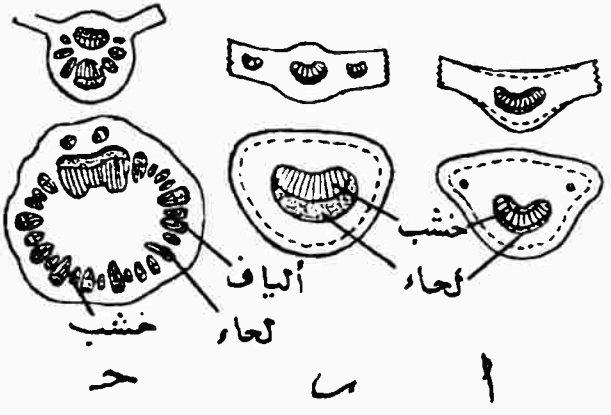
أ) جزء وسطى من ورقة تبين نهاية العروق
ب) نهايات العروق مكبرة

النسيج المحيط بالعروق الكبيرة خلاياه أصغر حجماً من خلايا النسيج الوسطى وتقل بينها المسافات البينية ولا يتميز إلى نسيج عمادى وآخر أسفنجى ، ويتكون من خلايا برنشيمية وعادة يحتوى على خلايا كولنشيمية أو إسكلرنشيمية ويمتد هذا النسيج عادة بطول النصل فى مناطق العروق الرئيسية تحت البشرة العليا وأعلى البشرة السفلى .

تحصر نهايات العروق بينها ، عادة ، مساحات صغيرة مضلعة من النسيج الوسطى تسمى هالات أو إيريولات areolae (شكل 20/8 أ) ؛ وحيث أن خلايا النسيج الأسفنجى أسرع فى توصيل الماء عن خلايا النسيج العمادى ، لهذا فإنه كلما زادت نسبة النسيج الأسفنجى فى الورقة كلما قلت العروق وزادت مساحة الايرويولات والعكس صحيح .

الحزم الوعائية

توجد الأنسجة الوعائية فى نصل الورقة فى نظام متشابك مكونة عروق الورقة ، ولهذا تظهر الحزم الوعائية فى القطاعات العرضية فى مساقط veins



(شكل 21/8) : رسم تخطيطى لقطاعات عرضية فى الجزء الوسطى من أنصال الأوراق (صف علوى) والأعناق (صف سفلى)

أ) الدفلة ب) يونيمس جـ) العنب

مختلفة • توجد الحزم الوعائية عادة ، على الحد الفاصل بين الخلايا العمادية والخلايا الأسفنجية • تتكون الحزمة الوعائية من خشب ولحاء ولا يوجد كامبيوم عادة ، ولذلك فهى من النوع الجانبى المقفول • يوجد الخشب جهة البشرة العليا ويتكون من أوعية خشبية مرتبة فى صفوف ، وقصيبات وألياف وبرنشيمية خشب ، ويكون الخشب الأول إلى أعلى والخشب التالى إلى أسفل • ويوجد اللحاء جهة البشرة السفلى ، ويتكون من أنابيب غربالية وخلايا مرافقة وبرنشيمية لحاء وفى العروق الصغيرة تقل كميات الخشب واللحاء ، وتمتد أنسجة الخشب لمسافة أطول من اللحاء ، ولذلك تتكون نهايات العروق من قصيبات قصيرة فقط • قد تكون الحزم ذات جانبين ، أى تحتوى على لحاء ثانى علوى ناحية البشرة العليا ، وذلك كما فى العروق الكبيرة لجنسى الدخان *Nicotiana* والدفلة (شكل 21/9 أ) ، وفى هذه الحالة لا يمتد اللحاء العلوى عادة إلى العروق الصغيرة •

قد تكون الحزم الوعائية فى العروق الكبيرة مرتبة فى شكل دائرى يكون فيها اللحاء للخارج والخشب للداخل كما فى أوراق العنب (شكل 21/8 جـ) وقد تكون الحزم موزعة بغير نظام كما فى أوراق عباد الشمس ، وأحياناً يوجد بعرق النصل حزمة واحدة قد تكون عرضية هلالية الشكل كما فى أوراق أبو تيلون *Abutilon* ويونيمس *Euonymus* (شكل 21/8 ب) ، وقد تكون دائرية ، كما فى أوراق البلوط•

توجد الحزم الوعائية منغمسة فى النسيج الوسطى فى العروق الصغيرة بينما توجد محاطة بجزء من النسيج الأساسى يكون خالياً من البلاستيدات الخضراء أو يحتوى على قليل منها فى العروق الكبيرة• يبرز النسيج المحيط بالعروق الكبيرة على سطحى الورقة وخاصة على السطح السفلى مكوناً نتوء العرق vein rib • وعادة تحتوى تلك النتوءات على خلايا كولنشيمية تصل الأنسجة الوعائية ببشرة أحد سطحى النصل أو بكليهما•

الحزم الوعائية المكونة للعروق الصغيرة والموجودة فى النسيج الوسطى تحاط عادة ، بطبقة أو أكثر من خلايا برنشيمية أو كلورنشيمية متراصة بجانب بعضها مكونة غلاف الحزمة • ويستمر غلاف الحزمة محيطاً بها حتى نهايتها حيث تحاط القصيبات بخلايا برنشيمية محددة bordered parenchyma ، وبذلك فإن الأنسجة الوعائية لا تتعرض للمسافات البينية ، عدا فى مناطق الثغور المائية ولذلك فإن الماء المار من نهايات العروق إلى النسيج الوسطى لابد أن يمر خلال البرنشيمية المحددة (شكل 20/8 ب) أو خلال غلاف الحزمة • وفى كثير من النباتات ذات الفلقتين نجد أن غلاف الحزمة يتصل بكل من البشرتين العليا والسفلى بواسطة ممرات من خلايا برنشيمية تشبه خلايا غلاف الحزمة تسمى زوائد غلاف الحزمة bundle sheath extensions تقوم بنقل الماء جانبياً من الحزم الوعائية إلى البشرة خلال زوائد غلاف الحزمة ، ولذلك فإن عدد هذه الزوائد عند وجودها يتناسب عكسياً مع كثافة التعريق •

البشرة السفلى

تشبه خلايا البشرة العليا ، إلا أن جدر خلايا البشرة السفلى أرق ، وتحتوى عادة على ثغور بعدد أكبر من عددها فى البشرة العليا •

التركيب التشريحى لأنصال أوراق النباتات ذات الفلقة الواحدة

بالفحص التشريحى لأنصال أوراق النباتات ذات الفلقة الواحدة يلاحظ أنها تتركب من الآتى (شكل 22/8)٠

البشـــرة

توجد عادة بشرتين عليـا وسفلى ، وهى تشبه فى تركيبهما بشـرة الأوراق ذات الفلقتين إلا أنها تشاهد فى المظهر السطحى بشكل مضلع متطاول فى إتجاه طول نصل الورقة ، وتوجد بها الثغور مرتبة عادة فى صفوف طوليـة (شكل 11/5 أ ، جـ)٠ فى حالة الأوراق الأنبوبية توجد بشرة تتكون من صف واجد من الخلايا تحيط بالورقة من الخارج كما فى البصل ٠ كثيراً ما يتميز بالبشرة خلايا كبيرة رقيقة الجدر ، تنثنى عندها الورقة وتعرف بالخلايا الحركية bulliform cells ، وقد توجد بالبشرة خلايا سليكا أو خلايا فلين (شكل 11/5 أ) ٠

النسيج الأساسى

لا يتميز النسيج الوسطى ، عادة ، إلى نسيج عمادى وآخر أسفنجى ، إلا فى بعض الحالات مثل الزنبق والموز والبصل ٠ فى الزنبق والموز يوجد نسيج عمادى أسفل البشرة العليا ونسيج إسفنجى أعلى البشرة السفلى ٠ فى البصل يوجد النسيج العمادى للخارج والنسيج الإسفنجى داخله ، وتوجد الحزم الوعائية منغمسة فى النسيج الأسفنجى ، ويتكون مركز الورقة من فجوة واسعة محاط ببقايا الخلايا البرنشيمية التى كانت تشغل قبل ذلك مكان التجويف فى الورقة الصغيرة ٠

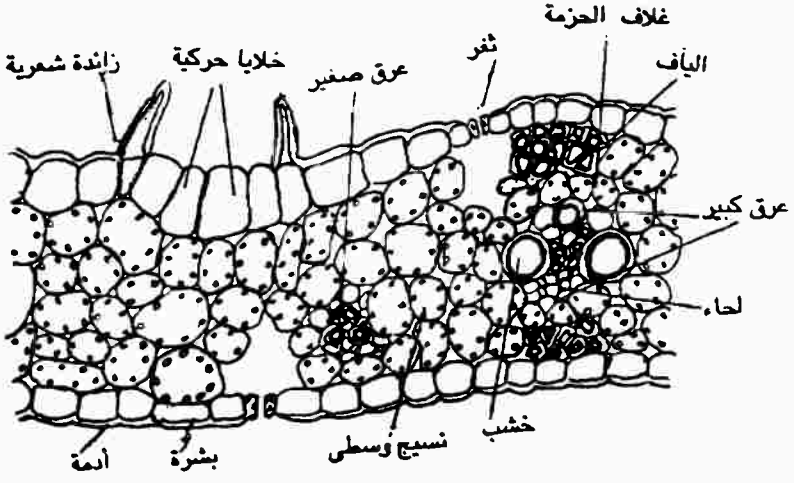
وفى أنصال أوراق معظم نباتات الفلقة الواحدة حيث لا يتميز النسيج الوسطى إلى نسيج عمادى وآخر أسفنجى ، نجد أنه يتركب من خلايا كلورنشيمية ٠ كذلك فإن النسيج الأساسى كثيراً ما يحتوى على خلايا اسكلرنشيمية توجد أعلى أو أسفل

الحزم أو فى كلا الاتجاهين ، وقد تغلف الحزم تغليفاً كاملاً . وفى حالة أخرى تغلف الحزم بخلايا برنشيمية قد تكون رقيقة الجدر وقد تكون مغلظة الجدر . يتكون غلاف الحزمة من طبقتين ، الداخلية مغلظة الجدر والخارجية رقيقة الجدر . ويستعين بعض علماء تقسيم النبات فى تقسيم الحشائش بنوع غلاف الحزم الوعائية.

النسيج المحيط بالعروق الكبيرة يتكون عادة ، من ألياف ويصل إلى كل من البشرة العليا والسفلى .

الحزم الوعائية

توجد الأنسجة الوعائية فى نظام متوازى عادى ، ذلك لأن تعريق الأوراق ذات الفلقة الواحدة يكون عادة متوازياً ، لهذا فإنه عند عمل قطاعات عرضية تظهر الحزم الوعائية فى مسقط عرضى ويتدرج حجمها فى الصغر من العرق الوسطى حتى حافتى الورقة ذات التعريق المتوازى الطولى ، وتظهر الحزم فى مسقط طولى



(شكل 22/8) : قطاع عرضى فى جزء من ورقة نبات ذو فلقة واحدة (نبات الذرة)

عدا العرق الوسطى فى مسقط عرضى فى حالة أنصال الأوراق ذات التعريق المتوازى العرضى • وقد تظهر فى القطاعات العروق الدقيقة التى تصل الحزم الوعائية المتوازية ببعضها •

تتكون الحزم الوعائية من خشب ولحاء ، يوجد الخشب جهة البشرة العليا ويكون ترتيب الأوعية الخشبية بشكل حرف Y أو V بحيث يكون الخشب التالى ناحية البشرة السفلى•

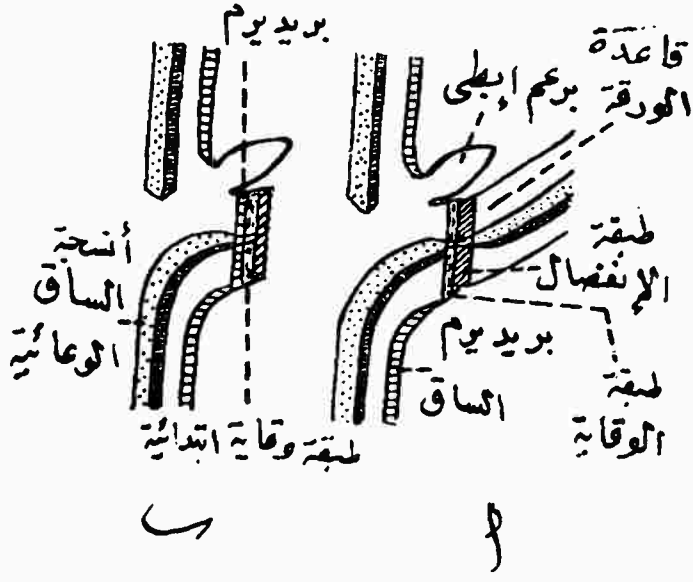
التركيب التشريحى لأعناق الأوراق

لا تظهر إعناق الأوراق فى القطاعات العرضية بشكل كامل الاستدارة ، بل تكون عادة مسطحة أو مقعرة قليلاً فى السطح العلوى • يحتوى عنقِ الورقة عادة على نفس الأنسجة الموجودة فى سيقان نفس النباتات • فالبشرة تحتوى على خلايا البشرة والثغور ، وقد يوجد بها زوائد بشرة ، النسيج الأساسى مكون عادة من خلايا برنشيمية وقد تحتوى على بلاستيدات خضراء ، عادة توجد به خلايا كولنشيمية واسكلرنشيمية كأنسجة دعامية • توجد الأنسجة الوعائية بأشكال مختلفة تبعاً لنوع النبات ولكنها لا تكون عادة أسطوانة وعائية بل تكون غالباً منتظمة بشكل قوس أو هلال ، يكون فيه الخشب متجهاً إلى أعلى واللحاء متجهاً إلى أسفل (شكل 21/8) وتكون أعداد الحزم عادة من 1 إلى 3 فى الأوراق ذات التعريق الريشى وتزيد عن ذلك فى الأوراق ذات التعريق الراحى •

تساقط الأوراق

تساقط الأوراق هو عبارة عن إنفصال الأوراق عن الأفرع الحاملة لها بدون حدوث أضرار للأفرع. وقد تتساقط الأوراق طبيعياً نتيجة لتغير الظروف البيئية ، أو يحدث نتيجة لحدوث الأضرار التى تلحق بالنبات .

ويحدث سقوط الأوراق فى الأشجار المتساقطة الأوراق نتيجة لتكوين منطقة خاصة فى قواعد أعناق الأوراق تعرف باسم منطقة الانفصال abscission zone ، وتتكون هذه المنطقة من خلايا برنشيمية أصغر حجماً من الخلايا المجاورة كما أن حزمها الوعائية لا تغلف عادة بخلايا اسكلرنشيمية ، ويحدث بمنطقة الإنفصال تغييران تشريحيان واضحان هما تكوين طبقة الانفصال separation layer وطبقة



(شكل 23/8) : تساقط الأوراق

أ) تكوين طبقة الانفصال والوقاية
ب) سقوط الورقة وتكوين طبقتى وقاية ابتدائية وثانوية

الوقاية protective layer ، طبقة الإنفصال تسهل إنفصال الأوراق عن الأفرع ، وطبقة الوقاية تتكون أسفل طبقة الإنفصال فى جهة الفرع لتحمى السطح المقطوع بعد سقوط الورقة من الجفاف ودخول مسببات الأمراض النباتية (شكل 23/8 أ) ٠

توجد ثلاث نظريات لتفسير ميكانيكية تساقط الأوراق ٠ تقول النظرية الأولى أن التساقط يحدث نتيجة لتحلل الصفائح الوسطى لخلايا النسيج الأساسى الموجودة فى طبقة الإنفصال ، ثم تفكك الخلايا عن بعضها ٠ وتقول النظرية الثانية أن تساقط الأوراق يحدث نتيجة لتحلل جزء أو كل الجدر الإبتدائية أو جميع خلايا النسيج الأساسى الموجودة فى طبقة الإنفصال ٠ ويقول الرأى الثالث أن التساقط يحدث نتيجة لتكون خلايا فلينية تفصل أنسجة الورقة عن أنسجة الساق ٠ وينتج عن تكون طبقة الإنفصال ، بأى من الطرق السابقة ، فصل النسيج الأساسى لعنق الورقة عن الساق مما يؤدى إلى تساقطها ٠

طبقة الوقاية التى تتكون أسفل طبقة الإنفصال ، ناحية الساق تتكون من جزئين ، طبقة وقاية إبتدائية وطبقة وقاية ثانوية ، تنتج طبقة الوقاية الابتدائية عن طريق ترسيب مواد مختلفة على جدران وفى خلايا الجزء المكشوف من الفرع وكذلك فى المسافات البينية ، ويكتمل تكوين هذه الطبقة بعد سقوط الورقة عادة ، ومن هذه المواد المرسبة السيويرين واللجنين وأصماغ جرحية ، كما قد تتكون فى الأوعية الخشبية تيلوزات ومواد غير منفذة للماء ، وبذلك يسد السطح المقطوع ٠ تتكون بعد ذلك طبقة الوقاية الثانوية ، وذلك بعد فترة قصيرة أو طويلة قد تصل إلى عام ويختلف ذلك باختلاف النبات ، وهى عبارة عن تكوين نسيج بريديرم والذى يكون على إتصال ببريديرم الأفرع (شكل 23/8 ب) ٠ وفى حالة حدوث تساقط الأوراق بطريقة تكوين خلايا فلينية فإن طبقة الإنفصال تكون فى نفس الوقت هى طبقة الوقاية٠