الباب الخامس

الجهاز الميكانيكى The Mechanical System

يزود النبات بقوة ميكانيكية تجعله مع أعضائه متماسكا مرتبطاً فى كل أجزائه . والنباتات الراقية المتكون جسمها من أجزاء عديدة متباينة تكون عرضة للكثير من الاضرار ، بالنسبة لتعرض الأعضاء الضعيفة التى ينقصها التقوية الكافية للكسر وللتمزق والتهشم وغيرذلك . ولذا لزم على كل نبات أن يحمى نفسه من الاضرار الممكن حدوثها والتى تتعرض لها أعضاؤه المختلفة التى قد تنشأ لتتخذ الوضع القائم أو لتتحمل الانحناء والضغط الجانبي أو الجذب الطولى وغير ذلك .

وتزود النباتات كلها من الطحالب الى الاشجار الكبيرة الضخمة بقوى ميكانيكية تناسبها، فالشجرة العادية يجب أن يتحمل جذعها مايحمله من الاعضاء الاخرى كالافرع والاوراق حيث يبقى فى وضع عمودى حتى يتحمل الضغط الطولى عليه ، كما أن على الافرع أن تتحمل حملها الثقيل بالرغم من وضعها الافقى أوالمائل فتزود بذلك بقوى تحميها من الانحناء ، أما فى حالة اشتداد الرياح ، فعلى جذوع الاشجار وأفرعها أن تتحمل الضغط الجانبي . وتتكون الاوراق من خلايا وأنسجة تامة الارتباط وحوافها ذات تقوية خاصة حتى لا تتمزق بسهولة . والاشجار عرضة للاقتلاع بجذورها بواسطة الرياح الشديدة غير أن المجموع الجذرى بأجزائه المتشعبة المتماسكة بين جزيئات التربة يجعلها مثبتة تماماً بها .

والجدر الخلوية السليلوزية المتماسكة أول مايجعل جسم النبات وأعضائه المختلفة متخذة شكلا مميزاً دائماً . ويزود النبات بالنسبة للمؤثرات المختلفة وبالنسبة لما يلزمه من القوى الضرورية بنظم ميكانيكية خاصة فى شكل أنسجة تسمى بالأنسجة الميكانيكية Mechanical Tissues تتكون بأشكال وبأوضاع وبنسب تلائم الوظيفة التى تقوم بها .

الأشكال المختلفة للخلايا الميكانيكية

١ — الألياف Fibres

تشبه الألياف الخلايا البروزنشمية النموذجية فى شكلها ، وهى إما بسيطة أو متفرعة (شكل ٤٧ — ١) ذات أطراف طويلة مستدقة مدببة . ومنها القصير ومنها الطويل ، ففى القصيرة تكون نسبة عرض الخلية الليفية إلى طولها ١ : ١٠ أو ١ : ٢٠ ، أما فى حالة ألياف بعض النباتات التابعة للعائلة URTICACEAE فقد تصل نسبة عرضها إلى طولها ١ : ٤٠٠ ، وتدل هذه الأرقام التى يذكرها De Bary على ما قد تصل إليه خلايا الألياف من طول بالغ .

والجدر الثانوية لخلايا الألياف زائدة السمك ، أما الفراغ الداخلى فيختزل إلى قناة ضيقة غير منتظمة الإتساع فى مواضع معينة ، وربما تحتوى عند بلوغها ، كما ذكر Schwendener على بقايا البروتوبلاست ، وكذلك على كمية محدودة من سائل مائى أو من الهواء . ويقول هابرلاندت إن الجدار الثانوى يتكون عادة من السليلوز غير أن من أنواع الألياف ما تتلجنن جدرها . ومن المميزات الظاهرة لمعظم الالياف وجود النقر المختزلة Vestigial Pits بها .

وتنشأ الالياف فى أغلب الحالات من خلايا مرستيمية مستطيلة الشكل تظهر فى حالة السوق على مسافة قصيرة خلف القمة النامية لها ، كما تنشأ أيضاً من خلايا الكمبيوم مكونة العناصر الهامة فى كل من اللحاء الثانوى والخشب الثانوى . ومن المظاهر الهامة فى كثير من الالياف أنها فى الاطوار المبكرة لتكوينها يكون بروتوبلاستها عديد النوايا ولهذا الوضع علاقة بنشاط نمو جدار الخلية فى الطول وزيادته فى السمك .

وقد وجد Treub أن ألياف العائلات ASCLEPIDIACEAE و APOCYNACEAE و URTICACEAE عديدة النوايا فى أطوارها المبكرة ، وهذا ما شاهده بالمثل هابرلاندت فى خلايا ألياف نبات الكتان *Linum usitatissimum* ، وكذلك فى نباتات العائلة البقلية LEGUMINOSAE .

ويرجع تكوين خلايا الالياف عادة الى النمو الطرفى المستقل لكل منها ، وبذلك تتداخل أطرافها مع بعضها وتتلاصق أسطحها الجانبية الكبيرة (شكل ٤٧ — هـ) مكونة

فى النهاية أشرطة أو صفحات متماسكة داخل جسم النبات ، وقد تتخذ أطرافها أشكالا مختلفة بالنسبة للانزلاق الطولى .

والالياف إما أن توجد فردية أو فى مجاميع موزعة توزيعاً كبيراً فى جسم النبات ، ويكثر وجودها فى بعض أجزاء الساق كالقشرة والبريسيكل والخشب واللحاء . ويمكن تقسيم الالياف عموما بالنسبة لموضعها فى الساق إلى قسمين :

(أولا) Bast Fibres وهى الألياف الموجودة عموما خارج منطقة الكمبيوم .

(ثانياً) ألياف الخشب Wood Fibres وهى الألياف الموجودة داخل منطقة الكمبيوم .

أما كلمة Bast فهى اصطلاح قديم العهد بالنسبة لعلم التركيب التشريحى للنبات ، فقد كانت تطلق هذه الكلمة فى العصور القديمة على المحتويات الليفية لأنواع معينة من الأشجار كانت تستعمل فى عمليات الربط ، ولا يكفى هذا اللفظ للدلالة على أنسجة الألياف الخارجة عن نطاق منطقة الكمبيوم فى ساق نباتات ذات الفلقتين . ولذلك كان من المستحسن أن تقسم الألياف وتسمى بالنسبة للموضع أو النسيج التى تظهر فيه ، فإن كانت فى القشرة سميت ألياف القشرة أو فى منطقة البريسيكل سميت ألياف البريسيكل أو فى اللحاء فتسمى ألياف اللحاء وكذا فى الخشب فتسمى ألياف الخشب .

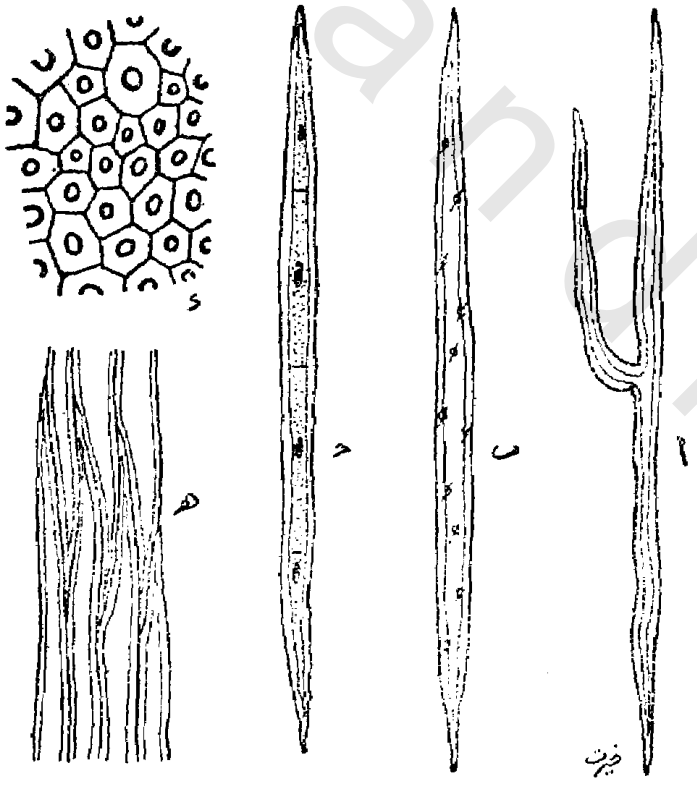
والألياف هى أكثر أشكال خلايا النسيج الميكانيكى أهمية فى النبات فقوتها ومرونتها تكسبها مقدرة كافية على الاستقامة وعلى الانحناء . وصفات الألياف الميكانيكية ذات أهمية تجارية كبيرة فألياف اللحاء فى أجناس *Corchorus* و *Musa* و *Cannabis* تدخل فى صناعات عديدة ، وبالمثل ألياف نبات الكتان . وتصل الالياف إلى نهاية تكوينها فى أوراق وسوق نباتات ذات الفلقة الواحدة . وقد عرفها الاقدمون وخصوصا فى المناطق الاستوائية واستعملوا أنسجتها فى شئون شتى فى العصور الغابرة .

(ا) ألياف اللحاء Phloem Fibres

قد يزداد أو يقل سمك جدر هذه الخلايا ، على أنها فى العادة (ما عدا بعض الحالات الشاذة) تكون كثيرة السمك وبذلك يختزل الفراغ الداخلى . والجدار المتوسط

Middle Lamella رقيق عادة وقد يكون فى بعض الأحوال سميكا نوعاً ما ، والطبقات المكونة للزيادة فى سمك الجدار الثانوى كثيفة دائماً وقد يظهر فيها أحياناً الوضع الموازى لمحور الخلية الطولى ، أما وضعها العمودى على هذا المحور فيعتمد على كمية الماء التى تحتويها . وتمتاز هذه الخلايا بوجود النقر المختزلة وترتب أقطارها الكبيرة فى وضع طولى أو مائل ، والوضع المائل هو الأغلب مشاهدة (شكل ٤٧ — ب) ، وفى هذه الحالة توجد النقر فى مجاميع بشكل صفوف حلزونية تتجه إلى الجهة اليسرى . وقد تعتبر الخلية الليفية ذات النقر المائلة مجموعة من الخيوط الدقيقة ملتفة مع بعضها فى شكل حلزونى عديد اللفات محيطة بقناة وسطية هى فراغ الخلية . وهى تشبه فى هذه الحالة الحبل المكون من عدد من الوحدات الملتفة حلزونيا ، ولما كانت مرونة الحبل راجعة لوضع أشرطته الملتفة ، كذلك الحال بالنسبة للخيوط الدقيقة الحلزونية الوضع فى جدار الخلية الليفية وذات الأهمية من الوجهة الميكانيكية .

ومن جهة الطبيعة الكيمائية لجدر هذه الخلايا فالطبقات التى تزيد من سمكها تتكون من السليلوز ، وهناك أنواع أخرى ذات جدر ملجننة ، غير أنه قد لا توجد علاقة مباشرة بين طبيعة جدرها الكيمائية وصفاتها الميكانيكية .



(شكل ٤٧)

(ا) خلية ليفية متفرعة . (ب) خلية ليفية ذات نقر مختزلة فى وضع مائل . (هـ) خلية ليفية مقسمة . (و) ق . ع . فى مجموعة من خلايا الألياف . (هـ) النمو الانزلاقى لخلايا الألياف

وقد يكون لتعدد النوايا علاقة بتقسيم الخلية الليفية إلى عدة حجرات منفصلة تمثل كل منها خلية مستقلة ، ويحدث ذلك بظهور عدة حواجز رقيقة عرضية تتصل بكل من حافتى الجدار الثانوى من الداخل ولكنها لا تستمر حتى الجدر المتوسطة . وتسمى هذه الألياف Septate Phloem Fibres (شكل ٤٧ — ﻫ) ، وتشاهد بسهولة فى النسيج المفكك لساق العنب . وتقسيم الالياف إلى حجرات دقيقة لا قيمة له من الوجهة الميكانيكية .

ق . ع . فى مجموعة من ألياف نبات كوركورس كابسيولارس × ١٧٥
(رسم فوتوغرافى مستعار من فرع الألياف بقسم النباتات بوزارة الزراعة)

وألياف اللحاء إما أن تكون منتثرة فردية أو فى مجاميع خلال اللحاء الثانوى ، أو قد تكون على هيئة طبقات تماسية متبادلة معه . ومن الخطأ أن يظن أن هذا النسيج الميكانيكى هو الذى يعطى القوة للساق كلها ، حيث ان جذوع الأشجار والأفرع الخشبية تعتمد فى قوتها على الاسطوانة الخشبية ، أما الأجزاء الليفية فى اللحاء الثانوى فذات طبيعة ميكانيكية موضعية بالنسبة له وغالباً ما تساعد على وقايته . غير أن ألياف اللحاء قد تساعد فى تقوية الساق فى حالة ما تكون الاسطوانة الخشبية فى بدء تكوينها ، فساق التيليا تستمد نسبة كبيرة من قوتها الميكانيكية من الأشرطة الليفية الكثيفة الموجودة فى اللحاء الثانوى فى السنوات الثلاث الاولى ، أما بعد ذلك فبالنسبة لنشاط الكمبيوم يزداد نمو الاسطوانة الخشبية وبذلك تصبح الأهمية الميكانيكية لالياف اللحاء موضعية بالنسبة للمكان الموجودة فيه .

(ب) ألياف الخشب Wood Fibres

وتسمى أيضاً Libriform Cells ، والفرق بين ألياف الخشب وألياف اللحاء لا يرجع كثيراً إلى المميزات المورفولوجية ، وإنما يعتمد على المواضع التى توجد فيها . ويطلق هذا الاسم عادة على العناصر المقوية لخشب نباتات ذات الفلقتين ، والأصح أن تعتبر كل الخلايا الميكانيكية داخل منطقة الكمبيوم من نوع ألياف الخشب ، أما ألياف اللحاء فعلى العكس موجودة خارج نطاق الكمبيوم . ولا تتكون ألياف الخشب فى معظم نباتات ذات الفلقة الواحدة ، أما الأشرطة الميكانيكية التى ترى محيطة بالحزم الوعائية فتكون جهازاً مستقلا بذاته يزيد من قوة الساق الميكانيكية ، وتساعد مجاميع ألياف الخشب الملاصقة له مع غلاف الحزمة على تكوين الوحدة التى تسمى Fibro Vascular Bundle .

وألياف الخشب النموذجية عبارة عن خلايا بروزنشمية ذات جدر سميكة ونقر ضيقة مائلة الوضع ، وتحتوى على الهواء وقد يوجد بها أحيانا بقايا المحتويات البروتوبلازمية. والنوع المتفرع منها يندر ظهوره ، ويرى فى (Teak) *Tectona grandis* ، وغالباً ما تكون جدرها كثيفة اللجننة . وقد وصف Sanio عدة حالات تكون فيها الطبقة الداخلية من جدر ألياف الخشب ذات طبقة جيلاتينية وهذه تبقى دائماً بدون أن تتلجنن ، كما فى *Morus alba* . ويقول Leclerc Du Sablon و Schellenberg إن هذه الطبقة تحتوى على الهميسليلوز وتتكون متأخرة فى فصل النمو ثم تتحول إلى مادة بلاستيكية سائلة فى الربيع التالى .

وألياف الخشب عموماً أقصر فى الطول من ألياف اللحاء فلا يزيد طولها عادة عن ٠٫٣ إلى ١٫٣ مم . وقد ذكر Sanio أن متوسط طولها ١٫٢٦ مم فى *Prunus laurocerasus* و١٫٠٣ مم فى *Ulex europaeus*، و٠٫٨ مم فى *Quercus pedunculata* و٠٫٥٣ مم فى *Salix acutifolia* ، و ٠٫٠٤٦ مم فى *Tilia parvifolia* .

وقد تتحول ألياف الخشب تحت شروط خاصة إلى Septate Wood Fibres بتكوين عدة حواجز عرضية رقيقة تتصل بالجدر الجانبية الكثيرة السمك .

٢ — الخلايا الاسكلرنشيمية أو الاسكليريدز
Sclerenchymatous Cells or Scelereides

يوجد هذا النوع من الخلايا المقوية فى مواضع مختلفة من جسم النبات لأسباب ميكانيكية موضعية ، وليس شكلها پروزنشيميا (كما فى الألياف) ، فهى عادة متساوية الأقطار مستطيلة قليلا وقد تكون متفرعة كما قد يزيد أحد أقطارها فى الطول عن الأخرى . وجدرها الثانوية كثيرة التغليظ صفراء أو بنية محمرة اللون كثيرة اللجننة ، أما الفراغ الداخلى فيختزل إلى فجوة صغيرة غير منتظمة الشكل . ومن أهم مميزات هذه الخلايا وجود النقر البسيطة أو المتفرعة متقاطعة مع الجدر الثانوية السميكة ، وتظهر هذه النقر فى منظرها السطحى مستديرة الشكل ، ويحدث المظهر المتفرع لقنوات هذه النقر Pit Canals من عدم الانتظام فى الزيادة الداخلية فى سمك الجدار ، ولذلك تتصل نقرتان أو أكثر من النقر المنفصلة أصلياً فى قناة عادية تستمر بعد ذلك إلى الفراغ الداخلى للخلية ، وتعتبر النقر المتفرعة تحور خاص من النقر البسيطة . وينعدم البروتوپلاست فى مثل هذه الخلايا عند بلوغها ، ويشغل فراغ الخلية سائل يحتوى على مواد مختلفة قد تكون غروية وقد تكون من مادة التانين على شكل حبيبات بنية حمراء اللون .

وينشأ هذا النوع من الخلايا بواسطة التخشب الثانوى الملجنن لجدرها Secondary Sclerosis ، كما يحدث لجدر الخلايا البرنشيمية الرقيقة فى القشرة الخارجية للساق بعد أن تقوم بوظائفها كالتمثيل الضوئى أو التخزين لعدة سنوات ، فتفقد پروتوپلاستها وتتغلظ وتتلجنن جدرها . وهذه تبقى أثناء تكوينها محتفظة بالشكل الأصلى للخلايا البرنشيمية . وقد تتخذ أشكالا أخرى فى مواضع أخرى من النبات ، كما فى النوع المتفرع الذى تمتد أذرعه فى المسافات البينية الهوائيـــة التى تتخلل الخلايا البرنشيمية الأخرى المجاورة .

والأنواع المختلفة لهذه الخلايا كثيرة التوزيع ولكنها توجد عادة فى قشرة ولحاء الساق كما ترى فى أغلفة الثمار الصلبة وقصرات البذور الأخرى .

ويلاحظ فى قشرة كثير من النباتات المتساقطة الأوراق مثل *Quercus* و *Betula* ، أنها تحتوى على أشرطة منفصلة من الألياف ، تتصل ببعضها فيما بعد بهذا النوع من الخلايا الاسكلرنشيمية لتكون أسطوانة مقوية كاملة غير متجانسة ، بسبب الزيادة فى سمك الساق . وتنحصر أهميتها الميكانيكية فى هذه الحالة فى تقوية الأماكن الموجودة بها بالنسبة للشد الجانبي ومثلها كمثل الرمل الذى يضيفه البناء إلى المونة ليزيد من قوة تماسكها . ويطلق على الاسكليريدز اسم الألياف الكاذبة أو الغضروفية كما تسمى أيضاً بالألياف الخشنة ، أما الألياف الحقيقية السابق ذكرها فتسمى بالالياف الناعمة .

وتوجد الاسكليريدز على عدة أشكال وهى :

(ا) الخلايا الحجرية Stone Cells

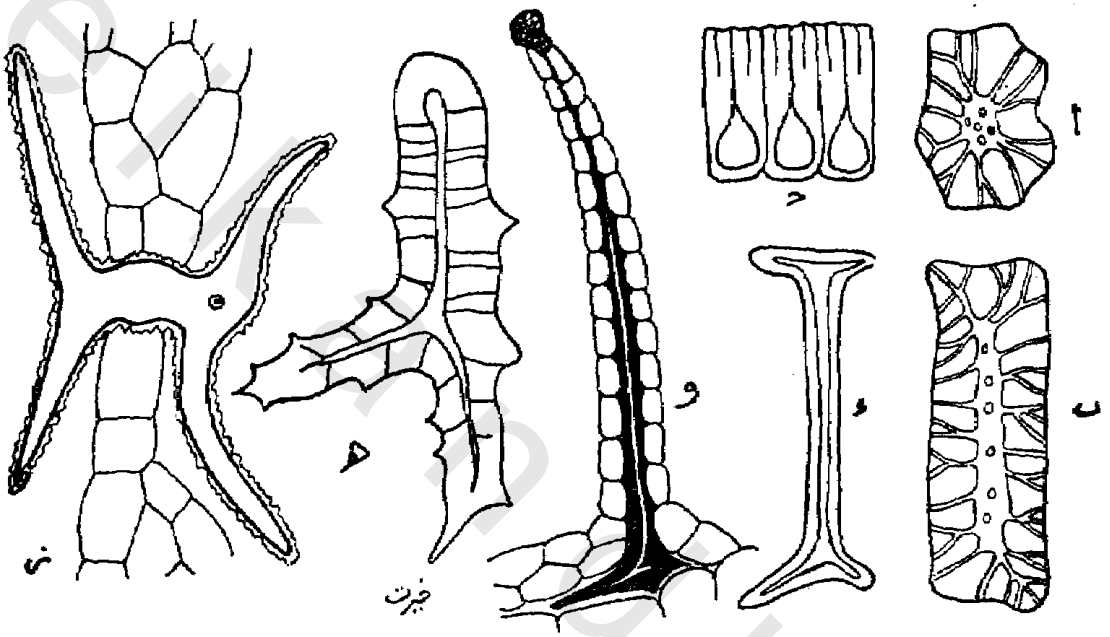
يوجد هذا النوع من الخلايا فى القشرة الخشبية لنباتات ذات الفلقتين ويسمى أيضاً Brachysclereides ، ويزيد فى هذه الحالة من صلابة القلف . كما يرى فى الطبقة اللحمية لثمرة الكمثرى والجوافة والسفرجل ويسمى Grit Cells ويكون فى حالة فردية أو فى مجاميع محاطة بالخلايا البرنشيمية وتزيد فى هذه الحالة من قوة تماسك الطبقات اللحمية لهذه الثمار . وتوجد الخلايا الحجرية أيضاً فى الجذور الدرنية الشحمية كما فى *Paenia* و *Dahlia* وكذلك فى نخاع عدد من النباتات الخشبية .

والخلية الفردية كثيرة الشبه بالخلية البرنشيمية ، والجدر الثانوية ملجننة زائدة السمك تتخللها قنوات بسيطة ومتفرعة ، أما الفراغ الداخلى فضيق ويمكن أن يشاهد به الوضع السطحى لفتحات النقر المستديرة الشكل (شكل ٤٨ — ا) ، ومن الممكن اختبار الجدر الملجننة بوضع قطعة صغيرة من الطبقة اللحمية لثمرة الكمثرى فى محلول ٥ ٪ فلوروجلوسين لعدة دقائق وتحميلها على شريحة زجاجية ثم يضاف إليها عدة قطرات من حامض الكلورودريك فتكتسب الجدر الملجننة للخلايا الحجرية اللون الأحمر .

(ب) الخلايا الاسكلرنشيمية العصوية والشبه عمادية Macrosclereides

قد تكون الخلايا الاسكلرنشيمية عصوية الشكل Rod Shaped ذات أطراف مستقيمة (شكل ٤٨ — ب) ، وترى قليلا فى قلف الأشجار كما فى *Cinchona* وكذلك

فى حامل ثمرة الكمثرى . وقد تكون عمودية Columnar وتشبه لحد كبير الخلايا العمادية Palisade like ، وتوجد عادة فى وضع عمودى على السطح الخارجى متلاصقة بجوار بعضها مكونة طبقة اسكلرنشيمية شبه عمادية (شكل٤٨ — حـ) ، ويتسع فراغها الداخلى جهة القاعدة وينحزل إلى قناة ضيقة تتجه نحو الطرف العلوى، ويكثر وجود هذا النوع فى الأغلفة الثمرية وقصرات كثير من البذور كبذور الملوخية وفاصوليا الليما *Phaseolus lanatus* .



(شكل ٤٨)

(ا) خلية اسكلرنشيمية حجرية . (ب) خلية عصوية . (حـ) خلايا شبه عمادية . (و) خلية عظمية الشكل . (هـ) خلية عديدة الأفرع . (و) خلية اسكلرنشيمية شبه ليفية داخل شعيرة غدية . (ز) خلية متفرعة فى عنق نبات البشنين ، (عن هابرلاندت ، و Small)

ومنها نوع عظمى الشكل Bone Shaped يسمى Osteosclereides ذو أطراف ممتدة أفقياً قليلا أو تتفرع لحد ما مكونة شكل حرف I أو T (شكل ٤٨ — ز) ، ويرى هذا النوع فى نصل ورقة *Hakea* بين الخلايا العمادية أسفل البشرة العليا مباشرة .

(ج) الخلايا الاسكلرنشيمية عديدة الأفرع Astrosclereides

وتسمى أيضاً Ophiuroid Cells أو Spicular Cells ، وهى خلايا اسكلرنشيمية عديدة الأذرع شبه نجمية تتخذ أذرعها شكلا بروزنشيمياً (شكل ٤٨ — هـ) . وترى

هذه الخلايا فى القلف كما فى *Abies pectinata* و *Larix europaea* ، وكذلك فى النسيج الميزوفللى لعدة أوراق مثل *Camellia* و *Olea* و *Dammara* و *Gnetum* و *Fagraea* وهى فى هذه الحالة تقوى نصل الورقة حيث يكون جلدياً عادة ، كما ترى فى بعض أعناق الأوراق كعنق ورقة *Camellia* وفى الأغلفة الثمرية الصلبة كثمرة اللوز وغيرها . ويوجد فى إتب زهرة الأرز أسفل البشرة خلايا ميكانيكية اسكلرنشيمية طويلة ضيقة يمتد من أحد جانبيها أو من كل منهما نتوءات على هيئة أسنان Tooth-Shaped.

وهناك نوع غير متفرع من الاسكليريدز يشبه الألياف فى شكله الخارجى ويختلف عنها (فى قطاعه العرضى) بنقره المستديرة الشكل . ويوجد شاغلا الفراغ الداخلى المركزى للمحور الطولى لبعض الشعيرات الغدية (شكل ٤٨ — و) ، كما فى الشعيرات الموجودة على أنصال وأعناق أوراق *Bigonia imperialis* ، وتمتد قاعدة الخلية الاسكلرنشيمية قليلا فى النسيج الميزوفللى بشكل جذرى لتساعد على تثبيت الشعيرة . ويشاهد النوع المتفرع من الخلايا الاسكلرنشيمية فى بعض أنواع نبات البشنين ، وترى أذرعها ممتدة فى الفراغات الهوائية الموجودة فى أعناق الأوراق ، أما النتوءات التى تظهر على سطحها الخارجى فهى ترسيبات على هيئة عقد من مادة أوكسالات الكلسيوم ، وتسمى Stellate أو Sclerotic Cells (شكل ٤٨ — ز) .

٣ — الخلايا الكولنشيمية Collenchyma Cells

تشتمل الأعضاء النباتية التامة النمو على المناطق المقوية فى هيئة الألياف بمختلف أنواعها ، أما الأعضاء الحديثة النمو فتحتاج إلى عناصر أخرى لتقويتها . والأنسجة الليفية التامة التكوين تتكون من خلايا ميتة ليس لها القدرة على الاستطالة ، ولذلك كان من اللازم أن تزود أعضاء النبات الحديثة والتى مازالت تستطيل بنسيج ميكانيكى يكون قابلا لمسايرة عمليات النمو وخصوصا الامتداد والاستطالة ، وتنطبق هذه الصفات على النسيج الكولنشيمى . ويتكون هذا النسيج الميكانيكى مبكراً فى الأعضاء النباتية الحديثة بالنسبة لوجود جدر معظم خلايا الأنسجة الأخرى فى حالة رقيقة . وهو فى الأعضاء

التى يحدث فيها النمو الثانوى فيما بعد (كما فى السوق) يكون ذو أهمية ميكانيكية فى أطوارها المبكرة ، وقد يبقى بصفة دائمة فى بعض أعضاء النباتات العشبية الكاملة النمو كما فى أعناق الأوراق ومناطق العروق الوسطية لأنصالها . وتوجد الخلايا الكولنشيمية عادة قريبة من الأسطح الخارجية سواء فى السوق أو الأعناق أو العروق الوسطية للأوراق وخصوصاً فى أركان السوق الحديثة المضلعة والانخفاضات والامتدادات التى تحيط بالعروق الوسطية للاوراق جهة السطح العلوى أو السفلى .

والخلايا الكولنشيمية تقرب فى شكلها من الخلايا البرنشيمية أو البروزنشيمية فهى مستطيلة الشكل فى الأولى ومنشورية فى الثانية (وقد يصل طولها فى هذه الحالة إلى ٢ مم مشابهة فى ذلك الألياف) .

ويزداد سمك الجدر الابتدائية للخلايا الكولنشيمية بطريقة خاصة ، فلا توضع طبقات الزيادة فى السمك بطريقة منتظمة ، بل تكون فى حواف أو أركان الخلايا أكثر منها على باقي الجدر . ولهذا الوضع علاقة ميكانيكية بأعضاء النبات النامية ، فوجود الأجزاء الغير سميكة أو التى زادت فى السمك قليلا بين الأجزاء الأخرى الأكثر سمكا ذو أهمية كبيرة ، حيث تزود طريقة البناء هذه النسيج جميعه بالمرونة اللازمة ، كما أن بقاء بعض مناطق الجدر رقيقة يسهل الانتشار بين الخلايا المتجاورة وتبادل المواد الغذائية . لذلك كانت هذه الأماكن مزودة بعدد من النقر المستطيلة فى وضع عمودى مشابهة الألياف فى ذلك .

وتظهر الأماكن المغلظة فى جدر الخلايا الكولنشيمية ككتل لؤلؤية براقة ، وإذا عوملت بكلور الزنك اليودى أو باليود وحامض الكبريتيك معاً يزرق لونها . ويقول J. Cohn ان الجدر المغلظة للخلايا الكولنشيمية تحتوى على نسبة كبيرة من الماء ، من ٦٠٪ — ٧٠٪ ، بينما تحتوى جدر خلايا الألياف الملجننة على ٢٠٪ — ٤٠٪ . ويوجد الماء فى المنطقة الواقعة بين الحافة الداخلية ووسط المناطق السميكة ، وباضافة الكحول المطلق إليها يتجه الماء إلى الجهة القطرية أقل مما يتجه إلى الجهات التماسية ، ولذلك كان التقلص فى الاتجاه القطرى أكثر مما فى الاتجاه التماسى وأقل فى الطولى

مما يثبت أن الجزيئات التى تكون منها تتحد مع بعضها فى الاتجاه الطولى المشتمل على القوة الميكانيكية . ويفضل فحص هذا النوع من الخلايا قبل عملية الصبغ حيث ان الأماكن المغلظة تفقد الشكل الخاص بها بالنسبة لإضافة الكحولات المختلفة .

والخلايا الكولنشيمية ذات أطراف مستديرة أو مدببة ، وتمتاز بوجود المحتويات الحية وكذلك وجود قليل من الكلوروبلاستيدات فى السيتوبلازم ، غير أن أهميتها كاعضاء ممثلة ضوئية محدودة . وقد كانت تعتبر الأجزاء السميكة من جدر الخلايا الكولنشيمية من الوجهة الكيمائية سليلوزاً نقياً ، غير أن الأبحاث الحديثة التى قام بها Anderson (١٩٣٥) أظهرت أنها تتكون من السليلوز والمركبات البكتينية .

وتوجد الخلايا الكولنشيمية على عدة أشكال بالنسبة لاختلاف المواضع التى تزداد فيها جدرها فى السمك ، وهى :

(ا) الخلايا الكولنشيمية مغلظة الأركان Angular Collenchyma

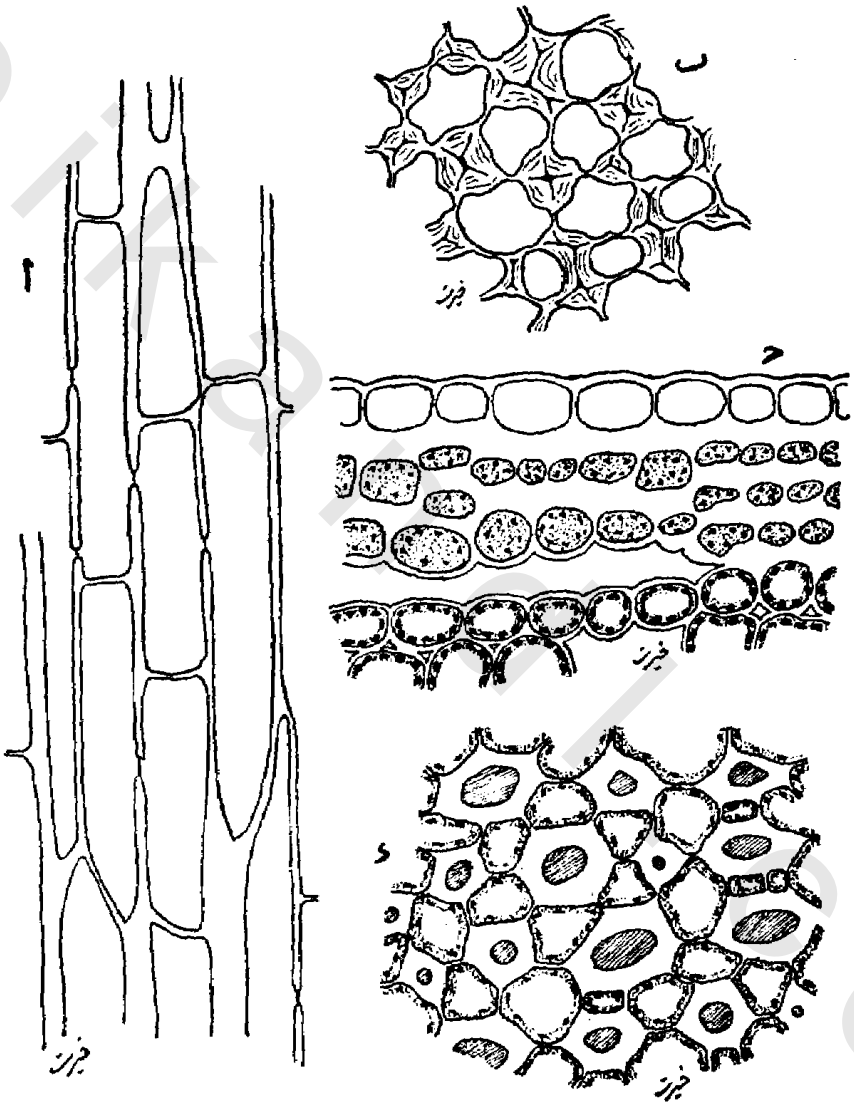
وهى الشكل النموذجى للخلايا الكولنشيمية كما وصفه Carl Müller ، وتوجد بها الأماكن المغلظة جهة الأركان (شكل ٤٩ — ب) ، وقد تلاحظ مسافات بينية مختلفة الحجم ضيقة عادة بين الخلايا . وفراغاتها الداخلية متساوية الأقطار رمادية اللون ، وتظهر الطبقات السليلوزية المتتالية فى الأماكن المغلظة وهذه تمثل الأطراف الضيقة المدببة فى القطاع العرضى أو الأجزاء الأخرى الأكثر سمكا ، والفرق بينهما يمكن التأكد منه فى القطاع الطولى (شكل ٤٩ — ا) . وترى فى أعناق أوراق نباتات عديدة كما فى عنق ورقة الداتورا وعنق ورقة نبات *Salvia sclarea* وأسفل بشرة السوق الحديثة .

(ب) الخلايا الكولنشيمية مغلظة الجدر التماسية Lamellar Collenchyma

وهذه تظهر فى قطاعها العرضى مستطيلة الشكل نوعاما ، ويحدث التغليظ فيها على الجدر التماسية (شكل ٤٩ — جـ) ، كما فى عنق *Astrantia major* . وقد تكون الطبقة الأولى من الخلايا الكولنشيمية المغلظة الأركان الموجودة أسفل البشرة مباشرة من هذا النوع المغلظ تماسياً .

(ج) الخلايا الكولنشيمية الأنبوبية Tubular Collenchyma

توجد الأماكن المغلظة من الجدر فى هذا النوع من الخلايا محيطة بالمسافات البينية فى شكل أنبوبى ، وترى كثيراً فى نباتات العائلة المركبة مثل *Petasites niveus* ، (شكل ٤٩ — ء) ، كما ترى منتثرة بين النوع المغلظ الأركان فى عنق ورقة الداتورا .



(شكل ٤٩)

(ا) ق . ط . فى منطقة الخلايا الكولنشيمية فى عنق ورقة نبات *Salvia sclarea* . (ب) ق.ع . فى خلايا كولنشيمية مغلظة الأركان (جـ) ق.ع. فى خلايا كولنشيمية مغلظة الجدر التماسية . (ء) ق . ع . فى خلايا كولنشمية أنبوبية مع ملاحظة أن المسافات البينية مظللة (عن هابرلاندت)

(د) الخلايا الكولنشيمية الغضروفية Cartilagenous Collenchyma

لا يمكن تمييز الخلايا عن بعضها فى هذه الحالة فيظهر التغليظ فى جدرها مندمجاً بعضه فى بعض حيث ينتظم السمك فى جدار كل خلية فى جميع نواحيه ، فلا تتميز الخلايا عن بعضها إلا بوجود فراغات أو فجوات الخلايا نفسها . ومثالها ما يرى فى المقطع العرضى لعنق ورقة التوت أسفل البشرة الخارجية مباشرة .

نظام وضع الأنسجة الميكانيكية

توجد أنسجة الجهاز الميكانيكى مرتبة فى أعضاء النبات المختلفة بنظام خاص واوضاع مختلفة تكفل لها القيام بوظائفها الفسيولوجية التى تتطلبها هذه الأعضاء سواء فى الساق أو الأوراق أو الجذور . وتوجد العناصر الميكانيكية المتخصصة كالألياف (خارج نطاق الكمبيوم) ، وكذا الخلايا الكولنشيمية متحدة مع بعضها لتكون كتلاصغيرة أو كبيرة فى شكل أشرطة أو حزم تكون عادة مستطيلة الوضع متمشية مع اتجاه العضو النباتى . والأشرطة الليفية غالباً ما تكون ذات علاقة بالحزم الوعائية مكونة ما يسمى Fibro Vascular Bundle ، وتظهر فى مقطعها العرضى بشكل نطاقات متعددة الأشكال أو أغلفة تلاصق الحزمة عند كل من طرفيها أو تحيط بها من كل الجهات . ولما كانت الحزمة الوعائية متكونة من خلايا دقيقة كانت فى حاجة لنسيج أكثر قوة ، ولذلك فانها تميل عادة لأن ترافق بهذه الأشرطة الميكانيكية لحمايتها . ويسمى Schwendener الحزم الوعائية الغير مختلطة بالعناصر الميكانيكية والمكونة من الأشرطة الناقلة فقط Mestome ، غير أنها غالباً ما تكون واقعة بين نطاقين من خلايا الألياف أو محاطة باسطوانة ليفية كاملة . وقد تكون منتثرة فى كتلة مستمرة من ألياف الخشب كما فى سوق نباتات ذات الفلقتين الخشبية .

أولا — تركيب الأعضاء الغير قابلة للثنى

تتعرض معظم أعضاء النبات الهوائية للثنى ، وخصوصاً أجزاؤها الاسطوانية الشكل كسوق النباتات العشبية والحوامل الزهرية وخلافها فى شتى الاتجاهات

على زوايا قائمة بالنسبة للمحور الطولى ، وفى مثل هذه الحالات تتكون النطاقات المركبة لتزودها بالمرونة اللازمة ، فترى الأشرطة الليفية أو الكولنشيمية مرتبة فى دائرة أو أكثر قرب السطح الخارجى . أما الأعضاء المنبسطة كالأوراق فتكون معرضة للثنى فى اتجاه يوازى أسطحها الكبيرة ولذلك تتكون النطاقات فى مجاميع عرضية .

ويتباين التركيب الميكانيكى لأعضاء النبات الغير قابلة للثنى كثيراً وخصوصاً فى نباتات ذات الفلقة الواحدة التى تشتمل على عدد كبير من الأوضاع . وقد قام Schwendener بجمعها وترتيبها فى مجموعات أسماها « الأوضاع الميكانيكية » يبلغ عددها فيما يخص نباتات ذات الفلقة الواحدة فقط ثمانية وعشرون وضعاً . غير أنه يحسن انتقاء بعضاً من هذه الأوضاع النموذجية من بين نباتات ذات الفلقة الواحدة وذات الفلقتين بصرف النظر عما إذا كانت هذه الأنسجة الميكانيكية المنتخبة تتكون من الألياف خارج نطاق الكمبيوم أو من ألياف الخشب أو الخلايا الكولنشيمية .

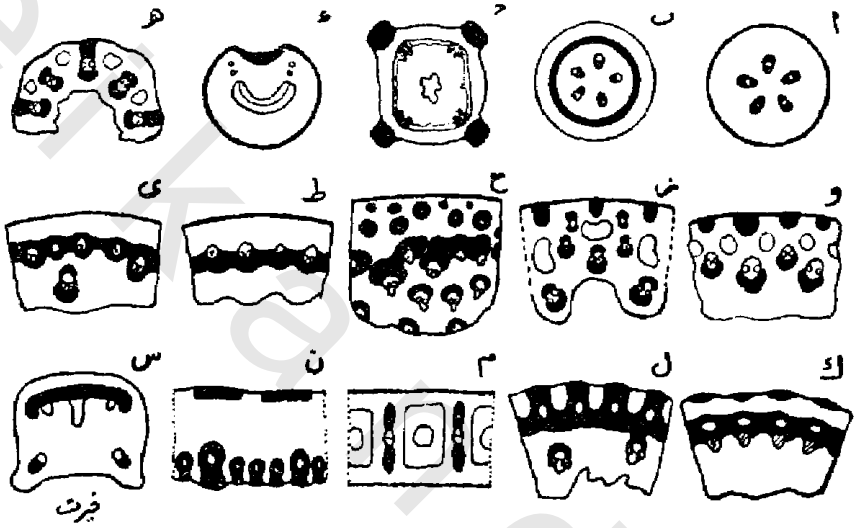
١ — الأعضاء الأسطوانية الشكل

تشتمل الاعضاء الأسطوانية الشكل على كثير من الأوضاع القابلة للثنى فى كل اتجاه على زوايا قائمة من محورها الطولى ، يمكن حصرها فيما يأتى :

(أ) النطاقات الموجودة أسفل البشرة

يشمل هذا النظام وضعين يتكون أولهما من أشرطة ليفية توجد فى أعناق الأوراق ومحاور النورات لعدد من النباتات ، أما الثانى فيتكون من خلايا كولنشيمية توجد فى سوق وأعناق أوراق بعض النباتات الأخرى . ويوجد النسيج الميكانيكى فى كل الحالات بشكل مجاميع فردية أو بشكل حلقتين مركزيتين . فى الوضع الأول ترى مجاميع ليفية مختلفة الأحجام فوق الحزم الوعائية كما فى عنق نبات القلقاس وساق عباد الشمس (شكل ٥٠ — ا) ، وقد توجد الألياف فى شكل حلقة دائرية فى السوق الخشبية لنباتات ذات الفلقتين الحديثة (شكل ٥٠ — ب) كما فى نبات *Betula* و *Nerium oleander* ، وهذه تنفصل بعد تكون الخشب الثانوى نتيجة لتكوين الفلين .

أما فى الوضع الثانى فترى مجاميع من الخلايا الكولنشيمية فى أركان السوقة المضلعة كما فى ساق نبات الفول وسوق نباتات العائلة الشفوية (شكل ٥٠ — حـ) ، وفى هذه الحالة تتقوى السوق بواسطة زوجين من النطاقات فى وضعين متقابلين . كما قد توجد الخلايا الكولنشيمية فى شكل حلقه أسفل البشرة مباشرة فى سوق النباتات العشبية وأعناق أوراق بعض نباتات العائلة الخيمية وخلافها (شكل ٥٠ — ء) .



(شكل ٥٠)
الأوضاع الميكانيكية المختلفة للأعضاء الاسطوانية وذات الجانبين الغير قابلة للتثنى
(عن هابرلاندت)

(ب) النطاقات السطحية المركبة

يمتاز بوجود هذا النظام الميكانيكى نباتات العائلتين CYPERACEAE و JUNCAGINACEAE ويشمل ستة أوضاع يوصف ثلاثة منها فيما يلى :

قد تشتمل المنطقة الخارجية من الساق Haulm على حلقة من النطاقات بشكل حرف I وغالباً ما يكون عددها ٥ أو ٦ توضع كل منها بالنسبة للأخرى على مسافات منتظمة ، ويلتصق النصف الخارجى لكل نطاق بالبشرة مباشرة بينما يكون النصف الداخلى منه غلافا شبه قمرى الشكل يحيط بالجانب الداخلى للحزمة الوعائية (شكل ٥٠ — هـ) . كما يوجد علاوة على ذلك مجموعة أخرى من النطاقات المساعدة أكثر عمقاً تتبادل

مع الأخرى الرئيسية ، كما فى نبات *Trichophorum germanicum* . ويشابه هذا الوضع ما يشاهد فى نبات *Cyperus vegetus* ، فيوجد عدد من النطاقات بشكل حرف I مرتبة فى مجاميع دائرية غير أن نصفى كل نطاق يكونان منفصلين ومتباعدين بنسيج برنشيمى عمادى يفصل بين النصف الخارجى والحزمة الوعائية التى تلتصق بالنصف الداخلى (شكل ٥٠ — و) .

ويشاهد وضع آخر أكثر تعقيداً فى نبات *Juncus glaucus* ، فترى حلقة منتظمة من النطاقات الأساسية تتكون أنصافها الخارجية من أشرطة ليفية بينما تتكون الأنصاف الداخلية من أغلفة ليفية تحيط بالحزم الوعائية (شكل ٥٠ — ز) وتقع على نفس أقطار الأولى ويفصلهما عن بعضهما أنسجة برنشيمية وفراغات هوائية تضعف اتصالها بعضها ولو أنها ذات فائدة فى أنها تعترض الاستمرار التماسى للنسيج الميكانيكى . أما مناطق الأغلفة الليفية الموجودة على الجانب الخارجى للحزم الوعائية فذات أهمية فى وقاية الجزء البروتينى الناقل منها . ويشغل المسافات المتسعة الموجودة بين النطاقات الرئيسية نطاقات أخرى مساعدة منتظمة الوضع تساعد على تقويتها .

(ج) الحزم الوعائية الليفية أسفل القشرة

توجد الحزم الوعائية فى هذا الوضع مندفعة عن السطح الخارجى نوعاً نحو المركز ، وتكون الأشرطة الليفية كبيرة الحجم كما فى فصيلة البامبو وسوق ومحاور نورات النخيل . ففى النخيل مثلا تتحد الأغلفة الليفية للحزم الوعائية تماسياً مكونة شريطاً متعرجا (شكل ٥٠ — ح) . أما فى الحزم الوعائية الداخلية فتحيط بالجانب الخارجى منها لوقايتها ولو أنها لاتؤثر على مرونة الساق الداخلية . أما الكتل الليفية التى تقع خارج نطاق الحزم الوعائية فانها تساعد على عدم تمزق القشرة عند انحناء الساق .

(د) الحزم الوعائية المنغمسة فى اسطوانة ليفية بسيطة جوفاء

يمتاز بهذا النظام نباتات ذات الفلقة الواحدة ، وخصوصاً LILIACEAE (شكل ٥٠ — ط ، ى) و IRIDACEAE و ORCHIDACEAE ، وكذلك كثير من نباتات ذات الفلقتين كما فى CHENOPODIACEAE و PRIMULACEAE و CUCURBITACEAE .

فى نباتات ذات الفلقة الواحدة قد تكون الحزم الوعائية على أحد جانبي الاسطوانة الليفية أو منغمسة بها . أما فى نباتات ذات الفلقتين فقد توجد مجاميع من الحواجز تصل ما بين الوضع النهائى للكمبيوم الخارجى والكمبيوم الداخلى للاسطوانة الميكانيكية .

ويوجد وضع وسطى فى ساق نبات *Austrantia major* ، فترى مناطق اللحاء منغمسة فى الاسطوانة الليفية بينما توجد مناطق الخشب على الجانب الداخلى منها . وبذلك ينفصل كل من لحاء وخشب كل حزمة وعائية بشريط من النسيج الميكانيكى (شكل ٥٠ — ك) ، مع ملاحظة وجود نطاقات كولنشيمية أسفل البشرة مباشرة .

وتبعد الاسطوانة الليفية عادة عن السطح الخارجى للساق بمقدار ١/٣ أو ١/٥ من قطره الكامل . وتكون خلاياها جهة القشرة ذات جدر زائدة السمك ، أما من جهة الجانب الداخلى فهى أقصر طولا وأكثر اتساعاً وجدرها أقل سمكا . ويرى الشكل النموذجى للاسطوانة الليفية الجوفاء تحت البشرة فى السوق القائمة للموسز Mosses كما فى ساق *Meesia longiseta* .

(هـ) الاسطوانة الخارجية الجوفاء المقواة بنطاقات منفصلة أسفل البشرة

تزود المناطق الخارجية من سوق النباتات النجيلية باسطوانة ليفية يتصل بها عدة نطاقات تمتد من السطح الخارجى لها حتى تلاصق البشرة على مسافات منتظمة تقريباً . وتنغمس الحزم الوعائية الصغيرة الخارجية فى النسيج الليفى أسفل مواضع النطاقات ، وقد تلتصق بعض الحزم المتوسطة الحجم بالجانب الداخلى من الاسطوانة الليفية ، أما الحزم الكبيرة فتوجد منتثرة فى النسيج البرنشيمى الداخلى (شكل ٥٠ — ل) .

٢ — الأعضاء ذات الجانبين

تمتاز الأوراق الخضراء بأنها أهم الأعضاء النباتية ذات الجانبين المتساويين ، وتوجد النطاقات بها موازية كل منها للأخرى فى زوايا قائمة على السطح الخارجى . وقد ميز بها Schwendener ثلاثة أوضاع ميكانيكية تختلف عن بعضها بالنسبة لعلاقتها بالبشرة .

فى الوضع الأول تمتد النطاقات الموجودة أسفل البشرة بشكل حرف I من أحد وجهى الورقة إلى الوجه الآخر ، كما يرى فى أوراق *Typha* و *Cardyline* و *Phormium* (شكل ٥٠ — م) ، وكذلك أوراق *Pandanus* والموز. وفى هذه الحالة يتساوى نصفى كل نطاق فى الشكل والحجم تقريباً .

وقد لا يتساوى النظام الميكانيكى جهة كل من سطحى كثير من الأوراق والعروق الوسطية بالنسبة لما تتطلبه مواضعها المختلفة من التقوية . ففى الأوراق ذات الانصال الطويلة المنحنية يكون سطحها العلوى معرضاً للامتداد بينما يكون السفلى معرضاً للانضغاط ، ولذلك تتكون صفائح عريضة من الألياف أسفل البشرة العليا بينما تتكون النطاقات المادية جهة السطح السفلى ، ويشاهد هذا الوضع فى أنصال أوراق *Erianthus* و *Saccharum* و *Zea* (شكل ٥٠ — ن) . وقد تكون انصال الأوراق فى كثير من جنس *Carices* متخذة شكل حرف V أو U فى مقطعها العرضي وتزود كل من حافتيها فى هذه الحالة بشريط ليفى . وقد تنفصل أنصاف النطاقات الخارجية للحزم الوعائية عن البشرة بأنسجة ممثلة ضوئية كما فى بعض أنواع البصل وكذلك جنسى *Tritonia* و *Aspidestra* .

وتظهر النطاقات المختلطة فى كثير من أوراق النخيل فترى الحزم الوعائية الكبيرة الغائرة فى النسيج الميزوفللى محاطة على كل من جانبيها الخارجى والداخلى بأغلفة ليفية . وقد تكون الأغلفة الليفية فى كثير من الحالات ضعيفة التكوين كما فى *Livistonia sinensis* وتكون قيمتها الميكانيكية موضعية لحماية الأشرطة الناقلة . وفى حالات أخرى كما فى *Phœnix dactylifera* تكون كثيفة جداً فتقوم بتقوية العضو الموجودة به . ويرافق هذه النطاقات الداخلية عادة عدد كبير من الأشرطة الليفية أسفل البشرة مباشرة ، وهذه ترى فى نخيل البلح متكونة على كل من سطحى الوريقة على مسافات غير منتظمة ، وقد يتحد شريطين متقابلين ليكونا معاً نطاقاً نموذجياً . ويحمى مثل هذا الوضع الوريقات بالنسبة لتعرض أسطحها الكبيرة للرياح الشديدة .

وقد وصف Worgitzky نموذجا آخراً للأعضاء ذات الجانبين ممثلا فى الأعضاء الحلاقية المرنة التى تلتف حلزونياً مثبتة النباتات المتسلقة بالحوامل التى تتسلق عليها .

ويشبه المحلاق عند التفافه زنبرك الساعة ، فاذا جذبت اللفات عن بعضها يميل كل جزء من المنطقة الحلزونية الى الوضع المستقيم نتيجة لامتداد الوجه المحدب وانضغاط الوجه المقعر ، ولذلك يزداد تكوين النسيج الميكانيكى جهة الجانب المحدب للمنطقة الملتفة بينما يشغل الجانب المقعر نسيج برنشيمى . ففى محلاق نبات *Cyclanthera explodens* (شكل ٥٠ — س) يتكون نطاق سميك من نسيج ليفى جهة السطح المحدب تكون أطرافه منحنية قليلا للداخل محيطاً بثلاث حزم وعائية توجد على جانبه الداخلى ، أما الجانب الآخر المقعر فتوجد به حزمتان وعائيتان أصغر حجما قرب الحافة ولكل منهما أغلفة ليفية سميكة . ويرى هذا الوضع فى محاليق كل نباتات العائلة الفرعية CUCURBITACEAE، أما محاليق الپاسيفلورا والبجونيا فتكون فى أول أمرها ذات أقطار منتظمة ثم تصبح بعد ذلك ذات جانبين بالنسبة للزيادة فى تكوين الاسطوانة الخشبية الثانوية جهة الجانب المحدب .

٣ — النظام الميكانيكى الخاص بالتغير فى الشكل

عند ما ينحنى العضو الاسطوانى الشكل يميل قطاعه العرضى المستدير لأن يكون إهليلجياً ، ومماثل ذلك ما يحدث لقطعة اسطوانية من الكاوتشوك عند انحنائها ، وبالمثل اذا انحنت أنصال الأوراق أو الأعضاء المنبسطة الأخرى فان كلا من السطحين يميل نحو الآخر ، ولذلك يحمى النبات نفسه من مثل هذه الأوضاع التى قد تكون ذات ضرر بالغ . ومن الواضح أن التغير فى شكل القطاع العرضى فى العضو النباتى يتسبب عنه امتداد قطرى فى موضع منه وانقباض فى موضع آخر مما قد يكون شديد التأثير على الأنسجة الرئيسية مسبباً ارتباكا فى نشاطها العام . ومما لا ريب فيه أن الانقباض يعطل وظائف الأنسجة الناقلة كما أن الامتداد الزائد يتسبب عنه تفكك الأنسجة المختلفة وخصوصاً ما يختص منها بجهاز التمثيل الضوئى .

ومثل هذه الأوضاع الميكانيكية ذات أهمية فى حالة الأعضاء النباتية التى يتخللها الفراغات الهوائية المتسعة كما فى بعض نباتات العائلة CYPERACEAE . وتنحصر التقوية الميكانيكية فى تقسيم الممرات الهوائية الى حجرات منفصلة بواسطة حواجز عرضية قد يبعد كل منها

عن الآخر مسافة ٥ مم الى ١٠ مم كما فى *Juncus glaucus* و *Scirpus lacustris* وغيرها من النباتات المائية ونباتات المستنقعات . وتحتوى هذه الحواجز عادة على الأشرطة الوعائية العرضية الوضع وهذه تصل الحزم الوعائية الطولية الوضع كل منها بالأخرى مسببة التقوية اللازمة . وقد يتخلل النسيج الحافى للفراغات الهوائية ، الخلايا الاسكلرنشيمية المتفرعة وترى أذرعها ممتـــدة داخل الحجرات الهوائية كما فى أعناق بعض أنواع نبات البشنين . وقد يشتمل نخاع كثير من النباتات الخشبية على عدد كبير من الخلايا الاسكلرنشيمية المقوية من نوع Sclerotic Cells كما فى نبات *Liriodendron tulipifera* .

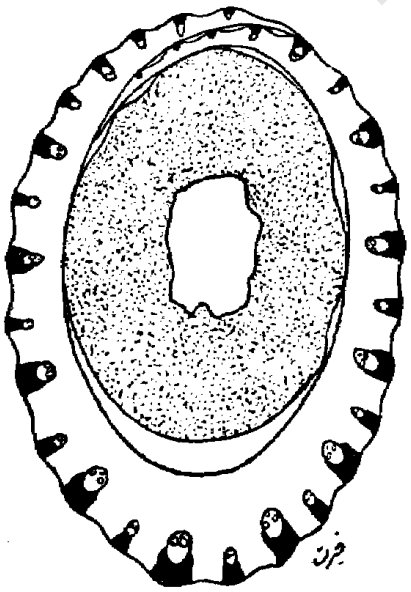
٤ — علاقة النظام الميكانيكى بالمرستيمات البينية

قد تكون منطقة تكوين الخلايا والاستطالة فى بعض النباتات موجودة فى المناطق الطرفية للمحور الرئيسى عند السلاميات الحديثة ، كما فى كثير من أنواع النخيل وجنس *Dracaena* وعائلة PANDANACEAE وفى كثير من نباتات العائلة LILIACEAE . وتعتمد الاستطالة الطولية فى مثل هذه الأعضاء على النمو البينى ، ويحتاج هذا الوضع لنظام ميكانيكى خاص .

ففى معظم نباتات ذات الفلقة الواحدة وفى كثير من ذات الفلقتين تكون منطقة النمو ذات طول مميز مكونة من عدد من السلاميات وقد يبلغ طولها بين ٢ سم الى ٥٠ سم . ولا يختلف النظام الميكانيكى فى مثل هذه المناطق النامية عن مثله فى الأعضاء التامة التكوين ، أما الفرق بين كل من الحالتين فيرجع الى نوع الخلايا المكونة لهذا النظام حيث تحل الخلايا الكولنشيمية محل الألياف ، ويتكون هذا النسيج عادة فى شكل صحائف أو أشرطة أسفل البشرة مباشرة .

وفى عدد من نباتات ذات الفلقة الواحدة مثل *Tradescantia* و *Dioscorea* وفى عائلات ذات الفلقتين العشبية مثل CUCURBITACEAE و UMBELLIFERAE يظهر هذا النظام فى الفصل الأول من النمو ، أما فى النباتات الخشبية فانه ينفصل عادة عند ما يبلغ العضو سمكا خاصاً بالنسبة لتكون القلفين .

أما الأعضاء التى تنمو نمواً بينياً حيث تستطيل سلامياتها فى مناطق خاصة ينشط نموها فيختلف نظام تقويتها . ففى نبات *Tradescantia erecta* حيث توجد منطقة النمو البينى عند قاعدة كل عقدة يكون قطر الساق فى هذه المواضع ضعفه عند الأطراف العليا للعقدة . كذلك هو الحال فى حوامل النورات (الهامة) لبعض نباتات العائلة المركبة ، فقد وجد Westermaier أن الشكل الغير عادى لهذه الحوامل يعود الى النمو البينى فى مناطقها العليا ، كحامل نورة نبات *Arnoseris minima* حيث يكون سمك المنطقة العليا منه أسفل النورة مباشرة ستة أضعاف منطقته القاعدية . وقد تكون منطقة النمو البينى قريبة من وسط السلامية كما فى نبات *Pilea oreophila* حيث تزداد المنطقة المتوسطة للسلامية فى السمك . غير أن أحسن الأوضاع الميكانيكية لحماية مناطق النمو البينى تشاهد فى نباتات العائلتين GRAMINEAE و CYPERACEAE ، فيوجد عند قاعدة كل سلامية منطقة قصيرة تبقى دائماً فى حالة مرستيمية ممثلة قمة نامية للنمو البينى ، وهى عادة ناعمة الملمس ضعيفة التكوين . ولما كان من اللازم تقوية هذه المواضع عند قاعدة كل سلامية خوفا من كسرها بواسطة الرياح الشديدة أو من عدم تحملها لثقل الأجزاء التى تعلوها من الساق فانها تحمى عادة بنظام ميكانيكى خاص ، بأن تغلف دائماً بقاعدة الورقة (الغمد) التى تحيط إحاطة تامة بالمنطقة المرستيمية والمنطقة النامية من السلامية . ولما كان الغمد أنبوبياً وغير قابل للثنى فانه يكون مزوداً بنظام ميكانيكى يخالف النظام المعروف فى أنصال الأوراق ذات الجانبين ويماثل نظام تقوية السوق الجوفاء ، فتوجد الأشرطة الليفية أسفل البشرة الخارجية بينما ينعدم وجودها على المنطقة الداخلية منه ، وقد تكون مزودة بأشرطة ليفية دقيقة (شكل ٥١) .



(شكل ٥١)
قطاع عرضى فى غمد ورقة نبات *Brachypodium sylvaticum* على بعد ½ سم من العقدة ،
(عن هابر لاندت)

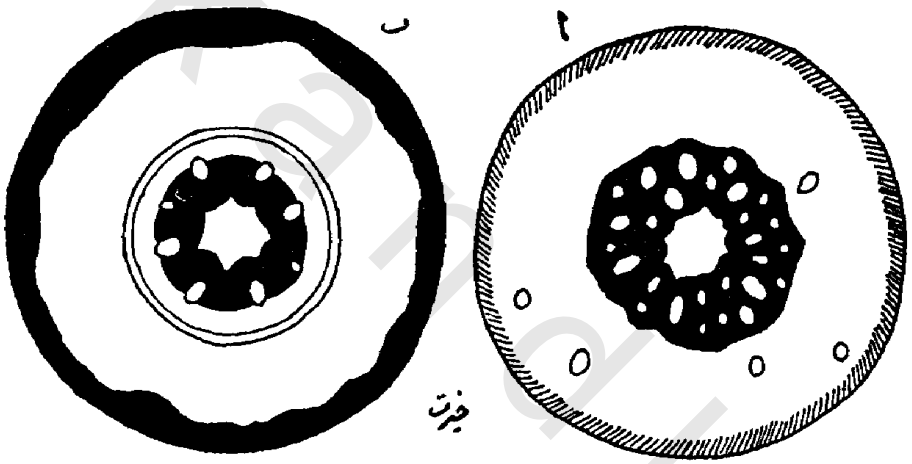
ويماثل أغماد الأوراق ، القينوى الأنبوبية الشكل التى تحيط بالمنطقة القمية لأفرع نبات *Armeria* حيث تزود فى هذه الحالة منطقة النمو البينى بالقوة اللازمة .

ثانياً — تركيب الأعضاء الغير قابلة للامتداد

تتعرض كل الأعضاء التى تثبت النبات سواء فى التربة أو على أسطح الصخور أو جذور الأشجار أو أفرعها وغير ذلك الى المد الطولى ، وتختص بهذه الحالة الجذور عادة وتعتبر فى الغالب أعضاء غير قابلة للامتداد ، مشتملة على الأنسجة الميكانيكية فى وضع مركزى . وتتحد الأنسجة الميكانيكية بالعناصر الناقلة فى كل الجذور العادية لتكون حزمة محورية تتخذ أشكالا مختلفة ، أبسطها ما كان مكوناً من حلقة من مجاميع الخشب واللحاء ، كما فى الجذور الجانبية لنبات *Hedera helix* . وقد تزود الاسطوانة المركزية بنطاقات من نسيج ميكانيكى يفصل حزم الخشب عن اللحاء كلا منها عن الأخرى ، كما فى الجذور الجانبية لمعظم الحشائش . وقد يشغل النخاع المنطقة المركزية فى بعض الأحيان كما فى *Smilax* ، وقد يحتوى على أشرطة ليفية منفصلة كما فى النخيل . وقد تتكون أغلفة شبه هلالية تحيط بالأسطح الخارجية لحزم اللحاء كما فى البسلة والفاصوليا وغيرها من نباتات العائلة البقلية .

وتشبه الريزومات الجذور فى وجود الأنسجة الميكانيكية متحدة مكونة أنبوبة محورية أو أسطوانة مركزية صلبة (شكل ٥٢ — ا) . ومن الممكن أن يميز بين الفرق التشريحى للتركيب الهوائى الغير قابل للثنى والتركيب الأرضى الغير قابل للامتداد فى ساق واحدة كما فى بعض نباتات العائلتين CYPERACEAE و JUNCACEAE ، ففى نبات *Juncus glaucus* تمتد المنطقة السفلية للساق أسفل سطح التربة مشابهة الجذر الوتدى وتكون عرضة للمد الطولى عند انحناء المنطقة الهوائية ، وتشبه فى تركيبها الداخلى للريزومات . وتختلف كل من المنطقة الأرضية والهوائية فى التكوين الكمى للأشرطة الليفية ، فتكون النطاقات الموجودة أسفل البشرة فى المنطقة الهوائية عريضة ممتدة للداخل أكثر مما فى المنطقة الارضية التى يبلغ فيها المقطع العرضى لهذه النطاقات $\frac{1}{2}$ أو $\frac{1}{4}$ مساحة مثيلاتها فى المنطقة الهوائية .

وتشابه السوق الملتفة والمتسلقة الأعضاء الأرضية فى تعرضها المستمر للامتدادات الطولية ، ففى حالة السوق الملتفة ينشأ الامتداد من الزيادة فى سمك الحامل الذى تلتف عليه ومن تأثير الرياح . أما النظام الميكانيكى للسوق المتسلقة فذو مرونة داخلية قد تتمثل فى تكوين النخاع النجمى الشكل كما فى *Thamus* و*Dioscorea* ، وقد تكون فى حالات أخرى ناتجة عن الوضع المركزى للأشرطة الليفية نفسها . وفى بعض النباتات المتسلقة ذات الفلقة الواحدة مثل *Calamus rotang* تزود الحزم الوعائية للسوق بأغلفة ليفية ، وفى سوق بعض نباتات العائلة PIPERACEAE قد تتكون اسطوانة ميكانيكية بين النخاع وحلقة الحزم الوعائية .



(شكل ٥٢)

(ا) ق . ع . فى ريزوم نبات *Carex glauca* . (ب) ق . ع . فى أحد الجذور الجانبية الهوائية المساعدة لنبات الذرة ، (عن هابرلاندت)

والنباتات المغمورة عموماً سواء فى المياه الجارية أو الراكدة ذات سوق غير قابلة للامتداد ، ففى جنس *Potamogeton* قد توجد بعض أنواعه مثل *P. crispus* ، *P. densus* فى تيار مائى بطىء وهذه لا تتميز فيها خلايا ميكانيكية سواء فى القشرة أو فى الاسطوانة الوعائية المركزية حيث ان الأخيرة تكفى لمد ساق النبات بالمرونة اللازمة. أما الأنواع الأخرى مثل *P. lanceolatus* ، *P. longifolius* التى توجد فى تيار مائى سريع فهذه علاوة على تزويد اسطوانتها المركزية بالعناصر الميكانيكية تشمل قشرتها

البرنشيمية على عدد من الأشرطة الليفية تنتشر فى نسيجها الشبكى الشكل ، وتحافظ مثل هذه الأشرطة على النسيج المفكك للقشرة الذى يتخلله عدد كبير من الممرات الهوائية من التمزق أو الانفصال عن جسم النبات .

ويشتمل التركيب الغير قابل للامتداد الخاص بحوامل الثمار ومحاور النورات على اسطوانة ليفية أو أغلفة ليفية تلاصق الأشرطة الوعائية الداخلية . ووريقات النخيل بالمثل ذات تركيب غير قابل للمد حيث يتقاطع مع المنطقة المركزية من النسيج الميزوفللى عدد كبير من الأشرطة الليفية ، وهذه علاوة على تقويتها للوريقات فانها تزودها بالمرونة الكافية ضد الرياح الشديدة .

ثالثاً — تركيب الأعضاء الغير قابلة للانضغاط

تتعرض كل الأعضاء النباتيه الموجودة أسفل سطح التربة أو المغمورة فى الماء بالنسبة للوسط المحيط بها للانضغاط قطرياً . وتحتوى القشرة البرنشيمية لمثل هذه الأعضاء عادة على الممرات الهوائية التى تسبب عدم تماسكها ، ولذا كان من اللازم حماية تركيبها من الانضغاط بغلاف خارجى أكثر تماسكا . وقد تكون البشرة مع طبقتين أو ثلاث طبقات من الخلايا الموجودة أسفلها ذات قدرة فى بعض الأحيان على القيام بهذه الوقاية ، كما فى جنسى *Naias* و*Sagittaria* وكذلك النباتات التى توجد فى تيار مائى بطىء . أما الأعضاء المغمورة فى الطمى أو فى التربة الصلبة فان كبر حجم فراغات القشرة الهوائية يتطلب الزيادة فى سمك جدر الخلايا البرنشيمية وكذلك وجود الألياف ، لذلك تتزود جذور عدة نبات من جنس *Carices* وكثير من نباتات العائلة النجيلية بغلاف ليفى أنبوبى ذو جدر مسوبرة جزئياً .

وتحتاج الأعضاء الرئيسية القائمة والتى عليها أن تتحمل ثقل الأفرع والأوراق الى قوة ملائمة ، كما سبق ذكره . وفى حالة الجذور الدعامية التى تشبه الساق فى تركيبها كما فى *Phizophora mangle* يشغل مركز الجذر نخاع متسع يحاط بعدد من مجاميع متبادلة من الخشب واللحاء تكون فى مجموعها اسطوانة وعائية عديدة الحزم

جوفاء ويحيط بأجزائها الناقلة للماء من الجهة الداخلية خلايا ميكانيكية سميكة الجدر حرتبة فى وضع يكفل للجذر أن يكون غير قابل للثنى أو الانضغاط طولياً ، كما تتكون اسطوانة خشبية ثانوية تحتوى على عناصر ليفية عديدة فى طور متأخر .

أما الجذور العرضية الهوائية المساعدة فى نبات الذرة فذات تركيب خاص ، ولما كان المجموع الجذرى الأرضى لا يقوى على تثبيت النبات السريع النمو فى التربة ، تتكون هذه الجذور العرضية المساعدة من المنطقة القاعدية للساق الهوائى فى حلقة منتظمة على كل عقدة . وهذه لا تنمو مستقيمة الى أسفل بل تتخذ وضعاً مائلا قليلا أو كثيراً مع ملاحظة تساوى الزوايا المحصورة بينها وبين الساق فى كل حلقة منتظمة . ثم تخترق التربة على مسافة من الساق تختلف بالنسبة لمنطقة ظهورها ، وتكون فيما بعد عدداً كبيراً من الجذور الثانوية تساعد على تثبيتها تماماً بها . فاذا ما انحنى ساق نبات الذرة بتأثير الرياح فان الجذور المساعدة الموجودة على الجانب الذى تهب منه تمتد بينما تنكمش الأخرى الموجودة على الجانب الآخر ، ولذلك كان كل من هذه الجذور معرضاً فى بعض الأحيان لأن يكون غير قابل للامتداد وفى أحيان أخرى لأن يكون غير قابل للثنى ، وبالنسبة لذلك يتوفر فى تركيبها الداخلى هذه المطالب الميكانيكية المتبادلة . والاسطوانة الوعائية الليفية بدلا من أن تكون صلبة كما فى معظم الجذور ، تحيط بنخاع متسع وتصبح جوفاء تبعاً لذلك (شكل ٥٢ — ب) . وترتب عناصرها الناقلة فى وضع يماثل ما هو موجود فى الجذور تماماً غير أن الأوعية تكون كثيرة الاتساع منتظمة فى شكل حلقة ، كما تشتمل المسافات الواقعة بين مجاميع الخشب واللحاء على ألياف رقيقة الجدر تزيد من القوة الميكانيكية للاسطوانة الوعائية الليفية . أما الاندودرمس فيحيط بالاسطوانة الوعائية ويتخذ تغليظ جدر خلاياه شكل حرف C ، وتتكون القشرة من خلايا برنشيمية سميكة الجدر تتحول منطقتها الخارجية الى نطاق من الخلايا الليفية ذات جدر سميكة عديدة النقر . وبذلك يتكون النظام الميكانيكى فى جذور الذرة المساعدة من زوج من الاسطوانات المستديرة الجوفاء تتكون الخارجية منهما من الألياف وتصبح مسئولة عن عدم انثناء العضو ، أما الداخلية فتتكون من العناصر الناقلة وما يتخللها من خلايا الألياف وتجعله غير قابل للامتداد .

ويرى من التركيب التشريحى لمثل هذه الجذور أنها أعضاء غيرقابلة للثنى أكثر منها أعضاء غيرقابلة للامتداد . ويماثل هذا التركيب الجذور المساعدة فى جنس *Sorghum* وكذلك نباتات العائلة النجيلية الزائدة الطول .

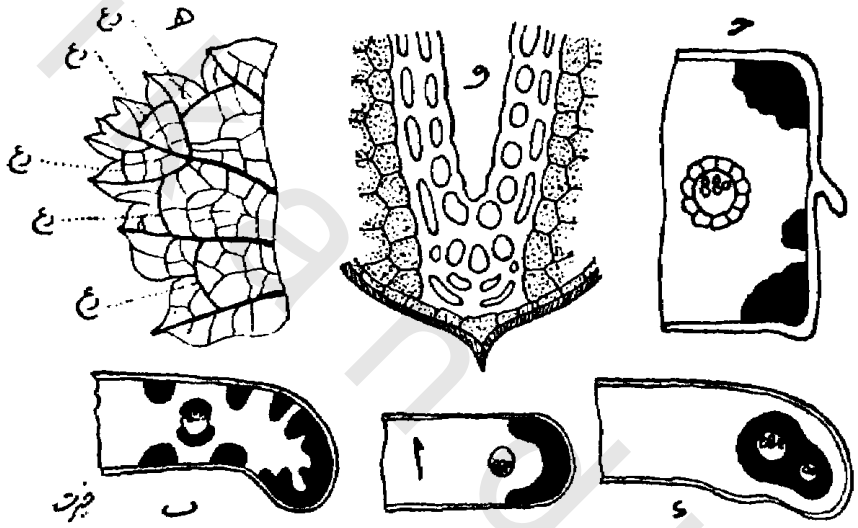
وتقوم مثل هذه الجذور فى جنس *Pandanus* بواجبين ميكانيكيين مختلفين، فتظهر الاسطوانة المركزية فى مقطعها العرضى مشتملة على عدد كبير من الحزم الوعائية المنتثرة ولكل منها غلاف ليفى قوى ، كما يتقاطع مع القشرة عدد كبير من الأشرطة الليفية الطولية المختلفة الأحجام ، وبذا يكون هذا النظام الميكانيكى ذى قدرة على كل من الامتداد والانضغاط. أما الأشواك المستقيمة التى يكثر وجودها فى كثير من نباتات ذات الفلقة الواحدة مثل *Agave americana* و*Chamaerops humilis* و*Livistonia sinesis* فذات قدرة على تحمل الضغط الطولى .

رابعاً — النظم الخاصة بتحمل القوى المزقة

تتعرض الأعضاء المنبسطة إلى مؤثرات خارجية عديدة سواء أحاط بها الهواء أو الماء، وتتعرض الأوراق التى تهتز فى الهواء لشتى القوى المزقة التى تؤثر على سطحها الخارجى فى زوايا قائمة فتزود لذلك بالنطاقات التى تتحد ببعضها جيداً بواسطة عدد كبير من الأربطة المتقاطعة فى شكل أشرطة وعائية تحميها من هذه الأضرار . وتكون هذه العروق شبكة كثيفة فى كل من أوراق نباتات ذات الفلقة الواحدة والفلقتين ، كما توجد الألياف عادة مرافقة للأنسجة الوعائية بها . وفى ورقة نبات *Maranta arundinacea* قد تتكون معظم العروق من الخلايا المقوية فقط وهذه أسماها Mettenius من زمن طويل بالعروق الكاذبة .

وأكثر مناطق الورقة تعرضاً للتمزق هى حافتها ، ولذلك تزود بنظام ميكانيكى خاص بحمايتها . وأبسط الحالات لتقوية حواف الأوراق هى الزيادة فى سمك جدر خلايا البشرة الخارجية بها وبذلك تختلف خلايا البشرة الحافية عن الأخرى السطحية العادية من هذه الوجهة . وقد تتكون أحياناً الطبقات الموجودة أسفلها إما من خلايا كولنشيمية

سميكة الجدر كما فى AROIDEAE ، أو من خلايا ليفية تامة التكشف . ويختلف المقطع العرضى لهـــذه المجاميع الكولنشيمية أو الليفية اختلافا كبيراً تبعاً للظروف ، فاذا كانت حافة الورقة حادة فى مقطعها العرضى كان الشريط الليفى الموجود أسفل البشرة سهمى الشكل كما فى *Iris* و *Eryngium* ، واذا كانت مستديرة كان هلالى الشكل كما فى *Eucalyptus sp.* (شكل ٥٣ — ا) ، وقد يكون منفصلا إلى عدة أجزاء تختلف فى أشكالها وأحجامها (شكل ٥٣ — ب) . وتظهر حافة وريقات نخيل البلح مستقيمة أو مقطوعة حيث يتساوى سمكها مع باقى سمك الوريقة



(شكل ٥٣)

الأنظمة الميكانيكية الخاصة بحماية حواف الأوراق . (ا) حافة مستديرة ونطاق ليفى هلالى الشكل . (ب) نطاق مقسم الى أجزاء مختلفة الشكل والحجم . (حـ) حافة وريقة البلح المستقيمة . (ء) نطاق ينفصله عن البشرة خلايا كلورنشيمية . (هـ) الأربطة العرضية « رع » فى حافة متضرسة . (و) نطاق كولنشيمى يحيط بقاعدة الأسنان الحافية ، (عن هابرلاندت)

وبذلك يصبح لكل وريقة حافتين مستقيمتين يماثل ارتفاع كل منهما سمك الوريقة نفسها ، ويبرز من منتصف كل حافة امتداد ضيق لنسيج جاف (شكل ٥٣ — حـ) ، ويمثل هذا الامتداد المخروطى الشكل بقايا النسيج الذى كان يصل كل وريقتين متجاورتين ، ويرجع الوضع الريشى لورقة البلح إلى انفصال النصل الكامل فى مبدأ أمره بجفاف مناطق معينة منه قاطعة النصل إلى عدد من الوريقات . ويوجد عند كل من الزاويتين

المحصورتين بين طرفى الحافة حزمة فردية ليفية كبيرة ، وبذلك تساعد الأشرطة التى تكون نطاقين قويين أسفل البشرة على طول الوريقة لتقويتها على حماية حافتها أيضا .

وقد تكون الأشرطة الليفية الحافية منفصلة عن البشرة بطبقة أو طبقتين من الخلايا الكلورنشيمية ، وفى هذه الحالة قد ترى الحزم الوعائية الحافية منغمسة كلها أو جزء منها فى الشريط الليفى (شكل ٥٣ — ز) . وفى جنس *Aloe* تحتاج حواف الأوراق الى وقاية خاصة وبذلك تتحول خلايا التمثيل الضوئى الحافية إلى خلايا ميكانيكية مكونة طبقة توجد أسفل البشرة فى شكل خلايا اسكلرنشيمية شبه عمادية .

واذا كانت حواف الأوراق كاملة يتشابه نظام وقايتها فى كل أجزائها مماثله فى ذلك حافة المنديل المنثنية ، ويرى هذا الوضع أيضاً فى كثير من النباتات الزيروفيتية . أما اذا كانت متعرجة أو مسننة أو منشارية أو منضرسة فانها تكون أكثر تعرضاً للتمزق فى هذه الأماكن ويأخذ نظام وقايتها شكلا خاصا ، وتكون الوقاية فى هذه الحالات موضعية بأن يشغل قاعدة كل نتوء عرق قصير يمتد تماسيا بشكل رباط عرضى كما فى حواف أوراق نبات *Ribes rubrum* (شكل ٥٣ — هـ) . وفى حالات أخرى قد يحيط بقاعدة كل من الأسنان الحافية شريط من خلايا كولنشيمية ذات جدر زائدة السمك ، وتستطيل هذه الخلايا فى اتجاه يوازى الحافة كما يشاهد فى أوراق عدة نباتات تابعة لجنس *Poterium* (شكل ٥٣ — و) . وفى أوراق بعض النباتات السرخسية تحمى الحواف المسننة للأوراق بمجاميع من خلايا هلالية الشكل ذات جدر كثيرة السمك توجد فى قاعدة أعمق الأسنان كما فى *Asplenium* . ويوجد نوع من الخلايا الحافية يسمى Anchor Cells يحمى أغماد الأوراق من التمزق فى المواضع الضعيفة بين الأسنان المتتابعة كما فى نبات *Equisetum* . وتحتوى الأوراق الحرشفية التى تغلف البراعم الطرفية فى الريزومات على خلايا اسكلرنشيمية متصلبة تساعدها على اختراق التربة الصلبة .

تأثير العوامل الخارجية على تكوين الجهاز الميكانيكى

تؤثر العوامل الوراثية لأنواع النباتات المختلفة على تكوين الجهاز الميكانيكى كماً وكيفا ، كما قد يتأثر لحد ما بمؤثرات خارجية أثناء تكشفه أو أثناء تكوين بعضاً من أعضائه . والعوامل الخارجية ذات أثر واضح فى تكوين الجهاز الميكانيكى ، فاذا ثبتت المناطق السفلية من سوق عدة أشجار من التفاح على ارتفاع ثلاثة أقدام من سطح التربة بربطها فى عدد من الأوتاد ، مع ترك المناطق العلوية الباقية من السوق حتى الأفرع ، (ولتكن ٤ أقدام مثلا) فى حالتها الطبيعية معرضة لتأثير الرياح ، فان كمية عناصر الخشب الجديدة التى تتكون فى موسم الصيف تكون كبيرة فى هذه الاجزاء العلوية ، أما الجزء السفلى من الساق المثبت بدون حركة إطلاقا وكذلك الجذور فعلى العكس تزداد فى الحجم زيادة ضئيلة . وإذا ثبتت إحدى هذه الاشجار فى زمن الشتاء بحيث لا تتحرك مع الرياح إلا من جهة الشمال نحو الجنوب فان نسبة كمية الخشب المتكونة فى هذه الأجزاء المعرضة للرياح فى فصل الخريف تزيد عما تكون فى الأماكن المقابلة لها بمقدار ١٣ : ١١ . ومما لا شك فيه أن عدم تساوى كمية ألياف الخشب المتكونة يعود الى الزيادة فى سمك كل من الجانبين المعرضين للضغط الميكانيكى الشديد .

وتبقى المحاليق التى تفشل فى الوصول الى دعامة تلتف عليها رفيعة بالنسبة لغيرها التى تلتف وتقوم بالوظيفة الخاصة بها ، أما الأولى فسرعان ما تجف وتموت وتنفصل عن الأعضاء الموجوة بها . واذا قارنا بين منطقة الالتفاف فى محلاقين متماثلين لنبات *Cyclanthera explodens* أولهما التف حول إحدى الدعامات بينما بقى الآخر بدون التفاف ، نرى أن الاول أكثر سمكا وأن المناطق الليفية فيه تامة التكوين وتتكون من خلايا ليفية ذات جدر سميكة ، بينما يبقى الآخر أقل سمكا ، كما تبقى المناطق الليفية فى طور تكوين مبكر فيقل سمك جدر خلاياها وتشبه فى شكلها الخلايا الكولنشيمية .

وقد لاحظ Treub أن الخطافات المتسلقة فى نباتى *Artabotrys* و *Uncaria* ، يزداد سمكها عندما تكون مثبتة فى الدعامات ، وتعود هذه الزيادة الثانوية إلى النشاط فى تكوين العناصر الميكانيكية .

ويتأثر النبات بالقوى الميكانيكية الصناعية مشابهاً فى ذلك ما يحدث له فى الأحوال الطبيعية ، وقد قام Vöchting بعدة تجارب تثبت ذلك . كما أضاف Haberlandt أن تكوين الجهاز الميكانيكى قد يتأثر أيضاً تبعاً لمقدار الرطوبة الموجودة بالتربة ، فألياف نبات *Cannabis sativa* تكون أكثر قوة وتحملا فى التربة التى رويت جيداً. وقد لاحظ Kohl ازدياد تكوين الخلايا الكولنشيمية والليفية فى النباتات التى تنمو فى الهواء الجاف عن مثيلاتها التى تنمو فى الجو الرطب ، كما فى *Mentha aquatica* و *Menyathes trifoliata* وخلافها . وعموماً فان النباتات العشبية الزيروفيتية التى تنمو فى الجو الجاف يفيدها كثيراً الزيادة فى تكوين الأنسجة الميكانيكية .

منشأ تكوين الجهاز الميكانيكى

ينشأ الجهاز المكون لهيكل النبات من أى نوع من كل من الطبقات المرستيمية الابتدائية الثلاثة للقمة النامية، هذا بالنسبة للألياف والخلايا الكولنشيمية حيث إن هذين النموذجين للأنسجة الميكانيكية يرتبطان مع بعضهما من جهة منشأهما .

١ — تكوين العناصر الميكانيكية من البروكمبيوم

تتكون المجاميع المنعزلة من كل من الألياف والخلايا الكولنشيمية عادة من الأشرطة البروكمبيومية ، وتنطبق هذه القاعدة على الأشرطة التى تتكون أسفل البشرة وأيضاً على الحزم الأكثر عمقاً ، مثال ذلك الأشرطة الليفية فى *Phoenix dactylifera* و *Typha latifolia* ، والخلايا الكولنشيمية فى *Salvia officinalis* ، و *Cucurbita pepo* .

وإذا تكون الجهاز الميكانيكى من اسطوانة سطحية جوفاء منفصلة عن الحزم الوعائية فان مثل هذه الاسطوانة البروكمبيومية تنشأ مستقلة بنفسها ، كما فى بعض الريزومات وكما فى الاسطوانة الليفية الموجودة أسفل القشرة فى ساق نبات القرع . وغالباً ما ينشـــأ الجهاز الميكانيكى فى مثل هذه الحالات بشكل أشرطة منعزلة أو اسطوانة منفصلة من أصل غير الذى تنشأ منه الحزم الوعائية فى القمة النامية . وفى بعض

نباتات CARYOPHYLLACEAE مثل *Dianthus* و *Saponaria* تنشأ الاسطوانة الليفية والحزم الوعائية من اسطوانة بروكمبيومية عادية وهذه تنقسم ثانية الى اسطوانة خارجية من بروكمبيوم الألياف والى حلقة داخلية من الأشرطة تمثل بروكمبيوم الحزم يفصلها عن بعضهما منطقة وسطية برنشيمية .

ويقول Ambroun إن الخلايا الكولنشيمية والحزم الوعائية تنشأ بالمثل من المرستيم الابتدائى ثم تنفصل ثانية عن بعضها كما فى AROIDEAE و UMBELLIFERAE و PIPERACEAE .

وقد تتحد أشرطة النسيج الميكانيكى مع الحزم الوعائية لتكون الحزم الوعائية الليفية ، وهذه تنشأ عادة من المرستيم العادى وتتكون إما من اسطوانة بروكمبيومية متجانسة أو من مجموعة من أشرطة متجانسة بروكمبيومية تتكشف فيها العناصر الميكانيكية والناقلة بالنسبة لحاجة النبات . وقد تكون اسطوانة البروكمبيوم الابتدائى ليفية بينما تتغمس فى جانبها الداخلى الحزم الوعائية التى تنشأ من أشرطة بروكمبيومية ثانوية كما فى *Primula sinensis* .

ومن المهم التفرقة بين منشأ الألياف والحزم الوعائية ، فالشريط البروكمبيومى الليفى يتحول الى نسيج دائم مرة واحدة فى كل مقطعه العرضى ، أما البروكمبيوم الحزمى فعلى العكس يتحول الى نسيج دائم مبتدئاً عادة من موضعين أو أكثر فى مقطعه العرضى ثم يمتد تدريجياً منها الى المواضع الأخرى ، فالتكشف فى الشريط الليفى يحدث دفعة واحدة أما فى الحزم الوعائية فعلى خطوات متتالية .

٢ — تكوين العناصر الميكانيكية من البروتودرم

تؤدى المرونة الداخلية للنسيج الميكانيكى فى الاعضاء الغير قابلة للثنى الى جعل الأنسجة الليفية والكولنشيمية ملاصقة للبشرة من الداخل . وتخدم البشرة فى مثل هذه الحالات فى تثبيت الألياف أو الخلايا الكولنشيمية الموجودة أسفلها بدرجات متفاوتة . وقد تفقد البشرة أحيانا صفاتها الضامة وتتحول نهائياً الى نسيج ميكانيكى ، كما يشاهد

فى التغليظات الكولنشيمية في جدر خلايا البشرة فى كثير من نباتات العائلة الزنبقية وخصوصاً جنس *Allium* ، وكذلك جدر خلايا البشرة السميكة الملجننة فى القنابات عديمة اللون لنبات *Papyrus antiquorum* وفى قنابع بعض أنواع جنس *Cyperus* . وفى مثل هذه الحالات فان الطبقة المرستيمية التى تسمى بروتودرم بدلا من أن تكون البشرة النموذجية تكون عناصراً ميكانيكية . وقد تتحول خلايا البروتودرم مباشرة وبدون انقسامات تماسية الى عناصر ميكانيكية بروزنشمية ذات جدر سميكة كما فى أوراق كثير من النباتات السرخسية مثل *Pteris serrata* . وقد يحدث فى حالات أخرى لخلايا البروتودرم عدة انقسامات تماسية ينتج عنها عدد من الخلايا يتحول الداخلى منها الى نسيج ليفى بينما تبقى الخارجية متممة لخلايا البشرة كما فى بعض نباتات CYPERACEAE . وقد يتكون القطاع العرضى للشريط البروكمبيومى إما من خلية بروتودرمية فردية أو من مجموعة من العناصر البروتودرمية . وفى نبات *Papyrus antiquorum* تنشأ الأشرطة الليفية السطحية من منطقة البروتودرم ، والمرستيم الاساسى ، ولذلك ربما اشتركت كل من هاتين الطبقتين المرستيميتين فى تكوين نفس الشريط البروكمبيومى .

وقد تنشأ الخلايا الكولنشيمية (كما تنشأ الالياف) من خلايا البروتودرم بدون انقسام تماسى كما فى *Alluim ursinun* ، كما قد تنقسم خلايا البروتودرم عدة انقسامات تماسية مكونة الجزء الخارجى من الاسطوانة الكولنشيمية السطحية ، كما فى *Peperomia latifolia* . وتنشأ أيضاً الطبقات الاسكلرنشيمية لقصرات البذور والأغلفة الثمرية فى كثير من الحالات من البروتودرم .

٣ — تكوين العناصر الميكانيكية من المرستيم الأساسى

تنشأ الاسطوانة الليفية فى بعض نباتات ذات الفلقة الواحدة وخصوصاً فى العائلة الزنبقية من المرستيم الاساسى ، وقد تنقسم بعض خلاياه عدة انقسامات متتالية مكونة مرستيما ثانويا . ولا يعتبر هذا بروكمبيوما نموذجياً لان خلاياه غالباً ما تكون غير شكل بروزنشيمى ولوجود المسافات البينية الهوائية التامة التكوين بينها . وتنشأ الخلايا الكولنشيمية دائماً من المرستيم الاساسى نتيجة لتكوين المرستيم الثانوى .