

الباب الخامس

The Mechanical System الجهاز الميكانيكي

يزود النبات بقوة ميكانيكية تجمله مع أعضائه متماسكا مرتبطاً في كل أجزائه . والنباتات الراقية المتكون جسمها من أجزاء عديدة متباينة تكون عرضة للكثير من الاضرار ، بالنسبة لتعرض الأعضاء الضعيفة التي ينقصها التقوية الكافية للكسر وللتمزق والتشمع وغير ذلك . ولذا لزم على كل نبات أن يحمي نفسه من الاضرار الممكن حدوثها والتي تتعرض لها أعضاؤه المختلفة التي قد تنشأ لتتخذ الوضع القائم أو تتحمل الانحناء والضغط الجانبي أو الجذب الطولي وغير ذلك .

وتزود النباتات كلها من الطحالب الى الاشجار الكبيرة الضخمة بقوى ميكانيكية تناسبها ، فالشجرة العادية يجب أن يتحمل جذعها ما يحمله من الاعضاء الاخرى كالأفرع والاوراق ، حيث يبقى في وضع عمودي حتى يتحمل الضغط الطولي عليه ، كما أن على الافرع أن تتحمل حملها الثقيل بالرغم من وضعها الافقي أو المائل فتزود بذلك بقوى تحميها من الانحناء ، أما في حالة اشتداد الرياح ، فعلى جذوع الاشجار وأفرعها أن تتحمل الضغط الجانبي . وتكون الاوراق من خلايا وأنسجة ناعمة الارتباط وحوافها ذات تقوية خاصة حتى لا تمزق بسهولة . والاشجار عرضة للاقتلاع بجذورها بواسطة الرياح الشديدة غير أن المجموع الجذري بأجزائه المتشعبة المتماسكة بين جزيئات التربة يجعلها مثبتة تماماً .

والجدر الخلوية السليولوزية المتماسكة أول ما يجعل جسم النبات وأعضائه المختلفة متخذة شكلاً مميزاً دائماً . ويزود النبات بالنسبة للمؤثرات المختلفة وبالنسبة لما يلزمه من القوى الضرورية بنظم ميكانيكية خاصة في شكل أنسجة تسمى بالأنسجة الميكانيكية Mechanical Tissues تتكون بأشكال وبأوضاع وبنسب تلائم الوظيفة التي تقوم بها .

الأشكال المختلفة للخلايا الميكانيكية

١ — الألياف Fibres

تشبه الألياف الخلايا البروزنسية النموذجية في شكلها ، وهي إما بسيطة أو متفرعة (شكل ٤٧ — ١) ذات أطراف طويلة مستدقة مدببة . ومنها القصير ومنها الطويل ، ففي القصيرة تكون نسبة عرض الخلية الليفية إلى طولها ١:١٠ أو ١:٢٠ ، أما في حالة ألياف بعض النباتات التابعة للعائلة URTICACEAE فقد تصل نسبة عرضها إلى طولها ١:٤٠٠ ، وتدل هذه الأرقام التي يذكرها De Bary على ما قد تصل إليه خلايا الألياف من طول بالغ . والجدر الثانوية لخلايا الألياف زائدة السمك ، أما الفراغ الداخلي فيخترزل إلى قناة ضيقة غير منتظمة الإتساع في مواضع معينة ، وربما تحتوي عند بلوغها ، كما ذكر Schwendener على بقايا البروتوبلاست ، وكذلك على كمية محدودة من سائل مائي أو من الهواء . ويقول هابرلاندت إن الجدار الثانوي يتكون عادة من السيليلوز غير أن من أنواع الألياف ماتلجنين جدرها . ومن المميزات الظاهرة لمعظم الألياف وجود النقر المختزلة Vestigial Pits بها . وتنشأ الألياف في أغلب الحالات من خلايا مرستيمية مستطيلة الشكل تظهر في حالة السوق على مسافة قصيرة خلف القمة النامية لها ، كما تنشأ أيضاً من خلايا الكميوم مكونة العناصر الهامة في كل من اللحاء الثانوي والخشب الثانوي . ومن المظاهر الهامة في كثير من الألياف أنها في الأطوار المبكرة لتكوينها يكون بروتوبلاستها عديد النوايا ولهذا الوضع علاقة بنشاط نمو جدار الخلية في الطول وزيادته في السمك .

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

ويرجع تكوين خلايا الألياف عادة إلى النمو الطرقي المستقل لكل منها ، وبذلك تتداخل أطرافها مع بعضها وتلاصق أسطحها الجانبية الكبيرة (شكل ٤٧ — هـ) مكونة

في النهاية أشرطة أو صفحات متماسكة داخل جسم النبات ، وقد تتخذ أطرافها أشكالاً مختلفة بالنسبة للازلاق الطولى .

والالياف إما أن توجد فردية أو في مجاميع موزعة توزيعاً كبيراً في جسم النبات ، ويكثر وجودها في بعض أجزاء السوق كالقشرة والبريسكل والخشب واللحاء . ويمكن تقسيم الاليف عموماً بالنسبة لموضعها في السوق إلى قسمين :

(أولاً) Bast Fibres وهي الألياف الموجودة عموماً خارج منطقة الكميوم .

(ثانياً) ألياف الخشب Wood Fibres وهي الألياف الموجودة داخل منطقة الكميوم .

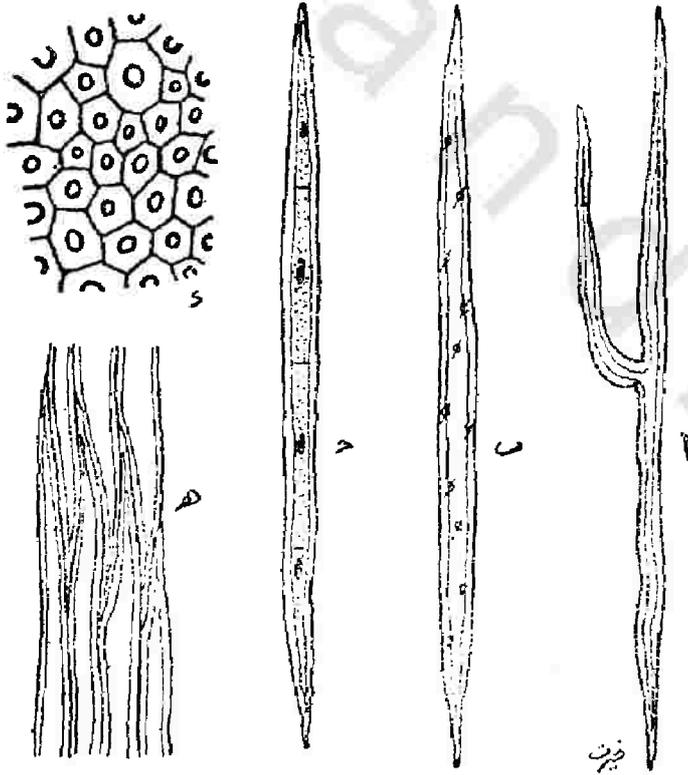
أما كلمة Bast فهي اصطلاح قديم المهد بالنسبة لعلم التركيب التشريحي للنبات ، فقد كانت تطلق هذه الكلمة في العصور القديمة على المحتويات اللبنة لأنواع معينة من الأشجار كانت تستعمل في عمليات الربط ، ولا يكفي هذا اللفظ للدلالة على أنسجة الألياف الخارجة عن نطاق منطقة الكميوم في سوق نباتات ذات الفلقتين . ولذلك كان من المستحسن أن تقسم الألياف وتسمى بالنسبة للموضع أو النسيج التي تظهر فيه ، فإن كانت في القشرة سميت ألياف القشرة أو في منطقة البريسكل سميت ألياف البريسكل أو في اللحاء فتسمى ألياف اللحاء وكذا في الخشب فتسمى ألياف الخشب .

والألياف هي أكثر أشكال خلايا النسيج الميكانيكي أهمية في النبات فقوتها ومرونتها تكتملها مقدرة كافية على الاستقامة وعلى الانحاء . وصفات الألياف الميكانيكية ذات أهمية تجارية كبيرة فألياف اللحاء في أجناس *Corchorus* و *Musa* و *Cannabis* تدخل في صناعات عديدة ، وبالمثل ألياف نبات الكتان . وتصل الاليف إلى نهاية تكوينها في أوراق وسوق نباتات ذات الفلقة الواحدة . وقد عرفها القدمون وخصوصاً في المناطق الاستوائية واستعملوا أنسجتها في شئون شتى في العصور الغابرة .

(١) ألياف اللحاء Phloem Fibres

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

Middle Lamella رقيق عادة وقد يكون في بعض الأحوال سميكاً نوعاً ما ، والطبقات المكونة للزيادة في سمك الجدار الثانوي كثيفة دائماً وقد يظهر فيها أحياناً الوضع الموازي لمحور الخلية الطولي ، أما وضعها العمودي على هذا المحور فيعتمد على كمية الماء التي تحتويها . وتتماز هذه الخلايا بوجود التقر المحترزة وترتب أقطارها الكبيرة في وضع طولي أو مائل ، والوضع المائل هو الأغلب مشاهدة (شكل ٤٧ - س) ، وفي هذه الحالة توجد التقر في مجاميع بشكل صفوف حلزونية تتجه إلى الجهة اليسرى . وقد تعتبر الخلية الليفية ذات التقر المائلة مجموعة من الخيوط الدقيقة ملتفة مع بعضها في شكل حلزوني عديد اللفات محيطة بقناة وسطية هي فراغ الخلية . وهي تشبه في هذه الحالة الحبل المكون من عدد من الوحدات الملتفة حلزونياً ، ولما كانت مرونة الحبل راجعة لوضع أشرطته الملتفة ،



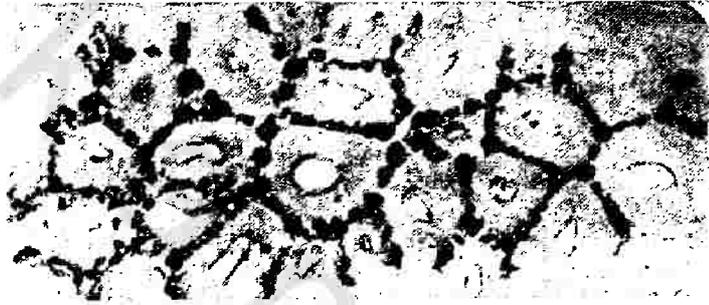
(شكل ٤٧)

(ا) خلية ليفية متفرعة . (ب) خلية ليفية ذات تقر محترزة في وضع مائل . (ج) خلية ليفية مقسمة . (د) ق . ع . في مجموعة من خلايا الألياف . (هـ) النمو الانزلاقي لخلايا الألياف

كذلك الحال بالنسبة للخيوط الدقيقة الحلزونية الوضع في جدار الخلية الليفية وذات الأهمية من الوجهة الميكانيكية .

ومن جهة الطبيعة الكيميائية لجدر هذه الخلايا فالطبقات التي تزيد من سمكها تتكون من السيليلوز ، وهناك أنواع أخرى ذات جدر ملجنسة ، غير أنه قد لا توجد علاقة مباشرة بين طبيعة جدرها الكيميائية وصفاتها الميكانيكية .

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 حافتي الجدار الثانوي من الداخل ولكنها لا تستمر حتى الجدر المتوسطة . وتسمى هذه الألياف Septate Phloem Fibres (شكل ٤٧ - ح) ، وتشاهد بسهولة في النسيج المفكك لساق العنب . وتقسيم الألياف إلى حجرات دقيقة لا قيمة له من الوجهة الميكانيكية .



ق . ع . في مجموعة من ألياف نبات كوركورس كابسولارس $\times 175$
(رسم فوتوغرافي مستعار من فرع الألياف بقسم النباتات بوزارة الزراعة)

وألياف اللحاء إما أن تكون متثرة فردية أو في مجاميع خلال اللحاء الثانوي ، أو قد تكون على هيئة طبقات تماسية متبادلة معه . ومن الخطأ أن يظن أن هذا النسيج الميكانيكي هو الذي يعطي القوة للساق كلها ، حيث إن جذوع الأشجار والأفرع الخشبية تعتمد في قوتها على الاسطوانة الخشبية ، أما الأجزاء الليفية في اللحاء الثانوي فذات طبيعة ميكانيكية موضعية بالنسبة له وغالباً ما تساعد على وقايته . غير أن ألياف اللحاء قد تساعد في تقوية السوق في حالة ما تكون الاسطوانة الخشبية في بدء تكوينها ، فساق التيليا تستمد نسبة كبيرة من قوتها الميكانيكية من الأشرطة الليفية الكثيفة الموجودة في اللحاء الثانوي في السنوات الثلاث الأولى ، أما بعد ذلك فبأنسبة لنشاط الكميوم يزداد نمو الاسطوانة الخشبية وبذلك تصبح الأهمية الميكانيكية لألياف 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 التي توجد فيها . ويطلق هذا الاسم عادة على العناصر المقوية لخشب نباتات ذات الفلقتين ، والأصح أن تعتبر كل الخلايا الميكانيكية داخل منطقة الكييوم من نوع ألياف الخشب ، أما ألياف اللحاء فعلى العكس موجودة خارج نطاق الكييوم . ولا تتكون ألياف الخشب في معظم نباتات ذات الفلقة الواحدة ، أما الأشرطة الميكانيكية التي ترى محيطة بالحزم الوعائية فتكون جهازاً مستقلاً بذاته يزيد من قوة الساق الميكانيكية ، وتساعد مجاميع ألياف الخشب الملاصقة له مع غلاف الحزمة على تكوين الوحدة التي 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 في *Tectona grandis* (Teak) ، وغالباً ما تكون جدرها كثيفة اللجنتة . وقد وصف Sanio عدة حالات تكون فيها الطبقة الداخلية من جدر ألياف الخشب ذات طبقة جيلاينية وهذه تبقى دائماً بدون أن تملجن ، كما في *Morus alba* . ويقول Leclerc Du Sablon و Schellenberg إن هذه الطبقة تحتوى على الهيميسليلوز وتتكون متأخرة في فصل النمو ثم تتحول إلى مادة بلاستيكية سائلة في الربيع التالي .

وألياف الخشب عموماً أقصر في الطول من ألياف اللحاء فلا يزيد طولها عادة عن ٠.٣ إلى ١.٣ مم . وقد ذكر Sanio أن متوسط طولها ١.٢٦ مم في *Prunus laurocerasus* و ١.٠٣ مم في *Ulex europaeus* ، و ٠.٨ مم في *Quercus pedunculata* و ٠.٥٣ مم في *Salix acutifolia* ، و ٠.٤٦ مم في *Tilia parvifolia* .

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

٢ - الخلايا الاسكلرنشيمية أو الاسكليريديز

Sclerenchymatous Cells or Sclereides

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

وينشأ هذا النوع من الخلايا بواسطة التخشب الثانوي الملجنن لجدرها Secondary Sclerosis ، كما يحدث لجدر الخلايا البرنشيمية الرقيقة في القشرة الخارجية للساق بعد أن تقوم بوظائفها كالتمثيل الضوئي أو التخزين لعدة سنوات ، فنفقد بروتوبلاستها وتتغلظ وتتلجنن جدرانها . وهذه تبقى أثناء تكوينها محتفظة بالشكل الأصلي للخلايا البرنشيمية . وقد تتخذ أشكالا أخرى في مواضع أخرى من النبات ، كما في النوع المتفرع الذي تمتد أذرعه في المسافات البينية الهوائية التي تتخلل الخلايا البرنشيمية الأخرى المجاورة .

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

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

وتوجد الاسكريدز على عدة أشكال وهي :

(١) الخلايا الحجرية Stone Cells

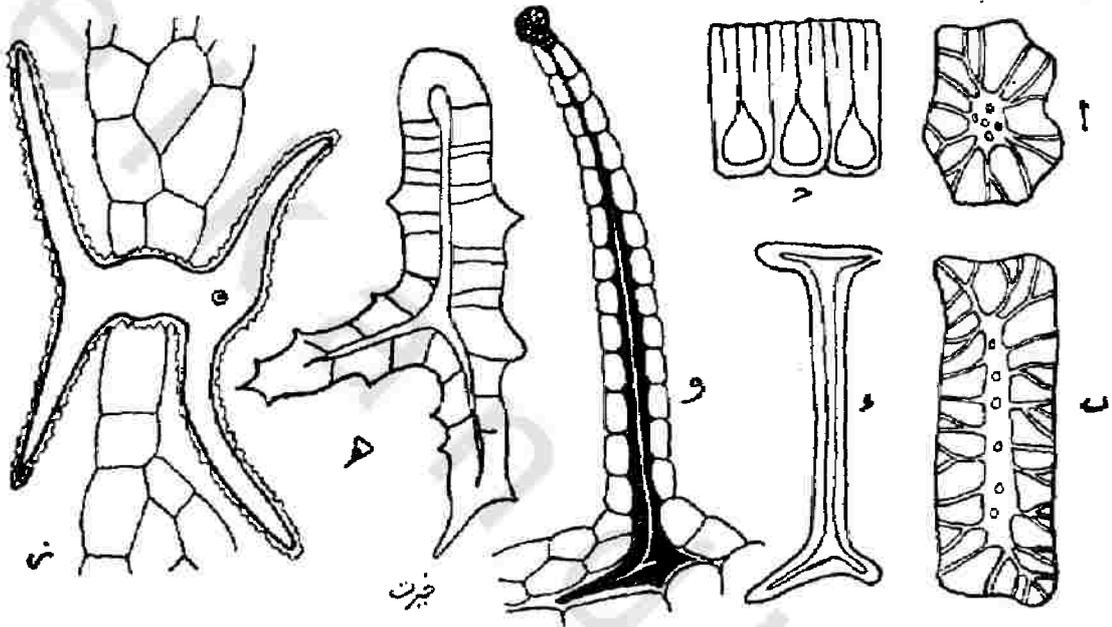
يوجد هذا النوع من الخلايا في القشرة الخشبية لنباتات ذات الفلقتين ويسمى أيضاً *Brachysclereides* ، ويزيد في هذه الحالة من صلابة القلف . كما يرى في الطبقة اللحمية لثمرة الكثرى والجوافة والسفرجل ويسمى *Grit Cells* ويكون في حالة فردية أو في مجاميع محاطة بالخلايا البرنشيمية وتزيد في هذه الحالة من قوة تماسك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

والخلية الفردية كثيرة الشبه بالخلية البرنشيمية ، والجدر الثانوية ملجئة زائدة السمك تتخللها قنوات بسيطة ومتفرعة ، أما الفراغ الداخلي فضيق ويمكن أن يشاهد به الوضع السطحي لفتحات النقر المستديرة الشكل (شكل ٤٨ — ١) ، ومن الممكن اختبار الجدر الملجئة بوضع قطعة صغيرة من الطبقة اللحمية لثمرة الكثرى في محلول ٥٪ فلوروجلوسين لعدة دقائق وتحميلها على شريحة زجاجية ثم يضاف إليها عدة قطرات من حامض الكلورودريك فتكتسب الجدر الملجئة لالخلايا الحجرية اللون الأحمر .

(ب) الخلايا الاسكرنشيمية العصوية والشبه عمادية *Macrosclereides*

قد تكون الخلايا الاسكرنشيمية عصوية الشكل *Rod Shaped* ذات أطراف مستقيمة (شكل ٤٨ — ٢) ، وترى قليلاً في قلف الأشجار كما في *Cinchona* وكذلك

في حامل ثمرة الكثرى . وقد تكون عمودية Columnar وتشبه لحد كبير الخلايا العمادية Palisade like ، وتوجد عادة في وضع عمودي على السطح الخارجي متلاصقة بجوار بعضها مكونة طبقة اسكرنشيمية شبه عمادية (شكل ٤٨ — ح) ، وينسع فراغها الداخلي جهة القاعدة ويختزل إلى قناة ضيقة تتجه نحو الطرف العلوي، ويكثر وجود هذا النوع في الأغلفة الثمرية وقصرات كثير من البذور كبذور الملوخية وفاصوليا البيا *Phaseolus lanatus* .



(شكل ٤٨)

(ا) خلية اسكرنشيمية حجرية ، (ب) خلية عصبوية ، (ح) خلايا شبه عمادية ، (د) خلية عظمية الشكل ، (هـ) خلية عديدة الأفرع ، (و) خلية اسكرنشيمية شبه ليفية داخل شعيرة غدية ، (ز) خلية متفرعة في عنق نبات البشتين ، (عن هارلان ، و Small)

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

(ج) الخلايا الاسكرنشيمية عديدة الأفرع *Astrosclereides*

وتسمى أيضاً *Ophiuroid Cells* أو *Spicular Cells* ، وهي خلايا اسكرنشيمية عديدة الأذرع شبه نجمية تتخذ أذرعها شكلاً بروزنشيمياً (شكل ٤٨ — هـ) . وترى

هذه الخلايا في الفلف كما في *Abies pectinata* و *Larix europaea* ، وكذلك في النسيج الميزوفللى لعدة أوراق مثل *Camellia* و *Olea* و *Dammara* و *Gnetum* و *Fayraea* وهي في هذه الحالة تقوى نصل الورقة حيث يكون جليداً عادة ، كما ترى في بعض أعناق الأوراق كعنق ورقة *Camellia* وفي الأغلفة الثمرية الصلبة كثمرة اللوز وغيرها . ويوجد في إتب زهرة الأرز أسفل البشرة خلايا ميكانيكية اسكرنشيمية طويلة ضيقة يمتد من أحد جانبيها أو من كل منهما تتواء على هيئة أسنان . Tooth-Shaped .

وهناك نوع غير متفرع من الاسكليريدز يشبه الألياف في شكله الخارجي ويختلف عنها (في قطاعه العرضي) بنقره المستديرة الشكل . ويوجد شاغلا الفراغ الداخلي المركزي للمحور الطولي لبعض الشعيرات الغدية (شكل ٤٨ - و) ، كما في الشعيرات الموجودة على أنصال وأعناق أوراق *Bigonia imperialis* ، وتمتد قاعدة الخلية الاسكرنشيمية قليلا في النسيج الميزوفللى بشكل جذري لتساعد على تثبيت الشعيرة . ويشاهد النوع المتفرع من الخلايا الاسكرنشيمية في بعض أنواع نبات البشنيين ، وترى أذرعها ممتدة في الفراغات الهوائية الموجودة في أعناق الأوراق ، أما التواءات التي تظهر على سطحها الخارجي فهي ترسيبات على هيئة عقد من مادة أو كسالات الكاسيوم ، وتسمى Stellate أو Sclerotic Cells (شكل ٤٨ - ز) .

٣ - الخلايا الكولنشيمية Collenchyma Cells

تشتمل الأعضاء النباتية التامة النمو على المناطق المقوية في 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 والتي مازالت تستطيل بنسيج ميكانيكي يكون قابلا لمسيرة عمليات النمو وخصوصا الامتداد والاستطالة ، وتنطبق هذه الصفات على النسيج الكولنشيمي . ويتكون هذا النسيج الميكانيكي مبكراً في الأعضاء النباتية الحديثة بالنسبة لوجود جدر معظم خلايا الأنسجة الأخرى في حالة رقيقة . وهو في الأعضاء

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

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

وبزاد سمك الجدر الابتدائية للخلايا الكولنشيمية بطريقة خاصة ، فلا توضع طبقات الزيادة في السمك بطريقة منتظمة ، بل تكون في حواف أو أركان الخلايا أكثر منها على باقي الجدر . ولهذا الوضع علاقة ميكانيكية بأعضاء النبات النامية ، فوجود الأجزاء الغير سميكة أو التي زادت في السمك قليلاً بين الأجزاء الأخرى الأكثر سمكاً ذو أهمية كبيرة ، حيث تزود طريقة البناء هذه النسيج جميعه بال مرونة 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 في وضع عمودى مشابهة الألياف في ذلك .

وتظهر الأماكن المغلظة في جدر الخلايا الكولنشيمية ككتل لؤلؤية براقية ، 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 الملجئة على ٢٠٪ - ٤٠٪ . ويوجد الماء في المنطقة الواقعة بين الحافة الداخلية ووسط المناطق السميكة ، وبإضافة الكحول المطلق إليها يتجه الماء إلى الجهة القطرية أقل مما يتجه إلى الجهات العمودية ، ولذلك كان التقصص في الاتجاه القطرى أكثر مما في الاتجاه العمودى وأقل في الطولى

مما يثبت أن الجزئيات التي تتكون منها تتحد مع بعضها في 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 في السيتوبلازم ، غير أن أهميتها كاعضاء ممثلة ضوئية محدودة . وقد كانت تعتبر الأجزاء السميكة من جدر الخلايا الكولنشيمية من الوجهة الكيميائية سليوزاً نقياً ، غير أن الأبحاث الحديثة التي قام بها Anderson (١٩٣٥) أظهرت أنها تتكون من السليوز والمركبات البكتينية .

وتوجد الخلايا الكولنشيمية على عدة أشكال بالنسبة لاختلاف المواضع التي تزداد فيها جدرها في السمك ، وهي :

(أ) الخلايا الكولنشيمية مغلظة الأركان Angular Collenchyma

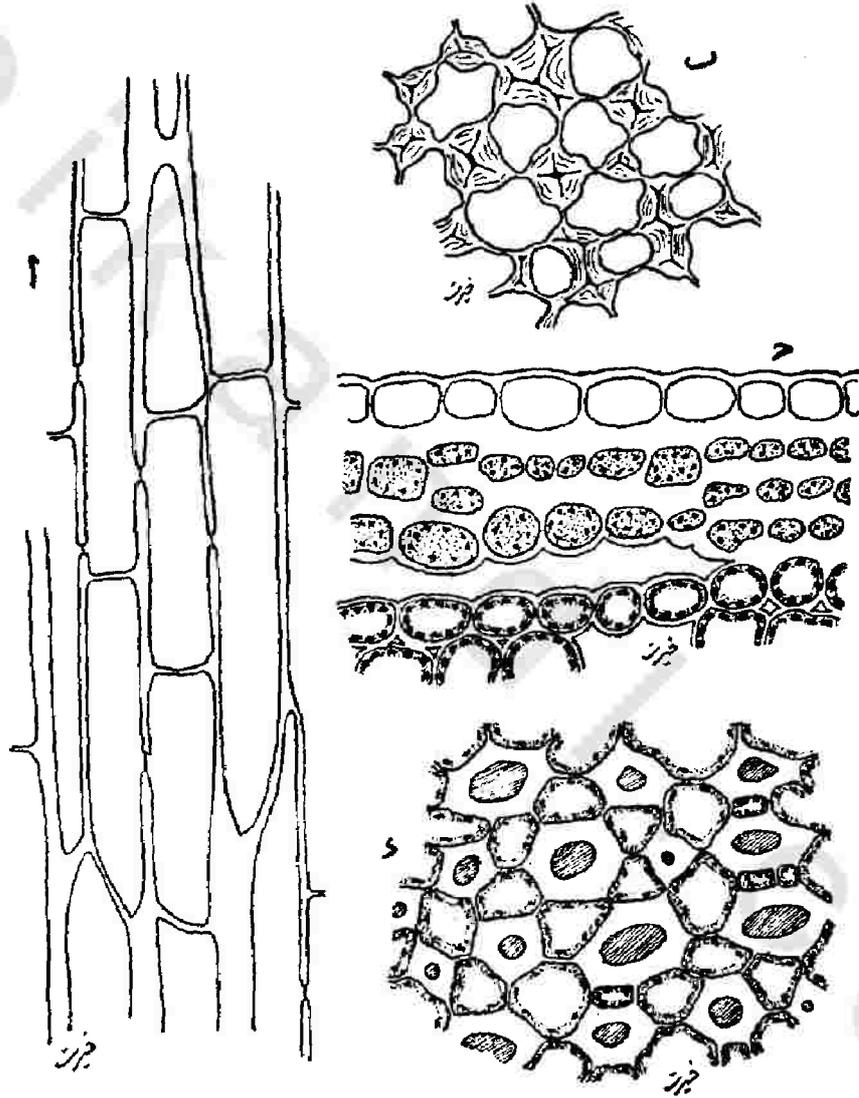
وهي الشكل النموذجي للخلايا الكولنشيمية كما وصفه Carl Müller ، وتوجد بها الأماكن المغلظة جهة الأركان (شكل ٤٩ - ب) ، وقد تلاحظ مسافات بينية مختلفة الحجم ضيقة عادة بين الخلايا . وفراغاتها الداخلية متساوية الأقطار رمادية اللون ، وتظهر الطبقات السليوزية المتتالية في الأماكن المغلظة وهذه تمثل الأطراف الضيقة المدببة في القطاع العرضي أو الأجزاء الأخرى الأكثر سمكاً ، والفرق بينهما يمكن التأكيد منه في القطاع الطولى (شكل ٤٩ - أ) . وترى في أعناق أوراق نباتات عديدة كما في عنق ورقة الداتورا وعنق ورقة نبات *Salvia selarea* وأسفل بشرة السوق الحديثة .

(ب) الخلايا الكولنشيمية مغلظة الجدر التماسية Lamellar Collenchyma

وهذه تظهر في قطاعها العرضي مستطيلة الشكل نوعاً ما ، ويحدث التغليظ فيها على الجدر التماسية (شكل ٤٩ - ج) ، كما في عنق *Astrantia major* . وقد تكون الطبقة الأولى من الخلايا الكولنشيمية المغلظة الأركان الموجودة أسفل البشرة مباشرة من هذا النوع المغلظ تماسياً .

(ج) الخلايا الكولنشيمية الأنبوية Tubular Collenchyma

توجد الأماكن المظللة من الجدر في هذا النوع من الخلايا محيطة بالمسافات البينية في شكل أنبوبي ، وترى كثيراً في نباتات العائلة المركبة مثل *Petasites niveus* ، (شكل ٤٩ - ٤٩) ، كما ترى منتزعة بين النوع المظلط الأركان في عنق ورقة الداتورا .



(شكل ٤٩)

- (١) ق . ط . في منطقة الخلايا الكولنشيمية في عنق ورقة نبات *Salvia sclarea* .
(ب) ق . ع . في خلايا كولنشيمية مظلطة الأركان (ح) ق . ع . في خلايا كولنشيمية مظلطة الجدر
التماسية . (د) ق . ع . في خلايا كولنشيمية أنبوية مع ملاحظة أن المسافات البينية مظلطة
(عن هابرلاندت)

(د) الخلايا الكولنشيمية الغضروفية Cartilagenous Collenchyma لا يمكن تمييز الخلايا عن بعضها في هذه الحالة فيظهر التغليف في جدرها مندجاً بمضه في بعض حيث ينتظم السمك في جدار كل خلية في جميع نواحيه ، فلا تميز الخلايا عن بعضها إلا بوجود فراغات أو فجوات الخلايا نفسها . ومثلها ما يرى في المقطع العرضى لعنق ورقة التوت أسفل البشرة الخارجية مباشرة .

نظام وضع الأنسجة الميكانيكية

توجد أنسجة الجهاز الميكانيكى مرتبة في أعضاء النبات المختلفة بنظام خاص و اوضاع مختلفة تكفل لها القيام بوظائفها الفسيولوجية التى تتطلبها هذه الأعضاء سواء في السوق أو الأوراق أو الجذور . وتوجد العناصر الميكانيكية المتخصصة كالألياف (خارج نطاق السكسيوم) ، وكذا الخلايا الكولنشيمية متحدة مع بعضها لتكون كتلاصغيرة أو كبيرة في 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 في مقطعا 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 في حاجة لنسيج أكثر قوة ، ولذلك فإنها 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 في كتلة مستمرة من ألياف الخشب كما في سوق نباتات ذات الفلقتين الخشبية .

أولاً - تركيب الأعضاء الغير قابلة للثنى

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

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

ويتبين 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 اتقاء بعضاً من هذه الأوضاع النموذجية من بين نباتات ذات الفلقة الواحدة وذات الفلقتين بصرف النظر عما إذا كانت هذه الأنسجة الميكانيكية المنتجة تتكون من الألياف خارج نطاق الكسيوم أو من ألياف الخشب أو الخلايا الكولنشيمية .

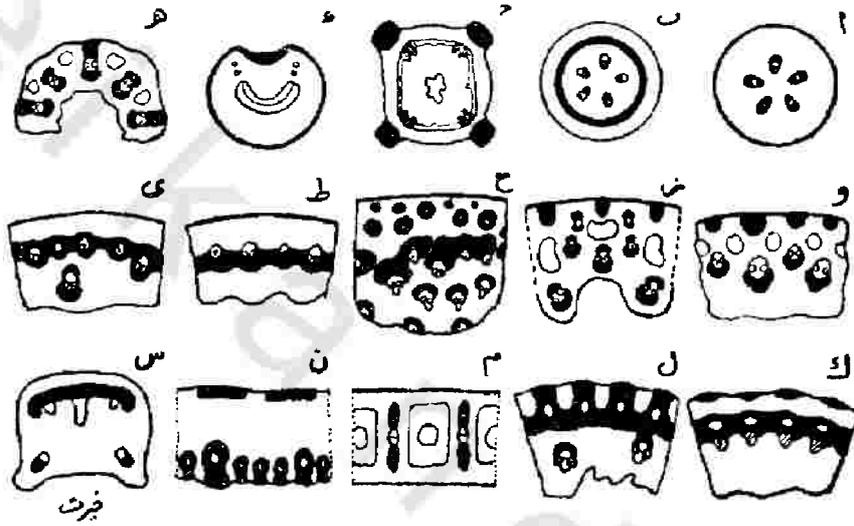
١ - الأعضاء الأسطوانية الشكل

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

(١) النطاقات الموجودة أسفل البشرة

يشمل هذا النظام وضعين يتكون أولهما من أشرطة ليفية توجد فى أعناق الأوراق ومحاور التورات 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 الفلفاس وساق عباد الشمس (شكل ٥٠ - ١) ، وقد توجد الألياف فى شكل حلقة دائرية فى السوق الخشبية لنباتات ذات الفلقتين الحديثة (شكل ٥٠ - ٢) كما فى نبات *Betula* و *Nerium oleander* ، وهذه تنفصل بمد تكون الخشب الثانوى نتيجة لتكوين الفلين .

أما في الوضع الثانى فترى مجاميع من الخلايا الكولنشيمية في أركان السوق المضلعة كما في ساق نبات الفول وسوق نباتات العائلة الشفوية (شكل ٥٠ - ح) ، وفي هذه الحالة تتقوى السوق بواسطة زوجين من النطاقات في وضعين متقابلين . كما قد توجد الخلايا الكولنشيمية في شكل حلقة أسفل البشرة مباشرة في سوق النباتات العشبية وأعناق أوراق بعض نباتات العائلة الخيمية وخلافها (شكل ٥٠ - د) .



(شكل ٥٠)

الأوضاع الميكانيكية المختلفة للأعضاء الاسطوانية وذات الجانبين الغير قابلة للتنى (عن هابرلاندت)

(ب) النطاقات السطحية المركبة

يتماز بوجود هذا النظام الميكانيكي نباتات العائلتين Juncaginaceae وCyperaceae.

ويشمل ستة أوضاع يوصف ثلاثة منها فيما يلى :

قد تشمل 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 غلافاً 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 في نبات *Trichophorum germanicum* . ويشابه هذا الوضع ما يشاهد في نبات *Cyperus vegetus* ، فيوجد عدد من النطاقات بشكل حرف I مرتبة في مجاميع دائرية غير أن نصفي كل نطاق يكونان منفصلين ومتباعدين بنسيج برنشيمي عمادي يفصل بين النصف الخارجي والحزمة الوعائية التي تلتصق بالنصف الداخلي (شكل ٥٠ - و) .

ويشاهد وضع آخر أكثر تعقيداً في نبات *Juncus glaucus* ، فترى حلقة منتظمة من النطاقات الأساسية تكون أنصافها الخارجية من أشرطة ليفية بينما تتكون الأنصاف الداخلية من أغلفة ليفية تحيط بالحزم الوعائية (شكل ٥٠ - ز) وتقع على نفس أقطار الأولى ويفصلها عن بعضهما أنسجة برنشيمية وفراغات هوائية تضعف اتصالها ببعضها ولو أنها ذات فائدة في أنها تعترض الاستمرار التماسي للنسيج الميكانيكي . أما مناطق الأغلفة الليفية الموجودة على الجانب الخارجي للحزم الوعائية فذات أهمية في وقاية الجزء البروتيني 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 في هذا الوضع مندفعة عن السطح الخارجي نوعاً نحو المركز ، وتكون الأشرطة الليفية كبيرة الحجم كما في فصيلة البامبو وسوق ومحاور نورات النخيل . ففي النخيل مثلاً تتحد الأغلفة الليفية للحزم الوعائية تماسياً مكونة شريطاً متعرجاً (شكل ٥٠ - ح) . أما في الحزم الوعائية الداخلية فتحيط بالجانب الخارجي منها نوقايتها ولو أنها لا تؤثر على مرونة الساق الداخلية . أما الكتلة الليفية التي تقع خارج نطاق الحزم الوعائية فإنها تساعد على عدم تمزق القشرة عند انحناء الساق .

(د) الحزم الوعائية المنغمسة في اسطوانة ليفية بسيطة جوفاء

يمتاز هذا النظام نباتات ذات الفلقة الواحدة ، وخصوصاً LILIACEAE (شكل ٥٠ - ط ، ي) و IRIDACEAE و ORCHIDACEAE ، وكذلك كثير من نباتات ذات الفلقتين كما في CHENOPODIACEAE و PRIMULACEAE و CUCURBITACEAE .

ففي نباتات ذات الفلقة الواحدة قد تكون الحزم الوعائية على أحد جانبي الاسطوانة الليفية أو منغمسة بها . أما في نباتات ذات الفلقتين فقد توجد مجاميع من الحواجز تصل ما بين الوضع النهائي للكميوم الخارجى والكميوم الداخلى للاسطوانة الميكانيكية .

ويوجد وضع وسطى في ساق نبات *Austrantia major* ، فترى مناطق اللحاء منغمسة في الاسطوانة الليفية بينما توجد مناطق الخشب على الجانب الداخلى منها . وبذلك يفصل 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 ٣ أو ٤ من قطره الكامل . وتكون خلاياها جهة القشرة ذات جدر زائدة السمك ، أما من جهة الجانب الداخلى فهي أقصر طولاً وأكثر انساعاً وجدرها أقل سمكاً . ويرى الشكل النموذجى للاسطوانة الليفية الجوفاء تحت البشرة في السوق القائمة للموسز *Mosses* كما في 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 تلامس البشرة على مسافات منتظمة تقريباً . وتغمس الحزم الوعائية الصغيرة الخارجية في النسيج اللينى أسفل مواضع النطاقات ، وقد تلتصق بعض الحزم المتوسطة الحجم بالجانب الداخلى من الاسطوانة الليفية ، أما الحزم الكبيرة فتوجد منتثرة في النسيج البرنشيمي الداخلى (شكل ٥٠ - ل) .

٢ - الأعضاء ذات الجانبين

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

ففي الوضع الأول تمتد النطاقات الموجودة أسفل البشرة بشكل حرف I من أحد وجهي الورقة إلى الوجه الآخر ، كما يرى في أوراق *Cardyline* و *Typha* و *Phormium* (شكل ٥٠ - م) ، وكذلك أوراق *Pandanus* والموز. وفي هذه الحالة يتساوى نصفي كل نطاق في الشكل والحجم تقريباً .

وقد لا يتساوى النظام الميكانيكي جهة كل من سطحي كثير من الأوراق والمروق الوسطية بالنسبة لما تتطلبه مواضعها المختلفة من التقوية . ففي الأوراق ذات الانصال الطويلة المنحنية يكون سطحها العلوي معرضاً للامتداد بينما يكون السفلي معرضاً للانضغاط ، ولذلك تتكون صفائح عريضة من الألياف أسفل البشرة العليا بينما تتكون النطاقات المادية جهة السطح السفلي ، ويشاهد هذا الوضع في أنصال أوراق *Saccharum* و *Erianthus* و *Zea* (شكل ٥٠ - ن) . وقد تكون انصال الأوراق في كثير من جنس *Carices* متخذة شكل حرف V أو U في مقطعها العرضي وتزود كل من حافتها في هذه الحالة بشريط ليفي . وقد تفصل أنصاف النطاقات الخارجية للحزم الوعائية عن البشرة بأنسجة ممثلة ضوئية كما في بعض أنواع البصل وكذلك جنس *Tritonia* و *Aspidestra* .

وتظهر النطاقات المختلطة في كثير من أوراق النخيل فتري الحزم الوعائية الكبيرة الغائرة في النسيج الميزوفللي محاطة على كل من جانبيها الخارجي والداخلي بأغلفة ليفية . وقد تكون الأغلفة الليفية في كثير من الحالات ضعيفة التكوين كما في *Livistonia sinensis* وتكون قيمتها الميكانيكية موضعية لحماية الأشرطة الناقلة . وفي حالات أخرى كما في *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 في نخيل البلح متكونة على كل من سطحي الوريقة على مسافات غير منتظمة ، وقد يتحد شريطين متقابلين ليكونا معاً نطاقاً نموذجياً . ويحمي مثل هذا الوضع الوريقات بالنسبة لتعرض أسطحها الكبيرة للرياح الشديدة .

وقد وصف Worgitzky نموذجاً آخرًا للأعضاء ذات الجانبين ممثلاً في الأعضاء الحلاقية المرنة التي تلتف حلزونياً مثبتة النباتات المتسلقة بالحوامل التي تتسلق عليها .

ويشبه المحلاق عند التفافه زبرك الساعة ، فإذا جذبت اللفات عن بعضها يميل كل جزء من المنطقة الحلزونية الى الوضع المستقيم نتيجة لامتداد الوجه المحدب وانضغاط الوجه المقعر ، ولذلك يزداد تكوين النسيج الميكانيكي جهة الجانب المحدب للمنطقة الملتفة بينما يشغل الجانب المقعر نسيج برنثيمي . ففي محلاق نبات *Cyclanthera exfoliata* (شكل ٥٠ - س) يتكون نطاق سميك من نسيج ليفي جهة السطح المحدب تكون أطرافه منحنية قليلا للداخل محيطاً بثلاث حزم وعائية توجد على جانبه الداخلي ، أما الجانب الآخر المقعر فتوجد به حزمتان وعائيتان أصغر حجماً قرب الحافة ولكل منهما أغلفة ليفية سميكة . ويرى هذا الوضع في محاليق كل نباتات العائلة الفرعية CUCURBITACEAE ، أما محاليق الپاسيفلورا والجنونيا فتكون في أول أمرها ذات أقطار منتظمة ثم تصبح بعد ذلك ذات جانبيين بالنسبة للزيادة في تكوين الاسطوانة الخشبية الثانوية جهة الجانب المحدب .

٣ - النظام الميكانيكي الخاص بالتغير في الشكل

عند ما ينحني العضو الاسطوانى الشكل يميل قطاعه العرضى المستدير لأن يكون إهليلجياً ، ويمائل 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 في 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 ارتباكاً 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 يعيد كل منها

عن الآخر مسافة ٥ م الى ١٠ م كما في *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 الاسكرنشيمية المتفرعة وترى أذرعها ممتدة داخل الحجرات الهوائية كما في أعناق بعض أنواع نبات البشنين . وقد يشتمل نخاع كثير من النباتات الخشبية على عدد كبير من الخلايا الاسكرنشيمية المقوية من نوع Sclerotic Cells كما في نبات *Liriodendron tulipifera* .

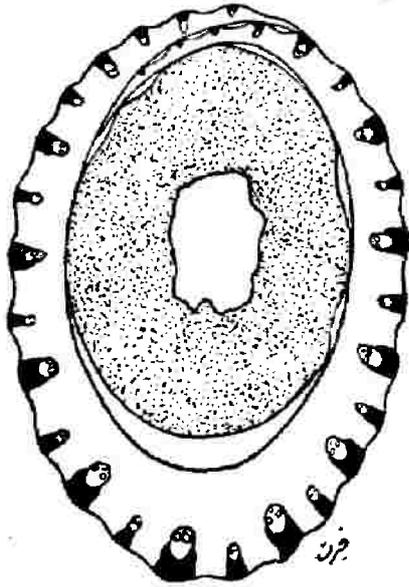
٤ — علاقة النظام الميكانيكي بالمستويات البيئية

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

ففي معظم نباتات ذات الفلقة الواحدة وفي 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 الميكانيكي في مثل هذه المناطق النامية عن مثله في الأعضاء النامية التكوينية ، أما الفرق بين كل من الحالتين فيرجع الى نوع الخلايا المكونة لهذا النظام حيث تحمل الخلايا الكولنشيمية محل الألياف ، ويتكون هذا النسيج عادة في شكل صحائف أو أشرطة أسفل البشرة مباشرة .

وفي عدد من نباتات ذات الفلقة الواحدة مثل *Dioscorea* و *Tradescantia* وفي عائلات ذات الفلقتين العشبية مثل CUCURBITACEAE و UMBELLIFERAE يظهر هذا النظام في الفصل الأول من النمو ، أما في النباتات الخشبية فإنه يفصل عادة عندما يبلغ العضو سمكا خاصاً بالنسبة لتكون الفلقتين .

أما الأعضاء التي تنمو بينياً حيث تستطيل سلامياتها في مناطق خاصة ينشط نموها فيختلف نظام تقويتها . ففي نبات *Tradescantia erecta* حيث توجد منطقة النمو البيئي عند قاعدة كل عقدة يكون قطر الساق في هذه المواضع أضعفه عند الأطراف العليا للعقدة . كذلك هو الحال في حوامل النورات (الهامة) لبعض نباتات العائلة المركبة ، فقد وجد Westermaier أن الشكل الغير عادى لهذه الحوامل يعود الى النمو البيئي في مناطقها العليا ، كحامل نورة نبات *Arnoseris minima* حيث يكون سمك المنطقة العليا منه أسفل النورة مباشرة ستة أضعاف منطقتة القاعدية . وقد تكون منطقة النمو البيئي قريبة من وسط السلامية كما في نبات *Pilea oreophila* حيث تزداد المنطقة المتوسطة للسلامية في السمك . غير أن أحسن الأوضاع الميكانيكية لحماية مناطق النمو البيئي تشاهد في نباتات العائلتين GRAMINEAE و CYPERACEAE ، فيوجد عند قاعدة كل سلامية منطقة قصيرة تبقى دائماً في حالة مرستيمية ممثلة قمة نامية للنمو البيئي ، وهي عادة ناعمة الملمس ضعيفة التكوين . ولما كان من اللازم تقوية هذه المواضع عند قاعدة كل سلامية



(شكل ٥١)

تقاطع عرضي في غمد ورقة نبات
Brachypodium sylvaticum
على بعد ١/٣ سم من العقدة ،
(عن هابر لاندت)

خوفاً من كسرها بواسطة الرياح الشديدة أو من عدم تحملها لتقل الأجزاء التي تعلوها من الساق فإنها تحمي عادة بنظام ميكانيكي خاص ، بأن تغلف دائماً بقاعدة الورقة (الغمد) التي تحيط إحاطة نامية بالمنطقة المرستيمية والمنطقة النامية من السلامية . ولما كان الغمد أنبوبياً وغير قابل للثني فإنه يكون مزوداً بنظام ميكانيكي يخالف النظام المعروف في أنصال الأوراق ذات الجانبين ويمثل نظام تقوية السوق الجوفاء ، فتوجد الأشرطة الليفية أسفل البشرة الخارجية بينما يندم وجودها على المنطقة الداخلية منه ، وقد تكون مزودة بأشرطة ليفية دقيقة (شكل ٥١) .

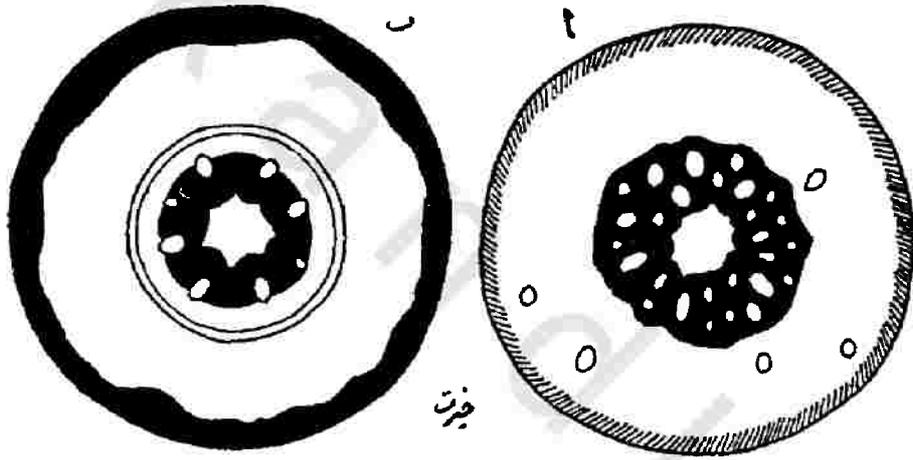
ويمائل أعواد الأوراق، القنبوى الأنبوية الشكل التى تحيط بالمنطقة القمية لأفرع نبات *Armeria* حيث تزود فى هذه الحالة منطقة النمو اليبنى بالقوة اللازمة .

ثانياً - تركيب الأعضاء الغير قابلة للامتداد

تعرض كل الأعضاء التى تثبت النبات سواء فى الزبة 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. وتوجد الأنسجة الميكانيكية بالعناصر الناقلة فى كل الجذور العادية لتكون حزمة محورية تتخذ أشكالاً 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 أنبوية محورية أو أسطوانة مركزية صلبة (شكل ٥٢ - ١). ومن الممكن أن يميز بين الفرق التشريحي للتركيب الهوائى الغير قابل للثنى والتركيب الأرضى الغير قابل للامتداد فى ساق واحدة كما فى بعض نباتات العائلتين *Juncaceae* و *Cyperaceae*، ففى نبات *Juncus glaucus* تمتد المنطقة السفلية للساق أسفل سطح التربة مشابهة الجذر الوتدى وتكون عرضة للعد الطولى عند انحناء المنطقة الهوائية، وتشبه فى تركيبها الداخلى للريزومات. وتختلف كل من المنطقة الأرضية والهوائية فى التكوين السكى للأشرطة الليفية، فتكون النطاقات الموجودة أسفل البشرة فى المنطقة الهوائية عريضة ممتدة للداخل أكثر مما فى المنطقة الأرضية التى يبلغ فيها المقطع العرضى لهذه النطاقات $\frac{1}{4}$ أو $\frac{1}{2}$ مساحة مثيلاتها فى المنطقة الهوائية.

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



(شكل ٥٢)

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

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

البرنشيمية على عدد من الأشرطة الليفية تنتثر في نسيجها الشبكي الشكل ، وتحافظ مثل هذه الأشرطة على النسيج المفكك للقشرة الذي يتخلله عدد كبير من الممرات الهوائية من التمزق أو الانفصال عن جسم النبات .

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

ثالثاً — تركيب الأعضاء الغير قابلة للانضغاط

تعرض كل الأعضاء النباتية الموجودة أسفل سطح التربة أو المغمورة في الماء بالنسبة للوسط المحيط بها للانضغاط قطرياً ، وتحتوى القشرة البرنشيمية لمثل هذه الأعضاء عادة على الممرات الهوائية التي تسبب عدم تماسكها ، ولذا كان من اللازم حماية تركيبها من الانضغاط بغلاف خارجي أكثر تماسكاً . وقد تكون البشرة مع طبقتين أو ثلاث طبقات من الخلايا الموجودة أسفلها ذات قدرة في بعض الأحيان على القيام بهذه الوظيفة ، كما في جنس *Sagittaria* و *Naias* وكذلك النباتات التي توجد في تيار مائي بطيء . أما الأعضاء المغمورة في الطمي أو في التربة الصلبة فان كبر حجم فراغات القشرة الهوائية يتطلب الزيادة في سمك جدر الخلايا البرنشيمية وكذلك وجود الألياف ، لذلك تزود جذور عدة نبات من جنس *Carices* وكثير من نباتات العائلة النجيلية بغلاف ليفي أنبوبي ذو جدر مسورة جزئياً .

وتحتاج الأعضاء الرئيسية القائمة والتي عليها أن تتحمل ثقل الأفرع والأوراق الى قوة ملائمة ، كما سبق ذكره . وفي حالة الجذور الدعامية التي تشبه السوق في تركيبها كما في *Phizophora mangle* يشغل مركز الجذر نخاع متسع يحاط بعدد من مجاميع متبادلة من الخشب واللحاء تكون في مجموعها اسطوانة وعائية عديدة الخزم

جوفاء ومحيط بأجزائها الناقلة للماء من الجهة الداخلية خلايا ميكانيكية سميكة الجدر مرتبة في وضع يكفل للجذر أن يكون غير قابل للثني أو الانضغاط طولياً ، كما تكون اسطوانة خشبية ثانوية تحوى على عناصر ليفية عديدة في طور متأخر .

أما الجذور العرضية الهوائية المساعدة في نبات الذرة فذات تركيب خاص ، ولما كان المجموع الجذرى الأرضى لا يقوى على تثبيت النبات السريع النمو في التربة ، تكون هذه الجذور العرضية المساعدة من المنطقة القاعدية للساق الهوائى في حلقة منتظمة على كل عقدة . وهذه لا تنمو مستقيمة الى أسفل بل تتخذ وضعاً مائلاً قليلاً أو كثيراً مع ملاحظة تساوى الزوايا المحصورة بينها وبين الساق في كل حلقة منتظمة . ثم نخترق 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 فإن الجذور المساعدة الموجودة على الجانب الذى تهب منه تمتد بينما تنكش الأخرى الموجودة على الجانب الآخر ، ولذلك كان كل من هذه الجذور معرضاً في بعض الأحيان لأن يكون غير قابل للامتداد وفي أحيان أخرى لأن يكون غير قابل للثني ، وبالنسبة لذلك يتوفر في تركيبها الداخلى هذه المطالب الميكانيكية المتبادلة . والاسطوانة الوعائية الليفية بدلا من أن تكون صلبة كما في معظم الجذور ، تحيط بنخاع متسع وتصبح جوفاء تماماً لذلك (شكل ٥٢ - ٤) ، وترتب عناصرها الناقلة في وضع يماثل ما هو موجود في الجذور تماماً غير أن الأوعية تكون كثيرة الاتساع منتظمة في شكل حلقة ، كما تشتمل المسافات الواقعة بين مجاميع الخشب واللحاء على ألياف رقيقة الجدر تزيد من القوة الميكانيكية للاسطوانة الوعائية الليفية . أما الاندور دمس 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 في جذور الذرة المساعدة من زوج من الاسطوانات المستديرة الجوفاء تتكون الخارجية منهما من الألياف وتصبح مسئولة عن عدم انتشاء العضو ، أما الداخلية فتكون من العناصر الناقلة وما يتخللها من خلايا الألياف وتجهله غير قابل للامتداد .

ويرى من التركيب التشريحي لمثل هذه الجذور أنها أعضاء غير قابلة للشئ أكثر منها أعضاء غير قابلة للامتداد . ويمائل هذا التركيب الجذور المساعدة في جنس *Sorghum* وكذلك نباتات العائلة النجيلية الزائدة الطول .

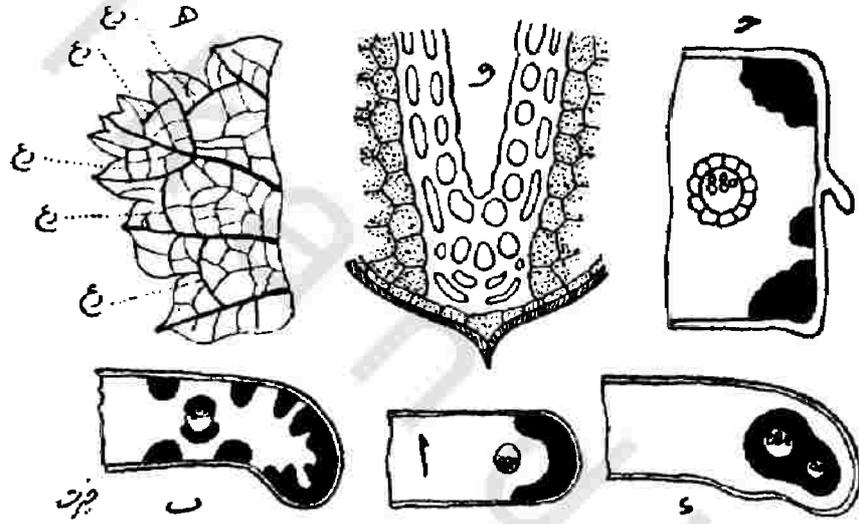
وتقوم مثل هذه الجذور في جنس *Pandanus* بواجبين ميكانيكيين مختلفين، فتظهر الاسطوانة المركزية في مقطعها العرضي مشتملة على عدد كبير من الحزم الوعائية المنتثرة ولسكل منها غلاف ليفي قوى ، كما يتقاطع مع القشرة عدد كبير من الأشرطة الليفية الطولية المختلفة الأحجام ، وبذا يكون هذا النظام الميكانيكي ذى قدرة على 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 sinensis* فذات قدرة على تحمل الضغط الطولى .

رابعاً - النظم الخاصة بتحمل القوى الممزقة

تعرض الأعضاء المنبسطة إلى مؤثرات خارجية عديدة سواء أحاط بها الهواء أو الماء، وتعرض الأوراق التى تهتز فى الهواء لشقى القوى الممزقة التى تؤثر على سطحها الخارجى فى زوايا قائمة فزود 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 للأشواك الوعائية بها . وفى ورقة نبات *Maranta arundinacea* قد تتكون معظم العروق من الخلايا القوية فقط وهذه أسماها *Mettenius* من زمن طويل بالعروق الكاذبة .

وأكثر مناطق الورقة تعرضاً للمزق 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 تكون أحياناً الطبقات الموجودة أسفلها إما من خلايا كولنشيمية

سميكة الجدر كما في AROIDEAE ، أو من خلايا ليفية نامة التكشف . ويختلف المقطع العرضي لهذه المجاميع الكولنشيمية أو الليفية اختلافاً كبيراً تبعاً للظروف ، فإذا كانت حافة الورقة حادة في مقطعها العرضي كان الشريط الليفي الموجود أسفل البشرة سمي الشكلى كما في *Iris* و *Bryngium* ، وإذا كانت مستديرة كان هلالى الشكل كما في *Eucalyptus sp.* (شكل ٥٣ - ١) ، وقد يكون منفصلاً إلى عدة أجزاء تختلف فى أشكالها وأحجامها (شكل ٥٣ - ٢) . وتظهر حافة وريقات نخيل البلح مستقيمة أو مقطوعة حيث يتساوى سمكها مع باقى سمك الوريقة



(شكل ٥٣)

الأنظمة الميكانيكية الخاصة بحماية حواف الأوراق . (١) حافة مستديرة ونطاق ليفى هلالى الشكل . (٢) نطاق مقسم إلى أجزاء مختلفة الشكل والحجم . (٣) حافة وريقة البلح المستقيمة . (٤) نطاق يفصله عن البشرة خلايا كورنشيمية . (٥) الأربطة العرضية «رع» فى حافة متضرسة . (٦) نطاق كولنشيمى يحيط بقاعدة الأسنان الحامية ، (عن هابرلاندت)

وبذلك يصبح لكل وريقة حافتين مستقيمتين يماثل ارتفاع كل منهما سمك الوريقة نفسها ، ويبرز من منتصف كل حافة امتداد ضيق للنسيج جاف (شكل ٥٣ - ٣) ، ويمثل هذا الامتداد المحروطى 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

المحسورتين بين طرفي الحافة حزمة فردية ليفية كبيرة ، وبذلك تساعد الأشرطة التي تكون نطاقين قوين أسفل البشرة على طول الوريقة لتقويتها على حماية حافتها أيضا .

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

وإذا كانت حواف الأوراق كاملة يتشابه نظام وقاتها في كل أجزائها مماثلة في ذلك حافة المتديل المنتنية ، ويرى هذا الوضع أيضاً في كثير من النباتات الزبروفيتية . أما إذا كانت متعرجة أو مسننة أو منشارية أو منخرسة فإنها تكون أكثر تعرضاً للتمزق في هذه الأماكن ويأخذ نظام وقاتها شكلاً خاصاً ، وتكون الوقاية في هذه الحالات موضعية بأن يشغل قاعدة كل توء عرق قصير يمتد تماسياً بشكل رباط عرضى كما في حواف أوراق نبات *Ribes rubrum* (شكل ٥٣ — هـ) . وفي حالات أخرى قد يحيط بقاعدة كل من الأسنان الحافية شريط من خلايا كولنشيمية ذات جدر زائدة السمك ، وتستطيل هذه الخلايا في اتجاه يوازى الحافة كما يشاهد في أوراق عدة نباتات تابعة لجنس *Poterium* (شكل ٥٣ — و) . وفي أوراق بعض النباتات السرخسية تحمى الحواف المسننة للأوراق بمجاميع من خلايا هلالية الشكل ذات جدر كثيرة السمك توجد في قاعدة أعمق الأسنان كما في *Asplenium* . ويوجد نوع من الخلايا الحافية يسمى *Anchor Cells* يحمى أعماد الأوراق من التمزق في المواضع الضعيفة بين الأسنان المتتابعة كما في نبات *Equisetum* . وتحتوى الأوراق الحرشفية التي تغلف البراعم الطرفية في الريزومات على خلايا اسكرنشيمية متصلة تساعدها على اختراق التربة الصلبة .

تأثير العوامل الخارجية على تكوين الجهاز الميكانيكي

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

وتبقى المحاليل التي تفشل في الوصول الى دمامة تلتف عليها رفيعة بالنسبة لغيرها التي تلتف وتقوم بالوظيفة الخاصة بها ، أما الأولى فسرعان ما تجف وتموت وتنفصل عن الأجزاء الموجودة بها . وإذا قارنا بين منطقة الالتفاف في محلاقين متماثلين لنبات *Cyclanthera exfolens* أولهما التف حول إحدى الدعامات بينما تبقى الآخر بدون التفاف ، نرى أن الاول أكثر سمكاً وأن المناطق الليلية فيه تامة التكوين وتتكون من خلايا ليفية ذات جدر سميكة ، بينما يبقى الآخر أقل سمكاً ، كما تبقى المناطق الليلية في طور تكوين مبكر فيقل سمك جدر خلاياها وتشبه في شكلها الخلايا الكولنشيمية .

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

ويتأثر النبات بالقوى الميكانيكية الصناعية مشابهاً في ذلك ما يحدث له في الأحوال الطبيعية ، وقد قام Vüchting بعدة تجارب تبنت ذلك . كما أضاف Haberlandt أن تكوين الجهاز الميكانيكي قد يتأثر أيضاً تبعاً لمقدار الرطوبة الموجودة بالتربة ، فألياف نبات *Cannabis sativa* تكون أكثر قوة وتحملاً في التربة التي رويت جيداً. وقد لاحظ Kohl ازدياد تكوين الخلايا الكولنشيمية واللبيبية في النباتات التي تنمو في الهواء الجاف عن مثيلاتها التي تنمو في الجو الرطب ، كما في *Mentha aquatica* و *Menyanthes trifoliata* وخلافها . وعموماً فإن النباتات العشبية الزبروفيتية التي تنمو في الجو الجاف يفيدها كثيراً الزيادة في تكوين الأنسجة الميكانيكية .

منشأ تكوين الجهاز الميكانيكي

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

١ - تكوين العناصر الميكانيكية من البروكبيوم

تكون المجاميع المنعزلة من كل من الألياف والخلايا الكولنشيمية عادة من الأشرطة البروكبيومية ، وتنطبق هذه القاعدة على الأشرطة التي تتكون أسفل البشرة وأيضاً على الحزم الأكثر عمقاً ، مثال ذلك الأشرطة اللببية في *Phoenix dactylifera* و *Typha latifolia* ، والخلايا الكولنشيمية في *Salvia officinalis* ، و *Cucurbita pepo* .

وإذا تكون الجهاز الميكانيكي من اسطوانة سطحية جوفاء منفصلة عن الحزم الوعائية فإن مثل هذه الاسطوانة البروكبيومية تنشأ مستقلة بنفسها ، كما في بعض الرزومات وكما في الاسطوانة اللببية الموجودة أسفل القشرة في ساق نبات القرع . وغالباً ما ينشأ الجهاز الميكانيكي في مثل هذه الحالات بشكل أشرطة منعزلة أو اسطوانة منفصلة من أصل غير الذي تنشأ منه الحزم الوعائية في القمّة النامية . وفي بعض

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

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

وقد تمجد أشرطة النسيج الميكانيكي مع الحزم الوعائية لتكون الحزم الوعائية الليفية ، وهذه تنشأ عادة من المرستيم العادى وتكون إما من اسطوانة بروكبيومية متجانسة أو من مجموعة من أشرطة متجانسة بروكبيومية تكشف فيها العناصر الميكانيكية والناقلة بالنسبة لحاجة النبات . وقد تكون اسطوانة البروكبيوم الابتدائي ليفية بينما تنمى فى جانبها الداخلى الحزم الوعائية التى تنشأ من أشرطة بروكبيومية ثانوية كما فى *Primula sinensis* .

ومن المهم التفرقة بين منشأ الألياف والحزم الوعائية ، فالشريط البروكبيومى اللينى يتحول الى نسيج دائم مرة واحدة فى كل مقطعه العرضى ، أما البروكبيوم الحزمى فعلى العكس يتحول الى نسيج دائم مبتدئاً إعادة من موضعين أو أكثر فى مقطعه العرضى ثم يمتد تدريجياً منها الى المواضع الأخرى ، فالتكشف فى الشريط اللينى 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

في التغليفات الكولنشيمية في جدر خلايا البشرة في كثير من نباتات العائلة الزنبقية وخصوصاً جنس *Allium* ، وكذلك جدر خلايا البشرة السمكية الملاجئة في القنابات عديمة اللون لنبات *Papyrus antiquorum* وفي قنابع بعض أنواع جنس *Cyperus* . وفي مثل هذه الحالات فان الطبقة المرستيمية التي تسمى پروتودرم بدلا من أن تكون البشرة النموذجية تكون عناصراً ميكانيكية . وقد تتحول خلايا البروتودرم مباشرة وبدون انقسامات تماسية الى عناصر ميكانيكية پروزنشيمية ذات جدر سمكية كما في أوراق كثير من النباتات السرخسية مثل *Pteris serrata* . وقد يحدث في حالات أخرى لخلايا البروتودرم عدة انقسامات تماسية ينتج عنها عدد من الخلايا يتحول الداخلى منها الى نسيج ليفي بينما تبقى الخارجية متممة لخلايا البشرة كما في بعض نباتات CYPERACEAE . وقد يتكون القطاع العرضي للشريط البروكيومي إما من خلية پروتودرمية فردية أو من مجموعة من العناصر البروتودرمية . وفي نبات *Papyrus antiquorum* تنشأ الأشرطة الليفية السطحية من منطة البروتودرم ، والمرستيم الاساسي ، ولذلك ربما اشتركت كل من هاتين الطبقتين المرستيميتين في تكوين نفس الشريط البروكيومي .

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

٣ — تكوين العناصر الميكانيكية من المرستيم الأساسى

تنشأ الاسطوانة الليفية في بعض نباتات ذات الفلقة الواحدة وخصوصاً في العائلة الزنبقية من المرستيم الاساسي ، وقد تنقسم بعض خلاياه عدة انقسامات متتالية مكونة مرستيم ثانوي . ولا يعتبر هذا بروكيوما نموذجياً لان خلاياه غالباً ما تكون غير شكل پروزنشيمي ولوجود المسافات البينية الهوائية التامة للتكوين بينها . وتنشأ الخلايا الكولنشيمية دائماً من المرستيم الاساسي نتيجة لتكوين المرستيم الثانوى .