

الباب السادس

الجهاز الوعائى أو الناقل

The Vascular or Conducting System

يستمر انتقال المواد المختلفة فى النباتات الراقية من مكان الى آخر طول مدة نشاطها الخضري ، كما تختلف طبيعة وكمية هذه المواد فى الأوقات المختلفة . وفى النباتات الأرضية يزداد انتقال هذه المواد فيما يسمى بالتيار النتحى الذى يعوض ما يفقده النبات من الماء بواسطة عملية النتح ، كما يقوم الى حد ما بامداد بعض الأنسجة بالماء لأغراض غذائية . وقد تنتقل المواد الغذائية المختلفة ، العضوية والغير عضوية إما فى هذا التيار ، أو مستقلة من الأعضاء الماصة ، الى أنسجة التمثيل الضوئى والأعضاء الأخرى التى ينشط نموها ، وبهذه الطريقة تنتقل الأملاح المعدنية فى النباتات الخضراء . أما المواد النشوية والسكرية وغيرها من المواد السكرية والبروتينات والمواد المرنة والمثلية فتنتقل دائماً من أنسجة التمثيل الضوئى ومن الأعضاء المخزنة الى المناطق النامية وإلى الأنسجة المخزنة الدائمة ، أى إلى كل أجزاء النبات التى تحتاج إلى مثل هذه المواد .

وينتظم انتقال هذه المواد بالنسبة لحاجة النبات والأعضاء التى يتكون منها ، فهى تنتقل من الجذر إلى الساق والأفرع والأوراق ، ومن الأنسجة المخزنة الى كل أجزاء المجموع الخضري والجذري ، ومن الأوراق الخضراء الى البراعم والأزهار والبذور والثمار الناضجة وإلى الجذور النامية وغير ذلك . ويتكون التيار عند صعوده من العصارة الغذائية غير المجهزة وعند نزوله من عصارة غذائية مجهزة .

وتكون الأنسجة الناقلة فى جسم النبات جهازاً معقد التركيب يشتمل على عدد من العناصر المختلفة ، فى شكل خلايا فردية أو متجمعة ، مبنية أوجية . وقد يعتمد انتقال

المواد على حركة جزيئاتها أو تحرك المجموعة بأكملها أو اشتراكهما معاً . وقد يظن أن وجود الحواجز العرضية المتعددة في القنوات الناقلة مما يعطل عملية الانتقال سواء أكانت بالضغط الأزموزي المتبادل أو بطريق الرشح وخصوصاً إذا تحركت المواد في فجوات الخلايا وليس على جدرانها ، غير أنه لتسهيل عملية الانتقال ينحزل عدد هذه الحواجز العرضية كما زداد قابلية انتقال المواد خلالها . والعناصر الناقلة عموماً مستطيلة الشكل ذات جدر عرضية رقيقة ومزودة عادة بعدد كبير من النقر أو الفتحات كما أن أسطحها القابلة لعملية الانتشار ذات تكوين خاص .

وإذا انجبت عملية الانتقال إلى جهة واحدة كانت العناصر الناقلة مستطيلة في نفس الاتجاه ، وفي حالة الاسطوانة الخشبية لنباتات ذات الفلقتين يوجد وضعين من القنوات الناقلة يتقاطعان مع بعضهما في زوايا قائمة . وهناك علاقة بين طول العناصر الناقلة وبين نشاط عملية الانتقال بها ، وترجع سرعة الانتقال في العناصر المستطيلة عادة الى الزيادة في عدد النقر الموجودة على حواجزها واتساع أقطارها وقلة الاحتكاك بجدرانها وغير ذلك . ولهذا تكون العناصر الناقلة للماء في السوق من أوعية زائدة الطول ، أما نهايات الحزم الورقية فتتكون من عناصر قصيرة ، كما تفق أحجام خلايا أغلفة الحزم الناقلة للمواد الكاربوايدراتية في الأوراق مع كمية المواد المشتملة التي تمر خلالها .

أما الظاهرة الثانية الرئيسية فهي وجود النقر ، وقد توجد أطوار عديدة متوسطة بين النقر العادية التي تقاطع مع الجدر وبين الفتحات السكاملة لحواجز الخلايا . وغالباً ما ترى النقر البسيطة المستديرة والبيضية في الحواجز الموجودة بين الخلايا كما يتخلل أغشيتها ثقب رقيقة تمر فيها الاتصالات البروتوبلازمية ، وهذه يكثر وجودها في الخلايا البرنشيمية الناقلة وفي برنشيمية الخشب والأشعة النخاعية وأغلفة الحزم البرنشيمية . وإذا ما كبرت النقرة في الحجم ورق غشاؤها فقد يكون هذا الغشاء عرضة للتمزق بالنسبة لاختلاف الضغط الأزموزي على كل من جانبيه ، ولذلك تملأ النقر خطر التمزق بتحويلها الى الشكل المصفوف الذي يعتبر دعامة ميكانيكية لحماية أغشيتها . وقد وجد Rusbow نوعاً خاصاً من النقر ،

في اللحاء الثانوى لكثير من النباتات الحشبية ، وتعتبر اتصالاتها البروتوبلازمية الدقيقة كقنوات ناقلة وقد تكون بشكل فتحات كثيرة الاتساع كما يرى في الحواجز الغريالية حيث يمر خلالها كميات كبيرة من المواد البروتينية .

وقد يزداد اختزال الحواجز العرضية في الأنابيب الناقلة حتى تزول تماماً كما في الأنابيب اللبنية لجنس *Chelidonium* و *Musa* . وقد تكون الجدر العرضية للأوعية الحشبية في كل من الحشب الابتدائى والثانوى في نباتات مغطاة البذور ذات عدة فتحات متسعة أو قد تحتق جميعها ما عدا حلقة حافية تبقى فيها مشيرة الى موضع الحاجز في أول أمر . وفي الأوعية اللبنية البالغة لمعظم نباتات العائلات *PAPAYERACEAE* و *CICHORIACEAE* و *PAPAYACEAE* لا يوجد أثر لهذه الحواجز اطلاقاً . وقد تنشأ الخلايا اللبنية خالية من الحواجز من مبدأ تكوينها كما جنس *Euphorbia* ، ولا تنشأ مثل هذه الأنابيب باتصال عدة خلايا مع بعضها مكونة صفاً واحداً ، بل تتكون من خلية واحدة ازداد طولها زيادة كبيرة تدفع آخذة طريقها بين الأنسجة الأخرى مشابهة في ذلك هايفات الفطريات المتطفلة .

وعلاوة على استطالة شكل العناصر الناقلة ووجود النقر والفتحات بها فانها تمتاز باتساع أسطحها القابلة لعملية الانتشار ، وترجع هذه الزيادة الى كبر مساحة الجدر الجانبية وأغشية النقر التي تكونت عليها ، كما تزداد مساحة الحواجز العرضية بامتدادها تبعاً لتمدد أو اتساع الخلايا ، كما يشاهد في الأنابيب الغريالية لاشرطة اللحاء الابتدائى ، وكذلك في الخلايا اللبنية التي تظهر في الأوراق الحرشفية لجنس *Allium* ، وكذلك في العناصر الناقلة لساق *Polytrichum* . وتزداد المساحة أيضاً اذا كان وضع الجدر العرضية مائلا أو بمعنى آخر اذا أصبحت العناصر الناقلة ذات شكل بروزنشىمى ، كما في الأنابيب الغريالية لاشرطة اللحاء الثانوى وبرنشيمة اللحاء وكذلك القصبيات . أما اتساع سطح أغشية النقر المضغوفة فيرجع الى اعتبارات أخرى خاصة بانتقال الماء . ومن العوامل الفسيولوجية التي تساعد في استمرار عملية الانتقال تحرك البروتوبلازم الذى يسهل عملية الضغط الازموزى والاختلاط الميكانيكى للمواد القابلة للانتشار .

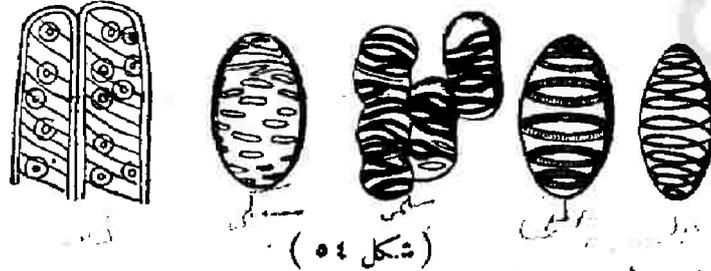
تركيب العناصر المكونة للناقلة

أولاً - انتقال الماء والأملاح المعدنية

ينتقل الماء في نباتات ذات الفلقتين ومعراة البذور في منطقة الخشب الابتدائي للحزم الوعائية وفي الاسطوانة الخشبية الثانوية ، كما ينتقل بصفة دائمة في المناطق الخشبية من الحزم الوعائية في نباتات ذات الفلقة الواحدة التي لا يتكون بها عادة الخشب الثانوي . وتزود الاسطوانة الخشبية في السوق والجذور وكذلك الحزم الوعائية الكبيرة في الأوراق الأعضاء الموجودة بها بقوة ميكانيكية بالنسبة لغلظ الجدر الثانوية للخلايا التي تكونها علاوة على انتقال الماء خلالها ، ومن السهل التمييز بين العناصر التي تقوم بكل من هاتين الوظيفتين أو إحداهما فقط . وتنتقل الأملاح المعدنية التي تمتص من التربة مع الماء الذي يصعد عن طريق الجذور في ممرات خاصة نتيجة لنشاط عملية النتح التي تسبب صعود الماء (التيار النتحى) حاملاً معه كميات من الأملاح المعدنية الممتصة .

١ - التركيب التشريحي للناقلة للماء

يتكون الجهاز الخاص بنقل الماء والممتد في كل جزء من أجزاء النبات من أنابيب خشبية تسمى بالقصبات أو الأوعية Vessels أو Tracheae ، ومن القصبيات Tracheides . وهما مع تشابههما عموماً في تركيبهما ينحصر الفرق الاساسى بينهما في أن القصبيات تحاط تماماً بالجدار الخلوى أى انها عبارة عن خلايا مستقلة (شكل ٥٤) ، أما الأوعية فتتكون



الأشكال المختلفة لقصبيات نبات *Taxus baccata* ، (عن لون موهل)

من مجموعة طولية من الخلايا اتصلت كل منها بالأخرى بسبب تلاشى الحواجز العرضية الطرفية كلياً أو جزئياً في بعض مناطقها مكونة شكلاً أنبوبياً Pipe-Like . ويقول De Bary

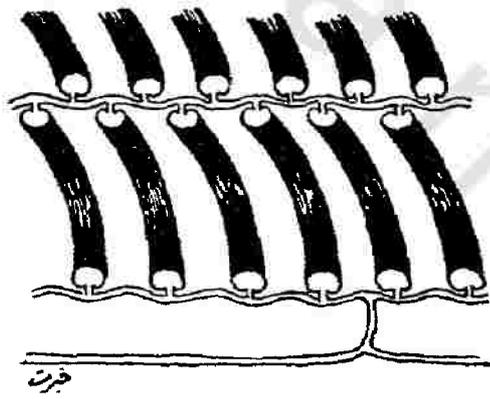
إن السبب في اختفائها يعود إلى رقة المواضع التي توجد بها النقر الكبيرة في أطراف هذه الخلايا، كما يؤكد MacDaniels و Eames أنه قد يكون للنواة دور هام في تكوين هذه الفتحات .

وفي الإمكان معرفة حدود الخلايا التي يتكون منها الوعاء الكامل ، فإذا كانت الحواجز العرضية التي تلاشت موجودة في أول الأمر في وضع عمودي على المحور الطولي للوعاء فإن الفتحات التي تتكون باقصالها تكون عادة مستديرة الشكل محاطة بتنوء حلقى يبقى متصلاً بالمنطقة الحافية اندائمة ، وتسمى مثل هذه الفتحات Simple Perforations ، وترى عادة في نباتات ذات الفلقة الواحدة كما تشاهد غالباً في نباتات ذات الفلقتين . أما إذا كان وضع هذه الحواجز مائلاً فتكون الفتحات من عدة منافذ متوازية وتسمى Scalariform Perforations ، وترى في بعض النباتات التيريدية وفي عدد من نباتات ذات الفلقتين .

والقصبيات عبارة عن خلايا برونشمية مستطيلة الشكل لا يزيد متوسط طولها عادة عن ١ مم ، وفي سوق وأعناق أوراق جنس *Musa* و *Canna* وقد يزيد طولها عن ١ سم ، ويبلغ قطرها من ٠,٠٨ إلى ٠,١ مم . وقد قاس Caspary طول القصبيات في نبات *Nelumbium speciosum* فوجد أنه يزيد عن ١٢ مم . والأوعية بطبيعة الحال أكثر طولاً من القصبيات غير أن متوسط طولها لا يزيد عن ١٠ سم (عن ستراسبجر) ، وأوعية خشب نبات *Quercus pedunculata* قد يصل طولها إلى مترين ، وفي نبات *Robinia pseudacacia* يصل طولها إلى متر واحد ، كما أنها في النباتات المتسلقة أكثر طولاً . أما أقطار الأوعية فكثيرة الاختلاف وأكثرها انساعاً (ما بين ٠,٣ إلى ٠,٧ مم) ترى في سوق النباتات الملتفة .

وتغلظ الجدر الثانوية لكل من القصبات والقصبيات تغليظاً جزئياً بأشكال مختلفة ، فقد تكون في شكل حلقى أو حلزوني أو شبكي أو سلمي أو بالنقر ، ويشتمل الشكل الأخير على نوعين من النقر وهي البسيطة والمضفوفة . وقد وجد Rorthert أن الأشرطة المغلظة الحلقية والحلزونية والشبكية ذات شكل خاص ، كما أنها لا تتصل في معظم النباتات اتصالاً

كلها بالسطح الداخلي للجدار الخلوي بل تكون منطقتها القاعدية المتصلة بالجدار أقل سمكاً من المنطقة الباقية التي تأخذ شكلاً مضغوطاً ، وبذلك يكون القطاع العرضي للشريط بشكل T (شكل ٥٥) . وقد تتساوى المنطقتان في السمك في بعض الحالات الأخرى ، وعموماً تختلف مقاطعها العرضية باختلاف هذه الأشربة . ويرى Rothert أن القيمة الفسيولوجية في ضيق هذه القاعدة هي الزيادة في مساحة السطح الداخلي المنفذ للجدار الغير مغلظ ، وقد رأى Schwendener وضماً مشابهاً نمثلاً في النقر المضفوفة . ومن الواضح أن مساحة الجزء المنفذ والغير مغلظ من الجدار تزداد وتقل بتبادل هذه الأشربة أو قريبا منها ، وفي عدد من نباتات جنس *Equisetum* وعائلة CACTACEAE يكون وضع هذه الأشربة غير منقبض إطلاقاً . وتقوم كل أنواع التغليظ



(شكل ٥٥)
ق . ط . في وطاء ذو تغليظ حلزوني في نبات
Cucurbita pepo ، (عن روثرت)

السابق ذكرها (ماعدا بالنقر المضفوفة)
بتقوية الانابيب الناقلة دون أن تمنع
عملية الانتشار بين الخلايا المتجاورة ،
وتمود أهمية هذه التقوية الى أن القصبات
والقصبيات عناصر ميتة غير قادرة
على إحداث الضغط الاتفاخي كما أنها
معرضة للضغط الناتج من الأنسجة
البرنشيمية المحيطة بها .

وأول أنواع القصبات والقصببيات في التكشف في الاعضاء الحديثة التي تستمر في النمو الطولي هي ذات التغليظ الحلقي والحلزوني ، ويرجع ذلك الى قابلية هذين النوعين من التغليظ لأية درجة من الامتداد الطولي ، أما التغليظات الاخرى فتوجد في المناطق الحشبية الأكبر سناً . لذلك تتميز منطقة الحشب الابتدائي ، وهي المنطقة من الحزمة الوطائية التي تتكشف من الأشربة البروكيميومية ، في أشكال تغليظات قصباتها وقصببياتها عن منطقة الحشب الثانوي التي تنشأ من الكميوم الحزمي واليين الحزمي .

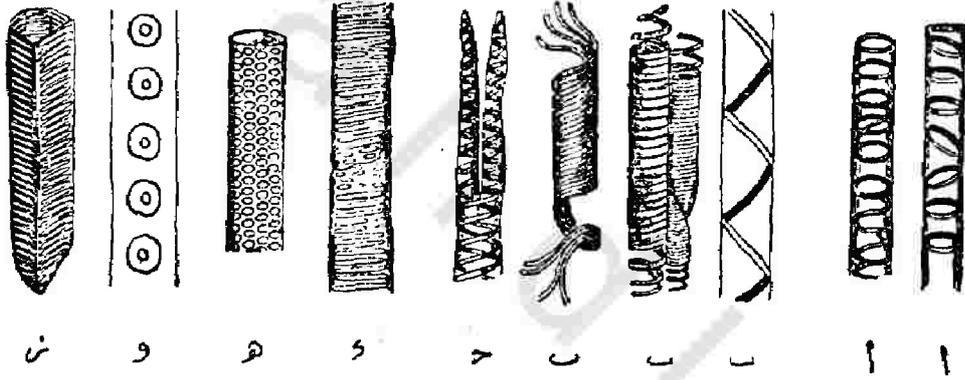
ويقوم الخشب الابتدائي Primary Xylem سواء في نباتات ذات الفلقة الواحدة والفلقتين وكذا في الأوراق بوظائف هامة وخصوصاً في أطوار التكوين المبكرة للنبات ، غير أنه سرعان ما يأخذ وضعاً داخلياً الى جوار النخاع بالنسبة لتكون اسطوانة الخشب الثانوي وذلك في سوق وجذور النباتات التي تنمو نمواً ثانوياً . وهو يتركب عموماً من الخلايا البرنشيمية والأنابيب الناقلة للماء ، والاخيرة عبارة عن خلايا مستطيلة بشكل قصبات أو قصبيات وتتغلظ جذرها الثانوية بأشكال مختلفة كما سبق ذكره ، كما قد يحتوي على أحدها أو عليهما معاً .

ويشتمل الخشب الابتدائي على منطقتين مختلفتان بالنسبة لتركيبهما ومدة تكوينهما وهما البروتوزيلم Protoxylem (الخشب الاول) والميتازيلم Metaxylem (الخشب الثاني) . وتتكون المنطقة الأولى من العناصر الأولى في التكشف من البروكسيوم وهي ذات قابلية كبيرة للامتداد والاستطالة بالنسبة لوجودها في الأعضاء الحديثة السريعة النمو كالسوق الحديثة ، وجذرها الاولية رقيقة ومرنة أما جذرها الثانوية فتتغلظ عادة مبتدئة بالشكل الحلقي ثم الحلزوني ويليهما الشكل السلمي . ويرى Stover أن هذه الاشكال الخاصة بالجدار الثانوي للبروتوزيلم تتكون تبعاً للمد الطولي الذي يحدث لمثل هذه الخلايا أثناء تكوينها المبكر ، ويرى Barkley أن ظهور هذه التعليزات في شكل حلقي أو حلزوني يرجع الى اختلاف أحجام الفجوات في خلية البروكسيوم ، كما أن أشكال الجدار الثانوي هذه تتكون من المناطق الاكثر كثافة وأقل فجوات في السيتوبلازم .

وتظهر بالتعليل ذو الشكل الحلقي Annular Thickening النموذجي الجدر الثانوية في شكل حلقات متتالية ، وقد تصل هذه الحلقات في بعض مناطق الخلية بواسطة أشرطة مائلة أو حلزونية (شكل ٥٦ - ١) وخصوصاً عند الاطراف .

ويكون التعليل ذو الشكل الحلزوني Spiral Th. في الخلايا الزائدة في الطول التي تتكشف أولاً مكوناً من شريط فردي حلزوني One Spiral Band ، أما الخلايا التي تتكشف فيما بعد فتكون أقصر طولاً وأقل عرضاً وقد تحتوي على شريطين متقاطعين

Compound Sp.B.، وقد يزداد عددها الى أربعة أو أكثر. Double Spiral Band (شكل ٥٦ - س). وقد يختلف عدد الأشرطة الحلزونية في الاجزاء المختلفة لنفس الخلية وغالباً ما يوجد شريط واحد قرب أطرافها ثم يتفرع الى اثنين أو ثلاثة قرب الوسط . وعند ما تستطيل الخلايا ذات التغليف الحلزوني تتباعد لفات الاشرطة عن بعضها ويزداد اتساع المسافات التي بينها . وقد يتمزق الشريط الحلزوني وينفصل عن الجدار الأولى الرقيق مكوناً ما يسمى فجوة الخشب الأول Protoxylem Lacunae كما يشاهد في نباتات ذات الفلقة الواحدة، وكذلك في المواضع السريعة الاستطالة في النباتات العشبية ذات الفلقتين . وقد تتفرع في بعض الأحيان الأوعية ذات التغليف الحلزوني الى فرعين (شكل ٥٦ - ح).



(شكل ٥٦)

(ا) تغليف حلقي . (ب) تغليفات حلزونية . (ج) وعاء متفرع ذو تغليف حلزوني .
 (د) تغليف سلبي . (هـ) تغليف شبكي . (و) تغليف ذو نقرمضفوفة . (ز) التغليف
 السلبي لأوعية بروتوزيلم ريزومات بعض النباتات البردية ، (عن SMALL)

وتعتبر الأنابيب الناقلة للماء ذات التغليف السلمي Scalariform Th. آخر عناصر الخشب الأول بالنسبة للبطء النسبي في تكوين جدرانها الثانوية ، وتكون التغليفات بها أكثر تقارباً وتماسكاً مما يجعلها أقل قابلية للامتداد ، وتظهر في هيئة مجموعات من القضبان المتوازية تقريباً قد يقل أو يكثر عددها كما قد يتقاطع معها أخرى مائلة (شكل ٥٦ - د).

أما المنطقة الثانية من الخشب الابتدائي وهي المينازيلم فتشتمل على العناصر التي تتكشف أخيراً ، وتكون من خلايا ذات جدران ثانوية أكتف وضماً وأكثرتماسكاً

عند بلوغها فهي تبعاً لذلك غير قابلة للامتداد ، وتوجد في شكل شبكي أو ذو نقر ، والتعليظ ذو الشكل الشبكي Reticulate Th. يكون جداراً ثانوياً في شكل متشابك حيث إن الترسيبات الثانوية توضع بدون نظام (شكل ٥٦ - هـ) ، أما المسافات التي بين هذه التعليلات الشبكية فتبين المساحات الغير مغلظة من الجدار الأولى للخلية وهي كثيرة الشبه بالنقر Pit-Like وقد تقوم بعملية الاتصال بين الخلايا وبعضها.

ويشاهد التعليظ ذو النقر Pitted-Th. في آخر العناصر المتكونة من الميتازيلم أو بمعنى آخر من الخشب الابتدائي نفسه ، ويتميز بأن الجدار الأولى يكاد يكون كامل التعليظ غير أنه تتخلله نقر صغيرة من النوع المصفوف (شكل ٥٦ - و) ، ويلاحظ أن السرة بها ضعيفة التكوين كما قد لا توجد على أغشية بعض النقر . ويختلف عدد النقر وتوزيعها في هذا النوع من الخلايا ، وقد يتحول التعليظ الشبكي تدريجياً مكوناً الشكل النموذجي لهذه النقر في مواضع مختلفة من الخلية .

وهناك شكل خاص من التعليظ السامي يظهر في الأوعية المكونة لبروتوزيلم ريزومات بعض النباتات التبريدية مثل *Pteris aquilina* . وتكون الأوعية عادة كبيرة الحجم مستطيلة الشكل وقد يسهل رؤيتها بالعين المجردة في النسيج المفكك . وتزود جدرانها الجانبية بعدد كبير من النقر المصفوفة في وضع سامي مرتبة في صفوف أو مجاميع رأسية يصغر حجمها تدريجياً في اتجاه الأطراف المائلة الوضع ، كما تظهر المواضع المصفوفة لهذه النقر في شكل إهليلجي محيطة بالفوهات الضيقة (شكل ٥٦ - ز) . ويعتبر Mac Daniels الفتحات الموجودة نقرأ بدون أغشية . وتمثل الجدر الطرفية للعناصر المكونة لبروتوزيلم في هذا النبات وضماً مماثلاً لما يرى في بعض نباتات ذات الفلقتين .

وينشأ الخشب الثانوي في كل الحالات من الكميوم ، وهو طبقة من خلايا مرستيمية تنقسم خلاياها تماسياً في اتجاهين متضادين ، فالأنسجة التي تنكشف جهة الداخل تكون الخشب الثانوي أما المنكشفة جهة الخارج فتكون اللحاء الثانوي . وتترتب خلايا الخشب الثانوي في هيئة صفوف قطرية ، ويميز عن الخشب الابتدائي في طريقة منشئة وبالنسبة لموضعه ثم للميزات التي تتركب منها عناصره الناقلة . وهو أكثر تعقيداً

في تركيبه عن الخشب الابتدائي ، فتتكون الاسطوانة الخشبية الثانوية في نباتات ذات الفلقتين من القصيبات والقصبات والألياف وبرنشيمة الخشب ثم من الأشعة الخشبية ، غير أنه أقل تعقيداً في نباتات معراة البذور وفي عدد من نباتات ذات الفلقتين . ومن الممكن معرفة الجنس أو العائلة التي ينتمي اليها النبات بالنسبة لأنواع الخلايا التي يتكون منها الخشب الثانوي . وفي معظم نباتات ذات الفلقة الواحدة لا يتكون الخشب الثانوي بالنسبة لعدم وجود السكبيوم .

وتترتب الخلايا التي تتكون الخشب الثانوي في وضعين أحدهما طولي والثاني قطري ، ويشمل الوضع الطولي الألياف والقصبات والقصيبات وبرنشيمة الخشب وهذه يوازي محورها الطولي المحور الطولي للحزم أو الاسطوانة التي تظهر بها . أما الوضع القطري فيشمل أشعة الخشب البرنشيمية ويكون محورها الطولي على زوايا قائمة من المحور الطولي للاسطوانة الوعائية .

ويكون الخشب الثانوي كتلة كبيرة في النباتات الخشبية وتقوم عناصره الناقلة بنقل الماء وبعض الأملاح المعدنية ، كما تزود مع الألياف المجموع الخضري بقوة ميكانيكية ، أما الخلايا البرنشيمية فتكون موضعاً دائماً لتخزين المواد الغذائية كالنشأ وبعض السكريات وغيرها من المواد الأخرى . كما أنه ذو أهمية اقتصادية كبيرة فيدخل في معظم الصناعات وخصوصاً في صناعة كثير من أنواع الورق ، ويصنع ورق الجرائد عادة من الخشب الثانوي لنباتات معراة البذور أما ورق النشاف فمن مظافة البذور .

وتتكون العناصر الناقلة للماء في الخشب الثانوي لنباتات معراة البذور من القصيبات ذات النقر المضفوفة ، وهي أكثر عدداً على الجدر القطرية منها على الجدر النمسية وتظهر عادة في المواضع التي تتلاصق فيها القصيبات مع بعضها، أما اذا تقاطع معها برنشيمة الخشب أو أشعة الخشب فتكون في هذه الحالة النقر نصف المضفوفة . أما الأوعية فتوجد في الخشب الثانوي لنباتات مظافة البذور ولا توجد في معراة البذور إلا في النباتات النابتة لرتبة Gnetales . ويكمل تكوين الأوعية في الخشب الثانوي وتكون خلاياها قصيرة عادة كما يرى على جدرها الجانبية عدد من النقر المضفوفة .

وتتكون القصيبات التي تكشف من الكيوم أثناء فصل الربيع *Spring Tracheides* من خلايا مستطيلة ذات فراغ داخلي كثير الاتساع وجدر طرفية مستديرة كما ترتب النقر المصفوفة على جدرها القطرية في صف واحد أو في صفين . وقد تظهر بها مجاميع من نقر نصف مصفوفة ذات فوهات متسعة وتبين مواضع اتصالها بالخلايا البرنشيمية ، وقد ترى بها أيضا نقر أثرية تبين موضع التصاق الجدار بالألياف . أما القصيبات التي تنشأ من الكيوم أثناء الصيف *Summer Tracheides* فهي أكثر طولاً وذات فراغ داخلي ضيق وأطراف مدببة أو حادة ، وتظهر النقر المصفوفة بها أصغر حجماً مما في قصيبات الربيع وتوجد عادة على الجدر التماسية .

٢ - الوظائف الخاصة بالقصبات والقصيبات

كان علماء النبات فيما مضى يظنون أن القصبات والقصيبات تخدم في عمليات التنفس غير أنه من المقطوع به الآن ومما لا شك فيه أنها عبارة عن الأعضاء الناقلة للماء في النبات . وقد بنيت هذه القاعدة حديثاً على محتوياتها في الفصول المختلفة ، وأوقات اليوم المتباينة وقد ذكر *Volken* أن الأوعية في النباتات العشبية لا تحتوى إلا على الماء في ساعات النهار الأولى أما في الساعات المتبقية من اليوم فإن الهواء يحل محل جزء من هذا الماء . وفي أعضاء بعض الأشجار مثل *Prunus* أو *Platanus* تحتوى الأوعية على كمية من الماء حتى في أشد أيام الصيف حرارة وعلى ارتفاع قد يصل إلى ٤٠ قدماً من سطح التربة . وفي حالة الأوراق التي تنشط بها عملية النتح لوقت ما تحتوى الأوعية والقصيبات الموجودة في اتصالها عادة على عواميد قصيرة من الماء يتخللها فقاعات الهواء ، وقد تحتوى في حالات قليلة على الهواء أو الماء فقط ، أما القصيبات التي تتكون منها نهايات الحزم الورقية فلا تحتوى إلا على الماء . وقد لاحظ كل من *Schwendener* و *Strasburger* مثل ذلك في كل من الأفرع السميكة والجذوع السكيرية ، ويرى *ستراسبرجر* أن كل القصيبات والأوعية تحتوى على فقاعات الهواء كما تحتوى على الماء غير أن قنوات الماء الخارجية التي يجري فيها أكبر جزء من التيار التنحي تحتوى دائماً على نسبة ضئيلة من الهواء . وفي حالة وجود كل من القصبات

والقصيات تحتوى الأولى ذات الفراغات المتسعة على كمية أكبر من الهواء ، وفي حالة وجود الأوعية وحدها كما فى خشب جنس كل من *Ficus* و *Acacia* و *Salix* فإنها لا تحتوى على الكثير منه ، وبالمثل فإن أوعية البروتوزيم فى الجذور تحتوى على القليل من فقاعات الهواء . ويقول R. Hartig إن العناصر الناقلة للماء فى الاسطوانة الخشبية تحتوى على كل من العصارة والهواء فى مختلف فصول السنة .

ويجربى التيار النهى عادة فى فراغات كل من القصبات والقصيات ، وليس كما كان يظن فيما قبل كل من Sachs و Unger على الجدر الملجئة لهذه الخلايا ، وتكون هذه جهازاً متصلاً فى كل جزء من أجزاء النبات من الجذيرات الدقيقة الى أطراف الأوراق . وتمتاز الأنابيب الناقلة للماء بما يأتى :

(أ) احتواؤها عادة على كل من الهواء والماء وتختلف كمية كل منهما باختلاف الفصول وأوقات اليوم المتباينة .

(ب) يختلف ضغط الهواء بها إلا أنه كثير الانخفاض .

(ج) يتأثر دخول الماء فى كل من القصبات والقصيات تبعاً للقوى الازموزية الموجودة فى المجموع الجذرى .

(د) يرجع الانتقال الجزئى للماء بها الى الامتصاص الازموزى المتكون فى النسيج الميزوفلى .

(هـ) يمود وجود الهواء بها الى سرعة انتقال الماء وخصوصاً فى الأوعية .

(و) تخدم كل من القصبات والقصيات كأنابيب ناقلة للماء كما تنتقل المياه خلال فراغاتها .

وفى النباتات العشبية يكفل الضغط الجذرى بقاء الجهاز الناقل من الجذور الى أطراف الأوراق ممتلئاً بالماء ، أما فى حالة الأشجار المرتفعة فتختلف وتباين القوى الميكانيكية التى تسبب رفع وصعود الكميات الكبيرة من الماء الى مثل هذه الارتفاعات . وتقسم فقاعات الهواء مجرى الماء الذى تعترضه الى عدة قنوات متشابكة ، كما تلحق مقاومة أثناء

مرورها خلال الحواجز العرضية المتتالية تزداد في حالة القصيات بالنسبة للزيادة في عددها وعلاوة على صعود العصارة ككتلة واحدة فإن الماء يتحرك أيضاً حول هذه الفقاعات مكوناً غشاء رقيقاً بينها وبين جدار الأنبوبة الناقلة . وتعتبر خلايا برنشيمة الخشب الحية الملاصقة للقصبات والقصيات وأحياناً خلايا الأشعة النخاعية كمضخات دقيقة ماصة وضاغطة تسحب الماء بالنسبة لنشاطها الأزموزي وتدفعه الى أعلى . ولا يخفى ما تقوم به النقر المضفوفة حيث تزيد من مساحة الأسطح القابلة للانتشار دون أن تؤثر على قوة الجدر الموجودة بها ، ويجمع تكوينها الخاص ما بين الحاجة الميكانيكية للأنايب الناقلة من جهة وعمليات الانتقال من جهة أخرى ، كما تقوم السرة المتكونة وسط غشاء النقرة والغير قابلة لنفاذ الماء ولا الهواء هي والغشاء المرن الموجودة عليه بتنظيم الضغط والانتقال بين الخلايا المتجاورة . ويعتبر ستراسبرجر أن هذه النقر تمثل قوة ميكانيكية تمنع نقص الامتداد الذي ينشأ في القناة المائية الفارغة بسبب دخول الهواء حتى يصبح الماءها كلياً . وعلى أي الأحوال فلا الجاذبية الشعرية ولا الضغط الجوي وكذا الضغط الجذري بكافية لرفع الماء الى قم الأشجار المرتمعة ، كما يجب ألا يظن أن تحرك الماء يرجع الى الضغط الأزموزي فقط أو الى وجوده في هيئة بخار مائي . ويعتمد ارتفاع العصارة الى حد كبير على عملية النتح التي تمتاز بقوة أزموزية ماصة كبيرة ، ويعتبر *Westermaier* و *Junse* و *Godlewski* أن عملية صعود العصارة حيوية أكثر منها فسيولوجية .

وتفترق القصبات عن القصيات في أن الأولى تقوم بنقل الماء الى مسافات بعيدة كما في السوق بينما تقوم الثانية بنقله موضعياً كما في الأوراق ، لذلك تعتبر الأوعية قنوات رئيسية بالنسبة لطولها واتساعها . غير أن القصيات قد يزداد طولها في بعض الحالات الشاذة كما في سوق وأعناق أوراق جنس *Musa* و *Canna* و *Nelumbium* ، كما يتكون النسيج الناقل للماء في النباتات الحززية القائمة *Mosses* من القصيات وكذلك في النباتات التيريدية ماعداً بعضاً منها مثل *Pteris aquilina* . ولا توجد الأوعية في النباتات الخروطية لافي حزمها الابتدائية ولا في اسطواناتها الخشبية الثانوية ، ولو أنها تعتبر

الأنابيب الوجيهة الناقلة للماء في الخشب الثانوى لنباتات ذات الفلقتين كما في جنسى *Salix* و *Ficus* وبعض نباتات العائلة البقلية .

ويختلف تكوين الأنابيب الناقلة للماء بالنسبة لاختلاف حاجة النبات ونشاط عملية التفتح ، كما يؤثر حجم وعدد الأوراق الخضراء وحالة الجو الموجود به النبات وكذا البيئة والحالة التى يتكون بها جسم النبات على تكوين القنوات الناقلة للماء كمية ونوعا .

وتتكون الأوعية ذات التغليف الحلقى والحلزونى فى معظم النباتات المغمورة فى الماء فى الأعضاء الحديثة النمو ولكنها سرعان ما تختفى تماما ويحل محلها قناة الخشب X.Canal . وتبقى الأوعية فى نباتات *Potamogeton* و *Zannichellia* و *Althenia* و *Cymodocea* فى مواضع العقد ، أما فى نبات *Elodea canadensis* فيتكون وعاء واحد أو وطاءان ولكنها تختفى كلية حتى من مواضع العقد اذا ما ابتداء الساق فى الاستطالة ، كما لا تتكون الأوعية فى نبات *Ceratophyllum* إطلاقا . ويجب أن يلاحظ أن هذا الاختزال فى تكوين الأوعية لا يشمل الأنسجة الناقلة للمواد البروتينية حيث أنها لا تتأثر بطبيعة الوسط الموجود به النبات . ويزداد اتساع الأوعية فى سوق النباتات المتلفة والمتسلفة بمقدار ستة أضعاف مثيلاتها فى سوق النباتات القائمة لنفس الجنس حتى انه يمكن مشاهدتها بالعين المجردة . وتكون أوعية الأفرع الحديثة عادة أقل اتساعا من مثيلاتها الموجودة فى الأفرع المسنة ، وربما يرجع ذلك إلى أن المسافة التى سينتقل الماء خلالها فى الحالة الأولى أقصر مما هى فى الحالة الثانية . وقد تختلف الأوعية من حيث عددها واتساعها فى الأعضاء المختلفة للنبات الواحد كما فى حالة كل من السوق المحلاقية والعادية لنبات العنب *Vitis vinifera* .

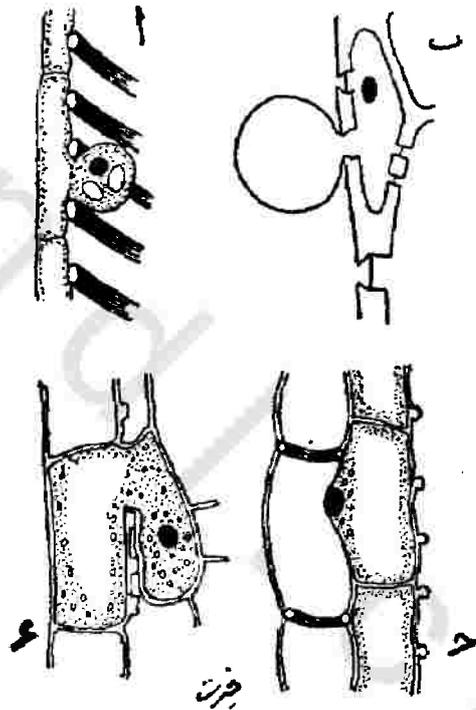
٣ — الحوصلات التيلوزية Tyloses

قد يبرز داخل فراغات العناصر الناقلة للماء امتدادات شبه حوصلية على مسافات متباعدة أو متقاربة من بعضها تنتج من الخلايا البرنشيمية المجاورة لها ، وأول من درس تكوين هذه الحوصلات وأسمها بهذا الاسم هو *Hermine Von Reichenbach* . وهى تنشأ عادة فى النقر النصف مضفوفة أو ذات الجانب الواحد حيث تمتد أغشية النقر بهذا الشكل

الحوصلي داخل فراغات الأوعية ، كما تتكون في الأوعية ذات التعايط الحلقي أو الحلزوني من المساحات الغير مغلظة للغشاء الرقيق الموجود بين كل حلقتين أو لفتين متاليتين للأشرطة المغلظة (شكل ٥٧) ، كما قد يتكون عدد من هذه الحوصلات من خلية برنشيمية واحدة . وهذه الحوصلات ذات جدر رقيقة بها عدد من القعر البسيطة كما تحتوي عادة على السيتوبلازم والعصير الخلوي وقد تشمل أيضاً على النواة التي تندفع اليها من الخلية المكونة لها . وقد وجد ريكنباخ كما لاحظ Molisch أنها قد تفصل عن خليتها الأمية بحاجر رقيق كما في *Cuspidaria pterocarpa* و *Robinia* . وقد شاهد Winkler نوعاً منها عديد الخلايا يشبه الشعيرات كما في *Jacquemontia violacea* ، وهي في مثل هذه

الحالات لا تمثل خلايا مستقلة بل تتبع الخلايا البرنشيمية المكونة منها .

ويقوم هذا النوع من الحوصلات التيلوزية بوظائف مختلفة ، فهي تظهر في الأفرع أسفل المواضع التي قشرت أو الاطراف التي قطعت ، في عدد كبير منبسط الشكل بالنسبة للضغط الواقع عليها حيث تسد مساحة كبيرة من فراغات الأوعية الناقلة التي قطعت . ويزيد النوع المتفرع منها الذي يرى في *Piratinera guianensis* و *Mespilodaphne sassafras* من القوة الميكانيكية للخشب الصمغي . وتعتبر الحوصلات التيلوزية بالنسبة لاحتوائها على حبيبات النشا (مشابهة في ذلك الخلايا التي تنشأ منها) مواضعاً مخزنة للمواد السكرية بوايدراتية .



(شكل ٥٧)

(ا) حوصلة تيلوزية صغيرة متكونة في وعاء ذو تغليظ حلزوني . (ب) حوصلة في وعاء ذو قعر . (ج) حوصلة مبتدئة في التكوين في وعاء ذو تغليظ حلقي . (د) حوصلة كبيرة في طور متأخر ، (عن هابرلاندت)

وتحتوي هذه الحوصلات في ريزومات نبات *Aristolochia clematidis* و *A. serpentaria* على كثير من النشا وقت الشتاء حتى ان الأوعية تظهر من الداخل مندرجة بهذه المواد المخزنة إلى مسافات بعيدة منها . وقد تتكون هذه الحوصلات بأحجام لا تكفي لأن تلامس إحداهما الأخرى وتساعد في هذه الحالة في عملية الانتقال حيث تزيد من مساحة مسطح التلامس بين الأوعية والخلايا البرنشيمية المجاورة لها . كما قد تسبب سرعة الضغط الارتشاحي في الأوعية ، وقد تفرز أيضا السكر في فراغات الخلايا أو تمتص بعض محتوياتها مشابهة في ذلك المصحات . ويستمر تكوين هذه الحوصلات مدة طويلة في الأوعية التي تعيش لمدة سنوات فاذا ما فقدت الأولى في التكوين وظيفتها تدريجيا يتكون خلفها ليحل محلها .



رسم فونوغرافي حوصلات تيلوزية ، بين حوصلتين بالتين في نبات *Aesculus octandra* X ٦٨٠
وعدة حوصلات حديثة في أحد أوعية نبات *Quercus lobata* (عن GERRY)

ثانياً — انتقال المواد المرنة

تبدأ أولى خطوات تكشف الجهاز الناقل بتكوين قنوات منفصلة لنقل الماء والمواد المرنة ، ويعقب ذلك التخصص في تقسيم عمل كل منها حيث تكون كل مجموعة من المركبات القابلة والغير قابلة للانتشار نسيجاً ناقلاً مستقلاً . وتمثل المركبات القابلة للانتشار في المواد الكاربوايدراتية الذائبة والاسبرجين (نانج من انحلال البروتينات) وغير ذلك من الاميدات . أما المواد الصعبة الانتشار فأهمها البروتينات المختلفة ، وتنتقل في النباتات الرقيقة في الأنايب الغرابلية كما قد تنتقل لحد ما في برنشيمة اللحاء . ويقول Treub إن حامض الهيدروسيانيك في نبات *Pangium edule* وهو أول المركبات الآزوتية الكيائية الناتجة ينتقل في نفس الأنايب التي تنتقل بها المركبات البروتينية .

١ — البرنشيمة الناقلة Conducting Parenchyma

تكون هذه الخلايا عدة أنواع من الأنسجة الناقلة تقوم كلها بوظائف متشابهة ، فالأغلفة البرنشيمية للحزم الوعائية والخلايا البرنشيمية التي تحيط بمناطق العروق في اتصال الأوراق ، والقشرة البرنشيمية في السوق والأعناق والخلايا البرنشيمية بكل من اللحاء والخشب الابتدائي تعتبر جميعها من الوجهة الفسيولوجية كنسيج واحد يقوم عادة بنقل المواد المرنة الغير آزوتية وأحياناً المواد الكاربوايدراتية (الهكسوز والنشا المحول) . وتتكون البرنشيمة الناقلة من خلايا رقيقة الجدر قد تقل أو تزداد استطاتها ، كما قد تتلجن جدرها إذا وجدت مع الخشب ، وتحتوى على البروتوبلاست الحى ، وتزود جدرها العرضية عادة بالنقر البسيطة لتسهيل عملية الانتشار . وفي أوراق نباتات ذات الفلقتين تمتد خلايا أغلفة الحزم في هيئة أفرع بين العناصر المجاورة للنسيج المتوسط أو الخلايا البرنشيمية الإسفنجية . وتحتوى خلايا البرنشيمة الناقلة علاوة على البروتوبلاست ، على عدة أنواع من السكريات ذائبة في العصير الحلوى ، أو على حبيبات دقيقة من النشا المحول . وقد تحتوى هذه الخلايا أحياناً على الكلوروبلاستيدات غير أن نشاط تمثيلها الضوئى

يكون ضعيفاً بالنسبة لوظيفتها الأساسية الناقلة ، كما تقوم بعملية التخزين في فصل السكون ، وفي الواقع أنه كلما قلت عمليات الانتقال أصبح التخزين وظيفة أساسية لهذا النوع من الخلايا .

٢ - برنشيمة اللحاء (Leptome Parenchyma (Cambiform Cells)

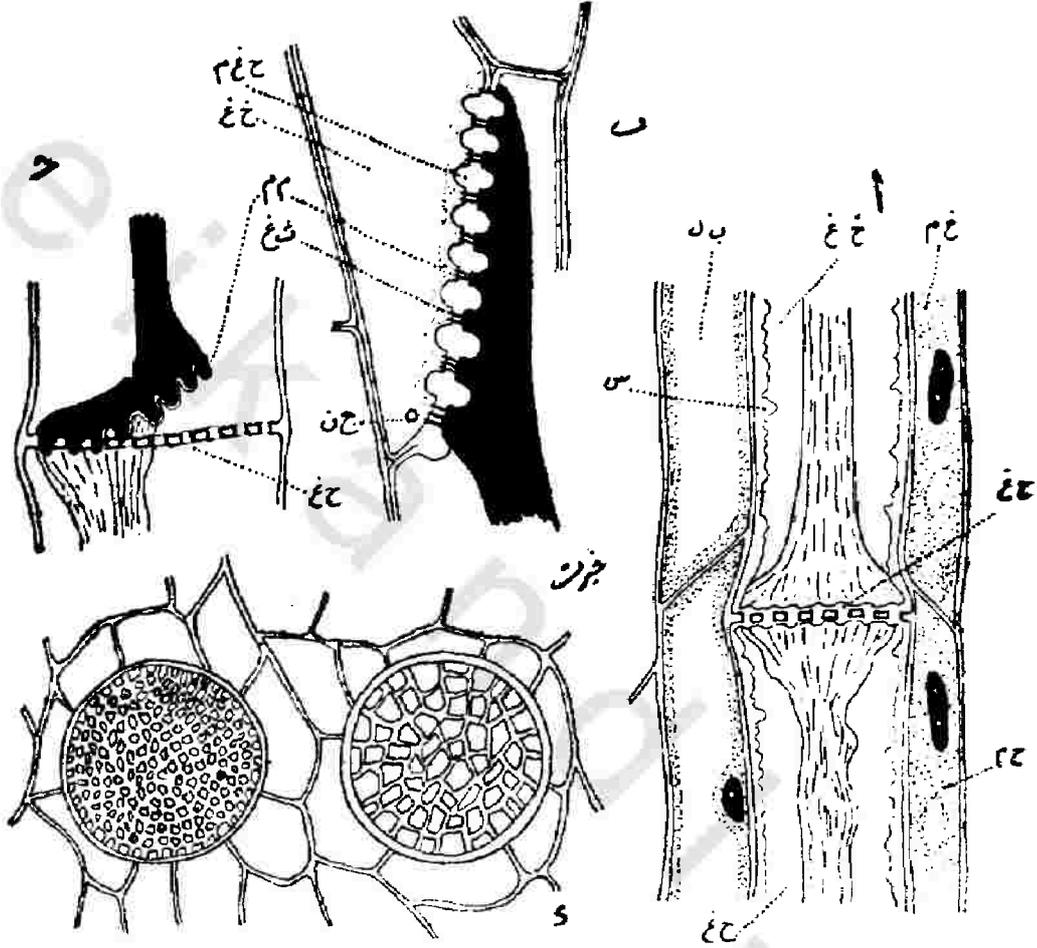
وهي خلايا مستطيلة الشكل رقيقة الجدر تكون مدية عند أحد طرفيها أو متخذة شكلاً بروزنشيمياً وتحتوى على البروتوبلاست (شكل ٥٨ - ١) ، وهي تقارب في شكلها عناصر السكبيوم أو البروكبيوم ولذلك سميت Cambiform Cells . وتزود بالنقر التي يكثر عددها على الجدر الطرفية كما توجد أيضاً على جدرها الجانبية مما يدل على تبادل المواد بين برنشيمة اللحاء من جهة وبين البرنشيمة الناقلة والخلايا المرافقة من جهة أخرى . وقد تنقسم هذه الخلايا أحياناً الى قسمين أو ثلاثة أقسام بجدر عرضية ثانوية ، وتكون في هذه الحالة ذات علاقة بالأطوار الوسطية للبرنشيمة الناقلة الغير بروزنشيمية . وتقوم هذه الخلايا بنقل المركبات البروتينية القابلة للانتشار الى مسافات بعيدة ، كما يقوم هذا النسيج بنقل المركبات البروتينية من وإلى الأنايب الغربالية . وتشابه برنشيمة اللحاء البرنشيمة الناقلة في تركيبها ، كما قد تقوم أيضاً بنقل المواد السكر بوايدراتية .

٣ - الأنايب الغربالية والخلايا المرافقة

Sieve Tubes and Companion Cells

تتكون الأنايب الغربالية من اتحاد صفوف من الخلايا المستطيلة طولياً . ويختلف طول الخلية الغربالية التامة التكوين ، فأكثرها طولاً واتساعاً يرى في النباتات المتسلقة حيث يصل طولها إلى ٢ مم واتساع أفطارها من ٠.٢ مم إلى ٠.٨ مم . وتتكون الحواجز التي تفصل كل أنبوبة عن الأخرى أفقية تماماً في اللحاء الابتدائي ، وذات وضع مائل في اللحاء الثانوي لنباتات ذات الفلقتين وممرأة البذور . وتحمل الحواجز الغربالية Sieve Plates محل الجدر الفاصلة بين الخلايا وتمثل محور الأغشية الفاصلة الى شكل نقر كبيرة عن الحجم المعتاد . وإذا كان الجدار الفاصل أفقياً أو مائلاً نوماً فإنه يتكون عادة من حاجز غربالي واحد ما عدا منطقة حافية ضيقة

(شكل ٥٨ -- ١، و) ، أما إذا كان مائل الوضع كثيراً فتوى به عدة حواجز
غريالية متتالية يفصلها عن بعضها أشرطة غشائية ضيقة غير متقوية (شكل ٥٨ - ب) ،



(شكل ٥٨)

- (١) ق . ط . في أنبوبة غريالية وخلايا مرافقة ورنشيمة اللحاء ، في لحاء نبات القرع
× ٥٤٠ . (ب) ق . ط . في جزء اللحاء الثانوى لساق الفنب × ٦٠٠ .
(ج) ق . ط . في أنبوبة غريالية كبيرة بصد معامتها بالكحول واليود × ٣٧٥ .
(د) ق . ع . في جزء من شريط لحائى يظهر به حاجزين غريالين في منظر سطحي
يشغلان كل مساحة الجدار الفاصل بين الخلايا الغريالية ، كما أن الثقوب الغريالية في أحدهما
أكثر اتساعاً مما في الآخر × ٣٧٥ . خ غ = خلية غريالية ، ح غ = حاجز غريالى ،
س = سيتوبلازم ، خ م = خلية مرافقة ، ب ل = رنشيمة اللحاء ، ح خ = حاجز
غريالى مائل ، ح ن = حبيبة نشا ، م م = محتويات متقلصة (بالنسبة لتأثير الكحول) ،
ث غ = ثقوب غريالية ، (ا عن ستراسبرجر — ب ، هـ ، و عن دى بارى)

كما قد تظهر الحواجز الغרבالية على الجدر الجانبية للأنايب الغربالية التي تلاصق أنايباً غربالية أخرى . ويتغلظ كل حاجز غربالى جزئياً بطريقة خاصة في أجزاء مختلفة منه تكون شكلاً شبكياً ، أما الأماكن الغيرمغلظة منه فتسمى بالحقول الغربالية Sieve Fields . وهذه يمر خلالها ، في نباتات معراة البذور ، خيوط سيتوبلازمية Plasmodesma تتحول أخيراً الى ما يسمى Slime Strings . أما في نباتات مغطاة البذور فنزول المناطق من النشاء التي تقابل الحقول الغربالية تماماً وبذلك تتخلل الحواجز الغربالية ثقبوب متزاخمة مستديرة أو مضلعة الشكل (شكل ٥٨ - s) ، تمر خلالها أشرطة فردية بروتوبلازمية .

وتشبه الأنايب الغربالية في نباتات معراة البذور القصبيات في شكلها ، أما في نباتات مغطاة البذور فتكون قريبة الشبه من الأوعية . وقد لا يزيد أصغر الثقبوب الغربالية في اتساعه عن النقر البسيطة ، وقد تصل أقطارها في جنسى *Cucurbita* و *Lagenaria* الى ٥ ميكرون . وتغطي الحواجز الغربالية أخيراً بمادة أسمائها Hanstein بالكالوس Callus ، وتتكون هذه السدادات الكالوسية من مادة كربوايدراتية تسمى بالكالوز Callose ، لا تذوب في أكسيد النحاس النشادرى ولكنها تذوب في محلول بارد ١٪ من البوتاسا والصودا السكاوية ، كما أنها تصطبغ باللون البنى المحمر عند معاملتها بكلور الزنك اليودى وبلون أزرق فأخ مع أزرق الأنيلين . وعلاوة على تغطية الكالوس لسطحى الحاجز الغربالى فإنه يمتد أيضاً على جدر الثقبوب الغربالية ، ولما كان مكوناً من مادة قابلة للذوبان فإن الفتحات المسدودة به قد تفتح ثانية في طور متأخر . ويقول Wilhelm ان الكالوس في حالات كثيرة يقوم بتنظيم اتساع الثقبوب الغربالية تبعاً لمرونة المواد المتقلة . وهو يتكون في زمن الشتاء بحيث يسد الثقبوب الغربالية تماماً تبعاً للنقص في المواد التي تمر بالأنايب الغربالية ، أما في زمن الربيع فتفتح هذه الثقبوب مرة أخرى بالنسبة لذوبان السدادات الكالوسية ، كما في حالة جنس *Vitis* وعدة نباتات خشبية أخرى من ذات الفلقتين ، وكذا كثير من ريزومات نباتات ذات الفلقة الواحدة . وقد يتكون الكالوس في معظم النباتات نتيجة للانفصال الدائم للثقبوب الغربالية كما في حالة الأنايب الغربالية المتقدمة في السن والتي فقدت نشاطها .

وتزود كل خلية غربالية في الأنابيب الغربالية الحديثة قبل أن تتكون الثقوب على حواجزها الفاصلة بطبقة بروتوبلازمية داخلية ذات نواة كبيرة ، بينما تمتلئ الفجوة العصارية بسائل مائي ، ثم يظهر بعد ذلك في البروتوبلازم عدد من الكرات اللزجة المتكونة من مادة بروتينية . وتذوب هذه الكتل اللزجة في نباتات العائلة القرعية قبل تمام تكوين الأنابيب الغربالية ، غير أنها تبقى بصفة دائمة في عدة نباتات أخرى . ويقول ستراسبرجر ان المواد البروتينية اللزجة الموجودة في الأنابيب الغربالية لنبات *Robinia pseudacacia* وغيره من نباتات العائلة البقلية تتجمع في هيئة كتلة كبيرة إهليلجية تتعلق قرب وسط الأنبوبة بنحويط دقيقة يتجه كل منها نحو الحواجز الغربالية الطرفية . وتمتد الطبقة البروتوبلازمية في الأنابيب الغربالية البالقة على جدر الثقوب وبذلك يتصل البروتوبلازم في كل الخلايا الغربالية ، أما النواة فأنها تختفي بينما تكون الأنبوبة الغربالية مستمرة في تكوينها . ويحتوى السيتوبلازم عادة على البلاستيدات العديمة اللون مع حبيبات النشا، وهذه تتلون بلون أحمر خمرى عند معاملتها باليود . وتمتلئ الفجوات العصارية في الأنابيب النامية التكوين بمحلول رائق يقل أو يزيد تركيز المركبات البروتينية به ، ويكون لزجا عادة في نباتات العائلة القرعية . ومن الصعب معرفة توزيع المواد البروتينية في الأنبوبة الغربالية إلا اذا وضع العضو المراد فحصه في ماء مغلى قبل عمل القطاعات به فيلاحظ أن المواد الأليومينية اللزجة المتجمدة قد انتظم توزيعها في كل خلية غربالية كما تمتد أيضاً خلال الثقوب الغربالية (شكل ٥٨ - ح) . وتظهر الأنابيب الغربالية فارغة في حالة تحضير القطاعات من السوق الحية ، أما محتوياتها فتتجمع في هيئة كتلة لزجة تلتصق كل حاجز غربالى في هيئة قرص رقيق أو سدادة سميكة . وتكون درجة تركيز المحلول البروتينى في الأنابيب الغربالية ضعيفة عادة وبذا يتجمد عند الغلى . والجدر الأنبوية للأنابيب الغربالية سليبوزية عادة ، بعكس الاوعية ، ويقول Wilson إنها قد تكون ملجنتة في بعض النباتات العشبية .

وتوجد الانابيب الغربالية في المجاميع اللحائية في سوق معظم النباتات الحززية من نوع Mosses الاكثر رقياً والمسماة POLYTRICHACEAE . غير أنها لا تكون

أ نموذجية كما لا توجد بها مادة الكالوس ، وقد ترى بها ثقبوغ غربالية دقيقة . أما الحواجز
الغربالية في النباتات التيريدية فتشبه ثقبوغها الثقبوغ البسيطة ، وفي نباتات معراة البذور تكون
الثقبوغ الغربالية دقيقة جداً .

ويعتقد Nägeli أن الأنايب الغربالية تخدم في انتقال المواد المرنة القليلة الانتشار
وخصوصاً المركبات البروتينية . ويقول Czapek أنها تقوم بنقل المواد الكاربوايدراتية
فهي لذلك مسؤولة عن انتقال نسبة كبيرة من المواد المرنة الغير آزوتية . ويرى
Schimper أن المواد الكاربوايدراتية تنتقل رئيسياً في البرنشيمة الناقلة . وإذا كانت
الثقبوغ الموجودة في الحواجز الغربالية ضيقة جداً فإن الضغط الموجود في الأنايب الغربالية
لا يكون كافياً لإجبار البروتوبلازم على المرور فيها ، وفي هذه الحالة يمر منها فقط محلول
من مركبات بروتينية ذو طبيعة مائية . وإذا كان المحلول لزجاً كما في العائلة القرعية كانت
الثقبوغ الغربالية متسعة . وتعود وظيفة انتقال المواد البروتينية بواسطة الأنايب الغربالية
إلى وضعها في جسم النبات ، فهي مثل القصبات تنظم في أشربة متصلة تمر خلال
كل الاعضاء التي يجب أن تزود بالمركبات البروتينية ، كما توجد في النسيج الميزوفللي
للأوراق الذي يعتبر مركزاً لنشاط التركيب الكيماوي للبروتين .

ومما لا ريب فيه أن مجموع مساحة القطاع العرضي لأشربة اللحاء في العضو المعين يكون
مقياساً للعدد الكلي للأنايب الغربالية ، كما يدل على مقدار المواد البروتينية التي تمر بها ،
ومثال ذلك أنه بمقارنة ما هو موجود منها في أحد محاليق نبات العنب إلى ما هو موجود
في أحد الأفرع العادية لكنت أكثر تكويناً في الفرع الأخير . وكذا الحال بالنسبة لباقي
أعضاء النبات ، فإذا ازدادت الحاجة للمركبات البروتينية كبر حجم أشربة اللحاء .
وتزداد مساحة أقطار الأنايب الغربالية ، ويكثر عددها في جذر جرات النباتات آكلة
وهاضمة الحشرات مثل *Nepenthes* ، كما تختلف الأنايب الغربالية تبعاً لاختلاف
النباتات وتباين حاجاتها كما في النباتات المتسلقة حيث تكون ثقبوغ حواجزها الغربالية زائدة
الاتساع ، مثل *Cucurbita pepo* و *Vitis vinifera* و *Lagenaria vulgaris* .

وترى الأنايب الغربالية التامة التكوين في *Clematis vitalba* و *Humulus lupulus* و *Tamus communis* و جنس *Serjania* و نباتات العائلة PASSIFLORACEAE .
وتكون أشربة اللحاء في سوق وأفرع نباتات ذات الفلقتين خارجياً من الكميوم ،
فاذا أزيلت هذه الحلقة الخارجية تكون عدد قليل من الجذور المرضية أسفل المنطقة
المنفصلة مباشرة ، أما المنطقة التي تعلوها فانها تنتفخ تبعاً لتكون كتلة كبيرة من نسيج
كاللوسى يعطى عدداً كبيراً من الجذور الطويلة، مما يدل على أن المركبات البروتينية اللازمة
لتكوين الجذور تمر بكيفية كبيرة في الأنايب الغربالية وبكيفية ملحوظة في برنشيمة اللحاء .
وقد وجد Hanstein أن عملية « التحليق » هذه لا تمنع مرور المركبات البروتينية
بالنسبة لوجود أشربة إضافية لحائية في النخاع كما في نباتات العائلات CUCURBITACEAE و
PIPERACEAE و SOLANACEAE .

ويلوح أن انتقال المركبات البروتينية في الأنايب الغربالية يعود الى ضغط نسبي
بسبب مرور هذه المركبات نحو الجهة الأقل مقاومة ، وقد يرجع ذلك الى الصفات
الأزموزية للمحتويات السائلة أو الى انضغاط الأنايب الغربالية المتسبب عن زيادة اتفاخ
الأنسجة المجاورة لها كبرنشيمة اللحاء والخلايا المرافقة . واذا كان للأنايب الغربالية
القدرة على إحداث الضغط الاتفاخي معتمدة في ذلك على نفسها فانها يعود ذلك
الى وجود الطبقة الداخلية السطحية السيتوبلازمية أى الغشاء البروتوبلازمي .

أما المواد النشوية التي تحتوى عليها الأنايب الغربالية فلم يلاحظ انتقالها . ويقول
ستراسبرجر إن وجود النشا يتعلق بتكوين الكاللوس ، فعندما يزداد تكوينه يختفي
النشا . وعلاوة على وجود البروتين والنشا تحتوى الأنايب الغربالية على عدة أنواع
من السكريات ، ولذلك فهي تقوم الى حد ما بنقل المواد الكربوهيدراتية ولو ان أكبر
كمية منها تمقل عن طريق البرنشيمة الناقلة .

وتتقسم الخلايا الأمية الابتدائية للأنايب الغربالية في نباتات مغطاة البذور عدة
انقسامات ، كما شاهد De Bary وأتم هذه الدراسة Wilhelm وغيره ، ونبقى أكبر

الخلايا المنقسمة لتكون الأنبوبة الغربالية بينما تكون الباقية الضيقة والأصغر حجماً الخلايا المرافقة التي أسماها ولهم Companion Cells ، (شكل ٥٨ — ١) . ويمكن التفرقة بسهولة بينها وبين برنشيمة اللحاء العادية بالنسبة لضيق فراغها الداخلي ووفرة وجود البروتوبلازم وكبر حجم النواة، كما تظهر في قطاعها العرضي مضلعة رباعية أو ثلاثية الشكل أو مستديرة أو مستطيلة . ويشتمل عادة الجدار الذي يفصل بين الأنبوبة الغربالية والخلية المرافقة على عدد كبير من النقر البسيطة تستطيل عرضياً من كل من الجانبين ، أما الجدار التي تفصل بين الأنابيب الغربالية وبرنشيمة اللحاء فلا توجد بها هذه النقر . وتمتد كل خلية مرافقة الى جوار الخلية الغربالية الى نحو ثلث طولها أو قد تماثلها في الطول .

وتترتب الخلايا المرافقة في نباتات ذات الفلقة الواحدة وكذا في الاشرطة اللحائية في بعض نباتات ذات الفلقتين في مجاميع متصلة ، ولا يشاهد هذا الوضع تماماً في معظم نباتات ذات الفلقتين وخصوصاً في اللحاء الثانوي . ونسيج اللحاء الابتدائي ذو تركيب بسيط سرعان ما ينضغط ويتهشم ويصعب تمييزه بسبب تكوين نسيج اللحاء الثانوي الذي يكون في نباتات مغطاة البذور أكثر تعقيداً ، حيث توجد به علاوة على الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة وبرنشيمة اللحاء ، الألياف والاسكليريدز كما تظهر به غالباً الخلايا والقنوات الافرازية . ولا توجد الخلايا المرافقة في نباتات معراة البذور والنباتات التيريدية ويحل محلها صفوف من خلايا برنشيمية ذات محتويات بروتوبلازمية وافرة تكوّن في اللحاء الثانوي لنباتات معراة البذور مجاميعاً من خلايا ألبومينية على مسافات قصيرة مشابهة في ذلك الخلايا المرافقة في نباتات ذات الفلقتين . أما وجه الشبه الفسيولوجي بين هذه الخلايا الألبومينية وبين الخلايا المرافقة فغير معروف تماماً ، وقد تكون ذات قيمة موضعية ، كما قد تتعاون معها في حركة محتوياتها السائلة بالنسبة لعلاقتها التشريحية بالأنابيب الغربالية . ويعتقد Fischer أنها أعضاء خاصة بتركيب البروتين كيمائياً ، كما يرى Sachs أن الأنابيب الغربالية تقوم بوظيفة مماثلة .

٤ — الأنايب أو الخلايا اللبنة Latex Tubes or Laticiferous Elements

تعتبر الأنايب الغربالية وبرنشيمة اللحاء والبرنشيمة النافلة في معظم النباتات الراقية كافية لنقل المواد المرنة ، غير أن بعض عائلات نباتات مظلة البذور تمتاز باحتوائها على نسيج إضافي ناقل في شكل خلايا أو أنايب لبنة سميت بهذا الاسم نسبة للمظهر اللبني لمحتوياتها . وهي تتكون عادة من أنايب طويلة متفرعة تتخلل الجذور والسوق والأوراق في اتجاهات شتى ، كما أنها ذات قابلية محدودة لنقل المواد خلالها . والأنايب اللبنة ذات جذر رقيقة ناعمة إلا في جنس *Euphorbia* حيث يصل سمكها من ٠.١ إلى ٠.١٦ سم ، ومع ذلك فهي عادة مرنة وقابلة للامتداد ، ولا توجد النقر بها حتى في الجذر الأكثر سمكاً . وقد لاحظ هابرلاندت أن جذر الأنايب اللبنة التي تلاصق الخلايا المعادية في نبات *Euphorbia lathyris* تظهر بها أحياناً نقر ضيقة ، أما مناطقها الملاصقة للخلايا البرنشيمية الاسفنجية فذات نقر أكبر حجماً يمر خلال ثقب أغشيتها خيوط سيتوبلازمية دقيقة جداً . كما لاحظ Kienitz Gerloff هذه الاتصالات البروتوبلازمية بين الأنايب اللبنة والخلايا البرنشيمية التي تجاورها في نبات *Euphorbia cyparissias* وكذا في جنس *Nerium* .

ويتضح من أبحاث كل من Treub و Emil Schmidt أن الأنايب اللبنة النامية التكوين تحتوي على طبقة داخلية سطحية من البروتوبلازم يتعلق بها عدد كبير من النوايا . وبالنسبة لتكوين الأفرع العديدة وانسداد بعض الأنايب اللبنة بمادة شبه كالوسية (كما في جذر *Scorzonera* وساق *Euphorbia splendens*) يبقى البروتوبلازم الموجود بها محتفظاً بحيويته مدة طويلة .

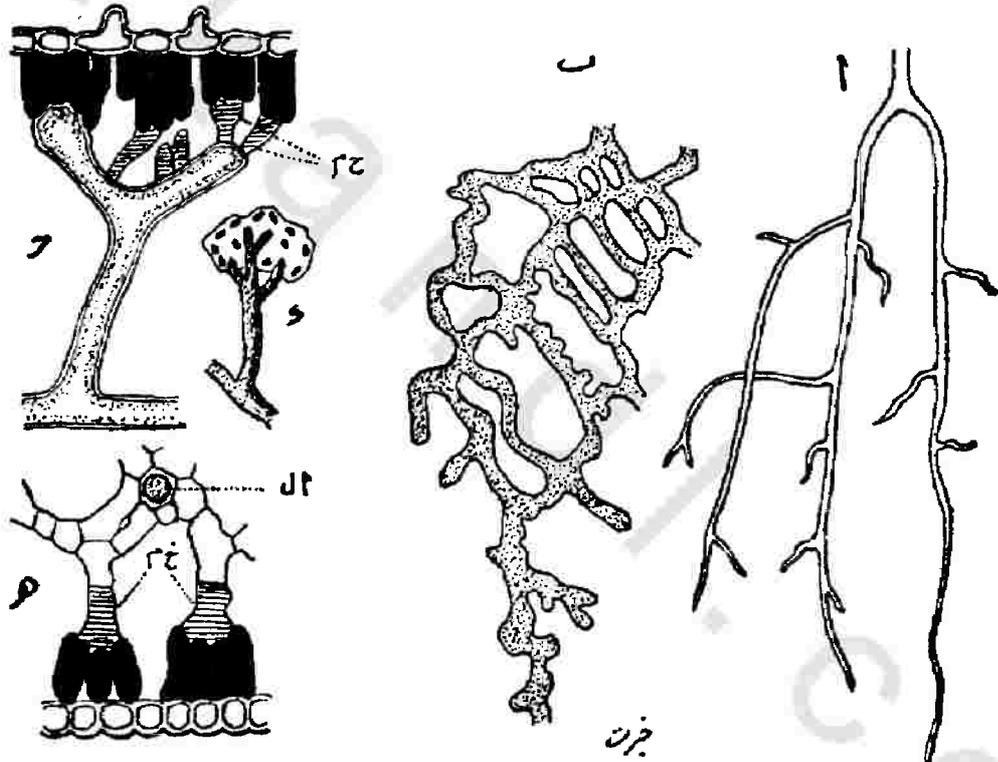
والمادة اللبنة التي تشتمل عليها الأنايب اللبنة عبارة عن سائل أبيض في لون اللبن ، وقد يكون أصفر أباتاً كما في *Argemone* أو ذولون برتقالي كما في *Chelidonium* ، وهي تمثل المصارة الخلوية ويعتبرها كل من Schmidt و Kallen و Molisch و Berthold بروتوبلاستاً سائلاً متحوراً . وتوجد هذه المادة عادة في شكل مستحلب يحتوي على عدد

كثير من الحبيبات والقطرات معلقة في السائل المائي الذي يحتوي بدوره على مواد أخرى ذائبة. وتكون المواد المعلقة من حبيبات من الراتنج ومادة غروية كلوتشوكية وقطرات زيتية وحوصلات تانينية وبللورات بروتينية، كما تحتوي في العائلة اليوفورية على حبيبات نشوية صغيرة. والحبيبات النشوية ذات أشكال خاصة، تكون في نباتات اليوفوريا ذات شكل عصوي أو مغزلي، أما في الأنواع الاستوائية منها فهي منبسطة ذات أطراف ممتدة مشابهة شكل العظام أو Dumb-bells. ويقول Potter إن تكوينها ذو علاقة بالپلاستيدات العديمة اللون كما في حالة حبيبات النشا العادية. وقد وجد Molisch عدداً كبيراً من الحبيبات البروتينية التي تتكون من پلاستيدات خاصة في المادة اللبنة لنبات *Cecropia peltata* و *Brosimum macrocarpum*. أما الجسم الأساسي للماء للمادة اللبنة فقد يحتوي على عدد من المواد الذائبة كالأملح المعدنية مثل أو كسالات الكلسيوم في أنواع اليوفوريا، وأملاح المغنسيوم في *Ficus elastica* وغيرها، والبروتينات، والمواد السكرية، والغروية، والتانين، والمواد القلوية (كالمورفين الموجود في أبو النوم). وتوجد أيضاً الايزيمات المذيبة للبروتينات في المادة اللبنة لعدة نباتات مثل *Carica papaya* و *Ficus carica*.

وتعتبر المادة اللبنة سائلاً غذائياً بالنسبة للكليات الكبيرة من المواد المرنة الموجودة بها، كما أنها تحتوي على مواد ذات طبيعة إنزائية ناتجة من عملية التحول الغذائي. ومن الوجهة المورفولوجية يسهل التمييز بين الأعضاء اللبنة المختلفة المسماة بالأنابيب أو الأوعية اللبنة المفصليّة والأنابيب أو الخلايا اللبنة الغير مفصليّة. ويمتاز بوجود الأوعية اللبنيّة Latex Vessels العائلات CICHORIACEAE و CAMPANULACEAE و PAPAVERACEAE و LOBELIACEAE و PAPAYACEAE، وكذلك كثير من نباتات ARACEAE و MUSACEAE، وجنسى *Manihot* و *Hevea* في العائلة اليوفورية. وهي تنشأ من صفوف من الخلايا المرستيمية زول حواجزها الفاصلة في طور مبكر من تكوينها، وفي جنسى *Musa* و *Chelidonium* تبقى الجدر العرضية ولكنها تكون مثقوبة بثقب واحد كبير أو أكثر. وتظهر مثل هذه الثقوب في كل الحالات على الجدر الطولية إذا ما لامست أنبوبة لبنة أنبوبة أخرى. والأوعية اللبنة

النوذجية ذات أفرع عديدة تمتد في عدة جهات مكونة شكلاً شبكياً (شكل ٥٩ - ب) ،
وتتكون كل من الأفرع الابتدائية والتفرعات الأخرى إما بأتحاد صفوف الخلايا المرستيمية
أو بتكوين نموات جانبية تدفع بين خلايا الأنسجة المحيطة بها .

وتوجد الخلايا اللبنية Latex Cells في معظم نباتات العائلة اليوفورية وكذا
في URTICACEAE و ARTOCARPACEAE و MORACEAE و APOCYNACEAE و
ASCLEPIADACEAE . وتنشأ الأنبوبة اللبنية في هذه الحالة من خلية أمية واحدة
تمتد امتداداً كبيراً كما تشعب كثيراً ، وهي غير متفرعة عادة وقد تفرع أحياناً



(شكل ٥٩)

- (أ) خلية لبنية متفرعة في ورقة حديثة لنبات *Euphorbia myrsinites* $\times 120$ ؛
(ب) أوعية لبنية ذات أفرع متشابكة في قشرة جذر *Scorzonera hispanica* $\times 120$ ؛
(ج) اتصال أفرع الأنابيب اللبنية بالخلايا العادية في نبات *E. myrsinites* $\times 170$ ؛
(د) التصاق الأفرع النهائية بالخلايا العادية $\times 210$ ؛ (هـ) تكتلة الاتصال بين الأفرع
الأنابيب اللبنية والخلايا العادية بواسطة خلايا الجمجمة ، وكذلك في شكل هـ $\times 170$. ال = أنبوبة
لبنية ، خ م = خلية جمجمة ؛ (ا ، ب ، ج ، د ، هـ) عن هارلانديت — ب عن أنجير (

(شكل ٥٩ — ١). ويقول Schwendener ان الخلايا الأمية للاناييب اللبنة يسهل تميزها حتى في الأجنة الصغيرة لنباتات العائلة اليوفورية ، وتظهر هذه الخلايا في الحافة الداخلية لنسيج القشرة الابتدائية في العقدة الأولى الفلقية ، وهي بالنسبة لنشاط نموها الطرفي سرعان ما تكون أناييباً متفرعة . وتمائل هذه الافرع هيفات الفطريات المتطفلة فتدفع نفسها بين الخلايا المجاورة وتمتد نحو القمم النامية لكل من الساق والجذر ، وبذلك يتكون كل الجهاز اللبني في جسم النبات من العدد القليل من هذه الخلايا الذي يتكشف في الجنين . ويقول Chauveaud أن الاناييب اللبنة في حالة تكوين البراعم العرضية تكون أفرعا جديدة من عدة مواقع منها ، ومثل ذلك الاناييب اللبنة الثانوية التي تظهر بين الخلايا الناجمة من انقسام الكميوم . ويقف تكشف هذه الاناييب اللبنة في طور مبكر من تكوين الجنين .

ولما كانت الاناييب اللبنة في الجذور أو السوق أو أعناق الاوراق وأنصافها ذات علاقة فسيولوجية وثيقة بالبرنشيمة الناقلة وأشرطة اللحاء سواء كانت ملاصقة لها أو منغمسة بها ، فإن ذلك يدل على تشابه وظائف كل منها وخصوصاً بالنسبة للتركيب الكيماوي للمادة اللبنة . أما العلاقة التشريحية بينها وبين جهاز التمثيل الضوئي فقد تدل على أنها تقوم بنقل المواد الكربوايدراتية . وقد وجد هابرلاندت أن الاناييب اللبنة المتشعبة يكثر وجودها مباشرة أسفل الطبقات الهادية المتخصصة في عملية التمثيل الضوئي ، وقد تمتد أفرع مستقلة عن الافرع الرئيسية للجهاز اللبني الذي يرافق الحزم الوعائية وتحنى إلى أعلى (شكل ٥٩ — ح) ، وتثبت نفسها بين الخلايا الهادية في وضع يكفل لها الحصول على نتائج عملية التمثيل . وتعمل الافرع النهائية للاناييب اللبنة كمواضع للاتصال بجميع الخلايا الهادية المتقاربة ، كما في *Euphorbia sp.* و *Ficus nitida* و *Hypochoeris radicata* (شكل ٥٩ — د) .
وإذا لم يكن هذا الالتصاق تاماً أكملته الخلايا المجمة القمعية الشكل لتسهل انتقال نتائج عملية التمثيل إلى الاناييب اللبنة (شكل ٥٩ ح ، هـ) . ويشابه هذا الوضع ما سبق

وصفه في اتصال جهاز التمثيل الضوئي بأغلفة الحزم الوعائية البرنشيمية في أوراق النباتات التي لا يوجد بها أنابيب لبنية .

وتختلف نسبة تكوين الانابيب اللبنة في الأوراق بالنسبة لتكوين البرنشيمة الناقلة ، فإذا ما وجدت الأولى بكثرة في النسيج الميزوفللي فإن البرنشيمة الناقلة وخصوصاً أغلفة الحزم تكون مختزلة في تكوينها ، ويحل محلها في مناطق العروق الوسطية من ٦ — ٨ أنابيب لبنية متسعة ذات اتصال مباشر باللحاء كما في *Euphorbia myrsinites* و *E. biglandulosa* . ويرى De Bary أن نشاط الأنابيب اللبنة قديماً على تكوين اللحاء ، فالأنابيب الغربالية في كثير من النباتات اللبنة تكون ضيقة في المادة كما في ASCLEPIADACEAE ، غير أن Kneip لا يتفق مع هذا الرأي .

ويختلف تركيب المادة اللبنة باختلاف أطوار تكوين النبات ، فقد وجد Schullerus في نبات *Euphorbia lathyris* أنها تحتوي أثناء تكوين الجنين على كمية كبيرة من النشا والزيت والمركبات البروتينية والتانين ، أما في مدة سكونه في البذرة الناضجة فتصبح شفاقة وتقل نسبة المواد المرنة بها كما تختفي حبيبات النشا وتقل كميات كل من الزيت والتانين . وتصبح المادة اللبنة في أثناء إنبات البذور مرنة مرة أخرى وتكثر بها الأجسام المعلقة كما تظهر فيها ثانية حبيبات النشا العصوية الشكل بعدد كبير مع ازدياد كمية المواد السابق ذكرها ، وتستعيد المادة اللبنة في النبات البالغ طبيعتها الغذائية طيبة فصل النمو الخضري . وفي فترة السكون أثناء الشتاء تختزن محتوياتها مرة أخرى في السوق فتقل كميات المواد المرنة التي تحتوي عليها وتظهر بها مادة Calcium Maltate ، أما في الجذور فتزداد كمية البروتين وتختفي المواد المرنة الغير آزوتية مثل الزيت والنشا .

وقد أثبت Schullerus و Faivre أن المادة اللبنة تتكون في الأعضاء التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي ثم تنتقل إلى أجزاء النبات الأخرى لأغراض غذائية . فإذا حفظت بادرة نبات *Tragopogon parriifolius* في الظلام ، أو في الضوء مع عدم وجود ثاني أكسيد الكربون ، أصبحت المادة اللبنة كسائل مائي ، وإذا أعيد وضع البادرة

بحيث تمتد نشاط تمثيلها الضوئي ترجع المادة اللبنية إلى طبيعتها العادية . غير أن Kneip يخالف هذا الرأي في أن زيادة مائة المادة اللبنية لا تدل على نقص كمية المواد الصلبة الموجودة حيث أن الأنايب اللبنية يزداد نموها في غياب عملية التمثيل الضوئي وبذلك تزداد محتوياتها السائلة ، كما أن حبيبات النشا تظل باقية مهما طال وضع البادرات في الظلام وبذلك تظل محتفظة بقيمتها الغذائية .

وتختلف قيمة المادة اللبنية باختلاف العائلات النباتية الموجودة بها ، فقد تكون ذات طبيعة غذائية في بعضها وذات خواص وقائية في الأخرى ، فشجرة (Cow Tree) - *Brosimum galactodendron* تنتج كميات كبيرة من مادة لبنية مغذية حلوة الطعم . ويخدم تجمد المادة اللبنية عند تعرضها للهواء في سد الجروح التي تحدث للنبات ، كما أنها قد تحمي من الحيوانات الضارة وخصوصاً إذا ما كانت ذات خواص سامة . وتمتد الأنايب اللبنية بين خلايا النسيج الميزوفللي في جنس يوفوريا حتى تصل إلى كل من سطحى الورقة أسفل البشرة مباشرة ثم تمتد تماسياً في اتجاهات شتى ، فاذا أزيل جزء بسير من البشرة سالت كمية كبيرة من المادة اللبنية الواقية . وفي بعض النباتات اليوفورية المصاربية مثل *E. canariensis* و *Buphorbia officinarum* تمتد أطراف الأفرع الطرفية للأنايب اللبنية بين خلايا البشرة نفسها أسفل الكيوتيكل مباشرة .

وتتحرك المادة اللبنية في الجهاز اللبني تبعاً لمؤثرات خاصة ، فقد لاحظ Schwendener في نبات *Euphorbia splendens* أن حبيبات النشا المعلقة في الأنايب اللبنية في الأوراق تكون رقيقة عسوية الشكل بدون أطراف ممتدة ، وبفحصها في الساق أسفل مناطق وجود الأوراق مباشرة ترى في شكل عصوي أكبر حجماً أو في الشكل العظمي Bone Shaped الذى لا يوجد في الأنايب الورقية ، مما يدل على أن حبيبات النشا تنتقل مع المادة اللبنية من الأوراق إلى السوق متخذة الشكل العظمي تدريجياً . ويقع السائل الموجود في الجهاز اللبني تحت ضغط ملحوظ كما يتضح من خروجه بكميات كبيرة في حالة فتح هذه الأنايب أو قطعها . وقد يرجع هذا الضغط إذا كانت الأنايب ذات جدر رقيقة إلى انتفاخ الألسجة البرنثيمية المحيطة بها ، كما أن مرونة وامتداد هذه الجدر تسبب اندفاع المادة اللبنية إلى أى جزء من هذا الجهاز ينقص به مقدار هذا الضغط .

ويدل نقص المادة اللبنة في النباتات الضعيفة الى امتصاص قدر من هزيئاتها ، ويرى شوندر أن الانايب اللبنة في مثل هذه الحالات تحتوي عادة على كتل في هيئة سدادات تلف كيات كبيرة من الجزئات الصلبة تكون بتجمد أجزاء المادة اللبنة ، كما يرى أن الجزئات الموجودة في المادة اللبنة تمنع قطرات الزيت الخفيفة من أن تطفو وحييات النشا الثقيلة من أن تستقر في قاع جسمها المائي .

وقد وجد كل من Stahl و Piccioli و Kny في القلافة المكونة من القنابات في أنواع جنس *Lactuca* وغيره من العائلة CICHORIACEAE أن أفرع الجهاز اللبني النهائية تمتد على هيئة شعيرات لبنة Latex Hairs ، يبلغ طولها من ثلاثة الى خمسة أضعاف اتساعها وقد تكون أطرافها غير حادة كما قد تكون مدية ، وجدرها كثيفة الكوتة مفصل من أقل لمسة وتخرج منها قطرات من المادة اللبنة . وفي الأوراق الحرشفية لأنواع جنس *Allium* ترى صفوف طولية من أجسام حوصليه أسفل سطحها الخارجى مباشرة ، والحوصلات مستطيلة نوعا وتتفصل كل منها عن الاخرى بجدر عديدة الثغر ، وتمتلئ بسائل يشبه المادة اللبنة وتحتوى عند بدء البصلة في الانبات على كمية كبيرة من مادة مرنة . وقد شاهد Czapek الخلايا اللبنة في عائلة CONVULVACEAE مرتبة في صفوف طولية في الساق والاوراق والجذور قريبة من الاشرطة الوعائية ، وتحتوى على طبقة داخلية سطحية من البروتوبلازم ومادة لبنة لا يعرف تركيبها ، فاذا أمت كل سلامة نموها الطولى فقدت هذه الخلايا اللبنة محتوياتها وتقلصت .

تركيب الحزم الوعائية The Structure of Vascular Bundles

تجتمع العناصر الناقلة بطرق مختلفة لتكون أشرطة ناقلة مركبة تسمى بالحزم الوعائية ، وفيما يلي وصف للحزم الوعائية المختلفة التي تتكون من الأنسجة الوعائية الابتدائية .

أولا — الأشرطة الناقلة البسيطة Simple Conducting Strands

يتكون أبسط أنواع الأشرطة الناقلة من العناصر الناقلة للماء ، فالنقرات الوعائية الدقيقة في كل من الأوراق والسوق لا تحتوي على شيء سوى قليل من التفصييات

مكونة قنوات دقيقة لنقل الماء . وغالباً ما تحاط هذه القصبيات بغلاف برنشيمي ناقل ، وقد يكون ليفياً كما في الأوراق السميكة لنباتات ذات الفلقة الواحدة مثل *Raphis* وقنابة نورة التيليا الجناحية الشكل . ومنها أيضاً الشريط الناقل المركزي المكون من القصبيات ، في سوق النباتات الحززية القائمة *Mosses* .

وكثيراً ما ترى الحزم البسيطة مكونة من الأوعية الناقلة للبروتين في شكل الأنايب الغريالية تصحبها الخلايا المرافقة وبرنشيمة اللحاء ، فالمحاور الزهرية وغيرها من الأعضاء التي تنتقل خلالها المركبات البروتينية بكية وافرة ترى بها أشرطة لحائية منعزلة علاوة على الحزم الوعائية العادية ، وتوجد هذه الأشرطة اللحائية الاضافية أيضاً في منطقة النخاع في سوق كثير من نباتات *CICHORIACEAE* و *CAMPANULACEAE* وفي أنواع جنس *Solanum* ، كما ترى مرتبة في مجاميع مناسبة بين الحزم الوعائية الكبيرة والصغيرة في أفرع نبات *Plantago lanceolata* ، وتظهر أيضاً على كل من الجانب الخارجى والداخلى للاسطوانة الميكانيكية في كثير من نباتات العائلة القرعية بين الخلايا الكولنشيمية والخلايا البرنشيمية العادية بالقشرة . وفي جنس *Cucurbita* تتحد هذه الأشرطة الاضافية وربما تقوم ، كما يقول *Fischer* ، بإمداد الأنسجة الميكانيكية وهي الاسطوانة الليفية والخلايا الكولنشيمية ، بالمركبات البروتينية .

ثانياً — الأشرطة الناقلة المركبة *Composite Conducting Strands*

تجتمع العناصر الناقلة في معظم الحالات لتكون أشرطة مركبة ، يتركب النموذجى منها من الوجهة التشريحية الفسيولوجية من ثلاثة أنسجة مختلفة . فتتكون منطقة اللحاء الرقيقة *Phloem or Leptome* من العناصر الناقلة للبروتين وهي الانايب الغريالية والخلايا المرافقة وربما أيضاً برنشيمة اللحاء بالاشتراك مع البرنشيمة الناقلة . أما منطقة الخشب الاكثر مقاومة *Xylem or Hadrome* فتتكون من القصبات والقصبيات الناقلة للماء مشتركة دائماً مع البرنشيمة الناقلة ، ولذلك تسمى البرنشيمة الناقلة ببرنشيمة الخشب أو اللحاء . وتسمى الأشرطة المركبة التي تتكون من شريط أو أكثر من كل من الخشب

واللحاء بالحزم الوعائية Mestome Strands or Vascular Bundies . ونحاط كل حزمة وعائية في أغلب الحالات بغلاف Bundle Sheath يختلف في كل منها عن الآخر، فالأغلفة المتكونة من البرنشيمة الناقلة تمتاز بها حزم أنصال الأوراق، والأغلفة النشوية التي تمثل أعضاء الحساسية ترى في السوق وفي أعناق الأوراق، والأغلفة الاندودرمية قد توجد في كل من السوق والأوراق والجذور . أما الحزم التي توجد بها بجميع من ألياف الخشب والأغلفة الليفية فتسمى بالحزم الوعائية الليفية Fibro Vascular Bundles . ويمثل منطقة اللحاء بها كتلة اللحاء وما يجاورها من الغلاف الليفي، أما منطقة الخشب فتتمثل في كتلة الخشب وما يرافقها من ألياف الخشب، وقد لا يوجد غلاف ليفي لمنطقة اللحاء أو ألياف خشب في منطقة الخشب كما في كثير من نباتات ذات الفلقة الواحدة .

ويشمل الجدول الآتي العناصر الناقلة المختلفة التي تكون كل من الأشرطة الناقلة والحزم الوعائية الليفية :

شريط وعائى مركب	حزمة وعائية Mestome	لحاء Leptome	ألياف اللحاء الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة برنشيمة اللحاء	منطقة اللحاء Phloem	الحزمة الوعائية الليفية

ويلاحظ أنه ولو أن كلا من أشرطة الخشب واللحاء والبرنشيمة الناقلة تقوم بوظائفها الخاصة، إلا أنها تكون دائماً ذات علاقة وثيقة ببعضها مكونة شريطاً وعائياً مركباً، فالعناصر الناقلة للماء وخصوصاً الأوعية يرافقها دائماً البرنشيمة الناقلة . وقد تكون هناك علاقة بين وظائف الأوعية وما يرافقها من برنشيمة الخشب بالنسبة إلى قيام الأخيرة بنصيب من نشاط انتقال الماء . وزجج المرافقة الدائمة للحاء الناقل للمواد البروتينية والخشب الناقل للماء إلى رقة خلايا اللحاء وحاجتها

إلى مرافقة خلايا الخشب الأكثر قوة ، كما يزيد الأغلفة الليفية أخيراً من وقايتها .

١ - الأشكال المختلفة للأشرطة الناقلة المركبة

هناك ثلاثة أشكال غير متجانسة للحزم الوعائية تسبب عن اختلاف وضع الخشب واللحاء في كل منها بالنسبة للآخر وهي :

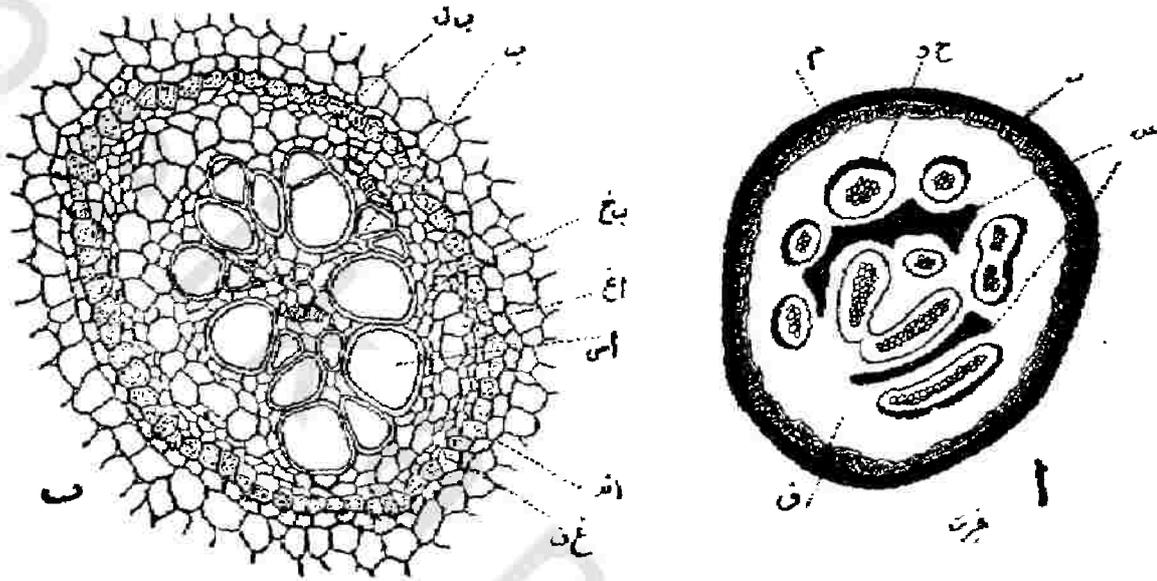
(أ) الحزم المركزية . Concentric B .

(ب) والقطرية . Radial B .

(ج) والجانبية . Callateral B .

(أ) يسمى الشريط الناقل مركزياً إذا كان وضع أحد العناصر الناقلة شاغلاً المنطقة المركزية محاطاً ومغلفاً بالنوع الآخر من العناصر الناقلة . فإذا كان الخشب شاغلاً المركز محاطاً باللحاء سميت الحزمة مركزية الخشب (Amphicribal) Hydrocentric ، وترى مثل هذه الحزم في سوق وأوراق النباتات السرخسية وبعض نباتات ذات الفلقتين مع استثناء الحزم الصغيرة في أوراق كل منهما . أما إذا كان اللحاء مركزياً محاطاً بالخشب سميت الحزمة مركزية اللحاء (Amphivasal) Leptocentric ، وترى في نهايات الحزم الورقية لريزومات نباتات ذات الفلقة الواحدة مثل *Cyperus papyrus* و *Acorus calamus* و *Iris germanica* ، وكذا في الأشرطة النخاعية لعدد من نباتات ذات الفلقتين التابعة للعائلة PIPERACEAE . وتكون الحزم الوعائية المركزية الخشب في النباتات السرخسية مستديرة أو أهليلجية الشكل في مقطعها العرضي ، وقد تكون أحياناً شريطية أو منطوية مشابهة حرف : V أو U أو X (شكل ٦٠ - ١) . ويتكون الخشب في الحزم الصغيرة من قصبات مغزلية الشكل ذات تغليظ سلمي ، أما عناصره المتكونة أولاً فيكون تغليظها حلقياً أو حلزونياً ، وتظهر مثل هذه الحزم في بعض الأحيان في نبات *Pteris aquilina* . أما الحزم الأكبر حجماً فيتخلل قصباتها خلايا برنشمية تفصلها أيضاً عن اللحاء المحيط بها ، ويتكون اللحاء من الأنابيب الفرالية وبرنشمية

اللحاء . ونحاط الحزمة كلها بغلافين متاليين يتكون الداخلي منهما من طبقة أو أكثر من خلايا برنشيمية تحتوى على النشا . وتسمى بغلاف اللحاء ، أما الخارجي فيحيط بها مكونا غلافا واقياً يسمى بالاندودرمس (شكل ٦٠ - ب) .

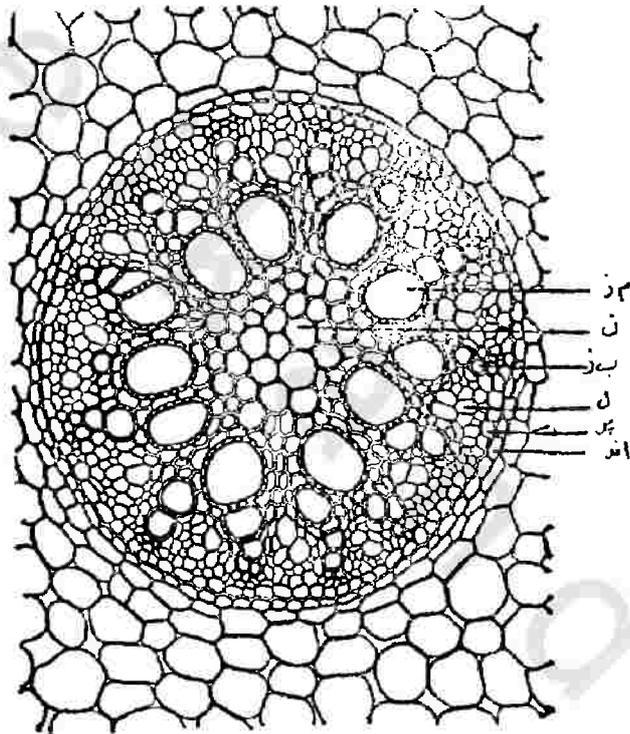


(شكل ٦٠)

(١) ق . ع . في رزوم نبات *Pteris aquilina* × ٦ - ب = بشرة ، م = منطقة لبية خارجية ، ص = صفائح ليفية ، ق = قشرة ، ح و = حزم وعائية مركزية الخشب . (ب) ق . ع . في حزمة وعائية مركزية الخشب في ساق نبات *Aspidium* - ب = ريدوبوليم ، اس = أوعية ذات تظليظ سلبي ، اغ = أنابيب غربالية ، ب غ = برنشيمية الخشب ، ب ل = برنشيمية اللحاء ، غ ن = غلاف نشوي ، اند = اندودرمس ، (ا عن متراسبرجر ، ص عن SMALL)

(ب) أما الحزم القطرية Radial Bundles فيمتاز بوجودها الجذور ، وتنظم كل من أشربة الخشب واللحاء في مجاميع يزداد أو يقل كما يتساوى عدد كل منها على أنصاف أقطار متبادلة ، ويشغل المسافات بين هذه الأنسجة الوعائية المتتالية منطقتين البرنشيمية الناقلة يصل اتساعها الى حوالى خلتين . ويبلغ عدد الأشربة الناقلة في نباتات ذات الفلقتين اثنتان أو ثلاث أو أربع أو ثمان ، بينما يبلغ عددها في نباتات ذات الفلقة الواحدة عشرون أو خمسون أو أكثر من ذلك . وبالنسبة لطريقة تكوين الأشربة الخشبية التي تتكشف في اتجاه داخلي من عدة مواضع ذات منشأ سطحي يجب التمييز

بين الحزم الثنائية Diarch ، والثلاثية Tetrarch ، والخماسية Pentarch ، والسداسية Hexarch ، والعديدة Polyarch ^(١) . وقد تتقابل الأشربة الخشبية عند المركز مكونة وعاء مركزيا متمسماً ، ويرى هذا الوضع في الجذور الابتدائية لبعض الحشائش وبعض نباتات ذات الفلقة الواحدة ، وفي حالات أخرى قد يشغل المنطقة الوسطى نخاع برنشيمي (شكل ٦١) ، أو كتلة من نسيج ليفي .



ولما كان الوضع القطري للحزم في الجذور يحملها أعضاء غير قابلة للامتداد فإن العناصر الميكانيكية توجد عادة موزعة حول الحزم الوعائية القطرية ، وقد تشغل المنطقة المركزية ، أو توجد على الجانب الخارجى من أشربة اللحاء في شكل أغلفة هلالية كما في جذور بعض نباتات العائلة PAPILIONACEAE مثل *Pisum* و *Phaseolus* .

(شكل ٦١)

ق . ع . في الاسطوانة الوعائية لجذور نبات ذى فلقة واحدة .
اند = اندودرمسى (آخر طبقات القشرة) ، ب ز = بريسيكل (أول طبقات الاسطوانة الوعائية) ، ل = لحاء ،
ب ز = بروتوزيلم ، م ز = متيازيلم ، ن = نخاع ،
(عن Kny)

وتحاط بمجموعة الحزم القطرية عادة بطبقة برنشيمية ذات جدر رقيقة تسمى

بالبريسكل Pericycle وتعتبر أول طبقات الاسطوانة الوعائية كما تختص بتاج الجذور الجانبية

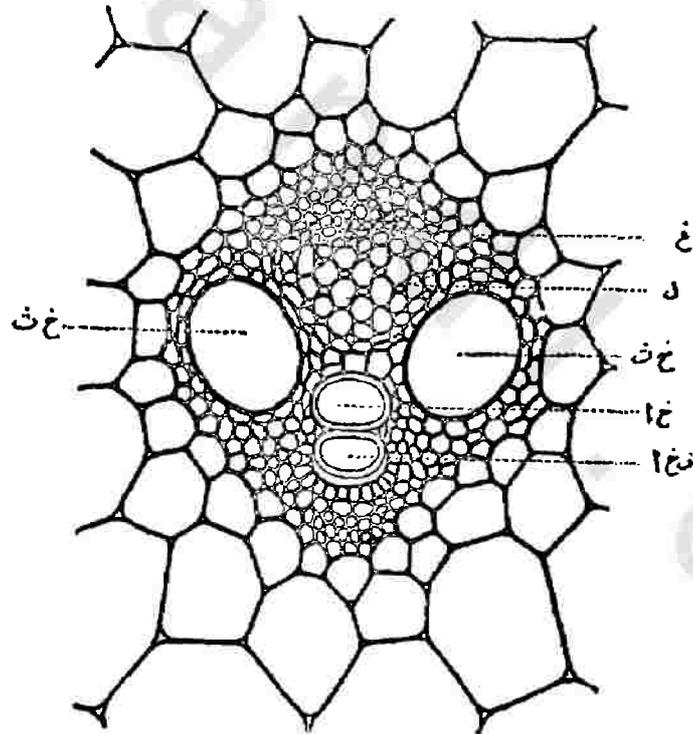
(١) قد تكون الحزمة أحادية Monarch مكونة من مجموعة واحدة من الخشب وأخرى من اللحاء ، ويرى هذا الوضع في نهاية جذور نباتات *Botrychium* و *Ophioglossum* . كما قد لا تتساوى مجموعتي الخشب في الحزم الثنائية .

وفي العائلات GRAMINEAE و CYPERACEAE و JUNCACEAE . يفصل البرسيكل في معظم أنواعها مقابل الجاميع الخشبية التي تلاصق الاندودرس في هذه المواضع . وقد يتخذ النظام القطري في بعض الجذور أوضاعاً مختلفة بالنسبة لظروف خاصة ، ويرجع بعض هذه التحورات الى الحاجة لزيادة الأنسجة الناقلة أو الميكانيكية . فقد يزداد امتداد الأسطوانة المركزية كما يتكشف ويتفرع عدد من أوعية الخشب وأشرطة اللحاء على الجانب الداخلي للحلقة القطرية العادية ، كما في الجذور الهوائية لكثير من النباتات الأرويدية العلوية ، وكذلك الجذور العادية لعائلة MUSACEAE ، وبعض أنواع التخليل ، والجذور الرفيعة في جنس *Pandanus* . وتكون الأسطوانة المركزية في الجذور الهوائية السميكة كثيرة الاتساع ، وفي هذه الحالة يسهل الوضع الخارجى للعناصر الناقلة انتقال الماء الى أنسجة القشرة . ويرجع الفرق التشريحي بين الجذور الماصة والمثبتة لبعض هذه النباتات الأرويدية العلوية الى زيادة حاجتها للجهاز الناقل ، ففي نبات *Monstera deliciosa* يصل قطر الاسطوانة المركزية $\frac{1}{3}$ القطر الكلى للمعصوم الموجودة به ، أما في حالة الجذور التي تثبت النبات الى دعامة فيظهر بها النخاع نجمي الشكل خالياً من العناصر الناقلة ، كما يقل اتساع كل من الاوعية والانايب الغربالية . ويبلغ اتساع الاسطوانة المركزية بالجذور الماصة التي تنمو في اتجاه رأسى الى أسفل ثم تتفرق التربة في النهاية نصف قطرها الكلى كما يوجد بها علاوة على أشرطتها الخشبية واللحائية العادية عدد كبير من الاوعية والانايب الغربالية المتسعة منتشرة في النخاع .

وتظهر الحزم القطرية أيضاً في سوق LYCOPODIACEAE وفي الافرع المدادة لجنس *Nephrolepis* . ويتكون الخشب في جنس *Lycopodium* من صفوف قطرية تتلاقى في مركز الساق ، وقد تفصل بشكل أشرطة تمتد أفقياً تتكون حوافها المنحنية من قصبات ذات تغليظ حلقى وحلزوني ، أما مناطقها الوسطية فتتكون من عناصر ذات تغليظ سلمى ، ويحاط كل شريط خشبي بطبقة من برنشيمة الخشب ، أما المسافات الموجودة بين هذه الجاميع الخشبية فيشغلها اللحاء .

(ج) تتكون الحزم الجانبية - Collateral Vascular B. من شريط من خشب وآخر من لحاء يجريان الى جانب بعضهما كما يوجدان معا على نصف قطر واحد ، وإذا وجد الخشب بين لحاء خارجي وآخر داخلي سميت الحزمة بذات الجانبين Bicollateral B. (شكل ٦٣ - -) . وتوجد الحزم الجانبية في أوراق وسوق كل من نباتات مغطاة ومعراة البذور وفي سوق جنس *Equisetum* ، كما تنتمي الحزم الورقية الصغيرة في معظم النباتات السرخسية الى هذا النوع . ويتجه اللحاء في السوق عادة نحو الخارج والخشب نحو الداخل ، أما في الأوراق فيتجه نحو السطح السفلي لها بينما يتجه الخشب نحو السطح العلوي .

وتظهر الحزم الجانبية في مقطعها العرضي مستديرة أو إهليلجية أو بيضية الشكل ، وقد تكون منضغطة جانبياً وشريطية كما في أوراق جنس *Pandanus* و *Hypochaeris*



(شكل ٦٢)

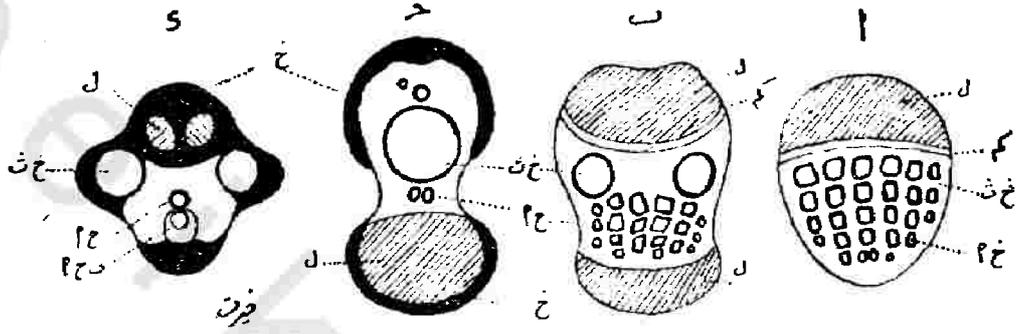
حزمة وعائية جانبية مقفولة في سوق نباتات ذات الغلقة الواحدة . غ = غلاف لبيق ،
ل = لحاء ، خ ت = خشب ثانوي ، خ ا = خشب أول ، ف خ = فجوة الخشب الأول ،
(عن KNY)

و *Hyacinths* ، وكذلك عائلة *SCITAMINEAE* ، كما تتخذ بالنسبة لتركيبها أشكالاً متباينة. تتميز الحزم الوعائية في معظم نباتات ذات الفلقة الواحدة بوجود الاشرطة الخشبية على شكل حرف γ أو Y ، وتشتمل عادة على أربعة أوعية مرتبة بشكل عيني وأفق وقم (شكل ٦٢) . وتتكون الصغيرة منها (المكونة للأنف والفم) أو الخشب الأول من أوعية ذات تغليظ حلقي أو حلزوني ، وقد يحل محلها قناة كبيرة (فجوة الخشب الأول) ، أما الكبيرة المكونة للذراعين (أولاعينين) أوللخشب الثاني فتكون من وعاءين كبيرين متسمين تغليظهما إما حلزوني أو شبكي . وقد يشغل اللحاء المسافة الموجودة بين الذراعين أو يشغلها مجموعة من الاوعية الضيقة ، كما في كثير من الحشائش . وتتميز الحزم الوعائية في بعض نباتات ذات الفلقة الواحدة كما في جنس *Musa* و *Maranta* و *Calamus* بوجود وعاء واحد فردي متسع في مركز منطقة الخشب علاوة على عدد قليل من عناصر الخشب الأول ، وتظهر هذه الحزم في شكل بصلي أو درني وتتكون في الاعضاء الخضرية السريعة النمو بالنسبة للزيادة في كميات الماء المطلوبة ونشاط انتقالها خلالها (شكل ٦٣ - ح) .

ويوجد نسيج اللحاء في نباتات ذات الفلقة الواحدة على عدة أشكال بالنسبة لطبيعة تركيب العناصر المتكون منها ، فهو يتكون عادة من الاناييب الغربالية والخلايا المرافقة كما يوجد به كمية قليلة من خلايا برنشيمة اللحاء وخصوصاً جهة أضلاع الحزمة . وقد وجد Kny أن الاغلفة المتكونة من الانسجة الليفية الواقية قد تفصل اللحاء الى كتلتين أو أكثر ، وبذلك تقيه من الانضغاط ، كما في أعناق كثير من أوراق النخيل (شكل ٦٣ - د) .

أما الحزم الوعائية الجانبية لنباتات ذات الفلقتين المغطاة والمعراة البذور فتوجد بها عناصر من الخشب في صفوف قطرية (شكل ٦٣ - ا) ، وذلك بالنسبة لتكون مجموعة من خلايا الكميوم في طور مبكر بين كل من الخشب واللحاء تبقى نشطة لمدة طويلة . وتسمى هذه الحزم جانبية مفتوحة *Openned C. B.* ، وتصل أطراف أشرطة كميوم الحزم لتكون في النهاية حلقة ثانوية من الكميوم . ولا يوجد الكميوم الحزمي

في نباتات ذات الفلقة الواحدة ، وبذلك لا توجد طبقة دائمة من الكميوم بين كل من الخشب واللحاء في الحزم الوعائية حيث إن الكميوم الا ابتدائي يتحول جميعه الى أنسجة دائمة ، وتسمى هذه الحزم جانبية مقفولة . Closed C. B.



(شكل ٦٣)

(١) رسم تخطيطي لحزمة وعائية جانبية مفتوحة (ب) حزمة وعائية مفتوحة ذات جانين في ساق اللوف (ج) حزمة وعائية جانبية مقفولة في قاعدة عمود ورقة الموز (د) حزمة وعائية جانبية مقفولة في عنق ورقة اللانانيا انقسم فيها اللحاء الى قسمين بواسطة النسيج اللينى — ل = لحاء ، ك = كميوم ، خ = خشب ، ح = خشب أول ، ف خ = فجوة الخشب الأول ، خ = خلايا ليفية .

أما المسافة البينية أو قناة أو فجوة الخشب الأول المختلفة الاتساع التي تظهر في كثير من نباتات ذات الفلقة الواحدة فيظهر بها آثار تغليظات الأوعية الحلقيه والحزونية المفككة شاغلة الفراغ الداخلي ولاصقة بجدر هذه القناة . ويقول Westermaier إن هذه القنوات تحتوى على الماء في أوقات معينة وأنها قد تقوم بتخزينه أو تشارك في نشاط انتقاله .

٢ — الأهمية الفسيولوجية للأشكال المختلفة للحزم الوعائية

تعتبر الحزمة المركزية الخشب التي ترى في سوق نباتات Mosses الأكثر رقباً والمسماة POLYTRICHACEAE أول أنواع الحزم الوعائية الابتدائية ظهوراً وتكويناً ، أما الحزم القطرية والجانبية فتعتبران معاً أنواع مشتقة منها . وتتحصر أولى خطوات تكوين الجهاز الوعائي في تكشف نسيج ناقل للماء يتخذ وضعاً قطرياً مركزياً موازياً لمحور الساق ، كما يشاهد في سوق الموسر حيث يرى بها شريط مركزي بسيط يتكون من حزمة

ناقلة للماء محاطة بغلاف برنشيمي يخدم في نقل كل من المركبات البروتينية والمواد الكاربوايدراتية . وبزيادة التخصص تكشف قنوات ذات شكل خاص مكونة نسيجاً لنقل المواد المرنة يسمى باللحاء .

أما القشرة البرنشيمية فتقوم بنقل المواد الكاربوايدراتية. ولما كان نسيج اللحاء رقيقاً وقابلاً للتلف فإنه يتخذ عادة وضعاً قريباً بقدر الإمكان من المحور الوسطى للساق الذي يشغله الشريط الناقل للماء مكوناً غلافاً حلقي الشكل يحيط بالخشب ، وبذلك يتم تكوين الحزمة الوعائية المركبة المركزية الخشب . ويعتبر الشريط الناقل المركزي في الساق والذي يفصله الأندودرمس عن نسيج القشرة ، اسطوانة مركزية Central Cylinder (Stele).

وتعتبر الاسطوانة المركزية في الجذر المتكونة من الحزم القطرية والمحاطة بالبريسكيل (Pericambium) متجانسة مع الاسطوانة الابتدائية المركزية للساق ، وبمعنى آخر فإن نظام الحزم القطرية مشتق من نظام الحزم مركزية الخشب ، حيث يمتد الخشب خارجياً في هيئة ذراعين أو ثلاثة أذرع تفصل في النهاية حلقة اللحاء المحيطة به الى كتل لحائية مساوية لها في العدد . ومن الواضح أنه يصعب أن يكون تركيب الاسطوانة الناقلة في الجذر مركزياً حيث إن الماء الممتص من المنطقة الماصة يشق عليه اختراق الحلقة اللحائية ليصل الى قنواته الناقلة ، وبما لا ريب فيه أن نظام الأنحاء القطري لمناطق الخشب في عدة مناطق توجه نحو الخارج يسهل مرور الماء من القشرة البرنشيمية الى القنوات الناقلة للماء ، كما يهد للتيار المائي طريقاً غير الطريق التي تسلكه المواد البروتينية . والنظام القطري للحزم الوعائية في الجذور ذو أهمية بالنسبة لتكوين الجذور الجانبية حيث يتم الاتصال المباشر للجهاز الناقل للماء بين كل من الجذور الجانبية والجذر الأصلي . ولو كان الخشب محاطاً باللحاء لما كان هذا الاتصال سهلاً ، كما أن ملاصقة الأطراف الخارجية لمجاميع الخشب في النظام القطري للبريسكيل المختص بتكوين الجذور الجانبية مما يهد سبيل الاتصال بين هاتين المجموعتين من العناصر الناقلة للماء . أما وجود النظام القطري في سوق جنس *Lycopodium* فلم يعرف له تفسير بعد .

وتعتبر الحزم الوعائية الجانبية مشتقة تدريجياً من النوع المركزي وخصوصاً في الأوراق كما في النباتات السرخسية . فالمنطقة الخشبية تترك وضعها المركزي متجهة تدريجياً نحو الجانب العلوى للحزمة كما يتجه اللحاء الى الجانب الآخر وبذلك تفقد الحزمة الوعائية صفاتها المركزية . وغالباً ما يحدث هذا الاختلاف الوضعى فى العنق ثم يظهر أخيراً فى العروق الرئيسية للنصل ، أما فى العروق الصغيرة فتحتفى بقايا اللحاء الموجودة فى جانبها العلوى . ويرجع تحول الحزم الوعائية فى هذا الوضع الجانبي الى التوجيه الخاص بالأعضاء ذات السطحين ، سواء فى أوراق النباتات السرخسية أو النباتات الزهرية ، كما يعود الى النشاط الفسيولوجى بالأوراق . ويلوح أن جهاز التمثيل الضوئى فى الأوراق ذو قدرة على توجيه عناصر الخشب الى ناحيته وبذلك يحتل النظام المركزى للحزمة الوعائية وتصبح جانبية . ويرجع ذلك الى أن الخشب هو الذى يزود نسيج التمثيل الضوئى بالماء والأملاح المعدنية ، ولذلك لزم أن يكون قريباً منه ومتجهاً نحوه أى نحو السطح العلوى للورقة بينما يتجه اللحاء نحو السطح السفلى لها . ويتضح مما ذكر أن الحزم الوعائية المركزية الخشب تتحول الى النظام القطرى فى الجذور وإلى النظام الجانبي فى الأوراق لتسهيل عملية انتشار الماء والأملاح المعدنية خلال القشرة الى عناصر الخشب الناقلة (فى الأولى) وفى انتقالها من الخشب الى النسيج العمادى (فى الثانية) . ولما كانت الجذور مستديرة الشكل يتخذ الخشب النظام القطرى ، أما فى الأوراق ذات الجانبين فإن الخشب يتجه دائماً الى الجهة الخارجية . ويرجع ظهور الحزم الوعائية الجانبية ذات الخشب الخارجى فى السبلات والبتلات والقنابات والحراشيف البرعمية الى أنها أوراق منحورة .

وتتكون الأسطوانة الوعائية فى سوق نباتات ذات الفلقتين مغطاة ومغراة البذور وكذا سوق جنس *Equisetum* من حلقة متسعة من الحزم الوعائية ذات لحاء خارجى يتوسطها النخاع البرنشىمى ، وقد تكون أحياناً جوفاء . وتعتمد سوق النباتات الضعيفة التكوين وكذا الجوفاء القابلة للإثشاء على الخشب فى تقويتها وبذلك يصبح موضعه خارجياً وكذلك اللحاء ، هذا الى أن عملية التنح فى السوق (كما فى الأوراق) تنجذب الخشب الى هذا الموضع الخارجى . أما النخاع البرنشىمى فيعتبر نسيجاً مخزناً دائماً للمواد

المختلفة ، كما تقوم القشرة الابتدائية بعمليات الانتقال . ويرجع انفصال الاسطوانة الخشبية اللحائية الى عدد من الحزم الوعائية الى الحاجة للاتصال المباشر بين نسيج القشرة الناقل وبين خلايا النخاع المخزنة وبذلك تكون الأشعة النخاعية الابتدائية Primary Medullary Rays . وقد تظهر حلقات أخرى من الحزم في بعض نباتات ذات الفلقتين أو تكون الحزم منتثرة كما في نباتات ذات الفلقة الواحدة ، ويرجع هذا الوضع الى حاجات فسيولوجية خاصة . وتعتبر الأشرطة الناقلة أو الحزم الوعائية الإضافية التي تتكون في النخاع أو القشرة وكذا التفرعات التي توجد في النسيج الميزوفللي أو في مناطق العقد في السوق مستقلة في تكوينها عن الاسطوانة الوعائية الأصلية .

ويعود توجيه الحزم الوعائية في السوق بحيث يكون اللحاء خارجياً والخشب داخلياً الى وضع الخشب جهة السطح العلوى في الأوراق الممتدة أنصافاً أفقياً واللحاء جهة السفلى (كما سبق ذكره) ، وتتبع اتجاه هذه الحزم حتى دخولها السوق لانزى تقيراً في وضع كل من اللحاء والخشب حتى يتخذ اللحاء في السوق وضعه الخارجى . وهذا الوضع ، وخصوصاً في سوق نباتات ذات الفلقتين وممرات البذور الغير قابلة للثني ، ذو أهمية عند حدوث النمو الثانوى حيث تسهل مرافقته للأشرطة الليفية او الاسطوانة الميكانيكية الواقية . وقد تسبب الحاجة لوقاية اللحاء اختلافاً في اتجاه الحزم الوعائية ، ففي جنس *Centaurea* يكون اللحاء في الأشرطة الناقلة « الإضافية » الموجودة بالقشرة متجهاً للداخل نحو الحزم الوعائية العادية بينما يتجه الخشب بها نحو الخارج حيث يسهل اتصاله بجهاز التمثيل الضوئى في القشرة .

وتتماز الحزم ذات الجانبين (عن النوع الجانبى العادى) بوجود مجموعة إضافية لحائية على الجانب الداخلى للخشب ، ومما لاشك فيه أن وجود اللحاء في حالة مزدوجة يرجع الى الزيادة في المطالب الفسيولوجية في هذا الجزء من الجهاز الناقل . وغالباً ما تحتوى السوق المزودة بالحزم ذات الجانبين على أشرطة لحائية إضافية منزلة ، ككافى العائلات *CUCURBITACEAE* و *CICHORIACEAE* وكثير من نباتات العائلة *SOLANACEAE* . وقد يعود السبب في تفضيل النبات لوجود شريط لحائى داخلى إضافى

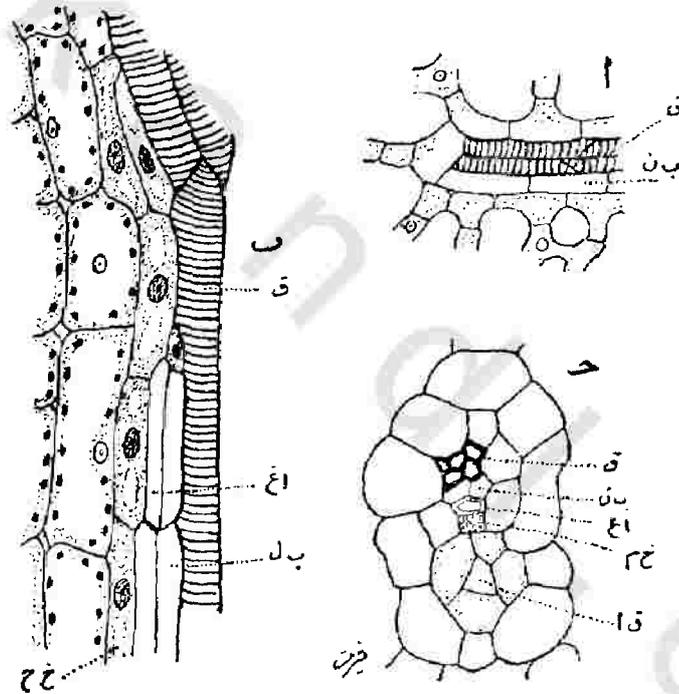
على الزيادة في حجم الشريط الخارجى الى الحاجة فى ضمان وقاية نسيج اللحاء من التمزق ، كما يقوم الشريط اللحاءى المزدوج بنقل المواد المرنة فى تيارين متقابلين فى قنوات ناقلة منفصلة . ويقول A. Fischer ان الأشرطة اللحاءية الداخلية فى الحزم الورقية ذات الجانبين تكون نشطة لما تكون الأوراق صغيرة ، ويقل نشاطها وتفرغ محتوياتها عند بلوغ الأوراق نموها الكامل ، أما الأنايب الغربالية الموجودة بالأشرطة الخارجية فتبقى دائماً نشطة ممتلئة بمحتوياتها حتى فى حالة بلوغ الأوراق . ويستنتج ستراسبجر من ذلك أن الشريط اللحاءى الداخلى ذو الأنايب الغربالية الضيقة يزود الأنسجة المتكونة بالمواد المرنة ويظل عمله لما يتم نمو الأوراق ، أما الشريط الخارجى فيشبه الشريط اللحاءى العادى للحزم الجانبية فى جمعه ونقله للمركبات الآزوتية المتكونة فى الأوراق .

وترتبط الحزم المركزية للححاء بالنوع الجانبى فى أشكال شتى تتوسط كلا منهما ، تظهر غالباً فى ريزومات نباتات ذات الفلقة الواحدة وفى نخاع عدد من نباتات ذات الفلقتين ، حيث تقوم هذه الأعضاء أو الأنسجة بتخزين المواد السكرىوايدراتية وحدها أو هى والماء معاً . أما وجود منطقة الخشب فى هيئة غلاف يحيط باللحاء تماماً فيمهد ويسهل للقصبات والقصبيات الاتصال المباشر بالأنسجة الخزنة الموجودة حولها حيث ان القنوات الناقلة للماء فى كثير من النباتات الخشبية قد تقوم علاوة على نقلها للماء بنقل المواد السكرىوايدراتية وذلك عند تفتح البراعم فى زمن الربيع . وبالنسبة لذلك تقوم العناصر الخشبية الخارجية فى الحزم مركزية اللحاء بهذه الوظيفة المزدوجة لتسهل الاتصال بالأنسجة الخزنة المجاورة لها .

ثالثاً - النهايات الطرفية للحزم الوعائية

تنهى الفرعات العديدة الدقيقة للجهاز الناقل عادة فى نسيج التمثيل الضوئى الميزوفلى بالأوراق ، ولما كان هذا النسيج مختصاً بامتصاص أكبر كمية من التيار التحدى كما يقوم بتجهيز المواد المرنة التى تنقل خلال ثقب الحواجز الغربالية فى اتجاه مضاد للأول ، كانت

النهايات الطرفية للحزم الوعائية ذات تكوين بسيط ومظاهر خاصة لا ترى في باقي الجهاز الناقل . وتتكون المنطقة الخشبية في هذه المواضع من صف أو أكثر من القصيات ذات التغليف الحلزوني أو الشبكي ، كما يحيط بكل من هذه الأشرطة الناقلة الصغيرة غلاف من البرنشيمة الناقلة للمواد الكربوهيدراتية يمتد حتى نهاية هذه القصيات (شكل ٦٤ - ١) مكوناً غطاء يشبه الفلنسة تحيط بأطرافها . وقد تبرز نهايات هذه القصيات في المسافات البينية ، ويشاهد هذا الوضع غالباً في الأوراق السميكة لنباتات العائلة اليوفورية مثل *Buphorbia myrsinites* حيث تمتد أطراف القصيات مكونة شكلاً حوصلياً ، وقد تكون القصيات الطرفية كثيرة الاتساع وتقوم بتخزين الماء .



(شكل ٦٤)

(١) ق . ط . في نهاية حزمة ورقية في نبات *Ficus elastica* مكونة من صفين من القصيات ومغلقة بالبرنشيمة الناقلة. (ب) ق . ط. في نهاية حزمة ورقية في أحد أسنان ورقة نبات *Fuchsia globosa* (ح) ق . م . في نهاية حزمة ورقية في أصل ورقة نبات *Aralia sieboldii* — ق = قصيات ، ب ن = برنشيمة ناقلة ، ا غ = أنبوبة عمودية ، ح م = خلية مرافقة ، ق ا = قناة إفرازية ، ح ح = خلية متحولة ، ب ل = برنشيمة اللحاء ، (عن هابرلاندت)

ولا يمتد اللحاء في المعتاد حتى آخر هذه النهايات الطرفية ، غير أنه قد يصل إليها في حالات شاذة (شكل ٦٤ — ب) . ويذكر A. Fischer ان الأنايب الغريالية في نباتات مظافة البذور يقل اتساعها تدريجياً في هذه المواضع كما تصبح الحواجز الغريالية غير نامة التكوين ، أما الخلايا المرافقة فيزداد حجمها (شكل ٦٤ — ج) مخالفة في ذلك لأحجامها المعتاد مشاهدتها في الحزم الوعائية العادية في كل من الورقة والساق ، حيث يقف انقسام الخلايا الأمية للأنايب الغريالية والخلايا المرافقة في هذه المواضع . وتحتوى هذه الخلايا المرافقة على محتويات بروتوبلازمية وافرة ونواة كبيرة ، وتقوم بنقل المركبات البروتينية المجهزة من نسيج التمثيل الضوئي الى الأنايب الغريالية . ويمتقد Fischer ان هذه الخلايا نفسها هي التي تقوم بتجهيز المركبات البروتينية في الأوراق .

ولا ترى هذه التفرعات الوعائية النهائية في أعضاء التمثيل الضوئي للنباتات المخروطية والسيكاديه ، ويوزع الماء الى الأجزاء المختلفة الناتجة من النسيج الميزوفللي بواسطة نسيج وعائي يمتد على كل من جانبي الورقة بشكل جناحين يبرزان الى نسيج التمثيل الضوئي ، وقد يمانق كلا من منطقة الخشب واللحاء للعرق الوسطى أو يحيط بهما تماماً . وقدسمى Von Mohl هذا النسيج « Transfusion Tissue » وأسماء De Bary " Border Tracheides " كما ذكر أنه يتكون من قصيبات برنشيمية ذات نقر مضفوفة . وقد تزود جدر هذه القصيبات في نباتات العائلة CUPRESSINEAE بامتدادات شبه وتدية ، وقد تكون في حالات أخرى ذات غلظ حلزوني أو شبكي . ويقول Scheit ان هذه التغليفات تكون عادة عند ملاصقة هذا النسيج لخلايا التمثيل الضوئي ، وقد تحاط بقلاف برنشيمي ذو جدر سميك كما في جنس *Pinus* وغيره من نباتات العائلة ABIETINEAE ، ولا تحتاج جدر القصيبات في هذه الحالة لتغليظ خاص وتوجد بها النقر المضفوفة فقط . ويقول Scheit إن هذا النسيج يعتمد في تكوينه على متوسط نشاط عملية النتح في النبات ، فيقل في النباتات الموجودة في الأماكن الظليلة الرطبة ويزداد في النباتات المعرضة للشمس مثل جنس *Pinus* .

وقد ترافق أشرطة اللحاء وتصلها بالقصبات خلايا البيومينية تمتاز بكبر حجم نواتها ووفرة محتوياتها البروتينية ، وقد شاهد ستراسبرجر بجوار أطراف الحزم الورقية لعدد من النباتات المخروطية مثل هذه العناصر التي تحل محل الخلايا المتحولة وتقوم بنفس وظيفتها .

رابعاً — الأندودرم The Endodermis

قد تفصل القنوات الناقلة في كثير من النباتات عن الأنسجة المجاورة لها بطبقات خاصة مغلقة ، قد تحيط أحياناً بكل شريط ناقل على حدة وأحياناً أخرى بالأسطوانة الوعائية كلها . وقد أسمى Caspary هذه الطبقة التي يختلف شكلها بالنسبة لاختلاف النباتات بالغلاف الواقى Protective Sheath ، كما تسمى أيضاً بالأندودرم Endodermis . ويختلف الأندودرم فسيولوجياً وتشريحياً عن الأغلفة البرنشيمية الناقلة للمواد الكربوهيدراتية ، ولو أن الأخيرة قد تقوم بأعمال الأندودرم كوظيفة إضافية ، كما في أوراق الحشائش التي لا يوجد بها إندودرماً نموذجياً . ويتحكم الأندودرم ويحدد عملية الانتقال على عمرات خاصة معينة ويوقف تسرب المواد التي تنتقل خلال الحزم الوعائية ، كما يقوم بالنسبة لقوته الميكانيكية بوقاية الأشرطة الناقلة .

وخلايا الأندودرم برنشيمية مستطيلة الشكل وقد تتخذ شكلاً بروزنشيمياً في حالات شاذة ، وهي كاملة الاتصال إلا في بعض مواضعه . وغالباً ما تكون ذات جدر مسوورة مشابهة في ذلك خلايا الغلبن فتغطي الطبقة الابتدائية بمنطقة من السوبرين تغطي بدورها بطبقة سليلوزية ، وقد يزداد سمك هذه الطبقة الأخيرة لأغراض ميكانيكية مشابهة الأغشية الملجنتة ، ويختص بوجود هذا الشكل من الأندودرم نباتات الفلقة الواحدة . وقد تبقى خلاياه دائماً ذات جدر رقيقة ، فلا تتسور الجدر التماسية بينما تزود الجدر القطرية بما يسمى شريط كسييري Casparian Strip ، ويمثل هذا الشريط منطقة متحورة ضيقة من الجدر القطرية والعرضية للخلية الأندودرمية ، ونادراً ما يزداد اتساعها أو شملها لكل الجدار القطري كما قد يظهر بهيئة نقط Dots . ويظهر شريط كسييري ميكروسكوبياً في الخلية الأندودرمية في القطاع العرضي في هيئة اثنتاهات داكنة اللون ، وتتسور

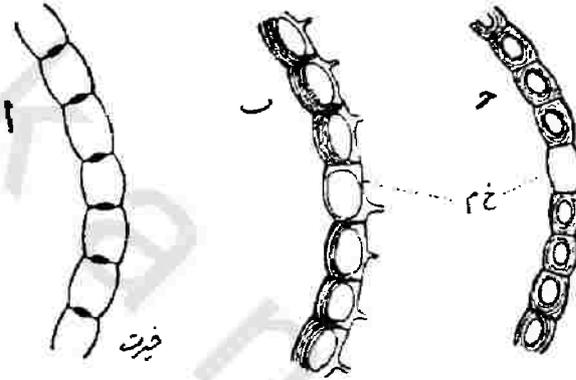
الطبقة الابتدائية كما يحدث للمنطقة المسورة للخلية الأندودرمية في النوع الأول ،
علماً بأن اصطلاح « السورة » يجمع عدة تحورات كيميائية تتعلق بصفات طبيعية خاصة
يمتاز بها الجدار الخلوى .

ويقول Schwendener ان شريط كسبرى في القطاعات لا يماثل مظهره الطبيعي
في الخلية الأندودرمية ، ويرجع ذلك الى طرق تحضيرها . فالخلية الأندودرمية الحية
تكون في حالة امتداد إما نتيجة لاتفاخها أو بالنسبة للضغط الحادث لها مما يجاورها
من الخلايا ، فعند عمل القطاعات يزول الاتفاخ ويقل هذا الامتداد . ويتفق معه
Van Wisselingh في هذا الرأى غير أنه يرى أن هذه الانثناءات تنشأ أثناء تكوين
الأشرطة المسورة بالنسبة لزيادة نشاط نمو المنطقة السطحية للجدار عن باقى مناطقها .

ويعتبر الأندودرم غير منفذ بالنسبة لسورة هذه المناطق من خلاياه . وقد تموت
أنسجة القشرة الابتدائية وتنفصل في طور مبكر في كثير من جذور نباتات العائلتين
GRAMINEAE و CYPERACEAE ، وتصبح الاسطوانة المركزية في هذه الحالة مغلقة
بالأندودرم فقط الذى يبقى في حالته الطبيعية مستمراً في القيام بوظائفه . وقد يصبح
الأندودرم منفذاً في طور متأخر في كل جزء من أجزائه في عدة نباتات أخرى من ذات الفلقة
الواحدة . وفي عدد من جذور نباتات العائلتين السابق ذكرها وكثير من النخيل .
أما في نباتات ذات الفلقتين والنباتات السرخسية وكذلك نباتات العائلتين الزنبقية
والأوركيدية فتبقى عدة أما كن من الأندودرم منفذة حتى بعد تمام تكوينه ، ويتكون
في هذه الحالة من نوعين من الخلايا هما خلايا الأندودرم الأصلية والخلايا الموصلة أو المنفذة
Passage Cells . وهذه لا تزداد جدرها التماسية في السمك أو تتسور ويقابل
وضعها دائماً أوعية الخشب الأول (البروتوزيلم) مكونة صفوفاً طولية ، وتقوم هذه الخلايا
بالاتصال المباشر بين القنوات الناقلة للعاء وبين خلايا القشرة الحية . ويرى هذا الوضع
أيضاً في السوق والأوراق ، غير أنها في كثير من أوراق نباتات العائلتين ORCHIDACEAE
وBROMELIACEAE بدلا من أن يكون وضعها جهة الجانب الداخلى للحزم الجانبية
مقابلة لأوعية البروتوزيلم ذات الغلظ الخلقى والحلزوني ، توجد إما على الحد الفاصل

بين كل من الخشب واللحاء أو قربية من حافة اللحاء مما يدل على أن الخلايا المنقذة ذات علاقة بكل منهما .

ولا يكون الأندودرم ذو الجدر التماسية والقطرية المسورة منفذاً إطلاقاً ، وقد تنسور الجدر التماسية ، كما قد تنفرد الجدر القطرية بالسورة على هيئة أشرطة ضيقة كما سبق ذكره (شكل ٦٥ - ١٠) . وتختلف الآراء بالنسبة للأهمية الفسيولوجية لأشرطة كاسبرى ، ويقول شوندر إنها إذا كانت أنبوبية الشكل تكون ذات وظيفة ميكانيكية ،



(شكل ٦٥)

(١) أندودرم تفلزت جدر خلايا القطرية على هيئة أشرطة ضيقة . (ب) أندودرم تفلزت جدر خلايا القطرية والتماسية الداخلية بشكل حرف C . (ح) أندودرم تفلزت جدره القطرية والتماسية بشكل حرف (١) — خ م = خلية منقذة .

ويرى ستراسبرجر إن المواقع المسورة في الجدر القطرية تزيد التصاق الخلايا المتجاورة للأندودرم فلا تكون مسافات بينية قطرية في هذه الطبقة ، ولذلك ينفصل جهاز التهوية في كل من القشرة والاسطوانة المركزية كما ينحصر الضغط السلبي في القنوات الناقلة للماء . وقد أشار De Vries الى أهمية الأندودرم كنطاق ضاغط بين كل من القشرة والاسطوانة المركزية في حالة الجذور ، كما ذكر أن الماء المتدفق في هذه الاسطوانة تحت الضغط المرتفع لا يتسرب الى الخارج في حالة تمزق القشرة البرنشيمية قرب منطقة القمة بالنسبة لوجود الأندودرم . وتحتوى خلايا الأندودرم على بروتوبلاست حتى ذو نواة كبيرة نسبياً مما يمنع مرور الماء بسبب زيادة ضغطها الاتفاخي .

عن الضغط الارتشاحي في القصبات والقصبيات . وقد تحتوي على حبيبات النشا وأحياناً على بعض المواد الفروية والتانين والبللورات ، كما تكون الاشرطة المسورة نطاقاً متصلاً يمنع تحرك الماء خلال المواد المكونة للجدر القطرية للأندودرم . وبالنسبة لانحصار انتقال المواد الذائبة في القنوات الخاصة بالحزم الوعائية ووجود بروتوبلاست الخلايا الأندودرمية والأشرطة المسورة لجدرها القطرية ، تمنع طبقة الأندودرم تسرب هذه المواد المتحركة خلال الحزم الوعائية ، حتى ولو كانت جدرها مسورة جزئياً .

وقد تغلظ جدر خلايا طبقة الأندودرم بالتساوي بشكل حرف () (شكل ٦٥ - ح) ، وقد ينحصر السمك في الجدر القطرية والتماسية الداخلية بشكل حرف () (شكل ٦٥ - س) ، وتختلف أوضاع هذه التغلظات في أنواع نباتات الجنس الواحد . وقد تبقى جدر خلايا الأندودرم رقيقة كلها بينما يزداد السمك في جدر خلايا القشرة المجاورة له كما في النباتات السرخسية ، وقد تغلظ جدر طبقات القشرة المجاورة للأندودرم في شكل يشابه أشرطة كسييري كما في جذور نباتات العائلة CUPRESSINEAE وبعض نباتات العائلة POMACEAE وجنس *Taxus* و *Viburnum* . وقد يجاور الأندودرم أغلفة ميكانيكية إضافية مقوية ، ففي جذور نباتات العائلة LAURACEAE توجد أغلفة موضعية ميكانيكية إضافية ترافق أشرطة اللحاء . ولا يكون الأندودرم قوى التكوين مقابل مواضع مجاميع اللحاء فتكون خلاياه مستطيلة قطرياً ، كما في العائلة IRIDACEAE والجذور الهوائية لنباتات الأورككيدز . وقد تزيد هذه الأنسجة الميكانيكية من مقاومة الأندودرم كما قد تكون ذات علاقة بامتداد الأنسجة الموجودة بين النسيج البرنثيمي الاساسي والاسطوانة الوعائية . ويحمي الأندودرم اللحاء وغيره من الأنسجة الناقلة من الأضرار التي تحدث لها بسبب الامتداد أو الانضغاط ، ففي جذور نباتات الايرس الحديثة حيث لا يكون امتداد الأنسجة كبيراً ، لا تزداد جدر خلايا الأندودرم في السمك ، أما في الجذور المسنة فتزداد في السمك كثيراً .

ويختلف تكوين الأندودرم تبعاً للجو والبيئة ، فيكون ذو غلظ خاص في جذور النباتات التي تنمو على الاحجار أو على المنحدرات ، وتكون جدر خلاياه في النباتات السرخسية

التي تنمو على الصخور والأحجار أو على الجدران الجافة كثيرة السمك . وترى طبقات الأندودرم الزائدة السمك في نباتات المستنقعات التي يجف ماؤها في أوقات معينة بالنسبة لاختلاف الضغط الاتفاخي لخلاياه تحت هذه الظروف . ولا تزداد جدر خلايا الأندودرم في السمك في الأماكن الدائمة الرطوبة كمجاري المياه العميقة والبحيرات ، كما في نباتي *Potamogeton* و *Sagittaria sagittaeifolia* . وقد تزداد السمك بأندودرم سميك الجدر في النباتات التي تنمو في المياه الجارية ، ولو أن أندودرم جذورها لا تزداد جدر خلاياه في السمك .

وقل ما يعرف عن العوامل التي تسبب وجود الأندودرم النموذجي من عدم وجوده، ففي بعض الأحيان قد تحاط كل حزمة وعائية بغلاف واق مميز ، كما قد تحاط الاسطوانة الوعائية في أحيان أخرى بالأندودرم العادي ، وقد يوجد الأندودرم في أوراق بعض نباتات العائلة النجيلية ولا يوجد في غيرها . ولا يرجع وجود أو عدم وجود الأندودرم في أوراق النجيليات إلى عوامل البيئة بل قد يعود إلى اعتبارات فسيولوجية ، كالاختلاف في طرق انتقال المواد أو تكوين الأنسجة التي تتباين في أنواع النباتات المختلفة . وقد توجد في بعض الحالات طبقة أخرى تماثل الأندودرم وتبطن الاسطوانة الوعائية من الداخل وتسمى بالأندودرم الداخلي كما في *Bquisetum* .

ترتيب واتجاه الحزم الوعائية

تكون الأشرطة الناقلة المختلفة جهازاً يجرى خلال كل جزء من المجموعتين الخضري والجذري ، وقد يصل الجهاز الوعائي حتى الزوائد المتكونة من البشرة ، كما في الغدد الهضمية لنبات *Drosera rotundifolia* ، وقد يقتصر وجوده على الحزم الوعائية كما في بعض النباتات الطافية التابعة للعائلة *LEMNACEAE* . وعلى أي الأحوال فإن للمطالب الفسيولوجية تأثير كبير على مدى تكوين وامتداد الجهاز الناقل .

ويختلف اتجاه توزيع الحزم الوعائية في كل أجزاء النبات ، كما تتخذ أوضاعاً مختلفة داخلية تتباين بالنسبة للمطالب الفسيولوجية والميكانيكية ، فالأشرطة الناقلة الدقيقة تتخذ

العناصر المكونة لهيكل النبات مأوى لها ، بينما تقوم الأكبر حجماً والأكثر مقاومة
بوقاية أنسجة النبات من التلف . ويؤثر الشكل الخارجى للنبات على نظام وترتيب الجهاز
الوعائى ، فأتجاه الحزم الوعائية فى السوق ذوعلاقة بنظام وضع الأوراق عليها ، وينطبق
ذلك على أعضاء النبات المختلفة والأنسجة المتباينة .

١ - اتجاه الحزم الوعائية فى السوق

تتخذ الحزم الوعائية فى السوق وضماً طويلاً ، إما موازياً للمحور الطولى ، أو مائلاً
فى اتجاه قطرى أو تماسى . وتسمى الحزم التى تتجه الى أعلى نحو الاوراق بالحزم
العادية Common Bundles وهى عبارة عن الحزم الورقية Foliar Bundles التى تمتد
من الأوراق نحو السوق . وترى مناطقها الواقعة فى السوق Leaf Traces متجهة
الى مسافات معينة وموزعة على عدة مواقع منها ، وقد تبقى منفردة أو تتحد مع غيرها .
وغالباً ما يمتد من كل ورقة نحو الساق شريط وعائى واحد ، وقد يتكون من عدد
من الحزم تتحد مع خلافيها التى تتبع أوراقا أخرى ، وبذلك يصبح النظام الوعائى معقداً
بالنسبة لاتصال عدد من مجموع الحزم بعضها ببعض فى مواقع معينة . وتسمى الحزم
التي توجد فى السوق فقط Cauline Bundles ، وتشتمل النباتات التيريدية على هذا
النوع من الحزم ، أما حزم الأوراق فتتمد نحوها لتتصل بها . وينقسم النظام الرئيسى
لترتيب واتجاه الحزم الوعائية الى ثلاثة أوضاع مميزة وهى :

(١) الاسطوانة الوعائية الأولية Prtostele

يمتاز بهذا الوضع سوق النباتات المسماة POLYTRICHACEAE والسوق البالغة
فى *Hymenophyllum* و *Gleichenia* و *Lygodium* ، وكذلك بادرات النباتات
السرخسية وبعض أنواع *Selaginella* . وهو أبسط الأشكال الأولية للجهاز الوعائى ، فيتكون
من شريط مركزى تخرج منه حزم فردية تتجه نحو الأوراق ، وقد يتكون من حزمة
واحدة أو قد يكون كاذب المحور مكوناً من أجزاء متتالية من المناطق الساقية للحزم الورقية
تتحد لتكون شريطاً وعائياً مركزياً بعد اختراقها للقشرة فى اتجاه قطرى مائل ، كما فى

نباتات POLYTRICHACEAE . وتوجد العناصر التي تمثل الأنايب الغرابلية والبرنشيمية الناقلة في الغلاف اللحائي الذي يتوزع في النهاية حول اسطوانة الخشب ويستمر في اتجاه الحزم الورقية . وقد تتصل الحزم الورقية بالمحور الرئيسي للجهاز الناقل كما في سوق نباتات الموسز ذات الشريط البسيط الناقل المركزي ، وقد لا تمتد كثيراً في الساق بل تنتهي في القشرة البرنشيمية ، وتحصل في هذه الحالة على ما يلزمها من الماء من الشريط الناقل المركزي عن طريق الخلايا البرنشيمية التي تتوسطها بطريقة غير مباشرة مما يدل على أن حزم الأوراق الوعائية ليست متجانسة مع حزم الساق . أما في النباتات الراقية فيتم اتصال جميع الجهاز الناقل في كل من الأوراق والسوق .

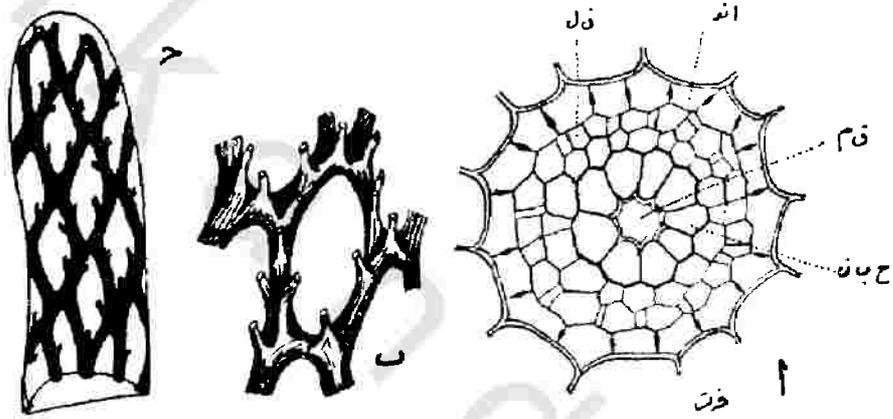
وفي جنس *Lycopodium* وفي عدد من النباتات المائية مثل *Potamogeton* و *Hippuris* و *Ceratophyllum* و *Najas* و *Elodea canadensis* يتكون الشريط الناقل الوسطى من اتحاد عدد من الحزم الوعائية ، ويمثل هذا الاتحاد ارتداداً من الحالة الأولية مشتقاً من الوضع المركزي . ومن الممكن مشاهدة عدة أطوار لهذا الاتصال في سلاميات عدة أنواع من نبات *Potamogeton* مثل *P. natans* و *P. perfoliatus* حيث يمكن تمييز عدد من الحزم الوعائية التي يتكون منها الشريط المركزي قريبة الاتصال من بعضها ولا يفصلها غير طبقات قليلة من الخلايا البرنشيمية تمثل بقايا النخاع والأشعة النخاعية الابتدائية ويتخللها عدة أشرطة ليفية . ويزداد اتصالها في *P. lucens* و *P. gramineus* أما في *P. pectinatus* و *P. pusillus* وفي *Zannichellia* و *Elodea* و *Hydrilla* و *Ceratophyllum* و *Najas* (شكل ٦٦ - ١) فيخترل الشريط الوسطى إلى قناة مركزية تحل محل النسيج الناقل للماء ويحيط بها غلاف لحائي متسع ، ولا يستدل في هذا الوضع عما إذا كان الجهاز الوعائي مكوناً من عدة أشرطة .

ويقول شوندر أن تكوين الجهاز الناقل في النباتات المائية بهذا الشكل البسيط ذو صفة ميكانيكية ، فسوق هذه النباتات معرضة إلى الامتداد المستمر إلى أعلى بالنسبة لاحتوائها على كمية كبيرة من الهواء وبالنسبة لتأثير التيارات المائية . ولما كان معظم هذه

النباتات ينمو في المياه البطيئة الجريان ولما كان نسيج قشرتها غير معرض للجفاف بحال ما، فهي في غير حاجة لقوة ميكانيكية كبيرة معتمدة في ذلك على نسيجها الوعائي المركزي .

(ب) الجهاز الوعائي الأنبوبي البسيط
The Simple Tubular Vascular System (Solenostele and Dietyostele)

ويرى في كثير من النباتات السرخسية ويمثل وضعاً وسطياً بين النوع السابق ذكره والاشكال الوعائية للنباتات الزهرية . فتحتوى سوق هذه النباتات وهي صغيرة على شريط وعائي مركزي صلب يزداد اتساعه كلما ازدادت السوق في السمك مكوناً جسماً انبوبياً



(شكل ٦٦)

(١) ق . ع . في الحزمة الوعائية لساق نبات *Najas major* — ق م = قنطرة مركزية ،
ح ب ن = حلقة برنشيمية ناقلة ، ن ل = نسيج اللحاء ، اند = اندودرم . (ح) جهاز وعائي
انبوبى في ساق نبات *Aspidium felix-mas* . (ب) جزء مكبر من الجهاز الوعائي
الانبوبى يبين توزيع الحزم الورقية ، (١ عن هابرلاندت ، ب ، ح عن SACHS)

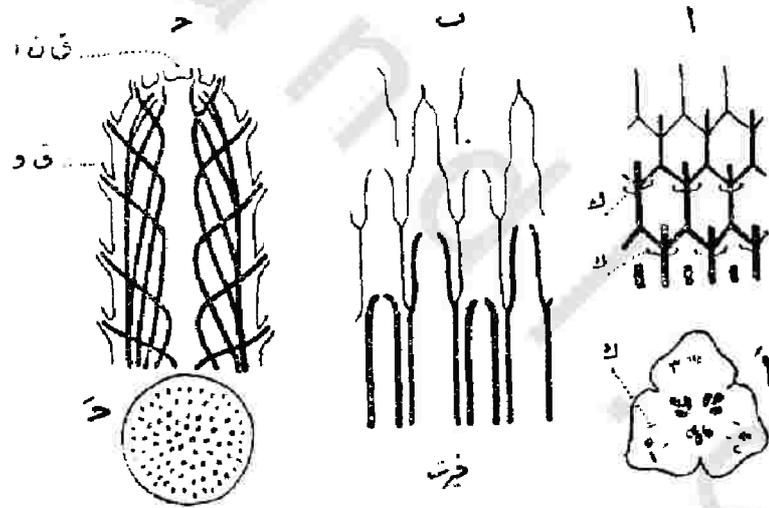
يحيط بالنخاع البرنشيمي كما يحاط بدوره بالقشرة البرنشيمية . ولما كان النخاع يحتوي على كل من البرنشيمية الناقلة والنسيج المخزن فلا تكون هذه المنطقة منزلة تماماً ، ويتم الاتصال بينها وبين أعناق الاوراق بتكوين ممرات من الاسطوانة الوعائية تسمى بالثغرات الورقية Leaf-Gaps عند مناطق اتصالها بالساق . واذا كان الساق قصيراً والأوراق ذات وضع متقارب متزاحم يتفرع من الاسطوانة الوعائية الانبوبية عدد من الانابيب المثقوبة ، ومن هذه الثغرات الورقية تصعد الحزم الورقية في وضع مائل نحو أعناق الاوراق (شكل ٦٦ — ب ، ح) .

وتتماز النباتات التابعة لرتبة FILICALES بهذا النظام الوعائي ، غير أنه قد يظهر في شكل عدة حزم دائرية مركزية كما في *Pteris* . وقد يوجد علاوة على الأسطوانة المركزية الرئيسية عدة أشرطة وعائية إضافية في النخاع وفي القشرة تنشأ تبعاً لزيادة حاجة النبات الى المواد المنتقلة .

(ج) النظام الخاص بنباتات ذات الفلقتين Dicotyledonous Type

وهو ثلاث النظم الخاصة بالترتيب الوعائي وأكثرها مشاهدة ، ويمتاز بثلاثة أوضاع تظهر في معظم نباتات ذات الفلقتين ، وفي كل من رتبتي CONIFERALES و GNETALES وفي قليل من نباتات ذات الفلقة الواحدة (DIOSCOREACEAE) ، وكذا النباتات اللازهريّة ذات الحزم الوعائية (*Equisetum* و OSMUNDACEAE) . ففي الوضع الأول تتكون كل الأشرطة الوعائية الابتدائية من حزم عادية Common B. تدخل الساق من الأوراق منخنية ثم تجرى الى أسفل خلال عدة سلاميات . وفي الوضع الثاني تبقى الحزم التي تخترق الساق في اتجاه رأسى على مسافة ثابتة دائماً من المركز . وفي الثالث تتصل المنطقة الساقية لكل حزمة ورقية Leaf Trace مباشرة أو فيما بعد ، كما هي أو بعد انقسامها ، جانبياً بالمنطقة الساقية للحزمة الورقية الأخرى المجاورة لها والتابعة لورقة أكبر سناً ، وبذلك تتحد المناطق الساقية للحزم الورقية لتكون جهازاً مسنماً كاذب الشعبة الواحدة أو شبيكياً . ويعمل قطاع عرضى في الساق يظهر حلقة واحدة من الحزم تحيط بالنخاع وتحاط بدورها بالقشرة ، وتتصل كل من هاتين المنطقتين من النسيج الأسامى (النخاع والقشرة) بالأشعة النخاعية الابتدائية في هيئة أشرطة تشغل الأقطار الواقعة بين الحزم . وبما يجدر ملاحظته أنه يجب ألا تسمى هذه الأشرطة أشعة نخاعية إلا اذا كانت مكونة من الخلايا البرنشيمية ، أما اذا كانت الحزم الوعائية راقدة في اسطوانة ليفية فلا تسمى الأشرطة الليفية الموجودة بين الحزم الوعائية في هذه الحالة بالأشعة النخاعية ، حيث تعتبر هذه الطبقة من النسيج الميكانيكى حاجزاً بين كل من النخاع والقشرة مثل الحزم الوعائية نفسها . ويلاحظ أنه يصعب تعيين مجرى الحزم الوعائية في نبات ما من النسيج المفكك له ، ويفضل عمل رسم تخطيطى يبين الاسطوانة الوعائية مفتوحة منبسطة (بعد أن كانت مقلبة) بعمل قطع يشقها طولياً .

ومن الأمثلة الخاصة بالنظام الوعائى لنباتات ذات الفلقتين اتجاه الحزم الوعائية فى أحد الأفرع الصغيرة لنبات *Juniperus nana* . وتوجد قواعد أوراق هذا النبات فى وضع سوارى ثلاثة أممها على كل عقدة تتبادل بالنسبة للعقد المتتالية ، علماً بأنها لا تكون فى مستوى واحد على العقدة الواحدة بل حلزونية لحدما . ويدخل الساق من كل ورقة حزمة وعائية واحدة فتتجه فيه الى أسفل بطول سلامية واحدة ثم تنقسم فى منتصف السلامية التالية الى شعبتين تمتدان الى يمين ويسار المناطق الساقية من الحزم الورقية الأخرى (شكل ٦٧ — ١) . وبعمل قطاع عرضى فى السلامية الاولى تظهر ست أشرطة وعائية ، أما اذا أجرى عمل القطاع العرضى قبل منتصف السلامية التالية فنظهر به تسع أشرطة (شكل ٦٧ — ٢) ، كما يتجه نحو كل برعم ابطن زوج من الحزم الوعائية .



(شكل ٦٧)

(١) رسم تخطيطى يبين مجرى الحزم الوعائية فى أحد أفرع نبات *Juniperus nana* ، ك = الأشرطة الوعائية التى تزود البراعم الابضية . (٢) ق . ع . فى فرع خضرى صغير ١ ، ٢ ، ٣ المناطق الساقية من الحزم الورقية . (٣) رسم تخطيطى يبين مجرى الحزم الوعائية فى نهاية أحد الأفرع الخضرية لنبات *Stachys angustifolia* . (٤) رسم تخطيطى لمجرى الحزم الوعائية فى نباتات ذات الفلقة الواحدة — ق و = قاعدة ورقة ، ق ن = قمة نامية . (٥) ق . ع . فى ساق نبات ذى فلقة واحدة بين انتشار الحزم الوعائية ، (ا عن DM BABY ، ب عن NÄGELI ، ج عن FALKENBERG)

ولمثل هذا الوضع ذى الترتيب المنتظم الشبكي للأجزاء الساقية من الحزم الورقية أهمية خاصة ، فنقوم كل حزمة ورقية بزويد الورقة التي تنتمي إليها بالماء والأملاح المعدنية كما تنقل أيضاً المواد المرنة المهيأة بها . وبتتبع إحدى الحزم من أعلى إلى أسفل ، يلاحظ أنها عندما تصل إلى السلامة الثالثة (أسفل موضع الورقة التي تنتمي إليها) تتحد مباشرة بكل حلقة من الحزم الوعائية الناتجة من قواعد الأوراق الثلاثة الموجودة على عقدة واحدة . ويضمن هذا النظام العادي للأشرطة الوعائية تزويد كل ورقة بما يكفيها من الماء والأملاح المعدنية ، أما تأثير عدم تساوى تكوين الحزم الوعائية فيكون متعادلاً بالنسبة لنظام توزيعها على الأوراق . وبالمثل سرعان ما توزع ناتجات عملية التمثيل الضوئى فى الأوراق التي تنتقل خلال الأنسجة الوعائية بالتساوى على كل المقطع العرضى للساق . أما البراعم الإبطية فلا تعتمد فى غذائها على الأوراق الصغيرة الموجودة عليها، حيث تصل إليها المواد المرنة خلال حزم وعائية تتجه إليها من حلقة الأوراق التي تعلوها .

وقد بين Nægeli مجرى الحزم الوعائية فى ساق نبات *Stachys angustifolia* (شكل ٦٧ — ٤) . وتوجد قواعد أوراق هذا النبات فى وضع متقابل متعامد كما يحتوى عنق كل ورقة على حزمة فردية تشعب بمجرد دخولها إلى الساق إلى شعبتين تتباعدان عن بعضهما وتتجهان فيه إلى أسفل بطول سلاميتين ثم تتحدان عند العقدة الثانية السفلية بالمناطق الساقية من الحزم الورقية التي تليها . ويظهر فى القطاع العرضى لهذه الساق ، على مسافة قصيرة أسفل القمة النامية ، ثمانية حزم يجتمع كل زوج منها جهة أحد الأركان . وبتتبع إحدى الحزم الكبيرة إلى أعلى نجد أن الأشرطة المتفرعة منها تتجه نحو قواعد الأوراق التابعة لصفين منفصلين ، ولهذا توزع المواد المنتقلة على عدد الأوراق التابعة لهذه الصفوف وليس على صف فردى واحد .

وعلاوة على الوضعين السالف ذكرهما لمجرى الحزم الوعائية فهناك أوضاع أخرى كثيرة وأكثر تعقيداً . ويرجع هذا التعقيد إلى وجود عدد كبير من المناطق

الساقية للحزم الورقية تتداخل وتتحد بطرق مختلفة . وعموماً تكفل هذه الاوضاع المختلفة تزويد كل عضو من أعضاء النبات بالمواد الغذائية اللازمة لنموه ونشاطه .

ومن الممكن لزيادة الايضاح تخيل وضع يدخل فيه الساق حزمة واحدة فردية من كل ورقة من الأوراق العديدة ، تجرى إلى أسفل في وضع رأسى دون أن تتحد بميلاتها ، (وهذا وضع عكسى بالنسبة لوضع الجهاز الوعائى الذى يحتوى على شريط واحد محورى بسيط) . فاذا اتجه سير الماء والاملاح المغذية إلى احدى جهات مثل هذه الساق لسبب ما أو بالنسبة لتأثير أضرار موضعية ، تدبل كل الاوراق والبراعم الإبطية الموجودة على الجهة المقابلة وتنجف وتموت بالنسبة لعدم تساوى توزيع المواد المتقلة . ولهذا يكفل النظام الوعائى الطبيعى للنبات أن يجابه كل المؤثرات الخارجية التى قد تعترض عملية الانتقال .

وهناك عدة حالات يختلف فيها نظام الجهاز الوعائى فى النظم المعتاد مشاهدتها فى نباتات ذات الفلقتين . فقد توجد حزم إضافية نخاعية B. Medullary تمثل قواعد الحزم الورقية التى امتدت بعيداً فى الساق أو قد تكون عبارة عن حزم ساقية B. Cauline مستقلة ، وترى الأولى فى معظم نباتات العائلة القرعية وفى PIPERACEAE وفى أنواع جنس *Papaver* و *Thalictrum* و *Actaea* وغيرها ، كما ترى الثانية فى أنواع جنس *Begonia* و *Aralia* و *Orobanche* وفى بعض نباتات MELASTOMACEAE و UMBELLIFERAE . وقد توجد الاشرطة الوعائية الإضافية فى القشرة (خارج نطاق دائرة الحزم العادية) ، وتمثل هذه الحزم القشرية B. Cortical انحناءات أو تفرعات من قواعد الحزم الورقية العادية ، وترى فى *Lathyrus aphaca* و *L. pseudophaca* و *Casuarina* و *Salicornia* و CACTACEAE وكثير من أنواع *Begonia* . وقد تمثل هذه الحزم نظاماً وراثياً قشرياً مستقلاً ناتجاً عن قواعد الحزم الورقية ، كما فى CALYCANTHACEAE وكثير من نباتات MELASTOMACEAE . ويقول Heinricher إن الحزم القشرية التى ترى فى كثير من أنواع جنس *Centauria* قد تكون كلها حزم ساقية B. Cauline ،

كما يذكر Westermaier أن الحزم النخاعية التي ترى في *BEGONIACEAE* عبارة عن حزم ساقية ذات أصل ثانوى تنحى عند مناطق العقد نحو الخارج ثم تتحد مع المناطق الساقية للحزم الورقية الموزعة في وضع يعلوها . ويرجع وجود مثل هذه الحزم في النباتات التي تكون الدرناات أو الريزومات مثل *Begonia hybrida* و *B. robusta* و *B. tuberculata* وغيرها ، إلى زيادة كمية المواد المتنتلة خلال الساق . ولذا يقابل زيادة مطالب الجهاز الوعائى بسبب جمع وتوزيع المواد المدخرة تكوين الحزم الوعائية الاضافية بالنخاع .

ويشاهد في بعض أنواع *Campanula* مثل *C. trachelium* و *C. multiflora* ذات الأزهار العديدة المتزاحمة المتقاربة ، أن الجزء من المحور الموجود أسفل النورة والذي عليه أن يقوم بسد حاجيات البذور العديدة أثناء نضجها يكون مزوداً بعدد كبير من الحزم الوعائية وخصوصاً في منطقة النخاع بعكس ما إذا كانت السوق تحمل عدداً قليلاً من الأزهار الموزعة على مسافات متباعدة متتالية . وترى هذه الأشرطة الإضافية في *C. trachelium* قريبة من الجانب الداخلى لحلقة الحزم الوعائية العادية ، أما في *C. multiflora* فترى مرتبة في حلقتين مركزيتين توجد الخارجية منهما قريبة من حلقة الحزم الوعائية العادية بينما تشغل الثانية الأصغر حجماً المنطقة المركزية من النخاع .

وقد يكون للحزم القشرية أهمية فسيولوجية في بعض الحالات ، فخلايا القشرة البرنشيمية ذات البلاستيدات الخضراء تماثل لحد ما نسيج التمثيل الضوئى النموذجى ، ولذلك تزود هذه الحزم هذا النسيج بالماء وبالأأملاح المعدنية كما تقوم بنقل بعض أوكل المواد المرنة المجهزة في خلاياه . وقد كان De Bary أول من أشار إلى وجود هذه الشبكة القشرة الوعائية في الامتدادات المتورقة للسوق المجنحة لأنواع جنس *Lathyrus* ، كما أشار الى أن الشبكة الوعائية التي تظهر في قشرة كثير من النباتات العصارية مثل *Salicornia* وأنواع *Mesembryanthemum* و *CACTACEAE* قريبة الشبه بالنظام الوعائى للأوراق العادية .

(د) النظام الخاص بنباتات ذات الفلقة الواحدة Monocotyledonous Type

لنباتات ذات الفلقة الواحدة نظام خاص بوضع جهازها الوعائى أسماء فون هوهنل Palm-Type ويمتاز بما يأتى :

١ — الحزم كلها من النوع العادى Common B. وقد يصل عددها الى عدة مئات تدخل الساق فى حالة فردية من القواعد النجمية العريضة للأوراق .

٢ — بدلا من أن تمتد المناطق الساقية من الحزم الورقية بالتساوى نحو وسط الساق تمتد به الوسطية منها إلى عمق أكثر من الجانبية كما يختلف عمقها بالنسبة لوضعها من الحزمة الوسطية .

٣ — تتجه الحزم الوسطية الأكثر عمقا فى الساق مرة أخرى أثناء نزولها به نحو المنطقة الخارجية فى اتجاه قطرى مائل ، أما الحزم الجانبية الصغيرة فتتجه إلى أسفل فى وضع يقلب أن يكون قائما .

٤ — قد لا يكون اتجاه بعض الأشرطة قطريا بل ينحرف تماسيا ويلتف فى نفس الوقت حلزونيا ، وترى كل من هاتين الظاهرتين فى السلاميات القصيرة .

٥ — تتجه الحزم إلى أسفل فردية مارة بعدد كبير من السلاميات (الحزم الوسطية أكثرها امتدادا) ثم تتحد أخيرا بالأشرطة التابعة للأوراق السفلية الوضع على الساق (شكل ٦٧ — ح) ، أما الحزم التى تدخل الساق من الأفرع الإبطية فتتخذ وضعاً مماثلا للحزم الورقية تماما . وعلاوة على هذه الصفات المميزة تظهر الحزم الوعائية فى المقطع العرضى لسوق نباتات ذات الفلقة الواحدة فى وضع منتشر غير منتظم وميالة للتجمع قرب السطح الخارجى (شكل ٦٧ — ح) .

وتتحصر الأهمية الفسيولوجية لنظام هذا الجهاز الوعائى فى تساوى تزويد الأوراق المتعددة بالماء والأملاح المعدنية وفى انتظام توزيع ناتجيات عملية التمثيل على كل المقطع العرضى للساق ، بالنسبة لامتداد عدد كبير من الحزم الوعائية الورقية فى مختلف مناطقها .

وتغلف الحزم الوعائية جزئياً أو كلياً بأغلفة ليفية تجعل الساق غير قابلة للاشياء ،
وتعمل مثل هذه الاشرطة الميكانيكية للاتجاه نحو الخارج بذلك تحمل الاشرطة الناقلة معها ،
كما أن الالتفاف الحلزوني للحزم يزيد من القوة الميكانيكية للساق .

وهناك عدة حالات قد يختلف النظام الوعائي فيها عن النظام المعتاد ، ففي السوق
الجوفاء للنباتات النجيلية لا يكون هذا النظام الوعائي واضحاً بها بالنسبة للزيادة في طول
السلاميات . فيظهر بالمنطقة الشبه قشرية الواقعة بين البشرة وبين نطاق الحزم الوعائية
حزم أخرى وعائية متوازية تنبج إلى أسفل في وضع قائم ثم تتحد عند مناطق العقد
في هيئة شبكة ذات تفرعات عديدة متقاطعة . ويرجع تكوين مثل هذا النظام العقدى الشبكي
جزئياً إلى إنتاج الأفرع الابطية ، كما قد يخدم في ضمان كفاية المواد المرنة التي تزود بها
المناطق المرستيمية البنية الموجودة أسفلها . وعلاوة على ذلك تكون هذه التفرعات العقدية
ذات مظهر ميكانيكي سيمياً وأنها تمثل وصلات عرضية تصل بين النطاقات الليفية الأساسية .

وترتبط الحزم الطولية في المناطق الخارجية لسوق نباتات CYPERACEAE و
JUNCAGINACEAE بعضها ببعض بوصلات عديدة عرضية ترقد في المناطق البرنشيمية
التي تقسم الممرات الهوائية المنتسمة إلى مجموعة من الفراغات ، وتقوم هذه التفرعات علاوة
على وظيفتها الميكانيكية بنقل الماء بالنسبة لاحتوائها على قصيبات ذات تغليظات حلقيه
وحلزونية (نادراً ما تكون ذات نقر) يرافقها خلايا برنشيمية قصيرة أو زائدة الطول
ذات جدر سميكة .

ويرجع نشاط عملية التمثيل الضوئي في هذه المناطق في العائلتين السابق ذكرهما
إلى وجود نطاقات عرضية بين قنوات الماء الطولية تحتوى خلاياها البرنشيمية على كثير
من الكلوروفيل مماثلة في تكوينها النسيجى العمدى النموذجى . وفي كثير من أنواع
Cyperus تحاط الحزم الوعائية بأغلفة عمادية (كما سبق ذكره في جهاز التمثيل
الضوئى) .

ولعملية النتح والتمثيل الضوئى نشاط ملحوظ في مناطق الساق الخارجية وخصوصاً
إذا كانت معرضة للضوء الشديد . وقد أجرى هابرلاندت اختباراً يبين مقدرة تحمل

الرباطات العرضية الوعائية الموجودة في هذه المناطق لنقل الماء ، فحيز قطاعات عميقة في نبات *Scirpus lacustris* يمتد كل منها الى نحو ثلث الساق ، فلاحظ بقاء حواف الانسجة المقطوعة في هذه المناطق غضة منتفخة كما هي ، حتى أنه لم يكن هناك فارق بينها وبين المناطق الاخرى الغير مقطوعة بعد مضي عدة أسابيع عليها .

وقد يختلف مجرى الحزم الوعائية في بعض نباتات ذات الفلقة الواحدة عن النظام المعتاد فمثال في ترتيبها من كثير من الوجوه الوضع العادي لنباتات ذات الفلقتين .

٢ — اتجاه الحزم الوعائية في الجذور

تشمعل الجذور الأرضية لكل من النباتات اللازهرية ذات الحزم الوعائية والزهرية النموذجية على شريط وعائى محورى رأسى تمر منه بغير تعقيد حزم تماثله نحو الجذور الجانبية . ويمود مثل هذا النظام الوعائى البسيط الى الوسط الدئم الرطوبة الذى تنمو به الجذور ، حتى أن القشرة يندر أن تتعرض لخطر الجفاف وكذا المناطق التى انفصلت عنها أنسجتها الماصة ، ولهذا لا يتحتم وجود الحزم الوعائية في وضع قريب من السطح الخارجى . ويرجع الوضع المركزى للحزم الوعائية الى طبيعة هذا العضو الغير قابل للامتداد ، ففي حالة غياب العناصر الميكانيكية يقوم النسيج الوعائى بالكثير من المطالب الميكانيكية وخصوصا اذا ما كان متجمعا حول المحور الطولى للجذر . أما من الوجهة الفسيولوجية فتقارن الأسطوانة الوعائية المركزية للجذر في كثير من الوجوه بالأشرطة الوعائية المركزية التى ترى غالباً في سوق النباتات المائية .

ويظهر من التركيب الوعائى للجذور التى تحتوى أسطوانتها المركزية على أشرطة منعزلة من كل من الخشب واللحاء ، ان الأشرطة الخشبية التامة الانزال تمتد من السوق إلى قم الجذور ، كما فى عدد من النخيل مثل *Caryota purpurascens* و *Phoenix dactylifera* وأنواع جنسى *Cocos* و *Chamaedorea* وخلافها . كما ترى حزم اللحاء المنعزلة في *Chamaedorea* وفي بعض جذور *Musa rosacea*

وقد ترى في جنسى *Monstera* و *Raphidophora* . وتفرع الأشرطة الحشبية الاضافية قليلا أو كثيراً في CYCLANTHACEAE وكذا في *Chamaerops humilis* و *Areca rubra* . وليس من المعتاد أن تتحد تفرعات أشرطة اللحاء الاضافية ، وأحيانا ما يتحد الخارجى منها مع مجاميع لحاء خارجية ، أو قد تتحد في هيئة أزواج . وقد نخدم الاشرطة الناقلة الاضافية التى تظهر فى اسطوانة الجذر المركزية الابتدائية فى نقل المواد المختلفة خلال الطول الكلى للجذر أو الى مسافات بعيدة به .

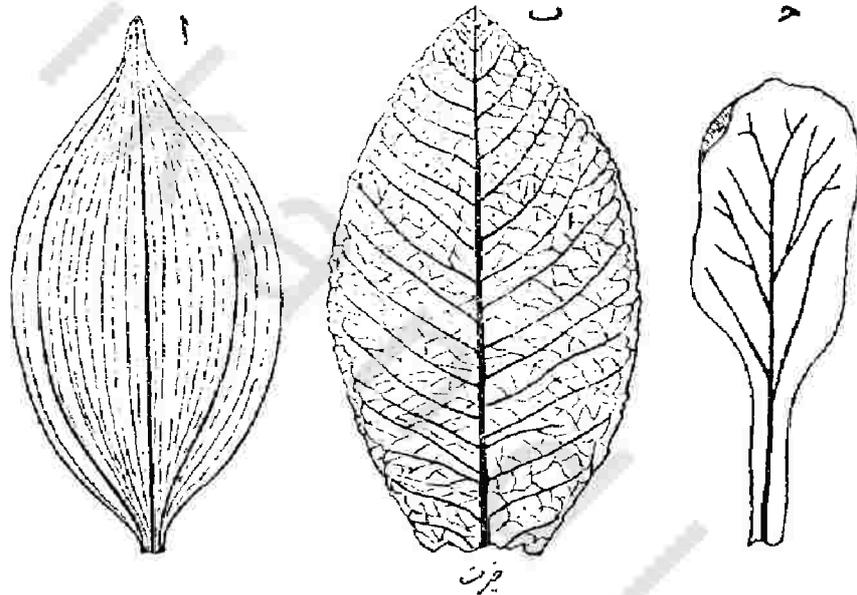
وإذا تدرنت الجذور الجانبية للتخزين كما فى *Dioscorea batatas* و *Sedum telephium* فقد يحل محل الشريط الوعائى المركزى حزم جانبية مميزة ، ويسهل مثل هذا الوضع الشاذ عملية انتقال المواد المخزنة . وتمتاز الدرناات الجذرية فى OPHRYDEAE بوجود عدة حزم قطرية يغلف كلا منها أندودرم نموذجى . ويعتقد Van Tieghem أن كلا من هذه الحزم يمثل اسطوانة مركزية مستقلة كما يرجع منشأ هذه الدرناات الى اتحاد عدة جذور جانبية .

٣ — اتجاه الحزم الوعائية فى الأوراق

ليس لترتيب الحزم الوعائية فى أعناق الاوراق أهمية ممتازة كما هو الحال فى أنصافها المنبسطة والاعضاء الاخرى المماثلة لها . وتختلف أنصال الاوراق كثيراً فى نظم تعريقها إلا أنها جميعاً تنحصر فى وضعين رئيسيين .

قد تكون الحزم منعزلة تبدأ وتنتهى دون أن تقاطع مع بعضها ، ويظهر مثل هذا الوضع البسيط فى أنصال الاوراق التى لا تحتاج الى كميات كبيرة من الماء والاملاح المعدنية إما لصغر أحجامها أو لقلّة نشاط عملية التنج بها وانخفاض قدرتها على القيام بعملية التمثيل الضوئى ، كما فى أوراق الموسز وأوراق *Ephedra* و *Casuarina* و *Bquisetum* الصغيرة الشبه حشبية ، وكذا أوراق الخروطيات وكثير من السراخس والاوراق الزهرية لكثير من نباتات مغطاة البذور، وأوراق بعض النباتات المائية المنغورة

مثل *Batrachium* و *Myriophyllum* و *Hydrilleae* . وفي كل هذه الحالات إما أن يوجد بأصصال الاوراق شريط فردى وسطى أو مجموعة من الحزم الغير متفرعة . أما الوضع الثانى للتعريق فيمتاز بتفرعاته العديدة التى تصل الافرع المختلفة للجهاز الوعائى بعضها ببعض . ففي معظم نباتات ذات الفلقة الواحدة تمتد الاشرطة الوعائية الرئيسية فى أسطر مستقيمة أو منحنية نحو قمة الورقة (شكل ٦٨ — ١) ، أما التفرعات الدقيقة الاخرى فتقاطع هذه العروق الرئيسية لتصلها مع بعضها . وفي كل نباتات ذات



(شكل ٦٨)

(١) نظام التعريق فى نصل ورقة *Convallaria latifolia* . (ب) نظام التعريق نصل ورقة *Salix grandifolia* . (ج) مجرى الحزم الوعائية فى احدى بتلات نبات *Barbarea vulgaris* × ١٠ ، (١) س عن SACHS ، ح عن هابرلاندت)

الفلقتين تتفرع حزم الجهاز الوعائى جميعها فى اتجاهات شتى فى كل أجزاء النصل مكونة شبكة كثيفة تنتهى أطراف حزمها بدون اتجاه معين عند نهاياتها (شكل ٦٨ — ب) ، ويكفل مثل هذا النظام أن يحصل كل جزء من النصل على نصيبه الكافى من الماء والاملاح المعدنية ، كما يسهل نقل النواتج المشتملة من النسيج الميزوفلى .

ويرى التعريق الشبكي فى أنصصال الاوراق ذات النتج الزائد ، ويتضح الفرق بين نشاط عملية النتج فى البتلات والاوراق الخضراء فى النبات الواحد من نظام تكوين

الجهاز الوعائى فى هذه الأعضاء (شكل ٦٨ — ح) ، كما نحدد مثل هذه التفرقة تكونى الجهاز الوعائى فى الأوراق الخضراء لكل من النباتات التى تنمو فى المناطق الجافة والأخرى الرطبة ، أو الأماكن المشمسة والأخرى الظليلة .

والتفرعات العديدة للشبكة الوعائية ذات أهمية فسيولوجية كبيرة ، فعلاوة على قيمتها الميكانيكية فإنها تقوم بتوزيع الماء بالتساوى فى جميع أنحاء جهاز التمثيل الضوئى ، وبقطع أحد العروق الأساسية عند قاعدة النصل فإن المنطقة التى يشملها هذا العرق مع تفرعاته المتعددة تجف وتذوى فى وقت قصير بالنسبة لعدم كفاية كمية الماء التى يجب أن تزود بها . وقد بين كل من Simon و Vöchting أنه إذا قطعت الحزم الوعائية فى بعض السوق والجذور فإن القنوات الناقلة للماء التى لحق بها هذا الضرر قد تتجدد بأشرطة وعائية أخرى وأصلية . وقد لاحظ Freundlich مثل هذا التجديد للقنوات الناقلة للماء فى أنصال أوراق بعض نباتات ذات الفلقتين ولم يلاحظ حدوثه فى أوراق نباتات ذات الفلقة الواحدة والنباتات التيريدية . وقد تكون الأضرار التى تتعرض لها أنصال الأوراق تحت الظروف العادية بالغة حتى إنه يصعب تلافيا بتكوين وصلات وعائية جديدة .

أما أعضاء النبات المنبسطة التى تقوم بعملية التمثيل الضوئى ، كانسوق المتورقة لنبات السفندر *Kuscus* ، فذات حزم وعائية تشابه فى نظام ترتيبها ما يرى فى أنصال الأوراق الخضراء العادية المنبسطة .

منشأ الجهاز الناقل

تنشأ معظم الحزم الوعائية من أشرطة البروكيوم الابتدائى . وقد يتكشف عدد من الحزم الصغيرة فى أحوال خاصة من المرستيم الأساسى خلال أشرطة البروكيوم الثانوى . كما يرى فى المنطقة الشبه قشرية فى *Papyrus antiquorum* .

وتنشأ البرنشيمة الناقلة الابتدائية المثلثة فى أغلفة الحزم البرنشيمية Nerve parenchyma فى الورقة ، وبرنشيمية نخاع والقشرة والأشعة النخاعية فى الساق ، وكذا العناصر البرنشيمية لكل من الخشب واللحاء ، من المرستيم الأساسى .

ويختلف منشأ الأندودرم بالنسبة لاختلاف المواضع التي يتكون بها ، فبنشأ في *Juncaceae* و *Cyperaceae* من البروكيوم . وقد يكون منشأ مماثلاً لذلك في الحشائش ، إلا أنه قد يرجع تكوينه في بعض الحالات إلى محور غلاف الحزمة البرنشي ، أما في النباتات السرخسية فبنشأ من المرستيم الأساسي . ويفسر *Russow* ذلك بأن العناصر المرستيمية التي تحيط بالشريط البروكيومي تنقسم مرة أو أكثر إلى عدة انقسامات تماسية تكون صفوفاً طويلة من الخلايا تتحول الخارجية منها أو القريبة من وسطها إلى الأندودرم بينما يتكون من الطبقات الداخلية الغلاف البرنشي السابق ذكره . وبنشأ الأندودرم في الجذور من طبقة المرستيم الأساسي التي تلتصق بالشريط المحوري مباشرة .

ولما كانت الطبقة المرستيمية التي ينشأ منها الأندودرم لا تتحول مباشرة إلى الخلايا الأندودرمية فلا يصح اعتبارها أندودرماً ابتدائياً ، ويفضل أن يطلق عليها لفظ *Coleogen* ومن المعروف أن الوظيفة الأساسية للفلوجين هي إنتاج الفلين وبالمثل فإن الكليوجين يختص بإنتاج غلاف الأندودرم علاوة على عدد من الأنسجة الأخرى . وفي تكوين الحزم الوعائية في النباتات السرخسية ينتج الكليوجين الأساسي الذي يحيط بالشريط البروكيومي عدة طبقات برنشيية علاوة على الأندودرم الحقيقي . وفي ورقة نبات *Scirpus holoschoenus* ينقسم الكليوجين البروكيومي عدة انقسامات تماسية في مواضع تمثل مجاميع كل من الخشب واللحاء التي ستكون فيما بعد ، أما الخلايا التي ستكون في الداخل فتتحول إلى ألياف اللحاء ، وفي هذه الحالة يشترك الكليوجين في إنشاء الجهاز الميكانيكي .

أما من جهة منشأ تكوين الأشرطة الوعائية الناقلة فيلاحظ أن العناصر التي يتكون منها الشريط الوعائي الناقل لا تتكون دفعة واحدة بل تتكشف تدريجياً . ويبدأ في العادة تكون العناصر الناقلة الدائمة جهة الحافة ثم يتدرج تكوينها تدريجياً في اتجاه المركز ، وبمعنى آخر فإن العناصر الوعائية التي تكون أولاً تسمى بالخشب الابتدائي *Protohadrome* وباللحاء الابتدائي *Protoleptome* .

ملاحظة : أسماها *Rassow* على التوالي *Protoxylem* و *Protophloem* بينما أطلق *De Bary* عليهما معاً اسم *Erstlinge* .

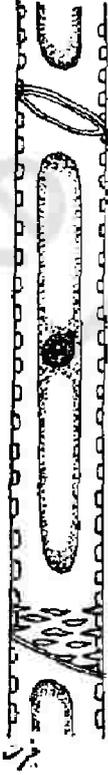
وتقع كل من عناصر الحشب الابتدائى واللحاء الابتدائى فى الحزمة الوعائية ذات الجانب الواحد (فى المقطع العرضى لها) فى قطبين متقابلين ، وبذلك يستمر تكشف كل من المنطقتين الرئيسيتين للحزمة من هذين الموضعين الخارجيين فى اتجاه المركز . أما فى الحزم القظرية للجذور فانه يبدأ تكون كل من العناصر الابتدائية لمجاميع الحشب واللحاء فى وضع متبادل حول محيط دائرة واحدة ، أما العناصر التالية فتتكشف داخلياً بالنسبة لهذه المواضع البدائية . وفى الحزم المركزية فى السرخسيات تشغل عناصر الحشب الابتدائى نهايتى الجزء الشريطى الشكل الذى يمثل كتلة الحشب فيها بعد ، أما اذا كان الحشب فى شكل مستدير أو زائد الانحناء فقد يظهر لمنشأ مواضع بدائية إضافية توزع بانتظام على كل المقطع العرضى للشريط الناقل .

ومن جهة الكشف الطولى للأشرطة الناقلة فان التكوين القمى المتعاقب يمتاز به كل من حزم الجذور والسوق ومناطق الحزم الورقية بالسوق لبعض النباتات مثل *Tradescantia abbiflora* وأنواع جنس *Potamogeton* (عن دى بارى) ، وغير ذلك من نباتات ذات الفلقة الواحدة (عن Flakenberg) . ويقول Nägeli ان مناطق الحزم الورقية فى السوق فى عدد من نباتات ذات الفلقتين والخروطيات تتجه من القمة نحو القاعدة ، فكل شريط وعائى يمتد من منطقة العقدة فى الساق الى أسفل كما يمتد فى نفس الوقت الى أعلى نحو الورقة التى ينتمى إليها .

وتنشأ الأوعية بالتحام صفوف من الخلايا المرستيمية طولياً . ويقول ستراسبجر إنه فى *Begonia dioeca* و *Ampatiens glandulosa* تـلاشى الجدر العرضية فى هذه الصفوف فى طور مبكر غير أنها لاتزول نهائياً حتى يتم غاظ الجدر الطولية ، كما يبقى تنوء حافى للجدار العرضى فى هيئة حافة حلقيه ، أما پروتوبلاست خلايا الوعاء المتتالية فلا يتحد مع بعضه ويبقى كما هو (شكل ٦٩) . وبازدياد الجدر الطولية فى الغلط والسلك فان وحدات البروتوبلاست تتكسح تدريجياً حتى تختفى تماماً ومعها النوايا .

ويقول Th. Lange إنه غالباً ما يتحد البروتوبلاست بعد زوال الحواجز العرضية
كما في *Tilia* و *Malva* و *Hippurus* و *Fraxinus* و *Plantago* و *Cucurbita*

و *Helianthus* ، كما أن الأوعية والقصبيات يبقى بها البروتوبلازم
الحى الى طور متأخر من تكشفها كما في *Casuta* و *Fraxinus*
و *Secale* و *Hordeum* و *Triticum* و *Pinus laricio* و *Larix*
وقواعد الأوراق في *Malva* ... الخ .



(شكل ٦٩)

ومن جهة تكوين النقر المصفوفة فقد سبق ذكرها فيما قبل .
أما منشأ تكوين الحواجز الغربالية فكل منها مشتق من غشاء رقيق
لنقرة أولية يشغل في الواقع كل المساحة العرضية للجدار ، هذا
فيما اذا كان وضعه أفقياً أو مائلاً قليلاً ، فيزداد سمكه في نظام
شبكة . أما المواضع الغير مغلظة منه (الثقوب الغربالية) فتحترقها
خيوط واصله بروتوبلازمية ، وقد يخرق الثقب الغربالي شريط
واصل فردي كما في العنب *Vitis vinifera* ، أو عدة أشرطة
كما في *Wistaria sinensis* و *Cucurbita Pepo* . ثم يغطى

كل من جانبي الحاجز الغربالي بمادة الكالوز التي يمكن صبغها
بسهولة بأزرق الأنيلين . وفي نباتات مظاة البذور فقط تختفي
الأغشية الفاصلة لثقوب الغربالية ، ويبدأ ذلك حول الخيوط
البروتوبلازمية الواصلة التي تتحول الى أشرطة لزجة ، وتضخم
وتتدد القنوات الضيقة التي تشمل الأشرطة اللزجة تدريجياً ، فإذا وجد عدد منها
في الثقب الغربالي فأنها تتحد مع بعضها ، وقد تكون النتيجة النهائية ثلاثى أغشية
الثقوب الغربالية جميعها .

وعاء حديث في الجذير
الابتدائي لنبات النقرة
يبين عدم اتصال
بروتوبلاست الخلايا
المكونة له ،
(عن هابرلاندين)