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 الخضرى ، 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 الاخرى التى ينشط نموها ، وبهذه الطريقة تنتقل الأملاح المعدنية فى النباتات الخضراء . أما المواد النشوية والسكرية وغيرها من المواد الكاربوايدراتية وكذا الدهون والاميدات والبروتينات والمواد المرنة والممثلة فتنتقل دائما من أنسجة التمثيل الضوئى ومن الأعضاء المخزنة الى المناطق النامية وإلى الأنسجة المختزنة 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 الخضرى والجذرى ، ومن الأوراق الخضراء الى البراعم والازهار 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 ، ميتة أو حية . وقد يعتمد انتقال

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

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

أما الظاهرة الثانية الرئيسية فهى وجود النقر ، وقد توجد أطوار عديدة متوسطة بين النقر العادية التى تتقاطع مع الجدر وبين الفتحات الكاملة لحواجز الخلايا . وغالباً ما ترى النقر البسيطة المستديرة والبيضية فى الحواجز الموجودة بين الخلايا كما يتخلل أغشيتها ثقوب رقيقة تمر فيها الاتصالات البروتوبلازمية ، وهذه يكثر وجودها فى الخلايا البرنشيمية الناقلة وفى برنشيمة الخشب والأشعة النخاعية وأغلفة الحزم البرنشيمية . وإذا ما كبرت النقرة فى الحجم ورق غشاؤها فقد يكون هذا الغشاء عرضة للتمزق بالنسبة لاختلاف الضغط الأزموزى على كل من جانبيه ، ولذلك تتلافى النقر خطر التمزق بتحولها الى الشكل المضفوف الذى يعتبر دعامة ميكانيكية لحماية أغشيتها . وقد وجد Russow نوعاً خاصاً من النقر ،

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

وقد يزداد اختزال الحواجز العرضية فى الأنابيب الناقلة حتى تزول تماما كما فى الأنابيب اللبنية لجنسى *Chelidonium* و *Musa* . وقد تكون الجدر العرضية للأوعية الخشبية فى كل من الخشب الابتدائى والثانوى فى نباتات مغطاة البذور ذات عدة فتحات متسعة أو قد تختفى جميعها ماعدا حلقة حافية تتبقى فيها مشيرة الى موضع الحاجز فى أول أمر . وفى الأوعية اللبنية البالغة لمعظم نباتات العائلات CICHORIACEAE و PAPAVERACEAE 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 تندفع آخذة طريقها بين الأنسجة الأخرى مشابهة فى 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 التى تكونت عليها ، كما تزداد مساحة الحواجز العرضية بامتدادها تبعاً لتمدد أو اتساع الخلايا ، كما يشاهد فى الانابيب الغربالية لاشرطة اللحاء الابتدائى ، وكذلك فى الخلايا اللبنية التى تظهر فى الأوراق الحرشفية لجنس *Allium* ، وكذلك فى العناصر الناقلة لساق *Polytrichum* . وتزداد المساحة أيضاً اذا كان وضع الجدر العرضية مائلا أو بمعنى آخر اذا أصبحت العناصر الناقلة ذات شكل بروزنشيمى ، كما فى الأنابيب الغربالية لاشرطة اللحاء الثانوى وبرنشيمة اللحاء وكذلك القصيبات . أما اتساع سطح أغشية النقر المضفوفة فيرجع الى اعتبارات أخرى خاصة بانتقال الماء .

ومن العوامل الفسيولوجية التى تساعد فى استمرار عملية الانتقال تحرك البروتوبلازم الذى يسهل عملية الضغط الازموزى والاختلاط الميكانيكى للمواد القابلة للانتشار .

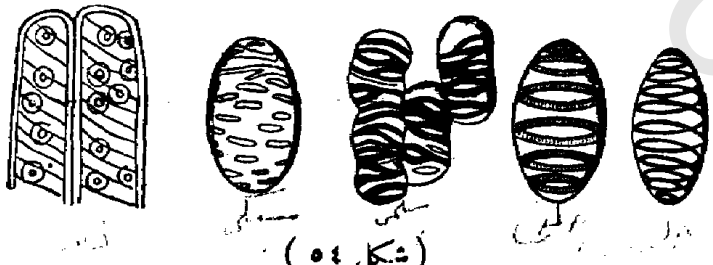
تركيب العناصر المكونة للأنسجة الناقلة

أولا — انتقال الماء والأملاح المعدنية

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

١ — التركيب التشريحى للأنابيب الناقلة للماء

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



(شكل ٥٤)

الأشكال المختلفة لقصيبات نبات *Taxus baccata* ، (عن فون موهل)

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

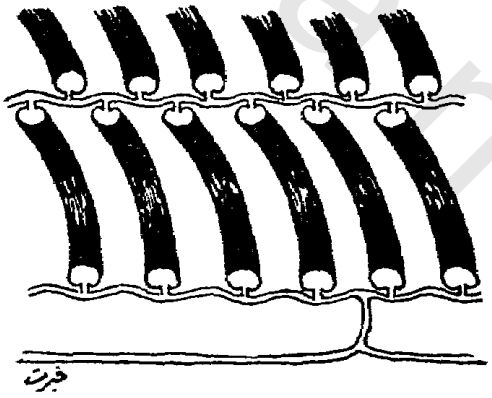
إن السبب فى اختفائها يعود إلى رقة المواضع التى توجد بها النقر الكبيرة فى أطارف هذه الخلايا ، كما يؤكد MacDaniels و Eames أنه قد يكون للنواة دور هام فى تكوين هذه الفتحات .

وفى الإمكان معرفة حدود الخلايا التى يتكون منها الوعاء الكامل ، فاذا كانت الحواجز العرضية التى تلاشت موجودة فى أول الأمر فى وضع عمودى على المحور الطولى للوعاء فان الفتحات التى تتكون باتفصالها تكون عادة مستديرة الشكل محاطة بتنوء حلقى يبقى متصلا بالمنطقة الحافية الدائمة ، وتسمى مثل هذه الفتحات Simple Perforations ، وترى عادة فى نباتات ذات الفلقة الواحدة كما تشاهد غالباً فى نباتات ذات الفلقتين . أما إذا كان وضع هـذه الحواجز مائلا فتتكون الفتحات من عدة منافذ متوازية وتسمى Scalariform Perforations ، وترى فى بعض النباتات التيريدية وفى عدد من نباتات ذات الفلقتين .

والقصيبات عبارة عن خلايا پروزنشمية مستطيلة الشكل لا يزيد متوسط طولها عادة عن ١ مم ، وفى سوق وأعناق أوراق جنسى *Musa* و *Canna* وقد يزيد طولها عن ١ سم ، ويبلغ قطرها من ٠٫٠٨ إلى ٠٫١ مم . وقد قاس Caspary طول القصيبات فى نبات *Nelumbuim speciosum* فوجد أنه يزيد عن ١٢ مم . والاوعية بطبيعة الحال أكثر طولا من القصيبات غير أن متوسط طولها لايزيد عن ١٠سم (عن ستراسبرجر) ، وأوعية خشب نبات *Quercus pedunculata* قد يصل طولها إلى مترين ، وفى نبات *Robinia pseudacacia* يصل طولها الى متر واحد ، كما أنها فى النباتات المتسلقة أكثر طولا . أما أقطار الأوعية فكثيرة الاختلاف وأكثرها اتساعا (ما بين ٠٫٣ الى ٠٫٧ مم) ترى فى سوق النباتات الملتفة .

وتتغلظ الجدر الثانوية لكل من القصبات والقصيبات تغليظاً جزئياً بأشكال مختلفة ، فقد تكون فى شكل حلقى أو حلزونى أو شبكى أو سلمى أو بالنقر ، ويشتمل الشكل الأخير على نوعين من النقر وهى البسيطة والمضفوفة . وقد وجد Rorthert أن الأشرطة المغلظة الحلقية والحلزونية والشبكية ذات شكل خاص ، كما أنها لا تتصل فى معظم النباتات اتصالا

كليا بالسطح الداخلى للجدار الخلوى بل تكون منطقتها القاعدية المتصلة بالجدار أقل سمكا من المنطقة الباقية التى تأخذ شكلا مضفوفا ، وبذلك يكون القطاع العرضى للشريط بشكل T (شكل ٥٥) . وقد تتساوى المنطقتان فى السمك فى بعض الحالات الأخرى ، وعموما تختلف مقاطعها العرضية باختلاف هذه الأشرطة . ويرى Rothert أن القيمة الفسيولوجية فى ضيق هذه القاعدة هى الزيادة فى مساحة السطح الداخلى المنفذ للجدار الغير مغلظ ، وقد رأى Schwendener وضعاً مشابها ممثلا فى النقر المضفوفة . ومن الواضح أن مساحة الجزء المنفذ والغير مغلظ من الجدار تزداد وتقل بتباعد هذه الأشرطة أو قربها من بعضها ، وفى عدد من نباتات جنس *Equisetum* وعائلة CACTACEAE يكون وضع هذه الأشرطة غير منقبض إطلاقا . وتقوم كل أنواع التغليظ السابق ذكرها (ماعدا بالنقر المضفوفة) بتقوية الانابيب الناقلة دون أن تمنع عملية الانتشار بين الخلايا المتجاورة ، وتعود أهمية هذه التقوية الى أن القصبات والقصيبات عناصر ميتة غير قادرة على إحداث الضغط الانتفاخى كما أنها معرضة للضغط الناتج من الأنسجة البرنشيمية المحيطة بها .



(شكل ٥٥)
ق . ط . فى وعاء ذو تغليظ حلزونى فى نبات *Cucurbita pepo* ، (عن روثرت)

وأول أنواع القصبات والقصيبات فى التكشف فى الاعضاء الحديثة التى تستمر فى النمو الطولى هى ذات التغليظ الحلقى والحلزونى ، ويرجع ذلك الى قابلية هذين النوعين من التغليظ لأية درجة من الامتداد الطولى ، أما التغليظات الاخرى فتوجد فى المناطق الخشبية الأكبر سناً . لذلك تتميز منطقة الخشب الابتدائى ، وهى المنطقة من الحزمة الوعائية التى تتكشف من الأشرطة البروكمبيومية ، فى أشكال تغليظات قصباتها وقصيباتها عن منطقة الخشب الثانوى التى تنشأ من الكمبيوم الحزمى والبين الحزمى .

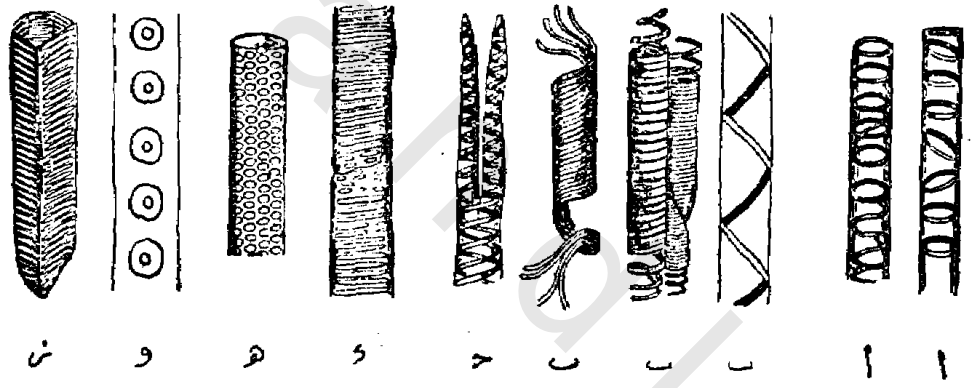
ويقوم الخشب الابتدائى Primary Xylem سواء فى نباتات ذات الفلقة الواحدة والفلقتين وكذا فى الأوراق بوظائف هامة وخصوصاً فى أطوار التكوين المبكرة للنبات ، غير أنه سرعان ما يأخذ وضعاً داخلياً الى جوار النخاع بالنسبة لتكون اسطوانة الخشب الثانوى وذلك فى سوق وجذور النباتات التى تنمو نمواً ثانويا . وهو يتركب عموما من الخلايا البرنشيمية والأنابيب الناقلة الماء ، والاخيرة عبارة عن خلايا مستطيلة بشكل قصبات أو قصيبات وتتغلظ جدرها الثانوية بأشكال مختلفة كما سبق ذكره ، كما قد يحتوى على أحدهما أو عليهما معاً .

ويشتمل الخشب الابتدائى على منطقتين تختلفان بالنسبة لتركيبهما ومدة تكوينهما وهما البرتوتوزيلم Protoxylem (الخشب الاول) والميتازيلم Metaxylem (الخشب الثانى) . وتتكون المنطقة الأولى من العناصر الأولى فى التكشف من البروكمبيوم وهى ذات قابلية كبيرة للامتداد والاستطالة بالنسبة لوجودها فى الأعضاء الحديثة السريعة النمو كالسوق الحديثة ، وجدرها الاولية رقيقة ومرنة أما جدرها الثانوية فتتغلظ عادة مبتدئة بالشكل الحلقى ثم الحلزونى ويليهما الشكل السلمى . ويرى Stover أن هذه الاشكال الخاصة بالجدار الثانوى للبروتوزيلم تتكون تبعاً للمد الطولى الذى يحدث لمثل هذه الخلايا أثناء تكوينها المبكر ، ويرى Barkley أن ظهور هذه التغليظات فى شكل حلقى أو حلزونى يرجع الى اختلاف أحجام الفجوات فى خلية البروكمبيوم ، كما أن أشكال الجدار الثانوى هذه تتكون من المناطق الاكثر كثافة وأقل فجوات فى السيتوبلازم .

وتظهر بالتغليظ ذو الشكل الحلقى Annular Thickening النموذجى الجدر الثانوية فى شكل حلقات متتالية ، وقد تتصل هـذه الحلقات فى بعض مناطق الخلية بواسطة أشرطة مائلة أو حلزونية (شكل ٥٦ — ١) وخصوصاً عند الاطراف .

ويكون التغليظ ذو الشكل الحلزونى Spiral Th. فى الخلايا الزائدة فى الطول التى تتكشف أولا مكوناً من شريط فردى حلزونى One Spiral Band ، أما الخلايا التى تتكشف فيما بعد فتكون أقصر طولا وأقل عرضاً وقد تحتوى على شريطين متقاطعين

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



(شكل ٥٦)

(ا) تغليظ حلقى . (ب) تغليظات حلزونية . (حـ) وعاء متفرع ذو تغليظ حلزونى .
(د) تغليظ سلمى . (هـ) تغليظ شبكى . (و) تغليظ ذو ثقرمضغوطة . (ز) التغليظ السلمى لأوعية بروتوزيلم ريزومات بعض النباتات التبريدية ، (عن Small)

وتعتبر الأنابيب الناقلة للماء ذات التغليظ السلمى Scalariform Th. آخر عناصر الخشب الأول بالنسبة للبطء النسبى فى تكوين جدرها الثانوية ، وتكون التغليظات بها أكثر تقارباً وتماسكا مما يجعلها أقل قابلية للامتداد ، وتظهر فى 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 الابتدائى وهى الميتازيلم فتشتمل على العناصر التى تتكشف أخيراً ، وتتكون من خلايا ذات جدر ثانوية أكثف وضعاً وأكثر تماسكا

عند بلوغها فهى تبعاً لذلك غير قابلة للامتداد ، وتوجد فى شكل شبكى أو ذو نقر ، والتغليظ ذو الشكل الشبكى .Reticulate Th يكوّن جداراً ثانوياً فى شكل متشابك حيث إن الترسيبات الثانوية توضع بدون نظام (شكل ٥٦ — هـ) ، أما المسافات التى بين هذه التغليظات الشبكية فتبين المساحات الغير مغلظة من الجدار الأولى للخلية وهى كثيرة الشبه بالنقر Pit-Like وقد تقوم بعملية الاتصال بين الخلايا وبعضها.

ويشاهد التغليظ ذو النقر .Pitted-Th فى آخر العناصر المتكونة من الميتازيلم أو بمعنى آخر من الخشب الابتدائى نفسه ، ويتميز بأن الجدار الأولى يكاد يكون كامل التغليظ غير أنه تتخلله نقر صغيرة من النوع المضفوف (شكل ٥٦ — و) ، ويلاحظ أن السرة بها ضعيفة التكوين كما قد لاتوجد على أغشية بعض النقر . ويختلف عدد النقر وتوزيعها فى هذا النوع من الخلايا ، وقد يتحول التغليظ الشبكى تدريجياً مكوناً الشكل النموذجى لهذه النقر فى مواضع مختلفة من الخلية .

وهناك شكل خاص من التغليظ السلمى يظهر فى الأوعية المكونة لبروتوزيلم ريزومات بعض النباتات التبريدية مثل *Pteris aquilina* . وتكون الأوعية عادة كبيرة الحجم مستطيلة الشكل وقد يسهل رؤيتها بالعين المجردة فى النسيج المفكك . وتزود جدرها الجانبية بعدد كبير من النقر المضفوفة فى وضع سلمى مرتبة فى صفوف أو مجاميع رأسية يصغر حجمها تدريجياً فى اتجاه الأطراف المائلة الوضع ، كما تظهر المواضع المضفوفة لهذه النقر فى شكل إهليلجى محيطة بالفوهات الضيقة (شكل ٥٦ — ز) . ويعتبر Mac Daniels الفتحات الموجودة نقراً بدون أغشية . وتماثل الجدر الطرفية للعناصر المكونة للبروتوزيلم فى هذا النبات وضعاً مماثلا لما يرى فى بعض نباتات ذات الفلقتين .

وينشأ الخشب الثانوى فى كل الحالات من الكمبيوم ، وهو طبقة من خلايا مرستيمية تنقسم خلاياها تماسياً فى اتجاهين متضادين ، فالأنسجة التى تتكشف جهة الداخل تكون الخشب الثانوى أما المتكشفة جهة الخارج فتكون اللحاء الثانوى . وتترتب خلايا الخشب الثانوى فى هيئة صفوف قطرية ، ويميز عن الخشب الابتدائى فى طريقة منشئة وبالنسبة لموضعه ثم للميزات التى تتركب منها عناصره الناقلة . وهو أكثر تعقيداً

فى تركيبه عن الخشب الابتدائى ، فتتكون الاسطوانة الخشبية الثانوية فى نباتات ذات الفلقتين من القصيبات والقصبات والألياف وبرنشيمة الخشب ثم من الأشعة الخشبية ، غير أنه أقل تعقيداً فى نباتات معراة البذور وفى عدد من نباتات ذات الفلقتين . ومن الممكن معرفة الجنس أو العائلة التى ينتمى اليها النبات بالنسبة لأنواع الخلايا التى يتكون منها الخشب الثانوى . وفى معظم نباتات ذات الفلقة الواحدة لا يتكون الخشب الثانوى بالنسبة لعدم وجود الكمبيوم .

وتترتب الخلايا التى تكون الخشب الثانوى فى وضعين أحدهما طولى والثانى قطرى ، ويشمل الوضع الطولى الألياف والقصبات والقصيبات وبرنشيمة الخشب وهذه يوازى محورها الطولى المحور الطولى للحزم أو الاسطوانة التى تظهر بها . أما الوضع القطرى فيشمل أشعة الخشب البرنشيمية ويكون محورها الطولى على زوايا قائمة من المحور الطولى للاسطوانة الوعائية .

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

وتتكون العناصر الناقلة للماء فى الخشب الثانوى لنباتات معراة البذور من القصيبات ذات النقر المضفوفة ، وهى أكثر عدداً على الجدر القطرية منها على الجدر المماسية وتظهر عادة فى المواضع التى تتلاصق فيها القصيبات مع بعضها ، أما اذا تقاطع معها برنشيمة الخشب أو أشعة الخشب فتتكون فى هذه الحالة النقر نصف المضفوفة . أما الأوعية فتوجد فى الخشب الثانوى لنباتات مغطاة البذور ولا توجد فى معراة البذور إلا فى النباتات التابعة لرتبة GNETALES . ويكمل تكوين الأوعية فى الخشب الثانوى وتكون خلاياها قصيرة عادة كما يرى على جدرها الجانبية عدد من النقر المضفوفة .

وتتكون القصيبات التى تتكشف من الكمبيوم أثناء فصل الربيع Spring Tracheides من خلايا مستطيلة ذات فراغ داخلى كثير الاتساع وجدر طرفية مستديرة كما تترتب النقر المضفوفة على جدرها القطرية فى صف واحد أو فى صفين . وقد تظهر بها مجاميع من نقر نصف مضفوفة ذات فوهات متسعة وتبين مواضع اتصالها بالخلايا البرنشيمية ، وقد ترى بها أيضا نقر أثرية تبين موضع التصاق الجدار بالألياف . أما القصيبات التى تنشأ من الكمبيوم أثناء الصيف Summer Tracheides فهى أكثر طولا وذات فراغ داخلى ضيق وأطراف مدببة أو حادة ، وتظهر النقر المضفوفة بها أصغر حجما مما فى قصيبات الربيع وتوجد عادة على الجدر المماسية .

٢ — الوظائف الخاصة بالقصبات والقصيبات

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

والقصيبات تحتوى الأولى ذات الفراغات المتسعة على كمية أكبر من الهواء ، وفى حالة وجود الأوعية وحدها كما فى خشب جنس كل من *Ficus* و *Acacia* و *Salix* فانها لا تحتوى على الكثير منه ، وبالمثل فان أوعية البروتوزيلم 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 .

ويجرى التيار النتحى عادة فى فراغات كل من القصبات والقصيبات ، وليس كما كان يظن فيما قبل كل من Sachs و Unger على الجدر الملجننة لهذه الخلايا ، وتكون هذه جهازاً متصلا فى كل جزء من أجزاء النبات من الجذيرات الدقيقة الى أطارف الأوراق . وتمتاز الأنابيب الناقلة للماء بما يأتى :

(ا) 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 والقصيبات تبعاً للقوى الازموزية الموجودة فى المجموع الجذرى .

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

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

(و) تخدم كل من القصبات والقصيبات كأنابيب ناقلة للماء كما تنتقل المياه خلال فراغاتهما .

وفى النباتات العشبية يكفل الضغط الجذرى بقاء الجهاز الناقل من الجذور الى أطارف الأوراق ممتلئاً بالماء ، أما فى حالة الأشجار المرتفعة فتختلف وتتباين 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 تلقى مقاومة أثناء

مرورها خلال الحواجز العرضية المتتالية تزداد فى حالة القصيبات بالنسبة للزيادة فى عددها وعلاوة على صعود العصارة ككتلة واحدة فان الماء يتحرك أيضاً حول هذه الفقاعات مكوناً غشاء رقيقاً بينها و بين جدار الأنبوبة الناقلة . وتعتبر خلايا برنشيمة الخشب الحية الملاصقة للقصبات والقصيبات وأحيانا خلايا الأشعة النخاعية كمضخات دقيقة ماصة وضاغطة تسحب الماء بالنسبة لنشاطها الأزموزى 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 للأنابيب الناقلة من جهة وعمليات الانتقال من جهة أخرى ، كما تقوم السرة المتكونة وسط غشاء النقرة والغير قابلة لنفاذ الماء ولا الهواء هى والغشاء المرن الموجودة عليه بتنظيم الضغط والانتقال بين الخلايا المتجاورة . ويعتبر ستراسبرجر أن هذه النقر تمثل قوة ميكانيكية تمنع نقص الامتداد الذى ينشأ فى القناة المائية الفارغة بسبب دخول الهواء حتى يصبح الماء بها كافياً. وعلى أى الأحوال فلا الجاذبية الشعرية ولا الضغط الجوى وكذا الضغط الجذرى بكافية لرفع الماء الى قمم الأشجار المرتفعة ، كما يجب ألا يظن أن تحرك الماء يرجع الى الضغط الأزموزى فقط أو الى وجوده فى هيئة بخار مائى . ويعتمد ارتفاع العصارة الى حد كبير على عملية النتح التى تمتاز بقوة أزموزية ماصة كبيرة ، ويعتبر Westermaier و Janse و Godlewski أن عملية صعود العصارة حيوية أكثر منها فسيولوجية .

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

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

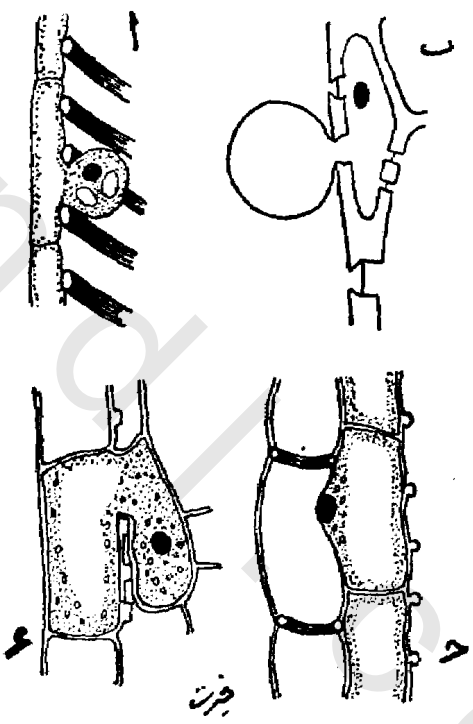
ويختلف تكوين الأنابيب الناقلة للماء بالنسبة لاختلاف حاجة النبات ونشاط عملية النتح ، كما يؤثر حجم وعدد الأوراق الخضراء وحالة الجو الموجود به النبات وكذا البيئة والحالة التى يتكون بها جسم النبات على تكوين القنوات الناقلة للماء كمية ونوعا .

وتكون الأوعية ذات التغليظ 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 وعاءان ولكنها تختفى كلية حتى من مواضع العقد اذا ما ابتدأ 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 انها لا تتأثر بطبيعة الوسط الموجود به النبات . ويزداد اتساع الأوعية فى سوق النباتات الملتفة والمتسلقة 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 وأسماها بهذا الاسم هو Hermine Von Reichenbach . وهى تنشأ عادة فى النقر النصف مضفوفة أو ذات الجانب الواحد حيث تمتد أغشية النقر بهذا الشكل

الحوصلى داخل فراغات الأوعية ، كما تتكون فى الأوعية ذات التغليظ الحلقى أو الحلزونى من المساحات الغير مغلظة للغشاء الرقيق الموجود بين كل حلقتين أو لفتين متناليتين للأشرطة المغلظة (شكل ٥٧) ، كما قد يتكون عدد من هذه الحوصلات من خلية برنشيمية واحدة . وهذه الحوصلات ذات جدر رقيقة بها عدد من النقر البسيطة كما تحتوى عادة على السيتوبلازم والعصير الخلوى وقد تشتمل أيضاً على النواة التى تندفع اليها من الخلية المكونة لها . وقد وجد ريكنباخ كما لاحظ Molisch أنها قد تنفصل عن خليتها الأمية بحاجز رقيق كما فى *Cuspidaria pterocarpa* و *Robinia* . وقد شاهد Winkler نوعا منها عديد الخلايا يشبه الشعيرات كما فى *Jacquemontia violacea* ، وهى فى مثل هذه الحالات لا تمثل خلايا مستقلة بل تتبع الخلايا البرنشيمية المتكونة منها .

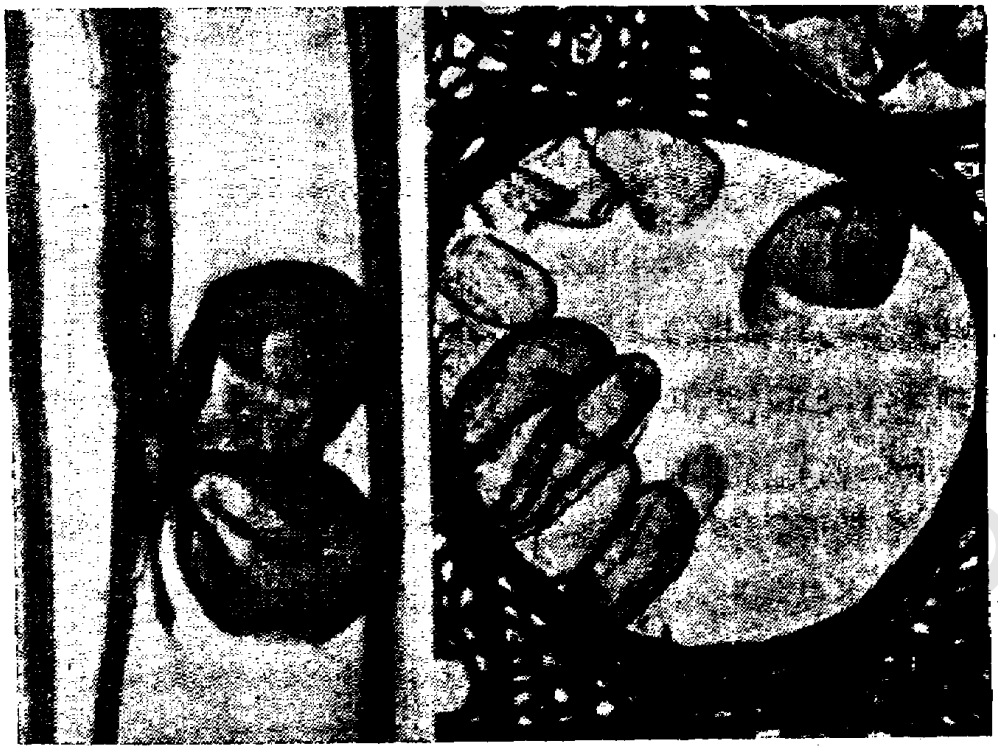


(شكل ٥٧)

(ا) حوصلة تيلوزية صغيرة متكونة فى وعاء ذو تغليظ حلزونى . (ب) حوصلة فى وعاء ذو نقر . (جـ) حوصلة مبتدئة فى التكوين فى وعاء ذو تغليظ حلقى . (و) حوصلة كبيرة فى طور متأخر ، (عن هابرلاندت)

ويقوم هذا النوع من الحوصلات التيلوزية بوظائف مختلفة ، فهى تظهر فى الأفرع أسفل المواضع التى قشرت أو الاطارف التى قطعت ، فى عدد كبير منبسط الشكل بالنسبة للضغط الواقع عليها حيث تسد مساحة كبيرة من فراغات الأوعية الناقلة التى قطعت . ويزيد النوع المتفرع منها الذى يرى فى *Piratinera guianensis* و *Mespilodaphne sassafras* من القوة الميكانيكية للخشب الصميمى . وتعتبر الحوصلات التيلوزية بالنسبة لاحتوائها على حبيبات النشا (مشابهة فى ذلك الخلايا التى تنشأ منها) مواضعاً مخزنة للمواد الكاربوايدراتية .

وتحتوى هذه الحوصلات فى ريزومات نبات *Aristolochia clematitis* و *A. serpentaria* على كثير من النشا وقت الشتاء حتى ان الأوعية تظهر من الداخل مزدحمة بهذه المواد المخزنة إلى مسافات بعيدة منها . وقد تتكون هذه الحوصلات بأحجام لاتكفى لأن تلامس إحداها الأخرى وتساعد فى هذه الحالة فى عملية الانتقال حيث تزيد من مساحة مسطح التلامس بين الأوعية والخلايا البرنشيمية المجاورة لها . كما قد تسبب سرعة الضغط الارتشاحى فى الأوعية ، وقد تفرز أيضا السكر فى فراغات الخلايا أو تمتص بعض محتوياتها مشابهة فى ذلك المصات . ويستمر تكوين هذه الحوصلات مدة طويلة فى الأوعية التى تعيش لعدة سنوات فاذا ما فقدت الأولى فى التكون وظيفتها تدريجيا يتكون خلافها ليحل محلها .



رسم فوتوغرافى حوصلات تيلوزية ، يبين حوصلتين بالغتين فى نبات *Aesculus octandra* × ٦٨٠ وعدة حوصلات حديثة فى 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 فى تقسيم عمل كل منها حيث تكون كل مجموعة من المركبات القابلة والغير قابلة للانتشار نسيجا ناقلا مستقلا . وتتمثل المركبات القابلة للانتشار فى المواد الكاربوايدراتية الذائبة والاسپرجين (ناتج من انحلال البروتينات) وغير ذلك من الاميدات . أما المواد الصعبة الانتشار فأهمها البروتينات المختلفة ، وتنتقل فى النباتات الراقية فى الانابيب الغربالية كما قد تنتقل لحد ما فى برنشيمة اللحاء . ويقول Treub إن حامض الهيدروسيانيك فى نبات *Pangium edule* وهو أول المركبات الآزوتية الكيمائية الناتجة ينتقل فى نفس الأنابيب التى تنتقل بها المركبات البروتينية .

١ — البرنشيمة الناقلة Cenducting Parenchyma

تكون هذه الخلايا عدة أنواع من الأنسجة الناقلة تقوم كلها بوظائف متشابهة ، فالأغلفة البرنشيمية للحزم الوعائية والخلايا البرنشيمية التى تحيط بمناطق العروق فى أتصال الأوراق ، والقشرة البرنشيمية فى الساق والأعناق والخلايا البرنشيمية بكل من اللحاء والخشب الابتدائى تعتبر جميعها من الوجهة الفسيولوجية كنسيج واحد يقوم عادة بنقل المواد المرنة الغير آزوتية وأحيانا المواد الكاربوايدراتية (الهكسوز والنشا المحول) .

وتتكون البرنشيمة الناقلة من خلايا رقيقة الجدر قد تقل أو تزداد استطالتها ، كما قد تتلجنن جدرها اذا وجدت مع الخشب ، وتحتوى على البروتوپلاست الحى ، وتزود جدرها العرضية عادة بالنقر البسيطة لتسهيل عملية الانتشار . وفى أوراق نباتات ذات الفلقتين تمتد خلايا أغلفة الحزم فى هيئة أفرع بين العناصر المجاورة للنسيج المتوسط أو الخلايا البرنشيمية الإسفنجية . وتحتوى خلايا البرنشيمة الناقلة علاوة على البروتوپلاست ، على عدة أنواع من السكريات ذائبة فى العصير الخلوى ، أو على حبيبات دقيقة من النشا المحول . وقد تحتوى هذه الخلايا أحيانا على الكلوروپلاستيدات غير أن نشاط تمثيلها الضوئى

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

٢ — برنشيمة اللحاء Leptome Parenchyma (Cambiform Cells)

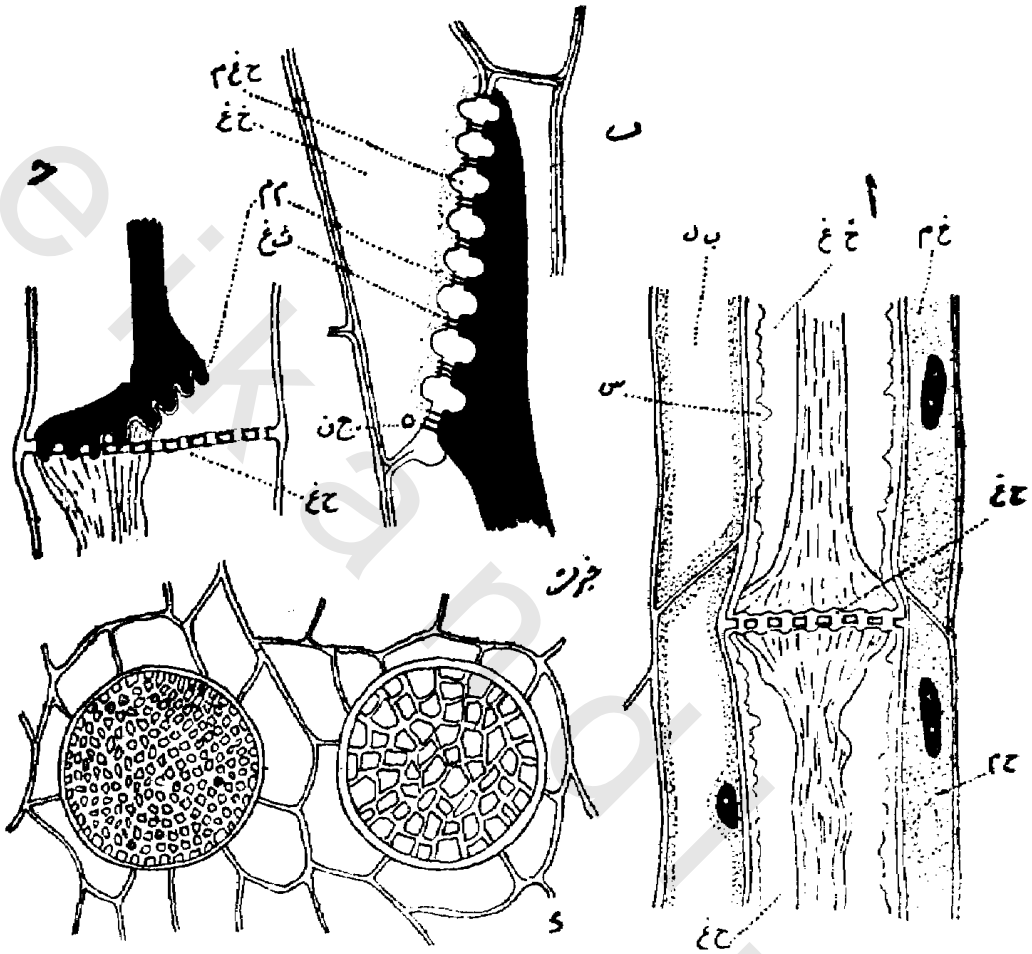
وهى خلايا مستطيلة الشكل رقيقة الجدر تكون مدببة عند أحد طرفيها أو متخذة شكلا بروزنشيمياً وتحتوى على البروتوبلاست (شكل٥٨ — ١) ، وهى تقارب فى شكلها عناصر الكمبيوم أو البروكمبيوم ولذلك سميت Cambiform Cells . وتزود بالنقر التى يكثر عددها على الجدر الطرفية كما توجد أيضاً على جدرها الجانبية مما يدل على تبادل المواد بين برنشيمة اللحاء من جهة وبين البرنشيمة الناقلة والخلايا المرافقة من جهة أخرى . وقد تنقسم هذه الخلايا أحيانا الى قسمين أو ثلاثة أقسام بجدر عرضية ثانوية ، وتكون فى 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 والى الأنابيب الغربالية . وتشابه برنشيمة اللحاء البرنشيمة الناقلة فى تركيبها ، كما قد تقوم أيضاً بنقل المواد الكاربوايدراتية .

٣ — الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة

Sieve Tubes and Companion Cells

تتكون الأنابيب الغربالية من اتحاد صفوف من الخلايا المستطيلة طولياً . ويختلف طول الخلية الغربالية التامة التكوين ، فأكثرها طولا واتساعا يرى فى النباتات المتسلقة حيث يصل طولها إلى ٢ م واتساع أقطارها من ٠,٠٢ م الى ٠,٠٨ م . وتكون الحواجز التى تفصل كل أنبوبة عن الأخرى أفقية تماما فى اللحاء الابتدائى ، وذات وضع مائل فى اللحاء الثانوى لنباتات ذات الفلقتين ومعراة البذور . وتحل الحواجز الغربالية Sieve Plates محل الجدر الفاصلة بين الخلايا وتمثل تحور الأغشية الفاصلة الى شكل نقر كبيرة عن الحجم المعتاد . واذا كان الجدار الفاصل أفقياً أو مائلا نوعا ما فانه يتكون عادة من حاجز غربالى واحد ما عدا منطقة حافية ضيقة

(شكل ٥٨ ا ، و) ، أما اذا كان مائل الوضع كثيراً فترى به عدة حواجز غربالية متتالية يفصلها عن بعضها أشرطة غشائية ضيقة غير مثقوبة (شكل ٥٨ — ب) ،



(شكل ٥٨)

(ا) ق . ط . فى انبوبة غربالية وخلايا مرافقة وبرنشيمة اللحاء ، فى لحاء نبات القرع × ٥٤٠ . (ب) ق . ط . فى جزء اللحاء الثانوى لساق العنب × ٦٠٠ . (حـ) ق . ط . فى أنبوبة غربالية كبيرة بعد معاملتها بالكحول واليود × ٣٧٥ . (و) ق . ع . فى جزء من شريط لحائى يظهر به حاجزين غرباليين فى منظر سطحى يشغلان كل مساحة الجدار الفاصل بين الخلايا الغربالية ، كما أن الثقوب الغربالية فى أحدهما أكثر اتساعاً مما فى الآخر × ٣٧٥ . خ غ = خلية غربالية ، ح غ = حاجز غربالى ، س = سيتوبلازم ، خ م = خلية مرافقة ، ب ل = برنشيمة اللحاء ، ح خ م = حاجز غربالى مائل ، ح ن = حبيبة نشا ، م م = محتويات متقلصة (بالنسبة لتأثير الكحول) ، ث غ = ثقوب غربالية ، (ا عن ستراسبرجر — ب ، حـ ، و عن دى بارى)

كما قد تظهر الحواجز الغربالية على الجدر الجانبية للأنابيب الغربالية التى تلاصق أنابيباً غربالية أخرى . ويتغلظ كل حاجز غربالى جزئياً بطريقة خاصة فى أجزاء مختلفة منه تكون شكلا شبكياً ، أما الأماكن الغير مغلظة منه فتسمى بالحقول الغربالية Sieve Fields. وهذه يمر خلالها ، فى نباتات معراة البذور ، خيوط سيتوبلازمية Plasmodesma تتحول أخيراً الى ما يسمى Slime Strings . أما فى نباتات مغطاة البذور فتزول المناطق من الغشاء التى تقابل الحقول الغربالية تماما وبذلك تتخلل الحواجز الغربالية ثقوب متزاحمة مستديرة أو مضلعة الشكل (شكل ٥٨ — ء) ، تمر خلالها أشرطة فردية بروتوبلازمية .

وتشبه الأنابيب الغربالية فى نباتات معراة البذور القصيبات فى شكلها ، أما فى نباتات مغطاة البذور فتكون قريبة الشبه من الأوعية . وقد لا يزيد أصغر الثقوب الغربالية فى اتساعه عن النقر البسيطة ، وقد تصل أقطارها فى جنسى *Cucurbita* و *Lagenaria* الى ٥ ميكرون . وتغطى الحواجز الغربالية أخيراً بمادة أسماها Hanstein بالكالوس Callus ، وتتكون هذه السدادات الكالوسية من مادة كاربوايدراتية تسمى بالكالوز Callose ، لا تذوب فى أكسيد النحاس النشادرى ولكنها تذوب فى محلول بارد ١ ٪ من البوتاسا والصودا الكاوية ، كما أنها تصطبغ باللون البنى المحمر عند معاملتها بكلور الزنك اليودى وبلون أزرق فاتح مع أزرق الأنيلين . وعلاوة على تغطية الكالوس لسطحى الحاجز الغربالى فانه يمتد أيضاً على جدر الثقوب الغربالية ، ولما كان مكونا من مادة قابلة للذوبان فان الفتحات المسدودة به قد تفتح ثانية فى طور متأخر . ويقول Wilhelm ان الكالوس فى حالات كثيرة يقوم بتنظيم اتساع الثقوب الغربالية تبعاً لمرونة المواد المتنقلة . وهو يتكون فى زمن الشتاء بحيث يسد الثقوب الغربالية تماما تبعاً للنقص فى المواد التى تمر بالأنابيب الغربالية ، أما فى زمن الربيع فتتفتح هذه الثقوب مرة أخرى بالنسبة لذوبان السدادات الكالوسية ، كما فى حالة جنس *Vitis* وعدة نباتات خشبية أخرى من ذات الفلقتين ، وكذا كثير من ريزومات نباتات ذات الفلقة الواحدة . وقد يتكون الكالوس فى معظم النباتات نتيجة للانفعال الدائم للثقوب الغربالية كما فى حالة الأنابيب الغربالية المتقدمة فى السن والتى فقدت نشاطها .

وتزود كل خلية غربالية فى الأنابيب الغربالية الحديثة قبل أن تتكون الثقوب على حواجزها الفاصلة بطبقة پروتوپلازمية داخلية ذات نواة كبيرة ، بينما تمتلئ الفجوة العصارية بسائل مائى ، ثم يظهر بعد ذلك فى البروتوپلازم عدد من الكرات اللزجة المتكونة من مادة پروتينية . وتذوب هذه الكتل اللزجة فى نباتات العائلة القرعيةقبل تمام تكوين الأنابيب الغربالية ، غير أنها تبقى بصفة دائمة فى عدة نباتات أخرى . ويقول ستراسبرجر ان المواد البروتينية اللزجة الموجودة فى الأنابيب الغربالية لنبات *Robinia pseudacacia* وغيره من نباتات العائلة البقلية تتجمع فى هيئة كتلة كبيرة إهليلجية تتعلق قرب وسط الانبوبة بخيوط دقيقة يتجه كل منها نحو الحواجز الغربالية الطرفية . وتمتد الطبقة البروتوپلازمية فى الأنابيبالغربالية البالغة على جدر الثقوبوبذلك يتصل البروتوپلازم فى كل الخلايا الغربالية ، أما النواة فانها تختفى بينما تكون الانبوبة الغربالية مستمرة فى تكوينها . ويحتوى السيتوپلازم عادة على البلاستيدات العديمة اللون مع حبيبات النشا، وهذه تتلون بلون أحمر خمرى عند معاملتها باليود . وتمتلئ الفجوات العصارية فى الأنابيبالتامة التكوين بمحلول رائق يقل أو يزيد تركيز المركبات البروتينية به، ويكون لزجا عادة فى نباتات العائلة القرعية . ومن الصعب معرفة توزيع المواد البروتينية فى الأنبوبة الغربالية إلا اذا وضع العضو المراد فحصه فى ماء مغلى قبل عمل القطاعات به فيلاحظ أن المواد الألبيومينيدية اللزجة المتجمدة قد انتظم توزيعها فى كلخلية غربالية كما تمتد أيضاً خلال الثقوب الغربالية (شكل ٥٨ — ص) . وتظهر الأنابيب الغربالية فارغة فى حالة تحضير القطاعات من السوق الحية ، أما محتوياتها فتتجمع فى هيئة كتلة لزجة تلاصق كل حاجز غربالى فى هيئة قرص رقيق أو سدادة سميكة . وتكون درجة تركيز المحلول البروتينى فى الأنابيب الغربالية ضعيفة عادة وبذا يتجمد عند الغلى . والجدر الثانوية للانابيب الغربالية سليلوزية عادة ، بعكس الاوعية ، ويقول Wilson إنها قد تكون ملجننة فى بعض النباتات العشبية .

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

أنموذجية كما لا توجد بها مادة السكالوس ، وقد ترى بها ثقوب غربالية دقيقة . أما الحواجز الغربالية فى النباتات التيريدية فتشبه ثقوبها النقر البسيطة ، وفى نباتات معراة البذور تكون الثقوب الغربالية دقيقة جداً .

ويعتقد Nägeli أن الأنابيب الغربالية تخدم فى انتقال المواد المرنة القليلة الانتشار وخصوصاً المركبات البروتينية . ويقول Czapek انها تقوم بنقل المواد الكاربوايدراتية فهى لذلك مسئولة عن انتقال نسبة كبيرة من المواد المرنة الغير آزوتية . ويرى Schimper أن المواد الكاربوايدراتية تنتقل رئيسياً فى البرنشيمة الناقلة . واذا كانت الثقوب الموجودة فى الحواجز الغربالية ضيقة جداً فان الضغط الموجود فى الانابيب الغربالية لا يكون كافياً لإجبار البروتوبلازم على المرور فيها ، وفى هذه الحالة يمر منها فقط محلول من مركبات بروتينية ذو طبيعة مائية . واذا كان المحلول لزجا كما فى العائلة القرعية كانت الثقوب الغربالية متسعة . وتعود وظيفة انتقال المواد البروتينية بواسطة الانابيب الغربالية الى وضعها فى جسم النبات ، فهى مثل القصبات تنتظم فى أشرطة متصلة تمر خلال كل الاعضاء التى يجب أن تزود بالمركبات البروتينية ، كما توجد فى النسيج الميزوفللى للأوراق الذى يعتبر مركزاً لنشاط التركيب الكيماوى للبروتين .

ومما لاريب فيه أن مجموع مساحة القطاع العرضى لاشرطة اللحاء فى العضو المعين يكون مقياساً للعدد الكلى للانابيب الغربالية ، كما يدل على مقدار المواد البروتينية التى تمر بها ، ومثال ذلك أنه بمقارنة ما هو موجود منها فى أحد محاليق نبات العنب الى ما هو موجود فى أحد الافرع العادية لكانت أكثر تكويناً فى الفرع الاخير . وكذا الحال بالنسبة لباقى أعضاء النبات ، فاذا ازدادت الحاجة للمركبات البروتينية كبر حجم أشرطة اللحاء . وتزداد مساحة أقطار الانابيب الغربالية ، ويكثر عددها فى جدر جرات النباتات آكلة وهاضمة الحشرات مثل *Nepenthes* ، كما تختلف الأنابيب الغربالية تبعاً لاختلاف النباتات وتباين حاجاتها كما فى النباتات المتسلقة حيث تكون ثقوب حواجزها الغربالية زائدة الاتساع ، مثل *Cucurbita pepo* و *Vitis vinifera* و *Lagenaria vulgaris* .

وترى الأنابيب الغربالية التامة التكوين فى *Humulus lupulus* و *Clematis vitalba* و *Tamus communis* وجنس *Serjania* ونباتات العائلة PASSIFLORACEAE .

وتتكون أشرطة اللحاء فى سوق وأفرع نباتات ذات الفلقتين خارجياً من الكمبيوم ، فاذا أزيلت هذه الحلقة الخارجية تكون عدد قليل من الجذور العرضية أسفل المنطقة المنفصلة مباشرة ، أما المنطقة التى تعلوها فانها تنتفخ تبعاً لتكوين كتلة كبيرة من نسيج كالوسى يعطى عدداً كبيراً من الجذور الطويلة ، مما يدل على أن المركبات البروتينية اللازمة لتكوين الجذور تمر بكمية كبيرة فى الأنابيب الغربالية وبكمية ملحوظة فى برنشيمة اللحاء . وقد وجد Hanstein أن عملية « التحليق » هذه لا تمنع مرور المركبات البروتينية بالنسبة لوجود أشرطة إضافية لحائية فى النخاع كما فى نباتات العائلات CUCURBITACEAE و SOLANACEAE و PIPERACEAE .

ويلوح أن انتقال المركبات البروتينية فى الأنابيب الغربالية يعود الى ضغط نسبى بسبب مرور هذه المركبات نحو الجهة الأقل مقاومة ، وقد يرجع ذلك الى الصفات الأزموزية للمحتويات السائلة أو الى انضغاط الأنابيب الغربالية المتسبب عن زيادة انتفاخ الأنسجة المجاورة لها كبرنشيمة اللحاء والخلايا المرافقة . واذا كان للانابيب الغربالية القدرة على إحداث الضغط الانتفاخى معتمدة فى ذلك على نفسها فانما يعود ذلك الى وجود الطبقة الداخلية السطحية السيتوبلازمية أى الغشاء البروتوبلازمى .

أما المواد النشوية التى تحتوى عليها الأنابيب الغربالية فلم يلاحظ انتقالها . ويقول ستراسبرجر إن وجود النشا يتعلق بتكوين الكالوس ، فعندما يزداد تكوينه يختفى النشا . وعلاوة على وجود البروتين والنشا تحتوى الأنابيب الغربالية على عدة أنواع من السكريات ، ولذلك فهى تقوم الى حد ما بنقل المواد الكاربوايدراتية ولو ان أكبر كمية منها تنقل عن طريق البرنشيمة الناقلة .

وتنقسم الخلايا الأمية الابتدائية للأنابيب الغربالية فى نباتات مغطاة البذور عدة انقسامات ، كما شاهد De Bary وأتم هذه الدراسة Wilhelm وغيره ، وتبقى أكبر

الخلايا المنقسمة لتكون الأنبوبة الغربالية بينما تكون الباقية الضيقة والأصغر حجما الخلايا المرافقة التى أسماها ولهلم Companion Cells ، (شكل ٥٨ — ١) . ويمكن التفرقة بسهولة بينها وبين برنشيمة اللحاء العادية بالنسبة لضيق فراغها الداخلى ووفرة وجود البروتوبلازم وكبر حجم النواة، كما تظهر فى قطاعها العرضى مضلعة رباعية أو ثلاثية الشكل أو مستديرة أو مستطيلة . ويشتمل عادة الجدار الذى يفصل بين الأنبوبة الغربالية والخلية المرافقة على عدد كبير من النقر البسيطة تستطيل عرضياً من كل من الجانبين ، أما الجدر التى 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 فى الطول .

وتترتب الخلايا المرافقة فى نباتات ذات الفلقة الواحدة وكذا فى الاشرطة اللحائية فى بعض نباتات ذات الفلقتين فى مجاميع متصلة ، ولا يشاهد هذا الوضع تماما فى معظم نباتات ذات الفلقتين وخصوصاً فى اللحاء الثانوى . ونسيج اللحاء الابتدائى ذو تركيب بسيط سرعان ما ينضغط ويتهشم ويصعب تميزه بسبب تكوين نسيج اللحاء الثانوى الذى يكون فى نباتات مغطاة البذور أكثر تعقيداً ، حيث توجد به علاوة على الانابيب الغربالية والخلايا المرافقة وبرنشيمة اللحاء ، الالياف والاسكليريدز كما تظهر به غالبا الخلايا والقنوات الافرازية . ولا توجد الخلايا المرافقة فى نباتات معراة البذور والنباتات التيريدية ويحل محلها صفوف من خلايا برنشيمية ذات محتويات بروتوبلازمية وافرة تكوّن فى اللحاء الثانوى لنباتات معراة البذور مجاميعاً من خلايا ألبيومينية على مسافات قصيرة مشابهة فى ذلك الخلايا المرافقة فى نباتات ذات الفلقتين. أما وجه الشبه الفسيولوجى بين هذه الخلايا الالبيومينية وبين الخلايا المرافقة فغير معروف تماما ، وقد تكون ذات قيمة موضعية ، كما قد تتعاون معها فى حركة محتوياتها السائلة بالنسبة لعلاقتها التشريحية بالانابيب الغربالية . ويعتقد Fischer أنها أعضاء خاصة بتركيب البروتين كيماوياً ، كما يرى Sachs أن الانابيب الغربالية تقوم بوظيفة مماثلة .

٤ — الأنابيب أو الخلايا اللبنية Latex Tubes or Laticiferous Elements

تعتبر الأنابيب الغربالية وبرنشيمة اللحاء والبرنشيمة النافلة فى معظم النباتات الراقية كافية لنقل المواد المرنة ، غير أن بعض عائلات نباتات مغطاة البذور تمتاز باحتوائها على نسيج إضافى ناقل فى شكل خلايا أو أنابيب لبنية سميت بهذا الاسم نسبة للمظهر اللبنى لمحتوياتها . وهى تتكون عادة من أنابيب طويلة متفرعة تتخلل الجذور والسوق والأوراق فى اتجاهات شتى ، كما أنها ذات قابلية محدودة لنقل المواد خلالها . والأنابيب اللبنية ذات جدر رقيقة ناعمة إلا فى جنس *Euphorbia* حيث يصل سمكها من ٠,٠١ إلى ٠,٠١٦ سم ، ومع ذلك فهى عادة مرنة وقابلة للامتداد ، ولاتوجد النقر بها حتى فى الجدر الأكثر سمكا . وقد لاحظ هابرلاندت أن جدر الأنابيب اللبنية التى تلاصق الخلايا العادية فى نبات *Euphorbia lathyrus* تظهر بها أحياناً نقر ضيقة ، أما مناطقها الملاصقة للخلايا البرنشيمية الاسفنجية فذات نقر أكبر حجما يمر خلال ثقوب أغشيتها خيوط سيتوبلازمية دقيقة جداً . كما لاحظ Kienitz Gerloff هذه الاتصالات البروتوبلازمية بين الأنابيب اللبنية والخلايا البرنشيمية التى تجاورها فى نبات *Euphorbia cyparissias* وكذا فى جنس *Nerium* .

ويتضح من أبحاث كل من Treub و Emil Schmidt أن الانابيب اللبنية التامة التكوين تحتوى على طبقة داخلية سطحية من البروتوبلازم يتعلق بها عدد كبير من النوايا . وبالنسبة لتكوين الأفرع العديدة وانسداد بعض الانابيب اللبنية بمادة شبه كاللوسية (كما فى جذر *Scorzonera* وساق *Euphorbia splendens*) يبقى البروتوبلازم الموجود بها محتفظاً بحيويته مدة طويلة .

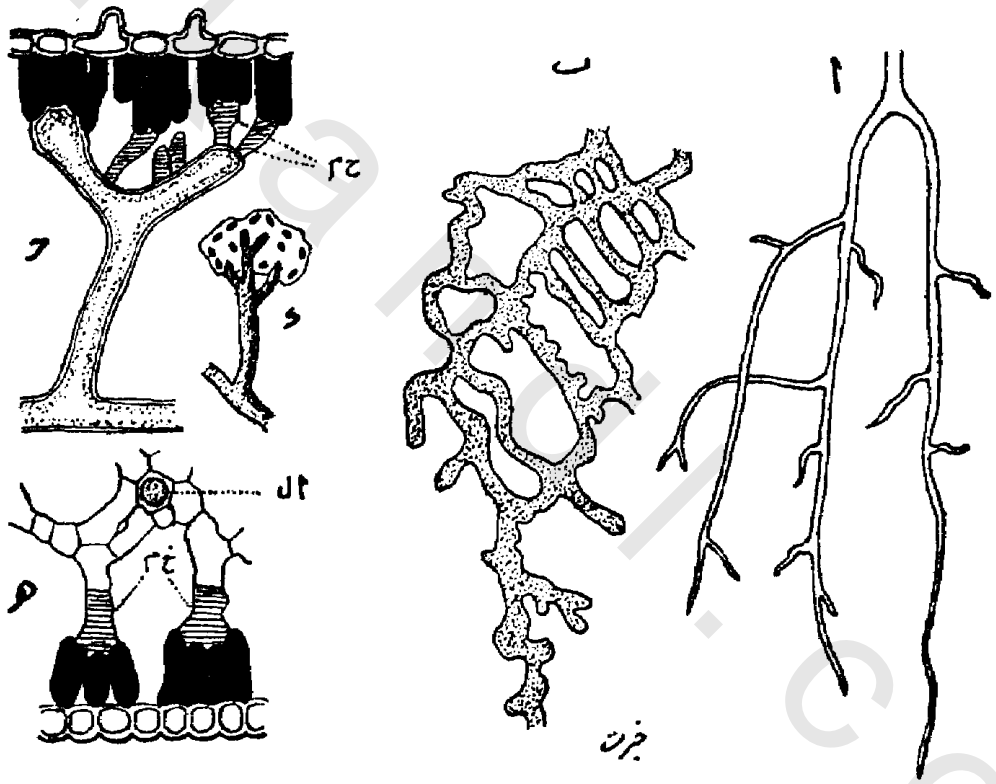
والمادة اللبنية التى تشتمل عليها الأنابيب اللبنية عبارة عن سائل أبيض فى لون اللبن ، وقد يكون أصفر أباهتاً كما فى *Argemone* أو ذو لون برتقالى كما فى *Chelidoniun* ، وهى تمثل العصارة الخلوية ويعتبرها كل من Schmidt و Kallen و Molisch و Berthold بروتوبلاستاً سائلا متحوراً . وتوجد هذه المادة عادة فى شكل مستحلب يحتوى على عدد

كبير من الحبيبات والقطرات معلقة فى السائل المائى الذى يحتوى بدوره على مواد أخرى ذائبة. وتتكون المواد المعلقة من حبيبات من الراتنج ومادة غروية كاوتشوكية وقطرات زيتية وحوصلات تانينية وبلورات بروتينية ، كما تحتوى فى العائلة اليوفوربية على حبيبات نشوية صغيرة. والحبيبات النشوية ذات أشكال خاصة ، تكون فى نباتات اليوفوربيا ذات شكل عصوى أو مغزلى، أما فى الأنواع الاستوائية منها فهى منبسطة ذات أطراف ممتدة مشابهة شكل العظام أو Dumb-bells . ويقول Potter إن تكوينها ذو علاقة بالبلاستيدات العديمة اللون كما فى حالة حبيبات النشا العادية . وقد وجد Molisch عدداً كبيراً من الحبيبات البروتينية التى تتكون من بلاستيدات خاصة فى المادة اللبنية لنباتى *Cecropia peltata* و *Brosimum macrocarpum* . أما الجسم الأساسى المائى للمادة اللبنية فقد يحتوى على عدد من المواد الذائبة كالأملاح المعدنية مثل أوكسالات الكلسيوم فى أنواع اليوفوربيا ، وأملاح المغنسيوم فى *Ficus elastica* وغيرها ، والبروتينات ، والمواد السكرية ، والغروية ، والتانين ، والمواد القلوية (كالمورفين الموجود فى أبو النوم) . وتوجد أيضا الانزيمات المذيبة للبروتينات فى المادة اللبنية لعدة نباتات مثل *Carica papaya* و *Ficus carica* .

وتعتبر المادة اللبنية سائلا غذائياً بالنسبة للكميات الكبيرة من المواد المرنة الموجودة بها ، كما أنها تحتوى على مواد ذات طبيعة إفرازية ناتجة من عملية التحول الغذائى . ومن الوجهة المورفولوجية يسهل التمييز بين الأعضاء اللبنية المختلفة المسماة بالأنابيب أو الأوعية اللبنية المفصلية والانابيب أو الخلايا اللبنية الغير مفصلية . ويمتاز بوجود الأوعية اللبنية Latex Vèssels العائلات Cichoriaceae و Campanulaceae و Papaveraceae و Lobeliaceae و Papayaceae ، وكذلك كثير من نباتات Araceae و Musaceae ، وجنسى *Manihot* و *Hevea* فى العائلة اليوفوربية . وهى تنشأ من صفوف من الخلايا المرستيمية تزول حواجزها الفاصلة فى طور مبكر من تكوينها ، وفى جنسى *Musa* و *Chelidonuim* تبقى الجدر العرضية ولكنها تكون منقوبة بثقب واحد كبير أو أكثر . وتظهر مثل هذه الثقوب فى كل الحالات على الجدر الطولية اذا ما لا مست أنبوبة لبنية أنبوبة أخرى . والأوعية اللبنية

النموذجية ذات أفرع عديدة تمتد فى عدة جهات مكونة شكلا شبكياً (شكل ٥٩ — ب)، وتتكون كل من الافرع الابتدائية والتفرعات الاخرى إما باتحاد صفوف الخلايا المرستيمية أو بتكوين نموات جانبية تندفع بين خلايا الانسجة المحيطة بها .

وتوجد الخلايا اللبنية Latex Cells فى معظم نباتات العائلة اليوفوربية وكذا فى URTICACEAE و ARTOCARPACEAE و MORACEAE و APOCYNACEAE و ASCLEPIADACEAE . وتنشأ الأنبوبة اللبنية فى هذه الحالة من خلية أمية واحدة تمتد امتداداً كبيراً كما تتشعب كثيراً ، وهى غير متفرعة عادة وقد تتفرع أحياناً



(شكل ٥٩)

(ا) خلية لبنية متفرعة فى ورقة حديثة لنبات *Euphorbia myrsinites* ، × ١٢٠ ؛
(ب) أوعية لبنية ذات أفرع متشابكة فى نشرة جذر *Scorzonera hispanica* × ١٢٠ ؛
(جـ) اتصال أفرع الأنابيب اللبنية بالخلايا العمادية فى نبات *E. myrsinites* × ١٧٠ ؛
(د) التصاق الأفرع النهائية بالخلايا العمادية × ٢١٠ ؛ (هـ) تكملة الاتصال بين أفرع الأنابيب اللبنية والخلايا العمادية بواسطة خلايا المجمعة ، وكذلك فى شكل جـ × ١٧٠. ال = أنبوبه لبنية ، خ م = خلية مجمعة ؛ (ا ، جـ ، د ، هـ عن هابرلاندت — ب عن أنجر)

(شكل ٥٩ — ١) . ويقول Schwendener ان الخلايا الأمية للانابيب اللبنية يسهل تميزها حتى فى الأجنة الصغيرة لنباتات العائلة اليوفوربية ، وتظهر هذه الخلايا فى الحافة الداخلية لنسيج القشرة الابتدائية فى العقدة الأولى الفلقية ، وهى بالنسبة لنشاط نموها الطرفى سرعان ما تكون أنابيباً متفرعة . وتماثل هذه الافرع هيفات الفطريات المتطفلة فتدفع نفسها بين الخلايا المجاورة وتمتد نحو القمم النامية لكل من الساق والجذر ، وبذلك يتكون كل الجهاز اللبنى فى جسم النبات من العدد القليل من هذه الخلايا الذى يتكشف فى الجنين . ويقول Chauveàud أن الانابيب اللبنية فى حالة تكوين البراعم العرضية تكون أفرعا جديدة من عدة مواقع منها ، ومثل ذلك الانابيب اللبنية الثانوية التى تظهر بين الخلايا الناتجة من انقسام الكمبيوم . ويقف تكشف هذه الانابيب اللبنية فى طور مبكر من تكوين الجنين .

ولما كانت الانابيب اللبنية فى الجذور أو السوق أو أعناق الاوراق وأنصالها ذات علاقة فسيولوجية وثيقة بالبرنشيمة الناقلة وأشرطة اللحاء سواء كانت ملاصقة لها أو منغمسة بها ، فأن ذلك يدل على تشابه وظائف كل منها وخصوصاً بالنسبة للتركيب الكيماوى للمادة اللبنية . أما العلاقة التشريحية بينها وبين جهاز التمثيل الضوئى فقد تدل على أنها تقوم بنقل المواد الكاربوايدراتية . وقد وجد هابرلاندت أن الانابيب اللبنية المتشعبة يكثر وجودها مباشرة أسفل الطبقات العمادية المتخصصة فى عملية التمثيل الضوئى ، وقد تمتد أفرع مستقلة عن الافرع الرئيسية للجهاز اللبنى الذى يرافق الحزم الوعائية وتنحنى إلى أعلى (شكل ٥٩ — حـ) ، وتثبت نفسها بين الخلايا العمادية فى وضع يكفل لها الحصول على ناتجات عملية التمثيل . وتعمل الافرع النهائية للانابيب اللبنية كمواضع للاتصال بمجاميع الخلايا العمادية المتقاربة ، كما فى *Euphorbia sp.* و *Ficus nitida* و *Hypochaeris radicata* (شكل ٥٩ — ى). واذا لم يكن هذا الالتصاق تاما أكملته الخلايا المجمعة القمعية الشكل لتسهل انتقال ناتجات عملية التمثيل إلى الانابيب اللبنية (شكل ٥٩ حـ ، هـ) . ويشابه هذا الوضع ما سبق

وصفه فى اتصال جهاز التمثيل الضوئى بأغلفة الحزم الوعائية البرنشيمية فى أوراق النباتات التى لا يوجد بهـا أنابيب لبنية .

وتختلف نسبة تكوين الانابيب اللبنية فى الأوراق بالنسبة لتـكوين البرنشيمة الناقلة ، فاذا ما وجدت الأولى بكثرة فى النسيج الميزوفللى فان البرنشيمة الناقلة وخصوصاً أغلفة الحزم تكون مختزلة فى تكوينها ، ويحل محلها فى مناطق العروق الوسطية من ٦ — ٨ أنابيب لبنية متسعة ذات اتصال مباشر باللحاء كما فى *Euphorbia myrsinites* و *E. biglandulosa* . ويرى De Bary أن نشاط الأنابيب اللبنية قديؤثرعلى تكوين اللحاء ، فالأنابيب الغربالية فى كثير من النباتات اللبنية تكون ضيقة فى العادة كما فى ASCLEPIADACEAE ، غير أن Kneip لا يتفق مع هذا الرأى .

ويختلف تركيب المـادة اللبنية باختلاف أطوار تكوين النبات، فقد وجد Schullerus فى نبات *Euphorbia lathyrus* أنهـا تحتوى أثناء تكوين الجنين على كمية كبيرة من النشا والزيت والمركبات البروتينية والتانين ، أما فى مدة سكونه فى البذرة الناضجة فتصبح شفافة وتقل نسبة المواد المرنة بهـا كما تختفى حبيبات النشا وتقل كميات كل من الزيت والتانين . وتصبح المـادة اللبنية فى أثناء إنبات البذور مرنة مرة أخرى وتكثر بها الأجسام المعلقة كما تظهر فيهـا ثانية حبيبات النشا العصوية الشكل بعدد كبير مع ازدياد كمية المواد السابق ذكرها ، وتستعيد المـادة اللبنية فى النبات البالغ طبيعتها الغذائية طيلة فصل النمو الخضرى . وفى فترة السكون أثناء الشتاء تختزل محتوياتها مرة أخرى فى السوق فتقل كميات المواد المرنة التى تحتوى عليها وتظهر بهـا مادة Calcium Maltate ، أما فى الجذور فتزداد كمية البروتين وتختفى المواد المرنة الغير آزوتية مثل الزيت والنشا .

وقد أثبت Schullerus و Faivre أن المـادة اللبنية تتكون فى الأعضاء التى تقوم بعملية التمثيل الضوئى ثم تنتقل إلى أجزاء النبات الأخرى لأغراض غذائية . فاذا حفظت بادرة نبات *Tragopogon parrifolius* فى الظلام ، أو فى الضوء مع عدم وجود ثانى أكسيد الكربون ، أصبحت المـادة اللبنية كسائل مائى ، وإذا أعيد وضع البادرة

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

وتختلف قيمة المادة اللبنية باختلاف العائلات النباتية الموجودة بها ، فقد تكون ذات طبيعة غذائية فى بعضها وذات خواص وقائية فى الأخرى ، فشجرة (Cow Tree)- *Brosimum galactodendron* تنتج كميات كبيرة من مادة لبنية مغذية حلوة الطعم . ويخدم تجمد المادة اللبنية عند تعرضها للهواء فى سد الجروح التى تحدث للنبات ، كما أنها قد تحميه من الحيوانات الضارة وخصوصاً إذاما كانت ذات خواص سامة . وتمتد الأنابيب اللبنية بين خلايا النسيج الميزوفللى فى جنس يوفوربيا حتى تصل إلى كل من سطحى الورقة أسفل البشرة مباشرة ثم تمتد تماسياً فى اتجاهات شتى ، فاذا أزيل جزء يسير من البشرة سالت كمية كبيرة من المادة اللبنية الواقية . وفى بعض النباتات اليوفوربية العصارية مثل *Euphorbia officinarum* و *E. canariensis* تمتد أطراف الأفرع الطرفية للأنابيب اللبنية بين خلايا البشرة نفسها أسفل الكيوتيكل مباشرة .

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

ويدل نقص المادة اللبنية فى النباتات الضعيفة الى امتصاص قدر من حزيئاتها ، ويرى شوندنر أن الانابيب اللبنية فى مثل هذه الحالات تحتوى عادة على كتل فى هيئة سدادات تتلف كميات كبيرة من الجزيئات الصلبة تتكون بتجمد أجزاء المادة اللبنية ، كما يرى أن الجزئيات الموجودة فى المادة اللبنية تمنع قطرات الزيت الخفيفة من أن تطفو وحبيبات النشا الثقيلة من أن تستقر فى قاع جسمها المائى .

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

تركيب الحزم الوعائية The Structure of Vsacular Bundles

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

أولا — الأشرطة الناقلة البسيطة Simple Conducting Strands

يتكون أبسط أنواع الأشرطة الناقلة من العناصر الناقلة للماء ، فالتفرعات الوعائية الدقيقة فى كل من الأوراق والسوق لا تحتوى على شىء سوى قليل من القصيبات

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

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

ثانيا — الأشرطة الناقلة المركبة Composite Conducting Strands

تجتمع العناصر الناقلة فى 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 وهى الانابيب الغربالية والخلايا المرافقة وربما أيضاً برنشيمة اللحاء بالاشتراك مع البرنشيمة الناقلة . أما منطقة الخشب الاكثر مقاومة Xylem or Hadrome فتتكون من القصبات والقصيبات الناقلة للماء مشتركة دائماً مع البرنشيمة الناقلة ، ولذلك تسمى البرنشيمة الناقلة برنشيمة الخشب أو اللحاء . وتسمى الأشرطة المركبة التى تتكون من شريط أو أكثر من كل من الخشب

واللحاء بالحزم الوعائية Mestome Strands or Vascular Bundles . وتحاط كل حزمة وعائية فى أغلب الحالات بغلاف Bundle Sheath يختلف فى كل منها عن الآخر، فالاغلفة المتكونة من البرنشيمة الناقلة تمتازبها حزم أنصال الأوراق ، والأغلفة النشوية التى تمثل أعضاء الحساسية ترى فى السوق وفى أعناق الأوراق ، والأغلفة الاندودرمية قد توجد فى كل من السوق والأوراق والجذور . أما الحزم التى توجد بها مجاميع من ألياف الخشب والاغلفة الليفية فتسمى بالحزم الوعائية الليفية Fibro Vascular Bundles. ويمثل منطقة اللحاء بها كتلة اللحاء وما يجاورها من الغلاف الليفى ، أما منطقة الخشب فتتمثل فى كتلة الخشب وما يرافقها من ألياف الخشب ، وقد لا يوجد غلاف ليفى لمنطقة اللحاء أو ألياف خشب فى منطقة الخشب كما فى كثير من نباتات ذات الفلقة الواحدة .

ويشمل الجدول الآتى العناصر الناقلة المختلفة التى تكون كل من الأشرطة الناقلة والحزم الوعائية الليفية :

شريط وعائى مركب	حزمة وعائية Mestome	لحاء Leptome	منطقة اللحاء Phloem	ألياف اللحاء	الحزمة الوعائية الليفية
				الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة	
				برنشيمة اللحاء	
	الأغلفة البرنشيمية الناقلة	خشب Hadrome	منطقة الخشب Xylem	القصبات والقصيبات	
				برنشيمة الخشب	
				ألياف الخشب	

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

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

١ — الأشكال المختلفة للأشرطة الناقلة المركبة

هنالك ثلاثة أشكال غير متجانسة للحزم الوعائية تتسبب عن اختلاف وضع الخشب واللحاء فى كل منها بالنسبة للآخر وهى :

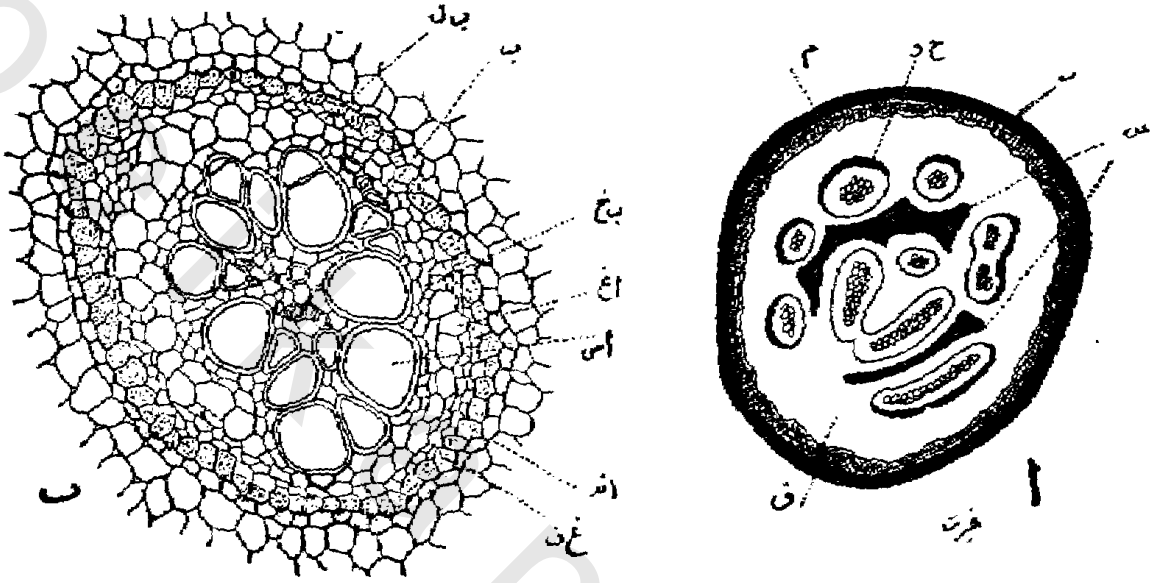
(ا) الحزم المركزية Concentric B. .

(ب) والقطرية Radial B. .

(ج) والجانبية Callateral B. .

(ا) يسمى الشريط الناقل مركزيا اذا كان وضع أحد العناصر الناقلة شاغلا المنطقة المركزية محاطا ومغلفاً بالنوع الآخر من العناصر الناقلة . فاذا كان الخشب شاغلا المركز محاطاً باللحاء سميت الحزمة مركزية الخشب (Amphicribral) Hadrocentric، وترى مثل هذه الحزم فى سوق وأوراق النباتات السرخسية وبعض نباتات ذات الفلقتين مع استثناء الحزم الصغيرة فى أوراق كل منهما . أما اذا كان اللحاء مركزيا محاطا بالخشب سميت الحزمة مركزية اللحاء (Amphivasal) Leptocentric ، وترى فى نهايات الحزم الورقية لريزومات نباتات ذات الفلقة الواحدة مثل *Cyperus papyrus* و*Acorus calamus* و*Iris germanica* ، وكذا فى الأشرطة النخاعية لعدد من نباتات ذات الفلقتين التابعة للعائلة Piperaceae . وتكون الحزم الوعائية المركزية الخشب فى النباتات السرخسية مستديرة أو أهليلجية الشكل فى مقطعها العرضى، وقد تكون أحيانا شريطية أو منطوية مشابهة حرف : V أو U أو X (شكل ٦٠ — ١) . ويتكون الخشب فى الحزم الصغيرة من قصيبات مغزلية الشكل ذات تغليظ سلمى ، أما عناصره المتكونة أولا فيكون تغليظها حلقياً أو حلزونيا ، وتظهر مثل هذه الحزم فى بعض الأحيان فى نبات *Pteris aquilina* . أما الحزم الأكبر حجما فيتخلل قصيباتها خلايا برنشيمية تفصلها أيضاً عن اللحاء المحيط بها ، ويتكون اللحاء من الأنابيب الغربالية وبرنشيمة

اللحاء . وتحاط الحزمة كلها بغلافين متتاليين يتكون الداخلى منهما من طبقة أو أكثر من خلايا برنشيمية تحتوى على النشا . وتسمى بغلاف اللحاء ، أما الخارجى فيحيط بها مكونا غلافا واقياً يسمى بالاندودرمس (شكل ٦٠ — ب) .

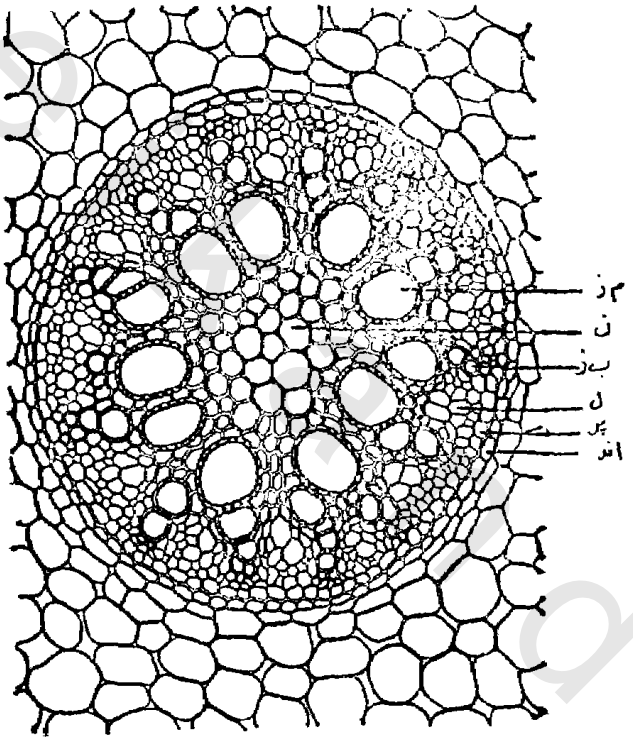


(شكل ٦٠)

(ا) ق . ع . فى ريزوم نبات *Pteris aquilina* × ٧ — ب = بشرة ، م = منطقة لبية خارجية ، ص = صفائح لبية ، ق = قشرة ، ح و = حزم وعائية مركزية الخشب . (ب) ق . ع . فى حزمة وعائية مركزية الخشب فى ساق نبات *Aspidium* — ب = پروتوزيلم ، ا س = أوعية ذات تغليظ سلمي ، ا غ = أنابيب غربالية ، ب خ = برنشيمة الخشب ، ب ل = برنشيمة اللحاء ، غ ن = غلاف نشوى ، اند = اندودرمس ، (ا عن ستراسبرجر ، ب عن Small)

(ب) أما الحزم القطرية Radial Bundles فيمتاز بوجودها الجذور ، وتنتظم كل من أشرطة الخشب واللحاء فى مجاميع يزداد أو يقل كما يتساوى عدد كل منها على أنصاف أقطار متبادلة ، ويشغل المسافات بين هذه الأنسجة الوعائية المتتالية منطقة من البرنشيمة الناقلة يصل اتساعها الى حوالى خليتين . ويبلغ عدد الأشرطة الناقلة فى نباتات ذات الفلقتين اثنتان أو ثلاث أو أربع أو ثمان ، بينما يبلغ عددها فى نباتات ذات الفلقة الواحدة عشرون أو خمسون أو أكثر من ذلك . وبالنسبة لطريقة تكوين الأشرطة الخشبية التى تتكشف فى اتجاه داخلى من عدة مواضع ذات منشأ سطحى يجب التمييز

بين الحزم الثنائية Diarch ، والثلاثيـة Tetrarch ، والخماسية Pentarch ، والسداسية Hexarch ، والعديدة Polyarch [1] . وقد تتقابل الأشرطة الخشبية عند المركز مكونة وعاء مركزيا متسعاً ، ويرى هذا الوضع فى الجذور الابتدائية لبعض الحشائش وبعض نباتات ذات الفلقة الواحدة ، وفى حالات أخرى قد يشغل المنطقة الوسطى نخاع برنشيمي (شكل ٦١) ، أو كتلة من نسيج ليفى .



(شكل ٦١)

ق . ع . فى الاسطوانة الوعائية لجذر نبات ذى فلقة واحدة .
اند = اندودرمس (آخر طبقات القشرة) ، بر = بريسيكل (أول طبقات الاسطوانة الوعائيـة) ، ل = لحاء ، ب ز = بروتوزيلم ، م ز = متيازيلم ، ن = نخاع ،
(عن Kny)

ولما كان الوضع القطرى للحزم فى الجذور يجعلها أعضاء غير قابلة للامتداد فان العناصر الميكانيكية توجد عادة موزعة حول الحزم الوعائية القطرية ، وقد تشغل المنطقة المركزية ، أو توجد على الجانب الخارجى من أشرطة اللحاء فى شكل أغلفة هلاليـة كما فى جذور بعض نباتات العائلة Papilionaceae مثل *Pisum* و *Phaseolus* .

وتحاط مجموعة الحزم القطرية عادة بطبقة برنشيمية ذات جدر رقيقـة تسمى بالبريسيكل Pericycle وتعتبر أول طبقات الاسطوانة الوعائية كما تختص بانتاج الجذور الجانبية

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

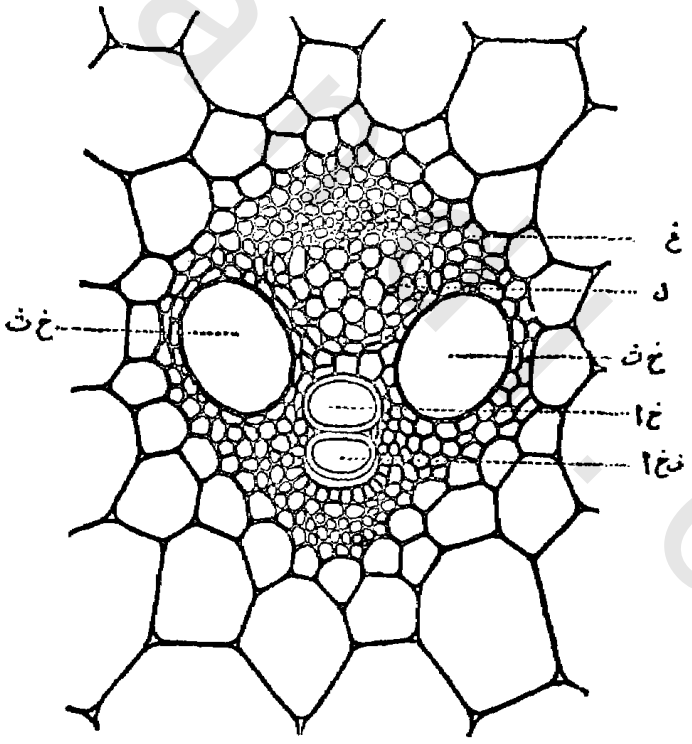
وفى العائلات GRAMINEAE و CYPERACEAE و JUNCACEAE ينفصل البريسيكل فى معظم أنواعها مقابل المجاميع الخشبية التى تلاصق الاندودرمس فى هذه المواضع .

وقد يتخذ النظام القطرى فى بعض الجذور أوضاعا مختلفة بالنسبة لظروف خاصة ، ويرجع بعض هذه التحورات الى الحاجة لزيادة الأنسجة الناقلة أوالميكانيكية . فقد يزداد امتداد الأسطوانة المركزية كما يتكشف وينتثر عدد من أوعية الخشب وأشرطة اللحاء على الجانب الداخلى للحلقة القطرية العادية ، كما فى الجذور الهوائية لكثير من النباتات الأرويدية العلوية ، وكذلك الجذور العادية لعائلة MUSACEAE ، وبعض أنواع النخيل ، والجذور الرفيعة فى جنس *Pandanus* . وتكون الأسطوانة المركزية فى الجذور الهوائية السميكة كثيرة الاتساع ، وفى هذه الحالة يسهل الوضع الخارجى للعناصر الناقلة انتقال الماء الى أنسجة القشرة . ويرجع الفرق التشريحى بين الجذور الماصة والمثبتة لبعض هذه النباتات الأرويدية العلوية الى زيادة حاجتها للجهاز الناقل ، ففى نبات *Monstera deliciosa* يصل قطر الاسطوانة المركزية ⅓ القطر الكلى للعضو الموجودة به ، أما فى حالة الجذور التى تثبت النبات الى دعامته فيظهر بها النخاع نجمى الشكل خالياً من العناصر الناقلة ، كما يقل اتساع كل من الاوعية والانابيب الغربالية . ويبلغ اتساع الاسطوانة المركزية بالجذور الماصة التى تنمو فى اتجاه رأسى الى أسفل ثم تخترق التربة فى النهاية نصف قطرها الكلى كما يوجد بها علاوة على أشرطتها الخشبية واللحائية العادية عدد كبير من الاوعية والانابيب الغربالية المتسعة منتثرة فى النخاع .

وتظهر الحزم القطرية أيضاً فى سوق LYCOPODIACEAE وفى الافرع المدادة لجنس *Nephrolepis* . ويتكون الخشب فى جنس *Lycopodium* من صفوف قطرية تتلاقى فى مركز الساق ، وقد تنفصل بشكل أشرطة تمتد أفقياً تتكون حوافها المنحنية من قصيبات ذات تغليظ حلقى وحلزونى ، أما مناطقها الوسطية فتتكون من عناصر ذات تغليظ سلمى ، ويحاط كل شريط خشبى بطبقة من برنشيمة الخشب ، أما المسافات الموجودة بين هذه المجاميع 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— ب) . وتوجد الحزم الجانبية فى أوراق وسوق كل من نباتات مغطاة ومعراة البذور وفى سوق جنس *Equisetum* ، كما تنتمى الحزم الورقية الصغيرة فى معظم النباتات السرخسية الى هذا النوع . ويتجه اللحاء فى السوق عادة نحو الخارج والخشب نحو الداخل ، أما فى الأوراق فيتجه نحو السطح السفلى لها بينما يتجه الخشب نحو السطح العلوى .

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



(شكل ٦٢)

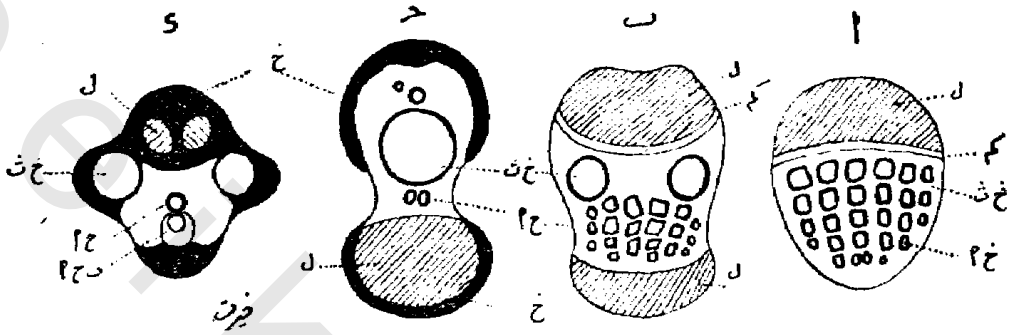
حزمة وعائية جانبية مقفولة فى سوق نباتات ذات الفلقة الواحدة . غ = غلاف ليفى ، ل = لحاء ، خ ث = خشب ثانى ، خ ا = خشب أول ، ف خ ا = فجوة الخشب الأول ، (عن Knv)

و*Hyacinths*، وكذلك عائلة SCITAMINEAE، كما تتخذ بالنسبة لتركيبها أشكالا متباينة. فتمتاز الحزم الوعائية فى معظم نباتات ذات الفلقة الواحدة بوجود الاشرطة الخشبية على شكل حرف V أو Y، وتشتمل عادة على أربعة أوعية مرتبة بشكل عينين وأنف وفم (شكل ٦٢). وتتكون الصغيرة منها (المكونة للأنف والفم) أو الخشب الاول من أوعية ذات تغليظ حلقى أو حلزونى، وقد يحل محلهما قناة كبيرة (فجوة الخشب الاول)، أما الكبيرة المكونة للذراعين (أو العينين) أو للخشب الثانى فتتكون من وعاءين كبيرين متسعين تغليظهما إما حلزونى أو شبكى. وقد يشغل اللحاء المسافة الموجودة بين الذراعين أو يشغلها مجموعة من الاوعية الضيقة، كما فى كثير من الحشائش. وتمتاز الحزم الوعائية فى بعض نباتات ذات الفلقة الواحدة كما فى جنس *Musa* و *Maranta* و *Calamus* بوجود وعاء واحد فردى متسع فى مركز منطقة الخشب علاوة على عدد قليل من عناصر الخشب الاول، وتظهر هذه الحزم فى شكل بصلى أو درنى وتتكون فى الاعضاء الخضرية السريعة النمو بالنسبة للزيادة فى كميات الماء المطلوبة ونشاط انتقالها خلالها (شكل ٦٣ — هـ).

ويوجد نسيج اللحاء فى نباتات ذات الفلقة الواحدة على عدة أشكال بالنسبة لطبيعة تركيب العناصر المتكون منها، فهو يتكون عادة من الانابيب 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 فى أعناق كثير من أوراق النخيل (شكل ٦٣ — و).

أما الحزم الوعائية الجانبية لنباتات ذات الفلقتين المغطاة والمعراة البذور فتوجد بها عناصر من الخشب فى صفوف قطرية (شكل ٦٣ — ا)، وذلك بالنسبة لتكون مجموعة من خلايا الكمبيوم فى طورمبكر بين كل من الخشب واللحاء تبقى نشطة لمدة طويلة. وتسمى هذه الحزم جانبية مفتوحة Openned C. B.، وتتصل أطراف أشرطة كمبيوم الحزم لتكون فى النهاية حلقة ثانوية من الكمبيوم. ولا يوجد الكمبيوم الحزمى

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



(شكل ٦٣)

(ا) رسم تخطيطى لحزمة وعائية جانبية مفتوحة (ب) حزمة وعائية مفتوحة ذات جانبين فى ساق اللوف (حـ) حزمة وعائية جانبية مقفولة فى قاعدة عنق ورقة الموز (ء) حزمة وعائية جانبية مقفولة فى عنق ورقة اللانانيا انقسم فيها اللحاء الى قسمين بواسطة النسيج اللبنى — ل = لحاء ، كم = كمبيوم ، خ ث = خشب ثانى ، خ ا = خشب أول ، ف خ ا = فجوة الخشب الأول ، خ = خلايا ليفية .

أما المسافة البينية أو قناة أو فجوة الخشب الأول المختلفة الاتساع التى تظهر فى كثير من نباتات ذات الفلقة الواحدة فيظهر بها آثار تغليظات الأوعية الحلقية والحلزونية المفككة شاغلة الفراغ الداخلى ولاصقة بجدرهذه القناة .ويقول Westermaier إن هذه القنوات تحتوى على الماء فى أوقات معينة وأنها قد تقوم بتخزينه أو تشترك فى نشاط انتقاله .

٢ — الأهمية الفسيولوجية للأشكال المختلفة للحزم الوعائية

تعتبر الحزمة المركزية الخشب التى ترى فى سوق نباتات Mosses الأكثر رقياً والمسماة Polytrichaceae أول أنواع الحزم الوعائية الابتدائية ظهوراً وتكويناً ، أما الحزم القطرية والجانبية فتعتبران معاً أنواع مشتقة منها . وتنحصر أولى خطوات تكوين الجهاز الوعائى فى تكشف نسيج ناقل للماء يتخذ وضعاً قطريا مركزيا موازياً لمحور الساق ، كما يشاهد فى سوق المومز حيث يرى بها شريط مركزى بسيط يتكون من حزمة

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

أما القشرة البرنشيمية فتقوم بنقل المواد الكاربوايدراتية. ولما كان نسيج اللحاء رقيقاً وقابلا للتلف فانه يتخذ عادة وضعاً قريباً بقدر الإمكان من المحور الوسطى للساق الذى يشغله الشريط الناقل للماء مكوناً غلافا حلقى الشكل يحيط بالخشب ، وبذلك يتم تكوين الحزمة الوعائية المركبة المركزية الخشب . ويعتبر الشريط الناقل المركزى فى الساق والذى يفصله الأندودرمس عن نسيج القشرة ، اسطوانة مركزية Central Cylinder (Stele).

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

وتعتبر الحزم الوعائية الجانبية مشتقة تدريجياً من النوع المركزى وخصوصاً فى الأوراق كما فى النباتات السرخسية . فالمنطقة الخشبية تترك وضعها المركزى متجهة تدريجياً نحو الجانب العلوى للحزمة كما يتجه اللحاء الى الجانب الآخر وبذلك تفقد الحزمة الوعائية صفاتها المركزية . وغالباً مايحدث هذا الاختلاف الوضعى فى العنق ثم يظهر أخيراً فى العروق الرئيسية للنصل ، أما فى العروق الصغيرة فتختفى بقايا اللحاء الموجودة فى جانبها العلوى . ويرجع تحول الحزم الوعائية فى هذا الوضع الجانبى 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 يختل 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 والى النظام الجانبى فى الأوراق لتسهل عملية انتشار الماء والاملاح المعدنية خلال القشرة الى عناصر الخشب الناقلة (فى الأولى) وفى انتقالها من الخشب الى النسيج العادى (فى الثانية). ولما كانت الجذور مستديرة الشكل يتخذ الخشب النظام القطرى ، أما فى الأوراق ذات الجانبين فان الخشب يتجه دائماً الى الجهة الخارجية . ويرجع ظهور الحزم الوعائية الجانبية ذات الخشب الخارجى فى السبلات والبتلات والقنابات والحراشيف البرعمية الى أنها أوراق متحورة .

وتتكون الأسطوانة الوعائية فى سوق نباتات ذات الفلقتين مغطاة ومعراة البذور وكذا سوق جنس *Equisetum* من حلقة متسعة من الحزم الوعائية ذات لحاء خارجى يتوسطها النخاع البرنشيمى ، وقد تكون أحيانا جوفاء . وتعتمد سوق النباتات الضعيفة التكوين وكذا الجوفاء القابلة للانثناء على الخشب فى تقويتها وبذلك يصبح موضعه خارجياً وكذلك اللحاء ، هذا الى أن عملية النتح فى السوق (كما فى الأوراق) تجذب الخشب الى هذا الموضع الخارجى . أما النخاع البرنشيمى فيعتبر نسيجاً مخزنا دائما 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 تتكون الأشعة النخاعية الابتدائية Primary Medullary Rays . وقد تظهر حلقات أخرى من الحزم فى بعض نباتات ذات الفلقتين أو تكون الحزم منتثرة كما فى نباتات ذات الفلقة الواحدة ، ويرجع هذا الوضع الى حاجات فسيولوجية خاصة . وتعتبر الأشرطة الناقلة أو الحزم الوعائية الإضافية التى تتكون فى النخاع أو القشرة وكذا التفرعات التى توجد فى النسيج الميزوفللى أو فى مناطق العقد فى السوق مستقلة فى تكوينها عن الاسطوانة الوعائية الأصلية .

ويعود توجيه الحزم الوعائية فى السوق بحيث يكون اللحاء خارجياً والخشب داخلياً الى وضع الخشب جهة السطح العلوى فى الأوراق الممتدة أنصالها أفقياً واللحاء جهة السفلى (كما سبق ذكره) ، وبتتبع اتجاه هذه الحزم حتى دخولها السوق لا نرى تغييراً فى وضع كل من اللحاء والخشب حتى يتخذ اللحاء فى السوق وضعه الخارجى . وهذا الوضع ، وخصوصا فى سوق نباتات ذات الفلقتين ومعراة البذور الغير قابلة للثنى ، ذو أهمية عند حدوث النمو الثانوى حيث تسهل مرافقته للأشرطة الليفية او الاسطوانة الميكانيكية الواقية . وقد تسبب الحاجة لوقاية اللحاء اختلافا فى اتجاه الحزم الوعائية ، ففى جنس *Centaurea* يكون اللحاء فى الأشرطة الناقلة « الاضافية » الموجودة بالقشرة متجهاً للداخل نحو الحزم الوعائية العادية بينما يتجه الخشب بها نحو الخارج حيث يسهل اتصاله بجهاز التمثيل الضوئى فى القشرة .

وتمتاز الحزم ذات الجانبين (عن النوع الجانبى العادى) بوجود مجموعة إضافية لحائية على الجانب الداخلى للخشب ، ومما لاشك فيه أن وجود اللحاء فى حالة مزدوجة يرجع الى الزيادة فى المطالب الفسيولوجية فى هذا الجزء من الجهاز الناقل . وغالباً ما تحتوى السوق المزودة بالحزم ذات الجانبين على أشرطة لحائية إضافية منعزلة ، كما فى العائلات Cucurbitaceae و Cichoriaceae وكثير من نباتات العائلة Solanaceae . وقد يعود السبب فى تفضيل النبات لوجود شريط لحائى داخلى إضافى

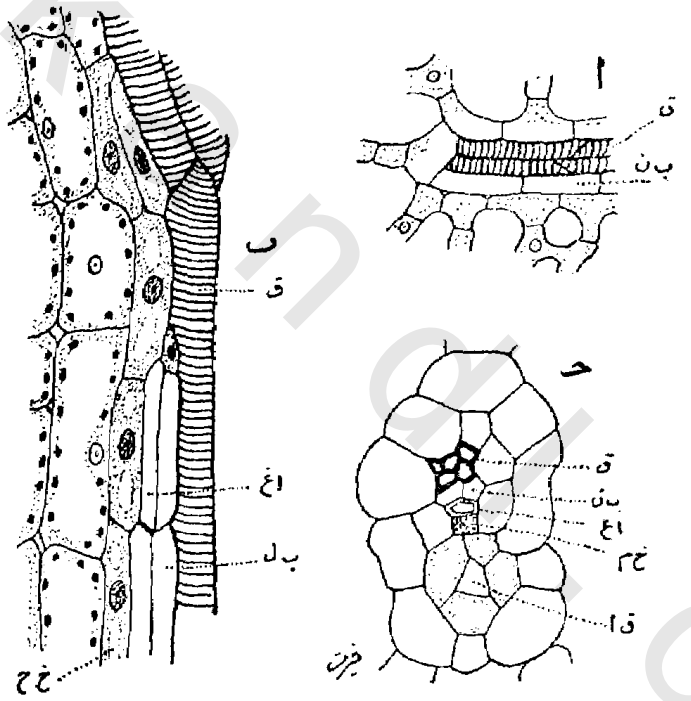
على الزيادة فى حجم الشريط الخارجى الى الحاجة فى ضمان وقاية نسيج اللحاء من التمزق ، كما يقوم الشريط اللحائى المزدوج بنقل المواد المرنة فى تيارين متقابلين فى قنوات ناقلة منفصلة . ويقول A. Fischer ان الأشرطة اللحائية الداخلية فى الحزم الورقيـة ذات الجانبين تكون نشطة لمـا تكون الأوراق صغيرة ، ويقل نشاطها وتفرغ محتوياتهـا عند بلوغ الأوراق نموها الـكامل ، أما الأنابيب الغربالية الموجودة بالأشرطة الخارجية فتبقى دائمـا نشطة ممتلئة بمحتوياتها حتى فى حالة بلوغ الاوراق . ويستنتج ستراسبرجر من ذلك أن الشريط اللحائى الداخلى ذو الانابيب الغربالية الضيقة يزود الانسجة المتكونة بالمواد المرنة ويبطل عمله لمـا يتم نمو الاوراق ، أما الشريط الخارجى فيشبه الشريط اللحائى العادى للحزم الجانبية فى جمعه ونقله للمركبات الآزوتية المتكونة فى الأوراق .

وترتبط الحزم المركزية اللحاء بالنوع الجانبي 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 الـكاربوايدراتية وحدها أو هى والمـاء معاً . أما وجود منطقة الخشب فى هيئة غلاف يحيط باللحاء تمـاماً فيمهد ويسهل للقصبات والقصيبات الاتصال المباشر بالأنسجة المخزنة الموجودة حولهـا حيث ان القنوات الناقلة للمـاء فى كثير من النباتات الخشبية قد تقوم علاوة على نقلها للمـاء بنقل المواد الـكاربوايدراتية وذلك عند تفتح البراعم فى زمن الربيع . وبالنسبة لذلك تقوم العناصر الخشبية الخارجية فى الحزم مركزية اللحاء بهذه الوظيفة المزدوجة لتسهل الاتصال بالأنسجة المخزنة المجاورة لهـا .

ثالثاً — النهايات الطرفية للحزم الوعائية

تنتهى التفرعات العديدة الدقيقة للجهاز الناقل عادة فى نسيج التمثيل الضوئى الميزوفللى بالأوراق ، ولمـا كان هذا النسيج مختصاً بامتصاص أكبر كمية من التيار النتحى كما يقوم بتجهيز المواد المرنة التى تنقل خلال ثقوب الحواجز الغربالية فى اتجاه مضاد للأول ، كانت

النهايات الطرفية للحزم الوعائية ذات تكوين بسيط ومظاهر خاصة لا ترى فى باقى الجهاز الناقل . وتتكون المنطقة الخشبية فى هذه المواضع من صف أو أكثر من القصيبات ذات التغليظ الحلزونى أو الشبكى ، كما يحيط بكل من هذه الأشرطة الناقلة الصغيرة غلاف من البرنشيمة الناقلة للمواد الكاربوايدراتية يمتد حتى نهاية هذه القصيبات (شكل ٦٤ — ا) مكوناً غطاء يشبه القلنسوة تحيط بأطارفها . وقد تبرز نهايات هذه القصيبات فى المسافات البينية ، ويشاهد هذا الوضع غالباً فى الأوراق السميكة لنباتات العائلة اليوفوربية مثل *Euphorbia myrsinites* حيث تمتد أطارف القصيبات مكونة شكلا حوصلياً ، وقد تكون القصيبات الطرفية كثيرة الاتساع وتقوم بتخزين الماء .



(شكل ٦٤)

(ا) ق . ط . فى نهاية حزمة ورقية فى نبات *Ficus elastica* مكونة من صفين من القصيبات ومغلفة بالبرنشيمة الناقلة. (ب) ق . ط. فى نهاية حزمة ورقية فى أحد أسنان ورقة نبات *Fuchsia globosa* (حـ) ق . ع . فى نهاية حزمة ورقية فى فصل ورقة نبات *Aralia sieboldii* — ق = قصيبات ، ب ن = برنشيمة ناقلة ، ا غ = أنبوبة غربالية ، خ م = خلية مرافقة ، ق ا = قناة افرازية ، خ ح = خلية متحولة ، ب ل = برنشيمة اللحاء ، (عنها برلاندت)

ولا يمتد اللحاء فى المعتاد حتى آخر هذه النهايات الطرفية ، غير أنه قد يصل اليها فى حالات شاذة (شكل ٦٤ — ب) . ويذكر A. Fischer ان الأنابيب الغربالية فى نباتات مغطاة البذور يقل اتساعها تدريجياً فى هذه المواضع كما تصبح الحواجز الغربالية غير تامة التكوين ، أما الخلايا المرافقة فيزداد حجمها (شكل ٦٤ — ه) مخالفة فى ذلك لأحجامها المعتاد مشاهدتها فى الحزم الوعائية العادية فى كل من الورقة والساق ، حيث يقف انقسام الخلايا الأمية للأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة فى هذه المواضع . وتحتوى هذه الخلايا المرافقة على محتويات بروتوبلازمية وافرة ونواة كبيرة ، وتقوم بنقل المركبات البروتينية المجهزة من نسيج التمثيل الضوئى الى الأنابيب الغربالية . ويعتقد Fischer ان هذه الخلايا نفسها هى التى تقوم بتجهيز المركبات البروتينية فى الأوراق .

ولا ترى هذه التفرعات الوعائية النهائية فى أعضاء التمثيل الضوئى للنباتات المخروطية والسيكاديه ، ويوزع الماء الى الأجزاء المختلفة الناتجة من النسيج الميزوفللى بواسطة نسيج وعائى يمتد على كل من جانبى الورقة بشكل جناحين يبرزان الى نسيج التمثيل الضوئى ، وقد يعانق كلا من منطقتى الخشب واللحاء للعرق الوسطى أو يحيط بهما تماماً . وقد سمى Von Mohl هذا النسيج «Transfusion Tissue» وأسماه De Bary "Border Tracheides" كما ذكر أنه يتكون من قصيبات برنشيمية ذات نقر مضفوفة . وقد تزود جدر هذه القصيبات فى نباتات العائلة Cupressineae بامتدادات شبه وتدية ، وقد تكون فى حالات أخرى ذات غلظ حلزونى أو شبكى . ويقول Scheit ان هذه التغليظات تتكون عادة عند ملاصقة هذا النسيج لخلايا التمثيل الضوئى ، وقد تحاط بغلاف برنشيمى ذو جدر سميكة كما فى جنس *Pinus* وغيره من نباتات العائلة Abietineae ، ولا تحتاج جدر القصيبات فى هذه الحالة لتغليظ خاص وتوجد بها النقر المضفوفة فقط . ويقول Scheit إن هذا النسيج يعتمد فى تكوينه على متوسط نشاط عملية النتح فى النبات ، فيقل فى النباتات الموجودة فى الأماكن الظليلة الرطبة ويزداد فى النباتات المعرضة للشمس مثل جنس *Pinus* .

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

رابعاً — الأندودرم The Endodermis

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

وخلايا الأندودرم برنشيمية مستطيلة الشكل وقد تتخذ شكلا بروزنشيمياً فى حالات شاذة ، وهى كاملة الاتصال إلا فى بعض مواضعه . وغالباً ما تكون ذات جدر مسوبرة مشابهة فى ذلك خلايا الفلين فتغطى الطبقة الابتدائية بمنطقة من السوبرين تغطى بدورها بطبقة سليلوزية ، وقد يزداد سمك هذه الطبقة الأخيرة لأغراض ميكانيكية مشابهة الأغشية الملجننة ، ويختص بوجود هذا الشكل من الأندودرم نباتات الفلقة الواحدة . وقد تبقى خلاياه دائماً ذات جدر رقيقة ، قلا تتسوبر الجدر التماسية بينما تزود الجدر القطرية بما يسمى شريط كسبيرى Casparian Strip ، ويمثل هذا الشريط منطقة متحورة ضيقة من الجدر القطرية والعرضية للخلية الأندودرمية ، ونادراً ما يزداد اتساعها أو شملها لكل الجدار القطرى كما قد تظهر بهيئة نقط Dots . ويظهر شريط كسبيرى ميكروسكوبياً فى الخلية الأندودرمية فى القطاع العرضى فى هيئة انثناءات داكنة اللون ، وتتسوبر

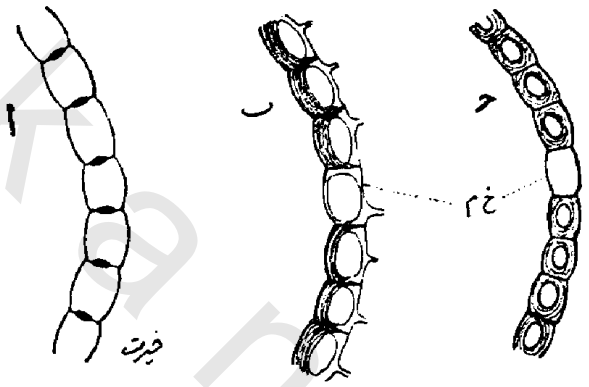
الطبقة الابتدائية كما يحدث للمنطقة المسوبرة للخلية الأندودرمية فى النوع الأول ، علماً بأن اصطلاح « السوبرة » يجمع عدة تحورات كيمائية تتعلق بصفات طبيعية خاصة يمتاز بها الجدار الخلوى .

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

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

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

ولا يكون الأندودرم ذو الجدر التماسية والقطرية المسوبرة منفذاً إطلاقا ، وقد تتسوبر الجدر التماسية ، كما قد تنفرد الجدر القطرية بالسوبرة على هيئة أشرطة ضيقة كما سبق ذكره (شكل ٦٥ — ١) . وتختلف الآراء بالنسبة للأهمية الفسيولوجية لأشرطة كاسبيرى ، ويقول شوندز إنها إذا كانت أنبوبية الشكل تكون ذات وظيفة ميكانيكية ،



(شكل ٦٥)

(ا) أندودرم تغلظت جدر خلاياه القطرية على هيئة أشرطة ضيقة . (ب) أندودرم تغلظت جدر خلاياه القطرية والتماسية الداخلية بشكل حرف C . (حـ) أندودرم تغلظت جدره القطرية والتماسية بشكل حرف () — خ م = خلية منقذة .

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

عن الضغط الارتشاحى فى القصبات والقصيبات . وقد تحتوى على حبيبات النشا وأحيانا على بعض المواد الغروية والتانين والبلورات ، كما تكوّن الاشرطة المسوبرة نطاقا متصلا يمنع تحرك الماء خلال المواد المكونة للجدر القطرية للأندودرم . وبالنسبة لانحصار انتقال المواد الذائبة فى القنوات الخاصة بالحزم الوعائية ووجود پروتوپلاست الخلايا الأندودرمية والأشرطة المسوبرة لجدرها القطرية ، تمنع طبقة الاندودرم تسرب هذه المواد المتنقلة خلال الحزم الوعائية ، حتى ولو كانت جدرها مسوبرة جزئياً .

وقد تتغلظ جدر خلايا طبقة الأندودرم بالتساوى بشكل حرف O (شكل ٦٥ — ص) ، وقد ينحصر السمك فى الجدر القطرية والتماسية الداخليـــة بشكل حرف C (شكل ٦٥ — ـ) ، وتختلف أوضاع هذه التغليظات فى أنواع نباتات الجنس الواحد . وقد تبقى جدر خلايا الأندودرم رقيقة كلها بينما يزداد السمك فى جدر خلايا القشرة المجاورة له كما فى النباتات السرخسية ، وقد تتغلظ جدر طبقات القشرة المجاورة للأندودرم فى شكل يشابه أشرطة كسبيرى كما فى جذور نباتات العائلة CUPRESSINEAE وبعض نباتات العائلة POMACEAE وجنسى *Taxus* و*Viburnum* . وقد يجاور الأندودرم أغلفة ميكانيكية إضافية مقوية ، ففى جذور نباتات العائلة LAURACEAE توجد أغلفة موضعية ميكانيكية إضافية ترافق أشرطة اللحاء . ولا يكون الأندودرم قوى التكوين مقابل مواضع مجاميع اللحاء فتكون خلاياه مستطيلة قطريا ، كما فى العائلة IRIDACEAE والجذور الهوائية لنباتات الأوركدز . وقد تزيد هذه الأنسجة الميكانيكية من مقاومة الأندودرم كما قد تكون ذات علاقة بامتداد الانسجة الموجودة بين النسيج البرنشيمى الاساسى والاسطوانة الوعائية . ويحمى الأندودرم اللحاء وغيره من الأنسجة الناقلة من الأضرار التى تحدث لها بسبب الامتداد أو الانضغاط ، ففى جذور نباتات الايرس الحديثة حيث لا يكون امتـداد الأنسجة كبيراً ، لاتزداد جدر خلايا الأندودرم فى السمك ، أما فى الجذور المسنة فتزداد فى السمك كثيراً .

ويختلف تكوين الأندودرم تبعاً للجو والبيئة ، فيكون ذوغلظ خاص فى جذور النباتات التى تنمو على الاحجار أو على المنحدرات ، وتكون جدر خلاياه فى النباتات السرخسية

التى تنمو على الصخور والأحجار أو على الجدران الجافة كثيرة السمك . وترى طبقات الأندودرم الزائدة السمك فى نباتات المستنقعات التى يجف ماؤها فى أوقات معينة بالنسبة لاختلاف الضغط الانتفاخى لخلاياه تحت هذه الظروف . ولا تزداد جدر خلايا الأندودرم فى السمك فى الأماكن الدائمة الرطوبة كمجارى المياه العميقه والبحيرات ، كما فى نباتى *Potamogeton* و *Sagittaria sagittaefolia*. وقد تزود الساق بأندودرم سميك الجدر فى النباتات التى تنمو فى المياه الجارية ، ولو أن أندودرم جذورها لا تزداد جدر خلاياه فى السمك .

وقل مايعرف عن العوامل التى تسبب وجود الأندودرم النموذجى من عدم وجوده ، ففى بعض الأحيان قد تحاط كل حزمة وعائية بغلاف واق مميز ، كما قد تحاط الاسطوانة الوعائية فى أحيان أخرى بالأندودرم العادى ، وقد يوجد الأندودرم فى أوراق بعض نباتات العائلة النجيلية ولا يوجد فى غيرها . ولا يرجع وجود أو عدم وجود الأندودرم فى أوراق النجيليات إلى عوامل البيئة بل قد يعود الى اعتبارات فسيولوجية ، كالاختلاف فى طرق انتقال المواد أو تكوين الأنسجة التى تتباين فى أنواع النباتات المختلفة . وقد توجد فى بعض الحالات طبقة أخرى تماثل الأندودرم وتبطن الاسطوانة الوعائية من الداخل وتسمى بالأندودرم الداخلى كما فى *Equisetum* .

ترتيب واتجاه الحزم الوعائية

تكون الأشرطة الناقلة المختلفة جهازاً يجرى خلال كل جزء من المجموعين الخضرى والجذرى ، وقد يصل الجهاز الوعائى حتى الزوائد المتكونة من البشرة ، كما فى الغدد الهاضمة لنبات *Drosera rotundifolia* ، وقد يقتصر وجوده على الحزم الوعائية كما فى بعض النباتات الطافية التابعة للعائلة LEMNACEAE . وعلى أى الأحوال فان للمطالب الفسيولوجية تأثير كبير على مدى تكوين وامتداد الجهاز الناقل .

ويختلف اتجاه توزيع الحزم الوعائية فى كل أجزاء النبات ، كما تتخذ أوضاعا مختلفة داخلية تتباين بالنسبة للمطالب الفسيولوجية والميكانيكية ، فالاشرطة 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 ، فاتجاه 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 وضعاً طولياً ، إما موازيا للمحور الطولى ، أومائلا 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 معينه 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 خلافها التى تتبع أوراقا أخرى ، وبذلك يصبح النظام الوعائى معقداً بالنسبة لاتصال عدد من مجموع الحزم بعضها ببعض فى مواقع معينة . وتسمى الحزم التى توجد فى السوق فقط Cauline Bundles ، وتشتمل النباتات التيريدية على هذا النوع من الحزم ، أما حزم الأوراق فتمتد نحوها لتتصل بها . وينقسم النظام الرئيسى لترتيب واتجاه الحزم الوعائية الى ثلاثة أوضاع مميزة وهى :

(ا) الاسطوانة الوعائية الأولية Prtostele

يمتاز بهذا الوضع سوق النباتات المسماة Polytrichaceae والسوق البالغة فى *Hymenophyllum* و *Gleichenia* و *Lygoduim* ، 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 مكونا من أجزاء متتالية من المناطق الساقية للحزم الورقية تتحد لتكون شريطاً وعائياً مركزيا بعد اختراقها للقشرة فى اتجاه قطرى مائل ، كما فى

نباتات POLYTRICHACEAE . وتوجد العناصر التى تمثل الأنابيب الغربالية والبرنشيمة الناقلة فى الغلاف اللحائى الذى يتوزع فى النهاية حول اسطوانة الخشب ويستمر فى اتجاه الحزم الورقية . وقد تتصل الحزم الورقية بالمحور الرئيسى للجهاز الناقل كما فى سوق نباتات الموسز ذات الشريط البسيط الناقل المركزى ، وقد لا تمتد كثيراً فى الساق بل تنتهى فى القشرة البرنشيمية ، وتحصل فى هذه الحالة على ما يلزمها من الماء من الشريط الناقل المركزى عن طريق الخلايا البرنشيمية التى تتوسطهما بطريقة غير مباشرة مما يدل على أن حزم الأوراق الوعائية ليست متجانسة مع حزم الساق . أما فى النباتات الراقية فيتم اتصال جميع الجهاز الناقل فى كل من الأوراق والسوق .

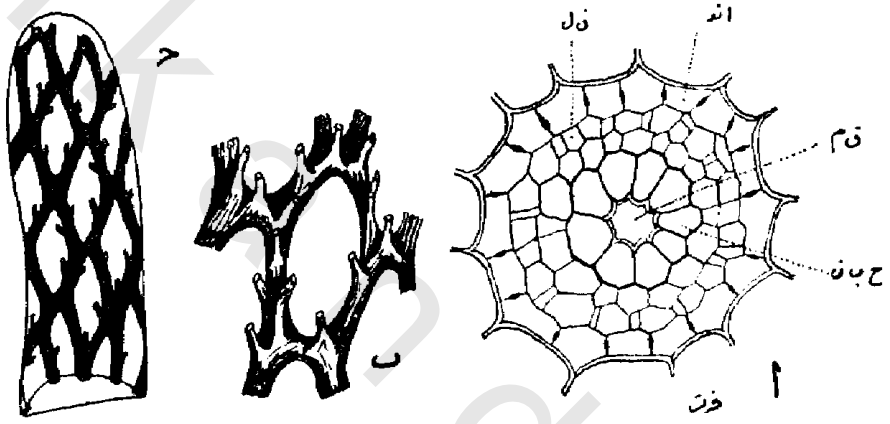
وفى جنس *Lycopodium* وفى عدد من النباتات المائية مثل *Potamogeton* و *Hippuris* و *Ceratophyllum* و *Najas* و *Elodea eaadensis* يتكون الشريط الناقل الوسطى من اتحاد عدد من الحزم الوعائية ، ويمثل هذا الاتحاد ارتداداً من الحالة الأولية مشتقاً من الوضع المركزي . ومن الممكن مشاهدة عدة أطوار لهذا الاتصال فى سلاميات عدة أنواع من نبات *Potamogeton* مثل *P. natans* و *P. perfoliatus* حيث يمكن تمييز عدد من الحزم الوعائية التى يتكون منها الشريط المركزى قريبة الاتصال من بعضها ولا يفصلها غير طبقات قليلة من الخلايا البرنشيمية تمثل بقايا النخاع والأشعة النخاعية الابتدائية ويتخللها عدة أشرطة ليفية . ويزداد اتصالها فى *P. luceus* و *P. gramnieus* أما فى *P. pectinatus* و *P. pusillus* وفى *Elodea* و *Zannichellia* و *Hydrilla* و *Ceratophyllum* و *Najas* (شكل ٦٦ — ١) فيختزل الشريط الوسطى الى قناة مركزية تحل محل النسيج الناقل للماء ويحيط بها غلاف لحائى متسع ، ولا يستدل فى هذا الوضع عما اذا كان الجهاز الوعائى مكونا من عدة أشرطة .

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

النباتات ينمو فى المياه البطيئة الجريان ولما كان نسيج قشرتها غير معرض للجفاف بحال ما ، فهى فى غير حاجة لقوة ميكانيكية كبيرة معتمدة فى ذلك على نسيجها الوعائى المركزى .

(ب) الجهاز الوعائى الأنبوبى البسيط The Simple Tubular Vascular System (Solenostele and Dictyostele)

ويرى فى كثير من النباتات السرخسية ويمثل وضعاً وسطياً بين النوع السابق ذكره والاشكال الوعائية للنباتات الزهرية . فتحتوى سوق هذه النباتات وهى صغيرة على شريط وعائى مركزى صلب يزداد اتساعه كلما ازدادت السوق فى السمك مكونا جسما انبوبياً



(شكل ٦٦)

(أ) ق . ع فى الحزمة الوعائية لساق نبات *Najas major* — ق م = قناة مركزية ، ح ب ن = حلقة برنشيمة ناقلة ، ن ل = نسيج اللحاء ، اند = اندودرم . (حـ) جهاز وعائى انبوبى فى ساق نبات *Aspidium felix-mas* . (ب) جزء مكبر من الجهاز الوعائى الأنبوبى يبين توزيع الحزم الورقية ، (أ عن هابرلانت ، ب ، حـ عن Sachs)

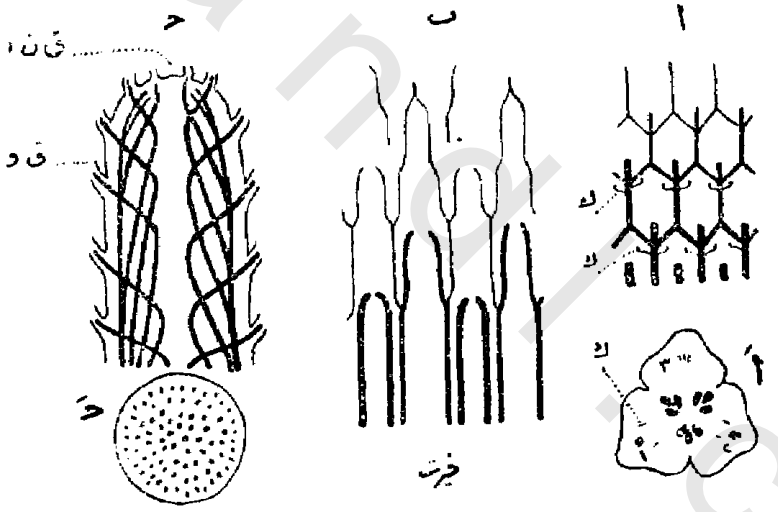
يحيط بالنخاع البرنشيمى كما يحاط بدوره بالقشرة البرنشيمية . ولما كان النخاع يحتوى على كل من البرنشيمة الناقلة والنسيج المخزن فلا تكون هذه المنطقة منعزلة تماما ، ويتم الاتصال بينها وبين أعناق الاوراق بتكوين ممرات من الاسطوانة الوعائية تسمى بالثغرات الورقية Leaf-Gaps عند مناطق اتصالها بالساق . واذا كان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

وتمتاز النباتات التابعة لرتبة FILICALES بهذا النظام الوعائى ، غير انه قد يظهر فى شكل عدة حزم دائرية مركزية كما فى *Pteris* . وقد يوجد علاوة على الأسطوانة المركزية الرئيسية عدة أشرطة وعائية إضافية فى النخاع وفى القشرة تنشأ تبعاً لزيادة حاجة النبات الى المواد المنتقلة .

(ج) النظام الخاص بنباتات ذات الفلقتين Dicotyledonous Type

وهو ثالث النظم الخاصة بالترتيب الوعائى وأكثرها مشاهدة ، ويمتاز بثلاثة أوضاع تظهر فى معظم نباتات ذات الفلقتين ، وفى كل من رتبتى CONIFERALES و GNETALES وفى قليل من نباتات ذات الفلقة الواحدة (DIOSCOREACEAE) ، وكذا النباتات اللازهرية ذات الحزم الوعائية (*Equisetum* و OSMUNDACEAE) . ففى الوضع الأول تتكون كل الأشرطة الوعائية الابتدائية من حزم عادية Common B. تدخل الساق من الأوراق منحنية ثم تجرى الى أسفل خلال عدة سلاميات . وفى الوضع الثانى تبقى الحزم التى تخترق الساق فى اتجاه رأسى على مسافة ثابتة دائماً من المركز . وفى الثالث تتصل المنطقة الساقية لكل حزمة ورقية Leaf Trace مباشرة أو فيما بعد ، كما هى أو بعد انقسامها ، جانبياً بالمنطقة الساقية للحزمة الورقية الأخرى المجاورة لها والتابعة لورقة أكبر سناً ، وبذلك تتحد المناطق الساقية للحزم الورقية لتكون جهازاً مستمراً كاذب الشعبة الواحدة أو شبكياً . وبعمل قطاع عرضى فى الساق تظهر حلقة واحدة من الحزم تحيط بالنخاع وتحاط بدورها بالقشرة ، وتتصل كل من هاتين المنطقتين من النسيج الأساسى (النخاع والقشرة) بالأشعة النخاعية الابتدائية فى هيئة أشرطة تشغل الأقطار الواقعة بين الحزم . ومما يجدر ملاحظته أنه يجب ألا تسمى هذه الأشرطة أشعة نخاعية إلا اذا كانت مكونة من الخلايا البرنشيمية ، أما اذا كانت الحزم الوعائية راقدة فى اسطوانة ليفية فلا تسمى الأشرطة الليفية الموجودة بين الحزم الوعائية فى 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 فى نبات ما من النسيج المفكك له ، ويفضل عمل رسم تخطيطى يبين الاسطوانة الوعائية مفتوحة منبسطة (بعد أن كانت مقفلة) 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 منها 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 تتجه 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 — ا). وبعمل قطاع عرضى فى السلامية الاولى تظهر ست أشرطة وعائية ، أما اذا أجرى عمل القطاع العرضى قبل منتصف السلامية التالية فتظهر به تسع أشرطة (شكل ٦٧ — آ) ، كما يتجه نحو كل برعم ابطى زوج من الحزم الوعائية .



(شكل ٦٧)

(ا) رسم تخطيطى يبين مجرى الحزم الوعائية فى أحد أفرع نبات *Juniperus nana* ، ك = الأشرطة الوعائية التى تزود البراعم الابطية. (آ) ق . ع . فى فرع خضرى صغير ١ ، ٢ ، ٣ المناطق الساقية من الحزم الورقية . (ب) رسم تخطيطى يبين مجرى الحزم الوعائية فى نهاية أحد الافرع الخضرية لنبات *Stachys angustifolia*. (حـ) رسم تخطيطى لمجرى الحزم الوعائية فى نباتات ذات الفلقة الواحدة — ق و = قاعدة ورقة ، ق ن = قمة نامية . (حـ) ق . ع . فى ساق نبات ذى فلقة واحدة يبين انتثار الحزم الوعائية ، (ا عن De Bary ، ب عن Nägeli ، حـ عن Falkenberg)

ولمثل هذا الوضع ذى الترتيب المنتظم الشبكى للأجزاء الساقية من الحزم الورقية أهمية خاصة ، فتقوم كل حزمة ورقية بتزويد الورقة التى تنتمى اليها بالماء والأملاح المعدنيـة كما تنقل أيضاً المواد المرنة المهيأة بهـا . وبتتبع احدى الحزم من أعلى إلى أسفل ، يلاحظ أنهـا عندما تصل إلى السلامية الثالثة (أسفل موضع الورقة التى تنتمى اليها) تتحد مباشرة بكل حلقة من الحزم الوعائية الناتجة من قواعد الأوراق الثلاثه الموجودة على عقدة واحدة . ويضمن هذا النظام العادى للأشرطة الوعائية تزويد كل ورقة بمـا يكفيها من المـاء والأملاح المعدنية ، أما تأثير عدم تساوى تكوين الحزم الوعائية فيكون متعادلا بالنسبة لنظام توزيعها على الأوراق . وبالمثل سرعان ماتتوزع ناتجات عملية التمثيل الضوئى فى الأوراق التى تنتقل خلال الأنسجة الوعائية بالتساوى على كل المقطع العرضى للساق . أما البراعم الابطية فلا تعتمد فى غذائهـا على الأوراق الصغيرة الموجودة عليها، حيث تصل اليها المواد المرنة خلال حزم وعائية تتجه اليها من حلقة الأوراق التى تعلوها .

وقد بين Nägeli مجرى الحزم الوعائية فى ساق نبات *Stachys angustifolia* (شكل ٦٧ — ب) . وتوجد قواعد أوراق هذا النبات فى وضع متقابل متعامد كما يحتوى عنق كل ورقة على حزمة فردية تتشعب بمجرد دخولهـا إلى الساق إلى شعبتين تتباعدان عن بعضهما وتتجهان فيه إلى أسفل بطول سلاميتين ثم تتحدان عند العقدة الثانية السفلية بالمناطق الساقيـة من الحزم الورقية التى تليها . ويظهر فى القطاع العرضى لهذه الساق ، على مسافة قصيرة أسفل القمة النامية ، ثمـانية حزم يجتمع كل زوج منها جهة أحد الأركان . وبتتبع إحدى الحزم الـكبيرة إلى أعلى نجد أن الأشرطة المتفرعة منهـا 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 التعقيـد 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 فى وضع رأسى دون أن تتحد بمثيلاتها ، (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 أوبالنسبة لتأثير أضرار موضعية ، تذبل كل الاوراق والبراعم الإبطية الموجودة على الجهة المقابلة وتجف وتموت بالنسبة لعدم تساوى توزيع المواد المتنقلة . 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 Medullary B. تمثل قواعد الحزم الورقية التى امتدت بعيداً فى الساق أوقد تكون عبارة عن حزم ساقية Cauline B. 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 Cortical B. 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 نظاما وعائياً قشريا مستقلا 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 حزما ساقية Cauline B. ،

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

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

وقد يكون للحزم القشرية أهمية فسيولوجية فى بعض الحالات ، فخلايا القشرة البرنشيمية ذات البلاستيدات الخضراء تماثل لحد ما نسيج التمثيل الضوئى النموذجى ، ولذلك تزود هذه الحزم هذا النسيج بالماء وبالأملاح المعدنية كما تقوم بنقل بعض أوكل المواد المرنة المجهزة فى خلاياه . وقد كان De Bary أول من أشار إلى وجود هذه الشبكة القشرة الوعائية فى الامتدادات المتورقة للسوق المجنحة لأنواع جنس *Lathyrus* ، كما أشار الى أن الشبكة الوعائية التى تظهر فى 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 أسماه 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 الغمدية 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 يغلب أن يكون قائما .

٤ — قد لايكون 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 للاوراق السفلية الوضع على الساق (شكل ٦٧ — ص) ، أما الحزم التى تدخل الساق من الأفرع الإبطية فتتخذ وضعاً مماثلا للحزم الورقية تماماً . وعلاوة على هذه الصفات المميزة تظهر الحزم الوعائية فى المقطع العرضى لسوق نباتات ذات الفلقة الواحدة فى وضع منتثر غير منتظم وميالة للتجمع قرب السطح الخارجى (شكل ٦٧ — صـ) .

وتنحصر الأهمية الفسيولوجية لنظام هذا الجهاز الوعائى فى تساوى تزويد الأوراق المتعددة بالماء والأملاح المعدنية وفى انتظام توزيع ناتجات 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 للانثناء، وتميل مثل هذه الاشرطة الميكانيكية للاتجاه نحو الخارج بذلك تحمل الأشرطة الناقلة معها، كما أن الالتفاف الحلزونى للحزم يزيد من القوة الميكانيكية للساق.

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

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

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

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

الرباطات العرضية الوعائية الموجودة فى هذه المناطق لنقل المـاء ، فجهز قطاعات عميقة فى نبات *Scripus lacustris* يمتد كل منها الى نحو ثلث الساق ، فلاحظ بقاء حواف الانسجة المقطوعة فى هذه المناطق غضة منتفخة كما هى ، حتى أنه لم يكن هناك فارق بينها وبين المناطق الاخرى الغير مقطوعة بعد مضى عدة أسابيع عليها .

وقد يختلف مجرى الحزم الوعائية فى بعض نباتات ذات الفلقة الواحدة عن النظام المعتاد فتماثل فى ترتيبها من كثير من الوجوه الوضع العادى لنباتات ذات الفلقتين .

٢ — اتجاه الحزم الوعائية فى الجذور

تشتمل 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 . ويعود مثل هذا النظام الوعائى البسيط الى الوسط الدائم الرطوبة الذى تنمو به الجذور ، حتى أن القشرة يندر أن تتعرض لخطر الجفاف وكذا المناطق التى انفصلت عنها أنسجتها المـاصة ، ولهذا لا يتحتم وجود الحزم الوعائية فى وضع قريب من السطح الخارجى . ويرجع الوضع المركزى للحزم الوعائية الى طبيعة هذا العضو الغير قابل للامتداد ، ففى حالة غياب العناصر الميكانيكية يقوم النسيج الوعائى بالكثير من المطالب الميكانيكية وخصوصا اذا ما كان متجمعاً حول المحور الطولى للجذر . أما من الوجهة الفسيولوجية فتقارن الأسطوانة الوعائية المركزية للجذر فى كثير من الوجوه بالأشرطة الوعائية المركزية التى ترى غالباً فى سوق النباتات المـائية .

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

وقد ترى فى جنسى *Monstera* و *Raphidophora* . وتتفرع الأشرطة الخشبية الاضافية قليلا أو كثيراً فى CYCLANTHACEAE وكذا فى *Chamaerops humilis* و *Areca rubra* . وليس من المعتاد أن تتحد تفرعات أشرطة الالحاء الاضافية ، وأحيانا ما يتحد الخارجى منها مع مجاميع لحاء خارجية ، أو قد تتحد فى هيئة أزواج . وقد تخدم 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 الجانبيـــة 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 الدرنات الجذرية فى OPHRYDEAE بوجود عدة حزم قطرية يغلف كلا منها أندودرم أنموذجى . ويعتقد Van Ttieghem أن كلا من هذه الحزم يمثل اسطوانة مركزية مستقلة كما يرجع منشأ هذه الدرنات الى اتحاد عدة جذور جانبية .

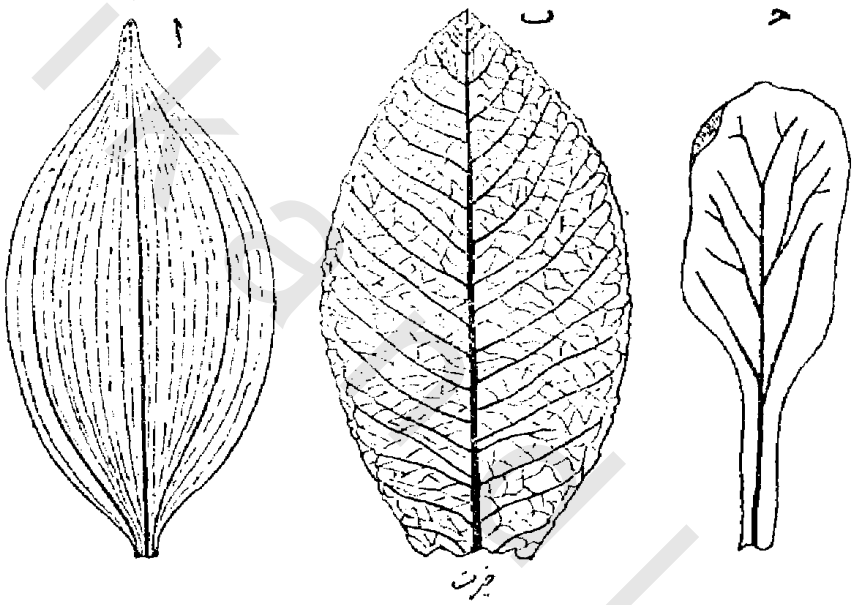
٣ — اتجاه الحزم الوعائية فى الأوراق

ليس لترتيب الحزم الوعائية فى أعناق الاوراق أهمية ممتازة كما هو الحال فى أنصالها 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 تتقاطع مع بعضها ، ويظهر مثل هذا الوضع البسيط فى أنصال الاوراق التى لاتحتاج الى كميات كبيرة من الماء والاملاح المعدنية إما لصغر أحجامها أو لقلة نشاط عملية النتح بها وانخفاض قدرتها على القيام بعملية التمثيل الضوئى ، كما فى أوراق الموسز وأوراق *Equisetum* و *Casuarina* و *Ephedra* الصغيرة الشبه حرشفية ، وكذا أوراق المخروطيات وكثير من السراخس والاوراق الزهرية لكثير من نباتات مغطاة البذور ، وأوراق بعض النباتات المائية المغمورة

مثل *Batrachium* و *Myriophyllum* و HYDRILLEAE . وفى كل هذه الحالات إما أن يوجد بأنصال الاوراق شريط فردى وسطى أو مجموعة من الحزم الغير متفرعة .

أما الوضع الثانى للتعريق فيمتاز بتفرعاته العديدة التى تصل الأفرع المختلفة للجهاز الوعائى بعضها ببعض . ففى معظم نباتات ذات الفلقة الواحدة تمتد الاشرطة الوعائية الرئيسية فى أسطر مستقيمة أو منحنية نحو قمة الورقة (شكل ٦٨ — ا) ، أما التفرعات الدقيقة الاخرى فتقاطع هذه العروق الرئيسية لتصلها مع بعضها . وفى كل نباتات ذات



(شكل ٦٨)

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

الفلقتين تتفرع حزم الجهاز الوعائى جميعها فى اتجاهات شتى فى كل أجزاء النصل مكونة شبكة كثيفة تنتهى أطارف 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 الممثلة من النسيج الميزوفللى .

ويرى التعريق الشبكى فى أنصال الاوراق ذات النتح الزائد ، ويتضح الفرق بين نشاط عملية النتح فى البتلات والاوراق الخضراء فى النبات الواحد من نظام تكوين

الجهاز الوعائى فى هذه الأعضاء (شكل ٦٨ — ﻫ) ، كما تحدد مثل هذه التفرقة تكوين الجهاز الوعائى فى الأوراق الخضراء لكل من النباتات التى تنمو فى المناطق الجافة والأخرى الرطبة ، أو الاماكن المشمسة والأخرى الظليلة .

والتفرعات العديدة للشبكة الوعائية ذات أهمية فسيولوجية كبيرة ، فعلاوة على قيمتها الميكانيكية فانها تقوم بتوزيع الماء بالتساوى فى جميع أنحاء جهاز التمثيل الضوئى ، وبقطع أحد العروق الأساسية عند قاعدة النصل فان 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 Vöchting و Simon أنه إذا قطعت الحزم الوعائية فى بعض السوق والجذور فان القنوات الناقلة للماء التى لحق بها هذا الضرر قد تتجدد بأشرطة وعائية أخرى واصلة . 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 تلافيها بتكوين وصلات وعائية جديدة .

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

منشأ الجهاز الناقل

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

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

ويختلف منشأ الاندودرم بالنسبة لاختلاف المواضع التى يتكون بها ، فينشأ فى JUNCACEAE و CYPERACEAE من البروكمبيوم . وقد يكون منشأه مماثلا لذلك فى الحشائش ، إلا أنه قد يرجع تكوينه فى بعض الحالات الى تحور غلاف الحزمة البرنشيمي ، أما فى النباتات السرخسية فينشأ من المرستيم الأساسى . ويفسر RUSSOW ذلك بأن العناصر المرستيمية التى تحيط بالشريط البروكمبيومى تنقسم مرة أو أكثر الى عدة انقسامات تماسية تكون صفوفا طولية من الخلايا تتحول الخارجية منها أو القريبة من وسطها الى الأندودرم بينما يتكون من الطبقات الداخلية الغلاف البرنشيمى السابق ذكره . وينشأ الأندودرم فى الجذور من طبقة المرستيم الأساسى التى تلاصق الشريط المحورى مباشرة .

ولما كانت الطبقة المرستيمية التى ينشأ منها الاندودرم لا تتحول مباشرة الى الخلايا الاندودرمية فلا يصح اعتبارها أندودرما ابتدائياً ، ويفضل أن يطلق عليها لفظ Coleogen ومن المعروف أن الوظيفة الاساسية للفلوجين هى إنتاج الفلين وبالمثل فان الكليوجين يختص بانتاج غلاف الأندودرم علاوة على عدد من الأنسجة الأخرى . وفى تكوين الحزم الوعائية فى النباتات السرخسية ينتج الكليوجين الاساسى الذى يحيط بالشريط البروكمبيومى عدة طبقات برنشيمية علاوة على الأندودرم الحقيقى . وفى ورقة نبات *Scirpus holoschoenus* ينقسم الكليوجين البروكمبيومى عدة انقسامات تماسية فى مواضع تمثل مجاميع كل من الخشب واللحاء التى ستتكون فيما بعد ، أما الخلايا التى ستتكون فى الداخل فتتحول الى ألياف اللحاء ، وفى هذه الحالة يشترك الكليوجين فى إنشاء الجهاز الميكانيكى .

أما من جهة منشأ تكوين الأشرطة الوعائية الناقلة فيلاحظ أن العناصر التى يتكون منها الشريط الوعائى الناقل لا تتكون دفعة واحدة بل تتكشف تدريجياً . ويبدأ فى العادة تكون العناصر الناقلة الدائمة جهة الحافة ثم يتدرج تكوينها تدريجياً فى اتجاه المركز ، وبمعنى آخر فان العناصر الوعائية التى تتكون أولا تسمى بالخشب الابتدائى Protohadrome وباللحاء الابتدائى Protoleptome .

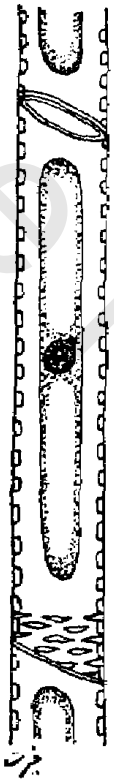
ملاحظة : أسماها RASSOW على التوالى Protoxylem و Protophloem بينما أطلق De Bary عليهما معاً اسم Erstlinge .

وتقع كل من عناصر الخشب 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 القطرية للجذور فانه يبدأ تكون كل من العناصر الابتدائية لجاميع الخشب واللحاء فى وضع متبادل حول محيط دائرة واحدة ، أما العناصر التالية فتتكشف داخلياً بالنسبة لهذه المواضع البدائية . وفى الحزم المركزية فى السرخسيات تشغل عناصر الخشب الابتدائى نهايتى الجزء الشريطى الشكل الذى يمثل كتلة الخشب فيما بعد ، أما اذا كان الخشب فى شكل مستدير أو زائد الانحناء فقد يظهر لمنشأ مواضع بدائية إضافية توزع بانتظام على كل المقطع العرضى للشريط الناقل .

ومن جهة التكشف 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 والمخروطيات 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 اليها .

وتنشأ الأوعية بالتحام صفوف من الخلايا المرستيمية طولياً . ويقول ستراسبرجر إنه فى *Begonia dioca* و *Ampatiens glandulosa* تتلاشى الجدر العرضية فى هذه الصفوف فى طور مبكر غير أنها لاتزول نهائياً حتى يتم غلظ الجدر الطولية ، كما يبقى نتوء حافى للجدار العرضى فى هيئة حافة حلقية ، أما پروتوپلاست خلايا الوعاء المتتالية فلا يتحد مع بعضه ويبقى كما هو (شكل ٦٩) . وبازدياد الجدر الطولية فى الغلظ والسمك فان وحدات البروتوپلاست تتكمش تدريجياً حتى تختفى تماماً ومعها النوايا .

ويقول Th. Lange إنه غالباً ما يتحد البروتوبلاست بعد زوال الحواجز العرضية كما فى *Tilia* و *Malva* و *Hippurus* و *Fraxinus* و *Plantago* و *Cucurbita* و *Helianthus* ، كما أن الأوعية والقصيبات يبقى بها البروتوبلازم الحى الى طور متأخر من تكشفها كما فى *Cascuta* و *Fraxinus* و *Secale* و *Hordeum* و *Triticum* و *Pinus laricio* و *Larix* وقواعد الأوراق فى *Malva* ... الخ .



(شكل ٦٩)
وعاء حديث فى الجذير الابتدائى لنبات الذرة يبين عدم اتصال بروتوبلاست الخلايا المكونة له ، (عن هابرلاندت)

ومن جهة تكوين النقر المضفوفة فقد سبق ذكرها فيما قبل . أما منشأ تكوين الحواجز الغربالية فكل منها مشتق من غشاء رقيق لنقرة أولية يشغل فى الواقع كل المساحة العرضية للجدار ، هذا فيما اذا كان وضعه أفقياً أو مائلا قليلا ، فيزداد سمكه فى نظام شبكى . أما المواضع الغير مغلظة منه (الثقوب الغربالية) فتخترقها خيوط واصلة بروتوبلازمية ، وقد يخترق الثقب الغربالى شريط واصل فردى كما فى العنب *Vitis vinifera* ، أو عدة أشرطة كما فى *Wistaria sinensis* و *Cucurbita Pepo* . ثم يغطى كل من جانبى الحاجز الغربالى بمادة الكالوز التى يمكن صبغها بسهولة بأزرق الأنيلين . وفى نباتات مغطاة البذور فقط تختفى الأغشية الفاصلة للثقوب الغربالية ، ويبدأ ذلك حول الخيوط البروتوبلازمية الواصلة التى تتحول الى أشرطة لزجة ، وتتضخم وتتمدد القنوات الضيقة التى تشمل الأشرطة اللزجة تدريجياً ، فاذا وجد عدد منها فى الثقب الغربالى فانها تتحد مع بعضها ، وقد تكون النتيجة النهائية تلاشى أغشية الثقوب الغربالية جميعها .