الباب الرابع عشر

الساق The Stem

يتكون المجموع الخضرى فى النباتات الراقية من محور يحمل عدة أعضاء خضرية مختلفة على مواضع خاصة تعرف بالعقد . أما هذا المحور فهو الساق التى تحمل عادة الأوراق والأزهار والثمار مكوناً مجموعاً خضرياً هوائياً يتعرض عادة للضوء والتأثيرات الجوية المختلفة . وللمجموع الخضرى عدة وظائف تتباين تبعاً لاختلاف الأعضاء التى يتكون منها ، وهو يتجه عادة الى أعلى بعكس المجموع الجذرى ، كما توجد بأجزائه المادة الخضراء وخصوصاً فى الأوراق .

وتقوم الساق بحمل الأوراق لتعريضها بقدر ما يمكن للضوء حتى تؤدى عملها على الوجه الأكمل ، وبالمثل باقى أعضاء المجموع الخضرى ، كما تقوم بتوصيل العصارة الممتصة عن طريق المجموع الجذرى الى الأوراق .

وقد تكون الساق فى مقطعها العرضى اسطوانية مستديرة Cylindrical ، جوفاء أو مصمتة ، كما قد تكون مضلعة Angular ثلاثية أو رباعية أو خماسية الأركان كما فى السعد والفول واللوف أو الانتجون ، أو منبسطة Flattenned كما فى السفندر والمهلنبيكيا . وقد تكون عشبية أو خشبية ، ذات سطح أملس أو مغطى بزوائد مختلفة ، قائمة الوضع أو متسلقة . وتنتهى الساق عادة بالبرعم الطرفى Terminal Bud .

وتختلف الساق فى تركيبها التشريحى اختلافاً بيناً عن تركيب الجذر من حيث التوزيع فى وضع الأنسجة المختلفة ، ولو أنها تتشابه معه فى تكوين هذه الأنسجة . كما تختلف سوق نباتات ذات الفلقتين عن سوق نباتات ذات الفلقة الواحدة اختلافاً كبيراً من حيث توزيع هذه الأنسجة .

وتترتب العناصر الميكانيكية المقوية فى الساق بالقرب من السطح الخارجى علاوة على وجود عناصر الخشب خارجياً لتشترك فى هذه العملية ، على عكس الجذر حيث تكون عناصر الخشب والعناصر الميكانيكية ، إن وجدت ، ناحية المركز بالنسبة لتعرضه لقوة الشد.

التركيب التشريحى للساق الحديثة لنباتات ذات الفلقتين

تتركب الساق الحديثة عادة من هيكل من أشرطة وعائية تحيط بها أنسجة رخوة ، تغلفها جميعاً من الخارج طبقة البشرة . وتقوم الأشرطة الوعائية بتوزيع المواد الغذائية علاوة على تقويتها للساق ، والأنسجة الرخوة بعملية التمثيل الضوئى وبالتخزين ، أما البشرة فتقوم بوقاية أنسجة الساق . وفيما عدا البشرة والأشرطة الوعائية يطلق على باقى الأنسجة اسم النسيج الأساسى Ground Tissue .

والسوق الحديثة السن خضراء اللون عادة سواء كانت عشبية أو خشبية ، ويتشابه كل منهما عادة من حيث التركيب ويختلفان كما أكثر منه كيفاً . وقد تبقى السوق العشبية نامية أكثر من سنة واحدة وقد تصبح خشبية ، كما قد تصبح السوق الخشبية النموذجية عشبية سنوية اذا ما وجدت فى بيئة غير ملائمة لنموها . وتمتاز السوق العشبية الحديثة باحتوائها على أنسجة وعائية تمتاز بتكونها من عدد من الحزم الوعائية منتظمة فى شكل حلقى ، وبتحدد نشاط الكمبيوم الى فصل واحد أو جزء من فصل واحد ، وباختزال واضح فى كمية الأنسجة الوعائية المتكونة .

وتتكون الساق الحديثة لنباتات ذات الفلقتين اذا فحص مقطعها العرضى من الخارج للداخل نحو المركز من عدة مناطق مميزة ، وهى البشرة والقشرة والاسطوانة الوعائية .

أولا — البشرة The Epidermis

وهى من أهم الطبقات المميزة العاملة فى الحياة المبكرة للنبات ، وتتركب فى أغلب الأحوال من طبقة من الخلايا الحية سمكها خلية واحدة . ويرمى تركيب هذه الخلايا الى إعدادها بشكل كساء واق يمنع سرعة تبخر الماء ويحمى الأنسجة الداخلية من مختلف الأضرار التى تتسبب عن المطر والبرد والصقيع والحشرات وغير ذلك .

وتكون خلاياها فى العادة بيضية أو إهليلجية الشكل صغيرة الحجم ، ذات جدر خارجية أكثر سمكا عن الجدر القطرية والمماسية . وتغطى جدرها الخارجية بطبقة يختلف سمكها من الكيوتيكل أو المادة الشمعية ، وتتوسط خلاياها فجوة عصارية كبيرة يحيط بها السيتوبلازم ، وهو غالبا خال من البلاستيدات الخضراء ، إلا فى بعض النباتات المحبة للظل ، أما النواة فذات وضع جانبى .

وقد تحتوى خلايا البشرة على مادة الأنثوسيانين الملونة ذائبة فى عصارتها ، كما قد تكون مزدوجة الوضع فيليها طبقة أخرى مماثلة لها تقريبا تسمى Hypodermis .

وتنتظم خلايا البشرة وترتصف الى جانب بعضها فى وضع محكم ، ولاتوجد بينها مسافات بينية إطلاقا إلا فى مواضع الثغور . كما قد تمتد بعض خلاياها فى هيئة مختلف أنواع الزوائد . وقد سبق ذكر البشرة وما يتبعها فى باب الجهاز الضام .

ثانياً — القشرة The Cortex

وتلى البشرة مباشرة ، وتتكون من عدد من الطبقات كما يختلف سمكها ، وتشتمل عادة على أنسجة متباينة . وتنتهى بالغلاف النشوى الذى يعتبر اخر طبقاتها فى الساق. وهى تتكون أساسياً من الخلايا البرنشيمية ، إلا أنها قد تشمل أنواعاً أخرى من الخلايا والأنسجة كالخلايا الكولنشيمية والكلورنشيمية والألياف والإسكليريدز والخلايا والممرات الافرازية ومختلف أنواع الأكياس البللورية والزيتيه .

وتبدأ القشرة عادة فى الساق الحديثة بالخلايا الكولنشيمية فى صفوف يختلف عددها . ووظيفة هذا النسيج تقوية طبقة البشرة التى يوجد أسفلها ، وإمداد الساق بالمتانة والمرونة بالنسبة لاستطالتها وقابلية هذه الخلايا الميكانيكية للامتداد أكثر من سواها . واذا كانت الساق مستديرة وجد النسيج الكولنشيمى فى حلقة تامة منتظمة ، كما فى ساق عباد الشمس . أما اذا كانت الساق مضلعة ذات عدد من الأركان كما فى الفول واللوف ازداد عدد هذه الطبقات ، وخصوصاً فى مناطق الأركان فترى شاغلة لها . ويحتوى هذا النوع من الخلايا عادة على البلاستيدات الخضراء ويشترك فى القيام بعملية التمثيل الضوئى لحد ما وبنسبة ملحوظة .

ويلى النسيج الكولنشيمى فى العادة النسيج الكلورنشيمى ، ويتكون من الخلايا البرنشيمية العادية التى تمتاز بوجود البلاستيدات الخضراء ، وهذه يزداد عددها فى الطبقات الخارجية ويقل كلما اتجهنا الى الداخل . وتقوم هذه المنطقة أساسياً بعملية التمثيل الكلوروفللى الى جانب اشتراك النسيج الكولنشيمى معها فى القيام بها .

وتنتهى طبقات القشرة من الداخل بخلايا برنشيمية عادية رقيقة الجدر متساوية الأقطار وذات مسافات بينية متسعة خالية من البلاستيدات الخضراء ، أما الطبقة الأخيرة من خلاياها فتكون غمداً مستمراً يحيط بالأسطوانة الوعائية ويسمى بالغلاف النشوى (يسمى أحياناً بالبشرة الداخلية) Starch Sheath . ويحد هذا الغلاف القشرة من الداخل ويغلف الأسطوانة الوعائية من الخارج ، وهو تابع للقشرة بالنسبة لنشوئه من طبقة أصل القشرة . وخلاياه بيضية رقيقة الجدر متلاصقة الوضع تحتوى عادة على عدد من حبيبات النشا مما يجعله واضحاً فى قطاعات بعض السوق ، إلا أنه قد يصعب تمييزه عن باقى خلايا القشرة بالنسبة لعدم تفرقته عما يجاوره من الخلايا تفرقة واضحة .

وقد تطرأ على الغلاف النشوى عدة تغييرات تجعله كثير الشبه بالاندودرم Endodermis ، وتنتهى هذه بتكوين تغليظات على هيئة شرائط كسبيرى . إلا أن الاندودرم فى السوق لا يكون واضحاً كما هو الحال فى الجذور إلا فى بعض السوق الأرضية ، وغالباً ما تقل به شرائط كسبيرى أو قد تنعدم .

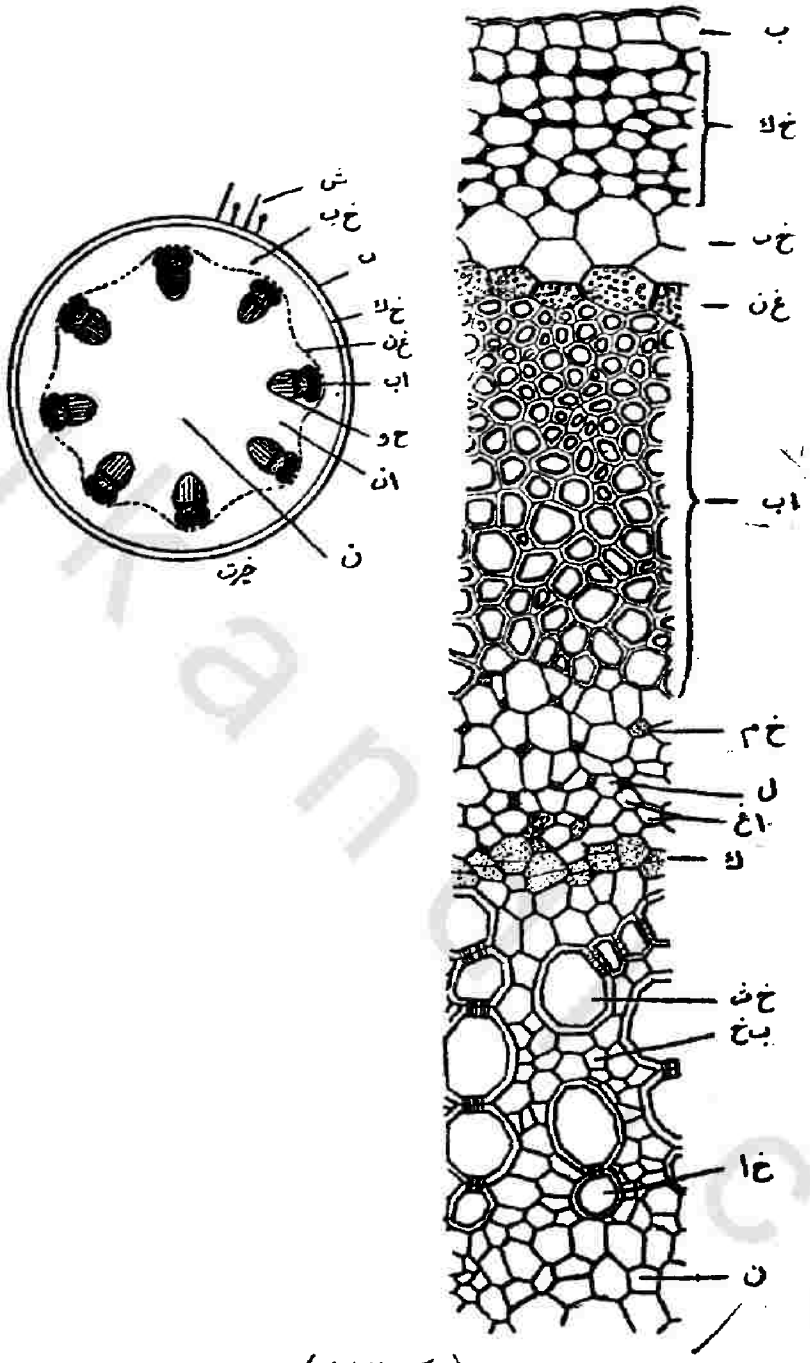
وتختلف القشرة كثيراً فى مختلف النباتات بالنسبة لوضع الأنسجة المختلفة بها ، كما قد تكون ضيقة فى بعض النباتات أو متسعة فى البعض الآخر .

ثالثاً — الاسطوانة الوعائية Vascular Cylinder

تنشأ الاسطوانة الوعائية من منطقة البليروم ، وتشتمل على كل الانسجة الواقعة داخل الغلاف النشوى ، وهى البريسيكل والحزم الوعائية والاشعة النخاعية والنخاع .

١ — البريسيكل Pericycle

قد يوجد البريسيكل فى السوق ، وقد لا يوجد ، ويعتبر أول طبقات الاسطوانة الوعائية . ويتكون عادة من حلقة خارجية تلى الغلاف النشوى مباشرة . ويسمى أيضاً



(شكل ١١٧)

رسم تخطيطى ومقطع تفصيلى لقطاع عرضى فى ساق عباد الشمس — ش = شعيرات ، ب = بشرة ، خ ك = خلايا كولنشيمية ، خ ب = خلايا برنشيمية ، غ ن = غلاف نشوى ، ا ب = ألياف بريسكل ، ل = لحاء ، خ م = خلايا مرافقة ، ا غ = أنابيب غربالية ، ك = كمبيوم ، خ ث = خشب ثانى ، ب خ = برنشيمة الخشب ، خ ا = خشب أول ، ن = نخاع ، ا ن = أشعة نخاعية ، (الرسم التفصيلى عن SMALL)

(بالطبقة المحيطة) لاحاطتها بالاسطوانة الوعائية . وقد يتكون من طبقة واحدة من الخلايا أو أكثر ، قد تكون رقيقة الجدر فى بعض السوق ومنها تنشأ أغلب الجذور والأفرع العرضية . كما قد يتكون من نوعين من الخلايا أولهما برنشيمى عادى ،والثانى ليفى فى كتل تعلو الحزم الوعائية خارجياً كما فى ساق عباد الشمس (شكل ١١٧) والبرسيم وغيرهما . وقد تكون خلايا البريسيكل كلها ليفية مكونة نطاقا ذا عدة طبقات من الخلايا تحيط بالحزم الوعائية ، كما فى اللوف . ولا يخفى أن الخلايا الليفية Pericyclic Fibres فى كل من الحالتين تزود الساق بقوة ميكانيكية كبيرة ، علاوة على الخلايا الكولنشيمية السابق ذكرها .

وتشارك خلايا البريسيكل البرنشيمية مثيلاتها فى المناطق الأخرى فى عملية التخزين ، كما قد تظهر بها أحياناً الخلايا والقنوات الافرازية والخلايا اللبنية وغيرها .

٢ — الحزم الوعائية Vascular Bundles

تظهر الحزم الوعائية مرتبة فى شكل دائرى وفى عدد محدود مكونة حلقة واحدة ، كما فى ساق عباد الشمس ، وقد تكون فى حلقتين كما فى اللوف والفول وغيرها . وتظهر الحزمة النموذجية التامة التكوين ثلاثية الشكل أو بيضية تقريباً فى مقطعها العرضى . وتتكون من ثلاث مناطق مميزة ، وهى اللحاء الذى يكون وضعه خارجياً ، والخشب ذو الوضع الداخلى ثم الكمبيوم الذى يفصل كلا منهما عن الآخر . وتسمى مثل هذه الحزمة بالجانبية المفتوحة Open Collateral B. وهو النوع السائد من الحزم الوعائية فى نباتات ذات الفلقتين . غير أنه قد يرى نوع آخر يسمى بالمفتوح ذى الجانبين Open Bicollateral B. وذلك بالنسبة لوجود مجموعة أخرى من اللحاء تلى الخشب من الداخل ، كما فى القرع واللوف .

ويتكون اللحاء من الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة وبرنشيمة اللحاء ، وقد سبق ذكر كل منها بالتفصيل فى باب الجهاز الوعائى أو الناقل . وقد تظهر الحواجز الغربالية واضحة اذا ما مر القطاع العرضى بالقرب من مواضعها .

أما منطقة الكمبيوم Cambium Zone فتظهر خلاياها منقسمة فى نظام تماسى . ومن المتعسر جداً التعرف على هذه النقطة من دراسة القطاعات العرضية على أنها متكونة من طبقة واحدة من الخلايا المرستيمية فى صف واحد . وهى تظهر عادة فى عدد من الطبقات بالنسبة لتكشف خلاياها تدريجياً جهة الخارج والداخل ، مكونة عناصر كل من اللحاء والخشب . وتظهر خلاياها رقيقة الجدر مستطيلة الشكل متراصة متلاصقة فوق بعضها فى نظام قطرى بدون مسافات بينية . ويسمى الكمبيوم بالنسبة لوضعه أو مكانه من الحزمة الوعائية بالكمبيوم الحزمى Fascicular Cambium .

وتتكون مجموعة الخشب من عدة عناصر راقدة بين برنشيمة الخشب وتتكون هذه من خلايا برنشيمية أصغر حجما من الخلايا البرنشيمية العادية. ويتكون الخشب عادة من كل من القصبات والقصيبات، إلا أنه يشمل القصيبات فقط فى نباتات معراة البذور . وتظهر هذه فى مقطعها العرضى مستديرة أومضلعة منتظمة، فى عدد محدود من الصفوف القطرية، وتصطبغ جدرها باللون الأحمر عند صبغها بصبغة السفرانين بالنسبة لاشتمالها على مادة اللجنين .

وأول ما يتكشف من عناصر الخشب هو الخشب الأول Protoxylem ، ويوجد عادة قرب حافة الحزمة من الداخل جهة النخاع ، ويمتاز بطول عناصره وضيق مقطعها وبغلظها الحلقى والحلزونى ثم السلمى . ويليه فى التكشف الخشب الثانى Metaxylem . ويسمى الوضع الداخلى للخشب الأول بالنسبة للخشب الثانى Endarch . ويتكون الخشب الثانى من عدد من العناصر أقل طولا وأكثر اتساعاً ، وتمتاز بغلظها الشبكى وبالنقر ، ويزداد اتساعها فى النباتات المتسلقه كاللوف والانتجونين .

٣ — الأشعة النخاعية Medullary Rays

وترى بين الحزم الوعائية فى هيئة صفائح عريضة مكونة من خلايا برنشيمية ، تفصل كل حزمة عن الأخرى ، وتصل ما بين كل من القشرة والنخاع . وتنتمى الأشعة النخاعية مورفولوجياً الى الاسطوانة الوعائية ، وسميت بهذا الاسم بالنسبة لتشعبها قطرياً من النخاع . وتمتاز بامتدادها فى النباتات العشبية بطول السلامية من منطقة إحدى العقد حتى العقدة التالية لها ، بعكس الأشعة الوعائية Vascular Rays ذات الامتداد المحدود .

وتتكون من خلايا برنشيمية رقيقة الجدر ذات مسافات بينية متسعة ، وهى أصغر حجما من خلايا النخاع . وتقوم بتخزين المواد الغذائية ، وكذا توصيلها من الأشرطة الناقلة الى كل من النخاع والقشرة . وفى مقدور هذه الخلايا أن تتحول تحت ظروف خاصة الى الحالة المرستيمية مرة أخرى لتكون الكمبيوم بين الحزمى Interfascicular Cambium ، كما سيذكر فى النمو الثانوى فيما بعد .

النخاع Pith

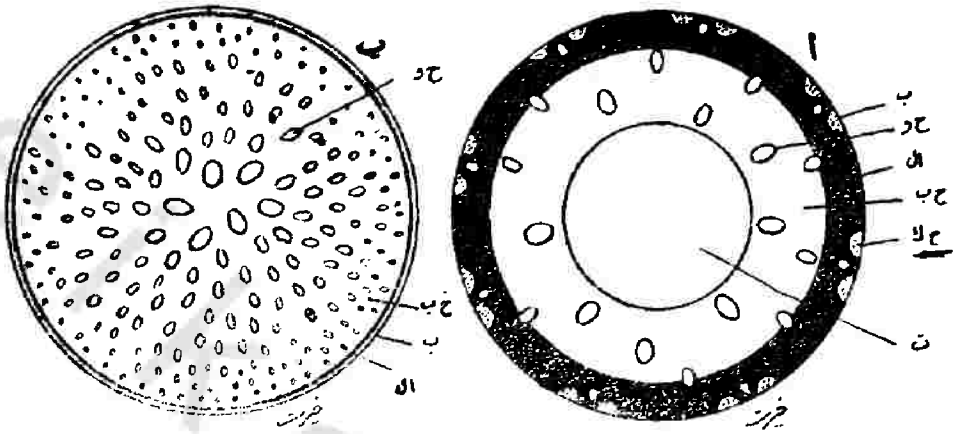
ويتوسط الأسطوانة الوعائية ، ويكون متسعاً عادة مكوناً من مجموعة كبيرة من الخلايا البرنشيمية الزائدة الاتساع الرقيقة الجدر ، كما يزداد اتساع المسافات البينية بينها . واذا وجد النخاع كانت الساق مصمتة كما فى عباد الشمس ، أما اذا تسبب عن تمزق خلاياه فراغ وسطى ، سميت الساق جوفاء ، كما فى الفول والبرسيم . وتقوم خلاياه عادة بتخزين المواد الغذائية النشوية والدهنية ، وقد تتلجن جدر خلاياه أحياناً لتزيد من قوة هذه المنطقة الضعيفة من الساق ، كما قد تحتوى على بعض أنواع البلورات .

وهناك كثير من الحالات يختلف فيها تركيب الأسطوانة الوعائية ، إلا أن النوع السابق ذكره ، هو النوع النموذجى ، فى السوق الحديثة لنباتات ذات الفلقتين . وقد يسمى النخاع باسم *Medulla* ، وهى كلمة لاتينية اشتق منها ونسب اليها اسم الأشعة النخاعية Medullary Rays .

التركيب التشريحى لسوق نباتات ذات الفلقة الواحدة

للبرعم الطرفى فى نباتات ذات الفلقة الواحدة أهمية كبيرة ، فهو المسئول عن النمو الطولى وكذلك وصول قطر الساق الى القدر المناسب . ولا يشاهد فى غالبية سوق هذه النباتات التدرج من حيث كبر قطرها من القمة نحو القاعدة ، بالنسبة لعدم حدوث النمو الثانوى بها . وقد يحدث فى بعضها هذا النمو بطريقة ووضع يخالفان ما يحدث عادة فى سوق نباتات ذات الفلقتين .

ومن المقطع العرضى لسوق نباتات ذات الفلقة الواحدة ، كالقمح والذرة (شكل ١١٨ ا ، ب) وغيرهما ، ترى البشرة محيطة بها من الخارج . ولا تختلف البشرة هنا كثيراً عنها فى سوق نباتات ذات الفلقتين ، غير انها تمتاز بالزيادة الواضحة فى سمك جدرها



(شكل ١١٨)

(ا) رسم تخطيطى لقطاع عرضى فى ساق القمح . (ب) رسم تخطيطى لقطاع عرضى فى ساق الذرة . ب = بشرة ، ح و = حزمة وعائية ، ا ل = ألياف ، خ ب = خلايا برنشيمية ، خ ك = خلايا كلورنشيمية ، ت = تجويف .

الخارجية ، أما مناطق كل من القشرة والبريسيكل والنخاع فلا يمكن تحديدها بالضبط . وقد تظهر القشرة فى مساحة ضئيلة تقع بين كل من البشرة وأول منطقة الحزم الوعائية ، وتتكون أول مناطقها أسفل البشرة مباشرة من نسيج ليفى يختلف فى وضعه وعدد طبقاته باختلاف النباتات ، فقد يكون فى كتل مختلفة الأحجام تتقاطع مع النسيج الكلورنشيمى ، وقد يكون فى اسطوانة كاملة .

ويتكون باقى النسيج الأساسى من خلايا برنشيمية يزداد اتساعها فى اتجاه المركز ، كما تكثر البلاستيدات الخضراء فى بعض طبقاتها الخارجية ، وتقوم عادة بعملية التخزين فغالباً ما ترى محتوية على حبيبات النشا . وفى بعض السوق الجوفاء ، كالقمح والشعير والفلارس ، تقابل المنطقة المركزية المميزة من خلايا النسيج الاساسى ، النخاع فى نباتات ذات الفلقتين .

وتتميز الاسطوانة الوعائية فى مثل هذه السوق بتكونها من عدد من الحزم الوعائية الجانبية المقفلة Closed Collateral B. ، توجد متشتة ومبعثرة بدون نظام معين فى محور

النباتات بين خلايا النسيج الاساسى، وغير مرتبة فى حلقة كما هو الحال فى نباتات ذات الفلقتين. غير انه قد تشذ سوق بعض نباتات ذات الفلقة الواحدة عن هذا الوضع النموذجى، فقد دلت الابحاث الحديثة لستوفر Stover على أن عدم انتظام الحزم الوعائية فى سوق النجيليات لا يتخذ شكلا واحداً، فتحتوى بعض الاجناس مثل *Agropyron* و *Leerzia* على مجموعة واحدة من الحزم الوعائية مرتبة فى هيئة حلقة، بين كل من النخاع والقشرة.

وغالباً ما يكون نشاط الكمبيوم فى سوق نباتات ذات الفلقة الواحدة أثريا أو غائباً من الحزم الوعائية، وبالنسبة لذلك يكون تركيب الحزمة الوعائية كله ابتدائياً. وتكون الحزم الوعائية عادة أكثر عدداً قرب السطح الخارجى وأصغر حجما عما هى فى المركز، كما قد تكون معظم الحزم الخارجية الصغيرة منغمسة فى النسيج الليفى، وتكون التالية لها والمتوسطة الحجم نصف منغمسة به جهة الخارج.

وتتكون كل حزمة وعائية من مجموعة من الخشب وأخرى من اللحاء على نصف قطر واحد. ويتجه اللحاء عادة نحو السطح الخارجى، بينما يتجه الخشب نحو المركز، أما منطقة الكمبيوم فغير موجودة. وتتركب مجموعة اللحاء من الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة فقط فلا توجد معها برنشيمة اللحاء. وتكون الخلايا المرافقة واضحة جلية أكثر منها فى نباتات ذات الفلقتين.

وتتكون مجموعة الخشب عادة من أربعة أوعية متسعة الفجوة، كما فى النجيليات، تضمها مع بعضها مجموعة من برنشيمة الخشب وخلاياها صغيرة الحجم، وغالباً ما تكون جدرها ملجننة. وتترتب أوعية الخشب فى شكل حرف Y، أو فى شكل العينين والانف والفم. ويمثل ذراعا الحرف Y (أو العينين) عناصر الخشب الثانى فى هيئة وعاءين متسعين، أما (الانف والفم) فيمثلان عناصر الخشب الأول، وهى أكثر ضيقاً وأقل قطراً عن عناصر النوع الأول وتوجد قريبة من الحافة الداخلية لكل حزمة وعائية. وتمتاز عناصر الخشب الاول بغلظها الحلقى والحلزونى، كما يجاور الوعاء الثانى من الخشب الأول (فى موضع الفم)، أو قد يحل محل وعاءى الخشب الاول (مكان الفم والانف) فجوة هوائية متسعة تسمى بفجوة الخشب الاول Protoxylem Cavity. وتتكون هذه

بسبب السرعة فى استطالة الساق علاوة على الشد والضغط الناتجين ، واللذان يتسبب عنهما تمزق وعاءى الخشب الاول فتحل محل أحدهما أو محلهما معاً محتوية على الغلظ الحلق والحلزونى الذى يرى سائباً بها .

وقد ترى عناصر الخشب الأول فى غير الوضع السابق ذكره وبدون نظام معين ، كما فى سوق نخيل البلح . كما قد تحيط عناصر الخشب بمجموعة اللحاء مكونة حزمة مركزية اللحاء ، كما فى بعض أنواع الدراسينا .

وتمتاز الحزم الوعائية فى سوق نباتات ذات الفلقة الواحدة بمرافقة الألياف لها فى هيئة شريط واحد أو أكثر ، ولذلك يسمى هذا النوع من الحزم Fibro Vascular B. ولهذه الألياف أهمية بالغة من حيث تزويد الساق بالقوة الميكانيكية اللازمة ، وكذا حماية الأشرطة الناقلة بالحزمة الوعائية نفسها . وتوجد الألياف عادة فى مجموعتين تحيطان بالمنطقة الخارجية والداخلية لكل حزمة ، كما قد تقل الألياف على جانبيها أو تنعدم ، ويحل محلها الخلايا البرنشيمية العادية ، وذلك لتسهيل مرور السوائل من داخل الحزمة لخارجها . والألياف بالنسبة لوضعها هذا قد تكون حلقة كاملة حامية مقوية حول الحزمة ، فى حالة اتصال كل من المجموعتين جانبياً . وتنتمى مثل هذه الألياف اذا كان وضعها خارجياً جهة اللحاء الى البريسيكل ، كما قد تعتبر كلياً أو جزئياً تابعة للقشرة .

أما اصطلاح Vascular B. فيستعمل فى الدراسات التشريحية الفسيولوجية ، ويدل على الحزم الوعائية الخالية من الأغلفة الليفية ، كما يكون من الخشب واللحاء بالمثل خاليين من الألياف . وعلى العكس يدل اصطلاح Fibro Vascular B. من الوجهة الفسيولوجية ، على احتواء كل من الخشب واللحاء فى الحزمة الوعائية على الألياف كجزء متمم لأنسجتها ، سواء أكانت هذه الألياف فى وضع داخلى أم خارجى لهذه الانسجة الناقلة .

النمو الثانوى فى سوق نباتات ذات الفلقتين ومعراة البذور

تمتاز السوق الحديثة بزيادة سمك مناطقها المتحولة الى الانسجة الدائمة عن مناطقها القريبة من القمة النامية ، وتعتبر هذه الزيادة فى قطر السوق نتيجة لما يسمى بالنمو

الابتدائي فى السمك Primary Growth in Thickness . أما النمو الثانوى Secondary Growth فينتج عنه تغير وتجديد كامل فى أنواع الأنسجة المختلفة التى تتكون منها الساق . ويعود انتاج الخلايا الجديدة الى مرستيم خاص يتكون ثانويا بين الانسجة الدائمة ويسمى بالكمبيوم ، ويظهر عادة فى المقطع العرضى لمثل هذه الساق كحلقة تامة الاستدارة .

ولا يخفى أن اضطراد ازدياد المجموع الخضرى فى النمو يتسبب عنه زيادة فى ثقل الاعضاء المختلفة التى تحملها الساق ، مما يتطلب زيادة شاملة فى المطالب الفسيولوجية ، ينجم عنها زيادة مماثلة فى العناصر المقوية والناقلة والمخزنة وغيرها . ويتم ذلك بواسطة الكمبيوم ، وتسمي كل الانسجة الناتجة عن نشاطه أيا كان نوعها ، بالانسجة الثانوية Secondary Tissues .

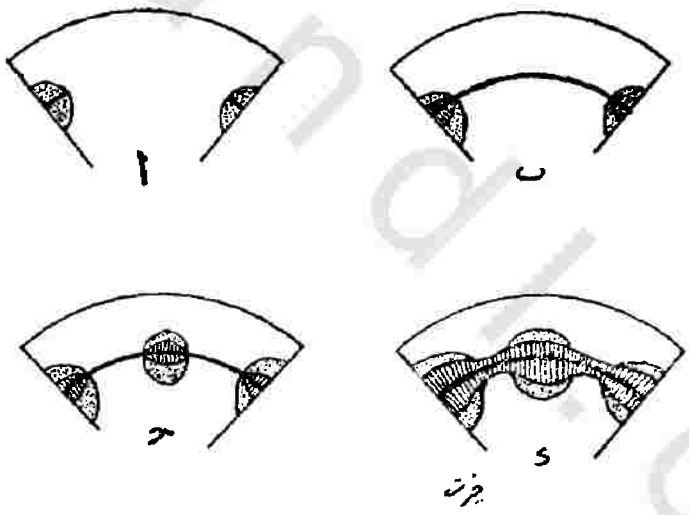
١ — الكمبيوم The Cambium

تحتوى الحزم الوعائية الابتدائية فى ساق كل من نباتات معراة البذور وذات الفلقتين على منطقة من الكمبيوم تفصل اللحاء عن الخشب خارجياً وداخلياً . فاذا تكونت الانسجة الثانوية فانها تستمر فى دفع العناصر الابتدائية لكل حزمة بعيداً جهة الخارج والداخل فى اتجاه قطرى .

ويختلف منشأ الكمبيوم بالنسبة لاختلاف الساق ، إلا أنه ذو علاقة قريبة بالتكشف الابتدائى الذي يحدث في المنطقة القمية . وينشأ الكمبيوم فى عدة سوق من الاسطوانة البروكمبيومية الابتدائية ، ويكون أول ما يتكون فى هيئة أشرطة منعزلة ، وقد تتصل هذه الاشرطة فى كثير من النباتات جانبياً بأشرطة مماثلة بروكمبيومية تتكون فيما بينها ، أو قد يكون الاتصال نتيجة لامتداد الاشرطة الاولى جانبياً ، وينتج عن ذلك تكون اسطوانة بروكمبيومية كاملة متصلة . وفى كثير من النباتات العشبية مثل *Ranunculus* و *Impaciens* تبقى الاشرطة البروكمبيومية وبالمثل الانسجة الوعائية الابتدائية كما هى دون أن تتصل جانبياً ، ويكون الكمبيوم فى مثل هذه الحالات باقياً كما هو دون أن يمتد

جانبيا فاصلا ما بين كل من اللحاء والخشب الابتدائى (شكل ١١٩ — ا) . وقد يحدث فى بعض النباتات العشبية الاخرى أن يمتد الكمبيوم جانبياً حتى يكون حلقة كاملة (شكل ١١٩ — ب) ، وتنشأ هذه الاشرطة المتأخرة فى التكوين عادة من الخلايا البرنشيمية التى كانت دائمة والمكونة للاشعة النخاعية فى شكل منطقة من خلايا مرستيمية رقيقة الجدر تستمر متممة لمنطقة الكمبيوم فى الحزم نفسها ، وتتكون هذه بواسطة الانقسام التماسى لخلايا الاشعة النخاعية الملاصقة أو الموازية لشريط كمبيوم الحزمة الوعائية .

ولذلك يسمى الكمبيوم الذى ينشأ مع الحزم الوعائية الجانبية بالكمبيوم الحزمى Fascicular Cambium ، أما مناطقه التى تتكون بين كل حزمة والأخرى فتسمى بالكمبيوم بين الحزمى Interfascicular Cambium . وقد ينشط الكمبيوم بين الحزم فى بعض النباتات العشبية ويكون خلايا برنشيمية فقط بانقسامه خارجياً وداخلياً



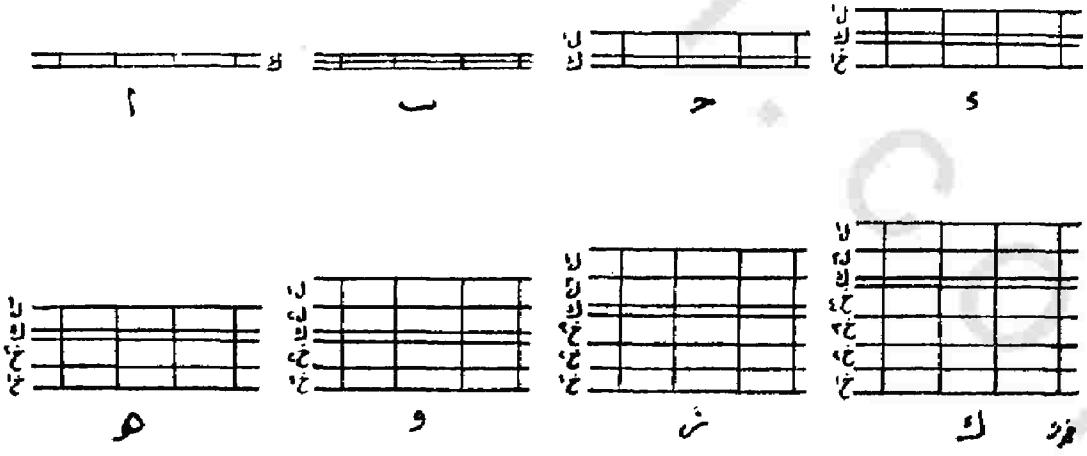
(شكل ١١٩)

رسم تخطيطى يبين تكوين حلقة الكمبيوم فى الساق . (ا) بقاء الكمبيوم الحزمى كما هو دون أن يتصل جانبياً . (ب) اتصال الكمبيوم فى حلقة كاملة مع كبر الحزم الوعائية الابتدائية فى الحجم نسبة لتكون العناصر الثانوية بها فقط . (جـ) اتصال حلقة الكمبيوم مع كبر الحزم الابتدائية نسبة لتكون العناصر الثانوية بها علاوة على تكون الحزم الوعائية الثانوية . (د) اشتراك كل من الكمبيوم الحزمى والبين الحزمى فى تكوين اسطوانة كاملة من اللحاء الثانوى والخشب الثانوى .

دون أن يكون عناصر خشب أو لحاء ثانويين ، كما هو الحال فى نبات *Clematis* ، أما الكمبيوم الحزمى فيكون بعض هذه العناصر الى حد محدود .

وتكون مناطق الكمبيوم البين الحزمى فى معظم النباتات العشبية فى العادة وفى عدة مواضع منها عناصراً ثانوية لكل من اللحاء والخشب ، فى هيئة حزم ثانوية إضافية أصغر حجما من الحزم الابتدائية ، هذا الى جانب تكوين هذه العناصر الثانوية فى الحزم الابتدائية نفسها ، كما فى عباد الشمس والبرسيم (شكل ١١٩ — ص) ، أما مواضع الكمبيوم البين الحزمى فيما بين الحزم وبعضها فتكون أنسجة ثانوية برنشيمية. أما الوضع الاخير فيشترك فيه كل من الكمبيوم الحزمى والبين الحزمى فى تكوين اسطوانة كاملة من كل من اللحاء الثانوى والخشب الثانوى ، (شكل ١١٩ — ء) ويحدث ذلك فى النباتات العشبية الخشبية وغيرها .

وينظر عادة الى منطقة الكمبيوم التى تكون الانسجة الثانوية ، الى أنها مكونة من طبقة واحدة من الخلايا فى صف واحد (شكل ١٢٠ — ا) ، وهذه بانقسامها تماسياً تكون الخلايا الجديدة على كل من جانبيها الداخلى والخارجى . وتنقسم هذه الطبقة عادة فى مبدأ أمرها انقساما تماسيا يقسمها الى طبقتين (شكل ١٢٠ — ب) ، تبقى إحداهما مرستيمية إنشائية بينما تصبح الثانية خلايا الخشب أو اللحاء الامية (شكل ١٢٠ — ص) ، وذلك بالنسبة لوضعها خارجياً كان أو داخلياً . وتستمر خلايا الكمبيوم فى الانقسام

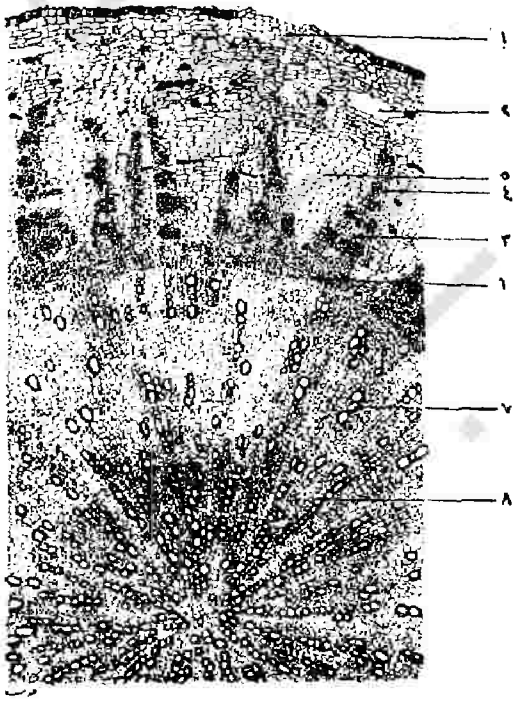


(شكل ١٢٠)

رسم تخطيطى يبين التكشف التدريجى لكل من عناصر الخشب واللحاء من الكمبيوم ،
(عن Eames & MacDaniels)

بطريقة مماثلة ، غير أن انتظام تكوين كل من خلايا اللحاء والخشب لا يكون ذا نظام معين بالنسبة لتبادل تكوين كل من هذين العنصرين . وباستمرار عملية الانقسام يزداد عدد طبقات الخلايا على كل من الجانبين ، وهذه تتكشف تدريجياً الى كل من الخشب واللحاء (شكل ١٢٠ — و ، هـ ، و ، ز ، ك) ، مما يسبب الزيادة فى سمك منطقة الكمبيوم وظهورها فى عدة طبقات متتالية .

وبالنسبة لاستمرار الانقسام التماسى للكمبيوم ، والزيادة فى تكوين الانسجة على جانبه الداخلى ، يتسبب عن ذلك تحرك الكمبيوم جهة الخارج ، وكذا الخلايا الواقعة خارجيا بالنسبة له . ولا شك أن ذلك مما يزيد من قطر حلقة الكمبيوم ، وبالتالى فى قطر الساق نفسه (شكل ١٢١) .



(شكل ١٢١)

رسم تفصيلى لمقطع عرضى فى ساق نبات اللوخية المسن يبين الزيادة فى قطر الساق .
١ = بريدرم ، ٢ = قناة غروية ، ٣ = لحاء ، ٤ = ألياف ، ٥ = خلايا برنشيمية ،
٦ = حلقة الكمبيوم ، ٧ = عناصر الخشب ، ٨ = أشعة نخاعية .

وتشبه خلية الكمبيوم النموذجية المنشور القائم فى شكلها ، وتكون أوجهها العريضة فى وضع تماسى ، وتظهر فى مقطعها الطولى مشابهة للخلايا البروزنشيمية . وهى ذات جدر تماسية رقيقة، وجدر قطرية أكثر سمكا مزودة بصفوف طولية من نقر مستديرة الشكل . ويكون سمك الجدر القطرية أكثر وضوحاً وقت الشتاء أو وقت السكون ، ويختزل هذا السمك عند نشاط النمو والانقسام بالنسبة لامتصاص جزئى يحدث لهذه الجدر . إلا أن Strasburger و Krüger ينسبان ذلك إلى الامتداد الذى يحدث لهذه الجدر . وتحتوى خلايا الكمبيوم على سيتوبلازم حبيبى ، ونواة ذات شكل مغزلى .

وينتج عن نشاط الكمبيوم فى كل من نباتات معراة البذور وذات الفلقتين أنسجة ثانوية يمكن ترتيبها فيما يلى :

١ — تكون الانسجة الثانوية الداخلية بالنسبة له من عناصر ميكانيكية وأخرى ناقلة للماء ، وتسمى هذه مع برنشيمة الخشب فى مجموعها بالخشب الثانوى Secondary Xylem أو بالاسطوانة الخشبية Woody Cylinder .

٢ — تكون الانسجة الثانوية الخارجية بالنسبة له من اللحاء والبرنشيمة الناقلة مصحوبة أحيانا بأشرطة ميكانيكية تقوم بحماية موضعية لهذه العناصر الناقلة ، وتسمى فى مجموعها باللحاء الثانوى Secondary Phloem .

ويتقاطع عادة مع كل من هاتين المجموعتين أشرطة قطرية غير وعائية تسمى بالاشعة النخاعية Medullary Rays . ويسمى الجزء الذى يقع فى منطقة الخشب منها بأشعة الخشب Xylem Rays ، أما الآخر الذى يقع فى منطقة اللحاء فيسمى بأشعة اللحاء Phloem Rays .

وتنشأ الأشعة النخاعية الثانوية Secondary Medullary Rays الإضافية ، من خلية أو أكثر من خلايا الكمبيوم ، وهذه يحدث لها عدة انقسامات عرضية أو مائلة مكونة بذلك شريطاً شعاعياً مكونا من عدة صفوف من الخلايا . ولايزيد عرض هذه الاشعة غالباً عن خلية واحدة ، وترى ممتدة داخل مجاميع كل من اللحاء الثانوى

والخشب الثانوى، غير أنها لا تتصل عادة بالنخاع ، وتسمى عادة بالأشعة النخاعية الصغيرة Small Rays . وهناك نوع آخر من الاشعة النخاعية يتكون عادة من صفين أو ثلاثة صفوف من الخلايا وهذه يقل عددها فى اتجاه النخاع فيكون صفاً واحداً ، إلا أنها تختلف عن الأولى فى اتصالها بالنخاع ، وتسمى بالاشعة النخاعية الابتدائية Primary Medullary Rays أو بالأشعة الكبيرة Large Rays . ويشاهد كل منهما فى المقطع العرضى لساق نبات التيليا المسن .

ويلاحظ وقت نشاط العصارة فى كل من الربيع والخريف، وفى خلايا الأشعة النخاعية، تيار مستمر من المواد الكاربوايدراتية ، مما يرجح اعتبار هذا النوع من الخلايا كعناصر ناقلة فى هذا الوقت من العام .

٢ — اللحاء الثانوى Secondary Phloem

تترتب الانسجة المختلفة التى يتكون منها اللحاء الثانوى فى عدد من الطبقات المماسية الوضع ، يتقاطع معها قطريا خلايا الأشعة النخاعية ، التى تقوم بتبادل المواد بين كل من الاسطوانة الخشبية ، والمنطقة التى تلى الكمبيوم جهة الخارج . ويتكون اللحاء الثانوى كاللحاء المعتاد من الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة ، أو من صفوف من الخلايا الاليبومينية تحل محل الخلايا المرافقة فى نباتات معراة البذور . كما يشتمل على بعض خلايا برنشيمة اللحاء Cambiform Cells ، إلا أنها لا تكون عديدة ونموذجية كما هى فى اللحاء الابتدائى. وتتجمع الانابيب الغربالية والخلايا المرافقة من جهة ، وكذا البرنشيمة الناقلة من الجهة الاخرى فى طبقات تماسية متبادلة . والخلايا الانابيب الغربالية بالنسبة لاشتقاقها من خلايا الكمبيوم جدر طرفية مائلة الوضع، توجد بها عدة حواجز غربالية تسهل انتقال المواد البروتينية . وقد تحتوى الخلايا البرنشيمية الناقلة عادة على بعض الكلوروفيل ، كما تمتلئ فى نهاية فصل الصيف بكميات كبيرة من النشا ، الذى يختفى تماما مرة أخرى فى أواخر فصل الخريف بالنسبة لتحوله الى مواد دهنية وجلوكوز ومواد أخرى . وتتجه عادة المواد الكاربوايدراتية المتكونة فى الاوراق نحو الساق فى برنشيمة اللحاء الناقلة، ثم تمر الى الاسطوانة الخشبية خلال الأشعة النخاعية .

وتبقى الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة عاملة لمدة قصيرة، ثم تفقد محتوياتها وتضمحل فى نهاية كل فصل نمو خضرى، أما خلايا البرنشيمة الناقلة فقد تبقى نشطة لعدة سنوات .

وتتكون المنطقة المقوية للحاء من ألياف اللحاء ، وكذا من الخلايا الاسكلرنشيمية (الاسكليريدز). وقد لاتتكون العناصر الثانوية الليفية فى بعض النباتات مثل *Platanus* و *Viburnum* و *Fagus* ، وبالمثل قد لا توجد الخلايا الحجرية كما فى *Taxus* و *Ulmus* و *Morus* ، إلا أن اللحاء الثانوى لا يخلو عادة من الخلايا الميكانيكية كما فى *Nerium* و *Laurus* .

وتترتب الالياف الثانوية للحاء عادة فى وضعين يختلف أحدهما عن الآخر ، فقد تكون منتثرة فى حالة فردية أو فى مجاميع صغيرة خلال اللحاء الثانوى ، أو قد تكون فى هيئة صفوف أو طبقات تماسية تتبادل مع طبقات مماثلة لها من نسيج اللحاء. ويرى ثانى هذين الوضعين فى *Quercus Robur* و *Vitis vinifera* و *Castania vesca* وكذا فى كل من التيليا والملوخية . ولا تعود قوة السوق والافرع الخشبية فى مجموعها الى هذا النسيج الميكانيكى ، بل تعتمد فى ذلك اعتماداً كلياً على الصفات الميكانيكية للاسطوانة الخشبية ، ولذا كانت المنطقة الليفية فى اللحاء الثانوى ، ذات فائدة فى سد بعض المطالب الميكانيكية الموضعية وخصوصاً حماية أنسجة اللحاء التى ترافقها .

وتكون هذه المناطق الليفية عادة ذات أهمية فى تقوية الساق عند بدء تكون الاسطوانة الخشبية ، ثم تصير بعد ذلك ذات قيمة ثانوية . وتعتمد ساق نبات التيليا فى معظم قوتها الميكانيكية وخصوصاً فى الثلاث سنوات الاولى على الاشرطة الليفية الموجودة فى اللحاء الثانوى ، أما فيما بعد ذلك وبالنسبة لاستمرار نشاط الكمبيوم وازدياد كبر الاسطوانة الخشبية تصبح ألياف اللحاء ذات قيمة موضعية فقط .

ويحتوى اللحاء الثانوى علاوة على العناصر الميكانيكية ، على الاكياس البللورية وأحيانا على القنوات الافرازية أو الانابيب اللبنية ، وهذه إن وجدت لا يكون لها أهمية خاصة .

وفى نباتات ذات الفلقتين ، تشابه خلايا أشعة اللحاء ، العناصر البرنشيمية الناقلة فى محتوياتها وطبيعة جدرها . ويصل هاتين المجموعتين من الخلايا عدد كبير من النقر ينشط عن طريقها تبادل المواد ، كما تكون الخلايا المرافقة ذات صلة وثيقة بخلايا الانسجة النخاعية . وقد شاهد ستراسبرجر ان بعض خلايا أشعة اللحاء ، وخصوصاً الموجودة لدى كل من الحواف العليا والسفلى ، تختلف عن العناصر المحتوية على النشا فى اتساعها وكبر حجم نواتها ، وأسماها Albuminous Cells . وتتصل هذه الخلايا بالانابيب الغربالية الثانوية ، وخصوصاً فى نباتات ABIETINEAE وبعض النباتات المخروطية ، بواسطة ثقوب غربالية ، وتفقد محتوياتها فى نفس الوقت الذى تفقد فيه الانابيب الغربالية محتوياتها أيضاً .

٣ — الخشب الثانوى Secondary Xylem

(ا) العناصر المكونة للخشب الثانوى .

يتكون الخشب الثانوى من كل من العناصر الناقلة والميكانيكية ، وتتحد الأنسجة الناقلة مع الأنسجة الميكانيكية لتكون معاً الاسطوانة الخشبية . وعلاوة على تكون هذه الاسطوانة من العناصر الناقلة والميكانيكية النموذجية توجد أشكال أخرى من خلايا تجمع فى صفاتها مظهراً يتوسط كلا من النوعين السابق ذكرهما .

ويتكون الخشب الثانوى عادة من الخلايا الميكانيكية فى هيئة ألياف الخشب Wood Fibres (Libriform Cells) ، ومن القصبات والقصيبات الرقيقة الجدر والتى تمثل الأنابيب الناقلة للماء ، ومن برنشيمة الخشب التى تقوم بعملية التخزين الى جوار قيامها بنقل المواد المرتة الغير آزوتية ، ثم من خلايا أشعة الخشب .

وخلايا ألياف الخشب ذات شكل بروزنشيمى ، وجدرها سميكة يتخللها نقر ضيقة مائلة . وتحتوى على الهواء عادة ، وكذا بقايا المحتويات البروتوبلازمية . ويقل مشاهدة ألياف الخشب المتفرعة ، إلا أنها تظهر فى خشب التيك *Tectona grandis* . وجدر هذه الخلايا أكثر لجنتة عما فى ألياف اللحاء ، وقد تكون آخر طبقات الجدار من الداخل

ذات طبيعة غروية أو غضروفية وهذه تبقى بدون لجنتة بصفة دائمة ، كما فى *Morus alba* و *Ulmus suberosa* . ويقول Schellenberg انها تتكون من الهميسليلوز الذى يتحول الى مادة مرنة ذائبة فى الربيع . وخلايا ألياف الخشب الى جوار ذلك أقصر طولا من خلايا ألياف اللحاء ، فلا يزيد طولها عادة عن ٣ر٠ الى ٣و١ م .

أما القصبات والقصيبات الثانوية فلا تزداد جدر خلاياها فى السمك عن مثيلاتها الابتدائية ، ونادراً ما تكون ذات غلظ حلقى ، وتمتاز بوجود النقر المضفوفة أو النصف المضفوفة اذا ماجاورت الخلايا البرنشيمية الناقلة ، كبرنشيمة الخشب ونسيج الأشعة النخاعية.

وتتكون برنشيمة الخشب من الانقسام العرضى المتكرر لخلايا الكمبيوم الأمية ، وخلاياها منشورية مستطيلة الشكل ، وقد تكون منبسطة اذا ما لاصقت الأوعية الكبيرة . وهى ذات جدر ملجنتة متوسطة السمك ، وذات نقر مستديرة أو إهليلجية الشكل ، يتركز وجودها فى الجدر القطرية . وخلايا برنشيمة الخشب ذات محتويات حية يضاف اليها كميات كبيرة من النشا زمن الشتاء كما فى الخشب الصميمى ، أو الزيوت الدهنية كما فى الخشب الرخو. وقد تحتوى أحيانا علاوة على ذلك على بعض الكرات الكلوروفيللية . وتقوم برنشيمة الخشب ، كما يقوم نسيج الأشعة النخاعية ، بنشاط نسبى فى عملية الانتقال ، بالنسبة لاستطالة شكل خلاياها وكثرة وجود النقر بها .

وقد يحتوى الخشب الثانوى على شبكة تامة التكوين من الأنابيب اللبنية تمتد خلال برنشيمة الخشب ، كما فى نباتات Papayaceae ، ملاصقة للأنسجة الوعائية. كما قد يحتوى على الأعضاء الافرازية كالقنوات الراتنجية التى تشاهد فى برنشيمة الخشب فى النباتات المخروطية ، أو الأكياس البللورية كما فى بعض نباتات Leguminosae و *Vitis* .

ويماثل نسيج أشعة الخشب البرنشيمة الناقلة ، وخلاياه مستطيلة الشكل قطريا ذات جدر يقل أو يزداد سمكها ولجنتها ، مزودة بعدد كبير من النقر ، وخصوصاً القطرى منها .

ويشاهد فى خشب جنسى *Alnus* و *Sorbus* مواضع أسماها « دى بارى » بالبقع النخاعية Medullary Spots . وهى عبارة عن نموات فى شكل زوائد موضعية من الأشعة

النخاعية ، وتتكون من خلايا عديمة الانتظام عديدة الأوجه ، جدرها ذات نقر وتشبه فى مجموعها نسيجاً مخزناً بالنسبة لاحتواء خلاياها على كميات كبيرة من النشا والتانين . وقد تعتبر هذه الزوائد أعضاء إفرازية بالنسبة لتكون الفتوات الراتنجية فى مواضعها ، كما فى المخروطيات .

ويتخلل كل مناطق برنشيمة الخشب الناقلة شبكة مستمرة من مسافات بينية هوائية تمتد خلال الكمبيوم لتتصل بالمسافات الهوائية لأشعة اللحاء ، ومنها الى المسافات البينية الهوائية فى القشرة ، ثم تتصل بالجو الخارجى عن طريق العديسات . وبذلك يظهر جلياً سهولة اتصال جهاز التهوية الخاص بالأسطوانة الخشبية بالجو الخارجى .

(ب) ترتيب وضع الأنسجة فى الاسطوانة الخشبية

تترتب العناصر المختلفة المكونة للاسطوانة الخشبية فى نظام خاص ، فالخشب الثانوى يماثل اللحاء الثانوى فى ترتيب عناصره الجديدة المتكشفة . غير أن هذه العناصر تكون فى صفوف قطرية بالنسبة للاستطالة القطرية لهذه الخلايا وامتدادها ، خلال تحولها الى أنسجة دائمة مع بقاء أحجامها التماسية دون تغيير . ويحدث ذلك لبرنشيمة الخشب العادية والأشعة النخاعية وكذا النسيج الوعائى . وفى المخروطيات تترتب القصيبات الليفية دائما فى صفوف منتظمة ، لهذا السبب ، كما تماثل ألياف الخشب فى نباتات ذات الفلقتين هذا الوضع فى الغالب كما فى *Nerium oleander* . ولو أنه قد تحدث فى حالات أخرى تحورات فى وضع هذه المجاميع القطرية ، كما قد لا يرى هذا الوضع إطلاقا .

وتتكون الاسطوانة الخشبية من عناصر تنتمى الى أنسجة جهازين مميزين ، أحدهما ميكانيكى والآخر ناقل وعائى . وعادة تكون كل قصيبة وكل وعاء ، وبالمثل كل خلية من برنشيمة الخشب أو من الشعاع النخاعى ، فى اتصال مستمر دون أن تعترضها عناصر الجهاز الآخر حتى يسهل انتقال تيار العصارة بها ، حتى انه لا يمكن أن تبقى كل من خلايا برنشيمة الخشب أو الأنسجة الوعائية نشطة اذا ماغلفت تماماً بالنسيج الميكانيكى . وتكون القصبات والقصيبات فى اتصال طولى دائم علاوة على الاتصال الجانبى ، كما تجاور الأشعة النخاعية برنشيمة الخشب .

ويكون وضع النقر المضفوفة على الجدر القطرية عادة حتى يسهل الانتشار فى الاتجاه التماسى ، وتكون هذه النقر كبيرة الحجم فى جنس *Pinus* حتى انها تكاد تشمل اتساع الخلية عرضياً. ويتسبب عن وجود مثل هذه النقر الكبيرة نقص فى قوة جدر القصيبات ، ولذلك تكون مثل هذه القصيبات زوائداً عرضية تحميها من ضغط خلايا نسيج الشعاع النخاعى الانتفاخى . وتشبه كل من هذه الزوائد عصاة قصيرة ذات امتداد قرصى عند كل من طرفيها ، وتظهر عموماً فى مقطعها الطولى بشكل حرف H ، وتلتصق الأقراص الطرفية عادة بجدر القصيبة الجانبية .

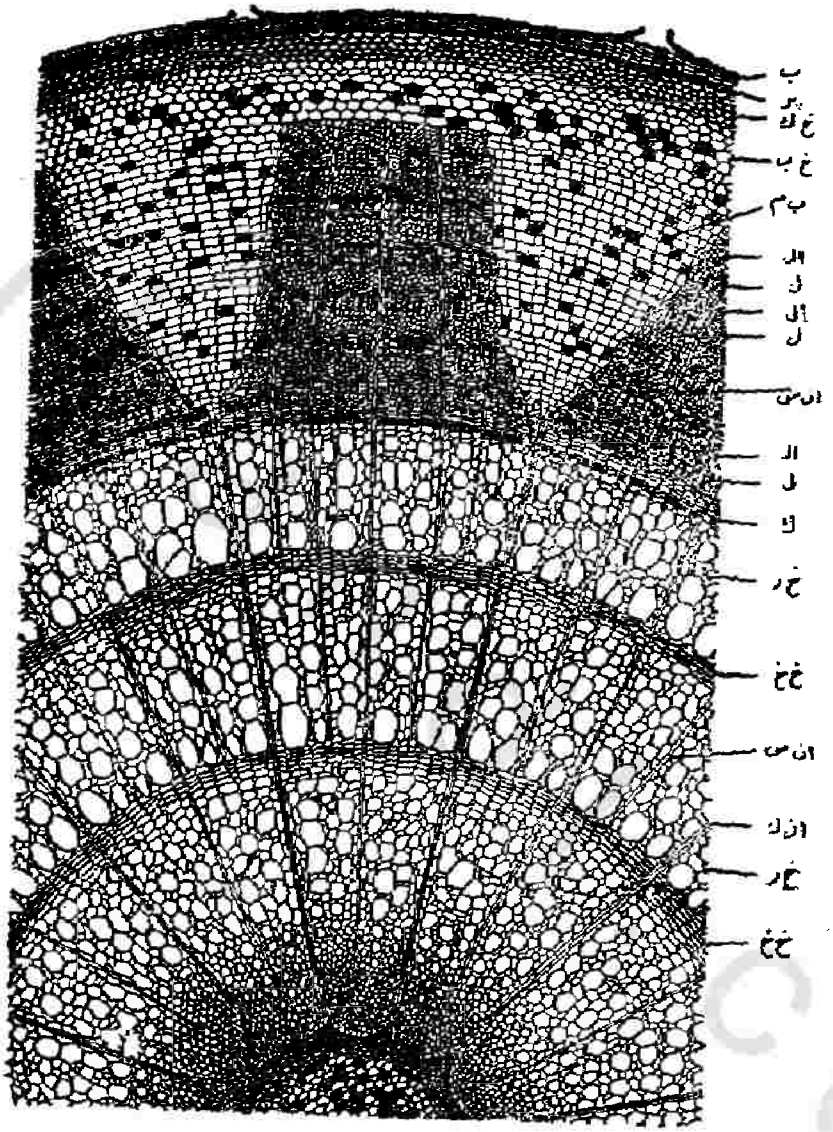
وفى نباتات ذات الفلقتين تتصل خلايا الأشعة النخاعية بالأوعية المجاورة لها عن طريق النقر . وتكون هذه النقر فى جنسى *Populus* و*Salix* إهليلجية الشكل مضفوفة نوعاً ما ، وتكون كبيرة الحجم فى CUPULIFEREAE ، غير أن الشكل المضفوف لا يظهر بها. وفى *Morus alba* و *Vitis vinifera* لا تظهر النقر الكبيرة فى الشكل الدائرى أو الاهليلجى العادى ، بل تكون زائدة الاستطالة وغير منتظمة فى مقطعها العرضى . وفى ROSACEAE وخصوصاً في بعض نباتات POMACEAE و LEGUMINOSAE ، تكون هذه النقر صغيرة الحجم بسيطة التكوين موزعة فى غير نظام معين .

(ج) الحلقات السنوية Annual Rings

يحدث فى المناطق المعتدلة عادة أن يعترض النمو الثانوى للأشجار والشجيرات فصل الشتاء من كل عام . ولذا كانت الزيادة التى تحدث فى الأسطوانة الخشبية خلال فصل النمو الخضرى الواحد واضحة متميزة بالنسبة لاختلاف المظاهر التشريحية للمناطق المتتالية التى تسمى عادة الحلقات السنوية Annual Rings . وتتحدد كل حلقة من هذه الحلقات بخشب الربيع Spring Wood من جهة ، ثم بخشب الخريف Autumn Wood من الجهة الأخرى . وقد تتكون مثل هذه الحلقات فى النباتات الخشبية الاستوائية بالنسبة للفصول الجافة المنتظمة التى تعترض نشاط النمو الخضرى (شكل ١٢٢) .

وينتظم اتساع الحلقات السنوية فى الأفرع والسوق القائمة ، وقد يختلف هذا الوضع بالنسبة للمؤثرات الخارجية كهبوب الرياح من جهة واحدة بصفة دائمة ، وبذلك لا تنتظم

الزيادة فى النمو الثانوى وفى وضع هذه الحلقات ، إلا أن الوضع الدائرى يكفل للسوق القائمة حمايتها الميكانيكية .



(شكل ١٢٢)

ق . ع . فى ساق نبات التيليا (سن ٣ سنوات) يبين الحلقات السنوية . ب = بشرة ، بر = پريدرم ، خ ك = خلايا كولنشيمية ، خ ب = خلايا برنشيمية ، ب م = بلورة متجمعة ، ال = ألياف ، ل = لحاء ، ان ص = أنسجة نخاعية صغيرة ، ك = كمبيوم ، خ ر = خشب ربيع ، خ خ = خشب خريف ، ان ك = أنسجة نخاعية كبيرة ،

(عن Lowson)

ويعود الاختلاف فى سمك الحلقات السنوية المتتالية اذا ما شوهدت فى المقطع العرضى للساق ، الى الاختلاف فى المطالب الغذائية بالنسبة للفصول المتتالية . ففى فصل الصيف حيث تتعرض الأشجار لأضرار مختلف الحشرات ، تكون الحلقة السنوية ضيقة ، أما فى الفصول التى ينشط فيها تكوين الأوراق الخضراء فتكون حلقاتها السنوية متسعة .

وتكون الحلقات السنوية فى الأفرع والجذور الأفقية أو المائلة الوضع فى النباتات المتساقطة الأوراق غير منتظمة فى تكوينها ، فتكون كل حلقة أكثر سمكا فى النصف العلوى منها ، عما فى النصف السفلى ، كما فى *Tilia* و *Robinia* و *Alnus* و *Acer* . وقد أسمى Schimper النوع المستدير Epinastic أما الآخر فأسماه Hyponastic ، كما أطلق Wiesner عليهما اصطلاحى Epitrophy و Hypotrophy .

وقد يعود هذا الاختلاف فى السمك الى الجاذبية الأرضية أو الى عدم تساوى درجات الحرارة والضوء والرطوبة ، بالنسبة لجانبى العضو المتكونة به هذه الحلقات . كما قد يعود ذلك الى اختلاف توزيع القوى الميكانيكية بالنسبة لتعرض السطح العلوى للأعضاء الأفقية أو المائلة للامتداد ، والسفلى للانضغاط . وأخيراً قد يعود هذا الاختلاف الى بعض المؤثرات الداخلية .

وتكون الحلقات السنوية المتتالية مميزة أو أقل تمييزاً فى المقطع العرضى للسوق والأفرع ، بالنسبة للفروقات التشريحية بين كل من خشب الربيع وخشب الخريف . وقد يرجع هذا الفارق الى توزيع العناصر فى كل حلقة توزيعاً غير متساو ، أو الى اختلاف شكل وتركيب العناصر المتجانسة ، فى كل من منطقتى الحلقة الواحدة .

ويشمل خشب الربيع فى العادة نسبة كبيرة من الأوعية والقصيبات ، عما فى خشب الخريف . وتكون الأوعية أكثر اتساعا وأرق جدراً فى النوع الأول من الخشب مما يجعله أقل تماسكا . وتكون النقر المضفوفة فى معظم نباتات معراة البذور (والتى توجد دائماً فى الجدر القطرية) ، موجودة أيضاً فى الجدر المماسية فى المناطق التى تحد كل حلقة سنوية .

وفى نباتات ذات الفلقتين تتصل العناصر الناقلة للماء فى كل حلقتين متتاليتين ، بواسطة أوعية ضيقة تتكون فى خشب الخريف ، وتلاصق بعض الأوعية الحديثة التكوين فى الربيع التالى . وفى حالات أخرى ، قد تتصل أوعية الحلقات المتتالية بصفوف قطرية من القصيبات . ويحدث الانتقال فى كل هذه الحالات عن طريق النقر المضفوفة ، هذا علاوة على اتصال برنشيمة الخشب فى الحلقات المتتالية بعضها ببعض .

ومن المعلوم أنه فى زمن الربيع يزداد النشاط الخضرى ، ويزداد تبعاً الى ذلك تكون القنوات الناقلة للماء فى هيئة عدد كبير متسع من الأوعية تتكون وقت الربيع حتى أوائل الصيف . حتى اذا ما أتمت الأشجار تكوين الأوعية الناقلة للماء ، تتجه الأهمية نحو زيادة القوة الميكانيكية فى هيئة أشرطة من ألياف الخشب يرافق تكونها وظهورها الزيادة فى سمك جدر عناصر خشب الخريف ، مما يزيد فى القوة الميكانيكية لكل حلقة سنوية .

(د) التغيرات العادية فى الوضع الطبيعى للخشب

يحتفظ الخشب فى قليل من النباتات المتساقطة الأوراق بصفاته الأصلية المميزة فى كل المقطع العرضى للساق ، كما فى *Acer* و *Betula alba* و *Populus tremula* . إلا أنه تتميز عادة وخصوصاً فى الطبقات الحديثة التكوين من الحلقات السنوية ، منطقة خاصة تسمى بالخشب الرخو Sap Wood ، وتختلف هذه اختلافا ظاهراً عن المنطقة الأخرى الأقدم تكويناً ، والتى تسمى بالخشب الصميمى Heart Wood . ويكون الخشب الرخو ذا لون أبيض مائل الى الاصفرار ، وتبقى خلاياه محتفظة بنشاطها . وتقوم الحلقات السنوية الخارجية من الخشب الرخو عادة بنقل الماء ، أما الداخلى منها فيقوم بتخزين الماء وغيره من المواد الأخرى .

والخشب الصميمى ذو لون داكن ، ولا يشترك فى عملية الانتقال ولا التخزين ، ولذلك كانت وظيفته ميكانيكية بحتة . وتمتلئ كل فجوات الخلايا فى هذه المنطقة المركزية بمختلف المركبات العضوية ، فى هيئة صبغات كصبغة الهيماتوكسيلون ، أو أجسام راتنجية

أو غروية ، وكذا مادة التانين . ويمتاز الخشب الصميمى علاوة على محتوياته السابق ذكرها باحتوائه على عدد من المركبات غير العضوية ، فتوجد السليكا فى فجوات الخلايا والأوعية فى نبات *Hirtella silicea* ، وفى الأوعية فقط فى *Tectona grandis* ، كما توجد راسبات من مادة كربونات الكلسيوم فى *Ulmus campestris* و*Celtis orientalis*.

والخشب الصميمى أكثر كثافة ومتانة عن الخشب الرخو فى النبات الواحد . وهذه الصفات الى جانب أهميتها الميكانيكية للنبات نفسه ، فانها ذات قيمة اقتصادية بالمثل ، بالنسبة لعدم قابلية هذا النوع من الخشب للتلف السريع والتحلل ، وذلك لاحتوائه على المواد السابق ذكرها .

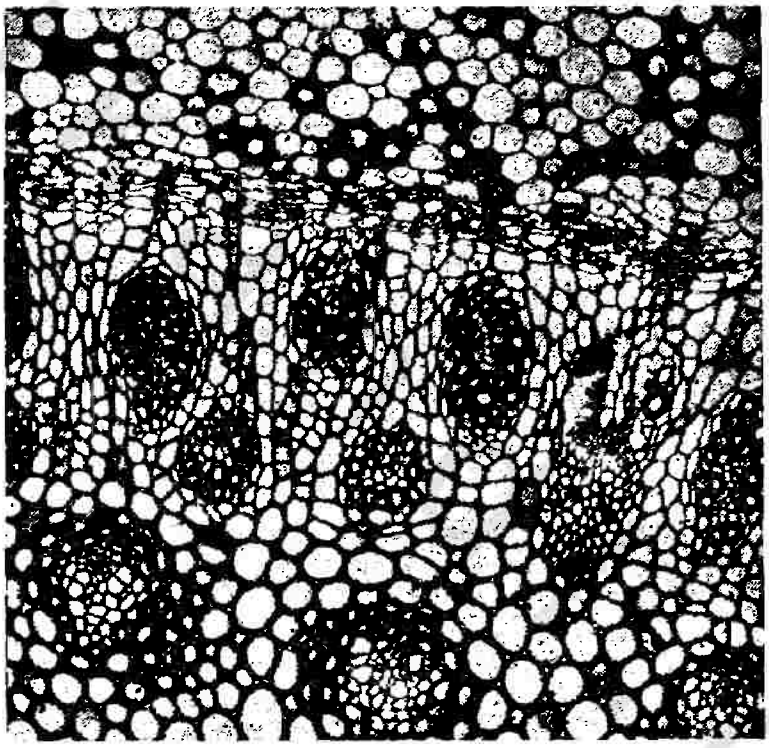
وقد لا يفترق الخشب الصميمى عن الخشب الرخو من جهة القوة والمتانة ، كما فى النباتات المسماة Willows و Canadian Poplar . ويكون مثل هذا الخشب عرضة للتلف السريع بسبب سهولة مهاجمة أنواع الفطريات له . وتصبح سوق مثل هذه الأشجار جوفاء فى طور مبكر .

النمو الثانوى فى سوق نباتات ذات الفلقة الواحدة

ينحصر النمو الثانوى فى سوق نباتات ذات الفلقة الواحدة كالنخيل مثلا، فى الزيادة فى سمك أقطارها سمكا متساويا . وترجع هذه الزيادة فى مثل هذه الحالات الى كبر خلايا النسيج الأساسى البرنشيمية ، وكذا الى زيادة مساحة الأشرطة الليفية المرافقة للحزم الوعائية بالنسبة لاختزال فجواتها واضطراد زيادة غلظ جدرها . ولا يشاهد فى مثل هذه السوق حالات النمو الثانوى المعتاد مشاهدتها فى سوق نباتات ذات الفلقتين ، بالنسبة لغياب منطقة الكمبيوم فى الحزم الوعائية ، ونفاذها فى تكشف كل من مجموعتى الخشب واللحاء لتكونا معاً حزمة جانبية مقفلة .

وقد يحدث النمو الثانوى فى سوق بعض نباتات ذات الفلقة الواحدة بأن تتكون طبقة من الكمبيوم خلف القمة النامية مباشرة وقبل أن تتحول الطبقات المرستيمية الابتدائية الى أنسجة دائمة ، كما فى *Yucca aloifolia* و *Aloe plicatilis*

و *Beaucarnia tuberculata* . وقد لا تظهر هذه الطبقة من الكمبيوم حتى تتكشف كل الأنسجة الدائمة الموجودة فى مستواها ، كما فى معظم أنواع *Dracaena* . وتنشأ هذه الطبقة فى معظم الحالات من أحد الطبقات الداخلية من القشرة البرنشيمية خارج الأسطوانة الوعائية . ويحدث لهذه الطبقة عدة انقسامات تماسية ، وتنشط لتكون منطقة من خلايا مرستيمية ، تختلف من عدة وجهات عن عناصر الكمبيوم الأصلية . فيبلغ طولها ضعفى أو أربعة أضعاف عرضها ، كما أنها ليست بروزنشيمية الشكل .



(شكل ١٢٣)

رسم فوتوغرافى يبين النمو الثانوى فى ساق نبات *Dracaena fragrans* ،
(عن E. & Mac Daniels)

ويتكشف من منطقة الكمبيوم هذه وعلى كل من جانبيها عدد من الأنسجة الثانوية ، يمكن تقسيمها كما فى نباتات معراة البذور وذات الفلقتين ، الى أنسجة تقع خارج الكمبيوم وأخرى تقع داخله . وتكون الأنسجة الخارجية من خلايا برنشيمية رقيقة الجدر

تحتوى على عدد غير قليل من الأكياس البللورية من نوع البللورات الفردية والرافايدز ، أما الداخلية فتتكون من عدد كبير من الحزم الوعائية الثانوية وهذه ترقد بدورها فى نسيج برنشيمى ثانوى . وتماثل الحزم الوعائية الثانوية ، الابتدائية فى وضع كل من عناصر الخشب بالنسبة للحاء ، وغالباً ما تكون مركزية اللحاء Leptocentric كما فى ساق الدراسينا (شكل ١٢٣) ، إلا أنها تكون أكثر عدداً وأصغر حجما وتدفع باستمرار تكونها الحزم الابتدائية نحو مركز الساق . وتحاط الحزم الثانوية بنسيج ليفى أو بخلايا برنشيمية سميكة الجدر ، كما يحاط اللحاء المركزى بطبقة من القصيبات ذات جدر سميكة يتخللها نقر مضفوفة ضيقة مائلة ، ويتقاطع مع هذه القصيبات فى عدة مواضع منها خلايا برنشيمية منفذة (عن ستراسبرجر) . أما الخلايا البرنشيمية الثانوية والبين حزمية ، فتقارن بنسيج الأشعة النخاعية للأسطوانة الخشبية فى نباتات ذات الفلقتين . وهى ذات جدر متوسطة السمك تشمل عدداً من النقر ، وتماثل هذه الخلايا من الوجهة الفسيولوجية ، الخلايا البرنشيمية الناقلة .

وقد يحدث النمو الثانوى فى بعض أنواع الدراسينا فى الجذور المسنة . فتنشأ حلقة الكمبيوم من منطقة البريسيكل ، وتماثل الأنسجة الثانوية المتكونة مثيلاتها التى تتكون فى الساق .

النمو الثانوى الشاذ فى السوق

يمثل الوضع العادى للنمو الثانوى ، ما قد سبق ذكره فى كل من نباتات ذات الفلقتين ومعراة البذور ، وخصوصاً فى تكوين اسطوانة كاملة من الخشب . إلا أنه قد يشذ النمو الثانوى فى بعض الحالات عن الوضع النموذجى ، بسبب الاختلاف فى الوضع الطبيعى للكمبيوم ، وعدم تساوى وانتظام وضع الأنسجة الثانوية . وقد يعود هذا الاختلاف الى بعض المؤثرات الخارجية ، كما هو الحال فى سوق المتسلقات التى تختلف فى تركيبها عن السوق الخشبية القائمة العادية ، بالنسبة لاختلاف وضع النسيج المقوى والناقل بها . وبالمثل الجذور الشحمية التى تقوم أساسا بعملية التخزين ، وكذا السوق المغمورة لبعض النباتات

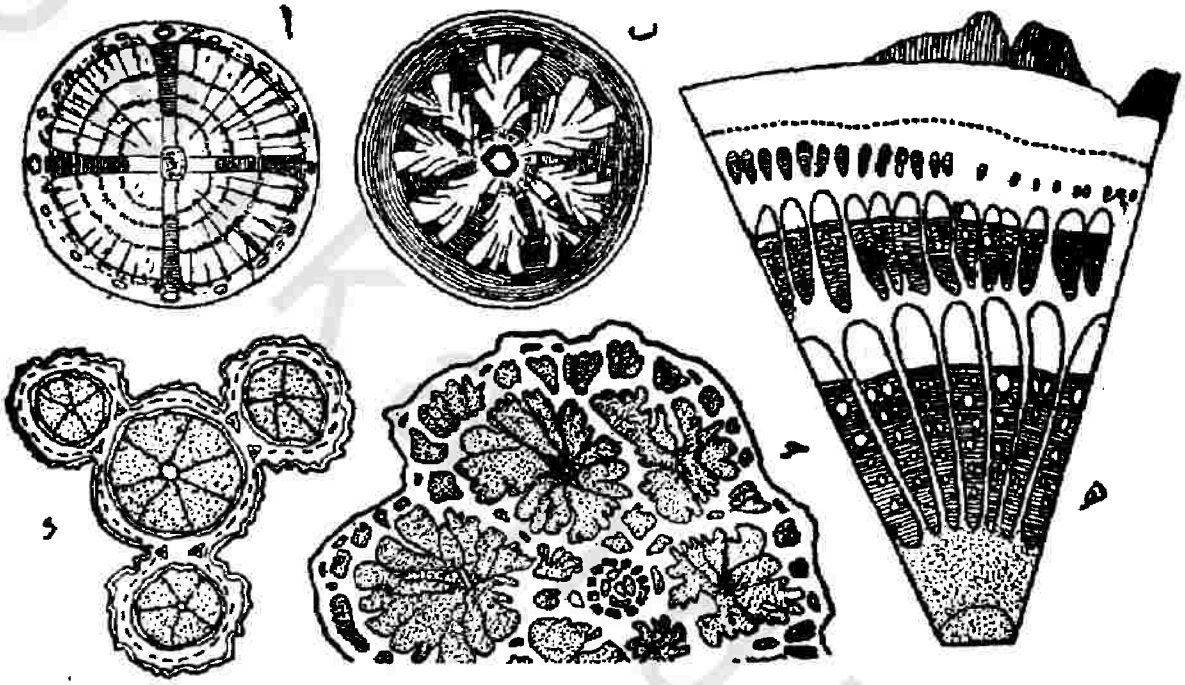
الخشبية المائية التى ينشط الكمبيوم بها ، ليكون نسيج تهوية فى صورة الخشب الطافى Floating Wood .

ولا يمكن أن تساير سوق النباتات المتسلقة المؤثرات الخارجية اذا كانت اسطوانتها الخشبية فى هيئة كتلة صلبة ، ولذا وجب أن تكون منطقة الخشب فى هيئة مجاميع منفصلة يفصلها عن بعضها أنسجة رخوة . ويشاهد هذا الوضع فى كل النباتات المتسلقة مع تعدد الطرق التى يتكون بها .

ويكون وضع الكمبيوم بها عاديا عند بدء تكوينه ، إلا أنه سرعان ما يكون خشبا ولحاء بنسب مختلفة فى عدة مواضع منه . ويرى هذا الوضع فى نباتات BIGNONIACEAE و MALPIGHIACEAE و APOCYNACEAE وجنس *Phytocrene* . وفى نباتات BIGNONIACEAE ، تتصل حلقة الكمبيوم فى مبدأ الأمر وتعطى خشباً ثانويا للداخل ولحاء ثانويا للخارج ، إلا أن انتاج الخشب الثانوى يكون ضعيفاً من أول الأمر فى أربعة مواضع متصالبة بينما يزيد انتاج اللحاء الثانوى مقابل هذه المواضع . وينتج عن ذلك اشتمال الأسطوانة الخشبية على أربعة أشرطة يملؤها نسيج اللحاء الثانوى ، تزداد حجما بازدياد النمو فى السمك . وينتج عن هذا الوضع ، وعن الاختلاف فى النسبة المتكونة لكل من الخشب الثانوى واللحاء الثانوى فى هذه المواضع ، انفصال حلقة الكمبيوم الى أربعة أشرطة تكون أكثر اتساعا مقابل الخشب الثانوى الأكثر تكويناً ، وإلى أربعة أخرى ضيقة مقابل الخشب الثانوى الأقل تكويناً ، عند قاعدة كل من الأشرطة الأربعة السالفة الذكر (شكل ١٢٤ — ا) . وقد تتكون فى بعض نباتات هذه العائلة أشرطة إضافية نتيجة للاختزال التدريجى فى كمية الخشب المتكون وفى مواضع أكثر عدداً من حلقة الكمبيوم ، ولذلك يزداد اتساع أشرطة اللحاء الثانوى المتكون فى اتجاه الأطراف الخارجية فى هيئة درجات متتالية (شكل ١٢٤ — ب) ، وبذلك يتقاطع مع اسطوانة الخشب المتكونة عدد كبير من فصوص نسيج اللحاء .

وقد يحدث هذا الانفلاج متأخراً فى نسيج الخشب ، كما فى بعض نباتات MALPIGHIACEAE و BIGNONIACEAE بالنسبة للتقرنات الثانوية التى تحدث فى كل

من برنشيمة الخشب والنخاع ، فتنشق اسطوانة الخشب انشقاقا كاملا بسبب نشاط النمو البينى وانتقال كتل الخلايا البرنشيمية من موضع لآخر . وتنشأ هذه فى كثير من الحالات من برنشيمة الخشب الرقيقة الجدر والغير ملجننة ، كما تنشأ فى حالات أخرى من العناصر



(شكل ١٢٤)

رسم تخطيطى لعدة مقاطع عرضية فى بعض السوق ذات النمو الثانوى الشاذ .

(ا) *Bignonia capreolata* . (ب) *Melloa populifolia* . (حـ) *Bauhinia sp.* . (د) *Serjania sp.* . (هـ) *Gnetum scandens* .

(ا ، ب ، هـ عن De Bary ، حـ ، د عن Schleiden)

الملجننة التى ترافق الأوعية ، أوخلايا أشعة الخشب التى يحدث لها هذا النمو والانقسام الثانوى .

وبعد تكون وانفصال أشرطة الخشب يحدث النمو الثانوى بواسطة مرستيمات ثانوية مستقلة بذاتها ، كما قد تتكون أشرطة إضافية بين الحزم المتكونة أولا ، وبذلك تظهر الساق فى مقطعها العرضى مكونة من مجموعة من أشرطة الخشب متداخلة مع بعضها فى غير نظام معين (شكل ١٢٤ — حـ) . وتماثل هذه السوق الحبل العادى فى مقطعه العرضى ، حيث تفصل الأقحبة الفاصلة بين أشرطة الخشب المتباينة ويحل البريدرم

محلها جزئياً . وبذلك تظهر مثل هذه السوق منشقة الى عدد من الأشرطة الطولية يغلف الفلقين كلا منها ، كما قد تتشابك أو تتحد مع بعضها فى وضع معقد .

وقد تتكون عدة طبقات من الكمبيوم من مبدأ الأمر كما فى *Serjania* و *Paullinia* ، وهذه يختلف ترتيبها ووضعها فى المقطع العرضى للساق . فقد تتوسط الساق حلقة كاملة من الكمبيوم يوجد خارجها وحولها عدة حلقات أصغر حجما (شكل ١٢٤ — د) . وقد لا توجد هذه الحلقة المركزية وترى دائرة مكونة من خمس الى سبع حلقات خارجية غير متساوية الأحجام ، تكون كل منها خشبا ثانويا لجهة الداخل ولحاء ثانويا لجهة الخارج . وبذلك يتكون الساق من عدد منفصل من الأسطوانات الخشبية .

ومن الأوضاع الشاذة التى ترى فى سوق بعض المتسلقات ، ظهور حلقات كاملة أو ناقصة من الكمبيوم خارج الكمبيوم الابتدائى . وتكون هذه خشباً ثانوياً ولحاء ثانوياً بالطريقة العادية لوقت ما ، إلا أنه سرعان ما يقل ويقف نشاطها حيث تبدأ طبقة جديدة من مرستيم ثانوى فى التكشف خارجياً فى برنشيمة النسيج الأساسى ، كما قد تتكرر هذه العملية عدة مرات . وقد تنشأ هذه المرستيمات الاضافية إما فى القشرة الابتدائية كما فى *Wistaria* و *Rhynchosia* ، أو فى اللحاء الثانوى كما فى *Gnetum* و *Bauhinia* وبعض نباتات BIGNONIACEAE و CONVOLVULACEAE (مثل *Ipomaea* و *Convolvulus* و *Argyreia*) (شكل ١٢٤ — هـ) .

وقد تنشأ طبقة ثانوية من الكمبيوم فى بعض المتسلقات على الجانب الداخلى لاسطوانة الخشب العادية ، كما فى *Tecoma radicans* ، وتعطى هذه خشباً ولحاء فى وضع مخالف ، ويرى مثل هذا الوضع فى سوق كل من *Willughbia firma* و *Periploca graeca* .

ويسمى اللحاء بالنسبة لتداخله وتقاطعه مع الخشب Inter Xylary Phloem . وقد يظهر فى عدد من النباتات الخشبية الغير متسلقة ، ولذلك كانت هذه الظاهرة لاتختص بها النباتات المتسلقة فقط . ويؤدى الاتساع الواضح فى الأوعية والأنابيب الغربالية فى سوق النباتات المتسلقة وكذا الزيادة الكبيرة فى تكوين برنشيمة الخشب والامتداد الرأسى والتماسى الغير عادى للأشعة النخاعية ، الى تسهيل عمليات الانتقال . كما تخدم هذه المظاهر التشريحية فى تسهيل التفافها وانحنائها .