الباب الثالث عشر

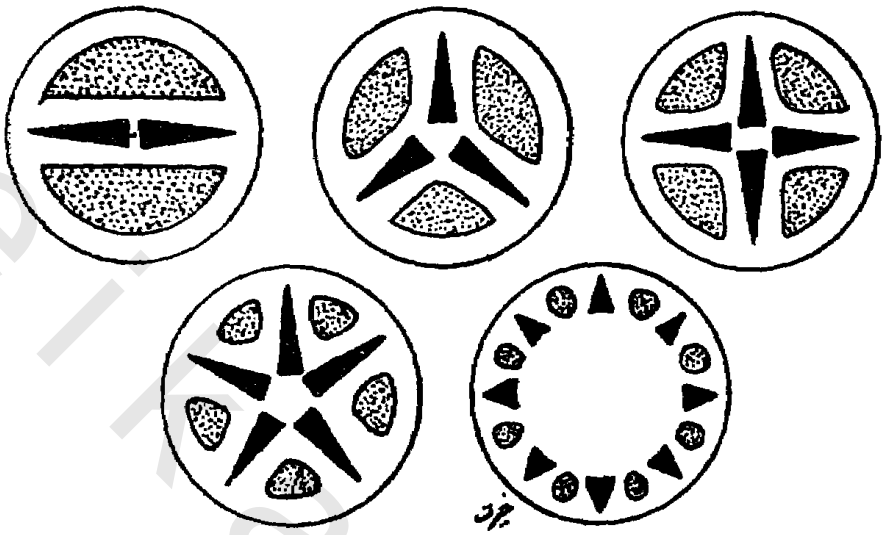
الجذر The Root

من الفوارق الهامة بين كل من الساق والجذر ، أنه بينما يمثل الساق المحور الهوائى للنبات فان الجذر يمثل المحور الأرضى له . وقد تكون الساق أرضية فى هيئة ريزوم ، كما قد يكون الجذر هوائياً كما فى نبات الأوركدز ، إلا أن ذلك يمثل بعض الأوضاع الشاذة بالنسبة للوضع الطبيعى الأصلى لكل منهما . والجذر هو الجزء الأرضى من محور النبات ويقوم بعدة وظائف هامة ، فعن طريقه يصعد كل من الماء والأملاح المعدنية لتوزع على مختلف أعضاء المجموع الخضرى ، وهو سواء كان أصلياً أم عرضياً يقوم بتثبيت النبات فى التربة ، كما قد يقوم بتخزين المواد الغذائية أثناء فترات خاصة من فصول السنة .

ويختلف الجذر من الوجهة التشريحية عن الساق ، فى وجود القلنسوة مغلفة للقمة النامية فى شكل مخروط يقى الأنسجة الداخلية من التمزق والتلف ، وفى وجود القمة النامية داخلية أكثر منها سطحية كما هو الحال فى الساق (ولذا يرجع الوضع الداخلى للمرستيم القمى إلى غياب الأعضاء الخضرية من المجموع الجذرى) ، وفى الوضع القطرى المتبادل للمجاميع الابتدائية لكل من الخشب واللحاء .

وتتميز الجذور عن بعضها بعدد مجاميع الخشب الموجودة فى الاسطوانة الوعائية . فاذا كان بالجذر مجموعتان من الخشب سمى Diarch كما فى الملوخية ، وإن كان به ثلاث مجموعات سمى Triarch كما فى البصل ، أو أربع سمى Tetrarch كما فى الفول ، أو خمس سمى Pentarch كما فى نبات *Ranunculus* والفول أيضاً ، أما اذا زادت مجاميع الخشب عن ذلك سمى Polyarch (شكل ١٠٩) ، ويمتاز بهذا الوضع الأخير جذور نباتات ذات الفلقة الواحدة . وتعتبر هذه الأوضاع عموما مما يميز التركيب التشريحى الابتدائى لكل من الجذر والساق عملياً .

ويمتاز الجذر تشريحياً بوجود عناصر الخشب الأول جهة الخارج والثانى جهة الداخل ويعبر عن هذا الوضع باصطلاح Exarch ، ويخالف هذا وضع عناصر الخشب الابتدائى فى الساق.



(شكل ١٠٩)

رسم تخطيطى يبين الاوضاع الابتدائية المختلفة لمجاميع الخشب فى الجذر .

وقد يكون النخاع واضحا محاطا بالنظام القطرى لكل من الخشب واللحاء كما فى جذور نباتات ذات الفلقة الواحدة ، ويكون أقل وضوحا فى جذور نباتات ذات الفلقتين حيث يحل محله عادة عناصر الخشب الثانى . وتمتاز جذور نباتات ذات الفلقتين ومعراة البذور بحدوث النمو الثانوى بها ، بعكس جذور نباتات ذات الفلقة الواحدة ، فيظهر الكمبيوم قرب الطرف الداخلى لكل مجموعة من مجاميع اللحاء الابتدائى ويمتد جانبياً حيث يتحد فى النهاية أمام كل مجموعة من مجاميع الخشب الابتدائى ليكون حلقة كاملة مفصصة تنشط مكونة كلا من عناصر اللحاء والخشب الثانوى ، ثم تستدير وتأخذ الاسطوانة الوعائية أخيراً مظهراً يقارب مظهر الساق الخشبية . وتزول قشرة الجذور بسرعة بعكس السوق ، كما يقابل فيها وضع البريدرم فى السوق المسنة ، غلاف رقيق من طبقات الفلين .

وينشأ الجذر من نمو واستطالة جذير الجنين ، ويكون فى نباتات ذات الفلقتين فى وضع رأسى وتدى ، أما فى نباتات ذات الفلقة الواحدة فانه يختفى عادة وسط مجموعة الجذور العرضية العديدة المتكونة .

التركيب التشريحى للجذور الحديثة لنباتات ذات الفلقتين

تشاهد الأنسجة الآتية فى المقطع العرضى للجذر الحديث لنباتات ذات الفلقتين مرتبة من الخارج الى الداخل وهى :

أولا — الطبقة المغلفة Piliferous Layer

وتقابل هذه الطبقة البشرة العادية فى وضعها ، وتمتاز باختصاصها فى تكوين الشعيرات الجذرية Root Hairs (فى منطقة الشعيرات) . وهى تتكون من صف واحد من الخلايا تمتاز برقة جدرها وبعدم وجود الثغور بينها وانعدام وجود الكيوتين عليها ، ويلاحظ وجود البروتوبلاست بهـا ، كما يقل وجوده فى بعضها . وتظهر هذه الخلايا منضغطة أو مهشمة بالنسبة لاحتكاكها بجزيئات التربة .

وقد لا تظهر الشعيرات الجذرية فى بعض الأعشاب والنباتات المائية ، وغالباً ماتكون قصيرة العمر فتذوى سريعا هى وخلايا البشرة المكونة لها ، ثم يظهر غيرها فى المنطقة المختصة بتكوينها . وقد تفقد بعض النباتات الموجود على جذورها الشعيرات الجذرية كثيرا منها ، اذا نمت فى المـاء أو المحاليل الكيماوية . واذا نمت فى الهواء الرطب تتخذ وضعا مستقيما على زوايا قائمة من الجذر نفسه ، بالنسبة لعدم وجود ما يعوقها بعكس ما إذا نمت فى التربة العادية ، حيث تتخذ أوضاعا مختلفة . و الشعيرات الجذرية اذا ماذوت ، فسرعان ما تتسوبر جدر خلايا البشرة وغالبا الطبقات التى تليها مكونة منطقة تسمى الاكسودرمس Exodermis (وهى تتمثل عادة فى الطبقات الخارجية من القشرة) ، وهذه تحمى الأنسجة الداخلية للجذر وتكون غير ثابتة بالنسبة لتآكل خلاياها بسبب احتكاكها بجزيئات التربة . ولا يحدث هذا التغير عادة فى جذور نباتات ذات الفلقتين إلا بعد زوال طبقة البشرة ، وترى خلايا هذه الطبقة أصغر حجما من خلايا القشرة العادية وتكون جدرها أكثر سمكا .

ثانياً — القشرة The Cortex

وهى واسعة النطاق وتتكون فى مجموعها من خلايا برنشيمية متجانسة متساوية الأقطار ذات جدر رقيقة ومسافات بينية هوائية متسعة . وتكون الطبقات الخارجية من القشرة منطقة تسمى Hypodermis ، وهى التى تتحول بسوبرة جدر خلاياها الى منطقة الاكسودرمس ، وخلاياها عادة أصغر حجما فارغة رقيقة الاتصال ببعضها اذا ما قورنت بخلايا المنطقة الباقية من القشرة ذات الخلايا الأكثر اتساعا والمحتويات الدائمة والنقر البسيطة التى تتخلل جدر خلاياها . والقشرة فى الجذور عريضة اذا ما قورنت نسبة سمكها بالقطر الكلى لمحور الجذر على عكس قشرة الساق ، ويعود ذلك الى قيامها بعمليات التخزين . وقد يصل سمك القشرة فى عدد من الجذور الدرنية أضعاف سمك الاسطوانة الوعائية التى تظهر وسط نسيج القشرة البرنشيمى كشريط خيطى رقيق .

وتنعدم البلاستيدات الخضراء فى خلايا القشرة فى الجذور بالنسبة لبعدها عن الضوء ، وهى ضعيفة التكوين ومصيرها دائما الى الزوال بسبب استمرار تآكل الطبقات الخارجية من خلاياها نتيجة لاحتكاكها بجزيئات التربة وبسبب النمو الثانوى الذى يحدث أخيراً. وهى عادة خالية من الأنسجة المقوية فلا ترى بها خلايا كولنشيمية أو ليفية كما هو الحال فى السوق ، وقد ترى بها الخلايا الافرازية والقنوات الراتنجية ، فى بعض أنواع النباتات.

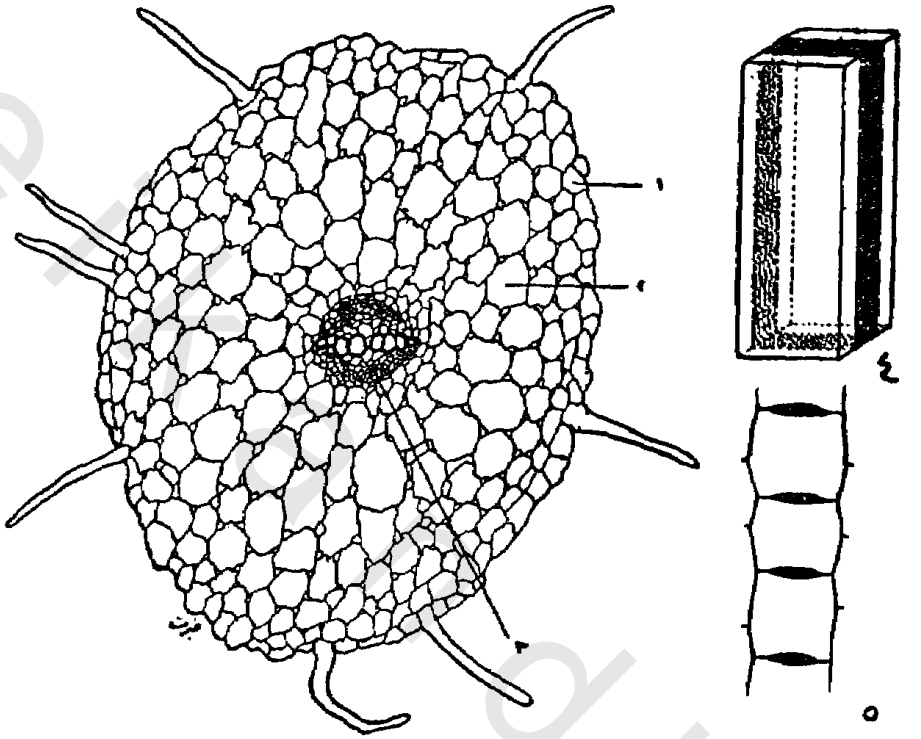
وتنتهى القشرة بالاندودرم Endodermis ، ويعتبر جزءا منها وآخر طبقات خلاياها من الداخل ، وقد سبق وصفه فى باب الجهاز الناقل . وتبقى هذه الطبقة حتى بدء تكوين الجذور الجانبية أو حدوث النمو الثانوى حيث تتلاشى مع الأنسجة الخارجية ، ولذلك كانت مدة نشاطها قصيرة فى غالبية النباتات . وتكون خلايا الاندودرم فى جذور نباتات ذات الفلقتين كالترمس والفول أقل وضوحا وانتظاما عما هى فى جذور نباتات ذات الفلقة الواحدة . وتظهر الجدر القطرية فى مقطعها العرضى مغلظة فى شكل أشرطة تسمى بأشرطة كسبيرى Casparian Strips وقد تكون هذه الأشرطة مختزلة فى هيئة بقع ضئيلة Dots (شكل ١١٠ — ٤ ، ٥) .

ثالثاً — الاسطوانة الوعائية The Stele

تشغل الاسطوانة الوعائية مركز الجذر تماما ، وتحاط بالپريسيكل Pericycle الذي يعتبر أول طبقاتها . ومنطقة الپريسيكل ضيقة كثيراً اذا ما قورنت بمنطقة القشرة أو بمثيلاتها فى الساق ، وتتكون من خلايا ذات طبيعة برنشيمية تبلغ عادة فى طور مبكر من تكوين الجذر ، وتظهر فى صف واحد من الخلايا وقد تكون فى صفين أو ثلاثة صفوف . ولخلاياها القدرة على الرجوع الى الحالة المرستيمية الانشائية وتكوين مرستيمات ثانوية تنشأ عنها الجذور الجانبية وكذلك طبقات البريدرم الأولى . وقد يظهر الپريسيكل فى جذور كثير من النباتات كحلقة متقطعة غير كاملة ، فقد تلتصق مجاميع الخشب الابتدائى فى قليل من النباتات بطبقة الاندودرم وبذلك تنقسم منطقة الپريسيكل إلى عدة أشرطة تتساوى فى عددها مع عدد مجاميع الخشب . ويعد الپريسيكل من الأنسجة الدائمة فى الجذور حتى بدء النمو الثانوى ، وباستمرار حدوث النمو الثانوى فى الجذور المسنة للنباتات الخشبية تتكون طبقات البريدرم ويزول الپريسيكل .

وأهم أجزاء الاسطوانة الوعائية هو النسيج الوعائى الابتدائى ذو النظام القطرى لكل من مجاميع الخشب واللحاء . ويرى الخشب مرتباً فى هيئة مجموعتين متقابلتين يتبادل معهما مجموعتان من مجاميع اللحاء ، كما فى جذر الترمس والملوخية (شكل ١١٠—٣) ، وقد يكون فى أربعة مجاميع أوخمس يتبادل معهما مجاميع أخرى من اللحاء كما فى جذر الفول ، وعادة يكون عدد الحزم ثابتاً فى جذور النوع الواحد من النباتات . وتظهر عناصر الخشب فى مقطعها العرضى مضلعة الشكل ، ويكون وضع البروتوزيلم الذى يتكون أولا خارجياً وتكون خلاياه صغيرة الحجم ذات غلظ حلقى وحلزونى ، أما الميتازيلم فذو وضع داخلى وتكون خلاياه أكثر اتساعا وتمتاز بوجود النقر ، كما تكون بالنسبة لكل مجاميع الخشب نسيجاً متجانساً يشغل المركز ولذلك لا تظهر منطقة النخاع . وتأخذ عناصر الخشب فى الاكتمال التدريجى فى اتجاه المركز ، وتقع أول عناصر الخشب الأول عادة فى منطقة الپريسيكل التالية لمنطقة الأندودرم .

ولا يكثر وجود عناصر الخشب ذات الغلظ الحلقي والحلزوني في الخشب الأول للجذور، كما هو الحال في الساق، وهذه إن وجدت تكون أقل عدداً بالنسبة لقصر منطقة الاستطالة بها التي قد تبلغ سنتيمتراً واحداً، أما في الساق فقد تصل ما بين ٨ — ١٠ سم.



(شكل ١١٠)

ق . ع. في جذر حديث به مجموعتين من الخشب ، ١ = الطبقة المغلفة ، ٢ = القشرة ، ٣ = الاسطوانة الوعائية ، ٤ = رسم تخطيطي لاحدى خلايا لاندودرم يوضح موضع التغليظ من جدرها ، ٥ = ق . ع . في بعض خلايا الاندودرم .

وترى مجاميع اللحاء الابتدائي كأشرطة من نسيج يتبادل مع مجاميع الخشب، وتظهر في مقطعها العرضي مستديرة أو مثلثة الشكل يفصلها عن مجاميع الخشب أنسجة برنشيمية. ويكون نسيج اللحاء أقل تميزاً في نباتات ذات الفلقتين عما هو في نباتات ذات الفلقة الواحدة، فتماثل خلاياه لحد ما الخلايا البرنشيمية المحيطة به . ويتكون اللحاء الابتدائي في الجذور من أنابيب غربالية وخلايا مرافقة وبرنشيمية، مشابهاً في ذلك لحاء حزم الساق. والجذر الحديث خال من الكمبيوم ، وتكون مجاميع اللحاء به صغيرة عادة وقد تتكون في بعض الأحيان من أنبوبة غربالية واحدة أو أكثر .

التركيب التشريحى لجذور نباتات ذات الفلقة الواحدة

يشبه التركيب التشريحى لجذور نباتات ذات الفلقة تركيبها فى جذور نباتات ذات الفلقتين، إلا فى بعض الاختلافات التى تميز كلا منهما عن الآخر ، وتتلخص فيما يلى :

١ — تظهر منطقة الاكسودرمس مبكرة قبل زوال الطبقة المغلفة ، ويتخلل الاكسودرمس فى هذه الحالة خلايا ذات جدر رقيقة تسمح بالانتقال من الخارج الى الداخل.

٢ — القشرة واسعة النطاق وتبقى دائمة عدة سنوات ، بالنسبة لعدم حدوث النمو الثانوى فى هذا النوع من الجذور .

٣ — معظم جذور نباتات ذات الفلقة الواحدة عرضية أكثر منها أصلية .

٤ — تمتاز طبقة الأندودرم بالغلظ الخاص لجدر خلاياها . فقد تظهر فى مقطعها العرضى ذات غلظ منتظم بشكل حرف O ، أو قد يشمل الغلظ جدرها الجانبية والداخلية فقط بشكل حرف C ، هذا مع وجود بعض الخلايا فى حالة فردية بدون تغليظ وخصوصاً أمام مواضع الخشب الأول ، وتسمى بالخلايا المنفذة Passage Cells .

٥ — البريسيكل أقل سمكا وقد تتلجنن خلاياه أو تتسوبر فى الجذور المسنة .

٦ — تزود الاسطوانة الوعائية المركزية بنطاقات من نسيج ميكانيكى ليفى يفصل كلا من حزم الخشب عن حزم اللحاء ، كما فى جذور معظم الحشائش .

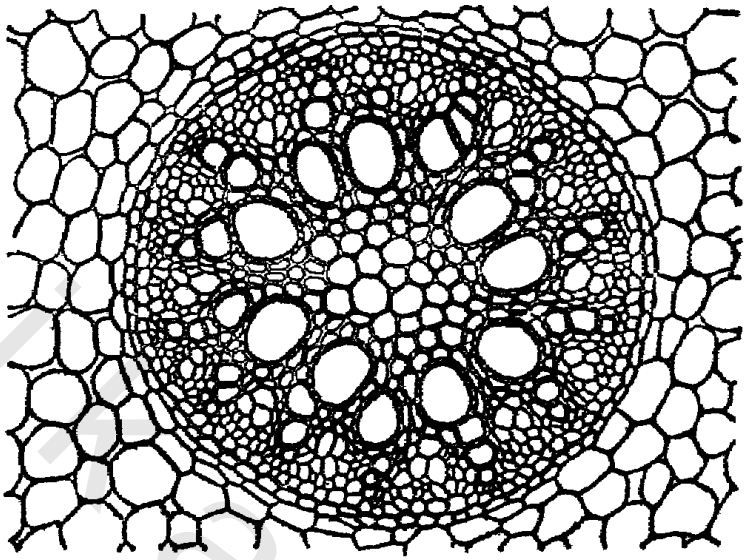
٧ — لا يتكون البريدرم من منطقة البريسيكل ، ولذلك علاقة بدوام بقاء القشرة مدة طويلة .

٨ — مجاميع الخشب عديدة دائما Polyarch (شكل ١١١) ، إلا فى أحوال قليلة كما فى جذر البصل ، وقد يصل عددها من ١٥ — ٢٠ مجموعة .

٩ — تكون عناصر كل مجموعة من مجاميع الخشب أقل عدداً وأكثر استدارة .

١٠ — تظهر مجاميع اللحاء أكثر تميزاً عما يحيط بها من الأنسجة ، سواء كانت برنشيمية أو ليفية

١١ — النخاع واضح متسع، ويتكون من خلايا برنشيمية كبيرة الحجم ذات مسافات بينية هوائية متسعة . وقد يحل محله وعاء خشبي كبير كما فى جذور بعض الأبصال .



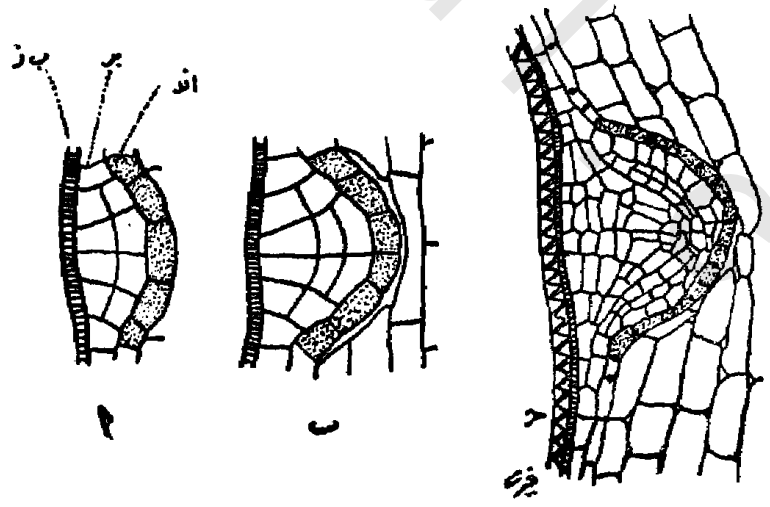
(شكل ١١١
ق . ع . فى جذر نبات ذى فلقة واحدة ، (عن SMALL)

أصل وتكوين الجذور الجانبية والعرضية

الجذور الجانبية جميعها ذات منشأ داخلى Endogenous ، بعكس التكوين الخارجى Exogenous لكل من الأوراق والبراعم التى تنشأ من الطبقات الخارجية للقمة النامية للساق . ويبدأ ظهورها عادة فى المنطقة التى تلى منطقة الشعيرات ، ويعتبر ظهور هذه الزوائد الجانبية من المميزات الرئيسية التى تميز الجذور عن السوق ، حيث أن البراعم والأوراق الأولية تنشأ من المرستيم الأولى للقمة النامية بترتيب ونظام معين ، أما فى الجذور فلا يكون مرستيم القمة النامية أى نوع من الزوائد . وتنشأ الجذور الجانبية عادة من أنسجة دائمة داخلية فى نظام متعاقب قمى ، ثم تظهر فى الخارج بعد عدة تطورات متتالية . وتنشأ المرستيمات التى تكون هذه الجذور فى كل من نباتات معراة ومغطاة البذور فى منطقة البريسيكل أسفل طبقة الاندودرم مباشرة ، أما فى النباتات التيريدية فيبدأ تكونها من خلايا الاندودرم نفسه ، وفى كل من هاتين الحالتين تكون خلايا

البريسيكل أو الأندودرم فى آخر أطوار بلوغها . وعادة يكون منشأ الجذور الجانبية فى كل من نباتات مغطاة ومعراة البذور مقابلا لوضع مجاميع الخشب (شكل ١١٢) ، وقد يختلف هذا الوضع قليلا فيكون بين مجاميع كل من الخشب واللحاء . وتظهر هذه الجذور فى صفوف طولية بالنسبة لقصر ظهورها فى مناطق معينة ، وهى المناطق المقابلة لمجاميع الخشب ، ولذلك يتساوى عدد هذه الصفوف مع عدد مجاميع الخشب . وتبعاً لذلك يكون للجذر ذى الأربعة مجاميع من الخشب أربعة صفوف طولية من الجذور الجانبية كما فى جذر الجزر ، وإن كان به مجموعتين فقط كانت فى صفين طوليين كما فى جذر الفجل والبنجر . وتمتاز هذه الجذور المختزنة بوضوح صفوف جذورها الجانبية وبالمثل جذور النباتات التى تنمو فى المـاء ، ويختل هذا النظام فى الجذور التى تنمو فى التربة الصلبة إلا اذا كان قطر الجذر الأصلى كبيراً لحد ما .

وعند ما يبدأ الجذر الجانبى فى التكشف تتحول منطقة من البريسيكل (خليتين فى الغالب) الى خلايا مرستيمية ، وتزداد هذه الخلايا فى مبدأ الأمر فى الكبر قطريا ثم تنقسم كلها تماسياً (شكل ١١٣ — ا) ، كما تنقسم بعد ذلك فى اتجاهات مختلفة . وسرعان ما تتكون



(شكل ١١٣)

قطاعات طولية تبين الخطوات الأولى فى تكوين الجذر الجانبى . ب ز = پروتوزيلم ، بر = پريسيكل ، اند = اندودرم ، (عن Van Tieghem و Duoliot)

منطقة القمة النامية بخلاياها الانشائية وقلنسوتها ، فى مجموعة كلما ازداد حجمها زادضغطها على الأنسجة الخارجية بالنسبة لها ومزقتها (شكل ١١٣ — ب) . ويبدأ الجذر الجانبى فى اتخاذ طريقه نحو الخارج بواسطة إفراز إنزيمات هاضمة تذيب الأنسجة المحيطة به وهذه تمتص تدريجياً ، هذا علاوة على الضغط الميكانيكى الذى يحدث أثناء اختراقه لكل من الأندودرم والقشرة والبشرة مكملا نموه بالطريقة العادية (شكل ١١٣ — هـ) . وعند حدوث النمو الثانوى يتصل الكمبيوم بكمبيوم الجذر الأصلى ، كما تتصل باقى الأنسجة فى مواضع خروج الجذور الجانبية (شكل ١١٤) . ولا تتساوى كل الجذور الجانبية فى العادة فى سرعة نموها ، فبينما يسرع بعضها ، قد يكون البعض الآخر أبطأ نموا وأصغر حجما .

(شكل ١١٤)

رسم فوتوغرافى لمقطع عرضى فى جذر اللوخية المسن ، يبين موضع خروج أحد الجذور الجانبية .

وتتكون الجذور العرضية من مرستيمات جذرية قمية فى پريسيكل كل من الساق والجذور أو فى اللحاء الثانوى للمحاور المسنة التى وقف بها نشاط البريسيكل ، حيث تأخذ

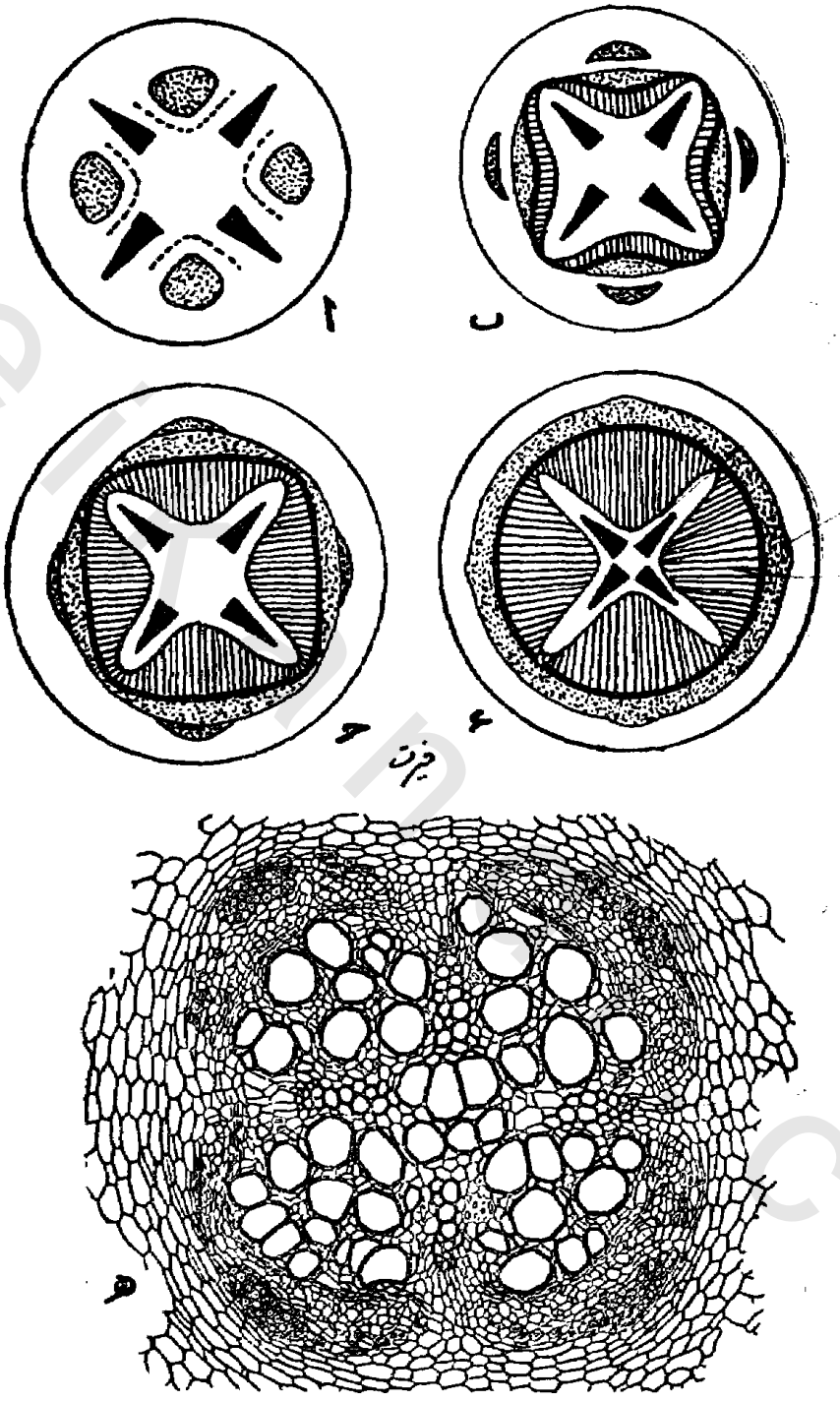
طريقها خلال الأنسجة الخارجية . وقد تنشأ الجذور العرضية فى بعض النباتات التيريدية ، ونادراً ما تنشأ فى معراة البذور من خلايا القشرة الخارجية ، ويرجح أن تعتبر مثل هذه الجذور ممصات أو زوائداً من أنواع أخرى .

النمو الثانوى فى الجذور

يحدث النمو الثانوى لكل من الجذور الأصلية والجانبية لكثير من النباتات وخصوصاً الخشبية المعمرة ، حتى تتمكن من مسايرة المجموع الخضرى أثناء تقدمه فى النمو والاستمرار فى إمداده بكميات الماء والغذاء اللازمة له . ويقابل النمو الثانوى فى جذور نباتات ذات الفلقتين وزيادتها فى السمك ، زيادة عدد وحدات المجموع الجذرى فى نباتات ذات الفلقة الواحدة فى هيئة عدد كبير من الجذور العرضية .

ويبدأ النمو الثانوى بأن ينشأ الكمبيوم فى هيئة أشرطة مرستيمية ، تتكشف من الأنسجة البرنشيمية أسفل مجاميع اللحاء الابتدائى مباشرة ، وبينها وبين مركز الاسطوانة الوعائية (شكل ١١٥ — ا) . ويتكشف من هذه الأشرطة الانشائية القصيرة عناصر الخشب الثانوى جهة الداخل واللحاء الثانوى جهة الخارج بالنسبة للنشاط العادى للكمبيوم ، كما تمتد أشرطة الكمبيوم جانبياً بين كل من مجاميع الخشب واللحاء الابتدائيين نتيجة للتكشف المستمر للخلايا البرنشيمية فى هذه المواضع ، وبذلك تتقابل أشرطة الكمبيوم فى النهاية عند البريسيكل بين كل من مجاميع الخشب الابتدائى والأندودرم (شكل ١١٥ — ب) . وينتج عن ذلك تكون شريط متصل من الكمبيوم فى شكل حلقة غير تامة الاستدارة مفصصة الى عدة فصوص يساوى عددها عدد مجاميع الخشب الابتدائى الذى تنحنى فوقه . وينشط تكوين العناصر الثانوية مبكرة وخصوصاً فى مناطق الكمبيوم الموجودة أسفل مجاميع اللحاء الابتدائى ، وينتج عن ذلك تمام استدارة شريط الكمبيوم فى هيئة حلقة كاملة (شكل ١١٥ — حـ) .

ويتهشم اللحاء الابتدائى نتيجة لاستمرار تكشف العناصر الثانوية ، كما تمزق طبقة الأندودرم ، أما الخلايا المتهشمة فانها تمتص فى العادة . وينتج عن نشاط الكمبيوم



(شكل ١١٥)

(ا ، ب ، جـ ، د) خطوات النمو الثانوى فى جذور نباتات ذات الفلقتين ،

(هـ) ن . ع . فى جذر القرع المسن

obeikan.com

تكون حلقة كاملة من اللحاء الثانوى واسطوانة من الخشب الثانوى ، كما يزداد قطر الجذور سريعاً تبعاً الى ذلك .. ويمتاز الخشب الثانوى فى الجذور باتساع عناصره وتباعدها مع كثرة عددها ورقة جدرها ، أما الخشب الابتدائى فيبقى واضحاً فى الجذور المسنة شاغلا للمنطقة المركزية من الاسطوانة الوعائية ومحتفظاً بوضعه العادى ، فان كان مكوناً من الأصل من أربعة مجاميع فانها تبقى كما هى بوضعها المتصالب أمام مواضع الأشعة النخاعية الكبيرة المتصالبة ، كما فى جذر القرع المسن (شكل ١١٥ — ء ، ﻫ) .

وتتلاشى طبقة الأندودرم ومنطقة القشرة فى النهاية ويحل محلهما البريدرم الذى يتكون من منطقة البريسيكل . أما فيما عدا ذلك من الصفات فيشابه النمو الثانوى فى الجذر النمو الثانوى للساق فى نفس النبات ، مع تشابه العناصر الوعائية الثانوية فى كل منهما ماعدا فروقات طفيفة تعود الى الاختلاف فى وظائفهما . وتقل الألياف فى مناطق الخشب الثانوى كما تزداد الخلايا البرنشيمية ويزداد عدد واتساع الأشعة النخاعية ، أما اللحاء الثانوى فتقل الألياف والأسكليريدز فيه بالمثل كما تزداد الخلايا البرنشيمية المختزنة .

النمو الثانوى فى الجذور الدرنية

تخدم جذور نباتات عديدة من ذات الفلقتين فى عملية التخزين ، ولذلك تتخذ شكلا درنياً . ويحدث لمثل هذه الجذور نمو ثانوى شاذ بالنسبة لتكوين النسيج البرنشيمى المخزن ، ويؤدى نشاط الكمبيوم الى تضاعف الأشرطة الناقلة وترتيبها فى نظام يسهل معه وضع ونقل المواد المختزنة .

ويختلف هذا النسيج البرنشيمى المخزن بالنسبة لقيمته المورفولوجية فى مختلف الجذور الدرنية . فقد تتكون فى حالات كثيرة منطقة كبيرة من الخلايا البرنشيمية المختزنة خارج منطقة الكمبيوم ، تماثل فى وضعها ، إما القشرة الابتدائية كما فى جذور ASCLEPIADACEAE و PIPERACEAE الجانبية ، أو اللحاء الثانوى كما فى *Rubia* و *Taraxacum* و UMBELLIFERAE . ولا يعتبر النمو الثانوى فى هذه الحالة شاذاً ولو أنه يختلف عن الوضع العادى فى صغر حجم الأسطوانة الوعائية .

وقد ينشأ النسيج المخزن فى حالات أخرى من زيادة تكون العناصر البرنشيمية للخشب ، كأشعة أو برنشيمة الخشب ، كما فى *Cucurbita* و *Utrica* . ويرى هذا الوضع فى الجذور الدرنية اللفتية مثل *Brassica* و *Raphanus* ، ويحتوى الخشب الثانوى على أنسجة برنشيمية متسعة يتقاطع معها أشرطة من الأوعية يرافقها عدد محدود من الألياف تنتظم جميعها فى هيئة دوائر مستديرة ، ويصعب فى هذه الحالة التمييز بين كل من برنشيمة الخشب والأشعة النخاعية .

وقد أشار J. E. Weiss الى تكشف حزم وعائية فى عدد من الجذور الدرنية فى المنطقة البرنشيمية المخزنة للخشب الثانوى أسماها Tertiary Vascular B. ، وهذه قد تتكون من اللحاء فقط كما فى *Oenothera biennis* ، أو قد تتخذ شكل حزم مركزية اللحاء كما فى *Brassica Napus* و *Raphanus sativus* . وقد ينشأ الكمبيوم فى حالة عرضية محيطاً بالأشرطة الوعائية للاسطوانة الخشبية مكونا أوعية إضافية تلاصق الأولى الأصلية وتفصلها عن نسيج اللحاء جهة الجانب الخارجى ، كما فى *Bryonia dioica* .

ويكون النمو الثانوى أكثر شذوذاً فى حالة الجذور التى يتكون بها عدة حلقات متتالية من الكمبيوم . ففى *Beta vulgaris* تتكشف طبقة ثانية لحن الكمبيوم بواسطة الانقسام التماسى الذى يحدث فى الخلايا البرنشيمية الموجودة خارج منطقة الكمبيوم الابتدائية ، وهذه تقصر مدة نشاطها ثم يتلوها فى الظهور طبقة ثالثة تنشأ خارج اللحاء الذى كونته الطبقة الثانية . وقد يتكرر حدوث ذلك مرات متتالية فينتج عن ذلك عدة مناطق دائرية يتكون كل منها من اللحاء والخشب بالتبادل . ويقول Trecul أن جذور *Myrrhis odorata* ترى بها حالة مماثلة تخالف الأولى فى تكون عدة طبقات إضافية من الكمبيوم تنشأ جهة الجانب الداخلى للكمبيوم الابتدائى . أما أكثر حالات النمو الثانوى شذوذا فترى فى جذور بعض نباتات Convolvulaceae وكذا جنس *Rumex* ، حيث تنشأ أسطوانات متتالية كاملة أو ناقصة من الكمبيوم داخل أو خارج الكمبيوم الابتدائى ، تكون كل منها مستقلة بذاتها خشباً ولحاء بطريقة معقدة .

منطقة التحول بين الجذر والساق Root-Stem Transition Zone

يكون كل من الجذر والساق محوراً واحداً ولو أنهما يختلفان فى تركيبهما الداخلى اختلافا تاما بالنسبة لوضع العناصر الناقلة . فبينما يتجه الخشب الأول فى الجذر نحو الخارج اذا به يتجه فى الساق نحو الداخل ، وبالمثل بينما ترى مجاميع الخشب واللحاء فى الجذر فى وضع متبادل اذا بها تجتمع مع بعضها فى الساق ، كل مجموعة من مجاميع اللحاء مع أخرى من مجاميع الخشب . ولذلك كان من الضرورى أن تكون هناك منطقة يحدث فيها هذا التحول من التركيب الخاص بالجذر الى التركيب الخاص بالساق . وتسمى هذه المنطقة بمنطقة التحول بين الجذر والساق ، وفيها ينتهى التركيب الخاص بأنسجة الجذر ويبدأ التركيب الخاص بأنسجة الساق .

وتندمج فى هذه المنطقة أنسجة الجذر المختلفة بمثيلاتها فى الساق ، فالقشرة والأندودوم والپريسيكل والأنسجة الوعائية الثانوية تتصل اتصالا مباشراً ، وبالمثل تتصل الأنسجة الوعائية الابتدائية . غير أن هذا الاتصال لا يكون مباشراً بالنسبة لاختلاف أشكال الحزم الوعائية وترتيبها فى كل من هذين العضوين .

وقد يتم هذا التحول مباشرة أو مباغتة إلا أنه يحدث عادة تدريجياً . وتكون منطقة التحول قصيرة ، ويختلف طولها ما بين أقل من ملليمتر واحد وقد يصل الى ٦ أو ٣ ملليمترات ، ونادراً ما يصل طولها الى بضعة سنتيمترات . وقد يحدث التحول فى قمة الجذير عند قاعدة السويقة الجنينية السفلى وقد يكون قريباً من وسطها أو فى الجزء العلوى منها . ولذلك فقد يكون تركيب هذه السويقة مشابهاً لتركيب الجذر أو لتركيب الساق فى معظم طولها . ونادراً ما تمتد منطقة التحول الى أول أو ثالث أو رابع عقدة فوق منطقة الفلقات ، كما أنها تكون قصيرة فى العادة فى كل من نباتات ذات الفلقة الواحدة والنباتات التيريدية .

وقد تظهر المنطقة الفاصلة بين كل من الجذر والساق اذا شوهدت من السطح الخارجى ، فى هيئة انخفاض ضئيل ، أو من الاختلاف الواضح فى قطرها ، غير أن ذلك قد لا يؤدى فى غالبية النباتات الى تحديد موضعها بالضبط .

ويلاحظ فى هذه المنطقة ، حيث يحدث التحول من الجذر الى الساق ، زيادة ملموسة فى قطر الاسطوانة الوعائية ، كما يصحب ذلك تضاعف وتشعب الأنسجة الوعائية مع اتحاد أشرطتها وتغير اتجاهاتها . وتتبع هذه التغيرات أنظمة خاصة يمكن تمييز أربعة أوضاع منها (شكل ١١٦) ، فيما يلى :

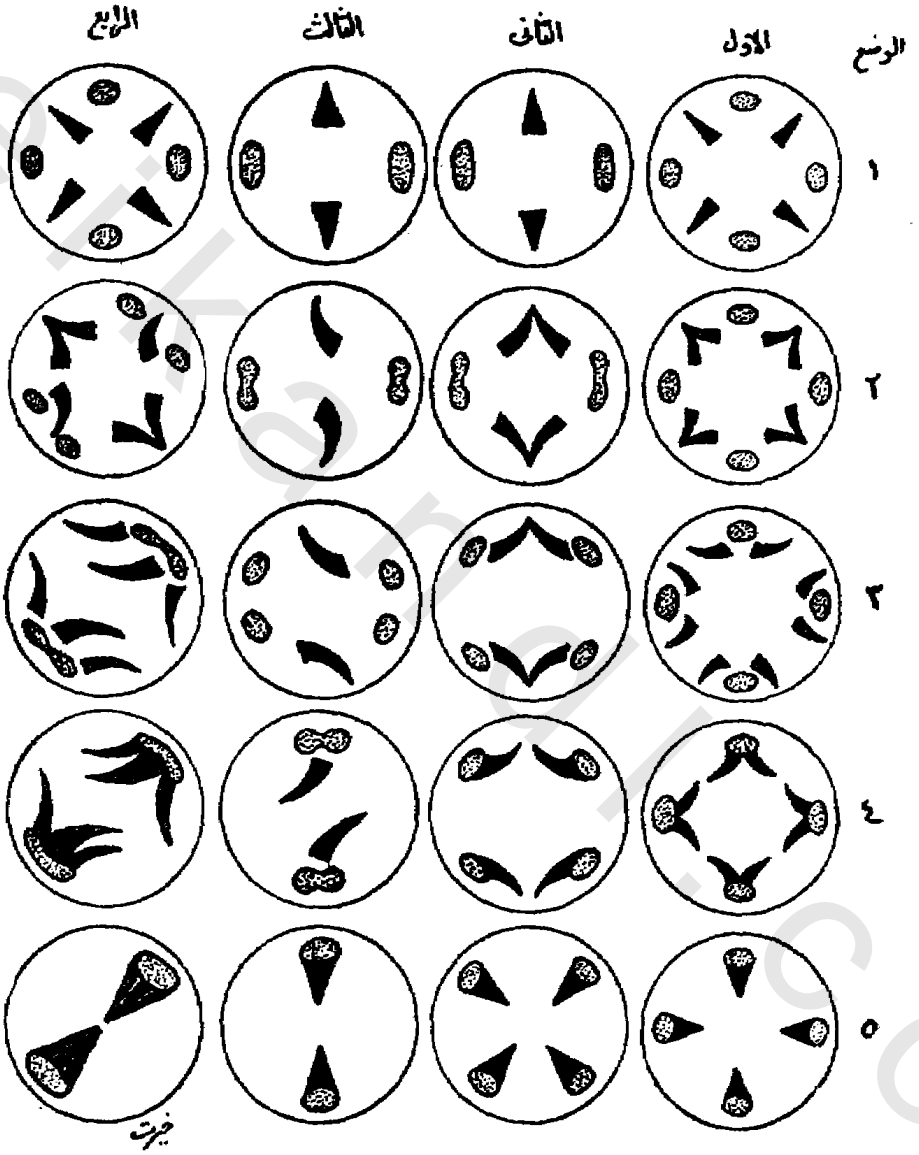
الوضع الأول : وفيه تتشعب كل مجموعة خشبية فى الجذر قطريا إلى شعبتين ، وتزيد زاوية التشعب كلما اتجهنا نحو الساق حتى تنفصل الشعبتان كل منهما عن الأخرى بعد تغير وضعهما الأصلى تغيراً كاملا فى زاوية قدرها ١٨٠°. وتنحنى كل شعبة كلما اتجهنا الى أعلى جانبياً إحداهما نحو الجهة اليمنى والأخرى نحو الجهة اليسرى حتى تتصل كل منهما بالسطح الداخلى لمجموعة اللحاء القريبة منها . ولا يتغير وضع اللحاء فى هذه الحالة فى توجيهه أوتركيبه فيمر فى وضع مستقيم ، كما هو ، من الجذر الى الساق . ويكون عدد الحزم الوعائية فى هذا الوضع فى الجذر مساويا لعدده فى الساق الحديثة ، ومن أمثلته نباتات *Fumaria* و *Mirabilis* و *Dipsacus* .

الوضع الثانى : يختلف هذا الوضع عن الوضع الأول فى تشعب مجاميع اللحاء وانقسامها كمجاميع الخشب . ويتم انفصال هذه الشعب أو الاقسام جانبياً كلما اتجهنا الى أعلى لتلتقى فى أزواج فى أوضاع تتبادل مع أوضاعها فى الجذر ، ثم تلاصق أنصاف مجاميع الخشب (بعد تغير أوضاعها بزاوية قدرها ١٨٠°) أنصاف مجاميع اللحاء . ويكون عدد حزم الساق فى هذا الوضع مساويا لضعف عدد أشرطة اللحاء فى الجذر ، وهو وضع أكثر شيوعا من الوضع الأول ، ويشاهد فى نباتات *Acer* و *Phaseolus* و *Tropaeolum* .

الوضع الثالث : لا تنقسم مجاميع الخشب فى هذا الوضع بل تستمر جارية من الجذر الى الساق بعد تغير موضعها الأصلى تغيراً كاملا والتفافها بزاوية قدرها ١٨٠° . أما مجاميع اللحاء فتتشعب وتنقسم كل منها الى قسمين ، ويتحول كل قسم جانبياً حتى يتقابل مع نصف المجموعة الأخرى خارج مجاميع الخشب التى لم تنقسم . ويكون عدد الحزم

فى الساق فى هذا الوضع مساوياً لعدد مجاميع اللحاء فى الجذر ، ومن أمثلته نباتات *Lathyrus* و *Medicago* و *Phoenix* .

الوضع الرابع : وفيه تنقسم نصف مجاميع الخشب فقط ، وتتحول أنصاف هذه المجاميع المنقسمة جانبياً حتى تتصل بالمجاميع التى لم تنقسم والتى تغير وضعها الأصلى .



(شكل ١١٦)

رسم تخطيطى لمختلف أوضاع وخطوات منطقة التحول بين الجذر والساق ، (عن Eames & Mac Daniels) .

ولا تنقسم مجاميع اللحاء فى هذا الوضع بل تتحد كل مجموعتى لحاء سوياً وبالمثل بأشرطة الخشب الثلاثية وبذلك تتكون الحزمة الوعائية فى الساق من خمسة أشرطة أو أجزاء متحدة (٢ لحاء + ٣ خشب) . ويكون عدد الحزم الوعائية فى الساق فى هذا الوضع مساوياً لنصف عدد مجاميع الخشب واللحاء فى الجذر . والنباتات التى يرى بها هذا الوضع قليلة ومعظمها من ذات الفلقة الواحدة مثل *Anemarrhena* .

واذا ما وجد اللحاء الداخلى فى الساق تمتد أفرع من أشرطة اللحاء فى الجذر (عند المستوى الذى يبدأ فيه تركيب الجذر فى التغيير) نحو الداخل ، حتى تأخذ وضعاً داخلياً بالنسبة لأشرطة الخشب الجديدة مكونة الحزمة ذات الجانبين . واذا اتحدت أشرطة الخشب فى الجذور جانبياً لتكون اسطوانة جوفاء ، تنفصل الأشرطة قبل تشعبها أو تغيير موضعها أو اتجاهها .

وعادة تكون منطقة التحول فى بعض نباتات ذات الفلقة الواحدة قصيرة فيصعب تمييزها ، وتكون خطوات التحول فى مثل هذه النباتات وكذا نباتات *Cycads* أكثر تعقيداً .