كلية العلوم

القسم : علم الحياة

السنة : الرابعة

المادة : تغذية ونمو

المحاضرة : السابعة/نظري/د.ريم

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2026

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

Syrian Arab Republic Ministry of Higher Education and Scientific Research		الجمهورية العربية السورية وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مقرر التغذية والنمو

قسم النمو النباتي

إعداد: د. ريم ابراهيم

قسم علم الحياة

كلية العلوم

العام الدراسي 2025-2026

النمو النباتي

مقدمة: يعرف النمو بأنه زيادة كمية دائمة في الحجم والكتلة نتيجة الانقسام الخلوي والاستطالة ويتم تمييزه عن التمايز الذي يعرف بأنه تغير نوعي في بنية الخلايا ووظيفتها، وكذلك نميزه عن التطور والذي يشمل النمو والتمايز والتكوين المورفولوجي.

لقد طورت النباتات العديد من استراتيجيات النمو بما يتناسب مع طبيعة حياتها في التربة وتساعدها على أن تبقى قادرة على النمو وبشكل دائم، إن هذا الاستمرار الدائم في نمو النبات ناتج عن امتلاك النباتات لنمط مختلف من الخلايا والأنسجة. من الصعب إيجاد تعريف ملائم لنمو النباتات لأن تعبير النمو استخدم من قبل العديد من علماء فيزيولوجيا النبات بمعان مختلفة. ويعزى الاختلاف المشار إليه إلى أن الاهتمام قد وجه إلى نواحي وأطوار مختلفة من النمو النباتي. وقد أطلق تعريف النمو النباتي على واحد أو أكثر من المفاهيم الآتية:

- النمو هو زيادة في عدد الخلايا ويرافقه عادة زيادة في الحجم لكل خلية مما ينجم عنه زيادة في الحجم الكلي وفي حالات معينة قد لا يترافق زيادة العدد مع زيادة في الحجم أو زيادة في المادة الحية.
- النمو هو زيادة في حجم الخلايا أو الأعضاء أو زيادة في حجم النبات كله.
- النمو هو زيادة في كمية المادة الحية أو كمية البروتوبلاسم.
- النمو هو زيادة في بعض مكونات الخلية، كما في نمو الجدار الخلوي الذي يتم بتوضع ليبفات السللوز ضمن مما يسهم في زيادة ثخانته، وكما في زيادة حجم الجسيمات الصانعة الخضراء وازدياد عددها.

وفي معظم الأحيان يشمل النمو جميع المفاهيم السابقة وقد يتغلب أحدها على الآخر، مثلاً في المنطقة الجنينية في قمة جذر نامي يكون النمو نتيجة الانقسام الخلوي وزيادة في كمية المادة الحية. وفوق ذلك في منطقة الاستطالة تحديدا تستطيل الخلايا ويزداد حجمها وتكون الانقسامات الخلوية فيها قليلة أو معدومة وفوق منطقة الاستطالة يكون حجم الخلايا ثابتاً إلا أن الجدار الخلوي يستمر في التغلظ (نمو ثانوي).

وبذلك يمكن أن نقول أن النمو هو الزيادة غير الرجعية في وزن وحجم الخلايا والأعضاء وبالتالي كامل النبات وذلك نتيجة انقسام واستطالة الخلايا. ويتبع ذلك التمايز differentition والتمايز يؤدي إلى تغير شكل ووظيفة الخلايا داخل الأنسجة والأعضاء لتكوين تراكيب متميزة في الوظيفة وهو ملازم للنمو أما التكشف أو التطور Development فهو محصلة نهائية للنمو والتمايز ويمكن متابعة التكشف عبر سلسلة متعاقبة من التطورات التي تحدث داخل كل عضو أو نسيج أو خلية.

يمكن تأكيد عدم محدودية النمو في النباتات من عملية زراعة النسج النباتية في أوساط معقمة صناعية تحوي المواد المغذية الضرورية للنمو، وسيؤدي نموها لتشكل كتلة من الخلايا غير المتمايزة تسمى callus، حيث إذا جزئت هذه الأنسجة ونقلت إلى أوساط جديدة وتكرر هذا النقل على فترات منتظمة فإنها تنمو بصورة غير محدودة ولا تبدي أي مظاهر للشيخوخة.

إن أكثر صور التطور والتكشف وضوحاً هو انتقال النبات من الحالة الخضرية إلى الإزهار وانبثاق الأوراق الجديدة من البرعم الخضري وتطورها لتصبح ورقة ناضجة كاملة.

يحدث النمو مع تمايز للأنسجة والأعضاء وهذا ما يسمى Morphogensesis ويترافق مع العوامل المؤدية لذلك من الأسباب الطبيعية والبيوكيميائية أو قد يتم دون تمايز للانسجة والأعضاء كما يحدث عند تشكل callus (المضغة النباتية).

الشكل 1: بادرات حديثة – callus(مضغة نباتية).

مفهوم النمو: ينتج النمو من مقدرة الخلايا والأعضاء على امتصاص المواد البسيطة (ماء أملاح وثاني أوكسيد الكربون ....) واستخدامها لتكوين مركبات معقدة وتراكم هذه الأخيرة وتكوينها لأقسام الخلية كما يؤدي ذلك لإضافة مادة حية جديدة وليست كل الخلايا تنمو بل تبقى منها ما يسمى خلايا جنينية أو ميرستمية. كما تبقى بعض الخلايا النباتية البالغة تمتلك القدرة على العودة عن تمايزها والانقسام مجددا، وتتبع الأعضاء النباتية عموماً خلال فترة النمو نمطاً واحداً، حيث يؤدي النمو إلى زيادة المواد التي يحتويها النبات بعد نقطة بدء معينة ويتبعها فترة يصبح فيها معدل النمو سريعاً ومن ثم فترة يتباطآ فيها النمو إلى أن يتوقف بموت النبات، أو يستمر النمو بصورة غير محدودة طالما النبات يبقى حياً.

إنّ تحليل منحنيات النمو للعديد من الأنواع النباتية قاد إلى الكشف عن وجود ما يسمى بموانع النمو ضمن النسج النباتية، وتشير الأبحاث أن النمو لا يبدأ إلا بعد زوال هذه الموانع التي تستهلك في عمليات الاستقلاب أو بتوفير الظروف الملائمة للنمو وتحضير الخلية للعديد من منظمات النمو وتركيب الأنزيمات الاستقلابية ويتم كل ذلك بإشراف العديد من العوامل الوراثية تعود للنوع النباتي نفسه وللظروف البيئية الملائمة (حرارة – ضوء – رطوبة ...الخ).

مناطق النمو الأولي في النبات: تختلف النباتات عن الحيوانات بأن للنباتات مناطق نمو معينة يستمر فيها النمو مدى الحياة وأن بعض الخلايا النباتية تمتلك خاصية العودة عن التمايز إما طبيعيا كما يحدث عندما تعود بعض الخلايا

البارانشيمية عن تمايزها وتشكل نسيج الكامبيوم الحزمي او مخبرياً إذا عولجت أنزيميا ومن ثم هرمونياً. الخلايا الميريستمية تبقى قادرة على الانقسام مدى الحياة وتتوضع في أماكن مختلفة في النبات كما في الشكل 2.

مناطق النمو الاولي في النبات (Meristems)

1- الميرسيمات القمية Apical meristems: وتوجد في قمم الجذور والساق ومسؤولة عن النمو الطولي أو ما يعرف بالنمو الاولي Primary growth.

2- الميرستيمات الجانبية: lateral Meristems مثل الكامبيوم الوعائي والفليني ومسؤولة عن النموالثانوي زيادة الثخانة.

3- الميرستيمات البينية: Intercalary Meristems وتوجد في قواعد السلاميات وتسمح للنبات بالنمو في مناطق متعددة.

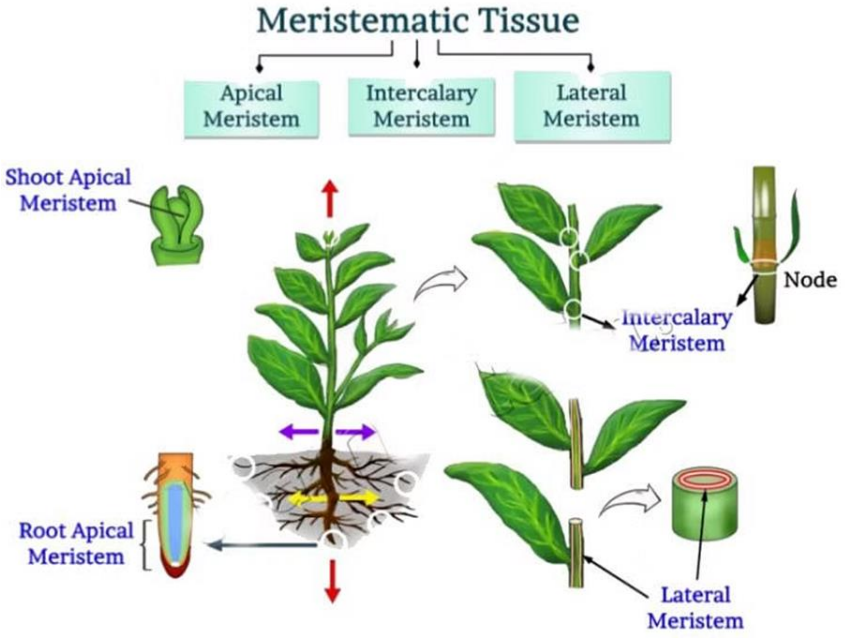
ويمكن تقسيم أنواع النسج الميرستيمية أيضا حسب مناطق تواجده في النبات إلى:

1. النسج الميرستيمية الجذرية:

- قمة الجذر وهي التي تكون كافة تفرعات الجذور.
- قمم الجذور الجانبية وتنشأ من خلايا الطبقة المحيطة.
- ميرستم الجذور العرضية التي تنشا على أعضاء مختلفة (جذر – ساق – ورقة).

2. النسج الميرستيمية للساق:

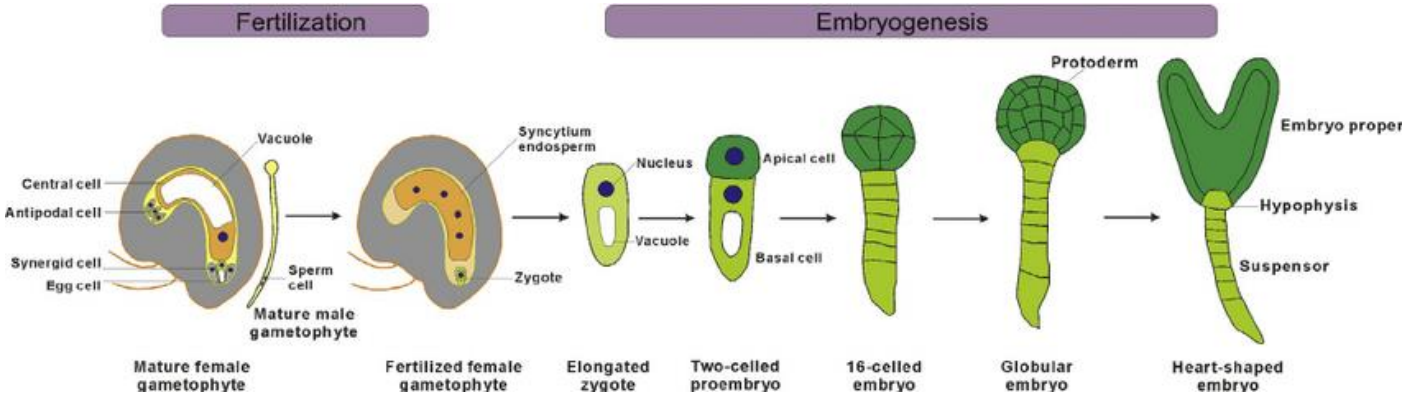
- ميرستم قمي وتنشا منه النسج الميرستيمية الأخرى.
- ميرستم البراعم الجانبية.
- النسج الميرستيمية للورقة (في منطقة العروق وفي النسيج المتوسط للورقة) وهو مسؤول عن نمو الورقة وتطورها ويكون محدود النمو.



الشكل 2: مناطق النمو الأولي في الجذر والساق.

النمو وترتيب الأنسجة الجنينية والبالغة

نقطة البداية في حياة النبات هي الانقسامات الخلوية المتكررة للبيضة الملقحة الناتجة عن عملية الإخصاب fertilization لتتشكل كتلة كروية الشكل تسمى طليعة الجنين pro–embryo ، يظهر فيها نوع من التعضي الخلوي والتنظيم حيث يتشكل قطبان أحدهما يسمى قمة السويقة والآخر قمة الجذير (الشكل3) بعد ذلك تبدأ عملية التمايز من هاتين القمتين الميرستيميتين.



الشكل **3: مراحل تشكل قمة الجذر والساق بدءا من مرحلة الإلقاح**

أولاً: النمو غير المحدود في النباتات.

النباتات متعضيات عديدة الخلايا قادرة على النمو غير المحدود أي زيادة في الحجم طوال حياتها وذلك نتيجة لامتلاكها نسيج ميرستيمي في مناطق محددة من أقسامها.

النسيج الميرستيمي يشبه في خواصه الخلايا الجذعية عند الحيوانات، فهو نسيج قادر على الانقسام السريع وبشكل مستمر ليعطي خلايا جديدة وهذه الأخيرة تتمايز إلى خطوط خلوية مختلفة حسب مكان وجوده في جسم النبات، مما يؤدي إلى تكون نسج وأعضاء جديدة وبشكل مستمر طوال حياة النبات. هذا النمط من النمو في النبات يسمى بالنمو المفتوح النمط أو غير المحدود (open form of growth). لا يحدث هذا النمو عند الحيوانات على الرغم من امتلاكها الخلايا الجذعية (تنقسم باستمرار) ولكنها محدودة النمو إذ تعطي نوعا معينا فقط من الأنسجة (خلايا نقي العظم الجذعية البالغة تعطي الدم مثلاً) بينما الميرستم في النبات يعطي خطوطا خلوية مختلفة ويتمايز إلى مختلف أنواع الأنسجة طوال حياة النبات. **يصنف الميرستم النباتي (الشكل 4) اعتمادا على موقعه في النبات إلى:**

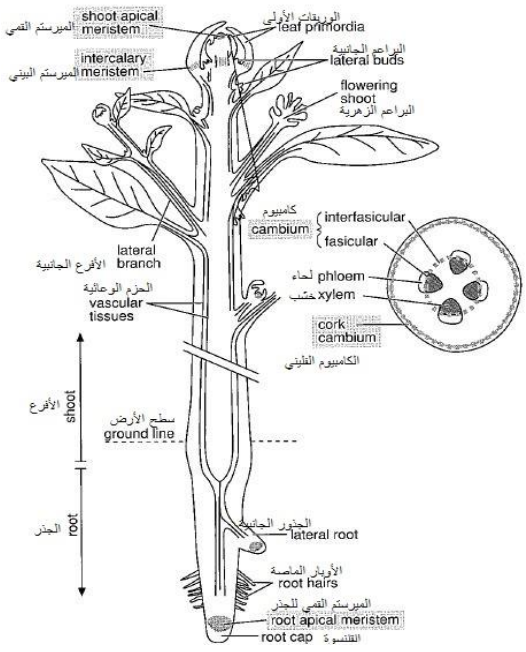
الميرستم القمي (Apical meristems) يتوضع في القمة أو بالقرب منها (قمة جذر أو ساق) ويسمى ميرستم قمة الساق أو ميرستم قمة الجذر، وهو مسؤول عن النمو الابتدائي للنبات ويتضمن النمو الطولي لهذه الأعضاء النباتية.

الميرستم الطرفي (Leteral meristems): مثل الكامبيوم الوعائي (vascular cambium) والكامبيوم الفليني (Cork cambium) وتتوضع على جوانب الساق أو الجذر وتضيف انسجة إلى محيط هذه الأعضاء أي نموها الثانوي.

الميرستم البيني Intercalary Meristems): ويكون مسؤولًا عن النمو بين الأعضاء الناضجة ويوجد في قواعد الأوراق للنباتات العشبية وفي العقد الساقية لجميع النباتات وهو مسؤول عن النمو الطولي لهذه الأعضاء.

وتصنف النسج الميرستمية كذلك إلى نسج غير محدودة النشاط ونسج محدودة النشاط، حيث يبقى الميرستم في قمة الساق أو قمة الجذر وفي الكامبيوم الوعائي نشطاً طوال فترة حياة النبات أي غير محدود النشاط، بينما يكون الميرستم في قواعد الأغصان والأوراق والبراعم الزهرية نشطا لفترة زمنية قصيرة فقط، وهي فترة تكوين هذه الأعضاء ولذلك يسمى بالميرستم المحدود النشاط.

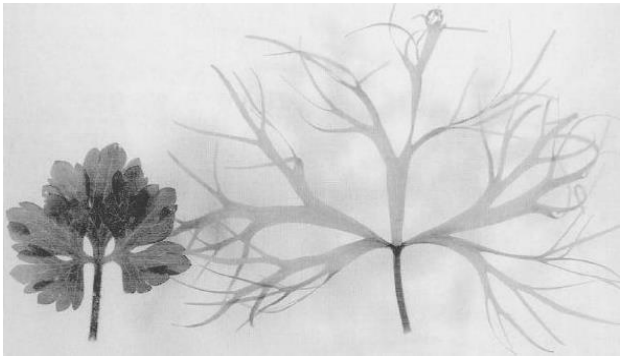
تتميز النباتات أثناء نموها بالمرونة واللدونة ويقصد بمرونة النمو هي مرونة الجدار الخلوي للنباتات وتغيراته التي تحدث أثناء عمليات النمو



الشكل 4: مناطق توضع الميرستم في النبات

والانقسام الخلوي وهذا ما سندرسه بالتفصيل في تأثير الهرمونات على نمو الجدار الخلوي، وأما فكرة اللدونة فهي تعني أن النبات يمتلك القدرة على تغير الشكل استجابة لتغيرات في البيئة، حيث تتطور النباتات وتنمو متأثرة بعوامل البيئة مثل الحرارة والضوء والرطوبة وتتأثر عمليات النمو والتمايز والتكاثر دون تغيرات جينية في الأصل وهذا ما يعرف بمصطلح اللدونة عند النبات (High plastic)، كما هو موضح في الشكل5 لنبات الحوذان المائي (Ranunculus flabellaris) الذي يظهر شكلين للأوراق داخل الفرد ذاته استجابة للظروف المحيطة به. وتكون الوراق ذات جيوب هوائية ومقسمة إلى ثلاثة فصوص عريضة عندما لا تغمر بالماء بينما الأوراق المغمورة بالماء تكون شريطية شديدة التفرع، ويجدر بالذكر أن الأوراق الحديثة النمو هي التي تستجيب للمؤثرات المحيطة وليس الأوراق القديمة.

نذكر أيضاً كمثال على لدونة العضو النباتي أن بادرات النباتات ثنائية الفلقة التي تنمو في الظلام تتميز بسيقان طويلة وصفراء ومغزلية وأوراق تنمو في العقد بينما التي تنمو في الضوء تكون خضراء قوية وأقصر من النامية في الظلام وكذلك الأوراق ممتدة.



الشكل **5: ورقة نبات الحوزان المائي Ranunculus flabellaris بشكلين مختلفين على النبات ذاته استجابة للظروف المحيطة.**

قد تعزى الخاصية السابقة للنباتات **(اللدونة)** إلى النمو المفتوح الذي ذكرناه سابقاً وما يسمى ايضاً بالتمايز المفتوح Open differetiation **والذي يقصد به أن الخلايا والأنسجة في النباتات تتمايز لأداء مجموعة من الوظائف استجابة للمؤثرات ولكنها تحتفظ بالقدرة على العودة إلى حالتها السابقة والانطلاق من جديد.**

مراحل النمو الأساسية

تنقسم مراحل النمو الأساسية إلى ثلاث مراحل رئيسية وهي: الانقسام الخلوي – الاستطالة والزيادة في الحجم – التمايز الخلوي.

عندما ينمو النبات وتتشكل أعضاءه يمر بثلاثة مراحل (النمو التمايز التشكل) وتتم في مرحلة **النمو** عملية الانقسام الخلوي والاستطالة ويحدد نمو الأعضاء النباتية بزيادة الكتلة لأن الكتلة تعكس زيادة حجم الخلايا وعددها وهكذا يمكن أن نعبر عن فكرة النمو النباتي بأنها زيادة في حجم الخلايا (enlargement) أو زيادة في حجم الخلايا بالإضافة إلى عددها (الانقسام الخلوي (cell division))، الانقسام لوحده لا يكفي لإحداث النمو. ويشير **التمايز** إلى اكتساب صفات نوعية للخلايا التي اشتقت أساساً من أصل واحد أي تلك التي اشتقت من خلية أو مجموعة من الخلايا، ومن خلال التمايز تصبح الخلايا

متخصصة في عضو معين أو نسيج ما، أي مختلفة عن بعضها البعض ومتخصصة بوظائف مختلفة، مثلاً خلايا الخشب أو اللحاء في ورقة النبات تشكل النسيج الوعائي.

- **مرحلة الانقسام الخلوي:** تتشكل في هذه المرحلة خلايا جديدة نتيجة الانقسام الخيطي المتساوي للخلايا الميريستيمية في قمة الجذر والساق والخلايا المولدة في الكامبيوم في ساق النباتات ثنائيات الفلقة وعاريات البذور وكذلك في الخلايا المولدة للأوراق الحديثة عموما، وتحدث الاستطالة مباشرة بعد الانقسام في منطقة تلي منطقة القمة النامية في هذه الأعضاء غير محدودة النمو (الشكل 6).

بينما في الأعضاء محدودة النمو مثل الثمار والأوراق فإن عمليتي الانقسام والاستطالة تحدثان منفصلتين زمنياً، حيث تبدأ العملية الأولى وهي الانقسام والزيادة العددية **تتطلب هذه المرحلة توفر كمية من المواد الغذائية التي تصل للأنسجة الميرستيمية ويلاحظ في هذه المرحلة التغيرات التالية:**

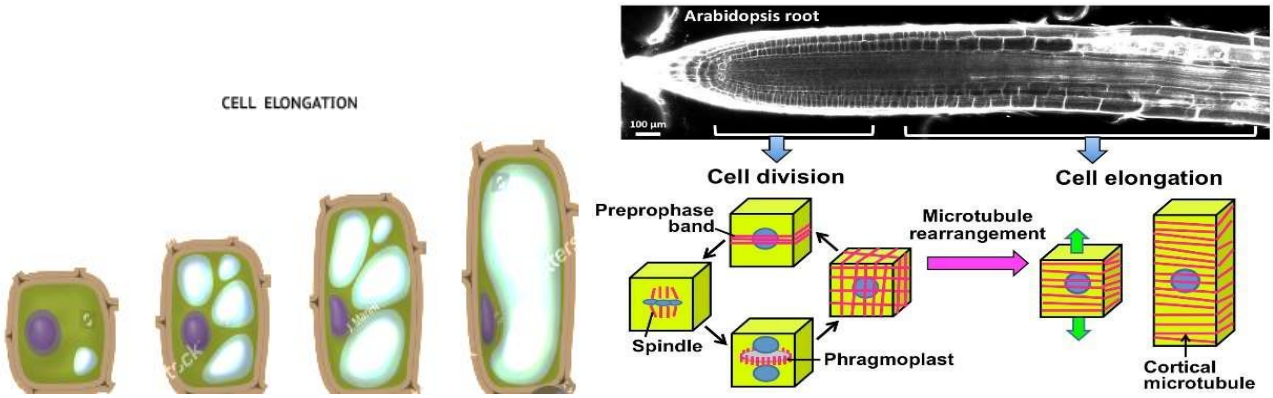
تراكم المواد الكربوهيدراتية والبروتينات والأحماض الأمينية والعناصر المعدنية وجميعها تصل للخلايا الميرستيمية.

نشاط في عمليتي الاستقلاب والتنفس. تأمنن بعض منظمات النمو والانزيمات للقيام بالعمليات الحيوية. وانتقال بعض المواد في الأجزاء الهوائية إلى النسيج الميرستيمي في الجذور (منظمات نمو او فيتامينات ...الخ)

جميع المواد السابقة تساهم في التفاعلات الأساسية الاستقلابية حيث تتطلب بعض أنواع الجذور لاستمرار النمو وجود مادة الثيامين ((vit B1) وبعضها الآخر يتطلب وجود البيرودكسين ((vit B2) وجميعها تتصنع في القمم وتنقل للجذور وكذلك تؤثر في القمم الهوائية. كما يمكن لبعض الجذور ان تصطنع مواد تساعد على النمو مثل الريبوفلافين والبيوتين.

- **مرحلة التمدد والاستطالة – الزيادة في الحجم**

تحدث زيادة في حجم الخلية بشكل غير رجعي بحيث يزداد حجم الخلية نتيجة التغذية ويتبع ذلك التمدد في الخلايا وليونة الجدران وذلك بتأثير هرموني وينتج من تمدد الجدران تناقص سمكها وتتشكل فجوات خلوية تمتلئ بالعصارة ومن ثم تتكون فجوة كبيرة واحدة وتترسب مادة السيللوز بالجدران التي تعود وتتصلب بالتدريج وتزداد كمية البروتوبلاسما التي تتوضع بين الجدار والفجوة ومن ثم تبدأ المرحلة الثانية وتكوين الأوعية الناقلة ونضج الخلايا وتخصصها كما يبدو في الشكل 6 حيث يعاد ترتيب الخيوط السيتوبلاسمية والألياف السللوزية الدقيقة (microtubule rearrangement) في الخلايا و الجدر الخلوية بحيث تحصل استطالة الخلية بالشكل المناسب.



الشكل 6: مرحلة الاستطالة – الانقسام واستطالة قمة الجذر عند نبات Arabidopsis

تنتقل الخلية في هذه المرحلة من الحالة الميرستيمية إلى الحالة البارانشيمية البالغة وقد تصل الزيادة في حجم الخلية إلى 30–150 مرة عن حجم الخلية الأصل (التي نشأت منها) ويكون ذلك بسبب ازدياد قدرة هذه الخلايا على امتصاص الماء نتيجة انتقال المواد الغذائية والاستقلابية م التي تكونت في الأوراق إلى مناطق النمو حيث الخلايا الميرستيمية التي انتهت من الانقسام والاستطالة، تظهر الفجوات العصارية بعد ذلك نتيجة امتصاص الماء بالقوة الأسموزية التي يسببها امتصاص الاملاح وتكوين الأحماض العضوية والسكريات في الخلية ومن ثم تكون البروتوبلازم، وعملية تكوين البروتوبلازم يلزمها زيادة العمليات المنتجة للطاقة (تنفس) وإنتاج البروتينات (استقلاب).

تلعب الهرمونات النباتية كذلك دوراً هاماً في عمليات الانقسام والاستطالة حيث تساهم في زيادة مرونة الجدار الخلوي وزيادة إضافة مواد جديدة من السللوز والهيميسللوز بحيث تبدو في النهاية البروتوبلازم كطبقة رقية إلى جانب الجدار الخلوي والأغشية الخلوية، وتترافق الزيادة هذه كلها كما ذكرنا ببناء جديد لكتلة البروتوبلازم. **وهكذا يلاحظ أثناء هذه المرحلة التغيرات التالية:**

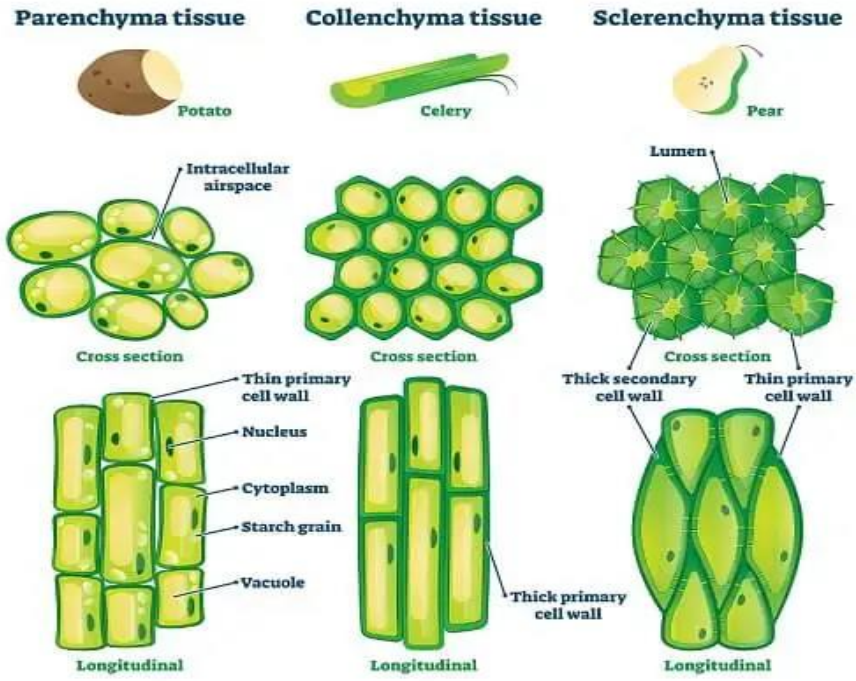
- زيادة حجم الفجوات في الخلايا وسمك الجدار الخلوي.
- ازدياد حجم الخلايا بشكل طولي أو عرضي.
- توقف الانقسام الخلوي.

مرحلة التمايز الخلوي Cell Defferentition

تبدأ هذه المرحلة بتغيرات فيزيولوجية تشمل تركيب مكونات جديدة للخلية نتيجة العمليات الاستقلابية الموجهه بإشراف مورثي حسب نوع النسيج الذي سيتكون بعد التمايز وتشريحية تشمل عل تغيرات شكلية وبنيوية بحيث تحقق كل خلية النمط الملائم للنسيج الذي سيتكون أو الوظيفة التي ستؤديها.

من التغيرات الهامة في هذه المرحلة وجود فجوة عصارية كبيرة تشغل معظم حجم الخلية وتوضع السيتوبلاسما على محيط الخلية وتأخذ الخلية شكلها النهائي المميز بسماكة جدرانها.

وكمثال على ذلك نذكر تشكل خلايا بارانشيمية مغذية (حجم كبير ، جدران رقيقة لا تتكون فيها الجدر الثانوية عادة) وهي أقل أنواع الخلايا النباتية تمايزاً حيث لا تختلف كثيراً عن الخلايا الميرستمية إلا بالحجم ودرجة نمو الفجوات فيها ويوجد هذا النمط من الخلايا في القشرة والمخ والأشعة المخية. وكذلك الخلايا الكولانشيمية (الداعمة) المتميزة بجدار خلوي اولي ثخين والسكليرانشيمية المتميزة بجدر خلوية مضاعفة تبدو بأشكل مختلفة حسب العضو النباتي الموجودة فيه. (الشكل7).



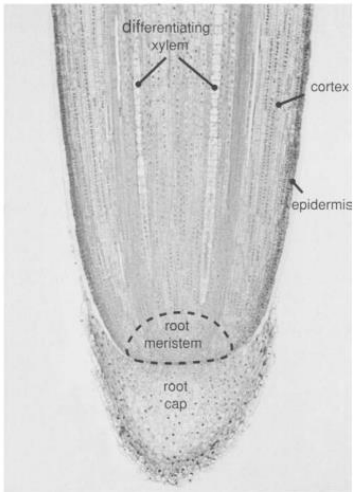
الشكل 7: تمايز الأنسجة النباتية حسب العضو النباتي والوظيفة التي تؤديها.

أما الخلايا التي تشكل النسج الوعائية (جدران سميكة لها اشكال حلقية او حلزونية). وهذه الخلايا تتعرض لتغيرات كثيرة مثل زيادة الحجم وترسب مواد جدارية بين الجدر الثانوية تدعى الخشبين (الليغنين (leginine) فتبدو بأشكال مختلفة في أوعية الخشب منها الحلقي والحلزوني والمنقر، كما تختفي النواة في الأوعية الغربالية (اللحائية) وتبقى السيتوبلاسما فقط لأداء وظائفها، بينما تبقى الخلايا المرافقة للحاء محتفظة بالنواة.

من أهم مميزات مرحلة التمايز النقاط الآتية: يلاحظ بالإضافة إلى تمايز جدر الخلايا وزيادة سماكتها، تمايز بيوكيميائي مثل تحلل أجزاء من أنواع معينة من الخلايا أثناء التطورات الكيميائية لبعض الأجزاء الأخرى من نفس الخلية، كم تستهلك الكربوهيدرات اثناء مختلف أنواع التمايز الخلوي الخاص بتغلظ الجدر.

النمو النباتي للأنسجة البالغة (النبات الكلي) – والنمو الثانوي.

أولاً: نمو الجذر: يتم النمو في الجذور بواسطة منطقة النمو وهي المنطقة التي تلي القلنسوة مباشرة وتتميز بنشاط ميرستيمي شديد، وتتصف الخلايا الميرستيمية بأنها رقيقة الجدر متساوية الأبعاد وصغيرة الفجوات ولا يوجد مسافات بينية بينها.



الشكل 8: **مقطع طولي في قمة جذر حديثة النمو.**

ويطلق اسم الميرستم الأولي على أحدث الأجزاء في هذه المنطقة أما المنطقة الوسطى في ميرستم الجذر فتتحول إلى كامبيوم الذي يعطي بدوره الأنسجة الوعائية الخشب واللحاء و يتكون الخشب واللحاء في تعاقب قمي حيث تنشأ نسج وعائية متناوبة في الجذر ويكون التمايز في الجذر جابذ فيبدو الخشب الأولي في الداخل. وتتم الانقسامات بالاتجاه العمودي في منطقة الميرستم الأولي في الجذر وفي عدة مستويات مما ينتج عنه الشكل الاسطواني للجذر.

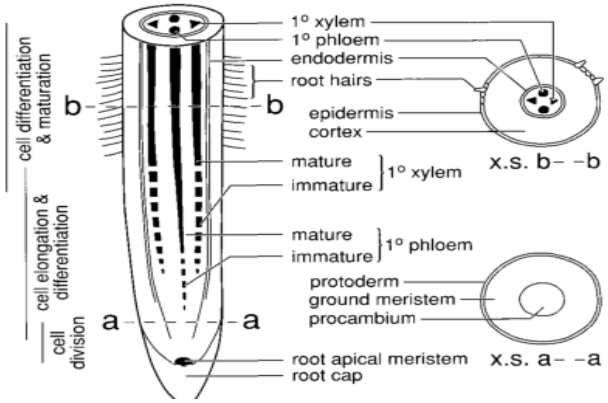
تغطى قمة الجذر بالقلنسوة Root cap والتي تحميه من العوامل الخارجية ومن التآكل أثناء النمو، كما تساهم في نمو الجذور جهة الجاذبية الأرضية، وتستمر الخلايا الخارجية للقلنسوة بالتجدد أثناء النمو نتيجة لإضافة خلايا جديدة ناتجة من انقسام الميرستم القمي للجذر حيث تعمل الخلايا الجديدة على تعويض التالف من خلايا القلنسوة، وتفرز القلنسوة أيضاً أنواعا مختلفة من المركبات كالصمغ الذي يسهل مرور الجذر عبر التربة، بالإضافة لإفراز الكربوهيدرات والفينولات وهي مهمة في تفاعلات جذر النبات مع الميكروبات والفطريات.

تحدث الانقسامات الخلوية في ميرستم الجذر في الاتجاه العمودي ينتج من هذه الانقسامات خلايا جديدة تُضاف إلى القلنسوة وإلى منطقة الاستطالة والتمايز التي تعلو منطقة الانقسام وينتج من هذه الانقسامات نمو الجذر طولا واندفاعه في التربة، وتعد زيادة حجم الخلايا واستطالتها جزءا متمما لعملية النمو وازدياد حجم الخلايا لايكون متساويا لذلك تتباين أحجام الخلايا وأشكالها في الأنسجة المختلفة وبما ان ازدياد حجم معظم الخلايا الناشئة عن الميرستم القمي للجذر يتم في اتجاه يوازي المحور الطولي للجذر، لذلك يطلق على هذه المرحلة اسم الاستطالة الخلوية، وينتج من استمرار تكوين واستطالة الخلايا الجديدة الناتجة من عملية الانقسام بروز قمة الجذر إلى الأمام وتعد هذه المرحلة إحدى المظاهر الواضحة لنمو الجذر القمي.

ويمكن أن تتوقف استطالة الجذر تدريجيا، ومن ثم تبدأ النسج المختلفة بالتمايز (الشكل 9) وهي القشرة cortex والبشرة epiderm والبشرة الداخلية endoderm واللحاء phelom والخشب xylem. وتتمايز طبقة **الأوبار الماصة** من بعض خلايا

البشرة مما يسمح بزيادة سطح الجذر عدة مرات ويساعد على امتصاص الماء والمعادن من التربة وتشكل خلايا البشرة الداخلية بشريطها الخاص الذي يسمى شريط كاسبار ممراً انتقائياً للعناصر التي يتم امتصاصها ويتم تمييز هذا الشريط جيداً في منطقة الأوبار الماصة .

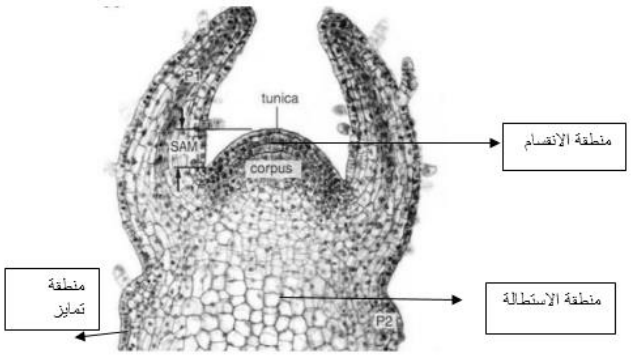
تنشأ **الجذور الجانبية** في المنطقة التي لم تعد تستطيل عن طريق أجزاء موضعية في منطقة المحيط الدائر، حيث ينمو الجزء الواحد والذي يسمى primodium من خلال القشرة والبشرة للجذر الأصلي وتنبثق كجذر جانبي جديد، وتمتلك الجذور الجانبية تنظيماً مشابهاً للجذر الأصلي وتقوم بنفس الوظائف.



الشكل 9: **شكل تخطيطي يوضح مناطق النمو المختلفة في جذر حديث النمو.**

ثانياً: نمو قمة الساق

يتم تنظيم نمو قمة الساق بشكل مختلف عن نمو قمة الجذر، إن المنطقة الميرستيمية التي توجد في الجذر والساق متشابهه إلا ان سلوك المنطقة الميرستيمية في الساق أكثر تعقيداً منها في الجذر، لأن نمو الساق لا تشمل التزايد في محور الساق فقط بل تشمل أيضاً تشكل الأوراق والأعضاء الجانبية الأخرى (الشكل 10). وتسمى أصغر الأجزاء واكثرها تطرفاً في قمة الساق اسم الميرستم الأولي القمي ولا يتجاوز طولها مئات الميكررونات، ويتحول جزء من الميرستم الأولي تدريجيا خلال النمو إلى كامبيوم أولي تنشأ عنه الأنسجة الوعائية الابتدائية.وتتالف قمة الساق كقمة الجذر من منطقة جنينية تحدث فيها انقسامات خلوية سريعة وتحتها تقع منطقة الاستطالة حيث تستطيل الخلايا ويزيد حجمها وتتداخل هذه الطبقة الأخيرة مع منطقة التمايز الخلوي ويكون نمو الساق أكثر تعقيداً منه في قمة الجذر بسبب تشكل بداءات الأوراق والبراعم الإبطية.



الشكل 10: قمة ساق حديثة النمو.

وتشبه خلايا الميرستم في الساق خلايا الجذر، فهي صغيرة الحجم رقيقة الجدران ومتساوية الأبعاد وتحوي فجوات عصارية صغيرة جداً، والنواة كبيرة نسبياً، ولا توجد مسافات بينية، وإن وجدت تكون صغيرة نسبياً جداً. وتحدث الانقسامات في خلايا ميرستم قمة الساق في الاتجاه الطولي وفي عدة اتجاهات عرضية مما يؤدي إلى تكوين الشكل الاسطواني المميز للساق، وتلي الانقسامات الميرستيمية منطقة الاستطالة حيث تستطيل الخلايا وتأخذ شكلها الكامل وقد تمتد منطقة الاستطالة ليصل طولها على 10 سم.

ثالثاً: نمو وتطور الأوراق والبراعم الخضرية و الزهرية.

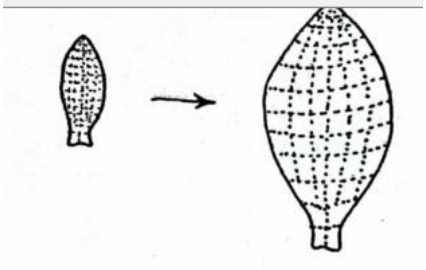
تنشا الأوراق من بروزات تظهر على جانبي القمة الميرستيمية للساق، والنمو في الأوراق لا يكون في منطقة محدودة كما هو الحال في الساق والجذر ولكن يتوزع على سطح الورقة كلها، وتاخذ الورقة شكلها السطحي نتيجة للنمو الثنائي (طول*عرض) كما في الشكل 11، ولكن النمو بالنسبة لحجم الورقة يكون محدودا حيث تصل الأوراق إلى الحجم الطبيعي حسب النوع النباتي ومن ثم تتوقف عن النمو.

يبدأ تكون الورقة ونموها بعدد من الانقسامات الخيطية المتتالية التي تطرأ على عدد قليل من الخلايا في مجموعة التأسيس وينتج عن ذلك **انتفاخ** أو دعامة للوريقة والتي تنمو مع الوقت وتشكل الوريقة الصغيرة التي غالبا ما تنمو باتجاه القمة النامية بوجهها الداخلي وينحني سطح القسم الخارجي في الجهة المعاكسة عند ثنائيات الفلقة ويلي ذلك نمو الخلايا بين حواف الورقة لتشكل الصفيحة المسطحة. وتنقسم الخلايا النشطة وتتشكل الأنسجة الورقية وتزداد مساحة البشرة نتيجة استمرار الانقسام في خلاياها ويتوقف انقسام خلايا البشرة أولاً ومن ثم يليها النسيج الحباكي وثم النسيج الفراغي ولا تظهر المسافات البينية بوضوح حتى تصل الورقة إلى ربع او ثلث حجمها النهائي.

أما عند أوراق النباتات العشبية حيث يبدأ نشاط الخلايا في المنطقة المحيطة بالحواف والمحيطة بالنسيج الميرستيمي القمي قبل ان تبدأ الاستطالة وهكذا يتشكل غطاء يشبه الوريقة المتكونة وتتشكل الورقة الأساسية. وغالبا ما يتم تفسير نمو الأوراق وفقاً لثلاثة محاور تحدد الشكل الرئيسي للورقة والنهائي وشكل الأنسجة الرئيسية فيها حيث يحدد **المحور القمي القاعدي** شكل **الصفيحة** والتي تتطور بشكل بعيد والسويقة أو **قاعدة الأوراق** أو غمد الورقة والتي تتطور بشكل قريب، ويحدد **المحور المركزي** الجانب الأوسط والمدى الجانبي للصفيحة، بينما يحدد المحوران العلوي والسفلي الأنسجة وعرض الورقة.

وهكذا يستمر النمو حتى تتكون ورقة كاملة النضج. ويلاحظ أن نمو الوراق عند كل من النباتات أحادية او ثنائية الفلقة يحدث على مستوى الوريقة (الورقة الأولية) ويستمر حتى تكتمل جميع العمليات اللازمة لتتكون ورقة بالغة ومن ثم يتوقف هنا. وبالمقارنة مع النمو في قمة الجذر وقمة الساق فإن نمط نمو الورقة يسمى بالنمو المحدود بينما نمو قمة الجذر أو الساق فهو غير محدود.

في الأعشاب يستمر النسيج الميرستيمي في قاعدة الأوراق بإضافة طبقات جديدة، بينما تتمايز الطبقات القديمة والأكثر نضجاً، وبالتالي يمكن قص الأعشاب وتجديدها أو التخلص منها إذا كانت ضارة.



الشكل 11: النمو في الورقة.

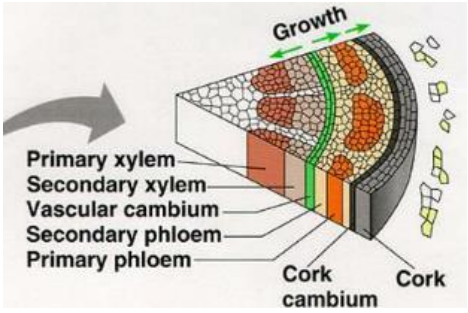
يلعب الميرستيم البيني دوراً هاما في نمو الورقة حيث يعد المسؤول عن الزيادة في سماكة الورقة وحجمها، وهو ذاته يساهم في نمو العقد والسلاميات بين العقد، ما النموات الخضرية الجانبية فهي ناتجة عن نمو الميرستم الجانبي كما في البراعم الإبطية التي توجد في إبط الأوراق وتتحول إلى براعم خضرية أو زهرية وذلك يعود إلى الظروف البيئية والداخلية وحسب منظمات النمو والعوامل الوراثية. والزهرة مثل الأوراق هي عضو محدود النمو أي لا تستمر في النمو طوال حياة النبات ولكن تنمو في فصل معين ولهدف محدد بحيث تنمو لتكون الثمار التي تتوقف عن النمو عندما تصل إلى حجمها الطبيعي وذلك حسب النوع النباتي. وتتباين الأزهار كثيرا في الحجم والعدد وشكل تواجدها في النبات (مفردة أو نورات ...الخ) وانماط الأسدية والمبيض ومكوناته ..الخ، ويعزى ذلك إلى أنماط الخلايا والانقسامات في قمة الازهار.

النمو العرضي في النباتات.

تظهر في سوق وجذور النباتات مغلفات البذور ذات الفلقتين وعاريات البذور طبقة نسيج مولد وعائي بين الخشب واللحاء وتعطي بانقسامات خلوية سريعة خلايا تتمايز لتكون الخشب الثانوي إلى الداخل وخلايا تتمايز لتكون اللحاء الثانوي إلى الخارج الكامبيوم الوعائي، إن إضافة هذه النسج وخاصة نسيج الخشب توفر الدعم لهذه الأعضاء وبالتحديد عند الأشجار. قد يحدث النمو الثانوي أيضاً عند بعض الأنواع في أعناق الأوراق ووسطها وفي محاور الأزهار قد يتطور الكامبيوم أيضاً في بعض النباتات العشبية ولكنها لا تشكل حلقة كاملة ويتوقف نشاطها على الحزم الوعائية. والكامبيوم هو طبقة من الخلايا النشطة تنشا بين نسيج الخشب الأساسي واللحاءِ.

أما بالنسبة للنباتات ذات الفلقة الواحدة لا يوجد لديها طيقة نسيج مولد (كامبيوم) وتنتج الزيادة في القطر لديها من ازدياد حجم الخلايا المشتقة من الأنسجة الجنينية القمية أو من نمو قواعد الأوراق الملتفة حول بعضها البعض بشكل ساق كاذبة كما في ساق أشجار النخيل.

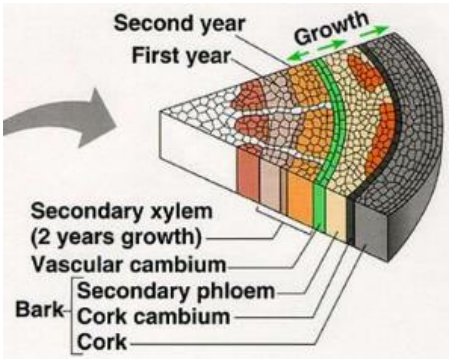
يوجد نوعان من خلايا الكامبيوم يختلفان عن بعضهما البعض خلايا متساوية الأضلاع تعطي الأشعة الوعائية وخلايا مغزلية الشكل تعطي عناصر الخشب واللحاء، وعند نمو الكامبيوم الوعائي وبدراسة مقطع في ثنائيات الفلقة نجد ان الخشب الثانوي ينمو باتجاه الداخل واللحاء للخارج (الشكل14). ونتيجة لنشاط الكامبيوم وتشكل البنية الثانوية يزداد قطر المحور للعضو النباتي كما يزداد طول الأشعة الوعائية. ويتابع الكامبيوم نشاطه بحلول موسم النمو فتظهر زيادة سنوية في القطر وقد يستمر الكامبيوم في إعطاء الأنسجة الثانوية لمئات السنين في بعض أنواع الأشجار المعمرة، وينسلخ اللحاء المسن عادة مع تقدم النبات بالعمر ويسمى عندئذ القلف، وبالتالي فإن الساق أو الجذر المسن يتركب تقريبا من الخشب الثانوي.



الشكل 12: الكامبيوم الوعائي في ساق نبات ثنائي الفلقة.

تمر الخلايا الناتجة من انقسام الكامبيوم كما في النسيج الميرستيمي بثلاث مراحل وهي النمو والاستطالة ومن ثم التمايز، وتبلغ كمية العناصر الخشبية الجديدة التي ينتجها الكامبيوم أثناء نشاطه أضعاف مما يتكون من عناصر اللحاء، ومن ثم

يندفع الكامبيوم للخارج بتأثير الخشب المتراكم وتتسع حلقته ويزداد طول أصول خلاياه وبتقدم عمر النبات وتكون حلقات الخشب الثانوي هي التي تدل على عمره (الشكل13).

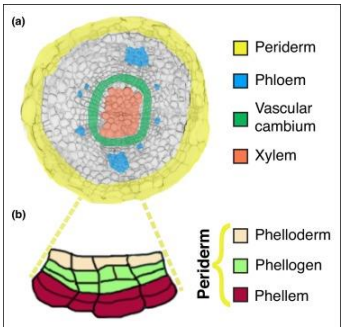


الشكل 13: تكون حلقات النمو السنوية في ساق نبات ثنائي الفلقة ناتجة عن نمو عرضي.

لا يوجد الكامبيوم الحزمي بمعناه السابق عند أحاديات الفلقة كما ذكرنا سابقاً ولو أنه يلاحظ أثر نشاط شبيه بالكامبيوم داخل الحزم الوعائية ويعتقد بأنه السبب في تضخم الأنواع الشجرية عند أحاديات الفلقة، ويكون ذلك ناتجا عن انقسام أنواع من الميرستم الجانبي الذي يدخل كأحد أنواع الكامبيوم ويوجد على شكل اسطوانة بالقرب من الساق وعلى عكس الكامبيوم الحزمي في ثنائيات الفلقة لا يعطي خشبا للداخل ولحاء للخارج فقط بل يعطي حزما وعائية كاملة بينها نسيج بارانشيمي إلى الداخل ويعطي أيضاً كمية محدودة من النسيج البارانشيمي للخارج.

أما بالنسبة للجذر فإن نسج الخشب واللحاء تكمل نضجها وتمايزها حتى لو توقف نمو الجذر طولاً حيث يتكون في الجذر عند ثنائيات الفلقة كامبيوم وعائي بين الخشب واللحاء وتنقسم خلاياها بشكل مماسي بحيث تعطي خشب ثانوي للداخل ولحاء ثانوي للخارج مما ينتج عنه زيادة قطر الجذر.

يرافق هذا النمو الثانوي الناتج عن الكامبيوم الوعائي أيضا تشكل نسيج مولد فليني تنقسم خلاياه بنشاط انقسامات مماسية ويشاهد الكامبيوم الفليني؛ وهو نوع من الميرستيمات الجانبية، في معظم السوق والجذور الخشبية وينشأ عادة من البشرة أو خلايا تحت البشرة ويشبه عمل الكامبيوم الوعائي فهو يعطي للخارج خلايا تترسب في جدرها مادة الفلين وتصبح غير نفوذة للماء وهي الفلين cork أو الطبقة الفلينية، وخلايا تتولد للداخل هي البارانشيم الثانوي ويشكل القشرة الثانوية أو الأدمة الفلينية Phelloderm نحو الداخل كما في الشكل 14.



والفلين المسمى cork مؤلف منطبقات متراصة ليس بينها مسافات بينية ويترسب على

الشكل14: تشكل طبقات الكامبيوم الفليني لعدة سنوات

جدرانها الفلين الثخين ويتجمع

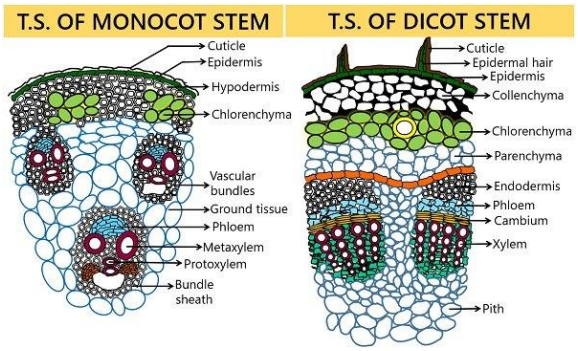
داخلها عدد من المركبات الصباغية وهو يحل محل البشرة الداخلية ويحمي الأنسجة الداخلية في النبات.

والنسيج الفليني غير نفوذ للماء وتبقى فيه بعض النقاط التي تسمح بالمبادلات الغازية وتسمى العديسات وإن مجموع الفلين والأدمة الفلينية والكامبيوم الفليني يسمى priderm وهو ما يدعى باسم قشرة الشجرة أو لحائها عند العامة.

يستمر الكامبيوم الفليني في بعض الأنواع مثل نبات الزان بالنمو لعدة سنوات وقد يبقى طوال حياة النبات، ولكنه كثيرا ما يتوقف ويحل محله فيللوجين آخر (الشكل 15) يتكون من طبقات أعمق في القشرة أو المحيط الدائر. نذكر أخيرا أن التناوب الوظيفي للطبقة المولدة ليس دائما منتظما فيمكن للكامبيوم أن يولد خلايا أكثر عددا لجهة ما دون أخرى.

أهم مميزات الميرستم الثانوي (الكامبيوم الوعائي أو الفليني) مقارنة مع الميرستم الابتدائي:

- خلايا الميرستم الثانوي أكثر تمايزا من خلايا الميرستم الابتدائي حيث الفجوات ضخمة والنوى جانبية.
- الميرستم الثانوي يولد نسجا جديدا في حين الميرستم الابتدائي يولد أعضاء جديدة.



الشكل15: النمو الثانوي في الساق عند أحاديا وثنائيات الفلقة وغياب الكامبيوم عند الأحاديات