

# النمو فى النبات

## The Plant Growth

يحدث النمو فى النبات نتيجة لنشاط الأنسجة المريستيمية حيث أنها عبارة عن خلايا مريستيمية لها قدرة كبيرة على الإنقسام وبسرعة زائدة. وعادة تكون هذه الأنسجة المريستيمية مركزة فى أجزاء معينة فى النبات منها قمم الجذور وقمم السيقان وقمم الأزهار ... الخ .

ولكى يحدث النمو فى النبات نجد أن الخلايا المريستيمية تمر فى عدة مراحل هى:

١ - الإنقسام Division

٢ - الكبر فى الحجم Extension أو الإستطالة Elongation

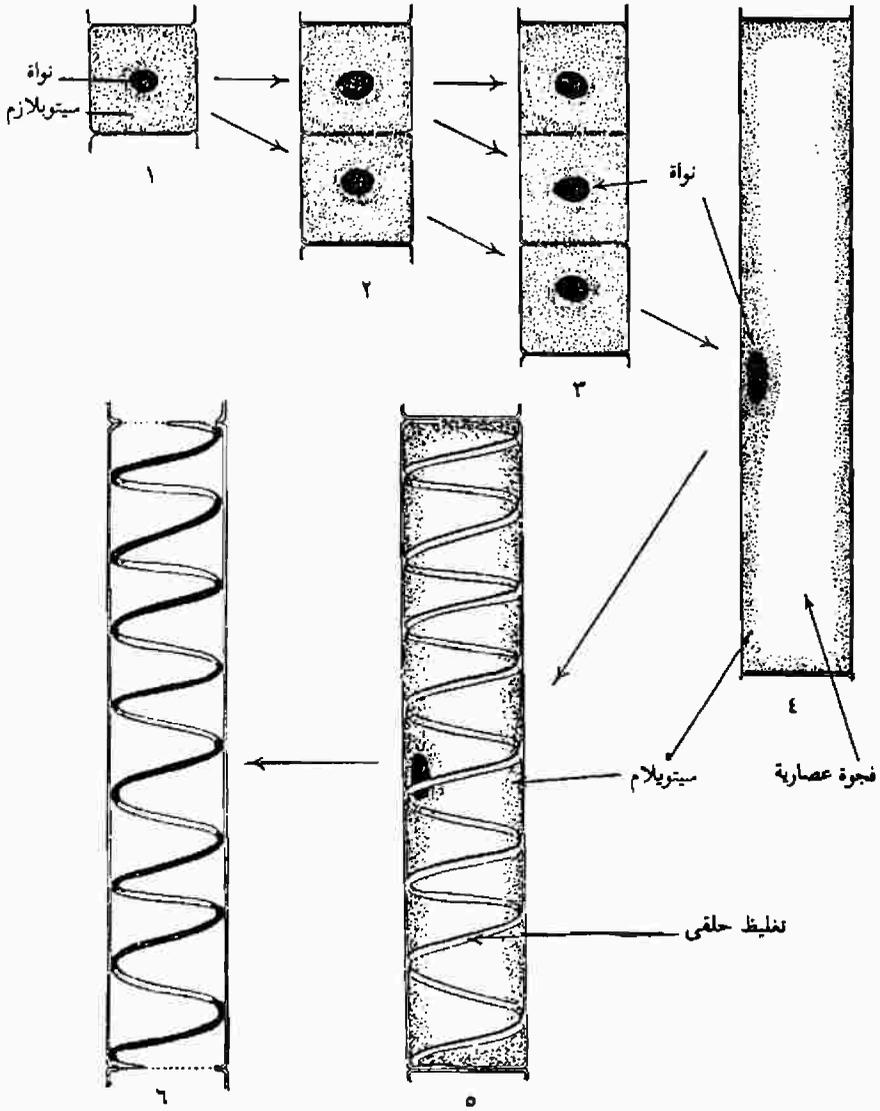
٣ - التميز أو التكشف أو التشكل Differentiation ومعناه أنه يحدث فى الخلية تغيرات فى شكلها أثناء زيادتها فى الحجم أو بعد تمام زيادتها فى الحجم بحيث يتلائم هذا الشكل مع الوظيفة التى تقوم بها الخلية بمعنى أن خلية الوعاء الخشبي يكون لها تغليظ حلقى أو لولبي أو شبكى أو منقر وذلك لكى تتلائم هذه الخلية مع نقل الماء وصعوده بسرعة فى النبات فهى مهيأة ومشكلة لذلك تماماً. وهذه الخلية بالطبع تختلف فى شكلها عن الخلايا الكلورانشيمية التى تترواح فى شكلها من كروى إلى اسطوانى ولكنها تحتوى على بلاستيدات خضراء لكى تتلائم مع وظيفتها الأساسية وهى القيام بعملية البناء الضوئى وهذه الأنواع من الخلايا هى

على سبيل المثال وليس الحصر . وبالرغم من الاختلاف الكبير فى شكل خلية الوعاء الخشبى عن الخلية الكلورانشيمية فإن نشأتها كانت نشأة واحدة من خلايا مريستيمية متشابهة تماماً وحدث بعد ذلك الإنقسام فى هذه الخلايا المريستيمية والتغير فى الشكل لينتج خلايا كلورانشيمية أو خلايا الوعاء الخشبى - وهذا الجزء الأخير هو ما نقصد به التشكل أو التميز أو التكشف ( شكل ١ ) .

والغالبية العظمى من علماء فسيولوجيا النبات تعتبر النمو هو عبارة عن إنقسام للخلايا واستطالة أو كبر لحجم الخلايا فقط وأن المرحلة الثالثة وهى التشكل أو التميز لا تعتبر أحد أطوار النمو . إلا أن البعض يعتبرون أن النمو يشمل الثلاث مراحل وهى الإنقسام والكبر فى الحجم والتشكل .

يجب التمييز بين تكوين الشكل الظاهرى morphogenesis وبين التشكل أو التميز differentiation وبين النمو growth وبين تكوين ونشوء الأجزاء المختلفة للنبات development

يعتبر تكوين الشكل الظاهرى morphogenesis هو عبارة عن تكوين أعضاء النبات المختلفة plant organs مثل الساق والأوراق والجذور والأزهار والثمار، يعتبر التشكل أو التميز differentiation هو عبارة عن التغير التدريجى فى الخلايا أى تحول الخلايا المريستيمية إلى بارنشيمية أو كلورانشيمية أو ألياف أو أنابيب غربالية وخلايا مرافقة أو أوعية خشب أو قصبيات أى هى عبارة عن تغيرات تحدث فى تكوين شكل الخلية لكى تأخذ الخلية الشكل النهائى والذى يتلائم مع وظيفتها . حيث أن الخلايا البارنشيمية تقوم بالتخزين للمواد الغذائية مثل النشا وتقوم الخلايا الكلورانشيمية بعملية البناء الضوئى وتقوم الألياف بالتدعيم وتقوم الأنابيب الغربالية بنقل الغذاء المجهز من الأوراق إلى سائر أجزاء النبات وتقوم الأوعية الخشبية بنقل الماء وما به من عناصر ذائبة إلى الأوراق . تعتبر التغيرات الوصفية - qualitative change فى الخلية وفى محتويات الخلية مقياساً للتشكل . يعتبر النمو growth عبارة عن أنقسام واستطالة وكبر الخلايا . يعتبر نشوء وتكوين الأجزاء المختلفة للنبات هو plant development أى بعبارة أخرى هو النمو وتكوين الشكل الظاهرى والتشكل أى يشمل الثلاث حالات السابق ذكرها من نمو وتشكل للخلايا وتكوين أعضاء النبات .



شكل (١) : خطوات النمو والتشكل

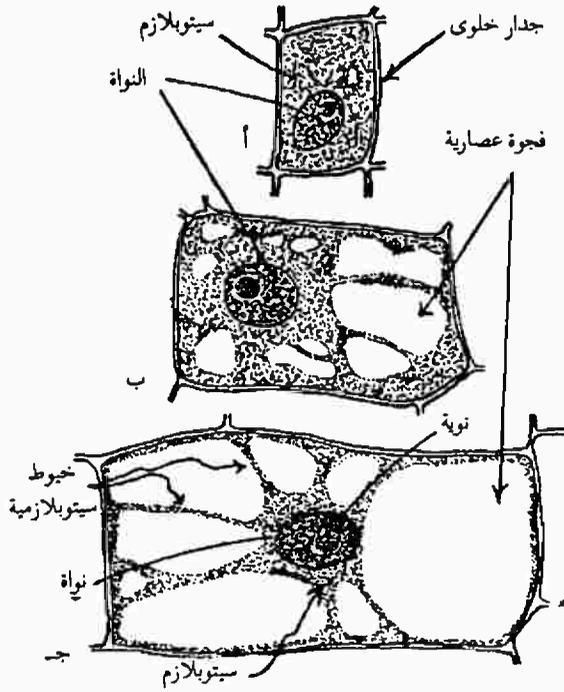
- (١) إلى (٣) إنقسام الخلايا المرستيمية (نمو)  
 (٤) استطالة الخلية وتكوين الفجوة العصارية والسيتوبلازم والنواة (نمو).  
 (٥ - ٦) تشكل الخلايا لتكوين خلية وعاء خشبي حلزوني التغليظ وتحلل السيتوبلازم والنواة وتصبح خلية ميتة (تشكل).

## الخلايا والأنسجة المرستيمية

الأنسجة المرستيمية meristems هي أنسجة تتكون من خلايا ذات قدرة على الإنقسام والنمو، ولهذا فهي توجد في مناطق النمو بالنبات، وتمتاز الخلايا المرستيمية بجدرها الرقيقة غير المغلظة واحتوائها على سيتوبلازم كثيف ونواة كبيرة نسبياً، مع وجود فجوات صغيرة الحجم وقد تكون غير موجودة، إلا أنه في بعض الخلايا المرستيمية مثل خلايا الكامبيوم الوعائي تكون الجدر سميكة نسبياً والفجوات كبيرة وواضحة . توجد الخلايا المرستيمية مترابطة والمسافات البينية بينها غير واضحة الا بالفحص بالميكروسكوب الإلكتروني . تتحول بعض خلايا هذه الأنسجة إلى خلايا بالغة بأن تفقد خاصية الإنقسام، وتدخل في مرحلتين متميزتين، الكبر في الحجم extention والتشكل differentiation . المقصود بالتشكل هو أن تأخذ الخلية الشكل النهائي الذي يتلائم مع وظيفتها وذلك تبعاً لنوع النسيج البالغ المتكون ، في بعض الأحيان وتحت ظروف خاصة تستعيد بعض الخلايا البالغة قدرتها على الإنقسام متحولة إلى خلايا مرستيمية.

وعادة تحتوي الخلايا المرستيمية والحديثة على فجوات صغيرة وعديدة، ومع النضج يقل عدد الفجوات بالخلية وتزداد في الحجم، وفي النهاية قد تتمدد الفجوات ويصبح بالخلية فجوة واحدة كبيرة. وأحياناً قد يمتد خلال الفجوة العصارية الكبيرة خيوط سيتوبلازمية (شكل ٢).

أما عن كيفية تكوين هذه الفجوات فإنه تتكون نتوءات صغيرة على الشبكة الإندوبلازمية وتنفصل هذه النتوءات على هيئة حويصلات صغيرة وهذه الحويصلات تنتفخ وتتحد مع بعضها لتكون حويصلات أكبر، وهذه بدورها تتحد مع الحويصلات الأكبر منها وفي النهاية تتكون فجوة أو فجوات عصارية كبيرة. كما أن أجسام جولجي ينطلق منها أيضاً حويصلات منها ما يستعمل في بناء الغشاء البلازمي والجدار الخلوي ومنها ما يتحد بالفجوة العصارية (شكل ٣).

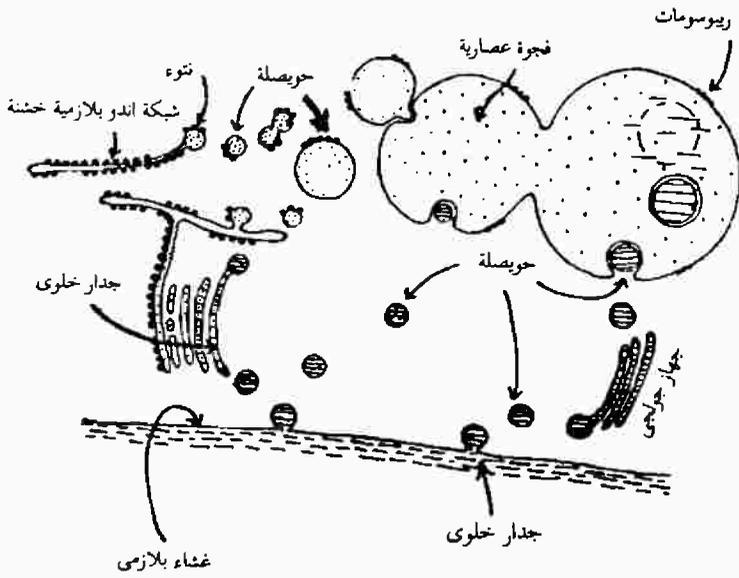


شكل (٢) : نمو وتشكل الخلايا .

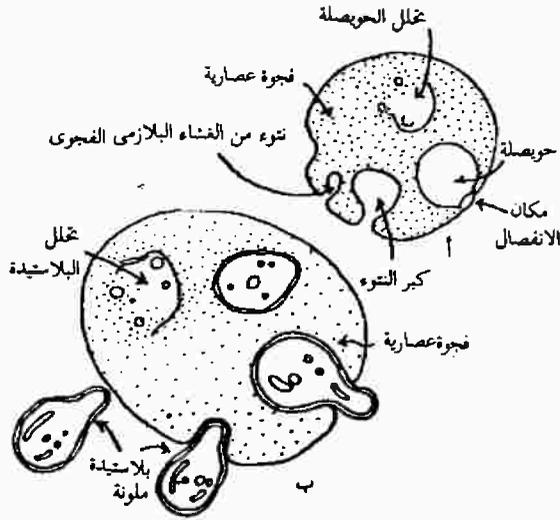
(أ- ج) خطوات تكوين خلية بالغة من خلية مرستيمية.

في بعض الخلايا المرستيمية والعادية نجد أن الفجوات العصارية تحتوي على أنزيمات عديدة تحلل DNA , RNA والبروتين والنشا ويكون لها القدرة على أخذ أجزاء من السيتوبلازم وتحليلها بداخلها، ومثل هذه الفجوات تسمى الفجوات العصارية الملتقمة Autophagic vacuoles .

أما عن كيفية أخذ الفجوة العصارية لأجزاء السيتوبلازم فهي تختلف باختلاف الخلايا، في بعض الخلايا نجد أن الفجوة العصارية تلتقم البلاستيدة أو الميتوكوندرية، وفي البعض الآخر نجد أن الغشاء البلازمي الفجوي يكون نتوءات للداخل وكل نتوء يأخذ جزء من السيتوبلازم ويكبر في الحجم تدريجياً ثم ينفصل عن الغشاء البلازمي الفجوي وبذلك يوجد بداخل الفجوة حويصلات جدارها عبارة عن جزء من الغشاء البلازمي الفجوي وبداخلها جزء من السيتوبلازم (شكل ٤) .



شكل (٢) : خطوات تكوين الفجوة العصارية والغشاء البلازمي والجدار الخلوي .



شكل (٤) : فجوات عصارية ملتقمة

- أ ) فجوة عصارية تكون من غشائها البلازمي حويصلات .  
 ب) فجوة عصارية وخطوات التقام بلاستيده ملونة .

ونتيجة لوجود الفجوات العصارية الملتقمة يقل حجم البروتين ويكبر حجم الفجوة العصارية مع كبر الخلية وذلك ما يحدث فى أثناء تكوين خلايا الأنايب الغربالية وقد يستهلك البروتوبلازم تماماً وتصبح الخلية ميتة كما فى الأوعية الخشبية والقصبية .

ويمكن تقسيم الأنسجة المرستيمية على أسس عديدة منها:

أولاً: عدد مستويات الإنقسام التى تنقسم بها الخلية المرستيمية

١ - مرستيم عمودى Rib meristem: وينتج عن إنقسام الخلية فى مستوى واحد فقط، ولذلك ينتج عن الإنقسام صف واحد من الخلايا. ويساعد ذلك على زيادة نمو العضو النباتى فى الطول كما يحدث عند تكوين نخاع الساق وعنق الورقة.

٢ - مرستيم طبقى Plate meristem: وينتج عن إنقسام الخلية فى مستويين فقط، ولذلك يكون النسيج الناتج بشكل طبقى ويساعد ذلك على زيادة مساحة السطح كما فى الأوراق.

٣ - مرستيم كتلى Mass meristem: وينتج عن إنقسام الخلية فى أكثر من مستويين، ويساعد على زيادة حجم النسيج فى جميع الإتجاهات، كما يحدث عند تكوين إندوسبرم ونخاع وقشرة بعض النباتات.

ثانياً: منشأ المرستيم

١ - مرستيم Primary meristem: وينشأ عن إستمرار إنقسام خلايا الجنين كما فى النسيج المرستيمى القمى للسيقان أو الجذور الإبتدائية ومبادئ الأوراق والكمبيوم الحزمى. الأنسجة البالغة الناتجة عن نمو وتشكل خلايا المرستيم الإبتدائى تعرف بالأنسجة الإبتدائية وينتج عنها تكوين جسم النبات الإبتدائى الكامل.

٢ - مرستيم ثانوى Secondary meristem: وينشأ المرستيم من خلايا بالغة، إستعادت القدرة على الإنقسام، وغالباً ما تكون برنشيمية، وذلك كما فى الكامبيوم

بين الحزمى وكامبيوم الجروح. يبنى المرستيم الثانوى أنسجة إضافية تعرف بالأنسجة الثانوية تحل محل أو تضاف إلى الأنسجة الابتدائية.

ثالثاً: موضع المرستيم فى النبات

١ - مرستيم قمى Apical meristem : توجد فى القمة النامية للجذور والسيقان وبعض أوراق النباتات، وتسبب إستطالة العضو النباتى.

٢ - مرستيم بينى Intercalary meristem : وهو مرستيم ابتدائى غالباً، ينتج بعد تحول بعض أجزاء من المرستيم القمى إلى أنسجة بالغة وترك أجزاء بينها مرستيمية تعطى نمو طولى للعضو النباتى. وتشاهد عادة فى النباتات ذات الفلقة الواحدة فى قاعدة الأوراق وفى أجزاء من السلاميات.

٣ - مرستيم جانبى Lateral meristem : وهو مرستيم تنقسم خلاياه بجدر موازية لمحيط النبات مسبباً زيادة العضو النباتى فى السمك مثل الكامبيوم الوعائى والكامبيوم الفلينى.

### الكامبيوم الوعائى

يعرف الكامبيوم الوعائى vascular cambium أيضاً بالنسيج المرستيمى الوعائى، ويكون الكامبيوم الوعائى نسيجاً ابتدائياً إذا نشأ عن إستمرار إنقسام بعض خلايا المرستيم القمى. ويكون نسيجاً ثانوياً إذا نشأ عن تجدد النشاط الإنقسامى لبعض الخلايا البالغة، وعادة يكون خليطاً من الحالتين كما يحدث عند التعليل الثانوى للسيقان والجذور. تنقسم خلايا الكامبيوم الوعائى بجدر موازية لمحيط العضو النباتى معطية لحاءً ثانوياً للخارج وخشباً ثانوياً للدخل، كما تعطى خلايا الأشعة النخاعية والأشعة الوعائية. ويتسبب عن نشاط الكامبيوم الوعائى زيادة النمو فى السمك .

يوجد نوعان من خلايا الكامبيوم الوعائى. خلايا مغزلية وخلايا شعاعية. الخلايا المغزلية fusiform cells هى خلايا طويلة فى اتجاه المحور الطولى للعضو النباتى،

نهايتها مسحوبة قليلاً، ويتكون منها خلايا أنسجة الخشب واللحاء. فعند انقسام خلية مغزلية تعطى خليتين تبقى احدهما مرستيمية وتتحول الأخرى إذا كانت خارجية إلى خلية نسيج لحاء، أما إذا كانت داخلية فتتحول إلى خلية نسيج خشب، ويتكرر الإنقسام تعطى مرة خلية نسيج لحاء وأخرى خلية نسيج خشب. وقد يتم ذلك بالتساوي، وكثيراً ما يزيد معدل تكوين نسيج الخشب عن معدل تكوين نسيج اللحاء. والخلايا الشعاعية ray cells هي خلايا صغيرة متطاولة قليلاً أو متساوية الأقطار تعطى عند إنقسامها الخلايا البرنشيمية المكونة للأشعة النخاعية والأشعة الوعائية يطلق على تحول الخلية المرستيمية إلى وعاء خشبي أو قصبية أو ليفة أو أنابيب غربالية بالتشكل.

### تشرح الجذر

يختلف التركيب النسيجي لجذر النبات حسب نوع النبات، وكذلك في النبات الواحد حسب مناطق الجذر المختلفة، فمنطقة القمة النامية تختلف عن منطقة الإستطالة، وهذه تختلف عن منطقة الشعيرات الجذرية. وفي المنطقة الدائمة تختلف المناطق الأولى منها حيث تكون الأنسجة جميعها إبتدائية، عن المناطق التالية التي قد يحدث بها تغليظ ثانوي.

### المرستيم القمي

تختلف نشأة المرستيم القمي apical meristem باختلاف المجموع النباتية. قد ينشأ المرستيم القمي في الجذر من خلية واحدة قمية apical cell هرمية الشكل عادة، ومن تلك الخلية القمية تتكون أنسجة الجذر المختلفة بما فيها القلنسوة، وذلك كما يحدث في جذور كثير من النباتات السرخسية (شكل ٥).

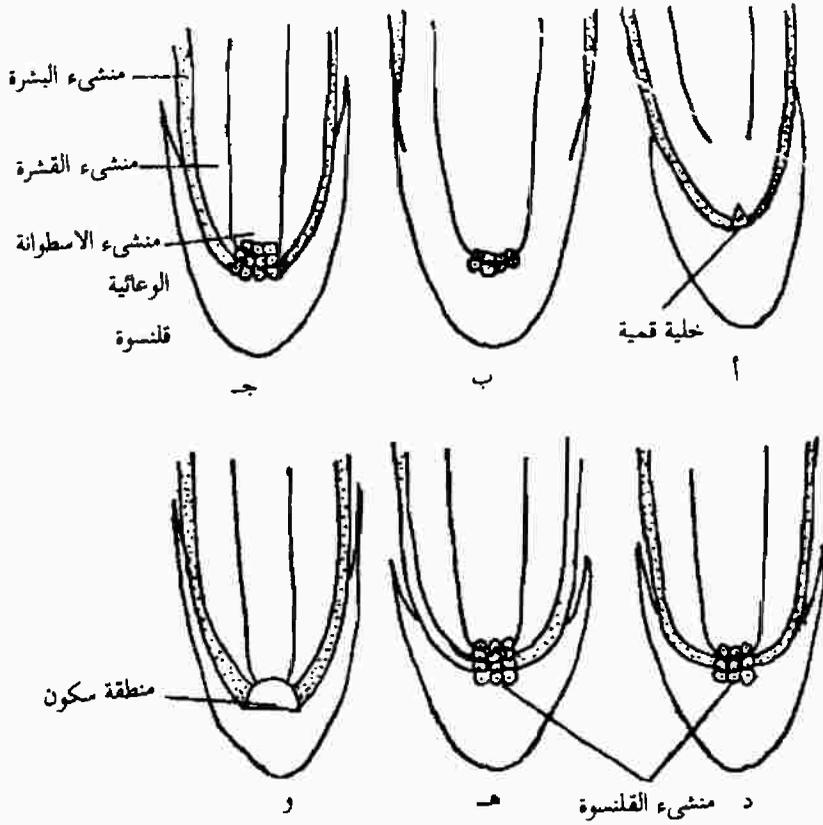
وقد ينشأ المرستيم القمي من مجموعتين من المبادئ المرستيمية initials، المجموعة الداخلية تعطى منشئ الإسطوانة الوعائية plerome، المجموعة الخارجية تنشأ منها البشرة والقشرة والقلنسوة ولا يوجد في هذه الحالة حد فاصل بين منشئ القشرة ومنشئ القلنسوة وذلك كما في جذور النباتات عاريات البذور (شكل ٥).

وقد ينشأ المرستيم القمي من ثلاثة مجاميع من المبادئ المرستيمية وذلك كما في معظم النباتات كاسيات البذور، فتعطي المجموعة الداخلية منشىء الاسطوانة الوعائية وتعطي المجموعة الوسطية منشىء القشرة في حالة النباتات ذات الفلقتين ومنشىء البشرة والقشرة معا في حالة النباتات ذات الفلقة الواحدة، وتعطي المجموعة الخارجية منشىء البشرة والقلنسوة معا في حالة النباتات ذات الفلقتين ومنشىء القلنسوة فقط في حالة نباتات الفلقة الواحدة (شكل ٥).

وقد ينشأ المرستيم القمي من أربعة مجاميع من المبادئ المرستيمية وهي قليلة الوجود كما في جذور بعض نباتات العائلة النجيلية ونبات الفول وبعض النباتات المائية، وهي من الداخل إلى الخارج منشىء الاسطوانة الوعائية plerome ومنشىء القشرة periblem ومنشىء البشرة dermatogen منشىء القلنسوة calyptragen (شكل ٥).

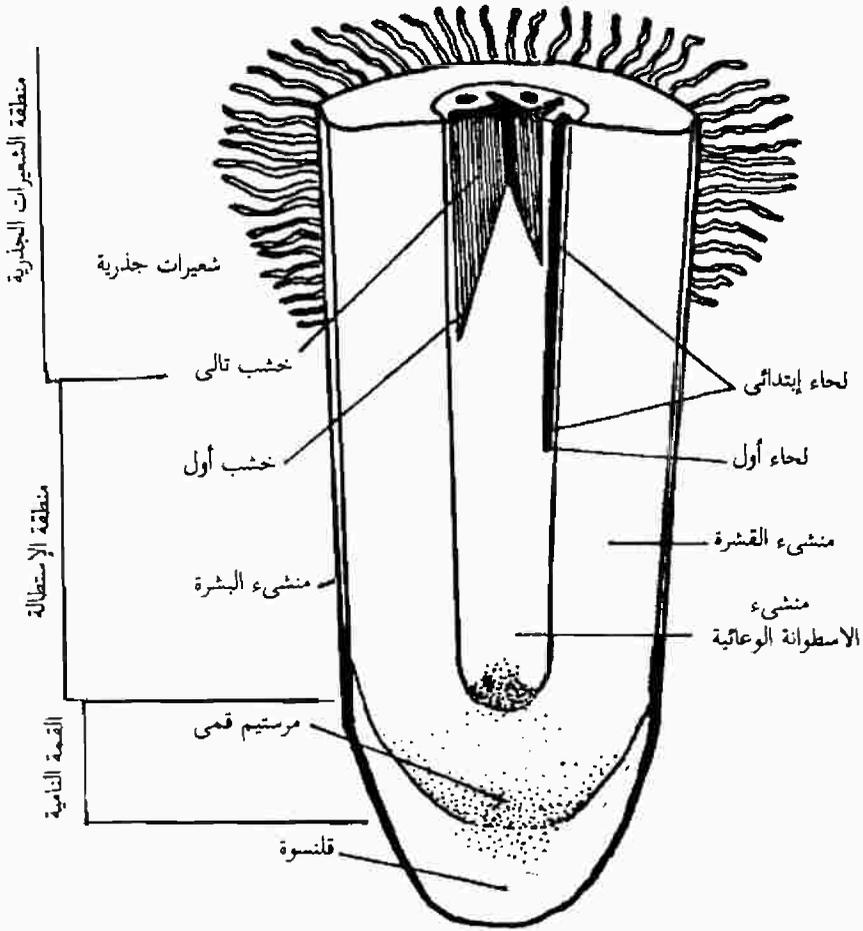
باستخدام النظائر المشعة إتضح أنه يوجد في المرستيم القمي لجذر البصل والذرة منطقة ساكنة quiescent zone لا تنقسم خلاياها أو تنقسم ببطء شديد، في حين تكون الخلايا المحيطة بهذه المنطقة نشطة وتنقسم بسرعة لتكون الأنسجة المرستيمية المنشعة لأنسجة الجذر. والمنطقة الساكنة أقل تأثراً من الأنسجة الأخرى بالأضرار التي تلحق بالجذر، ولذلك فهي تستعيد نشاطها وتكون أنسجة جديدة إذا لحقت بأنسجة الجذر النشطة أضرار توقف نموها (شكل ٥).

بفحص الجذر في منطقة الإستطالة يزداد تمييز كل من منشىء البشرة ومنشىء القشرة ومنشىء الاسطوانة الوعائية. وفي منطقة الشعيرات الجذرية يتم نضج الخلايا وتحدد الأنسجة الابتدائية، فتتشكل خلايا البشرة وتنمو منها الشعيرات الجذرية التي تكبر ثم تختفى في المنطقة الدائمة، كما تتحول خلايا منشىء القشرة إلى خلايا برنشيمية عادة تكون نسيج القشرة، أما منشىء الاسطوانة الوعائية فأول ما يتشكل وينضج منه هو نسيج البريسكل ثم نسيج اللحاء، وتتشكل أوعية الخشب التالي حيث تكبر في الحجم وتظهر بها فجوات عصارية كبيرة، ولكن يتم نضج الخشب من الخارج إلى الداخل أي ينضج الخشب الأول أولاً ثم يليه الخشب التالي (شكل ٦).



(شكل ٥) : الانواع المختلفة لنشوء المرستيم القمي.

- (أ) من خلية واحدة قمية هرمية الشكل .  
 (ب) من مجموعتين من المبادئ المرستيمية .  
 (ج ، د) من ثلاثة مجاميع من المبادئ المرستيمية .  
 (هـ) من أربعة مجاميع من المبادئ المرستيمية .  
 (و) الخلايا المرستيمية حول منطقة سكون .



(شكل ٦) : تحول الأنسجة المرستيمية فى الجذر إلى أنسجة ابتدائية

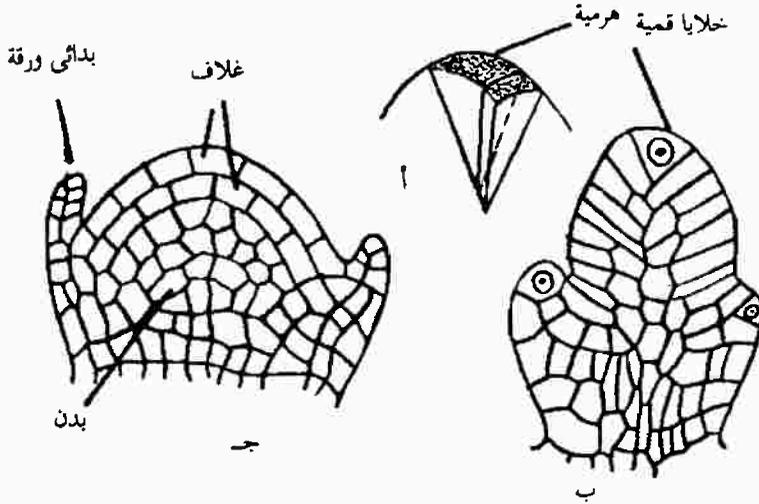
## تشريح الساق

يختلف التركيب النسيجي لسيقان النباتات حسب أنواع تلك النباتات، وكذلك فى النبات الواحد حسب مناطق الساق، فمنطقة القمة النامية للساق تختلف عن منطقة الأنسجة الابتدائية، وهذه تختلف عن منطقة التغليظ الثانوى .

### القمة النامية للساق

بفحص النمو الطرفى للساق نلاحظ وجود قمة مخروطية إلى نصف كروية فى الشكل، تعرف بالمرستيم الإنشائى الأوى *promeristem*، تظهر على جوانبها السفلى نتوءات صغيرة تزداد طولاً كلما إتجهنا إلى أسفل، وتعرف هذه النتوءات بمبادئ الأوراق *leaf primordia*. المرستيم الإنشائى الأوى بالإضافة إلى الأنسجة المرستيمية أسفله والتي لم تتشكل بعد إلى أنسجة ابتدائية وما يحيطها من مبادئ الأوراق يسمى بالمرستيم القمى *apical meristem* ويعرف المرستيم القمى بالقمة النامية، وتعرف القمة النامية بما تغلفها من أوراق صغيرة بالبرعم الطرفى *apical bud*.

توجد أنواع عديدة من القمم النامية تختلف باختلاف النبات فقد تتكون القمة النامية من خلية واحدة قمية ينتج عنها النمو وذلك كما فى كثير من الطحالب والنباتات الحزازية وبعض النباتات التيريدية. وتوجد أشكال عديدة للخلية القمية أكثرها شيوعاً النوع الموجود فى الطحلب البنى ديكتيوتا *Dictyota* الذى ينمو من خلية قمية عدسية الشكل تنقسم لتكون باقى جسم النبات وهذا الطحلب يعطى تفرعاً ثنائياً. والنوع الثانى للخلية القمية يوجد فى النبات التيريدى اكويسيتيم *Equisetum*، والخلية القمية فيه هرمية الشكل، قاعدتها إلى أعلى، وقمتها إلى أسفل، ولها أربعة أسطح، سطح علوى أفقى وثلاثة أسطح جانبية، ويحدث إنقسام الخلية القمية بجدر موازية للأسطح الثلاثة الجانبية مسبباً زيادة ساق النبات طولاً وسمكاً (شكل ٧).



(شكل ٧) : أنواع القمم النامية

(أ) خلية قمة هرمية منقسمة

(ب) قمة نامية للنبات الثيريدي اكوستيم

(ج) قمة نامية مكونة من غلاف وبدن

توجد نظريات مختلفة لتفسير طريقة التكشف في سيقان النباتات الزهرية. أكثر هذه النظريات قبولا تعرف بنظرية الغلاف والبدن *tunica corpus theory* وتفترض هذه النظرية أن المرستيم الانشائي الأولى للساق يتكون من جزئين هما الغلاف *tunica* والبدن *corpus* يتكون الغلاف من طبقة أو أكثر من الخلايا تكون الجزء الخارجى الطرفى من القمة النامية تنقسم خلايا الغلاف بجدر عمودية على السطح الخارجى للقمة النامية مسببة زيادة السطح الخارجى للقمة النامية. يتكون الغلاف عادة، من طبقتين إلى أربع طبقات فى النباتات ذات الفلقتين ومن طبقة واحدة أو طبقتين فى النباتات ذات الفلقة الواحدة. كذلك نجد أن عدد طبقات الغلاف قد تختلف فى النبات الواحد فهى أكثر عددا فى الأفرع الرئيسية عنها فى الأفرع الجانبية . يحيط الغلاف بالبدن الذى يتكون من كتلة من الخلايا المرستيمية التى تنقسم فى جميع الاتجاهات مسببة كبر القمة النامية فى الحجم (شكل ٧).

ويؤدى الإختلاف فى سرعة نمو كل من الغلاف والبدن إلى تكوين مبادئ الأوراق، حيث نجد فى بعض الحالات أن مبادئ الأوراق، تنتج من إنقسام الغلاف فقط. لهذا فإن زيادة النمو السطحي للغلاف عن معدل النمو الحجمي يسبب تكوين مبادئ الأوراق.

فى بعض الحالات يكون التمييز غير واضح بين الغلاف والبدن، وفى هذه الحالة نجد أن الغلاف ينقسم بجدر عمودية على السطح وأحياناً موازية للسطح، ويحدث ذلك فى كثير من النباتات عاريات البذور مثل الصنوبر وقد لا يتميز المرستيم الإنشائي الأولى إلى غلاف وبدن حيث تنقسم الخلايا الخارجية الطرفية للقمة النامية بجدر عمودية وموازية للسطح، وذلك كما فى بعض السرخسيات والأنواع البدائية من النباتات عاريات البذور كالسيكادات.

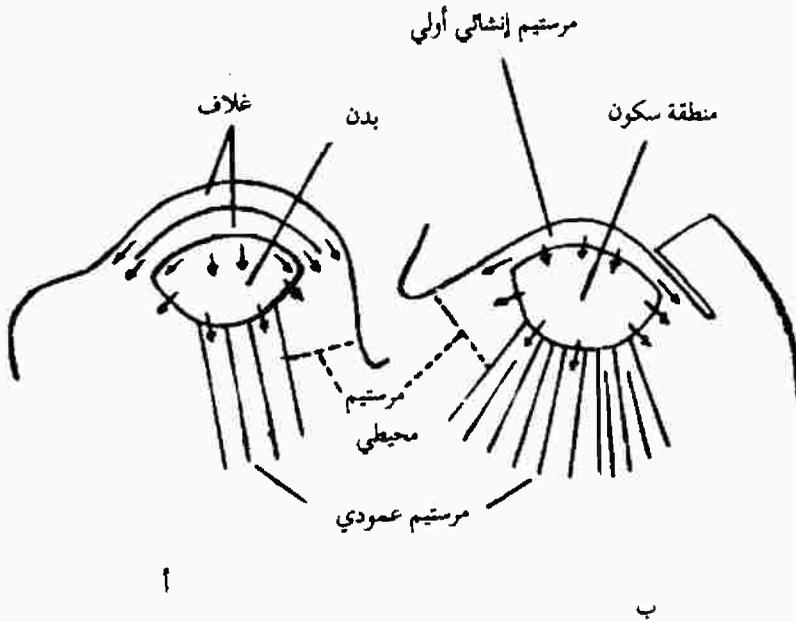
أسفل منطقة الغلاف والبدن توجد منطقة وسطية يبدأ فيها تخصص الأنسجة المرستيمية فسيولوجياً، فالطبقة الخارجية من الغلاف تكون منشىء البشرة protoderm والذي يستمر فى الإنقسام بجدر عمودية على السطح الخارجى مكونا البشرة. وتنقسم باقى الطبقات الداخلية للغلاف إن وجدت فى إتجاهات مختلفة مكونة مرستيم محيطى peripheral، ويتكون بقية المرستيم المحيطى من الجزء الجانبي من البدن. والمرستيم المحيطى هو المسئول عن زيادة القمة النامية فى السمك والطول. يتكشف المرستيم المحيطى بعد ذلك إلى الجزء الخارجى من المرستيم الأساسى ground meristem الذى يعطى بإنقسامه وتشكله نسيج القشرة والأشعة النخاعية والبروكامبيوم procambium، الذى يعطى بإنقسامه وتشكله الحزم الوعائية. الجزء الوسطى من البدن يعطى مرستيم عمودى rib meristem وذلك بإنقسام خلاياه بجدر عمودية على السطح الخارجى فيعطى صفوفاً رأسية من الخلايا، التى تكون الجزء الداخلى من المرستيم الأساسى وهو المسئول عن النمو الطولى للقمة النامية، الذى يعطى بإنقسامه وتكشفه نسيج النخاع (شكل ٨). يحدث معظم الإنقسام فى منطقة البدن فى الجوانب والقاعدة، وأقلها فى الجزء المركزى. وفى بعض النباتات

كالصنوبر توجد في منطقة البدن منطقة سكون ثابتة لا تنقسم خلاياها، وينشأ المرستيم المحيطي والعمودي من الخلايا المرستيمية المحيطة بقاعدة وجوانب هذه المنطقة (شكل ٨).

### قياس النمو

#### The Measurement of Growth

يمكن تعريف النمو أنه زيادة غير عكسية irreversible increase في الحجم وذلك لاستبعاد حالات الضغط الأسموزي المختلفة وانتفاخ الخلايا حيث أن إنتفاخ الخلايا في هذه الحالات يكون عكسي وأيضاً إستبعاد حالة إنتفاخ الخشب نتيجة لتشربه بالماء.



(شكل ٨) : تكشف المرستيم الانشائي الأولي في (أ) و (ب) الصنوبر .

يستعمل فى قياس النمو الطول أو المساحة أو الوزن. يمكن قياس حجم النسيج بقياس أبعاده. يمكن قياس الوزن الرطب fresh weight بالميزان. تعتبر القياسات للطول أو الوزن أو المساحة أكثر تفضيلاً عن قياس الحجم.

يعتبر قياس النمو الطولى للساق أحد القياسات المقبولة والتي تعطى فكره عامة عن نمو النبات حيث أن نمو الساق مرتبط بنمو النبات. ولذلك فإن نمو عضو معين مثل الساق يمكن أن يكون دليل على نمو النبات. تعتبر أيضاً القياسات الطولية للخلايا linear measurement دليل على نمو الخلية. يمكن عمل علاقة أو إرتباط بين قياسات النمو الطولى والحجم أو الوزن وذلك بقياس النمو الطولى يمكن التكهّن prediction بالحجم أو الوزن كما فى المعادلة الآتية.

$$\log y = K \log x + \log b$$

حيث أنه

$$y = \text{الحجم أو الوزن}$$

$$x = \text{الطول أى قياس الطول linear measurement}$$

$$k = \text{معامل إرتباط correlation coefficient}$$

$$b = \text{ثابت constant}$$

يمكن أيضاً إستعمال مساحة الأوراق كدليل على حالة النمو . يمكن حساب مساحة الأوراق بطرق عديدة منها ورق المربعات أو البلاينيتر أو أجهزة متخصصة فى قياس شدة الضوء الممتص أو بواسطة التصوير. يمكن الربط بين قياس المساحة للأوراق وبين طولها وعرضها فى عينات من الأوراق. بعد ذلك يمكن إستنتاج مساحة الورقة بقياس طولها وعرضها فقط من المعادلة الآتية:

$$A = K.L.W$$

$$A = \text{مساحة الورقة}$$

$$L = \text{طول الورقة}$$

$$W = \text{عرض الورقة}$$

$$K = \text{معامل الإرتباط}$$

تستعمل قياسات الوزن الجاف بكثرة لتقدير النمو. يعتبر قياس الوزن الجاف من أفضل وأدق طرق قياس النمو وهي تستعمل بكثرة. يمكن قياس الإنتاجية الابتدائية primary productivity للنبات أو للنباتات عن طريق قياس الوزن الجاف. ويمكن تقدير الإنتاجية الابتدائية تبعاً للمعادلة التالية:

$$P_n = \Delta B + L$$

$P_n$  = وزن المادة الجافة المتكونة في مدة القياس أو مدة التجربة net dry-matter أى الزيادة في وزن المادة الجافة الكلية .

$\Delta B$  = الزيادة الكلية في الوزن الجاف في فترة التجربة net dry-matter production

$L$  = الفقد في المادة الجافة نتيجة لموت النبات أو تغذية الحيوان عليه في فترة التجربة.

لا يدخل في حساب  $P_n$  الفقد بواسطة التنفس. وفي حالة حساب الفقد نتيجة للتنفس في هذه المعادلة يسمى الناتج من هذه المعادلة أى gross productivity  $P_g$  بدلا من  $P_n$ .

### حركات النمو Growth Kinetics

قبل شرح حركات النمو في النباتات الراقية سيتم شرح حركات النمو في الكائنات وحيدة الخلية كالبكتريا والخميرة والتي تتكاثر بالإنقسام البسيط أو بالتبرعم وأيضا في النباتات عديدة الخلايا والتي تتكاثر بطريقة تشبه التبرعم مثل نبات *Lemna* ومنه عدس الماء *Lemna minor*

أ- حركات النمو فى الكائنات الحية الدقيقة أو ما يشابهها:

ومن أمثلة هذه الكائنات البكتريا والخميرة والطحالب وحيدة الخلية مثل الكلاميدوموناس واليوجلينا ويمكن تطبيق ذلك على النادر من النباتات الزهرية مثل عدس الماء.

عند وجود الكائن الحى الدقيق فى ظروف بيئية غير متغيرة فإن سرعة إنقسام الكائن الحى تكون ثابتة. مع افتراض آخر أن جميع الخلايا الناتجة تنقسم تلقائياً فى آن واحد. وفى هذه الحالة فإن الخلية الواحدة تنقسم لتصبح خليتين أى عدد الخلايا بعد الجيل الأول ويرمز له الرمز  $n$

$$2 = 2 \times 1 = n$$

وإذا حدث إنقسام آخر تصبح  $n$  بعد الجيل الثانى

$$4 = 2 \times 2 \times 1 = n$$

وإذا حدث إنقسام ثالث تصبح  $n$  بعد الجيل الثالث

$$8 = 2 \times 2 \times 2 \times 1 = n$$

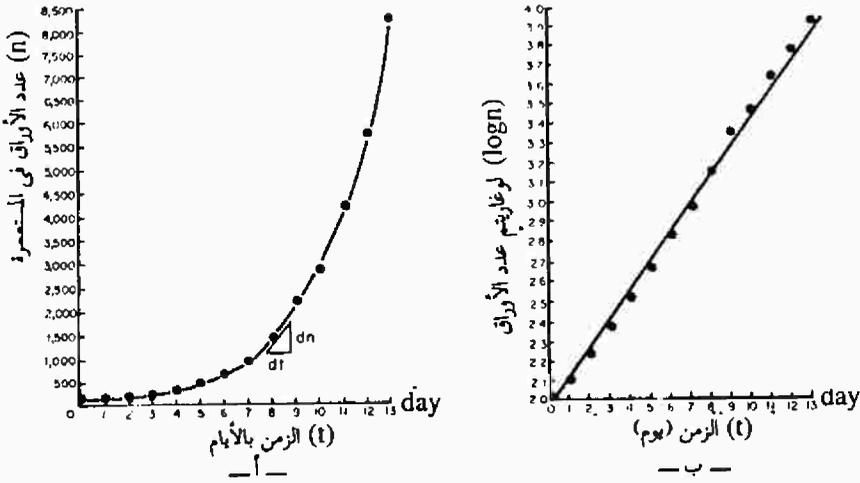
إذن فعدد الخلايا الناتجة  $n$  بعد مرور عدد من الأجيال يرمز له  $x$  يصبح

$$n = 2^x$$

وعادة لا يبدأ الأنقسام بخلية واحدة حيث يوجد مجموع من الخلايا قد يكون قليل أو متوسط أو كثير ويرمز لذلك العدد من الخلايا عند بداية الإنقسام الأول بالرمز  $n_0$

$$n = n_0 \times 2^x$$

يمكن رسم منحنى من المعادلة حيث يتم وضع  $n$  على المحور الصادى وعدد الأجيال أو الزمن على المحور السينى (شكل ٩).



(شكل ٩) : منحنيات النمو لنبات عدس الماء

أ - العلاقة بين عدد المتفرقات (الأوراق) والزمن

ب - العلاقة بين لوغاريتم عدد المتفرقات والزمن .

يمكن كتابة المعادلة السابقة كما يأتي

$$(١) \quad \log n = \log n_0 + x \log 2$$

يتضح من المعادلة السابقة أن العلاقة بين عدد الخلايا الناجمة وعدد الأجيال ولكن عملياً والأكثر وضوحاً وتطبيقاً هو إيجاد العلاقة بين عدد الخلايا الناجمة  $n$  والزمن  $t$ . وإذا كان الزمن اللازم لحدوث عدد من الأجيال ويرمز له بالرمز  $x$  وأن مدة الجيل يرمز لها بالرمز  $g$  فإن

$$x = t/g$$

وبالتعويض في المعادلة (1) فإن المعادلة يمكن كتابتها كالتالي :-

$$\log n = \log n_0 + t/g \log 2$$

يعتبر  $\log 2/g$  ثابت ويرمز له  $k$

ولذلك فإن المعادلة تصبح

$$(2) \quad \log n = \log n_0 + kt$$

تعتبر المعادلة السابقة linear equation من النوع  $y = a + bx$

حيث أن  $\log n_0$  عبارة عن  $a$

وحيث أن  $k$  عبارة عن  $b$

ولذلك عند رسم منحنى بياني من المعادلة السابقة وذلك بوضع لوغاريتم عدد الخلايا الناتجة بعد الإنقسام على المحور الصادي ووضع الزمن  $t$  على المحور السيني فإن المنحنى الناتج يكون خط مستقيم (شكل ٩). وقد وجدت هذه العلاقة في كثير من الكائنات الذي تتكاثر بالإنقسام مثل البكتريا أو بالتبرعم مثل الخميرة وعدس الماء. وتسمى الكائنات التي تزيد في العدد تبعاً للمعادلة السابقة وينتج عنها خط مستقيم بأنها تزداد logarithmic أى exponentially.

في حالة المنحنى (شكل ٩) يوضح الزيادة في عدد وحدات fronds في نبات عدس الماء في المستعمرة ولذلك فإن سرعة النمو في المستعمرة growth rate عند أي زمن تكون نتيجة للزيادة في عدد الوحدات fronds ويرمز له  $dn$  في زمن معين  $dt$  ولذلك فإن

$$\text{سرعة النمو} = dn/dt = \text{growth rate}$$

تمثل قيمة  $dn/dt$  درجة ميل slope المنحنى عند زمن معين  $t$  ويكون أي زمن مطلوب. حيث أن سرعة النمو تختلف باختلاف الزمن وحيث أن درجة الميل تزداد تدريجياً مع الزمن. وفي حالة إنقسام جميع الخلايا بنفس السرعة  $r$  في أي زمن  $t$  فإن سرعة نمو المستعمرة تكون متناسبة مع عدد الخلايا أي  $dn/dt \propto n$

وحيث أن سرعة إنقسام الخلايا ثابتة  $r$  فإنه بمرور الزمن يزداد العدد الكلي للخلايا أو fronds. ولذلك فإن القيمة  $r$  تكون عبارة عن الزيادة في عدد الخلايا في فترة زمنية محددة محدودة مقسومة على عدد الخلايا أو fronds المنقسمة ولذلك تكون المعادلة كالآتي

$$r = \frac{dn}{dt} \cdot \frac{I}{n}$$

تعتبر قيمة  $r$  في المعادلة السابقة عبارة عن سرعة نمو نسبية relative growth rate  
يتضح أن سرعة النمو الكلية أو المطلقة absolute growth rate تزداد مع الزمن ولكن  
تبقى سرعة النمو النسبية ثابتة .

ولذلك يمكن كتابة المعادلة رقم ٢ وهي

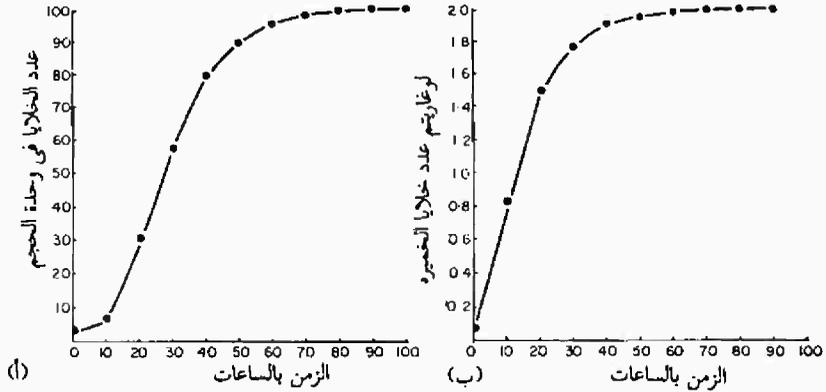
$$\log n = \log n_0 + kt$$

في الشكل الآتي

$$(٣) \quad \dots\dots\dots n = n_0 e^{kt}$$

حيث أن  $e$  هي الأساس للوغاريتم وهي تساوي ٢,٧١٨٢ .

ولكن في الطبيعة لا يستمر النمو للمستعمرة إلى مالا نهاية حيث توجد عوامل  
في البيئة تقلل من سرعة النمو وهكذا حتى يتوقف النمو تماماً ومثال ذلك قلة  
مصدر الغذاء في البيئة أو تكون إفرازات سامة إلخ . ومثال ذلك في أنبوبة الإختبار في  
المعمل أو في طبق بتري أو في بيئة مائية لعُدى الماء فإن مصدر الغذاء في البيئة يقل  
وهكذا حتى يتوقف النمو ولذلك فإن بدلاً من وجود منحنى من نوع exponential  
لعدد الخلايا أو fronds فإننا سنحصل على منحنى sigmoid (شكل ١٠) . حيث  
تزداد سرعة النمو حتى حد معين ثم تقل تدريجياً حتى صفر . ولكن عند وضع  
 $\log n$  على المحور الصادي ووضع الزمن على المحور السيني فإن المنحنى سيكون  
مستقيم نتيجة لزيادة سرعة النمو ثم يقل النمو ولذلك يحدث إنحناء للمنحنى  
(شكل ١٠) . من المعروف أنه تتكون مركبات ضارة أو سامة تسبب ضعف أو وقف  
النمو staling factors في مزارع البكتريا والخميرة والفطريات والطحالب مثل  
*Chlorella* .



(شكل ١٠) : منحنيات النمو لخلايا الخميرة

أ - العلاقة بين عدد خلايا الخميرة في وحدة الحجم والزمن .

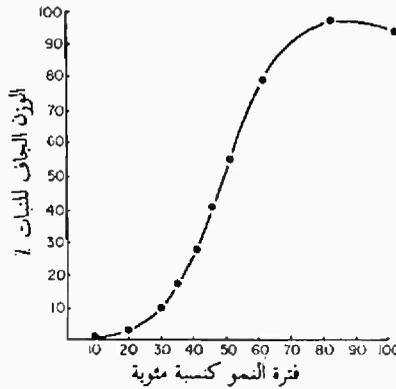
ب - العلاقة بين لوغاريتم عدد خلايا الخميرة في وحدة الحجم والزمن .

ب - حركات النمو في الكائنات عديدة الخلايا:

١ - المراحل الأولى والوسطية من النمو

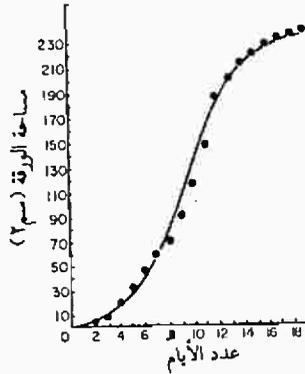
يعتبر منحنى شكل حرف S أى منحنى sigmoid أى S-shaped curve السابق شرحه في الكائنات والنباتات وحيدة الخلية وما يشابهها يماثل تماماً منحنى النمو للنباتات الزهرية وعاريات البذور والسرخسيات (شكل ١١) .

الوزن الجاف للنبات %



(شكل ١١) : منحنى النمو لنبات الشعير

وعلاوة على ذلك يمثّل منحنى نمو أى عضو من أعضاء النبات individual organs مثل الأوراق أو السلاّميات (شكل ١٢).



( شكل ١٢ ) : منحنى النمو لورقة نبات الخيار

يزداد حجم أو وزن النبات الجاف فى المراحل الأولى geometrical progression or exponentially. ولقد وضع عالم فسيولوجى النبات القديم V.H. Blackman عام ١٩١٩ أن نمو المرحلة الأولى من نمو البادرات تتبع قانون الفائدة المركبة compound interest law فى نموها وذلك كما فى المعادلة رقم ٤

$$(٤) \quad \dots\dots\dots W = W_0 e^{rt}$$

حيث أن

$w$  = وزن النبات بعد زمن معين من بداية التجربة ويرمز له  $t$  عادة الوزن الجاف.

$W_0$  = وزن النبات عند بداية التجربة أو القياس. عادة الوزن الجاف.

$r$  = سرعة النمو النسبية مقدرة بالوزن وكانت تقدر بسرعة إنقسام الخلايا.

$e$  = قاعدة اللوغاريتم الطبيعي ويسمى exponential coefficient.

يمكن أن نقارن المعادلة رقم ٤ بالمعادلة رقم ٣ وهما تقريباً متماثلتان.

يمكن كتابة المعادلة رقم ٤ كما يلى :

$$\log W = \log W_0 + rt \log e$$

هذه المعادلة تكون أيضاً من نوع المعادلة:

$$y = a + bx$$

يعنى ذلك أننا لابد أن نحصل على خط مستقيم عند وضع لوغاريتم الوزن على المحور الصادى والزمن  $t$  على المحور السينى وذلك فى المراحل الأولى من النمو على الأقل . حيث يمكن أن يكون الخط مستقيم أو يكون مستقيم ثم منحنى .

ومن المعادلة رقم ٤ يتضح أن الوزن الجاف النهائى dry weight يعتمد على الوزن الجاف عن بداية التجربة  $W_0$  وعلى سرعة الريح rate of interest أى سرعة الزيادة فى الوزن الجاف ويرمز له  $r$  وعلى الزمن ويرمز له بالرمز  $t$ . سرعة الريح تمثل كفاءة النبات فى إنتاج مادة جديدة أى تخليق مركبات جديدة أى سرعة البناء وقد سماه Blackman دليل كفاءة إنتاج الوزن الجاف efficiency index of dry weight production حيث أن فرق بسيط بين نباتين فى هذا الدليل أى فى الإنتاج يسبب فرق كبير وملحوظ فى المحصول الكلى total yield ويزداد الفرق كلما زادت فترة النمو .

يجب ملاحظة أن دليل الكفاءة efficiency index هو عبارة عن سرعة النمو النسبية relative growth rate أى عبارة عن .

$$dW / W . dt$$

وذلك كما سبق شرحه فى نمو مستعمرات الكائنات وحيدة الخلايا .

عندما يكون efficiency index أى سرعة النمو النسبية relative growth rate تبقى ثابتة أثناء exponential growth phase فإن الزيادة المطلقة absolute increments فى وحدة الزمن per unit time تزداد . ولذلك فإن الزيادة المطلقة absolute increments فى النمو فى فترة زمنية  $dt$  يكون

$$( W \times \frac{r}{100} ) . dt$$

ولذلك فإن سرعة النمو المطلقة في أى وقت أو فى أى فترة زمنية تكون منسوبة أو نسبية proportional إلى حجم النبات فى ذلك الوقت. ويمكن شرح ذلك أنه فى حالة البادرة وعندما يصبح البناء الضوئى فعال فى هذه المرحلة من حياة النبات فإن قدرة النبات على تخليق مركبات جديدة أى قدرة النبات على البناء ويعبر عنها بالوزن الجاف للبادرة يتوقف أساساً على مساحة سطح الورقة أو الأوراق لهذه البادرة. أى بمعنى آخر يزداد النمو أى يزداد الوزن الجاف كلما زادت مساحة الأوراق. أى أن النمو أى الوزن الجاف له علاقة بمساحة الأوراق وأنه يتناسب معها.

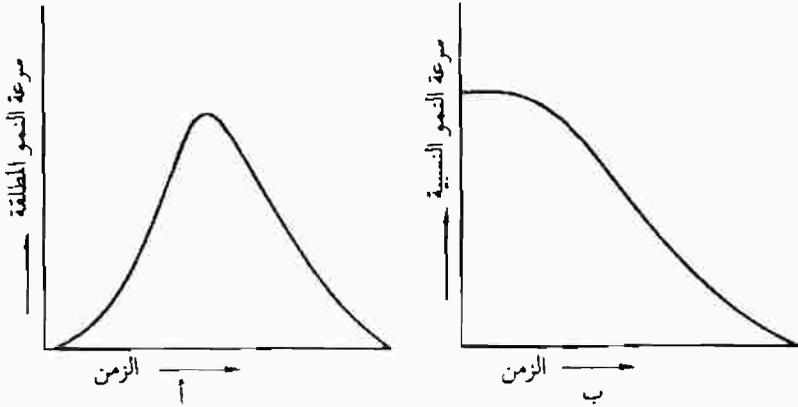
وبعد مرحلة البادرة فإن النبات ينمو وتزداد مساحة الأوراق. ولذلك فإن سرعة البناء أى سرعة تخليق مواد جديدة أى سرعة زيادة الوزن الجاف سوف تزداد تبعاً لزيادة مساحة الأوراق

## ٢ - المراحل الأخيرة من النمو Later Phases of Growth

يحدث فى النباتات الزهرية والسرخسية وعاريات البذور ما يحدث فى الكائنات وحيدة الخلية أو ما يشابهها حيث أنه فى المراحل الأخيرة من النمو تقل سرعة النمو تدريجياً وينتج عن ذلك منحنى sigmoid ولذلك يمكن تقدير سرعة النمو المطلقة فى الكائنات الوحيدة الخلية وكما سبق ذكره بواسطة قياس درجة ميل slope للمنحنى أى  $dn/dt$  أما فى حالة النباتات الزهرية وما يشابهها فإن ذلك يحدث أيضاً بقياس درجة ميل المنحنى  $dw/dt$  أى فى أى فترة زمنية. وعند رسم الناتج على منحنى حيث يوضح سرعة النمو المطلقة على المحور الصادى والزمن على المحور السينى فسينتج منحنى يشبه منحنى التوزيع الطبيعى (شكل ١٣ أ). حيث نجد فى هذا المنحنى قمة هى عبارة عن مكان (الأنحناء أو تغيير الاتجاه فى منحنى sigmoid وهذه القمة هى عبارة عن سرعة النمو العظمى maximum للنبات أو للعضو النباتى وبعد ذلك تقل سرعة النمو تدريجياً حتى تصبح صفر. وفى حالة أخرى عندما ننسب سرعة النمو النسبية إلى الزمن أى

$$dw / w . dt$$

فإننا نحصل على منحنى معين ( شكل ١٣ ب ).



( شكل ١٣ ) : منحنيات النمو

أ - سرعة النمو المطلقة

ب - سرعة النمو النسبية

ومما سبق يتضح أن سرعة النمو النسبية (RGR) تستمر ثابتة في المراحل الأولى والمتوسطة ولكن في المراحل الأخيرة فإنها تقل. تختلف التغيرات في RGR بالنسبة للزمن أي بالنسبة لعمر النبات من نبات إلى آخر ومن ظروف بيئية إلى أخرى. أحياناً قليلة وجد أنه يقل تدريجياً بانتظام ثابت منذ بداية النمو ولذلك لا تحدث مرحلة الخط المستقيم exponential phase.

تعتبر الأوراق هي الأجزاء التي تدخل مباشرة في تخليق مركبات جديدة أو بمعنى آخر هي العضو أو الأجزاء الرئيسية التي تسبب البناء أي تخليق مركبات جديدة وأيضاً هي المسؤولة عن نقص سرعة البناء تدريجياً. ولذلك توجد علاقة وثيقة بين مساحة الورقة والوزن الجاف للنبات ولذلك فإن المعادلة الخاصة بمساحة الأوراق إلى وزن النبات الجاف تقل أيضاً قيمتها تدريجياً في المراحل الأخيرة من عمر النبات

$$\text{leaf / weight ratio (LWR)} = \frac{\text{total leaf area (L)}}{\text{total dry weight (W)}}$$

$$LWR = \frac{\text{المساحة الكلية للأوراق}}{\text{الوزن الجاف للنبات}}$$

ولذلك فإن سرعة النمو النسبية تقدر كما في المعادلة التالية :

$$RGR = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{I}{w}$$

وعند حساب مساحة الأوراق في المعادلة السابقة وذلك بالقسمة على مساحة الورقة أى L فإن المعادلة تكون كالتالى :

$$RGR = \frac{dW}{L} \cdot \frac{L}{W} \cdot \frac{I}{dt}$$

تعبّر المعادلة الآتية عن صافى سرعة البناء (NAR) net assimilation rate

$$NAR = \frac{dW}{L} \cdot dt$$

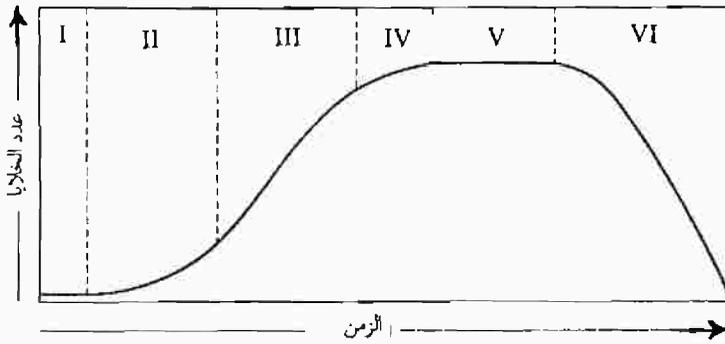
وتعبّر المعادلة السابقة عن قياس سرعة الزيادة فى الوزن الجاف لكل وحدة مساحة للأوراق نتيجة لعملية البناء الضوئى مطروحاً منها الفقد فى الوزن نتيجة للتنفس ولذلك تعتبر صافى سرعة البناء . ولذلك تعتبر NAR هى مقياس لكفاءة النبات فى إنتاج الوزن الجاف . وفيما يلى سيتم دمج ثلاث قياسات فى المعادلة التالية .

$$RGR = NAR \times LWR$$

عامه تنخفض قيم NAR و LWR فى المراحل الأخيرة من النمو وينتج عن ذلك خفض قيمة RGR . وتقدير قيمة RGR لمحاصيل عديدة دليل هام واضح على سرعة نموها .

توجد أمثلة كثيرة توضح وجود منحنى sigmoid فى النباتات وحيدة الخلية مثل الطحالب وفى النباتات الراقية أو أجزائها. يوجد هذا المنحنى فى حالة طحلب اليوجلينا حيث تنقسم الخلية إلى خليتين وتكبر الخلية فى الحجم وهكذا يتكرر إنقسام الخلية. تقل سرعة النمو نتيجة لقلّة الموارد الغذائية أو نتيجة لتكون مركبات سامة فى البيئة أو كلاهما. يعتبر طحلب اليوجلينا من الطحالب وحيدة الخلية أو من الحيوانات الأولية وحيدة الخلية (شكل ١٤). وأيضاً حالة شعرة القطن حيث أن منحنى نمو الشعرة يكون sigmoid. شعرة القطن تتكون من إمتداد لخلية بشرة بذرة القطن ولذلك فإن الشعرة تتكون من خلية واحدة ، وعند نزع الشعرة فى بداية تكوينها من بذرة القطن وتنميتها على بيئة صناعية فى المعمل *in vitro* فإنها تنمو على البيئة حتى تصل تمام نموها وظولها . وفى أثناء هذه المراحل يتم تقدير الوزن الجاف وينتج عن ذلك منحنى sigmoid ( شكل ١٤).، وفى حالة أخرى أى حالة نالثة تم تقدير الوزن الجاف أثناء مراحل النمو المختلفة للسيقان المتحورة والمسماه pads لنبات شبيه بالتين الشوكى *Opuntia basilaris* فى الربيع. وجد أن نوعين من pads هما A , B يوجدان على نفس النبات لهما منحنى sigmoid ولكن فى حالة الساق B فإن مرحلة الركود lag phase أى الفترة التى تكون فيها سرعة النمو منخفضة تكون حوالى عشرون يوماً وهى أطول منها فى حالة الساق A . تلى مرحلة lag phase فترة النمو الكبير Grand period of growth أى مرحلة يكون فيها سرعة النمو كبيرة. ولكن فى حالة الساق padc فإنها لا تنمو بدرجة كبيرة إلا فى الصيف ونموها فى الربيع يكون محدود وهى توجد على نفس النبات وأيضاً أنها تظهر حالة منحنى sigmoid (شكل ١٤).

ومن هذه الأمثلة يتضح أن منحنى sigmoid يبدأ بمرحلة lag phase أى مرحلة الركود أو ببطء النمو ثم يلي ذلك مرحلة log phase أى مرحلة النمو اللوغاريتمى أى مرحلة Grand period أى مرحلة النمو السريع. تتكون هذه المرحلة من ثلاثة مراحل وهى مرحلة النمو ذو السرعة المتزايدة acceleration phase ومرحلة النمو ذو السرعة الثابتة exponential phase ومرحلة النمو ذو السرعة المتناقص deceleration phase .



(شكل ١٤) : منحنى النمو للطحالب ذات الخلية الواحدة

I مرحلة الركود lag phase

II مرحلة النمو والسرعة المتزايدة acceleration phase

III مرحلة النمو ذو السرعة الثابتة exponential phase

IV مرحلة النمو ذو السرعة المتناقصة deceleration phase

V مرحلة النمو الثابت stationary phase

VI مرحلة الشيخوخة أو الموت decline phase

مرحلة النمو  
السريع أو النمو  
اللوغاريتمي

ثم ينتهي بمرحلة ثالثة هي مرحلة الثبات stationary phase حيث يوجد توازن بين عدد من الخلايا المنقسمة وعدد الخلايا الميتة. وفي بعض الأحيان توجد مرحلة رابعة هي مرحلة التناقص أو الموت أو الشيخوخة decline or death or senescence حيث يختل التوازن ويزداد عدد الخلايا الميتة عن عدد الخلايا المنقسمة . يلاحظ مما سبق أيضاً أنه يوجد منحنى نمو sigmoid لجميع أنواع السيقان على النبات الواحد ولكنها تختلف في درجة تماثل المنحنى حيث أن عدم التماثل يكون أساساً في الجزء الوسطى من المنحنى حول منطقة إنحناء الخط المستقيم من المنحنى أي عند إنحناء الخط المستقيم . ومن هذه الحالة الأخيرة يمكن أن نستنتج أستنتاج عام هو أن أجزاء النبات الواحد تنمو بسرعات مختلفة حيث أن السيقان تنمو بسرعات مختلفة عن الجذور وكلاهما ينمو بسرعات مختلفة عن الأوراق وذلك في النبات الواحد. وأيضاً فإن الأوراق المختلفة على النبات الواحد تنمو بسرعات مختلفة كما هو الحال في سيقان نبات *Opuntia*.

## الصعوبات فى تقدير نمو النبات الكامل:

يعتبر تقدير نمو النبات الكامل صعب إلى حد كبير. حيث لا بد من قياس سرعة النمو للأجزاء فوق سطح التربة أى المجموع الخضرى وللأجزاء الأخرى تحت سطح التربة أى المجموع الجذرى. كما أن سرعة نمو الجذور تختلف عن سرعة نمو السيقان وأحياناً يكون النمو فى فترتين مختلفتين، وعادة يكون نمو وتكوين الجذور سابق لنمو السيقان والأوراق. وعادة يكون النمو متقطع intermittent فى الجذور والسيقان للنباتات الخشبية المعمرة فى المناطق المعتدلة من الكرة الأرضية. يوجد فى بعض الأشجار فترة نمو واحدة فى الربيع بعد فترة السكون فى الشتاء مثل البلوط و ashes والأسفندان وبعض المخروطيات ذات المناطق المعتدلة، وفى بعض الأشجار توجد فترات نمو متقطع أثناء موسم النمو فى الربيع وأوائل الصيف عادة مثل العديد من المخروطيات. ونظام النمو المتقطع شائع الوجود فى المناطق الإستوائية وتحت الإستوائية. كما أن النمو يختلف على مدار اليوم الواحد diurnal growth حيث يزداد أثناء الليل وحيث درجة الحرارة ملائمة وحيث الإرتزان فى العلاقات المائية للنبات وبالتالي تقل سرعة النمو فى النهار. يمكن أيضاً أن يكون نمو الجذور فى نظام متقطع. كما أن القمم النامية للجذور قد تنمو فى أزمنة مختلفة وليست فى نفس الفترة فى النبات الواحد. وجد أيضاً أن الجذور فى المناطق المعتدلة يمكن أن تنمو وحتى فى الشتاء وحيث أن نمو المجموع الخضرى متوقف تماماً أى أنه فى هذه المناطق المعتدلة يمكن أن يتوقف نمو المجموع الخضرى فى الشتاء ولكن يستمر نمو الجذور. ولذلك فإن التقدير الفعلى لسرعة نمو النبات يكون من الصعوبة بمكان ولذلك يستعاض عن ذلك بمعادلات خاصة تقديرية لسرعة النمو حيث يكون من الصعوبة أو المستحيل القياس المباشر لسرعة نمو أجزاء النبات المختلفة. ومن المعادلات المناسبة والفعالة فى قياس سرعة نمو النبات هى NAR و LWR و RGR والسابق ذكرها.

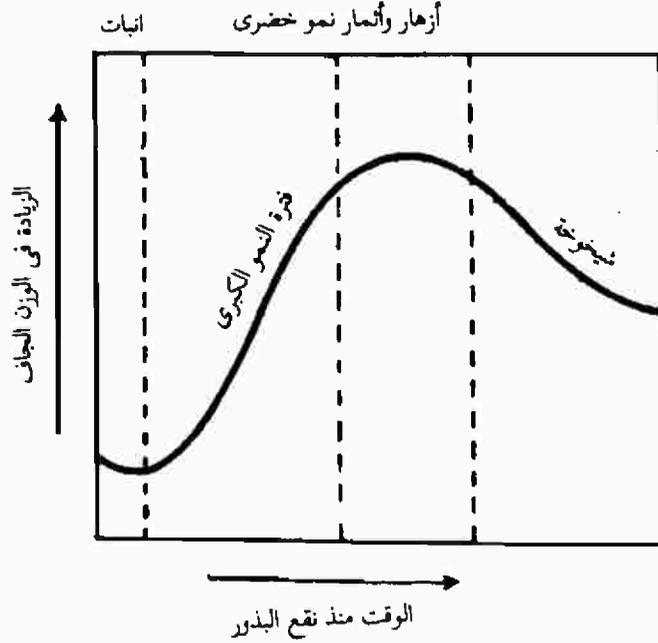
وعند تقدير النمو بالوزن الجاف للمجموع الخضرى أو أجزائه فيجب التنويه أن هذا الوزن هو الظاهرى حيث أن جزء من المركبات المتكونة قد فقد نتيجة للتنفس وجزء آخر قد فقد نتيجة لإنتقاله إلى المجموع الجذرى.

تقدير منحنى النمو أثناء أطوار نمو النبات:

عند تقدير النمو أثناء مراحل نمو النبات المختلفة وذلك بتقدير الوزن الجاف ورسم ذلك في صورة منحنى فإن المنحنى الناتج يكون في صورة حرف S. ويسمى منحنى S للنمو أو منحنى سيجمما للنمو S - or Sigmoid growth curve (شكل ١٥). ويختلف هذا المنحنى قليلاً عن منحنيات نمو أعضاء النبات حيث أنه في هذه الحالة أثناء مرحلة الإنبات يقل الوزن الجاف للنبات وهذه الحالة لا تحدث في حالة تقدير النمو لأعضاء النبات المختلفة. ثم يصبح المنحنى بعد ذلك مماثل لمنحنيات نمو أعضاء النبات.

حيث تزداد سرعة النمو بدرجة كبيرة وسرعة ثابتة تقريباً أثناء مرحلة النمو الخضري ثم تقل سرعة النمو أثناء مرحلة الإزهار والإثمار وقد يقل الوزن الجاف أثناء مرحلة الشيخوخة. جميع النباتات التي تزرع بالبذرة تأخذ شكل هذا المنحنى ولكن يختلف مستوى مسار هذه المنحنيات تبعاً لنوع النبات. تسمى مرحلة النمو الخضري بفترة النمو الكبرى Grand period of growth. تختلف فترة مرحلة النمو الخضري باختلاف نوع النبات فقد تستمر عدة أسابيع في بعض النباتات الحولية كالذرة والشعير وقد تمتد إلى عدة أشهر في نباتات أخرى كالقطن والبرتقال.

وقد لوحظ أن إزالة الأزهار والثمار حديثة التكوين يساعد على استمرار النمو الخضري في نباتات كثيرة. ففي نبات الطماطم مثلاً تقل سرعة النمو الخضري بعد تكوين الثمار، أما إذا أزيلت هذه الثمار تبعاً عند حداثة تكوينها، فإن النبات ينمو خضرياً لفترة أطول. ومن المعروف عملياً بين منتجي الإزهار أن قطف أزهار البسلة مثلاً قبل أن تتم عملية التلقيح به وقبل أن يبدأ تكوين الثمار، يؤدي إلى انتعاش النمو الخضري وامتداد فترة الإزهار. وفي الأشجار المعمرة كالبرتقال والتفاح والزيتون، تقل سرعة النمو الخضري في فصل الشتاء البارد، وتزداد في الفصول الأخرى الأكثر دفئاً وتبدو هذه الظاهرة أكثر وضوحاً في النباتات متساقطة الأوراق مثل التفاح والكمثرى والمشمش والكرز، حيث تنساقط أوراقها في الخريف، وتمضي البراعم فترة من السكون تمتد خلال الشتاء، ثم تنشط مرة أخرى في الربيع.



( شكل ١٥ ) : التغير العام في الوزن الجاف للنبات أثناء مراحل النمو المختلفة

تفسير شكل منحنى النمو في الطحالب وحيدة الخلية والبكتريا:

يلاحظ من المنحنى في البكتريا والخميرة والطحالب ذات الخلية الواحدة أنها تتوقف عن الإنقسام لفترة عقب تلقيح البيئة الغذائية. وبعد إنتهاء هذه الفترة تبدأ الخلايا في الإنقسام ولكن ببطء ملحوظ ثم يسرع معدل الإنقسام حتى يصل إلى درجة يثبت عليها سرعة الإنقسام.

وتعرف الفترة التي يتوقف فيها الإنقسام باسم طور الركود lag phase وفي هذه الفترة تحدث عدة تغيرات كيميائية داخل الخلية بالرغم من توقف الخلية عن الإنقسام. والفترة من دورة النمو التي تنقسم فيها الخلايا بسرعة واضحة والتي يثبت فيها الوقت الجيلي تعرف بطور النمو اللوغاريتمي logarithmic or exponential phase growth ويرمز له عادة بالرمز (log phase).

ويميل بعض الباحثين إلى اعتبار المرحلة الأولى من الطور اللوغاريتمي والتي يظهر بها زيادة متدرجة في تعداد الخلايا طوراً منفصلاً يعرف بطور النمو المتزايد-accelerated growth phase، والسبب في تدرج النمو في هذه الفترة أن الخلايا جميعاً لا تكمل فترة ركودها في وقت واحد وينتهي هذا الطور القصير بانتظام معدل النمو وبشبات الوقت الجيلي ودخول الخلايا في الطور اللوغاريتمي.

وينتهي الطور اللوغاريتمي عندما يبطيء معدل التكاثر وتزداد فترة الوقت الجيلي ويثبت تعداد الخلايا الحية بالمرزعة، عندئذ يقال أن المرزعة قد دخلت في طورها الثابت من النمو stationary phase وفي خلال هذه الفترة يكون هناك توازن بين عدد الخلايا المنقسمة وعدد الخلايا الميتة.

وقد يختل هذا التوازن حيث يزداد تعداد الخلايا الميتة عن تعداد الخلايا المنقسمة، أو بمعنى آخر لا يكون هناك تعويض لمعدل الموت بتكوين خلايا جديدة، ويعرف هذا الطور من النمو بطور الموت أو تناقص النمو decline or death phase.

يمكن عمل تحديد أكبر للمنحنى حيث يتم تحديد ستة مراحل وهي مرحلة أو طور الركود lag phase هي الفترة بعد حدوث التلقيح وقبل إنقسام الخلايا ومرحلة النمو ذو السرعة المتزايدة acceleration phase حيث تبدأ الخلايا في الإنقسام ومرحلة النمو ذو السرعة الثابتة exponential phase حيث تنقسم الخلايا بسرعة ثابتة وفي هذه المرحلة يزيد عدد الخلايا كثيراً ومرحلة النمو ذو السرعة المتناقصة deceleration phase حيث تقل سرعة إنقسام الخلايا ومرحلة النمو الثابت stationary phase حيث يصبح عدد الخلايا ثابت حيث أن سرعة الأنقسام تكون مساوية لسرعة موت الخلايا ومرحلة الشيخوخة أو الموت أو تناقص النمو decline phase حيث تكون سرعة موت الخلايا أعلى من سرعة أنقسام الخلايا (شكل ١٤).

وفيما يلي وصف تفصيلي لما يحدث في أطوار النمو المختلفة:

## أولاً - طور الركود Lag phase:

إن عدم حدوث الإنقسام في هذه الفترة لا يجب أن يفهم منه توقف الخلايا عن النمو الفردي كلية . فإن الركود الملحوظ هو ركود في حدوث عملية الإنقسام فقط، ولكنه ليس ركوداً في عمليات التخليق الحيوي بداخل الخلية .

ومن الدراسات السيتولوجية التي أجريت على الخلايا في هذا الطور تبين أنها قد تزداد في الحجم لتصل إلى ضعف أو ثلاثة أضعاف حجمها الأصلي يلاحظ أن الزيادة في الحجم تكون بدرجة أكبر في البكتريا العسوية عنها في الكروية. وقد بينت الدراسات البيوكيميائية زيادة معدل النشاط الأيضي للخلية خلال فترة الركود. كما بينت أيضاً زيادة كمية المكونات الأساسية للأحماض النووية - purines & pyrimidines والمحتويات البروتينية بالخلية، إلا أن زيادة نسبة البروتين تكون أقل نسبياً من الزيادة في الأحماض النووية.

والدراسات الكيماوية أظهرت أن هناك زيادة في محتويات الخلية من RNA خلال فترة الركود، وهو من المكونات الأساسية للسيتوبلازم كما أن محتويات الخلية من DNA المميز للمحتويات النووية لا تتأثر نسبته بالخلية خلال هذه الفترة. وقد لوحظ أن محتويات الخلية البكتيرية من RNA عندما تدخل في الطور اللوغاريتمي تكون متناسبة تناسباً عكسياً مع طول الوقت الجيلي في حين أن محتويات الخلية من DNA لا تتأثر بطول أو قصر الوقت الجيلي. وقد أظهرت الدراسات البيوكيميائية الأخرى زيادة في معدل تنفس الخلية البكتيرية خلال فترة الركود وفترة النمو المتزايد عنها في الأطوار التالية من النمو ويرجع ذلك إلى الزيادة في حجم البروتوبلازم الموجود بالخلية حينئذ.

وبالبكتريا والطحالب تكون أكثر حساسية للتغيرات الحرارية وهي في طور ركودها فعندما تكون درجة الحرارة قريبة من الدرجة المثالية للنمو يمكن تقصير فترة الركود كما أن الزيادة أو النقص في درجة الحرارة عن الدرجة المثالية يطيل من فترة هذا الطور. والخلايا أثناء طور الركود وكذلك أثناء طورها اللوغاريتمي من النمو تكون

أكثر حساسية للحرارة المنخفضة حيث أنها تقتل بسرعة عقب تعريضها المفاجيء للحرارة المنخفضة بدرجة أكبر من تلك التي تكون قد وصلت طورها الثابت من النمو. هذا والخلايا البكتيرية والطحالب النشطة تكون أكثر حساسية من غيرها للمواد الكيماوية السامة.

### ثانيا - طور النمو اللوغاريتمى Log phase :

سبق أن ذكرنا أن الوقت الجيلى يكون ثابتا خلال الطور اللوغاريتمى من النمو، وأن طول الوقت الجيلى للنوع البكتيرى أو الطحلبى يتحدد عادة نتيجة لتفاعل العوامل الوراثية والظروف البيئية السائدة. فمثلاً وجد أن الوقت الجيلى للبكتريا *E. coli* هو عشرون دقيقة فى الظروف البيئية المناسبة لنمو خلاياها فى حين أن البكتريا التابعة لجنس *Mycobacterium* يصل وقتها الجيلى إلى عدة ساعات فى الظروف المناسبة.

ويعزى إختلاف طول فترة الوقت الجيلى للبكتريات المختلفة إلى تفاوت قدراتها التخليقية للبروتوبلازم وإلى معدل أو سرعة الإنقسام حيث لوحظ أن الزيادة فى محتويات الخلايا من النيتروجين تكون متلازمة مع الزيادة فى عدد الخلايا خلال الطور اللوغاريتمى. وقد لوحظ أن درجة الحرارة أثناء فترة الحضانة تؤثر إلى حد كبير على معدل النمو أثناء هذا الطور وحيث أن عمليات النمو تعتبر عمليات كيماوية فإننا نتوقع إذن مضاعفة النمو كلما إرتفعت درجة حرارة الكائن بمقدار عشر درجات مئوية. وقد وجد أن هذا صحيح فى حدود معينة من الحرارة تتراوح بين ٢٠° - ٤٠° م. ففى حدود هذا المجال نجد أن البروتين البكتيرى يتأثر قليلاً أو بدرجة غير ملحوظة ولكن وإذا ارتفعت درجة الحرارة عن ٤٠° م فإنه يحدث تثبيط حرارى للبروتين الإنزيمى بالخلية الدقيقة مما يقلل معدل النمو. تختلف درجة الحرارة المثلى بإختلاف نوع البكتريا والطحلب فتكون لمعظم البكتريات الميزوفيلية بين ٣٧° - ٤٢° م. هذا ويمكن الحصول على محصول وافر من خلايا الكائن إذا احتفظ بالمزارع على درجة من الحرارة أقل بعدة درجات من درجة حرارتها المثالية

للنمو حيث يمكن بذلك تقليل التأثير الضار للحرارة على البروتين الأنزيمي لهذه الخلايا . والبكتيريا والطحالب المحبة للحرارة المرتفعة thermophilic ومثال ذلك الطحالب التي تعيش في الينابيع الحارة تتراوح درجة حرارتها المثالية للنمو بين ٥٥° - ٦٠° م وعلاوة على ما تقدم فإن مكونات البيئة الغذائية يمكنها أيضا أن تتحكم في طول فترة الوقت الجيلي . وإذا لم تتمكن الخلايا البكتيرية من تجهيز مادة غذائية معينة فيشترط إذن إضافتها إلى البيئة وتعرف هذه المواد المضافة بالمواد الغذائية الضرورية essential nutrients وبعض المواد يمكن للخلايا تجهيزها بسرعة والبعض الآخر يجهز ببطء، كما أن من المواد مالا يمكن للخلايا تجهيزها على الإطلاق، من هنا يمكننا أن نتفهم مدى تأثير إضافة أو غياب مثل هذه المواد على طول فترة الوقت الجيلي . وهناك بعض المواد تعتبر منشطة للنمو فقط بمعنى أنها ليست من المواد الضرورية لكن وجودها بالبيئة يؤدي إلى تقصير فترة الوقت الجيلي . ومجرد وجود المواد الغذائية بالبيئة لا يؤثر على معدل النمو وطول الوقت الجيلي فقط، بل أن تركيزات هذه المواد بالبيئة لها أيضا تأثير واضح على النمو ومعدلاته . لذلك يمكن إطالة فترة الوقت الجيلي في مزرعة بكتيرية بتغيير بيئتها الغذائية أو بتقليل تركيز أحد مكوناتها .

إذا كان تركيز مكونات البيئة الغذائية محدودا فإن المحصول الكلي لنمو الكائن يكون متلازما مع هذا التركيز فالمزرعة تنمو فترة من الزمن ثم تتوقف عن الإنقسام نظرا لإستهلاك بعض أو كل محتويات البيئة من الغذاء ، أما إذا أضيف المزيد من المواد الغذائية إلى هذه المزرعة فإنها تستعيد نشاطها ويبدأ الإنقسام الخلوي من جديد . ولكن عند الوصول إلى حد معين يتوقف النمو كلية حتى ولو توافرت المواد الغذائية بالبيئة إذ أن النمو لا يمكنه أن يستمر إلى مالا نهاية .

### ثالثا - الطور الثابت Stationary phase :

هناك عدة أسباب تفسر توقف المزرعة البكتيرية عن النمو وأيضا خلايا الطحالب عندما تصل إلى حد معين، منها نفاذ المواد الغذائية من البيئة، وزيادة تركيز المواد الأيضية الناتجة عن النشاط الخلوي حيث أن هذه المواد قد تؤدي إلى خفض درجة

pH البيئة إلى حد يمنع التكاثر أو تكون هذه المواد ذاتها سامة للخلايا النشطة. وتهوية المزرعة تعمل على أكسدة الأحماض العضوية أو المواد السامة وعدم تكديسها، الأمر الذى يطيل من فترة الطور اللوغاريتمى أو يؤجل حلول الطور الثابت من النمو. وحتى تحت الظروف القياسية من التهوية والتغذية فإن معدل التكاثر يبدأ فى التناقص حتى يتوازن مع معدل موت الخلايا. ويتوقف طول فترة هذا الطور على درجة حساسية خلايا الكائن للظروف السائدة بالبيئة حيث يظل عدد الخلايا الحية المنقسمة ثابتا بها، فكلما زادت حساسية الخلايا وكلما كانت الظروف غير ملائمة كلما قصرت فترة الطور الثابت من النمو.

رابعا - طور تناقص النمو أو طور الموت **The phase of decline or death** :

يعقب الطور الثابت حين يبدو أن معدل موت خلايا الكائن يزيد عن معدل التكاثر وتكوين خلايا جديدة. ويرجع ذلك إلى عدة أسباب تختلف باختلاف النوع البكتيرى والطحلبى. والتحول المفاجئ من الطور الثابت إلى هذا الطور يتضمن معدلا لوغاريتميا لموت الخلايا وهو عكس المعدل اللوغاريتمى. وقد يستمر ثبات معدل الموت لعدة أيام أو تموت كل الخلايا خلال هذه الفترة تبعا لنوع الكائن. فبينما نجد أن كل الخلايا لبعض الأنواع الكروية السالبة لصبغة جرام تموت خلال فترة ٧٢ ساعة أو أقل نجد أن بعض الخلايا فى مزارع البكتيريات الأخرى حية لفترة تتراوح بين شهرين إلى عدة سنوات.

### طرق قياس النمو

يتم قياس النمو فى النبات بطرق عديدة ومنها ما يلائم الطحالب وحيدة الخلايا والبكتريا ومنها ما يلائم النباتات الزهرية وهى كما يأتى :

١- تركيز العكارة **Turbidity** :

يجرى تقدير درجة عكارة المحلول بالنظر وبطريقة أدق بإستعمال جهاز قياس الألوان spectrophotometer حيث أنه كلما زاد النمو كلما زاد تركيز العكارة.

تستعمل هذه الطريقة في قياس النمو في البكتيريا والخميرة. ويمكن أن تستعمل في بعض الطحالب وحيدة الخلية.

## ٢ - عد الخلايا:

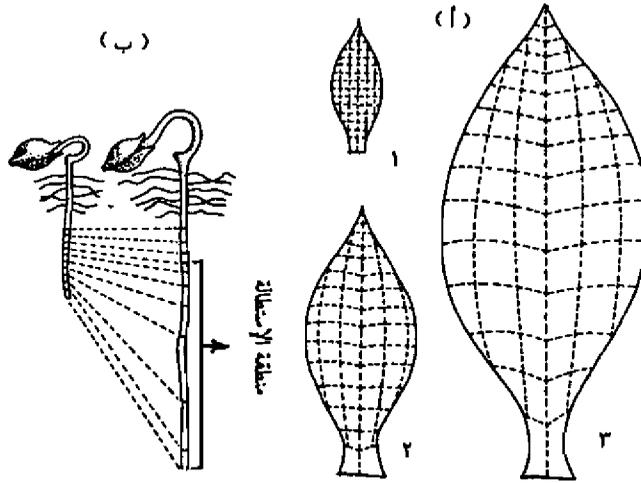
يتم أخذ قطرة من المعلق النامي فيه الطحلب أو الخميرة أو البكتريا وذلك بواسطة ماصة مدرجة وبذلك يمكن معرفة حجم النقطة ثم يتم فرد هذه النقطة في مساحة معينة على شريحة زجاجية ولتكن المساحة واحد سم مربع. يتم عد الخلايا الموجودة في مساحة الحقل الميكروسكوبى لمرات عديدة ثم حساب المتوسط. يتم حساب عدد الخلايا الموجودة في مساحة اسم مربع وفي حجم القطرة كلما زاد عدد الخلايا في القطرة كلما كان ذلك دليل على سرعة النمو. تستعمل هذه الطريقة في قياس النمو للطحالب وحيدة الخلية وفي الخميرة والبكتيريا وجراثيم الفطريات . يمكن إستخدام هيموسيتومتر في عد الخلايا. تستخدم هذه الطريقة في قياس عدد الخلايا في النباتات الزهرية في مزارع الخلية الواحدة والبروتوبلاست.

## ٣ - الزيادة في الطول

يمكن قياس الزيادة في الطول بطرق عديدة وأيضا بأجهزة عديدة ومنها ما يأتي:

### أ- قياس الطول بالمعين المجردة أو المسطرة:

تستعمل في حالة قياس نمو الساق والجذر وذلك لفترات طويلة حيث يصبح النمو كاف للقياس. تستعمل هذه الطريقة أيضا في قياس منطقة الاستطالة في البادرة حيث يتم عمل خطوط عرضية على الجذير بجير شينى، المسافة بينها واحد ملليمتر ثم تترك البادرة في بيئة رطبة مشبعة بالماء لمدة يوم تقريبا ثم يتم قياس المسافة التي حدث فيها إبتعاد الخطوط عن بعضها وبالتالي يمكن تحديد منطقة الاستطالة على الجذر وأيضا يمكن تقدير سرعة النمو من الأجزاء التي تباعدت فيها الخطوط العرضية (شكل ١٦ ب).



(شكل ١٦) : طرز النمو

أ- مراحل نمو ورقة التبغ (١، ٢، ٣)

ب- مراحل نمو بادرة القمح

(توجد علامات بالحبر الشينى على الجذير وأيضاً مربعات على الأوراق)

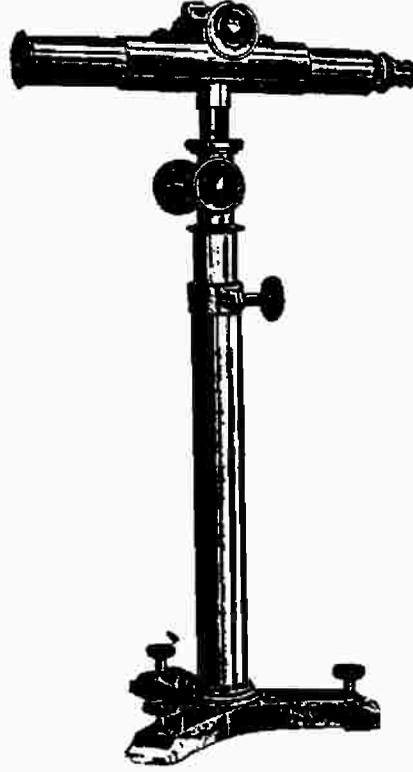
ب- استعمال المجهر الأفقى Horizontal microscope :

توضع نقطة بالحبر الشينى ملاصقة لقمة الساق ويتم ضبط المجهر على هذه النقطة نتيجة للنمو ترتفع النقطة إلى أعلى وتصبح خارج الحقل الميكروسكوبى فيتم رفع أنبوبة الميكروسكوب لمشاهدة هذه النقطة. يمكن تحديد هذه المسافة التى تم تغييرها فى أنبوبة المجهر وذلك بقراءتها على مقياس على الميكروسكوب. أى يمكن تقدير مسافة النمو بواسطة مقياس على المجهر. يمكن حساب السرعة فى هذه الحالة بأخذ الزمن فى الاعتبار (شكل ١٧).

ج- استعمال الأوكسانومتر Auxanometer :

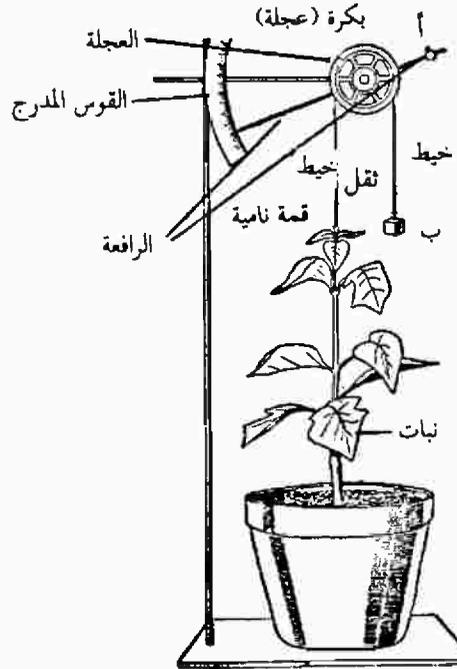
توجد أنواع كثيرة من الأوكسانومتر ومنها الأوكسانومتر البسيط أى الأوكسانومتر القوسى arc auxanometer والأوكسانومتر الأتوماتيكى لففر Pfeffer automatic auxanometer والأوكسانومتر الميكرومترى micrometer screw auxanometer

والأوكسانومتر المسجل self-registering auxanometer وفيما يلي وصف  
الأوكسانومتر البسيط والأوكسانومتر المسجل.



(شكل ١٧): المجهر الأفقي

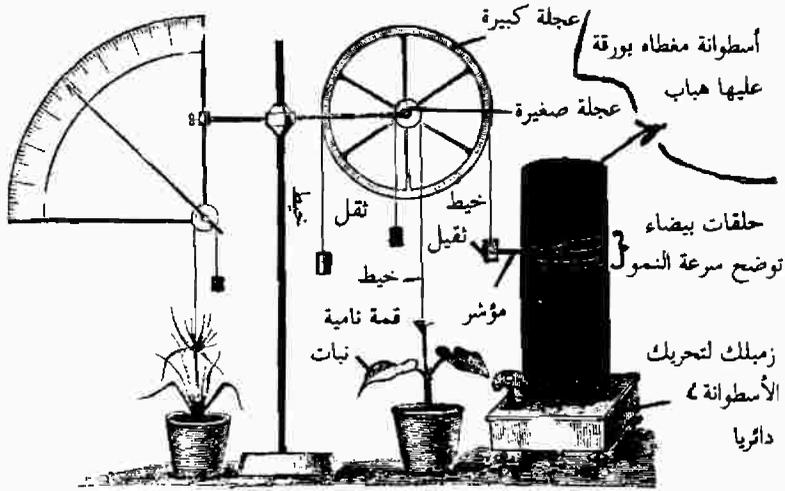
توجد أنواع مختلفة من الأوكسانومتر البسيط وهي تتكون من رافعة من النوع الأول ليست متساوية الذراعين، ويحمل ذراع الرافعة القصير ثقلا (شكل ١٨) يمكن تحريكه يمينا أو يسارا بين طرف الذراع ونقطة ارتكاز الرافعة، وتثبيت الرافعة عند نقطة ارتكازها تثبيتا محكما في مركز عجلة ذات قطر مناسب، وتثبيت العجلة على قائم رأسى يحمل قوسا مدرجا بحيث يمكن أن تدور العجلة ومعها الرافعة دون أن يعرفهما عائق، وبحيث يشير ذراع الرافعة الطويل إلى درجات القوس.



(شكل ١٨) : الأركسانومتر البسيط

فعندما يراد قياس معدل نمو أى عضو نباتى وليكن قمة ساق نامية، تربط هذه القمة النامية بخيط مناسب يوضع حول العجلة بحيث يتدلى طرفه الآخر فى الناحية المقابلة حاملا ثقلا صغيرا (شكل ١٨)، ويلاحظ قبل وضع الخيط حول العجلة أن تدار العجلة قليلا بحيث تستوى الرافعة فى موضع أفقى، ثم يحرك الثقل على الذراع القصير يمينا أو يسارا حتى يكاد يتزن الذراعان، وإلا تسبب عن تفاوت الذراعين فى الوزن تفاوتا كبيرا، دوران العجلة من تلقاء نفسها، وبعد ذلك تدار العجلة بحيث يؤشر طرف الذراع الطويل إلى أسفل القوس، ثم يوضع الخيط فى موضعه كما تقدم شرحه، وبذلك تكون أى حركة للعجلة لا بد أن تعزى إلى حركة القمة النامية، فإذا استطالت هذه القمة، دارت العجلة فى اتجاه عقرب الساعة بفعل الثقل الصغير الذى يتدلى من الخيط، وتحرك تبعا لذلك الذراع الطويل للرافعة على القوس المدرج إلى أعلى، فيكون عدد الدرجات التى سجلها الذراع أثناء حركته فى وحدة زمنية هو معدل نمو القمة.

يتكون الأوكسانومتر المسجل (شكل ١٩) من عجلة ذات قطر كبير وفي مركزها عجلة أخرى ذات قطر قصير ويوجد ثقل متدلى من العجلة الكبيرة وآخر متدلى من العجلة الصغيرة. يتم ربط قمة النبات بخيط يمر على العجلة الصغيرة ويتدلى منه من الناحية الأخرى ثقل. فعند أى نمو للنبات يسبب تدلى الثقل ودوران العجلة الصغيرة وبالتالي وبالتالى العجلة الكبيرة ويتحرك الثقل المتصل بالعجلة الكبيرة إلى أسفل ويسبب ذلك تسجيل هذه الحركة بواسطة المؤشر المتصل بالعجلة الكبيرة على الورقة السوداء نتيجة دهانها بالهباب ينتج عن ذلك تسجيل دوائر على الورقة السوداء وكلما زادت سرعة النمو للنبات كلما زادت المسافة بين هذه الحلقات والعكس صحيح ومن ذلك يمكن تقدير سرعة النمو. ويلاحظ أن الأسطوانة تدور حركة دائرية بسرعة ثابتة وذلك بواسطة جزء يشبه أو يمائل آلة (زمبلك) ساعة الحائط.

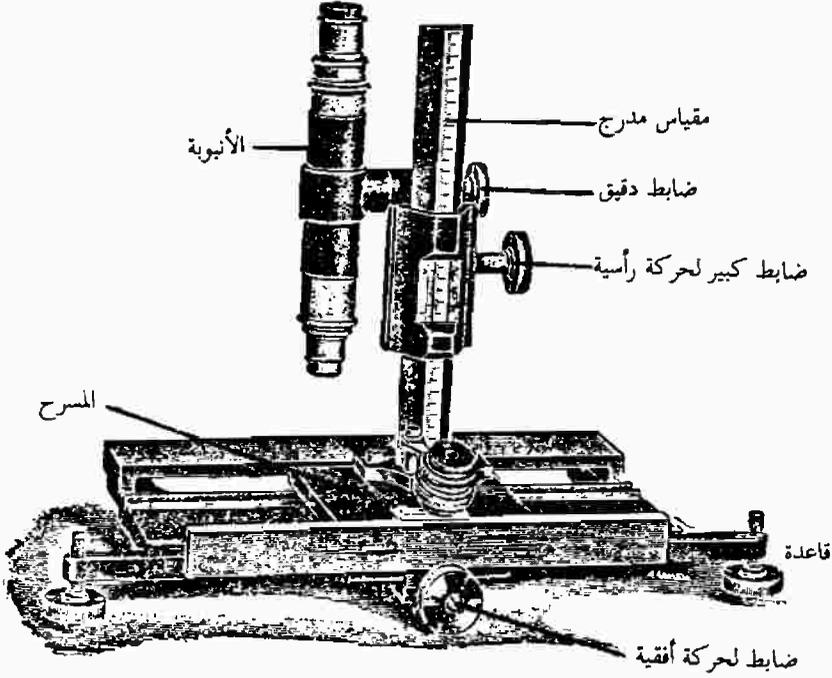


(شكل ١٩) : اليمين أو كسانومتر مسجل واليسار أو كسانومتر بسيط.

#### د - المجهر المتنقل:

يلاحظ أنه كلما ينمو أى عضو نباتى فى خط مستقيم تمام الإستقامة، وذلك لما يعترض العضو النامى من عقبات طبيعية فى بيئته. ولقياس النمو فى هذه الحالة، يستخدم مجهر يعرف بالمجهر المتنقل (شكل ٢٠)، وهو جهاز قد صمم لهذا

الغرض، إذ يتركب من أنبوبة مجهر عادية مثبتة في حامل رأسى مدرج بحيث تتعامد الأنبوبة مع الحامل، وبحيث يمكن تحريك الأنبوبة إلى أعلى أو إلى أسفل، ويثبت الحامل الرأسى بدوره على قاعدة مدرجة بحيث يمكن إزاحته إلى اليمين أو إلى اليسار حسبما كان الحال، وبذلك يمكن أن يقال إن أنبوبة المجهر المتنقل تتحرك على محورين أحدهما رأسى والآخر أفقى.



(شكل ٢٠) : المجهر المتنقل

فإذا حاولنا رؤية طرف جذر نام خلف جدار زجاجى مثلاً، خلال أنبوبة المجهر المتنقل، ثم سجلنا موضع الأنبوبة على المحورين الرأسى والأفقى وانتظرنا مدة كافية، ثم حاولنا بعدها رؤية طرف الجذر مرة ثانية خلال أنبوبة المجهر، استحال علينا رؤيته مالم تحرك أنبوبة المجهر رأسياً وأفقياً، عند ذلك نسجل موضع الأنبوبة الثانى على المحورين الرأسى والأفقى، ومن هذين التسجيلين يمكننا استنباط حركة الطرف النامى للجذور فى الاتجاهين الرأسى والأفقى، وتدل محصلة الحركة فى هذين الاتجاهين على مقدار النمو، ويدل اتجاه المحصلة على اتجاه الجذر أثناء نموه.

## ٤ - الزيادة في المساحة:

تستعمل هذه الحالة بكثرة في الأوراق حيث يتم تقدير الزيادة في المساحة في زمن معين ليكون ذلك دليل على سرعة نمو الورقة (شكل ١٦ أ) يمكن تقدير المساحة بواسطة ورق مربعات أو بواسطة جهاز بلانيمتر planimeter. توجد أجهزة حديثة تقيس مساحة الورقة مباشرة وتعمل بالكهرباء وتعتبر هذه الأجهزة عملية لأنها دقيقة وسريعة.

## ٥ - الزيادة في القطر أو المحيط:

تستخدم عادة في قياس زيادة سمك الساق والجذر ويكون بقياس طول خيط يلتف حول المحيط.

## ٦ - الزيادة في الحجم:

تستخدم عادة في قياس حجم الثمار والدرنات والأبصال والكورمات يمكن تقدير الحجم بطريقة بسيطة وذلك بغمر الثمرة في كأس مدرج به ماء وحساب كمية الماء المزاع ويكون ذلك مقياس للحجم.

## ٧ - الوزن الرطب Fresh weight :

تقدير الوزن الرطب للعضو النباتي أو للنبات على فترات مختلفة ويمكن بذلك حساب سرعة النمو.

## ٨ - الوزن الجاف Dry weight :

تقدير الوزن الجاف للعضو النباتي أو للنبات وذلك بالتجفيف في الفرن على درجات حرارة مرتفعة نسبياً وعادة تكون أقل من مائة درجة قليلاً. تعتبر هذه الطريقة هي أدق طريقة لتقدير النمو.