الباب الأول

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 ... ألخ .

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

١ ـ الإنقسام Division

٢ ـ الكبر فى الحجم Extension أو الإستطالة Elongation

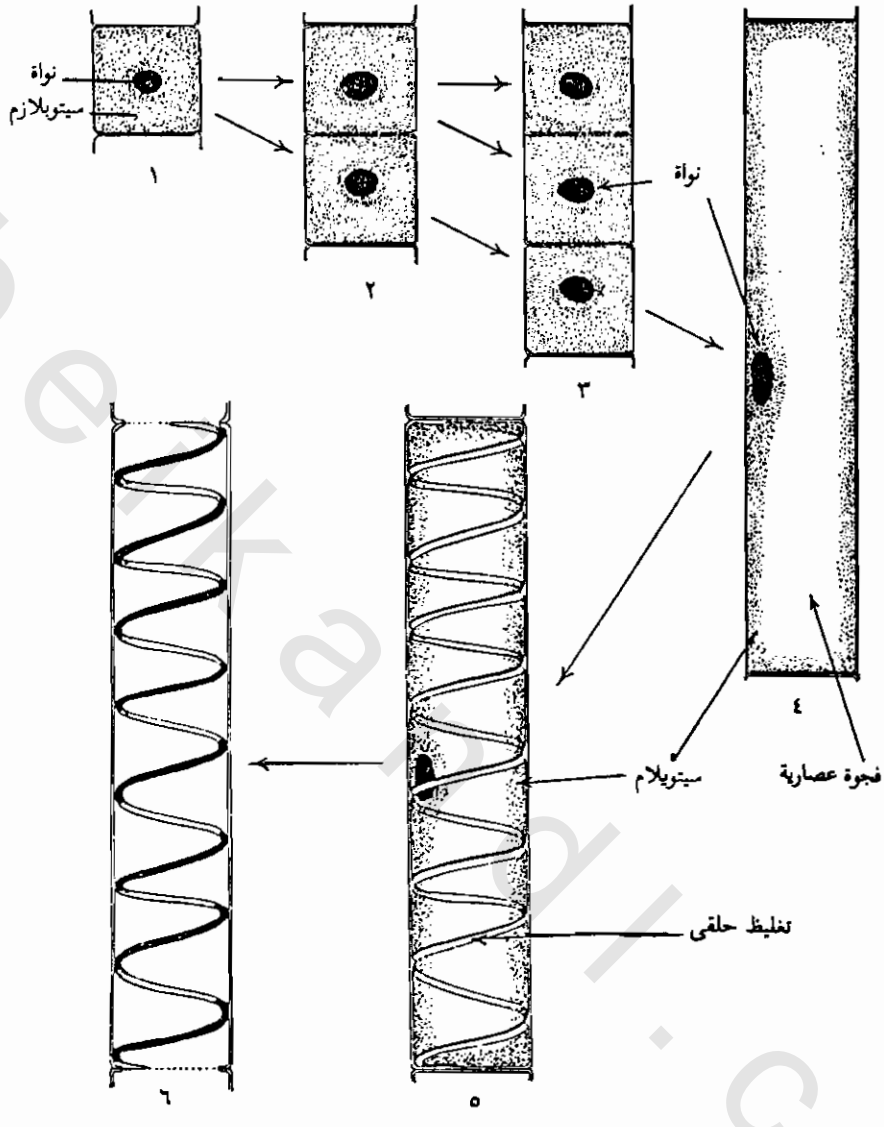
٣ ـ التميز أو التكشف أو التشكل Differentiation ومعناه أنه يحدث فى الخلية تغيرات فى شكلها أثناء زيادتها فى الحجم أو بعد تمام زيادتها فى الحجم بحيث يتلائم هذا الشكل مع الوظيفة التى تقوم بها الخلية بمعنى أن خلية الوعاء الخشبى يكون لها تغليظ حلقى أو لولبى أو شبكى أو منقر وذلك لكى تتلائم هذه الخلية مع نقل الماء وصعوده بسرعة فى النبات فهى مهيأة ومشكلة لذلك تماماً. وهذه الخلية بالطبع تختلف فى شكلها عن الخلايا الكلورانشيمية التى تتراوح 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 الإختلاف 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 ـ 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 وإستطالة 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 differentiationوبين 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 التمييز differentiation هو عبارة عن التغير التدريجى فى الخلايا أى تحول الخلايا المرستيمية إلى بارنشيمية أو كلولنشيمية أو ألياف أو أنابيب غربالية وخلايا مرافقة أو أوعية خشب أو قصيبات 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 الكلورنشيمية 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 chang-es فى الخلية وفى محتويات الخلية مقياس للتشكل. يعتبر النمو growth عبارة عن أنقسام وأستطالة 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) أستطالة الخلية وتكوين الفجوة العصارية والسيتوبلازم والنواه (نمو) .

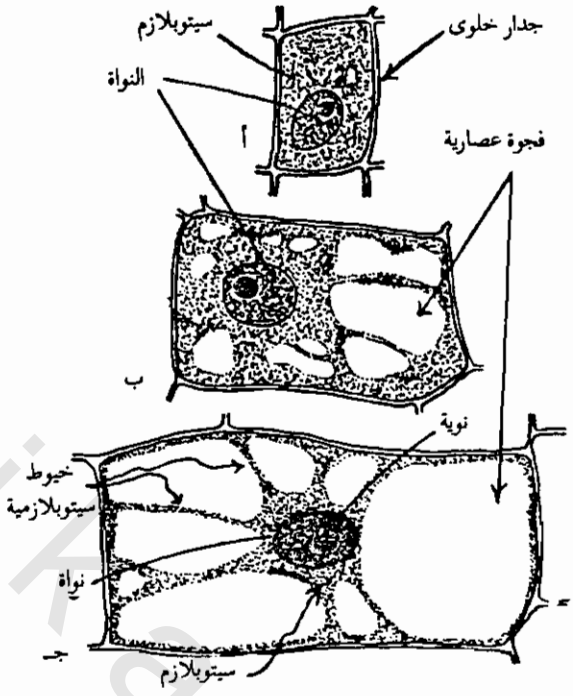
(٥ ـ ٦) تشكل الخلايا لتكوين خلية وعاء خشبى حلزونى التغليظ وتحلل السيتوبلازم والنواه وتصبح خلية ميتة (تشكل) .

الخلايا والأنسجة المرستيمية

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

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

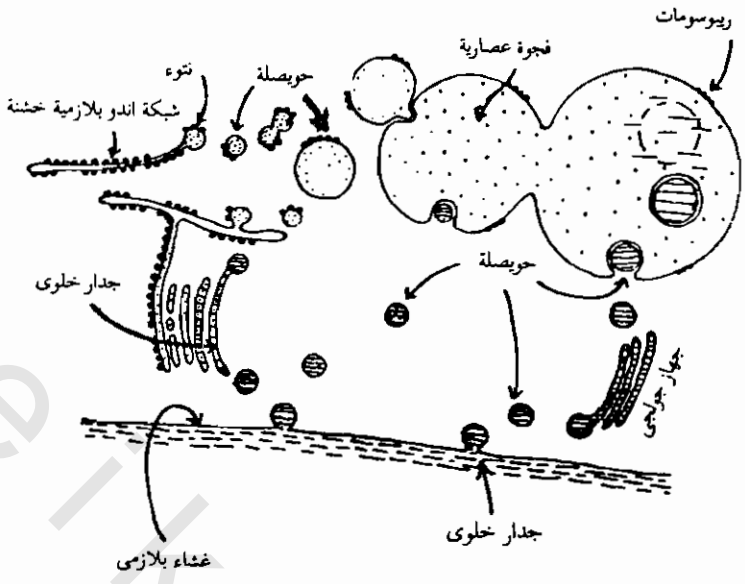
أما عن كيفية تكوين هذه الفجوات فإنه تتكون نتوءات صغيرة على الشبكة الإندوبلازمية وتنفصل هذه النتوءات على هيئة حويصلات صغيرة وهذه الحويصلات تنتفخ وتتحد مع بعضها لتكون حويصلات أكبر، وهذه بدورها تتحد مع الحويصلات الأكبر منها وفى النهاية تتكون فجوة أو فجوات عصارية كبيرة. كما أن أجسام جولجى ينطلق منها أيضاً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



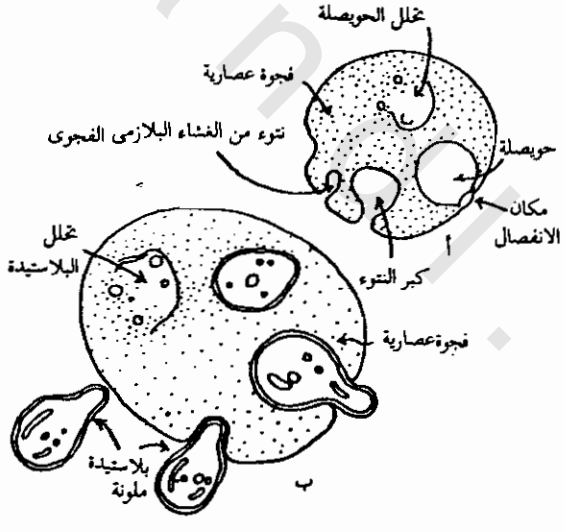
شكل (٢) : نمو وتشكل الخلايا .
(أ ـ جـ) خطوات تكوين خلية بالغة من خلية مرستيمية.

فى بعض الخلايا المرستيمية والعادية نجد أن الفجوات العصارية تحتوى على أنزيمات عديدة تحلل RNA , DNA 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 فهى تختلف بإختلاف الخلايا، فى بعض الخلايا نجد أن الفجوة العصارية تلتقم البلاستيدة أو الميتوكوندرية، وفى البعض الآخر نجد أن الغشاء البلازمى الفجوى يكون نتواءت للداخل وكل نتوء يأخذ جزء من السيتوبلازم ويكبر فى الحجم تدريجياً ثم ينفصل عن الغشاء البلازمى الفجوى وبذلك يوجد بداخل الفجوة حويصلات جدارها عبارة عن جزء من الغشاء البلازمى الفجوى وبداخلها جزء من السيتوبلازم (شكل ٤) .



شكل (٣) : خطوات تكوين الفجوة العصارية والغشاء البلازمي والجدار الخلوي .



شكل (٤) : فجوات عصارية ملتقمة

أ) فجوة عصارية تكون من غشائها البلازمى حويصلات .

ب) فجوة عصارية وخطوات التقام بلاستيدة ملونة .

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

ويمكن تقسيم الأنسجة المرستيمية على أسس عديدة منها:

أولاً: عدد مستويات الإنقسام التى تنقسم بها الخلية المرستيمية

١ ـ 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 تكـوين نخاع الساق وعنق الورقـة.

٢ ـ 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 ـ 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.

ثانيا: منشأ المرستيم

١ ـ 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 ـ 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. ينبى المرستيم الثانوى أنسجة إضافية تعرف بالأنسجة الثانوية تحل محل أو تضاف إلى الأنسجة الإبتدائية.

ثالثا: موضع المرستيم فى النبات

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

٢ ـ مرستيم بينى Intercalary meristem : وهو مرستيم إبتدائى 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 ـ مرستيم جانبى Lateral meristem: وهو مرستيم تنقسم خلاياه بجدر موازية لمحيط النبات مسبباً زيادة العضو النباتى فى السمك مثل الكامبيوم الوعائى والكامبيوم الفلينى.

الكامبيوم الوعائي

يعرف الكامبيوم الوعائى vascular cambium أيضاً بالنسج المرستيمى الوعائى، ويكون الكامبيوم الوعائى نسيجاً إبتدائياً 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 التغليظ الثانوى للسيقان والجذور. تنقسم خلايا الكامبيوم الوعائى بجدر موازية لمحيط العضو النباتى معطية لحاءاً ثانوياً للخارج وخشباً ثانوياً للداخل، 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،

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

تشريح الجذر

يختلف التركيب النسيجى لجذر النبات حسب نوع النبات، وكذلك فى النبات الواحد حسب مناطق الجذر المختلفة، فمنطقة القمة النامية تختلف عن منطقة الإستطالة، وهذه تختلف عن منطقة الشعيرات الجذرية. وفى المنطقة الدائمة تختلف المناطق الأولى منها حيث تكون الأنسجة جميعها إبتدائية، عن المناطق التالية التى قد يحدث بها تغليظ ثانوى.

المرستيم القمي

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

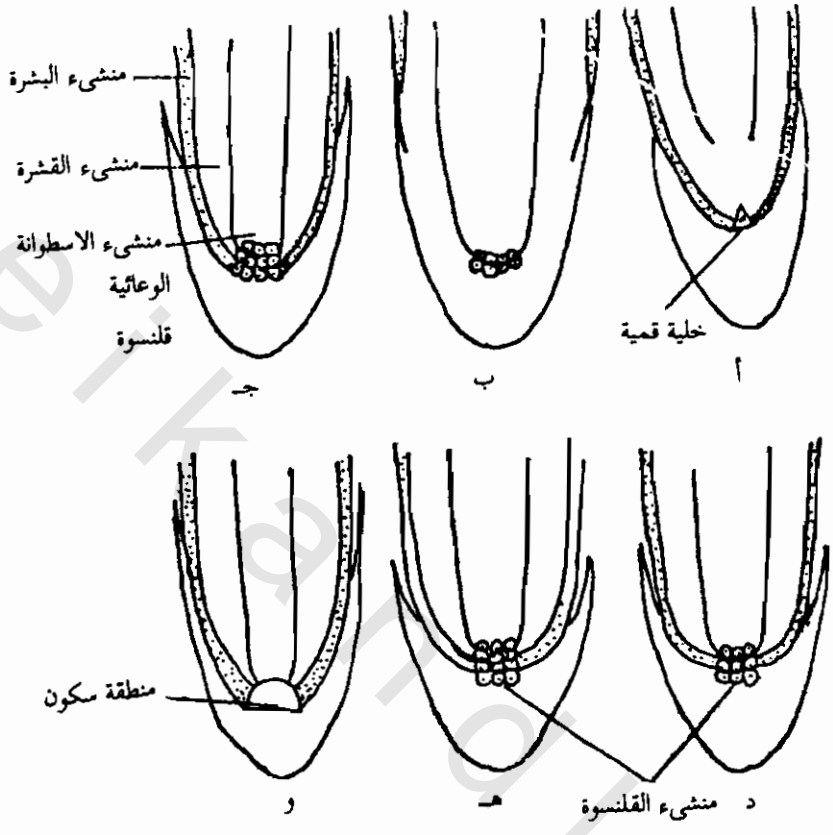
وقد ينشأ المرستيم القمى من مجموعتين من المبادىء المرستيمية initials، المجموعة الداخلية تعطى منشىء الإسطوانة الوعائية plerome، المجموعة الخارجية تنشأ منها البشرة والقشرة والقلنسوة ولا يوجد فى هذه الحالة حد فاصل بين منشىء القشرة ومنشئ القلنسوة وذلك كما فى جذور النباتات عاريات البذور (شكل ٥).

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

وقد ينشأ المرستيم القمى من أربعة مجاميع من المبادىء المرستيمية وهى قليلة الوجود كما فى جذور بعض نباتات العائلة النجيلية ونبات الفول وبعض النباتات المائية، وهى من الداخل إلى الخارج منشىء الاسطوانة الوعائية plerome ومنشىء القشرة periblem ومنشىء البشرة dermatogen منشئ القلنسوة calyptrogen (شكل ٥).

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

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



(شكل ٥) : الانواع المختلفة لنشوء المرستيم القمى.

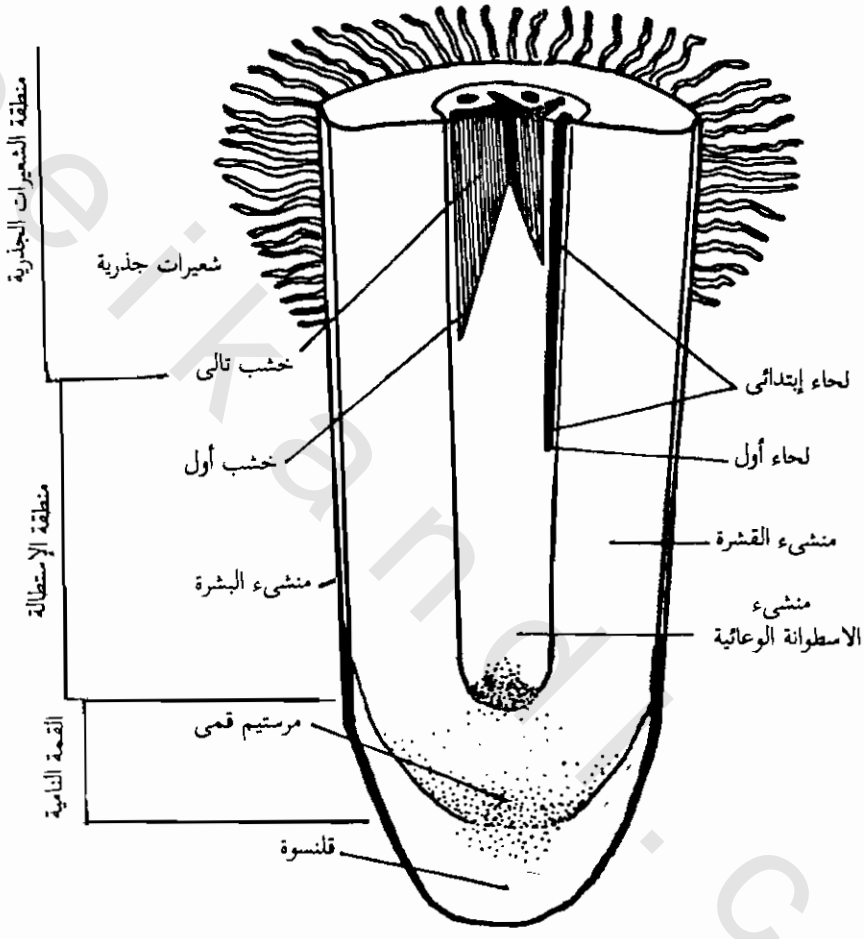
أ) من خلية واحدة قمية هرمية الشكل .

ب) من مجموعتين من المبادىء المرستيمية.

جـ ، د) من ثلاثة مجاميع من المبادىء المرستيمية .

هـ) من أربعة مجاميع من المبادىء المرستيمية.

و) الخلايا المرستيمية حول منطقة سكون .



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

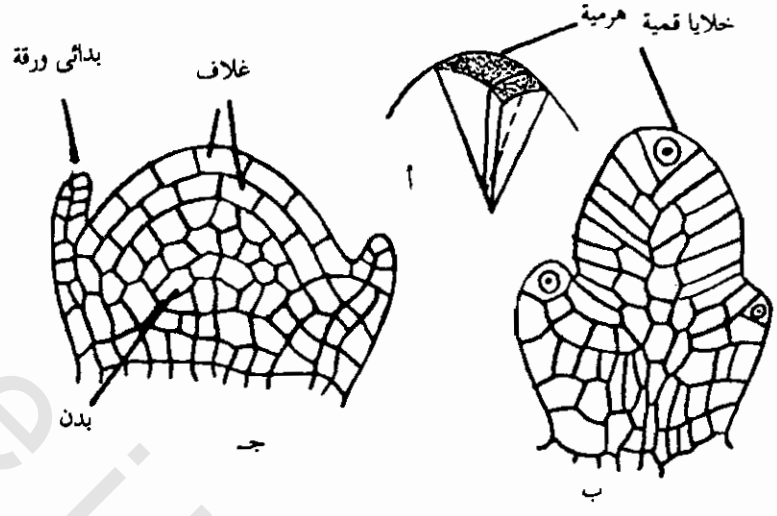
تشريح الساق

يختلف التركيب النسيجى لسيقان النباتات حسب أنواع تلك النباتات، وكذلك فى النبات الواحد حسب مناطق الساق، فمنطقة القمة النامية للساق تختلف عن منطقة الأنسجة الإبتدائية، 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 الأولى promeristem، تظهر على جوانبها السفلى نتوءات صغيرة تزداد طولا كلما إتجهنا إلى أسفل، وتعرف هذه النتوءات بمبادىء الأوراق leaf primordia. المرستيم الإنشائى الأولى بالإضافة إلى الأنسجة المرستيمية أسفله والتى لم تتشكل بعد إلى أنسجة ابتدائية وما يحيطها من مبادىء 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 بإختلاف 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 تفريعاً ثنائياً. والنوع الثانى للخلية القمية يوجد فى النبات التيريدى اكويسيتم *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 طولا وسمكا (شكل ٧).



(شكل ٧) : أنواع القمم النامية

أ) خلية قمية هرمية منقسمة

ب) قمة نامية للنبات التيريدى اكويستيم

جـ) قمة نامية مكونة من غلاف وبدن

توجد نظريات مختلفة لتفسير طريقة التكشف فى سيقان النباتات الزهرية. أكثر هذه النظريات قبولا تعرف بنظرية الغلاف والبدن tunica corpus theory وتفترض هذه النظرية أن المرستيم الانشائى 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 الإتجاهات مسببة كبر القمة النامية فى الحجم (شكل ٧) .

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

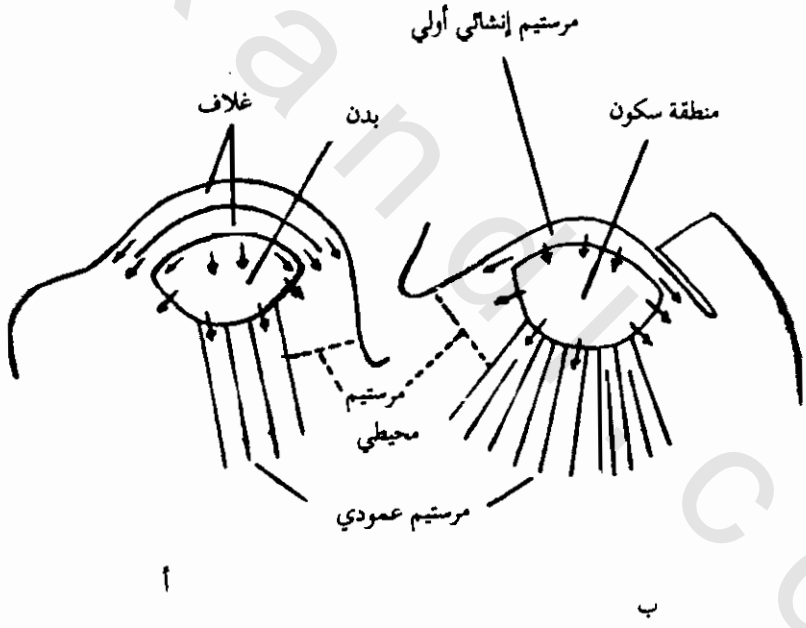
فى بعض الحالات يكون التمييز غير واضح بين الغلاف والبدن، وفى هذه الحالة نجد أن الغلاف ينقسم بجدر عمودية على السطح وأحياناً موازية للسطح، ويحدث ذلك فى كثير من النباتات عاريات البذور مثل الصنوبر وقد لا يتميز المرستيم الإنشائى الأولى إلى غلاف وبدن حيث تنقسم الخلايا الخارجية الطرفية للقمة النامية بجدر عمودية 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 فسيولوجيا، فالطبقة الخارجية من الغلاف تكون منشىء البشرة protoderm والذى 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 الجانبى 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 فى منطقة البدن منطقة سكون ثابتة لا تنقسم خلاياها، وينشأ المرستيم المحيطى والعمودى 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 فى الحجم وذلك لاستبعاد حالات الضغط الأسموزى المختلفة وإنتفاخ الخلايا حيث أن إنتفاخ الخلايا فى هذه الحالات يكون عكسى وأيضاً إستبعاد حالة إنتفاخ الخشب نتيجة لتشربه بالماء.



(شكل ٨) : تكشف المرستيم الانشائي الأولي فى (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 تفضيلا عن قياس الحجم.

يعتبر قياس النمو الطولى للساق أحد القياسات المقبولة والتى 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 التكهن prediction بالحجم أو الوزن كما فى المعادلة الآتية.

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

حيث أنه

y = الحجم أو الوزن

x = الطول أى قياس الطول linear measurement

k = معامل إرتباط correlation coefficient

b = ثابت constant

يمكن أيضاً إستعمال مساحة الأوراق كدليل على حالة النمو . يمكن حساب مساحة الأوراق بطرق عديدة منها ورق المربعات أو البلانيمتر 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 الأتية:

$$A = K.L.W$$

A = مساحة الورقة

obeikandl.com

L = طول الورقة

W = عرض الورقة

K = معامل الإرتباط

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

$$Pn = \Delta B + L$$

Pn = وزن المادة الجافة المتكونة فى مدة القياس أو مدة التجربة net dry-matter أى الزيادة فى وزن المادة الجافة الكلية .

ΔB = الزيادة الكلية فى الوزن الجاف فى فترة التجربة net dry-matter production

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

لا يدخل فى حساب Pn الفقد بواسطة التنفس. وفى حالة حساب الفقد نتيجة للتنفس فى هذه المعادلة يسمى الناتج من هذه المعادلة Pg أى gross productivity بدلا من Pn.

حركيات النمو Growth Kinetics

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

أ ـ حركيات النمو فى الكائنات الحية الدقيقة أو ما يشابها:

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 إفتراض 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

$$n = ١ \times ٢ = ٢$$

وإذا حدث إنقسام آخر تصبح n بعد الجيل الثانى

$$n = ١ \times ٢ \times ٢ = ٤ \text{ أى } ١ \times ٢^{٢}$$

وإذا حدث إنقسام ثالث تصبح n بعد الجيل الثالث

$$n = ١ \times ٢ \times ٢ \times ٢ = ٨ \text{ أى } ١ \times ٢^{٣}$$

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

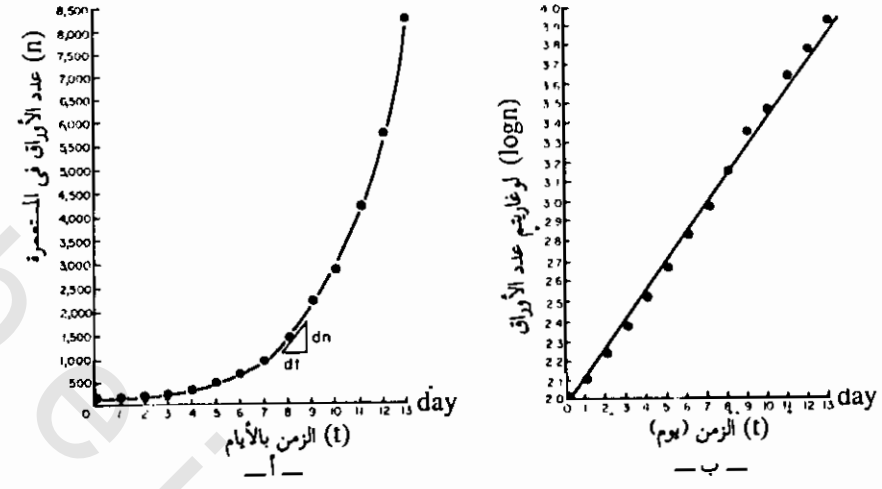
$$n = ١ \times ٢^{x}$$

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 $n_{٥}$

$$n = n_{o} \times 2^{x}$$

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

obeikandi.com



(شكل ٩) : منحنيات النمو لنبات عدس الماء

أ ـ العلاقة بين عدد المتورقات fronds (الأوراق) والزمن

ب ـ العلاقة بين لوغاريتم عدد المتورقات والزمن .

يمكن كتابة المعادلة السابقة كما يأتى

$$\log n = \log n_o + x \log 2 \qquad (1)$$

يتضح من المعادلة السابقة أن العلاقة بين عدد الخلايا الناتجة وعدد الأجيال ولكن عملياً والأكثر وضوحاً وتطبيقاً هو إيجاد العلاقة بين عدد الخلايا الناتجة 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 فى المعادلة (1) فإن المعادلة يمكن كتابتها كالآتى : ـ

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

يعتبر log2/g ثابت ويرمز له k

ولذلك فإن المعادلة تصبح

$$\log n = \log n_o + kt \quad \text{.....} \quad (٢)$$

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

حيث أن $\log n_o$ عبارة عن a

وحيث أن k عبارة عن b

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

فى حالة المنحنى (شكل ٩) يوضح الزيادة فى عدد وحدات fronds فى نبات عدس الماء فى المستعمرة ولذلك فإن سرعة النمو فى المستعمرة growth rate عند أى زمن تكون نتيجة للزيادة فى عدد الوحدات fronds و يرمز له dn فى زمن معين dt ولذلك فإن

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

تمثل قيمة dn/dt درجة ميل slope المنحنى عند زمن معين t ويكون أى زمن مطلوب. حيث أن سرعة النمو تختلف بإختلاف الزمن وحيث أن درجة الميل تزداد تدريجيا مع الزمن. وفى حالة إنقسام جميع الخلايا بنفس السرعة r فى أى زمن t فإن سرعة نمو المستعمرة تكون متناسبة مع عدد الخلايا أى $dn/dt \alpha n$

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

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

تعتبر قيمة r فى 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 وهى

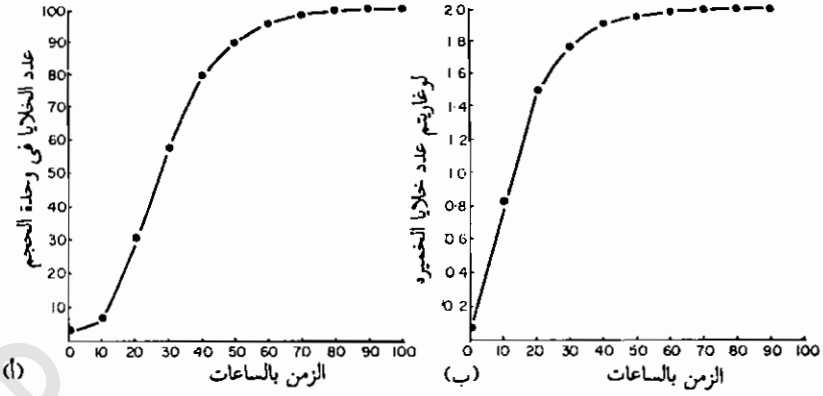
$$\log n = \log n_o + kt$$

فى الشكل الآتى

$$n = n_o e^{kt} \quad \text{.....} \quad (٣)$$

حيث أن e هى الأساس للوغاريتم وهى تساوى ٢,٧١٨٢ .

ولكن فى الطبيعة لايستمر النمو للمستعمرة إلى مالا نهاية حيث توجد عوامل فى البيئة تقلل من سرعة النمو وهكذا حتى يتوقف النمو تماماً ومثال ذلك قلة مصدر الغذاء فى البيئة أو تكون إفرازات سامة إلخ . ومثال ذلك فى أنبوبة الإختبار فى المعمل أو فى طبق بترى أو فى بيئة مائية لعدس الماء فإن مصدر الغذاء فى البيئة يقل وهكذا حتى يتوقف النمو ولذالك 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 الصادى ووضع الزمن على المحور السينى فإن المنحنى سيكون مستقيم نتيجة لزيادة سرعة النمو ثـم يقل النمو ولذلك يحدث إنحناء للمنحنى (شكل ١٠) . من المعروف أنه تتكون مركبات ضارة أو سامة تسبب ضعف أو وقف النمو staling factors فى مزارع البكتريا والخميرة والفطريات والطحالب مثل *Chlorella* .



(شكل ١٠) : منحنيات النمو لخلايا الخميرة

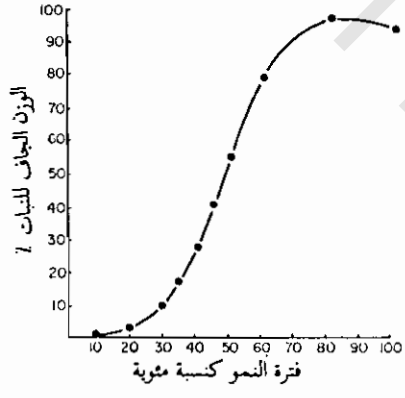
أ ـ العلاقة بين عدد خلايا الخميرة في وحدة الحجم والزمن .

ب ـ العلاقة بين لوغاريتم عدد خلايا الخميرة فى وحدة الحجم والزمن .

ب ـ حركيات النمو فى الكائنات عديدة الخلايا:

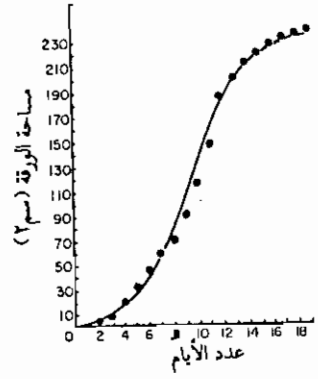
١ ـ المراحل الأولى والوسطية من النمو

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



(شكل ١١) : منحنى النمو لنبات الشعير

وعلاوة على ذلك يماثل منحنى نمو أى عضو مـن أعضاء النبات individual organs مثل الأوراق أو السلاميات (شكل ١٢).



(شكل ١٢) : منحني النمو لورقة نبات الخيار

يزداد حجم أو وزن النبات الجاف فى المراحل الأولى geometrical progression or exponentially. ولقد وضح 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

$$W = W_o\ e^{rt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (٤)$$

حيث أن

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

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

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

e = قاعدة اللوغاريتم الطبيعى ويسمى exponential coefficient .

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

يمكن كتابة المعادلة رقم ٤ كما يلى :

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

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 Wo وعلى سرعة الربح rate of interest أى سرعة الزيادة فى الوزن الجاف ويرمز له r وعلى الزمن ويرمز له بالرمز t. سرعة الربح 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 المطقة absolute increments فى النمو فى فترة زمنية dt يكون

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

ولذلك فإن سرعة النمو المطلقه فى 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.

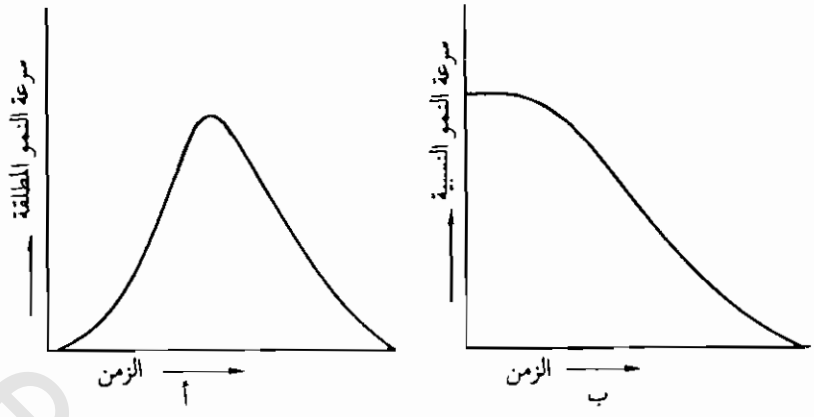
وبعد مرحلة البادرة فإن النبات ينمو وتزداد مساحة الأوراق. ولذلك فأن سرعة البناء أى سرعة تخليق مواد جديدة أى سرعة زيادة الوزن الجاف سوف تزداد تبعاً لزيادة مساحة الأوراق

٢ ـ المراحل الأخيرة من النمو Later Phases of Growth

يحدث فى النباتات الزهرية والسرخسية وعاريات البذور ما يحدث فى الكائنات وحيدة الخلية أو ما يشابها 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 الإتجاه 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 ـ سرعة النمو المطلقة
ب ـ سرعة النمو النسبية

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

تعتبر الأوراق هى الأجزاء التى تدخل مباشرة فى تخليق مركبات جديدة أو بمعنى آخر هى العضو أو الأجزاء الرئيسية التى تسبب البناء أى تخليق مركبات جديدة وأيضاً هى المسئولة 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 فى 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 فى المعادلة التالية :

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

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

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

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

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

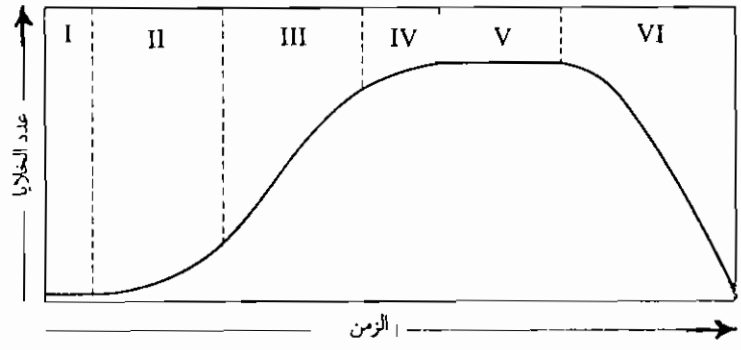
وتعبر المعادلة السابقة عن قياس سرعة الزيادة فى الوزن الجاف لكل وحدة مساحة للأوراق نتيجة لعملية البناء الضوئى مطروحاً منها الفقد فى الوزن نتيجة للتنفس ولذلك تعتبر صافى سرعة البناء . ولذلك تعتبر NAR هى مقياس لكفاءة النبات فى إنتاج الوزن الجاف . وفيما يلى سيتم دمج ثلاث قياسات فى المعادلة التالية .

$$RGR = NAR \times LWR$$

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 لقلة 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 وطولها . وفى أثناء هذه المراحل يتم تقدير الوزن الجاف وينتج عن ذلك منحنى sigmoid (شكل ١٤).، وفى حالة أخرى أى حالة ثالثة 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 بطء النمو ثم يلى 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 exponetial phase ومرحلة النمو ذو السرعة المتناقص deceleration phase.



(شكل ١٤) : منحنى النمو للطحالب ذات الخلية الواحدة

I مرحلة الركود lag phase

مرحلة النمو السريع أو النمو اللوغاريتمى

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

ثم ينتهى بمرحلة ثالثة هى مرحلة الثبات stationary phase حيث يوجد توازن بين عدد من الخلايا المنقسمة وعدد الخلايا الميتة. وفى بعض الأحيان توجد مرحلة رابعة هى 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 فى درجة تماثل المنحنى حيث أن عدم التماثل يكون أساساً فى الجزء الوسطى من المنحنى حول منطقة إنحناء الخط المستقيم من المنحنى أى 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 فى النبات الواحد. وأيضاً فإن الأوراق المختلفة على النبات الواحد تنمو بسرعات مختلفة كما هو الحال فى سيقان نبات *Opuntia*.

الصعوبات فى تقدير نمو النبات الكامل:

يعتبر تقدير نمو النبات الكامل صعب إلى حد كبير. حيث لابد 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 الإتزان فى العلاقات المائية للنبات وبالتالى 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.

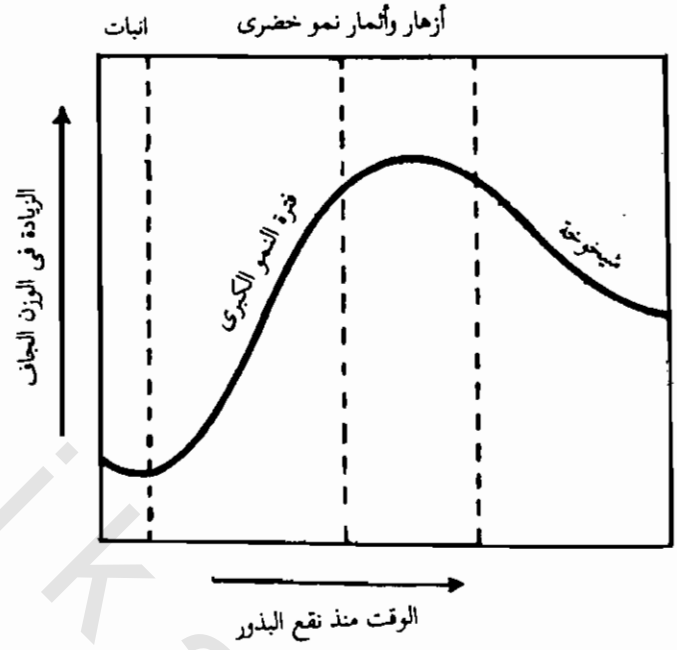
وعند تقدير النمو بالوزن الجاف للمجموع الخضرى أو أجزائه فيجب التنويه أن هذا الوزن هو الظاهرى حيث أن جزء من المركبات المتكونة قد فقد نتيجة للتنفس وجزء آخر قد فقد نتيجة لإنتقاله إلى المجموع الجذرى.

تقدير منحنى النمو أثناء أطوار نمو النبات:

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

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

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



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

تفسير شكل منحنى النمو فى الطحالب وحيدة الخلية والبكتريا:

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

وتعرف الفترة التى يتوقف فيها الإنقسام باسم طور الركود lag phase وفى هذه الفترة تحدث عدة تغيرات كيماوية داخل الخلية بالرغم من توقف الخلية عن الإنقسام. والفترة من دورة النمو التى تنقسم فيها الخلايا بسرعة واضحة والتى يثبت فيها الوقت الجيلى تعرف بطور النمو اللوغاريتمى logarithmic or exponential phase growth ويرمز له عادة بالرمز (log phase) .

ويميل بعض الباحثين إلى اعتبار المرحلة الأولى من الطور اللوغاريتمى والتى يظهر بها زيادة متدرجة فى تعداد الخلايا طوراً منفصلاً يعرف بطور النمو المتزايد accelerated growth phase، والسبب فى تدرج النمو فى هذه الفترة أن الخلايا جميعاً لا تكمل فترة ركودها فى وقت واحد وينتهى هذا الطور القصير بانتظام معدل النمو وبثبات الوقت الجيلى ودخول الخلايا فى الطور اللوغاريتمى.

وينتهى الطور اللوغاريتمى عندما يبطىء معدل التكاثر وتزداد فترة الوقت الجيلى ويثبت تعداد الخلايا الحية بالمزرعة، عندئذ يقال أن المزرعة قد دخلت فى طورها الثابت من النمو stationary phase وفى 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 وهى مرحلة أو طور الركود lag phase هى الفترة بعد حدوث التلقيح وقبل إنقسام الخلايا ومرحلة النمو ذو السرعة المتزايدة acceleration phase حيث تبدأ الخلايا فى الإنقسام ومرحلة النمو ذو السرعة الثابتة exponential phase حيث تنقسم الخلايا بسرعة ثابتة وفى 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 يلى وصف تفصيلى لما يحدث فى أطوار النمو المختلفة:

أولا ــ طور الركود Lag phase:

إن عدم حدوث الإنقسام فى هذه الفترة لا يجب أن يفهم منه توقف الخلايا عن النمو الفردى كلية . فإن الركود الملحوظ هو ركود فى حدوث عملية الإنقسام فقط، ولكنه ليس ركودا فى عمليات التخليق الحيوى بداخل الخلية .

ومن الدراسات السيتولوجية التى أجريت على الخلايا فى هذا الطور تبين أنها قد تزداد فى الحجم لتصل إلى ضعف أو ثلاثة أضعاف حجمها الأصلى يلاحظ أن الزيادة فى الحجم تكون بدرجة أكبر فى البكتريا العصوية عنها فى الكروية. وقد بينت الدراسات البيوكيمائية زيادة معدل النشاط الأيضى 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 فى الأحماض النووية.

والدراسات الكيماوية أظهرت أن هناك زيادة فى 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 فى الطور اللوغاريتمى تكون متناسبة تناسباً عكسياً مع طول الوقت الجيلى فى حين أن محتويات الخلية من DNA لا تتأثر بطول أو قصر الوقت الجيلى. وقد أظهرت الدراسات البيوكيمائية الأخرى زيادة فى معدل تنفس الخلية البكتيرية خلال فترة الركود وفترة النمو المتزايد عنها فى الأطوار التالية من النمو ويرجع ذلك إلى الزيادة فى حجم البروتوبلازم الموجود بالخلية حينئذ.

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

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

ثانيا ـ 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° ـ 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 درجة ٣٧° ـ 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 الأنزيمى لهذه الخلايا . والبكتيريا والطحالب المحبة للحرارة المرتفعة thermophilic ومثال ذلك الطحالب التى تعيش فى الينابيع الحاره تتراوح درجة حرارتها المثالية للنمو بين ٥٥° ـ ٦٠°م وعلاوة على ما تقدم فإن مكونات البيئة الغذائية يمكنها أيضا أن تتحكم فى طول فترة الوقت الجيلى. 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 الجيلى. وهناك بعض المواد تعتبر منشطة للنمو فقط بمعنى أنها ليست من المواد الضرورية لكن وجودها بالبيئة يؤدى إلى تقصير فترة الوقت الجيلى. ومجرد وجود المواد الغذائية بالبيئة لا يؤثر على معدل النمو وطول الوقت الجيلى فقط، بل أن تركيزات هذه المواد بالبيئة لها أيضا تأثير واضح على النمو ومعدلاته. لذلك يمكن إطالة فترة الوقت الجيلى فى مزرعة بكتيرية بتغيير بيئتها الغذائية أو بتقليل تركيز أحد مكوناتها.

إذا كان تركيز مكونات البيئة الغذائية محدودا فإن المحصول الكلى 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 الخلوى 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 ـ 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 الخلوى حيث أن هذه المواد قد تؤدى 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 تكدسها، 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 ـ 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 بإختلاف 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 ـ تركيز العكاره Turbidity :

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

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

٢ ـ عد الخلايا:

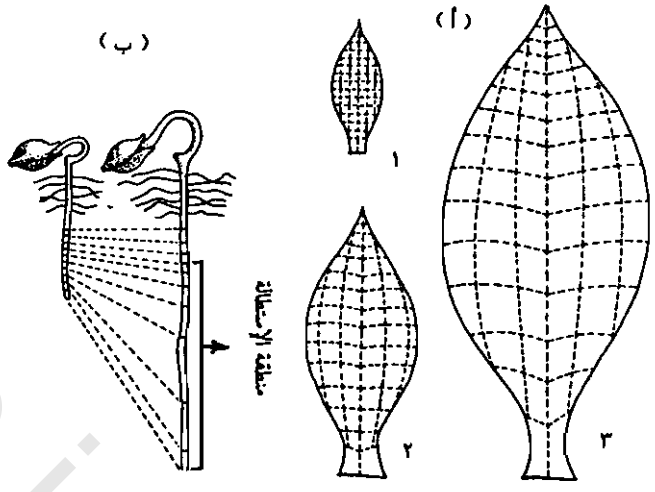
يتم أخذ قطرة من المعلق النامى فيه الطحلب أو الخميرة أو البكتريا وذلك بواسطة ماصة مدرجة وبذلك يمكن معرفة حجم النقطة ثم يتم فرد هذه النقطة فى مساحة معينة على شريحة زجاجية ولتكن المساحة واحد سم مربع. يتم عد الخلايا الموجودة فى مساحة الحقل الميكروسكوبى لمرات عديدة ثم حساب المتوسط. يتم حساب عدد الخلايا الموجودة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

٣ ـ الزيادة فى الطول

يمكن قياس الزيادة فى الطول بطرق عديدة وأيضا بأجهزة عديدة ومنها ما يأتى:

أ ـ قياس الطول بالعين المجردة أو المسطرة:

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



(شكل ١٦) : طرز النمو

أ ـ مراحل نمو ورقة التبغ (١ ، ٢ ، ٣)

ب ـ مراحل نمو بادرة القرع

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

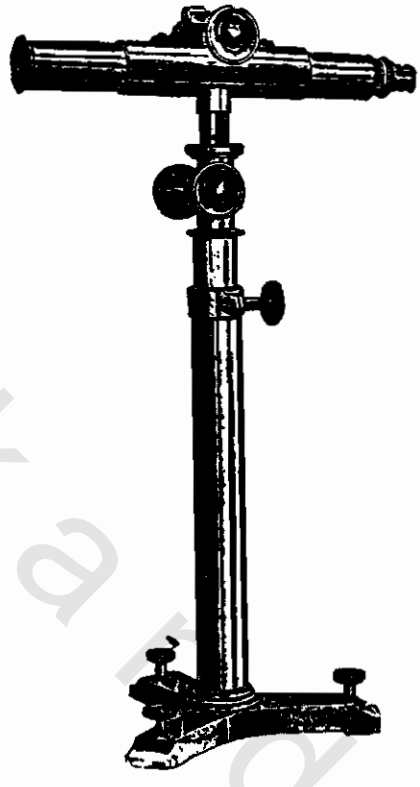
ب ـ استعمال المجهر الأفقى Horizontal microscope :

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 تغييرهما 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 الأعتبار (شكل ١٧).

جـ ـ 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

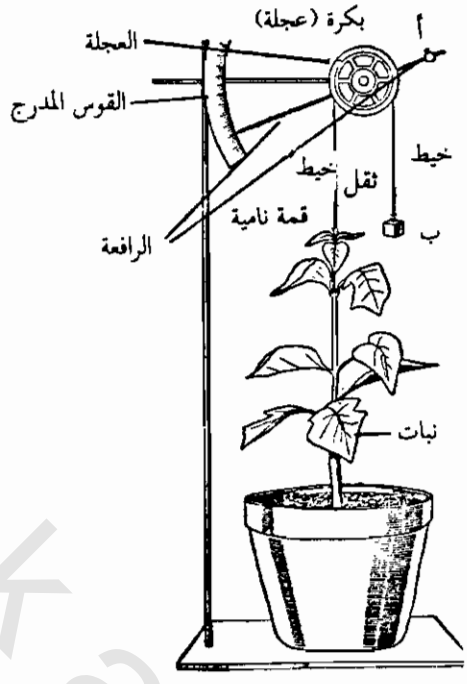
والأوكسانومتر المسجل self-registering auxanometer وفيما يلى وصف الأوكسانومتر البسيط والأوكسانومتر المسجل.



(شكل ١٧) : المجهر الأفقي

توجد أنواع مختلفة من الأوكسانومتر البسيط وهى 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 فى مركز عجلة ذات قطر مناسب، وتثبيت العجلة على قائم رأسى يحمل قوسا مدرجا بحيث يمكن أن تدور العجلة ومعها الرافعة دون أن يعوقهما عائق، وبحيث يشير ذراع الرافعة الطويل إلى درجات القوس.

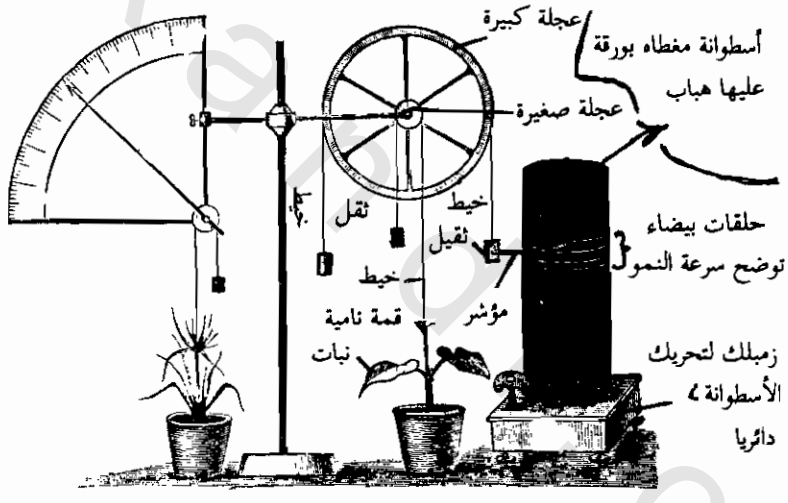
obeikandl.com



(شكل ١٨) : الأوكسانومتر 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 لابد 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 وفى 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 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 يماثل آلة (زمبلك) ساعة الحائط.

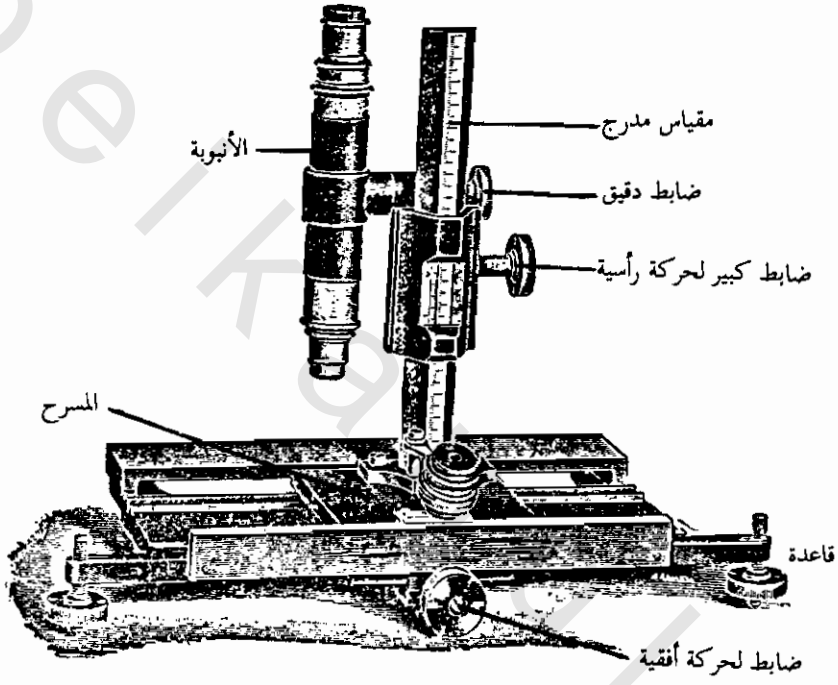


(شكل ١٩) : اليمين أوكسانومتر مسجل واليسار أو كسانومتر بسيط.

د ـ المجهر المتنقل:

يلاحظ أنه قلما 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 عادى مثبتة فى 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 مثلا، 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 رأسيا وأفقيا، 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 ـ الزيادة فى المساحة:

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

٥ ـ الزيادة فى القطر أو المحيط:

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

٦ ـ الزيادة فى الحجم:

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

٧ ـ الوزن الرطب Fresh weight:

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

٨ ـ الوزن الجاف Dry weight:

تقدير الوزن الجاف للعضو النباتى أو للنبات وذلك بالتجفيف فى الفرن على درجات حرارة مرتفعة نسبيا وعادة تكون أقل من مائة درجة قليلا. تعتبر هذه الطريقة هى أدق طريقة لتقدير النمو.