كلية العلوم

القسم : علم الحياة

السنة : الرابعة

المادة : تغذية ونمو

المحاضرة : الثامنة/نظري/د.ريم

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

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

منظمات (مواد) النمو النباتية
Plant Growth Hormon

عرفت سابقا بالهرمونات النباتية وهي مركبات عضوية ذات وزن جزيئي صغير تنتج بواسطة النباتات في أماكن إنتاجها وتنتقل إلى أماكن تأثيرها، ولها تأثير منظم للعمليات الكيميائية الحيوية في الخلية النباتية وبالتالي تؤثر على النمو والتشكل النباتي. وهي تتحكم في نمو وتطور الأعضاء النباتية من خلال تأثيرها على العديد من العمليات الفيزيولوجية المتخصصة فهي تضبط Promote وتنشط أو تثبط inhibit أو تحوّر modify عملية النمو وتقسم وفقا لذلك إلى: منشطات النمو Growth Hormon ومعوقات النمو Growth Retardant ومثبطات النمو Growth inhibitors.

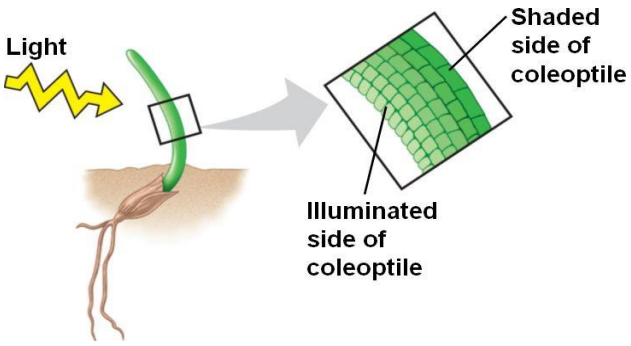
وتعتمد عملية تثبيط ونتشيط مواد النمو النباتية للعضو النباتي على تراكيزها وعلى نوع الجزء النباتي المستجيب فمثلاً ينشط الأوكسين النمو الإعاشي عند تركيز معين في حين يثبط نمو الجذور عند التركيز ذاته، وتختلف الاستجابة أيضا في العضو النباتي الواحد وفقا لأطوار النمو المختلفة للنوع الواحد وتختلف أيضاً للطور الواحد من نوع نباتي لآخر.

ولدراسة وفهم آلية تاثير مواد النمو النباتية يجب أن ندرس الحد الفيزيولوجي Physiological concentration وهو الحد الذي يحدث عنده تأثير معين في الخلية النباتية .

وكذلك الاختبار الحيوي Biological testing والذي يقصد به قياس التأثير الفيزيولوجي للمادة على مستويات مختلفة عن طريق الاستجابة الحيوية للأوكسين او السيتوكينين أو .....الخ، مثل تأثير الأوكسين في استطالة السويقة الجنينية لنبات الشوفان والتي سندرسها في تجربة اكتشاف الاوكسينات.

اكتشاف الاوكسينات:

من الشائع ملاحظته أن القمم النباتية تنمو جهة الضوء ويعود السبب في ذلك إلى التوزع غير المتساوي لمنظمات النمو في الجهتين المختلفتين لساق النبات وبالتالي نمو الجزء غير المواجه للضوء بشكل أسرع من الجزء المقابل للضوء مما ينجم عنه الانحناء جهة الضوء، (الشكل 1). وقد تم تفسير هذه العملية من قبل العلماء منذ ما خمسينيات القرن الماضي مضت حيث اكتشفوا وجود مادة طبيعية تصنع في القمم النباتية عرفت باسم حمض الاندول الخلي IAA (Indol acetic acid) والذي اشتهر كأول أنواع منظمات النمو النباتية التي تنتج في القمم وتنتشر إلى الأسفل من القمة تماما وتتسبب في النمو جهة الضوء.



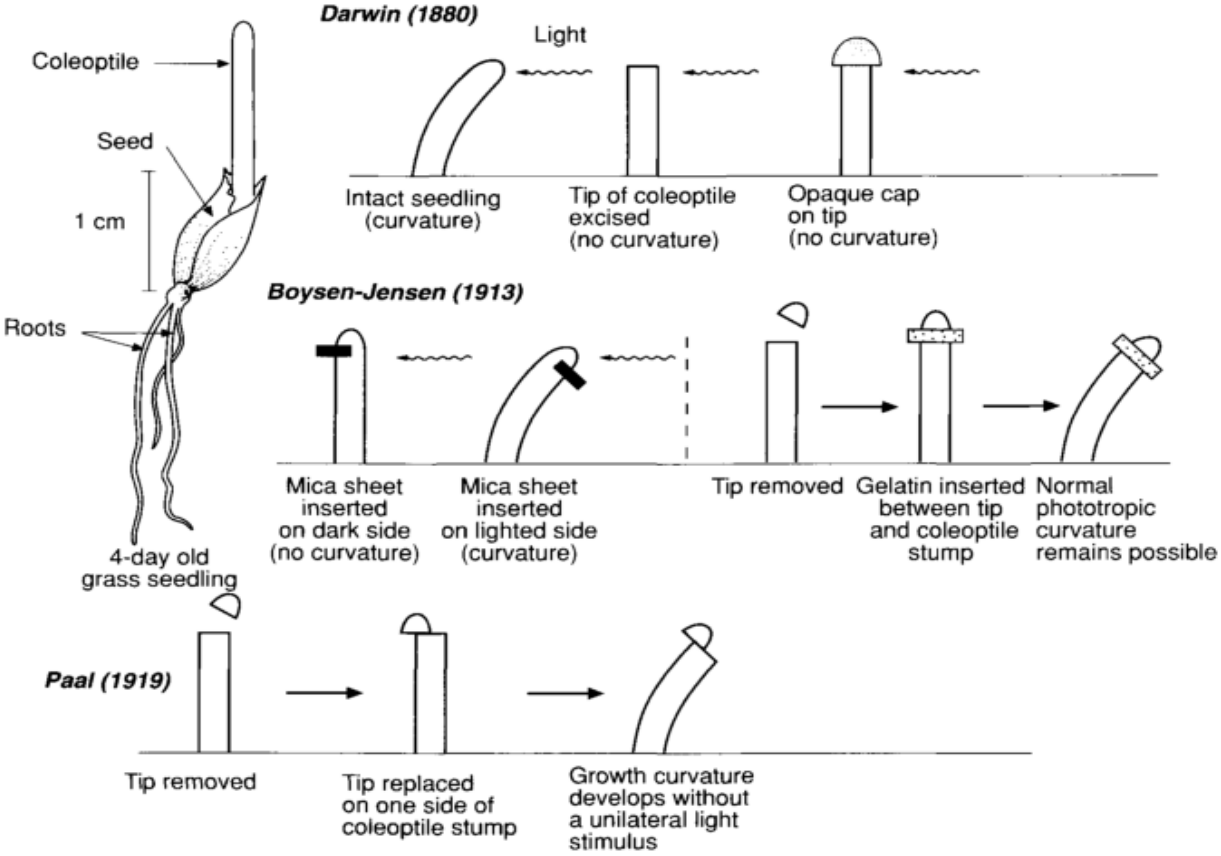
الشكل1: نمو واستطالة خلايا الجزء المظلل من النبات على حساب الجزء المضاء بتأثير الأوكسين وانحناء قمة النبات جهة الضوء

وقد استطاع العلماء في سلسلة من التجارب المتتالية تجميع هذه الهرمون النباتي وتجربته على نباتات أخرى أعطى نتائج قابلة للقياس وهذا كان أول اختبار حيوي لهرمون نباتي (مادة نمو نباتيه) (الشكل2 و الشكل3).

ثم توالت بعد اكتشاف IAA العديد من الأبحاث التي أجريت في الخمسينات والستينات من القرن الماضي أثبتت وجود العديد من المواد الكيميائية الحلقية الأخرى التي توجد وبشكل طبيعي مثل الجبريلين GA3 والسيتوكينين CKs وحمض الاوبسيسك ABA والإيثلين، والتي تؤثر على استجابة النبات وتعد هذه المواد إلى جانب الأوكسين المجموعات الخمسة الكلاسيكية التي توصف بمنظمات النمو النباتية. ويصنف في المجموعات الثلاثة الأولى العديد من الأنواع بينما يتواجد حمض الأوبسيسك والايثلين بشكل مفرد في المجموعة الخاصة بكل منهما.

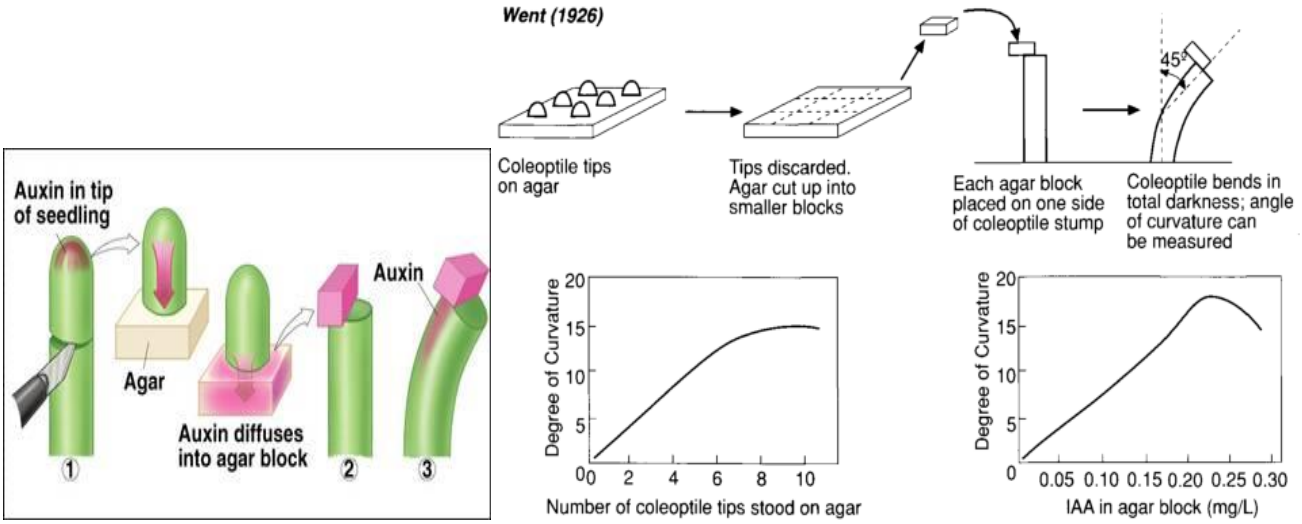
وفي الآونة الأخيرة تم التعرف على نشاط تيروئيدات البراسينوس وحمض الياسمين كهرمونات نباتية، وكذلك تم اكتشاف أن بعضاً من المركبات الكيميائية في النبات قد تمتلك تأثيراً منظما للنمو مثل حمض السالسيليك والبولي أمين والسكريات قليلة التعدد والببتيدات الصغيرة كما أضيفت العديد من المركبات الكيميائية المصنعة إلى قائمة منظمات النمو النباتية.

تمت العديد من التجارب المهمة التي أثبتت وجود الأوكسين وقد تم استخدام كوليبوتيل نبات زهرة الزنبق أو الشوفان أو الذرة (والكوليوبتيل هو الغمد الذي يغطي الورقة الأولى لبادرة النباتات أحاديات الفلقة) في جميع التجارب وقد قام دارون عام 1880 م بتسليط الضوء على النبات من جهة واحدة وقد لاحظ انحنائها باتجاه الضوء وعندما قام بقطع القمة أو تغطيتها لم يلاحظ استجابة، واستنتج أن الانحناء قد حدث بسبب انتشار التأثير من القمة النامية على الأجزاء الواقعة تحتها مباشرة. ثم قام العالم بويسن عام 1913 م باستخدام صفائح الميغا أو الجيلاتين للفصل بين القمة النامية والمنطقة التي تليها مباشرة ولاحظ أن المادة انتشرت بالجيلاتين ولكنها لم تعبر الميغا وبالتالي أثبت أن التاثير حدث نتيجة انتقال مركب كيميائي وبعد ذلك أظهر العالم بيل عام 1919م أن وضع القمة المقطوعة على طرف الكوليوبتيل النامي ومن جهة واحدة فقط يتسبب في انحناء الكوليوبتيل حتى بغياب الضوء (الشكل2).



الشكل2: تجارب العلماء في إثبات وجود مادة كيميائية تنتج في القمم النامية تسبب الانحناء جهة الضوء.

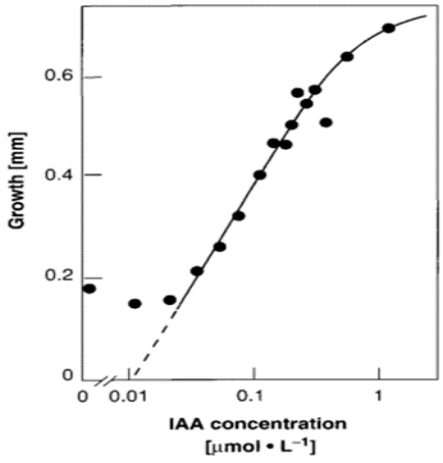
وبعد ذلك في عام 1926م استخدم الآغار في تجميع المركب الكيميائي المتشكل في القمة النامية لعدد من البادرات واستخرج الأوكسين IAA (Indol acetic acid) (الشكل2). حيث قام العالم WENT بقطع القمم النامية لعدد من البادرات ووضعها على الآغار (مادة جيلاتينة سكرية تتشرب المركب الكيميائي وتنتشر فيها المواد القابلة للانحلال بالماء) ومن ثم قطع الآغار إلى مربعات صغيرة واستخدمها في تجارب الانحناء لبادرات حديثة النمو مقطوعة القمة ودون وجود الضوء وبالتالي لاحظ ان المكعبات الصغيرة من الآغار سببت الأثر ذاته الذي تسببه القمة النامية عند التعرض للضوء من جهة واحدة وهو الانحناء جانباً حسب مكان وضع قطعة الآغار الحاوية على مواد النمو النباتية التي تم استخلاصها سابقا، وبزاوية قدرها 45م وبالتالي تمت معايرة هذه المادة الكيميائية والتي عرف تركيبها فيما بعد وهي الأوكسين الطبيعي IAA.



الشكل3: استخلاص ومعايرة الأوكسين IAA في كوليوبتيل نباتات أحادية الفلقة حديثة النمو باستخدام الآغار.

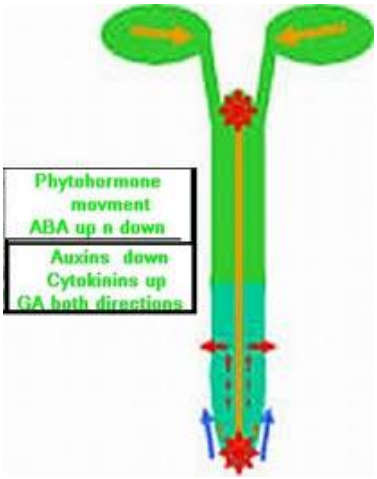
الخصائص العامة لمنظمات النمو النباتية :

تؤدي كل فئة من منظمات النمو النباتية إلى مجموعة متنوعة ومختلفة من الاستجابات المتعلقة بالنمو والتشكل على سبيل المثال تشارك الأوكسينات في انقسام الخلايا ونموها وتنظم السيادة القمية والاستجابة للمنبهات الاتجاهية (الضوء والجاذبية) وتؤثر في تشكل الثمار، وتختلف الاستجابة للاوكسينات باختلاف العضو النباتي وتركيز الاوكسين فالتراكيز المناسبة لتحفيز نمو الساق تكون مثبطة لنمو الجذر للنبات ذاته. كما قد تؤثر عدة أنماط منها في الاستجابة ذاتها؛ مثلا تتأثر استطالة الخلايا بالأوكسينات والجبريلينات والبراسينو ستيروئيدات؛ كما تؤثر الأوكسينات والسيتوكينينات والجبريللينات في انقسام الخلايا وبالتالي هناك تكرار واضح في السيطرة على الاستجابة ذاتها، ولكن قد تختلف آلية الاستجابة بين كل نوع وآخر.



تنشط منظمات النمو النباتية بتراكيز صغيرة جدا (نانومولار) وتبدأ الاستجابة بتراكيز أقل من 10 على 100 بيكو مولار ومن ثم تصل على أقصى مراحل الاستجابة عند تركيز معين (الشكل4) وبالنسبة لبعض الهرمونات قد تصبح التراكيز الأعلى منها مثبطة للنمو.

الشكل4: تنشيط النمو في تراكيز مختلفة من IAA والوصول لحد الإشباع.



الشكل5: الانتقال القطبي لمنظمات النمو النباتية

تنتقل منظمات النمو النباتية من أماكن إنتاجها على أماكن تأثيرها وهذا ما يسمى الانتقال القطبي (الشكل 5)، مثلاً تنتقل الهرمونات من القمم النامية إلى البراعم الجانبية وتسبب سكونها وقد يكون الموقع المستهدف هو النسيج تحت القمة النامية مباشرة وغيرها، وفي بعض الحالات يكون موقع الإنتاج وموقع التأثير للهرمون هو ذاته؛ على سبيل المثال إنتاج الإيثلين ونضج الثمار.

أخيرا يتم تصنيع الهرمونات النباتية في عدة مواقع مختلفة في النبات وليس في أي غدة أو نسيج محدد، مثلا يتم تصنيع IAA في البراعم القمية والجانبية الصغيرة والثمار غير الناضجة والبذور النامية .....الخ.

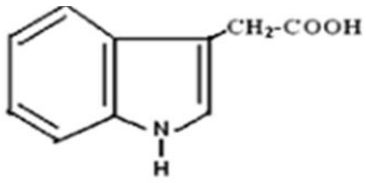
لفهم الانتقال القطبي للأوكسينات نذكر تجربة العالم went الذي كشف عن طبيعة الانتقال القطبي باستعمال أسطوانات من كوليوبتيل نبات أحادي الفلقة (نبات الشوفان). وضع أسطوانات من الكوليوبتيل بوضع عمودي (الجزء العلوي للأعلى) ووضع فوقها قطعة من الآغار حاوية على أوكسين، وتحتها قطعة من الآغار المجردة من الأوكسين فوجد أن الأوكسين ينتقل من قطعة الآغار العلوية إلى اسطوانة الكوليوبتيل ومنها إلى قطعة الآغار السفلية حيث يتجمع فيها. ولكن عند أخذ أسطوانات من الكوليوبتيل مقلوبة (الجانب السفلي للأعلى) ووضع فوقها مكعب الآغار الحاوي على الأوكسين ثم وضع تحتها مكعب الآغار وجد ان الأوكسين لا ينتقل ويبقى متجمعا في مكعب الآغار العلوي.

يتم انتقال الأوكسين من مكان تشكله في القمة إلى الجزء الواقع تحته مباشرة ولو كان ذلك بعكس ممال التركيز مما يدل على أن انتقال الأوكسين ليس عملية انتشار بسيطة وإنما هي عملية حيوية تتطلب صرف طاقة.

منشطات النمو Growth promoters

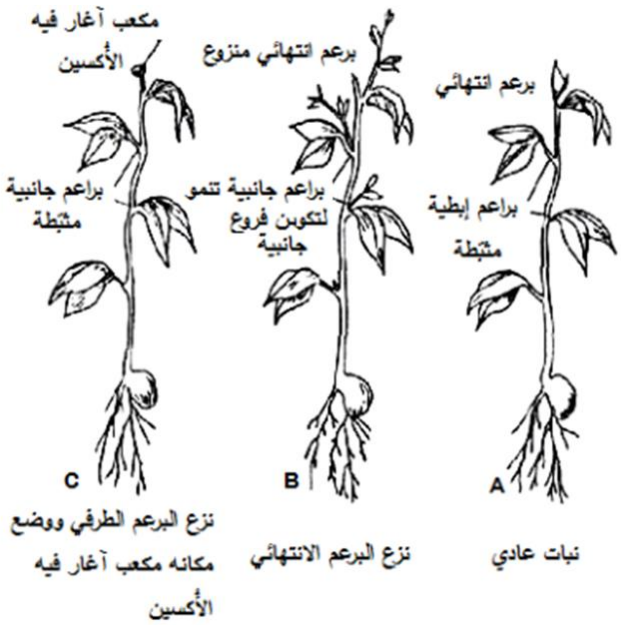
أولا: الأوكسينات

مركبات كيميائية تسبب استطالة خلايا الساق وأول أنواعها المكتشفة في النبات هو اندول حمض الخل IAA وهو يشتق من الحمض الاميني تربتوفان ويتم إنتاجه وهدمه في النبات حسب الحاجة.



إندول 3 حمض الخل Indol -3- Acetic Acid IAA

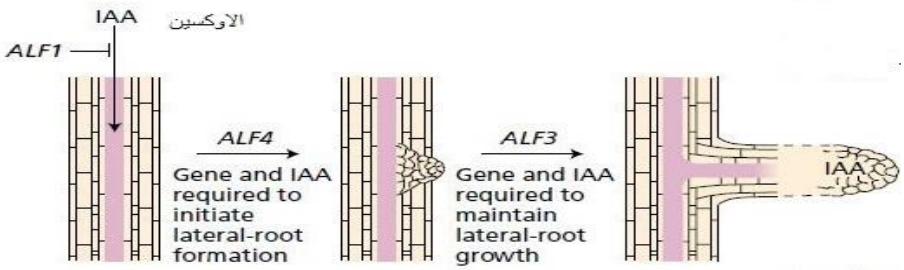
- **أثر الاوكسينات في النشاط الميريستيمي:** توجد الأوكسينات في جميع النباتات الراقية وتتكون في المناطق الميرستيمية والنسج النشطة في غمد البريعم والسويقة والأجنة، لها خاصية الانتقال القطبي،تشجع معدل الانقسام الخلوي وزيادة معدل النمو العرضي للنبات وزيادة عدد الخلايا في النسج المختلفة واستطالتها، زيادة نشاط وتركيب الأنزيمات وزيادة الجهد التناضحي للخلية، وإحداث تغيرات في نفاذية الأغشية، إحداث مرونة في الجدار الخلوي ، زيادة دخول الماء وزيادة معدل التنفس، فالمناطق التي ينشط فيها إنتاج الأوكسين هي البرعم الانتهائي، وأسفل البرعم الانتهائي والأوراق الفتية، وبالعكس تكون السوق الهرمة والأوراق الكبيرة وقمم الجذور أقل إنتاجا للأوكسين. تنتقل الأوكسينات من البراعم النامية على السوق فيبدأ انقسام خلايا الكامبيوم ونموها قريبا من قمم السوق ثم تنتقل ببطء موجه من النشاط الكامبيومي من هذه المنطقة إلى أسفل عبر السوق والأغصان فالجذور وتكون هجرة الأوكسينات هذه في الاتجاه السفلي مصحوبة بتمايز نسج الخشب واللحاء الثانويين.
- **تعطيل نمو البراعم الجانبية:** تبقى البراعم الجانبية ساكنة طالما كان البرعم الانتهائي موجوداً، فإذا استئصل البرعم الانتهائي فإن برعما أو أكثر من البراعم الجانبية يبدأ في النمو. والبرعم الجانبي الذي ينمو يقوم بدور البرعم الانتهائي وتعرف هذه الظاهرة باسم السيادة القمية (الشكل6).
- وتم تفسير السيادة القمية بأن مادة معيقة للنمو (الأوكسين) تنتشر من البرعم النامي الانتهائي إلى البراعم الجانبية ولأن البراعم الجانبية أيضا تنتج الأوكسين يزداد تراكيز الأوكسين في البراعم الجانبية إلى الحد الذي يمنعها من النمو. كما أثبتت التجارب أن الأوكسين المتكون في البرعم الانتهائي وينتقل إلى البراعم الجانبية ويساهم في تعطيل النمو، والفائدة العملية من هذه الظاهرة هو تقليم الأشجار وخاصة أشجار



الشكل 6: السيادة القمية للبرعم الانتهائي

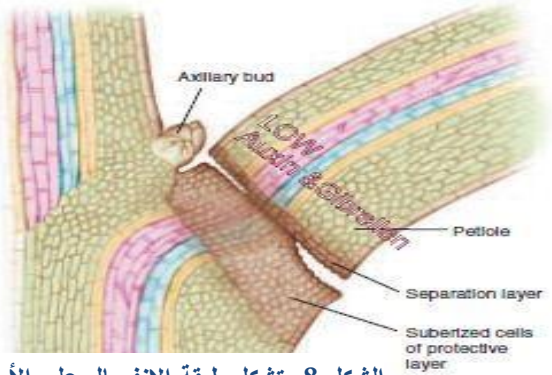
الزينة لإنتاج فروع جانبية جديدة يبنى عليها الشكل النهائي للشجرة. أما بالنسبة للأشجار المثمرة فإن الغاية من إزالة البراعم القمية تشجيع نمو البراعم الجانبية لتحمل النمو الثمري الجديد.

- **دور الأوكسينات في تشكل الجذوروتكوين الكالوس:** تنشط الاوكسينات تكوين الكالوس (كتلة خلايا منقسمة غير متمايزة) عند قطع الساق أسفل ورقة ناضجة نتيجة تنشيطها لخلايا بارانشيمية تستطيل وتنقسم بفعل الاوكسين مكونة كتلة من الخلايا تعرف بالكالوس. كما تنشط الأوكسينات تكوين الجذور العرضية والجذور على العقل (الشكل 7)، حيث أن وجود البراعم على الفسائل النباتية (قطع من فروع نباتية تحمل برعما أو أكثر) ينشط تشكل الجذور فيما إذا زرعت في الوسط الملائم، ويعود ذلك إلى الأوكسين الذي يتكون في البراعم النشطة والأوراق الفتية وانتقل إلى الأسفل وساهم في تكوين الجذور. وإذا لم تحتوي الفسائل براعم تغمس في محلول مخفف من الأوكسينات أجزاء من المليون مثل حمض ألفا نفتيل حمض الخل من الأوكسينات الصناعية يساعد على تسريع تشكل الجذور مع العلم زمن تشكلها يتناسب عكسا مع تركيز الأوكسين، وتستخدم هذه الطريقة أيضا على نطاق واسع في المشاتل والحدائق لزيادة تكوين المجموع الجذري وخاصة عند الأنواع البيئة أو معدومة نمو المجموع الجذري.



الشكل 7: دور الاوكسين في تشكيل الجذور الجانبية

- **دور الأوكسينات في سقوط الأوراق:** الأوراق الفتية سريعة النمو تنتج قدرا كبيرا من الأوكسين بينما لا تنتج الأوراق الهرمة إلا قليلا، وبالتالي فإن الأوراق أسفل الساق تتساقط نتيجة قلة تركيز الأوكسين فيها مقارنة بالساق التي تلتصق بها ولذلك تتشكل طبقة من الخلايا مختلفة في تركيبها التشريحي تعرف بمنطقة الانفصال (الشكل 8) وهي منطقة ضعيفة تفصل بين الورقة ومنطقة اتصالها بالنبات الأصل



الشكل 8: تشكل طبقة الانفصال على الأوراق المتساقطة

وعند أي اهتزاز للورقة تسقط عن الساق وبالآلية ذاتها تتساقط الثمار الناضجة، وبالتالي فإن سقوط الأوراق يسيطر عليه نظام توزع الاوكسينات ودرجة التوازن فيها.

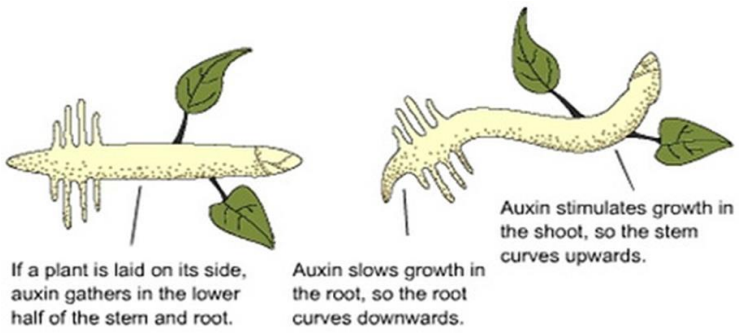
تستخدم هذه الميزة في ابقاء الأوراق على نباتات الزينة برشها بمحلول أوكسين بتركيز مناسب حسب النوع النباتي.

تكوين ثمار لابذرية: تتكون الثمار لا بذرية في الطبيعة من أزهار غير ملقحة أو يكون الإلقاح غير مؤثر في تكوين البذور حيث يحتوي المبيض على كميات كبيرة من الأوكسينات تكفي لنمو المبيض وتحولها إلى ثمرة دون الحاجة إلى الأوكسين الذي يصلها من حبة الطلع.

استخدمت الأوكسينات الصناعيه في معاملة ميسم الزهرة أو مبيضها بمحلول من الأوكسينات بتراكيز ملائمة حسب النوع النباتي فيؤثر على خلايا جدار المبيض وينشط الانقسام والنمو لتتشكل ثمار بلا بذور.

دور الأوكسينات في الانجذاب الضوئي والأرضي:

تشجع الأوكسينات الانجذابات للضوء حيث تقل تراكيزها في الجهة المضاءة نتيجة هجرتها بتأثير الضوء إلى الطرف المظلل و تخرب قسم منها بفعل الضوء بينما تزداد تراكيزها في الجهة المظلله وبالتالي يقل نمو واستطالة الخلايا في الناحية المضاءة بينما يزداد في الناحية المظلله فيتجه النبات نحو الضوء الشكل (1)، كما تنشط عملية التركيب الضوئي وينشط تركيب الأنزيمات النوعية المفككة للأوكسين في الجهة المضاءة وكذلك تركيب الأصبغة الضوئية واستهلاك CO_2. وتنشط الأوكسينات الانجذاب الأرضي والتلامسي والحراري والمائي بطريقة مشابهه حيث يهاجر الأوكسين جهة الجاذبية الأرضية متأثرا بثقله النوعي ويصبح تركيزه المرتفع في القسم السفلي لجذر موضوع أفقياً أعلى من القسم العلوي مما يتسبب في تثبيط نمو خلايا الجذر في القسم السفلي وتنشيطها في القسم العلوي ومن ثم انحناء الجذر للأسفل وتكون التراكيز الملائمة لتنشيط نمو خلايا الساق مثبطة لنمو خلايا الجذر وهكذا ترتفع الساق للأعلى عكس الجاذبية الأرضية (الشكل 9).



الشكل 9: بادرة موضوعة أفقيا ينجذب جذرها للأسفل والساق للأعلى بتأثير الأوكسين.

الأوكسينات الصناعية :

مركبات عضوية صناعية تقوم بدور الاوكسينات الطبيعية بأنها ذات منشأ خارجي عن الخلية. وهي ذات تراكيب كثيرة ومتنوعة ولكنها تشترك جميعا بالحلقة العطرية المغلقة ونذكر منها حمض ٢-٤ ثنائي كلورو فينوكسي حمض الخل 2,4- D و ألفا نفتيل حمض الخل NAA واندول حمض الزبدة IBA

يستخدم الاوكسين 2,4-Dكمبيد عشبي وذلك لأن التراكيز المرتفعة منه حوالي 1000 جزء من المليون تؤدي إلى تشوه في الأوراق والجذور والسوق. وتتفاوت النباتات في استجابتها له حيث تتأثر النباتات ذات الأوراق العريضة أكثر من نباتات الفصيلة النجيلية. كما تكون الأشجار أكثر مقاومة من النباتات العشبية وهذا التأثير اصطفائي مما يجعله أكثر أهمية من بقية الأنواع كمبيد عشبي.

آلية عمل الأوكسين :

تتم استطالة الخلايا النباتية بتأثير الأوكسين ويختلف التركيز الأمثل للاستطالة باختلاف العضو النباتي حيث تكون التراكيز الملائمة لاستطالة خلايا الساق مثبطة لنمو الجذور، وتسلك السوق والبراعم سلوكا مشابها إلا أن التراكيز الملائمة لاسطالتها تفوق كثيرا الجذور. ولكن المحاولات لإيضاح عمل الأوكسين تركزت حول التفسيرات المقترحة في استطالة الخلايا ويتلخص تأثير الأوكسينات في استطالة الخلايا بمايلي:

- الزيادة في لدونة الجدار الخلوي plasticity.
- الاشتراك بصورة مباشرة أو غير مباشرة في التفاعلات التي تؤدي إلى توضع جزيئات السللوز في الجدار الخلوي.

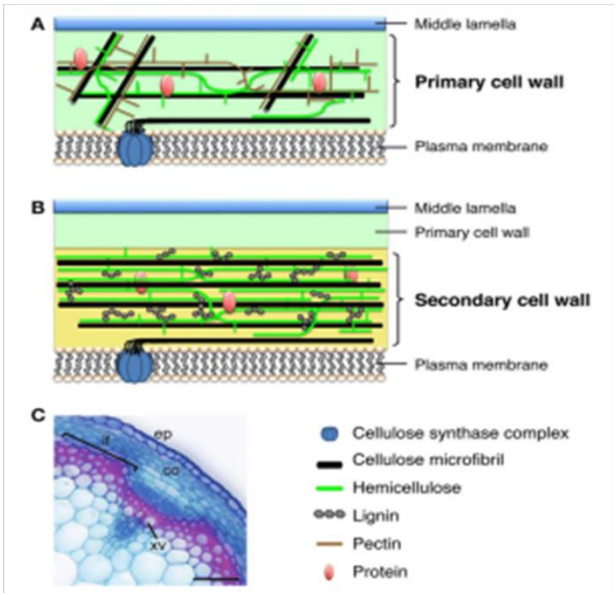
وأما الفعاليات الرئيسية التي تلخص دور الأوكسين في بعض العمليات الحيوية في النبات يمكن ان نلخصها كالتالي:

1- ازدياد لدونة الجدار الخلوي: بين عدد من العلماء ان استطالة الجدار الخلوي في الخلايا النباتية هي عملية غير عكوسة وتعني لدونة الجدار الخلوي أنه لا يعود إلى حالته الأولى بعد أن يتمدد (عكس المرونة) وهذه اللدونة ترتبط مع معدل النمو وتوازيها تماماً وتزداد عند المعاملة بالأوكسينات حيث يسبب الأوكسين زيادة كمية المواد البكتية في الجدار الخلوي. إن المؤثرات التي تؤدي إلى توقف النمو تؤدي كذلك إلى وقف لدونة الجدار الخلوي. وفي تجربة أجريت على بادرات الفاصولياء وجد أن الجدر الخلوية تبقى رقيقة عندما تكون كمية الأوكسين عالية وتصبح ثخينة عندما يكون تركيز الأوكسين منخفضاً، وبالتالي فإن تركيب السللوز يرتبط بعمل الأوكسين.

2- ازدياد امتصاص الماء: من المحتمل أن يكون امتصاص الماء بوساطة الخلايا هو القوة المحركة لاستطالتها، لقد أُثبت في العديد من التجارب أن كمية المواد المنحلة في العصارة الخلوية تزداد في الخلايا عند معاملتها بالأوكسين. إن تركيز المواد الفعالة حلوليا لا يتغير ولا يزداد وكذلك لا يتغير الجهد الحلولي وبالرغم من ذلك يصبح جهد الماء أكثر سلبية، وبالتالي فإن جهد الضغط هو الذي يتغير، حيث ان خلخلة الجدار الخلوي بتأثير الأوكسين والانخفاض في مقاومته للتمدد والضغط الداخلي، يقود إلى دفع الغشاء الخلوي باتجاه الخارج مع انخفاض الانتباج، وعندما يصبح ضغط الجدار أقل إيجابية يصبح جهد الماء أكثر سلبية منه في الخلايا المجاورة وتبعاً لذلك يندفع الماء إلى داخل الخلية مسبباً توسع الخلايا وزيادة حجمها، وأن إضافة مواد جديدة إلى الجدار الخلوي وتشكل روابط جديدة بين السللوز والسكريات العديدة الأخرى ينتج عنه زيادة غير عكوسة في حجم الخلية.

3-تأثير الأوكسين على PH الجدار الخلوي:

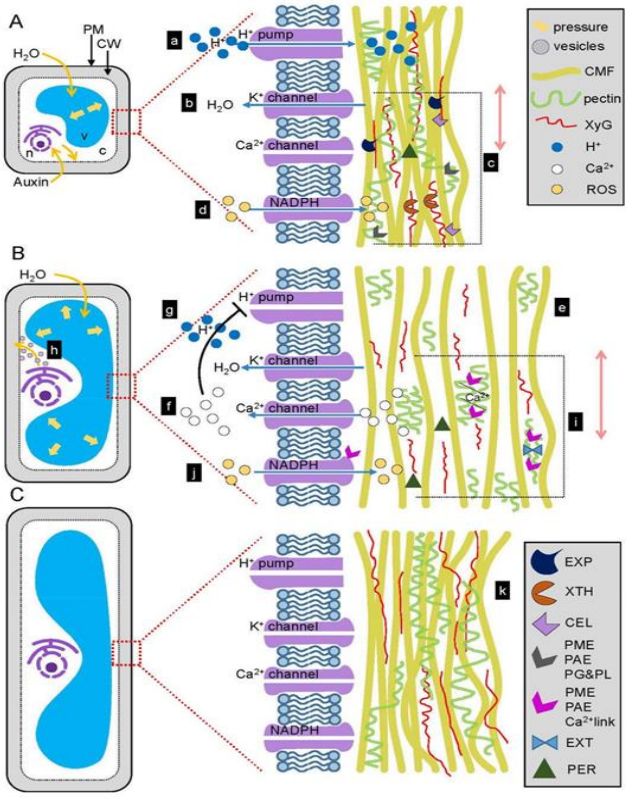
تتكون الخلية النباتية كما نعلم من جدار خلوي وبروتوبلازم ويتكون البروتوبلازم من سيتوبلازم ونواة وقد يطلق على المكونات البروتوبلازمية اسم البروتوبلاست، ويحاط السيتوبلازم بغشاء بلازمي (Plasma Membrane) معقد التركيب وتوجد داخل الخلية الشبكة الأندوبلازمية التي تتكون من نفس مادة الغشاء البلازمي وهي امتداد له وهي موجودة ضمن سائل شبه غروي يحتوي على العضيات (ميتوكوندريا، صانعات، ريبوزومات...الخ) وكذلك نشاهد الفجوات التي تحتوي العصارة الخلوية وهي سائل مائي يحتوي على مواد كيميائية ذائبة كالسكريات والاملاح والصبغات والفضلات الاستقلابية.



عندما تنمو الخلايا وتستطيل يزداد تمدد الجدار الخلوي لاستيعاب زيادة حجم الخلية بما تحتويه ويتم إضافة مكونات الدار ولا تتسبب تلك الإضافة في زيادة السماكة ولكن تستخدم في تمدد الجدار ، حيث يضاف ألياف السللوز بسماكة 5-10 نانومتر وبطول 60 نانو وقد تحتفظ بعض الجدر الخلوية مثل جدر الخلايا الحية في اللحاء أو خلايا القشرة بالتركيب السللوزي للجدار او قد تضاف مادة الليغنين مثل خلايا معظم أنسجة الخشب أو مادة السوبرين في خلايا الفلين. ويشار هنا على أن البروتوبلازم تختفي بسرعة في الخلايا التي تتلغن جدرها.

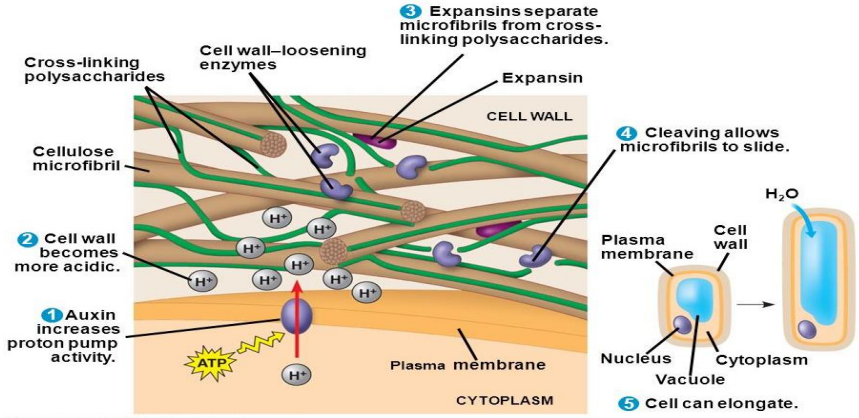
وظيفة الجدار الخلوي هو التدعيم الميكانيكي للخلية ومن ثم النبات وله دور في امتصاص الماء والمواد الذائبة من خارج الخلية وله دور إفرازي وفي مقاومة اختراق الكائنات الممرضة. والمركب الرئيسي للجدار هو السللوز والهميسللوز والمواد البكتينية والليغنين والسوبرين. يبدا تكون الجدار الخلوي في الطور النهائي من الانقسام الخيطي يعد تكون الصفيحة الوسطى حيث تتجه حويصلات صغيرة إلى الخط الاستوائي للخلية الأم وتلتحم معاً وتتكون المواد البكتينية والتي تشبه الهلام ومن ثم تتصلب نتيجة اتحادها بالكالسيوم، وعندئذ يبدا ترسب السيللوز لتكوين الجدار الإبتدائي وثم يتشرب الجدار الإبتدائي بالهيميسللوز وعند تكوين الجدار الثانوي تضاف مواد جديدة للجدار الأولي بعد عملية تكوين أغماد ومن ثم تعمل الستوبلازم على ملئ الفراغات في الأغماد بمواد كيميائية حسب النسيج ومن ثم تاتي مرحلة التراكم وتتكون طبقات جديدة لتنتهي مرحلة الاستطالة وتبدا مرحلة التمايز لتقوم الخلية بوظيفة يحددها لها نظام الجينات Gene off and on.

ولفهم آلية تأثير الأوكسين في الجدار الخلوي، نلاحظ من الشكل 11 أن تاثير الاوكسين على الجدار الخلوي يتم بعد أن يرتبط الأوكسين بالمستقبل الخاص به داخل الخلية الهدف (خلية برعم أو ساق أو جذر) حيث يقع مستقبل الأوكسين على الغشاء النووي وينتج عن هذا الارتباط تنشيط مورثة ونسخ mRNA وتركيب بروتين يحدث الأثر الحاثي ويفعل فتح قنوات بروتينية تسمح بتدفق شوارد +H من داخل الخلية إلى طبقات الجدار الخلوي وبالتالي يسبب انخفاضاً في الـ PH بجوار الجدار الخلوي. بالإضافة لتدفق شوارد الكالسيوم والبوتاسيوم ومن ثم تفعيل أنزيم يلعب دوراً هاما في تحطيم الروابط بين ألياف السللوز والبكتين المكونة للجدار الخلوي وبالتالي خلخلة الجدار وكذلك تفكك الروابط الهدروجينية بين السللوز والكسيلوغلوكانات وينزلق مكان الارتباط ويحدث تمدد غير عكوس(الشكل12) ومن ثم زيادة مرونته مما يسمح بدخول الماء إلى الفجوة وانتباجها ومن ثم استطالة الخلية تحت تأثير قوة إنتاجها وتصبح هذه الاستطالة غير قابلة للعكس بعد إحداث الأثر الحاثي (بالأوكسين



الشكل 11: ارتباط الأوكسين بمستقبله في النواة وتنشيط مورثة تحدث الأثر الحاثي بتنشيط أنزيم يفكك الجدار الخلوي

النباتي) وذلك بسبب ترسب السللوز من جديد وارتباط أليافه بعد زوال تأثير الأوكسين (يتفكك بتأثير أنزيمات نوعية بعد أداء دوره).



الشكل 12: ضخ البروتونات +H في الجدار الخلوي وارتفاع قيمة PH وتنشيط أنزيم يفكك الروابط بين ألياف السللوز وتزداد مرونة الجدار الخلوي وتسمح باستطالة الخلية نتيجة قوة الضغط الانتباجي.

4- **تغير نفوذية الخلايا :** يزيد الأوكسين بتراكيز معينة من نفوذية الأغشية الخلوية للماء والشوارد المعدنية كما يزيد من النفوذية تجاه الغليسرين والحموض الأمينية وقد وجد في بعض الحالات أن زيادة التركيز تؤدي إلى تقليل النفوذية.

5- **خفض لزوجة البروتوبلازم :** وذلك من خلال تفريق البروتينات في الخلايا ولحظ ان بروتينات النباتات المعالجة بالأوكسينات تكون أكثر مقاومة لعوامل التخثر.

6- **ازدياد معدل التيارات الهيولية :** يزيد الأوكسين من سرعة التيارت الهيولية، وقد ينتج ذلك من انخفاض لزوجة البروتوبلازم وبما أن حركات الهيولى تتطلب طاقة لذلك يمكن أن ينظم الأوكسين كمية الطاقة أو ينظم دخولها في العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تقود إلى تسريع هذه الحركة.

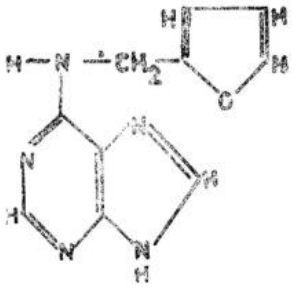
7- **تغيير نمط عملية التنفس:** يؤثر الأوكسين على تنفس عدد من الانسجة النباتية، يزداد معدل التنفس في الخلايا أثناء الاستطالة السريعة لدى معاملتها بالأوكسين وقد عزي ذلك على تأثير الأوكسين بصورة مباشرة على عملية التنفس. وقد امكن الكشف عن هذا التأثير في قطع الكوليوبتيل، وقطع من ساق البازلاء النامية في الظلام، وفي قطع من جذور الأرضي شوكي ومن درنات البطاطا، إن نمو هذه الأنسجة واستجابتها للأوكسين تختلف اختلافاً كبيراً لدى تغير تراكيز الأوكسين، وكذلك فإن مثبطات عملية التنفس تؤدي إلى لإيقاف النمو الناتج عن فعالية الأوكسين. ويؤثر الأوكسين على استقلاب الحموض

الرباعية الكربون ثنائية الكربوكسيل في حلقة كريبس. كما أنه يثبط موانع الفسفرة التأكسدية ويلعب دوراً في إيصال الطاقة الناتجة من عملية التنفس إلى مكان استهلاكها من الـ ATP في عملية النمو.

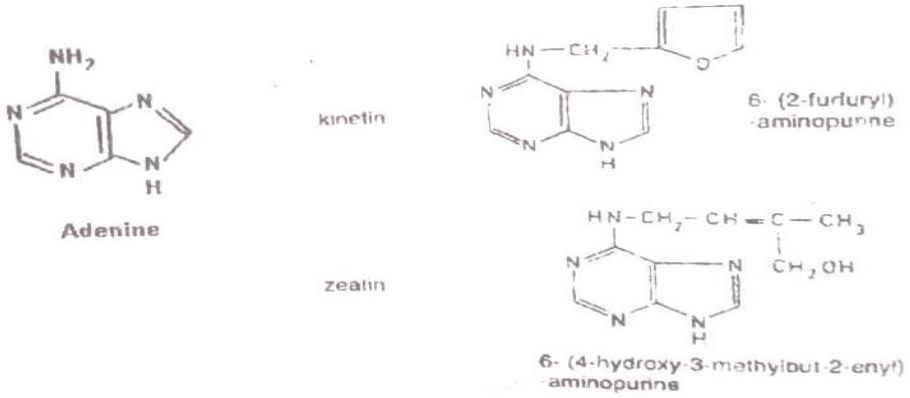
8- **ازدياد كمية الحموض النووية وخاصة RNA:** تبين في العديد من التجارب أن الأوكسين ينشط النمو بسبب التأثير المتبادل بينه وبين الحموض النووية أو مكوناتها، حيث يتغير نمط النمو بوجود الكينيتين الذي يشتق من الأدنين وهذا الأخير يدخل في تركيب الحموض النووية. كما تزداد كمية الحموض النووية بوجود الأوكسين.

ثانيا : السيتوكينينات

السيتوكينات مركبات لها دور أساسي في انقسام الخلايا واشتق اسم سيتوكينين من الاسم العلمي للانقسام الخلوي Cytokinesis ولها وظائف أخرى مثل زيادة الحجم وتاثيرها على التشكل وأيضا الشيخوخة والإزهار والإثمار. وتتكون بمعظمها في الجهاز الإعاشي وتنتقل للأجزاء الأخرى في النبات بما فيها قمم الجذور وتتركز في الثمار وتتجمع في الجنين النباتي وتوجد في العقد الجذرية والقمم النامية، وتشتق الستوكينينات من الأدنين (الشكل13) وتوجد حرة في النباتات الراقية أو على شكل مركبات تدخل في تركيب t–RNA الخاص بالحموض الامينية وبالتالي فهي ترتبط بدرجة عالية بتركيب البروتين، ونذكر من السيتوكينينات الطبيعية الزياتين Zeatin واما المصنعة فيوجد العديد منها مثل الكينتين والأوبسيسك أسيد. أول ما اكتشف من السيتوكينينات الكينيتين حيث استطاع العالمين Miller and Skoog من عزل مادة تشتق من الأدنين ووجد أن لها دوراً هاماً في انقسام مزارع النسج لنبات التبغ وأطلق عليها اسم الكينيتين Kinetin والاسم الكيميائي لهذه المادة 6-Furfurylaminopurine. وهي مؤلفة من نواة بيورين purine تحوي على سلسلة جانبية من الفورفوريل furfuryl، وقد تم تركيب هذه المادة مخبرياً مع العديد من المواد التي تشبهها بالصيغة الكيميائية ووجد أن عدداً كبيراً من هذه المواد ينشط نمو النسج النباتية وقد أطلق عليها كلها اسم كينينات وقد استبدل هذا الاسم فيما بعد باسم سيتوكينينات.



الشكل **14: صيغة الكينيتين المفصلة.**



الشكل 15: اشتقاق السيتوكينينات من الأدنين

أهم أدوار السيتوكينينات الحيوية:

1- تؤثر على عملية الانقسام الخلوي بشكل متزامن مع الاوكسينات حيث لوحظ في أحد التجارب أن الكينيتين لا ينشط انقسام الخلايا إلا بوجود حمض الخل الأندول الخلي IAA وذلك في المزارع النسيجية، ومن السيتوكينينات العالة في هذا المجال نذكر 6-بنزيل امينو بيورين BAP. في التركيز المنخفض يمكن للكينتين ان يساهم في تكوين نسج رخوة قليلة التماسك داكنة اللون ونسبة الماء فيها عالية وفي تركيز متوسط تشكل نسجاً أكثر تماسكاً من السابقة وتنشأ عليها جذو وفي تركيز أعلى يصبح المركب ساماً ويعيق نمو النسج.

2- تنتقل عبر الأوعية الخشبية وتساهم في عملية التركيب الضوئي والاحتفاظ باليخضور ومنع تحلله وبالتالي منع الاصفرار لذلك تستخدم في إطالة عمر المحاصيل الورقية. حيث لوحظ ان لها دوراً هاماً في حفظ الكلوروفيل والأنسجة الحية، لأنه عند فصل الأوراق عن النبات الأم تبدأ كمية البروتينات والكلوروفيل بالتدهور مما يؤدي إلى زوال اللون وموت الأنسجة ولكن بوجود السيتوكينينات يمكن لهذه الأوراق أن تبقى محتفظة بخضرتها ونضارتها لمدة زمنية لا تقل عن 10 أيام، وذلك لأن السيتوكينين يمكن أن يقلل من خسارة البروتين وتحلل اليخضور في هذه الأوراق.

3- تثبيط النمو الطولي حيث تساهم في الاستطالة العرضية أي زيادة تركيب المواد المناسبة لنمو وتضخم الخلايا.

4- تأخير الشيخوخة: للكينيتين او الزياتين أو البنزيل أمينو بيورين تأثير هام في تأخير الشيخوخة حيث يساهم في زيادة تدفق الشوارد اللاعضوية والسكريات والاحماض الأمينية للأوراق ويحافظ على كمية جيدة من البروتين فيها ويمنع تحلله.

5- تستخدم في المزارع النسيجية مع الأوكسين لتحريض تشكل الكالوس ومن ثم عمليات الإكثار الدقيق لتحريض تشكل أفرع جديدة على النسج المزروعة أو تكوين براعم خضرية جديدة عند زراعة القمم الميرستيمية.

6- زيادة تركيب RNA مؤقتا وتقليل عملية التنفس.

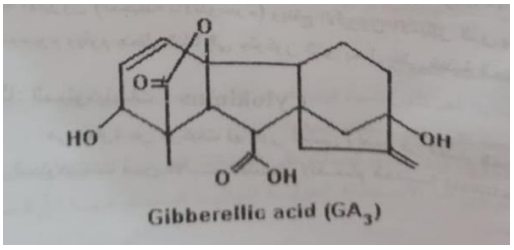
7- تشجيع تكون البراعم الجانبية ومنع السيادة القمية حيث أن معاملة بعض البراعم الكامنة لكثير من النباتات بمحلول الكينيتين أو أنماط أخرى من السيتوكينينات يساعد على قطع فترة سكون البراعم وظهور استجابة خلال مدة زمنية قصيرة (15يوم بعد المعالجة).

8- زيادة حجم الثمار والبذور وتحويل الأزهار المذكرة إلى أزهار مؤنثة وخنثى وتنشيط المبايض وتكوين ثمار بلا بذور.

ثالثا : الجبريللينات

وجدت مركبات الجبريللين في البداية بشكل مواد استقلابية للفطريات Gibberella fujikuroiالذي يتطفل على نبات الرز، فقد لاحظ العلماء تنامياً في طول بادرات الرز والتي تعرضت للإصابة بالفطر بالمقارنة مع النباتات السليمة.

يتكون حمض الجبريليك من حلقتي كربون سداستين وحلقتين خماسيتين (الشكل٦) ويحتوي من 19 إلى 20 ذرة كربون ويعرف منه حوالي أكثر من 70 نوع تختلف عن بعضها باحتوائها زمرة الكربوكسيل –COOH أو زمرة الألدهيد –CHO وتعرف بالاسم .... GA1, GA2, GA3,ومن بينها 20 نوعاً في النباتات الراقية والبقية وجدت في الفطريات ومن أشهر الجبريللنات GA3.



يتشكل الجبرييللين في نهاية الفروع الفتية والجذور والأوراق الفتية والبذور غير الناضجة، والبراعم أكثرها غنى بالجبريللين.

ينتقل الجبريللين من الأوراق إلى باقي أجزاء النبات عبر اللحاء ويتطلب نقله صرف طاقة وهو ينتقل في جميع الاتجاهات ولا ينتقل قطبيا. ويؤثر الجبريللين في النمو وله دور هام في الانقسام الخلوي وخاصة خلايا الكامبيوم وآلية تأثيره مختلفة عن آلية تأثير الأوكسين وعندما يستخدم الجبريللين بتراكيز مناسبة يسمح لنمو طولي وعرضي متوازن في النبات أما التراكيز المرتفعة تسبب نمو طولي أكثر من النمو العرضي (ظاهرة الهيج) حيث يؤثر الضوء في تكوين الجبريللين وهناك ارتباط كبير بين نشاط أصبغة الفيتوكروم ومستوى نشاط الجبريللين حيث كلما ازداد معدل النمو كان المحتوى من الجبرييلنات مرتفعا.

دور الجبريللينات:

1- يلعب دوراً هاماً في كسر سكون البذور التي تحتاج لدرجات حرارة منخفضة دون الحاجة للتنضيد (يكون سبب سكون البذور في بعض الحالات عدم نفاذية غلاف البذرة للماء والهواء أو عدم نضج جنين البذرة والحاجة للتخزين فترة بعد النضج أو قساوة غلاف البذرة ووجود مثبطات النمو في الغلاف أو المدخرات المحيطة بالجنين وخاصة البذور الطرية وأيضا احتياجات ضوئية خاصة للبشرة أو عدم حاجتها للضوء أو حاجتها للتعرض لدرجات حرارة منخفضة 7 -3درجة مئوية وتسمى هذه العملية الأخيرة بالتنضيد هو تعريض البذور لدرجات حرارة منخفضة لفترة قصيرة قبل زراعتها وله دور في الإنبات والإزهار)، وهو يعوض الاحتياجات الضوئية مما يزيد معدل الإنبات وينظمه ويختصر مدته.

2- كسر سكون البراعم كما في درنات البطاطا ويستخدم تجاريا لكسر سكون بذور التفاح والخوخ، حيث يعمل على تحلل الغذاء المخزن في طبقة الألورون.

3- تنشيط تفاعل الضوء في التركيب الضوئي وكذلك تنشيط حلقة كالفن في الظلام وبالتالي يتغلب على تأثير الضوء المثبط للنمو.

4- زيادة إنتاج البراعم الجانبية ولا سيما الزهرية مما يزيد عدد الأزهار والثمار (الشكل 15). ويتكون الجبريللين في الطبيعه نتيجة تعرضها لفترات من البرودة خلال فصل الربيع (ظاهرة التربيع).

5- تشجيع العقد البكري وتكوين وتميز الثمار اللابذرية وإنتاج ثمار لابذور لها كما في الخلوخ والمشمش وإنتاج ثمار عنب بكرية لا بذرية كبيرة الحجم، وذلك عند معاملة الأزهار الانثوية بالجبريلين ويشترك مع عوامل أخرى في تحديد جنس الزهرة.

6- يساعد الجبريللين على استطالة الخلايا النباتية واستطالة السوق من خلال زيادة نفاذية الأغشبة الخلوية وزيادة الفعالية الأنزيمية وزيادة الجهد التناضحي (الحلولي) وجمع البوتاسيوم والسكريات وبالتالي بناء وتطور الحموض النووية والبروتين. ويساعد في التغلب على ظاهرة التقزم الوراثي بذلك، ويزداد المحور الطولي للورقة بوجود الجبريللين بمعدل أكبر من المحور العرضي وفي حال الأوراق المركبة يقل عدد الوريقات نتيجة المعاملة بالجبريللين وعموما الخلايا الفتية تميل للانقسام أما الخلايا الناضجة فتميل للاستطالة بوجود الجبريللين وهو ليس ضروري لنمو الجذور.

ومن أكبر تأثيرات الجبريلين وضوحاً هو تأثيرها على استطالة الساق وخاصة سوق النباتات القزمة وتستجيب السوق القصيرة كبعض أنواع الذرة الصفراء والفاصولياء والبازلاء التي تكون قصيرة بسبب عوامل وراثية معينة، وتستطيل الساق استطالة كبيرة نتيجة معاملتها بالجبريلين، على عكس النباتات الأنواع العادية من الأصناف المذكورة فهي لا

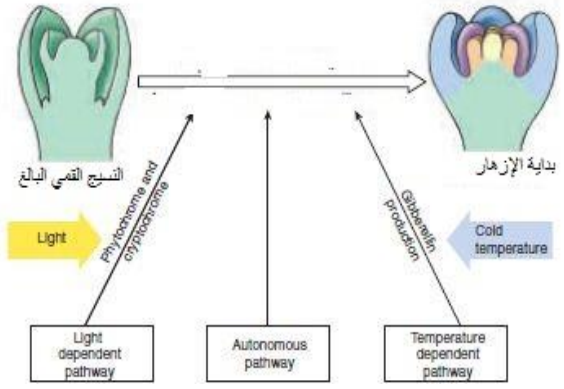
تستجيب عند معاملتها بالجبريلين، ويعزى ذلك إلى أن الجبريلين قد لا يتشكل عند النباتات القزمة بتأثير مورثي بينما يتواجد بالحد الكافي عند النباتات العادية وأيضاً نتيجة لعامل وراثي.

7- يعوض وجود الجبريللين نباتات النهار الطويل والشتوية والتي تحتاج على شدة ضوئية معينة والتعرض لدرجة حرارة منخفضة لكي تزهر، إذ يدفع الجبريللين النباتات ذات النهار الطويل للإزهار عند وضعها في ظروف النهار القصير مع معالجتها بالجبريللين، ولكن إذا تمت معاملة نباتات النهار القصير بالجبريللين لا يمكنها أن تزهر وذلك لأن محتواها من الجبريللين يكون كافيا للإزهار بشكل تلقائي.

آلية عمل الجبريللين:

أولاً: تأثيره على الإنبات تمتص الحبوب الماء وينتبج الجنين النباتي ومن ثم ينتج GA3 ويهاجر هذا الأخير إلى طبقة الأليرون المحيطة بالاندوسبرم ومن ثم ينتج أأنزيم الأمسيليز الذي ينتشر في الأندوسبرم ويقوم بتحليل النشاء إلى غلكوز يعمل على تغذية الجنين النامي.

ثانياً: تأثيره على الإزهار ينشط الجبريللين تشكل البراعم الزهرية وتطور القطع الزهرية ويتكون بشكل تلقائي بمجرد تعرض النبات لفترات متناوبة من الحرارة المنخفضة والإضاءة (تربيع).



الشكل 15: دور الجبريللين في تشكيل البراعم الزهري

ويمكن مقارنة عمل الجبريللين بالأوكسين كالتالي:

يتصف الأوكسين بالانتقال القطبي وتنشيط تكوين الجذور العرضية ومنع استطالة الجذور والتأثير على تساقط الأوراق والسيادة القمية وتكوين الكالوس.

يتصف الجبريللين بالتأثير في تنشيط نمو النبات الكامل ولا سيما القزمية والتأثير في تنشيط الإنبات ومنع سكون البذور وتنشيط استطالة الشمراخ الزهري.