

الباب الرابع عشر

Growth Regulators **منظمات النمو**

قبل أن نتناول بالتفصيل شرح منظمات النمو منشرح بإختصار النمو فى النبات.

مقدمة عن النمو فى النبات:

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

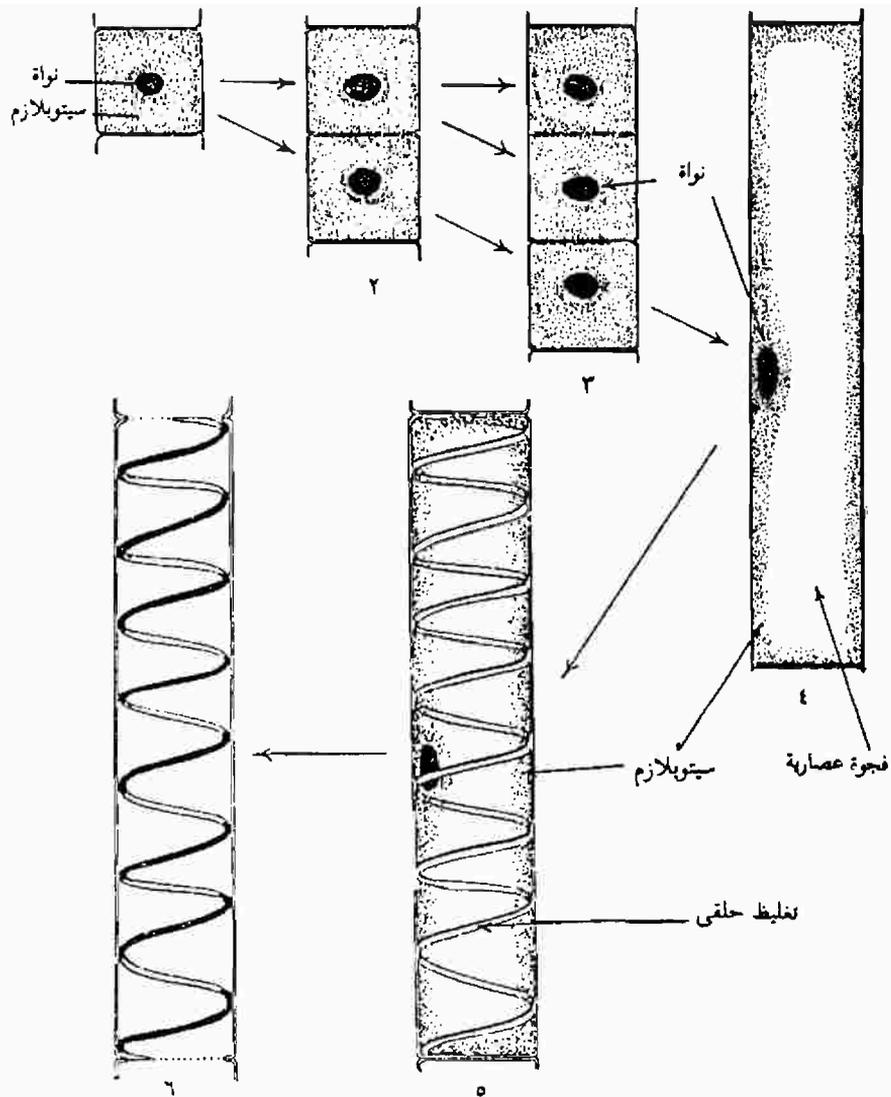
ولكى يحدث النمو فى النبات نجد أن الخلايا المرستيمية تمر فى عدة مراحل هى:

١- الإنقسام division .

٢- الكبر فى الحجم extension أو الامتطالة 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 يتلاءم 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 تتلاءم هذه الخلية مع نقل الماء وصعودها بسرعة فى النبات فهى مهياة ومشكلة لذلك تماما. وهذه الخلية بالطبع تختلف فى شكلها عن الخلايا الكلورانثيمية التى تتراوح فى شكلها من كروى إلى أسطوانى ولكنها تحتوى على بلاستيدات خضراء لكى تتلاءم 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 الكلورانثيمية فإن نشأتها كانت نشأة واحدة من خلايا مرستيمية متشابهة تماما وحدث بعد ذلك فى هذه الخلايا المرستيمية التغير فى الشكل لينتج خلايا كلورانثيمية أو خلايا الوعاء الخشبى - وهذا الجزء الأخير هو مانقصد به التشكل أو التميز أو التكشف (شكل ٨٣).

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 لاتعتبر أحد أطوار النمو إلا أنه فى بعض الأحيان وبواسطة علماء مشهورين فى فسيولوجيا النبات يعتبرون أن النمو

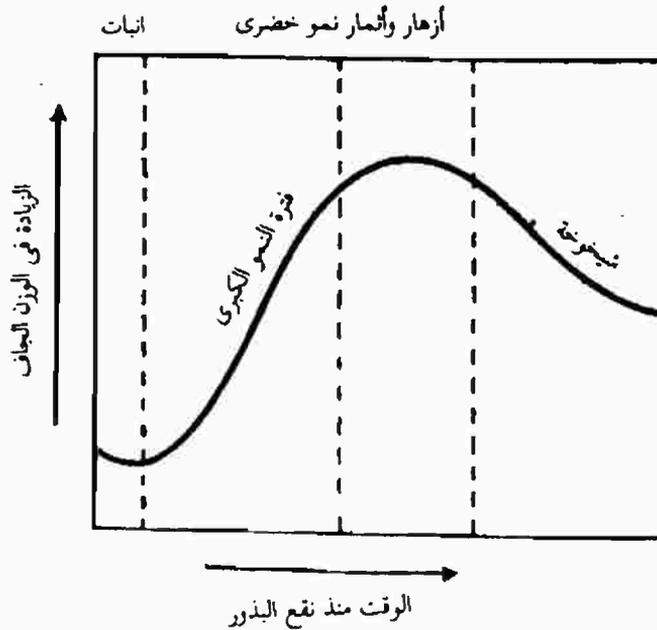


(شكل ٨٣): التشكل في الخلايا وتكوين خلايا ناعمة من خلايا مرستيمية.

يضم الثلاث مراحل وهي الإنقسام والكبر في الحجم والتشكل.

طرق تقدير النمو:

توجد طرق كثيرة لتقدير النمو ومنها طريقة الوزن الرطب وطريقة عد الخلايا وغيرها. إلا أن أهم هذه الطرق وأدقها حتى في البحوث العلمية هي طريقة الوزن الجاف dry weight. وعند تقدير النمو في النبات أثناء مراحل المختلفة وذلك بطريقة الوزن الجاف ورسم ذلك على منحنى رسم بياني فإن شكل المنحنى الناتج يأخذ شكل حرف S ويسمى هذا المنحنى باسم sigmoid curve. وفي هذا المنحنى نجد أن الوزن الجاف أثناء الإنبات يقل ثم يزداد زيادة منتظمة أثناء مرحلة النمو الخضري ثم تتوقف الزيادة في الوزن الجاف أثناء مرحلة الإزهار والإثمار في بعض الأحيان يقل الوزن الجاف في مرحلة عجز النبات وكبره في السن وتسمى بمرحلة الشيخوخة (شكل ٨٤).



(شكل ٨٤): منحنى sigmoid للوزن الجاف لمراسل النبات المختلفة.

العوامل التي تؤثر على نمو النبات:

يتحكم في نمو النبات عوامل وراثية وعوامل بيئية حيث أن النمو في النبات صفة مثل أى صفة عادية في النبات حيث أنها تتأثر بتفاعل العوامل الوراثية والبيئية ومثال لذلك أنه توجد سلالات في نبات الذرة قصيرة جدا وعلى النقيض توجد سلالات أخرى طويلة ذات طول ملحوظ وذلك راجع للإختلاف في التركيب الوراثي، ونفس الحالة موجودة في سلالات الفاصوليا والبسلة ونبات *Pharbitis* .

أما من حيث العوامل البيئية فهي كثيرة ونلخص أهم هذه العوامل فيما يأتي:

- ١- درجة الحرارة temperature للتربة والجو.
- ٢- الضوء - شدته ونوعه ومدته.
- ٣- كمية ماء التربة وخواصها.
- ٤- بخار الماء في التربة وفي الجو.
- ٥- الذائبات الموجودة في محلول التربة وأهمها العناصر المغذية للنبات الكبرى والصغرى.
- ٦- الغازات الموجودة في التربة.
- ٧- الأيونات في التربة القابلة للتبادل exchangeable ions in soil .
- ٨- نوع الغازات الموجودة في الهواء الجوي فإذا وجدت غازات ضارة سيقف النمو.
- ٩- الضغط الجوي فإذا وجد ضغط عالي جداً أو منخفض جداً سيؤثر على نمو النبات.
- ١٠- الرياح - لو زادت سرعتها فلها تأثيرات ضارة واختلال في النتج.

تعريف منظمات النمو:

منظمات النمو هي مركبات طبيعية تنتج بواسطة النبات أو مركبات صناعية لانتج بالنبات ولكن تخلق وتنتج صناعيا في المصانع والمعامل وعند توفر هذه المركبات بتركيزات صغيرة يكون لها تأثير منظم على العمليات الكيموحيوية للنبات وبالتالي فإنها تؤثر على النمو والتكشاف.

ومنظمات النمو تشمل منشطات النمو growth activators ومببطات النمو growth inhibitors والتركيز الصغير من منظمات النمو كلمة عامة مطلقة غير محددة ولذلك قد اصطلح على أن التركيز الصغير في حالة منظمات النمو هو لا بد أن يكون أقل من ١٠-٣ جزئى. ومنظمات النمو تنقسم إلى منظمات نمو هرمونية وهي المقصود بها أيضا منظمات

النمو الطبيعية أى التى تنتج طبيعيا بالنبات وهى التى تسمى بالهرمونات النباتية plant hormones أو phytohormones. ومنظمات النمو غير الهرمونية وهى التى لا تنتج بواسطة النبات حيث أنها منظمات نمو صناعية أى تركيبية حيث أنه وجد فى كثير من الحالات ولحسن الحظ مركبات تخضر صناعيا ولا تتكون طبيعيا فى النبات ولها دور كبير فى تنظيم النمو كما فى الهرمونات النباتية ولذلك لا تسمى بالهرمونات النباتية على الإطلاق ولكن تسمى بمنظمات النمو. ومنظمات النمو تشمل مركبات كثيرة يمكن وضعها فى خمسة مجاميع هامة هى:

أ- الأوكسينات auxins .

ب- الجبريلينات gibberellins .

ج- السيتوكينيات cytokinins .

د- حامض الأبسيسيك abscisic acid .

هـ- غاز الايثيلين ethylene .

يمكن أن تضاف مجموعة سادسة وهى المركبات المثبطة للنمو.

تعريف الهرمونات النباتية:

هى منظمات للنمو تنتج بواسطة النبات وتنتقل من أماكن تكوينها site of production إلى الأماكن التى يظهر فيها تأثيرها site of action، ومثال ذلك إندول حمض الخليك. ينتج على سبيل المثال وليس على سبيل الحصر فى القمم النامية للسيقان ولكن ينتقل من القمة النامية وهى أماكن تخليقه إلى أسفل فى الساق حيث يظهر تأثيره بوضوح فى منطقة الاستطالة.

كيفية اكتشاف الهرمونات النباتية (منظمات النمو):

كان أول دليل على وجود الهرمونات النباتية هو نتيجة لبحوث وتجارب العلامة دارون Charles Darwin وابنه Francis أثناء تجاربهم على نبات من العائلة النجيلية هو نبات *Phalaris canariensis* فقد وجدوا أن تعريض غمد الريشة coleoptile إلى اضاءة جانبية يؤدي إلى انحناء الغمد فى اتجاه الضوء. كما وجدوا أيضا أن تغطية الغمد بغلاف معتم منع انحناء قمة البادرة. كما وجدوا أن تغطية منطقة تحت القمة دون القمة بغلاف معتم لم يمنع إنحناء الغمد وأدى ذلك حدوث انحناء للغمد. وقد استنتجوا من ذلك أن قمة الغمد فقط هى القادرة على استقبال الضوء وتحويله إلى حالة نشطة حيث يظهر تأثيره أسفل القمة، وذكر دارون

ذلك فى كتابه الذى ألفه سنة ١٨٨١ واسم الكتاب The Power of Movement in Plants وقد ذكر فى هذا الكتاب نتيجة للتجربة السابقة أنه يوجد مادة أو مواد منشطة تنتقل من قمة الغمد إلى أسفل حيث تظهر تأثيرها فى حدوث الانحناء (الانحناء فى هذه الحالة يسمى انحناء ضوئى موجب phototropism أى أن الغمد ينمو فى اتجاه الضوء). وتلا ذلك كثير من العلماء ومن أهمهم مايباتى (شكل ٨٥):

Boysen - Jensen سنة ١٩١٣ حيث أنه وجد أن وضع طبقة من المايكا mica sheet فى الغمد أسفل القمة النامية فى الناحية البعيدة عن الضوء فإنه لا يحدث انحناء وعندما وضع هذه الطبقة فى الجانب القريب من الضوء حدث انحناء. وعندما وضع بين القمة المقطوعة والجذع stump طبقة من الجيلاتين حدث انحناء - الجذع هو الجزء المتبقى من الغمد بعد إزالة القمة النامية.

ومن النتائج السابقة نستنتج أنه يوجد مادة أو مواد منشطة تنتقل من القمة إلى أسفل وتنتشر خلال الجيلاتين وذلك فى الجزء البعيد من الضوء.

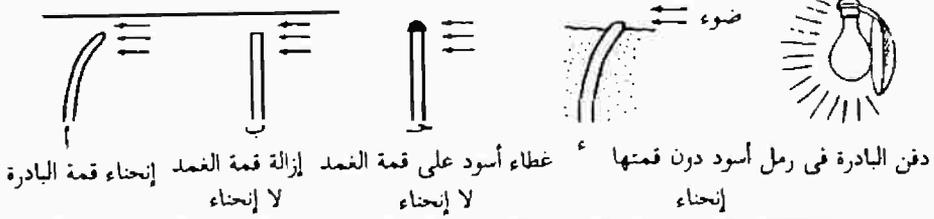
وجد بال Paal سنة ١٩١٩ أن قطع القمة النامية ووضعها لا مركزياً على منتصف قمة الجذع فى عدم وجود ضوء جانبي حدث انحناء للجذع.

عندما أزال سودج Soding عام ١٩٢٥ قمة الغمد أى عدة ملليمترات فإن قمة الجذع تنمو ببطء شديد وعند إعادة وضع القمة فإن الجذع ينمو عادياً وإذا أعيد قطع الجذع مرة ثانية لعدة ملليمترات فإن نموه يتوقف تماماً. ومن هذه التجارب استنتج أنه يوجد فى القمة مركبات نشطة تنتقل من القمة إلى القاعدة لكى تظهر تأثيرها وإن عدم وجود جزء كبير من القمة يسبب عدم نمو الجذع.

تجارب العالم الهولندى فنت Went سنة ٢٨-١٩٣٥ كانت حاسمه فى هذا الشأن. حيث وضع القمم النامية للغمد بعد قطعها من بادرات الزمير على طبقة رقيقة من الآجار بتركيز ٧٣. وبعد زمن مناسب أى بعد ساعات أزال القمم وقطع طبقة الآجار إلى مكعبات صغيرة متساوية ومساوية فى أعدادها لأعداد القمم النامية الموضوعه عليها وعند وضع هذا المكعب على الجذع فإن الجذع ينمو إلى أعلى نمو عادى وعند وضع مكعب خالى من أى مركبات نشطة فإنه لا يحدث نمو للجذع وعندما ماوضع المكعب على منتصف الجزء البعيد من الجذع حدث النمو وانحناء للجذع. ومن هذه التجارب استنتج Went بطريقة لاتقبل الشك أن القمة النامية تنتج مركبات تنتقل إلى الجذع وتنتشر فى الآجار دون أن تفقد خصائصها مسببة نمو الجذع وذلك بإستطالة خلاياه (شكل ٨٥).

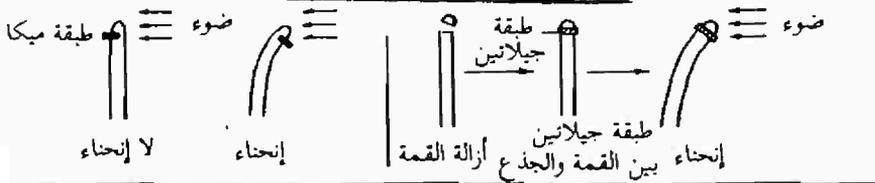
غمد الريشة فى نباتات العائلة النجيلية ينمو فى الضوء العادى حتى طول ١,٥ إلى ٢ سم ولكن فى الظلام يصل إلى ٦ سم. ووجد أيضاً أن نمو الغمد يرجع لإنقسام واستطالة خلاياه

دارون (١٨٨٠)



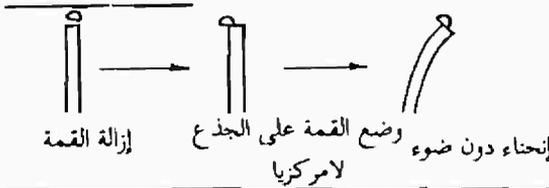
إحناء قمة البادرة
لا إحناء
لا إحناء
إحناء
إحناء

بوسين جيسون (١٩١٣)



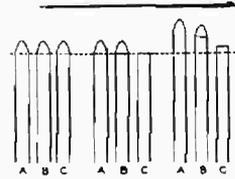
إحناء
لا إحناء
إحناء
إحناء
إحناء

بال (١٩١٩)



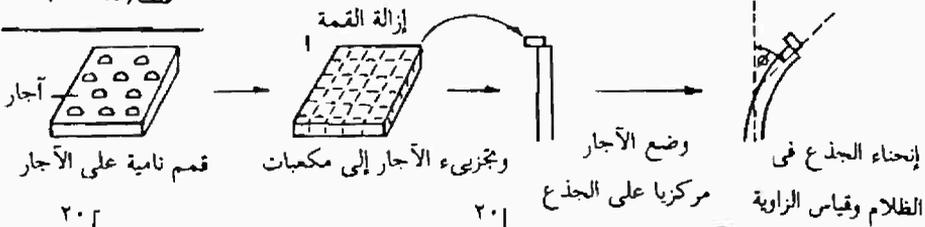
إحناء دون ضوء
لامركزيا
إحناء
إحناء
إحناء

سودنج (١٩٢٥)

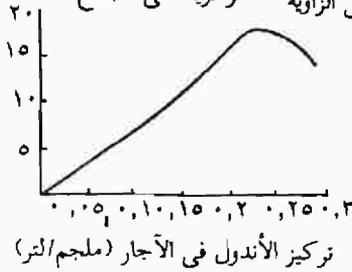
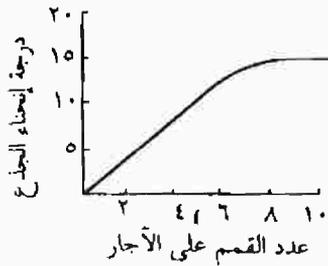


إحناء دون ضوء
لامركزيا
إحناء
إحناء
إحناء

فنت (١٩٢٨)



إحناء الجذع في الظلام وقياس الزاوية
وضع الأجار
مركزيا على الجذع
إحناء الجذع في الظلام وقياس الزاوية
مركزيا على الجذع
مركزيا على الجذع



أهم التجارب التي أثبتت وجود الأوكسين .

(شكل ٨٥): تجارب الرواد الأوائل للأستدلال على وجود الهرمونات النباتية.

حتى ربع طول الغمد أما الطول الباقي ٧٥٪ يكون راجع إلى استطالة الخلايا فقط، ومن ذلك فإن جميع التجارب السابقة يكون النمو راجع لاستطالة الخلايا فقط وتأثير المركبات المنشطة للنمو هي نتيجة لتأثيرها الفعال على استطالة الخلايا. وجد هذا التأثير أيضا على غمد الورقة في النباتات النجيلية وعلى السيقان وأعناق الأوراق وأعناق الأزهار. وأجريت بعد ذلك تجارب عديدة لعزل هذه المركبات.

عزل الهرمون النباتي:

أجريت في هذا الموضوع تجارب كثيرة لاستخلاص هذه المركبات من النباتات ألا أن كثيرا من هذه التجارب باءت بالفشل حيث أن تركيز هذه المركبات في النباتات العادية يكون بكميات ضئيلة جداً يصعب فصلها أو عزلها في ذلك الوقت. تمكن العالم Kogl ومساعدوه عام ١٩٣٤ من عزل ثلاثة مركبات نقية في صورة بللورية ووجد أن هذه المركبات تعطي نفس التأثير في التجارب السابقة على غمد الريشة لنبات الشوفان وذلك من مصادر طبيعية وهذه المصادر هي زيوت نباتية مختلفة والمولت malt وأيضاً من بول الإنسان. وهذه المركبات الثلاثة سميت بإسم auxin a وتركيبه $C_{18}H_{32}O_5$ و auxin b وتركيبه $C_{18}H_{30}O_4$ والمركب الثالث heteroauxin وتركيبه $C_{10}H_9O_2N$ ، وهذا المركب الأخير اسمه الكيماوى اندول حامض الخليك.

عزل Auxin a من بول الإنسان وعزل auxin a و auxin b من زيوت نباتية مختلفة والمولت، أما heteroauxin فقد عزل من بول الإنسان كما عزل أيضاً من بعض أنواع الخميرة والفطريات. ومنذ ذلك الوقت اعتقد أن هذا المركب الأخير لا يوجد في أنسجة النباتات الزهرية. وبعد ذلك وتقدم طرق الفصل ثبت خطأ ذلك وأمكن عزله لأول مرة من حبوب الذرة بواسطة Haagen - Smit سنة ١٩٤٤ وبعد ذلك ثبت وجود هذا المركب في جميع النباتات الزهرية.

يعتبر إكتشاف اندول حامض الخليك هو أول إكتشاف للهرمونات النباتية وأيضاً أول إكتشاف للأوكسينات حيث يعتبر هذا المركب هو أول أوكسين طبيعي إكتشف وبعده حدث إكتشاف لمركبات أوكسينات عديدة أخرى كما سيلي شرحه بالتفصيل عند الحديث عن الأوكسينات.

الأوكسينات AUXINS

كلمة أوكسين هي مشتقة من اللغة اليونانية حيث أنه باللغة اليونانية auxin معناها to grow

تعريف الأوكسينات:

الأوكسين هي تسمية عامة لأي مركب يسبب استطالة في خلايا الساق. وقد يكون له تأثيرات أخرى حيوية مثل التأثير على انقسام الخلايا وتشكل الخلايا وغيرها من الظواهر الحيوية للنبات.

وفي التجارب المعملية لاثبات نشاط وفعالية الأوكسين تستعمل أجزاء من غمد الريشة للنباتات النجيلية أو من السيقان فإذا تم حدوث نمو طولي أو أنحناء لهذه الأجزاء المقطوعة فيكون ذلك دليل كبير على أن المركب أوكسين.

الحالات المختلفة التي توجد عليها الأوكسينات:

١- الأوكسين الحر Free Auxin:

وهو عبارة عن أوكسين قابل للإنتشار. وهو بالفعل ما وجد في تجارب فنت حيث أنه قام بفصل الأوكسينات من القمم النامية نتيجة لانتشارها من القمم إلى طبقة الآجار أو الجيلاتين وهذا هو الحال في جميع الأوكسينات الحرة أنها قابلة للإنتشار.

٢- الأوكسين المقيد Bound Auxin:

توجد الأوكسينات في صورة أخرى غير حرة وتكون مرتبطة بمكونات الخلية ولذلك تكون غير قابلة للإنتشار ولذلك لعزل وفصل هذه الأوكسينات لابد من سحق العضو النباتي المراد استخلاص الأوكسين منه في مذيب مناسب. تحدث عملية أستخلاص الأوكسين من العضو النباتي بواسطة مذيبات عضوية معينة مثل الكلوروفورم وكحول الميثيل و diethyl ether ومن المعروف أن النباتات تحتوى على الحالتين السابقتين من الأوكسينات ولكن من الثابت أن نسبة الأوكسينات الحرة لا تتجاوز ١٠٪ من التركيز الكلى للأوكسينات أى أن تركيز الأوكسين المقيد هو ٩٠٪.

أنواع الأوكسينات:

تقسم الأوكسينات أيضا إلى أوكسينات طبيعية natural وهي الأوكسينات التي تتكون وتنتج في النبات ومثال ذلك اندول حامض الخليك (IAA) Indole acetic acid، وأوكسينات

تركيبية synthetic وهى التى لا توجد فى النباتات ولكن يتم تصنيعها فى المصانع والمعامل لما لها من خصائص المركبات الاوكسينية. وهذه المركبات كثيرة وعديدة وتنتمى إلى مجاميع كيميائية محددة وسيتم ذكر أمثلتها فيما بعد عند شرح التركيب الجزيئى للأوكسينات. ومن أمثلة ذلك مركب 2,4-D .

أماكن تكون وتخليق الاوكسينات:

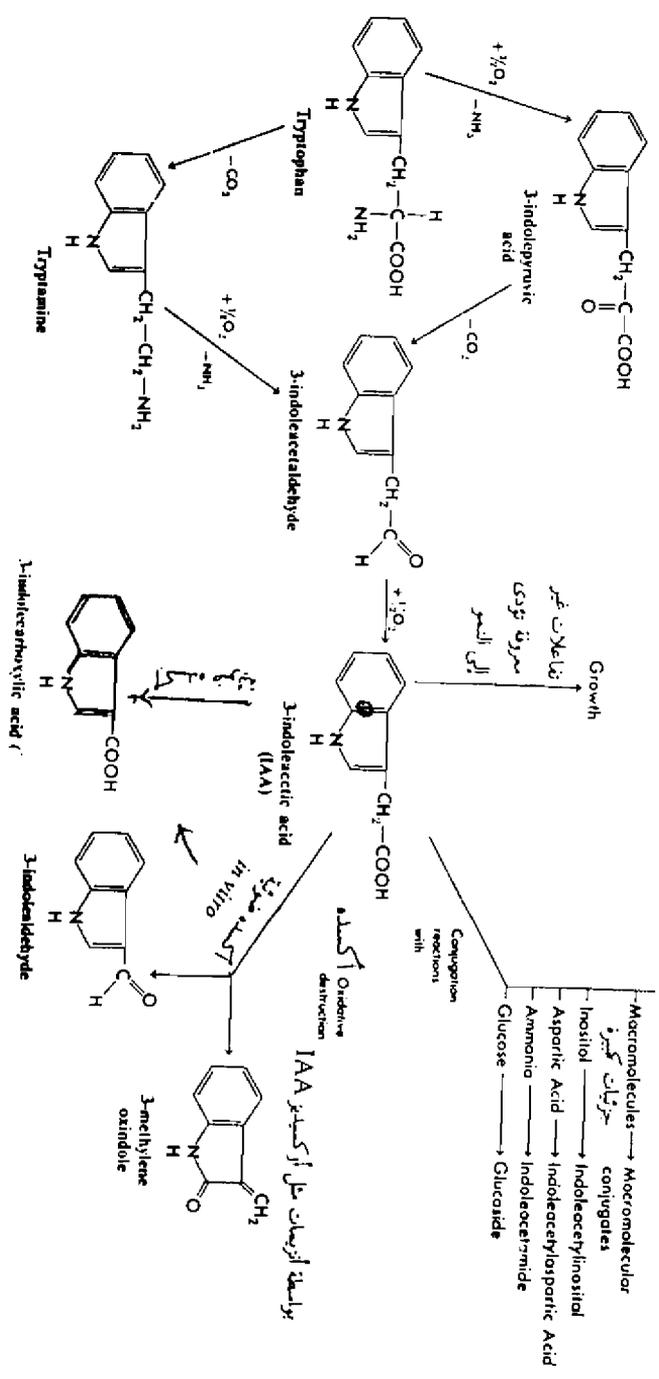
من المعروف أن الاوكسينات تتكون وتخلق فى القمم النامية وفى المناطق المرستيمية على وجه الخصوص مثال ذلك القمم النامية للساق ولغمد الريشة والاوراق الصغيرة والبراعم الخضرية والزهرية والقمم النامية فى جنين البذرة والثمار والبذور الصغيرة بمعنى أن الأجزاء النشطة فى الانقسام وهى الاجزاء المرستيمية تكون عادة فيها تركيز الاوكسينات عال بالمقارنة بالأجزاء البعيدة عنها.

كيفية تخليق وأرتباط وهدم أوكسين اندول حامض الخليك:

من المعروف أن النباتات تخشى على أحماض أمينية كثيرة ولكن يهمننا فى هذا الحامض الامينى تريبتوفان tryptophan حيث أن الحامض يعتبر المركب الاصل والمنشأ precursor الذى يتكون منه IAA وذلك عن طريق تفاعلات انزيمية يتحول هذا الحامض الامينى إلى مركبات وسطية، ومن هذه المركبات يتكون اندول حامض الخليك وذلك نتيجة لتفاعلات انزيمية أى يدخل فيها الانزيمات. ومن الشكل يتضح أن التريبتوفان يمكن أن يتحول إلى اندول بيروفيك أسد indolepyruvic acid وذلك بواسطة عملية oxidative deamination ومعناها اعطاء الاوكسيجين وأخذ ن يدم، وأن المركب الأخير فى حدوث decarboxylation يتحول إلى مركب indoleacetaldehyde، وعملية decarboxylation تعنى نزع ثانى أكسيد الكربون.

ويمكن أن يتحول التريبتوفان بواسطة decarboxylation إلى مركب tryptamine والمركب الأخير فى وجود oxidative deamination يتحول إلى مركب indoleacetaldehyde ولذلك فإن الناتج النهائى لكل من هذين الطريقتين هو تكوين الاندول أسيئالدهيد وهذا المركب الأخير وفى حدوث الاكسدة oxidation وذلك باعطاء الاكسيجين يكون الناتج هو مركب اندول حامض الخليك (IAA) ويعتبر ماسبق هى أهم طرق تكوين IAA (شكل ٨٦).

أما من حيث هدم destruction أو ازالة تأثير IAA فإنه يحدث بطرق عديدة فمن المعروف أنه لهدم IAA يكون ذلك بواسطة عديد من الانزيمات وهى phenolase وانزيمات peroxidase وانزيم Indoleacetic acid oxidase (IAA oxidase) ويعتبر الأنزيم



منكل ٨٦ : طرق تخليق وشم وارتباط اقلول حامض الخليك .

الأخير هو الأهم فى ذلك الشأن ومن المعروف أن الأنزيم الأخير يذكر فى المراجع كأنزيم هام فى تخطيط اندول حامض الخليك دون الأنزيمات الأخرى وذلك نظرا لانتشاره وتخصصه وأن هذا الأنزيم يحول اندول حامض الخليك إلى مركب methyleneoxindole وهذا المركب غير فعال فى حدوث استظالة للخلايا أى غير فعال كمركب أو كسكين. وقد وجد أيضا أنه يمكن هدم IAA بواسطة الأوكسدة الضوئية photo - oxidation حيث يتحول IAA إلى مركب methyleneoxindole, indolealdehyde وكلاهما عديم الفاعلية (شكل ٨٦).

يمكن أيضا أن يدخل IAA فى تفاعل مع مركبات أخرى أى يحدث الأرتباط conjugation مع مركبات أخرى دون أن يفقد تركيبه ولكنه بذلك يصبح عديم الفاعلية وفى صورة غير فعالة. يعتبر البعض هذه التفاعلات detoxification reactions لتقليل السمية حيث أنها تقلل من تراكم IAA. حيث أن تراكم هذا الاوكسين لدرجة كبيرة جدا نسبيا تسبب سمية للنبات أو النسيج النباتى الموجودة فيه ولكن عند ارتباط الاوكسين بالمركبات المختلفة التى سبلى ذكرها فإنه يصبح عديم الفاعلية ولا يحدث تأثير سام. فقد يتفاعل مع الجلوكوز فيكون IAA - glucoside أو سلسلة من سكر الجلوكوز فيسمى IAA - glucan وقد يتفاعل IAA مع الامونيوم ليكون indoleacetamide أو قد يتفاعل مع حامض الاسبارتيك ليكون indoleacetylaspartic أو قد يتفاعل مع inositol ليكون indoleacetyl inositol أو يتفاعل مع سكريات أخرى غير الجلوكوز أو مشتقات لهذه المركبات والسكريات (شكل ٨٦) وقد يتفاعل مع البروتين ليكون IAA - protein.

أمثلة لحدوث الأرتباط والقييد:

من المعروف أن حبوب النجيليات لا تحتوى على أوكسين حر وقد وجد أن معاملة هذه الحبوب بمركب قلوئى يساعد على ظهور الاوكسين. ولكن ما يحدث فى الانبات يختلف عن ذلك ففي الحبة العادية يوجد اندول حامض الخليك على هيئة IAA-glucosides وهى عبارة عن مركبات تتكون من اتحاد اندول حامض الخليك مع سكريات أو مشتقاتها ولذلك فإنه عند الانبات تنتقل هذه المركبات glucosides الى القمة النامية لغمد الريشة وبواسطة الأنزيمات فى هذه المنطقة يتحرر IAA ويظهر تأثيره كما سبق ذكره وشرحه فى تجارب الرواد الاوائل لاكتشاف الهرمونات النباتية ومن هنا يجب التنوية على أن مصدر IAA فى غمد الريشة لنبات الشوفان وغيرها من النباتات النجيلية هو جليوكوسيدات اندول حامض الخليك الموجودة فى الحبة وأما قمة الغمد فإنها فعالة فى عمل تفاعلات بواسطة الأنزيمات لتحرر IAA وبذلك يتضح أن الهرمون الحر القابل للانتشار هو الفعال فى حدوث الانتحاء.

وقد وجد أيضا أن أوكسين IAA وشأنه كالمركبات الهرمونية الأخرى قد يوجد فى السيتوبلازم فى صورة حرة ولكن قد يوجد فى الفجوة العصارية فى حالة غير قابلة للانتشار (مقيد) حيث ثبت أن فى بعض النباتات يوجد هذا المركب أيضا علاوة على السيتوبلازم فى الفجوة العصارية ويكون من الصعب خروجه من الفجوة والاستفادة منه ولذلك فإن تقدير التركيز الكلى للهرمونات أو الأوكسينات غير هام لدراسة تأثيرها بالمقارنة الى مكان وجود الأوكسين فى الخلية وهذا ما يطلق عليه compartmentation أى مكان وجود الأوكسين فى أجزاء الخلية المختلفة. ولذلك فإن استخلاص الأوكسينات بطريقة المذيبات العضوية يعمل على استخلاص الأوكسين الكلى وقد يكون هذا التركيز الكلى مضلل اذا لم يؤخذ فى الاعتبار مكان وجود هذا الأوكسين فى أجزاء الخلية المختلفة حيث أن مكان وجود الهرمون وتركيزه متساويان فى الأهمية. فقد يكون التركيز كبير ولكن موجود فى مكان فى الخلية غير قابل للأستعمال وبذلك يكون عديم الفاعلية.

ولذلك فإن تركيز الأوكسين فى نسيج معين من النبات يتوقف على عدة عوامل وهى كما يأتي :-

- ١- سرعة وكمية تخليق الأوكسين فى القمم النامية أو المناطق المريستيمية.
 - ٢- سرعة انتقال وكمية انتقال الأوكسين الى المكان المحدد.
 - ٣- حالة وجود الأوكسين مقيد أو مرتبط ومدى وجود وحدوث حالة Compartmentation .
 - ٤- مدى كفاءة ونشاط الانزيمات المحللة لـ IAA ومدى كفاءة وسرعة حدوث عمليات إزالة السمية detoxification reactions .
- وعامة فانه من المعروف أن تركيز الهرمونات يكون عالى فى القمم النامية والمناطق القريبة منها ويقل تركيزه تدريجياً كلما ابتعدنا عن هذه المناطق .

كيفية انتقال اندول حامض الخليك:

من المعروف أن انتقال الأوكسينات الطبيعية ومنها IAA هو انتقال قطبي polar translocation. والانتقال القطبي معناه انتقال الأوكسين فى اتجاه واحد فقط وليس فى الاتجاه العكسى. ومن التجارب السابقة جميعها يتضح أن انتقال الأوكسين قطبي من أعلى الى أسفل فقط وليس فى الاتجاه العكسى وان ذلك غير راجع للجاذبية الأرضية على الإطلاق بل هو نتيجة لعوامل فسيولوجية معقدة ويوجد لذلك نظريات ولكن من الثابت أن هذه العملية لها

وذلك على الغمد فى وعند وضع الآجار والمحتوى على الاوكسين على الطرف السفلى وذلك على الغمد فى الوضع العادى أو فى الوضع المقلوب فانه لن يحدث انتشار للاوكسين من طبقة الآجار الى طبقة الآجار الخالية منه. وهاتين التجربتين تثبتان بما لا يدعوى الى الشك أن IAA وأيضاً الاوكسينات الطبيعية تنتقل قطبياً فى اتجاه واحد من أعلى الى أسفل وليس فى الاتجاه العكسى مطلقاً وذلك غير راجع أو متأثر بالجاذبية الارضية بل أنه نتيجة لعوامل فسيولوجية معقدة غير معروفة بالضبط حتى الآن.

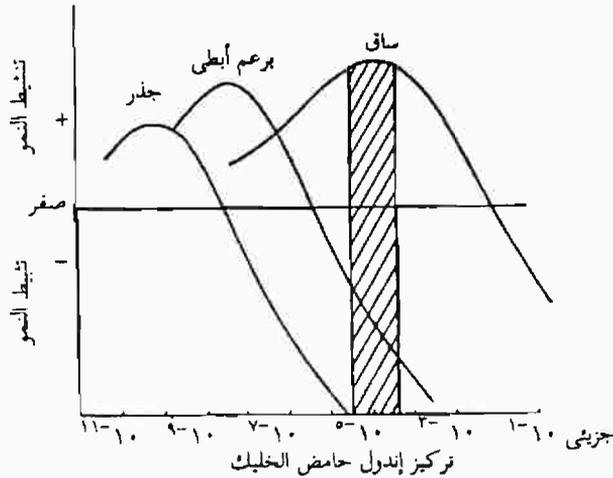
أما عن مكان انتشار الاوكسين فى النبات فهو الخلايا البارنشيمية واللحاء والخلايا المرستيمية فى القمم النامية. يتضح أن الاوكسين فى النبات يكون بتركيز كبير فى الأنسجة الناقلة ولذلك فانه ينتقل فى اللحاء أو الخشب وحيث أن الخشب نسيج ميت لا يوجد به تفاعلات حيوية أو حتى أغشية بلازمية وهى من لوازم هذا الانتقال كما أن الانتقال يحدث من أسفل إلى أعلى فى الخشب عكس انتقال الأوكسين. وحيث أن الخشب نسيج ميت فانه لا يتحكم فى الانتقال ولذلك فأنه من الثابت أن الانتقال يحدث أساساً فى نسيج اللحاء ولا يحدث فى الخشب وهو نسيج حى خلاياه حية بها تفاعلات غذائية تحدث فى ظروف هوائية وعلاوة على ذلك فان به أغشية خلوية كثيرة وفيه أيضاً ظاهرة النقل النشط موجودة وواضحة.

الانتحاء الارضى: Geotropism

عند إنبات البذور أياً كان وضعها فى التربة فنجد دائماً أن الجذير ينمو الى أسفل أى ينتحى انتحاء أرضى موجب وأن الريشة تنمو الى أعلى أى تنتحى انتحاء أرضى سالب والسبب فى ذلك هو الهرمونات.

من المعروف أنه بزيادة تركيز الاوكسين تزداد سرعة النمو وسرعة استطالة الخلايا وذلك حتى تركيز معين هو التركيز الامثل للاوكسين وهو التركيز الذى يكون فيه سرعة النمو أسرع مايمكن واذا زاد التركيز عن هذا الحد فان سرعة النمو تقل وبزيادة التركيز عن حد معين يسبب تثبيط وضرر للجزء النباتى الموجود فيه وهذه القاعدة عامة وتنطبق على الجذور والسيقان والبراعم الزهرية ولكن من المعروف أن التركيزات اللازمة لتنشيط الساق هى أكبر بكثير من التركيزات اللازمة لنمو الجذر بمعنى أنه عند تركيز 10^{-6} جزئى من IAA فان هذا التركيز يحدث تنشيط لانسجة الساق وتثبيط لانسجة الجذر وذلك كما يتضح من المنحنى (شكل ٨٨). ومن المعروف أن الاوكسين يتكون فى القمة النامية للساق وينتقل الاوكسين من القمة النامية الى منطقة الاستطالة وفى المنطقة الأخيرة فى حالة الساق يكون تركيز الاوكسين أقل من الامثل أما فى حالة الجذر فيكون تركيز الاوكسين أكثر من الامثل. وعند وضع البادرة أفقياً أو حتى مائلة فان

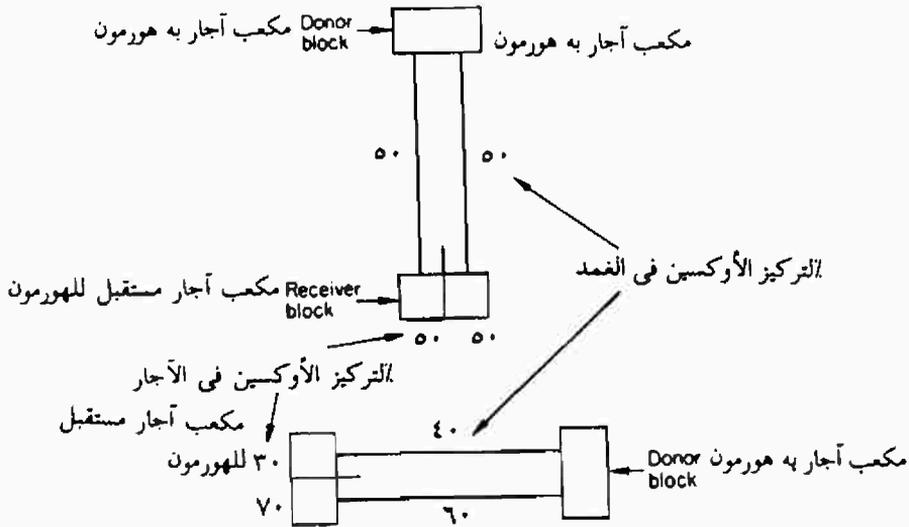
الايوكسين ينتقل من الجزء العلوى لمنطقة الاستطالة الى الجزء السفلى لمنطقة الاستطالة وذلك نتيجة لعوامل فسيولوجية معقدة كنتيجة مباشرة للجاذبية الأرضية وتفسير ذلك غير معروف حتى الآن بالضبط ويوجد لذلك نظريات أهمها نظرية حبيبات النشا وتسمى بالـ statoliths theory. ولو أن هذه النظرية هي من أكثر النظريات قبولا الا أنها لا تفسر الحالة بالتفصيل وعليها مأخذ كثيرة. ونتيجة لما سبق نجد دائما أن الجزء السفلى من منطقة الاستطالة يحتوى على تركيز أعلى من الجزء العلوى. ومما يثبت ذلك التجربة التى أجريت على غمد الرهشة لنبات الليرة فعند وضع كمية من الاوكسين فى الآجار ولتكن 1.0% ووضع الآجار على قمة الغمد المقطوع وعند أستقبال هذا الاوكسين فى الآجار الموجود تحت الجزء السفلى فوجد أن النصف الايمن من الآجار يحتوى على 1.5% والنصف الايسر يحتوى على 1.0% من الاوكسين المستعمل فى بداية التجربة وعند وضع هذا الجزء من الغمد فى حالة أفقية وتكرار ماسبق فقد



(شكل ٨٨): العلاقة بين تركيز إندول حامض الخليك ونمو الساق والجذر والبراعم الزهرية.

وجد أن الجزء السفلى للأجار المستقبل يحتوى على 7.70% والجزء العلوى يحتوى على 7.30% (شكل ٨٩) وفى حالة الساق نجد أن تركيز الأوكسين فى الجزء السفلى من منطقة الاستطالة قريب من التركيز الامثل بينما الجزء العلوى من منطقة الاستطالة للساق يكون التركيز فيها أقل من الامثل بكثير ونتيجة لذلك ينمو الجزء السفلى أسرع من الجزء العلوى ونتيجة لذلك يحدث انحناء ويتجه الساق فى نموه الى أعلى أى ينتحى انحناء أرضى سالب. ويتضح أن انحناء الساق هنا ليس له علاقة بالضوء وليس للضوء أى ميكانيكية للتأثير. أما فى حالة الجذر فإن الجزء السفلى من منطقة الاستطالة يزيد عن التركيز الامثل بكثير والجزء العلوى يكون قريب من الامثل أو الامثل فى نمو الجزء العلوى أسرع من الجزء السفلى ونتيجة لذلك ينحن الجذر الى أسفل وينتجى انحناء أرضى موجب. إلا أنه فى النظريات الحديثة الآن علاوة على ذلك يعتقد أن لحمض الأبيسيسيك دور فى هذه الحالة حيث يوجد أيضا هذا الحمض بتركيز كبير على الجزء السفلى من الجذر ويسبب هذا الحمض تقليل سرعة النمو.

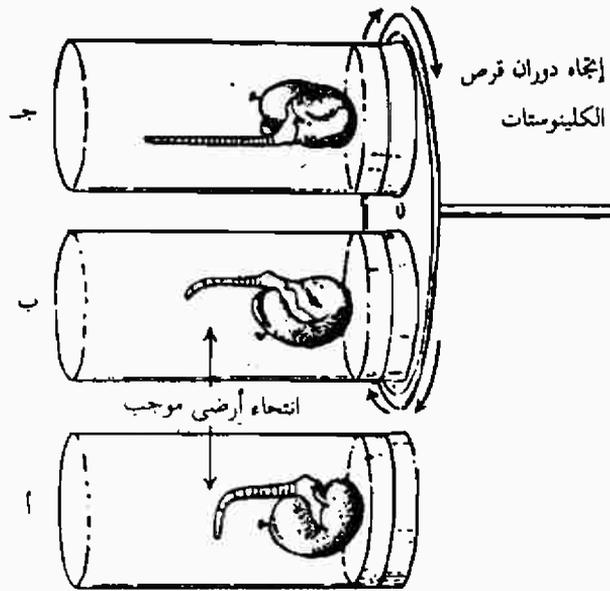
وإذا متنا الاختلاف فى تركيز الهرمونات على جانبي منطقة الاستطالة فى كل من الساق والجذر بحيث أن يكون تركيز الأوكسين فى أى جزء من منطقة الاستطالة للساق هو تركيز موحد وأيضا بالنسبة للجذر فإن كل من الساق والجذر سينمو نموا أفقيا ولن يحدث له أى انحناء ويمكن اثبات ذلك بواسطة جهاز الكلينوستات klinostat. والفكرة فى هذا الجهاز أنه يتكون من قرص فلليني وثبت على هذا القرص بواسطة دبوس بمادة ملفوفة بجزء من قطن



(شكل ٨٩): أنتشار أندول حامض الخليك فى الساق الأفقية والرأسية.

مبلى وان هذا القرص له غطاء بلاستيك ومتصل بموتور كهربائي والموتور وظيفته هو عمل دوران للقرص بسرعة منتظمة فى اتجاه واحد وبذلك يمنع الاختلاف فى تركيز الهرمونات فى منطقة الاستطالة وبالفعل ينمو كل من الجذر والساق أفقيا (شكل ٩٠).

وحديثا وباستعمال الاقمار الصناعية وعند اجراء التجارب على حيوانات التجارب وغيرها ومنها الانسان فقد استعملت أيضا النباتات لاجراء التجارب عليها ووجد أنه عند خروج الاقمار الصناعية من مجال الجاذبية الأرضية وفى اتجاهها الى الاقمار المختلفة أنه يحدث نمو للبذور والحبوب ولكن نجد أنه لا يوجد اتجاه معين لنمو البذور أو السيقان كما هو الحال على الكرة الأرضية حيث وجد أن الجذور والسيقان فى هذه الحالة تتجه فى أى اتجاهات وليست فى اتجاه معين. ولذلك يتضح أن للجاذبية الأرضية تأثير مباشر على حدوث عملية الانتحاء الأرضى الموجب والسالب.

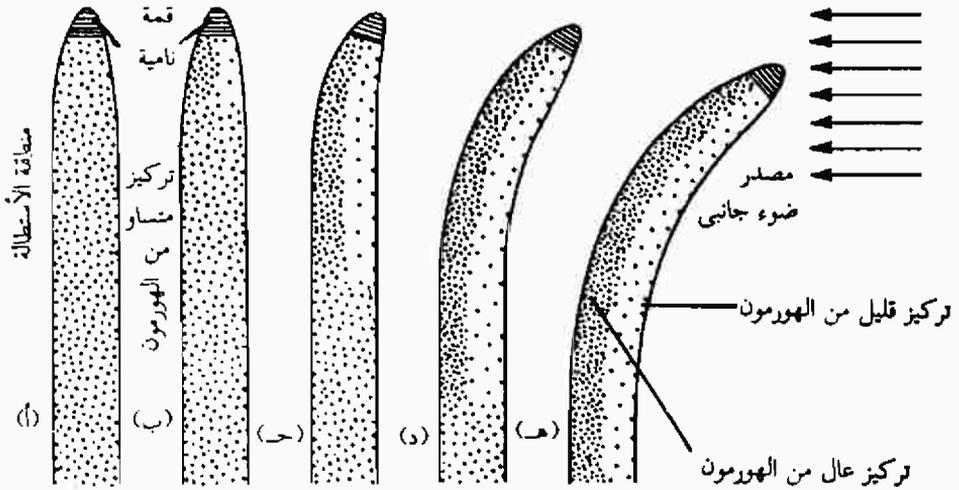


(شكل ٩٠): جهاز الكلينوستات

من المعروف أن الجزء من الجذر الذي يستقبل الاحساس بالجاذبية الأرضية هو قننسة الجذر وقد وجد أنه بإزالة قننسة الجذر root cap فإنه لا يحدث انحناء أرضى. ويستمر ذلك فترة من الزمن طويلة أو قصيرة حتى يتمكن الجذر مرة أخرى من تكوين قننسة جديدة ومن ذلك يتضح أن القننسة تفيد في حماية الجذر أثناء نموه بين حبيبات التربة وتستعمل كغطاء واقى لقمة الجذر الرهيفة وبذلك تساعد على اختراق التربة دون تأثير ضار عليها. ولكن من المعروف أيضا أن قننسة الجذر هي التي تستقبل الحساسية للجاذبية الأرضية وهي المسئولة عن إظهار تأثير الجاذبية الأرضية وهي المسئولة عن إظهار تأثير الجاذبية الأرضية في حدوث الانحناء الأرضى للجذر.

الانحناء الضوئى Phototropism

فى حالة وجود اضاءة منتظمة أو ظلام فإن نمو غمد الريشة لنبات الشوفان أو الساق يكون نمو رأسى ولا يوجد فيه أى انحناء. ولكن عند تعريض الاجزاء السابقة لمصدر ضوئى من جهة واحدة unilateral light نجد أن الغمد أو الساق ينحني ويتجه فى نموه ناحية مصدر الضوء، وهنا مايسمى بالانحناء الضوئى الموجب positive phototropism (شكل ٩١).



(شكل ٩١) : الانحناء الضوئى الموجب

يحدث هذا الانتحاء نتيجة لاختلاف في تركيز الاوكسينات على جانبي الساق فنجد أن جزء من الساق المواجه للضوء يحتوى على تركيز ضئيل من الاوكسينات بينما الجزء البعيد عن الضوء يحتوى على تركيز كبير وأمثلة من ناحية تركيز الاوكسين ونتيجة لذلك يحدث اختلاف في سرعة نمو كل من جزئى الساق أو الغمد حيث نجد أن سرعة نمو الجزء البعيد عن الضوء أسرع بكثير من سرعة نمو الجزء المواجه للضوء ونتيجة لذلك نجد حدوث الانحناء فى اتجاه مصدر الضوء. وقد اختلفت التفسيرات لتفسير اختلاف تركيز الاوكسينات على جانب الساق أو الغمد فى حالة وجود المصدر الضوئى جانبى. وتوجد لذلك نظريات كثيرة أهمها:

١- أن الاوكسين يفسد فى الجزء المواجه للضوء بينما يكون بحالة نشطة فى الجزء البعيد عن الضوء. وما يدعم هذه الحقيقة أنه من المعروف أن مركب IAA حساس للضوء وفى وجوده فى الاضاءة لمدة طويلة يتسبب فسادة وتوقف فاعليته.

٢- أما عن النظرية الثانية فانها تعتقد أن الهرمون ينتقل من الجزء القريب من الضوء الى الجزء البعيد عن الضوء.

٣- وأن النظرية الثالثة تفترض أن الجزء من القمة النامية القريب من الضوء غير قادر على تخليق الاوكسين أما الجزء من القمة النامية البعيد عن الضوء وهو قادر على تخليق الاوكسين.

وهذه فى مجموعها نظريات عامة لها بعض من الدلائل العملية والتجارب العملية، ولكن الثابت أن تركيز الاوكسين فى الجزء البعيد عن الضوء أكبر من تركيزه فى الجزء القريب. من الضوء وأن النظرية الثانية هى الصحيحة والأكثر قبولاً.

أما عن أنواع الضوء الذى يسبب الانتحاء الضوئى الموجب فقد وجد أن الضوء العادى يسبب هذا الانتحاء ولكن من المعروف أن الضوء العادى يتكون من عديد من الألوان ولذلك فقد أجريت اختبارات تأثير كل لون من ألوان الطيف الضوئى كلاً على حدة. فقد وجد أن جميع ألوان الطيف الضوئى مثل الاصفر والاحمر والاخضر والبرتقالى ليست لها أى تأثير على الانتحاء الضوئى وأن الضوء الوحيد المؤثر على حدوث الانتحاء الضوئى هو اللون الازرق وجزء من الأشعة فوق البنفسجية ولذلك فإن الجزء الفعال فى الضوء العادى هو اللون الازرق وجزء من الأشعة فوق البنفسجية، وأذا استخدمت جميع ألوان الضوء العادى عدا النوعين المذكورين أخيراً من الضوء فإنه لن يحدث أى انتحاء ضوئى.

من المعروف أنه لكى يحدث للضوء تأثير فى النبات فلا بد أن يمتص أولاً ويحدث امتصاص للضوء فى النبات بواسطة الصبغات والصبغة المشتولة عن الانتحاء الضوئى الموجب للساق أو قمة الغمد هى ليست صبغة الكلوروفيل حيث أن صبغة الكلوروفيل تمتص بشدة

كل من اللونين الأحمر والأزرق بينما يمتص الضوء الأزرق فى هذه الحالة ولذلك يعتقد أن الأمتصاص يحدث بواسطة صبغات الكاروتين والفلافين ومنها الريوفلافين.

كيف يؤثر الاوكسين على خلايا النبات لحدوث الاستطالة:

من المعروف أنه فى الحشرات وبعض الحيوانات الاخرى أنه لكى يحدث نمو فلاهد للحشرات من أن تنسلخ وقد يحدث عدة انسلخات لكى تتمكن من الكبر فى الحجم. أما فى حالة الخلايا النباتية فان كل خلية يكون لها جدار خلوى سميك نسبيا وصلب نسبيا وبذلك يمنع الخلية من التمدد أو الاستطالة ولكن من المعروف أن خلايا النبات تستطيل ومعنى ذلك أنه لا بد من حدوث تغيرات فى تركيب الجدار الخلوى لكى يسمح باستطالة وتمدد الخلايا.

ويمكن تمثيل هذه الحالة بواسطة بالون، فعند نفخ هذا البالون الى أقصى حد يمكن عمل زيادة فى حجم هذا البالون زيادة على الحد المعتاد وذلك بمعاملة جدار البالون بأى مذيب عضوى مناسب يساعد على تمدد جدار البالون وبذلك تكبر البالون فى الحجم دون نفخ للهواء وهذا ما يحدث أيضا فى حالة الخلية النباتية حيث أن الاوكسينات هامة وضرورية لزيادة حجم واستطالة الجدر الخلوية. وقد أمكن اثبات ذلك كما هو معروف انه باستخدام مكعب من الآجار به أوكسين ووضعه على قمة الساق أو الغمد بعد ازالة الجزء القمى فان الساق يحدث له نمو باستطالة خلاياه وقد وجد أن استطالة الخلايا فى النبات وكبرها فى الحجم ترجع الى حالتين هما :

١- ترجع لوجود ضغط الانتفاخ turgor pressure وهو تمدد رجعى.

٢- ترجع لوجود مطاطية لجدار الخلية extensibility of cell wall .

والمطاطية لها نوعين فى الخلية:

أ - elastic extensibility وهى عبارة عن مطاطية رجعية reversible أى مثل الأستيك يتمدد ثم ينكمش.

ب - plastic extensibility وهى عبارة عن مطاطية غير رجعية irreversible أى يتمدد الجدار ولا ينكمش مرة أخرى.

وقد وجد أن الاوكسينات تأثيرها على جدار الخلية هو من النوع البلاستيك (غير الرجعية). وياجراء تجارب على ذلك بقتل غمد الريشة ثم اختبار قدرته على المطاطية فيكون له قدرة محدودة على المطاطية ولكن عند معاملة الغمد بالاوكسين ثم قتله واختبار المطاطية تحدث مطاطية بدرجة كبيرة واضحة عنه فى الحالة الاولى. أما اذا قتل الغمد وعومل بالاوكسين بعد قتله فانه أيضا يكون ذو مطاطية إلا أنها مطاطية محدودة. ومن ذلك يتضح أن المطاطية موجودة

فى الخلايا الميتة لكن معاملة الخلايا الحية بالاكسين ثم قتلها يزيد بدرجة كبيرة جدا المطاطية ومن ذلك يتضح أن وجود الاوكسين فى الخلية الحية هام لحدوث المطاطية بدرجة ملحوظة. وغير معروف حتى الآن كيف يحدث ذلك بالتفصيل.

وقد ثبت أن للأوكسين دور فى تنشيط الأنزيمات المشتلة عن تكوين السليلوز فى أثناء استطالة الخلية لتكوين جزئيات السليلوز الجديدة التى متحل محل الفراغات الموجودة فى الجدار الجديد الرقيق. كما وجد أيضا للأوكسين تأثير فى تكوين أنواع معينة من RNA وأن هذه المركبات الاخيرة هامة فى تكوين البروتين ومنه البروتين اللازم للأنزيمات حيث أنه من المعروف أن جزء كبير جدا من كل انزيم عبارة عن بروتين ولذلك فهو لازم أيضا لتخليق البروتين الذى يتكون منه مضخة أيونات الايدروجين الموجودة فى الغشاء البلازمى.

التركيب الجزيئى وعلاقته بنشاط الاوكسينات:

من المعروف أن اندول حامض الخليك يتوفر فيه خصائص معينة من ناحية تركيبه فهو أولا مركب حلقي وثانيا يحتوى على روابط مزدوجة غير مشبعة وثالثا أنه حامض يحتوى على مجموعة كربوكسيل ورابعا أنه مركب حلقي له سلسلة جانبية. وقد دعى ذلك كثير من علماء فسيولوجيا النبات الى تجزئته وحصر كثير من المركبات الأخرى التى لها نفس الخصائص وكذا المواصفات من ناحية التركيب الجزيئى.

وقد اختبرت هذه المركبات التى فيها الخصائص السابقة وذلك لتقدير كفاءتها من ناحية نشاطها كأوكسينات وذلك باختبارها على غمد الريشة لنبات الشوفان وقياس درجة الانحناء فى حالة هذه المركبات ونتيجة لذلك الحصر لهذه المركبات أمكن تحديد ٥ مجاميع رئيسية من المركبات وكل مجموعة تحتوى على عديد من المركبات وهذه المركبات هى (شكل ٩٢):

١- مشتقات الفينوكسى Phenoxy:

ومن أمثلتها 2,4-Dichloro phenoxyacetic acid (2,4 -D)

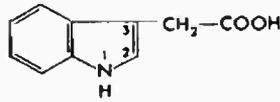
٢- مشتقات الاندول Indole:

وهو مركب حلقي به روابط غير مشبعة ومثال ذلك أندول حامض الخليك IAA وجد أن زيادة عدد ذرات الكربون فى السلسلة الجانبية يقلل من كفاءة المركب ولذلك نجد أن اندول حامض البيوتريك أقل كفاءة من IAA.

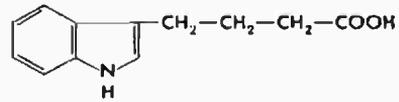
٣- مشتقات البنزويك Benzoic Acid

ومنها 2,6 - dichlorobenzoic acid

الاندول Indoles

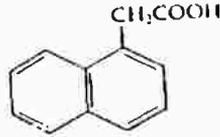


3-Indoleacetic acid (عال النشاط)



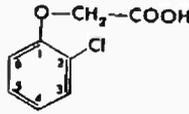
3-Indolebutyric acid (أقل نشاط)

النفثالين Naphthalene acids

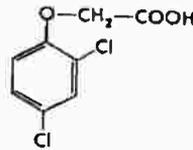


α -naphthalene acetic acid

الفينوكسي Chlorophenoxy

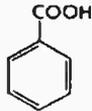


2-chlorophenoxyacetic acid
(فعال)

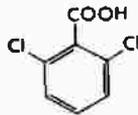


2,4-dichlorophenoxyacetic acid
(زائد الفاعلية)

حامض البنزويك Benzoic acids

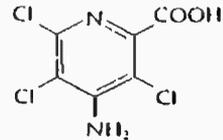


Benzoic acid
(غير فعال)



2,6-dichlorobenzoic acid (فعال)

حامض بيكولينيك Picolinic acid



4-amino-3,5,6-trichloropicolinic (tordon)
acid (tordon or pichloram) ١١

(شكل ٩٢): التركيب الجزيئي لمنظمات النمو المختلفة.

٤- مشتقات النفتالين Naphthalene

ومنها مركب نفتالين- حامض الخليك Naphthalene acetic acid

٥- مشتقات حامض البيكولينيك Picolinic acid

وأهم مركب في هذه المجموعة هو 4- Amino- 3,5,6- trichloropicolinic acid

وعامة فان جميع المركبات المذكورة سابقا تعتبر أوكسينات تركيبية أى صناعية عدا IAA . وعامة فان عدد الأوكسينات التركيبية كبير جدا وهى المستعملة عادة فى الاستعمالات الاقتصادية فى علوم البساتين والمحاصيل ولكن عدد الأوكسينات الطبيعية قليل جدا. وأهم الأوكسينات الطبيعية هى بالطبع IAA .

طرق تقدير تركيز الأوكسينات:

يوجد طرق كثيرة وأهمها ما يأتى:

١- طريقة Went Avena Coleoptile Method :

يستعمل فى هذه الطريقة غمد الريشة لنبات الشوفان النامى فى الظلام. وفى الحقيقة أول من عمل هذه الطريقة هو Went ولذلك سميت باسمه. يستعمل غمد الريشة ويتم عمل قطع للجزء الطرفى من الغمد وتسمى بعملية الفصل decapitation (عملية ازالة القمة النامية للريشة) ثم يترك الغمد فترة ويعاد قطع بضع ملليمترات طرفية مرة أخرى وبذلك يتوقف الغمد عن الاستطالة تماما. ثم يوضع مكعب من الآجار ذو حجم معين به الأوكسين على أحد جوانب الغمد فان الغمد ينحنى أثناء نموه على الناحية الأخرى. وقد استعملت هذه الزاوية كمقياس لمقدار التركيز للأوكسين وسميت الوحدة بالوحدة الشوفانية. والوحدة الشوفانية (AU) Avena unit تساوى التركيز من الأوكسين الذى يسبب زاوية مقدارها ١٠ درجة مثوبة فى ٩٠ دقيقة فى درجة حرارة ٢٥م ورطوبة نسبية ٩٠%. يمكن معرفة تركيز الأوكسين بعمل تركيزات معلومة ورسم منحنى قياسى standard curve يمكن منه معرفة تركيز الأوكسين (شكل ٨٥) .

٢- طريقة النمو الطولى:

فى ذلك يقدر النمو الطولى للاجزاء الشاحبة أيضا ويستعمل فى ذلك السوقة الجنينية لعباد الشمس وساق البسلة حيث تغمر فى المحلول وبعد زمن معين تقاس وتقدر درجة الاستطالة. ولتقدير التركيز يجرى أيضا عمل تركيزات معروفة ويوضع هذه القطع النباتية فيها وتقدر الاستطالة فى كل حالة ويرسم لذلك منحنى ومن المنحنى يمكن الاستدلال على التركيز

٣- طريقة ساق البسلة المشقوقة Split Pea Stem Test :

فى هذه الطريقة يستعمل أجزاء من سيقان نباتات بسلة موضوعة فى ظلام ثم يؤخذ الجزء تحت طرفى ويكون طول الجزء حوالى ٥ سم ثم يشق هذا الجزء الى نصفين لمسافة ٣ سم فقط ثم توضع فى ماء مقطر لبضع ساعات فيحدث انفراج للنصفين المشقوقين وبعد ذلك تنقل من الماء المقطر وتوضع فى محلول الاوكسين المراد تقدير تركيزه فى الاوكسين يحدث انحناء للداخل لكل جزء من الشقين كما فى الرسم ودرجة الانحناء تتناسب طرديا مع درجة تركيز الاوكسين. وتقدير التركيز من المنحنى كما فى التجارب السابقة (شكل ٨٥). (

٤- طريقة Paper Chromatography

Thin Layer Chromatography :

يوضع المحلول المراد اختياره على الورق أو على thin layer وتستخدم مذيبات معينة وبعد نهاية التجربة تستخدم صبغات معينة للكشف عن الاوكسين. ومن هذه الصبغات salkowski reagent وهذه الصبغة عبارة عن كلوريد حديدك حامضى. acidified ferric chloride. وأيضا يمكن استعمال Erlich reagent حيث أن هذه الصبغات تصبغ IAA بألوان معينة وكلما زاد تركيز اللون كلما دل ذلك على زيادة تركيز IAA أو الاوكسين.

٥- الطرق اللونية باستخدام جهاز Ultra Violet Spectrophotometer :

عند استخلاص أوكسين نباتى وتنقيته تماما (لان هذه الطريقة لاتصلح على الإطلاق الا اذا كان نقى تماما) ويمكن اذابة هذا الاوكسين النقى فى مذيب ويفحص بواسطة الجهاز. ويمكن التعرف على تركيزه، بقياس درجة الامتصاص للأشعة فوق بنفسجية عند طول موجة ٢٨٠ نانوميتر (لانها عندها تمتص حامض الخليك الأشعة)، من منحنى قياسى.

٦- طريقة Gas Chromatography :

وتعتبر هذه من أدق الطرق حيث ان المشتق المتطاير للاوكسين أو IAA يمكن فصله عن الشوائب الموجودة فى مستخلص الاوكسين وذلك برفع درجة الحرارة بدرجة كبيرة ذاتيا بداخل الجهاز ويحدث ذلك الفصل عن طريق مرور المشتق المتطاير فى غاز عمود column به مجموعة من المركبات معينة وهذه المواد تمتص الاوكسين وأيضا تمتص كل شائبة من الشوائب ولكن تمتص الاوكسين على حدة وفى زمن معين وأيضا كل شائبة على حدة differentially absorb hormones and impurities ومن المنحنى chart الذى يرسم

تلقائياً بواسطة الجهاز يمكن التعرف على وجود الأوكسين وأيضا تركيزه. حيث أنه يوجد فيه شكل ٨ على مسافة معينة من بدء الأختبار.

٧- طريقة High Pressure Liquid Chromatography :

يستعمل في هذه الحالة محلول مضغوط من الاوكسين والشوائب يمر عبر عمود column يحتوى على أنواع مختلفة من المركبات التى تدمص الاوكسين والشوائب لتفصلهم عن بعضهم differentially adsorb hormones and impurities وفى هذا الجهاز لانتاج الى درجة الحرارة المرتفعة.

وفى كلا الطريقتين الاخيرتين لان كل من الاوكسين والشوائب تأخذ أزمنة مختلفة لتمر عبر المواد الموجودة فى العمود column فأنها تفصل عن بعضها ولذلك فان الاوكسين يكون فى حالة نقية ويقاس مباشرة بالجهاز وفى هذه الحالة فان يوجد جزء من الجهاز يسمى detector بعد العمود مباشرة ليقاس تركيز الاوكسين. وهو فى حالة IAA يقيس درجة الفلورة fluorescence عند تعريض المحلول لأشعة فوق بنفسجية عند طول موجة معينة وهى ٢٨٠ nm.

التأثيرات الهامة للاوكسينات وبعض التطبيقات الاقتصادية لها

للاوكسينات تأثيرات كثيرة على النباتات الزهرية وأهمها مايتى:

١- استطالة الخلايا: Cell Elongation

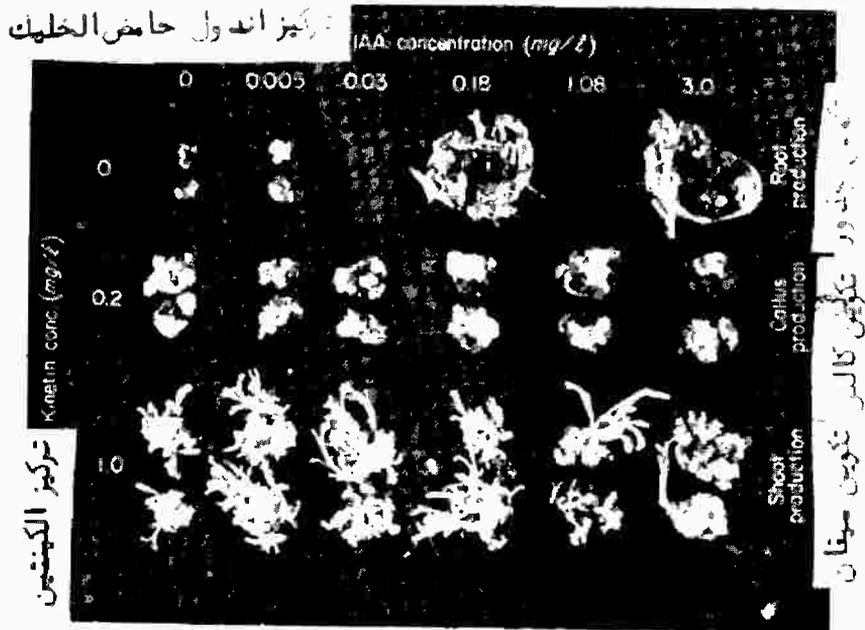
من المعروف أن الاوكسينات تسبب استطالة للخلايا وكبرها فى الحجم حيث تؤثر على الجدار الخلوى. وقد وجد علاوة على ذلك أنها عامل فعال فى تكوين mRNA وأنه لا بد من وجود الاوكسين لكى يتكون هذا الحامض النووى بحالة عادية ومن المعروف أن هذا الحامض النووى مع الانواع الاخرى تشترك فى تخليق البروتين والذى يلزم تكوينه بدرجة واضحة لكى يملأ الخلية ولا تصبح الخلية خالية فيها جزء كبير فارغ نتيجة لتمدد الجدار وعدم تخليق بروتين جديد. ومن المعروف أن تخليق البروتين يلزم له مباشرة وجود السيبتوكينينات أى أن تأثير الاوكسين على تخليق البروتين يكون بطريقة غير مباشرة وذلك عن طريق تحكمه فى تخليق RNA.

٢- انقسام الخلايا: Cell Division

من المعروف أن الاوكسينات تأثيرها الرئيسى هو على استطالة الخلايا ولكن يكون لها دور أيضا فى انقسام الخلايا وفيما يلى حالات كثيرة تثبت ذلك:

أ- لقد وجد فى تجارب Skoog and Miller أن وجود كل من الاروكسين والسيبتوكينين هام لحدوث انقسام الخلايا وتكوين الكالس أو تكوين جذور أو تكوين سيقان (مجموع خضرى) ومعنى ذلك أنه يوجد interaction بين الاروكسينات والسيبتوكينينات لتحداث النموات السابقة (شكل ٩٣).

ب- من المعروف والثابت الآن أن التخليط الثانوى الذى يحدث فى الاشجار فى فصل الربيع هو نتيجة لوجود الاوكسينات وأيضا الجبريلينات. فمن المعروف أنه فى كثير من النباتات والأشجار تحدث فترة مسكون للاشجار وفى بعض الانواع تساقط الاوراق تماما وذلك فى النباتات متساقطة الاوراق حيث يكون نشاط النبات تقريبا معدوم. وعند حلول الربيع يحدث نشاط للبراعم



(شكل ٩٣): تأثير السيبتوكينينات والأوكسينات على نمو أعضاء النبات.

الكامنة وبدأ في النمو وهي مراكز نشطة لتخليق الاوكسينات حيث تنتقل الاوكسينات من هذه البراعم الى الافرع والسيقان ومن المعروف أنها مسؤولة عن النشاط لخلايا الكامبيوم وأنها أساسية لتكوين وتشكل خلايا نسيج الخشب بينما الجبريلينات تنشط في ذلك الوقت أيضا ولكنها هي المسؤولة عن تكوين وتشكل خلايا اللحاء. وكما سبق أن درشنا أن التغليف الثانوى ينتج عنه خشب ثانوى ولحاء ثانوى وهذه الحالة من الوجهة التشريحية البحتة ولكن من الوجهة الفسيولوجية الحديثة أن الاوكسين هو المسئول عن تكوين وتشكل نسيج الخشب وأن الجبريلينات هي المسؤولة عن تكوين وتشكل خلايا اللحاء. وقد أمكن اثبات ذلك كل على حدة باختبار تأثير الاوكسينات على حدة واختبار تأثير الجبريلينات على حدة وذلك خارج النبات وذلك باستعمال مزارع الأنسجة.

ج - أنواع التطعيم المختلفة تعتبر أيضا حالة تطبيقية لوجود الاوكسين. فمن المعروف في كثير من أشجار الفاكهة يستخدم أصل ويكون له جذور، ويستخدم هذا الأصل لان له مميزات لا توجد أو لا تتوفر في الطعم ومثال ذلك مقاومة الأصل للأمراض أو له مميزات لا توجد أو لا تتوفر في الطعم. وعن وضع الطعم على الأصل فإنه ضرورى لنجاح عملية التطعيم أن يتكون في منطقة الإتصال بين الأصل والطعم أنسجة وعلى الأخص وبالضرورة وجود أنسجة وعائية أى تحتوى على كل من نسيج الخشب واللحاء لكي يكون التوافق تام بين الأصل والطعم. وهذه الحالة أيضا تثبت أن للأوكسينات فيها دور كبير حيث تنتقل الأوكسينات من البراعم والقمم النامية وتنتقل قطبيا إلى أسفل في مكان الالتحام بين الأصل والطعم لتساعد على تكوين وتشكل خلايا الأنسجة الوعائية.

د- من المعروف أن كثير من العقد والتورمات التى تحدث للنبات تقع تحت تأثير الأوكسينات الطبيعية فمن المعروف أنه لتكوين العقد الجذرية فى جذور النباتات البقولية فإنه يوجد نشاط كبير ملحوظ فى أماكن هذه العقد للأوكسينات الطبيعية وأهمها IAA. وأيضا فى الحالة المرضية لكثير من النباتات مثل التفاح والعنب وعباد الشمس ألخ والتي تسبب عن البكتيريا *Agrobacterium tumefaciens* حيث تسبب هذه البكتيريا المرض المعروف crown gall أى التدرن التاجى حيث يلاحظ فى منطقة النبات عند سطح التربة وجود أورام تصل إلى حجم كبير فقد تصل إلى قطر ٨-١٠ سم وقد تزيد. وأنه فى هذه المناطق يكون نشاط IAA كبير جدا وملحوظ عنه فى الأجزاء الأخرى فى نفس هذه المنطقة فى النباتات السليمة. تنطبق نفس القاعدة على العقد الجذرية root knots التى تسبب عن الـ nematodes وهي المسؤولة عن حدوث العقد والتدرنات الكثيرة التى توجد على الجذور والمسبب لذلك هى أنواع من الـ nematodes تتبع الجنس *Meloidogyne* حيث وجد أن فى مناطق هذه العقد نشاط كبير

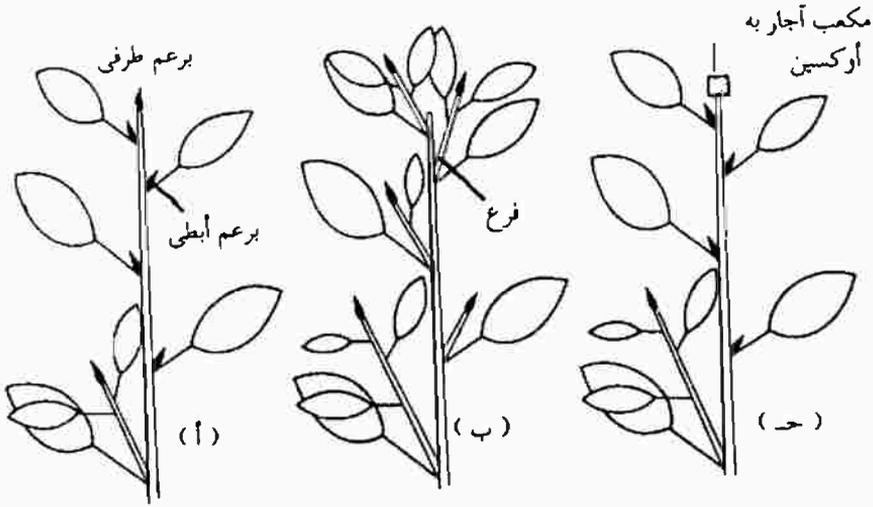
واضح لـ IAA وذلك بالمقارنة بالمقارنة بالجذور السليمة.

هـ - تكوين الجذور على العقل: فمن المعروف أنه في كثير من النباتات الإقتصادية نلجأ إلى زراعة هذه النباتات وذلك بواسطة العقل كما يستعمل كثيرا في نباتات الفاكهة وبعض نباتات الخضر ونباتات الزينة وبعض أشجار الغابات فقد وجد أن غمر العقل الساقية وقد تكون أيضا عقل ورقية كما في بعض نباتات الزينة في محلول مخفف من الأوكسينات ويمكن أيضا بدلا من الغمر في المحاليل يمكن معاملة العقل بمسحوق من الأوكسين، وعامة فهذه طرق مختلفة للمعاملة وتستعمل هذه المعاملات المختلفة لتشجيع تكوين الجذور العرضية على العقل الساقية وبالتالي يساعد ذلك في نجاح عملية التعقيل والزراعة بالعقل. فقد وجد أن الأوكسينات تساعد على تنشيط خروج الجذور العرضية وبالتالي سرعة خروجها وهذا عامل محدد هام في نجاح الزراعة بالعقل. حيث أن التأخير في خروج الجذور العرضية للعقل بعد زراعتها ينتج عنه جفاف العقلة وموتها. وعند خروج الجذور العرضية بكمية كافية وبسرعة ملائمة فإن ذلك يساعد على اتصال العقلة الساقية بالتربة اتصال سليم عن طريق الجذور وينتج عن ذلك نبات عادي نتيجة لسرعة خروج الجذور العرضية. وقد وجد في كثير من الحالات أن النباتات التي يتم اكثارها بالعقل يمكن فيها نجاح هذه العملية إلى درجة أكبر عند معاملةها بالأوكسينات ومن أهم الأوكسينات المستعملة في هذه الحالة اندول حامض البيوتريك ونفتالين حامض الخليك.

وقد وجد في بعض الحالات أن معاملة العقلة الساقية بمخلوط من أكثر من أوكسين يساعد بدرجة كبيرة جدا على كفاءة خروج الجذور العرضية عنه إذا استعمل أحدهما فقط. ومثال لذلك في العقل الساقية لنبات *camellia* فإن معاملة العقل الساقية بمخلوط من اندول حامض البيوتريك مع نفتالين حامض الخليك فإن ذلك يساعد على خروج الجذور بدرجة كبيرة. وهذا لايعنى أن أى نبات يمكن أن نزرعه بالعقلة بعد معاملةها بالأوكسينات فإن كثير من النباتات التي لا تكون الجذور العرضية بسهولة ولا تنتج فيها عملية التعقيل تماما فإن المعاملة بالأوكسينات لا تفيد أيضا. وقد وجد في حالات أيضا عكس ما سبق أن معاملة العقل الساقية والتي تكون الجذور العرضية بكفاءة عالية نسبيا بواسطة أوكسين فإن ذلك يقلل من كفاءة تكوين الجذور العرضية. والتعليل لذلك في هذه الحالة الأخيرة أن العقل الساقية تحتوى على تركيز من الأوكسين إلى حد ما مناسب وأن إضافة كمية أخرى من الأوكسينات قد تسبب تأثير عكسي. معنى ذلك أنه عند استعمال الأوكسينات في الزراعة بالعقل لا بد أن نكون على علم بفاعلية الأوكسينات في تكوين الجذور العرضية للنبات المراد زراعته.

٣- ظاهرة السيادة القمية Apical Dominance :

وهذه الظاهرة تحدث فى النباتات ذوات الفلقتين حيث نجد أن البرعم الطرفى يكون نشيط ويمنع هذا البرعم نمو البراعم الأبطية والموجودة أسفله لمسافة ما وكلما زادت هذه المسافة كلما كان ذلك دليل على زيادة كفاءة ظاهرة السيادة القمية وعند إزالة القمة النامية لهذا الساق أو الفرع فإن البراعم الأبطية الكامنة الموجودة أسفله تنمو فى تتابع هرمى. وقد وجد أنه عند إزالة القمة النامية ونضع مكانها مباشرة عجينة لانولين lanolin بها تركيز مناسب من IAA فإن نمو البراعم الأبطية يتوقف أيضا فى هذه الحالة (عجينة لانولين عجينة تشابه الفازلين إلا أنها غير سامة للنبات فى حين أن الفازلين عند وضعه على القمم المقطوعة يسبب تأثير ضار للنبات) (شكل ٩٤).



(شكل ٩٤) : ظاهرة السيادة القمية فى النبات.

- أ - فرع عادى وعدم نمو للبراعم الأبطية.
- ب - فرع أزهلت قمته ونمو للبراعم الأبطية.
- ج - مكعب آجار به أوكسين وضع على القمة المقطوعة وعدم نمو للبراعم الأبطية

والتعليل للظاهرة السابقة أن البرعم الطرفي نشط ويكون كميات كبيرة من الاوكسينات تفرز وتنتقل قطبيا إلى أسفل حيث تنتقل إلى البراعم الابطية الموجودة إلى أسفل وحيث أن هذه البراعم الابطية تخلق اوكسينات ويدخل إليها علاوة على ذلك اوكسينات من البرعم القمى فنتيجة لذلك يزداد تركيز الاوكسينات في هذه البراعم الابطية عن الحد المناسب فتمنع نموها ونتيجة لذلك تحدث ظاهرة السيادة القمية.

وقد أمكن استعمال هذه الظاهرة اقتصاديا في حالات كثيرة جدا منها:

أ- تخزين درنات البطاطس بكفاءة عالية حيث أن من المعروف أن درنة البطاطس هي عبارة عن ساق وعليها عيون وكل عين به برعم خضري أو أكثر وأنه في الظروف العادية الغير مناسبة تماما للتخزين فإن هذه البراعم تنمو وتنبت الدرنة ونتيجة لنمو هذه البراعم وتكوينها لنموات ساقية فإنها تستهلك النشا الموجود داخل درنات البطاطس وذلك مما يقلل من القيمة الاقتصادية للبطاطس حيث نجد في نهاية مدة التخزين أن هذه البطاطس الناتجة عديمة القيمة الاقتصادية تماما ولا يمكن بيعها ونتيجة لذلك فقد أمكن رش درنات البطاطس بأوكسين اندول حامض البيوتريلك أو نفتالين حامض الخليك وقد أمكن بذلك تخزين البطاطس لمدة تتفاوت من سنة إلى ٣ سنوات دون أي نمو وإنبات للبراعم وبذلك تكون القيمة التسويقية والإقتصادية للبطاطس بعد التخزين كبيرة.

ب- في كثير من نباتات الفاكهة وخاصة التفاح وحيث يزرع في المناطق الباردة جدا نجد أن النمو المبكر للبراعم الساكنة يكون له تأثير ضار على النبات حيث تكون درجة الحرارة منخفضة ويتكون الصقيع الذي يقتل النموات الخضرية الناتجة من هذه البراعم وبذلك فإنه من المفيد جدا تأخير نمو هذه البراعم حتى يحل جو أكثر دفئا نسبيا ولا يتكون صقيع وفي هذه الحالة ترش الأشجار بنفتالين حامض الخليك أو بال 2,4-D وذلك يساعد على تأخير نمو البراعم ونموها بعد حلول فترة دفاء نسبيا أو فترة أقل برودة نسبيا.

ألا أن النظرية الحديثة نسبيا في حالة السيادة القمية أنه يوجد أيضا تداخل بين عمل الاوكسين من ناحية تنشيط نمو البراعم والسيتوكينينات التي تصل البراعم السفلية فأنها تضاد وتثبط عمل الاوكسينات ومثال ذلك مرض مكنتة الساحرة.

٤- سقوط الأوراق Leaf Drop والأزهار والشمار الصغيرة:

من المعروف أن الورقة تظل ملتصقة بالساق حينما تكون عمليات التحول الغذائي فيها نشطة وتتكون الاوكسينات الطبيعية بتركيز كبير في الورقة أكثر مما هو موجود الساق ويستمر انسياب الاوكسينات من الورقة إلى الساق وبذلك تظل الورقة متصلة بالساق بشدة. أما في

حالات ضعف الورقة وقلة الكفاءة في عمليات التحول الغذائي ينتج عنه قلة في تكوين الاوكسينات وبالتالي يكون تركيزها مساوى أو أقل من تركيزها في الساق ونتيجة لذلك يتكون عند قاعدة الورقة عند مكان اتصالها بالساق منطقة مختلفة في تركيبها التشريحي وتعرف هذه المنطقة بمنطقة الانفصال وهي تعتبر نقطة الضعف في مكان اتصال الورقة بالساق ونتيجة لذلك فإنه عند أى اهتزاز خفيف للورقة تسقط من الساق مباشرة. ويمكن تطبيق ذلك أيضا على الأزهار والثمار.

ويمكن استخدام هذه الظاهرة اقتصاديا وتوفير آلاف من الجنيهات لكثير من مزارعي الفاكهة برش نباتات مثل البرتقال والتفاح بأوكسينات معينة مثل 2,4-D أو ماشابهها وذلك بتركيزات بسيطة نسبيا فإن ذلك يمنع تساقط الأوراق وتساقط الثمار قبل نضجها فتظل الشجرة محملة بجميع الثمار وجميع الأوراق حيث أنه من المعروف أنه كلما كان عدد الأوراق الحية السليمة كبير كلما كانت كفاءة التخليق للمركبات وتكوين الثمار أكبر. وعلاوة على ذلك في النباتات السابقة فإنه في بعض الأحيان يحدث النضج مبكرا نسبيا لجزء من المحصول ويكون صاحب حدائق الفاكهة غير مستعد لجمع هذا المحصول فإنه يفضل جمعه مرة واحدة لتقليل تكاليف الجمع ويحدث ذلك في الدول الغربية بالذات فإن رش النباتات السابقة بالأوكسينات المناسبة يساعد على عدم تساقط الثمار وجمعها في مدة واحدة في زمن متقارب نسبيا.

يمكن استغلال هذه الظاهرة بطريقة عكسية فمن المعروف أنه توجد مضادات للأوكسينات antiauxins وهذه المركبات فائدتها أنها تضاد عمل الاوكسينات وتلغى تأثيرها وبالتالي فإنها عكس ماسبق عند رشها على النباتات تساعد على سقوط الأوراق، ومن هذه المضادات المركبات trans cinnamic acid وأيضاً 2,4,6-trichlorophenoxyacetic acid (2,4,6-T).

ويمكن تطبيق هذه الظاهرة اقتصاديا في حالات كثيرة وأهمها الجمع الآلى لشعر القطن حيث ترش النباتات بعد تمام تفتح اللوز وتكوين الشعر تماما بواسطة مضادات الاوكسينات فإن ذلك يسبب سقوط أوراق نباتات القطن تماما ويصبح نبات القطن عبارة عن ساق وفروع ولوز متفتح به شعر القطن وبذلك تسهل عملية الجمع الآلى للقطن بواسطة الآلات فتلتقط الشعر من اللوزة آليا. ولكن في وجود الأوراق فإن الأوراق وخاصة الجافة ملتصق بشعر القطن ويصبح القطن عديم الجدوى تماما وليست له أى قيمة اقتصادية. وتسمى هذه المركبات التي تسبب تساقط للأوراق بال defoliantس أى المسببة لتساقط الأوراق.

٥- خاصية الاختصاص في قتل النباتات Selectivity

وعلاقتها بمبيدات الحشائش Herbicides:

يعتبر من أوائل المركبات التي اكتشفت كمبيد للحشائش وكان له خاصية اختيارية في قتل النباتات دون الأخرى هو حامض الكبريتيك حيث وجد أنه لا يؤثر على نباتات الحبوب ولكنه بسبب موت للنباتات ذات الأوراق العريضة ولكن لا يستعمل هذا الحامض نتيجة لتأثيره الضار على النباتات والإنسان والحيوان.

وابتداء من سنة ١٩٣٩ وعند بداية الحرب العالمية الثانية ابتدأ العلماء في الدول المختلفة ولأغراض عسكرية وكان فيها سرية تامة كانوا في احتياج لإنتاج منظمات للنمو نباتية لها اختيارية في السمية والقتل في النباتات، وقد أمكن بالفعل إنتاج المركبين هما MCPA ومركب 2,4-D وقد اكتشفا أثناء الحرب، ولكن بعد إنتهاء الحرب أمكن استعمال 2,4-D على نطاق تجارى كمبيد للحشائش حيث أنه له اختيارية في القتل حيث أنه يقتل النباتات ذات الفلقتين أى ذوات الأوراق العريضة ولا يقتل النباتات ذوات الفلقة وهو يمكن أن يستعمل كمبيد حشائش في حقول ذوات الفلقة. وبالرغم من أن 2,4-D مركب مبيد حشائش ألا أنه تنطبق عليه القاعدة الهامة للأوكسينات حيث أنه عند استعماله بتركيزات قليلة قد يفيد العمليات الحيوية للنبات أما في تركيزات عالية نسبيا يسبب موت وقتل للنباتات. ومما سبق يتضح أنه في بعض المعاملات الزراعية المطلوبة فيستعمل محلول مخفف من 2,4-D بكفاءة عالية. وبالرغم من أن اكتشاف 2,4-D منذ حوالي ٥٥ سنة فإنه يعتبر أول مركب فعال واقتصادي اكتشف كمبيد حشائش أو كسيني اختياري السمية فإنه حتى الآن لانعرف بالضبط كيف يقتل 2,4-D النبات. ولكن من المعروف أن 2,4-D مثله مثل أوكسين IAA يزيد أيضا من كفاءة تخليق الأحماض النووية والبروتينات مثل بروتينات الانزيمات وكذا البروتينات الموجودة من الغشاء البلازمي.

ومن المعروف أن تأثير 2,4-D يستمر لمدة أكبر من تأثير اندول حامض الخليك حيث أن 2,4-D غير قابل لان يتحلل بانزيم IAA oxidase كما أنه غير ممكن دخوله في تفاعلات جانبية لتلغى تأثيره كما هو الحال في IAA. ولذلك فإن 2,4-D يستمر لمدة أطول من مركبات IAA حيث يحدث فيها التغيرات السابق ذكرها.

ومثال آخر للمركبات الأوكسينية التي تستعمل كمبيدات حشائش ولها خاصية اختيارية هو المركب 2,4-dichlorophenoxybutyric acid حيث أن هذا المركب ترجع فاعليته إلى أنه يتحول إلى مركب 2,4-D حيث تحدث هذه العملية تبعا للنظرية المشهورة والتي درست

بالنقصيل فى الكيمياء الحيوية وهى الطريقة الشهيرة لهدم الاحماض الدهنية حيث ينتج عنه باستمرار النقص فى جزئ به ٢ ذرة كربون وهذه الطريقة تعرف باسم B-oxidation. فقد وجد أن جميع أو غالبية النباتات الزهرية تقوم بعمل هذا التفاعل وتحويل مشتق مركب البيوتريك إلى مشتق مركب حامض الخليك عدا نباتات عائلة واحدة فقط وهى العائلة البقولية حيث أن نباتات هذه العائلة غير قادرة على هدم هذا المركب وتحويله إلى مركب زائد السمية وهو 2,4-D ولذلك فإن النباتات البقولية لاتتأثر بهذا المبيد فى حين أن النباتات الأخرى تتأثر بهذا المبيد ولذلك فإنه مبيد ناجح ويستعمل بكفاءة عالية فى حقول نباتات العائلة البقولية (شكل ٩٥).

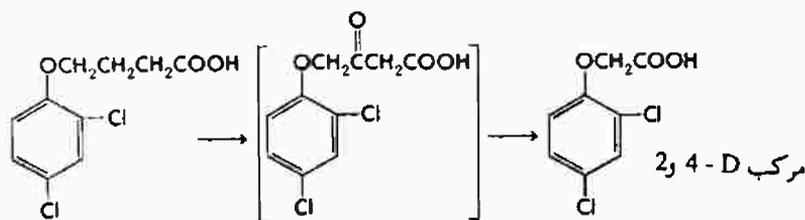
٦- نمو المبيض وتكوين الثمار بكرها:

من المعروف أنه لا بد أن تحدث عملية التلقيح والإخصاب فى الغالبية العظمى من النباتات لكى تتكون الثمار. والثمار قد تتكون نتيجة لنشاط المبيض فقط كما فى الموالح والطماطم الخ. أو كما فى حالة بعض من النباتات حيث تتكون الثمار نتيجة لنشاط التخت كما فى الفراولة أو كما فى حالة الثمار الكاذبة ونتيجة لنشاط التخت والمبيض وذلك كما فى التفاح والكمثرى. ومن المعروف أن حبوب اللقاح تزيد من نشاط الهرمونات ومنها الاوكسينات بداخل مبيض الزهرة ليتحول إلى الثمرة ويوجد فى ذلك رأيين: أن حبوب اللقاح تحتوى على كمية كبيرة من الهرمونات ومنها الأوكسينات اللازمة لتنشيط المبيض، أو أن حبوب اللقاح بها مركبات معينة تساعد على تنشيط تخليق الأوكسينات وغيرها من الهرمونات اللازمة لنمو المبيض وتحويله إلى الثمرة. وبالطبع الرأى الثانى هو الصحيح.

وقد وجد فى حالة الطماطم أنه عند ازالة الاسدية تماما من الزهرة ورشها بمحلول نفثالين حامض الخليك فبالطبع فى عدم وجود حبوب لقاح فإن المبيض ينمو ويكون الحجم العادى للثمرة وتكون ذات لون عادى طبيعى وذات مذاق طبيعى ألا أنها عديمة البذور. من ذلك يتضح أنه فى حالة الطماطم أن عملية تحويل مبيض الزهرة إلى ثمرة هى عملية تنشيط هرمونى بحتة. وقد وجدت نفس الحالة على تخت زهرة الشليك. فالتخت يوجد عليه أكينات أى ثميرات عديدة وكل أكين عبارة عن ثمرة صغيرة أى ثميرة، وفى حالة تلقيح وإخصاب الكرابل العديدة الموجودة على التخت تتحول إلى ثمار ويحدث تضخم التخت. أما فى حالة ازالة مبايض الأزهار من على التخت لا يحدث نمو للتخت ويظل ضامر. وعند معاملة التخت بـ B-naphthoxy acetic acid بعد ازالة مبايض الأزهار فإن التخت ينمو تماما وبطريقة عادية ومن ذلك يتضح أن عملية التلقيح والإخصاب للكرايل الموجودة على التخت لازمة لنموه وأن هذه العملية راجعة إلى التنشيط الهرمونى البحت.

ومن المعروف أن النباتات التي تتكون ثمارها بكريا مثل البرتقال أبو سرّة والجوافه البنائى والموز تحتوى مبيض أزهارها على تركيز عالى من الاوكسينات ولذلك لا تحتاج هذه المبيض إلى التلقيح والاختصاب. ومن المعروف أن تكوين الاوكسينات يحدث تنشيطه نتيجة لأحد ٣ حالات هى نتيجة للتلقيح يحدث تنشيط لتكوين الاوكسينات أو نتيجة للاختصاب أى اندماج النواة الذكورية مع نواة البيضة لتكوين البذور ونتيجة لذلك تتكون كمية كبيرة من الاوكسينات أو نتيجة لتكوين البذور فإنه تتكون كمية كبيرة من الأوكسينات.

ومما سبق يتضح أنه لا يمكن فى جميع مبيض أنواع الازهار تحويلها إلى ثمار بل تحدث هذه العملية بكفاءة عالية فى بعض النباتات ولا تحدث فى النباتات الأخرى حيث أن النباتات الأخيرة لا بد من حدوث عمليتي التلقيح والاختصاب لتكوين البذور وأيضاً لتكوين الثمار. وجد فى حالات أخرى أنه لا يمكن انتاج الثمار بكريا فى وجود اوكسينات فقط ومثال لذلك ثمار بعض أصناف التفاح لا بد من رش المبيض بكل من الاوكسين والجبرلين لكي تتكون الثمار بكريا ولكن فى حالات أخرى من أصناف التفاح يكفى الجبريللين.



مشتقات حامض الـ butyric

Acetic derivative (فعال)
مشتق حامض الخليك

(شكل ٩٥) : تكوين 2,4 - D من 2,4 - dichlorophenoxybutyric acid

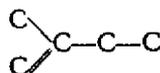
مقدمة تاريخية عن اكتشافها:

يرجع الفضل الى اكتشاف الجبريلينات الى العلماء اليابانيون حيث لاحظ مزارعو الارز اليابانيين أن بعض بادرات الارز تنمو بطول كبير جدا غير عادى بالنسبة للبادرات العادية وقد لاحظوا أيضا أن هذه البادرات تعطي نباتات طويلة لاتعطي أزهار بالكمية الكافية كما أنها لاينتج منها حبوب أو تتكون حبوب أرز ضامرة عديمة القيمة الاقتصادية. وقد اشتكى المزارعون من هذه الظاهرة كثيرا. وفي سنة ١٩٢٦ تمكن العالم اليابانى كوروساوا Kurosawa من اثبات أن هذه الحالة هنا حالة مرضية تنتج عن فطر اسمه *Fusarium moniliforme* وأن الطور الكامل لهذا الفطر يسمى *Gibberella fujikorei*. وقد أمكنه اثبات أن جراثيم هذا الفطر تحدث إصابة للبادرات وتحدث نفس الاعراض وقد سمي هذا المرض باسم foolish seedling disease مرض البادرة الحمقاء كما سمي أيضا *Bakanae disease*. وقد وجد هذا العالم علاوة على ذلك أنه عند تنمية هذا الفطر على بيئة سائلة ثم أخذ راشح هذا الفطر فى البيئة دون الهيفات أو الجراثيم فان هذا الراشح يمكن أن يحدث نفس الاعراض المرضية الا أنه لسوء الحظ لم يتمكن من فصل المركب الفعال فى صورة نقية. تمكن Yabuta اليابانى عام ١٩٣٥ من عزل مركب فعال يحدث نفس الاعراض السابقة وهو فى صورة بلورية نقية وسماه بالجبريلين *gibberellin* منسوباً الى اسم الفطر. وحيث أن جميع هذه الابحاث كانت تجرى فى معامل اليابان وبواسطة العلماء اليابانيون فان نشر هذه البحوث كان كله فى مجلات يابانية ولذلك لم يتنبه العلماء الغربيون الى هذه البحوث الا بعد قيام الحرب العالمية الثانية وانتهائها ففى حوالى سنة ١٩٥٠ تنبه العلماء الغربيون لهذه البحوث القيمة وقد نشط كل من العلماء الامريكاني والانجليز واليابانيون أيضا فى هذا الصدد حتى تمكن أحد العلماء الانجليز سنة ١٩٥٥ من عزل أول مركب فى العالم الغربى فى صورة نقية وأعطى تركيبه بالتفصيل الصحيح وقد كان هذا التركيب مخالفا الى حد ما للتركيب الذى حدده العلماء اليابانيون لهذا المركب وقد سمي العالم الانجليزى هذا المركب باسم حامض الجبريلليك *gibberellic acid*. وقد توالت البحوث بعد ذلك حيث أمكن عزل مركبات مختلفة للجبريلينات من فطر الفيوزاريوم وأيضا من النباتات الراقية وفى فترة قصيرة نسبيا وصل عدد هذه المركبات الى أكثر من ٢٠ مركب وقد سميت هذه المركبات باسم *gibberellin 1 (GA₁)* و *gibberellin 2 (GA₂)* وكذلك *gibberellin 3 (GA₃)* وهكذا تسمى هذه المركبات بأعطاء أرقام حتى جبريلين ٢٠ ولكن بتقدم طرق الفصل وطرق الكيمياء التحليلية فقد قفز هذا العدد الآن من مركبات الجبريلين الى أكثر من

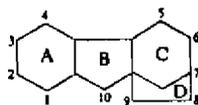
٥٠ مركب جيريليني. وهذه المركبات لها هيكل أساسي واحد ولكنها تختلف في موقع عدد الروابط المزدوجة الموجودة في الجزيء وأيضاً في موقع مجموعة OH، وغيرها من المجموع.

تعريف الجيريلينات:

الجيريلينات هي مركبات تسبب استطالة خلايا الساق السليم. ويوجد تداخل ملحوظ بين تأثير الاوكسينات والجيريلينات حيث أن كل منهما يسبب استطالة لخلايا الساق ولكن توجد فروق هامة بين هاتين المجموعتين من الناحية التركيبية للجزيء فان جميع مركبات الجيريلينات المكتشفة لها هيكل skeleton واحد أساسي ومشتقات مختلفة لهذا الهيكل وهذا الهيكل اسمه gibbane skeleton وهو مركب عديد الحلقات (٤ حلقات) (شكل ٩٦) بالاضافة الى ذلك أن تأثير الجيريلينات أساساً على النباتات السليمة ويكون تأثير الجيريلينات ضعيف على الاجزاء الساقية المقطوعة أو معدوم والعكس صحيح في الاوكسينات حيث أنها تؤثر على أجزاء ساقية مقطوعة كما سبق شرحه في الاوكسينات.



Isoprene unit (5-C)



حلقات جزيء gibbane

(شكل ٩٦): تركيب هيكل gibbane وتركيب isoprene unit

تؤثر الجبريلينات على النباتات العادية بدرجة بسيطة ولكن تأثير الجبريلينات على النباتات القزمية يكون عظيما حيث أنه من المعروف أنه في نباتات الذرة والفاصوليا والبسلة و *Pharbitis* توجد سلالات عادية في الطول ولكن توجد سلالات أخرى من هذه النباتات قزمية وقد وجد أن الاختلاف الوحيد في بعض هذه الحالات هو نتيجة اختلاف في جين واحد فقط بين النبات القزمي والنبات العادي وأن هذا الجين هو المسئول عن تكوين الجبريلين أو عدم تكوينه. والدليل على ذلك أنه عند استعمال نباتات قزمية ومعاملتها بمحلول الجبريلين فقط كعمالة وحيدة فإن هذه النباتات تستطيل لتصبح في طول النبات العادي فمعنى ذلك أن الفرق بين السلالات الطويلة والسلالات القزمية فرق واحد هو أن السلالات الطويلة قادرة على تخليق الجبريلين والسلالات القزمية غير قادرة على تخليقه.

وقد وجد أن الجبريلينات المختلفة قد تختلف في تأثيرها على النباتات المختلفة تبعاً لتركيبها. وقد وجد بتحليل النباتات العادية والقزمية أن النباتات القزمية تحتوي على تركيز قليل من الجبريلينات بالمقارنة الى تركيزها في النباتات العادية الطول ولكن هذه الحالة في بعض النباتات القزمية ولكن في بعض من النباتات القزمية الأخرى وجد أن تركيز الجبريلينات في النباتات القزمية ونباتات عادية الطول تقريبا تركيز متساوي وعند تحليل أنواع الجبريلينات الموجودة في النباتات القزمية وجد أنها تختلف عن أنواع الجبريلينات الموجودة في النباتات العادية الطول ومن ذلك يتضح أن نوعية الجبريلين تؤثر أيضا على الاستطالة بمعنى أن بعض الجبريلينات يكون تأثيرها ضعيف أو معدوم والبعض الآخر ذو تأثير كبير واضح.

ومن ذلك يمكن القول أن تركيز الجبريلينات مهم لتحويل النباتات القزمية الى نباتات عادية الطول وأيضا نوعية الجبريلينات مهمة في حدوث هذا التأثير. بالإضافة الى الفرقين الرئيسين بين الاوكسينات والجبريلينات كما سبق ذكره وهما الفرق في التركيب والتأثير على النبات السليم أو المقطوع فإنه توجد فروق رئيسية أخرى أهمها مايتى:

جبريلينات	أوكسينات	
لا	نعم	١- الانتقال القطبي
لا	نعم	٢- تشجيع تكوين الجذور
لا	نعم	٣- تثبيط نمو البراعم الابطية أسفل البرعم الطرفي
لا	نعم	٤- التأثير على الاجزاء الساقية المقطوعة
لا	نعم	٥- حدوث epinasty (التحول من زاوية حادة إلى زاوية منفرجة)

في وضع الأوراق على الساق)

أوكسينات جبريلينات

نعم

لا

٦- تشجيع انبات البذور وكسر طور السكون

نعم

لا

٧- تحويل النباتات القزمية الى نباتات عادية الطول

وأيضاً استطالة غمد الورقة للنباتات النجيلية

تخليق الجبريلينات:

معظم المعلومات المعروفة عن تخليق الجبريلينات نتيجة للبحوث على المركبات شبه التربينية terpenoids وهذه المركبات عبارة عن مجموعة من المركبات لها تركيب جزئى مختلف إلا أنها تشترك فى أن الوحدة الجزئية لجميع هذه المركبات هى isoprene unit وهى عبارة عن مركب يتكون من ٥ ذرات كربون (شكل ٩٦). وقد وجد أنه باستعمال خلاصات مشعة ينتقل هذا الاشعاع الى مركب mevalonic acid وينتقل الاشعاع بعد ذلك الى مركبات الجبريللين ويدل ذلك على أن الجبريلينات المختلفة تتكون منه. وفيما يلى ملخص لهذه الخطوات (شكل ٩٧):

١- يتحول mevalonic acid الى isopentenyl pyrophosphate

٢- يحدث اتحاد لاربع جزيئات من المركب الاخير ليتكون مركب geranyl geranyl pyrophosphate.

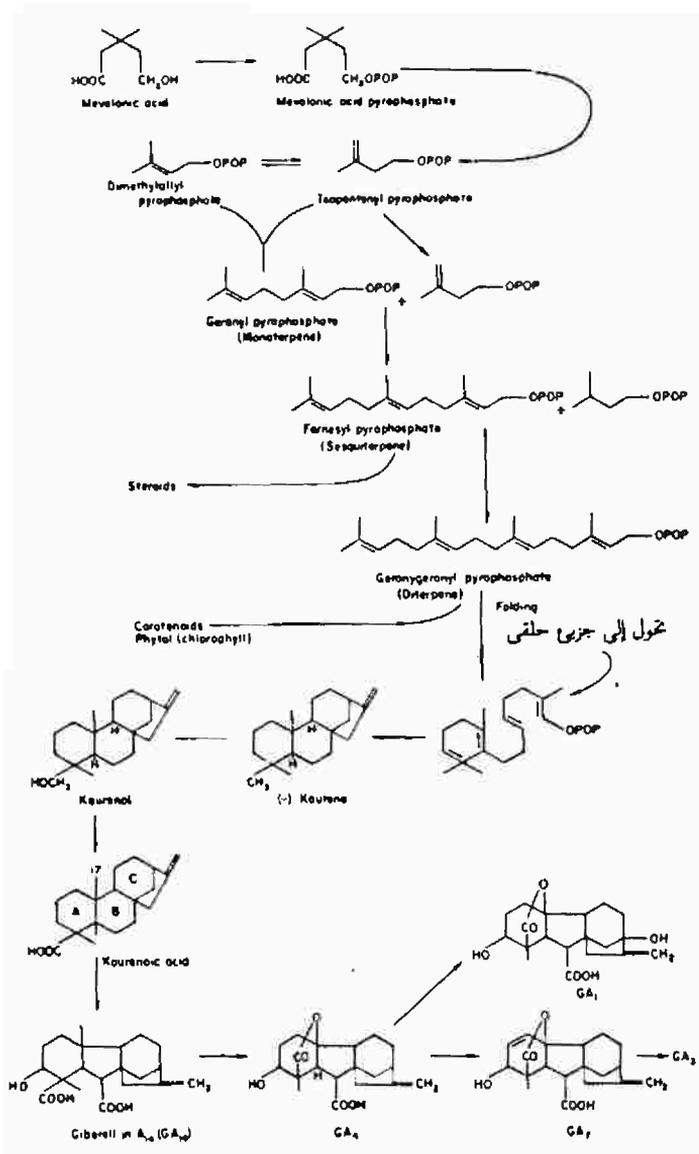
٣- يتحول المركب الاخير لتكوين مركب kaurine وذلك بأن يصبح المركب حلقى أى يحدث له عملية cyclisation.

٤- يتحول kaurine الى kaurine-7-ol-19-oic acid أى إلى كحول ol ثم حامض oic.

٥- يتحول المركب الاخير لتكوين الجبريلينات وذلك بتكوين حلقة gibbane skeleton ثم حدوث خطوات أكسدة عديدة وادخال مجاميع ايدروكسيل أو كربوكسيل لتكوين الجبريلينات المختلفة.

ومن الملاحظ أن عملية تحويل الجبريلينات من مركب جبريلينى الى آخر يحدث بسهولة فى النباتات.

أمكن اثبات الخطوات الاولى فى عملية تخليق الجبريللين بواسطة مستخلصات من النباتات الراقية تحتوى على الانزيمات اللازمة لتحويل حامض الميفالونيك الى الكاورين. أما الخطوات التى تلى ذلك أمكن اثباتها باستعمال راسع فطر الفيوزاريوم الذى يحتوى على انزيمات خاصة



(شكل ٩٧): خطوات تخليق الجبريلينات

بتحويل الكاورين الى مركبات الجبريللين المختلفة وأيضا يمكن أبحاثها في مستخلصات النباتات الراقية.

كيفية التخلص من تأثير الجبريلينات:

من المعروف أن الجبريلينات عند وجودها بتركيزات كبيرة نسبيا لا تؤثر تأثير ضار على النباتات بينما العكس صحيح في حالة الاوكسينات. وكذلك نجد أن سرعة تحول مركبات مثل IAA المعاملة بها النباتات تكون كبيرة وينتهي تأثيرها أو مفعولها في النبات بعد وقت قليل نسبيا بينما في حالة الجبريلينات فإنه يستمر تأثيرها وفعاليتها لمدة أطول بكثير بالمقارنة بمركبات الأندول الاوكسينية ومن المعروف وكما سبق ذكره أنه توجد تفاعلات عديدة تقلل من تأثير وتركيز وفعالية مركبات الأندول الأوكسينية كما سبق ذكره ولكن بعض هذه التفاعلات غير واضحة أو ملموسة في الجبريلينات. من المعروف أن الجبريلينات ترتبط مع أنواع من السكريات وهذه المركبات تعرف باسم glycosides فمن المعروف أن الجبريللين يرتبط بالجلوكوز ليكون gibberellin-glucoside (شكل ٩٨) وينتج عن ذلك تشييط لتأثير الجبريللين inactivation. وقد وجد أن الجبريلينات في المحلول وفي وجود بيئة حامضية وخاصة مع درجات الحرارة العالية فإن الجبريللين يتحلل الى ثلاثة مركبات وهي:

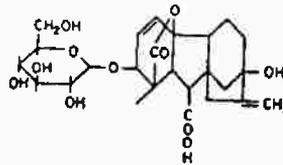
١- gibberic acid

٢- allogibberic acid

٣- gibberellinic acid

المركب الأول عديم الفاعلية في نشاطه كمركب جبريليني أما المركبين الآخرين فإن لهما نشاط ضعيف كمركبات جبريلينية.

جلوكسيد حامض الجبريليك



(شكل ٩٨): التركيب الجزيئي للجلوكوسيد

أنواع الجبريلينات:

الجبريلينات على العكس تماما من الاوكسينات والسيبتوكينينات ففى كل من السيبتوكينينات والاكسينات يوجد مركبات طبيعية ومركبات تركيبية ولكن فى الجبريلينات فانها كلها مركبات طبيعية ولذلك فان جميع الجبريلينات عبارة عن هرمونات نباتية.

وقد وجد أن الجبريلينات تختلف فيما بينها أساسا فى الروابط المزدوجة من حيث عددها ومكانها وأيضا مجموعات COOH و OH و CH₃ من حيث عددها ومكانها.

من أهم مركبات الجبريلين المستعملة فى الاغراض الزراعية هو مركب GA₃ والذى يسمى باسم حامض الجبريليك gibberellic acid. حيث أن انتاج هذا الحامض يكون بكمية كبيرة وتكاليفه قليلة نسبيا وبذلك يمكن انتاجه بكميات كبيرة تفى بحاجة الاغراض التجارية وهذا بالاضافة أيضا الى أنه فعال كعمر كجبريلينى. ولكن حديثا أمكن استخدام بعض من المخالط من الجبريلينات لاغراض زراعية الأ أن هذه المخالط تكون مكلفة وباهظة التكاليف مثل مخلوط GA₄ و GA₇.

كما سبق القول الجبريلينات المختلفة تختلف فى تأثيرها فقد وجد أن GA₁ و GA₃ و GA₄ تسبب استطالة السويقة الجنينية السفلى لبادرات الخيار فى حين أن GA₈ ليس له أى تأثير فى ذلك. ومثال لحالة أخرى أيضا فقد وجد أن GA₇ يساعد على الازهار لنبات *Silene* فى حين أن GA₃ ليس له أى تأثير فى ذلك. وجد أيضا أن الاعمار المختلفة للنبات تتأثر بدرجات مختلفة بالمركبات الجبريلينية.

أماكن تخليق الجبريلينات فى النباتات:

تخلق الجبريلينات فى أماكن عديدة أهمها القمم النامية للسيقان والاوراق الصغيرة جدا leaf primordia التى تغطى القمم النامية، كما تتكون أيضا بكميات كبيرة نسبيا فى البذور أثناء تكوينها وأيضا أثناء انباتها كما تتكون فى الثمار أثناء تكوينها وكبرها فى الحجم كما توجد أيضا فى الجذور وقد وجد أن افرازات الجذور يمكن أن تحتوى على جبريلينات.

انتقال الجبريلينات:

الجبريلينات يمكن أن تنتقل فى أى اتجاه أى أنها لاتظهر خاصية الانتقال القطبى بمعنى أنها تنتقل من أعلى الى أسفل ومن أسفل الى أعلى وذلك بعكس الاوكسينات. كما وجد أيضا أنها تنتقل فى كل من نسيج اللحاء والخشب.

طرق تقدير الجبريلينات:

توجد طرق عديدة أهمها مايتى:

١- طريقة النباتات القزمية Dwarf Plants:

فى هذه الطريقة تستعمل نباتات قزمية مثل الذرة أو البسلة حيث تعامل بالمركب المراد اختباره فاذا حدثت استطالة لهذه النباتات كان ذلك دليل على أن المركب جبريللين. ولتقدير تركيز هذا المركب تستعمل نباتات قزمية معاملة بتركيزات معروفة من حامض الجبريلليك ثم تقدر درجة الاستطالة فى كل تركيز ومن هذه التجارب يرسم منحنى قياسي *standard curve* ومن هذا المنحنى يمكن تقدير تركيز مركب الجبريللين المراد اختباره.

٢- طريقة التحليل الورق الكروماتوجرافى Paper Chromatography:

وهنا يفصل المركب المراد اختباره على ورق كروماتوجرافى بعد استعمال مذيب معين وبعد جفاف الورق تماما ترش الورقة بصبغة معينة تعطى لون معين مع مركب الجبريللين فاذا تكون هذا اللون دليل على وجود الجبريللين. ويمكن أخذ درجة شدة اللون الناتج كدليل على درجة تركيز الجبريللين.

٣- طريقة التحليل الكروماتوجرافى الغازى Gas Chromatography:

فى هذه الحالة تخضع العينة فى الجهاز وكما سبق ذكره فى الاوكسينات فان هذه العينة تمر على الاجزاء المختلفة للجهاز وبعد خروجها من العمود *column* تستقبل على جهاز *mass spectrometer* وفى هذا الجهاز يحدث تأين لجزيئات الجبريللين وينتج عن ذلك أيونات جبريللين جزيئية *molecular ions*. وتكوين هذه الايونات فى الجهاز نتيجة لعملية التأين أو نتيجة لعملية الاصطدام بالالكترونات *electron impact* ونتيجة لذلك فان هذه الجزيئات الايونية تختلف فى نسبة الوزن *mass* الى عدد الشحنات *charge ratio* - *mass / charge ratio*. ونتيجة لذلك فان يحدث اختلاف وتميز بين هذه المركبات نتيجة لاختلاف الشحنة والوزن. ويتم تسجيل ذلك بواسطة الجهاز فيمكن الاستدلال على وجود أو عدم وجود مركب جبريللين معين كما يمكن الاستدلال على تركيزه.

٤- طريقة تقدير السكريات المختزلة Reducing Sugars:

من المعروف أن الحبوب فى نباتات العائلة النجيلية تحتوى على نشا مخترن بكمية كبيرة ومن المعروف أنه عند نقع الحبة فى الماء فانه يحدث تبيبه وانبات وفى هذه الاثناء يتحلل النشا المخترن فى نسيج اندوسبرم الحبة. ولكن قد وجد أنه عند ازالة جنين الحبة ثم غمرها فى الماء لم

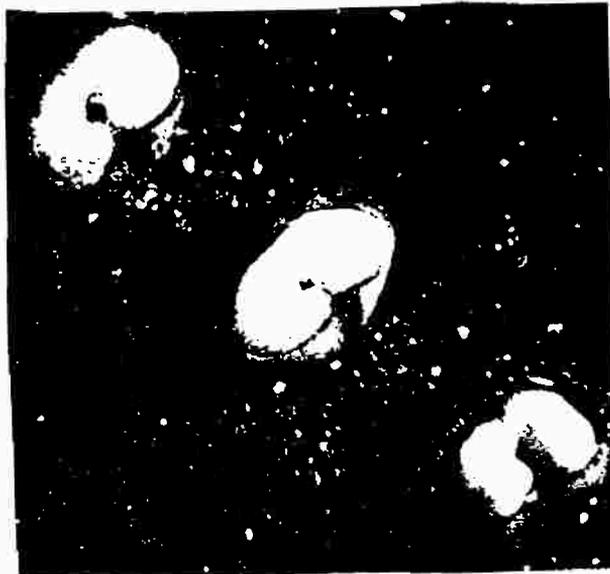
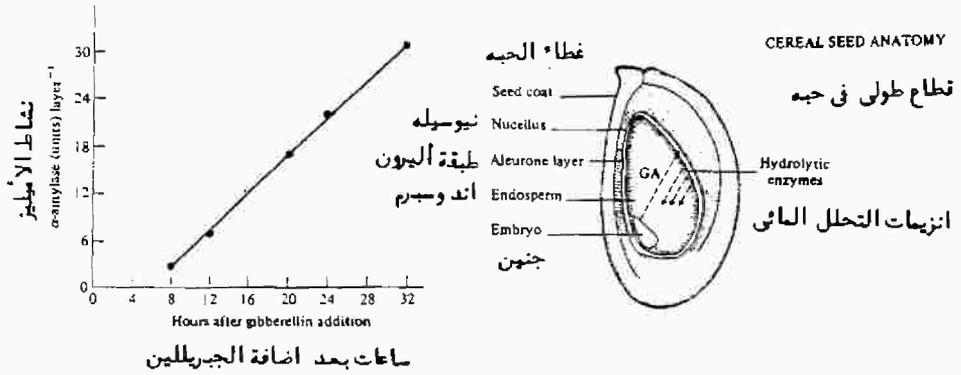
يحدث أى تحليل للنشا فى الحبة ولكن عندما أزيل الجنين وعملت الحبة المنزوعة الجنين بماء يحتوى على مركب جبريلليني فقد حدث تحليل للنشا فى عدم وجود الجنين. ومن التجربة السابقة ثبت أن الجزء الوحيد فى الحبة القادر على افراز الجبريللين هو الجنين. وقد وجد أن الجبريللين يفرز من الجنين بعد تخليقه وينتقل الى طبقة الاليرون وفى طبقة الاليرون تتكون انزيمات عديدة للتحليل المائى وأهم انزيم مدروس هو انزيم الأميليز amylase - يقوم بتحليل النشا الى مواد كربوهيدراتية قليلة التسكر أو سكريات - ثم ينتقل انزيم الاميليز المخلوق فى طبقة الاليرون الى نسيج الاندوسبرم حيث يقوم بتحليل حبيبات النشا ونتيجة لذلك تتكون مركبات سكرية قابلة للذوبان فى الماء تنتقل من الاندوسبرم الى منطقة الجنين النشط لكى يحدث النمو.

وفى هذه الطريقة تستعمل حبوب شعير أو قمح وتنزع منه الجنين ثم تعامل الحبوب بالمركب المراد اختباره وفى نهاية التجربة اذا وجد كمية من السكريات المختزلة أكبر من الكمية الموجودة فى المقارنة الغير معامل كان ذلك دليل على وجود الجبريللينات (شكل ٩٩). يمكن تقدير تركيز السكريات المختزلة بأى طريقة مناسبة من الطرق الشائعة فى الكيمياء الحيوية. يمكن عمل منحنى قياس للعلاقة بين تركيز الجبريللين وتركيز السكريات المختزلة وبذلك يمكن تقدير تركيزه فى العينة المجهولة.

ميكانىكية عمل الجبريللينات: (Mode of Action (How gibberillins work?)

أجريت تجارب كثيرة لمعرفة ميكانىكية عمل الجبريللينات ومن المعروف أن الجبريللينات لها تأثيرات عديدة مثل استطالة الخلايا وانقسام الخلايا وتشكل الخلايا وانبات البذور وكسر طور السكون. إلا أن الحالة الوحيدة المدروسة بالتفصيل لميكانىكية عمل الجبريللينات هى كيفية تأثير الجبريللين على انبات الحبوب.

وجد أن تغذية الحبوب بأحماض أمينية معلمة أى مشعة أمكن انتاج بروتينات معلمة دليل على أن الانزيمات وهى تحتوى على جزء كبير من البروتين تخلق من الاحماض الامينية ولا تتكون من مركبات موجودة أصلا فى الخلية. وفى تجارب أخرى باستعمال مركبات مثبطة لتكوين البروتين مثل cycloheximide وعند معاملة الحبة أو طبقة الاليرون بهذا المركب فانه لا يحدث تحليل للنشا أى أنه لا يتكون البروتين ولا يتكون الانزيم الخاص بتحليل النشا. وقد وجد أيضا أن معاملة الحبة أو طبقة الاليرون بمركب مثبط لتكوين mRNA من DNA ومثال ذلك مركب actinomycin فانه لم يتكون نتيجة لذلك البروتينات. ومن ذلك يتضح أن فاعلية الجبريللين هى فى عملية الاشتقاق ونشوء ال mRNA من DNA ولايات ذلك بالتفصيل أجرى حديثا تجربة على مستوى كبير فى الكفاءة *In vitro* أى فى عدم وجود أنسجة حية وفى



(شكل ٩٩): إختبار السكريات المختزلة لحبوب الشعير المنزوعة الجنين.

نصف حبة معاملة بالماء كمقارنة (أسفل).

نصف حبة معاملة بالجبريلين بتركيز ١ جزء في البليون (وسط).

نصف حبة معاملة بالجبريلين بتركيز ١٠٠ جزء في البليون (أعلى).

هذه التجربة تم استخلاص mRNA الخاص بتكوين أنزيم ألفا أميليز وأضيف هذا mRNA الى بيئة بها ريبوسومات و tRNA وأحماض أمينية مختلفة وانزيمات معينة مختلفة فقد لوحظ تكوين نوع من البروتين في هذه البيئة الصناعية وبالكشف عن هذا البروتين بواسطة طريقة immunoelectrophoresis فقد أتضح أنه عبارة عن انزيم ألفا أميليز. مما سبق يتضح أن الجبريللين فعال في تكوين mRNA من DNA.

أما عن تأثير الحموضة في النبات على استطالة الخلايا فانها غير مدروسة بالتفصيل كما هو الحال في الاوكسينات ولكن التجارب المبدئية تشير أيضا أن الجبريللين يؤثر على استطالة الخلايا نتيجة زيادة حموضة بيئة الجدار الخلوى زهى تشابه بذلك حالة الاوكسينات ولكن غير معروف بالضبط الخطوات التى تحدث وذلك بالمقارنة بالاوكسينات.

التأثيرات المختلفة للجبريللينات وأهم التطبيقات الاقتصادية لها:

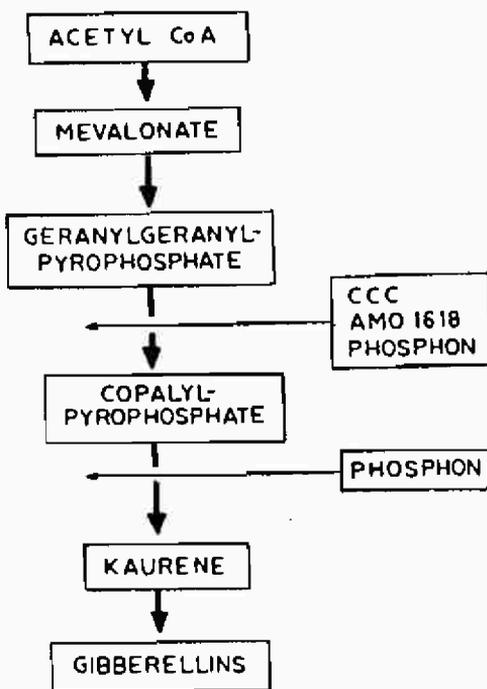
- ١- تسبب الجبريللينات استطالة للخلايا كما سبق ذكره.
- ٢- تساعد الجبريللينات على انقسام الخلايا وذلك كما سبق ذكره في الاوكسينات حيث أنها تساعد على تكوين بعض الانسجة الثانوية أثناء التغلظ الثانوى.
- ٣- الجبريللينات مسؤولة عن تكوين mRNA من DNA وبالتالي عن تخليق البروتين فى وجود السيتوكينينات.
- ٤- تستعمل الجبريللينات فى مزارع العنب البنائى حيث أن معاملة نباتات العنب ورشها بالجبريللين يساعد على إعطاء نمو قوى ومتجانس للنباتات كما أنه يساعد على انتاج ثمار عنب بنائى كبيرة الحجم حيث أنه يساعد على استطالة أعناق الأزهار والشمار وبالتالي تتكون ثمار عنب بحجم كبير مناسب.
- ٥- رش نباتات الكريز بالجبريللينات يساعد على الأزهار وتحسين صفات وخواص الشمار.
- ٦- رش نباتات الكمثرى والتفاح بحامض الجبريلليك يساعد على العقد وحدوث fruit setting . وخاصة فى الظروف البيئية الغير مناسبة لذلك.
- ٧- رش أشجار الموالح بالجبريللين لمنع شيخوخة وتدهور القشرة يساعد على تخزينها على الأشجار لمدة طويلة وبذلك تطول فترة موسم التسويق.
- ٨ - رش نباتات الخيار التى تكون أزهار مؤنثة فقط بالجبريللين يساعد على تكوين نسبة من الأزهار المذكورة وبذلك يحدث التلقيح للنباتات المؤنثة المجاورة وتنتج البذور المرغوبة هجين F₁.

٩- يساعد الرش بالجبريللين على زيادة طول ساق نبات القصب وبالتالي سيزيد المحصول نتيجة لزيادة الطول في الساق وعلاوة على ذلك فإن تركيز السكر يكون ثابت ومن ذلك يتضح أن انتاج السكر من القدان الواحد يزيد نتيجة لرش النباتات بالجبريللين.

١٠- تزيد المعاملة بالجبريللين من كفاءة تكوين المولت malt فمن المعروف عند انتاج البيرة فان الحبوب المنبتة للشعير تعامل معاملة خاصة لانتاج عجينة تسمى malt وهذه العجينة هي الاساس في حدوث عملية التخمر لينتج منها البيرة. وقد وجد أن اضافة الجبريللين أثناء انبات حبوب الشعير يساعد على تكوين أنزيم ألفا أميليز وبالتالي فإن المولت يتكون بسرعة أكبر.

تأثير معوقات النمو (مضادات الجبريلينات):

توجد مركبات كثيرة تسمى growth retardants أى معوقات النمو كما تسمى أيضا بالـ antigibberellins أى مضادات الجبريلينات. وقد وجد أن بعض من هذه المركبات مثل amo-1618 ومركب CCC ومركب phosphon أنها تمنع تحول مركب geranyl geranyl pyrophosphate الى مركب kaurine. وبالتالي يتوقف تخليق الجبريللين (شكل ١٠٠).



(شكل ١٠٠) : خطوات تخليق الجبريللين ومكان تأثير معوقات النمو.

ولهذه المركبات تأثيرات مختلفة أهمها مايلي:

١- في حالة نباتات العائلة النجيلية عند التسميد الازوتي الغزير فان هذه النباتات تستطيل لدرجة كبيرة مما ينتج عنه ضعفها وطراوة في أنسجة الساق ولذلك يحدث لهذه السيقان سقوط وتصبح عديمة القيمة الاقتصادية. وعملية السقوط تسمى الرقاد lodging . وقد أمكن التغلب على هذه الظاهرة بمعاملة النباتات بمركب CCC وهو يمنع عملية الرقاد في المحاصيل النجيلية مثل القمح.

٢- وجد أن معاملة نباتات الزينة مثل أنواع الكريزانتيمم والليلي lily بهذه المركبات يسبب قصرها وذلك مرغوب فيه من الناحية الاقتصادية لهذه الازهار حيث أنه يفضل أن يكون الطول بين ٣٠-٤٠سم ليلائم وضعها في الفازات فمعاملة هذه النباتات بأحد هذه المركبات والمسمى A- REST يعطى قصر في طول الساق دون أن يؤثر على الأزهار.

٣- بعض مضادات الجيريلينات لها تأثير جيد على نضج الثمار ومن أحد هذه الامثلة مركب alar وهذا المركب تعامل به ثمار الكريز فيتكون اللون بطريقة أحسن ويعطى نضج بطريقة أحسن وتصبح الثمرة أكثر صلابة وبذلك تحسن من صفات ثمار الكريز الناتج وتسهل عملية الجمع لا يستعمل هذا المركب الآن لأنه مسبب للسرطان.

٤- استعمال بعض مضادات الجيريلينات في الاشجار الموجودة على الطرق لتقصير طول الفروع الجانبية مع عدم التأثير على عدد الأوراق أو حجمها. يفيد ذلك كثيرا حيث أننا لانحتاج إلى عمليات التقليم. حيث تعامل النباتات عند بدء نشاط البراعم وتفتحها وقبل حدوث استطالة للساق ملحوظة في داخل البرعم فإن الفرع الناتج يكون قصير ويحمل نفس العدد من الأوراق فلا نحتاج إلى التقليم.

كما سبق يتضح أنه توجد مركبات معوقات للنمو كثيرة وهي تعتبر أيضا منظمات للنمو growth regulators حيث أنه كما سبق تعريف منظمات النمو أنها مركبات تؤثر على نمو النباتات سواء بزيادة الطول أو زيادة النمو أو حتى التأثير العكسي بتقليل الطول أو تقليل النمو.

السيتروكينينات CYTOKININS

هى عبارة عن مركبات لها دور أساسى واضح فى انقسام الخلايا ولكن لها أيضا وظائف أخرى علاوة على ذلك انها تسبب كبر حجم الخلايا وأيضا تؤثر على التشكل وأيضا لها تأثير على الشيخوخة.

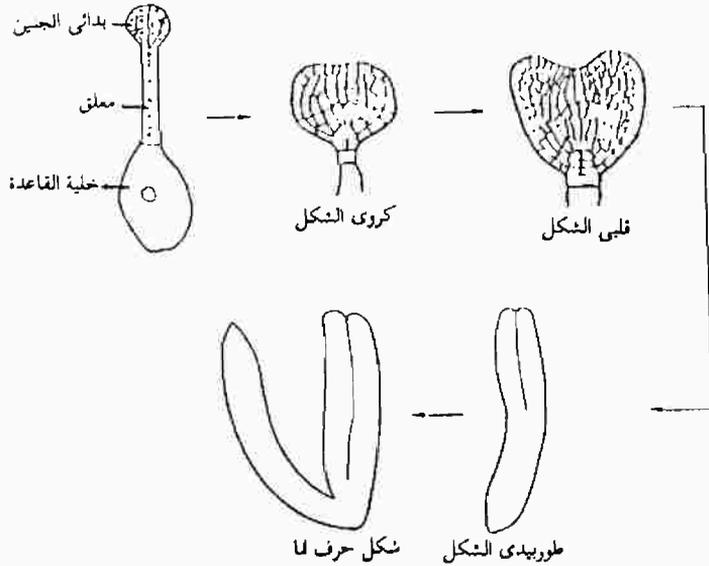
كيفية اكتشاف السيتروكينينات:

من التجارب التى أجريت قديما بصدد دفع خلايا النبات على الانقسام وحدث النمو كان فى حوالى سنة ١٩٤٠ حيث حاول بعض من العلماء تنمية خلية البيضة من الكيس الجنينى على بيئة صناعية وكان مصير ذلك هو الفشل. وعندما قاموا بنزع الجنين فى مراحل نموه الاولى فانه لم يمكنهم تنمية هذا الجنين أيضا ولكن عندما فصلوا الجنين وهو فى الطور الطوريى torpedo وأيضا فيما بعد هذا الطور فقد أمكنهم تنمية هذا الجنين على بيئة صناعية تحتوى على مجموعة من المركبات منها مركبات عضوية ومنها الأوكسينات أيضا. وبعد ذلك حاولوا تجربة كثير من المركبات لمحاولة تنمية الجنين وهو صغير الحجم. فقد أمكن ذلك بعد وضع لبن جوز الهند coconut milk فى البيئة فقد وجد أن الأجنة فى طورها البدائى يمكن أن تنمو وفى هذه الفترة استنتجوا أن لبن جوز الهند يحتوى على مركب أو مركبات غير موجودة فى المركبات التى اختبروها وغير معروفة تؤثر على انقسام الخلايا وتكوين الجنين فى مراحل نموه الاولى. وهذه الطرق المستعملة تعتبر أحد أنواع الطرق المسماة بمزارع الأنسجة tissue cultures (شكل ١٠١)

قام Skoog ومساعدوه بعمل اختبار لكثير من المركبات الموجودة فى البيئة الطبيعية لاختبار قدرة كل مركب على كفاءته فى حدوث عملية انقسام الخلايا ولذلك فانه قد قاموا باختبار عدد كبير جدا من المركبات وبالفعل قد أمكن التوصل الى أن المركب الموجود فى الاحماض النووية والمعروف باسم أدنين. فقد وجد أن هذا المركب له قدرة على حدوث انقسام لخلايا نخاع ساق الدخان وأيضا بعض الانسجة الاخرى فى نباتات أخرى. كما وجدوا أيضا أن المركب المشتق منه وهو أدينوسين adenosine وهو عبارة عن مركب الادنين مرتبط بسكر الريبوز له نفس الكفاءة.

وقد استمرت التجارب لهذين المركبين لفترة وفى أثناء التجارب على herring sperms وهو السائل المنوى لاسماك الرنجة فقد وجد أن عينة قديمة من هذا السائل أى محفوظة لمدة طويلة عند اضافتها للبيئة أمكنها احداث انقسام للخلايا والتأثير عليها، ونتيجة لهذا الاكتشاف

فقد استخلصوا السائل المنوي في هذا النوع من السمك وعينات حديثة منه وقاموا بتجربة هذه العينات الحديثة فقد وجدوا أنها غير مؤثرة على انقسام الخلايا، ومن هنا استنتجوا أن العينة القديمة قد حدث فيها تحلل لـ DNA للحيوانات المنوية (الجاميطات الذكرية) وأن ناتج تحلل لـ DNA وليست الـ DNA نفسه هو الذي يسبب انقسام للخلية وقد استنتجوا أن ناتج تحلل الـ DNA ينتج عنه مركب يؤثر في انقسام الخلايا. ولم يتمكنوا من معرفة هذا المركب وقاموا بعد ذلك بنشاط ملحوظ لتطبيق هذه القاعدة فقاموا باستخلاص الـ DNA أو الأحماض النووية من مصادر أخرى كثيرة، وتحليلها قاموا بتعقيمها بالأتوكلاف فيحدث تحلل للمركبات ووجدوا بالفعل أن هذه العينات الحديثة بعد تعقيمها بالأتوكلاف فإن ناتج التعقيم كان فعالاً ومؤثراً على انقسام الخلايا. ومن هذه التجارب اتضح بما لا يدعوا للشك أن ناتج تحلل الـ DNA مركبات تؤثر وتنشط انقسام الخلايا.



(شكل ١٠١): خطوات تكوين الجنين.

وقد قاموا بالفعل بمحاولات لاستخلاص المركب المشول عن ذلك، وفي سنة ١٩٥٥ تمكن Skoog ومساعدوه من عزل مركب في صورة نقية وتركيبه الكيماوى عبارة عن 6-furfuryl adenine وقد سمي هذا المركب تسمية تجارية باسم kinetin وقد وجدوا هنا المركب الاخير لايؤثر في انقسام الخلايا الا في وجود الاوكسين ولكن وجود الاوكسين فقط لايؤثر على الاطلاق في انقسام الخلايا مما يدل على أن kinetin هو المركب المحدد لذلك في انقسام الخلايا. ومن المعروف أن كفاءة kinetin تفوق بكثير كفاءة الاذنين أو الاذنين في انقسام الخلايا.

ومما هو جدير بالذكر أن الكينيتين kinetin لايعتبر سيتوكينين طبيعي بل يعتبر سيتوكينين صناعي بالرغم من تكونه من DNA الخلايا حيث وجد أنه في الحالة العادية للكائنات الحية لاينتج عن الـ DNA كينيتين سواء في النبات أو الحيوان ولكن في الظروف الغير طبيعية مثل التعريض للاوتوكلاف وخلافه ينتج الكينيتين.

بعض الخواص الهامة للكينيتين:

من المعروف أن للكينيتين تأثيرات كثيرة من أهمها مايتأتى:

١- أنه بالإضافة الى تأثيره على انقسام الخلايا فإنه يؤثر على تكشف وتميز الاعضاء النباتية وتكوين البراعم - ومثال لذلك التجربة المشهورة لكل من Miller & Skoog وذلك على جزء من نخاع ساق الدخان ووضعه على بيئة صناعية (شكل ١٠٢).

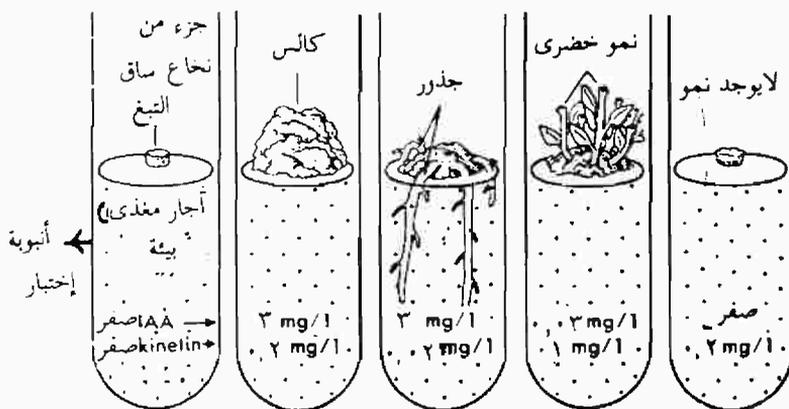
ومن التجربة الشهيرة السابقة يتضح أنه في البيئة الخالية من الاوكسين والكينيتين لا يوجد نمو لنسيج ساق نبات الدخان، وفي الحالة الثانية عند وجود تركيز عالى من الأوكسين وتركيز منخفض من الكينيتين في البيئة فإنه يحدث نمو لهذا النسيج ويعطى نمو كالس فقط وفي الحالة الثالثة وعند وجود تركيز عال من الأوكسين ونادر من الكينيتين فإنه يتكون جذور (مجموع جذرى). وفي الحالة الاخيرة وعند وضع تركيز من الكينيتين أكبر من الأوكسين في البيئة فإنه ينتج مجموع خضرى في التجربة السابقة لو وضعنا في البيئة كينيتين فقط بالإضافة الى عدم الأوكسين فلا يحدث نمو.

ومن التجربة السابقة يتضح أن الكينيتين هام في انقسام الخلايا والتشكل وتكوين الاعضاء النباتية.

٢- من المعروف أن الكينيتين له تأثير هام في أنه يضاد الشيوخوخة فعند نزع ورقة من نبات الدخان وتركها فان المحتوى البروتينى داخل الورقة يقل تركيزه ويزداد تركيز النيتروجين الذائب

ونتيجة لذلك يحدث ضعف فى الورقة وترهل وتدخّل فى مرحلة الشيخوخة وفى النهاية تموت. وفى حالة نبات *Xanthium* وعند نزع ورقة من هذا النبات ووضعها فى محلول به كينيتين فإن هذه الورقة تبقى محتفظة بحيويتها لمدة طويلة وذلك بالمقارنة بورقة لم تعامل بمركب الكينيتين حيث تدخّل فى مرحلة الشيخوخة وتموت سريعاً.

وفى تجربة أخرى عند معاملة نصف الورقة بالكينيتين والنصف الآخر لايعامل بالكينيتين ثم قطع هذه الورقة الى نصفين فيلاحظ أن نصف الورقة المعامل بالكينيتين يظل محتفظ بحيويته لمدة طويلة ولايدخّل فى مرحلة الشيخوخة ثم الموت إلا بعد فترة طويلة والعكس صحيح فى النصف الغير معامل.



(شكل ١٠٢): مزارع الأنسجة وتكوين المجموع الجدرى والمجموع الخضرى.

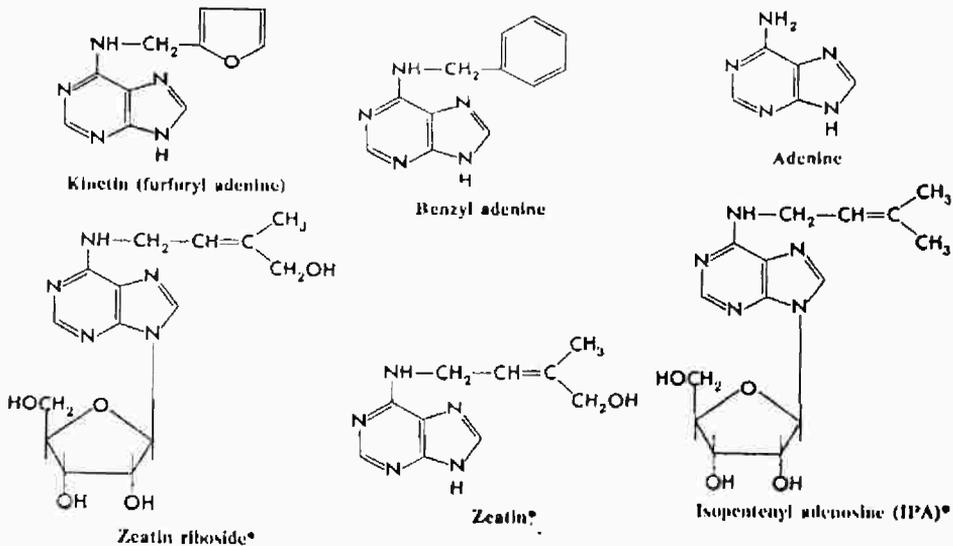
وفي تجربة أخرى عند معاملة جزء دائري من الورقة بالكيتينين وترك الأجزاء الأخرى غير معاملة فإن الجزء الدائري بعد فصله من الورقة يظل محتفظ بحيويته لمدة ولا يدخل في مرحلة الشيخوخة لم الموت إلا بعد فترة طويلة والعكس صحيح في باقى الورقة.

من التجارب السابقة يتضح أن الكيتينين مضاد للشيخوخة. وقد وجد بالفعل أن المناطق التي يوجد بها الكيتينين من الورقة تنجذب إليها السكريات والأحماض الأمينية والعناصر من أجزاء الورقة إلى الجزء المحتوى على الكيتينين وذلك يدل على أن في هذه المنطقة نشاط بيوكيماوى ملحوظ. وقد استدل على ذلك باستعمال سكريات مشعة وأحماض أمينية مشعة وعناصر مشعة فنجد أن كل هذه المركبات المشعة تنجذب وتتجه ناحية الجزء المعامل بالكيتينين.

مما سبق يتضح أيضا أن السيتوكينينات يكون لها دور في المحافظة على البروتين في الأجزاء المعاملة بها حيث نجد أن هذه الأجزاء تعيش حية لفترة طويلة. وقد وجد بالفعل في هذه الأجزاء أنه يوجد توازن بين كمية البروتين وبين كمية النيتروجين الذائب، في حين أن الأجزاء غير المعاملة يكون فيها نسبة البروتين منخفضة جدا والنيتروجين الذائب تركيزه مرتفع وذلك عند نزع الأوراق من النبات.

تقسيم السيتوكينينات:

تقسم السيتوكينينات إلى سيتوكينيات طبيعية وهي التي تنتج أساسا بواسطة النبات وسيتوكينيات تركيبية وهي التي لا تتكون في النبات ولكنها تخلق صناعيا (شكل ١٠٣).



(شكل ١٠٣): التركيب الجزيئى لبعض السيتوكينينات الطبيعية (ذات النجمة) والتركيبية.

وعادة تنتج هذه المركبات التركيبية بكثرة لاستخدامها في الأغراض الزراعية. ومثال ذلك علاوة على الكينتين مركب البنزول أدينين benzyladenine وهذا المركب يستعمل بطريقة اقتصادية في رش رؤوس البروكولي للاحتفاظ بحوية النبات لمدة كبيرة أثناء التسويق.

نبذة تاريخية عن اكتشاف السيتوكينينات الطبيعية:

مما سبق يتضح أن اكتشاف السيتوكينينات التركيبية سبق بوقت كبير نسبيا اكتشاف السيتوكينينات الطبيعية فبعد اكتشاف الكينتين حاول كثير من العلماء استخلاص مركبات مماثلة من مصادر طبيعية وأجريت في ذلك تجارب كثيرة وقد استخدمت في ذلك ثمار التفاح والكمثرى الصغيرة حيث أنها تكون نشطة في الانقسام وقد تكون مصدر للسيتوكينينات، كما استعملت بادرات كثير من النباتات حيث أنها أيضا تكون نشطة في الانقسام. وقد عزلت بعض المركبات وقد كان لها نشاط مؤثر على انقسام الخلايا إلا أن أول مركب طبيعي عزل بصورة نقية وعرف تركيبه وتأثيره بالتفصيل كسيتوكينين طبيعي هو مركب معزول من الحبوب الصغيرة للذرة الشامية في أثناء تكوينها على الكوز ولان الذرة الشامية اسمها *Zea mays* فقد سمي هذا المركب باسم zeatin وكان ذلك بواسطة العالم Letham سنة ١٩٦٤، وهو نيوزيلاندى وبعد ذلك أمكن عزل مركب من حبوب الذرة السكرية واسمه zeatin riboside وتعتبر هذه المركبات أول مركبات سيتوكينين طبيعي عزلت بطريقة لاتدع مجال للشك. وأمكن بعد ذلك من معرفة ومن تحليل لبن جوز الهند أن هذا السائل يحتوى على مركب zeatin riboside ومن هنا يتضح أن هذا المركب هو الفعال في انقسام الخلايا كما سبق ذكره في تجارب مزارع الانسجة المذكورة سابقا. وال zeatin riboside يختلف عن zeatin بأنه مضاف اليه مركب سكر خماسى الريبوز .

طريقة عمل السيتوكينينات فى النباتات: The Mode of Action of Cytokinins

حيث أن السيتوكينينات الطبيعية يكون لها علاقة بالاحماض النووية أو مشتقة منها أو مكملة لها فقد وجد أيضا أنه فى الكينتين أنه ينتج من تحلل الـ DNA. من كل هذه التجارب يتضح أنه يوجد علاقة بين السيتوكينينات والاحماض النووية ولذلك اتجه العلماء الى دراسة وتفسير العلاقة بين هذه المركبات والاحماض النووية وقد درس ناتج التحلل لـ DNA لكثير من الكائنات الحية سواء فى النباتات الراقية والكائنات الدقيقة مثل الخميرة والبكتيريا *E. coli* والسبانخ والبسلة وغيرها من المصادر فقد وجد transfer RNA الناقل (tRNA) و messenger RNA الرسول (mRNA) و ribosomal RNA الريبوزومى (r'sRNA). فقد وجد أن RNA الناقل فى حالة تحلل الخميرة يوجد فيه أول مركب طبيعي عرف كسيتوكينين

فمن المعروف أن mRNA يتكون من DNA ثم ينفصل عن DNA ويرتبط بالريبوسومات ribosomes حيث يخترق الـ sub unit الصغيرة لكل ريبوسوم وهو يخترق بذلك عديد من الريبوسومات مسببا ربطها ببعض وتسمى بالـ polyribosomes عديد الريبوسومات. واختراق mRNA للريبوسومات كما يحدث لاختراق الفتلة في العقد أو السبحة. أما عن tRNA فهي تختلف باختلاف الأحماض الامينية، وكل حامض أميني له tRNA خاص به. وtRNA يتكون أساسا من ارتباط قواعد نيتروجينية نووية مثل الادينين واليوراسيل والجوانين والسيتوسين. وترتبط هذه القواعد لتكون شكل tRNA وهو في مجموعة شكل له أذرع عديدة كما في الشكل. وكما في الرسم يكون له قاعدة تتكون من ثلاث قواعد، وتسمى هذه القواعد بالـ anticodon، وهذه الثلاث قواعد ترتبط بالثلاث قواعد الاخرى المكونة والموجودة على mRNA وهذه الثلاث قواعد الموجودة عليه تسمى بالـ codon. و mRNA يتكون أيضا من قواعد نووية مرتبطة ببعضها الا أنه يكون خيطي الشكل وكل ثلاث قواعد متتابعة تسمى بالـ codon. و tRNA يحمل في قمته الطرفية الحامض الاميني الخاص به. وبعد ذلك يتحرك الريبوسوم على الخيط mRNA ليحل على codon آخر لـ tRNA آخر. وفي هذه الحالة يحدث ربط بين الحامض الاميني للـ tRNA الاول والحامض الاميني للـ tRNA الثاني بواسطة رابطة بيبتيديدة peptide linkage ثم يتحرك الريبوسوم مرة أخرى على mRNA ليستقبل ثالث tRNA ويكون فيه توافق وارتباط بين الـ anticodon والـ codon وينتج عن ذلك حامض أميني ثالث. وهكذا تتكرر العملية مرّات عديدة ليتكون سلسلة من الأحماض الامينية مرتبطة ببعضها ليتكون منها بعد ذلك مركب البروتين (شكل ١٠٥).

وبعد تحرك الريبوسوم على mRNA وبعد تسليم tRNA الحامض الاميني الى الرابطة البيبتيدية فانه ينفصل عن mRNA ويصبح حر في سائل الخلية ليرتبط مرة أخرى بالحامض الاميني الخاص به ويرتبط مرة ثانية بالـ mRNA في وجود الريبوسوم. وهكذا يتكرر هذه العملية باستمرار ولمرات عديدة لجميع tRNA فينتج عن ذلك تكوين عديد البيبتيد polypeptide ومنه يتكون البروتين..

وأمكن اثبات حدوث هذا التخليق بالتفصيل في خلايا البكتيريا وبوضوح تام. الا أنه في حالة النباتات الراقية يتعذر اثباتها بطريقة حاسمة، الا أنه في بعض النباتات مثل القمح أمكن اثبات بعض هذه الخطوات ولكن من الواضح أن ميكانيكية تأثير وعمل السيتوكينينات في النباتات الراقية (الزهريّة) تماثل تماما ما سبق شرحه بالرغم من عدم اثباتها بالتفصيل في هذه النباتات.

أماكن وجود وتخليق السيٲوكينينات:

السيٲوكينينات توجد فى كثير من الخلايا الأ أنها توجد بتركيز عالى فى الجوب والشمار الصغيرة وأيضاً الأزهار الصغيرة. وتوجد فى الجذور وفى بعض افرازات الجذور. أما عن أماكن تخليقها فانه من الثابت أن قمم الجذور تعتبر هى أماكن تخليق السيٲوكينينات.

كيفية انتقال السيٲوكينينات:

السيٲوكينينات وكما سبق ذكره فى الكينيتين غير قابلة للحركة الذاتية immobile ولكن فانها تتحرك أساساً فى نسيج الخشب ابتداء من الجذور فى تيار النتح وتتوزع من نسيج الخشب إلى جميع أجزاء النبات أى أنها تحمل فى تيار النتح الموجود داخل النبات أى أن حركتها سلبية. وقد أمكن اثبات ذلك فعند حدوث الادماء bleeding فى حالة ساق نبات العنب فقد وجد أن السائل المائى الناتج من الادماء يحتوى فعلاً على كمية كبيرة نسبياً من السيٲوكينينات.

والادماء هو عبارة عن ظاهرة تساقط وظهور قطرات مائية بعد قطع الساق وخاصة فى منطقة قريبة من سطح التربة. وهذا السائل يخرج من الساق المقطوع من نسيج الخشب ويستمر فى اندفاعه على السطح المقطوع وأن المصدر لهذه العصارة والماء الناتج هو نتيجة للضغط الجذرى حيث أنه من المعروف أن صعود العصارة فى النبات هى أساساً للقوة الناشئة عن النتح الأ أن للضغط الجذرى أيضاً دور فى صعود العصارة بسيط نسبياً والى ارتفاع بسيط ولذلك لا تظهر ظاهرة الادماء الأ عند قطع ساق النبات على ارتفاعات منخفضة من سطح التربة.

كيفية تكوين السيٲوكينين فى النبات:

من المعروف أن السيٲوكينين فى النبات ينتج عن تحلل بعض الاحماض النووية ولكن وجد أن تركيزه فى النباتات يكون أكبر بكثير من سرعة تحلل الاحماض النووية لتكوين السيٲوكينينات ولذلك فانه من الثابت أنه توجد طرق لتخليق السيٲوكينينات غير معروفة بالضبط. وقد وجد أن الداى ميثيل أليل ألانين DMAA يتحول الى zeatin فى وجود فطر عفن الخبز *Rhizopus* وكما سبق القول وحتى الآن الطرق السليمة الواضحة لتخليق السيٲوكينينات غير معروفة الآن بالتفصيل أو بالتأكد.

التطبيقات الاقتصادية للسيٲوكينينات:

حيث أن اكتشاف السيٲوكينينات حديث نسبياً وعامة فإنه لم يمكن حتى الآن استعمالها بصورة اقتصادية الأ فى حالات قليلة وذلك بالمقارنة باستعمال الاوكسينات والجبريلينات لعمل ظواهر وعمليات مختلفة فى النباتات لها عائد اقتصادى.

والظاهرة المستعملة لاستخدام السيبتوكينينات على نطاق طبيعى اقتصادى هى ان السيبتوكينينات مضادة للشيوخوخة وبذلك يمكن أن تطيل فى عمر الشمار والنباتات الورقية لمدة طويلة أثناء النقل والتسويق وقد أمكن تطبيق ذلك كما سبق ذكره فى حالة البيبزينيل أدينين benzyladenine فانه يستعمل لرش أو لغمر محاصيل الخضروات فيه لمدة معينة حيث أنه يطيل من عمر هذه الخضروات بصورة غضة ومثال لذلك البروكولى والكرفس والأسبرجس الأ أنه وجد أن السيبتوكينينات لها تأثير على الأحماض النووية فقد يكون لها تأثير سام phytotoxicity على الانسان أو الحيوان ولذلك فى الدول المتقدمة تجرى تجارب فى هذا الموضوع لاختبار تأثير المعاملة على النباتات من حيث سميتها للانسان والحيوان حتى يصرح لها بالإستعمال.

التأثيرات المختلفة للسيبتوكينينات:

توجد تأثيرات مختلفة للسيبتوكينينات وهى مايتأتى:

١- من المعروف أنه لتخليق الاحماض النووية DNA و RNA فانه لا بد من وجود الاوكسينات والجبريلينات ولكن لا بد من وجود السيبتوكينينات لحدوث تضاعف لكمية البروتين بتخليقة قبل انقسام الخلية ومن هنا يتضح أنه لانقسام الخلية لا بد من وجود أساسا للاوكسينات وأيضاً الجبريلينات والسيبتوكينينات حيث أن الجبريلينات والاوكسينات تساعد على تضاعف وتخليق الاحماض النووية وأيضاً السيبتوكينينات تساعد على تضاعف وتخليق البروتينات لكى يحدث انقسام للخلية.

٢- تأثير السيبتوكينينات على حدوث morphogenesis أى تكوين الاعضاء النباتية المختلفة كما سبق ذكره فى تجربة سكوج وميلر.

٣- من المعروف أن الأوكسينات تسبب استطالة للخلايا فى حين أن السيبتوكينينات فى وجود الاوكسين تسبب إنقسام للخلايا.

حامض الابسيسيك ABCISIC ACID

كيفية اكتشافه:

درس Addicott ومعاونوه فى الولايات المتحدة سقوط الاجزاء المختلفة للنبات وذلك بمعاملات كيمائية وجراحية وكانت دراستهم على لوز القطن الناضج وعلاقته بالتساقط وقد وجدوا أن لوز القطن يفرز مادة تساعد على سقوط الاوراق وبعض من الاعضاء النباتية وتضاد عمل الاوكسين فى إستطالة غمد الريشة واستخلصت هذه المادة وسميت باسم Abscisin .

وفى نفس الوقت فى بريطانيا كان Wearing ومعاونوه يجرون تجاربهم على نبات *Betula* وقد وجدوا أن الاوراق تنتج كميات متزايدة من مركب يسبب تثبيط وعدم نمو غمد الريشة لنباتات العائلة النجيلية كما أن هذا المركب يؤخر أيضا انبات بذور نبات *Betula* وهذا المركب يتكون فى الخريف عادة. وحيث أن قصر الفترة الضوئية التى تتعرض لها الاشجار تسبب حدوث نفس الاعراض لذلك فمن المحتمل أن وجود الفترة الضوئية القصيرة يسبب انتاج المركب المسئول عن التثبيط وفى النهاية عزل مركب فى صورة بللورية وأعطى اسم dormin لانه يسبب سكون dormancy وحيث أن كلا من هاتين المجموعتين فى الولايات المتحدة وبريطانيا كانت تعمل على حدة دون اتصال بالمجموعة الاخرى ولكن فى النهاية بعد الكشف عن المركب المسئول اتضح أن هذا المركب هو مركب واحد وسمى بعد ذلك باسم abscisic acid وهذه التسمية مشتقة من أن هذا المركب يسبب سقوط الاوراق والازهار... الخ من الاعضاء النباتية ولكن أصبحت هذه التسمية غير سليمة تماما حيث اتضح أن هذا المركب غير جوهري وغير أساسى فى سقوط الاوراق... الخ من الاعضاء النباتية بل قد يكون له دور محدود فى عملية السقوط ولكن بالرغم من ذلك فان هذه التسمية مستمرة حتى الآن.

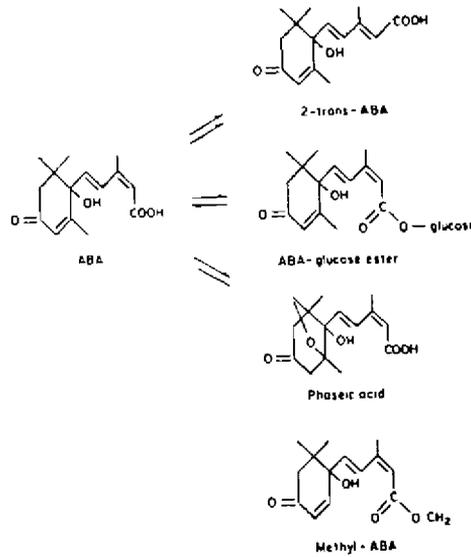
تخليق حامض الابسيسيك:

- 1- يتكون حامض الابسيسيك ABA من مركب mevalonic acid .
- 2- أو يتكون عن طريق أكسدة بعض مركبات xanthophylls وخاصة مركب violaxanthin .

تغير تركيب ABA لتقليل تأثيره:

يحدث للـ ABA في النبات تحولات كثيرة ونتيجة لذلك يفقد هذا المركب خصائصه ومن ذلك ما يأتي (شكل ١٠٦).

- ١- عن طريق التحويل الضوئي حيث يتحول إلى 2-trans ABA.
 - ٢- الاكسدة لتكوين phaseic acid.
 - المركبان السابقان ليس لهما أى تأثير أو أى نشاط للحامض ABA.
 - ٣- ممكن تحويله إلى glucoside وهو مركب ABA glucose ester.
- وهذا المركب أيضا غير فعال ولكن بواسطة العصير الخلوى فى الخلايا يمكن تحويله الى حامض الابسيسيك بسهولة.



(شكل ١٠٦): تركيب IBA وخطوات ربطه وهدمه.

أنواع حامض الابسيسيك (ABA) Abscisic Acid:

ABA أيضا يمكن تقسيمه الى ABA طبيعي وهو الذى يخلق فى النبات وهو ABA + (+) يحول الضوء المستقطب ناحية اليمين). ولكن يوجد ABA تركيبى وهو لا يوجد فى الطبيعة بل يصنع فى المعامل وهو racemic ABA (معنى racemic أى خليط ABA + و -). وعلاوة على ذلك أيضا أن ABA الموجود فى النبات عبارة عن خليط أيضا من cis+ABA و trans.

أماكن تخليق ABA:

من المعروف أنه يخلق فى أماكن عديدة غير محددة بالتفصيل حتى الآن ولكن الثابت قطعا حتى الآن أنه يتم تخليقه فى البلاستيدات وخاصة البلاستيدات الخضراء.

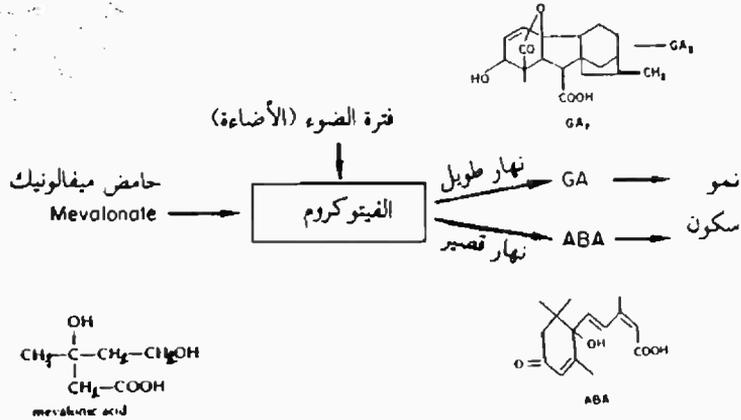
طريقة انتقال ABA:

ينتقل ABA أساسا فى اللحاء وهو لا يظهر حالة الانتقال القطبى والسرعة تكون ٢٠م/ساعة.

تأثيرات ABA:

عندما تعامل القمم النامية لنبات *Betula* أو نباتات خشبية أخرى بهذا الحامض فأنها تنتج أعراض تشابه حالات السكون على هذه القمم مثل تقصير طول السلامة وإنتاج أوراق حرشفية صغيرة بدلا من الأوراق الخضراء العادية كما أن الانقسام الغير مباشر للقمم النامية يقل بدرجة كبيرة جدا مع ملاحظة سقوط بعض الأوراق القريبة من القمم النامية كما أنها تسبب كمون البراعم وعدم نموها وقد وجد علاوة على ذلك أنها تسبب كمون البذور حيث أنه عند معاملة بذور قابلة للانبثاق بهذا المركب فإنها لا تنبت إلا بعد غسيل البذور جيدا أو معاملة الجبريللين أو الكينتين لتساعد فى انباتها ومن ذلك يتضح أن الجبريللين والكينتين يصادا فى تأثيرهما تأثير حامض الابسيسيك. ومما سبق يتضح أن حامض الجبريلليك وحامض الابسيسيك يمكن أن يشترق كل منهما من mevalonic acid وأيضا كل من المركبين له تأثير فسيولوجى مختلف عن الآخر ولكنهما يتكونا أيضا والى حد كبير من نفس metabolic pathway ولذلك يمكن للنبات أن يتحكم فى إنتاج واحد دون الآخر عن طريق switching وحيث أن الجبريللينات تتكون فى أيام ذات النهار الطويل وحامض الابسيسيك يتكون فى الأيام ذات النهار القصير. فمن المعتقد أن يكون التحكم عن طريق الفيتوكروم فى النهار القصير يتأثر الفيتوكروم وينتج حامض الابسيسيك وفى النهار الطويل يتأثر الفيتوكروم وينتج الجبريللينات (شكل ١٠٧).

وجد أيضا أن نقص العناصر الغذائية وقلة المياه للنبات كلها تسبب زيادة تركيز ABA وزيادة ABA تسبب قفل الثغور لتقليل النتح.



(شكل ١٠٧): تكوين الجبريللين و IBA من حامض ميفالونيك.

حامض الابهسيك وفقد الماء:

يتكون ABA في ظروف من water stress أى في وجود قلة من الماء أو عدم توفر الماء. وقد وجد في حالة نقص الماء فان حامض الابهسيك يزداد تركيزه في الالراق وأن هذا الحامض يساعد على سرعة غلق الثغور عن طريق تحكمه في الخلايا الحارسة.

من المعروف أن أيون البوتاسيوم في الليل ينتقل من العصير الخلوى للخلايا الحارسة الى خلايا البشرة المجاورة ولذلك يقل الضغط الاسموزى لهذه الخلايا فتترهل وتغلق الثغور أما في النهار فان أيون البوتاسيوم ينتقل من الخلايا المجاورة للخلايا الحارسة الى الخلايا الحارسة حيث ينتقل الى العصير الخلوى وفي هذه الاثناء يتحول النشا الى سكر وحامض ماليك ويزداد الضغط الاسموزى فينتقل الماء الى الخلايا الحارسة وتسبب فتح الثغر نتيجة لانتفاخ الخلايا الحارسة

ويجد أن الخلايا المساعدة وغيرها من الخلايا المحيطة بالخلايا الحارسة في البشرة تعمل كمخزن حيث تختزن فيها أيون البوتاسيوم عندما تغلق الثغور.

وقد وجد أن حامض ABA يساعد أيون البوتاسيوم على ترك الخلايا الحارسة وعدم دخولها فترهل وينغلق الثغر وبذلك يقل فقد الماء من النبات وبذلك يتحمل النبات فترات نقص الماء water stress . وعند وضع الماء للنبات فإن الخلايا الحارسة لا تفتح مباشرة بل أولاً تأخذ وقت معين قبل الانفتاح لكي ينخفض تركيز حامض ABA في الخلايا الحارسة ثم بعد ذلك ينتقل الى الفجوة العصارية للخلايا الحارسة أيون البوتاسيوم من الخلايا المجاورة وتمتص الخلايا الحارسة الماء وتفتح الثغور.

ميكانيكية تأثير ABA:

من الثابت الآن أنه يتدخل ويمنع تكوين البروتينات وأيضاً تكوين RNA .

الأثيلين ETHYLENE

خواص الاثيلين:

الايثيلين عبارة عن غاز خفيف الوزن نسبيا ووزن الجزيء صغير وحجمه صغير وهو عديم اللون ذو رائحة معينة تشبه رائحة الاثير وهو سهل الاشتعال ويساعد على الاشتعال ويشتعل بفرقة ودرجة غليانه - 103 م ويكون في الحالة السائلة عند - 169 م.

مصادر الاثيلين:

للاثيلين مصادر عديدة جدا وكثيرة وهي على سبيل المثال وليست الحصر مايتى:

١- النباتات: فمن المعروف أن الغالبية العظمى من النباتات تنتج أثناء قيامها بتفاعلاتها الكيموحيوية غاز الاثيلين.

٢- جروح النباتات واحتكاك النباتات بالاجزاء الصلبة وعند قطع أجزاء النبات ينتج عنه في العادة غاز الاثيلين.

٣- عند انبات البذور ففي كثير من الحالات ينتج غاز الاثيلين عند انبات البذور.

٤- عند جمع النباتات وحرقتها فان نالج الاحتراق وفي الادخنة المتصاعدة تحتوى على نسبة من هذا الغاز تختلف باختلاف النباتات المحترقة والظروف البيئية التى تجرى فيها عملية الاحتراق.

٥- من المهم جدا معرفة أن الكائنات الحية الدقيقة الموجودة فى التربة من البكتيريا والفطر يمكن أن تنتج غاز الاثيلين، وماهو جدير بالذكر أن بعض البكتيريا فى الظروف اللاهوائية تنتج كميات كبيرة من غاز الاثيلين عنه فى الظروف الهوائية ومن ذلك يتضح أن التربة ممكن أيضا أن تكون مصدر لغاز الاثيلين.

٦- ينتج غاز الاثيلين أيضا فى عادم السيارات وأيضا غاز الاستصباح والغازات الناتجة من المصانع ومن المعامل كل هذه الغازات تحتوى على نسبة من غاز الاثيلين.

طرق تخليق الاثيلين:

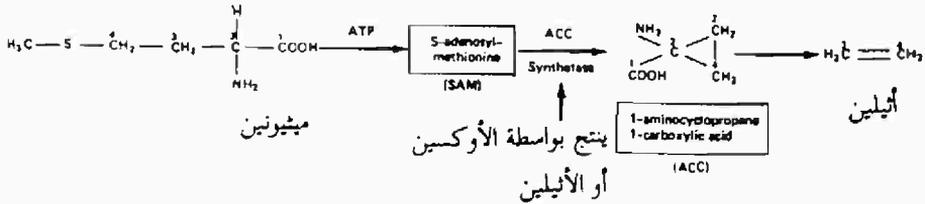
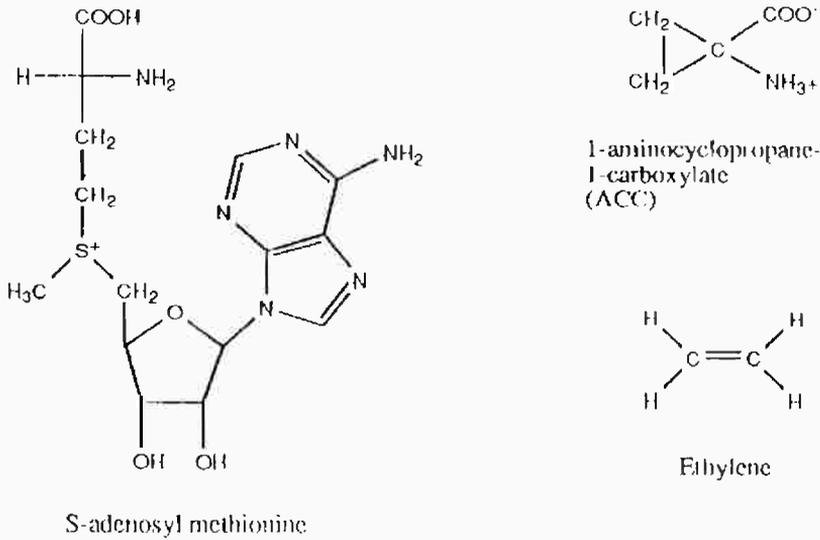
يعتبر من الهيدروكربونات ومن الثابت الآن أن هذا الغاز يتكون من الحامض الامينى ميثونين methionine.

ومن هذا المركب يتكون الاثيلين ويتضح أن غاز الاثيلين يتكون من ذرة الكربون رقم

٣ و٤ في الحامض الاميني methionine وهذه هي الطريقة الحديثة (شكل ١٠٨). يمكن تلخيص طريقة تخليق الأثيلين حيث أن الميثيونين يتحول في وجود ATP إلى مركب (SAM) S-adenosyl methionine ويتحول المركب الأخير في وجود أنزيم ACC synthetase إلى مركب 1- aminocyclopropane -1- carboxylic acid (ACC) ومن الأخير يتكون الأثيلين والذي يتكون من ذرتي الكربون في الميثيونين رقم ٣ و ٤. وقد أمكن التعرف على ذلك باستخدام ميثونين مشع في ذرتي الكربون ٣ و ٤.

أماكن تخليق الأثيلين:

يخلق في الثمار أثناء تكوينها وأيضاً في الثمار الناضجة والازهار والبذور والبراعم والجذور والسيقان وسرعة تكوين وتخليق الغاز في المعتاد تتراوح من ٠,٥ - ٥,٠ نانولتر لكل جرام / ساعة. ولكن في بعض الثمار تصل النسبة الى ١٠٠ نانولتر / جرام / ساعة وأكبر كمية



(شكل ١٠٨): خطوات تخليق الأثيلين.

ايثيلين من حيث سرعة التخليق حتى الآن تنتج من الازهار أثناء ذبولها فى أوركيد نبات vanda حيث تصل ٣٤٠٠ نانولتر / جم / ساعة (النانولتر = ١٠^{-٩} لتر).

الظروف البيئية التى تؤثر فى تكوين الايثيلين:

- ١- درجة الحرارة العالية والمنخفضة تقلل من انتاج الايثيلين.
- ٢- وجود الاوكسجين مهم وفى تركيز أقل من ٢٪ يتوقف انتاج الايثيلين ولذلك فانه عند التخزين يستعمل درجة حرارة منخفضة وتركيز قليل من الاوكسجين فان ذلك يقلل من كفاءة الثمار على تكوين الايثيلين وبذلك يطول عمر تخزينها حيث أنه من المعروف وكما سيلي ذكره أن غاز الايثيلين يساعد على انضاج الثمار بسرعة.
- ٣- الجروح وقطع الانسجة وأماكن الاحتكاك تزيد من كفاءة تكوين الايثيلين.
- ٤- وجد فى تخزين ثمار التفاح أن وجود ك ٢أ بتركيز مناسب عالى نسبيا يضاد تأثير الايثيلين وبذلك يساعد على طول مدة وفترة التخزين.

٥- للضوء تأثير هام على انتاج الايثيلين عند انبات البنور فعند انبات البذرة يكون الجزء تحت القمى من السوقية الجنينية العليا أو السفلى منحني hooked ويحدث ذلك لان هذه القمة تنتج ايثيلين بتركيز كبير وعند تعريض البادرة للضوء العادى أو الضوء الاحمر فان الانحناء يستقيم. ووجد أن تركيز الايثيلين الناتج يقل بدرجة كبيرة جداً. وقد وجد أنه يمكن انتاج كمية كبيرة مرة أخرى من الايثيلين عند تعريض البادرة للـ far red ويحدث أيضا انحناء مرة أخرى ولذلك فان هذه الحالة من حيث تأثير الضوء وانتاج الايثيلين أو استقامة أو انحناء القمة للبادرة يتحكم فيها صبغة الفيتوكروم لانها تتأثر بالضوء الاحمر والضوء الاحمر البعيد far red بطريقة عكسية.

انتقال الايثيلين:

نظرا لان الايثيلين عبارة عن هرمون فى حالة غازية وهو الهرمون الوحيد الموجود فى الحالة الغازية وهو ذو وزن جزئى صغير وحجم صغير فانه ينتقل فى داخل النبات بسهولة وحرية ومما يزيد سرعة انتقاله وتخلله لانسجة النبات أنه قابل للذوبان فى الماء وعلاوة على ذلك فانه قابل للذوبان بدرجة أكبر فى الدهون وقد وجد أن حركة الايثيلين فى النبات تماثل حركة ك ٢أ فى النبات تماما وأن كل منهما يتبع فى انتشاره فى النبات قانون Fick's للانتشار : Fick's law diffusion

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{dc}{dx} \quad , \quad \text{حيث أن: } dc = \text{التركيز، و } dt = \text{الزمن، و } dx = \text{المسافة، و } D = \text{ثابت الانتشار.}$$

وحركة الايثيلين في داخل أنسجة النبات تكون عن طريق المسافات البينية ولكن لقدرته الكبيرة على الذوبان في الماء فانه ينتقل بواسطة الماء المنتشر ولقدرته العالية جدا في الذوبان في الدهون فيمكن أيضا أن يتخلل الخلايا ويخترقها بسهولة لانه يخترق الغشاء البلازمي للخلية بسهولة جدا لانه قابل للذوبان في الدهن.

ومن المعروف أن الغشاء البلازمي يتكون أساسا من دهون فوسفورية وبروتين وأنه كلما زادت كفاءة المركب في الذوبان في الدهن كلما زادت كفاءته على النفاذية من الغشاء البلازمي من وإلى الخلية بسهولة جدا إذ أنه من المعروف أن العامل المحدد في نفاذية المركبات من وإلى الخلية هو الغشاء البلازمي. كما أن كيوبيكل النبات يمنع خروج الغاز بدرجة كبيرة جدا وبذلك يحافظ على تركيز الايثيلين ثابت بداخل النبات بدرجة كبيرة ولذلك فانه من المعتاد وفي الظروف البيئية العادية يكون تركيزه داخل النبات أكثر من تركيزه خارجه.

طرق تقدير الايثيلين وتقدير تركيزه:

توجد لذلك طرق كثيرة يمكن بواسطتها تقدير تركيز غاز الايثيلين واثبات وجوده أو عدم وجوده ومنها طرق قديمة غير دقيقة ومنها طرق كيميائية بحتة ومنها طرق bioassay أى أنها طرق تستعمل النبات أو أجزاء منه في تقدير تركيز الايثيلين. الأ أنه ثبت الآن أن أهم هذه الطرق هو استعمال gas chromatography ولذلك فان جميع الابحاث الحالية التي تجرى على هذا الغاز تجرى بواسطة استخدام gas chromatography وفيما يلي شرح لهذه الطريقة:

هذه الطريقة أدق الطرق المستعملة وهي التي تستعمل الآن في تقدير تركيز غاز الايثيلين حيث تؤخذ عينة من عضو النبات أو الثمار بواسطة حقنة (حقنة عادية) وتحقن هذه العينة في الجهاز وفي عمود الجهاز يتم فصل الايثيلين عن الغازات الأخرى وفي نهاية العمود يتم الكشف والتعرف على الغاز بواسطة flame ionization detector والذي يكون حساس جدا لتركيزات قليلة جدا من غاز الايثيلين حتى ١ جزء أئيلين لكل بلليون جزء. وهذا التركيز قليل جدا وكاف جدا لدراسة العمليات الفسيولوجية في النبات حيث أن هذه العمليات تحدث في تركيزات أعلى من ذلك وباستعمال هذا الجهاز اتضح أن النبات السليم ينتج أيضا ايثيلين حيث يتدخل هذا الغاز في العمليات الحيوية للنبات ولم يكن ذلك معروف من قبل الأ بعد تقدم طرق الفحص باستعمال جهاز gas chromatography.

التأثيرات المختلفة للإيثيلين على النبات Endogenous ethylene:

توجد تأثيرات كثيرة لهذا الغاز على نمو النبات أهمها ماياتى:

١- الشحوب الضوئى Etiolation:

تختلف النباتات التى تنمو فى الضوء عن النباتات التى تنمو فى الظلام حيث أن النباتات الاخيرة الشاحبة etiolated تكون سيقانها طويلة أكثر فى المعتاد وأوراقها المتكونة بطريقة غير طبيعية حيث أنها تكون صغيرة الحجم بدرجة واضحة وأن الجزء الموجود تحت البرعم الطرفى يكون منحنى ليكون مايسمى بالـ apical hook ويكون لون الساق والاوراق أصفر وليست أخضر. والإيثيلين لا يؤثر على جميع هذه الظواهر بل يؤثر على عملية أنحاء الجزء الطرفى ليكون الشكل الخطافى فقط دون الصفات الأخرى.

٢- نضج الثمار:

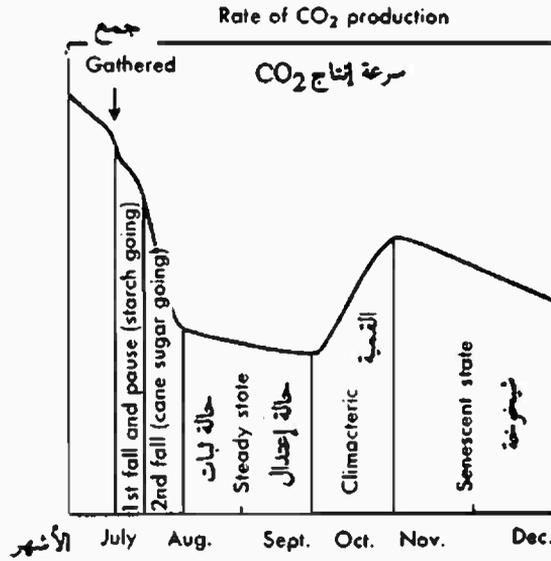
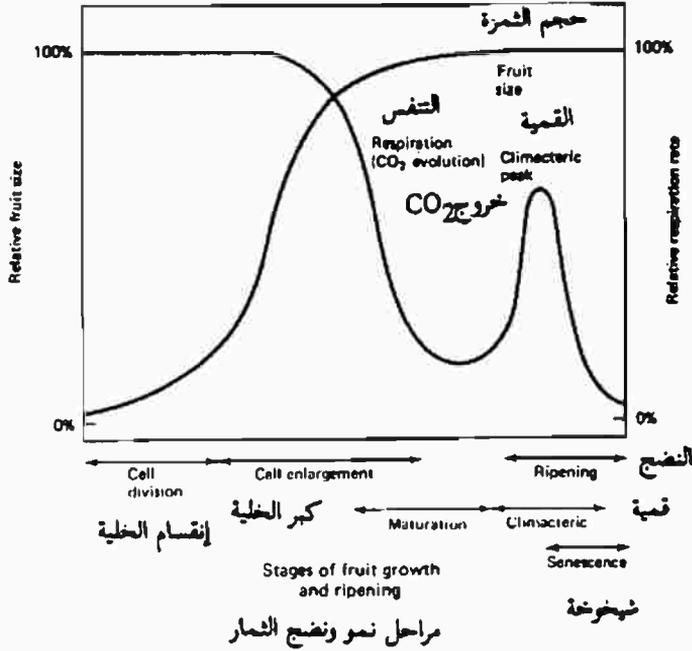
يلعب الإيثيلين دور هام فى انضاج الثمار وسبق القول أنه بعد التلقيح يكبر حجم المبيض نتيجة لتكوّن بعض من الهرمونات بتركيزات مناسبة منها الاوكسين والجبريللين ولكن بعد وصول الثمرة لتمام حجمها فانه يحدث فيها تغيرات لكى يحدث النضج.

كثير من الثمار مثل التفاح بالرغم من وصولها الى حجمها الطبيعى تكون غير قابلة للاكل لحموضتها وصلابتها والنضج فى التفاح يكون ضرورى وفيه يحدث اختفاء كمية كبيرة من حامض المالميك والذى يسبب عدم نضج الثمرة ويكون طعمها أيضا حامضى أى يسبب الطعم الحامض أيضا وعامة فان كثير من الثمار تنضج بسرعة بعد قطفها وذلك يوضح أن تأثير النضج يحدث من الثمرة نفسها. والنضج فى بعض الثمار يكون مرتبطا بالزيادة فى سرعة التنفس وعند دراسة سرعة التنفس أثناء نضج الثمار فاننا نلاحظ عند زمن معين زيادة كبيرة جدا فجائية فى تركيز ك_٢ الناتج من التنفس وذلك لمدة قصيرة ثم يلى ذلك نقص كبير فى التركيز فجأة أيضا وهذه الفترة التى يحدث فيها زيادة سرعة التنفس وزيادة انتاج ك_٢ تسمى بالـ climacteric وبعد هذه الفترة مباشرة تتحول الثمرة بسرعة من ثمرة غير ناضجة الى ثمرة ناضجة قابلة للاكل وذلك كما فى المنحنى (شكل ١٠٩).

وهذا climacteric يمكن منعه باستخدام مشطبات التنفس أو بتركيز عالى من ك_٢ أو بتركيزات من غاز النيتروجين أو بدرجة الحرارة المنخفضة وعلى العكس من ذلك فان غاز الإيثيلين يساعد على حدوث climacteric والنضج فى الثمار البالغة.

قديمًا كان من الثابت أن الإيثيلين ينتج بعد فترة climacteric ولكن باستخدام جهاز

حجم الثمرة النسبي



(شكل ١٠٩)

- أ - نشوء ونضج الثمار والتنفس.
 ب - خطوات النضج في ثمرة تفاح.

gas chromatography أوضح أن الايثيلين ينتج عند أو قبل بداية فترة القمة climacteric. وعامة فان الايثيلين ينتج بكميات قليلة طول الوقت ولكن تتضاعف كمية انتاجه مئات المرات فى الثمار عند فترة climacteric وقد وجد أنه عند منع نضج الثمار باستعمال درجة حرارة منخفضة فان انتاج الايثيلين يقل أيضا ولذلك فان الايثيلين يعتبر natural fruit ripen hormone هرمون طبيعى متخصص فى نضج الثمار. وأمكن اثبات ذلك أيضا وذلك باستبعاد الايثيلين المتكون بسرعة من الثمار وذلك بتعرض الثمار لضغط منخفض مع وجود تركيز على من الاوكسيجين وتحت هذه الظروف فان النضج يتأخر.

أما عن كيفية حدوث النضج بواسطة الايثيلين فانه بالرغم من أنه فى بعض الثمار مثل الافوكادو والمانجو فان انتاج الايثيلين وزيادة فى سرعة التنفس مصاحبة لبعضهما فانه فى بعض الثمار الاخرى مثل الموز فان الايثيلين يقل قبل وصول السرعة المثلى للتنفس وهذا يدل على أن الايثيلين ينشط بعض العمليات التى من شأنها تحدث نضج الثمار ولذلك فان للايثيلين تأثيرين:

(أ) عملية الانضاج تحتاج تخليق بروتين وأن الايثيلين يساعد على سرعة تخليق البروتين.

(ب) ان الايثيلين يؤثر على نفاذية الاغشية مثل غشاء tonoplast وبذلك يسمح بخروج مركبات من الفجوة العصارية الى السيتوبلازم ليحدث التفاعل وبذلك توجد المركبات فى السيتوبلازم بعد أن كانت محصورة فى الفجوة العصارية أو العضيات المختلفة للخلية. وبذلك تعمل الانزيمات الموجودة فى السيتوبلازم على هذه المركبات وذلك كما هو معروف بالتفصيل فى زهرة الايوميا فى ذبول الازهار.

٣- سقوط الأوراق:

يعتمد عادة سقوط الاوراق على وجود منطقة انفصال موجودة عند قاعدة عنق الورقة وهى تكون اما مبكرا نسبيا عند تكوين الورقة أو عندما تكون الورقة بالغة تماما وذلك يتوقف على نوع النبات. وتشريح منطقة الانفصال أنها تتكون من خلايا بارنثيمية صغيرة الحجم عنه فى الخلايا المجاورة والالياف قد تكون غالبة من الحزم فى هذه المنطقة وأيضا أوعية الخشب وخلايا نسيج اللحاء تكون أقصر من مثيلاتها فى المناطق الاخرى وهذا التركيب التشريحي يجعل هذه المنطقة منطقة ضعف فى الورقة.

سقوط الاوراق يحدث نتيجة لشيخوخة الورقة أما نتيجة natural ageing كما فى الاشجار مستديمة الخضرة أو نتيجة للظروف البيئية كما فى الاشجار متساقطة الاوراق وفى الحالة الاخيرة فان العامل البيئى الذى يسبب ذلك هو قصر طول النهار وأيضا انخفاض درجة الحرارة وينتج عن هذين التأثيرين تغيرات فى التحول الغذائى فى داخل أنسجة الورقة والتي

تسبب سقوط الاوراق.

قبل سقوط الاوراق فانه تحدث تغيرات كثيرة فى منطقة الانفصال فانه يحدث انقسام للخلايا بسرعة كبيرة وتكون طبقة من الخلايا لها شكل قالب الطوب brick shaped cells فى قاعدة الورقة ثم تحدث تغيرات فى التحول الغذائى فى منطقة الانفصال من شأنها اذابة جزئية لجدار الخلايا والصفحة الوسطى ولذلك تصبح الخلايا منفصلة ونتيجة لذلك نجد أن ثقل الورقة بسبب كسر فى منطقة الانسجة الوعائية وينتج عن ذلك سقوط الاوراق.

وتتكون طبقة من خلايا الفلين عند قاعدة الورقة لحماية أنسجة النبات من اصابتها بالفطريات أو البكتيريا ولتحد أيضا من فقد الماء. ونجد أن أوعية الخشب فى هذه المنطقة تسد بواسطة نتوءات وبروزات من الخلايا البارنشيمية المحيطة والتي تسمى بالتيلوزات وبذلك يسد تماما مكان سقوط الورقة.

كلا من الاوكسين والايثيلين يشتركا فى عملية سقوط الاوراق فى أثناء فترة نشاط الورقة يتكون باستمرار أوكسين جديد وينتقل من نصل الورقة خلال العنق الى الساق ولكن عندما تصبح الورقة فى حالة عجز أى شيخوخة فان انتاج الاوكسين وانتقاله يقل كما سبق شرحه فى الاوكسينات وهذا النقص هو علامة لكى تحدث التغيرات فى منطقة الانفصال والتي تسبب سقوط الاوراق وكما سبق القول فان اضافة أوكسين للأوراق فى هذه الحالة سيسبب عدم سقوط الاوراق لفترة أطول عنها فى حالة عدم اضافة الاوكسين.

وفى فترة الشتاء أيضا فان قلة امداد الاوراق بالسيتوكينين المخلق فى قمة الجذر والمنقول من الجذر يقل كميته لانخفاض درجة الحرارة وغيره من العوامل يساعد على عجز وشيخوخة الورقة لانه كما سبق القول أن السيتوكينين مضاد للشيخوخة فى الاوراق وعند عجز الاوراق فانها أيضا تنتج مواد فى هذه الخلايا الورقة تنتقل من النصل الى قاعدة الورقة لكى تسبب عجز أنسجة العنق وتكوين التفاعلات الخاصة والتغيرات الخاصة فى منطقة الانفصال وهذه العوامل تسمى بعوامل الشيخوخة أو العوامل المسببة للشيخوخة senescence factors وهذه المركبات غير معروفة بالتفصيل وبعض الآراء تقول أن حامض الابهسيسيك هو أحد هذه المركبات ولكن الرأى الغالب الآن أن حامض الابهسيسيك ليس له دور كبير فى سقوط الاوراق.

الايثيلين يساعد على سقوط الاوراق فى وجود شرط هام جدا وهو أن تكون الاوراق فى حالة شيخوخة والأ لى يحدث السقوط أى أنه لو عوملت الاوراق أثناء تكوينها أو الاوراق الحديثة التكوين بالايثيلين فلن تسقط.

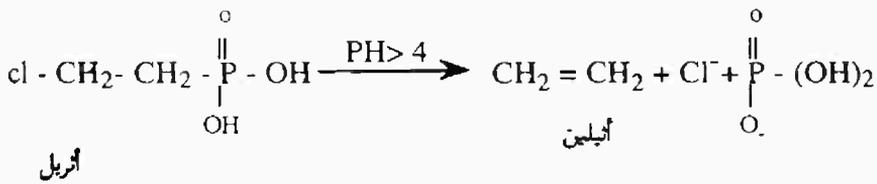
الايثيلين هورمون يسبب سقوط الاوراق وذلك بأسرعه فى حدوث الشيخوخة لمنطقة

الانفصال فانه مسئول مباشرة عن حدوث ذوبان الجدر الخلوية في منطقة الانفصال فقد وجد أنه يشجع تكوين انزيم السيلوليز بدرجة كبيرة وعلاوة على ذلك فان غاز الايثيلين ينظم أيضا تحرر وانتقال الانزيم من السيتوبلازم الى الجدار وقد وجد أن الايثيلين يؤثر على هذه الخلايا فقط في منطقة الانفصال وتكوين انزيم السيلوليز ولذلك فان منطقة الانفصال من الوجهة الفسيولوجية هي منطقة ذات خلايا متخصصة لظهور تأثير الايثيلين بوضوح عليها وينتج عن ذلك سقوط الأوراق.

استعمال الايثيلين في البستنة Horticulture وغيرها من الاستعمالات الاقتصادية:

نقل الموز وهو أخضر يكون أقل تأثر بضرر الاحتكاك من الموز الناضج ولذلك يفضل نقل الموز الأخضر ثم في أماكن الوصول يعامل بالايثيلين لينضج.

كانت من الحالات المحددة لاستعمال الايثيلين في الأغراض الاقتصادية أنه موجود في الحالة الغازية وبذلك يحتاج الى حيز مغلق لكي يستعمل ولكن حديثا أمكن عمل مركبات عديدة يدخل في تركيبها الايثيلين ثم تعامل بها النباتات حيث يتحرر منها الايثيلين بعد المعاملة وأحد هذه المركبات هو المركب المعروف باسم ethrel أو يعرف أيضا باسم ethephon وتركيبه عبارة عن ٢- كلوروايثايل فوسفونك أسد 2-chloroethyl-phosphonic وقد وجد أن هذا المركب يستعمل كمحلول مائي بتركيز ١٠٠ - ٥٠٠٠ جزء في المليون ويحدث تحرر للايثيلين



(شكل ١١٠): تكوين الأثيلين من الأثيل.

في pH أعلى من ٣-٤ فيعد امتصاص هذا المركب في خلاها النبات وتكون درجة pH في هذا النبات أعلى من ٣ - ٤ فإن هذا التفاعل يتم ويتحرر الأيلين كما في الشكل (شكل ١١٠).

استعمالات هذا المركب Ethrel:

١- عند جرح أشجار المطاط لآخذ سائل المطاط فانه يحدث التأم للجرح بسرعة كبيرة نسبيا فنحتاج لعمل جروح أخرى ولكن وجد أن المعاملة بهذا المركب ethrel تؤخر من حدوث عملية الالتئام ولذلك فاننا ننتج سائل المطاط بكمية أكبر وجروح أقل.

٢- تكوين ثمار متجانسة من حيث اللون وايضا التجانس والتوحيد في موعد النضج وبذلك تسهل عملية الجمع الآلي في وقت واحد ومثال ذلك نبات الطماطم حيث يعامل بـ ٢٥٠ جزء في المليون من ethrel فيعطى لون متجانس مرغوب ونفس ميعاد النضج.

٣- سرعة سقوط الثمار بواسطة هذا المركب ليسهل عملية الجمع الآلي في العنب والكرز والموالح.

٤- يزيد هذا المركب من إنتاج الثمار المؤنثة في نباتات القرعيات وبالتالي يزيد المحصول في الخيار والقرع والبطيخ.

٥- تشجيع إنتاج الأزهار وتوحيد موعد النضج في نبات الاناناس.