الباب الرابع عشر
منظمات النمو Growth Regulators

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

مقدمة عن النمو فى النبات:

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

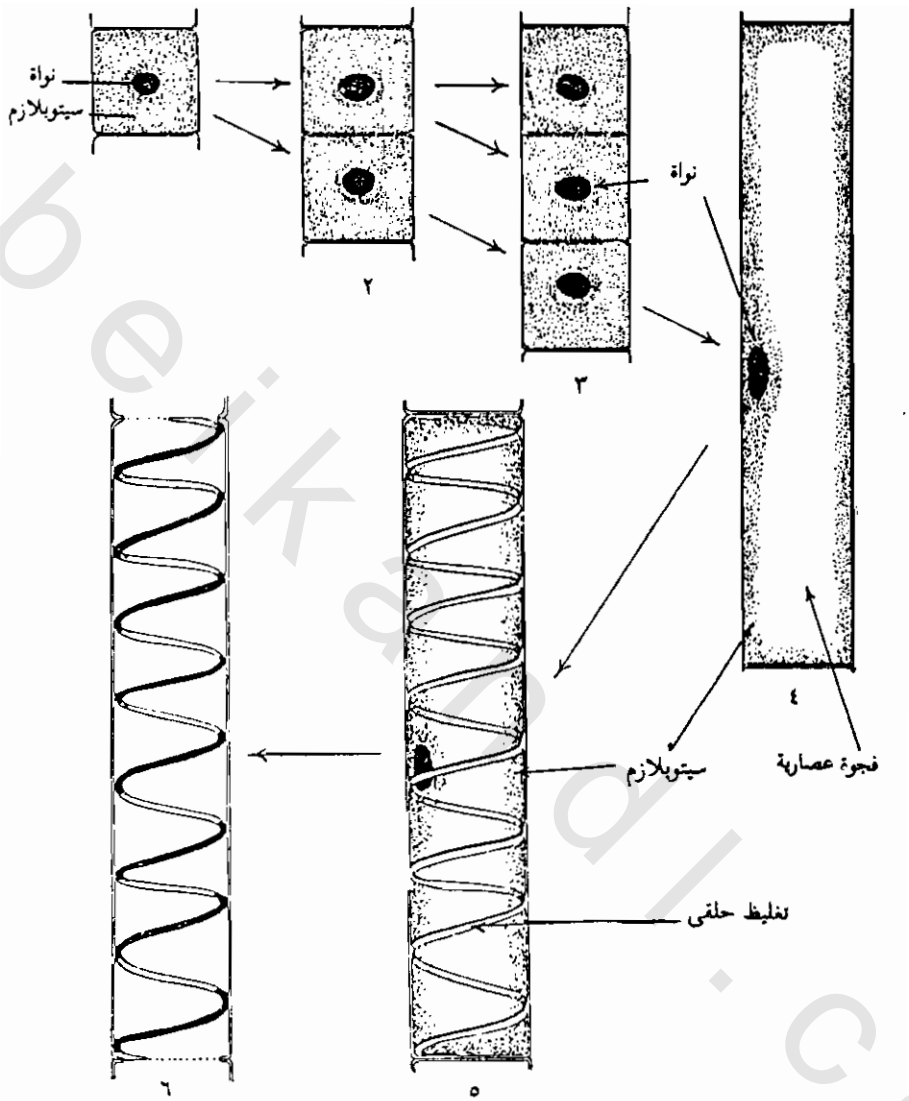
ولكى يحدث النمو فى النبات نجد أن الخلايا المريستيمية تمر فى عدة مراحل هى:

١- الإنقسام division.

٢- الكبر فى الحجم extension أو الاستطالة 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 مهيأة ومشكلة لذلك تماما. وهذه الخلية بالطبع تختلف فى شكلها عن الخلايا الكلورانشيمية 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 الكلورانشيمية فإن نشأتها كانت نشأة واحدة من خلايا مريستيمية متشابهة تماما وحدث بعد ذلك فى هذه الخلايا المريستيمية التغير فى الشكل لينتج خلايا كلورانشيمية 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

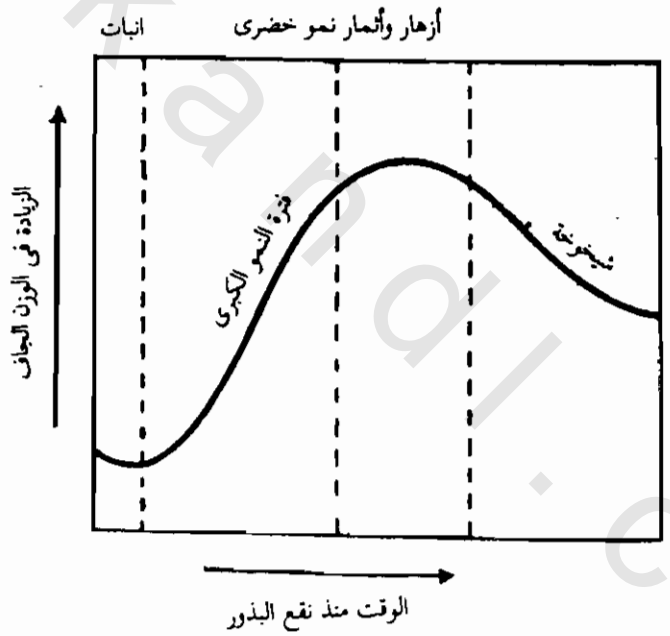


(شكل ٨٣): التشكل فى الخلايا وتكوين خلايا بالغة من خلايا مرستيمية.

يضم الثلاث مراحل وهى الإنقسام والكبر فى الحجم والتشكل.

طرق تقدير النمو:

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



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

العوامل التى تؤثر على نمو النبات:

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

أما من حيث العوامل البيئية فهى كثيرة ونلخص أهم هذه العوامل فيما يأتى:

١- درجة الحرارة temperature للتربة والجو.

٢- الضوء - شدته ونوعه ومدته.

٣- كمية ماء التربة وخواصها.

٤- بخار الماء فى التربة وفى الجو.

٥- الذائبات الموجودة فى محلول التربة وأهمها العناصر المغذية للنبات الكبرى والصغرى.

٦- الغازات الموجودة فى التربة.

٧- الأيونات فى التربة القابلة للتبادل exchangeable ions in soil .

٨- نوع الغازات الموجودة فى الهواء الجوى فإذا وجدت غازات ضارة سيقف النمو.

٩- الضغط الجوى فإذا وجد ضغط عالى جداً أو منخفض جداً سيؤثر على نمو النبات.

١٠- الرياح - لو زادت سرعتها فلها تأثيرات ضارة واختلال فى النتح.

تعريف منظمات النمو:

منظمات النمو هى مركبات طبيعية تنتج بواسطة النبات أو مركبات صناعية لاتنتج بالنبات ولكن تخلق وتنتج صناعيا فى المصانع والمعامل وعند توفر هذه المركبات بتركيزات صغيرة يكون لها تأثير منظم على العمليات الكيموحيوية للنبات وبالتالى فإنها تؤثر على النمو والتكشف.

ومنظمات النمو تشمل منشطات النمو growth activators ومثبطات النمو growth inhibitors والتركيز الصغير من منظمات النمو كلمة عامة مطلقة غير محددة ولذلك قد اصطلح على أن التركيز الصغير فى حالة منظمات النمو هو لابد أن يكون أقل من ١٠-٣ جزيئى. ومنظمات النمو تنقسم إلى منظمات نمو هرمونية وهى المقصود بها أيضا منظمات

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

أ- الأوكسينات auxins .

ب- الجبريللينات gibberellins.

جـ- 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 وجدا أن تعريض غمد الريشة coleoptile إلى اضاءة جانبية يؤدى إلى انحناء الغمد فى اتجاه الضوء. كما وجدا أيضا أن تغطية الغمد بغلاف معتم منع انحناء قمة البادرة. كما وجدا 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 القوة الحركية فى النبات. 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 انتحاء ضوئى موجب phototropism أى أن الغمد ينمو فى اتجاه الضوء). وتلا ذلك كثير من العلماء ومن أهمهم مايأتى (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 لايحدث 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.

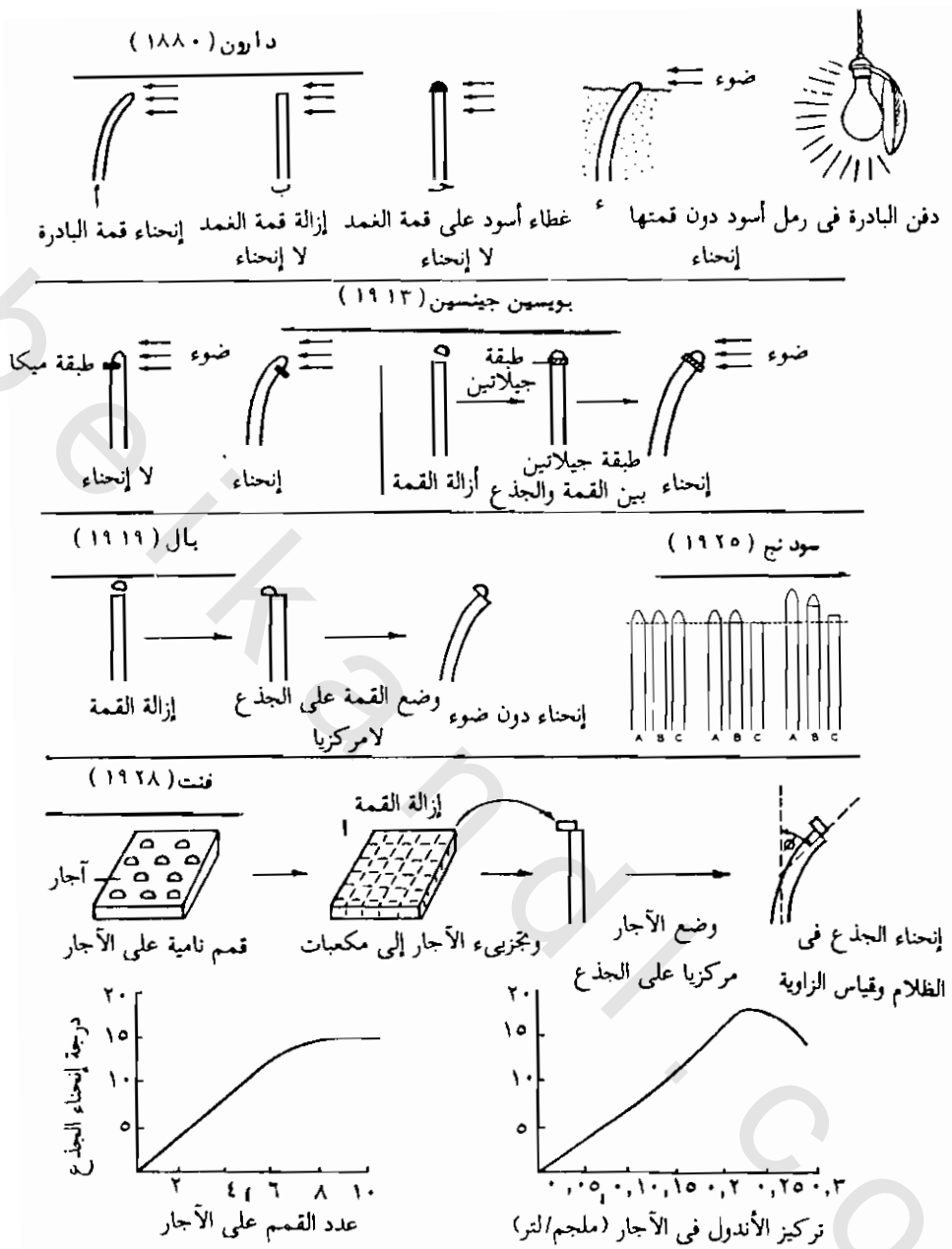
ومن النتائج السابقة نستنتج أنه يوجد مادة أو مواد منشطة تنتقل من القمة إلى أسفل وتنتشر خلال الجيلاتين وذلك فى الجزء البعيد من الضوء.

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

عندما أزال سودنج Soding عام ١٩٢٥ قمة الغمد أى عدة ملليمترات فإن قمة الجذع تنمو ببطء شديد وعند اعادة وضع القمة فإن الجذع ينمو عاديا وإذا أعيد قطع الجذع مرة ثانية لعدة ملليمترات فإن نموه يتوقف تماما. 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 ٣٪ وبعد زمن مناسب أى بعد ساعات أزال القمم وقطع طبقة الآجار إلى مكعبات صغيرة متساوية ومساوية فى أعدادها لأعداد القمم النامية الموضوعة عليها وعند وضع هذا المكعب على الجذع فإن الجذع ينمو إلى أعلى نمو عادى وعند وضع مكعب خالى من أى مركبات نشطة فإنه لايحدث نمو للجذع وعندما ماوضع المكعب على منتصف الجزء البعيد من الجذع حدث النمو وأنحناء 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 (شكل٨٥).

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



أهم التجارب التى أثبتت وجود الأوكسين .

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

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

عزل الهرمون النباتى:

أجريت فى هذا الموضوع تجارب كثيرة لاستخلاص هذه المركبات من النباتات ألا أن كثيرا من هذه التجارب باءت بالفشل حيث أن تركيز هذه المركبات فى النباتات العادية يكون بكميات ضئيلة جداً يصعب فصلها أو عزلها فى ذلك الوقت. تمكن العالم Kogl ومساعدوه عام ١٩٣٤ من عزل ثلاثة مركبات نقية فى صورة بللورية ووجد أن هذه المركبات تعطى نفس التأثير فى التجارب السابقة على غمد الريشة لنبات الشوفان وذلك من مصادر طبيعية وهذه المصادر هى زيوت نباتية مختلفة والمولت malt وأيضا من بول الإنسان. وهذه المركبات الثلاثة سميت بإسم auxin a وتركيبه $C_{18}H_{32}O_5$ وauxin 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 أيضا من بعض أنواع الخميرة والفطريات. ومنذ ذلك الوقت اعتقد أن هذا المركب الأخير لايوجد فى أنسجة النباتات الزهرية. وبعد ذلك وبتقدم طرق الفصل ثبت خطأ ذلك وأمكن عزله لأول مرة من حبوب الذرة بواسطة Haagen - Smit سنة ١٩٤٤ وبعد ذلك ثبت وجود هذا المركب فى جميع النباتات الزهرية.

يعتبر إكتشاف اندول حامض الخليك هو أول اكتشاف للهرمونات النباتية وأيضا أول أكتشاف للأوكسينات حيث يعتبر هذا المركب هو أول أوكسين طبيعى اكتشف وبعده حدث اكتشاف لمركبات أوكسينات عديدة أخرى كما سيلى شرحه بالتفصيل عند الحديث عن الأوكسينات.

الأوكسينات AUXINS

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

تعريف الأوكسينات:

الاوكسين هى تسمية عامة لأى مركب يسبب استطالة فى خلايا الساق. وقد يكون له تأثيرات أخرى حيوية مثل التأثير على انقسام الخلايا وتشكل الخلايا وغيرها من الظواهر الحيوية للنبات.

وفى التجارب المعملية لاثبات نشاط وفاعلية الاوكسين تستعمل أجزاء من غمد الريشة للنباتات النجيلية أو من السيقان فإذا تم حدوث نمو طولى أو أنحناء لهذه الأجزاء المقطوعة فيكون ذلك دليل كبير على أن المركب أوكسين.

الحالات المختلفة التى توجد عليها الأوكسينات:

١ – الاوكسين الحر Free Auxin:

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

٢ – الاوكسين المقيد Bound Auxin:

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

أنواع الاوكسينات:

تقسم الاوكسينات أيضا إلى أوكسينات طبيعية natural وهى الاوكسينات التى تتكون وتنتج فى النبات ومثال ذلك اندول حامض الخليك Indole acetic acid (IAA)، وأوكسينات

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

أماكن تكوين وتخليق الاوكسينات:

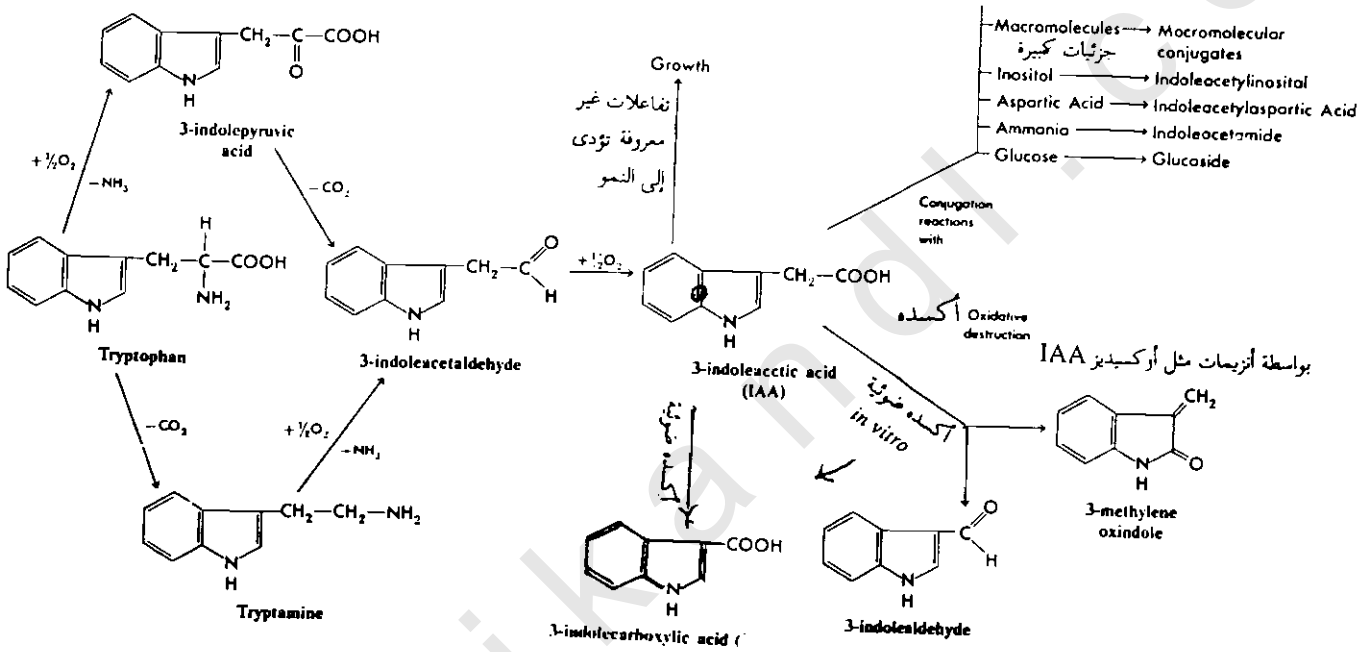
من المعروف أن الاوكسينات تتكون وتخلق فى القمم النامية وفى المناطق المريستيمية على وجه الخصوص مثال ذلك القمم النامية للساق ولغمد الريشة والاوراق الصغيرة والبراعم الخضرية والزهرية والقمم النامية فى جنين البذرة والثمار والبذور الصغيرة بمعنى أن الأجزاء النشطة فى الانقسام وهى الاجزاء الميريستيمية تكون عادة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

كيفية تخليق وأرتباط وهدم أوكسين اندول حامض الخليك:

من المعروف أن النباتات تحتوى على أحماض أمينية كثيرة ولكن يهمنا فى هذا الحامض الامينى تريبتوفان tryptophan حيث أن الحامض يعتبر المركب الاصل والمنشئprecursor 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 التربتوفان 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 التربتوفان بواسطة decarboxylation إلى مركب tryptamine والمركب الأخير فى وجود oxidative deamination يتحول إلى مركبindoleacetaldehyde ولذلك فإن الناتج النهائى لكل من هذين الطريقين هو تكوين الاندول أسيتالدهيد 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



(شكل ٨٦) : طرق تخليق وهدم وأرتباط أندول حامض الخليك.

obeikandl.com

الأخير هو الأهم فى ذلك الشأن ومن المعروف أن الأنزيم الأخير يذكر فى المراجع كأنزيم هام فى تحطيم اندول حامض الخليك دون الأنزيمات الأخرى وذلك نظرا لانتشاره وتخصصه وأن هذا الأنزيم يحول اندول حامض الخليك إلى مركبmethyleneoxindole وهذا المركب غير فعال فى حدوث استطالة للخلايا أى غير فعال كمركب أوكسين. وقد وجد أيضا أنه يمكن هدمIAA بواسطة الأكسدة الضوئيةphoto - oxidation حيث يتحولIAA إلى مركب methyleneoxindole وindolealdehyde وكلاهما عديم الفاعلية (شكل ٨٦).

يمكن أيضا أن يدخلIAA فى تفاعل مع مركبات أخرى أى يحدث الأرتباطconjugation مع مركبات أخرى دون أن يفقد تركيبه ولكنه بذلك يصبح عديم الفاعلية وفى صورة غير فعالة. يعتبر البعض هذه التفاعلاتdetoxification reactions لتقليل السمية حيث أنها تقلل من تراكمIAA . حيث أن تراكم هذا الاوكسين لدرجة كبيرة جدا نسبيا تسبب سمية للنبات أو النسيج النباتى الموجودة فيه ولكن عند ارتباط الاوكسين بالمركبات المختلفة التى سيلى ذكرها فأنه يصبح عديم الفاعلية ولايحدث تأثير سام. فقد يتفاعل مع الجلوكوز فيكونIAA - glucoside أو سلسلة من سكر الجلوكوز فيسمىIAA - glucan وقد يتفاعلIAA مع الامونيوم ليكونindoleacetamide أو قد يتفاعل مع حامض الاسبارتيك ليكون indoleacetylaspartic أو قد يتفاعل مع inositol ليكون indoleacetylinositol أو يتفاعل مع سكريات أخرى غير الجلوكوز أو مشتقات لهذه المركبات والسكريات (شكل ٨٦)وقد يتفاعل مع البروتين ليكونIAA - protein .

أمثلة لحدوث الأرتباط والقيد:

من المعروف أن حبوب النجيليات لاتحتوى على أوكسين حر وقد وجد أن معاملة هذه الحبوب بمركب قلوى يساعد على ظهور الاوكسين. ولكن مايحدث فى الانبات يختلف عن ذلك ففى الحبة العادية يوجد اندول حامض الخليك على هيئةIAA-glucosides وهى عبارة عن مركبات تتكون من اتحاد اندول حامض الخليك مع سكريات أو مشتقاتها ولذلك فانه عند الانبات تنتقل هذه المركباتglucosides الى القمة النامية لغمد الريشة وبواسطة الأنزيمات فى هذه المنطقة يتحررIAA ويظهر تأثيره كما سبق ذكره وشرحه فى تجارب الرواد الاوائل لاكتشاف الهرمونات النباتية ومن هنا يجب التنوية على أن مصدرIAA فى غمد الريشة لنبات الشوفان وغيرها من النباتات النجيلية هو جليوكوسيدات اندول حامض الخليك الموجودة فى الحبة وأما قمة الغمد فانها فعالة فى عمل تفاعلات بواسطة الأنزيمات لتحررIAA وبذلك يتضح أن الهرمون الحر القابل للانتشار هو الفعال فى حدوث الانتحاء.

وقد وجد أيضا أن أوكسين IAA وشأنه كالمركبات الهرمونية الاخرى قد يوجد فى السيتوبلازم فى صورة حرة ولكن قد يوجد فى الفجوة العصارية فى حالة غير قابلة للأنتشار (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 فان تقدير التركيز الكلى للهرمونات أو الاوكسينات غير هام لدراسة تأثيرها بالمقارنة الى مكان وجود الاوكسين فى الخلية وهذا مايطلق عليه compartmentation أى مكان وجود الاوكسين فى أجزاء الخلية المختلفة. ولذلك فان استخلاص الاوكسينات بطريقة المذيبات العضوية يعمل على استخلاص الاوكسين الكلى وقد يكون هذا التركيز الكلى مضلل اذا لم يؤخذ فى الاعتبار مكان وجود هذا الاوكسين فى أجزاء الخلية المختلفة حيث أن مكان وجود الهورمون وتركيزه متساويان فى الأهمية. فقد يكون التركيز كبير ولكن موجود فى مكان فى الخلية غير قابل للأستعمال وبذلك يكون عديم الفاعلية.

ولذلك فان تركيز الاوكسين فى نسيج معين من النبات يتوقف على عدة عوامل وهى كما يأتى :ـ

١ـ سرعة وكمية تخليق الاوكسين فى القمم النامية أو المناطق المريستيمية.

٢ـ سرعة انتقال وكمية انتقال الاوكسين الى المكان المحدد.

٣ـ حالة وجود الاوكسين مقيد أو مرتبط ومدى وجود وحدوث حالة compartmentation.

٤ـ مدى كفاءة ونشاط الانزيمات المحللة لـ IAA ومدى كفاءة وسرعة حدوث عمليات ازالة السمية detoxification reactions.

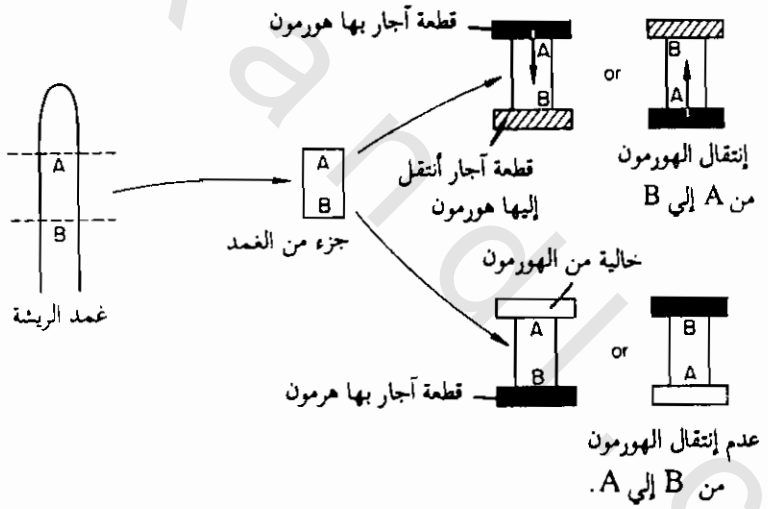
وعامة فانه من المعروف أن تركيز الهرمونات يكون عالى فى القمم النامية والمناطق القريبة منها ويقل تركيزه تدريجياً كلما ابتعدنا عن هذه المناطق .

كيفية انتقال اندول حامض الخليك:

من المعروف أن انتقال الاوكسينات الطبيعية ومنها IAA هو انتقال قطبىpolar translocation. والانتقال القطبى معناه انتقال الاوكسين فى اتجاه واحد فقط وليس فى الاتجاه العكسى. ومن التجارب السابقة جميعها يتضح أن أنتقال الاوكسين قطبى من أعلى الى أسفل فقط وليس فى الاتجاه العكسى وان ذلك غير راجع للجاذبية الارضية على الاطلاق بل هو نتيجة لعوامل فسيولوجية معقدة ويوجد لذلك نظريات ولكن من الثابت أن هذه العملية لها

علاقة بعمليات التحول الغذائى ووجود الأوكسجين aerobic metabolism وأيضا لابد من وجود خلايا حية بها أغشية خلوية وعامة فان النقل النشط active transport له دور فى هذه العملية (والنقل النشط معناه نقل الجزيئات أو الايونات فى عكس منحدر تركيزها وذلك يحتاج الى طاقة تستمد من التنفس ولذلك يسمى بالنقل النشط). وفيما يلى تجربة تثبت أن الانتقال قطبى غير راجع للجاذبية الارضية.

أنه عند قطع قمة الغمد وأخذ الجزء التحت طرفى subapical من الغمد وعند وضع هذا الجزء المقطوع بوضعه الطبيعى وبعد ذلك نستعمل مكعب من الآجار به IAA. عند وضع الآجار المحتوى على الاوكسين على الطرف العلوى سواء هذا الجزء من الغمد فى وضعه العادى أو فى وضعه المقلوب فان الاوكسين ينتقل من الطرف العالى إلى الطرف السفلى دون أى تأثير للجاذبية الارضية (شكل٨٧). وعند وضع الآجار والمحتوى على الاوكسين على الطرف السفلى



(شكل ٨٧): تجربة تثبت الأنتقال القطبى لأندول حامض الخليك فى الساق.

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 لايدعو الى الشك أن IAA وأيضا الاوكسينات الطبيعية تنتقل قطبيا فى اتجاه واحد من أعلى الى أسفل وليس فى الاتجاه العكسى مطلقا وذلك غير راجع أو متأثر بالجاذبية الارضية بل أنه نتيجة لعوامل فسيولوجية معقدة غير معروفة بالضبط حتى الآن.

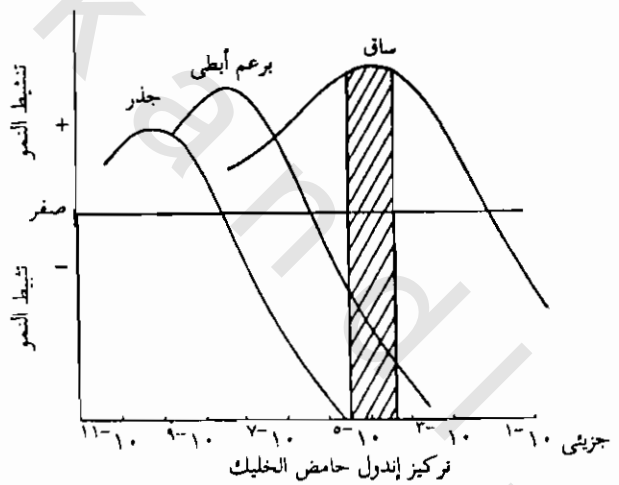
أما عن مكان انتشار الاوكسين فى النبات فهو الخلايا البارنشيمية واللحاء والخلايا المرستيمية فى القمم النامية. يتضح أن الاوكسين فى النبات يكون بتركيز كبير فى الأنسجة الناقلة ولذلك فانه ينتقل فى اللحاء أو الخشب وحيث أن الخشب نسيج ميت لايوجد به تفاعلات حيوية أو حتى أغشية بلازمية وهى من لوازم هذا الانتقال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

الانتحاء الارضى: Geotropism

عند إنبات البذور أيا كان وضعها فى التربة فنجد دائما 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^{-7} جزيئى 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 أفقيا أو حتى مائلة فان

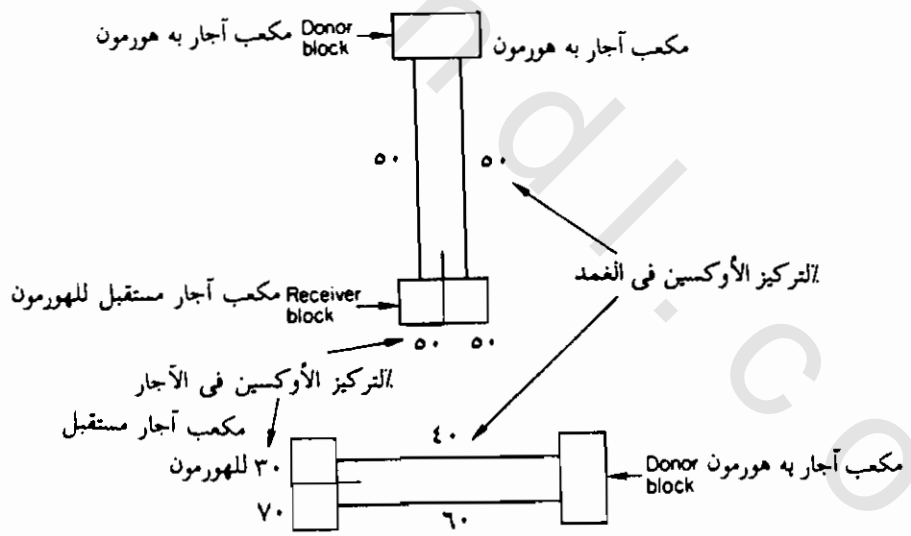
الاوكسين ينتقل من الجزء العلوى لمنطقة الاستطالة الى الجزء السفلى لمنطقة الاستطالة وذلك نتيجة لعوامل فسيولوجية معقدة كنتيجة مباشرة للجاذبية الأرضية وتفسير ذلك غير معروف حتى حتى الآن بالضبط ويوجد لذلك نظريات أهمها نظرية حبيبات النشا وتسمى بالـ statoliths theory. ولو أن هذه النظرية هى من أكثر النظريات قبولا الا أنها لاتفسر الحالة بالتفصيل وعليها مآخذ 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 الريشة لنبات الذرة فعند وضع كمية من الاوكسين فى الآجار ولتكن ١٠٠٪ ووضع الآجار على قمة الغمد المقطوع وعند أستقبال هذا الاوكسين فى الآجار الموجود تحت الجزء السفلى فوجد أن النصف الايمن من الآجار يحتوى على ٥٠٪ والنصف الايسر يحتوى على ٥٠٪ من الاوكسين المستعمل فى بداية التجربة وعند وضع هذا الجزء من الغمد فى حالة أفقية وتكرار ماسبق فقد



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

وجد أن الجزء السفلى للآجار المستقبل يحتوى على ٧٠٪ والجزء العلوى يحتوى على ٣٠٪ (شكل ٨٩)وفى حالة الساق نجد أن تركيز الاوكسين 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 انتحاء أرضى سالب. ويتضح أن انحناء الساق هنا ليس له علاقة بالضوء وليست للضوء أى ميكانيكية للتأثير. أما فى حالة الجذر فان الجزء السفلى من منطقة الاستطالة يزيد عن التركيز الامثل بكثير والجزء العلوى يكون قريب من الامثل أو الامثل فينمو الجزء العلوى أسرع من الجزء السفلى ونتيجة لذلك ينحنى الجذير الى أسفل وينتحى انتحاء أرضى موجب. الا أنه فى النظريات الحديثة الآن علاوة على ذلك يعتقد أن لحامض الابسيسيك دور فى هذه الحالة حيث يوجد أيضا هذا الحامض بتركيز كبير على الجزء السفلى من الجذر ويسبب هذا الحامض تقليل سرعة النمو.

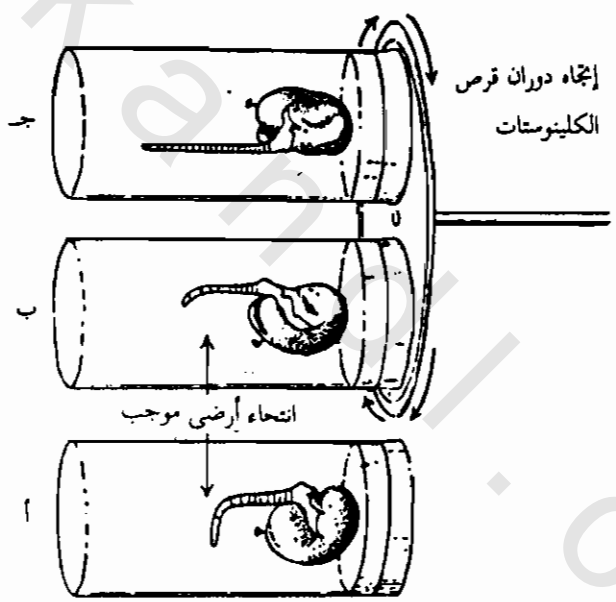
واذا منعنا الاختلاف فى تركيز الهرمونات على جانبى منطقة الاستطالة فى كل من الساق والجذر بحيث أن يكون تركيز الاوكسين فى أى جزء من منطقة الاستطالة للساق هو تركيز موحد وأيضا بالنسبة للجذر فان كل من الساق والجذر سينمو نموا أفقيا ولن يحدث له أى انتحاء ويمكن اثبات ذلك بواسطة جهاز الكلينوستات klinostat. والفكرة فى هذا الجهاز أنه يتكون من قرص فلينى ويثبت على هذا القرص بواسطة دبوس بادرة ملفوفة بجزء من قطن



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

مبلل وان هذا القرص له غطاء بلاستيك ومتصل بموتور كهربائى 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 (شكل٩٠).

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 الارضية وفى اتجاهها الى الاقمار المختلفة أنه يحدث نمو للبذور والحبوب ولكن نجد أنه لايوجد اتجاه معين لنمو البذور أو السيقان كما هو الحال على الكرة الارضية حيث وجد أن الجذور والسيقان فى هذه الحالة تتجه فى أى اتجاهات وليست فى اتجاه معين. ولذلك يتضح أن للجاذبية الارضية تأثير مباشر على حدوث عملية الانتحاء الارضى الموجب والسالب.

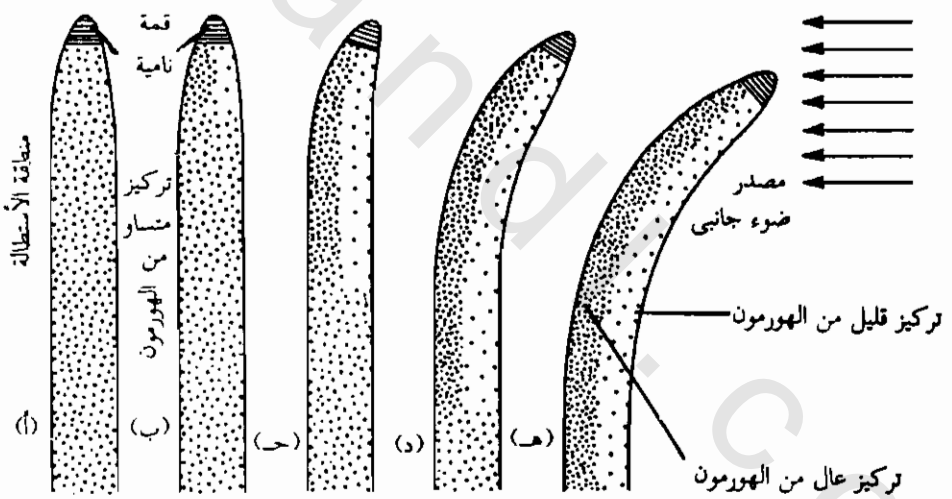


(شكل ٩٠): جهاز الكلينوستات

من المعروف أن الجزء من الجذر الذى يستقبل الاحساس بالجاذبية الارضية هو قلنسوة الجذر وقد وجد أنه بازالة قلنسوة الجذر root cap فانه لايحدث انتحاء أرضى. ويستمر ذلك فترة من الزمن طويلة أو قصيرة حتى يتمكن الجذر مرة أخرى من تكوين قلنسوة جديدة ومن ذلك يتضح أن القلنسوة تفيد فى حماية الجذر أثناء نموه بين حبيبات التربة وتستعمل كغطاء واقى لقمة الجذر الرهيفة وبذلك تساعدها على اختراق التربة دون تأثير ضار عليها. ولكن من المعروف أيضا أن قلنسوة الجذر هى التى تستقبل الحساسية للجاذبية الارضية وهى المسئولة عن إظهار تأثير الجاذبية الارضية وهى المسئولة عن اظهار تأثير الجاذبية الارضية فى حدوث الانتحاء الارضى للجذر.

الانتحاء الضوئى Phototropism

فى حالة وجود اضاءة منتظمة أو ظلام فان نمو غمد الريشة لنبات الشوفان أو الساق يكون نمو رأسى ولايوجد فيه أى أنحناء. ولكن عند تعريض الاجزاء السابقة لمصدر ضوئى من جهة واحدة unilateral light نجد أن الغمد أو الساق ينحنى ويتجه فى نموه ناحية مصدر الضوء، وهذا مايسمى بالانتحاء الضوئى الموجب positive phototropism (شكل ٩١).



(شكل ٩١): الأنتحاء الضوئى الموجب

يحدث هذا الانتحاء نتيجة لاختلاف فى تركيز الاوكسينات على جانبى الساق فنجد أن جزء من الساق المواجه للضوء يحتوى على تركيز ضئيل من الاوكسينات بينما الجزء البعيد عن الضوء يحتوى على تركيز كبير وأمثل من ناحية تركيز الاوكسين ونتيجة لذلك يحدث اختلاف فى 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 أختلفت التفسيرات لتفسير اختلاف تركيز الاوكسينات على جانب الساق أو الغمد فى حالة وجود المصدر الضوئى جانبى. وتوجد لذلك نظريات كثيرة أهمها:

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

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

٣ـ 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 قبولا.

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 الاشعة فوق البنفسجية ولذلك فان الجزء الفعال فى الضوء العادى هو اللون الازرق وجزء من الاشعة فوق البنفسجية، وأذا استخدمت جميع ألوان الضوء العادى عدا النوعين المذكورين أخيرا من الضوء فانه لن يحدث أى انتحاء ضوئى.

من المعروف أنه لكى يحدث للضوء تأثير فى النبات فلا بد أن يمتص أولا ويحدث امتصاص للضوء فى النبات بواسطة الصبغات والصبغة المسئولة 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 الريبوفلافين.

كيف يؤثر الاوكسين على خلايا النبات لحدوث الاستطالة:

من المعروف أنه فى الحشرات وبعض الحيوانات الاخرى أنه لكى يحدث نمو فلابد للحشرات من أن تنسلخ وقد يحدث عدة انسلاخات 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 لابد 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 مايحدث 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 :

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

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

والمطاطية لها نوعين فى الخلية:

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

ب ـ plastic extensibility وهى عبارة عن مطاطية غير رجعية irreversible أى يتمدد الجدار ولاينكمش مرة أخرى.

وقد وجد أن الاوكسينات تأثيرها على جدار الخلية هو من النوع البلاستيك(غير الرجعية). وباجراء 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. أمّا اذا قتل الغمد وعومل بالاوكسين بعد قتله فانه أيضا يكون ذو مطاطية الاّ أنها مطاطية محدودة. ومن ذلك يتضح أن المطاطية موجودة

فى الخلايا الميتة لكن معاملة الخلايا الحية بالاوكسين 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 المسئولة عن تكوين السيليلوز فى أثناء آستطالة الخلية لتتكون جزيئات السيليولوز الجديدة التى ستحل 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 للانزيمات 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 حلقى وثانيا يحتوى على روابط مزدوجة غير مشبعة وثالثاً أنه حامض يحتوى على مجموعة كربوكسيل ورابعا أنه مركب حلقى له سلسلة جانبية. وقد دعى ذلك كثير من علماء فسيولوجيا النبات الى تجربته وحصر كثير من المركبات الاخرى 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):

١ـ **مشتقات الفينوكسى** Phenoxy:

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

٢ـ **مشتقات الاندول** Indole:

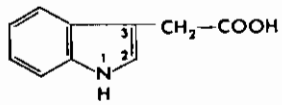
وهو مركب حلقى به روابط غير مشبعة ومثال ذلك أندول حامض الخليك IAA

وجد أن زيادة عدد ذرات الكربون فى السلسلة الجانبية يقلل من كفاءة المركب ولذلك نجد أن اندول حامض البيوتريك أقل كفاءة من IAA.

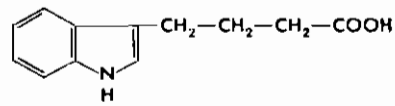
٣ـ مشتقات البنزويك Benzoic Acid

ومنها 2,6 - dichlorobenzoic acid

الاندول Indoles

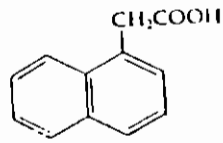


3-Indoleacetic acid (عال النشاط)



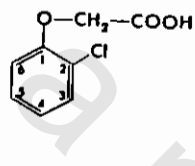
3-Indolebutyric acid (أقل نشاط)

النفثالين Naphthalene acids

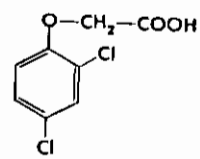


α -naphthalene acetic acid

الفينوكس Chlorophenoxy

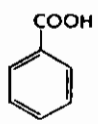


2-chlorophenoxyacetic acid (فعال)

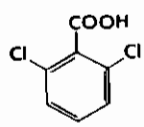


2,4-dichlorophenoxyacetic acid (زائد الفاعلية)

حامض البنزويك Benzoic acids

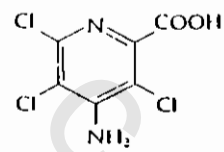


Benzoic acid (غير فعال)



2,6-dichlorobenzoic acid (فعال)

حامض بيكولينك Picolinic acid



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

(شكل ٩٢): التركيب الجزيئى لمنظمات النمو المختلفة.

٤ـ مشتقات النفثالينNaphthalene

ومنها مركب نفثالين حامض الخليكNaphthalene acetic acid

٥ـ مشتقات حامض البيكولينيكPicolinic acid

وأهم مركب فى هذه المجموعة هو4- Amino ـ 3,5,6- trichloropicolinic acid

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

طرق تقدير تركيز الاوكسينات:

يوجد طرق كثيرة وأهمها ما يأتى:

١ـ طريقة Went Avena Coleoptile Method :

يستعمل فى هذه الطريقة غمد الريشة لنبات الشوفان النامى فى الظلام. وفى الحقيقة أول من عمل هذه الطريقة هوWent ولذلك سميت باسمه. يستعمل غمد الريشة ويتم عمل قطع للجزء الطرفى من الغمد وتسمى بعملية القصل 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 الاوكسين على أحد جوانب الغمد فان الغمد ينحنى أثناء نموه على الناحية الأخرى. وقد استعملت هذه الزاوية كمقياس لمقدار التركيز للاوكسين وسميت الوحدة بالوحدة الشوفانية. والوحدة الشوفانيةAvena unit (AU) تساوى التركيز من الاوكسين الذى يسبب زاوية مقدارها ١٠ درجة مئوية فى ٩٠دقيقة فى درجة حرارة ٢٥م ورطوبة نسبية ٩٠٪. يمكن معرفة تركيز الأوكسين بعمل تركيزات معلومة ورسم منحنى قياسىstandard curve يمكن منه معرفة تركيز الأوكسين (شكل ٨٥) .

٢ـ طريقة النمو الطولى:

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

المجهول.

٣ـ 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 ٥سم ثم يشق هذا الجزء الى نصفين لمسافة ٣سم 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 ففى 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).

٤ـ طريقة Paper Chromatography

وThin Layer Chromatography :

يوضع المحلول المراد اختباره على الورق أو علىthin layer وتستخدم مذيبات معينة وبعد نهاية التجربة تستخدم صبغات معينة للكشف عن الاوكسين. ومن هذه الصبغاتsalkowski reagent وهذه الصبغة عبارة عن كلوريد حديديك حامضى.acidified ferric chloride وأيضا يمكن استعمالErlich reagent حيث أن هذه الصبغات تصبغIAA بألوان معينة وكلما زاد تركيز اللون كلما دل ذلك على زيادة تركيزIAA أو الاوكسين.

٥ـ الطرق اللونية باستخدام جهاز Ultra Violet Spectrophotometer :

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

٦ـ طريقة Gas Chromatography :

وتعتبر هذه من أدق الطرق حيث ان المشتق المتطاير للاوكسين أو الـIAA 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 عمودcolumn 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 حدةdifferentially absorb hormones and impurities ومن المنحنىchart الذى يرسم

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

٧ـ طريقة High Pressure Liquid Chromatography :

يستعمل فى هذه الحالة محلول مضغوط من الاوكسين والشوائب يمر عبر عمودcolumn يحتوى على أنواع مختلفة من المركبات التى تدمص الاوكسين والشوائب لتفصلهم عن بعضهم differentially adsorb hormones and impurities وفى هذا الجهاز لانحتاج 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 ليقيس تركيز الاوكسين. وهو فى حالة IAA يقيس درجة الفلورة flourescence عند تعريض المحلول لأشعة فوق بنفسجية عند طول موجة معينة وهى nm٢٨٠.

التأثيرات الهامة للاوكسينات وبعض التطبيقات الاقتصادية لها

للاوكسينات تأثيرات كثيرة على النباتات الزهرية وأهمها مايأتى:

١ـ استطالة الخلايا: Cell Elongation

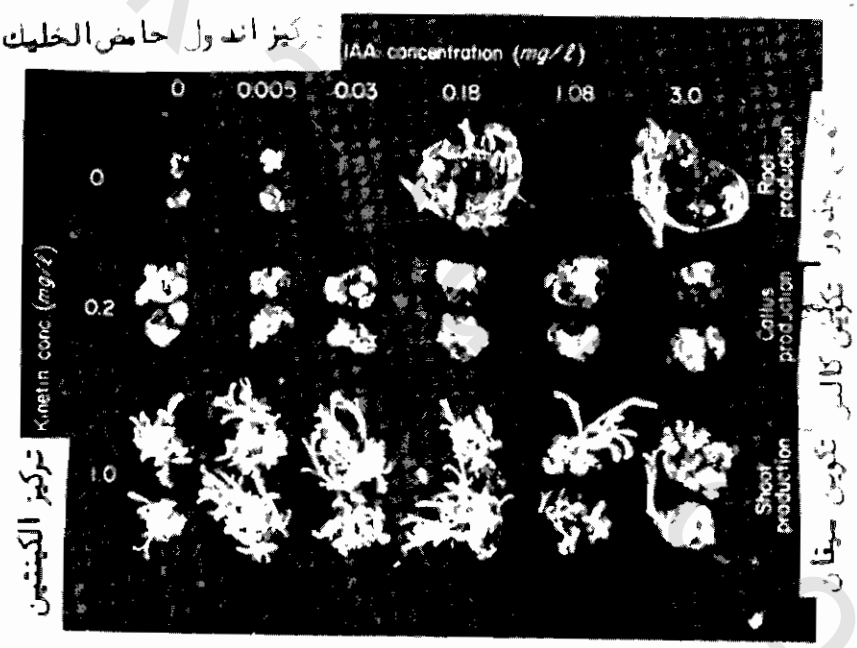
من المعروف أن الاوكسينات تسبب استطالة للخلايا وكبرها فى الحجم حيث تؤثر على الجدار الخلوى. وقد وجد علاوة على ذلك أنها عامل فعال فى تكوين mRNA وأنه لابد من وجود الاوكسين لكى يتكون هذا الحامض النووى بحالة عادية ومن المعروف أن هذا الحامض النووى مع الانواع الاخرى تشترك فى تخليق البروتين والذى يلزم تكوينه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

٢ـ 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 ـ لقد وجد فى تجارب Skoog and Miller أن وجود كل من الاوكسين والسيتوكينين هام لحدوث انقسام الخلايا وتكوين الكالس أو تكوين جذور أو تكوين سيقان(مجموع خضرى) ومعنى ذلك أنه يوجد interaction بين الاوكسينات والسيتوكينينات لتحدث النموات السابقة (شكل ٩٣).

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



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

الكامنة وتبدأ فى النمو وهى مراكز نشطة لتخليق الاوكسينات حيث تنتقل الاوكسينات من هذه البراعم الى الافرع والسيقان ومن المعروف أنها مسئولة عن النشاط لخلايا الكامبيوم وأنها أساسية لتكوين وتشكل خلايا نسيج الخشب بينما الجبريللينات تنشط فى ذلك الوقت أيضا ولكنها هى المسئولة عن تكوين وتشكل خلايا اللحاء. وكما سبق أن درسنا أن التغليظ 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 الجبريللينات هى المسئولة عن تكوين وتشكل خلايا اللحاء. وقد أمكن اثبات ذلك كل على حدة باختبار تأثير الاوكسينات على حدة واختبار تأثير الجبريللينات على حدة وذلك خارج النبات وذلك باستعمال مزارع الأنسجة.

جـ ـ أنواع التطعيم المختلفة تعتبر أيضا حالة تطبيقية لوجود الاوكسين. فمن المعروف فى كثير من أشجار الفاكهة يستخدم أصل ويكون له جذور، ويستخدم هذا الاصل لان له مميزات لاتوجد أو لا تتوفر فى الطعم ومثال ذلك مقاومة الاصل للامراض أو له مميزات لاتوجد أو لاتتوفر فى الطعم. وعن وضع الطعم على الأصل فإنه ضرورى لنجاح عملية التطعيم أن يتكون فى منطقة الإتصال بين الأصل والطعم أنسجة وعلى الأخص وبالضرورة وجود أنسجة وعائية أى تحتوى على كل من نسيج الخشب واللحاء لكى 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 فى 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 الطبيعة 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 والتى تتسبب 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 ٨-١٠سم 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 تتسبب عن النيماتودا nematodes وهى المسئولة عن حدوث العقد والتدرنات الكثيرة التى توجد على الجذور والمسبب لذلك هى أنواع من النيماتودا 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 فى كثير من النباتات الإقتصادية نلجأ إلى زراعة هذه النباتات وذلك بواسطة العقل كما يستعمل كثيرا فى نباتات الفاكهة وبعض نباتات الخضر ونباتات الزينة وبعض أشجار الغابات فقد وجد أن غمر العقل الساقية وقد تكون أيضا عقل ورقية كما فى بعض نباتات الزينة فى محلول مخفف من الأوكسينات ويمكن أيضا بدلا من الغمر فى المحاليل يمكن معاملة العقل بمسحوق من الأوكسين، وعامة فهذه طرق مختلفة للمعاملة وتستعمل هذه المعاملات المختلفة لتشجيع تكوين الجذور العرضية على العقل الساقية وبالتالى يساعد ذلك فى نجاح عملية التعقيل والزراعة بالعقل. فقد وجد أن الأوكسينات تساعد على تنشيط خروج الجذور العرضية وبالتالى سرعة خروجها وهذا عامل محدد هام فى نجاح الزراعة بالعقل. حيث أن التأخير فى 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 عادى نتيجة لسرعة خروج الجذور العرضية. وقد وجد فى كثير من الحالات أن النباتات التى يتم اكثارها بالعقل يمكن فيها نجاح هذه العملية إلى درجة أكبر عند معاملتها بالأوكسينات ومن أهم الاوكسينات المستعملة فى هذه الحالة اندول حامض البيوتريك ونفثالين حامض الخليك.

وقد وجد فى بعض الحالات أن معاملة العقلة الساقية بمخلوط من أكثر من أوكسين يساعد بدرجة كبيرة جدا على كفاءة خروج الجذور العرضية عنه اذا استعمل أحدهما فقط. ومثال لذلك فى العقل الساقية لنبات camellia فإن معاملة العقل الساقية بمخلوط من اندول حامض البيوتريك مع نفثالين حامض الخليك فإن ذلك يساعد على خروج الجذور بدرجة كبيرة. وهذا لايعنى أن أى نبات يمكن أن نزرعه بالعقلة بعد معاملتها بالأوكسينات فإن كثير من النباتات التى لاتكون الجذور العرضية بسهولة ولاتنجح فيها عملية التعقيل تماما فإن المعاملة بالأوكسينات لاتفيد أيضا. وقد وجد فى حالات أيضا عكس ماسبق أن معاملة العقل الساقية والتى تكون الجذور العرضية بكفاءة عالية نسبيا بواسطة أوكسين فإن ذلك يقلل من كفاءة تكوين الجذور العرضية. والتعليل لذلك فى هذه الحالة الأخيرة أن العقل الساقية تحتوى على تركيز من الاوكسين إلى حد ما مناسب وأن اضافة كمية أخرى من الاوكسينات قد تسبب تأثير عكسى. معنى ذلك أنه عند استعمال الاوكسينات فى الزراعة بالعقل لابد أن نكون على علم بفاعلية الاوكسينات فى 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 الابطية 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 الابطية الكامنة الموجودة أسفلة 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 الابطية 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 أزيلت قمته ونمو للبراعم الأبطية.

جـ - مكعب آجار به أوكسين وضع على القمة المقطوعة وعدم نمو للبراعم الأبطية

والتعليل للظاهرة السابقة أن البرعم الطرفى 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 أوكسينات من البرعم القمى فنتيجة لذلك يزداد تركيز الاوكسينات فى هذه البراعم الابطية عن الحد المناسب فتمنع نموها ونتيجة لذلك تحدث ظاهرة السيادة القمية.

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

أ- تخزين درنات البطاطس بكفاءة عالية حيث أن من المعروف أن درنة البطاطس هى عبارة عن ساق وعليها عيون وكل عين به برعم خضرى أو أكثر وأنه فى 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 فى نهاية مدة التخزين أن هذه البطاطس النابتة عديمة القيمة الاقتصادية تماما ولايمكن بيعها ونتيجة لذلك فقد أمكن رش درنات البطاطس بأوكسين اندول حامض البيوتريك أو نفثالين حامض الخليك وقد أمكن بذلك تخزين البطاطس لمدد تتفاوت من سنة إلى ٣ سنوات دون أى نمو وإنبات للبراعم وبذلك تكون القيمة التسويقية والإقتصادية للبطاطس بعد التخزين كبيرة.

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

ألا أن النظرية الحديثة نسبيا فى حالة السيادة القمية أنه يوجد أيضا تداخل بين عمل الاوكسين من ناحية تنشيط نمو البراعم والسيتوكينيات التى تصل البراعم السفلية فأنها تضاد وتثبط عمل الاوكسينات ومثال ذلك مرض مكنسة الساحرة.

٤- سقوط الأوراق Leaf Drop والأزهار والثمار الصغيرة:

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

حالات ضعف الورقة وقلة الكفاءة فى عمليات التحول الغذائى ينتج عنه قلة فى تكوين الاوكسينات وبالتالى يكون تركيزها مساوى أو أقل من تركيزها فى الساق ونتيجة لذلك يتكون عند قاعدة الورقة عند مكان اتصالها بالساق منطقة مختلفة فى تركيبها التشريحى وتعرف هذه المنطقة بمنطقة الانفصال وهى تعتبر نقطة الضعف فى 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 مزارعى 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 فى النباتات السابقة فإنه فى 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 فى الدول الغربية بالذات فإن رش النباتات السابقة بالأوكسينات المناسبة يساعد على عدم تساقط الثمار وجمعها فى مدة واحدة فى 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 وبالتالى فإنها عكس ماسبق عند رشها على النباتات تساعد على سقوط الأوراق، ومن هذه المضادات المركبات trans cinnamic acid وأيضا2,4,6-trichlorophenoxyacetic acid (2,4,6-T).

ويمكن تطبيق هذه الظاهرة اقتصاديا فى 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 فى وجود الأوراق فإن الأوراق وخاصة الجافة ستلتصق بشعر القطن ويصبح القطن عديم الجدوى تماما وليست له أى قيمة اقتصادية. وتسمى هذه المركبات التى تسبب تساقط للأوراق بالـ defoliants أى المسببة لتساقط الأوراق.

٥- خاصية الاختصاص فى قتل النباتات Selectivity وعلاقتها بمبيدات الحشائش Herbicides:

يعتبر من أوائل المركبات التى اكتشفت كمبيد للحشائش وكان له خاصية اختيارية فى قتل النباتات دون الأخرى هو حامض الكبريتيك حيث وجد أنه لايؤثر على نباتات الحبوب ولكنه يسبب موت للنباتات ذات الأوراق العريضة ولكن لايستعمل هذا الحامض نتيجة لتأثيره الضار على النباتات والإنسان والحيوان.

وابتداء من سنة ١٩٣٩ وعند بداية الحرب العالمية الثانية ابتدأ العلماء فى الدول المختلفة ولأغراض عسكرية وكان فيها سرية تامة كانوا فى احتياج لإنتاج منظمات للنمو نباتية لها اختيارية فى السمية والقتل فى 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 فى القتل حيث أنه يقتل النباتات ذات الفلقتين أى ذوات الأوراق العريضة ولايقتل النباتات ذوات الفلقة وهو يمكن أن يستعمل كمبيد حشائش فى 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 فى تركيزات عالية نسبيا يسبب موت وقتل للنباتات. وماسبق يتضح أنه فى بعض المعاملات الزراعية المطلوبة فيستعمل محلول مخفف من 2,4-D بكفاءة عالية. وبالرغم من أن اكتشاف 2,4-D منذ حوالى ٥٥ سنة فأنه يعتبر أول مركب فعال واقتصادى اكتشف كمبيد حشائش أوكسينى اختيارى 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 البلازمى.

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 فى تفاعلات جانبية لتلغى تأثيره كما هو الحال فى IAA. ولذلك فإن 2,4-D يستمر لمدة أطول من مركبات IAA حيث يحدث فيها التغيرات السابق ذكرها.

ومثال آخر للمركبات الأوكسينية التى 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 والتى درست

بالتفصيل 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 فأن 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).

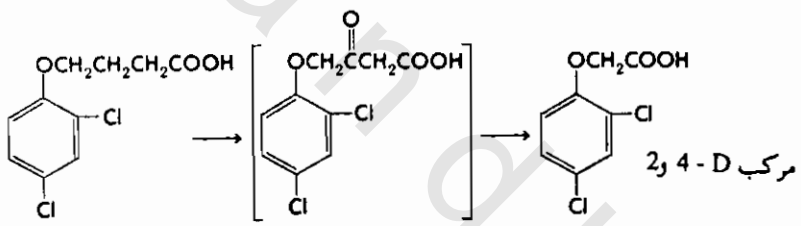
٦- نمو المبيض وتكوين الثمار بكريا:

من المعروف أنه لابد 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 وتحوله 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 ويكّون 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 لايحدث نمو للتخت ويظل ضامر. وعند معاملة التخت بـB-naphthoxy acetic acid بعد ازالة مبايض الازهار فإن التخت ينمو تماما وبطريقة عادية ومن ذلك يتضح أن عملية التلقيح والاخصاب للكرابل الموجودة على التخت لازمة لنموه وأن هذه العملية راجعة إلى التنشيط الهرمونى البحت.

ومن المعروف أن النباتات التى تتكون ثمارها بكريا مثل البرتقال أبو سرة والجوافه البناتى والموز تحتوى مبايض أزهارها على تركيز عالى من الاوكسينات ولذلك لاتحتاج هذه المبايض إلى التلقيح والاخصاب. ومن المعروف أن تكوين الاوكسينات يحدث تنشيطه نتيجة لأحد ٣ حالات هى نتيجة للتلقيح يحدث تنشيط لتكوين الاوكسينات أو نتيجة للاخصاب أى اندماج النواة الذكرية 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 لايمكن فى جميع مبايض أنواع الازهار تحويلها إلى ثمار بل تحدث هذه العملية بكفاءة عالية فى بعض النباتات ولاتحدث فى النباتات الأخرى حيث أن النباتات الأخيرة لابد من حدوث عمليتى التلقيح والاخصاب لتكوين البذور وأيضاً لتكوين الثمار. وجد فى حالات أخرى أنه لايمكن انتاج الثمار بكريا فى وجود اوكسينات فقط ومثال لذلك ثمار بعض أصناف التفاح لابد من رش المبايض بكل من الاوكسين والجبريلين لكى تتكون الثمار بكريا ولكن فى حالات أخرى من أصناف التفاح يكفى الجبريللين.



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

الجبريللينات GBBERELLINES

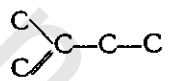
مقدمة تاريخية عن اكتشافها:

يرجع الفضل الى اكتشاف الجبريللينات 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 تعطى نباتات طويلة لاتعطى أزهار بالكمية الكافية كما أنها لاينتج منها حبوب أو تتكون حبوب أرز ضامرة عديمة القيمة الاقتصادية. وقد اشتكى المزارعون من هذه الظاهرة كثيرا. وفى 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 سمى هذا المرض باسم foolish seedling disease مرض البادرة الحمقاء كما سمى 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 الأ 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 بالجبريللينgibberellin منسوبا 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 الأ بعد قيام الحرب العالمية الثانية وانتهائها ففى حوالى سنة ١٩٥٠ تنبه العلماء الغربيون لهذه البحوث القيمة وقد نشط كل من العلماء الامريكان 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 سمى العالم الانجليزى هذا المركب باسم حامض الجبريلليك gibberellic acid. وقد توالت البحوث بعد ذلك حيث أمكن عزل مركبات مختلفة للجبريللينات من فطر الفيوزاريم وأيضا من النباتات الراقية وفى فترة قصيرة نسبيا وصل عدد هذه المركبات الى أكثر من ٢٠ مركب وقد سميت هذه المركبات باسم gibberellin 1 (GA_1) و gibberellin 2 (GA_2) وكذلك gibberellin 3 (GA_3) وهكذا تسمى هذه المركبات بأعطاء أرقام حتى جبريللين٢٠ ولكن بتقدم طرق الفصل وطرق الكيمياء التحليلية فقد قفز هذا العدد الآن من مركبات الجبريللين الى أكثر من

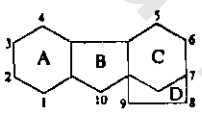
٥٠ مركب جبريللينى. وهذه المركبات لها هيكل أساسى واحد ولكنها تختلف فى موقع عدد الروابط المزدوجة الموجودة فى الجزىء وأيضا فى موقع مجموعة OH، وغيرها من المجاميع.

تعريف الجبريللينات:

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



Isoprene unit (5-C)



gibbane حلقات جزيء

(شكل ٩٦): تركيب هيكل gibbane وتركيب isoprene unit

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

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

ومن ذلك يمكن القول أن تركيز الجبريللينات مهم لتحويل النباتات القزمية الى نباتات عادية الطول وأيضا نوعية الجبريللينات مهمة فى حدوث هذا التأثير. بالاضافة الى الفرقين الرئيسين بين الاوكسينات والجبريللينات كما سبق ذكره وهما الفرق فى التركيب والتأثير على النبات السليم أو المقطوع فانه توجد فروق رئيسية أخرى أهما مايأتى:

	أوكسينات	جبريللينات
١ـ الانتقال القطبى	نعم	لا
٢ـ تشجيع تكوين الجذور	نعم	لا
٣ـ تثبيط نمو البراعم الابطية أسفل البرعم الطرفى	نعم	لا
٤ـ التأثير على الاجزاء الساقية المقطوعة	نعم	لا
٥ـ حدوث epinasty (التحول من زاوية حادة إلى زاوية منفرجة فى وضع الأوراق على الساق)	نعم	لا

	أوكسينات	جبريللينات
٦ـ تشجيع انبات البذور وكسر طور السكون	لا	نعم
٧ـ تحويل النباتات القزمية الى نباتات عادية الطول وأيضا استطالة غمد الورقة للنباتات النجيلية	لا	نعم

تخليق الجبريللينات:

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

١ـ يتحول mevalonic acid الى isopentenyl pyrophosphate

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

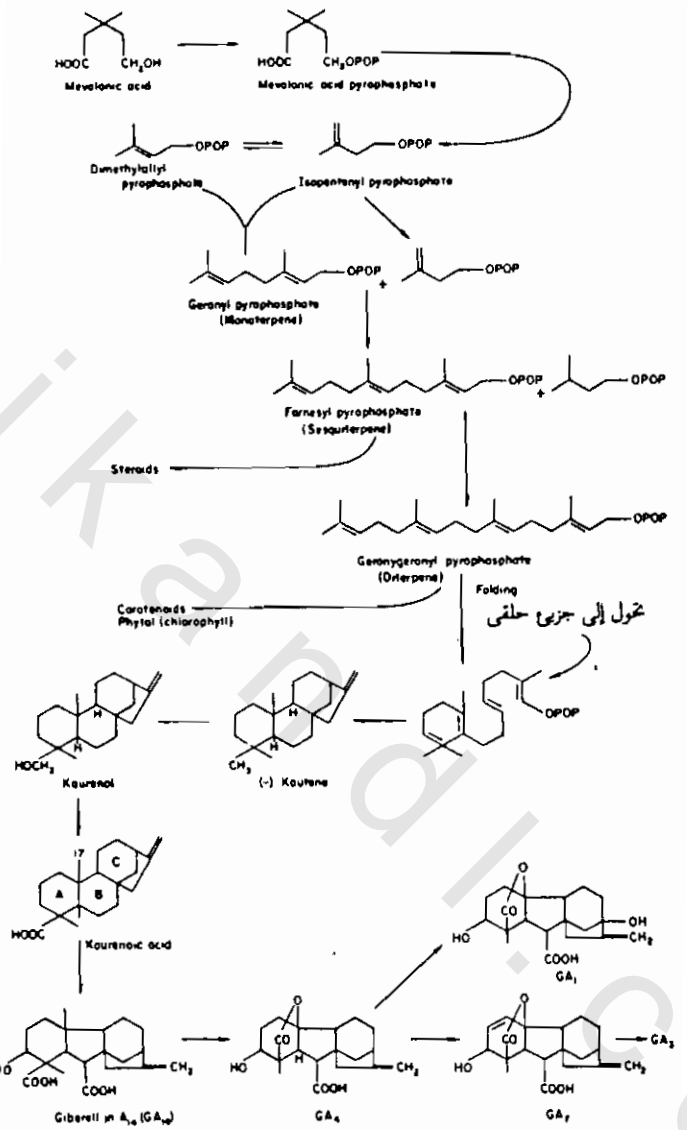
٣ـ يتحول المركب الاخير لتكوين مركب kaurine وذلك بأن يصبح المركب حلـقى أى يحدث له عملية cyclisation.

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

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

ومن الملاحظ أن عملية تحويل الجبريللينات من مركب جبريللينى 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. أمّا الخطوات التى تلى ذلك أمكن اثباتها باستعمال راشح فطر الفيوزاريوم الذى يحتوى على انزيمـات خاصة



(شكل ٩٧) : خطوات تخليق الجبريللينات

بتحويل الكاورين الى مركبات الجبريللين المختلفة وأيضا أمكن أثباتها فى مستخلصات النباتات الراقية.

كيفية التخلص من تأثير الجبريللينات:

من المعروف أن الجبريللينات عند وجودها بتركيزات كبيرة نسبيا لاتؤثر تأثير ضار على النباتات بينما العكس صحيح فى حالة الاوكسينات. وكذلك نجد أن سرعة تحول مركبات مثل IAA المعاملة بها النباتات تكون كبيرة وينتهى تأثيرها أو مفعولها فى النبات بعد وقت قليل نسبيا بينما فى حالة الجبريللينات فانه يستمر تأثيرها وفاعليتها لمدة أطول بكثير بالمقارنة بمركبات الاندول الاوكسينية ومن المعروف وكما سبق ذكره أنه توجد تفاعلات عديدة تقلل من تأثير وتركيز وفاعلية مركبات الأندول الأوكسينية كما سبق ذكره ولكن بعض هذه التفاعلات غير واضحة أو ملموسة فى الجبريللينات. من المعروف أن الجبريللينات ترتبط مع أنواع من السكريات وهذه المركبات تعرف باسمglycosides فمن المعروف أن الجبريللين يرتبط بالجلوكوز ليكون gibberellin-glucoside (شكل ٩٨) وينتج عن ذلك تثبيط لتأثير الجبريللين inactivation. وقد وجد أن الجبريللينات فى المحلول وفى وجود بيئة حامضية وخاصة مع درجات الحرارة العالية فان الجبريللين يتحلل الى ثلاثة مركبات وهى:

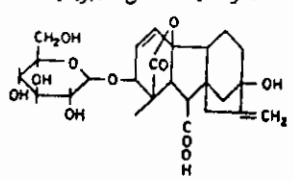
١ـ gibberic acid.

٢ـ allogibberic acid.

٣ـ gibberellinic acid.

المركب الأول عديم الفاعلية فى نشاطه كمركب جبريللينى أمّا المركبين الآخرين فان لهما نشاط ضعيف كمركبات جبريللينية.

جلوكسيد حامض الجبريلليك



(شكل ٩٨): التركيب الجزيئى للجلوكوسيد

أنواع الجبريللينات:

الجبريللينات على العكس تماما من الاوكسينات والسيتوكينينات ففى كل من السيتوكينينات والاوكسينات يوجد مركبات طبيعية ومركبات تركيبية ولكن فى الجبريللينات فانها كلها مركبات طبيعية ولذلك فان جميع الجبريللينات عبارة عن هرمونات نباتية.

وقد وجد أن الجبريللينات تختلف فيما بينها أساسا فى الروابط المزدوجة من حيث عددها ومكانها وأيضا مجموعات COOH و OH و CH_3 من حيث عددها ومكانها.

من أهم مركبات الجبريللين المستعملة فى الاغراض الزراعية هو مركب GA_3 والذى يسمى باسم حامض الجبريلليك 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 كمركب جبريللينى. ولكن حديثا أمكن استخدام بعض من المخاليط من الجبريللينات لاغراض زراعية الأ أن هذه المخاليط تكون مكلفة وباهظة التكاليف مثل مخلوط GA_4 و GA_7.

كما سبق القول الجبريللينات المختلفة تختلف فى تأثيرها فقد وجد أن GA_1 و GA_3 و GA_4 تسبب استطالة السويقة الجنينية السفلى لبادرات الخيار فى حين أن GA_8 ليس له أى تأثير فى ذلك. ومثال لحالة أخرى أيضا فقد وجد أن GA_7 يساعد على الازهار لنبات *Silene* فى حين أن GA_3 ليس له أى تأثير فى ذلك. وجد أيضا أن الاعمار المختلفة للنبات تتأثر بدرجات مختلفة بالمركبات الجبريللينية.

أماكن تخليق الجبريللينات فى النباتات:

تخلق الجبريللينات 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 جبريللينات.

انتقال الجبريللينات:

الجبريللينات ممكن 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 الجبريللينات:

توجد طرق عديدة أهمها مايأتى:

١ـ 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 قياسى standard curve ومن هذا المنحنى يمكن تقدير تركيز مركب الجبريللين المراد اختباره.

٢ـ طريقة التحليل الورق الكروماتوجرافى Paper Chromatograghy:

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.

٣ـ طريقة التحليل الكروماتوجرافى الغازى Gas Chromatography:

فى هذه الحالة تحقن العينة فى الجهاز وكما سبق ذكره فى الاوكسينات فان هذه العينة تمر على الاجزاء المختلفة للجهاز وبعد خروجها من العمود column تستقبل على جهازmass spectrometer وفى هذا الجهاز يحدث تأين لجزئيات الجبريللين وينتج عن ذلك أيونات جبريللين جزيئية molecular ions . وتكوين هذه الايونات فى الجهاز نتيجة لعملية التأين أو نتيجة لعملية الاصطدام بالالكترونات electron impactونتيجة 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.

٤ـ طريقة تقدير السكريات المختزلة Reducing Sugars:

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

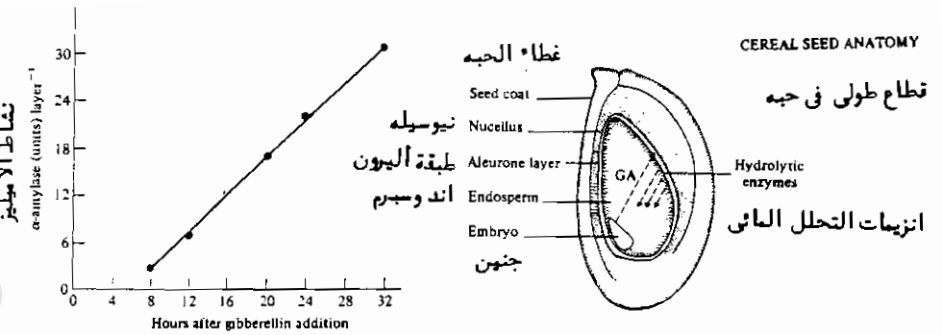
يحدث أى تحليل للنشا فى الحبة ولكن عندما أزيل الجنين وعوملت الحبة المنزوعة الجنين بماء يحتوى على مركب جبريللينى فقد حدث تحليل للنشا فى عدم وجود الجنين. ومن التجربة السابقة ثبت أن الجزء الوحيد فى الحبة القادر على افراز الجبريللين هو الجنين. وقد وجد أن الجبريللين يفرز من الجنين بعد تخليقه وينتقل الى طبقة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

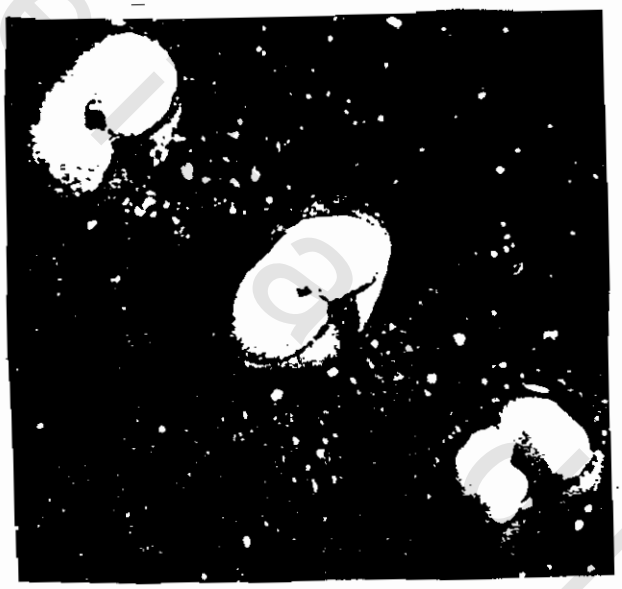
وفى هذه الطريقة تستعمل حبوب شعير أو قمح وتنزع منه الجنين ثم تعامل الحبوب بالمركب المراد اختباره وفى نهاية التجربة اذا وجد كمية من السكريات المختزلة أكبر من الكمية الموجودة فى المقارنة الغير معامل كان ذلك دليل على وجود الجبريللينات(شكل ٩٩). يمكن تقدير تركيز السكريات المختزلة بأى طريقة مناسبة من الطرق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

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

أجريت تجارب كثيرة لمعرفة ميكانيكية عمل الجبريللينات ومن المعروف أن الجبريللينات لها تأثيرات عديدة مثل استطالة الخلايا وانقسام الخلايا وتشكل الخلايا وانبات البذور وكسر طور السكون. الاّ أن الحالة الوحيدة المدروسة بالتفصيل لميكانيكية 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 ولاتتكون 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 لايحدث تحليل للنشا أى أنه لايتكون البروتين ولايتكون 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 الـ mRNA من DNA ولاثبات 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 معامل بالماء كمقارنة (أسفل).

نصف حبة معامل بالجبريللين بتركيز ١ جزء فى البليون (وسط).

نصف حبة معامل بالجبريللين بتركيز ١٠٠ جزء فى 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 فى هذه البيئة الصناعية وبالكشف عن هذا البروتين بواسطة طريقة immunoelectrophoresis فقد أتضح أنه عبارة عن انزيم ألفا أميليز. مما سبق يتضح أن الجبريللين فعال فى تكوين mRNA من DNA.

أما عن تأثير الحموضة فى النبات على استطالة الخلايا فانها غير مدروسة بالتفصيل كما هو الحال فى 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:

١ـ تسبب الجبريللينات استطالة للخلايا كما سبق ذكره.

٢ـ تساعد الجبريللينات على انقسام الخلايا وذلك كما سبق ذكره فى الاوكسينات حيث أنها تساعد على تكوين بعض الانسجة الثانوية أثناء التغليظ الثانوى.

٣ـ الجبريللينات مسئولة عن تكوين mRNA من DNA وبالتالى عن تخليق البروتين فى وجود السيتوكينينات.

٤ـ تستعمل الجبريللينات فى مزارع العنب البناتى حيث أن معاملة نباتات العنب ورشها بالجبريللين يساعد على أعطاء نمو قوى ومتجانس للنباتات كما أنه يساعد على انتاج ثمار عنب بناتى كبيرة الحجم حيث أنه يساعد على استطالة أعناق الازهار والثمار وبالتالى تتكون ثمار عنب بحجم كبير مناسب.

٥ـ رش نباتات الكريز بالجبريللينات يساعد على الازهار وتحسين صفات وخواص الثمار.

٦ـ رش نباتات الكمثرى والتفاح بحامض الجبريلليك يساعد على العقد وحدوثfruit seting . وخاصة فى الظروف البيئية الغير مناسبة لذلك.

٧ـ رش أشجار الموالح بالجبريللين لمنع شيخوخة وتدهور القشرة يساعد على تخزينها على الأشجار لمدة طويلة وبذلك تطول فترة موسم التسويق.

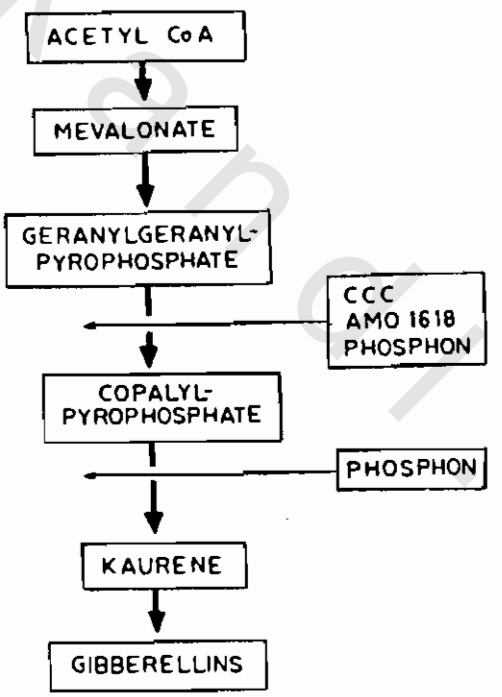
٨ ـ رش نباتات الخيار التى تكون أزهار مؤنثة فقط بالجبريللين يساعد على تكوين نسبة من الأزهار المذكرة وبذلك يحدث التلقيح للنباتات المؤنثة المجاورة وتنتج البذور المرغوبة هجينF_1.

٩ـ يساعد الرش بالجبريللين على زيادة طول ساق نبات القصب وبالتالى سيزيد المحصول نتيجة لزيادة الطول فى الساق وعلاوة على ذلك فان تركيز السكر يكون ثابت ومن ذلك يتضح أن انتاج السكر من الفدان الواحد يزيد نتيجة لرش النباتات بالجبريللين.

١٠ـ 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 هى الاساس فى حدوث عملية التخمر لينتج منها البيرة. وقد وجد أن اضافة الجبريللين أثناء أنبات حبوب الشعير يساعد على تكوين أنزيم ألفا أميليز وبالتالى فأن المولت يتكون بسرعة أكبر.

تأثير معوقات النمو(مضادات الجبريللينات):

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



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

ولهذه المركبات تأثيرات مختلفة أهمها مايأتى:

١ـ فى حالة نباتات العائلة النجيلية عند التسميد الازوتى الغزير فان هذه النباتات تستطيل لدرجة كبيرة مما ينتج عنه ضعفها وطراوة فى 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 فى المحاصيل النجيلية مثل القمح.

٢ـ وجد أن معاملة نباتات الزينة مثل أنواع الكريزانثيمم والليلى lily بهذه المركبات يسبب قصرها وذلك مرغوب فيه من الناحية الاقتصادية لهذه الازهار حيث أنه يفضل أن يكون الطول بين ٣٠ـ٤٠سم ليلائم وضعها فى الفازات فمعاملة هذه النباتات بأحد هذه المركبات والمسمى A- REST يعطى قصر فى طول الساق دون أن يؤثر على الأزهار.

٣ـ بعض مضادات الجبريللينات 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 الجبريللينات فى 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 فى داخل البرعم فإن الفرع الناتج يكون قصير ويحمل نفس العدد من الأوراق فلا نحتاج إلى التقليم.

مما سبق يتضح أنه توجد مركبات معوقات للنمو كثيرة وهى 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 العكسى بتقليل الطول أو تقليل النمو.

السيتوكينينات 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.

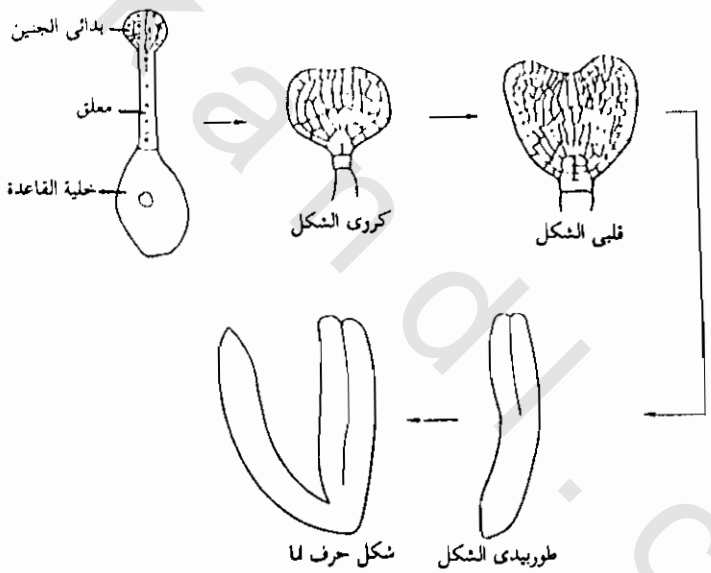
كيفية اكتشاف السيتوكينينات:

من التجارب التى أجريت قديما بصدد دفع خلايا النبات على الانقسام وحدوث 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 الطوربيدى 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 المسماه 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 المنوى فى 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) وان ناتج تحلل لـ DNA وليست الـ DNA نفسه هو الذى يسبب انقسام للخلية وقد استنتجوا أن نواتج تحلل الـ DNA ينتج عنه مركب يؤثر فى انقسام الخلايا. ولم يتمكنوا من معرفة هذا المركب وقاموا بعد ذلك بنشاط ملحوظ لتطبيق هذه القاعدة فقاموا باستخلاص الـ DNA أو الاحماض النووية من مصادر أخرى كثيرة، ولتحليلها قاموا بتعقيمها بالاتوكلاف فيحدث تحلل للمركبات ووجدوا بالفعل أن هذه العينات الحديثة بعد تعقيمها بالاتوكلاف فان ناتج التعقيم كان فعّالا ومؤثرا على انقسام الخلايا. ومن هذه التجارب اتضح بما لايدعوا للشك أن ناتج تحليل الـ DNA مركبات تؤثر وتنشط انقسام الخلايا.



(شكل ١٠١): خطوات تكوين الجنين.

وقد قاموا بالفعل بمحاولات لاستخلاص المركب المسئول عن ذلك، وفى سنة ١٩٥٥ تمكن Skoog ومساعدوه من عزل مركب فى صورة نقية وتركيبه الكيماوى عبارة عن 6-furfuryl adenine وقد سمى هذا المركب تسمية تجارية باسم kinetin وقد وجدوا هذا المركب الاخير لايؤثر فى انقسام الخلايا الأ فى وجود الاوكسين ولكن وجود الاوكسين فقط لايؤثر على الاطلاق فى انقسام الخلايا مما يدل على أن kinetin هو المركب المحدد لذلك فى انقسام الخلايا. ومن المعروف أن كفاءة kinetin تفوق بكثير كفاءة الادنين أو الادينوزين فى انقسام الخلايا.

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

بعض الخواص الهامة للكينيتين:

من المعروف أن للكينيتين تأثيرات كثيرة من أهمها مايأتى:

١ـ أنه بالاضافة الى تأثيره على انقسام الخلايا فأنه يؤثر على تكشف وتميز الاعضاء النباتية وتكوين البراعم ـ 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 فى البيئة الخالية من الاوكسين والكينيتين لايوجد نمو لنسيج ساق نبات الدخان، وفى الحالة الثانية عند وجود تركيز عالى من الأوكسين وتركيز منخفض من الكينيتين فى البيئة فانه يحدث نمو لهذا النسيج ويعطى نمو كالس فقط وفى الحالة الثالثة وعند وجود تركيز عال من الأوكسين ونادر من الكينيتين فانه يتكون جذور (مجموع جذرى). وفى الحالة الاخيرة وعند وضع تركيز من الكينيتين أكبر من الأوكسين فى البيئة فانه ينتج مجموع خضرى فى التجربة السابقة لو وضعنا فى البيئة كينتين فقط بالاضافة الى عدم الأوكسين فلا يحدث نمو.

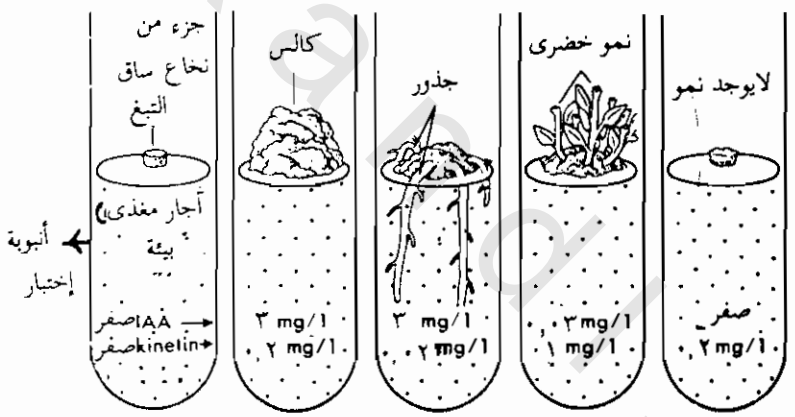
ومن التجربة السابقة يتضح أن الكينيتين هام فى انقسام الخلايا والتشكل وتكوين الاعضاء النباتية.

٢ـ من المعروف أن الكينيتين له تأثير هام فى أنه يضاد الشيخوخة 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 وتدخل فى مرحلة الشيخوخة وفى النهاية تموت.

وفى حالة نبات *Xanthium* وعند نزع ورقة من هذا النبات ووضعها فى محلول به كينيتين فان هذه الورقة تبقى محتفظة بحيويتها لمدة طويلة وذلك بالمقارنة بورقة لم تعامل بمركب الكينيتين حيث تدخل فى مرحلة الشيخوخة وتموت سريعا.

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



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

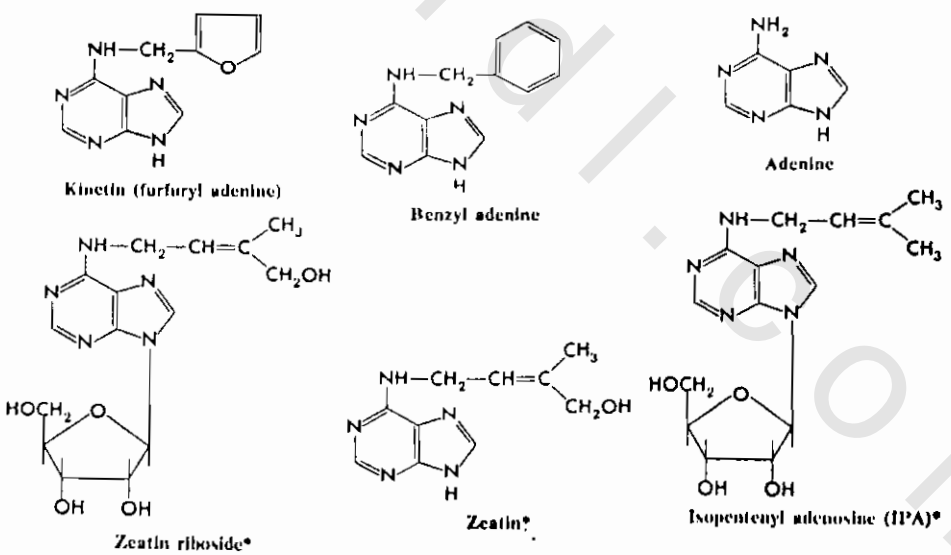
وفى تجربة أخرى عند معاملة جزء دائرى من الورقة بالكينتين وترك الاجزاء الاخرى غير معاملة فان الجزء الدائرى بعد فصله من الورقة يظل محتفظ بحيويته لمدة ولايدخل فى مرحلة الشيخوخة ثم الموت الأ بعد فترة طويلة والعكس صحيح فى باقى الورقة.

من التجارب السابقة يتضح أن الكينتين مضاد للشيخوخة. وقد وجد بالفعل أن المناطق التى يوجد بها الكينتين من الورقة تنجذب اليها السكريات والاحماض الامينية والعناصر من أجزاء الورقة الى الجزء المحتوى على الكينتين وذلك يدل على أن فى 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 بالكينتين.

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

تقسيم السيتوكينينات:

تقسم السيتوكينينات الى سيتوكينيات طبيعية وهى التى تنتج أساسا بواسطة النبات وسيتوكينينات تركيبية وهى التى لاتتكون فى النبات ولكنها تخلق صناعيا (شكل ١٠٣).



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

وعادة تنتج هذه المركبات التركيبية بكثرة لاستخدامها فى الأغراض الزراعية. ومثال ذلك علاوة على الكينتين مركب البنزيل أدينين benzyladenine وهذا المركب يستعمل بطريقة اقتصادية فى رش رؤوس البروكولى للاحتفاظ بحيوية النبات لمدة كبيرة أثناء التسويق.

نبذة تاريخية عن اكتشاف السيتوكينينات الطبيعية:

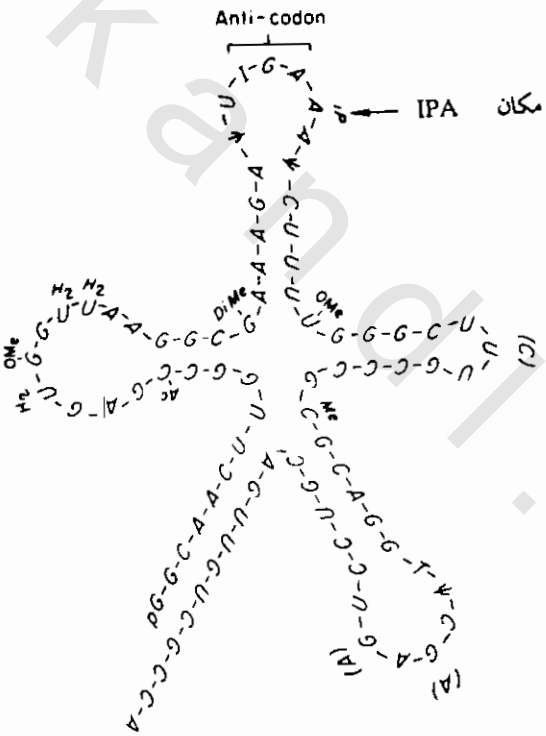
مما سبق يتضح أن اكتشاف السيتوكينينات التركيبية سبق بوقت كبير نسبيا اكتشاف السيتوكينينات الطبيعية فبعد اكتشاف الكينتين حاول كثير من العلماء استخلاص مركبات مماثلة من مصادر طبيعية وأجريت فى ذلك تجارب كثيرة وقد استخدمت فى ذلك ثمار التفاح والكمثرى الصغيرة حيث أنها تكون نشطة فى الانقسام وقد تكون مصدر للسيتوكينينات، كما استعملت بادرات كثير من النباتات حيث أنها أيضا تكون نشطة فى الانقسام. وقد عزلت بعض المركبات وقد كان لها نشاط مؤثر على انقسام الخلايا الا أن أول مركب طبيعى عزل بصورة نقية وعرف تركيبه وتأثيره بالتفصيل كسيتوكينين طبيعى هو مركب معزول من الحبوب الصغيرة للذرة الشامية فى أثناء تكوينها على الكوز ولان الذرة الشامية اسمها *Zea mays* فقد سمى 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 طبيعى 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 فى انقسام الخلايا كما سبق ذكره فى تجارب مزارع الانسجة المذكورة سابقا. والـ 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 السيتوكينيات الطبيعية يكون لها علاقة بالاحماض النووية أو مشتقة منها أو مكملة لها فقد وجد أيضا أنه فى الكينيتين 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 طبيعى عرف كسيتوكينين

كجزء مكمل للاحماض النووية وللنواة واسمه isopentenyl - adenosine ويعتبر هذا أول مركب وجد كجزء مكمل للاحماض النووية من نوع الايزوبنتيل أدينوزين RNA وبالذات tRNAوذلك من ناتج تحلل RNA الخميرة ثم عزل نفس هذا المركب من ناتج تحلل RNA من السبانخ والبسلة. وبعد ذلك وجد أيضا أنه يوجد علاقة كبيرة بين zeatin riboside وبين الموجود فى ناتج تحلل حبوب الذرة السكرية الغير ناضجة. مما سبق يتضح أن هذه السيتوكينينات تكون مرتبطة عادة وأساسا مع tRNAولاتوجد مع mRNA.

وقد وجد أن tRNA لبعض الاحماض النووية يحتاج الى مركب سيتوكينين والبعض الاخر لايحتاج. فمثلا فى حالة tRNA للحامض الامينى سيرين والحامض الامينى تيروسين والحامض الامينى ايزوليوسين تحتاج الى مركب سيتوكينين وهو أيزوبنتيل أدينوزين IPA أو الداى ميثيل ألايل أدينين DMAA. وفى حالة tRNA للحامض الامينى ارجينين وفالين وجليسين وفينيل ألانين لايتكون أو لايحتاج الى مركب سيتوكينينى. أما أهمية المركب السيتوكينينى لـ tRNA فانه لابد من وجوده لكى يحدث ارتباط بين tRNA والجزء المخصص له على mRNA (شكل١٠٤) ولفهم أو شرح ذلك سنشرح بطريقة مختصرة طريقة تكوين البروتين.

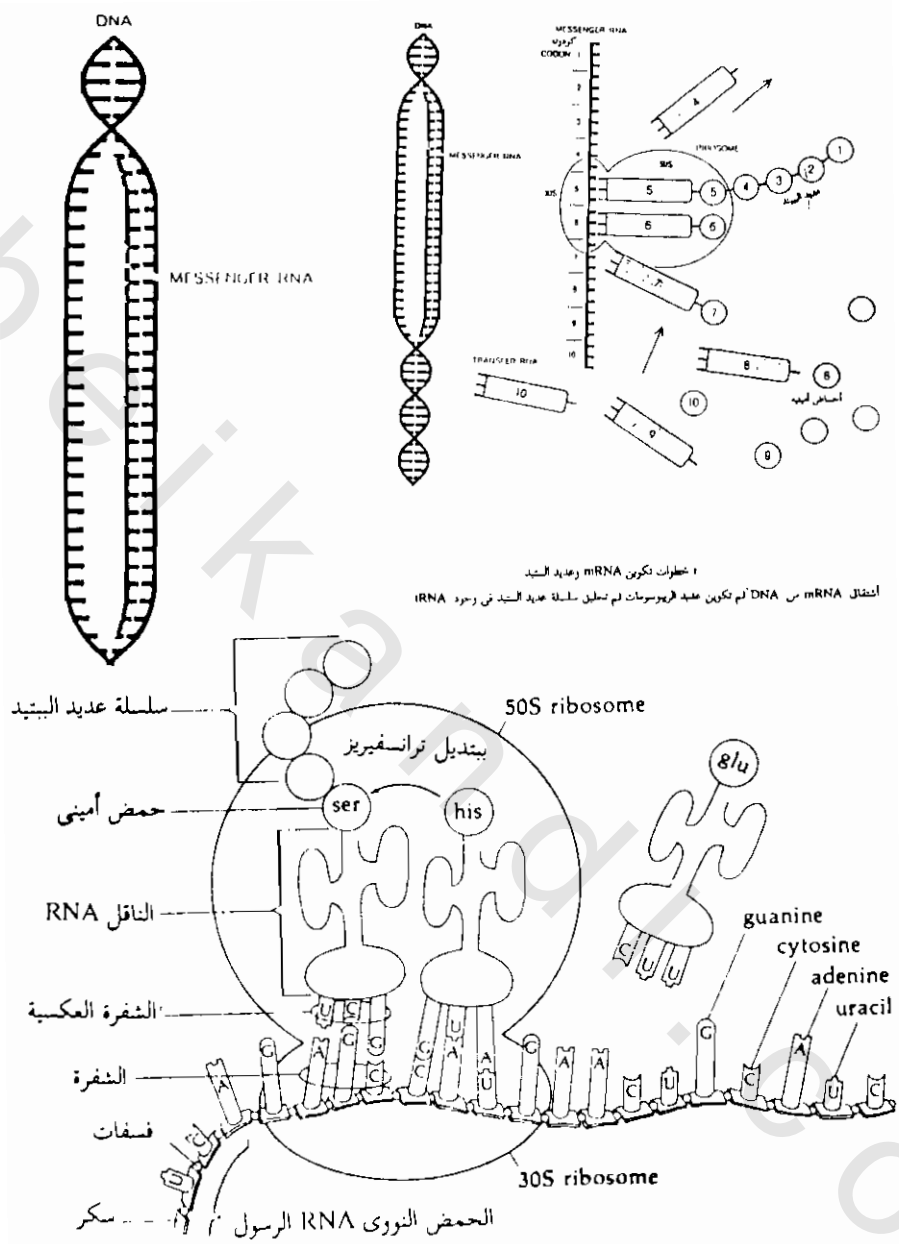


(شكل١٠٤): التركيب الجزيئى لـ tRNA .

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 فى العقد أو السبحة. أما عن tRNA فهى تختلف باختلاف الاحماض الامينية، وكل حامض أمينى له tRNA خاص به. وtRNA يتكون أساسا من ارتباط قواعد نيتروجينية نووية مثل الادينين واليوراسيل والجوانين والسيتوسين. وترتبط هذه القواعد لتكون شكل tRNA وهو فى مجموعة شكل له أذرع عديدة كما فى الشكل. وكما فى 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 خيطى الشكل وكل ثلاث قواعد متتابعة تسمى بالـ codon. و tRNA يحمل فى قمته الطرفية الحامض الامينى الخاص به. وبعد ذلك يتحرك الريبوسوم على الخيط mRNA ليحل على codon آخر لـ tRNA آخر. وفى هذه الحالة يحدث ربط بين الحامض الامينى للـ tRNA الاول والحامض الامينى للـ tRNA الثانى بواسطة رابطة ببيتيدية peptide linkage ثم يتحرك الريبوسوم مرة أخرى على mRNA ليستقبل ثالث tRNAويكون فيه توافق وارتباط بين الـ anticodon والـ codon وينتج عن ذلك حامض أمينى ثالث. وهكذا تتكرر العملية مرّات عديدة ليتكون سلسلة من الاحماض الامينية مرتبطة ببعضها ليتكون منها بعد ذلك مركب البروتين(شكل ١٠٥).

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

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



(شكل ١٠٥): خطوات تخليق ألبروتين.

أماكن وجود وتخليق السيتوكينينات:

السيتوكينينات توجد فى كثير من الخلايا الأ أنها توجد بتركيز عالى فى الحبوب والثمار الصغيرة وأيضا الازهار الصغيرة. وتوجد فى الجذور وفى بعض افرازات الجذور. أمّا عن **أماكن** تخليقها فانه من الثابت أن قمم الجذور تعتبر هى أماكن تخليق السيتوكينينات.

كيفية انتقال السيتوكينينات:

السيتوكينينات وكما سبق ذكره فى الكينيتين غير قابلة للحركة الذاتية immobile ولكن فانها تتحرك أساسا 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 فعلا على كمية كبيرة نسبيا من السيتوكينينات.

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 أساسا للقوة الناشئة عن النتح الأ أن للضغط الجذرى أيضا دور فى صعود العصارة بسيط نسبيا والى ارتفاع بسيط ولذلك لاتظهر ظاهرة الادماء الأ عند قطع ساق النبات على ارتفاعات منخفضة من سطح التربة.

كيفية تكوين السيتوكينين فى النبات:

من المعروف أن السيتوكينين فى النبات ينتج عن تحلل بعض الاحماض النووية ولكن وجد أن تركيزه فى النباتات يكون أكبر بكثير من سرعة تحلل الاحماض النووية لتكوين السيتوكينينات ولذلك فانه من الثابت أنه توجد طرق لتخليق السيتوكينينات 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 السيتوكينينات غير معروفة الآن بالتفصيل أو بالتأكيد.

التطبيقات الاقتصادية للسيتوكينينات:

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

والظاهرة المستعملة لاستخدام السيتوكينينات على نطاق طبيعى اقتصادى هى ان السيتوكينينات مضادة للشيخوخة وبذلك يمكن أن تطيل فى عمر الثمار والنباتات الورقية لمدة طويلة أثناء النقل والتسويق وقد أمكن تطبيق ذلك كما سبق ذكره فى حالة البينزيل 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 الا أنه وجد أن السيتوكينينات 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 للسيتوكينينات:

توجد تأثيرات مختلفة للسيتوكينينات وهى مايأتى:

١ـ من المعروف أنه لتخليق الاحماض النووية DNA و RNA فانه لابد من وجود الاوكسينات والجبريللينات ولكن لابد من وجود السيتوكينينات لحدوث تضاعف لكمية البروتين بتخليقة قبل انقسام الخلية ومن هنا يتضح أنه لانقسام الخلية لابد من وجود أساسا للاوكسينات وأيضا الجبريللينات والسيتوكينينات حيث أن الجبريللينات والاوكسينات تساعد على تضاعف وتخليق الاحماض النووية وأيضا السيتوكينينات تساعد على تضاعف وتخليق البروتينات لكى يحدث انقسام للخلية.

٢ـ تأثير السيتوكينينات على حدوث morphogensis أى تكوين الاعضاء النباتية المختلفة كما سبق ذكره فى تجربة سكوج وميللر.

٣ـ من المعروف أن الأوكسينات تسبب استطالة للخلايا فى حين أن السيتوكينينات فى وجود الاوكسين تسبب إنقسام للخلايا.

حامض الابسيسيك ABSCISIC ACID

كيفية اكتشافه:

درس Addicott ومعاونوه فى الولايات المتحدة سقوط الاجزاء المختلفة للنبات وذلك بمعاملات كيماوية 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 جوهرى 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:

١ـ يتكون حامض الابسيسيك ABA من مركب mevalonic acid.

٢ـ أو يتكون عن طريق أكسدة بعض مركبات xanthophylls وخاصة مركب violaxanthin.

تغير تركيب ABA لتقليل تأثيره:

يحدث للـ ABA فى النبات تحولات كثيرة ونتيجة لذلك يفقد هذا المركب خصائصة ومن ذلك مايأتى(شكل ١٠٦).

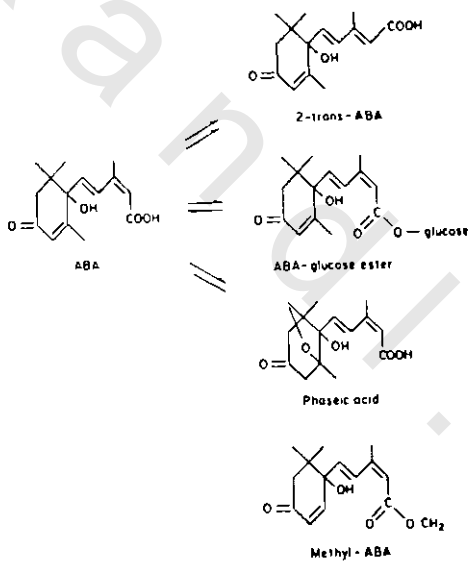
١ـ عن طريق التحويل الضوئى حيث يتحول إلى 2-trans ABA.

٢ـ الاكسدة لتكوين phaseic acid.

المركبان السابقان ليس لهما أى تأثير أو أى نشاط للحامض ABA.

٣ـ ممكن تحويله الى 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 Abscisic Acid (ABA):

ABA أيضا يمكن تقسيمه الى ABA طبيعى وهو الذى يخلق فى النبات وهو ABA + (+ يحول الضوء المستقطب ناحية اليمين). ولكن يوجد ABA تركيبى وهو لايوجد فى الطبيعة بل يصنع فى المعامل وهو racemic ABA (معنى racemic أى خليط ABA +و ـ). 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.

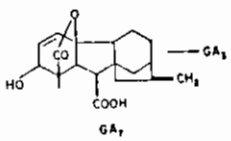
طريقة انتقال ABA:

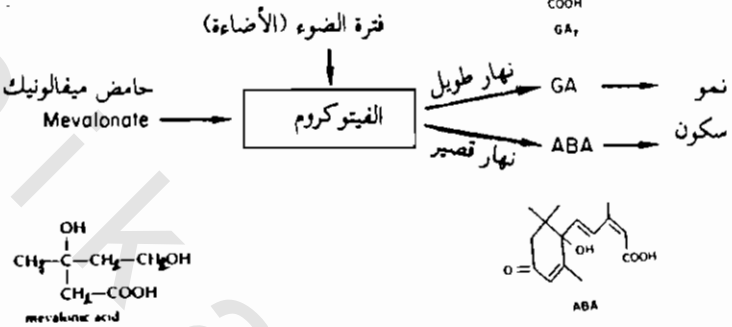
ينتقل ABA أساسا فى اللحاء وهو لايظهر حالة الانتقال القطبى والسرعة تكون ٢٠مم/ ساعة.

تـأثـــيـرات 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 السلامية وانتاج أوراق حرشفية صغيرة بدلا من الاوراق الخضراء العادية كما أن الانقسام الغير مباشر للقمم النامية يقل بدرجة كبيرة جدا مع ملاحظة سقوط بعض الاوراق 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 للانبات بهذا المركب فانها لاتنبت الاّ بعد غسيل البذور جيدا أو معاملتها بالجبريللين أو الكينتين لتساعد فى انباتها ومن ذلك يتضح أن الجبريللين والكينتين يضادا فى تأثيرهما تأثير حامض الابسيسيك. ومما سبق يتضح أن حامض الجبريلليك وحامض الابسيسيك يمكن أن يشتق 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 انتاج واحد دون الآخر عن طريق switching وحيث أن الجبريللينات تتكون فى أيام ذات النهار الطويل وحامض الابسيسيك يتكون فى الايام ذات النهار القصير. فمن المعتقد أن يكون التحكم عن طريق الفيتوكروم ففى 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 ميفالونك.

حامض الابسيسيك وفقد الماء:

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

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

ونجد أن الخلايا المساعدة وغيرها من الخلايا المحيطة بالخلايا الحارسة فى 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 فتترهل وينغلق الثغر وبذلك يقل فقد الماء من النبات وبذلك يتحمل النبات فترات نقص الماء water stress . وعند وضع الماء للنبات فان الخلايا الحارسة لاتفتح مباشرة بل أولا تأخذ وقت معين قبل الانفتاح لكى ينخفض تركيز حامض ABA فى الخلايا الحارسة ثم بعد ذلك ينتقل الى الفجوة العصارية للخلايا الحارسة أيون البوتاسيوم من الخلايا المجاورة وتمتص الخلايا الحارسة الماء وتنفتح الثغور.

ميكانيكية تأثير ABA:

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

obeikandl.com

الأثيلين ETHYLENE

خواص الايثيلين:

الايثيلين عبارة عن غاز خفيف الوزن نسبيا ووزن الجزىء صغير وحجمه صغير وهو عديم اللون ذو رائحة معينة تشبه رائحة الايثير وهو سهل الاشتعال ويساعد على الاشتعال ويشتعل بفرقعة ودرجة غليانه ـ ١٠٣°م ويكون فى الحالة السائلة عند ـ ١٦٩°م.

مصادر الايثيلين:

للايثيلين مصادر عديدة جدا وكثيرة وهى على سبيل المثال وليست الحصر مايأتى:

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

٢ـ جروح النباتات واحتكاك النباتات بالاجزاء الصلبة وعند قطع أجزاء النبات ينتج عنه فى العادة غاز الايثيلين.

٣ـ عند انبات البذور ففى كثير من الحالات ينتج غاز الايثيلين عند انبات البذور.

٤ـ عند جمع النباتات وحرقها فان ناتج الاحتراق وفى الادخنة المتصاعدة تحتوى على نسبة من هذا الغاز تختلف باختلاف النباتات المحترقة والظروف البيئية التى تجرى فيها عملية الاحتراق.

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

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

طرق تخليق الايثيلين:

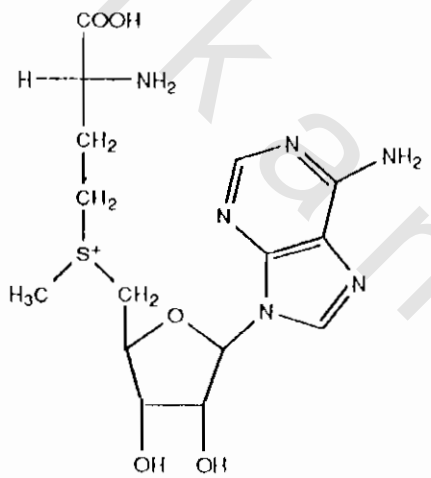
يعتبر من الهيدروكربونات ومن الثابت الآن أن هذا الغاز يتكون من الحامض الامينى ميثونين methionine.

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

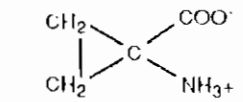
٣و٤ فى الحامض الامينى methionine وهذه هى الطريقة الحديثة (شكل ١٠٨). يمكن تلخيص طريقة تخليق الأثيلين حيث أن الميثيونين يتحول فى وجود ATP إلى مركب (SAM) S-adenosyl methionine ويتحول المركب الأخير فى وجود أنزيم ACC synthetase إلى مركب 1- aminocyclopropane -1- carboxylic acid (ACC) ومن الأخير يتكون الأثيلين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

أماكن تخليق الاثيلين:

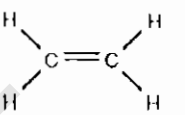
يخلّق فى الثمار أثناء تكوينها وأيضا فى الثمار الناضجة والازهار والبذور والبراعم والجذور والسيقان وسرعة تكوين وتخليق الغاز فى المعتاد تتراوح من ٠,٥ ـ ٥,٠ نانولتر لكل جرام / ساعة. ولكـن فى بعض الثمـار تصل النسـبة الى ١٠٠ نانولتر / جـرام / ساعة وأكبر كمية



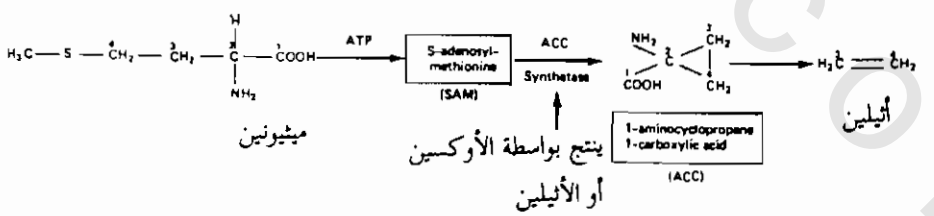
S-adenosyl methionine



1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC)



Ethylene



(شكل ١٠٨): خطوات تخليق الأثيلين.

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

الظروف البيئية التى تؤثر فى تكوين الايثيلين:

١ـ درجة الحرارة العالية والمنخفضة تقلل من انتاج الايثيلين.

٢ـ وجود الاوكسيجين مهم وفى تركيز أقل من ٢ ٪ يتوقف انتاج الايثيلين ولذلك فانه عند التخزين يستعمل درجة حرارة منخفضة وتركيز قليل من الاوكسيجين فان ذلك يقلل من كفاءة الثمار على تكوين الايثيلين وبذلك يطول عمر تخزينها حيث أنه من المعروف وكما سيلى ذكره أن غاز الايثيلين يساعد على انضاج الثمار بسرعة.

٣ـ الجروح وقطع الانسجة وأماكن الاحتكاك تزيد من كفاءة تكوين الايثيلين.

٤ـ وجد فى تخزين ثمار التفاح أن وجود ك أ٢ بتركيز مناسب عالى نسبيا يضاد تأثير الايثيلين وبذلك يساعد على طول مدة وفترة التخزين.

٥ـ للضوء تأثير هام على انتاج الايثيلين عند انبات البذور فعند انبات البذرة يكون الجزء تحت القمى من السويقة الجنينية العليا أو السفلى منحنى hooked ويحدث ذلك لان هذه القمة تنتج اثيلين 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 جزيئى 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 أ٢ فى النبات تماما وأن كل منهما يتبع فى انتشاره فى النبات قانون Fick's للانتشار Fick's law diffusion:

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{dc}{dx}$$

حيث أن: dc = التركيز، و dt = الزمن ،

و dx= المسافة، و D= ثابت الانتشار.

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

ومن المعروف أن الغشاء البلازمى يتكون أساسا من دهون فوسفورية وبروتين وأنه كلما زادت كفاءة المركب فى الذوبان فى الدهن كلما زادت كفاءته على النفاذية من الغشاء البلازمى من وإلى الخلية بسهولة جدا اذ أنه من المعروف أن العامل المحدد فى نفاذية المركبات من وإلى الخلية هو الغشاء البلازمى. كما أن كيوتيكل النبات يمنع خروج الغاز بدرجة كبيرة جدا وبذلك يحافظ على تركيز الايثيلين ثابت بداخل النبات بدرجة كبيرة ولذلك فانه من المعتاد وفى 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 كيماوية بحتة ومنها طرق bioassay أى أنها طرق تستعمل النبات أو أجزاء منه فى تقدير تركيز الايثيلين. الاّ أنه ثبت الآن أن أهم هذه الطرق هو استعمال gas chromatography ولذلك فان جميع الابحاث الحالية التى تجرى على هذا الغاز تجرى بواسطة استخدام gas chromatography وفيما يلى شرح لهذه الطريقة:

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

التأثيرات المختلفة للايثيلين على النبات Endogenous ethylene:

توجد تأثيرات كثيرة لهذا الغاز على نمو النبات أهمها مايأتى:

١ـ 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. والايثيلين لايؤثر على جميع هذه الظواهر بل يؤثر على عملية أنحناء الجزء الطرفى ليكون الشكل الخطافى فقط دون الصفات الأخرى.

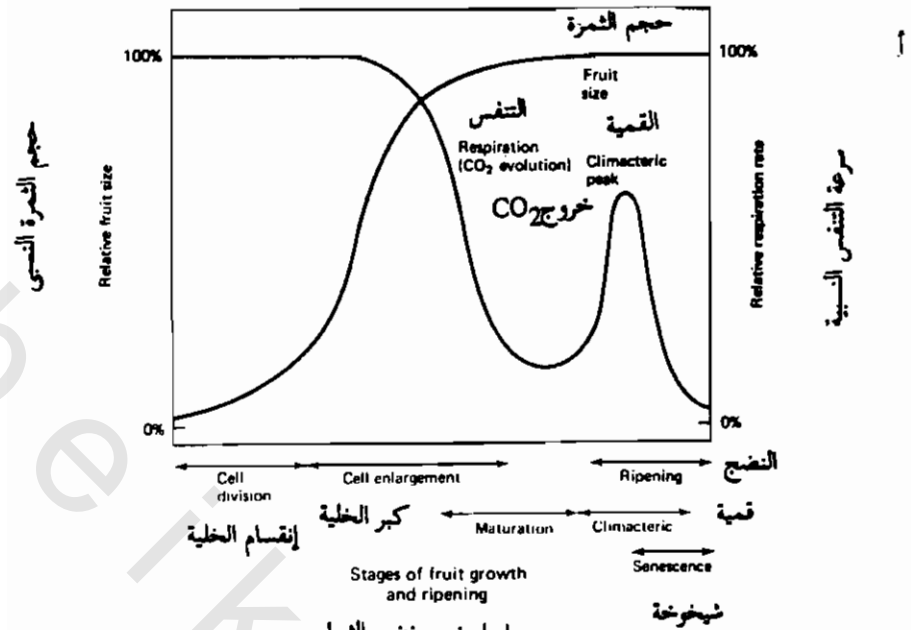
٢ـ نضج الثمار:

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

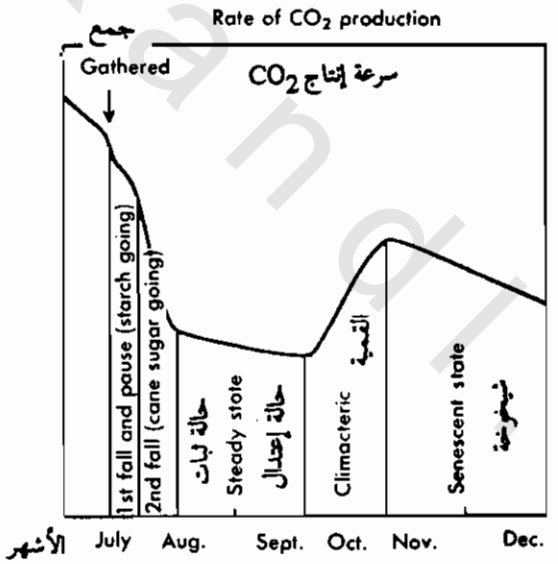
كثير من الثمار مثل التفاح بالرغم من وصولها الى حجمها الطبيعى تكون غير قابلة للاكل لحموضتها وصلابتها والنضج فى التفاح يكون ضرورى وفيه يحدث اختفاء كمية كبيرة من حامض الماليك والذى يسبب عدم نضج الثمرة ويكون طعمها أيضا حامضى أى يسبب الطعم الحامض أيضا وعامة فان كثير من الثمار تنضج بسرعة بعد قطفها وذلك يوضح 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 أ٢ 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 أ٢ 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 مثبطات التنفس أو بتركيز عالى من ك أ٢ أو بتركيزات من غاز النيتروجين أو بدرجة الحرارة المنخفضة وعلى العكس من ذلك فان غاز الايثيلين يساعد على حدوث climacteric والنضج فى الثمار البالغة.

قديما كان من الثابت أن الايثيلين ينتج بعد فترة climacteric ولكن باستخدام جهاز



مراحل نمو ونضج الثمار



(شكل ١٠٩)

أ- نشوء ونضج الثمار والتنفس.

ب - خطوات النضج فى 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 بتعريض الثمار لضغط منخفض مع وجود تركيز عالى من الاوكسيجين وتحت هذه الظروف فان النضج يتأخر.

أمّا 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 الايبوميافى ذبول الازهار.

٣- سقوط الأوراق:

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

سقوط الاوراق يحدث نتيجة لشيخوخة الورقة أمّا 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 والتى

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 والصفيحة الوسطى ولذلك تصبح الخلايا منفصلة ونتيجة لذلك نجد أن ثقل الورقة يسبب 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 والتى 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 والتى 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 الابسيسيك هو أحد هذه المركبات ولكن الرأى الغالب الآن أن حامض الابسيسيك ليس له دور كبير فى سقوط الاوراق.

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

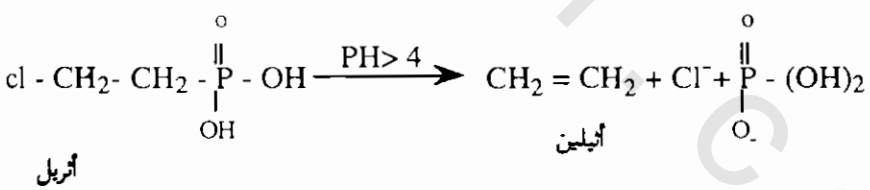
الايثيلين هورمون يسبب سقوط الاوراق وذلك بأسراعه فى حدوث الشيخوخة لمنطقة

الانفصال فانه مسئول مباشرة عن حدوث ذوبان الجدر الخلوية فى منطقة الانفصال فقد وجد أنه يشجع تكوين انزيم السيليوليز 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 فى منطقة الانفصال وتكوين انزيم السيليوليز ولذلك فان منطقة الانفصال من الوجهة الفسيولوجية هى منطقة ذات خلايا متخصصة لاظهار تأثير الايثيلين بوضوح عليها وينتج عن ذلك سقوط الأوراق.

استعمال الايثيلين فى البستنة Horticulture وغيرها من الاستعمالات الاقتصادية:

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

كانت من الحالات المحددة لاستعمال الايثيلين فى الأغراض الاقتصادية أنه موجود فى الحالة الغازية وبذلك يحتاج الى حيز مغلق لكى يستعمل ولكن حديثا أمكن عمل مركبات عديدة يدخل فى 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 ٢ـ كلوروايثايل فوسفونك أسد 2-chloroethyl-phosphonic وقد وجد أن هذا المركب يستعمل كمحلول مائى بتركيز ١٠٠ ـ ٥٠٠٠ جزء فى المليون ويحدث تحرر للايثيلين



أثريل — أثيلين

(شكل١١٠) : تكوين الأثيلين من الأثريل.

فى pH أعلى من ٣-٤ فبعد امتصاص هذا المركب فى خلايا النبات وتكون درجة pH فى هذا النبات أعلى من ٣ - ٤ فإن هذا التفاعل يتم ويتحرر الأثيلين كما فى الشكل (شكل ١١٠).

استعمالات هذا المركب Ethrel:

١ـ عند جرح أشجار المطاط لاخذ 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.

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

٣ـ سرعة سقوط الثمار بواسطة هذا المركب ليسهل عملية الجمع الآلى فى العنب والكريز والموالح.

٤ـ يزيد هذا المركب من انتاج الثمار المؤنثة فى نباتات القرعيات وبالتالى يزيد المحصول فى الخيار والقرع والبطيخ.

٥ـ تشجيع انتاج الازهار وتوحيد موعد النضج فى نبات الاناناس.