

الأوكسينات

Auxins

تعتبر كيفية اكتشاف الهرمونات النباتية هي كيفية اكتشاف الأوكسينات:

كيفية اكتشاف الهرمونات النباتية (منظمات النمو):

كان أول دليل على وجود الهرمونات النباتية هو نتيجة لبحوث وتجارب العلامة داروين Charles Darwin وابنه Francis أثناء تجاربهم على نبات من العائلة النجيلية (شكل ٤٥) هو نبات *Phalaris Canariensis* فقد وجد أن تعريض غمد الريشة coleoptile إلى إضاءة جانبية يؤدي إلى إنحناء الغمد في اتجاه الضوء. كما وجد أن تغطية الغمد بغلاف معتم منع إنحناء قمة البادرة. كما وجد أن تغطية منطقة تحت القمة دون القمة بغلاف معتم لم يمنع إنحناء الغمد وأدى ذلك إلى حدوث إنحناء للغمد. وقد إستنتجوا من ذلك أن قمة الغمد فقط هي القادرة على إستقبال الضوء وتحويله إلى حالة نشطة حيث يظهر تأثيره أسفل القمة، وذكر دارون ذلك في كتابه الذي ألفه سنة ١٨٨١ وأسم الكتاب the power of movement in plants قوة الحركة في النبات. وقد ذكر في هذا الكتاب نتيجة للتجربة السابقة أنه يوجد مادة أو مواد منشطة تنقل من قمة الغمد إلى أسفل حيث تظهر تأثيرها في حدوث الإنحناء (الإنحناء في هذه الحالة يسمى إنتحاء ضوئي موجب phototropism أى أن الغمد ينمو في اتجاه الضوء). وتلى ذلك كثير من العلماء ومن أهمهم ما يأتي:

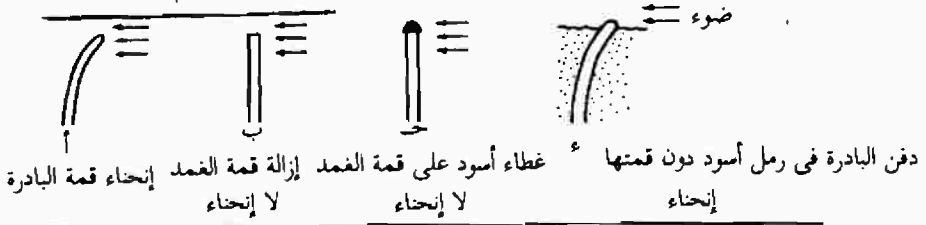
Boysen - Jensen الدانمركى سنة ١٩١٣ حيث أنه وجد أن وضع طبقة من المايكا mica أسفل القمة النامية فى الغمد فى الناحية البعيدة عن الضوء فإنه لا يحدث إنحناء وعندما وضع هذه الطبقة فى الجانب القريب من الضوء حدث إنحناء. وعندما وضع بين القمة المقطوعة والجذع stump طبقة من الجيلاتين حدث إنحناء. الجذع وهو الجزء المتبقى من الغمد بعد إزالة القمة النامية (شكل ٤٥).

ومن النتائج السابقة نستنتج أنه يوجد منشط stimulus مادة أو مواد منشطة تنتقل من القمة إلى أسفل وتنتشر خلال الجيلاتين وذلك فى الجزء البعيد من الضوء . يمكن أن تنتشر هذه المادة فى الجيلاتين دون أن تفقد خصائصها.

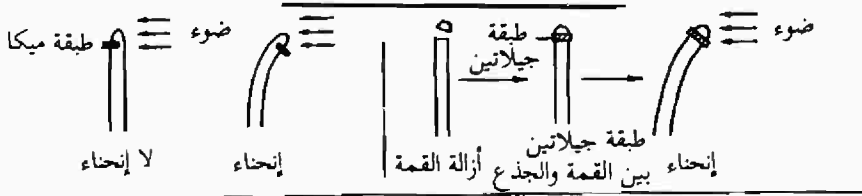
وجد العالم Paal المجرى سنة ١٩١٩ أن قطع القمة النامية ووضعها على أحد جانبي الجذع فى الظلام سبب حدوث إنحناء للجذع. وأجرى تجارب أخرى فى الظلام أيضاً حيث أن إزالة جزء من الغمد أسفل القمة النامية سبب ذلك أيضاً حدوث إنحناء للجذع وفى تجربة ثانية قام بملىء مكان القطع بالجيلاتين فإن إنحناء الجذع لم يحدث وفى تجربة ثالثة أزال القمة النامية ووضع على قمة الجذع على أحد نصفيه طبقة ميكا ووضع على النصف الآخر طبقة جيلاتين ثم أعاد وضع القمة النامية فحدث إنحناء للجذع فى اتجاه طبقه الميكا تماماً كما لو وضعت القمة النامية على أحد جانبي قمة الجذع. (شكل ٤٥).

وجد سودنج Soding عام ١٩٢٥ عندما أزال قمة الغمد عدة ملليمترات فإن قمة الجذع تنمو ببطء ويسمى فى هذه الحالة الجزء القمى بالقمة الفسيولوجية physiological tip عند إعادة وضع القمة فأن الجذع ينمو عادياً وإذا أعيد قطع الجذع مرة ثانية لعدة ملليمترات فإن نموه يتوقف تماماً. ومن هذه التجارب استنتج أنه يوجد فى القمة مركبات نشطة تنتقل من القمة إلى القاعدة لكى تظهر تأثيرها وأن عدم وجود جزء كبير من القمة يسبب عدم نمو الجذع. حيث أن إستطالة الغمد تحدث فى الجزء القاعدى منه أساساً (شكل ٤٥).

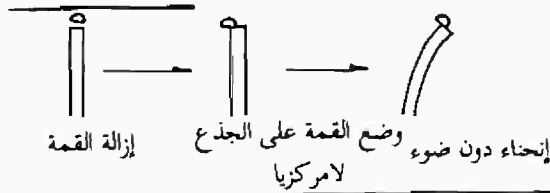
دوران عام ١٨٨٠



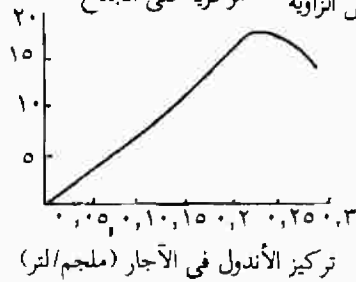
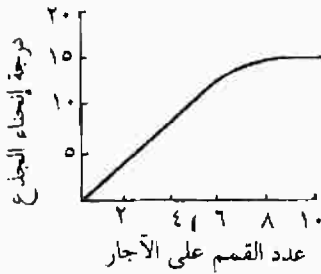
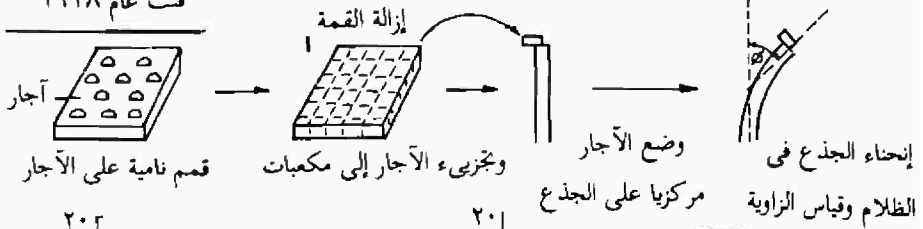
بوسين جينسن عام ١٩١٣



بال عام ١٩١٩



فنت عام ١٩٢٨



(شكل ٤٥) : أهم التجارب التي أثبتت وجود الأوكسين .

وجد العالم الهولندى Went من ٢٨ - ١٩٣٥ أن وضع القمم النامية بعد قطعها من بادرات الشوفان على طبقة رقيقة من الآجار بتركيز ٣٪ وبعد ساعة أزال القمم وقطع طبقة الآجار إلى مكعبات صغيرة متساوية في أبعادها لأعداد القمم النامية وعند وضع هذا المكعب على الجذع فإن الجذع ينمو إلى أعلى نمو عادى وعند وضع مكعب آجار لم يوضع عليه قمم نامية فإنه لا يحدث نمو للجذع وعندما وضع مكعب الآجار على منتصف الجزء البعيد من الجذع حدث نمو وانحناء للجذع، ومن هذه التجارب استنتج Went بطريقة لا تقبل الشك أن القمة النامية تنتج مركبات تنتقل إلى الجذع وتنتشر في الآجار دون أن تفقد خصائصها مسببة نمو الجذع وذلك باستطالة خلاياه ولذلك يتم نمو الغمد إلى أعلى (شكل ٤٥).

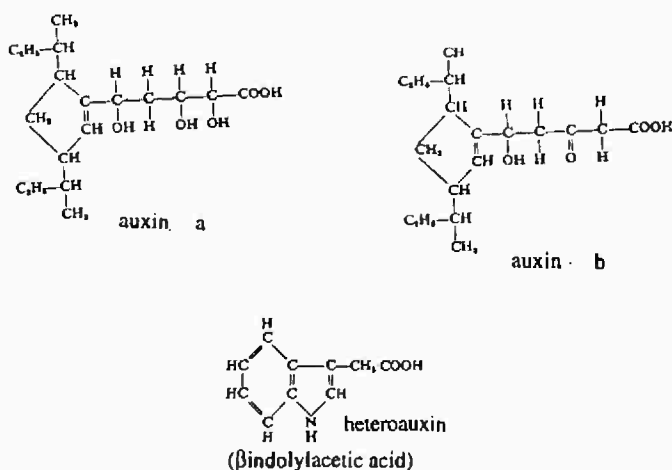
جميع التجارب السابقة للعلماء السابقين كانت على غمد الريشة لنبات الشوفان ماعدا تجارب دارون فإنها كانت على غمد الريشة لنبات الفلارس. وقد أختير غمد الريشة في هذه التجارب لأن غمد الريشة في نباتات العائلة النجيلية ينمو في الضوء العادى حتى طول ١,٥ إلى ٢ سم ولكن في الظلام يصل إلى ٦ سم. وجد أيضا أن نمو الغمد يرجع لانقسام واستطالة خلاياه حتى ربع طول الغمد أما الطول الباقي ($\frac{3}{4}$ طوله) يكون راجع إلى استطالة الخلايا فقط، ومن ذلك فإن جميع التجارب السابقة يكون النمو راجع لاستطالة الخلايا فقط وتأثير المركبات المنشطة للنمو هي نتيجة لتأثيرها الفعال على استطالة الخلايا. وجدت هذه التأثيرات أيضا على جميع النباتات البذرية وعلى أجزاء أخرى وهي السيقان وأعناق الأوراق وأعناق الأزهار. وأجريت بعد ذلك تجارب لعزل هذه المركبات.

عزل الهرمون النباتي:

أجريت في هذا الموضوع تجارب كثيرة لاستخلاص هذه المركبات من النباتات إلا أن كثيراً من هذه التجارب باءت بالفشل حيث أن تركيز هذه المركبات في النباتات العادية تكون ضئيلة جدا وصعب فصلها أو عزلها حينئذ. تمكن سنة ١٩٣٤ العالم كوجل Kogl وآخرون من عزل ثلاثة مركبات نقية في صورة بللورية ووجد أن هذه المركبات تعطى نفس التأثير في التجارب السابقة على غمد الريشة لنبات الشوفان

وذلك من مصادر طبيعية وهذه المصادر هي زيوت نباتية مختلفة والمولت malt وأيضا من بول الإنسان. وهذه المركبات الثلاثة سميت باسم auxin a وتركيبه $C_{18}H_{32}O_5$ و auxin b وتركيبه $C_{18}H_{30}O_4$ والمركب الثالث heteroauxin (والترجمة الحرفية لهذا الاسم هو auxin و other) وتركيبه $C_{10}H_9O_2$ ، وأتضح فيما بعد أن المركب الأخير هو عبارة عن اندول حامض الخليك Indole acetic acid (IAA) والاسم الكيماوى للمركب الأول auxentriolic والمركب الثانى auxenolonic (شكل ٤٦).

عزل auxin a من بول الإنسان وعزل كل من auxin a و auxin b من زيوت نباتية مختلفة والمولت، أما heteroauxin فقد عزل من بول الإنسان كما عزل أيضاً من بعض أنواع الخميرة والفطريات. وفى ذلك الوقت أعتقد أن هذا المركب الأخير لا يوجد فى أنسجة النباتات الزهرية وأن الأساس فى حدوث ظاهرة الإنتحاء هى أوكسين a. وقد أجريت كثير من التجارب فى هذا الموضوع فى تلك الفترة وقد أثبتت الغالبية العظمى من التجارب أن أوكسين a على وجه الخصوص هو المسئول عن الإنتحاء. يرجع الفضل فى التعرف على التركيب الكيماوى لهذه المركبات للعالم Kogl ومساعدوه (شكل ٤٦).



(شكل ٤٦) : أوكسينات مختلفة معزولة بواسطة الرواد الأوائل.

أما عن كيفية إثبات وجود الأوكسين في بول الإنسان فقد تم تجميع ١٥٠ لتر من بول الإنسان من أحد المستشفيات وبعد سلسلة من طرق الإستخلاص تم الحصول على أربعون ملليجرام من مادة في صورة بلورية وقد سببت هذه المادة حدوث إنحناء لغمد الريشة لنبات الشوفان. أستخدمت أيضاً نفس طرق الإستخلاص في حالة المصادر النباتية الأخرى مثل مستخلص الشعير malt والخميرة والفطريات وهو فطر *Rhizopus suinus* وذلك لإستخلاص الأوكسينات السابقة وإختبار نشاطها بطريقة غمد الريشة أيضاً. وبعد ذلك وتقدم طرق الإستخلاص والفصل للمركبات ثبت وجود بعض أخطاء لما سبق. فقد تمكن هاجن سميت Haagen Smit عام ٤٢ - ١٩٤٦ من عزل مركب heteroauxin أى أندول حامض الخليك ولأول مرة من النباتات الزهرية وكان ذلك من حبوب الذرة الشامية وبعد ذلك ثبت وجود هذا المركب في كثير من النباتات الزهرية بل وأصبح الآن يعتبر أندول حامض الخليك هو الأوكسين الرئيسى بل قد يكون الوحيد الموجود طبيعياً في النباتات الزهرية بل إن إنتشاره عام أيضاً في النباتات البذرية والسرخسية والحزازية والطحالب والفطريات. وبما هو جدير بالذكر أيضاً إتضح أن أوكسين a وأوكسين b ليس لهما وجود حيث لم يتمكن أحد بعد ذلك وحتى الآن من عزل هذه المركبات من النباتات وأصبح heteroauxin أى أندول حامض الخليك هو الأوكسين الطبيعى المنتشر والموجود في النباتات وذلك على العكس تماماً مما كان هو معروف في فترة الثلاثينيات وأوائل الأربعينيات.

يعتبر إكتشاف أندول حامض الخليك هو أول إكتشاف للأوكسينات حيث يعتبر هذا المركب هو أول أوكسين طبيعى اكتشف وبعده حدث إكتشاف لمركبات أوكسينات عديدة أخرى كما سيلي شرحه بالتفصيل عند الحديث عن الأوكسينات. يعتبر أيضاً أول هورمون نباتى تم إكتشافه.

أوضحت التقديرات أنه يلزم عشرون ألف طن من قمم أغمد الريشة لإنتاج جرام واحد من أندول حامض الخليك.

الترجمة الحرفية لكلمة أوكسين:

كلمة أوكسين هي مشتقة من اللغة اليونانية حيث أنه باللغة اليونانية Auxin معناها To grow أى لى ينمو.

مقدمة تاريخية عن الأوكسينات:

تعتبر مقدمة الهرمونات النباتية التي ذكرت سابقا هي مقدمة للأوكسينات وكيفية اكتشافها وبالفعل فإن أول مركب مكتشف من هذه المجموعة هو مركب أندول حامض الخليك (IAA) Indole acetic acid وقد سبق شرح تفصيلي لكيفية الاستدلال على وجوده وكيفية عزله والتعرف على تركيبه.

تعريف الأوكسينات:

الأوكسين هي تسمية عامة لأى مركب ينسب إستطالة فى خلايا الساق المقطوعة. وقد يكون له تأثيرات أخرى حيوية مثل التأثير على إنقسام الخلايا أو تشكل الخلايا وغيرها من الظواهر الحيوية للنبات.

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

الحالات المختلفة التي توجد عليها الأوكسينات:

١ - الأوكسين الحر Free Auxin

وهو عبارة عن أوكسين قابل للإنتشار. وهو بالفعل ما وجد فى تجارب Went حيث أنه قام بفصل الأوكسينات من القمم النامية نتيجة لانتشارها من القمم إلى طبقة الآجار أو الجيلاتين وهذا هو الحال فى جميع الأوكسينات الحرة أنها قابلة للإنتشار. يفضل أسم الأوكسين الحر حيث أن الأوكسين الحر لا ينتشر فى جميع

الإتجاهات بل ينتقل إنتقال قطبي في إتجاه واحد فقط أى ينتشر في إتجاه واحد فقط كما سيلي شرحه.

٢- الأوكسين المقيد Bound Auxin

توجد الأوكسينات فى صورة أخرى غير حرة وتكون مرتبطة بمكونات الخلية أو محجوزة داخل الفجوة العصارية ولذلك تكون غير قابلة للإنتشار ولذلك لعزل وفصل هذه الأوكسينات لابد من سحق العضو النباتى المراد استخلاص الأوكسين منه. وتحدث عملية الإستخلاص للأوكسين من العضو النباتى بواسطة مذيبات عضوية معينة مثل الكلوروفورم وكحول الميثيل أو الإيثيل و diethyl ether. ومن المعروف أن النباتات تحتوى على الحالتين السابقتين من الأوكسينات ولكن من الثابت أن نسبة الأوكسينات الحرة لا تتجاوز ١٠٪ من التركيز الكلى للأوكسينات أى أن تركيز الأوكسين المقيد والمرتبط هو ٩٠٪. يتكون الأوكسين الحر من الأوكسين المقيد أو المرتبط أو من مركب بدائى الأوكسين precursor وفى الحالة الأولى والثانية يتم تحرره من المكونات أو المركبات المرتبط بها ويصبح حر وفى الحالة الثالثة يتكون بواسطة تفاعلات وسطية من الحامض الأمينى تربتوفان.

من عيوب إستخلاص الهرمون الحر أنه قد ينتشر مع الهرمون مركبات مثبطة للهرمون وبذلك تقلل من نشاطه وتوجد هذه المثبطات inhibitors فى القمم النامية أيضاً.

وأيضاً عيوب الإستخلاص بالمذيبات العضوية وجود أنزيمات تؤثر على الأوكسين وتغير تركيبه وتقلل من نشاطه مثل إنزيم أندول حامض الخليك أو أكسيديز ولذلك يجب حفظ المستخلص فى درجة حرارة صفر درجة مئوية. يمكن أيضاً أن يفسد أو يتغير تركيب أندول حامض الخليك أثناء الإستخلاص.

أنواع الأوكسينات:

تقسم الأوكسينات أيضاً إلى أوكسينات طبيعية وهى الأوكسينات التى تتكون وتوزع فى النبات ومثال ذلك أندول حامض الخليك (Indole acetic acid (IAA

والأكسينات تركيبية أو تخليقية synthetic وهى التى لا توجد فى النباتات ولكن يتم تصنيعها فى المصانع والمعامل لما لها من خصائص المركبات الأوكسينية. وهذه المركبات كثيرة وعديدة وتنتمى إلى مجاميع كيميائية محددة وسيتم ذكر أمثلتها مع شرح تفصيلي لعلاقة تركيب الأوكسين بنشاطه الحيوى وكفاءته كمركب أوكسين.

التركيب الجزيئي وعلاقته بنشاط الأوكسينات:

من المعروف أن أندول حامض الخليك يتوفر فيه خصائص معينة من ناحية تركيبه فهو أولاً مركب حلقي وثانياً يحتوى على روابط مزدوجة غير مشبعة وثالثاً أنه حامض يحتوى على مجموعة كربوكسيل ورابعاً أنه مركب حلقي له سلسلة جانبية. وقد دعى ذلك كثير من علماء فسيولوجيا النبات إلى تجربته وحصر كثير من المركبات الأخرى التى لها نفس الخصائص وكذا الموصفات من ناحية التركيب الجزيئى.

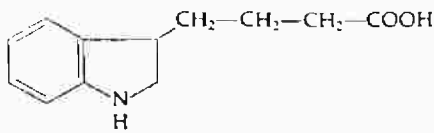
وقد أختبرت هذه المركبات التى فيها الخصائص السابقة وذلك لتقدير كفاءتها من حيث نشاطها كأوكسينات وذلك بإختبارها على غمد الريشة لنبات الشوفان وقياس درجة الإنحناء فى حالة هذه المركبات ونتيجة لذلك الحصر لهذه المركبات أمكن تحديد خمسة مجاميع رئيسية من المركبات وكل مجموعة تحتوى على عديد من المركبات (شكل ٤٧ و ٤٨) وهذه المركبات هى:

١ - مشتقات الفينوكسى Phenoxy:

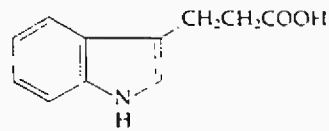
ومن أمثلتها 2-Chlorophenoxy acetic acid and 2,4 - Dichlorophenoxyacetic acid

فى مجموعة الفينوكسى لابد أن يكون أحد مواقع الوضع أورثو Ortho فارغ ولذلك فإن كلا من المركبين chlorophenoxyacetic acid و dichlorophenoxyacetic acid أى (2,4 - D) ذو فاعلية كبيرة وأن وجود ذرتى كلور أحدهما فى غير أحدهما فى غير الموضع أورثو يزيد من كفاءة المركب عنه فى حالة وجود ذرة كلور واحدة

Indoles

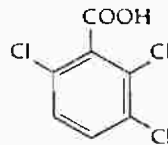


indole-3-propionic acid

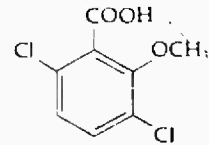


indole-3-butyric acid

Benzoic acids

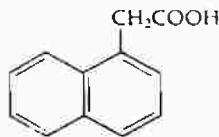


2,3,6-trichlorobenzoic acid

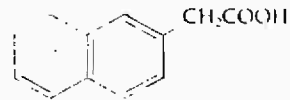


2-methoxy-3,6-dichlorobenzoic acid
(dicamba)

Naphthalene acids

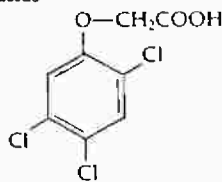


α -naphthalene acetic acid

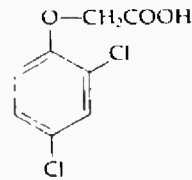


B -naphthalene acetic acid

Chlorophenoxy acids

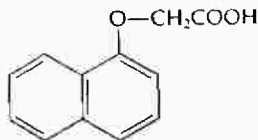


2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid
(2, 4, 5 - T)



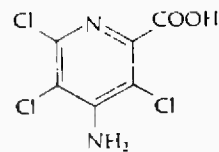
2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)

Naphthoxy acid

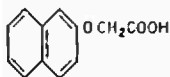


α -naphthoxyacetic acid

Picolinic acid

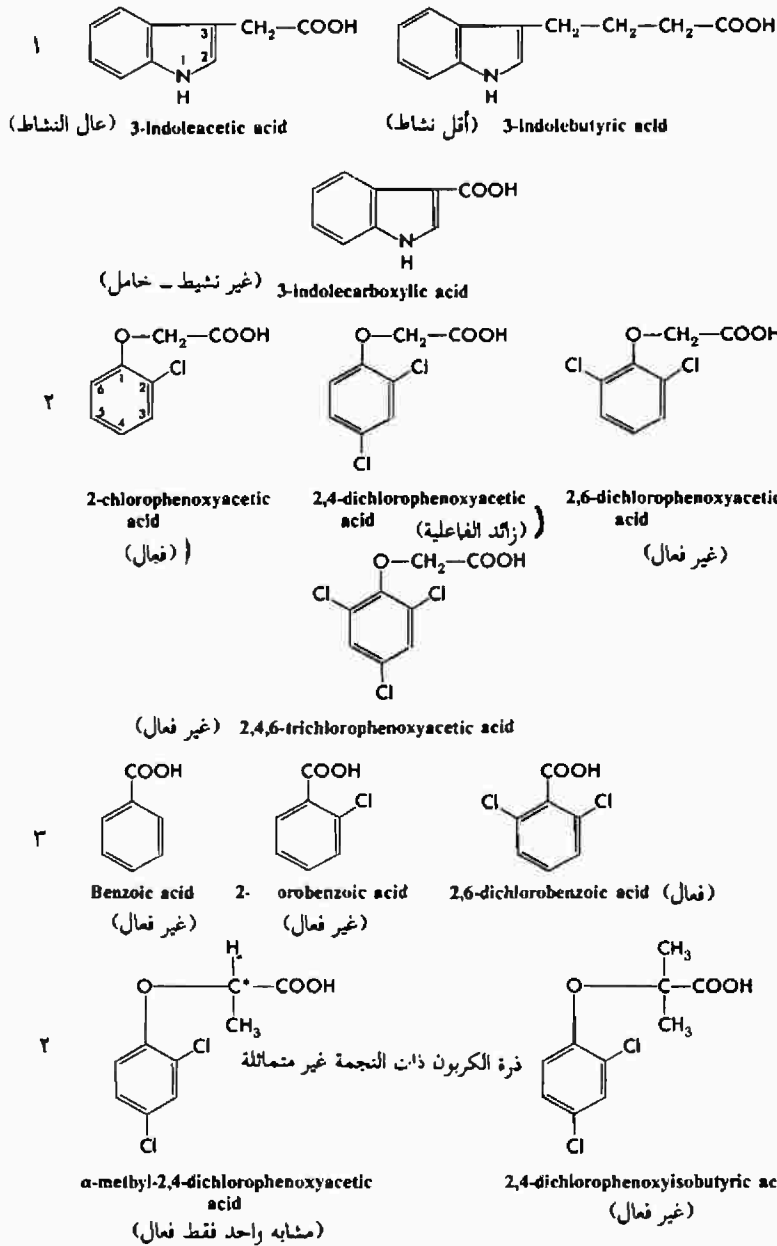


4-amino-3,5,6-trichloropicolinic (tordon)
acid (tordon or picloram) "



B-Naphthoxyacetic acid

(شكل ٤٧) : التركيب الجزيئي للأوكسينات .



(شكل ٤٨) : تركيب الأوكسينات الطبيعية والتركيبية ومشتقاتها الفعالة والغير فعالة .

بمعنى أن المركب الثانى أكثر كفاءة من الأول أى أن الأثنين يمكن استعمالهما ولكن هناك واحد أفضل من الآخر. وأيضاً المركب 2,4,5-T فعال (شكل ٤٧).

وفى حالة وجود ذرتى كلور فى الوضع أورثو يسمى 2,6-Dichlorophenoxyacetic acid وفى هذه الحالة موضعى الأورثو بهما ذرتى كلور ولذلك فإن هذا المركب عديم الفاعلية كأوكسين تماماً. يكون المركب فعال عند إحلال مجموعه ميثيل بدلاً من الكلور على الذره رقم ٢ وينتج عن ذلك المركب 2-Methyl-4-chlorophenoxyacetic acid. وجد أن استبدال ذرة H بمجموعة ميثيل ينتج مركب يسمى Methy 1-2,4-dichlorophenoxyacetic acid.

هذا المركب وجد أن الحالة النشطة له كأوكسين هو الحالة D أما الحالة L فتكون حاملة أو غير فعالة. حيث أن ذرة الكربون الأولى فى السلسلة الجانبية تكون غير متماثلة asymmetric.

أما فى حالة استبدال ذرتى الأيدروجين بمجموعتى ميثيل فإن المركب الناتج غير نشط تماماً. ومثال ذلك 2,4-dichlorophenoxyisobutyric acid.

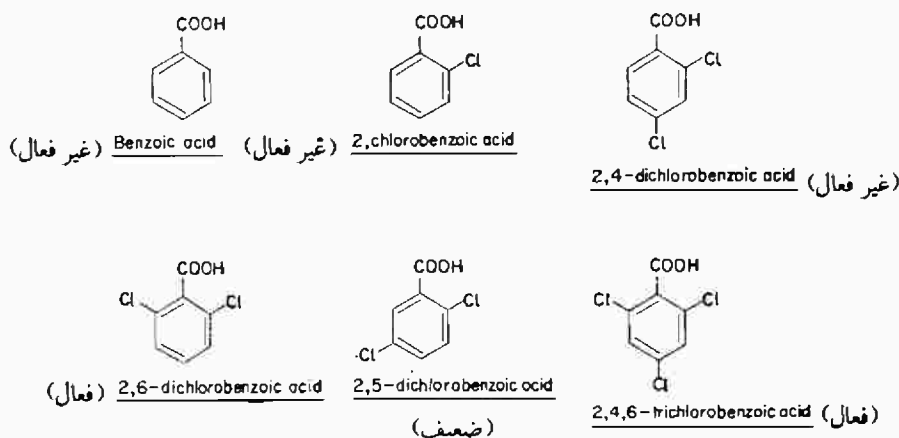
ومما سبق يتضح أن التغير فى تركيب الحلقة يؤثر على فاعلية الأوكسين وأيضاً التغير فى تركيب السلسلة الجانبية يؤثر على كفاءة الأوكسين.

٢- مشتقات الأندول Indole:

يعتبر الأندول مركب حلقى به روابط غير مشبعة يتكون من حلقة سداسية (بنزين) وحلقة خماسية بها مجموعة ن يد NH. وجد أن زيادة أو نقص عدد ذرات الكربون فى السلسلة الجانبية عن ذرتين يقلل من كفاءة المركب ولذلك فإن إندول حامض البيوتريك والبروبيونيك أقل كفاءة وفاعلية من إندول حامض الخليك Indole acetic acid (IAA) كما وجد أيضاً أن إندول حامض الكربوكسيل عديم الفاعلية تماماً. ولذلك فإن الحالة المثالية لمركبات الإندول كأوكسين هى أن تكون حلقة الإندول لها سلسلة جانبية مكونة من ذرتين كربون كما فى إندول حامض الخليك.

٣ - مشتقات حامض البنزويك :Benzoic acid

يتكون حامض البنزويك من حلقة سداسية ومجموعة كربوكسيل وهذا المركب غير فعال كأوكسين ولكن ملء موضعي الأورثو ortho بذرتي كلور يسبب نشاط كبير للمركب ويصبح فعال كأوكسين. ولكن ملء موضع أورثو واحد فقط بذرة كلور واحدة يصبح المركب غير نشيط وغير فعال كأوكسين وبذلك تكون عكس حالة مركبات الفينوكسي. يعتبر مركب 2,6-dichlorobenzoic acid كأوكسين وأيضاً المركبات 2,3,6- trichlorobenzoic acid و 2,4,6-trichlorobenzoic acid و 2-methoxy-3,6-dichlorobenzoic acid (dicamba) فعالة (شكل ٤٩).



(شكل ٤٩) : مشتقات حامض البنزويك الفعالة وغير الفعالة.

٤ - مشتقات النفثالين :Naphthalene

يتكون النفثالين من حلقتين سداسيتين ويضاف إليه سلسلة جانبية من حامض الخليك أو أوكسي حامض الخليك وبذلك يصبح النفثالين فعال كأوكسين ومثال ذلك ألفا وبيتا نفثالين حامض الخليك naphthalenacetic acid (NAA) وأيضاً ألفا وبيتا نفتوكسي حامض الخليك naphthoxyacetic acid. تستعمل المركبات السابقة بكثرة كأوكسينات شديدة الفاعلية (شكل ٤٧).

٥ - مشتقات حامض البيكولينيك Picolinic Acid:

وأهم مركب في هذه المجموعة هو (4 - amino 3, 5, 6 - trichloropicolinic acid) وهو فعال وله نشاط ملحوظ (شكل ٤٧) .

في جميع الحالات السابقة تشبيع الحلقة وعدم وجود روابط مزدوجة يفقد الجزيء نشاطه.

وعامة فإن جميع المركبات المذكورة سابقا تعتبر أوكسينات تركيبية عدا IAA وعامة فإن عدد الأوكسينات التركيبية كبير جداً وهي المستعملة عادة في الإستعمالات الإقتصادية في علوم البساتين والمحاصيل ولكن عدد الأوكسينات الطبيعية قليل جداً.

نظرية مناطق الإستقبال وفاعلية الأوكسين:

وجد إعتقاد مؤخراً أنه بالإضافة إلى ما سبق فإنه يوجد شرط آخر لابد أن يتوفر في الأوكسينات وهو أنه لابد من وجود أحد موقعي الأرتو ortho على الحلقة القريبة من السلسلة الجانبية والتي تنتهي بمجموعة الكربوكسيل قادر على تكوين رابطة تعاونية بسهولة. ولكن بدلاً من هذا الشرط والذي لا يؤخذ في الإعتبار كثيراً الآن فإنه لابد من وجود شحنة موجبة على موقع معين من الحلقة.

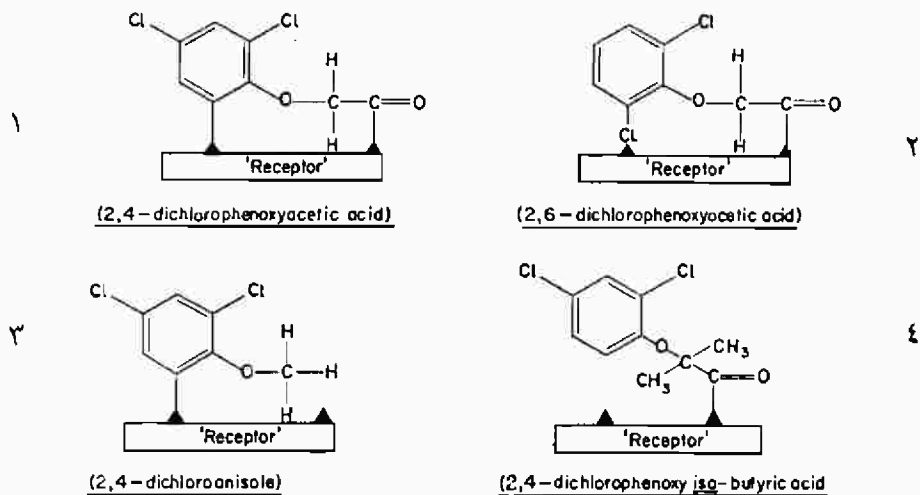
should be a fractional positive charge at a specific point on the ring.

وفي حالة الأخذ في الإعتبار أنه لابد من وجود سلسلة جانبية تنتهي بمجموعة كربوكسيل ووجود موقع ortho فارغ على الحلقة لكي يصبح الأوكسين فعال كما في حالة مجموعة الفينوكسي وقد دعي ذلك إلى أفترض أن التفاعل الأساسي للأوكسين في داخل الخلية يشمل جزئين وهما مجموعة الكربوكسيل الموجودة على السلسلة الجانبية وأيضاً موضع ortho على الحلقة وقد دعي ذلك إلى إفتراض نظرية تسمى نظرية موقعي الإلتحام two point attachment theory for auxin action

لعمل الأوكسين (شكل ٤٩ أ) auxin action أى أنه لابد منه لكي يعمل الأوكسين ويكون نشط لابد من توفير موقعين للإلتحام. وقد تم إقتراح أنه لابد من وجود رابطة تعاونية بين هذين الموقعين على الأكسين وبعض مكونات الخلية مثل البروتين. أى يتحد الأوكسين برابطتين تعاونيتين مع بعض مكونات الخلية مثل البروتين وبذلك يصبح الأوكسين نشط وفعال ومؤثر فى أداء وظائفه. أمكن إثبات هذه النظرية بإستخدام مركبات مختلفة من الفينوكسى حيث أنه فى حالة 2,4-D يوجد موقعين يتصلان بالمستقبل فى الخلية وقد يكون البروتين وأحد الموقعين عبارة عن مجموعة الكربوكسيل والموقع الآخر ortho على الحلقة ولذلك يصبح المركب فعال ولكن فى حالة 2,6-D يحدث نفس الشيء من حيث الإلتحام كما فى 2,4-D تماماً إلا أن الموقع ortho الثانى مشغول بالكلور ولذلك يصبح المركب غير فعال كأوكسين لأن الموقعين مشغولين بالكلور ولا يوجد موقع ortho حر. وفى حالة مركب 2,4 - dichloroanisol فإن غياب مجموعة الكربوكسيل الطرفية فى السلسلة الجانبية يجعل المركب غير قادر على الإلتحام فى موقعين نتيجة لغياب مجموعة الكربوكسيل الطرفية وبذلك يصبح المركب غير كفء فى أداء عمله كأوكسين. وفى حالة 2,4 - dichlorophenoxy iso-butyric acid فإن التوزيع الفراغى للجزيء يكون غير مناسب ولذلك لا يحدث الإلتحام فى موقعين ويحدث الإلتحام فى موقع واحد فقط هو موقع الكربوكسيل ولذلك يصبح المركب غير فعال كأوكسين (شكل ٤٩ أ).

بعد إكتشاف التركيب الجزيئى لإندول حامض الخليك عام ١٩٣٤ فقد حاول الباحثون تحديد الجزء الخاص فى الجزيء الذى يسبب فاعلية وتأثير هذا الأوكسين فى عمل وإنجاز العمليات الحيوية المختلفة

What was "special" in the chemical structure of IAA to impact such profound influences on growth and developmental processes.



(شكل ٤٩ أ) : نظرية موقعى الارتباط أو الألتحام

- ١ - D - 2 و 4 مرتبط بموقعى أستقبال ولذلك فهو فعال
- ٢ - D - 6 و 2 غير فعال حيث أن موقعى ortho بها ذرتى كلور.
- ٣ - dichloroanisole - 2 و 4 غير فعال لغياب مجموعة كربوكسيل طرفيه.
- ٤ - dichlorophenoxy iso butyric acid - 2 و 4 غير فعال حيث أن التوزيع الفراغى للجزيئى يمنع الألتحام أو الارتباط بين الموقع ortho الخال من الكلور وبين موقع الأستقبال النشط.

وقد ساد الاعتقاد بأنه إذا أمكن معرفة ذلك فإن ذلك سيوضح ميكانيكية تأثير الأوكسين في دخال الخلايا. وقد حاول الباحثون أيضاً عمل نفس الشيء بعد إكتشاف الجبريلينات والسيتوكينينات.

ولدراسة ذلك لتوضيح الجزء الفعال في الجزئ فقد تم اختبار كثير من المركبات بواسطة إختبارات حيوية مناسبة suitable bioassay لتحديد مدى صلاحية أو كفاءة هذه المركبات المختبرة أن تعمل كأوكسينات. وقد وجد أن بعض من المركبات المختبرة تكون مشابهة في تأثيرها لتأثير أندول حامض الخليك عند أستعمالها بتركيزات منخفضة جداً وقد أمكن تخليقها بالمعامل ولذلك سميت بالأوكسينات التركيبية. وجد أن هذه الأوكسينات التركيبية متباعدة ومختلفة إختلافاً كبيراً في تركيبها الكيماوى ولا يمكن وضعها في مجموعة واحدة حيث أنها إذا كانت متقاربة التركيب كان من السهولة بمكان تحديد الجزء الفعال في الجزئ المحدد والمسئول عن صفات الأوكسين للمركب. وبالرغم من إختلاف التركيب فإن المحاولات جارية للتعرف على ماهى الصفات التى تضى على المركب صفة الأوكسين أو بمعنى آخر ماهو الجزء الخاص فى الأوكسين الذى يسبب فاعلية كأوكسين. وإذا تم تحديد ذلك فإنه سيوضح بكفاءة ميكانيكية عمل الأوكسين فى خلايا النبات. وقد تم بالفعل نتيجة لهذه الإختبارات إكتشاف أندول حامض البيوتريك وإندول حامض البرويونيك وبعد ذلك تم إكتشاف الأوكسينات الأخرى مثل 2,4-D و 2,4,5-T و MCPA.

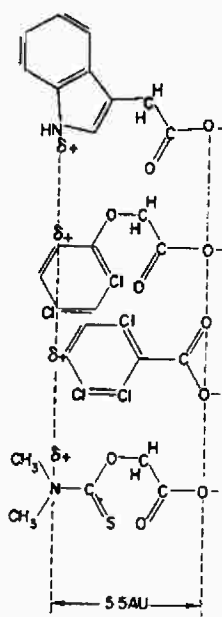
نتيجة مقارنة التركيب الجزيئى لهذه المركبات فقد أمكن تحديد صفات الجزيئى التى تكسبه خصائص الأوكسينات. وهذه الصفات مايتأتى :

- ١ - تركيب حلقى يحتوى على رابطة واحدة مزدوجة على الأقل.
- ٢ - سلسلة جانبية تحتوى على مجموعة كربوكسيل أو مجموعة من السهل تحويلها إلى كربوكسيل.
- ٣ - وجود ذرة كربون على الأقل بين الحلقة وبين مجموعة الكربوكسيل.

٤ - يوجد توزيع فراغى خاص particular spatial relationship بين الحلقة ومجموعة الكربوكسيل.

يلائم ذلك الغالبية العظمى من الأوكسينات ولكن وجد بعض شواذ لهذه القاعدة حيث وجد أن بعض مشتقات حامض البنزويك أو أكسينات نشطة وليس لها سلسلة جانبية.

لا بد من توضيح أن الشروط اللازم توافرها فى الأوكسينات والسابق ذكرها وأيضاً نظرية موقعى الإلتحام أو الإرتباط لعمل الأوكسين (لنشاط الأوكسين) تعتبر غير كافية أو غير شاملة لجميع الأوكسينات حيث تشذ بعض منها كما فى حالة مشتقات حامض البنزويك حيث لا يلائمها شروط الأوكسينات السابق ذكرها كما لا يلائمها نظرية موقعى الإلتحام أو الإرتباط لعمل الأوكسين. وذلك مما دعى بعض علماء فسيولوجيا النبات إلى عدم قبول هذه النظرية. ولذلك توجد الآن نظريات مشابهها هى three point attachment theory وأيضاً نظرية multi-point attachment theory أى نظرية مواقع الإرتباط الثلاثة ونظرية مواقع الإرتباط أو الإلتحام العديدة. وقد نشأ أعتراض آخر على طريقة ألتحام المركب بالمستقبل البروتينى فى الخلية هل الأرتباط بواسطة رابطة تعاونية أو بروابط من أنواع أخرى أو حالات أخرى ومنها فان درفالس Van der Waals والروابط الإلكتروستاتيكية electrostatic forces. حيث وجد بإختبار ومقارنة مركبات كثيرة أن المركب الفعال كأوكسين يكون ذو شحنة سالبة قوية تنشأ نتيجة تأين مجموعة الكربوكسيل والتي تبعد عن شحنة موجبة ضعيفة على الحلقة بمسافة قدرها ٥ره أنجتروم (شكل ٤٩ ب). وقد أقتراح أن ذلك هو الأساس لنشاط أى مركب كأوكسين. يمكن أن توضح هذه النظرية النشاط النسبى والمختلف للأوكسينات المختلفة وأن الإختلاف فى نشاط وكفاءة الأوكسينات المختلفة والمتشابهة فى تركيبها يكون راجع إلى الإستبدال على الحلقة فى موقع الشحنة الموجبة وأيضاً حجم الشحنة الموجبة غير معروف حتى الآن طبيعة المستقبل فى الخلية للأوكسين وأيضاً غير معروف موقعة بالخلية. وحتى الآن غير معروف بالضبط ما هى المواصفات الهامة والأساسية فى الجزئى لكى يصبح فعال كأوكسين.



(شكل ٤٩ ب) : تأثير المسافة بين الشحنة الموجبة والسالبة على الجزيء وفعالية الأوكسينات.
المسافة بين الشحنة السالبة القوية أو الشحنة الموجبة الضعيفة على الجزيء هي ٥,٥ أنجستروم وذلك للمركبات من القمة إلى القاعدة على الترتيب التالي أندول حامض الخليك و 2, 4 - D و 2, 5, 6 - trichlorobenzoic acid , carboxymethylthiocarbamate .

الأوكسينات الطبيعية والأوكسينات التركيبية:

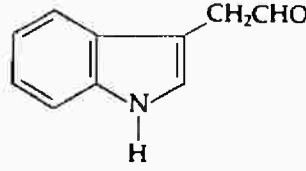
جميع الأوكسينات التي سبق ذكرها في الجزء السابق تعتبر تركيبية عدا إندول حامض الخليك فهو يعتبر أوكسين طبيعي. كان إلى عهد قريب يعتبر إندول حامض الخليك هو الأوكسين الطبيعي الوحيد ولكن حديثاً أمكن إثبات وجود إثنان آخران وهما فينيل حامض الخليك Phenylacetic acid وإندول حامض الخليك الكلوري chlorinated IAA .

تمكن Wightman and Lighty عام ١٩٨٢ من إثبات أن فينيل حامض الخليك عبارة عن أوكسين طبيعي. تعتبر كفاءة ونشاط هذا المركب أقل من إندول حامض

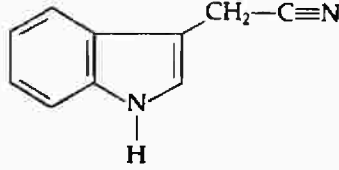
الخليك ولكن عادة توجد بتركيزات كبيرة نسبيا في النبات تفوق تركيز إندول حامض الخليك. وجد هذا الأوكسين في عديد من النباتات منها الطماطم والتبغ وعباد الشمس والبسلة والشعير والذره الشامية. يعتبر المركب الذى يتكون منه فينيل حامض الخليك هو الحامض الأمينى فينيل ألانين. يتم تحول الحامض الأمينى phenylalanine إلى حامض فينيل بيروفيك phenylpyruvic acid فى وجود إنزيم أمينو ترانسفيريز غير متخصص nonspecific aminotransferase ثم يتم تحول الأخير إلى فينيل حامض الخليك وذلك نتيجة لحدوث أكسدة مع نزع أو إزالة جزيئ ك أم oxidative decarboxylation . للتأكد من أهمية فينيل حامض الخليك وإندول حامض الخليك لابد من حدوث طفرة فى النبات فى أحدهما ينتج عنها عدم تكوين فينيل حامض الخليك وطفرة أخرى فى نبات آخر ينتج عنها عدم تكوين إندول حامض الخليك وبالتالي يمكن ملاحظة التغيرات والأضرار التى تحدث فى نمو النبات فى كل حالة وبذلك يمكن إثبات أهمية كل من المركبين فى نمو النبات وأيهما يفوق الآخر.

تمكن Gander و Nitsch عام ١٩٦٧ وأيضاً Larsen و Egsgaard و Engvild عام ١٩٨٠ من إثبات أن المركب 4-chloro-3-indoleacetic acid - يعتبر أوكسين طبيعى وهو يوجد فى البذور الغير ناضجة للبسلة فى الجنسين *Pisum* و *Lathyrus* وأيضاً فى الجنس *Vicia*. وجد أن هذا المركب أكثر فاعلية من أندول حامض الخليك عند استعمال اختبار النمو الطولى لغمد الريشة لنبات الشوفان *Avena* straight growth test

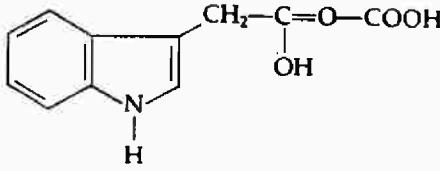
أما عن المركبات الأندولية الحرة السائدة خلاف ال- IAA التى توجد فى مختلف النباتات هى إندول ٣- أسيتالدهيد indole-3- acetaldehyde (IAALD) وإندول ٣- حامض البيروفيك indole-3-pyruvic Inacid، وإندول أسيتونيتريل indole-3 (IAN) acetone nitrile، وإندول ٣- إيثانول indole-3- ethanol، والتركيب الكيميائى لهذه المركبات موضح (شكل ٥٠). وبالرغم من أن الباحثين قد عزلوا جميع هذه



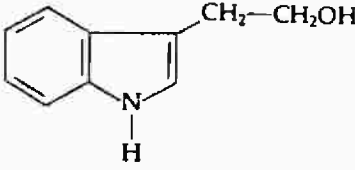
indole-3-acetaldehyde (IAALD)



indole-3-acetonitrile (IAN)



indole-3-pyruvic acid



indole-3-ethanol

(شكل ٥٠) : التركيب الجزيئي للمركبات الأندولية الحرة خلاف أندول حامض الخليك.

المركبات الأندولية الحرة من النبات، إلا أن معظم الدراسات تؤكد فكرة أن جميعها تتحول إلى IAA وجميعها غير ذى نشاط حيوى، على سبيل المثال إنزيم الدهيد دى هيدروجينيز aldehyde dehydrogenase هذا الأنزيم الذى يحفز تحول IAALD إلى IAA نشط فى الأنسجة والتي وجد فيها الباحثون IAALD. وبالمثل فقد وجد IAN فى كلا من العائلة الصليبية والعائلة النجيلية والتي يصاحبه فيهما إنزيم نيتريلاز nitrilase والذي يشترك فى تحويل الـ IAN إلى IAA، وبالتالي فإن هذه الحالات

المتماثلة فى عديد من النباتات يدل على أن الـ IAA هو الأوكسين الحر النشط الأعظم فى النباتات ، وفوق ذلك فإن الصورة الحرة للأوكسين تستخدم بواسطة النبات فى عمليات النمو. بعض الأوكسينات التركيبية (كيماويات لا توجد طبيعياً) النشطة ظاهرياً تظل على الأقل جزئياً حرة عندما تمتص بواسطة النباتات. وربما مع ذلك تصبح مرتبطة أو تصبح غير سامة .

أماكن تكوين وتخليق الأوكسينات :

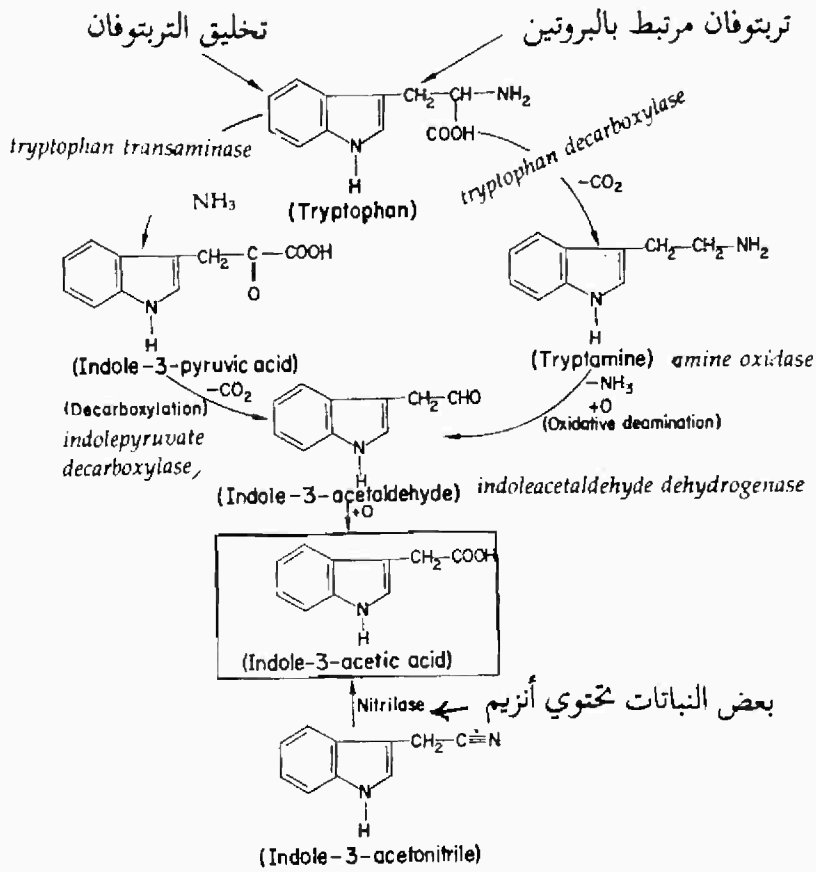
من المعروف أن الأوكسينات تتكون أو تخلق فى القمم النامية وفى الأنسجة المرستيمية ومناطق أستطالة الخلايا على وجه الخصوص ومثال ذلك القمم النامية للساق ولغمد الريشة والأوراق الصغيرة والبراعم الخضرية والزهرية وجنين البذرة والثمار الصغيرة بمعنى أن الأجزاء النشطة فى الإنقسام وهى الأجزاء الميرستيمية يكون عادة فيها تركيز الأوكسينات عال بالمقارنة بالأجزاء البعيدة عنه. تخليق الأوكسينات فى القمم النامية للجذور مثار للجدل .

كيفية تخليق وتكوين أوكسين أندول حامض الخليك :

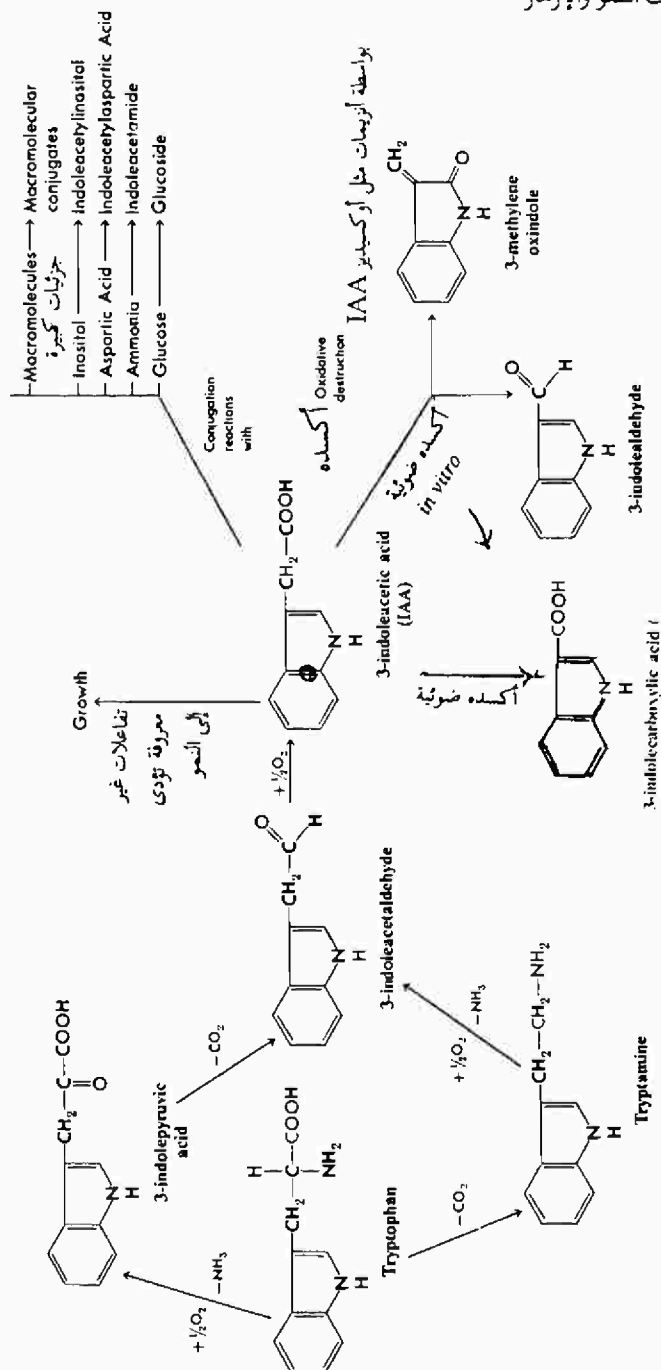
من المعروف أن النباتات تحتوى على أحماض أمينية كثيرة ولكن يهمننا فى هذا المجال الحامض الأميني تريبتوفان tryptophan حيث أن هذا الحامض يعتبر المركب الأصل Precursor الذى يتكون منه IAA وذلك عن طريق تفاعلات إنزيمية يتحول هذا الحامض الأميني إلى مركبات وسطية، ومن هذه المركبات يتكون أندول حامض الخليك وذلك نتيجة لتفاعلات إنزيمية أى يدخل فيها الإنزيمات. ومن الشكل يتضح أن التريبتوفان يمكن أن يتحول إلى إندول بيروفيك أسد indole pyruvic acid وذلك بواسطة عملية oxidative deamination ومعناه إعطاء الأوكسيجين وأخذ ن يد ٣ ، وأن المركب الأخير فى حدوث Decarboxylation يتحول إلى مركب indole acetaldehyde ، وكلمة Decarboxylation تعنى نزع ثانى أكسيد الكربون.

ويمكن أن يتحول التريبتوفان بواسطة decarboxylation إلى مركب tryptamine والمركب الأخير فى وجود oxidative deamination يتحول إلى مركب indole

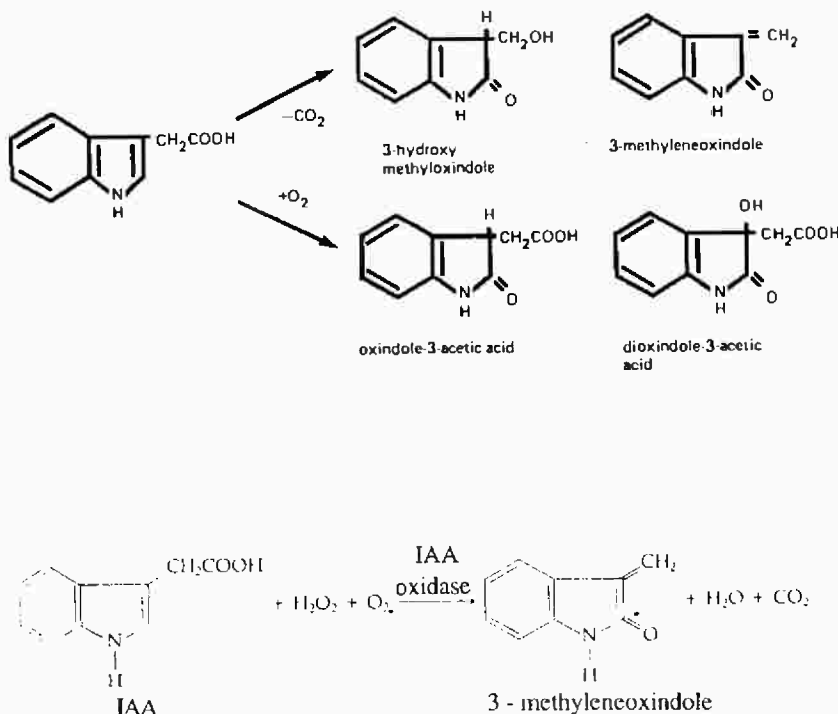
acetaldehyde ولذلك فإن الناتج النهائي لكل من هذين الطريقتين هو تكوين الإندول أسيتالدهيد وهذا المركب الأخير وفي حدوث الأكسدة oxidation وذلك بإعطاء الأكسجين يكون الناتج هو مركب إندول حامض الخليك (IAA). ويعتبر ما سبق هي أهم طرق تكوين هذا الهرمون. يقوم بهذه التفاعلات أنزيمات مختلفة (شكل ٥١ و ٥٢).



(شكل ٥١): تخليق Indole-3- acetonitrile وإندول حامض الخليك.

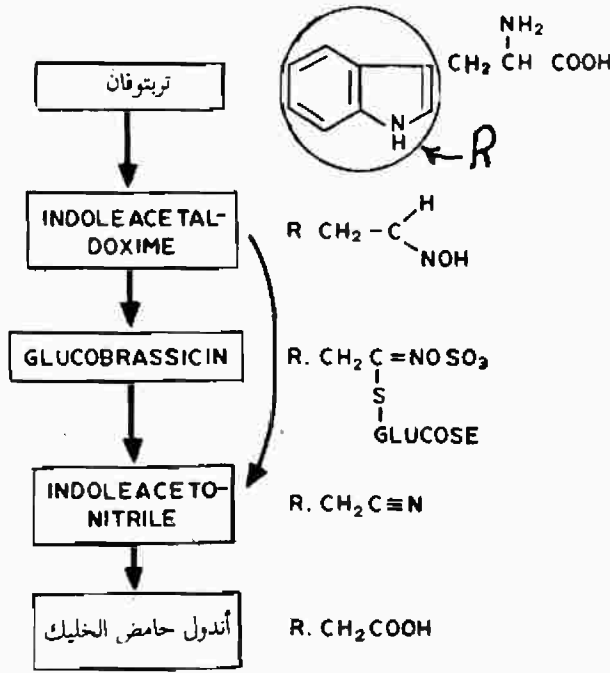


(شكل ٥٢) : تخليق وهدم ورأبائط أندول حامض الخليك .



(شكل ٥٢ أ) ، خطوات هدم أندول حامض الخليك ونشاط أنزيم IAA oxidase .

يوجد طريق آخر يتم فيه تحويل الترتوفان إلى أندول حامض الخليك ويحدث ذلك في بعض نباتات من العائلة الصليبية مثل الكرنب والخردل mustard . حيث يتم تحويل الترتوفان إلى indole acetaldoxime ثم يتحول الأخير إلى مركب أندول أسيتونيتريل indole acetonitrile (IAN) مباشرة أو عن طريق تكوين مركب glucobrassicin . ثم يتحول مركب IAN إلى إندول حامض الخليك (شكل ٥١ و ٥٤) تحدث هذه التفاعلات بواسطة الأنزيمات (شكل ٥٤) .



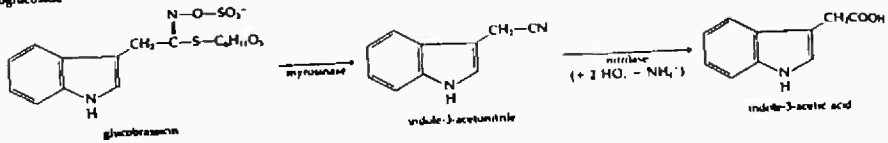
(شكل ٥٢) : خطوات تكوين إندول حامض الخليك من glucobrassicin .

تنشيط فاعلية جزيء أندول حامض الخليك :

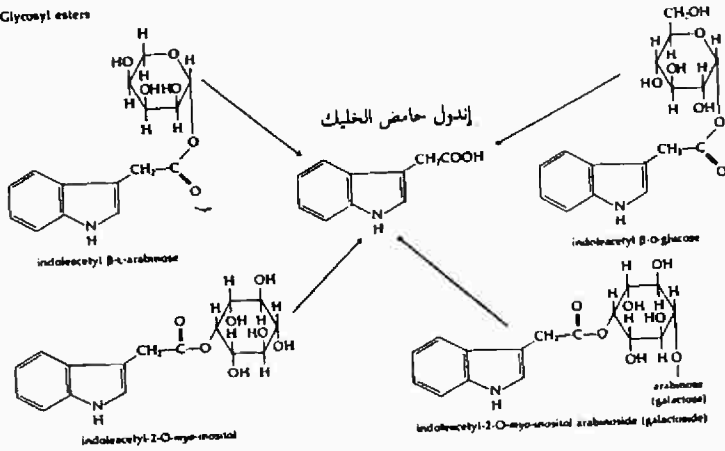
من المعروف أن التركيز الزائد من إندول حامض الخليك يسبب ضرر لأنسجة النبات.

ولذلك يوجد في النبات ميكانيكية معينة تساعد على ثبات تركيز إندول حامض الخليك نسبياً في النبات وفي حدود معينة وتمنع من زيادة تركيزه بدرجة غير مرغوبة بالنسبة للنبات. يوجد ثلاث طرق يمكن بها تنشيط نشاط هذا الأوكسين وهي ما يأتي:

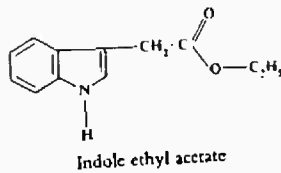
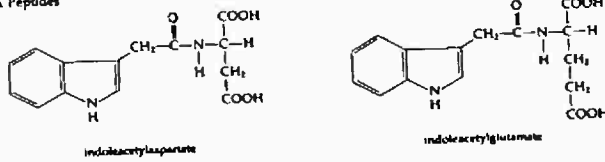
Thioglucoside



Glycosyl esters



IAA Peptides



(شكل ٥٤) : بعض مركبات الأكسين المرتبطة.

١ - الأكسدة الضوئية Photo - oxidation: تمتص جزيئات إندول حامض الخليك الأشعة فوق البنفسجية في التجارب المعملية وذلك عند تعريض محلول هذا الأوكسين إلى هذه الأشعة. نتيجة لذلك يتكون مركب غير نشاط كيميائياً وحيوياً كأوكسين أى عديم الفاعلية من الناحية الفسيولوجية وهو إندول حامض الكربوكسليك indolecarboxylic acid. تثبط أشعة X وأشعة جاما نشاط هذا الأوكسين أيضاً. لا تمتص جزيئات إندول حامض الخليك النقي الضوء المنظور أى الضوء العادى ولذلك فإنه توجد صبغات متخصصة فى النبات تعمل كمستقبل photoreceptive أى لإستقبال الضوء العادى وإمتصاصه ومثال ذلك صبغة الريبوفلافين riboflavin ولذلك فإن تعريض محلول من إندول حامض الخليك نقي وبه جزيئات صبغة الريبوفلافين فإن الأوكسين يتأكسد ويفقد نشاطه. يتحول الأوكسين أثناء عملية الأكسدة أى فى وجود الأوكسجين وحيث يدخل الأوكسجين فى التفاعل إلى إندول حامض الكربوكسليك وأيضاً إلى indoleglycolic acid. يعتبر الضوء الأزرق فى الضوء العادى هو المؤثر والفعال فى أكسدة هذا الأوكسين وذلك بالمقارنة بألوان الطيف الضوئى الأخرى حيث أن الريبوفلافين يمتص الضوء الأزرق بشدة. ينتشر الريبوفلافين بكثرة فى النباتات ولذلك فإنه المسئول عن أكسدة هذا الأوكسين فى الطبيعة وفى المستخلصات. يعتقد أيضاً أن صبغة أخرى لها دور فى ذلك وهى صبغة بيتاكاروتين وهى أيضاً شائعة الوجود فى النبات وتمتص الضوء الأزرق بشدة.

وجد أن الأكسدة الضوئية *in vitro* لإندول حامض الخليك ينتج عنها مركبات لم يتم تعريفها وأيضاً مركبين هما إندول ألدهيد indolealdehyde و 3-methylene oxindole

٢ - الأكسدة الأنزيمية Enzyme oxidation: أى الأكسدة بواسطة الأنزيمات. يتم أكسدة الأوكسين بكفاءة عالية بواسطة أنزيم أوكسيداز إندول حامض الخليك IAA oxidase. يعتبر هذا الأنزيم واسع الإنتشار فى النباتات المختلفة مثل القمح وعباد الشمس. يستهلك ويستعمل الأوكسجين فى التفاعل ويخرج ك H_2O oxidative

decarboxylation. يتحول الأوكسين إلى عديد من المركبات أهمها methylenexindole و hydroxymethyloxindole (شكل ٥٢).

يحتاج هذا الإنزيم إلى عاملين مساعدين Co- Factors لنشاطه وهما أيون المنجنيز ومركب فينول أحادي monophenol مثل حامض الكوماريك coumaric acid. من المعروف أن المركبات أحادية الفينول تسبب نمو النبات وقد يكون ذلك في أنها تسبب نشاط هذا الإنزيم وبالتالي فإنه يقلل من تركيز إندول حامض الخليك وبالتالي يؤثر على نمو النبات. والعكس صحيح في حالة مركبات polyphenols و diphenols حيث أنهما يشبطان نشاط هذا الإنزيم ومثال لهذه المركبات حامض الكافيك caffeic acid والبيروجالول pyrogallol. ولذلك فإن المركبات الأخيرة تحمي الأوكسين من الأكسدة، ولذلك توجد حالة من المعاونة والتأثير التعاوني synergistic بين الأوكسين و diphenols في نمو غمد الريشة لنبات الزمير وأيضاً تشجيع تكوين الجذور على عقل السويقة الجنينية السفلى لنبات mungbean. توجد مركبات diphenols و monophenols بكثرة في النباتات المختلفة وهي قابلة للتحويل بسهولة من مركب إلى آخر وأيضاً بكثرة interconvertible. ولذلك فإن هذه المركبات المختلفة وأيضاً هذا الإنزيم لهم القدره على التحكم في تركيز إندول حامض الخليك في النباتات المختلفة في الأنسجة المختلفة وفي مختلف البيئات وفي الأزمنة المختلفة وفي الأعمار المختلفة. عادة يكون تركيز هذا الإنزيم في أنسجة النباتات المسنة كبير وبالتالي فإن تركيز الأوكسين قليل. يمكن أن يتكون نتيجة للأكسدة مركب indolealdehyde (شكل ٥٢).

يمكن أن يتأكسد إندول حامض الخليك إلى المركبات السابقة بواسطة إنزيم البيروكسيداز peroxidase ولا بد أن يكون ذلك في وجود فوق أكسيد الإيدروجين eroxidative decarboxylation. تعتبر كفاءة هذا الإنزيم في أكسدة الأوكسين أقل كفاءة بالمقارنة بالإنزيم السابق، تعتبر مشابهات isoenzymes إنزيم البيروكسيداز فعالة أيضاً ولكنها تختلف في درجه فاعليتها.

والفرق الأساسي بين نشاط البيروكسيديز والأوكسيديز هو أن تفاعل الأوكسيديز يحتاج إلى أوكسجين الهواء الجوى وأنزيم البيروكسيديز يحتاج إلى أوكسجين من أى فوق أوكسيد مثل فوق أكسيد الإيدروجين H_2O_2 . إلا أنه فى تكسير ال- IAA فإن الإنزيم الذى يظهر نشاط البيروكسيديز يعمل أيضاً كالأوكسيديز ويستهلك الأوكسجين الجوى فى التفاعل. وخطوات تفاعل إتلاف ال- IAA بواسطة الأوكسيديز يمكن تلخيصها كما هو موضح فى التفاعل (شكل ٥٢ أ). والنواج النهائية الرئيسة لإتلاف الأوكسين هى ٣ ميثيلين أوكسينى إندول (3-methyleneoxindol) أو إندول الدهيد indolealdehyde، والإنتاج النسبى لكل منهما ربما يختلف من نبات لآخر. بعض حالات الأنزيم - تحتاج لأيونات ومركب فينولى مثل ٢ - ٤ - داي كلورفينول dichlorophenol. أوضحت الدراسات المبكرة إختلاف واتساع مدى ال- pH الأمثل للإنزيمات المتحصل عليها من مصادر نباتية مختلفة مما يرجح وجود صور متعددة إنزيمية، تلك الحقيقة التى عرفت الآن من دراسات الفصل الكهربى electrophoresis على إنزيمات أكسيديزات ال- IAA، قد عرفت منتجات طبيعية وكيميائية معينة خاصة بتثييط ومنع تفاعلات أكسدة ال- IAA وهى عبارة عن فينولات ثنائية أو عديده الأيدروكسيد مثل حمض الكلوروجينيك chlorogenic، وحمض الكافيك caffeic acid.

كما يمكن أن تحدث الأكسدة oxidation عن طريق أضافه الأوكسجين ويتكون نتيجة لذلك مركبات كثيرة أهمها oxindole-3-acetic acid وdioxindole-3-acetic acid وذلك فى أندوسبرم وجذور والمجموع الخضرى للذره وأيضاً فى أجزاء من نبات الأرز (شكل ٥٢ أ).

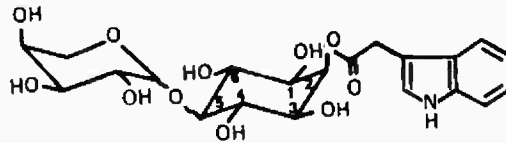
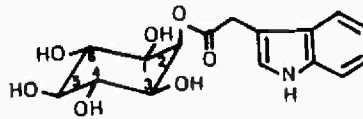
٣ - الإرتباط Conjugation: يمكن أيضاً أن يدخل IAA فى تفاعل مع مركبات أخرى أى يرتبط مع مركبات أخرى (شكل ٥٤ و ٥٥) بواسطة رابطه أميديه أو إستريه amide and ester linkages عادة ويصبح عديم الفاعلية وفى صورة غير فعالة والبعض يعتبر هذه التفاعلات detoxification reaction حيث أنها تقلل من تراكم IAA. حيث أن تراكم هذا الأوكسين لدرجة كبيرة جداً نسبياً تسبب ضرر للنبات أو

النسيج النباتي الموجودة فيه ولكن عند ارتباط الأوكسين بالمركبات المختلفة التي سيلي ذكرها فإنه يصبح عديم الفاعلية ولا يحدث تأثير ضار فقد يتفاعل مع الجلوكوز فيكون IAA - glucoside أو سلسلة من سكر الجلوكوز فيسمى IAA - Glucan وقد يتفاعل IAA مع الأمونيوم ليكون Indoleacetamide أو قد يتفاعل مع حامض الاسبارتيك ليكون Indoleacetylaspatic أو قد يتفاعل مع Inositol ليكون Indoleacetylinoitol أو يتفاعل مع سكريات أخرى غير الجلوكوز ليكون IAA - glycosides أو مشتقات لهذه المركبات والسكريات. وقد يتفاعل أو يدمص على جزئي البروتين ويصبح غير فعال . يمكن تحرير الأوكسين من هذه المركبات بواسطة تفاعلات إنزيمية مختلفة أنزيمات hydrolases ويصبح الأوكسين حر نشط فعال.

وجد الآن بعض من أنزيمات hydrolase مثل IAA-myo-inositol hydrolase في بارات الذرة وأيضاً أنزيم IAAlysine hydrolase في خلايا أورام مرض تعقد الزيتون حيث توجد أورام على أفرع نبات الزيتون، شكل (٢١٥) تقوم بتحرير الأوكسين.

ولذلك فإن الارتباط أيضاً يعتبر طريقة يمكن بها المحافظة على تركيز الأوكسين في الأنسجة المختلفة في النباتات المختلفة في الظروف البيئية المختلفة في أعمار النبات المختلفة. يتراوح تركيز الإندول المرتبط في الأنسجة بين ٥٠ - ٩٠٪.

وجد أن المرتبطات conjugates مع إندول حامض الخليك في جبوب الذرة

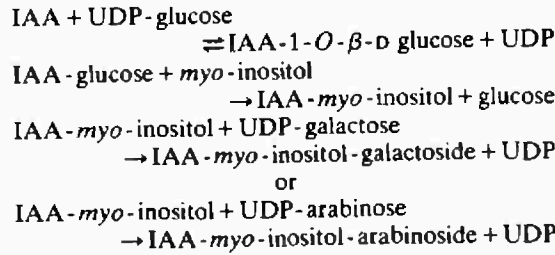


(شكل ٥٥) : التركيب الجزيئي الفراغي لمركب.

indole-3-acetyl 2-0-myo-inositol (العلوي) ومركب indole-3-acetyl 5-0-arabinoside (السفلي)

الشامية كثيرة ونصفها أى ٥٠ ٪ منها تقريباً عبارة IAA-glucan وأما الباقي فهو عبارة عن IAA - myo - inositol و IAA - myo - inositol - arabinose و IAA - myo - inositol - galactose. IAAglucose وآثار من IAA - myo - inositol. يوجد مركب علاوة على ذلك فى الأنسجة الخضرية للذرة الشامية وحبوب الأرز. وجد أن حبوب الزمير تحتوى على ٨٠ ٪ أندول حامض الخليك مرتبط فى صورة IAA glucoprotein . وجد أن IAA-1- aspartate هو الحالة الرئيسية التى يوجد فيها إندول حامض الخليك فى بذور فول الصويا وأوراق بادرات البسلة. وقد أمكن تخليق المرتبطات IAA conjugates خارج النبات *in vitro* وذلك بإستعمال إنزيم من حبة الذرة الشامية وفيما يلى خطوات تخليق المرتبطات المختلفة (شكل ٥٦).

يعتبر glucobrassicin و ascorbigen من الأوكسينات المرتبطة وبالمثل بعض



(شكل ٥٦) : خطوات تخليق مركب

IAA - myo - inositol - arabinoside

الأوكسينات التركيبية ربما ترتبط كمعقدات مع الأحماض الأمينية (والشائع الارتباط مع حمض الأسبريك والجلوتاميك) وإسترات الجلوكوسيل.

يوجد عامة ثلاثة أنواع من الأوكسينات فى النباتات وهى الحرة والمقيدة والمربطة. تتضمن الأوكسينات الحرة تلك الأوكسينات القابلة للإنتشار، والتى تتحرك خارجة من النسيج فى الحال على سبيل المثال الأوكسينات التى تنتشر خارجة من قمة غمد الريشة إلى الآجار، وتلك الأوكسينات المقيدة ومن أمثلتها IAA الموجود بالفجوة العصارية ويكون من الصعب خروجه من الفجوة والاستفادة منه والتى يمكن استخلاصها فى المذيبات المختلفة على سبيل المثال داي إيثيل إيثر diethyl ether عند

درجة صفر إلى ٥ م° وعلى النقيض، الأوكسينات المرتبطة هي تلك الأوكسينات التي تتحرر (تنطلق) من الأنسجة النباتية بعد تعريضها إما للتحلل المائي hydrolysis أو بالتحلل الذاتي autolysis أو التحلل الإنزيمي enzymolysis. على سبيل المثال تسخين أوراق السبانخ فى محلول قلوئى ضعيف أو معاملتها بالإنزيمات المحللة مائياً للبروتين (حيث يمكن أن يرتبط الأوكسين) تعطى كمية أكبر من الأوكسين عن تلك التى توجد فقط بالاستخلاص المباشر عند اتباع الطريقة العادية.

ومما هو جدير بالذكر أنه قديماً أمكن إثبات ارتباط الأوكسين بالمركبات المختلفة فى حبوب النجيليات وحيث لا يوجد أوكسين حر. ولكن عند معاملة هذه الحبوب بقلوى مخفف فإنه يتكون أوكسين حر. وقد أتضح أن هذا الأوكسين يوجد فى صورة جليكوسيدات glycosides حيث يرتبط الأوكسين مع مشتقات السكريات، وعند الإنبات تنتقل هذه المركبات الأخيرة من الحبة إلى قمم غمد الريشة وفى منطقة قمة الغمد تحدث تفاعلات إنزيمية عن طريقها يتم تحرر الأوكسين من مشتقات السكريات فى المركبات الجليكوسيدية.

وقد إتضح حديثاً أن ما سبق صحيح تماماً حيث وجد أثناء إنبات حبوب الذرة يتحول ٩٠ ٪ من المرتبطات مع إندول حامض الخليك عن طريق التحلل hydrolysis إلى إندول حامض خليك حر. وجد أيضاً أن جزء من IAA - myo - inositol ينتقل من الحبة إلى المجموع الخضرى حيث يتحلل وينتج إندول حامض خليك حر. ولذلك فإن للمرتبطات مع إندول حامض الخليك وظائف فسيولوجية عديدة وهى:

- ١ - تعمل المرتبطات كإحدى صور تخزين IAA. حيث يتم تخزين IAA أثناء نضج الحبوب والبدور ويستعمل أثناء الإنبات.
- ٢ - تعمل على نقل IAA من الحبة إلى المجموع الخضرى.
- ٣ - تقاوم تأثير إنزيم البيروكسيداز peroxidase ولا تتأثر به بذلك تعمل على

حماية الأوكسين من التحلل بالبيروكسيد حيث أن IAA يمكن أن يتأثر بإنزيم البيروكسيداز ويصبح مركب آخر عديم الفاعلية.

٤ - عندما يحدث تثبيط لنمو البادرة فإن IAA الحر يختفى ويزداد تركيز IAA المرتبط.

يتضح مما سبق أن تكون IAA المرتبط ثم تحلله ليصبح حر ونشط هي عبارة عن عملية لتنظيم تركيز IAA في النبات.

يختلف تركيز IAA الحر والمرتبط في خلايا النخاع عنه في خلايا الإسطوانة الوعائية وأيضاً تختلف سرعة التحول الغذائي لهذا الأوكسين في النخاع عنه في خلايا الإسطوانة الوعائية في جذور الذرة.

كيف يؤثر الأوكسين على خلايا النبات لحدوث الإستطالة :

من المعروف أنه في الحشرات وبعض الحيوانات الأخرى أنه لكي يحدث نمو فلا بد للحشرات من أن تنسلخ وقد يحدث عدة انسلاخات لكي تتمكن من الكبر في الحجم. أما في حالة الخلايا النباتية فإن كل خلية يكون لها جدار خلوي سميك نسبياً وصلب نسبياً وبذلك يمنع الخلية من التمدد أو الإستطالة ولكن من المعروف أن خلايا النبات تستطيع ومعنى ذلك أنه لا بد من حدوث تغيرات في تركيب الجدار الخلوي لكي يسمح باستطالة وتمدد الخلايا.

ويمكن تمثيل هذه الحالة بواسطة بالون، فعند نفخ هذا البالون إلى أقصى حد يمكن عمل زيادة في حجم هذا البالون زيادة على الحد المعتاد وذلك بمعاملة جدار البالون بأي مذيب عضوي مناسب يساعد على تمدد جدار البالون وبذلك تكبر البالون في الحجم دون نفخ للهواء ، وهذا ما يحدث أيضاً في حالة الخلية النباتية حيث أن الأوكسينات هامة وضرورية لزيادة حجم وإستطالة الجدر الخلوية. وقد أمكن إثبات ذلك كما هو معروف أنه باستخدام مكعب من الآجار به أوكسين ووضعه على قمة الساق أو الغمد بعد إزالة الجزء القمي فإن الساق يحدث له نمو باستطالة

خلاياه وقد وجد أن إستطالة الخلايا فى النبات وكبرها فى الحجم ترجع إلى حالتين هما:

١ - ترجع لوجود ضغط الإنتفاخ Turgor pressure .

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

يمكن تصنيف المطاطية إلى نوعين من الخلية وهما:

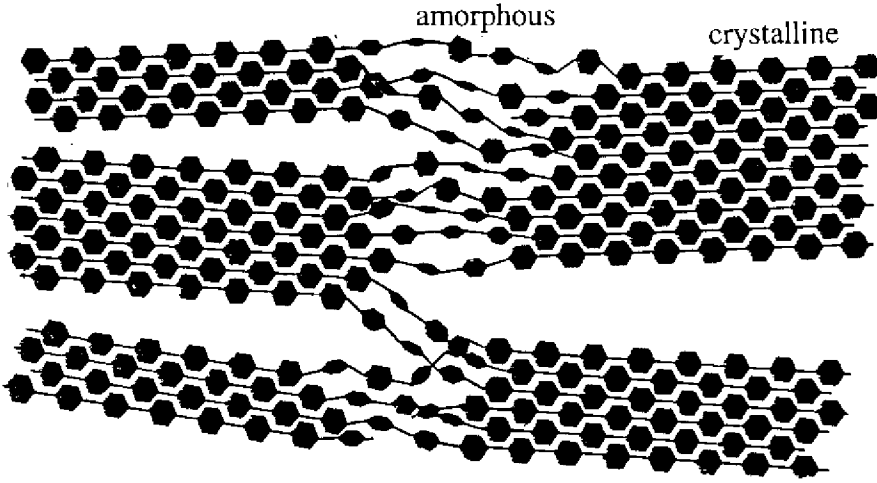
أ - مطاطية عكسية Elastic Extensibility وهى عبارة عن مطاطية reversible عكسية أى مثل الاستيك تعتبر المطاطية نتيجة لضغط الإنتفاخ من هذا النوع .

ب - مطاطية غير عكسية Plastic Extensibility وهى عبارة عن مطاطية غير عكسية irreversible أى يتمدد الجدار ولا ينكمش مرة أخرى مثل البلاستيك تعتبر المطاطية نتيجة للنمو والهورمونات من هذا النوع .

يتكون الإطار التركيبى لجدار الخلية النباتية من السليلوز، والوحدة الأساسية لهذا الإطار هى جزئى السليلوز. وجزئيات السليلوز عبارة عن سلاسل طويلة تتكون من تكاثف مئات كثيرة من جزئيات الجلوكوز وليست جزئيات السليلوز وحدات ذات وزن جزئى معين، وذلك لأن طول السلاسل غير ثابت. فكثير من جزئيات السليلوز بجدر الخلايا النباتية الحية تبلغ قدراً من الطول بحيث تحتوى على ٥٠٠٠ على الأقل من جزئيات الجلوكوز، بينما يكون غيرها أقصر من ذلك بكثير.

وقد أماطت الدراسة بالأشعة السينية والضوء المستقطب اللثام عن التنظيم الهندسى لجزئيات السليلوز الطويلة فى الجدار الخلوى. ففى بعض المناطق تكون جزئيات السلسلة متوازية تماماً بحيث تكتسب الكثير من خواص البلورات وتسمى بالسيليلوز البلورى crystalline cellulose وتكون أقل تنسيقاً فى مناطق أخرى، مكونة ما يعرف بالسيليلوز اللابلورى amorphous cellulose. وقد يوجد الجزئى السليلوزى نفسه كجزء من منطقة متبلورة بدرجة كبيرة، ثم يمر بمنطقة غير متبلورة، ثم يستمر فيدخل منطقة أخرى متبلورة (شكل ٥٧) ولا يكون التحول فجائياً بين المناطق المتبلورة (وتسمى هذه المناطق المتبلورة بالجسيمات micelles) والمناطق غير المتبلورة،

وهكذا يكون الجدار عبارة عن نسيج من جزيئات سلسلية طويلة من السليلوز تكون متوازية بدرجات متفاوتة فى أجزاء مختلفة من الجدار.



(شكل ٥٧) : جزء صغير من micelle لويقة صغيرة للجدار الخلوي يتكون من سيليلوز crystalline وسيليلوز amorphous.

ويؤخذ من قياس مخططات الأشعة السينية لبعض ألياف النبات الطبيعية أن للمناطق المتبلرة سمكاً محدوداً إلى حد ما. ويمكن اعتبار الجسم الواحد كمعين يبلغ سمكه نحو ٥ - ٦ ملليميكرونات وطوله ٦٠ ملليميكرونا على الأقل ومعنى هذا بمدلول جزيئات السليلوز أن كل جسم متبلر عبارة عن حزمة من نحو ١٠٠ - ١٧٠ من الجزيئات المتوازية، وأن أجزاء الجزيء التى تقع داخل الجسم تتكون من ١٢٠ وحده على الأقل من الجلوكوز . وقد يرتبط بجزيئات السليلوز فى كثير من الجدر الخلوية جزيئات سلسلية طويلة مكونة من تكاثف سكريات أخرى.

وتتفاوت نسب السليلوز البلورى وغير البلورى على نطاق واسع فى جدر الخلية النباتية. ففى الجدر المغلظة لبعض الألياف النباتية يصل السليلوز المتبلر إلى نحو ٩٠

فى المائة، بينما لا يكون السليلوز المتبلر فى الخلايا الحديثة سوى نسبة صغيرة مما يوجد فى جذرها الآخذة فى الكبر ويبدو أن السليلوز البلورى لا يوجد بتاتاً فى جدر بعض الخلايا الحديثة. ولما كانت التفرقة بين السليلوز البلورى وغير البلورى إنما تتوقف بصفة أساسية على درجة ترتيب الجزيئات، فإن شد الجدار الخلوى أو تخفيفه من شأنه أن يزيد نسبة السليلوز البلورى زيادة كبيرة فى العادة.

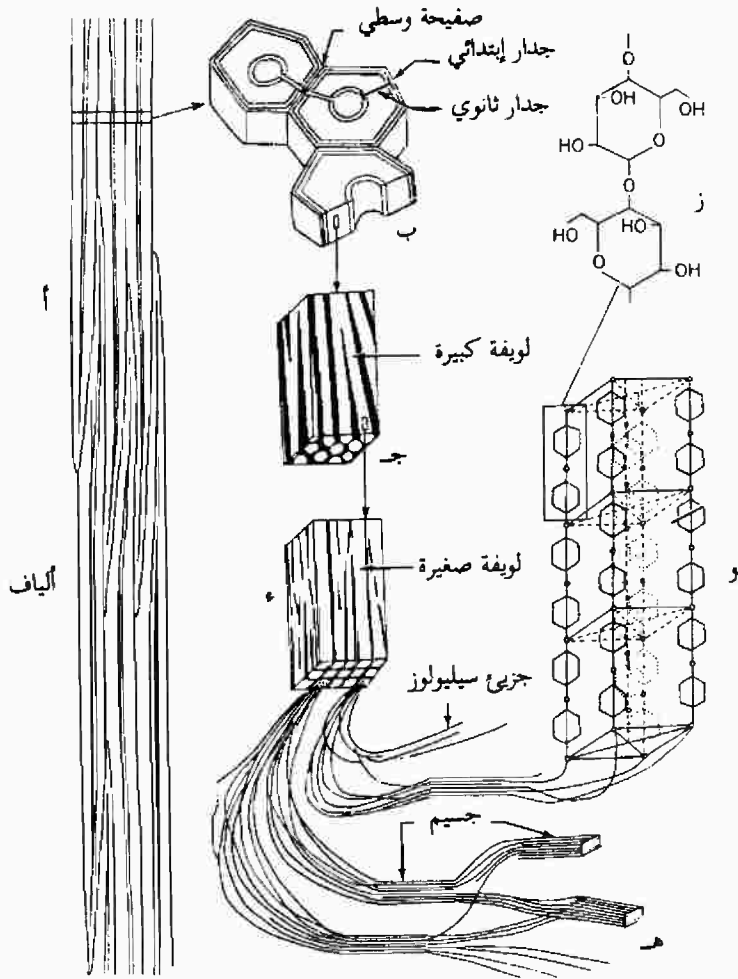
ويؤخذ من شتى الأدلة أن الجسيمات تفصلها فراغات دون مجهرية تؤلف نظاماً متشابكاً يمتد خلال الإطار السليلوزى (شكل ٥٨).

ويتراوح اتساع هذه الفراغات من ملليميكون واحد إلى نحو ١٠٠ من الملليميكونات، وهكذا تتألف منها ممرات هائلة نسبياً ينساب خلالها ماقد يخترق أجزاء الجدر السيلولوزية من جزيئات منتشرة. وهذه الفراغات مملوءة بمركبات بكتينية فى الجدر الخلوية الإبتدائية، وباللجنين فى الأنسجة الخشبية وبالشموع والكيوتين فى الجدر الكيوتينية. أما الجدر التى تكاد تكون سيلولوزية بحتة، كالجدار الثانوى لألياف القطن، فالفراغات فيها مملوءة بالماء.

وأصغر الوحدات المرئية من الجدر السيلولوزية عبارة عن جدائل خيطية دقيقة من اللييفات fibrils وهذه اللييفات هى حشود من جزيئات وجسيمات كثيرة من السليلوز مرتبة معاً بحيث تتوازى محاورها الطولية مع محور اللييفة الطولى.

وتكون هذه اللييفات فى الجدر الإبتدائية شبكة دقيقة متواصلة (شكل ٥٨) تملأ فراغها مركبات بكتينية غروية. أما فى الجدر الثانوية فكثيراً ما تتجمع اللييفات فى جدائل أغلظ تتفرع وتلتف حول الخلية بصورة (لولب) حاد قد تتباين زاويته فى طبقات مختلفة، بل وفى مختلف أجزاء الطبقة نفسها (شكل ٥٨).

ولقد كان من المتعذر إدراك التفاصيل الدقيقة لتركيب الجدار الخلوى بسبب القيود التى تصادفنا حتى مع أدق الميكروسكوبات البصرية. فحدود القوة النهائية للميكروسكوب البصرى تحدد أطوال موجات الضوء المستعمل، وكلما كان طول



(شكل ٥٨) : تركيب الجدار الخلوي

- أ - مجموعة من خلايا الألياف .
- ب - قطاع عرضي في ثلاثة خلايا ألياف ويتكون الجدار الثانوي من ثلاث طبقات .
- ج - جزء من الجدار يحتوي على عدد من اللويقات الكبيرة .
- د - جزء من لويقة كبيرة يحتوي على عدد من اللويقات الصغيرة ..
- هـ - جزء من لويقة صغيرة يتكون من جسيمات عديدة وجزئيات سيليلوز .
- و - جزء مكبر من جسيم يوضح الترتيب المعيني لجزئيات الجلوكوز .
- ز - جزئ سيليلوز يتكون من وحدتين جلوكوز .

الموجة أقصر كانت القوة النهائية أكبر. ولذلك فإنه يمكننا أن نرى أو نصور الأشياء التي كان يتعذر رؤيتها في المجهر المركب المعتاد لو أننا أستطعنا أن نوجد طريقة نستخدم بها أطوالاً موجية من الإشعاع أقصر بكثير من أطوال موجات الطيف الضوئي. وقد تحققت مثل هذه الطريقة في الميكروسكوب الإلكتروني. ففي هذه الحالة نستخدم بدلاً من الضوء حزمًا من الإلكترونات يتم تجميعها في البؤرة مغناطيسياً. وتقل الأطوال الموجية للحزم الإلكترونية التي تستخدم بكثرة عن جزء من أربعة آلاف من طول أقصر أطوال موجات الطيف المرئي. ولما كانت الأطوال الموجية التي نستخدمها في الميكروسكوب الإلكتروني قصيرة للغاية، فإننا نستطيع أن نحصل على صور واضحة لأشياء أدنى بكثير من القوة النهائية لأفضل الميكروسكوبات البصرية. وتؤكد الصور الضوئية المأخوذة بالميكروسكوب الإلكتروني لجدر الخلية النباتية الأشكال التركيبية العامة التي تم أستنباطها من مصادر استدلال أخرى (شكل ٥٨).

تختلف الخواص الفيزيكية للجدر الخلوية الابتدائية اختلافاً واضحاً عن خواص الجدر الثانوية. فالجدر الابتدائية في العادة طيعة مرنة للغاية. والمعروف مثلاً أن خلايا الميزوفيل لبعض أنواع تعانى تغيرات انعكاسية في الحجم تبلغ ٣٠ في المائة أو أكثر نتيجة لتغيرات ضغط الإمتلاء. ويرجع الفضل في طواعية الجدر الابتدائية إلى الكمية الكبيرة من السليلوز اللابلورى في هذه الجدر وإلى المجموعة الواسعة من المسافات التي بين الخلايا واللييفات المملوءة بمركبات جيلاتينية بكتينية محبة للماء. وتتميز الجدر الثانوية بانخفاض المرونة ونقص الطواعية، خلافاً لما سبق وصفه من خواص تعتبر نموذجية بالنسبة للجدر الابتدائية. وترجع قوة الجدر الثانوية وصلابتها إلى وجود السليلوز في هذه الجدر بكميات أكبر وإلى النسبة العالية من السليلوز المتبلر. والجدر الابتدائية والثانوية كلاهما شفافان بالنسبة لأطوال موجات الطيف المرئي.

يمكن تلخيص ما سبق أن الجدار الخلوى عبارة عن هيكل شبكى من سلاسل من السليلوز تتجمع كل مجموعة من هذه السلاسل فى حزمة bundle و وفى كل

حزمة مناطق للسيليلوز البلورى أى المتبلور crystalline ومناطق أخرى للسيليلوز غير البلورى amorphous cellulose. تتجمع هذه الحزم فى مجاميع وكل مجموعة تسمى لويفة صغيرة microfibril وتسمى أيضاً ليفة fibril ولكن الآن يفضل التسمية لويفة صغيرة عن تسمية الليفة. تفصل اللويفات الصغيرة عن بعضها فراغات.

كما قد تتجمع اللويفات الصغيرة فى الجدر الثانوية فى لويفات كبيرة macrofibrils (شكل ٥٨) تفصلها أيضاً فراغات تترسب بهذه الفراغات المختلفة مواد مختلفة تختلف حسب نوع و عمر الخلية، وفى الجدر الابتدائية تمتلئ الفراغات أساساً بمركبات بكتينية وفى جدر الأنسجة الخشبية والأسكلر انشيمية تمتلئ الفراغات أساساً باللجنين وفى جدر البشرة يترسب الكيوتين وفى جدر خلايا الفلين يترسب السيوبرين.

وظيفة الجدار الخلوى هو حفظ مكونات الخلية بداخله كما أنه يعطى الخلية صلابة ومتانة.

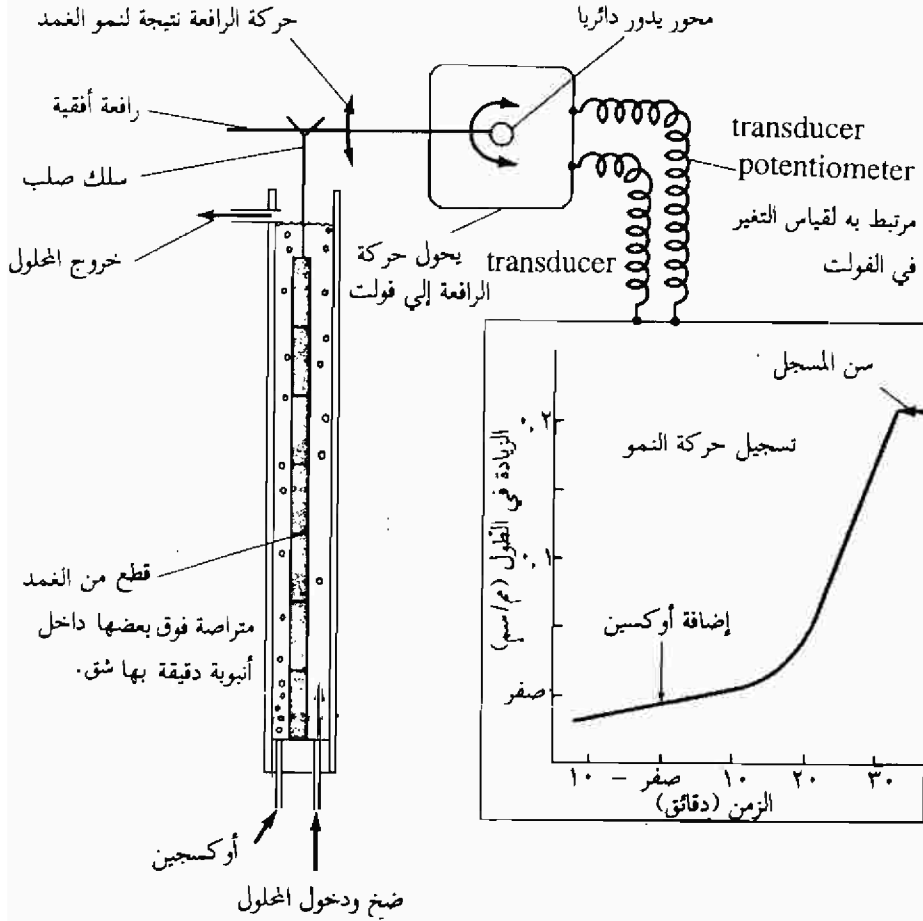
تعتبر مطاطة الخلية نتيجة لضغط الإنتفاخ أى ضغط الإمتلاء (كلاهما يستعمل بكثرة لوصف إمتلاء الخلية بالماء وضغطها على الجدار الخلوى فتسبب تمدده وإنتفاخ الخلية) هى نتيجة تمدد جدار الخلية وتعتبر هذه الحالة هى مطاطية أستيكية أى عكسية أى رجعية elastic or reversible extensibility ويحدث ذلك نتيجة لشد أو لفرد جزيئات السيليلوز غير البلورى وعند زوال ضغط إنتفاخ أى ضغط إمتلاء الخلية على الجدار يتم إرتخاء جزيئات السيليلوز مرة أخرى. وهكذا يحدث إنكماش لجدار الخلية ويقل إنتفاخ الخلية. يمكن أن يحدث ذلك مرات كثيرة فى عمر الخلية فى النبات نتيجة لتغير العلاقات المائية للخلية. مما سبق يتضح أن ضغط الإنتفاخ أى ضغط الإمتلاء ينتج عنه مطاطية أستيكية أى عكسية.

وقد وجد أن تأثير الأوكسينات على جدار الخلية هو من النوع البلاستيك أى مطاطية غير عكسية أى غير رجعية أى بلاستيكية plastic extensibility.

وقد ساد الاعتقاد بأن تكون الإستطالة نتيجة لنشاط أنزيم السيليوليز ولكن ثبت خطأ هذا الإستنتاج حيث أن الخلية تستطيل فعلاً قبل حدوث أى نشاط لأنزيم السيليوليز ويحدث ذلك النشاط لهذا الأنزيم بعد ساعة أو بعد ساعات قليلة من المعاملة بالأوكسين. ومن الثابت أن هذا الإنزيم له تأثير على عملية الاستطالة ولكن هذا التأثير فى مرحلة متأخرة من عملية استطالة الخلايا حيث يبدأ أولاً استطالة للخلايا ثم يلى ذلك نشاط الإنزيم. ولقياس النمو الفعلى وبأسرع ما يمكن بعد إضافة الأوكسين فقد صمم جهاز لذلك كما فى الشكل (شكل ٥٩). وبهذا الجهاز يمكن دراسة التغيرات التى تطرأ على النمو الطولى مباشرة وفى حدود ثوانى من حدوث النمو. فقد وجد بواسطة هذا الجهاز أنه لا يوجد نمو محسوس بعد ١٠ - ١٥ دقيقة من إضافة الأوكسين وبعد ذلك تزداد سرعة النمو حتى أقصى سرعة بعد ٣٠ دقيقة ولذلك فإن أى تغيرات لا يمكن ملاحظتها فى حدود أقل من ساعة من زمن المعاملة لا يمكن أن تعتبر ضمن تأثير الأوكسينات على حدوث النمو وذلك على الأقل فى المرحلة الأولى.

وشرح هذا الجهاز هو عبارة عن أنبوبة اسطوانية يوجد لها سدادة من أسفل تخترق هذه السدادة أنبويتين أحدهما لإدخال الأوكسين والأخرى لإدخال محلول الأوكسين وبداخل هذه الأنبوبة توجد أنبوبة أخرى بها شق طولى ويوضع بداخلها أجزاء من أغصان مقطوعة مرتبة فوق بعضها والجزء الطرفى من الغمد يتصل بسلك وهذا السلك يتصل برافعة أفقية. وهذه الرافعة متصلة بجهاز transducer ليسجل حركة الرافعة ويحولها إلى فرق فى الجهد والفولت ولذلك يتصل هذا الـ transducer بـ potentiometric recorder ليسجل الاختلاف فى الجهد أو الفولت. يتم تسجيل ذلك بواسطة رسم منحنى على ورقة رسم بيانى بواسطة سن للريكوردر به مداد. ويتضح من رسم المنحنى وحيث أنه على المحور الصادى يوجد الزيادة فى النمو الطولى للأغصان بالمللى لكل سم من الغمد، والمحور الصادى الزمن بالدقائق بعد وضع الأوكسين. يتضح من المنحنى أنه بعد ١٠ دقائق إلى ١٥ دقيقة

من وضع الأوكسين فإنه لا يحدث زيادة محسوسة في النمو أو الإستطالة ولكن بعد ذلك تزداد سرعة الإستطالة والنمو بدرجة كبيرة حتى تصل أقصى سرعة لها بعد ٣٠ دقيقة.



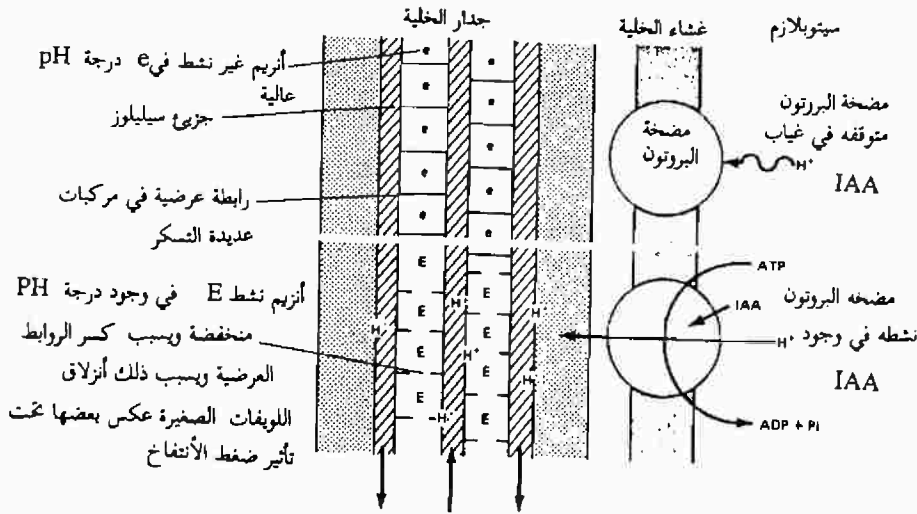
(شكل ٥٩) : جهاز لقياس التغيرات السريعة للنمو في غمد الريشة لنبات الشوفان نتيجة إضافة إندول حامض الخليك إلى محلول منظم عند درجة pH ٦,٥

ماهى التغيرات التى تحدث فى هذا الوقت القصير نسبياً ليحدث إستطالة فى الخلايا؟ للإجابة على هذا السؤال لوحظت إحدى الظواهر وذلك فى الثلاثنيات، وقد أهملت طول هذه الفترة ولكن أعيد اكتشافها فى السبعينيات. وأن هذه الظاهرة هى أن البيئة الحامضية تساعد على استطالة الخلايا فإذا وضع قطع من الساق أو الغمد فى الجهاز السابق وأحيط بوسط حامضى فإن النمو يزداد وإذا عمل سلخ لبشرة هذه الأجزاء لتسهيل دخول السائل الحامضى الموجود فى البيئة إلى الأجزاء النباتية وفى PH حوالى ٥,٠ فإن النمو يكون أسرع ما يمكن بإستطالة الخلايا. وإذا قتلت هذه الأجزاء النباتية واختبرت ميكانيكياً فى درجة قابليتها للإستطالة وذلك بشد طرفيها فإن الاستطالة تكون أسهل عند وجودها فى بيئة حامضية عند حوالى $PH = 3,5$ بينما تكون هذه الإستطالة أصعب فى بيئة فيها $PH = 7,0$ ومن ذلك يتضح أن تأثير الحموضة على الخلايا لا يحتاج إلى خلايا نشطة ولكنها حالة مباشرة لتأثير أيونات الأيدروجين على مكونات جدار الخلية. أما العلاقة بين الحموضة والأوكسين فقد وجدت أنها علاقة واحدة حيث أن كلاهما يؤثر على إستطالة الخلايا ولكن وجد أن الحموضة تؤثر مباشرة على جدار الخلية بينما الأوكسين يؤثر على البروتوبلازم والأجزاء الحية فى الخلية وأن تأثير الحامض فى الإستطالة ينتهى بعد مدة وجيزة بينما تأثير الأوكسين على الإستطالة ينتهى بعد عدة ساعات على الأقل.

ويمكن شرح ذلك حيث وجد أن الأوكسين يجعل بيئة الجدار الخلوى حامضية وأن الحموضة تسبب بطريقة معينة فك السلاسل من بعضها للجدار وهذا الإستنتاج لا يفسر إستطالة الخلايا تماماً بل يفسر فقط الخطوات الأولى لأن الإستطالة تسبب رقة فى الجدار لذلك لا بد من تخليق مركبات أخرى ليحافظ الجدار على سمكه، وهذه الحالة غير موجودة إذا استعمل الحامض فقط حيث أنه لا يسبب تخليق مركبات جديدة بل أن تخليق مركبات جديدة لا بد أن يحدث فى وجود الأوكسين الذى يساعد فى ذلك.

ومن المعروف أن العناصر والسكريات والهورمونات وأيونات الأيدروجين تدفع إلى داخل الخلية وذلك بواسطة النقل النشط وقد وجد أيضاً أن الجزء المسئول والذى

يعمل على ضخ أيونات الأيدروجين من داخل الخلية ودفعها إلى الخارج أى إلى جدار الخلية هو عبارة عن مضخة البروتون تتكون من البروتين موجوده فى غشاء الأكتوبلاست ولكن هذه العملية تحتاج إلى طاقة. تنتج هذه الطاقة من هدم أو تكسير ATP الذى يوجد فى الخلية إلى ADP ثم يتحرر المركب الأخير وفى الخلية يتحول مرة أخرى إلى ATP نتيجة لعمليات التحول الغذائى (شكل ٦٠). وأهمية الأوكسين هنا وهو IAA بالتحديد هو أنه يرتبط بهذه المضخة البروتينية ويعمل كمنشط لهذه المضخة البروتينية وفى عدم وجود الأوكسين فإن المضخة تتوقف عن العمل ويكون تأثيرها ضعيف أو معدوم. إرتباط IAA بالمضخة أو إنفصاله عنها وبحرية تامه وذلك تبعاً لإحتياج الخلية. وهذه النظرية صحيحة حيث وجد أن غمر أجزاء الساق المسلوخة (أى التى نرعت بشرتها فقط) فى محلول لا يوجد حولها بيئة حامضية إلا عند معاملتها بإندول حامض الخليك ولكن حتى الآن لم يتم الإجابة عن السؤال الآتى وهو.



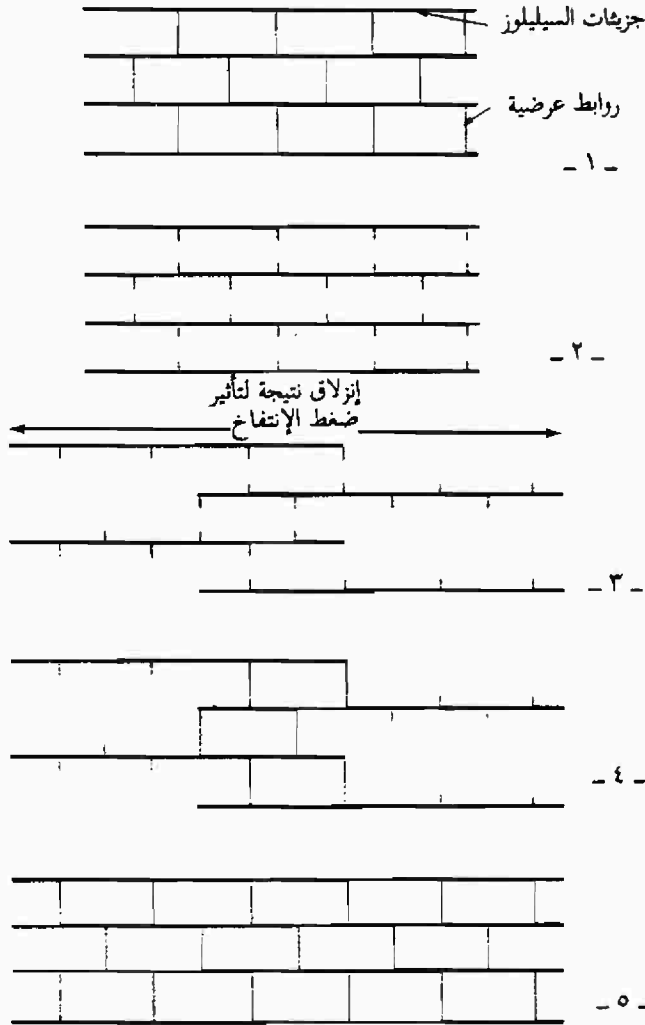
(شكل ٦٠) : نظرية مضخة البروتون proton pump توضح دور أندول حامض الخليك فى مطاطية وأستطالة جدار الخلية.

ما السبب فى أن الحموضة تسبب إستطالة الخلايا ؟

من المعروف أن الجدار الخلوى يتكون أساساً من مركب السيليلوز وهو عبارة عن سلاسل طويلة من السيليلوز متصلة ببعضها بواسطة روابط عرضية عديدة التسكر polysaccharides وهذه الروابط تتكون أساساً من مركب هيميسيليلوز hemicellulose حيث أن هذا المركب عبارة عن خليط من سلاسل من السكريات مثل الجالكتوز والأرابينوز والزيلوز ولأن سلاسل السيليلوز مرتبطة ببعضها بهذه الروابط ولذلك فإن الجدار صلب. لكى يتمدد جدار الخلية وينمو فإنه لابد من كسر هذه الروابط لكى تنزلق كل سلسلة على الأخرى خلف خلاف ليحدث تمدد وإستطالة الجدار ثم تتكون جزيئات سيليلوز جديدة ثم تتكون الروابط مرة أخرى (شكل ٦١).

وقد اقترح لكسر الروابط أنزيم يعتمد على درجة pH يكسر هذه الروابط العرضية بين جزيئات السيلولوز ويكون هذا الأنزيم غير نشط فى pH من ٦ - ٧ ولكن أقصى نشاط يكون $pH = ٥$ ولذلك فإنه عند ضخ أيونات الأيدروجين بواسطة البروتين فى وجود الأوكسين من السيتوبلازم إلى الجدار ينشط الأنزيم ويكسر الروابط العرضية ونتيجة لوجود ضغط الإنتفاخ فى الخلية فإن سلاسل السيليلوز تكون حرة فى أن تنزلق خلف خلاف أى كل جزئ ينزلق فى اتجاه عكسى للجزئ الذى يليه وبذلك يحدث النمو وتستطيل الخلية ولكن للأسف حتى الآن لا نعرف شئ عن طبيعة هذا الأنزيم وهذا هو الجزء الإفتراضى الوحيد فى هذه النظرية (شكل ٦٠ و ٦١).

وجد أن إستطالة الخلايا تحدث لمدة صغيرة نتيجة لوجود الحموضة المناسبة أما فى وجود الأوكسين فإن الإستطالة تحدث لمدد طويلة أى عدة ساعات ولذلك ماهى المدة التى يمكن أن يحدث فيها عملية تنشيط إستطالة الخلايا بكفائه فى وجود الأوكسين ؟



(شكل ٦١) : كيفية إستطالة جدار الخلية تحت تأثير الأوكسين.

- ١ - جدار خلوى عادى.
- ٢ - كسر الروابط العرضية فى الجدار.
- ٣ - تنزلق جزيئات السليلوز خلف خلاف على بعضها نتيجة لوجود ضغط الإنتفاخ.
- ٤ - تكوين الروابط العرضية مرة أخرى فى الأجزاء المتقابلة بعد الإنزلاق.
- ٥ - تخليق المركبات اللازمة لأكمال تركيب الجدار وبحيث يصبح الجدار له نفس السمك ولكنه أكثر طولاً.

وجد أنه عند معاملة الغمد بمادة مثبطة لتكوين البروتين مثل سيكلوهكسيميد cycloheximide عند معاملة الغمد أو أجزاء الساق بهذا المركب وبعد فترة طويلة نسبيا يضاف الأوكسين فإن الأخير ينشط نمو الخلايا وذلك بحدوث عملية ضخ الأيدروجين للجدار الخلوى لمدة حوالى ١٥ دقيقة وقد وجد أن المعاملة العكسية وهى المعاملة بالأوكسين للغمد وبعد زمن معين يوضع المركب المثبط لتكوين البروتين وهو cycloheximide وفقد وجد أيضا أن ذلك يحتاج إلى ١٥ دقيقة ومن ذلك يتضح أن كفاءة الأوكسين تستمر لمدة ١٥ دقيقة سواء عمل الغمد به قبل المعاملة بالسيكلوهكسيميد أو عمل الغمد به بعد المعاملة بالسيكلوهكسيميد. ومن ذلك يتضح أن توقف هذه العملية راجع إلى توقف مضخة البروتين الموجودة فى الغشاء البلازمى حيث أن المدة ١٥ دقيقة ثابتة فى كلا الحالتين. يتضح مما سبق أن المركب المثبط لتخليق البروتين وهو سيكلوهكسيميد يمنع تخليق بروتين جديد ولكنه لا يؤثر على البروتين الموجود فعلا ولذلك فإن دور الأوكسين فى هذه العملية يمتد لمدة ١٥ دقيقة حيث أنه ينشط بروتين المضخة لفترة وجيزة لمدة ١٥ دقيقة فقط وكان يمكن أن تزيد المدة عن ذلك. ويتضح من ذلك أيضاً أنه لكى تستمر عملية إستطالة الخلايا فلا بد من وجود إستمرارية لتخليق البروتين والذى يتكون منه بروتين المضخة الموجود فى الغشاء البلازمى أى الإكتوبلاست وأيضاً باقى أنواع البروتين فى الخلية وأيضاً إستمرارية لتخليق إندول حامض الخليك. يتضح أيضاً أن حيوية مضخة البروتين فى الغشاء البلازمى تكون محدودة بمدة وجيزة وأنها تفسد وتحتاج إلى بروتين متجدد بإستمرار لكى تعمل المضخة على الوجه الأمثل فى ضخ أى نقل أيونات الأيدروجين فى عكس منحدرات التركيز من داخل الخلية إلى الخارج أى إلى الجدار. مما سبق يتضح أن عمر بروتين المضخة قصير حوالى ١٥ دقيقة وأن هذا البروتين متجدد بإستمرار لتكوين بروتين المضخة والدليل على ذلك أن منع تخليق بروتين جديد بواسطة المثبط منع عمل بروتين المضخة بعد فترة وجيزة يعنى ذلك أن بروتين المضخة قصير العمر والحيوية short - lived وحتى فى وجود الأوكسين.

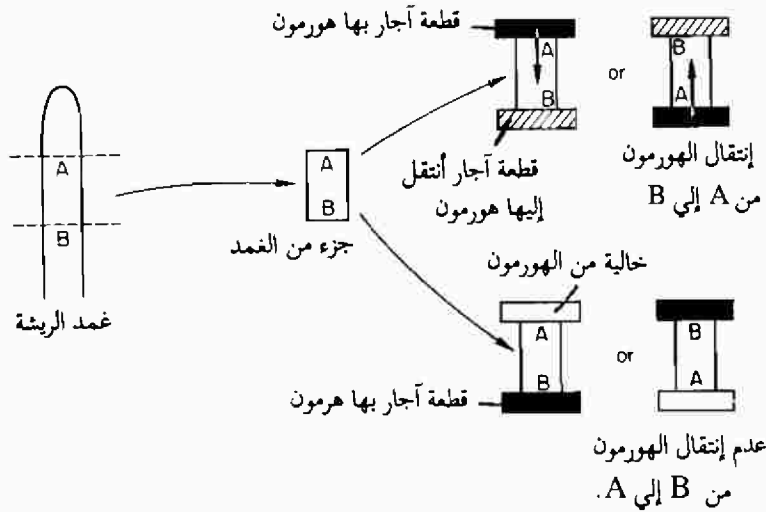
يمكن القول أيضاً أن الأوكسين له دور فى تنشيط الأنزيمات التى تشترك فى تخليق مركب السيليلوز وأن هذه الأنزيمات موجودة فى غشاء الخلية وفى أغشية حوصلات جهاز جولجى dictyosome vesicles. ولذلك فإنه فى حالة الخلايا التى تستطيل طولياً فلا بد من وجود جزيئات سيليلوز جديدة لكى تملأ الأماكن الفارغة فى جدار الخلية وذلك لكى يحافظ جدار الخلية المتمدّد أى النامى على سمكه. وإذا لم يحدث ذلك فإن الجدار المتمدّد لدرجة كبيرة يمكن أن يتمزق وتصبح الخلية عديمه الجدار بالطبع لا يحدث ذلك فى الخلية حيث أنه تتكون وحدات جديدة لبناء الجدار والمحافظة على سمكه (شكل ٦١) وأيضاً لابد من تكوين جزيئات هيميسيليلوز جديده لتتكون الروابط العرضيه.

ولذلك يمكن القول أن الأوكسين أيضاً له دور فى تخليق مركبات جديدة ومنها جزيئات السيليلوز الجديدة التى ستحل محل الفراغات الموجودة فى الجدار الجديد الرقيق. كما وجد أيضاً للأوكسين تأثير فى تكوين أنواع معينة من RNA وأن هذه المركبات الأخيرة هامة فى تكوين البروتين اللازم للإنزيمات واللازم أيضاً لتكوين البروتينات الأخرى. ومن المعروف أن جزء كبير جداً من كل إنزيم عبارة عن بروتين، ولذلك فهو لازم أيضاً لتخليق البروتين الذى يتكون منه مضخة أيونات الأيدروجين الموجودة فى الغشاء البلازمى. يؤثر الأوكسين على زيادة وتنشيط تخليق البروتين وذلك بتنشيط تخليق mRNA فى النواه.

كيفية إنتقال إندول حامض الخليك:

من المعروف أن إنتقال الأوكسينات الطبيعية ومنها IAA هو إنتقال قطبى polar translocation. والإنتقال القطبى معناه إنتقال الأوكسين فى إتجاه واحد فقط وليس فى الإتجاه العكسى. ومن التجارب السابقة جميعها يتضح أن إنتقال الأوكسين قطبى من أعلى إلى أسفل فقط وليس فى الإتجاه العكسى وأن ذلك غير راجع للجاذبية الأرضية على الإطلاق بل هو نتيجة لعوامل فسيولوجية معقدة ويوجد لذلك نظريات ولكن من الثابت أن هذه العملية لها علاقة بعمليات التحول الغذائى الهوائية

aerobic metabolism وأيضاً لابد من وجود خلايا حية بها أغشية خلوية وعامة فإن النقل النشط active transport له دور في هذه العملية (والنقل النشط معناه نقل الجزيئات أو الأيونات في عكس منحدر تركيزها وذلك يحتاج إلى طاقة تستمد من التنفس ولذلك يسمى بالنقل النشط). وفيما يلي تجربة تثبت أن الانتقال قطبي غير راجع للجاذبية الأرضية وذلك كما في الرسم (شكل ٦٢).



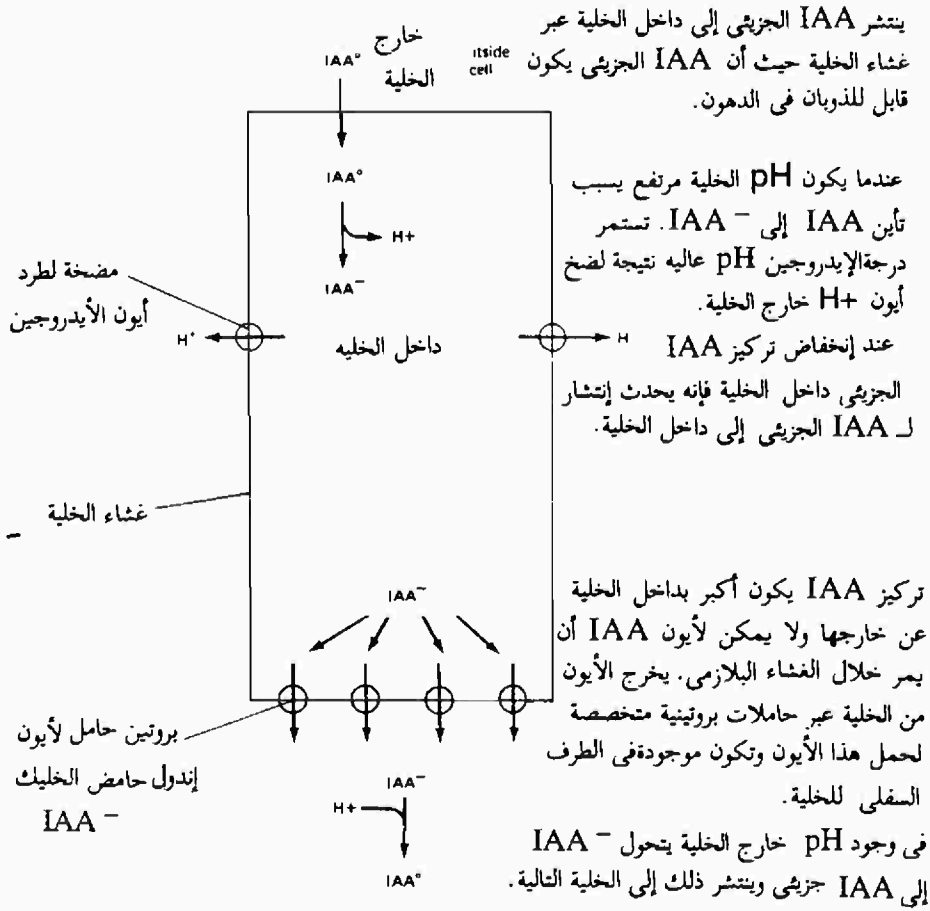
(شكل ٦٢) : القطبية في إنتقال أندول حامض الخليك .

يلاحظ أن الأوكسين ينتقل في إتجاه واحد من A إلى B وليست العكس دون تأثير للجاذبية الأرضية أو الإتجاه جزء الغمد .

ولإثبات ذلك أنه عند إزاله قمة الغمد وأخذ الجزء التحت طرفي subapical من الغمد وعند وضع هذا الجزء المقطوع بوضعه الطبيعي نعطي للجزء العلوى الحرف A والجزء السفلى الحرف B وبعد ذلك نستعمل مكعب من الآجار به IAA ففى الرسم العلوى يوجد حالتين عند وضع الآجار المحتوى على الأوكسين على الطرف A سواء هذا الجزء من الغمد فى وضعه العادى أو فى وضعه المقلوب فإن الأوكسين ينتقل فى كلا الحالتين من الطرف A إلى الطرف B دون أى تأثير للجاذبية الأرضية. وفى الحالتين الأخيرتين فى الجزء السفلى من الرسم عند وضع الآجار المحتوى على

الأوكسين على الطرف B وذلك في الجزء من الغمد في الوضع العادى أو في الوضع المقلوب فإنه لن يحدث إنتشار للأوكسين من طبقة الآجار إلى طبقة الآجار الخالية منه وهاتين التجريبتين تثبتا بما لا يدعو إلى الشك أن IAA وأيضا الأوكسينات الطبيعية تنتقل قطعياً في إتجاه واحد من أعلى إلى أسفل في الخلايا البارنشمية والمرستيمية وليس في الإتجاه العكسى مطلقاً ذلك غير راجع أو متأثر بالجاذبية الأرضية بل أنه نتيجة لعوامل فسيولوجية معقدة. هذا الإنتقال القطبى واضح في الغمد والساق وبدرجة أقل في أعناق الأوراق.

غير معروف بالضبط ميكانيكية الإنتقال القطبى للأوكسينات ولكن يمكن أن تشمل مايتأتى. ينتشر الأوكسين من قاعدة خلية إلى قمة خلية ملاصقة لها أسفلها (شكل ٦٣) في الخلايا البارنشمية في صورة جزيئات. وحيث أن سيتوبلازم الخلية متعادل تقريباً وأن الجدار الخلوى حامضى قليلاً فإن إندول حامض الخليك بداخل الخلية يصبح أيون يحمل شحنة سالبة نتيجة لخروج أيون أيديروجين موجب. ولذلك يتكون فرق أى منحدر إنتشار وينتشر إندول حامض الخليك الجزيئى من خارج الخلية إلى داخلها حيث أن تركيز هذا الأوكسين الجزيئى خارج الخلية أكبر من تركيزه داخل الخلية ويتبع ذلك قوانين الإنتشار العادية. إندول حامض الخليك الأيونى غير قابل للذوبان فى الدهون ولذلك لا ينتشر إلى خارج الخلية بينما يستمر إنسياب وإنتشار إندول حامض الخليك الجزيئى إلى داخل الخلية. يمكن نقل أيونات إندول حامض الخليك من داخل الخلية إلى خارجها وذلك بواسطة حوامل بروتينية متخصصة specific carrier proteins موجودة فى الغشاء البلازمى فى الجزء القاعدى من الخلية. حيث أن هذه الحوامل تلتقط إندول حامض الخليك الأيونى من داخل الخلية وتحملها عبر الغشاء البلازمى إلى خارج الخلية. وحيث أن تركيز الأوكسين الأيونى عال بداخل الخلية ومنخفض خارجها فإن الحامل البروتينى يعمل كممر turnstiles ينساب خلاله الأوكسين الأيونى من الداخل إلى الخارج إلى خلية أخرى سفلية حيث أن هذه حوامل البروتين إفتراضية (لم يثبت وجودها حتى



(شكل ٦٣) : تفسير الإنتقال القطبي للأوكسين.

الآن) توجد فى قاعدة الخلية فقط فإن الأوكسين ينساب من قمة الخلية إلى قاعدتها. تحتاج هذه العملية نقل نشط للمحافظة على pH معتدل للخلية وليست حامضى ولذلك فإن نقل أيونات الإيدروجين إلى خارج الخلية يحتاج إلى طاقة عالية تستمد من جزيئات ATP. فى pH خارج الخلية يتم تحول إندول حامض الخليك الأيونى خارج الخلية إلى إندول حامض الخليك جزئى نتيجة إتحاد الأوكسين الأيونى مع أيون أيديروجين.

أما عن مكان إنتشار الأوكسين فى النبات فهو الخلايا البارنشيمية للقشرة أو النخاع كما ينتقل أيضا عن طريق الأنسجة الوعائية وفى اللحاء والكمبيوم على وجه التحديد حيث أن إنتقال الماء والذائبات يكون فى الخشب من أسفل إلى أعلى وذلك على العكس تماماً من إنتقال الأوكسين من أعلى إلى أسفل وعلاوة على ذلك فإن نسيج الخشب نسيج ميت لا يوجد به أى تفاعلات حيوية أو حتى أغشية بلازمية وهى من لوازم هذا الإنتقال. لذلك لا يمكن أن يكون نسيج الخشب هو المسئول عن إنتقال الأوكسين حيث أن الخشب نسيج ميت فإنه لا يتحكم فى الإنتقال ولذلك إذا كان الإنتقال عن طريق الخشب فيكون إنتقال الأوكسين فى إتجاهين وهذا خطأ. ولذلك فإنه يعتقد أن الإنتقال يحدث أيضا فى نسيج اللحاء وهو نسيج حى خلاياه حية بها تفاعلات غذائية هوائية تحدث فى ظروف هوائية وعلاوة على ذلك فإنه به أغشية خلوية كثيرة وفيه أيضاً ظاهرة النقل النشط موجودة وواضحة. الإنتقال القطبى واضح فى الساق وأيضاً فى حالة الجذر سرعة إنتقال الأوكسين تصل ١ - ١,٥ سم/ساعة فى الساق وحوالى ١ - ٢ سم/ساعة فى الجذر. إتجاه إنتقال الأوكسين فى الجذر من قاعدة إلى قمة الجذر عادة وبذلك يكون قطبى فى إتجاه القمة.

تركيز أندول حامض الخليك النشط فى النبات:

من المعروف أن حبوب النجيليات لا تحتوى على أوكسين حر وقد وجد أن معاملة هذه الحبوب بمركب قلوى يساعد على ظهور الأوكسين ولكن ما يحدث فى الإنبات يختلف عن ذلك ففي الحبة العادية يوجد إندول حامض الخليك على هيئة IAA-glycosides وهى عبارة عن مركبات تتكون من إتحاد إندول حامض الخليك مع سكريات أو مشتقاتها ولذلك فإنه عند الإنبات تنتقل هذه المركبات IAA-glycosides إلى القمة النامية لغمد الريشة ونتيجة تفاعلات أنزيمية فى هذه المنطقة يتحرر IAA ويظهر تأثيره كما سبق ذكره وشرحه فى تجارب الرواد الأوائل لاكتشاف الهرمونات النباتية ومن هنا يجب التنويه على أن مصدر IAA فى غمد

الريشة لنبات الشوفان وغيرها من النباتات النجيلية هو جليوكوسيدات إندول حامض الخليك الموجودة في الحبة وإما قمة الغمد فإنها فعالة في عمل تفاعلات إنزيمية لتحلل IAA وبذلك يتضح أن الهرمون الحر القابل للانتشار هو الفعال في حدوث الإنبعاث.

وقد وجد أيضا أن أوكسين IAA وشأنه شأن المركبات الهرمونية الأخرى قد يوجد في السيتوبلازم في صورة حرة ولكن قد يوجد في الفجوة العصارية في حالة غير قابلة للحركة immobile حيث ثبت أنه في بعض النباتات يوجد هذا المركب أيضا علاوة على السيتوبلازم في الفجوة العصارية ويكون من الصعب خروجه من الفجوة والاستفادة منه ولذلك فإن تقدير التركيز الكلى للهرمونات أو الأوكسينات غير هام لدراسة تأثيرها بالمقارنة إلى مكان وجود الأوكسين في الخلية وهذا ما يطلق عليه compartmentalization أى مكان وجود الأوكسين، ولذلك فإن استخلاص الأوكسينات بطريقة المذيبات العضوية يعمل على استخلاص الأوكسين الكلى وقد يكون هذا التركيز الكلى مضلل إذا لم يؤخذ في الاعتبار مكان وجود هذا الأوكسين في أجزاء الخلية المختلفة.

ولذلك فإن تركيز الأوكسين في نسيج معين من النبات يتوقف على عدة عوامل وهي كما يأتي:

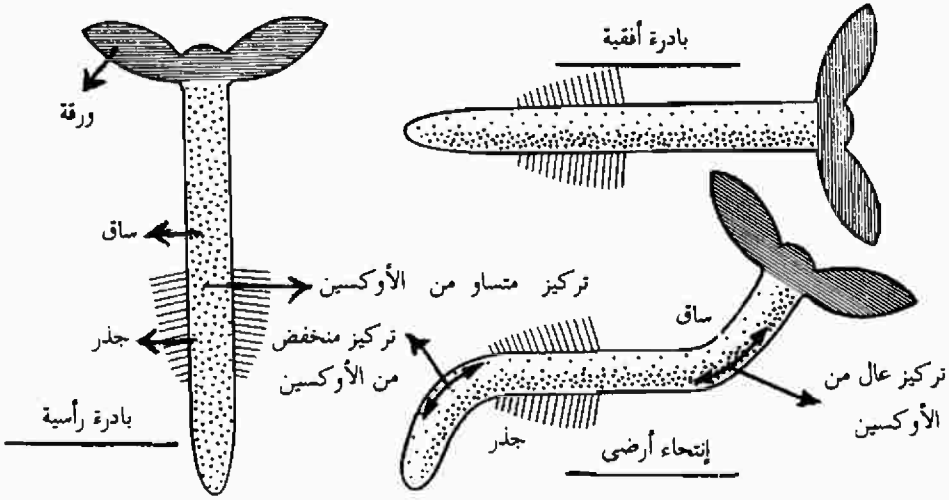
- ١ - سرعة وكمية تخليق الأوكسين في القمم النامية أو المناطق الميريستيمية.
- ٢ - سرعة إنتقال وكمية إنتقال الأوكسين إلى المكان المحدد.
- ٣ - حالة وجود الأوكسين ومدى وجود وحدوث حالة compartmentalization.
- ٤ - مدى كفاءة ونشاط الإنزيمات المحللة ل- IAA.
- ٥ - مدى وكفاءة وسرعة حدوث عمليات إزالة السمية detoxification reactions.

وعامة فإنه من المعروف أن تركيز الهرمونات يكون عالى في القمم النامية للساق والفروع والمناطق القريبة منها ويقل تركيزه كلما ابتعدنا عن هذه المناطق ويكون

للجذر حالة خاصة حيث أن الأوكسين ينتقل من الساق إلى الجذر ولذلك يكون تركيز الأوكسين مرتفع في قاعدة الجذر ويقل تركيزه كلما إجتهدنا إلى القمم النامية للجذر أى حالة عكسية للساق.

الإنتحاء الأرضى : Geotropism

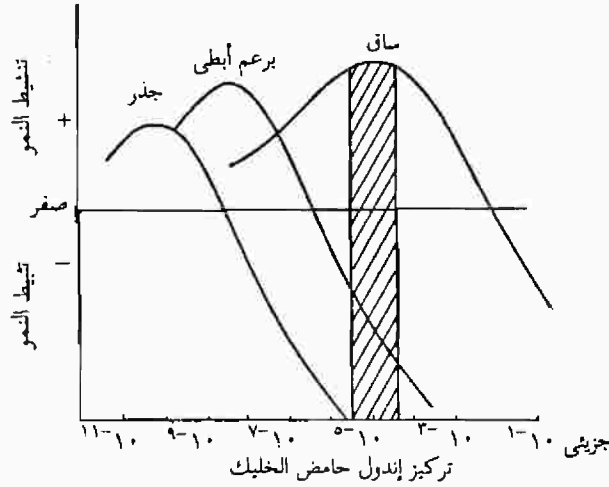
عند إنبات البذور أياً كان وضعها فى التربة فنجد دائماً أن الجذير ينمو إلى أسفل أى ينتحى إنتحاء أرضى موجب وأن الريشة تنمو إلى أعلى أى تنتحى إنتحاء أرضى سالب (شكل ٦٤) والسبب فى ذلك هو الهرمونات وعلى وجه الخصوص الأوكسينات.



(شكل ٦٤) : إنتحاء أرضى موجب للجذر وسالب للساق.

من المعروف أنه بازدياد تركيز الأوكسين تزداد سرعة النمو وسرعة استطالة الخلايا وذلك حتى تركيز معين هو التركيز الأمثل للأوكسين وهو التركيز الذى يكون فيه سرعة النمو أسرع ما يمكن وإذا زاد التركيز عن هذا الحد فإن 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 ١٠-٧ جزيء من IAA فإن هذا التركيز يحدث تنشيط لانسجة الساق وتثبيط لانسجة الجذر وذلك كما يتضح من المنحنى (شكل ٦٥) وقد أجريت هذه التجارب على أغصان ريشة مقطوعة أو على أجزاء سيقان تحت طرفية مقطوعة. ومن المعروف أن الأوكسين يتكون فى القمة النامية للساق وينتقل إلى القمة النامية للجذر وفى الساق ينتقل الأوكسين من القمة النامية إلى منطقة الإستطالة وفى الجذر تحتوى منطقة الإستطالة على أوكسين. فى منطقة الإستطالة فى الساق يكون تركيز الأوكسين أقل من الأمثل أما فى حالة الجذر فيكون تركيز الأوكسين أكثر من الأمثل. وعند وضع البادرة أفقياً أو حتى مائلة فإن



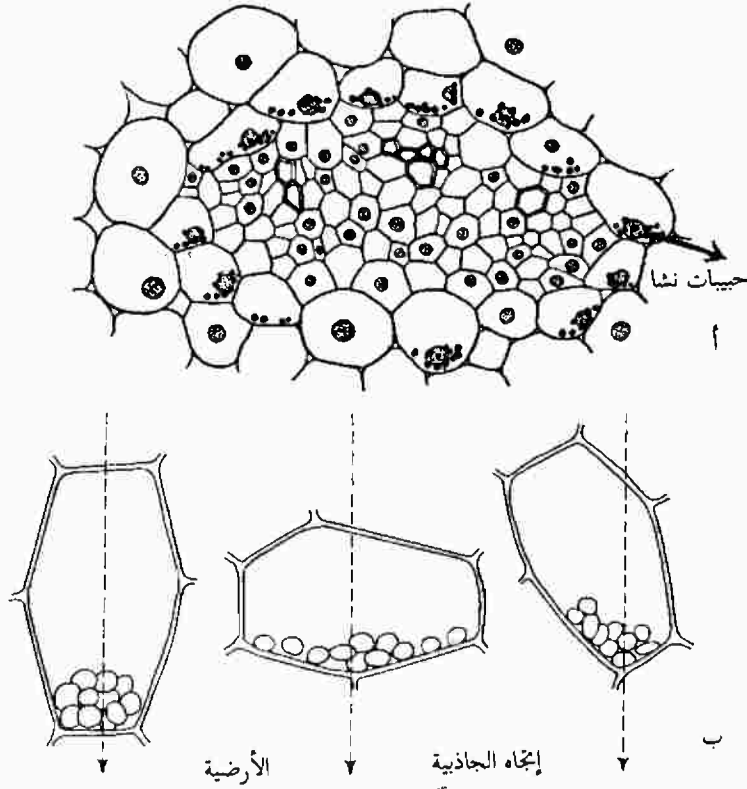
(شكل ٦٥) : تأثير تركيز إندول حامض الخليك على نمو الأجزاء المختلفة للنبات.

الجزء المشروط عبارة عن التركيز الأمثل لنمو الساق.

الأوكسين ينتقل من الجزء العلوى لمنطقة الإستطالة إلى الجزء السفلى لمنطقة الإستطالة وذلك نتيجة لعوامل فسيولوجية معقدة كنتيجة مباشرة للجاذبية الأرضية وتفسير ذلك غير معروف حتى الآن بالضبط ويوجد لذلك نظريات أهمها نظرية حبيبات النشا وتسمى بالـ statoliths theory ولو أن هذه النظرية هى من أكثر النظريات قبولاً إلا أنها لا تفسر الحالة بالتفصيل. وفحوى هذه النظرية أن أنواع خاصة

من حبيبات النشا تسمى statoliths تعتبر فعالة في حساسيتها للجاذبية الأرضية. حيث أن حبيبات النشا تسقط أو تنتقل من الجزء العلوى إلى الجزء السفلى للخلية وتستقر على الجدار السفلى للخلية. وعند عمل دوران لهذه الخلايا وبحيث يصبح الجدار العلوى سفلى وأيضاً الجدار السفلى علوى فإنه فى هذه الأثناء تتجمع هذه الحبيبات على الجزء السفلى من الخلية باستمرار وفى النهاية تستقر على الجزء السفلى من الخلية مرة أخرى (شكلى ٦٦ و ٦٧)، وجد أن هذه الحبيبات توجد فى الخلايا الحساسة لإستقبال الجاذبية الأرضية وهى خلايا القلنسوه للجذور وذلك فى نباتات كثيرة منها الذرة الشامية. وجد أن إحتكاك هذه الحبيبات من النشا بالجدار السفلى لخلية النبات قد يساعد على سهولة نفاذية الغشاء البلازمى لهذه الخلايا للأوكسينات. ولكن كيف ينتقل الإحساس بذلك أى بالجاذبية الأرضية من خلايا القلنسوه إلى منطقة الإستطالة للجذر فيوجد لذلك نظريتين أحدهما أن إنتقال حبيبات النشا على الجزء السفلى للخلية فى القلنسوه يولد إختلاف فى الجهد الكهربائى على جهتى منطقة الإستطالة فى الجذر bioelectric potentials قدره ٣٠ مللى فولت ويسبب ذلك إنتقال الأوكسين من أعلى إلى أسفل تبعاً لإختلاف الجهد الكهربائى.

والنظرية الثانية وهى الأكثر قبولاً أن هذه الخلايا من نسيج القلنسوه تفرز مركب مثبط لخلايا الجذر ينتشر فى الجزء السفلى من الجذر فى منطقة الإستطالة ويسبب تثبيط سرعة إستطالة الخلايا فى هذا الجزء ويعتقد أن ذلك المركب هو حامض الأبسيسك ومما يدعم أهمية القلنسوه فى إنتحاء الجذور الأرضى أن إزالة النصف الطولى للقلنسوه يسبب إنحناء للجذر فى إتجاه الجزء المتبقى من القلنسوه . ولكن لازال على هذه النظرية إعتراضات كثيرة وأهم هذه المآخذ أن الجذور الهوائية للأوركيد ليليا *Laelia* لا يتكون بها حبيبات نشا على الإطلاق وبالرغم من ذلك فإن لها إنتحاء أرضى موجب .

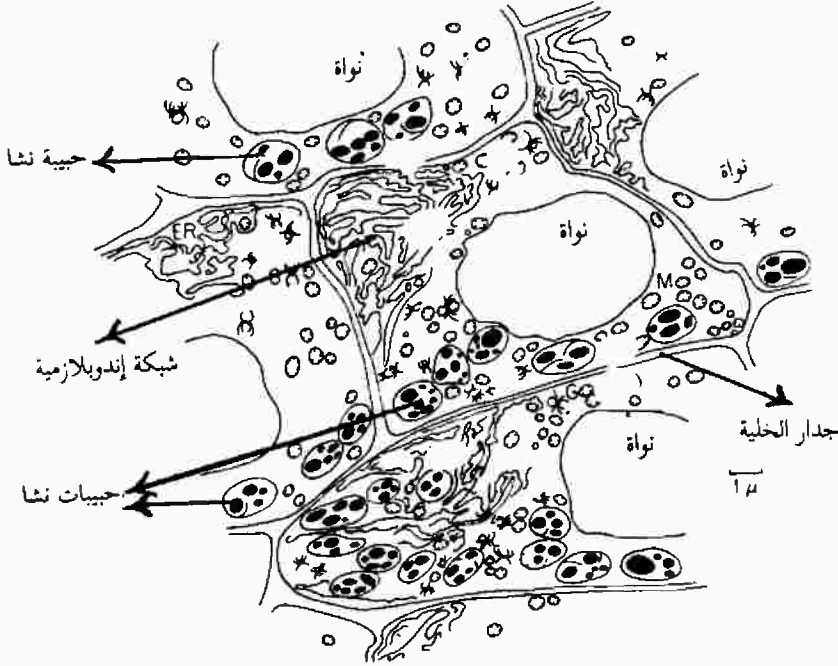


(شكل ٦٦) : تأثير الجاذبية الأرضية على حركة حبيبات النشا في خلية نبات.

أ - جزء من قطاع عرضي في فلقة البصل يوضح وجود حبيبات النشا في الجزء السفلي من خلايا تحيط بنسيج وعائي.

ب - تأثير الجاذبية الأرضية على حركة حبيبات النشا في خلايا نبات.

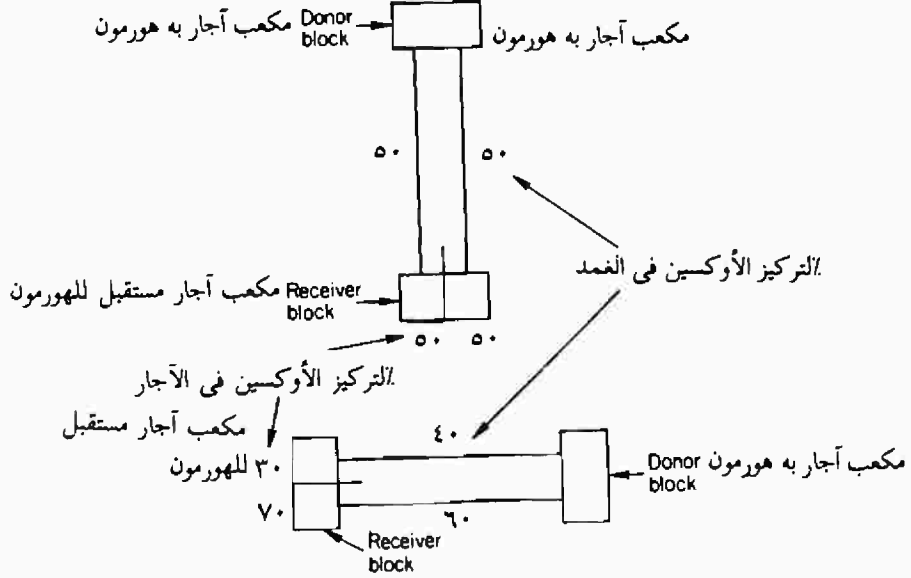
كما سبق نجد دائما أن الجزء السفلي من منطقة الإستطالة يحتوى على تركيز أعلى من الجزء العلوي. ومما يثبت ذلك التجربة التي أجريت على غمد الريشة لنبات الذرة فعند وضع كمية من الأوكسين في الآجار ولتكن ١٠٠٪ ثم وضع الآجار على قمة الغمد المقطوع وعند استقبال هذا الأوكسين في الآجار الموجود تحت الجزء السفلي فوجد أن النصف الأيمن من الآجار يحتوى على ٥٠٪ والنصف الأيسر يحتوى على ٥٠٪ من الأوكسين المستعمل في بداية التجربة وعند وضع



(شكل ٦٧) : قطاع في جذر فول يوضح تحرك حبيبات النشا إلى الجزء السفلي من الخلايا.

هذا الجزء من الغمد في حالة أفقية وتكرار ما سبق فقد وجد أن الجزء السفلي للآجار المستقبل يحتوي على ٧٠٪ والجزء العلوى يحتوى على ٣٠٪ (شكل ٦٨) وقد أمكن إثبات ذلك أيضا بواسطة IAA مشع. وفي حالة الساق نجد أن تركيز الأوكسين في الجزء السفلى من منطقة الاستطالة قريب من التركيز الأمثل بينما الجزء العلوى من منطقة الإستطالة للساق يكون التركيز فيها أقل من الأمثل بكثير ونتيجة لذلك ينمو الجزء السفلى أسرع من الجزء العلوى ونتيجة لذلك يحدث إنحناء ويتجه الساق فى نموه إلى أعلى أى ينتحى إنتحاء أرضى سالب. ويتضح أن إنحناء الساق هنا ليس له علاقة بالضوء وليست للضوء أى ميكانيكية للتأثير. أما فى حالة الجذر فإن الجزء السفلى من منطقة الإستطالة يزيد عن التركيز الأمثل بكثير والجزء العلوى يكون قريب من الأمثل فينمو الجزء العلوى أسرع من الجزء السفلى ونتيجة لذلك ينحني الجذر إلى أسفل وينتحي إنتحاء أرضى موجب إلا أنه فى

النظريات الحديثة الآن علاوة على ذلك يعتقد أن لحامض الأبسيسيك دور في هذه الحالة حيث يوجد أيضا هذا الحامض بتركيز كبير على الجزء السفلي من الجذر. يعتبر هذا الحامض مثبط لنمو للخلايا.

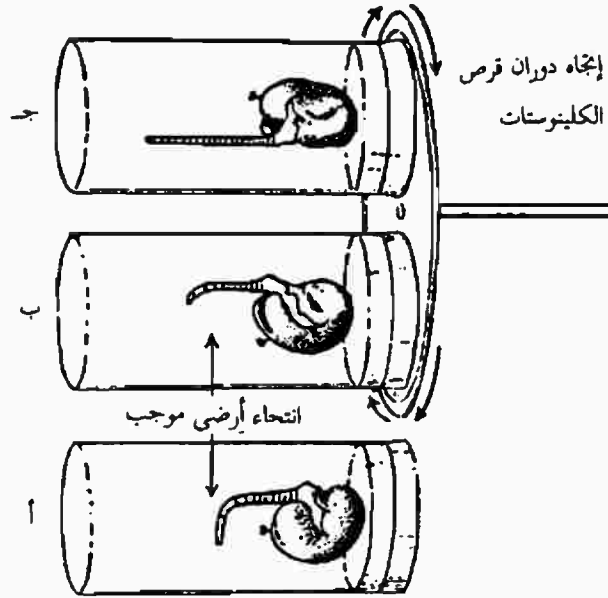


(شكل ٦٨) : التأثير الواضح للجاذبية الأرضية على إنتقال الأوكسين إلى الجزء السفلي من غمد الريشة النامي أفقيا أو الموضوع أفقيا.

وجد بإستعمال طرق radio-immunoassay أن تركيزات IAA و GA و ABA اختلفت في الجزئين العلوى والسفلى من السويقة الجنينية السفلى لبادرة عباد الشمس الأفقية وذلك في حدود ساعتين بعد وضعها أفقيا. يلاحظ أيضاً أن هذا الزمن كاف لحدوث الإستجابة لتأثير الجاذبية الأرضية gravitropic-response.

وإذا منعنا الإختلاف في تركيز الهرمونات على جانبي منطقة الإستطالة في كل من الساق والجذر بحيث أن يكون تركيز الأوكسين في أي جزء من منطقة الإستطالة للساق هو تركيز موحد وأيضاً بالنسبة للجذر فإن كل من الساق والجذر سينمو نمواً أفقياً ولن يحدث له أي إنتحاء ويمكن إثبات ذلك بواسطة جهاز الكلينوستات klinostat.

والفكرة فى الجهاز أنه يتكون من قرص فلليني ويثبت على هذا القرص بواسطة دبوس بادرة ملفوفة بجزء من قطن مبلل وأن هذا القرص له غطاء بلاستيك ومتصل بموتور كهربائى والموتور وظيفته هو عمل دوران للقرص بسرعة منتظمة فى اتجاه واحد وذلك يمنع الاختلاف فى تركيز الهرمونات فى منطقة الإستطالة وبالفعل ينمو كل من الجذر والساق أفقياً (شكل ٦٩).



- (شكل ٦٩) : رسم يوضح تأثير دوران النبات بانتظام فى وضع أفقى على الانتحاء الأرضى فى جذور الفول.
- أ - بادرة ثبتت أفقياً دون دوران فانتهى الجذر أرضياً.
 - ب - بادرة ثبتت أفقياً دون دوران فانتهى الجذر فى فترة من الزمن ثم وضعت على كلينوستات لتدور، فانتهى الجذر أرضياً.
 - ج - بادرة ثبتت أفقياً على كلينوستات لتدور باستمرار فلا ينتهى الجذر ويستمر فى النمو أفقياً.

يحتاج الإحساس بالجاذبية الأرضية إلى وقت معين . تسمى أقل فترة لازمة لكى يحدث الإنتحاء الأرضى بإسم فترة التعريض presentation time . تختلف فترة التعريض باختلاف النبات فقد تكون الفترة قصيرة بضع دقائق كما فى كثير من الحالات ولكن فى حالات أخرى تحتاج إلى فترات أطول .

وحديثاً وباستعمال الأقمار الصناعية وعند إجراء التجارب على حيوانات التجارب وغيرها ومنها الانسان فقد استعملت أيضا النباتات لاجراء التجارب عليها وجد أنه عند خروج الأقمار الصناعية من مجال الجاذبية الأرضية وفى اتجاهها إلى الأقمار المختلفة أنه يحدث نمو للبذور والحبوب ولكن نجد أنه لا يوجد اتجاه معين لنمو الجذور أو السيقان كما هو الحال على الكرة الأرضية حيث وجد أن الجذور والسيقان فى هذه الحالة تتجه فى أى اتجاهات وليست فى اتجاه معين. ولذلك فى الحالة الأخيرة وحيث أن اتجاه الهرمون من أعلى إلى أسفل فى منطقة الإستطالة هو نتيجة لعمليات فسيولوجية معقدة نتيجة تأثير الجاذبية الأرضية وبذلك يكون للجاذبية الأرضية تأثير فعال واضح فى حدوث عملية الإنتحاء الأرضى الموجب والسالب. ينمو الجذر الأصلي أو الوتدى مواز لاتجاه الجاذبية الأرضية ويسمى ذلك إنتحاء orthogeotropic وقد ينمو الجذر بميل كما فى الجذور الثانوية والجانبية ويسمى ذلك إنتحاء أرضى plagiogeotropic وتنمو السوق الجارية والريزومات أفقياً أى عمودى على الجاذبية الأرضية ويسمى إنتحاء أرضى diageotropic.

من المعروف أن الجزء من الجذر الذى يستقبل الإحساس بالجاذبية الأرضية هو قننسوة الجذر root cap وقد وجد أنه بإزالة قننسوة الجذر فإنه لا يحدث إنتحاء أرضى. ويستمر ذلك فترة من الزمن طويلة أو قصيرة حتى يتمكن الجذر مرة أخرى من تكوين قننسوة جديدة. ومن ذلك يتضح أن القننسوة وكما سبق ذكره تفيد فى حماية الجذر أثناء نموه بين حبيبات التربة وتستعمل كغطاء واقى لقمة الجذر الرقيقة وبذلك تساعد على اختراق التربة دون تأثير ضار عليها. ولكن من المعروف أيضا وكما سبق ذكره أن قننسوة الجذر هى التى تستقبل الحساسية للجاذبية الأرضية وهى المسئولة عن إظهار تأثير الجاذبية الأرضية فى حدوث الإنتحاء الأرضى للجذر وأن غياب القننسوة يفقد الجذر حساسيته للإنتحاء الأرضى.

وجد أيضا أن التحول الغذائى فى الخلايا ذات النشا statocytes و المناطق المحيطة بها يختلف فى سرعته فى الجزء العلوى عن الجزء السفلى فى عقد نبات القمح

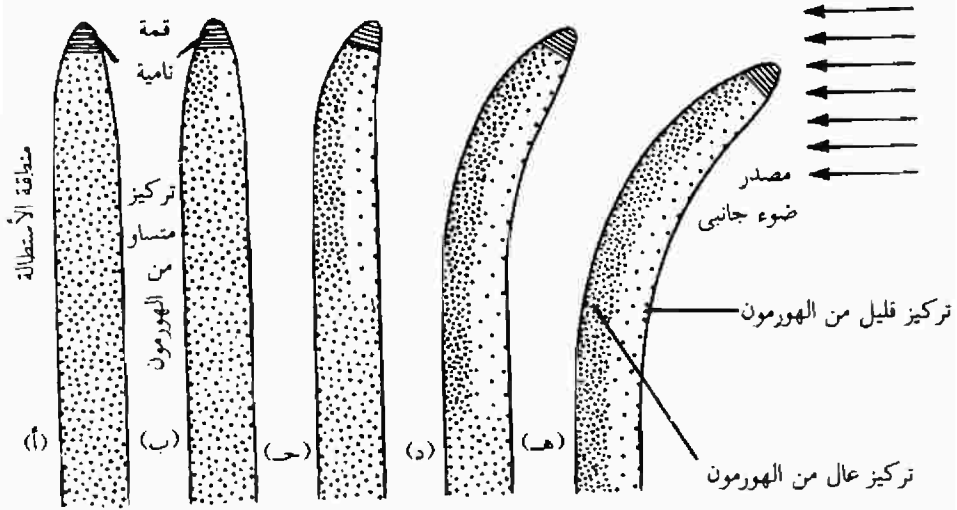
الأفقى حيث أتضح أن للجاذبية الأرضية تأثير على بعض الإنزيمات وعلى الأقل إنزيم واحد حيث وجد أن تركيز السكريات المختزلة في النصف السفلى من العقدة الأفقية أعلى ٣ إلى ٤ مرات من النصف العلوى يدل ذلك على حدوث تحلل للسكروروز بواسطة إنزيم السكريز (أنفرتيز) بدرجة أكبر في الجزء السفلى عنه في الجزء العلوى. وجد أيضا أن المستخلصات من النصف السفلى تحتوى على تركيز عال من هذا الإنزيم بالمقارنة بالنصف العلوى. ويعتبر ذلك اتجاه جديد في تفسير الانتحاء الأرضى حيث يعتقد أن الجاذبية الأرضية تؤثر على تخليق أو نشاط أو تحرر الإنزيم ويكون له دور في حدوث الانتحاء الأرضى. أيضاً يمكن أن يكون للإنزيمات التى لها دور في طرد البروتون خلال الغشاء البلازمى الإكتوبلاست. proton extrusion through plasmalemma لها دور في الانتحاء الأرضى. أى يكون دور الجاذبية الأرضية في الانتحاء عن طريق هذه الإنزيمات أيضاً ولكن لازال هذا الإستنتاج يحتاج إلى دراسات كثيفة.

الانتحاء الضوئى Phototropism :

وهو تفسير بعض تجارب الرواد الأوائل فى اكتشاف الهرمونات النباتية أى الأوكسينات.

فى حالة وجود إضاءة متساوية أو ظلام فإن نمو غمد الريشة لنبات الشوفان أو الساق يكون نمو رأسى ولا يوجد فيه أى إنحناء. ولكن عند تعريض الأجزاء السابقة لمصدر ضوئى من جهة واحدة unilateral light نجد أن الغمد أو الساق ينحنى ويتجه فى نموه ناحية مصدر الضوء، وهذا ما يسمى بالانتحاء الموجب positive phototropism ويحدث هذا الانتحاء نتيجة لإختلاف فى تركيز الأوكسينات على جانبى الساق فنجد أن جزء من الساق المواجه للضوء يحتوى على تركيز ضئيل من الأوكسينات بينما الجزء البعيد عن الضوء يحتوى على تركيز كبير أو أمثل (شكل ٧٠) ونتيجة لذلك يحدث إختلاف 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 يحدث الإنحناء في إتجاه مصدر الضوء. وقد اختلفت التفسيرات لتفسير اختلاف تركيز الأوكسينات على جانبي الساق أو الغمد في حالة وجود مصدر ضوئي جانبي. وتوجد لذلك نظريات كثيرة أهمها:



(شكل ٧٠): إنحناء ضوئي موجب للساق أو غمد الريشة.

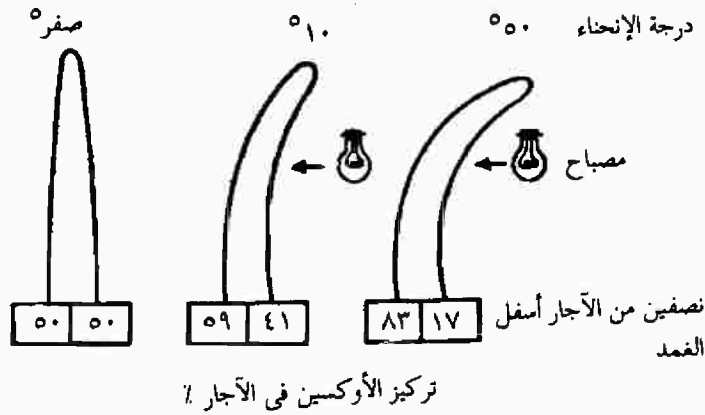
١ - أن الأوكسين يفسد في الجزء المواجه للضوء بينما يكون بحالة نشطة في الجزء البعيد عن الضوء. ومما يدعم هذه النظرية أنه من المعروف أن مركب IAA حساس للضوء وفي وجوده في الإضاءة لمدة طويلة يتسبب فسادة وتوقف فاعليته.

٢ - أما عن النظرية الثانية فإنها تعتقد أن الهرمون ينتقل من الجزء القريب من الضوء إلى الجزء البعيد عن الضوء. وهي النظرية الأكثر قبولاً في الوقت الحاضر.

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

عند معاملة قمة غمد الريشة للذرة بواسطة إندول حامض خليك مشع $^{14}\text{C-IAA}$ ثم شق الجزء القاعدي من الغمد طولياً لمسافة ١ مم ثم وضع الغمد على طبقة آجار. ثم تعريض الغمد لضوء من ناحية واحدة ويتم تجميع الأوكسين المشع في الآجار فنجد أن التركيز في الآجار المواجه للضوء هو ٢٥٪ بينما التركيز في الآجار البعيد عن الضوء هو ٧٥٪ كما أن كمية الأوكسين المشع في الآجار لم تتأثر حيث أنها نفس الكمية المعامل بها الغمد وذلك دليل على أن إختلاف التركيز غير راجع إلى فساد الأوكسين بل نتيجة لإختلاف في تركيز الأوكسين في نصفي الغمد. وذلك يعضد صحة النظرية الثانية.

ولإثبات أن تركيز الأوكسين يكون أعلى في الجانب البعيد عنه في الجانب المواجه للضوء وذلك في غمد الريشة لنبات الشوفان فإنه عند تعريض الغمد لإضاءة متساوية أو إضاءة من جانب واحد وجمع الأوكسين المنتقل من القمة إلى منطقة الإستطالة في مكعب للآجار أسفل الغمد المقطوع فنجد أن تركيز الأوكسين على ناحيتي الغمد في حالة الإضاءة المتساوية يكون متساوٍ حيث أن تركيز الأوكسين يكون متساوٍ في ناحيتي قطعة الآجار. أما في حالة الإضاءة من جانب واحد فإن درجة إنحناء الغمد تزداد بإزدياد مدة التعريض للإضاءة الجانبية وقد وجد إختلاف في تركيز الأوكسين على جانبي الغمد حيث يزداد تركيزه في الجانب البعيد من الضوء بالمقارنة بتركيزه في الجانب المواجه للضوء ويتضح ذلك من تركيز الأوكسين على جهتي مكعب الآجار. حيث أنه في حالة ميل أو إنحناء قمة الغمد بزاوية قدرها عشر درجات فإن الأوكسين إختلف تركيزه حيث أصبح ٥٩٪ في الجانب البعيد و ٤١٪ في الجانب القريب من الضوء وفي حالة ميل قمة الغمد بزاوية قدرها خمسون درجة فإن تركيز الأوكسين يكون ٨٣٪ في الجانب البعيد و ١٧٪ في الجانب المواجه للضوء (شكل ٧١).

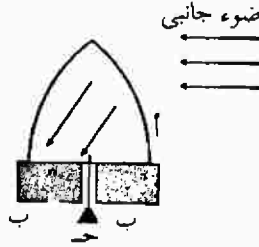


(شكل ٧١) : التغير في تركيز الأوكسين على جانبي الغمد لنبات الشوفان عند تعريضه لإضاءة جانبية.

أما عن النظريات المختلفة لتفسير ذلك فإن لكل نظرية ما يؤيدها وأيضاً عليها مآخذ. ففي حالة النظرية الأولى فإنه من المعروف أن الريبوفلافين يسبب فساد إندول حامض الخليك في التجارب المعملية في أنابيب الاختبار *in vitro* عند تعريضه للضوء. وحيث وجد أن الريبوفلافين يسبب تثبيط نمو بادرات البسلة في الضوء فقط وليس له أى تأثير في الظلام.

أما في النظرية الثانية وهي الأكثر قبولا فقد ثبت حدوثها في كثير من التجارب ومنها ما يأتي. تجربة فنت Went عام ١٩٢٨ حيث أزال القمة النامية لغمد الريشة لنبات الشوفان (الزميز) بعد تعريضها لأضاءة من جانب واحد لفترة كافية. وضع هذه القمة على مكعبين آجار يفصلهما لوح معدني رقيق ثم أختبر كل مكعب على حده بإستخدام طريقة غمد الريشة لنبات الشوفان وقد أتضح أن المكعب الملاصق للجزء المواجه للضوء يحتوى على تركيز أقل من الأوكسين بالمقارنة بتركيز الأوكسين في مكعب الآجار الملاصق للجزء البعيد عن الضوء (شكل ٧٢) وأيضاً إن هجرة وانتقال الأوكسين من جانب الغمد المواجه للضوء أعلى منه في الجزء البعيد عن الضوء. وقد أستنتج فنت أن الإضاءة من جانب واحد تسبب هجرة جزء من الأوكسينات من الجانب المواجه للضوء إلى الجانب البعيد عن الضوء في غمد

الريشة. تمكن Boysen - Jensen من إثبات هذه النتيجة ولكن بطريقة أخرى حيث أنه قام بعمل شق طولى فى قمة غمد الريشة لنبات الشوفان ووضع فى الشق لوح زجاجى رقيق ثم قام بتعريض الغمد إلى إضاءة من جانب واحد وذلك فى معاملتين. فى المعاملة الأولى يكون الضوء مواز للوح الزجاجى فيحدث إنتحاء ضوئى وفى المعاملة الثانية يكون الضوء عمودى على اللوح الزجاجى فلم يحدث إنتحاء ضوئى للغمد وأستنتج من هذه التجربة أن الأوكسين ينتقل من الجانب المواجه للضوء إلى الجانب البعيد للضوء ومما يثبت ذلك حدوث الإنتحاء فى المعاملة الأولى وعدم حدوث الإنتحاء فى المعاملة الثانية حيث أن اللوح الزجاجى منع إنتقال الأوكسين من الجانب المواجه للضوء إلى الجانب البعيد عن الضوء فى الحالة الثانية ولم يؤثر على إنتقاله فى الحالة الأولى. وبذلك أثبت نفس النتيجة التى أثبتها فنت.



(شكل ٧٢) : تأثير الإضاءة الجانبية على إنتقال الأوكسين فى قمة غمد الريشة لنبات الشوفان.

- تشير الأسهم داخل قمة الغمد إلى إتجاه إنتشار الأوكسين.

أ - قمة الغمد.

ب - قطعتين من الآجار.

ح - رقيقة من المعدن.

أما النظرية الثالثة فإنها غير مقبولة حيث أنه من الثابت أن الضوء يشجع التخليق الحيوى biosynthesis للأوكسينات وخاصة أن إزالة القمة النامية لغمد الريشة لنبات الشوفان وإحلال مكعب آجار به أوكسين مكان القمة النامية فإن الإنتحاء الضوئى الموجب للغمد يتم حدوثه تماماً كما فى حالة وجود الغمد.

أما عن مدة التعريض للإضاءة الجانبية اللازمة لحدوث الإنتحاء الضوئى الموجب فقد أثبت بلاو Blaauw فى بداية القرن العشرين أن هذه المدة وجيزة. وحيث أن

الإضاءة نتيجة لشدة الإضاءة ومدة الإضاءة فإنه فى حالة شدة إضاءة مرتفعة تكون مدة الإضاءة قصيرة والعكس صحيح. وقد وجد أن شدة إضاءة قدرها 0.00017 متر/ شمعة لمدة ٤٣ ساعة لازمة لحدوث إنتحاء ضوئى موجب لغمد الريشة لنبات الشوفان والعكس صحيح فى حالة شدة إضاءة قدرها 26520 متر/شمعة لمدة 0.001 ثانية كافية لحدوث الإنتحاء الضوئى فى النبات المذكور. وأن أقل كمية ضوء تسبب حدوث الإنتحاء الضوئى تسمى قيمة المدخل threshold value وأن هذه القيمة تختلف باختلاف النبات وعمر النبات والجزء المعرض من النبات. حيث أنه من المعروف أن حساسية النبات للإنتحاء الضوئى الموجب يقل عادة بزيادة عمر النبات أى أن النبات المسن أقل حساسية للإنتحاء الضوئى من النبات الصغير السن. أما عن حساسية الجزء المعرض لقيمة المدخل فإن حساسية 0.2 مم الطرفية من غمد الريشة لنبات الشوفان تفوق حساسية الجزء من الغمد الذى يبعد عن القمة النامية بمقدار ٣ مم بمقدار ستة آلاف مرة أى أن قيمة المدخل فى الحالة الثانية تزيد بمقدار ستة آلاف مرة عنها فى الحالة الأولى.

أما عن سبب إنتقال الأوكسين من الجانب المواجه للضوء من الغمد إلى الجانب البعيد من الضوء وذلك فى غمد الريشة لنبات الشوفان وأيضاً فى غمد الريشة لكثير من نباتات العائلة النجيلية وأيضاً فى السيقان فهو غير معروف بالضبط حتى الآن. ولكن فى بعض الحالات عند تعريض الغمد لمصدر ضوئى جانبى فإنه يتكون على جانبى الغمد المعامل فرق فى الجهد الكهربائى أمكن قياسه ويعتقد أنه يمكن أن يكون ذلك سبب فى هجرة الأوكسين من الجانب المواجه للضوء إلى الجانب البعيد للضوء. ولكن حتى الآن هذه النظرية غير مؤكدة وعليها مآخذ. ولا زال السبب فى ذلك غير معروف.

ومما جدير بالذكر أن غمد الريشة والساق يظهر إنتحاء ضوئى موجب والعكس صحيح فى الجذر فإنه يظهر إنتحاء ضوئى سالب. حيث أنه عند تعريض الجذر لإضاءة من مصدر جانبى فإن الجذر يظهر إنتحاء ضوئى سالب وينمو فى إتجاه

عكسى مصدر الضوء. تعتبر هذه القاعدة والأساس فى حالة الجذور ولكن توجد حالات نادرة يمكن أن يظهر فيها الجذر إنتحاء ضوئى موجب.

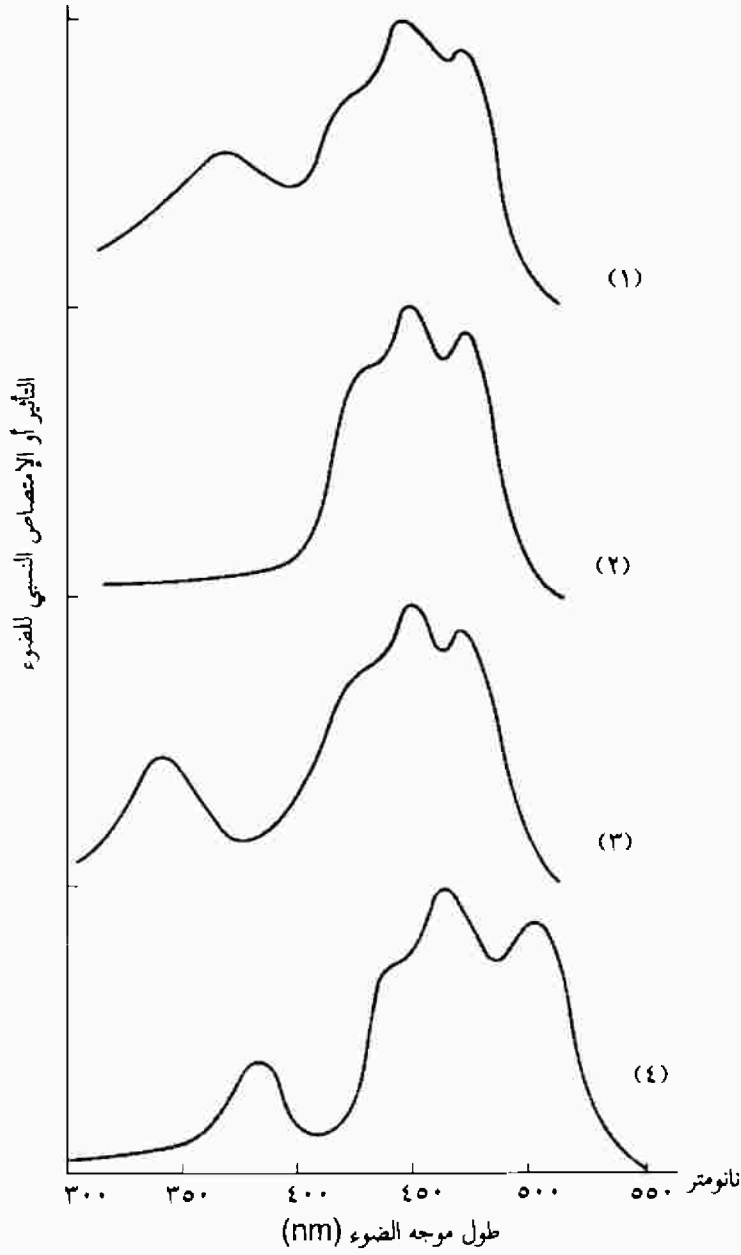
أما عن أنواع الضوء التى تسبب الإنتحاء الضوئى الموجب فقد وجد أن الضوء العادى يسبب هذا الإنتحاء ولكن من المعروف أن الضوء العادى يتكون من عديد من الألوان ولذلك فقد أجريت إختبارات لإختبار تأثير كل لون من ألوان الطيف الضوئى كلا على حده. فقد وجد أن جميع ألوان الطيف الضوئى مثل الأصفر والأحمر والأخضر والبرتقالى ليس لها أى تأثير على الإنتحاء الضوئى وأن الضوء الوحيد المؤثر على حدوث الانتحاء الضوئى هو اللون الأزرق وجزء من الأشعة فوق البنفسجية ولذلك فإن الجزء الفعال فى الضوء العادى هو اللون الأزرق وجزء من الأشعة فوق البنفسجية، وإذا أستخدمت جميع ألوان الضوء العادى عدا النوعين المذكورين أخيرا من الضوء فإنه لن يحدث أى إنتحاء ضوئى. يمكن الحصول على ألوان مختلفة من الضوء العادى بإستعمال مرشحات ضوئية filters ذات ألوان مختلفة مثل الأحمر والأخضر والأزرق والأصفر والبرتقالى.

من المعروف أنه لكى يحدث للضوء تأثير فى النبات فلا بد أن يمتص أولاً ويحدث إمتصاص للضوء فى النبات بواسطة الصبغات والصبغة المسئولة عن الإنتحاء الضوئى الموجب للساق أو قمة الغمد هى ليست صبغة الكلوروفيل حيث أن صبغة الكلوروفيل تمتص بشدة كل من اللونين الأحمر والأزرق. بينما الإنتحاء الضوئى لا يتأثر بذلك كما ثبت من التجارب وأن المؤثر هو اللون الأزرق وجزء من اللون البنفسجى، لذلك فقد إختبرت صبغات أخرى لتقدير كفاءتها فى إمتصاص الضوء، ومن هذه الصبغات الكاروتينات carotenoids والفلافينات flavins وقد وجد أن صبغة trans-B carotene لا تمتص الضوء الأزرق أو الفوق بنفسجى عند طول موجة ٣٧٠ نانومتر وأن هذه الصبغة موجودة بكثرة فى النبات ولكن وجد أن المشابه لهذه الصبغة isomer هو عبارة عن cis-B carotene يمتص الضوء الأزرق وجزء من اللون الفوق البنفسجى عند طول موجة ٣٤٠ نانومتر ولكن من المعروف أن الصبغة الأخيرة لا توجد فى النباتات طبيعياً ولذلك يوجد اعتقاد أن هذه الصبغة تنشأ وتوجد فى

النباتات وهذه عند عزلها يحدث لها عملية isomeration فتتحول من حالة إلى أخرى وينتج عن الصبغة الأصلية مركب آخر شبيه بها. أى أن المركب الأخير يفقد فى النبات أثناء الإستخلاص والعزل والتنقية وقد يوجد أصلاً فى النبات، ومن جهة أخرى فقد وجد أن الفلافينات flavins الذائبة فى الدهون تمتص أيضاً الضوء الأزرق وجزء من الضوء فوق البنفسجى وتشابه فى منحنى إمتصاصها المنحنى (١). يعتبر المنحنى ١ هو المنحنى الذى يوضح درجة الإنتحاء الضوئى للغمد فى كل طول موجه معين ويسمى بمنحنى طيف التأثير action spectrum وتتم المقارنة على أساس هذا المنحنى.

تسمى المنحنيات الأخرى (٢ و ٣ و ٤) بمنحنيات طيف الإمتصاص absorption spectrum. حيث أنه فى كل صبغة على حده لها طيف إمتصاص خاص بها أى أنه منحنى يوضح درجة إمتصاص الصبغة لأطوال الضوء المختلفة المختبرة ولذلك فإن المنحنى ٢ هو طيف إمتصاص trans B-carotene والمنحنى ٣ هو طيف إمتصاص cis B-carotene والمنحنى ٤ هو طيف إمتصاص الريوفلافين الذائب فى زيت الخروع (شكل ٧٣) يعتبر منحنى الريوفلافين الأقرب إلى منحنى طيف التأثير وبليه منحنى cis.

من المعروف أن الكاروتينات والريوفلافين شائعة الوجود فى النبات ويوجد ان مع بعضها دائماً ولذلك فإنه لم يمكن إجراء التجارب على أى منهما على حدة فى النباتات لتقدير أيهما أهم أو أكثر فاعلية. ولذلك يجب إستخدام كائنات طفره لا تحتوى أحدهما وتحتوى الآخر. ولم يمكن عمل ذلك . ولكن أمكن فى بعض الكائنات تثبيط تكوين B-carotene حتى ٢٠ ٪ أو أقل من التركيز الأصيلى وقد وجد أن هذه النباتات قادرة على إظهار الإنتحاء الضوئى تماماً كما لم يحدث تثبيط لتكوين هذه الصبغات. وهذه التجارب تثبت أن الكاروتين قد يكون غير فعال أى ليس له دور فى الإنتحاء إطلاقاً أو أن تركيز قليل منه كاف لحدوث الإنتحاء الضوئى. أما فى حالة الفلافينات فلم يمكن حتى الآن عمل تجارب لتثبيط تكوينه كما هو الحال فى الكاروتين.



(شكل ٧٢) : مقارنة بين منحنى طيف التأثير action spectrum للإنبات الضوئي (١) .

ومنحنى طيف الامتصاص للضوء لكل من *trans* بيتاكاروتين (٢) .

cis بيتاكاروتين (٣) والريوفلافين (٤) .

ومما سبق يتضح أن الصبغة الرئيسية الفعالة في حدوث الإنتحاء الضوئي الموجب غير معروفة بالضبط ولكن هي بالقطع كاروتين أو فلافين أو مركبات شبيهة بهما وقد تكون الريبوفلافين حيث أن جميع المنحنيات السابقة لا تماثل تماماً منحنى طيف التأثير.

الانتحاء الضوئي في الأوراق والأزهار:

إن إنحناءات الإنتحاء الضوئي معروفة لمن يشاهدون النباتات عن كثب، وتكون ظاهرة بشكل خاص في النباتات التي تنمو في أماكن تكون معرضة فيها لإضاءة غير متساوية على جانبيها المتقابلين. وتنحني السوق عادة في مثل هذه الظروف في اتجاه الضوء الأقوى، كما أن الأوراق تتخذ هي الأخرى وضعاً معيناً بالنسبة لمصدر الضوء، بغض النظر عن مواضع اتصالها بالساق. وعندما تنمو النباتات المتسلقة مثل حبل المساكين *Hedera helix* على جدار بحيث يسقط الضوء عليها أساساً في اتجاه واحد فإن اتصال الأوراق تشغل السطح المعرض كله تقريباً بحيث تتفادى التراكب بقدر الإمكان. وتبدو اتصال الأوراق وكأنها معشقة بعضها في بعض بشكل جعلها تعرف leaf mosaics بالأوراق الموزايكية. وبالمثل، توجد الأوراق الموزايكية في معظم النباتات التي تحمل أعداداً كبيرة من الأوراق، وإن كان تداخلها أقل إتقاناً من حبل المساكين. وأى شخص يقف تحت شجرة إسفندان أو بلوط كبيرة لا يسعه إلا أن ييهر بالطريقة التي بها تحجب الأوراق الشمس حجاً كاملاً. وكثيراً ما تتخذ أوراق بعض النباتات العشبية مثل الخس وسيلفيوم *Silphium* الخ أو ضاعاً بحيث تواجه اتصال الأوراق الشرق والغرب ولا يواجه الشدة الكاملة لشمس الظهرية سوى حواف الأنصال. ويكون هذا الوضع واضحاً جداً حتى إن هذه النباتات تعرف باسم نباتات البوصلة compass plants وأنصال أوراق البلوط التركي *Quercus catesbei* تتخذ هي الأخرى وضعاً رأسياً مميزاً في الضوء الشديد.

ومن أحسن الأمثلة لذلك هي تجارب *Brauner* على أوراق نبات أبوخنجر *Tropaeolum majus* حيث وجد أن الأوراق تكون دائماً عمودية على أشعة الشمس فإنها تظهر إنتحاء ضوئي موجب من النوع diaphototropic حيث تكون

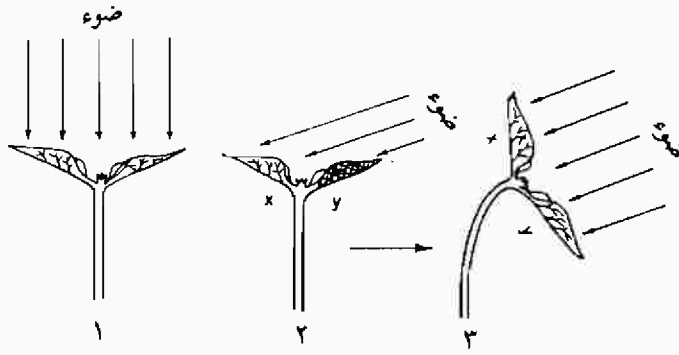
الأوراق الدرعية للنبات متجهة لأعلى لإستقبال أشعة الشمس وإذا كانت الإضاءة جانبية فإن الأوراق تواجه مصدر الإضاءة الجانبية. وقد وجد أن السبب فى هذه الحالة هو عنق الورقة وليست النصل أى أن الإنتحاء الضوئى يحدث فى عنق الورقة فقط دون النصل وأيضاً أن الجزء الحساس للإنتحاء الضوئى هو عنق الورقة دون النصل ومما يثبت ذلك أنه فى حالة تعريض عنق ونصل الورقة للضوء يحدث إنتحاء ضوئى موجب وفى حالة تعريض العنق للضوء والنصل للظلام يحدث أيضاً إنتحاء ضوئى موجب والعكس صحيح فى حالة تعريض العنق للظلام والنصل للضوء حيث لا يحدث إنتحاء ضوئى.

أما فى حالة الأزهار فإن نورة عباد الشمس من أدق وأفضل الأمثلة لذلك ونتيجة لأن النورة دائماً تكون فى مواجهة مصدر الضوء أى أن الإنتحاء الضوئى موجب ولذلك فقد وصف بأنه يعبد الشمس ومنه أشتق اسم النبات. كما أن المحور الحامل للنورة هو الجزء الذى يستجيب لتأثير الضوء ويحدث فى هذا المحور أى الساق الإنتحاء والإنتحاء الضوئى الموجب ولذلك تصبح النورة مواجهة تماماً لمصدر الضوء. ومن أمثلة ذلك أيضاً نورة نبات جربيرا *Gerbera* حيث وجد المؤلف أن لها حساسية فائقة للإنتحاء الضوئى الموجب. وفى الحالتين السابقتين فإن المسئول عن الإنتحاء هو ساق النبات الحامل للنورة. ويمكن أن يكون نفس الشئ بالنسبة لعنق الزهرة حيث ينتحى إنتحاء ضوئى موجب وموجها الزهرة لمصدر الضوء كما فى أحد أنواع نبات حبل المساكين وهو ivy-leaved toadflax. ووجد المؤلف ذلك فى زهره البنسيه.

ومما هو جدير بالذكر أنه فى حالة نبات الأيفى وبعد الإخصاب وأثناء تكوين الثمار يتحول إنجاء العنق إلى الإلتجاه العكسى حيث يصبح إنتحاء ضوئى سالب للثمرة وغير معروف تفسير لذلك ولكن قد يكون نتيجة لزيادة تخليق وانتقال وتركيز الأوكسين بعد الإخصاب وأثناء تكوين الثمار. ومثال آخر من البيئة المصرية هو أزهار نبات الفول السودانى حيث أنها تنتحى إنتحاء ضوئى موجب وذلك بالطبع نتيجة لحساسية عنق الزهرة ولكن بعد الإخصاب مباشرة فإنها تنتحى إنتحاء ضوئى سالب

حيث يستطيل العنق ويتم دفن الثمرة الصغيرة فى التربة وحيث يتم تكوين الثمار فى التربة. وقد يكون تفسير ذلك كما فى الزهرة السابقة.

يمكن أن تؤثر شدة الضوء على ساق عباد الشمس ويسبب إنتحاء موجب حيث أن شدة الإضاءة على الورقة x أكبر من شد الإضاءة على الورقة y ولذلك تنتج الورقة x تركيز أعلى من إندول حامض الخليك بالمقارنة بالورقة y ولذلك يحدث الإنتحاء (شكل ٧٤).



(شكل ٧٤) : تأثير الضوء على الإنتحاء الضوئى الموجب لساق عباد الشمس.

- ١ - الإضاءة متساوية على الأوراق.
- ٢ - الإضاءة غير متساوية على الأوراق حيث أن شدة الإضاءة على الورقة x أعلى من شدة الإضاءة على الورقة y . ولذلك تنتج الورقة x إندول حامض الخليك أكثر من الورقة y .
- ٣ - نتيجة لما سبق يحدث إنحناء للساق فى إتجاه الضوء.

طرق تقدير تركيز الأوكسينات:

توجد طرق عديدة لتقدير تركيز الأوكسينات ويمكن تقسيم هذه الطرق إلى نوعين وفى كل نوع يوجد عديد من الطرق وهما كما يلى:

أولاً: طرق حيوية (بيولوجية) Bioassay

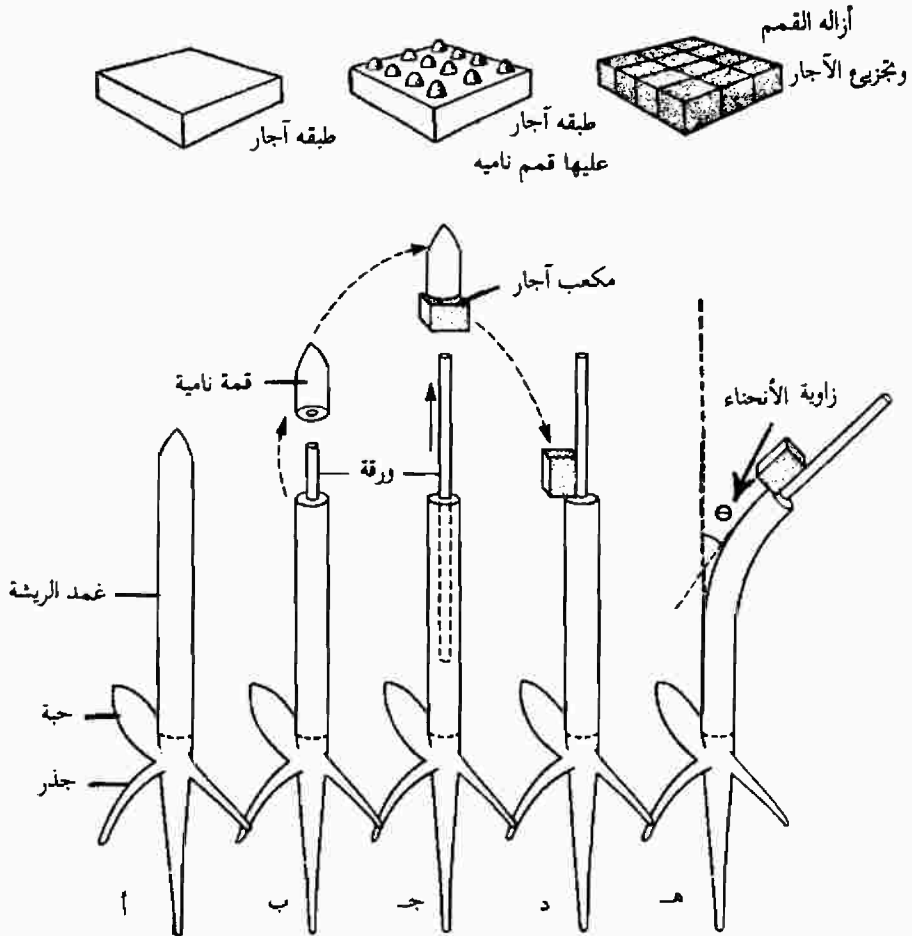
وتشمل عديد من الطرق وهى ما يأتى:-

١ - طريقة إنحناء غمد الريشة *Avena coleoptile curvature* لنبات الشوفان:

يعتبر غمد الريشة فى نباتات العائلة النجيلية عامة ومنها الشوفان (الزمير) عبارة عن جزء أنبوبى إسطوانى مغلق يوجد بداخله الورقة الخضرية الأولى. ينمو الغمد إلى طول ٢ - ٣ سم فى الضوء و ٦ - ٧ سم فى الظلام وبعد إكتمال نموه يثقب فى قمته من الداخل بواسطة الورقة الأولى وتبرز من الغمد. ينمو الغمد نتيجة لانقسام وإستطالة الخلايا حتى يصل طوله حوالى ٨ سم وبعد ذلك يصبح النمو نتيجة لإستطالة الخلايا فقط. يعتمد هذا الاختبار على سرعة وكفاءة إنتقال الأوكسين من القمة إلى القاعدة. عند معاملة الغمد بعد إزالة القمة النامية بالأوكسين وذلك بوضع الآجار المحتوى على الأوكسين على قمة الغمد المقطوع بحيث يكون غير مركزى أى يوضع على أحد جانبي الغمد المقطوع ويسبب ذلك إنتقال الأوكسين إلى منطقة الغمد أسفل الآجار ويسبب إستطالة الخلايا فى هذا الجزء وينتج عن ذلك إنحناء الغمد. تزداد درجة إنحناء الغمد وبالتالى تزداد الزاوية بزيادة تركيز الأوكسين المستعمل.

توضع حبوب الشوفان مقلوبة، أى أن الشق الطولى الموجود فى الحبة لأسفل، على ورق ترشيح أو رمل مبلل فى حجرة مظلمة ورطوبة نسبية ٩٠٪ وفى درجة حراره ٢٥°م. بعد ٢٤ ساعة فإن الحبوب المستنبته تعرض للضوء الأحمر لتثبيط إستطالة السلامة الأولى mesocotyl. تجرى جميع الخطوات بعد ذلك فى حجره أضواء حمراء أو برتقالى لكى لا تؤثر على إنحناء الغمد، وبعد يومين من بداية التجربة فإن البادرات توضع فى مثبت ماسك زجاجى glass holder فى وضع قائم مع وجود الجذور فى الماء. بعد ثلاثة أيام من بداية التجربة فإن الغمد يصبح طوله ٢ - ٣ سم ويكون ذلك هو العمر المناسب لإجراء التجربة. تجرى عملية إزالة ١ مم من القمة النامية للغمد وتسمى بعملية الفصل decapitation ويسمى الجزء المتبقى

من الغمد بالجذع stump وذلك لإزالة مصدر الأوكسين فى الغمد وبعد ثلاثة ساعات من عملية القصل الأولى تجرى عملية القصل الثانية أى إزالة ٢ مم أخرى من قمة الجذع وذلك لإزالة مصدر الأوكسين الطبيعى نهائياً، يفضل عمل القصل على مرتين حيث أن الجذع يصبح أكثر حساسية للأوكسين عنه فى حالة إجراء عملية القصل أى إزالة القمة النامية مره واحدة وذلك لأسباب فسيولوجية عديدة ومعقدة. تصبح الورقة العلوية أول ورقة ظاهرة فيتم تخليصها وإزالتها برفق بواسطة ملقط وتبقى من الورقة جزء قاعدى ظاهر أعلى الغمد. يحدث إدماع على السطح المقطوع من الغمد فيتم تجفيفه بواسطة ورق ترشيع برفق. يتم عمل طبقة من الآجار سمكها ١ مم تحتوى الأوكسين. يتم ذلك بتسخين الآجار فى الماء حتى يتكون محلول من الآجار متجانس تركيز ٢٪ يترك المحلول ليبرد حتى درجة حوالى ٤٦° مئوية يوضع الأوكسين ويرج المحلول جيداً لضمان توزيع وإنتشار الأوكسين جيداً فى محلول الآجار وحتى يصبح المحلول متجانس التركيز ثم يصب المحلول مباشرة فى طبق بترى أو على لوح زجاجى ويترك ليبرد . وبعد تمام التبريد تتكون طبقة من الآجار صلبة سمكها ١ مم. يتم تقسيم هذه الطبقة إلى مكعبات سطحها مربع 2×2 مم ويذلك تصبح أبعاد المكعب $1 \times 2 \times 2$ مم. يوضع المكعب على أحد جوانب الجذع وتعمل بقايا الورقة العلوية كسند support للمكعب. وبعد تسعون دقيقة من وضع المكعب على الجذع وقد يستعمل البعض زمن قدره ساعتين وفى كلتا الحالتين يجب توحيد مدة التجربة فإنه يوضع ورق تصوير خلف الغمد ويتم تصويره بومضة من الضوء القوى brief flash of light يتم تخميض الصورة ويظهر ظل الجذع المنحنى على الصورة وتسمى هذه بصورة الظل shadow graph. يتم قياس درجة إنحناء الجذع أى قياس الزاوية بواسطة منقلة. تتناسب مقدار الزاوية طردياً مع درجة تركيز الأوكسين أى أنه كلما زاد تركيز الأوكسين كلما زادت الزاوية تبعاً للمنحنى (أشكال ٧٥ و ٧٦ و ٧٧).

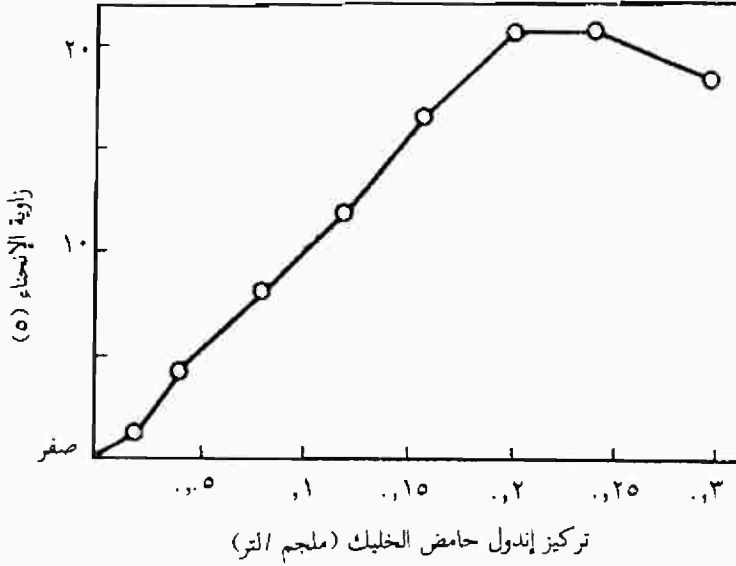


(شكل ٧٥) : طريقة فنت لقياس تركيز الأوكسين بواسطة إنحناء غمد الريشة لنبات الشوفان.

- أ - بادرة عادية عمرها ٣ أيام .
- ب - بادرة بعد إزالة القمة النامية لغمد الريشة.
- ج - شد الورقة الطرفية لأعلى ووضع قمة الغمد على الآجار.
- د - وضع مكعب الآجار على سطح الغمد المقطوع بعد إزالة قمة الغمد.
- هـ - إنحناء الغمد بدرجة أى زاوية معينة (e).

اسم التجربة	AVENA CURVATURE	AVENA SECTION STRAIGHT GROWTH	PEA SPLIT STEM CURVATURE	CRESS ROOT GROWTH INHIBITION
حطوان الصلبة				
بداء التجربة				
(التجربة) انتهاء التجربة الملاحظة الغير متوقعة				
الملاحظة: بين تركيز الأوكسين والتأثير				

(شكل ٧٦) : الطرق المختلفة لتقدير تركيز الأوكسين .



(شكل ٧٧) : العلاقة بين تركيز إندول حامض الخليك ودرجة إنحناء غمد الريشة لنبات الشوفان.

أول من عمل هذه التجربة هو فنت ويرجع إليه الفضل في إكتشافها وعملها ولم يكن فنت يستعمل منحني التركيز حيث أنه لم يكن لديه في تلك الفترة الأوكسين أى إندول حامض الخليك. حيث أن أكتشاف هذا الأوكسين وتنقيته قد تم بعد ذلك. وقد كان يستعمل فنت الوحدة الشوفانية كمقياس لدرجة إنحناء الغمد. تعتبر الوحدة الشوفانية Avena Unit (AU) هي التركيز من الأوكسين الذي يسبب إنحناء الغمد بزاوية مقدارها عشرة درجات مئوية في تسعون دقيقة في درجة حرارة ٢٥° م ورطوبة نسبية ٩٠٪ فإذا كان ناتج التجربة هو حدوث إنحناء للجذع قدره خمسة عشر درجة يعنى ذلك أن درجة الإنحناء هي ١,٥ وحده شوفانية وإذا كان الإنحناء عشرون درجة يعنى ذلك أن درجة الإنحناء هي ٢ وحده شوفانية، ولذلك كان يستدل فنت على درجة تركيز الأوكسين بمقدار قيمة الوحدة الشوفانية. حيث أى قيمة الوحدة الشوفانية تتناسب طردياً مع تركيز الأوكسين.

وكما سبق القول تركيز الأوكسين فى هذه الحالة تقديرى تبعاً لقيمة الوحدة الشوفانية حيث لم يكن لدى فنت أثناء تجاربه أوكسين نقى أو حتى معروف.

وخطوات اختبار انحناء غمد ريشة الشوفان كما يأتى:

وذلك بعد إمكانية الحصول على أكسين نقى:

١ - إنبات حبوب الشوفان وإنماء بادراتها فى الظلام، حيث يحدث ضعف وتقليل فى حساسية غمد الريشة للأوكسين عند تعرضها للضوء الأزرق.

٢ - يزال 'أ' مم^(١) من القمة الطرفية لغمد الريشة بعد وصول البادرات إلى طول يتراوح ما بين ١٥ إلى ٣٠ مم، وبالتالي إزالة المصدر الطبيعى للأوكسين.

٣ - الإزالة الثانية لإثنين إلى ثلاثة ملليمترات^(١) ضرورية بعد مدة ثلاث ساعات من الإزالة الأولى وذلك لإزالة الأنسجة التى تتجدد وتنتج الأوكسين.

٤ - الورقة الأولية الأولى والتى تظهر بعد الإزالة الثانية تجذب برفق شديد وهذه الورقة لا بد أن تظهر ممتدة لقليل من الملليمترات خارجياً من غمد الريشة حيث تعمل كدعامة عمودية لمكعبات (لبلوكات) الآجار التى توضع على غمد الريشة.

٥ - يوضع مكعب الآجار المحتوى على الأوكسين على جانب واحد فى النهاية المقطوعة لغمد الريشة، وسوف ينتقل الأوكسين إلى أسفل فى جانب غمد الريشة الذى يحمل فوقه مكعب الآجار المحتوى على الأوكسين.

٦ - بعد تسعين دقيقة من الخطوة السابقة يعرض ظل البادرات إلى شريط من ورق البروميد^(٢) bromide paper ثم يصور وبالتالي يعطى للباحث تسجيل دائم للنتيجة.

(١) يستخدم لذلك ميكروتوم خاص بسيط التركيب يحتوى على شفرات حلقة عادية.

(٢) تتم هذه العملية عادة بوضع البادرات على شريط فيلم حساس ثم يضاء فوقها بالضوء الأبيض لفترة زمنية بسيطة جداً فيسجل على ورق التصوير بعد تخميض الفيلم ظل البادرة.

٧ - يقاس الإنحناء^(١) ويسجل بواسطة قياس الزاوية المحصورة بين الخط العمودى المرسوم والخط المرسوم والموازي للجزء المنحنى من الغمد.

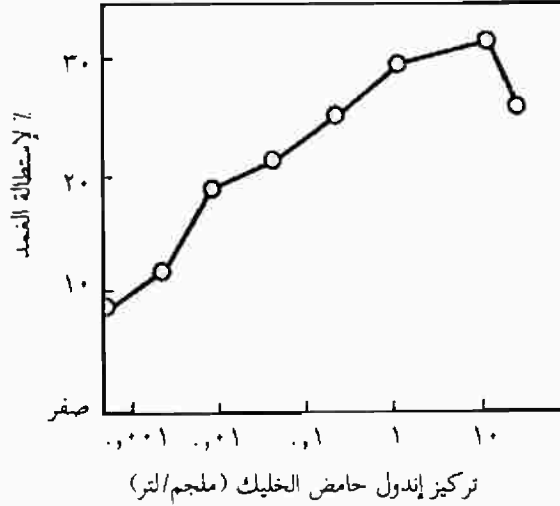
توجد علاقة خطية مستقيمة بين التركيز وكمية الإنحناء من خلال مدى مجال معين لتركيزات الـ IAA. كما هو واضح فى شكل ٧٦، ومجال هذا الـ IAA يصل إلى الذروة المثلى عند حوالى ٢، ملليجرام/ لتر (شكل ٧٦).

٢ - طريقة النمو الطولى لغمد الشوفان *Avena coleoptile straight growth* :test

عند غمر غمد الريشة لنبات الشوفان فى محلول أوكسين فى أطباق بترى فإن نمو الغمد يكون متماثل على جميع الجوانب ولذلك ينمو الغمد طويلاً بانتظام. يوجد تناسب طردى بين سرعة نمو الغمد وتركيز الأوكسين. يمكن عمل هذا الاختبار بنجاح على غمد الريشة لنبات القمح يتم وضع الحبوب على ورقة ترشيح أو رمل مبلل فى الظلام. بعد ثلاثة أيام يصبح طول الغمد ٢ - ٣ سم يزال ٣ مم من قمة الغمد وبعد ذلك يتم إزالة ٤ مم أخرى من كل جذع. تأخذ الأجزاء الأخيرة من الغمد والتي طولها ٤ مم وتوضع فى طبق بترى به ماء مقطر لمدة ساعتين. يتم إزالة الورقة الطرفية من داخل هذا الجزء. توضع هذه الأجزاء من الغمد فى إستقامة بعضها وذلك بإدخال أنبوبة شعرية داخل تجويف هذه الأجزاء. تصبح الأنبوبة الشعرية تحمل عديد من أجزاء مقطوعة من الغمد وطول كل جزء ٤ مم ويوجد بين كل جزء وآخر مسافة كافية تسمح بالنمو الطولى للغمد. يلاحظ أن الجزء المقطوع من الغمد مجوف. يتم تعويم floated هذه الأجزاء المحمولة بالأنبوبة الشعرية فى محلول أوكسين فى طبق بترى لمدة يوم كامل فى الظلام. وفى نهاية التجربة يقاس الزيادة فى الطول لكل جزء بواسطة مجهر dissecting microscope يتناسب النمو مع لوغاريتم تركيز إندول حامض الخليك طردياً حتى ١٠ ملليجرام / لتر وذلك كما

(١) قياس الإنحناء يكون على ورق التصوير الذى سجل زاوية الإنحناء فى الخطوة السابقة ويمكن تكبير صورة ظل البادرة بمكبر التصوير العادى ورسم خطوط الزوايا المراد قياسها وبالطبع دون تغيير فى الزوايا، كما توجد أجهزة خاصة لقياس هذه الزوايا مباشرة ذات دقة فائقة.

فى المنحنى (شكل ٧٨). يجب إجراء جميع هذه الخطوات فى حجرة مظلمة بها ضوء خافت أخضر حيث أن الغمد يفقد حساسيته للأوكسين فى حالة تعريضه لضوء ذو طول موجه قصيره مثل الأزرق أو البنفسجى. يعتبر هذا الاختبار أقل فى حساسيته من الاختبار السابق.



(شكل ٧٨) : العلاقة بين تركيز إندول حامض الخليك واستطالة غمد الريشة لنبات الشوفان.

وجد أن خلايا درنات البطاطس والطرطوفة تستطيل فى وجود الأوكسين ويمكن إثبات ذلك بقياس الزيادة فى الوزن الرطب fresh weight لأقراص أو مكعبات من هذه الدرنات. تتناسب الزيادة فى الوزن طردياً مع تركيز الأوكسين.

وخطوات إجراء اختبار قطاعات غمد ريشة الشوفان كالاتى:

١ - تنبت حبوب (ثمرة برة caryopsis) الشوفان لسلالة نقية (على سبيل المثال صنف فيكتورى Victory) وإنماؤها فى الظلام عند ٢٥°م ورطوبة نسبية حوالى ٨٥%. ولا يسمح إلا بإضاءة حمراء ضعيفة فى غرفة النمو.

٢ - وعندما يصل طول غمد الريشة إلى حوالى ٢٥ إلى ٣٠ مم، فتجمع البادرات ثم تزال القمة الطرفية لمسافة ٤ مم ثم يقطع باقى غمد الريشة إلى قطاعات طول كل منها من ٣ إلى ٥ مم.

٣ - جميع القطاعات تغمس في ماء مقطر لمدة لا تقل عن ساعة ثم توزع عشوائياً إلى أطباق بترى تحتوي على ٢٠ سم^٢ من محلول الاختبار.

٤ - وبعد تحضينها لفترات ١٢ أو ٢٤ أو ٤٨ ساعة على درجة ٢٥°م فإن القطاعات تقاس باستخدام ميكروسكوب تشريح مزود بمنظار ذو تدريج دقيق خاص^(١).

لو أن معدل النمو مناسب فإن ١٢ ساعة من التحضين كافية، ولو أن النمو غير مناسب فيمكن أن تطول فترة التحضين إلى ٢٤ أو ٤٨ ساعة (شكل ٧٦).

٣ - طريقة إنحناء ساق نبات *Cephalaria*:

يجرى إنبات بذور نبات *Cephalaria tartarica* في الظلام يتبع هذا النبات العائلة الدبساقية dipsacaceae. تأخذ سيقان البادرات وتزال قممها أى يجرى لها عملية فصل. يجب أن يكون سطح القطع مائل بدرجة كبيرة يوضع الآجار المحتوى على الأوكسين على السطح المقطوع على الجزء السفلى منه. فترة إجراء التجربة ساعتين.

يحدث إنحناء للساق في المنطقة ناحية الآجار تجرى هذه التجربة في ظلام دامس أو ضوء خفيف أحمر أو برتقالي أو أخضر. يحدث إنحناء للساق وتقاس زاوية الإنحناء تتناسب زاوية الإنحناء طردياً مع تركيز الأوكسين. قياس زاوية الإنحناء كما في طريقه الشوفان.

قام بعمل هذه التجربة سودنج Soding وأوضح أنها أكثر حساسية من طريقة غمد الريشة لنبات الشوفان حيث أنه تمكن من قياس تركيزات ضئيلة من الأوكسينات لا يمكن قياسها بطريقة غمد الريشة لنبات الشوفان.

(١) يمكن أن يستخدم هنا طريقة تسجيل النتائج باستخدام ورق التصوير الحساس لظل القطاعات كما هو الحال في تسجيل نتائج اختبار إنحناء غمد ريشة الشوفان.

٤ - طريقة قياس النمو الطولى لجذور نبات الكريس Cress (حب الرشاد) :

يجرى إنبات بذور نبات الكريس على أوراق ترشيح مبللة فى طبق بترى وفى درجة ٢٥ درجة مئوية فى الظلام لمدة يوم. يتم إنتخاب البادرات ذات الحيوية العالية وذات أطوال جذير متساوية. يوضع فى كل طبق بترى ورقة ترشيح ويوضع عليها عدد عشرة بادرات ثم يضاف إلى الطبق محلول الأوكسين المراد إختبار تركيزه. توجد معاملة للمقارنة وهى تحتوى على ماء مقطر. بعد يوم كامل يتم قياس طول الجذور وتقدر الزيادة فى الطول وتقارن بالزيادة فى الطول فى المقارنة. يلاحظ أن التركيزات فى هذه التجربة تكون أقل بكثير من التركيزات المستعملة فى حالة غمد الريشة أو الساق حيث أنه من المعروف أن الجذر يحتاج إلى تركيزات من الأوكسين أقل بكثير من تركيزات الساق لكى يحدث النمو. يلاحظ أن التركيزات المستعملة فى الساق قد تسبب توقف نمو الجذور أو تثبيط النمو . عادة تكون التركيزات المستعملة فى الجذور هى حوالى 10^{-1} جزئى (أى للأس -١٠ جزئى) لإندول حامض الخليك بينما تكون التركيزات المستعملة فى الساق هى حوالى 10^{-5} جزئى (أى للأس -٥ جزئى) لإندول حامض الخليك.

وخطوات أختبار تثبيط جذر حب الرشاد كما يلى:

- ١ - تعقم البذور ثم تنبت على ورقة ترشيح مبللة بالماء.
- ٢ - وعندما يصل طول الجذور إلى الطول المناسب توضع فى أطباق بترى محتوية على ١٥ سم^٣ من محلول الاختبار.
- ٣ - يقاس نمو الجذور بعد ٤٨ ساعة (شكل ٧٦) يحدث تثبيط لنمو الجذر.

٥ - طريقة قياس النمو الطولى لساق نبات البسلة وعباد الشمس :

يقدر فى هذه الطريقة النمو الطولى لأجزاء من السيقان الشاحبة أى النامية فى الظلام. حيث يجرى إنبات البذور فى الظلام. يتم عمل قصل أى إزالة القمة فى ساق البادرة وتستعمل الأجزاء تحت الطرفية من ساق البادرة (السويقة) بطول يتراوح

بين ٣م إلى ١٠م. يجب توحيد طول الساق المقطوع في التجربة. توضع السيقان في طبق بترى به محلول الأوكسين وتوضع أطباق بترى في حضان في درجة حرارة مناسبة عادة ٢٥م. بعد يوم يتم قياس أطوال السيقان لتقدير مقدار الزيادة في الطول. يوجد معاملة للمقارنة عبارة عن ماء مقطر. يتم مقارنة الزيادة في الطول بالزيادة في طول سيقان المقارنة. تجرى التجربة السابقة في ظلام دامس أو ضوء خافت أحمر أو برتقالي أو أخضر.

يمكن في هذه التجربة وأيضاً في التجارب السابقة عمل تركيزات مختلفة من محلول إندول حامض الخليك وتقدر الزيادة في الطول في أجزاء السيقان في التركيزات المختلفة ويتم رسم منحنى للعلاقة بين تركيز الأوكسين وسرعة النمو أو الزيادة في الطول ويسمى ذلك بالمنحنى القياسي standard curve. يمكن التعرف على تركيز مجهول من الأوكسين بقياس الزيادة في الطول من التجربة وتقدير التركيز من المنحنى.

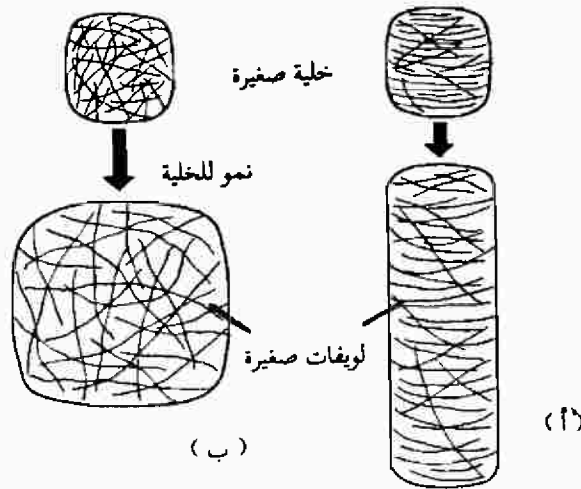
٥- طريقة إنحناء ساق البسلة المشقوق Split pea stem curvature:

في هذه الطريقة تستعمل أجزاء من سيقان نباتات بسلة عمرها ٩ أيام نامية في الظلام أى شاحبة. ثم يؤخذ الجزء القمى من السلامة الثالثة بطول ٤سم. يتم عمل شق طولى في ٣ سم القمية من الساق. توضع أجزاء السيقان المشقوقة طوياً في ماء مقطر لمدة نصف ساعة وذلك لغسلها من الأوكسينات الموجودة في الساق endogenous auxin. توضع السيقان في محلول الأوكسين المراد تقدير تركيزه في أطباق بترى في الظلام في حضان في درجة حرارة مناسبة عادة ٢٥م. توجد معاملة للمقارنة يستعمل فيها الماء المقطر. فترة التجربة ستة ساعات على الأقل. وحيث أن نفاذية الأوكسين تكون خلال البشرة وليست خلال أنسجة الشق المقطوع فإن الجزء الخارجى من الساق ينمو أسرع من الجزء الداخلى فيحدث إنحناء للشق بحيث ينحني طرفى الشق للداخل. كلما زاد تركيز الأوكسين كلما زادت درجة إنحناء طرفى الشق للداخل.

أكتشف هذه الطريقة العالمان فنت وفان أوفريك عام ١٩٣٤ Went and Van Overbeek وقد سميت باسم إختبار البسلة.

يمكن تقدير التركيز كميّاً وذلك بتقدير درجة الإنحناء بواسطة صورة الظل shadow graph كما سبق شرحه فى طريقة إنحناء غمد الريشة لنبات الشوفان.

خلايا البشرة متطاولة فتكون إستطالتها أكبر من خلايا النخاع الكروية المضلعة ولذلك يحدث إنحناء لساق البسلة للداخل نتيجة لتأثير الأوكسين حيث أن ترتيب اللويقات الصغيرة فى الجدار الخلوى تختلف فى الخلايا التى ستصبح متطاولة عنها فى الخلايا التى ستصبح كروية (شكل ٧٩).



(شكل ٧٩) : كيفية ترتيب اللويقات الصغيرة فى جدر الخلايا أثناء نموها.

- أ - تكون اللويقات متوازية عرضياً تقريباً فى الخلايا الأسطوانية.
- ب - تكون اللويقات متشابهة أو شبكية تقريباً فى الخلايا الكروية المضلعة.

وخطوات إختبار انحناء الساق المنشقة للبسلة كما يأتى:

- ١ - تنبت بذور البسلة وتنمو بادراتها فى الظلام لمدة ثمانية أيام. تعرض البادرات لمدة ثلاث ساعات للضوء الأحمر يومياً لزيادة حساسيتها للأوكسين.

- ٢ - ثم تجمع السيقان وتزال قممها ثم يزال جزء طوله حوالى ١ سم طولاً بين السلامة الثانية والثالثة وهو المستخدم فى الاختبار.
- ٣ - ثم يغمس الجزء فى ماء مقطر لمدة ساعة لإزالة أى أوكسين طبيعى يمكن أن يوجد فى قطاع الساق.
- ٤ - ثم يشق الجزء طولياً وبعمق ٠,٧ سم ثم يوضع فى طبق بترى محتوى على ٢٥ سم^٣ محلول الأوكسين، وعادة ما يوضع من خمس إلى ست أجزاء فى طبق بترى فى الطرق العادية.
- ٥ - بعد فترة التحضين التى تتراوح فى حدود ست ساعات يسجل إنحناء قمة الساق المنشقة (شكل ٧٦).

يوجد العديد من طرق التقدير الحيوى الأخرى بعضها ذات إستخدام خاص ومعين أما البعض الآخر فهو ذات تطبيق عام، إلا أن طرق التقدير الحيوى التى ذكرت هنا هى أكثرها استخداماً بصفة عامة. ومن الطرق التى ذكرت فإن اختبار إنحناء غمد ريشة الشوفان أفضلها للتقديرات الكمية إلا أنها تختص بالمركبات التى تنتقل بسرعة بطريقة قطبية. أما فيما يختص باختبارات قطاعات غمد ريشة الشوفان وقطاعات ساق البسلة المنشقة فإنها تصلح تحت ظروف مدى واسع من التركيزات، إلا أنهما لا يستخدمان للتقديرات الكمية للتركيزات المنخفضة من الأوكسين كتلك التى توجد فى المستخلصات النباتية. أما اختبار تثبيط جذر حب الرشاد فهو أكثر حساسية عن اختبار إنحناء غمد ريشة الشوفان حيث أنه يمكن أن يبين التركيزات المنخفضة جداً وللغاية من الـ IAA. إلا أن الاختلافات البسيطة فى تركيزات الأوكسين لا يمكن إدراكها باختبار تثبيط الجذر حيث أن استجابتها ذات نسبية تقريبية للوغاريتم تركيز الأوكسين.

ثانياً: طرق كيميائية Chemical tests

وتشمل عديد من الطرق ومنها ما يأتى:

١ - إختبار Salkowski :

الأساس فى هذا الإختبار أن إندول حامض الخليك يكون لون عند مزجه بمركبات معينة تسمى دليل أو كشاف reagent. يتناسب تركيز اللون طردياً مع تركيز الأوكسين. يمكن مقارنة تركيز اللون بالعين المجردة مع عينة للمقارنة وتكون النتيجة وصفية. يمكن قياس درجة تركيز اللون بجهاز لقياس الألوان colorimeter كيميا حيث يقيس هذا الجهاز درجة إمتصاص أشعة ذات طول موجه معين وتزداد درجة إمتصاص الأشعة كلما زاد تركيز اللون. أى أن الجهاز يقيس درجة تركيز اللون. يمكن تحديد تركيز الأوكسين بواسطة منحنى قياسى standard curve. عند مزج إندول حامض الخليك مع الدليل فإنه يتكون لون أحمر. يتكون هذا الدليل من مخلوط من ٢ مل من محلول كلوريد الحديدك بتركيز ٠,٠٥ جزئى مع ١٠٠ مل حامض perchloric تركيزه ٥٪. مدة التجربة هى نصف ساعة. يمكن قياس درجة تركيز اللون عند طول موجه ٥٣٠ نانومتر بواسطة الجهاز.

أقل كمية يمكن قياسها بهذه الطريقة هى ٠,٢ ملليجرام/لتر من الأوكسين. فى كثير من الحالات يكون تركيز الأوكسين فى العينة النباتية أقل من ذلك وفى هذه الحالات تستعمل الأختبارات الحيوية لأنها أكثر دقة وحساسية وتقيس تركيزات أقل من الأوكسينات.

٢ - إختبار إيرلش Erlich test :

يعتبر الأساس فى هذا الأختبار هو الأساس فى التجربة السابقة إلا أن تركيب الدليل يختلف. يتكون المحلول المستخدم من P-dimethylaminobenzaldehyde وحامض إيدروكلوريك ويعطى لون أحمر بنفسجى فى وجود الأوكسين وعند إضافة كلوريد الحديدك يتحول اللون إلى البنفسجى.

٣ - إختبار هوبكنز كول Hopkins - Cole test :

يتكون المحلول من حامض glyoxylic وحامض كبريتيك مركز وحيث يتكون لون أحمر بنفسجى فى وجود الأوكسين. درجة حساسية الأختبار ١ ميكروجرام لكل مل ويفضل أن لا يقل عن ٤ ميكروجرام لكل مل.

يمكن استخدام جهاز لقياس الألوان colorimeter لتقدير التركيز كيميا.

٤ - إختبار النيتريت Nitrite test :

يحتاج هذا الإختبار تركيزات كبيرة نسبيا من الأوكسين تتراوح بين ٠,٠١ إلى ٠,١٥ ملليجرام لكل مل. يتم تحضير ٥٠ مل من محلول الأوكسين ويضاف إليها ٠,٥ مل محلول صمغ عربي تركيزه ٥٪ ثم يضاف ٢ مل محلول نيتريت بوتاسيوم تركيزه ٥,٠٪ ثم يضاف بعد ذلك ٠,٤ مل حامض نيتريك مركز. تضاف المحاليل السابقة على التوالي وبالترتيب السابق. يتم هز المخلوط جيدا ثم يترك لمدة ساعتين على درجة حرارة الغرفة. يتكون لون أحمر في حالة وجود الأوكسين يتناسب تركيز اللون الأحمر مع تركيز الأوكسين طرديا. يمكن قياس درجه تركيز اللون بواسطة جهاز قياس الألوان colorimeter يمكن تقدير تركيز الأوكسين بعمل منحني قياسي في هذه التجربة وفي جميع التجارب الثلاثة السابقة.

٥ - إختبار كلوريد الحديدك Ferric Chloride test :

يحتاج هذا الإختبار إلى تركيزات كبيرة نسبيا من الأوكسين تتراوح بين ٠,٠٢ إلى ٠,١ ملليجرام لكل مل. يضاف ٠,٠٥ مل كلوريد حديدك ١٠/١ جريثي إلى ١٠ مل حامض كبريتيك. ثم يضاف ١٤,٥ مل ماء مقطر ثم يتم رج هذا المحلول والتبريد حتى درجة حرارة الغرفة. وبعد ذلك يضاف ٥ مل من محلول الأوكسين. ثم الرج جيدا والتبريد حتى درجة حرارة الغرفة. يتكون لون أحمر في حالة وجود الأوكسين. يمكن قياس تركيز اللون الأحمر كما في التجربة السابقة.

٦ - إختبار إهمان Ehmann test :

يعتبر هذا الإختبار خليط من طريقة Salkowski وطريقة Ehrlich (Van Urk). يضاف للعينة المراد إختبارها دليل إهمان. يكون حجم العينة المختبره خمسون ميكرو لتر (UI) من ٥٠٪ كحول إيثيل ويضاف لها دليل إهمان والذي يتكون من خليط من دليل Salkowski ودليل إيرلش بنسبة ١ : ١. يتم تسخين الخليط لمدة نصف ساعة

على درجة حرارة ٤٥ درجة مئوية حيث يتكون لون ثابت في حالة النتيجة الإيجابية ثم يتم تخفيف المخلوط إلى واحد مل بواسطة كحول إيثيل تركيزه ٥٠٪. درجة تركيز اللون تدل على تركيز الأوكسين. يمكن قياس التركيز بواسطة جهاز قياس الألوان على طول موجه ٦١٥ نانومتر. يمكن التعرف على تركيز الأوكسين من منحني قياسى للأوكسين.

تعتبر حساسية هذه الطريقة كبيرة حيث أنها حساسة لأجزاء من الميكروجرام. ومن عيوب هذه الطريقة أنه يمكن أنه يتداخل في القياس أنواع أخرى من الأندول وأيضا بعض الفينولات ومركبات phenylpropanes ولكن لا يحدث ذلك إلا في حالة وجود هذه المركبات بتركيزات تزيد عن تركيز الأوكسين من مائة إلى ألف مرة أو تزيد.

٧ - طريقة التحليل الكروماتوجرافي بالورق Paper chromatography :

يستعمل في هذه الطريقة ورق معين خاص بالتحليل الكروماتوجرافي. يمكن فصل الأوكسين على هذا الورق بسهولة وذلك في وجود مذيبات مناسبة. يظهر الأوكسين على الورقة في صورة بقعة spot عديمة اللون. ولأظهار اللون لا بد من استعمال صبغات خاصة. حيث يتم رش الورقة بالصبغة أو غمر الورقة في الصبغة، فيتكون نتيجة لذلك بقعة مصبوعة بلون معين تبعا للون الصبغة. يمكن استعمال دليل salkowski فيظهر لون البقعة أحمر. يتناسب تركيز لون البقعة طرديا مع تركيز الأوكسين.

٨ - طريقة التحليل الكروماتوجرافي بالطبقة الرقيقة Thin layer chromatography :

يستعمل في هذه الطريقة نوع معين من السيليكا جل silica gel وتستخدم في صورة طبقة رقيقة على لوح زجاجي أو ما يشابهه. يمكن فصل الأوكسين بسهولة على السيليكا جل في وجود مذيبات مناسبة. يظهر الأوكسين على السيليكا جل في

صورة بقعة عديمة اللون. لإظهار هذه البقعة لابد من صبغها. يتم رش طبقة السيليكا جل بصبغة معينة تصبغ البقعة بهذه الصبغة تبعاً للون الصبغة. في حالة استعمال دليل Salkowski يكون لون البقعة أحمر يتناسب تركيز لون البقعة طردياً مع تركيز الأوكسين. يمكن قياس تركيز الأوكسين في البقعة الملونة وأيضاً في الطريق السابقة بواسطة جهاز scanner.

٩ - طرق سيرولوجية Radio - Immunoassay (RIA):

يتم تحضير أجسام مضادة antibodies وذلك بإرتباط أى تزاوج coupling أندول حامض الخليك مع ألبومين مصل الدم serum albumin في وجود الفورمالدهيد. يتم قياس تركيز إندول حامض الخليك الحر في المجموع الخضرى لنبات الذرة بهذه الطريقة. ولكن في حالة إستخلاص الأوكسين من أنسجة النبات يمكن أن يحدث خطأ في تقدير التركيز حيث يحدث أثناء الأستخلاص تحلل قلوى للأوكسين alkaline hydrolysis. يمكن بهذه الطريقة عمل تقديرات كثيرة للنبات الواحد في زمن قليل حيث يمكن عمل مئات من التقديرات في اليوم الواحد مع درجة عالية جداً من الحساسية.

أساس هذه الطريقة أن الهرمون النقي يعامل باليود المشع ويخلط بالعينة المراد إختبارها والتي تحتوى على هورمون غير مشع. يتنافس الهرمون المشع والهورمون الغير مشع المراد إختباره على التفاعل مع الأجسام المضادة الخاصة بالهورمون. كلما زاد تركيز الهرمون في العينة المراد إختبارها كلما قل احتمال تفاعل الهرمون المشع مع الأجسام المضادة. وبقياس تركيز الهرمون المشع المرتبط مع الأجسام المضادة وذلك بواسطة جهاز عداد أو قياس لتركيز الأشعاع يمكن معرفة تركيز الهرمون في عينة النبات وذلك بأستعمال منحني قياسى standard curve. وكلما زاد تركيز الهرمون المشع المرتبط بالأجسام المضادة كلما قل تركيز الهرمون العادى في العينة المختبرة والعكس صحيح. لكى يتم قياس تركيز الهرمون المشع المرتبط بالأجسام المضادة لابد من فصله من المحلول ويكون ذلك بأستعمال طريقة الهجره في مجال كهربائى

electrophoresis. حيث يتم فصل الهرمون عن الهرمون المرتبط بالأجسام المضادة. ويوجد طريقة أخرى لفصل الهرمون المشع المرتبط بالأجسام المضادة عن الهرمون المشع أو العادى وذلك بعمل إرتباط بين الأجسام المضادة ومادة غير ذائبة فى الماء insoluble support مثل السيليلوز ثم خلط الأجسام المضادة الملتحمة مع السيليلوز مع مخلوط الهرمون المشع والهرمون العادى الموجود فى العينة المراد اختبارها وبعد حدوث التفاعل تجرى عملية طرد مركزى حيث ترسب الأجسام المضادة الملتحمة مع السيليلوز والمربطة مع الهرمون المشع أو الغير مشع وذلك لثقل وزنها ويبقى فى supernatant الهرمون ثم يجرى التخلص من supernatant وذلك بسبكه ويبقى فى الراسب الهرمون الملتحم بالسيليلوز والمرتبط بالأجسام المضادة (شكل ١٧٩).

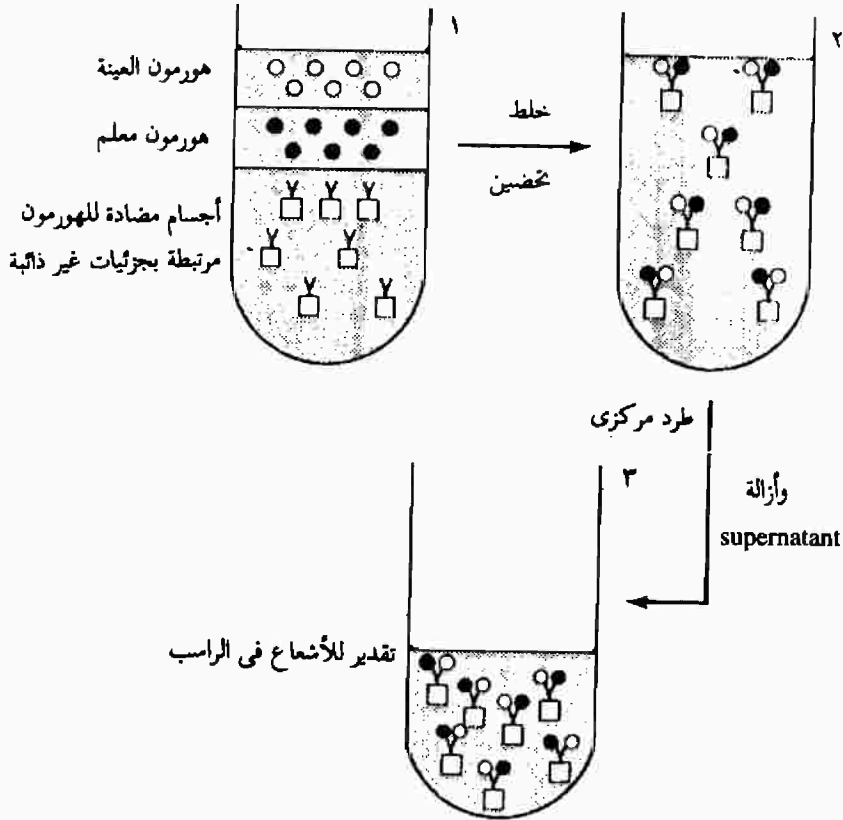
١٠ - طريقة الأنزيم الغير قابل للانتقال Immobilized enzyme assay :

وفىها تستخدم أنزيمات معينة غير قابلة للانتقال وتقوم بعمل تفاعل معين فى النبات. يمكن أيضا بهذه الطريقة عمل تقديرات كثيرة للنبات الواحد فى زمن قصير حيث يمكن عمل مئات من التقديرات فى اليوم الواحد مع درجة عالية جدا من الحساسية.

١١ - الطرق اللونية باستخدام Ultra Violet spectrophotometer :

عند استخلاص أوكسين نباتى وتنقيته تماما (لأن هذه الطريقة لا تصلح على الإطلاق إلا إذا كان IAA نقى تماما). يمكن إذابة هذا الأوكسين النقى فى مذيب ويفحص بواسطة أشعة UV. يمكن التعرف على تركيزه بقياس درجة الامتصاص للأشعة فوق بنفسجية عند طول موجة ٨٢٠ نانومتر. يمتص إندول حامض الخليك هذا الطول من الأشعة فوق البنفسجية بشدة. يستعمل فى ذلك جهاز uv spectrophotometer. يمكن عمل منحنى قياسى لقياس التركيز.

وفى هذه الطريقة لابد وأن يكون الأوكسين نقى تماما فيمكن أن تستعمل بكفاءة عند إذابة مسحوق الأوكسين النقى فى مذيب عضوى مناسب ثم تخفيفه بالماء وتقدير تركيزات مختلفة من الأوكسين لعمل المنحنى القياسى للتركيزات standard curve.



(شكل ١٧٩) : طريقة Radio-immunoassay .

- ١ - أنبوية بها هورمون عادى المراد اختبار تركيزه وهورمون معلم وأجسام مضادة للهورمون.
- ٢ - خلط وتخصين لمحتويات الأنبوية وأرتباط الهورمون بالجسم المضاد.
- ٣ - رامب بعد القوة الطاردة المركزية وتقدير تركيز أو درجة الأشعاع فى هذا الراسب.

وفى حالة إستخلاص الأوكسين من عينة نباتية فلا يمكن أستعمال هذه الطريقة إلا بعد تنقية الأوكسين بواسطة paper or thin layer chromatography ثم إذابة الأوكسين المفصول على ورق الكروماتوجرافى أو على السيليكاجل فى مذيب عضوى مناسب ثم يتم تقديره بهذه الطريقة. يفضل أن تكون الإضاءة أثناء هذه الخطوات ذات لون برتقالى أو أحمر أو أخضر.

١٢ - طريقة Gas Chromatography :

وتعتبر هذه من أدق الطرق حيث أن المشتق المتطاير للأوكسين أى IAA يمكن فصله عن الشوائب الموجودة فى مستخلص الأوكسين وذلك برفع درجة الحرارة بدرجة كبيرة. ويحدث ذلك الفصل عند مرور المشتق المتطاير للأوكسين فى غاز عمود column به مجموعة من المواد معينة، وهذه المواد تمتص الأوكسين وأيضاً تمتص كل شائبة من الشوائب ولكن تمتص الأوكسين على حدة وفى زمن معين وأيضاً كل شائبة على حدة وفى زمن معين *differentially absorbs hormones* and impurities. وبذلك يتم فصل الأوكسين عن الشوائب ويصبح فى صورة نقية فى داخل الجهاز.

يتم إجراء الاختبار ولابد من تنقية أوكسين العينة المستخلصة من النبات قبل حقنها ويكون ذلك بطرق عديدة أما الأوكسين النقى فيتم حقنه مباشرة. يتم حقن الأوكسين النقى فى الجهاز بواسطة حقنه. توجد وحده تسخين بالجهاز لرفع درجة حرارة الأوكسين المحقون بدرجة كبيرة حتى يصبح شق متطاير فى صورة غازية يمر على العمود ويتم رسم خط بواسطة الجهاز.

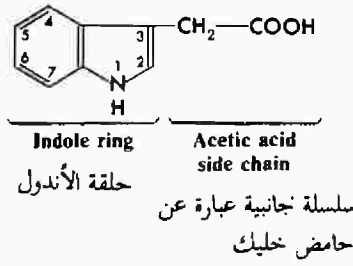
ويكون الخط مستقيم ولكن به أشكال تشبه رقم ٨ وقد تكون واسعة إلى ضيقة جداً ولها قمم peaks وفى حالة وجود الأوكسين فى العينة فإنه يتكون شكل ٨ ذو قيمة معينة محدودة على مسافة معينة من بدء التسجيل أى من بداية الخط.

١٣ - طريقة GC-MS Gas Chromatography- Mass Spectrometry :

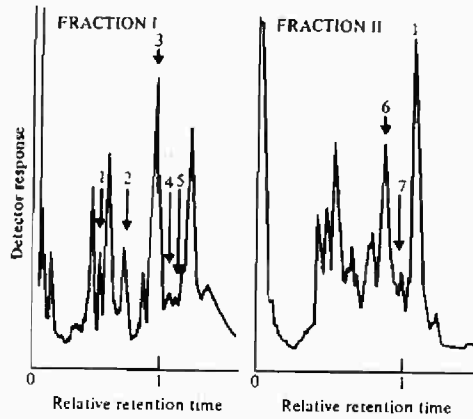
يمكن بهذه الطريقة قياس التركيز بكفاءة وبسرعة وبدقة وفى تركيزات أثرية أجزاء من nanogram. يستعمل فى هذه الطريقة أندول حامض الخليك معلّم أى مشع ويكون الإشعاع فى ذرات الإيدروجين أى تكون فى صورة ديوتيريوم deuterium. يستعمل فى هذه الحالة هذا الأوكسين كأوكسين داخلى قياسى a desirable internal standard. أمكن تخليق أندول حامض خليك فيه ذرات إيدروجين مشعة فى حلقة الأندول على ذرات الكربون رقم ٤ و ٥ و ٦ و ٧ (شكل ٨٠). فى حالة أندول حامض الخليك الذى يحتوى على ذرة إيدروجين مشعة أى

ديوتيريم على ذرة الكربون رقم ٢ فى السلسلة الجانبية لحلقة الأندول وليست فى حلقة الأندول نفسها يمكن أى يحدث تبادل للديوتيريم فى حالة وجود محلول قلوى والعكس صحيح فى حالة أندول حامض الخليك السابق الذى يحتوى على أربعة ذرات ديوتيريم فى حلقة الأندول ويكتب هكذا d4-IAA حيث أنه ثابت تماما حتى فى المحلول القلوى ولا يحدث أى تبادل للديوتيريم is not exchanged in alkaline solution ولذلك فإنه يستعمل كأوكسين قياسى داخلى internal standard حتى فى الاختبارات التى يحدث فيها تحلل قلوى alkaline hydrolysis. بعد إضافة تركيزات محدده من d4-IAA وأيضا من ^{14}C -IAA وذلك للسماح لعمل monitoring. ويتم تنقية إندول حامض الخليك بواسطة DEAE-Sephadex وأيضا بواسطة طور عكسى من reverse phase of HPLC-HPLC .. يتم عمل methylation أى إدخال مجموعة ميثيل بواسطة مركب diazomethane للعينة ثم يتم عمل تحليل كروماتوجرافى على عمود GLC متوسط القطبية polarity ويفضل أن يكون العمود أنبوبة شعرية من الكوارتز جدارها مغلف coated. يمكن عمل monitoring لأندول حامض الخليك النباتى فى حالته الجزيئية الأيونية molecular ion ١٨٩، والجزء الكبير من الجزيء فى صورة أيونية major fragment ion ١٣٠. بينما يقاس d4-IAA عند الكتلة mass ١٩٣ وأيضا عند ١٣٤. وحيث أن كمية d4-IAA المضافة معلومة يمكن حساب كمية IAA فى النبات. فى حالة إختلاف النسبة المثوية لـ d4-IAA فى الوزنين يكون دليل على وجود أيون ملوث فى أحد الوزنين. يمكن زيادة كفاءة هذه الطريقة باستعمال tandem mass spectrometry أو negative ion mass spectrometry.

أستخدام طرق gas chromatography مع طرق mass spectroscopy أى gas chromatographic-mass spectroscopic methods قد تطورت بدرجة كبيرة بحيث أنها تقيس هورمونات النمو plant growth hormones بكفاءة عالية. تحتاج هذه الطرق إلى أجهزة مكلفة غالبية الثمن ومعقدة ولكنها فائقة الدقة فى قياساتها الكمية للهورمونات ولا يوجد لها مثل فى هذا الصدد. وقد أمكن أستخدام هذه الطريقة فى تقدير تركيز خليط من الأوكسينات والجبريلينات والسيتوكينينات وحامض الأبسيسك فى لوز القطن (شكل ٨٠ أ).



(شكل ٨٠) : التركيب الجزيئي لأنډول حامض الخليك وذرات الكربون مرقمة.



(شكل ٨٠ أ) : استخدام GC-MS في تقدير الهرمونات النباتية في لوز القطن.

١ - أنډول حامض الخليك

٢ - ABA

٣ - جبريللين ١٣

٤ - جبريللين ٤، ٧

٥ - جبريللين أو حامض جبريلليك

٦ - dihydrozeatin

٧ - zeatin

تدل peaks على وجود المركبات السابقة.

التأثيرات الهامة للأوكسينات وبعض التطبيقات الاقتصادية لها

للأوكسينات تأثيرات كثيرة على النباتات الزهرية وأهمها ما يأتي:

١ - استطالة الخلايا Cell Elongation :

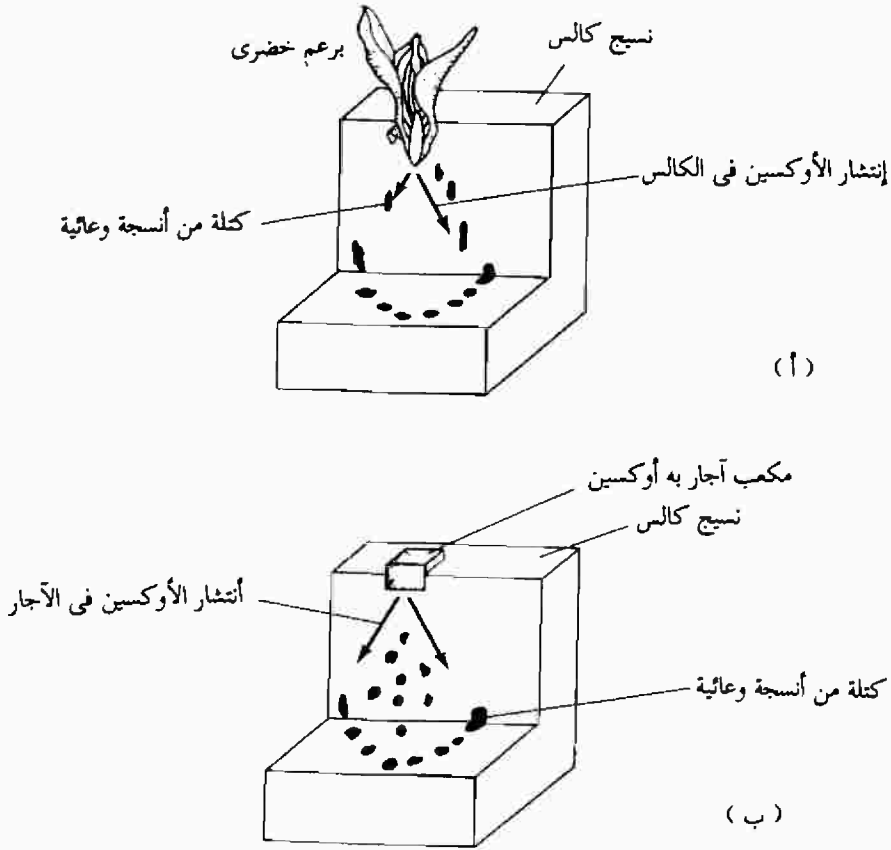
من المعروف أن الأوكسينات تسبب استطالة للخلايا وكبرها في الحجم حيث تؤثر على الجدار الخلوى وقد وجد علاوة على ذلك أنها عامل فعال في تكوين mRNA وأنه لا بد من وجود الأوكسين لكي يتكون هذا الحامض النووى بحالة عادية ومن المعروف أن هذا الحامض النووى مع الأنواع الأخرى تشارك في تخليق البروتين والذي يلزم تكوينه بدرجة واضحة لكي يملأ الخلية ولكي لا تصبح الخلية فيها جزء كبير فارغ نتيجة لتمدد الجدار وعدم تخليق بروتين جديد. ومن المعروف أن تخليق البروتين يلزم له مباشرة وجود السيتوكينيات كما سيلي ذكره. أى أن تأثير الأوكسين على تخليق البروتين يكون بطريقة غير مباشرة وذلك عن طريق تحكمه في تخليق mRNA أى RNA رسول .

٢ - إنقسام الخلايا Cell Division :

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

أ - من المعروف والثابت الآن أن التغليظ الثانوى الذى يحدث فى الأشجار فى فصل الربيع هو نتيجة لوجود الأوكسينات وأيضا الجبريلينات. فمن المعروف أنه فى كثير من النباتات والأشجار تحدث فترة سكون للأشجار وفى بعض الأنواع تتساقط الأوراق تماما وذلك فى النباتات متساقطة الأوراق حيث يكون نشاط النبات تقريبا معدوم. وعند حلول الربيع يحدث نشاط للبراعم الساكنة وتبدأ فى النمو وتعتبر مراكز نشطة لتخليق الأوكسينات حيث تنتقل الأوكسينات من هذه البراعم إلى الأفرع والسيقان والجذور ومن المعروف أنها مسئولة عن نشاط خلايا الكامبيوم وأنها أساسية لتكوين وتشكل خلايا نسيج الخشب بينما الجبريلينات تنشط فى ذلك

الوقت أيضا ولكنها هي 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 الأوكسين هو المسئول عن تكوين وتشكل نسيج الخشب وأن الجبريلينات هي المسئولة عن تكوين وتشكل خلايا اللحاء. وقد أمكن إثبات ذلك كل على حدة باختبار تأثير الأوكسينات على حدة واختبار تأثير الجبريلينات على حدة وذلك خارج النبات وذلك باستعمال مزارع الأنسجة (شكل ٨١).



(شكل ٨١) : تأثير الأوكسين على تكوين الأنسجة الوعائية.

أ - برعم من نبات الشيكوريا *Cichorium intybus* فى نسيج كالس.

ب - مكعب آجار به أوكسين فى نسيج كالس.

بأستعمال مكعب من نسيج الكالس موجود فى بيئة مناسبة ووضع قمة نامية لساق نبات على قمة هذا الكالس فإن خلايا الكالس يحدث فيها تغيير فى التركيب على إمتداد القمة النامية للساق (نسيج الكالس callus عبارة عن نسيج يتكون من خلايا رقيقة الجدر لا تكون فى مجموعها شكل معين disorganised محدد) حيث تتكون أجزاء فى الكالس عبارة عن أنسجة وعائية وتحتوى هذه الأنسجة الوعائية على نسيج الخشب. وبتكرار نفس التجربة على مكعب آخر من الكالس مع استبدال القمة النامية بمكعب من الآجار يحتوى على إندول حامض الخليك فإن النتيجة تكون متماثلة تماما فى الحالتين وبدل ذلك على أن الأوكسين له دور فى إنقسام خلايا الكمبيوم وأيضا له دور فسيولوجى ثان وهو تشكل الخلايا الناتجة من إنقسام الكمبيوم وتحولها لخلايا الخشب أى خلايا الأوعية الخشبية. يعنى التشكل أو التميز differentiation هو أخذ الخلية الشكل النهائى والذى يتلاءم مع وظيفتها ويحدث ذلك فى خطوات عديدة ومثال ذلك تحول الخلية المرستيمية إلى خلية وعاء خشبى.

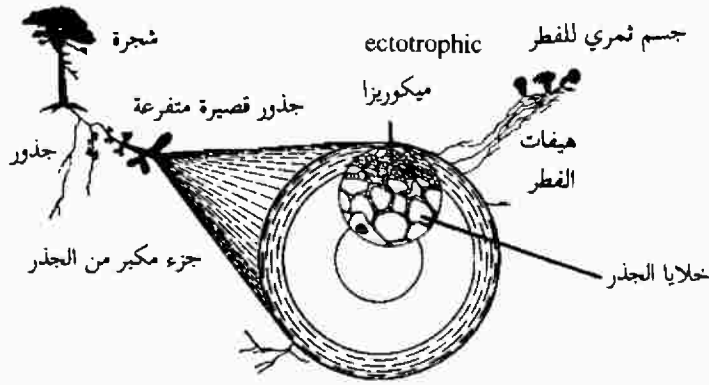
مما سبق أيضا يتضح أنه فى القمم النامية للساق فإن الأوراق الصغيرة الموجودة فى البرعم leaf primordia وأيضا أثناء كبر هذه الأوراق فى الحجم فإنها تكون أماكن نشيطة لتكوين وتخليق الأوكسين بتركيز عالى نسبيا. ينساب الأوكسين من قاعدة الورقة الصغيرة ويسبب تخليق لأنسجة الخشب بالقرب من قاعدة الورقة الصغيرة أى أن الأوكسين يشارك فى تكوين الخشب الأبتدائى فى القمة النامية وأيضا فى تكوين الخشب الثانوى أثناء التغليظ الثانوى فى الجذور والسيقان. تلخيصا لما سبق فإن للأوكسين دور هام فى إنقسام خلايا الكمبيوم حيث يساعدها على الإنقسام فى وجود السيتوكينينات وأيضا يسبب حدوث تشكل أى تميز للخلايا لتتكون بذلك خلايا الأوعية الخشبية. وبإجراء تجارب مشابهة أتضح أن الجبريللينات تنساب من الأوراق الصغيرة وأيضا فى البراعم الطرفية وتكون نسيج اللحاء الأبتدائى والثانوى أى أن لها دور فى تشكل الخلايا إلى لحاء.

ب - أنواع التطعيم المختلفة تعتبر أيضا حالة تطبيقية لوجود الأوكسين. فمن المعروف فى كثير من أشجار الفاكهة يستخدم أصل ويكون له جذور، ويستخدم هذا

الأصل لأن له مميزات لا توجد أو لا تتوفر في الطعم ومثال ذلك مقاومة الأصل للأمراض أو له مميزات أخرى وعند وضع الطعم على الأصل فإنه ضرورى لنجاح عملية التطعيم أن يتكون في منطقة الاتصال بين الأصل والطعم أنسجة وعلى الأخص وبالضرورة وجود أنسجة وعائية أى تحتوى على كل من نسيجى الخشب واللحاء لكى يكون التوافق تام بين الأصل والطعم. وهذه الحالة أيضا ثبت 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 وذلك بالإضافة إلى الجبريلينات كما سبق شرحه.

ح - من المعروف أن كثير من العقد والتدرنات التى تتكون على النبات تقع تحت تأثير الأوكسينات الطبيعية فمن المعروف أنه لتكوين العقد الجذرية فى جذور النباتات البقولية فإنه يوجد نشاط كبير ملحوظ فى أماكن هذه العقد للأوكسينات الطبيعية وأهمها IAA. وأيضا فى الحالة المرضية لكثير من النباتات مثل التفاح والعنب وعباد الشمس والخوخ الخ والتى تسبب عن البكتيريا *Agrobacterium tumefaciens* حيث تسبب هذه البكتيريا مرض crown gall أى التدرن التاجى. حيث يلاحظ فى ساق النبات عند سطح التربة وجود أورام تصل إلى حجم كبير فقد تصل إلى قطر ٨ - ١٠ سم وقد تزيد وأن فى هذه المناطق يكون نشاط IAA كبير جدا وملحوظ عنه فى الأجزاء الأخرى وفى نفس هذه المنطقة فى النباتات السليمة. ونفس القاعدة تنطبق على العقد الجذرية root knots التى تسبب عن الديدان الثعبانية أى النيماتودا nematodes وهى المسئولة عن حدوث العقد والتدرنات الكثيرة التى توجد على الجذور والسبب فى ذلك هى أنواع من النيماتودا تتبع الجنس *Meloidogyne* حيث وجد أن فى مناطق هذه العقد نشاط كبير واضح لـ IAA وذلك بالمقارنة بالجذور السليمة كما وجد فى المناطق المصابة خلايا كبيرة الحجم تسمى بالخلايا العملاقة giant cells. وبالإضافة إلى ذلك توجد حالة الميكوريزا mycorrhiza وهى فطريات تعيش معيشة تعاونية مع جذور النباتات الراقية. وجد أن الجذور فى هذه الحالة تكون قصيرة عن المعتاد ومحدودة النمو وأكثر تفريعا كما أن

خلايا قشرة الجذور تكون كبيرة الحجم عن المعتاد وقد أمكن إثبات أن هذا التأثير راجع إلى وجود إندول حامض الخليك. وجد أن بعض فطريات الميكوريزا يمكن أن تفرز إندول حامض الخليك في البيئة في المعمل مثل *Boletus* و *Coprinus* و *Amanita*. وجد أن الجذور المقطوعة من نبات الصنوبر *Pinus sylvestris* وبواسطة مزارع الأنسجة حيث يتم زراعة الجذور المعقمة في بيئة معقمة وتعامل بتركيزات مختلفة مناسبة من إندول حامض الخليك وجد أن الأوكسين له دور فعال في ذلك وأن التركيزات المرتفعة من الأوكسين ٥ - ١٠ ملليجرام أوكسين/ لتر تسبب قصر ملحوظ وأيضاً تفرع في كثير من الجذور الناتجة ومماثلة في ذلك جذور الميكوريزا (شكل ٨٢).



(شكل ٨٢) ectotrophic ميكوريزا لشجرة من مخروطيات *conifers*. يكون الفطر غلاف علي سطح الجذر وتنتشر هيفات الفطر بضعف علي المتبقيات علي سطح التربة مثل أوراق الأشجار المتساقطة *litter* ثم تكون علي سطح التربة أجسام ثمرية تشبه عيش الغراب.

ومما هو جدير بالذكر أيضاً أن جميع الأمراض السابقة وهي مرض التدرن التاجي ومرض تعقد الجذور يتواجد في مكان الإصابة خلايا كبيرة الحجم كما وجد المؤلف خلايا كبيرة الحجم بدرجة ملحوظة في سيقان نبات فجل الجمل *Sysimbrium irio* المتدربة المصابة بمرض البياض الزغبى. كما توجد خلايا كبيرة الحجم *hypertrophy* أيضاً في نسيج أو أنسجة جذور النبات المحتوية على بكتريا العقد الجذرية كما توجد أيضاً في الميكوريزا.

وحيث أن البكتريا *Agrobacterium tumefaciens* المسببة لمرض التدرن التاجي فى كثير من النباتات لها دور هام فى الهندسة الوراثية كما أنها تنتج إندول حامض الخليك بكثرة حيث أن تركيبها الوراثي أى أن جزء من المادة الوراثية متخصص لإنتاج إندول حامض الخليك وجزء آخر متخصص لإنتاج السيبتوكينين فسيتم شرح ذلك تفصيلا فى الباب الحادى عشر.

د - تكوين الجذور على العقل (التجذير)

من المعروف أنه فى كثير من النباتات الاقتصادية نلجأ إلى زراعة هذه النباتات وذلك بواسطة العقل كما يستعمل ذلك 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 النباتات فى محلول مخفف أو مركز من الأوكسينات ويمكن أيضا بدلا من الغمر فى المحاليل يمكن معاملة العقل بالرش بمحلول أو بعجينة من الأوكسين أو غمسها فى مسحوق من الأوكسين. وعامة فهذه طرق مختلفة للمعاملة وتستعمل هذه المعاملات المختلفة لتشجيع تكوين الجذور العرضية على العقل الساقية وبالتالي يساعد ذلك فى نجاح عملية التعقيل والزراعة بالعقل. فقد وجد أن الأوكسينات تساعد على تنشيط خروج الجذور العرضية وبالتالي 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، أو 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 لسرعة خروج الجذور العرضية. قد وجد فى كثير من الحالات أن النباتات التى يتم اكثارها بالعقل يمكن أن تنجح هذه العملية بدرجة أكبر عند معاملتها بالأوكسينات ومن أهم الأوكسينات المستعملة فى هذه الحالة أندول حامض البيوتريك ونفثالين حامض الخليك. وجد فى بعض الحالات التى يصعب فيها تكوين الجذور العرضية طبيعيا أن المعاملة بالأوكسينات وخاصة التركيبية تساعد على خروج الجذور ونجاح الزراعة بالعقل.

وقد وجد فى بعض الحالات أن معاملة العقل الساقية بمخلوط من أكثر من أوكسين يساعد بدرجة كبيرة جدا على كفاءة خروج الجذور العرضية عنه إذا استعمل أحدهما فقط. ومثال لذلك فى العقل الساقية لنبات *Camellia* فإن معاملة العقل الساقية بمخلوط من أندول حامض البيوتريك مع نفتالين حامض الخليك فإن ذلك يساعد على خروج الجذور بدرجة كبيرة. وهذا لا يعنى أن أى نبات يمكن أن نزرعه بالعقلة بعد معاملتها بالأوكسينات فإن كثير من النباتات التى لا تكون الجذور العرضية بسهولة ولا تنجح فيها عملية التعقيل تماما فإن المعاملة بالأوكسينات لا تفيد أيضا مثل المانجو والكافور والجوز والجاكاراندا. وقد وجد فى حالات أخرى عكس ما سبق حيث أن معاملة العقل الساقية، والتى تكون الجذور العرضية بكفاءة عالية طبيعيا، بواسطة الأوكسين تقلل بدرجة كبيرة من كفاءة تكوين الجذور العرضية والتعليل لذلك أن العقل الساقية تحتوى على تركيز من الأوكسين إلى حد ما مناسب وأن إضافة كمية أخرى من الأوكسينات قد تسبب تأثير عكسى. معنى ذلك أنه عند استعمال الأوكسينات فى الزراعة بالعقل لابد أن نكون على علم بفاعلية الأوكسينات فى تكوين الجذور العرضية للنبات المراد زراعته.

وأما عن التفسير العلمى لذلك فإن إندول حامض الخليك يشجع خلايا فى الجذر، عادة تكون البريسكيل وقد تشارك معها خلايا الأندودرمس تبعا لنوع النبات، على الانقسام لتكوين الجذور الجانبية ومنها الجذور الثانوية. ولذلك فإن خروج الجذور الثانوية من الجذر الأصيل يرجع إلى نشاط خلايا البريسكيل بدرجة كبيرة ويكون ذلك نتيجة لتنشيط الأوكسين لهذه الخلايا وذلك بدفعها على الانقسام بسرعة كبيرة. وأيضا نفس الحالة فى الجذور العرضية حيث أن الأوكسين يشجع خلايا الكمبيوم، على الانقسام فى عقلة الساق وتنشط لتكوين الجذور العرضية. وقد ينشط الأوكسين خلايا مرستيمية أخرى وتنقسم لتشارك فى تكوين الجذور العرضية حيث أنه من المعروف أن بعض الخلايا البالغة وخاصة البارنشيمية تستعيد قدرتها على الانقسام.

وفيما يلي شرح للطرق العملية المختلفة المستعملة لمعاملة العقل لنجاح عملية التعقيل أى لتنشيط التجذير أى خروج الجذور العرضية.

طرق المعاملة بالأوكسينات

تعامل أجزاء مختلفة من النبات بالأوكسينات وفيما يلي وصف لطرق المعاملة فى كل حالة

أولاً: العقل الساقية Stem cuttings

تعامل العقل الساقية بطرق مختلفة وهى ما يأتى:

١ - طريقة عجينة اللانولين Lanolin Paste

يعتبر اللانولين مادة دهنية طرية ناعمة soft fat يتم تحضيرها من الصوف وهى تتميز بذوبان الأوكسينات فيها. تستخدم عجينة اللانولين بما فيها من أوكسينات ذاتبة فى معاملة أعضاء نباتية عديدة. عند معاملة قاعدة العقل بعجينة اللانولين فإنها تلتصق بها جيداً ولا تجف وبذلك فإنها تحافظ على تركيز الأوكسين على الجزء المعامل لمدة طويلة. يعتبر اللانولين عجينة خاملة ليس لها أى تأثير على النبات ويعتبر ذلك أحد مميزاتها . يمكن أن يذوب فى اللانولين إندول حامض البيوتريك ونفثالين حامض الخليك بتركيزات تتراوح بين ٠.٠١ إلى ٠.٠٥ فى المائة.

٢ - طريقة المحلول المخفف Dilute Solution method

تعتبر أول طريقة أستعملت فى هذا الصدد ولا زالت هى الطريقة المستعملة والمفضلة حتى الآن. حيث يتم تحضير محلول مركز من الأوكسين وذلك بإذابة الأوكسين فى كحول إيثانول ٩٥ ٪ ثم يتم تخفيفه حتى التركيز المناسب. تستعمل تركيزات تتراوح بين ٠.٠٠٠٥ إلى ٠.٠١ فى المائة وذلك يتوقف على نوع الأوكسين المستعمل ونوع المعاملة. يتم غمر الجزء القاعدى من العقل أو يتم غمر العقل فى محلول الأوكسين لمدة ساعات. تختلف المدة باختلاف نوع العقله وأيضاً

الظروف البيئية أننا غمر العقل ففى حالة العقل الطرية أى عقل الخشب الرخو العصري softwood فإنها تحتاج من ساعة إلى ساعتين فى تركيز ١.٠٪ أو ١٠ إلى ٢٤ ساعة فى تركيز ٠.٠٠٠٥٪. وفى حالة العقل الصلبة أى عقل الخشب الصمى المأخوذة فى الشتاء فإنه يفضل فى بعض الحالات تخزينها أولاً على درجة حرارة منخفضة تتراوح بين ١/٢ إلى ١٠ درجة مئوية لمدة شهر أو شهرين لكى يتكون نسيج كالس على الجزء القاعدى من العقلة وذلك قبل المعاملة بالأوكسين. ثم تستعمل طريقة الغمر السابق ذكرها. وجد أن غمر العقلة كلها فى محلول الأوكسين أفضل من غمر قاعدة العقلة فقط وذلك فى بعض النباتات مثل قصب السكر. تعتبر التركيزات السابقة متوسط عام ويمكن استعمال تركيزات أخرى خلاف ذلك وحيث يتوقف ذلك على نوع النبات وموعد أخذ العقلة ونوع الأوكسين.

أمكن حقن محلول الأوكسين داخل العقلة وذلك فى حجرة مفرغة من الهواء وذلك لزيادة سرعة إمتصاص الأوكسين داخل العقلة ولكن لم تعط هذه المعاملة ميزة مؤكدة فى هذا الصدد بالمقارنة بالمعاملة العادية لغمر العقل ولذلك يفضل استعمال طريقة الغمر العادية.

وفيما يلى شرح تفصيلى لكيفية تجهيز محلول الأوكسين.

وفى هذه الطريقة يجهز التركيز المطلوب عن طريق وزنه معلومه من منظم النمو المختار الذى يستجيب له النبات المتكاثر بإخراج مزيدا من الجذور الجيدة على قواعد العقل. ثم تذاب هذه الوزنة أولاً فى ١ - ٣ سم^٢ من الكحول المناسب ثم تكمل بالماء للحجم المعلوم الذى يحقق التركيز المطلوب. فمثلاً إذا أريد تجهيز لتر من اندول حمض الخليك بتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون فيوزن جرام واحد من مسحوق اندول حمض الخليك ثم يذاب فى كأس نظيفة صغيرة بها ٣ مليلتر من كحول الايثايل حتى يذاب تماماً مسحوق اندول حامض الخليك ثم ينقل إلى دورق معيارى يحتوى ٩٩٧ سم^٣ من الماء ويقلب جيداً. ثم ينقل منه الحجم المطلوب إلى كأس

زجاجية واسعة الفوهة. بعد ذلك تغمس قواعد العقل المجهزة في هذا المحلول لمدة تختلف باختلاف العديد من العوامل منها على سبيل المثال نوع العقل الساقية (وسطية أو طرفية أو خشبية)، التركيز المستخدم، فتقل مدة غمر قواعد العقل كلما زاد التركيز المستخدم، كذلك نوع منظم النمو وغيرها من العوامل. ويتراوح التركيز بصفة عامة من ١٠٠ جزء في المليون وحتى ٢٠,٠٠٠ جزء في المليون. كذلك تتراوح فترات غمر قواعد العقل من ثوان قليلة إلى ٧٢ ساعة. ويلاحظ زراعة العقل عقب انتشالها بنصف ساعة من المحلول المنشط للتجدير. وتؤدي هذه المعاملة إلى زيادة عدد الجذور على العقلة الواحدة، هذا فضلا عن استطالة الجذور الناتجة بالإضافة إلى قصر وقت خروج الجذور على قواعد العقل المتكاثرة.

٣- طريقة الغمر في محلول مركز **Concentrated dip method**

وفي هذه الحالة يتم غمر قاعدة العقلة في محلول مركز من الأوكسين ذائب في كحول إيثيل تركيزه ٥٠٪ يمكن أستعمال تركيزات مرتفعة نسبيا من الأوكسين ٠,١٪ ولكن من الأفضل أن تستعمل تركيزات أقل من ذلك خاصة وأن بعض الأوكسينات مرتفعة الثمن مثل إندول حامض البيوتريك. يتم عمل حزمة صغيرة من العقل ويتم غمر قاعدتها بطول ٢,٥ سم عادة ولمدة ثانية إلى خمس ثوان في المحاليل المركزة ثم تترك بعد الغمر ليمسح لتطاير الكحول وبذلك تتكون طبقة رقيقة من الأوكسين تغطي قاعدة العقلة. يتم بعد ذلك زراعة العقلة مباشرة في بيئتها الطبيعية. تتميز هذه الطريقة عن السابقة بأنها تحتاج زمن قليل وتلافى مضار وزن غمر العقل الطويل. يمكن معاملة عقل التفاح **hardwood** بهذه الطريقة.

٤- طريقة المسحوق **Dust method**

في هذه الطريقة يتم معاملة قاعدة العقل بواسطة مسحوق من مادة خاملة مثل بودرة التلك أو الطين أو الفحم الحيواني charcoal مخلوط مع مسحوق الأوكسين. يستعمل تركيز من الأوكسين في المسحوق يتراوح بين ٠,٠٢ إلى ٠,١ وذلك للعقل العصيرية **herbaceous cuttings** ويستعمل خمسة أضعاف هذا التركيز في

العقل الغير عصيرية أى الخشبية hardwood cuttings . يتم خلط مسحوق الأوكسين مع مسحوق المادة الخاملة carrier بطريقتين وذلك بطحن بلورات الأوكسين إلى مسحوق فائق النعومة ثم يتم خلطه بمسحوق المادة الخاملة . وهذه الطريقة تحتاج إلى حرص كبير لضمان نجاح عملية خلط الأوكسين مع مسحوق المادة الخاملة . وفى الطريقة الثانية وهى الأكثر تفضيلاً هى عبارة عن إذابة الأوكسين فى كحول ثم إذابة المادة الخاملة فى هذا الكحول وذلك بتركيزات مناسبة ثم يسمح بتطاير الكحول . يمكن إذا لزم الأمر إعادة طحن المادة الحاملة . ثم يتم غمر قاعدة العقل المراد معاملتها وذلك لمسافة حوالى ٢ سم فى الماء ثم بعد ذلك يتم غمر هذا الجزء فى مسحوق الأوكسين وذلك مع دوران للعقلة فى المسحوق rolling the cutting in powder ثم يتم إزالة الزائد من المسحوق على قاعدة العقلة وذلك بعمل عملية غسيل بماء الصنبور وإحتراس وبرقة ثم يتم زراعة العقلة مباشرة . عند زراعة العقلة فى التربة لابد من عمل حفرة فى التربة أكثر إتساعاً من العقلة ثم توضع فيها العقلة ويكوم عليها تراب التربة لأن زراعة العقلة مباشرة فى التربة يمكن أن يسبب إزالة ومسح مسحوق المبيد . ومن مميزات هذه الطريقة أنها سريعة ويكون توزيع الأوكسين على العقلة متجانس كما فى الطريقة السابقة ومن عيوبها أن المادة الحاملة يمكن أن تؤثر على كفاءة الأوكسين وبذلك تؤثر على التجارب حتى فى نفس التركيز الواحد على النبات الواحد . يمكن التغلب على ذلك بطحن مسحوق المادة الحاملة جيداً . ولذلك يفضل شراء هذا المسحوق من شركات متخصصة وإتباع التعليمات الموجودة على الورقة المرفقة بدقه . ومن عيوب هذه الطريقة أيضاً أنه يمكن أن تسبب زيادة المسحوق على العقلة ضرراً كبيراً لها ويعتبر ذلك عيب جوهري لهذه الطريقة . لذلك تستخدم آلة insufflator لضمان إنتظام توزيع المسحوق . يمكن إستخدام النبات الحزازى Sphagnum المبلل كبيئة أو مهد صالح للزراعة وفى هذه الحالة يتم معاملة Sphagnum بالأوكسين وبعد تمام تشربه الأوكسين يستعمل كمهد صالح للزراعة . أحيانا يتم عمل عجينة من بودرة التلك والأوكسين فى شكل كريات صغيرة ثم تلتصق كرة واحدة فى قاعدة كل عقلة وتزرع العقل مباشرة .

٥ - طريقة الرش Spray technique

يمكن أن تستعمل هذه الطريقة فى رش الأوراق بمحاليل أوكسين مخففة. يمكن أيضا إستعمال هذه الطريقة فى رش النباتات العشبية قبل أخذ العقل منها. يمكن أيضا رش العقل أثناء زراعتها فى البيئة ولا تصلح هذه الطريقة فى بعض النباتات ولكنها تلائم بعض نباتات أخرى مثل القرنفل و *Coleus*.

وفى حالة النباتات التى تحتاج عقلها إلى وقت طويل نسبيا لتكوين الجذور يضاف لمحلول الأوكسين المستعمل مستحلب emulsion اللاتولين وبذلك تطول مدة بقاء الأوكسين على النبات أو العقلة.

٦- طريقة البلورات Crystal metho

ينم وضع بلورات من الأوكسين فى قلف الأشجار أو فى قاعدة الساق ويكون لها تأثير فعال على النبات ولكنها قد تكون سامة للنبات أو شديدة السمية فى بعض الحالات.

٧- طريقة خلة الأسنان Tooth Pick method

يتم غمر خلة الأسنان فى محلول الأوكسين ثم ترشق فى النبات.

ثانيا: العقل الورقية Leaf cuttings

يمكن أن تستعمل فى بعض النباتات عقل ورقية كما فى البيجونيا *Begonia* حيث أنه عند قطع الورقة ووضعها فى بيئة أى تربة مناسبة فإن البراعم والجذور تتكون من مناطق معينة من عروق الورقة ويتكون نتيجة لذلك نبات كامل. يمكن تنشيط عملية تكوين الجذور والبراعم بتجريح العروق الرئيسية. تتكون النباتات الصغيرة بالقرب من مكان القطع أو التجريح على العروق الرئيسية. أتضح أن غمر الأوراق فى محلول إندول حامض الخليك بتركيز ٠.١٪ يكون ذو فاعلية كبيرة فى تنشيط تكوين الجذور والمجموع الخضرى فى العقل الورقية لنبات البيجونيا والتين المطاط *Fi-*

cus elastica. وفي حالات أخرى تتكون الجذور والبراعم في قاعدة عنق الورقة مثل نبات البنفسج الأفريقي *Saintpaulia*.

يمكن زراعة عقل أوراق حرشفية *scale leaf cuttings* وذلك بمعاملتها بمركب نفتالين حامض الخليك بتركيز مناسب وحيث يتكون على هذه الأوراق برعم وجذور ويتكون نبات كامل وذلك في نبات *Easter lilies*. لوحظ حدوث عفن فطري على هذه الأوراق الحرشفية ولذلك يفضل غمس هذه الأوراق في مخلوط من مسحوق مبيد فطري وأوكسين.

ثالثا: العقل الجذرية Root Cuttings

بعض النباتات يمكن إكثارها بالعقل الجذرية وحيث يتكون على الجذر براعم وجذور ومنها يتكون نبات جديد. وقد أستخدمت الأوكسينات في تنشيط تكوين الجذور والبراعم في بعض العقل الجذرية. تعامل العقل الجذرية لنبات *Taraxa-cum koksaghyz* وذلك بغمرها لمدة ستة عشر ساعة في خمسون جزء من المليون من أوكسينات مختلفة مثل نفتالين حامض الخليك وأندول حامض البيوتريك و *B-naphthoxy acetic acid* واختصاره *Noxa* وقد وجد أن درجة التجذير على هذه العقل تتضاعف. أستخدم هذا النبات أثناء الحرب العالمية الثانية كمصدر للمطاط. وجد نفس التأثير عند أستخدم عجينة لانولين بها إندول حامض الخليك لمعاملة العقل الجذرية لنبات *Armoracea lapathifolia* أى فجل الحصان *horse-radish*.

رابعا: عقل ورقية برعمية Leaf bud Cuttings

تستخدم في هذه الحالة ورقة وبرعم أبطي وجزء صغير من الساق حيث يتم فصل جزء صغير من الساق يحمل ورقة واحدة وبرعم أبطي واحد من النبات الأم وفي حالة زراعة هذه العقل الورقية تتكون جذور وينمو البرعم ليكون ساق وهكذا يتكون نبات جديد. وفي الحقيقة يعتبر هذا النوع عقل ساقية. يمكن تنشيط تكوين الجذور في هذه الحالة بواسطة معاملة الساق بالأوكسين في صورة مسحوق أو محاليل مخففة.

تنجح هذه المعاملة فى بعض النباتات مثل الجهنمية *Bougainvillea* والهبسكس *Hibiscus* وثنبرجيا *Thunbergia* والراوند *Rhododendron* يمكن إكثار الكرب بهذه الطريقة حيث تنمر العقل فى محلول نفثالين حامض الخليك بتركيز من ٢٠ إلى ٤٠ جزء فى المليون لمدة ١٦ ساعة أو إندول حامض البيوتريك بتركيز من ٤٠ إلى ٨٠ جزء فى المليون.

يتم منع حدوث العفن الفطرى بواسطة خلط الأوكسين مع مبيد فطرى مناسب.

خامسا: الترقيد Layering

وجد أن معاملة البيكان بالأوكسينات أثناء الترقيد يفيد فى نجاح تكوين النبات وذلك فى حالة الترقيد الأرضى البسيط simple layering. وفيما يلى شرح لطريقة الترقيد الأرضى البسيط. فى هذه الطريقة يتم إكثار النباتات ذات الأفرع الأسطوانية المرنة القاعدية. وفيها يختار أحد الأفرع القريبة من سطح التربة ويشنى ثم يدفن هذا الجزء الذى تم ثنيه تحت سطح التربة وعلى عمق يتراوح من ١٠ - ٢٠ سم يبقى طرف الفرع المرقد خارجا فوق سطح التربة. وقد يحدث فى حالة الأفرع المرنة البعيدة عن سطح التربة أن يتم لها ذلك ولكن بدلا من ثنى الفرع ودفنه تحت سطح التربة يتم الدفن فى أصيص أو صندوق خشبى يمكن رفعه على حامل. ويمكن تشجيع خروج الجذور العرضية على الفرع المرقد فى منطقة الدفن وذلك بعمل مجموعة حروز أو خدوش على العقد أسفل البراعم الموجودة فى المنطقة المدفونة من الفرع. ويمكن كذلك تثبيت الفرع المرقد على هذا الوضع على امتداد منطقة الدفن باستخدام أسلاك على شكل حرف (V) مقلوبة توضع على أبعاد من بعضها، بحيث تبقى على الفرع المدفون ثابتا مكانه حتى يتم تجذيره. وعند التأكد من تمام تجذير الفرع المرقد (غالبا ما يتم ذلك فى نهاية فصل النمو) يفصل عن النبات الأم ثم يزرع منفصلا فى المشتل أو فى الأرض المستديمة مباشرة، وهذا هو الغالب. ويتكاثر بهذه الطريقة العنب والليمون المالح والياسمين الأبيض والزفر والبرقوق والبيكان وست الحسن وشبر فايد والأرجيريا وغيرها.

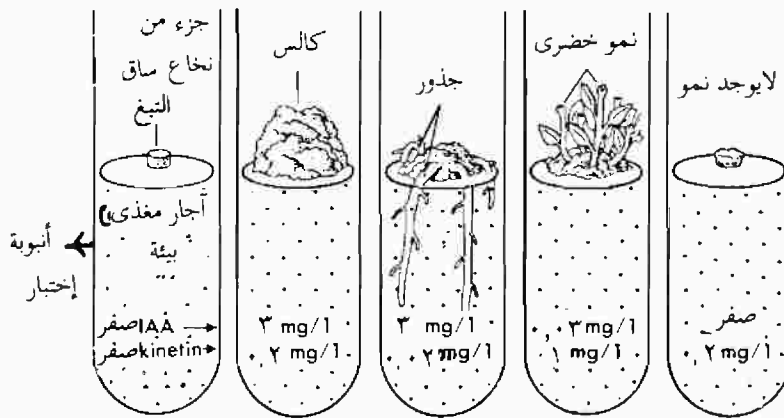
سادسا: الترقيد الهوائي (Marcotting (Air - layering)

تستعمل الأوكسينات فى تنشيط الجذور فى النباتات الناتجة من الترقيد الهوائى marcots. وجد أن ١ - ٣٪ أندول حامض الخليك أو أندول حامض البيوتريك أو نفثالين حامض الخليك فى عجينة لانولين تنشط تكوين الجذور أثناء الترقيد الهوائى للمانجو. وجد أيضا أن ١٠٪ نفثالين حامض الخليك فى عجينة لانولين فعالة فى حالة الجوافة. وجد أن معاملة الأجزاء التى فيها تخليق بأندول حامض البيوتريك وذلك فى حالة الترقيد الهوائى وأن يكون تركيز الأوكسين ٠,٥٪ فى كحول. ثم تغطى هذه الأجزاء المحلقة المعاملة بالأوكسين بواسطة تربة تتكون من رمل وطين و *Sphagnum* والأخير يسمى *peat moss*. وجد أن هذه المعاملة تزيد من كفاءة التجذير فى أشجار الكاكاو. تنجح الحالة السابقة أيضا فى حالة نبات *Ficus decora*.

هـ - تكوين الشكل الظاهرى morphogenesis أى تكوين أعضاء النبات المختلفة مثل الساق والجذر والأوراق حيث تحدد هذه الأعضاء الشكل الظاهرى للنبات. وقد أمكن إثبات أن الأوكسينات لها دور هام فى ذلك ومن أفضل التجارب فى هذا الشأن تجربة سكوج وميللر Skoog and Miller عام ١٩٥٧. وقد أثبتنا بالدليل القاطع أنه يمكن التحكم فى تكوين الجذر والساق باستعمال مركبات هرمونية معينة. وفى هذه التجربة تم وضع نسيج نخاع ساق الدخان على بيئة آجار مغذى nutrient agar (تتكون هذه البيئة من بيتون peptone ومستخلص لحم beef extract وماء وآجار agar) وقد خلطت هذه البيئة بتركيزات مختلفة من كل من إندول حامض الخليك indole acetic acid الذى يساعد على إستطالة وكبر خلايا النبات وكينيتين kinetin الذى يساعد على إنقسام خلايا النبات. وقد وجد أن هذين المركبين يتحكمان فى تكوين الجذر والساق تبعا لتركيزاتها أى لهما دور كبير فى عملية تكوين الشكل الظاهرى للنبات morphogenesis.

فعند خلط بيئة الآجار المغذى بهذه المركبات ووضع النسيج على البيئة وفحص النسيج النباتى بعد عدة أسابيع وجد أن خلط البيئة بأندول حامض الخليك وكينيتين

بنسبة ١٥ : ١ نتج عنه تكوين نسيج كالس، وبتغيير النسبة يمكن تكوين جذور فقط أو سيقان فقط، فزيادة تركيز أندول حمض الخليك يشجع تكون المجموع الجذري وزيادة تركيز الكينيتين يشجع تكوين المجموع الخضري (شكل ٨٣). أى أن هذين المركبين لازمين لحدوث تكوين أعضاء النبات المختلفة مثل الجذور والسيقان والأوراق أى لحدوث morphogenesis. يدل على أهمية إندول حامض الخليك فى تكوين الشكل الظاهري لأعضاء النبات هو أن خلو البيئة المستعملة من هذا الأوكسين نتج عنها توقف نمو نسيج نخاع ساق نبات التبغ تماما وذلك بالرغم من وجود الكينيتين.



(شكل ٨٣) : تأثير تركيز منظمات النمو على الـ morphogenesis فى النبات.

نستنتج أيضا من هذه التجربة أن للأوكسين دور فى إنقسام الخلايا حيث أن خلو البيئة من هذا الأوكسين نتج عنه توقف نمو النسيج النباتى تماما بالرغم من وجود الكينيتين.

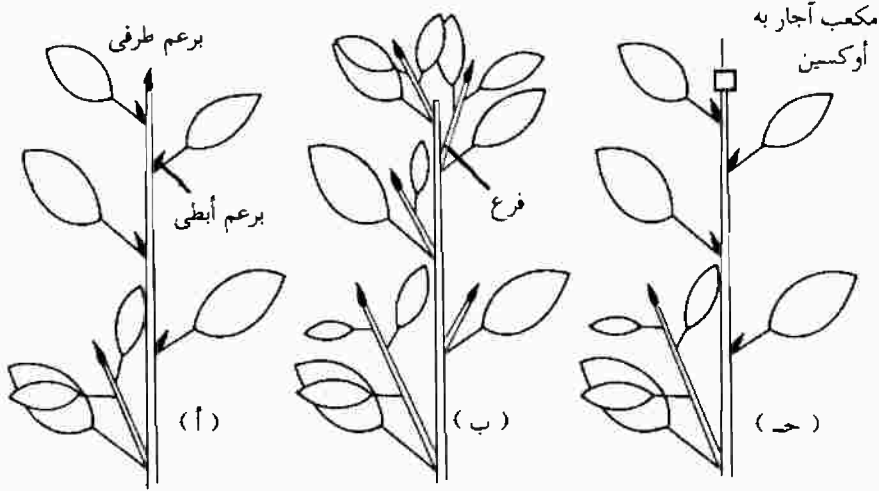
و- تكوين الكالس من قاعدة العقلة . عند أخذ عقلة من الساق فإن الأوكسين ينتقل من الجزء العلوى للعقلة إلى الجزء السفلى . وأيضا عند معاملة هذه العقلة بالأوكسين فإنه ينتقل إلى قاعدة العقلة . ولذلك يتراكم الأوكسين فى قاعدة العقلة . ولذلك بعد فترة فإن الأوكسين المتراكم فى قاعدة العقلة يسبب تكوين إنتفاخ فى قاعدة العقلة عبارة عن نسيج الكالس callus ويتكون هذا النسيج فى هذه الحالة من

خلايا برانشيمية أو خلايا رقيقه الجدر. تتكون هذه الخلايا البرانشيمية فى نسيج الكالس نتيجة لإنقسام خلايا الكمبيوم فى قاعدة العقلة وأيضاً نتيجة لنشاط الخلايا المرستيمية الناتجة عن تحول خلايا بالغة إلى خلايا مرستيمية. يدل ذلك على أن أندول حامض الخليك له دور فى إنقسام الخلايا. ينشط أيضاً الأوكسين خلايا الكمبيوم فى العقلة ويدفعها للإنقسام وتكوين الجذور العرضية وقد ينشط أيضاً خلايا مرستيمية أخرى ناتجة من تحول الخلايا البرانشيمية إلى خلايا مرستيمية حيث يمكن أن تستعيد بعض الخلايا البرانشيمية قدرتها على الإنقسام وتصبح خلايا مرستيمية.

٣ - ظاهرة السيادة القمية Apical Dominance:

وهذه الظاهرة تحدث فى النباتات ذوات الفلقتين حيث نجد أن البرعم الطرفى يكون نشيط ويمنع هذا البرعم نمو البراعم الأبطية والموجودة أسفله لمسافة ما وكلما زادت هذه المسافة كلما كان ذلك دليل على زيادة كفاءة ظاهرة السيادة القمية. وعند إزالة القمة النامية لهذا الساق أو الفرع فإن البراعم الأبطية الساكنة الموجودة أسفله تنمو فى تتابع هرمى. وقد وجد أنه عند إزالة القمة النامية ونضع مكانها مباشرة عجينة لانولين lanolin بها تركيز مناسب من IAA فإن نمو البراعم الأبطية يتوقف أيضاً 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 ٨٤).

والتعليل للظاهرة السابقة أن البرعم الطرفى نشط ويكون كميات كبيرة من الأوكسينات تفرز وتنتقل قطبياً إلى أسفل حيث تنتقل إلى البراعم الأبطية الموجودة إلى أسفل وحيث أن هذه البراعم الأبطية تخلق أوكسينات ويدخل إليها علاوة على ذلك أوكسينات من البرعم القمى فنتيجة لذلك يزداد تركيز الأوكسينات فى هذه البراعم الأبطية عن الحد المناسب فتمنع نموها ونتيجة لذلك تحدث ظاهرة السيادة القمية.



(شكل ٨٤) : ظاهرة السيادة القمية

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

وقد أمكن استعمال هذه الظاهرة اقتصاديا فى حالات كثيرة منها:

أ - تخزين درنات البطاطس بكفاءة عالية حيث أنه 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 ولا يمكن بيعها وعادة تصاب ببيكتريا العفن الطرى وتصبح الدرنات طرية عفنة ذات رائحة كريهة ونتيجة لذلك فقد أمكن رش درنات البطاطس بأوكسين إندول حامض البيوترىك أو نفثالين حامض الخليك وقد أمكن بذلك تخزين البطاطس لمدد متفاوت من سنة إلى ٣ سنوات دون أى نمو وإنبات للبراعم وبذلك تكون القيمة التسويقية والاقتصادية للبطاطس بعد التخزين كبيرة. غمر درنات البطاطس فى محلول نفثالين حامض

الخليك غير فعال إلى حد كبير حيث إن إختراق المحلول للقشرة الفلينية نادرة البطاطس ضعيف. وقد وجد أن معاملة الدرنات بأستر ميثيل نفتالين حامض الخليك عظيم الفاعلية methyl ester NAA (MENA) (مينأ) حيث أن محلول هذا المركب متطاير ويوجد في صورة غازية وبذلك يخترق درنات البطاطس بسهولة. يمكن رش هذا المركب على الدرنات أو تعبئة الدرنات في شرائح ورقية مشبعة به.

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

ح - أنه في نباتات الفاكهة عند نقل الشتلات وذلك في حالة نباتات كثيرة مثل التفاح والكرز والبرقوق والخوخ فإنه أثناء النقل لهذه الشتلات نحتاج إلى منع نمو البراعم الساكنة حيث أن نموها أثناء النقل غير صالح للنبات المنقول ولذلك ترش هذه الشتلات قبل النقل بنفتالين حامض الخليك.

إلا أن النظرية الحديثة في حالة السيادة القمية فحواها أنه يوجد تضاد بين عمل الأوكسين من ناحية تثبيط نمو البراعم والسيتوكينينات التي تصل البراعم فإنها تضاد وتثبط عمل الأوكسينات وتنشط نمو البراعم حيث وجد أن معاملة البرعم الأبطى في منطقة السيادة القمية بواسطة أحد مركبات السيتوكينينات يسبب نمو البرعم الأبطى وكسر ظاهرة السيادة القمية. أى أنه توجد حالة من التنافس بين الأوكسين لتثبيط نمو البرعم الأبطى وبين السيتوكينين لتشجيع نمو هذا البرعم.

٤ - سقوط الأوراق Leaf Drop والأزهار والثمار:

من المعروف أن الورقة تظل ملتصقة بالساق حينما تكون عمليات التحول الغذائي فيها نشطة وتتكون الأوكسينات الطبيعية بتركيز كبير في الورقة أكثر مما هو موجود في الساق ويستمر إنسياب الأوكسينات من الورقة إلى الساق وبذلك تظل الورقة متصلة بالساق بشدة. أما في حالات ضعف الورقة وقلة الكفاءة في عمليات التحول الغذائي ينتج عنه قلة في تكوين الأوكسينات وبالتالي يكون تركيزها مساوى أو أقل من تركيزها في الساق ونتيجة لذلك يتكون عند قاعدة الورقة عند مكان اتصالها بالساق منطقة مختلفة في تركيبها التشريحي وتعرف هذه المنطقة بمنطقة الانفصال وهي تعتبر نقطة الضعف في مكان اتصال الورقة بالساق ونتيجة لذلك فإنه عند أى إهتزاز خفيف للورقة تسقط من الساق مباشرة. ويمكن تطبيق ذلك أيضا على الأزهار وتساقطها والثمار وتساقطها حيث يعزى ذلك في الحالتين الأخيرتين إلى إختلاف أيضا في تركيز الأوكسين في هذه الأجزاء عنه في الساق ويتكون نتيجة لذلك منطقة الانفصال.

تساقط جميع الأوراق في فصل الخريف في الأشجار والشجيرات متساقطة الأوراق كما تساقط الأوراق المسنة فقط في الأشجار والشجيرات مستديمة الخضرة. وفي كثير من نباتات ذوات الفلقه وأيضا القرعيات فإن الأوراق لا تسقط حيث أن الأوراق المسنة تذبل وتجف ولا تسقط بل تظل ملتصقة بالنبات.

ويمكن إستخدام هذه الظاهرة اقتصاديا وتوفير آلاف من الجنيهات لكثير من مزارعى الفاكهة برش نباتات البرتقال والتفاح بأوكسينات معينة مثل D-2,4 أو ماشابهها وذلك بتركيزات مخففة نسبيا فإن ذلك يمنع تساقط الأوراق وتساقط الثمار قبل نضجها فتظل الشجرة محملة بجميع الثمار وجميع الأوراق حيث أنه من المعروف أنه كلما كان عدد الأوراق الحية السليمة كبير كلما كانت كفاءة التخليق للمركبات وتكوين الثمار أكبر. وعلاوة على ذلك في النباتات السابقة فإنه في بعض الأحيان يحدث نضج مبكر نسبيا لجزء من المحصول ويكون صاحب حدائق الفاكهة

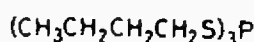
غير مستعد لجمع هذا المحصول فإنه يفضل جمعه مرة واحدة لتقليل تكاليف الجمع ويحدث ذلك في الدول الغربية بالذات فإن رش النباتات السابقة بالأوكسينات المناسبة يساعد على عدم تساقط الثمار وجمعها في مدة واحدة في زمن متقارب نسبيا حيث أن ذلك يقلل تكاليف الإنتاج وبذلك يدر ربح أكبر للمزارع.

يمكن إستغلال هذه الظاهرة بطريقة عكسية فمن المعروف أنه توجد مضادات للأوكسينات antiauxins وهذه المركبات فائدتها أنها تضاد عمل الأوكسينات وتلغى تأثيرها وبالتالي فإنها عكس ما سبق عند رشها على النباتات تساعد على سقوط الأوراق، ومن هذه المضادات المركبات trans cinnamic acid وأيضا (T - 5 و 4 و 2) trichlorophenoxyacetic acid و 4 و 2 (شكل ٩٠).

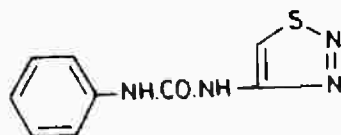
وعلى سبيل المثال عامل البرتقال orange agent الذي أستخدم في حرب فيتنام كمسقط للأوراق ماهو إلا خليط فعال من D - 4 و 2 وأسترات البيوتيل للـ T - 5 و 4 و 2 أى T - 5 و 4 و 2 n - butyl ester of.

ويمكن تطبيق هذه الظاهرة اقتصاديا في حالات كثيرة وأهمها تساقط أوراق نبات القطن والجمع الآلى لشعر القطن حيث ترش النباتات بعد تمام تفتح اللوز وتكوين الشعر تماما بواسطة مضادات الأوكسينات فإن ذلك يسبب سقوط أوراق نباتات القطن تماما ويصبح نبات القطن عبارة عن ساق وفروع ولوز متفتح به شعر القطن وبذلك تسهل عملية الجمع الآلى للقطن بواسطة الآلات فتلتقط الشعر من اللوزة آليا. ولكن في وجود الأوراق وخاصة الجافة ستلتصق بشعر القطن ويصبح القطن عديم الجدوى تماما وليست له أى قيمة اقتصادية لتداخل الأوراق مع الشعر . وتسمى هذه المركبات التى تسبب تساقط للأوراق بالـ defoliants أى المسببة لتساقط الأوراق. توجد مركبات كثيرة تحت أسماء تجارية مختلفة. لا يوجد تشابه في تركيب مضادات الأوكسينات حيث أنها تتكون من مركبات مختلفة التركيب بدرجة كبيرة.

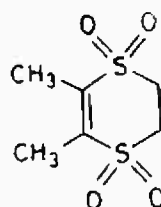
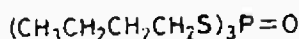
يعتبر thidiazuron منظم للنمو يستخدم بتركيز يتراوح بين ٢٠ إلى ٨٠ جرام لكل فدان لسقوط أوراق القطن defoliant ومما هو جدير بالذكر أنه في هذه الحالة فإن الأوراق المتساقطة يكون لونها أخضر عادى. يباع تجاريا باسم Dropp وتركيبه الكيماوى (3 thiadiazol - 5 - yl) urea - 3 phenyl - 3 (1 و 2 و 3 thiadiazol - 5 - yl) urea الكيماوى (شكل ٨٤ أ).



Tributylphos phorotrithioite



Thidiazuron



s, s, s - Tributyl phosphorotrithioate

Dimethipin

(شكل ٨٤ أ) : التركيب الجزيئى لمركبات مسقطة للأوراق defoliants.

يعتبر tributyl phosphorotrithioate من المركبات التى تسبب سقوط الأوراق defoliant فى القطن. يحتاج الفدان إلى تركيز حوالى ٧٥ جرام. يباع تجاريا بأسم Def Defoliant. تركيبه الكيماوى S,S,S-tributyl phosphorotrithioate (شكل ٨٤ أ).

يعتبر tributyl phosphorotrithioate هو الأسم العادى والكيماوى لهذا المركب (شكل ٨٤ أ). وهو يسبب سقوط أوراق القطن وبعض نباتات أخرى مثل الورد والهيدرانجيا. يباع تجاريا بأسم Folex.

يعتبر dimethipin مشبب لسقوط الأوراق defoliant فى القطن وفى nursery وفى نباتات المطاط و vines يسرع من النضج ونتيجته لذلك ينخفض محتوى الرطوبة فى البذور مثل الكتان والأرز وعباد الشمس و oilseed rape. يباع تجاريا تحت أسم

Harvade. تركيبه الكيماوى (شكل ١٨٤) 2,3-dihydro-5,b-dimethyl-1,4 di-thiin1,1,4,4 -tetraoxide

أما فى حالة الثمار فإنه من المعروف أن نسبة من الثمار الصغيرة السن تسقط قبل تمام نموها ومثال ذلك الفول والقطن والمانجو والتفاح. ولذلك فى حالة التفاح يقوم المزارعون برش الثمار الصغيرة السن بمحلول نفتالين حامض الخليك ونتيجة لهذه المعاملة لا تسقط الثمار ويزداد المحصول. وتعليل ذلك أن كفاءة تخليق الأوكسينات فى هذه الثمار الصغيرة منخفضة ولذلك فإن زيادة تركيز الأوكسينات فى هذه الثمار يمنع سقوطها.

أما فى حالة الأزهار فإنه يحدث لها سقوط طبيعى بدرجة معينة فى بعض النباتات مثل الفول والبرقوق. ومن أفضل الأمثلة على أن سقوط الأزهار مرتبط بالأوكسينات هى حالة نبات التبغ حيث أن إزالة الأوراق تسبب سقوط الأزهار ولكن فى حالة معاملة الأزهار بأوكسين إندول حامض الخليك وذلك بالرش أو بوضع الأوكسين فى عجينة لانولين ولصقها على البرعم الزهرى فإن الأزهار لا تسقط. يوضح ذلك أهمية الأوكسينات فى منع سقوط الأزهار.

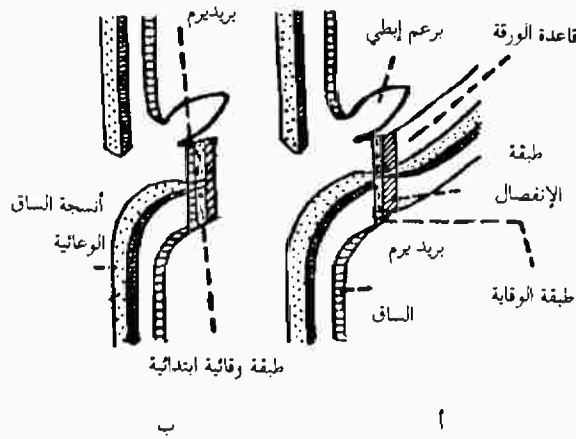
أما عن كيفية أو ميكانيكية منع الأوكسين لسقوط الأوراق فهى غير معروفة حتى الآن.

وقد وجد أن نشاط أنزيم السيلوليز والأنزيمات المحللة للمركبات البكتينية تزداد قبل سقوط الأوراق كما أن الأحماض الأمينية وبعض العناصر والأحماض النووية وبعض المركبات الأخرى تنتقل من الأوراق قبل سقوطها إلى أجزاء النبات الأخرى. وجد أن معاملة الأوراق بأندول حامض الخليك تؤجل سقوط الأوراق وفى بعض الحالات توقف نشاط أنزيم السيلوليز وتمنع إنتقال المركبات المذكورة سابقا من الأوراق .

لا تظهر أعناق الأوراق فى القطاعات العرضية بشكل كامل الإستدارة، بل تكون عادة مسطحة أو مقعرة قليلا فى السطح العلوى. يحتوى عنق الورقة عادة على نفس الأنسجة الموجودة فى سيقان نفس النباتات فالبشرة تحتوى على خلايا البشرة والثغور، وقد يوجد بها زوائد بشرة، النسيج الأساسى مكون عادة من خلايا برنشيمية وقد تحتوى على بلاستيدات خضراء، عادة توجد به خلايا كولنشيمية وإسكلرنشيمية

كأنسجة دعامية. توجد الأنسجة الوعائية بأشكال مختلفة تبعا لنوع النبات ولكنها لا تكون عادة أسطوانية وعائية بل تكون عادة منتظمة بشكل قوس أو هلال، يكون فيه الخشب متجها إلى أعلى واللحاء متجها إلى أسفل . ويكون عدد الحزم عادة من ١ إلى ٣ فى الأوراق ذات التعريق الريشى وتزيد عن ذلك فى الأوراق ذات التعريق الراحى.

ويحدث سقوط الأوراق فى الأشجار المتساقطة الأوراق نتيجة لتكوين منطقة خاصة فى قواعد أعناق الأوراق تعرف باسم منطقة الانفصال abscission zone (شكل ٨٥)، وتتكون هذه المنطقة من خلايا برنشيمية أصغر حجما من الخلايا المجاورة كما أن حزمها الوعائية لا تغلف عادة بخلايا إسكلرنشيمية ويحدث بمنطقة الانفصال تغييرات تشريحية حيث تتكون طبقة الانفصال separation layer وطبقة الوقاية protective layer. طبقة الانفصال تسهل انفصال الأوراق عن الأفرع. وطبقة الوقاية تتكون أسفل طبقة الانفصال فى جهة الفرع لتحضى السطح المقطوع بعد سقوط الورقة من الجفاف ودخول مسببات الأمراض النباتية (شكل ٨٥).



(شكل ٨٥) : تساقط الأوراق.

أ - تكوين طبقة الانفصال والوقاية.

ب - سقوط الورقة وتكوين طبقتي وقاية ابتدائية وثانوية.

توجد ثلاث نظريات لتفسير ميكانيكية تساقط الأوراق. تقول النظرية الأولى أن التساقط يحدث نتيجة لتحلل الصفائح الوسطى لخلايا النسيج الأساسي الموجودة في طبقة الانفصال، ثم تتفكك الخلايا عن بعضها. وتقول النظرية الثانية أن تساقط الأوراق يحدث نتيجة لتحلل جزء أو كل الجدر الابتدائية أو جميع خلايا النسيج الأساسي الموجودة في طبقة الانفصال. ويقول الرأي الثالث أن التساقط يحدث نتيجة لتكون خلايا فليينية تفصل أنسجة الورقة عن أنسجة الساق. وينتج عن تكون طبقة الانفصال، بأى من الطرق السابقة، فصل النسيج الأساسي لعنق الورقة عن النسيج الأساسي للساق وتبقى الورقة متصلة فقط بالحزم الوعائية، لهذا فإن أى اهتزاز ضعيف للورقة ينتج عنه سقوطها.

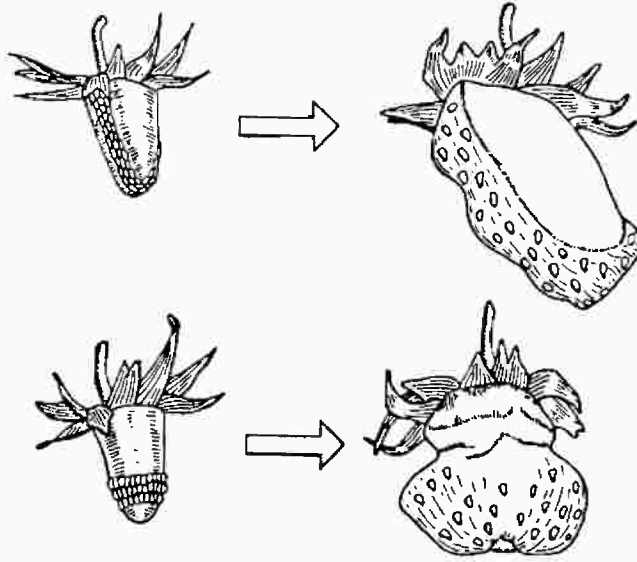
طبقة الوقاية التى تتكون أسفل طبقة الانفصال، ناحية الساق تتكون من جزئين، طبقة وقاية ابتدائية وطبقة وقاية ثانوية، تنتج طبقة الوقاية الابتدائية عن طريق ترسيب مواد مختلفة على جدران وفى خلايا الجزء المكشوف من الفرع وكذلك فى المسافات البينية، ويكتمل تكوين هذه الطبقة بعد سقوط الورقة عادة ومن هذه المواد المرسبة السيويرين واللجنين وأصماغ جرحية. كما قد تتكون فى الأوعية الخشبية تيلوزات ومواد غير منفذة للماء، وبذلك يسد السطح المقطوع . تتكون بعد ذلك طبقة الوقاية الثانوية، وذلك بعد فترة قصيرة أو طويلة قد تصل إلى عام ويختلف ذلك باختلاف النبات وهى عبارة عن تكوين نسيج بيريديرم والذى يكون على إتصال بيريديرم الأفرع (شكل ٨٥). وفى حالة حدوث تساقط الأوراق بطريقة تكوين خلايا فليينية فإن طبقة الانفصال تكون فى نفس الوقت هى طبقة الوقاية راجع باب الأثيلين للتعرف على فسيولوجيا سقوط الأوراق.

٥ - نمو المبيض وتكوين الثمار بكريا :

من المعروف أنه لا بد أن تحدث عملية التلقيح والاختصاص فى الغالبية العظمى من النباتات لكى تتكون الثمار. تتكون الثمار نتيجة لنشاط المبيض فقط كما فى الموالح والطماطم والبقول الخ وفى حالة بعض النباتات تتكون الثمار نتيجة لنشاط

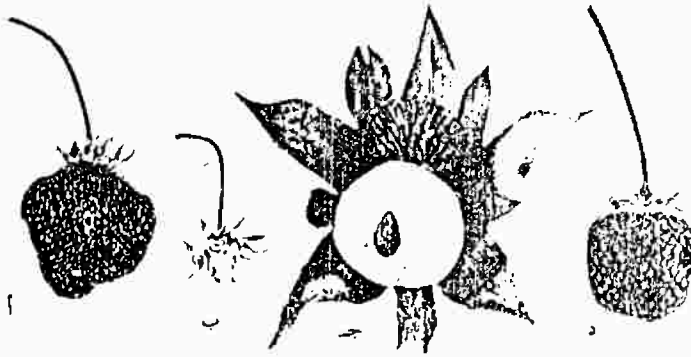
التخت كما فى الفراولة وفى حالة الثمار الكاذبة تتكون نتيجة لنشاط التخت والمبيض وذلك كما فى التفاح والكمثرى. ومن المعروف أن حبوب اللقاح تزيد من نشاط الهرمونات وخاصة الأوكسينات بداخل مبيض الزهرة ليتحول المبيض إلى الثمرة وأن السبب فى حدوث ذلك يمكن تلخيصه فى رأيين: (١) أن حبوب اللقاح تحتوى على كمية كبيرة من الهرمونات ومنها الأوكسينات اللازمة لتنشيط المبيض، (٢) أن حبوب اللقاح بها مركبات معينة تساعد على تنشيط تخليق الأوكسينات وغيرها من الهرمونات اللازمة لنمو المبيض وتحوله إلى الثمرة. ويعتبر الرأى الثانى هو الأكثر قبولاً ويعتقد أنها عناصر أو مركبات لازمة لتنشيط الأنزيمات فى مبيض الزهرة وأن هذه الأنزيمات هى المسئولة عن تخليق الأوكسين ومن الثابت أيضاً أن تركيز الأوكسينات يزداد تدريجياً أثناء تحول مبيض الزهرة إلى الثمرة ولذلك يكبر المبيض فى الحجم.

وقد وجد فى حالة الطماطم أنه عند إزالة الأسدية تماماً من الزهرة ورشها بمحلول Beta naphthoxyacetic acid - فبالرغم من عدم وجود حبوب لقاح فإن المبيض ينمو ويكون الحجم العادى للثمرة وتكون ذات لون عادى طبيعى وذات مذاق طبيعى إلا أنها عديمة البذور. من ذلك يتضح أن عملية تحويل مبيض الزهرة إلى ثمرة هى عملية تنشيط هورمونى بحتة وذلك كما فى حالة الطماطم. وقد وجدت نفس الحالة على تخت زهرة الشليك. فالتخت يوجد عليه أكينات أى ثمرات عديدة وكل أكين عبارة عن ثمرة صغيرة أى ثمرة، وفى حالة تلقيح وأخصاب الكرابل العديدة الموجودة على التخت تتحول إلى ثمار ويحدث تضخم وتلون التخت. أما فى حالة إزالة كرابل الزهرة من على التخت لا يحدث نمو للتخت ويظل ضامر. وعند معاملة التخت بعد إزالة كرابل الزهرة بعجينة لانولين lanolin paste تحتوى على مائة جزء فى المليون من أوكسين تركيبى هو Beta - naphthoxyacetic acid فإن التخت ينمو تماماً (شكل ٨٥ أ و ب) وبطريقة عادية. ومن ذلك يتضح أن عملية التلقيح والأخصاب للكرابل الموجودة على التخت لازمة لنموه وأن هذا النمو راجع إلى التنشيط الهرمونى البحت.



(شكل ١٨٥) : تأثير الأكينات على نمو التخت في ثمرة الشليك .

إزالة الأكينات جانبياً (الصف العلوى) وإزالة الأكينات فى الجزء السفلى (الصف السفلى) ثم نمو الثمار بعد ذلك (الصف الأيمن)



(شكل ١٨٥ ب) : تأثير الأكينات والأوكسينات على نمو التخت فى ثمار الشليك .

أ - ثمرة عادية .

ب - ثمرة أزيلت منها الأكينات قبل التلقيح .

ج - ثمرة أزيلت منها جميع الأكينات عدا أكين واحد قيمه .

د - ثمرة أزيلت منها جميع الأكينات ووضع عليها عجينة لانولين تحتوى على بيتا naphthoxyacetic acid بتركيز مائه جزء فى المليون .

ومن المعروف أن النباتات التي تتكون ثمارها بكريا مثل البرتقال صنف Valencia والليمون صنف Eureka تكون عديمة البذور ويحتوى مبايض أزهارها طبيعيا على تركيز عال من الأوكسينات ولذلك لا تحتاج هذه المبايض إلى التلقيح والأخصاب (جدول رقم ٢). ومن المعروف أن تكوين الأوكسينات يحدث تنشيطه نتيجة لأحد ثلاث حالات وهي (١) نتيجة للتلقيح يحدث تنشيط للأوكسينات (٢) نتيجة للأخصاب أى اندماج النواة الذكورية مع نواة البيضة ونتيجة لذلك تتكون كمية كبيرة من الأوكسينات و (٣) نتيجة لتكوين البذور فإنه تتكون كمية كبيرة من الأوكسينات.

(جدول ٢) : تركيز الأوكسينات في مبيض الزهرة

المحصول والصنف		تركيز الأوكسينات في مبيض الزهرة (ميكروجرام لكل كيلو جرام وزن غض)
	صنف ذو بذور	صنف عديم البذور
البرتقال Valencia	٠,٥٨	٢,٣٩
الليمون Eureka	٠,٤٣	٠,٧٨

ومما سبق يتضح أنه لا يمكن في جميع مبايض أنواع الأزهار تحويلها إلى ثمار بل تحدث هذه العملية بكفاءة عالية في بعض النباتات ولا تحدث في النباتات الأخرى حيث أن النباتات الأخيرة لا بد من حدوث عمليتي التلقيح والإخصاب وأيضا تكوين البذور لتكوين الثمار. وجد في حالات كثيرة أنه لا يمكن انتاج الثمار بكريا في وجود الأوكسينات فقط ومثال لذلك ثمار الكريز والتفاح لا بد من رش الأزهار بمخلوط من الأوكسين والجبرلين لكي تتكون الثمار بكريا. وفي حالة المانجو ترش الأزهار بمخلوط من الأوكسين والجبرلين والسيبتوكينين لكي تتكون الثمار بكريا. يمكن أيضا تكوين ثمار الطماطم بكريا أيضا بنفس الكفاءة عند استعمال الجبريللين بدلا من الأوكسين.

توجد أيضا بعض أصناف من التفاح والكمثرى تتكون ثمارها بكريا بواسطة جبريللين رقم ٦ فقط وأيضا بعض أصناف من الخوخ واللوز يلزم لها الجبريللين فقط في هذا الصدد.

ولذلك يتضح أن نمو المبيض وتحوله إلى ثمرة لا يتحكم فيه الأوكسينات فقط بل توجد أنواع أخرى من الهرمونات النباتية تتحكم في ذلك أيضا الجبريلينات والسيستوكينات.

يمكن تصنيف تكوين الثمار إلى نوعين وهما إثمار بكري خضري وإثمار بكري تنشيطي. وفي حالة الإثمار البكري الخضري vegetative parthenocarpy ينمو المبيض ويتحول إلى الثمرة دون تلقيح إطلاقا مثل بعض أصناف البرتقال عديم البذور أبو سره وبعض أصناف الخيار والموز والجوافة النباتي واليوسفى صنف كليمنتين . وفي حالة الإثمار البكري التنشيطي stimulative parthenocarpy ينمو المبيض ويتحول إلى الثمرة في وجود عملية التلقيح فقط وعدم وجود عملية الأخصاب مثل بعض أصناف العنب وبعض أصناف الكمثرى. يمكن في هذه الحالة أن يكون التلقيح بحبوب لقاح نفس صنف النبات وفي بعض الحالات يمكن أن يكون التلقيح بحبوب لقاح غريبة عن النبات ومثال ذلك أنه أمكن الحصول على عناقيد عنب عند تلقيح أزهارها بحبوب لقاح نبات غريب عن العنب (*Ampelopsis hede- racea*) Virginia creeper. ولذلك قد سمي هذا النوع بالتنشيطي حيث أن حبوب اللقاح وقد تكون غريبة تسبب تنشيط المبيض وتحويله إلى ثمرة. وقد وجد الأكثر من ذلك في هذه الحالة حيث أن المستخلص المائي لحبوب اللقاح يسبب تنشيط المبيض وتحويله إلى ثمرة في نبات الأوركيد وتعتبر هذه الحالة إثمار بكري تنشيطي أيضا. كما وجدت أيضا نفس الحالة في الخيار حيث أن مستخلص حبوب لقاح الخيار سبب تنشيط مبيض زهرة الخيار وتحويلها إلى ثمرة. وجد أيضا في حالة الأوركيد أن محلول حبوب اللقاح الميتة للنبات سببت تنشيط مبيض الزهرة وتحويله إلى ثمرة وقد يكون التنشيط نتيجة لأحتكاك الحشرات بالثمرة أو النوره كما في الجميز.

يمكن أيضا تصنيف الأثمار البكرى إلى نوعين وهما طبيعى ومكتسب ففي حالة الإثمار البكرى الطبيعى natural يتحول المبيض إلى ثمرة طبيعيا دون أى معاملة خارجية مثال البرتقال Valencia وأبوسره والموز وبعض أصناف الكاكي اليابانى وبعض أصناف الجريب فروت والجوافه البناتى ويوسفى كلمنتين والتين وفى حالة الأثمار البكرى المكتسب أى المستحدث induced يكون تحول المبيض إلى الثمرة نتيجة لمعاملة الأزهار بأحد منظمات النمو أو أكثر ومثال ذلك رش التفاح بالجبريللين لكى ينتج ثمار تفاح بناتى أو رش ثمار الطماطم بمركب naphthoxyacetic acid لتكوين ثمار طماطم بدون بذور.

توجد حالة أخرى وسطية بين الأثمار البكرى وبين الأثمار العادى. أن الأساس فى تسمية الأثمار البكرى هو تكوين ثمار بدون بذور ولذلك فإنه جميع حالات الأثمار البكرى السابق شرحها تتميز بأن الثمار عديمة البذور وأما عن الأثمار العادى فهو ينتج عن عمليتى التلقيح والأخصاب والنتيجة النهائية لهاتين العمليتين هو تكوين بذور فى الثمار. أى أن الصفة الأساسية فى تمييز الأثمار البكرى عن الأثمار العادى هو عدم وجود البذور أو وجودها فى الثمرة. أما فى هذه الحالة الوسطية فإن عمليتى التلقيح والأخصاب يحدثان فى الزهرة والمفروض نتيجة لذلك تكون بذور ولكى لا تتكون البذور حيث تنمو البويضة المخصبة لفترة محدودة جدا ولا ينتج عنها البذرة ويمكن أن تسمى هذه الحالة عقم فى تكوين البذور أى عقم الجنين em-bryo abortion. ولذلك فإن الثمرة الناتجة خالية من البذور بالرغم من وجود إخصاب ولذلك فإنها فى ظاهرها أنها ثمرة بكرية. ومثال ذلك بعض أصناف العنب عديمة البذور seedless حيث يحدث لها تلقيح وأخصاب ثم يتكون جنين لاينمو أى يلى التلقيح والأخصاب عقم الجنين. وفى هذه الحالة فإن التلقيح والأخصاب لازم لتكوين الثمار أى لازم لتنشيط الهورمونات الخاصة بتحويل المبيض إلى الثمرة وتسمى هذه الحالة stenospermocarpy. ومثال ذلك العنب البناتى وعنب بناتى تومسون seedless Thompson. يعتبر علم البساتين العنب البناتى من هذا النوع.

أما عن علاقة الأوكسينات والهورمونات النباتية الأخرى بكبر حجم المبيض فإنه يلزم شرح تفصيلي لذلك . عند تكوين المبيض أثناء تكوين البرعم الزهري فإن خلايا المبيض تنقسم بسرعة حتى موعد تفتح الأزهار أو قبل موعد تفتح الأزهار anthesis بفترة وجيزة . بعد ذلك تصبح زيادة حجم المبيض ناتجة عن كبر حجم الخلايا أساسيا وبدرجة أقل لانقسام الخلايا .

يتوقف إنقسام الخلايا تماما في المبيض عند تفتح الأزهار ويصبح كبر حجم المبيض ليتحول إلى الثمرة راجع كلية إلى كبر حجم الخلايا ومثال ذلك ثمار الطماطم . وعلى العكس من ذلك حيث تستمر إنقسام خلايا المبيض بعد التلقيح لفترة ومثال ذلك ثمار التفاح . يمكن أن تزداد خلايا بعض الثمار في الحجم بدرجة كبيرة حيث قد يصل طولها ٠.٦ مم أو يزيد كما في خلايا ثمار البطيخ حيث يمكن رؤية هذه الخلايا بالعين المجردة يكون السبب في ذلك هو وجود الأوكسينات مع بعض الهورمونات الأخرى مثل الجبريللين والسيتوكينينات .

عند حدوث التلقيح يستمر المبيض في النمو وفي غياب التلقيح تتكون منطقة انفصال في قاعدة عنق الزهرة وتسقط . يعقب التلقيح ذبول البتلات والأسدية وسقوطها وزيادة كبيرة في سرعة نمو المبيض والبويضات وبداية تكوين الثمرة وتسمى هذه المرحلة fruit set أى مرحلة عقد الثمار . يتضح أن الفترة بين التلقيح والأخصاب كافية للتنشيط المبدي للمبيض لكي ينمو ويكون الثمرة مستقبلا في كثير من الحالات . تتكون بعد ذلك البذور في الثمرة وقد وجدت علاقة مؤكدة بين عدد البذور في الثمرة وحجمها النهائي في كثير من الأحوال . حيث أن العدد المتكامل للبذور داخل الثمرة يسبب تكوين ثمرة مثالية الحجم والعكس صحيح حيث أن قلة عدد البذور في الثمرة يقلل من حجمها ومثال ذلك العنب والتفاح والكمثرى والطماطم والشليك . ومما يثبت ذلك أن تركيز الأوكسين في البذور أثناء تكوينها يكون مرتفع ويقل تركيزه في المشيمة ويصبح أقل ما يمكن في الجدار الثمري في كثير من النباتات مثل الخوخ .

وجد فى حالة أزهار التين أن التلقيح لازم لتكوين الثمار وأنه فى عدم وجود الحبوب اللقاح لا تتكون ثمار كما وجد أن وجود أنبوبة اللقاح أثناء اختراقها القلم تسبب زياده فى تركيز أوكسينات القلم.

التلقيح فى التين:

يعتبر التين *Smyrna* وأيضا *Calymyrna* (الأخير يزرع فى كاليفورنيا) والتين الأزمرلى وعدد من أنواع التين كالسلطاني والفيومى هى سلالات لنبات التين البرى الوحشى *Ficus carica*، الذى لا يزال ينمو برىا ببعض مناطق البحر الأبيض المتوسط وهو من النباتات التى كانت تزرع فى عهد قدماء المصريين وما زالت نقوشه موجودة على جدران معابدهم.

ثمرة التين مركبة كاذبة تتكون نتيجة نمو النورة المخروطية الشكل التى تحوى بداخلها الأزهار المذكرة والمؤنثة، ويتصل تجويف النورة بالخارج عن طريق فتحة ضيقة توجد فى أعلى النورة. وتوجد فى نورة التين البرى الأزهار المذكرة حول فتحة النورة أما الأزهار المؤنثة فتبطن جدار النورة من الداخل. وتتكون الزهرة المؤنثة من مبيض له قلم طويل ينتهى بميسم واضح. أما الزهرة المذكرة فتتركب من سداة واحدة أو اثنتان.

نورة التين الوحشى مبكرة متاع أى أن مياسم الأزهار تنضج وتصبح مستعدة لاستقبال حبوب اللقاح قبل أن تنضج متوك الأزهار المذكرة الموجودة فى نفس النورة. لذلك لا تتم عملية التلقيح، ولابد من التلقيح الخلطى الحشرى لكى تتكون البذور ويتم نضج الثمار.

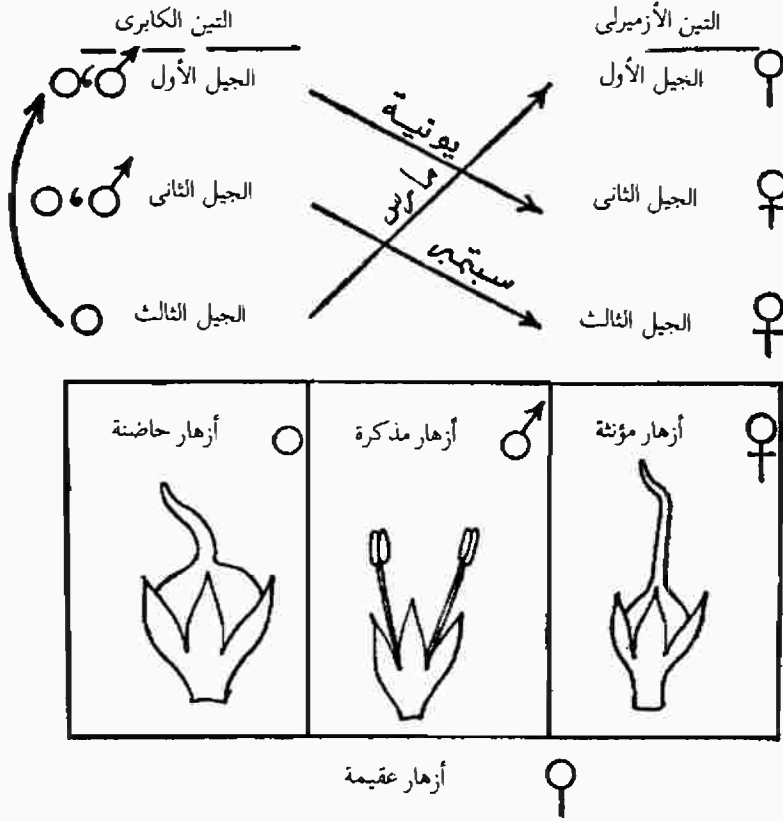
تقوم بعملية التلقيح حشرة خاصة اسمها *Blastophaga*، نشأ بينها وبين نبات التين علاقة لعلها من أعجب العلاقات المعروفة بين النبات والحيوان، وهى علاقة أساسها المنفعة المتبادلة فهىء النبات للحشرة المكان الدافئ الأمين لوضع البيض وتغذيته وتطوره أما الحشرة فتقوم بعملية التلقيح اللازمة، وإغراء الحشرة وتنجيعها على زيارة النورة تحورت بعض أزهارها المؤنثة فأصبحت عقيمة لها أقلام

قصيرة مثقوبة تسمى بالأزهار الحاضنة gall flowers ، وفي هذه الأزهار تضع الحشرة بيضها حيث يتم فقسه وتغذيته وتطوره إلى حشرات كاملة. وفي النورة يتم التزاوج بين الحشرات وفي ذلك نهاية الذكور، أما الإناث المخصبة فتخرج من النورة باحثة عن نورة أخرى تضع فيها بيضها، ويحتك جسمها أثناء خروجها من النورة بالأزهار المذكورة فتتغفر بحبوب اللقاح الذى تحمله إلى مياسم الأزهار المؤنثة أثناء بحثها عن الأزهار الحاضنة وبذلك تتم عملية التلقيح اللازمة لنمو البذور ونضج الثمار.

يتكون على نبات التين الوحشى ثلاثة أجيال من النورات فى العام الواحد، تحوى نورات الجيل الأول أزهارا مذكرة وأخرى حاضنة، أما نورات الجيل الثانى فتحوى أزهارا مؤنثة فقط ولذلك فأن نورات هذا الجيل هى التى تكون المحصول الرئيسى للتين. أما الجيل الثالث فتحوى نورات أزهارا حاضنة فقط وفيها تقضى الحشرة فصل الشتاء (شكل ٨٦). كان من نتيجة عمليات التهجين والانتخاب الطبيعى فى نبات التين البرى أن نشأت منه عدة سلالات يمكن وضعها فى نوعين : النوع الأول وأسمه *Ficus carica caprifica*، تحوى نورات أزهارا مذكرة وأخرى حاضنة. وثمار هذا النوع لا تصلح للأكل بل تعطى غذاءا للماشية، أما النوع الثانى *Ficus carica domestica*، فتحوى نورات أزهارا مؤنثة فقط، وهذا هو الذى تؤكل ثماره، ومنه التين الأزميزلى والسلطانى، فمن ذلك نرى أنه نشأ من نبات التين البرى نباتان أولهما لا يحمل إلا أزهارا مذكرة هو الكابرى وثانيهما لا يحمل إلا أزهارا مؤنثة هو الدومستكى.

أما التين السلطانى الذى يزرع بمصر فتحوى نورات أزهارا عقيمة لا شك أنها نتيجة عمليات التكاثر الخضرى دون الزهرى، ولا تحتاج لنضج ثماره لعملية التلقيح فهى ثمار بكرية خالية من البذور رطبة لا تصلح للتجفيف، ومن ثم كان موسم التين السلطانى قصيرا لا يتعدى الثلاثة أشهر. أما التين الأزميزلى فتحوى نورات أزهارا مؤنثة تنضج نتيجة التلقيح، وتمتاز ثماره باحتوائها على البذور ومن ثم قابليتها للتجفيف والتصدير، ولذلك كان لزاما لنجاح زراعة التين الأزميزلى من أن تزرع أشجاره

متزاحمة مع أشجار التين الكابري، أو تعلق أغصانه المزهرة على أشجار الأزميرلى حتى إذا ما خرجت الحشرة المعفرة من نورات الكابري تدخل نورات الأزميرلى على أنها الكابري، إذ أنها لحسن الحظ لا تميز بين النورتين، وبذلك تتم عملية تلقيح الأزميرلى وتسمى هذه العملية caprification.



(شكل ٨٦) : طريقة التلقيح فى التين الأزميرلى والعلاقة بين الأجيال الثلاثة والحشرة الملقحة .

يزرع في كاليفورنيا في الولايات المتحدة الأمريكية أنواع من التين بعضها ينضج ويكون ثمار ناضجة بكريا دون تلقيح وهي في ذلك تشابه التين السلطاني والفيومي، وبعضها لا ينضج ولا يكون ثمار ناضجة إلا في وجود حشره بلا ستوفاجا - *Blas tophaga psenes* وهي عبارة عن التين كاليмира *Calymyrna fig*. ينطبق على هذا التين الأخير تماما ما سبق شرحه على التين الأزيميرلي من حيث أنواع النورات وأنواع النبات وطريقة التلقيح ونضج الثمار أي أنه لا بد من زراعة تين برى لكي تحدث عملية التلقيح بواسطة الحشرات من الأزهار المذكرة للتين البرى إلى الأزهار المؤنثة للتين كاليмира ولكن وجود التين البرى *wild fig* بجانب التين العادى يأخذ مساحة من الحقل كما أن التلقيح بالحشرات قد يسبب تلقيح زائد *over - pollination* مما يسبب تشقق الثمار وتصبح قابلة للأصابة بأمراض عفن الثمار والتي تتسبب عن فطريات منها الفيوزاريوم *Fusarium*. ولذلك فإن إستعمال منظمات النمو بدلا من التين البرى يكون أفضل لنضج الثمار وذلك بالإضافة إلى أنه يسبب التذكير في نضج الثمار. وجد أن استعمال PCPA أو 5-T أو 4 و 2 يسبب تكوين الثمار بكريا دون الحاجة إلى تلقيح ولذلك يمكن الاستغناء عن زراعة التين البرى تماما. يمكن أيضاً استعمال إندول حامض البيوتريك وجد أن المعاملة بالأوكسينات تسبب صلابة جزئية أو كلية للجدار الداخلى *endocarp* للثميرات وتتوقف درجة الصلابة *hardening* (sclerification) على نوع الأوكسين المستعمل ففي حالة إندول حامض البيوتريك لا يتكون الجدار الداخلى للثميرات وفي حالة المركب CPA - 4 يتكون الجدار الداخلى ويتصلب جزئياً وفي حالة الأوكسين الضعيف جدا وهو 2 - *benzthiazole* *oxyacetic acid* - فإن الجدار الداخلى يتصلب كلية.

تشبه العلاقة بين التين وهذه الحشرة العلاقة بين الجميز وحشرة أخرى شبيهة أسمها *Cycophaga*، فثمرة الجميز لا تنضج إلا إذا وضعت الحشرة فيها بيضها، على أن يحال بين البيض وفقسه بعملية التختين المعروفة، وهي عبارة عن عمل ثغرة وذلك بواسطة سكين خاص في جدار الثمرة لخروج الحشرات، يسبب ذلك جفاف الثمار وتصبح غير ملائمة لمعيشة اليرقات والحشرات. وفي هذه الحالة تنضج الثمرة

وتصبح صالحة للأكل. ليس المقصود بنضج الثمرة هنا تكوين البذور كما هو الحال فى التين الأزمرلى، ولكن المقصود هو نمو جدار الثمرة وتحولها إلى ثمرة صالحة للأكل، والثمرة غير المختنة غير مستساغة مليئة ببرقات الحشرة. يوجد حالياً ثمار جميز متوسطة الطعم والحجم وتنتج دون تختين وتشابه بذلك التين السلطانى.

٦ - خاصية الاختصاص فى قتل النباتات selectivity وعلاقتها بمبيدات الحشائش:

يعتبر من أوائل المركبات التى اكتشفت كمبيد الحشائش وكان لها خاصية اختيارية فى قتل النباتات دون الأخرى هو حامض الكبريتيك حيث وجد أنه لا يؤثر على النباتات النجيلية ولكنه يسبب موت للنباتات ذات الأوراق العريضة ولكن لا يستعمل هذا الحامض نتيجة لتأثيره الضار على النبات والانسان والحيوان. لا يعتبر حامض الكبريتيك بالطبع من الأوكسينات.

وفى أواخر الثلاثينات أهتم العلماء بالبحث عن مركبات لها خاصية الاختيار فى تنظيم نمو نباتات دون أخرى. أجريت البحوث فى سرية تامه أثناء الحرب العالمية الثانية حيث أن العلماء كانوا فى احتياج لانتاج منظمات للنمو نباتية لها اختيارية فى السمية والقتل للنباتات، ويعتقد أن ذلك بهدف أستعمال هذه المركبات فى الحرب الكيماوية، وقد أمكن بالفعل انتاج المركبين وهما مركب MCPA ومركب - 2,4 D وهى مركبات chlorinated phenoxyacetic acid بعد انتهاء 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 ولا يقتل النباتات ذوات الفلقة وهو يمكن أن يستعمل كمبيد حشائش فى حقول ذوات الفلقة. وبالرغم من أن - 2,4 D مركب مبيد حشائش الا أنه تنطبق عليه القاعدة الهامة للأوكسينات حيث أنه عند استعماله بتركيزات قليلة يفيد بعض العمليات الحيوية للنبات أما فى تركيزات عالية نسبياً يسبب موت وقتل للنباتات. ومما سبق يتضح أنه فى بعض المعاملات الزراعية المطلوبة فيستعمل محلول مخفف من - 2,4 D بكفاءة

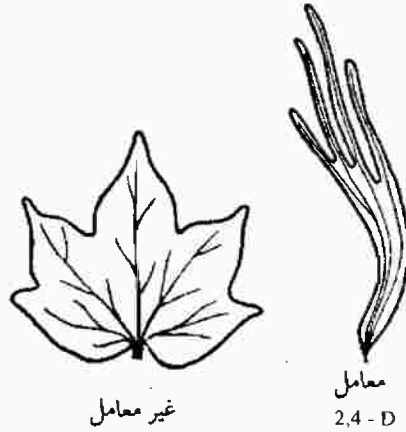
عالية وبالرغم من أن اكتشاف 2,4-D منذ حوالي ٥٠ سنة وأنه يعتبر أول مركب فعال أو كسين اقتصادي يستعمل كمبيد للحشائش اختياري السمية فإنه حتى الآن غير معروف بالضبط كيف يقتل النبات، ولكن من المعروف أن 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) يؤثر تأثير ضار على تخليق البروتينات مثل بروتينات الانزيمات والبروتينات الموجودة في الغشاء البلازمي والتي تقوم بعملية النقل النشط لنقل الإيدروجين من داخل الخلية إلى الجدار الخلوي وأيضاً يؤثر على تخليق الأحماض النووية، ولذلك فإنه يؤثر على نفاذية الخلايا وأمتصاص العناصر. كما يؤثر على التمثيل الضوئي والنتح.

ومن المعروف أن تأثير 2,4-D يستمر لمدة أكبر من تأثير أندول حامض الخليك حيث أنه غير قابل لأن يتحلل بأنزيم IAA oxidase كما أنه من الصعب وغير كفء في دخوله في تفاعلات جانبية تمنع تأثيره كما هو الحال في IAA حيث أنه لا يكون glycosides أو ما يشابهها بسهولة، ولذلك فإن 2,4-D يستمر لمدة أطول فعال داخل النبات وذلك بالمقارنة بمركبات IAA حيث أن الأخيرة يحدث فيها التغيرات السابق ذكرها. يزداد تركيز هذا المركب تدريجياً في أنسجة النبات حيث لا يمكن هدمه كما سبق ذكره وهكذا حتى يصل إلى التركيز السام فتفقد الخلايا قدرتها على القيام بوظائفها الحيوية ويحدث لها إختلال وفي النهاية تموت.

يؤثر هذا المركب على نباتات ذات الفلقتين تأثير ضار ويسبب أعراض مرضية وتشويه للنبات. وتشابه هذه الاعراض بين النباتات المختلفة وفيما يلي شرح لهذه الأعراض في نبات القطن.

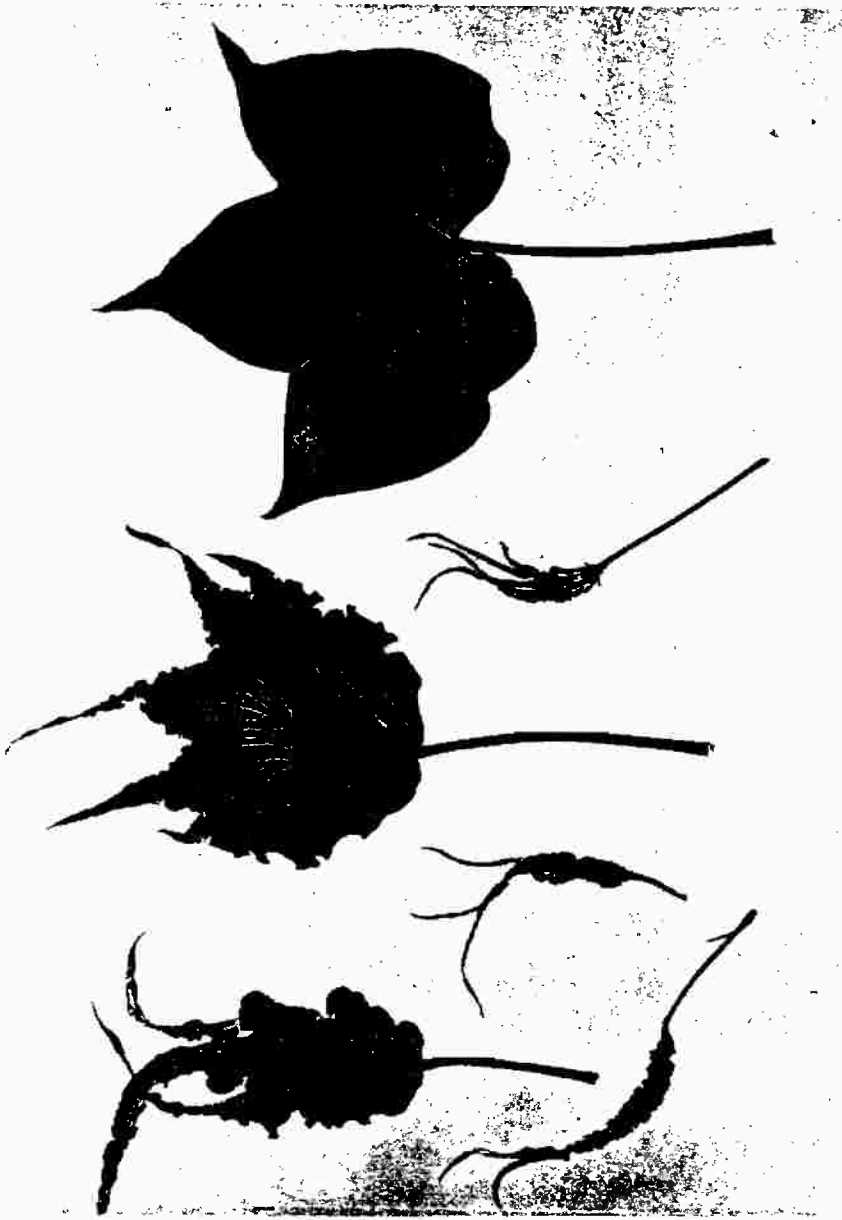
ينتج عن تعريض أوراق نباتات القطن أو جذوره السليمة لكميات ضئيلة من مركب 2,4-D أو أحد مشتقاته المستعملة في مقاومة حشائش نباتات ذات الفلقتين، شذوذ كبير في نمو النباتات، فيؤدى تعريض أوراق القطن لرذاذ من مركب ٢٤ - د إلى ظهور أعراض مرضية سريعة، وهي إنحناء الأوراق إلى أسفل نتيجة لنمو أنسجة السطح العلوي لأعناق الأوراق أكثر من أنسجة السطح السفلي epinasty

مع تلون الأوراق بلون أحمر. أما النموات الحديثة فيحدث لها تحورات يتوقف مداها على التركيز المستعمل، وعموماً يصغر حجم الأوراق ويزداد تعريقها وضوحاً، وينتج عن ذلك زيادة نمو الأسطوانة الوعائية بالنسبة لباقي أنسجة الورقة (شكل ٨٧، و ٨٨) كما تتقارب وتضيق وتعمق تفصيلات أنصال الأوراق ويصفر لونها.



(شكل ٨٧) : تأثير مركب D-4 و 2 على أوراق القطن.
(رسم توضيحي)

تشبه تحورات القنابات الزهرية تحورات الأوراق وتستديم مع الثمرة، أما الأزهار فتستطيل وتضيق. تتلون الثمار بلون أصفر وأحياناً تجف وتموت وهي على أفرعها، ويقل النمو العام للنبات. إذا زادت نسبة المبيد تموت القمم النامية أو يقف نموها فتتفرع النباتات تفرعا شاذاً، وكثيراً ما تنمو البراعم الجانبية بعد ذلك منتجة نموات جديدة سليمة خالية من أعراض الإصابة. تظهر أعراض المرض أيضاً على الجذور فتظهر عقد كثيرة نتيجة لتكوين نسيج كالس callus وذلك في منطقة الانتقال بين الجذور والساق.



(شكل ٨٨) : تأثير D-4 و 2 على أوراق القطن
على اليمين ورقة سليمة وبقية الأوراق مختلفة في درجة تأثرها (صورة)

يقل محصول نباتات القطن كثيرا بتعرضها للمركب ٢٤ - د، ويكون القطن ذو تيلة رديئة، كما وجد أن البذور الناتجة من نباتات تأثرت بهذا المركب تكون في مستوى أقل من بذور محصول سليم من ناحية نسبة أنباتها وسرعته. كما أن النباتات الناتجة من تقاوى محصول مصاب، كثيرا ما تظهر أعراض الإصابة خاصة على أوراقها الخضرية الأولى.

تظهر أعراض الإصابة نتيجة لاستعمال آلات رش سبق استخدامها في مقاومة الحشائش بتلك المركبات، وفي بعض الأحيان ظهرت أعراض المبيد على نباتات قطن تبعد حوالي ثلاثين كيلو مترا عن أرض مرشوشة بالمبيد نتيجة لإنتقال المبيد بالرياح.

يعتبر هذا التأثير عام على نباتات ذات الفلقتين في كثير من أعراضه ولا يعتبر خاص بالقطن فقط.

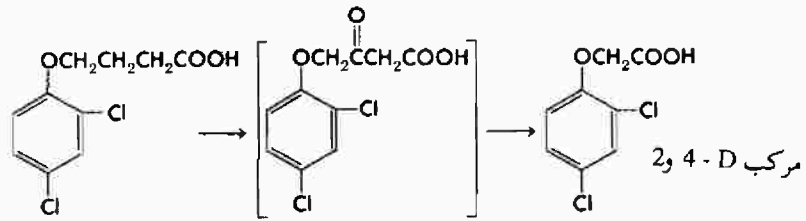
ومثال آخر للمركبات الاوكسينية التي تستعمل كمبيدات حشائش ولها خاصية اختيارية هو المركب 2,4 - Dichlorophenoxybutyric acid (2,4 - DB) الغير سام حيث أن هذا المركب ترجع فاعليته إلى أنه يتحول إلى مركب 2,4 - D السام حيث تحدث هذه العملية تبعا للنظرية المشهورة والتي درست بالتفصيل في الكيمياء الحيوية وهي الطريقة الرئيسية لهدم الاحماض الدهنية. يحدث قصر في طول الحامض الدهنى وأن يكون النقص في جزيء به ٢ ذرة كربون وهذه الطريقة تعرف باسم Beta - oxidation فقد وجد أن جميع نباتات ذات الفلقتين تقوم بعمل هذا التفاعل وتحويل مشتق مركب البيوتريك إلى مشتق مركب حامض الخليك عدا نباتات عائلة واحدة فقط وهي العائلة البقولية حيث أن نباتات هذه العائلة غير قادرة على هدم هذا المبيد وتحويله إلى مركب زائد السمية وهو 2,4 - D ولذلك فإن النباتات البقولية لا تتأثر بهذا المبيد في حين أن النباتات الأخرى تتأثر بهذا المبيد ولذلك فإنه مبيد ناجح ويستعمل بكفاءة عالية في حقول نباتات العائلة البقولية (شكل ٨٩). لذلك فإن هذا المبيد مناسب للنباتات البقولية لكي يقتل الحشائش الموجودة بها. وفي حالة تحطيم جزيء حامض البرويونيك أى تقصير سلسلة الحامض تبعا لنظرية B- oxidation فإن الناتج يكون مركب غير فعال في مقاومة

الحشائش وهو 2,4-dichlorophenol ولذلك فإن الأحماض الدهنية ذات العدد الزوجي من الكربون تتحلل في النهاية تبعاً للنظرية السابقة على خطوات إلى D-4 و 2 أما الأحماض الدهنية ذات العدد الفردي من الكربون تتحلل في النهاية تبعاً للنظرية السابقة إلى 2,4-dichlorophenol. وقد أمكن إثبات ذلك باستخدام طريقة إنحناء ساق البسلة المشقوقة (شكل ٨٩).

ولذلك فإن أحماض octanoic, caproic, butyric فعالة حيث أنها زوجية ٤, ٦, ٨، في عدد ذرات الكربون أما أحماض heptanoic, valeric, propionic فهي غير فعالة حيث أنها فردية ٣, ٥, ٧ في عدد ذرات الكربون، في حالة المركبات الفعالة فإن شقى الساق ينحنيان للداخل ويتصالبان ويلتفان crossed and coiled والعكس صحيح في حالة المركبات غير الفعالة حيث ينحني الشقان للخارج.

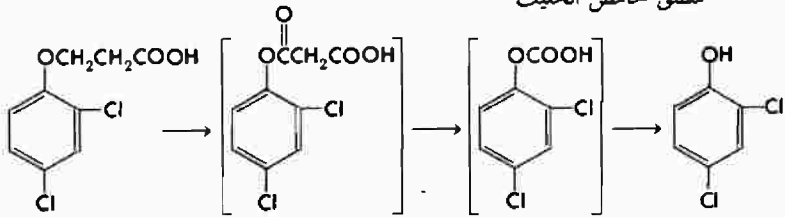
يستخدم المبيد السابق في حقول النجيليات المحمل عليها محصول علف بقولي حيث يتم رش المبيد السابق في هذه الحقول ليقاوم الحشائش وبعد حصاد المحصول النجيلي يبقى محصول العلف البقولي الخالي من الحشائش والذي يستخدم في تغذية الحيوانات. يتضح أن تفسير ظاهرة الاختصاص في سمية مبيد الحشائش السابقة أمكن تفسيرها علمياً بطريقة واضحة بعد أن أمكن معرفة طريقة عمل أو فاعلية المبيد mode of action. ولكن لازالت طريقة عمل المبيد D-2,4 مجهولة حتى الآن وبالتالي لا يوجد تفسير علمي واضح لتفسير ظاهرة الاختصاص في السمية في هذه الحالة ويوجد في ذلك آراء كثيرة غير مدعومة بالأدلة القاطعة بالمقارنة بالمبيد السابق.

يوجد مبيد آخر وهو MCPA وتركيبه methylchlorophenoxyacetic acid ويشابه في تأثيره مركب D-2,4 ويختلف عنه في تركيبه إختلاف واحد فقط حيث تستبدل ذرة الكلور الموجودة على ذرة الكربون رقم ٢ في حلقة الفينول بمجموعة ميثيل. يستخدم هذا المبيد في حقول الزمير أى الشوفان حيث أن هذا النبات له حساسية لمركب D-2,4 ويسبب ضرره له. توجد بعض المحاصيل حساسة لمركب D-2,4 ويسبب لها أضرار وأعراض مرضية ومنها الزمير فيستعمل هذا المركب في هذه الحالات بدلا من مركب D-2,4 حيث أنه أقل ضرر.



مشتقات حامض الـ butyric

Acetic derivative (فعال)
مشتق حامض الخليك



2,4-dichlorophenol غير فعال

مشتقات حامض الـ propionic

التركيز	Acetic	Propionic	Butyric	Valeric	Caproic	Heptanoic	Octanoic	مقارنة
0.1 ppm								
أو جزء في المليون								
1 ppm								
جزء في المليون								
10 ppm								
١٠ جزء في المليون								

(شكل ٨٩) : مشتقات حامض البيوتريك والبروبيونيك وفعاليتها باستعمال اختبار الساق المشقوقة للنبلة.

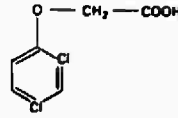
يوجد مبيد حشائش آخر وهو 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid (2,4,5-T) و 4 و 2 ويستعمل أيضاً كمنظم للنمو فى النباتات الخشبية والأشجار -woody-plant control-ler وقد أستعمل بكثرة كمضاد للأوكسين ويسبب بذلك سقوط الأوراق -defoli-ant. وقد أستعمل بكثرة أثناء حرب فيتنام فى سقوط أوراق الأشجار فى الغابات وفى أشجار مستنقعات قبور الإنسان mangrove swamps فى الغابات والمستنقعات الفيتنامية . يعتبر هذا المركب غير ضار على صحة الإنسان والحيوان ولكن وجد أن العينات التجارية من هذا المركب تسبب أعراض مرضية وتشوهات فى أجنة فيران التجارب قبل الولادة تسمى هذه التأثيرات الضارة بإسم teratogenic effects. وجد أخيراً أن سبب ذلك هو وجود مركب ملوث موجود بتركيزات أثرية أو ضئيلة جدا مع 2,4,5-T وهو مركب 2,3,7,8- tetrachlorodibenzodioxin (TCDD) وينتج كمركب ثانوى by product غير مرغوب فيه أثناء تصنيع 2,4,5-T (شكل ٩٠). وجد أن تركيز هذا المركب السام فى 2,4,5-T هو ٢٥ جزء فى المليون ولذلك قد تم تنقية منظم النمو من هذا المركب السام وأصبح تركيزه ٠ جزء فى المليون فقط وأن هذا التركيز يعتبر غير ضار للإنسان والحيوان ولذلك أستعمل فى خف أوراق أشجار الغابات حتى القرية من المناطق الأهلة بالسكان. ولكن بعد ذلك وحديثا نسبيا وللأسف وفى أواخر السبعينيات أتضح أن تركيز أثرى من هذا المركب السام وهو ٥ خمسة أجزاء فى التريليون trillion فى الغذاء يسبب حدوث السرطان بجميع أنواعه. وجد أيضا أن كميات ضئيلة من هذا المركب تسبب حدوث إنقسام غير مباشر غير طبيعى لخلايا النبات وينتج عن ذلك تشوية فى خلايا النبات والأنسجة ويعتبر ذلك دليل على أن هذا المركب مسبب لحدوث الطفرات أيضا mutagenic وهى صفة خطيرة غير مرغوبة لأى مركب كيماوى وذلك بالإضافة إلى أنه مسبب للسرطان وأيضا teratogenic. أخيرا ثبت وجود تركيزات كبيرة نسبيا من هذا المركب فى دهن حيوانات اللحم ومنها الأبقار وأيضا فى لبن الأمهات فى الإنسان وذلك فى المناطق التى تم رشها بهذا المركب. ولكن حتى الآن غير معروف ضرر هذا المركب تماما على الإنسان حيث أنه غير معروف حتى الآن إذا كان هذا المركب يتم تركيزه

داخل جسم الإنسان لعدم هدمه وبالتالي يصبح ضاراً أو أنه يتم هدمه داخل جسم الإنسان وبالتالي يتم التخلص من تأثيره السام أو حتى أنه يتم خروجه بسهولة مع البراز أو إفرازات العرق وفي جميع هذه الحالات الأخيرة يصبح مأمون للإنسان أما في الحالة الأولى في حالة تركيزه بداخل الجسم فإنه يكون شديد الضرر. ونتيجة لذلك ولسلامة الإنسان فقد تم تحريم استعمال هذا المركب. ولكن لازال يوجد مؤيدين لاستعمال هذا المركب ويعتقدون أن فوائد استعمال هذا المركب تفوق ضرره. وعلى العكس من ذلك فإن المعارضين لاستعماله يعتقدون أن احتمال حدوث السرطان وحالة إجهاض واحدة للسيدة الحامل كافية لتحريم استعمال هذا المركب حيث أن الفائدة الوحيدة الأساسية أنه يسبب سقوط الأوراق بسهولة وبذلك يوفر كثير من العمالة وهي باهظة التكاليف في الدول المتقدمة وأيضاً يعضدون إزالة بادرات أشجار الغابات غير المرغوبة بالأقتلاع باليد مع توفير مبيد آخر فعال في هذا الصدد وغير ضار بالإنسان أو الحيوان. يعتبر هذا المركب أكثر فاعلية من D - 2,4 ويستعمل هذا المركب بكثرة في قتل النباتات المعمرة الخشبية woody perennial وذلك برش هذا المبيد على النباتات أو معاملة القلف به.

جميع المركبات المذكورة سابقاً مبيدات حشائش أوكسينية -auxin-type herbi- acids أي تدخل في مجموعة الأوكسينات ولكن توجد مبيدات حشائش أخرى كثيرة غير أوكسينية.

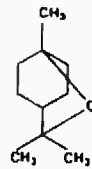
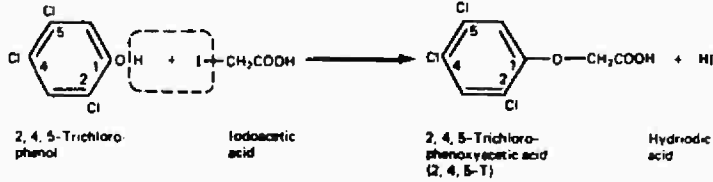
وفيما يلي مختصر لبعض مبيدات الحشائش الأوكسينية الأخرى:

يعتبر DES - 2,4 غير سام للنباتات ولكن في وجود التربة الرطبة يتحول إلى 2-simazine (2,4-dichlorophenoxy) ethanol والذي يتأكسد إلى D - 2,4. يخلط مع لمقاومة الحشائش الحولية في حقول الذرة وبعض الفاكهة والورد وبعض المحاصيل المعمرة وبعض أشجار وشجيرات الزينة. يباع تجارياً تحت أسم Herbon أو Herbon Blue. تركيبه الكيماوى 2-(2,4-dichlorophenoxy) ethyl hydrogen sulphate (شكل ١٩٠).

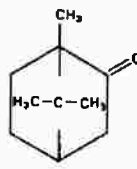


2, 4-D

(أ)



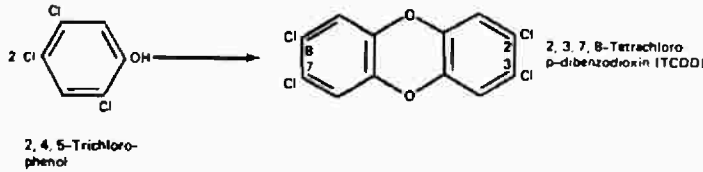
1, 8-Cineole



Camphor

(ب)

مركبات متطايرة سامة للنبات



(شكل ٩٠): خطوات تخليق بعض مبيدات الحشائش

أ - كيفية تخليق مبيد الحشائش T - 5 و 4 و 2.

ب - كيفية تخليق TCDD أثناء تخليق T - 5 و 4 و 2 نتيجة لتفاعل جانبي.

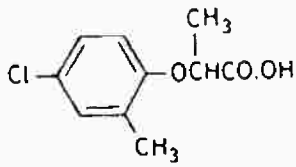
يعتبر 2,3,6-TBA منظم للنمو ومبيد للحشائش بعد الظهور فوق سطح التربة وذلك يخلطه مع منظمات نمو أخرى مبيده للحشائش وذلك في حقول نباتات الحبوب ومحاصيل *grass seeds* أى *grass seed crops* لمقاومة الحشائش الحولية والمعمرة عريضه الأوراق. ومن هذه الحشائش *Bilderdykia convolvulus* و *Galium aparine* و *Polygonum persicaria* و *Polygonum aviculare* و *Chamomilla spp*

Matricaria spp. يباع تجارياً بأسم Trysben وعند خلطه مع dicamba و MCPA و mecoprop يباع تجارياً بأسم Cambilene. تركيبه الكيماوى 2,3,6- trichloro- benzoic acid (شكل ١٩٠).

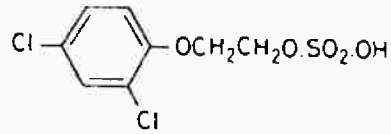
تعتبر MCPA منظم للنمو مبيد للحشائش ويمتص بسهولة بواسطة الجذور والأوراق. يستخدم فى مقاومة الحشائش العريضة الأوراق الحولية والمعمرة فى حقول الحبوب والمسطحات الخضراء والمراعى و grassland. يباع تجارياً بأسم Agroxone و Agritox و Phenoxylene و CornoxM. تركيبه الكيماوى 2-chloro-4-methylphenoxy)acetic acid (شكل ١٩٠).

يعتبر MCPA-thioethyl منظم للنمو مبيد للحشائش، بعد الظهور فوق سطح التربة، الحولية و المعمرة منها السعد والعليق و العجيزه والمنتنا (زريخ) والبرييط وأبوظلف و *Sagittaria* فى حقول القمح والأرز وحدائق الفاكهة. يباع تجارياً بأسم Herbit أو Zero One. تركيبه الكيماوى 2-chloro-4-methylphenyl-S-ethoxy)ethanethioate (شكل ١٩٠).

يعتبر MCPB منظم للنمو مبيد للحشائش، بعد الظهور فوق سطح التربة، الحولية والمعمرة عريضة الأوراق فى الحبوب والبسله والمسطحات الخضراء والمراعى. تعتبر حالة الاختصاص هنا والاختيارية فى السمية فى مدى قدره النباتات التى تتأثر به فى نقل هذا المركب داخلها. أى أن الاختيارية متوقفه على قدره المركب على الانتقال داخل النبات وكلما زاد الانتقال كلما زادت فاعليه وسمية المركب للنبات والأهم من ذلك هو قدره النباتات على تحويلة إلى MCPA السام. و إذا حدث الانتقال ولم يحدث التحويل إلى MCPA فيعتبر ذلك المركب غير فعال كمبيد لهذا النبات. يباع تجارياً بأسم Tropotox. تركيبه الكيماوى 2-chloro-4-methyl phenyl-oxy)butyric acid (شكل ١٩٠).

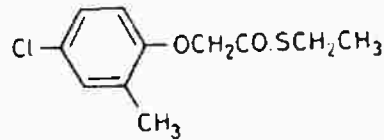
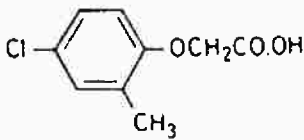


Mecoprop



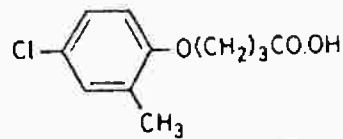
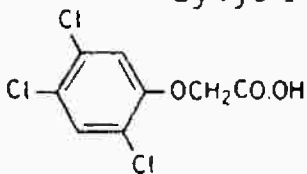
2,4 - DES

MCPA

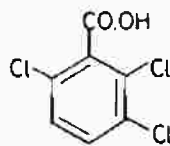


MCPA - thioethyl

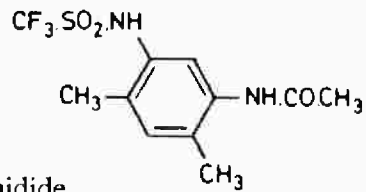
2,4,5-T



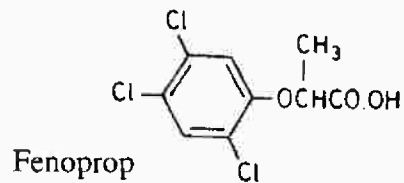
MCPB



2,3,6-TBA



Mefluidide



Fenoprop

(شكل ٩٠): التركيب الجزيئي لبعض مبيدات الحشائش الهرمونية.

يعتبر 2,4,5-T منظم للنمو مبيد للحشائش بعد الظهور فوق سطح التربة وقد يخلط مع D - 2,4 يستعمل فى مقاومه الحشائش وأيضا لمقاومه الأشجار والشجيرات. يستخدم للرش على المجموع الخضرى والأفرع الساكنه وعلى قلف الأشجار. يستخدم فى عمل التحليق للنباتات والأشجار. يمتص بواسطة الجذور والأوراق والقلف. تستعمل استرات هذا المركب ضعيفة التطاير فى معاملات ULV أى ULV application. يباع تجاريا بأسم weedone. تركيبة الكيماوى 5- و 4 و 2 (trichlorophenoxy)acetic acid (شكل ١٩٠).

يعتبر mecoprop منظم للنمو مبيد للحشائش بعد الظهور فوق سطح التربة. يقاوم chickweed والقزازه و cleavers وغيرها فى محاصيل الحبوب حوالى اكجم للفدان. يستخدم أساسا مع مبيدات حشائش أخرى فى صوره مخلوط لزياده المدى والفاعليه. يباع تجاريا بأسم Iso-Cornox. تركيبه الكيماوى 2-(4-chloro-2) methylphenoxy propionic acid (شكل ١٩٠).

يعتبر mefluidide منظم للنمو مبيد للحشائش يستخدم فى تثبيط نمو وأنتاج البذور فى turf grasses والأشجار ونباتات الزينه الخشبيه. يستخدم فى زياده تركيز السكر فى قصب السكر. تثبيط النمو وأنتاج البذور فى كثير من الحشائش فى كثير من المحاصيل، وخاصة حشيشه الفرس *Sorghum halepense* الريزوميه فى حقول فول الصويا التركيز حوالى ٣, كجم / فدان. يباع تجاريا بأسم Embark تركيبه الكيماوى 5-(1,1,1-trifluoromethanesulphonamido) acet-2,4-xylidide (شكل ١٩٠).

يعتبر fenoprop منظم للنمو مبيد للحشائش ويتم أمتصاصه بواسطة الأوراق والسيقان. يستعمل فى مقاومة الحشائش المائيه و الحشائش ذات الورق العريض فى حقول الذرة والقصب. تستعمل الأحماض الأمينية لهذا المركب amine salts فى رش نباتات التفاح قبل جمع الثمار بحوالى أسبوع إلى أسبوعين لتقليل تساقط الثمار الطبيعى قبل الجمع وبذلك يزداد المحصول. يباع تجاريا بأسم Kuron و Fruitone T. تركيبه الكيماوى 2-(2,4,5-trichlorophenoxy) propionic acid (شكل ١٩٠).

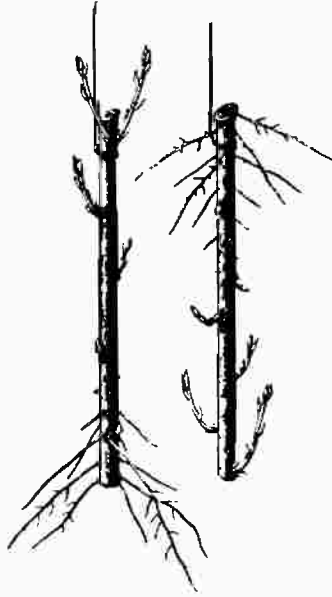
٧ . القطبية فى النباتات Polarity

تعرف القطبية فى النبات بأنها حدوث تغييرات وفروق واضحة فى طرفى محور axis وبحيث أن طرفى المحور يختلفان تماماً فى الشكل ومثال ذلك محور النبات plant axis حيث أن طرف يكون الجذر و الطرف الآخر يكون الساق.

تصنف القطبية إلى ثلاث أنواع وهى القطبية المحورية axial polarity وهى واضحة فى الساق وقليلة الوضوح فى الجذر والقطبية الظهرية الباطنية dorsiventral polarity وهى واضحة فى الأوراق حيث يوجد إختلاف فى التركيب التشريحي والظاهرى فى كل من الجزء العلوى والسفلى للورقة والقطبية القطرية radial polarity وهى واضحة فى بعض الأجزاء الكروية مثل خلايا طحلب كلوريلا *Chlorella* وثمار التفاح.

تعتبر القطبية المحورية هى الأكثر أهمية فى هذا الجزء. يعتبر من الواضح أن القطبية المحورية تتكون أثناء تكون الجنين بداخل الكيس الجنينى حيث أن الجذير يكون دائماً مواجه لفتحة النقيير، ولذلك فإن القطبية تنشأ وتتحدد فى الجنين وهو داخل أنسجة الأم، وبالطبع يوجد على الطرف الآخر من محور الجنين الريشة. وعند حدوث القطبية فى أعضاء أو أجزاء الكائن الحى فإنه من الصعب تغييرها. ومن أدق وأفضل الأمثلة فى ذلك أن العقل الساقية عند قطعها من النبات وزراعتها فى وضع عادى أى الجزء العلوى من العقلة إلى أعلى والجزء السفلى إلى أسفل فأن القطبية تكون واضحة حيث يتكون على الطرف العلوى المجموع الخضرى وعلى الجزء السفلى المجموع الجذرى. ولكن عند زراعة العقلة مقلوبة فى اتجاه عكس الاتجاه السابق فإن الجذر يتكون على الجزء العلوى والمجموع الخضرى يتكون على الجزء السفلى أى أن القطبية واضحة فى العقل الساقية وأن تكوين المجموع الجذرى والمجموع الخضرى مرتبط بطرفى العقلة دون أى تأثير للجاذبية الأرضية فى ذلك. يتضح من ذلك من تجربة فيفر Pfeffer عام ١٩٠٣ حيث قام بتعليق عقلتين من ساق نبات الصفصاف

فى الهواء وبحيث يكون وضع أحد العقلتين عادى ووضع العقلة الثانية عكسى. أجرى هذه التجربة فى جو عال أو مشبع بالرطوبة. كانت النتيجة تكوين قمة مورفولوجية morphologically upper end على العقل أى أن الجزء العلوى من العقلة الساقية هو عبارة عن قمة مورفولوجية يتكون منها المجموع الخضرى دون أى تأثير لأتجاهها ووضعها (شكل ٩١).



(شكل ٩١) : القطبية فى ساق صفصاف.

الشمال : ساق مقطوعة معلقة فى جو مشبع بالرطوبة.

اليمين : ساق مقطوعة معلقة مقلوبة الوضع فى جو مشبع بالرطوبة.

يلاحظ أن الجذور تنمو من القاعدة المورفولوجية والسيقان تنمو من القمة المورفولوجية دون تأثير لوضع الساق مقلوبة أو عادية.

وحيث أنه لا يوجد إختلاف فى الشكل المورفولوجى للعقلة فى كلا الطرفين ولكن من الواضح أنه يوجد قطبية فسيولوجية physiological polarity بين طرفى العقلة وهى المسئولة عن تكوين الأختلاف فى الشكل المورفولوجى على طرفى العقلة دون أى تأثير للجاذبية الأرضية فى ذلك. توجد آراء مختلفة فى تفسير القطبية

الفسيزيولوجية. أحد هذه الآراء أنه يوجد تدرج في تركيز المواد الغذائية والمركبات المختلفة الضرورية للعقلة $\text{gradient of metabolites}$ بين طرفي العقلة نتيجة لاختلاف تدرجى في تركيز هذه المركبات بين الساق والجذر. يعتبر هذا الرأى غير سليم حيث أن طول العقلة قصير نسبياً ولا يصل فى طول النبات أو الساق أو الجذر وبالتالي أن إختلاف تركيز هذه المركبات فى طرفي العقلة غير موجود أو ضعيف جداً. كما أن العقل يتم أخذها من النبات فى كثير من الأحوال أثناء سكون النبات وبالتالي فإنه لا يوجد إختلاف فى تركيز هذه المواد فى داخل النبات وبالتالي فإنه لا يوجد إختلاف فى تركيز هذه المواد فى العقلة أيضاً ولذلك يعتقد أن هذا التأثير راجع لاختلاف فى تركيز الهرمونات وخاصة الأوكسينات داخل العقلة، ويجب أيضاً التنويه أن الاختلاف فى تركيز الهرمونات داخل العقلة نتيجة للقطبية فى العقلة وليست هى السبب فى حدوث القطبية.

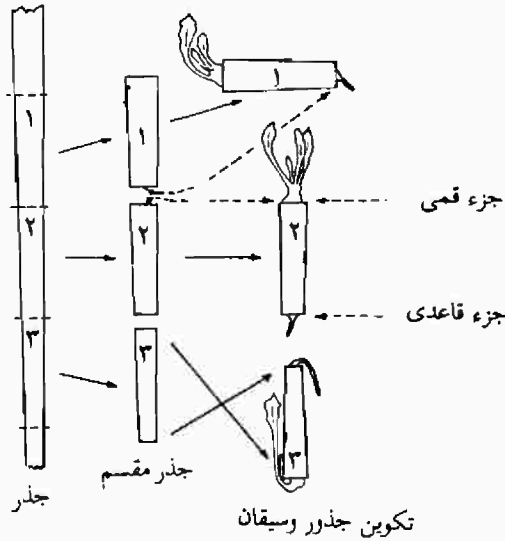
وقد لوحظ أن هناك إرتباط بين كل من ظاهرة القطبية عند تكوين الجذور العرضية وحركة إنتقال الأوكسينات فى كثير من الحالات.

تحدث ظاهرة القطبية فى جذور بعض النباتات مثل الشيكوريا و *Taraxacum* ولكنها غير عامة الحدوث بالمقارنة بالساق. ومما يثبت ذلك أنه عند تجزئ الجذر إلى ثلاث أجزاء وزراعة الجزء الأول أفقى والجزء الثانى رأسى فى الوضع العادى والجزء الثالث رأسى منعكس أى فى الوضع المقلوب فإنه يتكون دائماً من الجزء العلوى من العقلة مجموع خضرى ويتكون من الجزء السفلى مجموع جذرى دون أى تأثير لأتجاه وضع أو زراعة العقلة (شكل ٩٢).

٨ - الحركة الأنسيابية للبروتوبلازم (Protoplasmic streaming (cyclosis)

عند معاملته بعض الخلايا أو الأنسجة النباتية بأندول حامض الخليك فإنه يسبب زيادة فى سرعة الحركة الأنسيابية للبروتوبلازم ومثال ذلك خلايا غمد الريشة لنبات الشوفان وخلايا الكمبيوم فى الصنوبر والشعيرات الموجودة على أسدية نبات *Tradescantia* لا يوجد أى تأثير لزيادة هذه الحركة على نمو النبات بواسطة الأوكسين

حيث وجد أن معاملة هذه الخلايا بمركب cytochalsin يسبب توقف الحركة الأنسيابية للبروتوبلازم وبالرغم من ذلك فإن النمو يحدث بنفس السرعة.



(شكل ٩٢) : القطبية في جذور الشيكوريا ونبات *Taraxacum*

يلاحظ تكون السيقان والجذور في قطع الجذور في القمة والقاعدة على التوالي دون أى تأثير لأتجاه وضع جزء الجذر.

٩ - تشجيع الأزهار Induction of flowering

تشجيع الأزهار فى نبات الأناناس pineapple يحدث بواسطة معاملة النبات بأوكسين نفثالين حامض الخليك فى مرحلة معينة وفى وقت مناسب . كما أن الثمار المتكونة تكون متجانسة فى نموها وبالإضافة إلى ذلك يمكن جمعها مرة واحدة أو فى مدد متقاربة.

١٠ - خف الثمار Thinning of fruits

يمكن استخدام منظمات النمو فى خف الثمار بعد العقد حيث أن وجود عدد كبير من الثمار بعد العقد يسبب تكوين ثمار صغيرة الحجم ولذلك فإن خف الثمار بعد العقد يسبب تكوين ثمار ذات حجم كبير مناسب وذات قيمة إقتصادية يستخدم

ذلك فى بعض النباتات مثل التفاح. يمكن استخدام أوكسينات لمنع سقوط الثمار الكبيرة ومن أمثلة ذلك التفاح أيضاً. يتضح من ذلك وجود ظاهرتين متضادتين هى التساقط ومنع التساقط يمكن التحكم فى هاتين الظاهرتين المتضادتين بإختيار موعد المعاملة فى كل حالة وأيضاً بإختيار التركيز المناسب فى كل حالة وبذلك يمكن أنجاز هاتين الحالتين المتضادتين بكفاءة عالية وفى النبات الواحد. ويلاحظ أن كلاهما يحدث نتيجة لتأثير الأوكسينات.