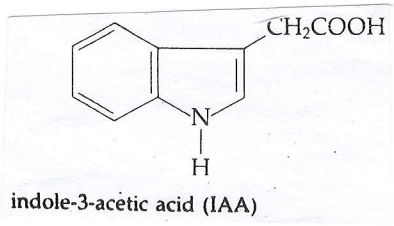
اعتبارها هرمونات نباتية، إلا أن المفهوم الدقيق للهرمون يقتصر على المركبات التي توجد بصورة طبيعية في النبات.

هناك عدد من التسميات التي وضعت للهرمونات النباتية منها: هرمونات النمو، مواد النمو، منظمات النمو، و هذه الأخيرة تشمل المواد المنشطة كما تشمل المواد المثبطة.

تعريف آخر للهرمونات: هي مواد كيميائية خاصة و معينة، تنتج في أماكن معينة من الكائن الحي، تنتقل الى أماكن أخرى حيث يظهر أثرها فيها (تعرف هذه الأماكن باسم الأهداف،في هذه الأهداف و بكميات صغيرة تقوم بتنظيم الاستجابات الفيزيولوجية).



indole-3-acetic acid (IAA)

الأكسينات Auxines

كلمة Auxine كلمة مشتقة من الكلمة اليونانية Auxein و تعني الزيادة أو النمو و قد أدخلت إلى العربية كما هي.

تعريف الأكسين: هو عبارة عن مادة عضوية و بتركيزات منخفضة تحفز النمو على طول المحور عند إضافتها للمجموع الخضري للنبات و الخالي بقدر الإمكان من منشطات النمو.

أو هي عبارة عن مواد عضوية تنتج بصورة طبيعية في النباتات الراقية، و تسيطر على النمو أو على وظائف فيزيولوجية أخرى في نقاط بعيدة عن مناطق تخليقها.

من الملاحظات التي أدت إلى اكتشاف الاكسينات نذكر انحناء قمم السوق النباتية باتجاه مصدر الضوء عندما تتلقى إضاءة من جانب واحد، و هذا ما يعرف بالانتحاء الضوئي Phototropisme ، و من أكثر المواد التجريبية شهرة في هذا المجال هو غمد الريشة أو الكوليوبتيل Coleoptile لنبات الشوفان *Avena sativa*.

تعريف غمد الريشة لنبات الشوفان: عبارة عن غمد رقيق مجوف يحيط بقمة الأوراق الأثرية الدقيقة في جنين النجليات (الشوفان)، و له شكل أنبوب مسدود النهاية العلوية، و هو أول جزء من النبات يخرج فوق سطح التربة و عند نمو الورقة الأولية فإنها تثقب قمة الكوليوبتيل و تخرج منه، و بعد ذلك يتوقف نمو الكوليوبتيل و يتتالى تكوين الأوراق حول قمة الساق.

من الملاحظات التي أدت إلى اكتشاف الاكسينات نذكر انحناء قمم السوق النباتية باتجاه مصدر الضـــوء عندما تتلقى إضاءة من جانب واحد، و هذا ما يعرف بالانتحاء الضوئي Phototropisme ، و من أكثر المـــواد التجريبية شهرة في هذا المجال هو غمد الريشة أو الكوليوبتيل Coleoptile لنبات الشوفان *Avena sativa*.

تعريف غمد الريشة لنبات الشوفان: عبارة عن غمد رقيق مجوف يحيط بقمة الأوراق الأثرية الدقيقة فـــي جنيـــن النجليات (الشوفان)، و له شكل أنبوب مسدود النهاية العلوية، و هو أول جزء من النبات يخرج فوق سطح التربـــة و عند نمو الورقة الأولية فإنها تثقب قمة الكوليوبتيل و تخرج منه، و بعد ذلك يتوقف نمو الكوليوبتيـــل و يتتـــالى تكوين الأوراق حول قمة الساق.

مراحل اكتشاف الأكسينات

داروين: لاحظ أن الضوء الساقط على قمة كوليوبتيل من جانب واحد يسبب انحنـــاء الكوليوبتيـــل باتجـــاه منبـــع الضوء، و عند إزالة القمة أو حجبها عن الضوء بغطاء مناسب وجد أن النبات لا يستجيب للإضاءة الجانبية.

فيتينغ: لاحظ أن عمل شق جانبي بجهة الضوء من قمة كوليوبتيل الشوفان فانه لا يمنع من انحناءه باتجاه الضوء

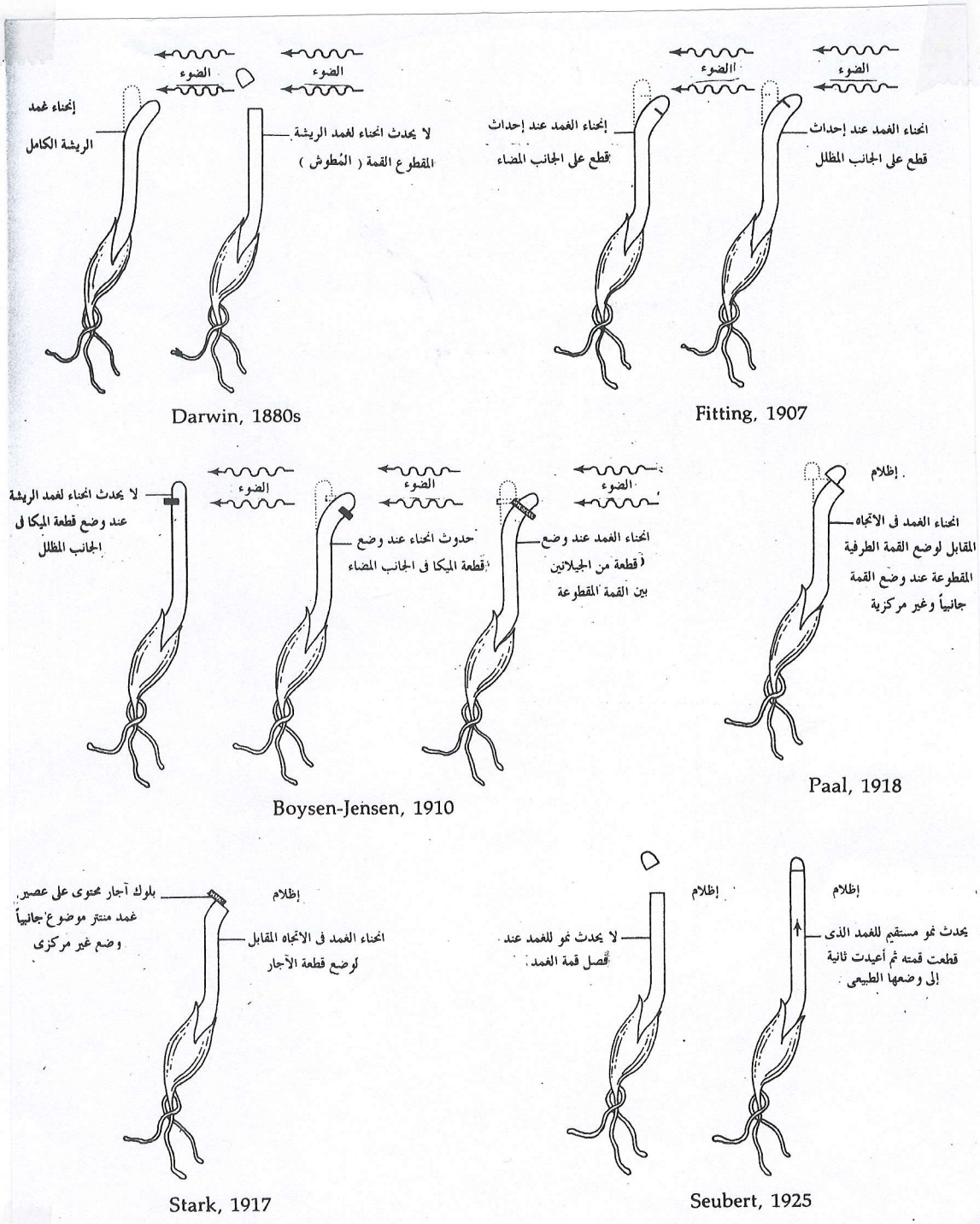
بوينس جنسن:

أ-قطع قمة كوليوبتيل و وضع بينها و بين القاعدة صفيحة رقيقة من الجيلاتين، وجد أن الانتحاء الضوئـــي يتـــم عاديا، حيث ينتقل المؤثر من خلال الجيلاتين إلى الأسفل و ينشط النمو و الانحناء.

ب-عمل شق جانبي في أحد الجانبين و وضع صفيحة من الميكا في الشق، وجد أنه إذا وضعت علـــى الجـــانب المضاء فان الانحناء يتم عاديا، و إذا وضعت في الجانب المظلم فان الانحناء لا يتم.

بال: قطع القمة و وضعها على جانب واحد من السطح المقطوع، لاحظ أنها تسرع نمو الجانب الذي يقع تحتـــها مما يؤدي إلى الانحناء.

سودينغ: وجد أن قطع القمة يؤدي إلى إبطاء النمو و إذا وضعت قمة من نبات آخر محل القمة المقطوعـــة، فـــان النمو يستمر.



١٧ – ١ : ملخص للتجارب التى أدت إلى عزل واكتشاف الأوكسين (IAA) والتى بُنيت على أساس نشاطه فى الانتحاء الضوئى لغمد الريشة .

مراحل اكتشاف الأكسينات

داروين: لاحظ أن الضوء الساقط على قمة كوليوبتيل من جانب واحد يسبب انحناء الكوليوبتيل باتجاه منبع الضوء، و عند إزالة القمة أو حجبها عن الضوء بغطاء مناسب وجد أن النبات لا يستجيب للإضاءة الجانبية.

فيتينغ: لاحظ أن عمل شق جانبي بجهة الضوء من قمة كوليوبتيل الشوفان فانه لا يمنع من انحناءه باتجاه الضوء

بوينس جنسن:

أ-قطع قمة كوليوبتيل و وضع بينها و بين القاعدة صفيحة رقيقة من الجيلاتين، وجد أن الانتحاء الضوئي يتم عاديا، حيث ينتقل المؤثر من خلال الجيلاتين إلى الأسفل و ينشط النمو و الانحناء.

ب-عمل شق جانبي في أحد الجانبين و وضع صفيحة من الميكا في الشق، وجد أنه إذا وضعت على الجانب المضاء فان الانحناء يتم عاديا، و إذا وضعت في الجانب المظلم فان الانحناء لا يتم.

بال: قطع القمة و وضعها على جانب واحد من السطح المقطوع، لاحظ أنها تسرع نمو الجانب الذي يقع تحتها مما يؤدي إلى الانحناء.

سودينغ: وجد أن قطع القمة يؤدي إلى إبطاء النمو و إذا وضعت قمة من نبات آخر محل القمة المقطوعة، فان النمو يستمر.

وانت: قام بقطع قمم كثيرة للشوفان و وضعها فوق صفيحة من الآجار، ثم قطع الصفيحة إلى مكعبات صغيرة، و وضع قطعة منها على جانب واحد من غمد مقطوع القمة فلاحظ انحناء الغمد باتجاه الجانب غير المتصل بالأجار و أن مقدار الانحناء يزداد بازدياد عدد القمم الموضوعة على صفيحة الآجار (تركيز الهرمون).

يتبين من مجمل الأعمال التي ذكرناها و غيرها أن:

1/ إن قمة العضو النباتي تولد كمية قليلة من المواد التي تنتقل إلى الأسفل حيث تحث الخلايا على النمو بالاستطالة

2/ يسبب الضوء الجانبي توزع هذه المواد توزعا غير متساو مما يولد تفاوتا في النمو على جانبي العضو و بالتالي انحناءه باتجاه الضوء.

3/ يحدث توزع غير متساوي للهرمون في العضو النباتي الموضوع بشكل أفقي، و يكون تركيزه على الجانب السفلي أكثر منه على الجانب العلوي، و ينتج من ذلك تفوت في النمو فينحني الساق باتجاه الأعلى، و الجذر باتجاه الأسفل.

وانت: قام بقطع قمم كثيرة للشوفان و وضعها فوق صفيحة من الآجار، ثم قطع الصفيحة إلى مكعبات صغيرة، و وضع قطعة منها على جانب واحد من غمد مقطوع القمة فلاحظ انحناء الغمد باتجاه الجانب غير المتصل بالأجار و أن مقدار الانحناء يزداد بازدياد عدد القمم الموضوعة على صفيحة الآجار (تركيز الهرمون).

يتبين من مجمل الأعمال التي ذكرناها و غيرها أن:

1/ إن قمة العضو النباتي تولد كمية قليلة من المواد التي تنتقل إلى الأسفل حيث تحث الخلايا على النمو.

2/ يسبب الضوء الجانبي توزع هذه المواد توزعا غير متساو مما يولد تفاوتا في النمو على جانبي العضو و بالتالي انحناءه باتجاه الضوء.

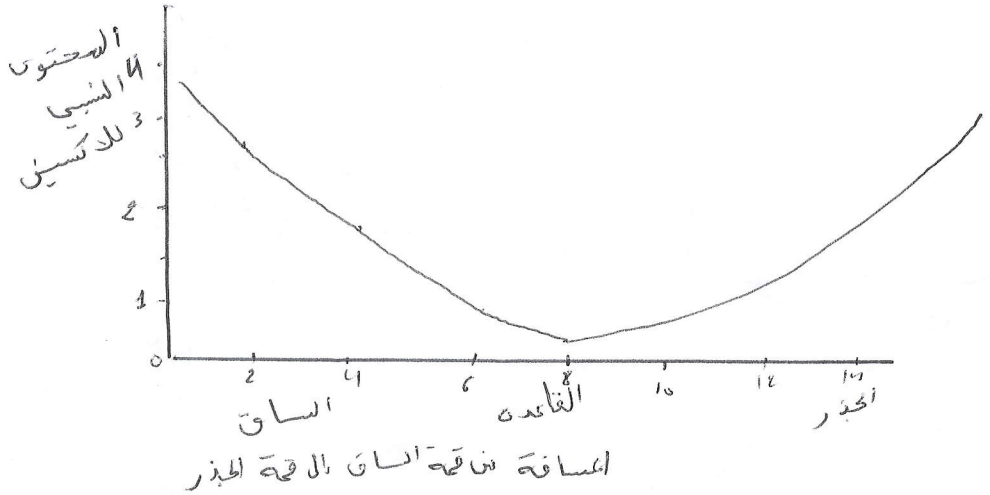
3/ يحدث توزع غير متساوي للهرمون في العضو النباتي الموضوع بشكل أفقي، و يكون تركيزه على الجانب السفلي أكثر منه على الجانب العلوي، و ينتج من ذلك تفوت في النمو فينحني الساق باتجاه الأعلى، و الجذر باتجاه الأسفل.

توزيع الأكسين في النبات

توجد أعلى تركيزات الأكسين في القمة النامية للنبات، و هذا يعني أن أعلى التركيزات توجد في قمة غمد الريشة، و القمم النامية للسيقان و الجذور و الأوراق الحديثة .

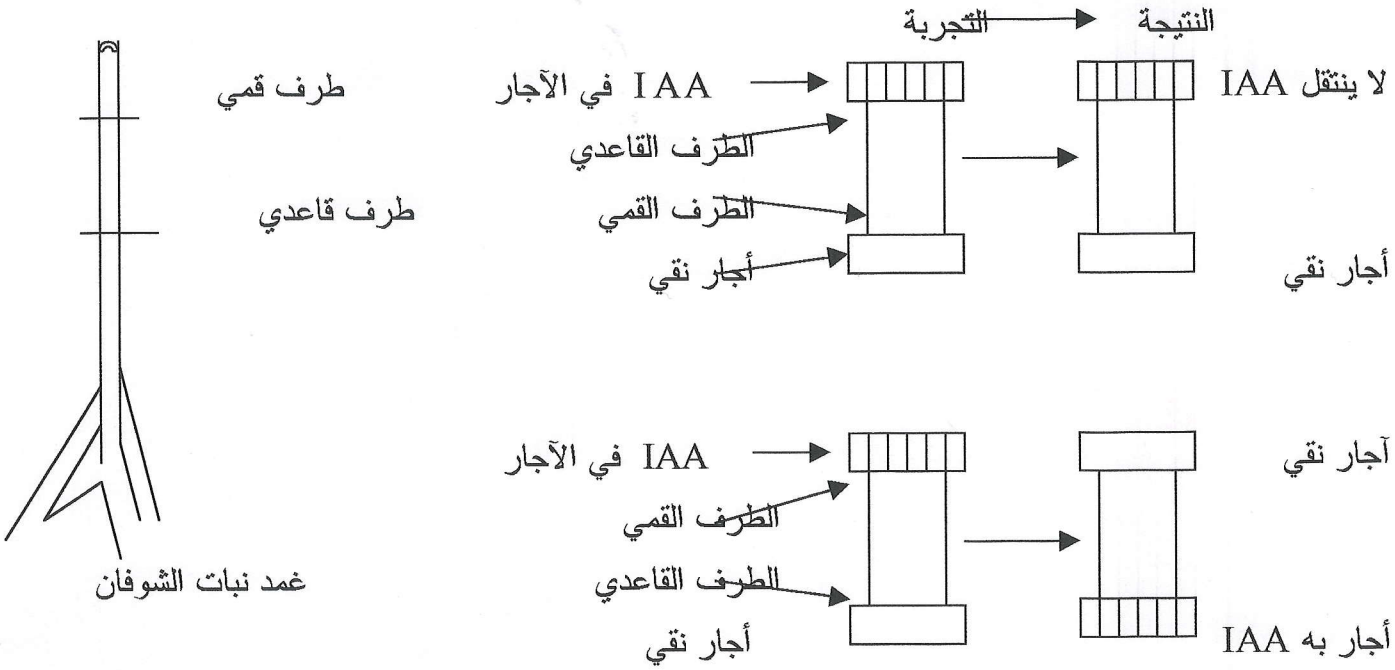
كما وجد أيضا أن الأكسين ينتشر و يتوزع باتساع خلال النبات، و بدون شك من خلال انتقاله من المناطق الميراستيمية كما هو مبين بالشكل التالي:

و في تقدير العالم Thimann لمحتوى الأكسين في المناطق المختلفة لبادرة الشوفان، فان تركيز الأكسين يتناقص باستمرار من القمة إلى قاعدة غمد الريشة كلما ابتعدنا من القمة في اتجاه القاعدة. ثم تبدأ بالزيادة كلما اتجهنا إلى قمة الجذر حتى تصل إلى ذروتها في قمة الجذر كما هو عند قمة الساق.



انتقال الأكسين (انتقال قطبي)

كثير من التجارب أثبتت أن انتقال الأكسين يكون من قمة غمد الريشة إلى قاعدتـــها، ممـــا أدى ببعـــض الباحثين إلى افتراض أن انتقال هذا المحفز يكون قطبيا، انظر التجربة التالية:



شكل يوضح الانتقال القطبي ل IAA في قطاعات غمد ريشة نبات الشوفان

و هذا يعني إن انتقال الأكسين يتم من القمة المورفولوجية إلى القاعدة المورفولوجية، و قد دلت الأبحاث الأولـــى على الحركة في النبات (الانتحاءات) أيضا على وجود التحرك الجانبي للأكسين، إلا أنه من المرجح أن الحركـــة القطبية هي الطراز السائد.

بناء الأكسين في النبات

لقد بين Skoog 1937 أن الحمض الأميني تريبتوفان يمكن أن يكون طليعة الأكسين (IAA) في قمم الكوليوبتيل، و قد تجمعت الدلائل على أن جميع النباتات الخضراء تستطيع تحويل التريبتوفان الى أندول حمـــض الخل، و أن امكانية هذا التحويل تكون كبيرة في الأعضاء المختصة بتوليد الأكسين كما هـــو الحـــال فـــي قمـــم الأعضاء الحديثة.

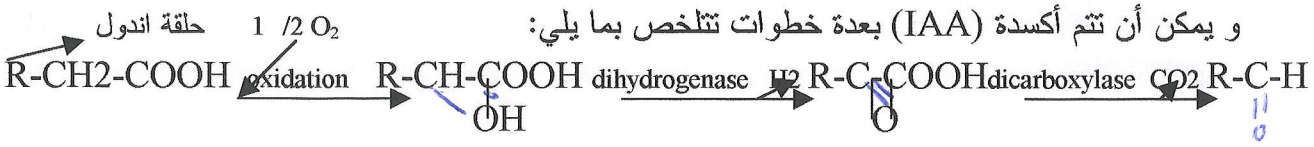
لوحظ أن عنصر الزنك ضروري لتكوين (IAA) و النباتات التي ينقصها هذا العنصر لا تستطيع صنـــع التريبتوفان.

لقد تبين أن أندول الدهيد الخل Indoleacetaldehyde هو مركب واسع الانتشار في النباتات، و كذلك أندول نتريل الخل Indoleacetonitrite هو مركب موجود في بعض النباتات، يمكن أن تكون هذه المواد هورمونات بحد ذاتها أو بعد تحويلها إلى (IAA). و في هذه الحالة يمكن اعتبارها كطلائع الأكسين، و كذلك توجد مركبات أخرى تعتبر طلائع الأكسين منها اندول حمض البيروفيك، غلوكوبراسيسين و اسكوربيجين.

هدم الاكسين و تعطيل فاعليته

ان (IAA) الذي يتكون في النبات لا يدوم طويلا و قد يبطل عمله أو تتهدم جزيئته. و قد تبين أن كثيرا من الأنسجة النباتية تستطيع أن تخفض الفاعلية الأكسينية لهذا الحمض، و إن هدم هذه الفاعلية تتم بوسلطة انزيمية للانزيمات المحللة ل (IAA) و التي يطلق عليها اسم (IAA Oxidase) و منها Peroxidase و تحتاج هذه الانزيمات الى عوامل مساعدة مثل عنصر المنغنيز كما ان تثبيط عمل الاكسين يمكن أن يتم بواسطة الضوء و خاصة الأشعة فوق البنفسجية و بواسطة بعض المواد الفينولية .

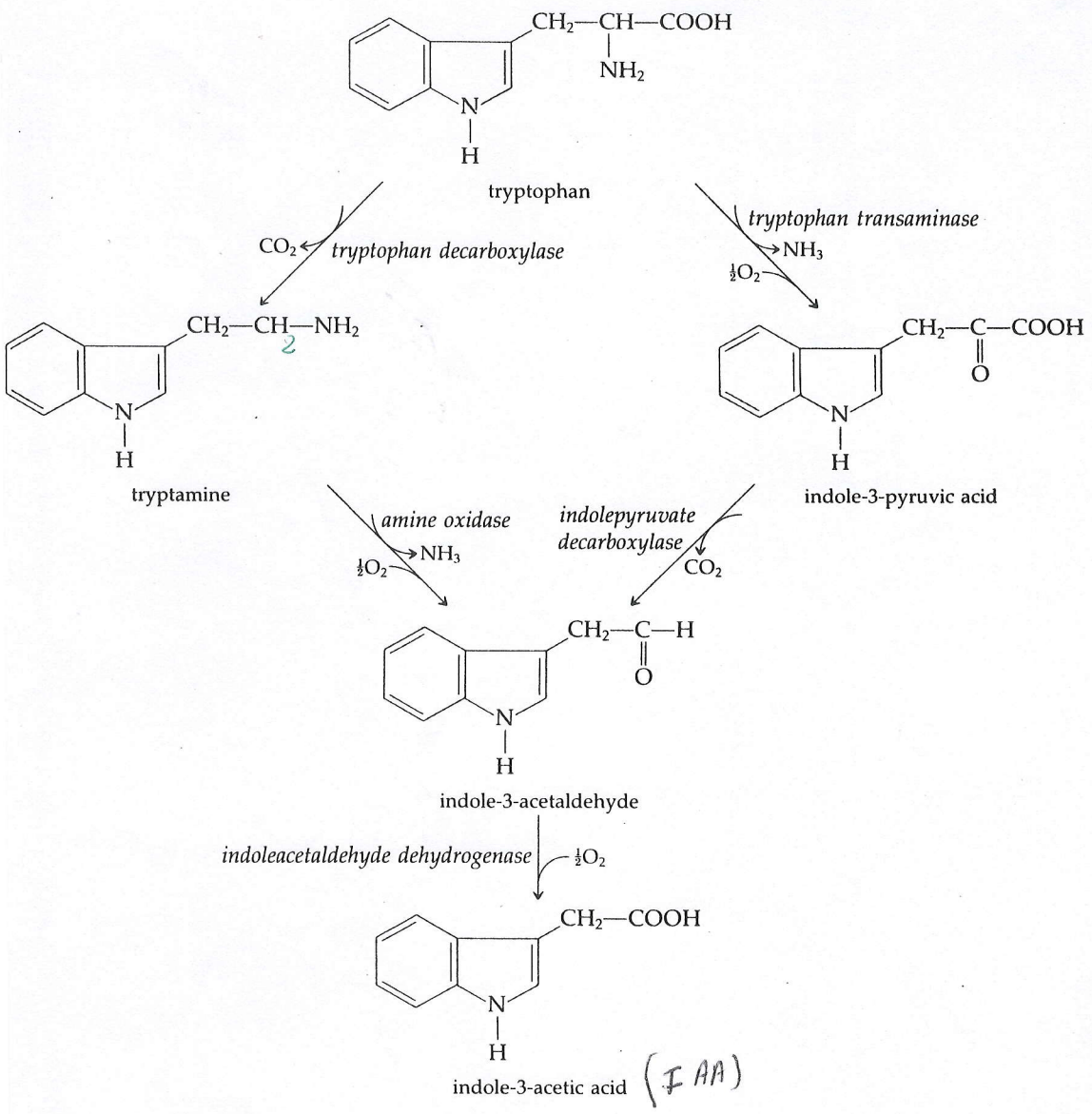
و يمكن أن تتم أكسدة (IAA) بعدة خطوات تتلخص بما يلي:



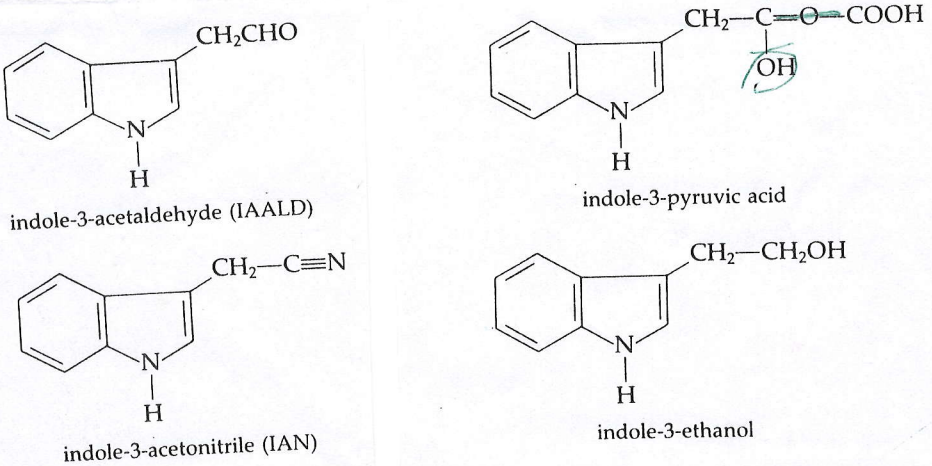
الأكسينات الصناعية

بمجرد اكتشاف النشاط الأكسيني و عزل و تحديد صفات اندول حمض الخليك (IAA) فقد بدأ العلماء بأبحاث مكثفة على مركبات كيميائية مشابهة لل (IAA) و لها نشاط أكسيني. فقد أوجدت هذه البحوث مركبات عديدة جدا خلاف مشتقات الأندول، مثل اندول-3-حمض البيوتريك indol-3-butyric acid ، و اندول-3- حمض البروبيونيك indol-3-propionic acid و التي أظهرت نشاطا فيزيولوجي مشابه لل (IAA).

و لقد كون العلماء مركبات مشابهة في نشاطها (و لذلك سميت بالأكسينات) و لكنها ليست مشابهة في التركيب الكيميائي لل (IAA) . و من بين هذه المركبات الأكثر شهرة هي الفا و بيتا نفثالين حمض الخليك. و الفا نفثوكسي حمض الخليك و مشتقاتها (مثلا أحماض كلوروفينوكسي) و أحماض البنزويك و حمض البكوليك، و العديد من هذه المركبات مبيدات حشائش (مبيدات عشبية) herbicides و التي تستخدم بنجاح في الزراعة الحديثة. و في معظم الحالات فان هذه المركبات ذات النشاط الأكسيني تحت التركيزات المنخفضة تصبح سامة نباتيا phytotoxic تحت التركيزات المرتفعة نسبيا. و أول مبيدات الحشائش الانتقائية المكتشفة و المستخدمة

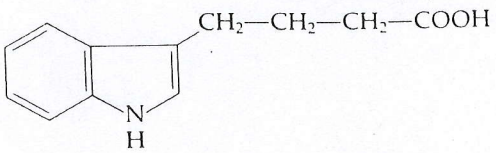


شكل ١٧ – ١١ : طرق تمثيل الأوكسين من التربتوفان .

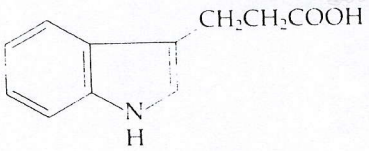


شكل بعض المركبات الاندولية (أكسينات)

Indoles

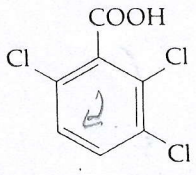


indole-3-butyric acid

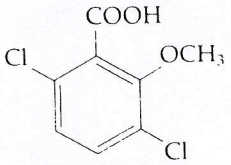


indole-3-propionic acid

Benzoic acids

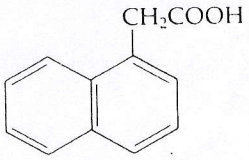


2,3,6-trichlorobenzoic acid

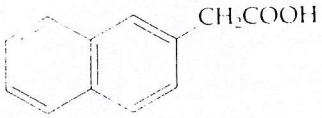


2-methoxy-3,6-dichlorobenzoic acid (dicamba)

Naphthalene acids

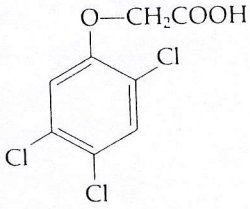


α-naphthalene acetic acid

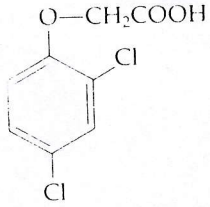


β-naphthalene acetic acid

Chlorophenoxy acids

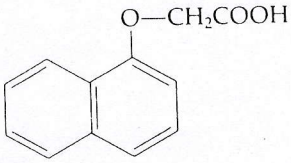


2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid (2,4,5-T)

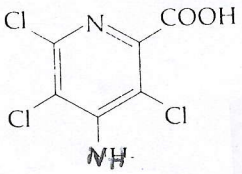


2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)

Naphthoxy acid



Picolinic acid



تشكل : صور من الاكسينات الصناعية

على نطاق واسع هو 2،4-ثنائي كلوروفينوكسي حمض الخليك 2,4-dichlorophenpxyacetic acid، 2 و مشتقاته. هذه المركبات ذات فعالية أكسينية عالية جدا.انظر الأشكال التالية:

الوظائف الفيزيولوجية للأكسينات

للاكسينات وظائف حيوية متعددة أهمها:

1/ استطالة الخلايا : إن وجود الأكسين في خلايا الكوليوبتيل ضروري للنمو الطولي و بكلمات العالم وانت No auxin-No growth أي لا نمو بدون أكسين.

2/ انقسام خلايا الكامبيوم خاصة في الربيع.

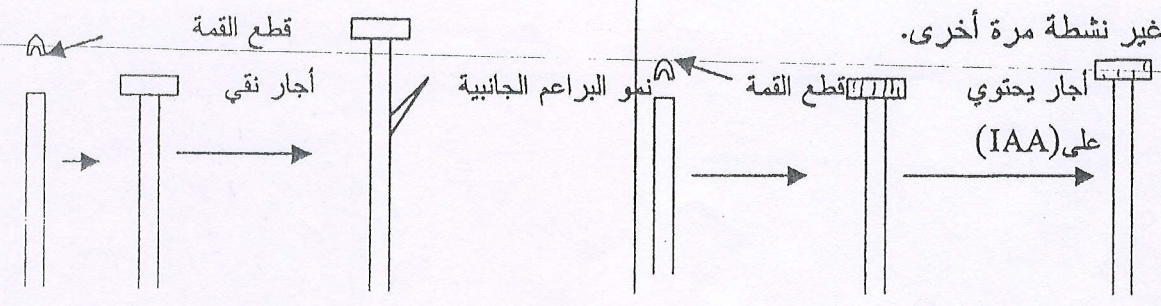
3/ يساعد على انقسام الخلايا و تكوين الجذور الأولية و الثانوية.

4/ انقسام الخلايا في مزارع الأنسجة، حيث أن انقسام خلايا نسيجية في المزارع النسيجية لا تحصل إلا بوجود مواد محفزة و منها (IAA) .

5/ تحفز السيادة القمية و تثبط نمو البراعم الجانبية، و يمكن التأكد من ذلك بسهولة و ذلك بقطع القمة النامية (البرعم القمي) نلاحظ نمو البراعم الجانبية.

قبل اكتشاف تنظيم نمو النبات بواسطة الهرمونات تمكن علماء النبات من ملاحظة سيادة النمو القمي على النمو الجانبي في عديد من الأنواع النباتية، كما لاحظوا أن البرعم القمي أو الطرفي لعديد من النباتات الوعائية يبدو نشطا بينما تظل البراعم الجانبية غير نشطة،شاهد نفس الظاهرة عند نمو الأفرع الجديدة لعدد من أنواع الأشجار. كما أن النباتات التي تنمو طوليا و غير المتفرعة تظهر تأثيرا قويا للسيادة القمية بينما النباتات القصيرة و الشجيرية تظهر تأثيرا ضعيفا للسيادة القمية.

إن التأثير القوي للبرعم الطرفي على نمو البراعم الجانبية أمكن إثباته بسهولة، بإزالة البرعم الطرفي للنبات، و عند غياب البرعم الطرفي فان دفعة من النمو النشط تحدث للبراعم الجانبية، كذلك فان البرعم الجانبي الذي يقترب من القمة النامية يظهر نوع من السيادة القمية بعد فترة قصيرة على سائر البراعم الأخرى، حيث يجعلها غير نشطة مرة أخرى.



كما لو كان البرعم الطرفي موجودا

تأثير إزالة البرعم الطرفي و الأكسين على نمو البراعم الجانبية و إظهار تأثير السيادة القمية. Skoog end Thimann

6/ منع تساقط الأوراق و الأزهار و الثمار في فصل النمو

7/ إنتاج الثمار البكرية (اللابذرية): عملية التلقيح و الذي يعقبها الإخصاب للبويضة في الزهرة يتبعها عمليات النمو المعقدة المختلفة التي تستمر حتى حدوث عملية عقد الثمار. جدار المبيض و في بعض الحالات الأنسجة المرتبطة بالتخت receptacle يحدث لها عملية إسراع في النمو و معظم هذه السرعة في النمو لهذه الأنسجة تكون نتيجة لاستطالة الخلية و الناتجة عن وجود الأكسينات.

و التلقيح و الإخصاب في بعض الأحيان يكون مرتبطا بنمو الثمار الذي يكون ناتجا عن انطلاق منبه معين، و إنمائية الثمار مع عدم حدوث التلقيح ممكن حدوثها أو هو أمر شائع الحدوث في عالم النبات، و إنمائية الثمار بهذه الطريقة يسمى إنماء لا بذري Parthenocarp development، و أن الثمرة الناتجة يطلق عليها ثمرة لابذرية Parthenocarpic fruit.

و في عديد من الحالات فان نمو الثمار لا يمكنه الحدوث إذا لم تتم عملية الإخصاب فكيف يمكن لعملية الإخصاب أن تعمل على تنبيه و استجابة معينة لحدوث عقد الثمار؟

في 1902 أثبت مارست أن انتفاخ جدار مبيض زهرة الأركيد يمكن أن ينشط بواسطة حبوب اللقاح الميتة، ثم جاء فيتينغ حيث لاحظ أن المستخلص المائي لحبوب اللقاح قادر على تثبيط أو منع عملية تساقط الأزهار و ينشط من عملية انتفاخ جدار المبيض لزهرة الأركيد.

و أن مارست أثبت أن انتفاخ جدار المبيض لزهرة الأركيد المضاف إليها G مستخلص حبوب اللقاح أن هذا المستخلص يحتوي على الأكسينات. و تمكن ostafson أن نمو الثمار اللابذرية من الممكن إحداثه بإضافة IAA إلى عجينه الانولين و وضعها على ميسم الزهرة.

لاحظ ميور زيادة طارئة في كمية الأكسين في مبايض نبات الدخان عقب عملية التلقيح مباشرة، و لكن بغياب هذه العملية لا يحدث أي زيادة في IAA ، كما لاحظ أيضا أن زيادة نمو أنبوبة اللقاح تسبب زيادة في كمية الأكسين المستخلص من قلم نبات الدخان و هذه الظاهرة جعلته يقترح أن هناك إنزيم معين يمكن أن يحرر بواسطة أنبوبة اللقاح التي ينتج عنها تحرير و إنتاج الأكسين، و هذا الاقتراح أمكن تأكيده بواسطة لينذ الذي أقترح أن أنبوبة اللقاح تفرز إنزيم له القدرة على تحويل التريبتوفان إلى الأكسين.

- و منه تأكد أن الأكسينات تشجع إنتاج الثمار اللابذرية.

إن حصول عملية البارثينوكارب Parthenocarp بواسطة (IAA) و يعني بها ذلك الإخصاب الذي يتم بدون حدوث عملية اتحاد الجامطات، فمثلا يمكن رش محلول الأكسين على مبيض الطماطم و الحصول على ثمرة عادية باللون و الطعم و الحموضة و بدون بذور، تحدث هذه الظاهرة في بعض أنواع الخيار و التفاح و هي شائعة في الموز.

8/ توليد الأزهار: رش نبات الأناناس ب نافثيل حمض الخل Naphthyl acetic acid (NAA) تؤدي إلى توليد الأزهار خلال مدة قصيرة.

9/ يساعد (IAA) في توليد الجذور على العقل في النباتات التي تتكاثر بطريقة خضريه بواسطة العقل.

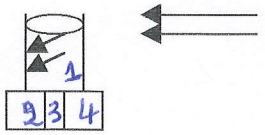
10/ يؤثر الأكسين على عمليتي الانتحاء الضوئي و الانتحاء الأرضي:

تفسير الانتحاء الضوئي:

- إن انحناء قمم السوق النباتية باتجاه الضوء عندما تتلقى الضوء من جانب واحد، يعتقد أن صبغة الكاروتين لما تتلقى الإحساس بالضوء تؤدي إلى هجرة الأكسين من الجانب المضاء إلى الجانب المظلم و تسرع النمو في هذا الجانب الأخير أكثر منه في الجانب المظلم و بذلك يؤدي إلى الانحناء بجهة الضوء.
- إن ال (IAA) الموجود في الجانب المضاء يصبح غير فعال بواسطة الإشعاع الساقط في حين يحتفظ بفعاليته في الجانب المظلم.
- إن طليعة (IAA) في القمة يثبط بالضوء في حين يصنع كميات كبيرة من (IAA) في الجانب المظلم.

لكن تبقى فرضية هجرة الأكسين هي الفرضية المرضية و قد دعمت بعدة تجارب نذكر منها:

ضوء



1- غمد 2- أجار 3- ميكا 4- أجار

وجد إن تركيز (IAA) في القطعة 2 أكبر بكثير من القطعة 4

تفسير الانتحاء الأرضي:

في النبات المثبت بوضع أفقي، ينحني الساق باتجاه الأعلى و الجذر باتجاه الأسفل بتأثير الجاذبية الأرضية حيث أن الجاذبية الأرضية تؤثر على حبيبات نشوية تسمى ستاتيوليت Statolith و هي عبارة عن جسيمات صانعة متحورة توجد داخل خلايا الجذر تتركز على الجدار السفلي للخلية و تسهل انتقال (IAA) إلى الأسفل فيزيد تركيزه على الحد الملائم لنمو الجذر و يبطؤ النمو عنه في الجانب العلوي مما يؤدي إلى الانحناء باتجاه الأسفل.

يحدث العكس في الساق لأن زيادة تركيز (IAA) في الجانب السفلي تسرع النمو أكثر من الجانب العلوي فينحني الساق باتجاه الأعلى.