الباب التاسع

مثبطات النمو

Growth Inhibitors

هى مركبات تسبب تثبيط النمو ومنها ما هو طبيعى natural مثل حامض الأبسيسيك وبعض المركبات الفينوليه مثل الكومارين coumarin وحامض الكوماريك coumaric ومنها ماهو تركيبى synthetic مثل مركب ماليك هيدرازيد maleic hydrazide ومعوقات النمو مثل سيكوسيل cycocel.

توجد مجموعة من المركبات تسبب تأخير أو عاقة لنمو النبات دون أى تأثير ضار على الشكل الظاهرى retard the overall growth of the plant without altering their morphology ولذلك فأنها تسمى معوقات النمو growth retardants و بمعنى آخر فأنها مركبات تسبب قصر الساق والفروع دون أى تأثير ضار على النبات . أما المركبات التى تسبب تأثير ضار على الأجزاء المختلفة للنبات مثل السيقان والأوراق تسمى مثبطات للنمو تعتبر معوقات النمو من مثبطات النمو.

أولاً : حامض الأبسيسيك ABA

سبق شرح هذا المركب فى أحد الأبواب السابقة (الباب السابع).

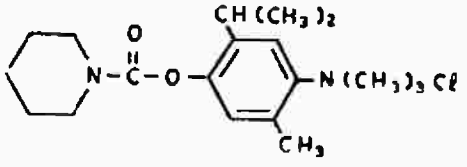
ثانياً : معوقات النمو Growth Retardants

وهى مركبات تسبب قصر الساق والفروع دون تأثير ضار على النبات عاده.بعض هذه المركبات تؤثر على تركيز وفاعلية الجبريللينات تأثير عكسى والبعض الآخر يؤثر

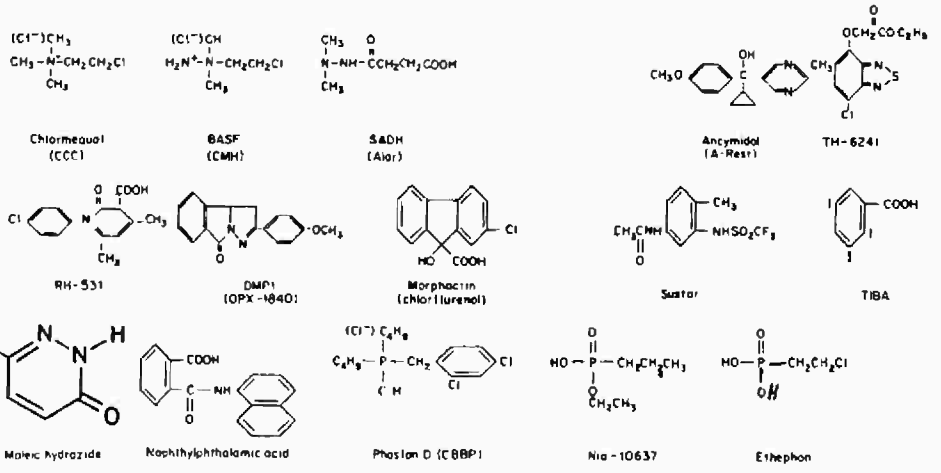
على تركيز وفاعلية الأوكسينات تأثير عكسى. ولكن غالبية هذه المركبات مؤثره على الجبريلينات والقليل أو النادر منها يؤثر على الأوكسينات.أحياناً يوجد تداخل فى التأثير على الجبريللينات والأوكسينات.

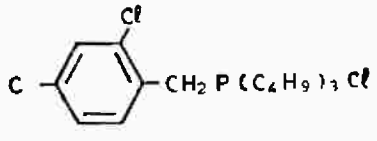
أ ـ مركبات مؤثرة على الجبريللينات:

هى مركبات توثر عكسيا على تركيز وفاعلية الجبريللينات وتسبب قصر الساق والفروع وقد يكون لها تأثيرات أخرى مفيدة على الثمار. ومن هذه المركبات ما يأتى (شكل ١٩٥):

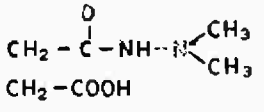


I AMO 1618





PHOSPHON D



B-NINE (B-995)

(شكل ١٩٥) : التركيب الجزيئي لبعض منظمات النمـو التجارية

١ ـ **Nicotiniums**: أول مركبات تختبر على النبات كمعوقات للنمو تؤثر هذه المركبات على نمو ساق الفاصوليا حيث تسبب قصر الساق. يعتبر مركب 2,4 dichlorobenzylnicotinium chloride (2,4-DNC) هو أكثر مركبات هذه المجموعة فاعلية. حيث أن هذه المركبات لا تؤثر إلا على نبات الفاصوليا ولذلك فقد شمل البحث مركبات تكون ذات فاعلية على نباتات أخرى أى يكون لها مدى واسع من النباتات وقد نتجت المجاميع التالية وكان أول مركب ناتج هو آمو Amo-1618 فى المجموعة التالية.

٢ ـ **Quaternary Ammonium Carbamates**: ومنها مركبAmo-1618. يعتبر أول مركب أكتشف من معوقات النمو له تأثير على مدى واسع من النباتات.

٣ ـ **Phosphoniums**: ومنها phosphon S وphosphon D .

٤ ـ **Substituted Cholines**: ومنها cycocel أى chlormequat ويرمز له بالرمز CCC. يستخدم هذا المركب بكفاءة عالية فى منع الرقاد فى بعض نباتات العائلة النجيلية.يتميز هذا المركب بأن له مدى واسع من النباتات و تركيبة (2-Chloroethyl) trimethyl ammonium chloride.

٥ ـ **Substituted Maleamic and Succinamic Acid**: ومنها مركب B-Nine (B - 95).وهو يعتبر أكثر مركبات هذه المجموعة إنتشارا. يسمى هذا المركب أيضا بإسم alar أو SADH وتركيبه 2-dimethylhydrazine و Succinic acid-2.

٦ ـ **Phenyl Pyrimidines**: ومنها ancymidol أى A-Rest وتركيبه ـ cyclopropyl- α -(4 -methoxyphenyl)-5pyrimidine methanol

٧ ـ **Chlorophenyl Pyridine**: ومنها مركب RH-531 وتركيبه 1-(4 -Chlorophenyl)-3-Carboxyl4,6-dimethyl-2-pyridine

يتضح أن المركبات السابقة تختلف فى تركيبها بدرجة كبيرة ولذلك من الصعب معرفة الصفات المميزة لفعالية هذه المركبات كمجاميع كما هو الحال فى الأوكسينات والسيتوكينينات.

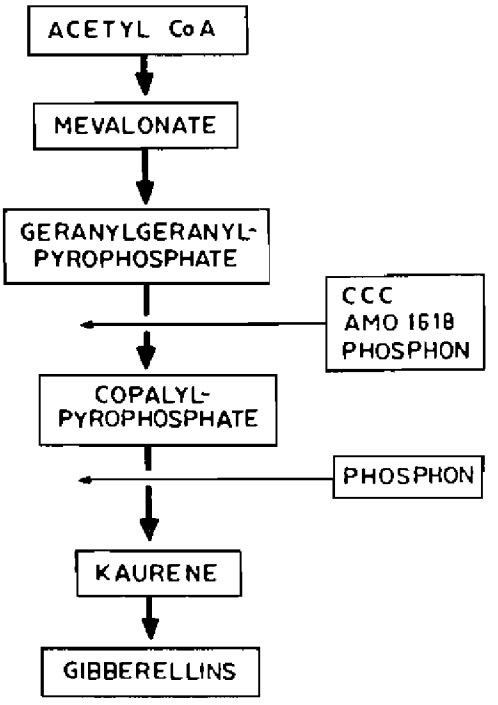
جميع هذه المركبات قابلة للذوبان فى الماء وتعامل بها الجذور soil drench أو ترش على الأوراق. يمكن أن تنتقل فى النبات عن طريق الخشب و اللحاء. تبقى فى التربة أو فى النبات لمدد تتراوح من عدة أيام إلى سنوات قليلة. يمكن أن تنتقل هذه المركبات من جيل إلى آخر عن طريق البذور.

ميكانيكية تأثير معوقات النمو المؤثرة على الجبريللينات:

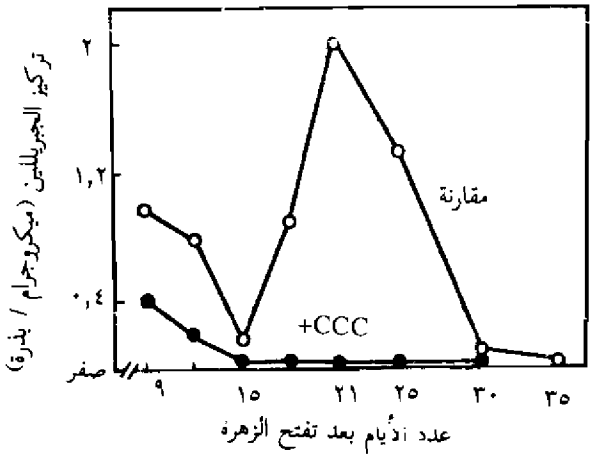
تضاد هذه المركبات عمل الجبريللينات ولذلك فإنها تسبب قصر الساق والفروع. غير معروف حتى الآن تفسير عام شامل لذلك. توجد بعض التفسيرات تؤيدها التجارب وهى كما يلى:

١ ـ تسبب هذه المركبات تثبيط تخليق الجبريللين . من المعروف أنه أثناء خطوات تخليق الجبريللين يتحول مركب geranylgeranyl pyrophosphate إلى مركب الكاورين kaurene بواسطة أنزيم kaurene synthetase . وقـد أمكن إثبات أن CCC و amo-1618 وphosphon D تسبب منع حدوث هذه الخطوة blocking وينتج عن ذلك عدم تكوين الكاورين وبالتالى عدم تكوين الجبريللين (شكل ١٩٦) .يتحول geranylgeranyl pyrophosphate إلىcopalyl pyrophosphate وفى هذه الخطوه يحدث blocking يتحول الأخير إلى الكاورين. يقوم إنزيمkaurene synthetase بعمل هذين التفاعلين.

وجد إن أضافة CCC و Amo-1618 إلى البيئة النامى عليها فطر فيوزاريوم *Fusarium moniliforme* تسبب تثبيط تخليق الجبريللين وتمنع تكوينه. كما وجد أيضا أن phosphon D يثبط تكوين الجبريللين فى راشح الفطر. ولكن فى حالة B-nine فإنه لم يكن له أى تأثير فى ذلك ولذلك فإن ميكانيكية عمل أو تأثير هذا المركب غير معروفة. أمكن إثبات أن بعض هذه المعوقات تثبط إنزيم kaurene synthetase المستخلص من راشح فطر *Fusarium* وأندوسبرم بذور *Echinocystis* وقد أمكن إثبات أن تأثير المعوقات يسبب نقص فى تركيز الجبريللين فى بادرات *Pharbitis* والسبانخ وغيرها (شكل ١٩٧).

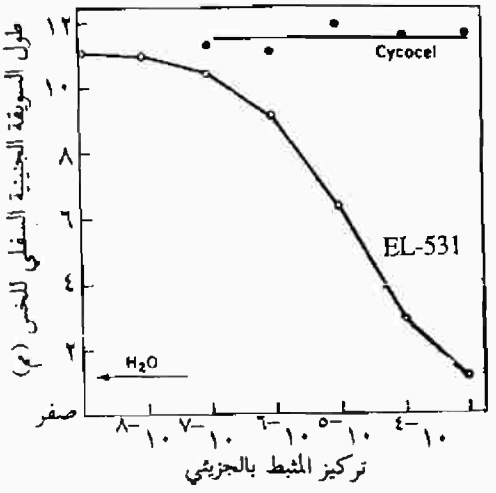


(شكل ١٩٦) : مكان تأثير بعض معوقات النمو على تخليق الجبريللينات.



(شكل ١٩٧) : تأثير CCC على تركيز الجبريللينات فى البذور الغير ناضجة لنبات *Pharbitis* .

٢ ـ بعض هذه المركبات يضاد تأثير الجبريللين interference with hormone action. بعض هذه المركبات يضاد تأثير الجبريللين على النمو antagonize gibberellin stimulated growth مثل مركب ancymidol. يثبط هذا المركب نمو السويقة الجنينية السفلى للخس بينما يفشل CCC فى عمل ذلك (شكل ١٩٨). وجد أيضا أن مركب RH-531 له نفس التأثير فى تثبيط نمو السويقة. يتضح من ذلك أن بعض هذه المركبات تؤثر على نباتات دون البعض الآخر . أى تختلف فاعليه هذه المركبات على النباتات المختلفة.



(شكل ١٩٨) : تأثير معوق النمو ancymidol (EL-531) علي تثبيط نشاط الجبريللين في السويقة الجنينية السفلي لبادرة الخس وذلك في وجود ١٠ ميكروجرام جزيئي حامض الجبريلليك.

تأثيرها على النمو والتكشف:

أهم تأثير لهذه المركبات هو قصر نمو الساق والفروع ويمكن أن يكون لها تأثيرات جانبية أخرى وفيما يلى شرح ذلك :

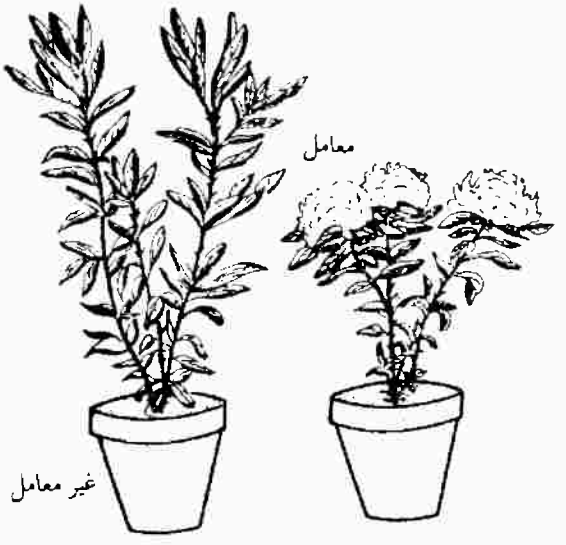
١ ـ نمو الساق Stem growth: تصبح النباتات المعاملة قصيرة وذلك لفشل إستطالة السلاميات. عامة تكون النباتات ذات الفلقتين أكثر تأثرا بالمعاملة عنها فى

النباتات ذات الفلقة. تأثير هذه المركبات على المرستيم تحت القمى sub apical meristem حيث أنها تثبط إنقسام الخلايا فى هذه المنطقة. وقد أمكن إثبات ذلك على نبات *Chrysanthemum moriflorum* بإستعمال مركب Amo1618 حيث أن هذا الجزء من المرستيم هو المسئول عن نمو السلامية ولذلك فإن النبات يأخد شكل الوردة rosette appearance. وحيث أن هذه المركبات لا تؤثر على إنقسام الخلايا فى المرستيم القمى فإن عدد وشكل الأوراق والأزهار لا يتأثر. أمكن عمل نفس التأثير بإستعمال CCC وفوسفون و B-nine. عادة يصاحب قصر النبات زيادة فى سمكه ولذلك فإنه يقاوم الرقاد lodging.

٢ ـ الأزهار Flowering: وجد أن أستعمال phosphon D و CCC و B-nine يثبط نمو الساق وينشط تكوين الأزهار فى النباتات الخشبية مثل *Rhododendron* والكاميليا *Camellia* ونباتات أخرى وحتى النباتات الصغيرة النامية فى أصص أمكن إزهارها (شكل ١٩٩). أمكن تشجيع الأزهار فى نباتات *Prunus* و*Pyrus*. وفى حالة البرايوفيلليم *Bryophyllum* فقد حدث العكس حيث أن الأزهار قد توقف تماما.

٣ ـ النسبة الجنسية Sex expression: تسبب هذه المركبات تغيير النسبة الجنسية. تؤثر معوقات النمو على النسبة الجنسية حيث يتأخر ظهور الأزهار المذكرة ويقل عددها والعكس صحيح فى الأزهار المؤنثة حيث أنها تظهر بسرعة كما يزداد عددها.

يختلف تأثير معوقات النمو بإختلاف النبات ومثال ذلك حالة نبات*Pharbitis nil* حيث أنه فى حالة قصر الساق يعتبر Amo1618 أكثرهم فاعلية يليه على التوالى phosphon D ثم B-Nine ثم CCC ولكن فى حالة تثبيط البراعم ومنع نموها فإن phosphon D أكثرهم فاعليه يليه Amo1618 ثم يليه CCC.



(شكل ١٩٩) : تأثير فوسفون D علي تثبيط نمو الساق وتنشيط الأزهار في نبات الراوند *Rhododendron*.

٤ ـ الشيخوخة Senescence : وجد أن معاملة أوراق الفاصوليا المنزوعة من النباتات بمركب CCC أو B-Nine تؤخر الشيخوخة حيث أنها تحتفظ بالكلوروفيل لمدة طويلة. ولذلك فإن النباتات المعاملة بهذه المركبات تظهر خضراء داكنة.

٥ ـ مقاومة نقص الماء والجفاف Resistance of water stress : يمكن أن تزيد مقاومة النبات لنقص الماء والجفاف عند إستعمال معوقات النمو فى بعض الحالات. عند معاملة نباتات القمح بـ CCC أو فوسفون فإن النباتات تستمر حية لمدة أسبوعين بعد المعاملة بينما النباتات الغير معاملة تموت نتيجة لنقص الماء والجفاف. وجد أن هذه المركبات لا تؤثر على سرعة النتح أو قفل الثغور كما أنها لا تؤثر على كمية الماء اللازمة لإنتاج وحدة من الوزن الجاف ولذلك فإن هذه المركبات لا تؤثر على أستهلاك الماء. وتعد مقاومة الجفاف فى هذه الحالة راجعة إلى قصر الساق والفروع ولذلك فإن نسبة المجموع الخضرى إلى المجموع الجذرى shoot-root ratio تقل وبالتالى يقل إستهلاك الماء وبذلك تتحمل النباتات الجفاف.

ومن أهم تأثيرات واستعمالات الآلار فى مجال الخضر مايلي:

(أ) تؤدى معاملة نباتات البطاطس بالآلار بتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون إلى تقليل النمو الخضرى وتوجيه الغذاء نحو تكوين الدرنات.

(ب) تؤدى معاملة الطماطم بالآلار بتركيز ٢٥٠٠ جزء فى المليون فى المراحل المبكرة من النمو حتى الورقة الرابعة إلى زيادة نسبة العقد.

(جـ) تؤدى معاملة الكرنب بالآلار بتركيز ٦٢٥ جزء فى المليون إلى تشجيع الإزهار، وبتركيز ٦٢٥ ـ ٥٠٠٠ جزء فى المليون إلى زيادة المقاومة للصقيع، وبتركيز ٢٥٠٠ جزء فى المليون إلى منع الإزهار كلية.

(د) تشجيع تكوين الخلفات فى الفول الرومى.

(هـ) تأخير ذبول واصفرار أوراق الخس بعد الحصاد.

(و) زيادة عقد الثمار والمحصول فى الفاصوليا، كما تصبح النباتات المعاملة أقوى وأكثر اندماجاً. وأفضل وقت للمعاملة هو فى مرحلة الإزهار التام عند تفتح ٥٠ ٪ من الأزهار على الأقل ويجب أن تكون النباتات نامية بحالة جيدة وقت المعاملة، وأن تتراوح درجة الحرارة من ١٦-٢٥°م. وأنسب تركيز من الآلار هو ١٥ر٠ ٪.

(ز) تؤدى معاملة القاوون بالآلار إلى زيادة عدد الأزهار، وإنتاجها على أفرع قصيرة، فيكون النبات مندمجاً. تجرى المعاملة عندما يكون النمو الخضرى بطول ٢٠-٤٠سم. وقد يحتاج الأمر إلى معاملة ثانية عندما تكون النباتات قوية النمو. هذا وتكون المعاملة الأولى بتركيز ١ر٠ ٪ والثانية بتركيز ٠٥ر٠ ٪،

(ح) تؤدى معاملة الفلفل والباذنجان بالآلار إلى زيادة عقد الثمار والمحصول بنسبة ٢٠ ٪، وتجعل النباتات أقوى وأقصر. تجرى المعاملة فى مرحلة الإزهار التام عند تفتح ٥٠ ٪ من الأزهار بتركيز ١٥ر٠ ٪. ويجب أن تكون النباتات نامية بحالة جيدة وقت المعاملة، ودرجة الحرارة تتراوح من ١٦-٢٥°م.

(ط) تؤدى معاملة نباتات الكرنب بروكسل بالآلار إلى تركيز ظهور الكرينبات على مسافة من الساق أقصر مما تكون عليه الحال بدون المعاملة. وتجرى المعاملة بغرض الحصاد الآلى.

ب ـ مركبات مؤثرة على الأوكسينات

البعض يعتبر هذه المركبات معوقات للنمو ولكن الكثيرون يعتبرها مثبطات للنمو وليست معوقات للنمو حيث أن لها تأثير ضار على النموات الحديثة الخضرية والزهرية morphological abnormalities ولذلك يفضل أعتبار هذه المركبات مثبطات للنمو وليست معوقات للنمو. ولكن يعتبرها Leopold فى كتابة عام ١٩٧٥ أنها معوقات للنمو. أحيانا تكون الحدود غير واضحة بين معوقات النمو ومثبطات النمو ويكون ذلك مثار للجدل فى هذه الحالة.

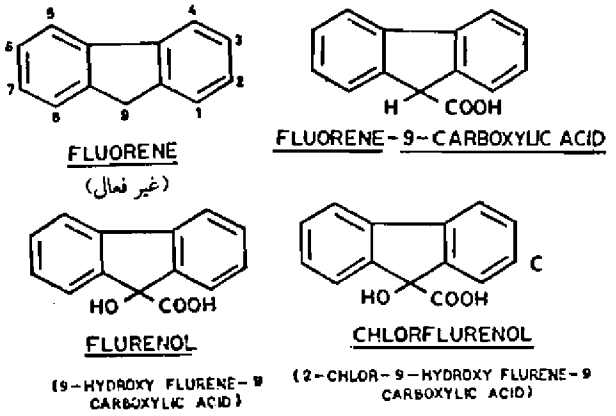
تعتبر هذه المركبات قليلة العدد وذلك بالنسبة للمركبات المؤثرة على الجبريللينات ومنها مايأتى:

١ ـ Morphactins: هى مركبات تسبب قصر الساق وبعض التغيرات الأخرى على الأوراق والبراعم والأزهار. يعتبرها البعض معوقات نمو والبعض الآخر لا يعتبرها كذلك ويعتبرها مثبطات نمو. وقد أشتق أسم هذه المركبات من الجملة الإنجليزية morphologically active substances حيث أن المقاطع هى-morph-acti-ns. وقد جربت هذه المركبات بواسطة Jones عام ١٩٥٤ثم أستعملت بعد ذلك بكثرة بواسطة العلماء الألمان عام ١٩٦٤ ومنهم Schneider (شكل ٢٠٠).

وهى عبارة عن مركبات مشتقة من مركب الفلورين fluorene وهذا المركب الأخير غير فعال . ولكن عند إدخال مجموعة كربوكسيل فى موقع الذرة رقم ٩ فى مركب الفلورين فإن المركب يصبح نشط. تزداد الفاعلية بإضافة مجموعة إيدروكسيد على نفس الذرة ويسمى flurenol. وتزداد الفاعلية مرة أخرى بإضافة ذرة كلور على ذرة الكربون رقم٢ ويسمى المركب chloroflurenol ويعتبر هذا

المركب أكثر مركبات هذه المجموعة نشاطا. وجد أيضا أن أملاح وأسترات هذا المركب تعتبر فعالة أيضا ولذلك يتضح أن مجموعة الكربوكسيل الحرة غير مؤثرة على فاعلية المركب.

وقد أفاد أستعمال الـ Chlorflurenol فى إسراع تكاثر الشليك برش التيجان ودفعها للتكاثر، كما أفادت رشة واحدة منه بتركيز ١٠ أجزاء فى المليون عند تفتح أزهار العقد الأول فى الطماطم إلى تحسين العقد فى درجات الحرارة المرتفعة.



(شكل ٢٠٠) : مركبات morphactins وهي تشتق من مركب الفلورين الغير فعال

تدخل هذه المركبات إلى داخل النباتات عن طريق الجذور والمجموع الخضرى. تنتقل فى النبات فى نسيج الخشب ونسيج اللحاء. يكون الأنتقال غير قطبى وجهازى تتجمع هذه المركبات فى الخلايا القابلة للإنقسام والأنسجة صغيرة السن. تتحمل النباتات مدى واسع من التركيزات لهذه المركبات دون ظهور أى أعراض سامة. لأنها قابلة لأن تتحلل فى النباتات ولذلك يستعيد النبات المعامل نموه العادى مره أخرى بعد فترة. تؤثر هذه المركبات على كثير من نباتات ذوات الفلقتين العشبية وقليل من ذوات الفلقة وقليل من النباتات الخشبية. لا تؤثر هذه المركبات على الأجزاء والأعضاء المسنة ولكنها تؤثر فقط على الأجزاء الحديثة.

تؤثر هذه المركبات تأثيرات عديدة على النباتات ومنها ما يأتى:

أ ـ تمنع إنبات بعض البذور مثل الخس.

ب ـ قصر الساق وذلك بتقليل طول السلاميات وأيضا قلة عددها. وهى بذلك تختلف عن معوقات النمو المؤثرة على الجبريللينات حيث أن الأخيرة تسبب قصر طول السلاميات دون قلة عددها.

حـ ـ تقلل من حدوث ظاهرة السيادة القمية حيث يحدث تثبيط للخلايا المرستيمية فى قمة الساق وينتج عن ذلك نباتات قزمية.

د ـ تؤخر الأزهار فى كثير من النباتات العشبية والخشبية.

هـ ـ تسبب تثبيط تكوين الجذور العرضية.

و ـ تفقد البادرات المعاملة بهذه المركبات حساسيتها للإنتحاء الأرضى ولذلك لا ينحنى الجذير إلى أسفل وأيضا لا تنحنى الريشة إلى أعلى ويستمر النمو أفقى . تفقد هذه البادرات أيضا حساسيتها للإنتحاء الضوئى.

ز ـ تأثيرها على النموات والأجزاء الحديثة حيث تصبح الأوراق ضيقة شريطية أنبوبيه وعادة ملتفة إلى أعلى. تتحد البراعم الأبطية أحيانا لتكون تركيب واحد. يتوقف تكوين المحاليق أحيانا. قد يحدث إلتحام بين أجزاء الزهرة وقد يحدث غياب تام لمحيط أو أكثر من محيطات الزهرة. وفى حالة عباد الشمس لا تتكون الأزهار الشعاعية والأنبوبية وتصبح النورة تركيب شحمى مشوة.

ولهذه الأسباب يعتبر الكثير هذه المركبات مثبطات نمو وليست معوقات نمو . يمكن أن يكون هذا المركب فى التركيزات المنخفضة نسبيا معوق للنمو وفى التركيزات الكبيرة نسبيا مثبط.

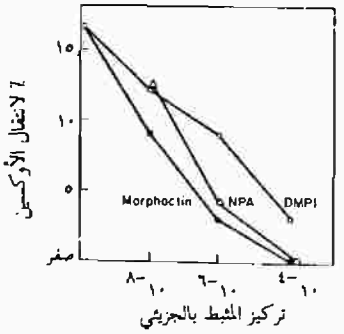
٢ ـ Naphthylphthalamic acid (شكل١٩٥).

٣ ـ DMPI أى DPX-1840 (شكل ١٩٥) وتركيبه الكيماوى.

3,3 α -Dihydro-2-(p-methoxyphenyl)-8-B-pyrazolo- 5 و1- α isoindol-8-one

ميكانيكية تأثير معوقات النمو المؤثرة علي الأوكسينات:

وجد أن المركبات السابقة تسبب تثبيط للإنتقال القطبى للأوكسينات فى النباتات وقد أمكن إثبات ذلك على أجزاء من ساق نبات القطن طولها واحد سم ومدة التجربة هى أربعة ساعات . حيث تسبب هذه المركبات تثبيط فى إنتقال الأوكسين من أعلى إلى أسفل (شكل ٢٠١).



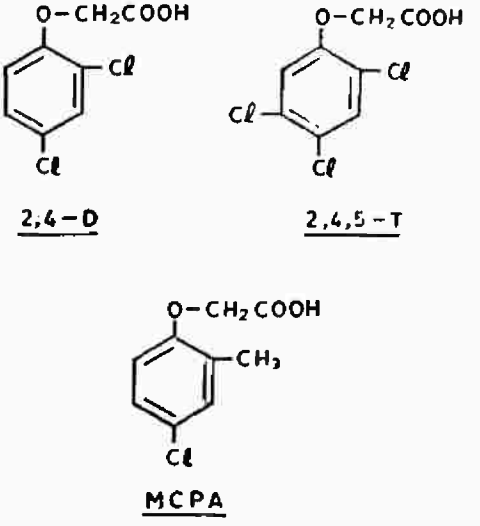
(شكل ٢٠١) : فعالية بعض معوقات النمو في تثبيط الأنتقال القطبي للأوكسين في أجزاء ساق القطن طولها واحد سم في زمن قدره ٤ ساعات.

كما وجد أن morphactins ومركب naphthylphthalamic acid يمكن أن تلتصق على أماكن إرتباط binding sites موجودة على أغشية الخلية ومنها غشاء الأكتوبلاست. وهذه الأماكن هى أماكن إرتباط للأوكسين. ولذلك فإن هذه المركبات تتداخل فى عملية أرتباط الأوكسين بهذه الأماكن حيث أنها ترتبط بنفس الأماكن وبالتالى تمنع الأوكسين من الأرتباط بهذه الأماكن. وبذلك تتدخل فى عمل الأوكسين أو إنتقاله أو كلاهما. مما سبق يتضح أن ميكانيكية عمل هذه المركبات هى تثبيط إنتقال الأوكسين أو الإرتباط بأماكن الأرتباط الخاصة بالأوكسينات.

ثالثا : الأوكسينات

زيادة تركيز الأوكسينات يسبب تثبيط لنمو وتكوين النبات. تستعمل الأوكسينات التركيبية فى ذلك ومن أفضل الأمثلة فى ذلك هو مركب 2,4 -D حيث أنه بتركيز مناسب يستخدم فى تنشيط العمليات الحيوية فى النبات ويستخدم بكثره فى الفاكهه وغيرها. ولكن بتركيز كبير نسبيا يعتبر قاتل للنبات ومبيد للحشائش . ومنها أيضا مركب 2,4,5-T ومركب MCPA (شكل ٢٠٢). الأوكسينات المستعملة كمبيدات حشائش تتبع هذه المجموعة.

PHENOXY مركبات



(شكل ٢٠٢) : التركيب الجزيئى لبعض مركبات الفينوكسى.

رابعا : مضادات الأوكسينات Antiauxins

وهى مركبات تضاد عمل الأوكسينات وبمعنى آخر هى مركبات تنافس الأوكسينات فى تفاعل معين فى الخلية النامية. تتوقف درجة تثبيط الأوكسينات على كمية الأوكسينات ومضادات الأوكسينات الموجوده فى نسيج معين أو فى

عضو معين. كلما قل تركيز الأوكسين وزاد تركيز المضاد كانت النتيجة تثبيط النمو والعكس صحيح . أما عن تأثير مضادات الأوكسينات علي الأوكسينات يكون بطرق عديدة بعضها غير معروف. ومن أمثلة مضادات الأوكسينات مركب TIBA وتركيبه 2,3,5 triiodobenzoicacid (شكل ١٩٥). تفسر ميكانيكية عمل هذا المركب كما يلي :

١ ـ **التنافس علي أماكن الأرتباط binding sites بالخلية :** توجد أماكن الأرتباط علي أغشية الخلية ومنها الأكتوبلاست. وهي عبارة عن أماكن إرتباط محددة بالخلية يرتبط بها كل من الأوكسين ومضاد الإوكسين ولذلك يوجد تنافس بينهما علي الأرتباط بهذه الأماكن وشغلها. ولذلك فإن إرتباط مضاد الأوكسين بهذه المناطق يمنع الأوكسين من الأرتباط وبذلك لا يظهر تأثير الأوكسين. لابد من وجود تشابه بين تركيب الجزيئات التي ترتبط بنفس أماكن الأرتباط. ولذلك لابد من وجود تشابه بين التركيب الجزيئي للأوكسين ومضاد الأوكسين. المركبات التي تختلف في تركيبها الجزيئي بدرجة كبيرة لا ترتبط في نفس المكان.

٢ ـ **منع حركة الأوكسين في النبات:** أمكن إثبات أن هذا المركب يؤثر ويعوق حركة إندول حامض الخليك فى أنسجة نبات البسلة وفي غمد الريشة لنبات الشوفان ويعتقد أنه يساعد علي ربط إندول حامض الخليك بالبروتين وبذلك يمنع حركته.

٣ ـ **تنشيط أنزيم أوكسيديز إندول حامض الخليك:** يعتقد أن هذا المركب ينشط إنزيم أوكسيديز إندول حامض الخليك وبذلك يقل تركيز الأوكسين وينتج عن ذلك تثبيط للنمو.

خامسا : المركبات الفينولية والكينون

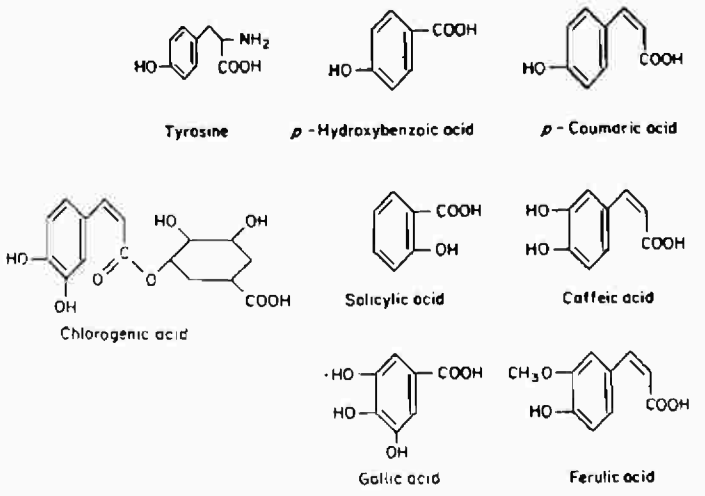
Phenolic Compounds and Quinons

تحتوى النباتات على أنواع مختلفة من المركبات الفينولية (شكل ٣٠٢) وتكون عادة بتركيزات كبيرة نسبيا عند مقارنتها بتركيز الهورمونات النباتية. تعتبر هذه

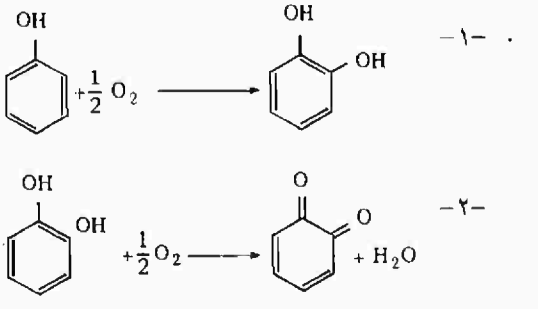
المركبات مشتقات لمركبات الفينول . يتكون الفينول من حلقة أروماتية aromatic ring عليها مجموعة إيدروكسيد واحدة. تقسم الفينولات إلى فينولات أحادية الأيدروكسيد monophenol وثنائية الأيدروكسيل diphenols وعديدة الأيدروكسيد pholyphenols . لا يعنى ذلك أن الفينولات تتكون من حلقة واحدة أروماتية ولكن يمكن أن تتكون من أكثر من حلقة أى بمعنى آخر فإن المركبات الفينولية تحتوى على الأقل حلقة أروماتية وعليها على الأقل مجموعة إيدروكسيد . يعتبر حامض السلسيلك salicylic acid والفيريلك ferulic acid وحامض باراكوماريك P-coumaric acid من الفينولات الأحادية الأيدروكسيل بينما يعتبر حامض الكافييك caffeic acid والكاتيكول catechol و quercetin والهيدروكينون hydroquinone وحامض الجنتسيك gentisic acid من الفينولات الثنائية الإيدروكسيل وكثير من هذه المركبات شائعة الوجود فى النبات. يعتبر حامض الجاليك gallic acid من الفينولات عديدة الإيدروكسيل. توجد كثير من الفينولات العديدة الإيدروكسيد فى النبات فى صورة مركبات جليكوسيدية glycosides ويكون فيها السكر عبارة عن جلوكوز أو فركتوز أو رامنوز ومن أمثلة ذلك الأنثوسيانين وهى صبغة شائعة الوجود فى النبات ويكون فيها الفينول ثنائى أو عديد الأيدروكسيد وتسمى مركبات anthocyanidins. تعتبر التانينات tannins الموجودة فى النبات عبارة عن جليكوسيدات لحامض الجاليك وحامض إلاجيك elagic acid وكلاهما فينول عديد الإيدروكسيل. يدخل فى تركيب اللجنين مركبات فينولية ومنها مركب phenylpropane .

بعض الأحماض الأمينية تكون فينوليه مثل التيروسين والفينيل ألانين كما يعتبر فيتامين k مركب فينولى.

عند أكسدة المركب الفينولى بأنزيم الفينول أوكسيديز يتحول إلى مركب الكينون. يتميز المركب الكينونى بأنه يتكون على الأقل من حلقة أروماتية عليها على الأقل ذرة أكسجين ذات رابطة مزدوجة (شكل ٢٠٤).



(شكل ٢٠٣) : التركيب الجزيئى لبعض المركبات الفينولية.



(شكل ٢٠٤) : نشاط أنزيم الفينول أوكسيديز.

١ ـ نشاط cresolase

٢ ـ نشاط catecholase

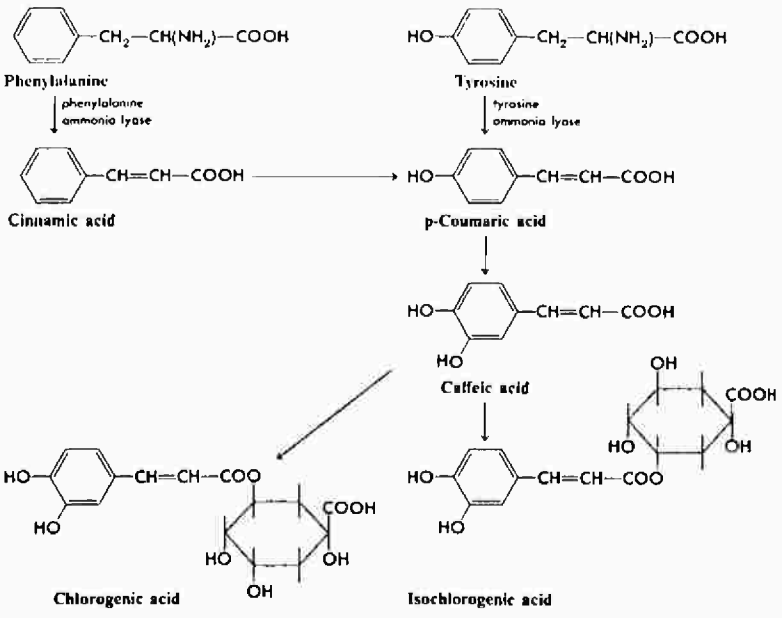
ومن مركبات الكينون الموجوده فى النبات طبيعيا جيجلون Juglone وأيضا بلاستوكينون plastoquinone .

تخليق المركبات الفينولية :

تتكون هذه المركبات من الحامض الأمينى فينيل الأنين بواسطة أنزيم phenylalanine ammonia lyase والذى يحول الحامض الأخير إلى حامض السينامك cinnamic. كما تتكون بدرجة أقل من التيروسين بواسطة أنزيم tyrosine ammonia lyase والذى يحول الحامض الأمينى تيروسين إلى حامض باراكوماريك P-coumaric acid. يتحول الأخير إلى حامض الكافييك ويتكون من حامض الكافييك حامض الكلوروجينيك chlorogenic. يتكون أيضا من حامض الكافييك حامض فيريلك ferulic acid (شكل ٢٠٥).

ميكانيكية عمل الفينولات :

بعض المركبات الفينولية ثنائية الإيدروكسيد تثبط أنزيم أوكسيديز إندول حامض الخليك مثل حامض الكلوروجينك chlorogenic acid وحامض الكافييك caffeic acid والجليكوسيد كويرستين quercitin (شكل ٢٠٦). نتيجة لتثبيط هذا الأنزيم فإن النمو يحدث طبيعيا. والعكس صحيح فإن بعض المركبات الفينولية أحادية الأيدروكسيد تنشط أنزيم إندول حامض الخليك إوكسيديزIAA oxidase حيث ينشط الأنزيم وتعتبر عامل مساعد cofactor له ومثال ذلك مركب حامض الباراكوماريك P-coumaric acid ومركب 4 -hydroxybenzyl alcohol وحامض ferulic والجليكوسيد kaempferol (شكل ٢٠٦ و ٢٠٧) نتيجة لنشاط الأنزيم الزائد يقل تركيز أندول حامض الخليك وبالتالى يقل النمو (شكل ٢٠٧). يلاحظ أن جميع مركبات الفينول السابقة توجد طبيعيا فى النبات وأن المركبات وحيدة الأيدروكسيد تنشط إنزيم إندول حامض الخليك أوكسيديز بينما المركبات ثنائية الأيدروكسيد تثبط الأنزيم.



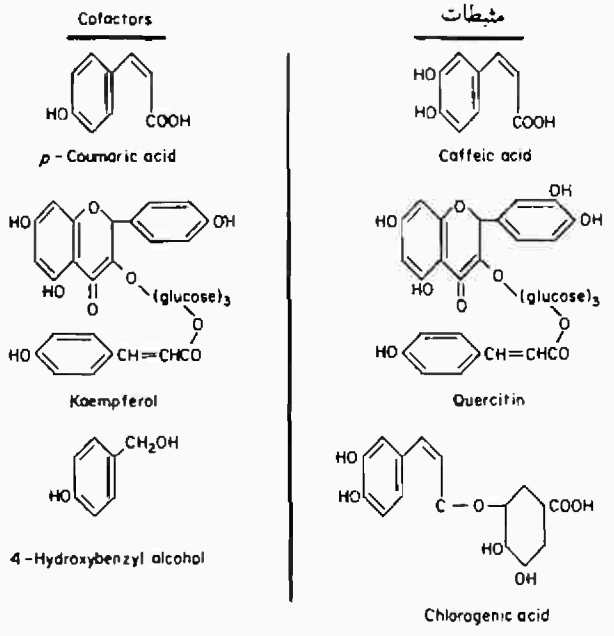
(شكل ٢٠٥) : تخليق المركبات الفينولية.

تم تتبع هذه الخطوات في الجذر الدرني للبطاطا بعد تعرضه لأضرار ميكانيكية أو نتيجة للإصابة بالطفيليات الممرضة.

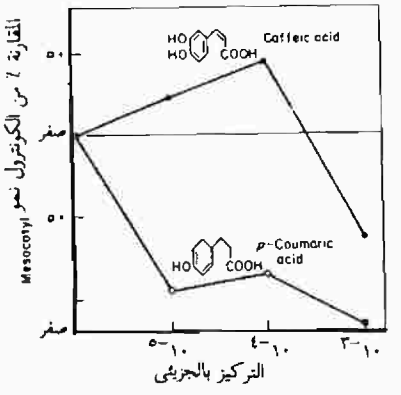
سادسا : مركب ماليك هيدرازيد والمركبات المشابهة

أول مركب تم إكتشافة فى هذه المجموعة هومماليك هيدرازيد maleic hydrazide (شكل ١٩٥) عام ١٩٤٩ حيث أثبتا Hoffmann و Schoene أن معاملة نباتات الطماطم بمحلول من ماليك هيدرازيد قد سبب الحد من إستطالة ساق النبات كما أنه أفقد هذا النبات خاصية السيادة القمية حيث أنه يثبط نشاط الخلايا المرستيمية فى القمم النامية للسيقان لذلك تنمو البراعم الأبطية أسفل البرعم الطرفى ولهذا يصبح النبات ذو مظهر متورد bushy plant. وحيث أن ظاهرة السيادة القمية متوقفة على

تأثير إندول حامض الخليك فإن منع حدوث ظاهرة السيادة القمية تعتبر حالة مضادة ويمكن أن يعتبر المركب المسؤل مضاد أوكسين antiauxin.



(شكل ٢٠٦) : مرافقات الأنزيم cofactors ومثبطات الأنزيم الموجودة طبيعيا في النبات. أنزيم إندول حامض الخليك أو كسيد



(شكل ٢٠٧) : تأثير حامض الكافييك والكوماريك علي نمو الـ mesocotyl في وجود ١٠ ميكروجزيئي أندول حامض الخليك

يستعمل هذا المركب لمنع نمو الأبصال أى تزريع الأبصال أثناء التخزين حيث أن رش النبات قبل الجمع بأسبوع إلى أسبوعين يمنع تزريع الأبصال أثناء التخزين لمدة ستة أشهر له نفس التأثير على البطاطس وبدرجة أقل فى الثوم.

يمكن تقدير تركيز إندول حامض الخليك بإستعمال طريقة إنحناء سيقان البسلة المشقوقة split pea. وعند إستعمال محلول ماليك هيدرازيد يمكن إلغاء هذا التأثير. ولكن إضافة تركيز زائد من الأوكسين يمنع تأثير مركب ماليك هيدرازيد مرة أخرى ولذلك يعتبر تأثير هذا المركب هو تثبيط تنافسى competitive inhibition.

يعتبر إلغاء التأثير من أهم مميزات التثبيط التنافسى حيث أن تأثير مركب معين يمكن منعه بإضافة مركب آخر ثم يمكن منع تأثير المركب الأخير بإضافة تركيز زائد من المركب الأول وهكذا. ولكن فى تجارب أخرى ثبت أن تأثير ماليك هيدرازيد ليس من نوع التثبيط التنافسى. ولذلك فإن ظاهرة التثبيط واضحة تماما لهذا المركب ولكن ظاهرة التثبيط التنافسى واضحة فى بعض الحالات وغير واضحة فى البعض الآخر.

أما عن تأثير ماليك هيدر ازيد فإنه يثبط نشاط الخلايا المرستيمية فى القمة النامية للسيقان ولكن ميكانيكية حدوث ذلك غير معروفة بطريقة قاطعة. أثبت البعض أن هذا المركب يساعد على أكسدة إندول حامض الخليك فيقلل من تأثير الأوكسين.أثبت البعض الآخر أنه يؤثر على بعض أنزيمات التنفس بينما أثبت البعض الآخر أنه يتداخل مع التحول الغذائى للأحماض النووية interfere with nucleic acid metabolism لانه يشبه بدرجة كبيرة المركب يوراسيل الذى يدخل فى تكوين الأحماض النووية. ولذلك فإن ميكانيكية تأثيرة غير معروفة بالضبط ولكن قد يرجع تأثيرة إلى أحد العوامل السابقة أو بعضها أو جميعها.

بعد ذلك أكتشفت مركبات أخرى تماثل فى مركب ماليك هيدرازيد وهى تعتبر مشتقات من مركب الهيدرازين hydrazine derivatives.