

الهormونات النباتية Phytohormones هي مركبات عضوية تنتج طبيعياً في النبات بكميات ضئيلة جداً وتنتقل من أماكن إنتاجها في خلايا محددة إلى الأماكن الأخرى التي تحدث فيها تأثيرها الفيزيولوجي، تشجع promote أو تثبط inhibit أو تحوّر modify النمو أو أي عملية فيزيولوجية أخرى في النبات، غير نوعية التأثير، وتسمى أحياناً منظّمات النمو وإن كان الأفضل استعمال اصطلاح منظّمات النمو كمواد النمو Growth substances الصناعية.

تنتجها النسج النشطة الهرمونات النباتية، وتعمل التراكيز القليلة جداً منها على التحكم في عمليات فيزيولوجية معينة والتأثير فيها، وتنتقل من مكان تركيبها إلى مكان تأثيرها غالباً، وهذا بالتأكيد من غير السكر والحموض الأمينية إذ إنه ليس لهذه تأثير فيزيولوجي معين ولا تعمل كهرمون، يتحكّم الهرمون النباتي في نمو وتطور الأعضاء النباتية المختلفة ولا يقتصر تأثيرها في عمليات التمثيل الغذائي بل يتعداه إلى كثير من العمليات الفيزيولوجية المتخصصة، ووفقاً لطبيعة التأثير تقسم الهرمونات النباتية إلى: : منشطات النمو Growth promoters ومعوّقات النمو Growth retardants ومثبّطات النمو Growth inhibitors.

وعموماً، لا يمكن الحكم على الهرمونات ما إذا كانت منشّطة أو مثبّطة لأن ذلك يعتمد على التراكيز المستعملة فهي تصبح مثبّطة للنمو حينما تُستعمل بتراكيز مرتفعة. كما تتباين الأعضاء النباتية المختلفة باستجابتها للهرمون نفسه، فمثلاً: ينشط الأكسين النمو الإعاشي عند تركيز معين في وقت يثبّط فيه نموّ الجذور، وتختلف الاستجابة للهرمون النباتي تبعاً لأطوار النمو المختلفة للنبات ووفقاً للنوع النباتي.

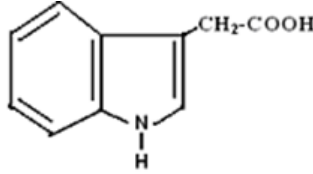
التركيز الفيزيولوجي physiological concentration: هو الحد الذي يحدث عنده تأثير معين في الخلية النباتية.

الاختبار الحيوي biological testing: هو قياس التأثير الفيزيولوجي للهرمون على مستويات مختلفة عن طريق الاستجابة الحيوية، مثل: تأثير الأكسين في استطالة قطعة السويقة الجنينية للشوفان.

منشطات النمو Growth promoters

■ الأوكسينات Auxins

الأوكسينات هي مركبات كيميائية تسبب استطالة خلايا السوق بطريقة مشابهة لإندول حمض الخل Indol Acetic Acid IAA في تأثيراتها الفيزيولوجية، الأوكسين الحقيقي داخل الخلية IAA، وتوجد آليات لإنتاجه وهدمه في النبات حسب الحاجة.



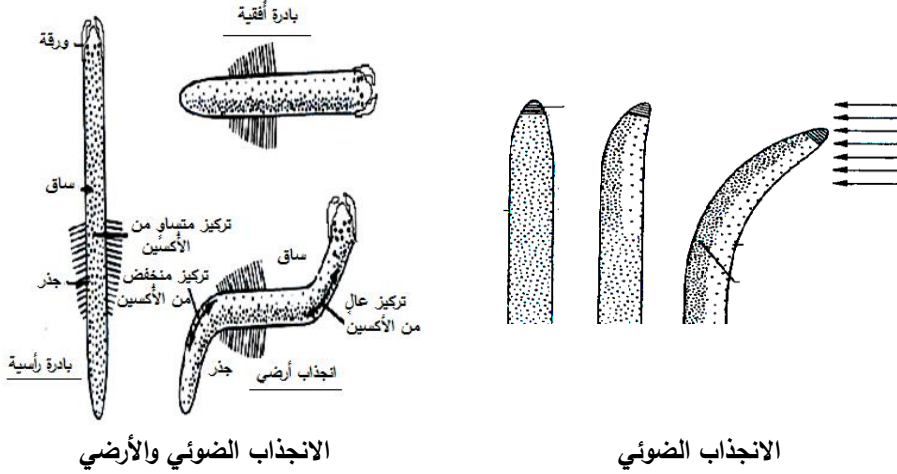
إندول 3 حمض الخل Indol -3- Acetic Acid IAA

الأفعال الفيزيولوجية للأوكسينات Physiological Actions of Auxins:

□ توجد الأوكسينات في جميع النباتات الراقية، وتتكوّن في المناطق المرستيمية والنسج النشطة في غمد البُرعم والسويقة والأجنة، ولها خاصية الانتقال القطبي، تشجّع معدل الانقسام الخلوي وزيادة معدّل النموّ العرضي للنبات وزيادة عدد الخلايا في النسج المختلفة واستطالتها، زيادة نشاط وتركيب الإنزيمات وزيادة الجهد التناضحي للخلية، وإحداث تغيرات في نفاذية الأغشية، إحداث مرونة ومطاطية للجدار الخلوي، زيادة دخول الماء وزيادة معدّل التنفس، فالمناطق التي ينشط فيها إنتاج الأوكسين هي البرعم الانتهائي، وأسفل البرعم الانتهائي والأوراق الفتية، وبالعكس تكون السوق الهرمة والأوراق الكبيرة وقمم الجذور أقل المناطق إنتاجاً للأوكسين.

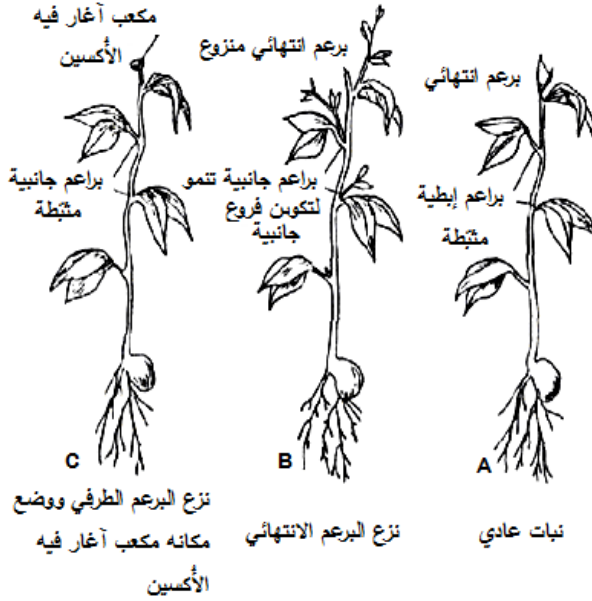
□ تشجّع الأوكسينات الانجذابات وتقلّ في الجهة المضاءة وتزداد في الجهة المقابلة، تحرّض على النمو؛ لذلك يقلّ نمو الناحية المضاءة ويزداد نموّ الجهة المقابلة فينتجها النبات نحو الضوء. تنشّط كفاءة عملية التركيب الضوئي، بتنشيط الإنزيمات النوعية وتنشيط تركيب الأصبغة الضوئية، واستهلاك CO_2 .

□ تشجّع الأوكسينات الانجذاب الأرضي أو الضوئي (والحراري، المائي، التلامسي، الكيميائي). تبيّن أن كمية الأوكسين المركّبة أكبر في الأنواع الطويلة النامية في الضوء ثم القزمية النامية في الضوء، فالطويلة النامية في الظلام ثم القزمية النامية في الظلام. وتشجّع نمو الجذور العرضية، وتطيل العمر الإعاشي فتمنع تكوين الأزهار (تفيد في إنتاج المحاصيل الورقية)، ويمكن منع ظهور البراعم على درنات البطاطا المخزنة.



الشكل . الانجذاب الضوئي والأرضي.

□ تشجع الأكسينات ظاهرة السيادة القميّة Apical dominance فالبرعم الانتهائي يؤثر بقوة في نمو البراعم الجانبية، وعند إزالته أو غيابه فإن البراعم الجانبية الأقرب تنشط فيظهر نوع من السيادة بعد فترة قصيرة على البراعم الأخرى، وفي الوقت نفسه تنشط نمو الساق، وتحتاج الجذور إلى تركيز منخفض جداً من الأكسين حتى تنشط في النمو.



الشكل . السيادة القميّة.

□ تنشط الأكسينات تكوين الكالوس Callus وتكوين الجذور، فعند قطع الساق أسفل ورقة ناضجة ووضع عجينة الإنولين المتضمنة IAA عند سطح القطع يُلاحظ تكوّن

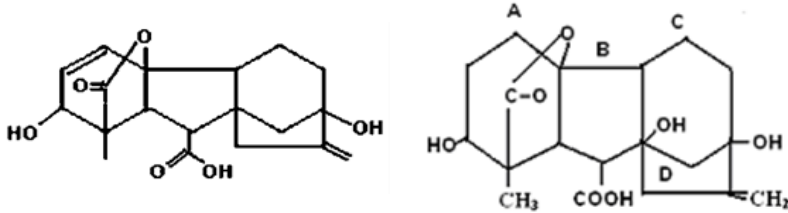
انتفاخ يسمى الكالوس، وهو خلايا برنشيمية تستطيل بفعل الأكسجين الذي يزيد انقسام الخلايا واستطالتها، وتظهر الجذور العرضية بعد فترة، وكذلك الجذور على العُقل.

□ تنشّط الأكسينات تكوين الثمار اللاذرية Parthenocarpy، بإضافة IAA مع عجينة الإنولين إلى ميسم الزهرة، وهناك أنواع نباتية غنية بالأكسجين وتتطور المبايض طبيعياً إلى ثمار بكرية/ لاذرية.

□ تنشّط الأكسينات تساقط Abscission الأوراق والأزهار والثمار، فالأكسجين يشجّع على تحرّر الإتلين، ويعود التساقط إلى تأثير الإتلين الذي يشجع تركيب إنزيم السليلاز الذي يحلّل السليلوز في منطقة التساقط، وإنزيم البكتيناز الذي يحلّل الصفيحة المتوسطة لخلايا منطقة التساقط فتتكون منطقة انفصال.

● الجبرلينات Gibberellins

الجبرلينات هي هرمونات نباتية طبيعية أساسية منشّطة للنمو، إذ تسبّب استطالة خلايا السوق وازدياد النمو الطولي للساق. تنتجها الأوراق الفتية والقمم النامية في الجذور والسوق، تتميز بوجود حمض الجبرليك. تتضمّن الجبرلينات البنية الكربونية Gibbene، وتتكون من 19 - 20 ذرة كربون، وتختلف فيما بينها في احتوائها زمرة كربوكسيل COOH أو احتوائها زمرة ألدهيد CHO. ينتقل الجبرلين من مكان إنتاجه إلى مكان تأثيره، وتكون حركته في جميع الاتجاهات ويرتبط بسرعة انتقال النسغ في النبات، فاللحاء وسيلة انتقاله، كالماء، وينتقل في الخشب وهو لا ينتقل قطبياً.



حمض Gibberellic acid

الجبرلينات Gibberellins

الشكل . صور الجبرلينات Gibberellins.

يؤثر الضوء إيجابياً في تكوين الجبرلين، وهناك ارتباط كبير جداً بين نشاط أصبغة الفيتوكروم ومستوى ونشاط الجبرلين، وكلما ازداد معدّل النمو (الوزن الجاف) كان المحتوى من الجبرلينات مرتفعاً والعكس، ووجود كميات كبيرة من مضادات الجبرلين يقلّل معدّل النمو لانخفاض محتوى الجبرلين.

الأفعال الفيزيولوجية للجبرلينات Physiological Actions of Gibberellin:

□ تشجيع استطالة الخلايا النباتية واستطالة السوق وإن كان محدود المدة، من خلال تمدد الخلية وزيادة نفاذية الأغشية وزيادة الفعالية الإنزيمية وزيادة الجهد التناضحي، وجمع البوتاسيوم والسكريات وبالتالي بناء وتطور الحموض النووية والبروتين. والتغلب على ظاهرة تقزم الساق الوراثي. يزداد المحور الطولي للورقة بالجبرلين بمعدل أكبر من المحور العرضي، وفي حال الأوراق المركبة يقل عدد الوريقات نتيجة المعاملة بالجبرلين، وعموماً، فالخلايا الفتية تميل للانقسام أما الخلايا الناضجة فتميل للاستطالة فمحصلة الاستطالة في النباتات المعاملة بالجبرلين ناتجة عن زيادة انقسام واستطالة الخلايا، وهو ليس ضرورياً لنمو الجذور.

□ يعوّض نباتات النهار الطويل والشتوية التي تحتاج شدة ضوئية معينة والتعرض لدرجة حرارة منخفضة لكي تزهر، إذ يدفع الجبرلين النباتات ذات النهار الطويل للإزهار عند وضعها في ظروف النهار القصير، والجبرلين لا يمكنه دفع نباتات النهار القصير للإزهار، إذ تؤدي معاملة هذه النباتات به إلى عدم الإزهار. استطالة سوق النباتات المتوردة والتزهير، تكون النباتات ذات النمو المتورّد غزيرة الأوراق قصيرة السلاميات، وهي عادة من نباتات النهار الطويل، وفيها تستطيل السلاميات جداً.

□ كسر سبات (سكون) البذرة الفيزيولوجي التي تحتاج درجات حرارة منخفضة (بدون الحاجة للتبويض) وتعويض الاحتياج الضوئية؛ ما يزيد معدّل الإنبات وانتظامه واختصار مدته وتنشيط نمو البراعم الساكنة، وتنشيط تفاعل الضوء Hill reaction في التركيب الضوئي، وتنشيط تفاعل الظلام (دورة كالفن)، والتغلب على تأثير الضوء المثبّط للنمو.

□ كسر سكون براعم درنات البطاطا الحديثة، ويعمل الجبرلين على تحلل الغذاء المخزن في طبقة الألورون (مثل حبوب الشعير). زيادة إنتاج الفروع الجانبية لاسيما الزهرية؛ ما يزيد عدد الأزهار والثمار.

□ تشجيع العقد البكري وتكوين وتميز الثمار اللابذرية، إنتاج ثمار لابذرية كما في الخوخ والمشمش، وإنتاج ثمار عنب بكرة/ لابذرية كبيرة الحجم. عند معاملة النباتات الأنثوية، ثنائية المسكن، بالجبرلين يغلب تكوين الأعضاء الذكرية فيها عند ارتفاع مستوى حمض الجبرلين GA3، يشترك مع عوامل أخرى في تحديد النسبة الجنسية للأزهار.

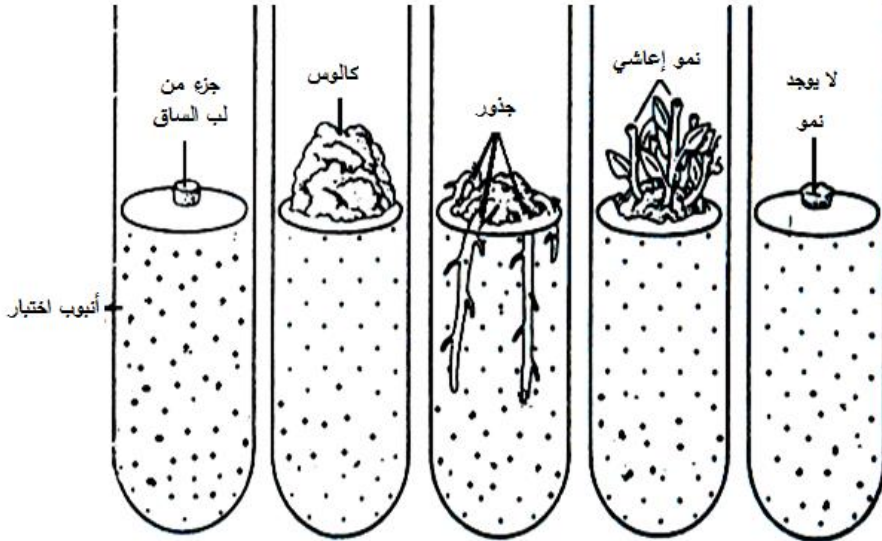
ويمكن مقارنة الجبرلين والأكسين كآلاتي:

يتصّف الأكسين بالانتقال القطبي وتنشيط تكوين الجذور العرضية ومنع استطالة الجذور والتأثير في تساقط الأوراق والسيادة القمية وتكوين الكالوس بعكس الجبرلين. يتصّف الجبرلين بالتأثير في تنشيط نمو النبات الكامل ولاسيما القزمية والتأثير في تنشيط الإنبات ويمنع السكون وتنشيط استطالة الشمرخ الزهري لثنائية الحول غير المرتبعة بعكس الأكسين.

● السيتوكينينات Cytokinins

السيتوكينينات هي هرمونات نباتية أساسية منشّطة للنمو، وتُظهر تأثيرات تنظيمية في النمو بطريقة تشابه مركب الكينيتين. تتكوّن السيتوكينينات في معظمها في المجموع الإعاشي ثم تنتقل إلى الأجزاء الأخرى في النبات بما فيها الجذر في قمم الجذور، وتتركز في الثمار والجذور ثم تتجمّع في الجنين، وتوجد في العقد الجذرية والقمم الانتهازية. والسيتوكينين الطبيعي في معظم النباتات هو الزياتين.

توجد في النباتات الراقية حرّة أو على هيئة مركّبات تدخل أساساً في تركيب t-RNA، الخاصّ بالحموض الأمينية، وترتبط بدرجة عالية بالجسيمات الريبية. تنتقل عبر الأوعية الخشبية الناقلة، فتساهم في النمو والانقسام وعمليات التركيب الضوئي وتتحول إلى مستقلّبات أخرى، ولهذا تعتمد الأوراق على الهرمونات لصون طبيعتها الحيوية، وانتقال السيتوكينينات سريع بعكس منظمات النمو الأخرى.



الشكل . تأثير الأكسين والسيتوكينين في تكوين الكالوس والمجموع الجذري والإعاشي.

أهم التأثيرات الفيزيولوجية للسيتوكينين في النبات:

□ تشجيع الانقسام الخلوي وزيادة حجم الخلايا، وتثبيط النمو الطولي، وزيادة تركيب الرنا مؤقتاً، يقلل معدل التنفس، تشجيع تكوين الكالوس والتشكل المورفولوجي في مزارع النسيج، تأثير الأوكسين والسيتوكينين في تكوين الكالوس والمجموع الجذري والإعاشي. منع الاصفرار لتأثيره الإيجابي في البروتين والاحتفاظ باليخضور ومنع تحلله. ويمكن الاستفادة من ذلك في تخزين بعض المحاصيل الورقية كالخس والبقدونس والسلق، تشجيع تكوين البراعم الجانبية في الأوراق، ومنع السيادة القمية.

□ جذب كثير من المواد والعناصر إلى مكان وجود الكينيتين أو الزينتين أو البنزيل أدنين، مثل الشوارد اللاعضوية وجزيئات عضوية كالسكر والحموض الأمينية وغالبية نسج الخشب واللحاء، ويسمى تأثير *Phyto gerontology*. إيقاف أو تأخير الهرم، يمنع تحلل البروتين، ومنع تحلل اليخضور وزيادة مقدرة الأوراق على الاحتفاظ باليخضور؛ لذلك يُستعمل لإطالة عمر المحاصيل الورقية، مثل: الخس والبقدونس مدة طويلة وصون الأزهار عند التصدير إلى الخارج.

□ كسر سكون البذور، وكسر سكون البراعم الزهرية وسكون الدرنات. إنتاج بعض أنواع الفاكهة بكرياً، إيقاف التساقط ومنعه مثل تساقط الأوراق والأزهار والثمار. □ زيادة حجم الثمار والبذور، تحويل الأزهار المذكورة إلى أزهار مؤنثة خنثى عن طريق تنشيط المبيض. تكوين الثمار البكرية.

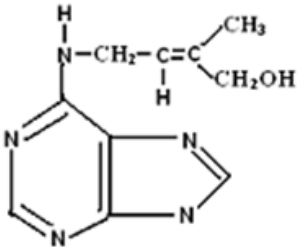
تدخل الأوراق السفلى في طور الهرم وتسقط، بسبب تظليل الأوراق العليا وعند فصل أوراق النبات ووضعها في الماء بحيث يلامس الجزء القاعدي للورقة تدخل الورقة في طور الهرم بسرعة، وإذا حدث تكوين جذور عرضية للأوراق المفصولة فإن ذلك يؤخر من دخولها في طور الهرم لأن السيتوكينين يتكوّن في قمم الجذور وينتقل خلال الأوعية الخشبية إلى الورقة.

هنالك مركبات صناعية مشابهة كثيرة غير أن الكينيتين والبنزيل أدنين هي مركبات صناعية فقط وأن الزياتين مركب طبيعي يوجد بكثرة عند نضج حبوب الذرة الصفراء.

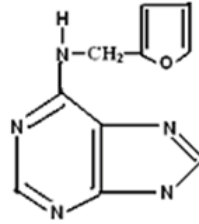
التفسير الواضح للسيادة القمية غير معروف بدقة!!.. تأثيرات بالهرمونات... وربما ضعف بالإمداد... أو ضعف بالأوعية الخشبية.. لذلك عند غياب السيطرة تتطور البنية ويزداد الإمداد... ويؤكد ذلك إضافة الأوكسين بعد تنشيط البراعم الجانبية.. وقد تبين أن

السيادة القمية يجري التحكم فيها عن طريق التوازن بين التراكيز الداخلية للسيتوكينينات وحمض الإندول الخلي. يمكن توجيه النمو نحو تكوين البراعم أو تكوين الجذور من خلال التحكم في النسبة بين الأوكسين والكينتين.

يمكن تركيب الكينيتين Kinetin بخلط الأدينين مع فورفوريل الكحول وتركها في الأوتوكلاف مدة، لكن السيتوكينين الطبيعي في معظم النباتات ليس الكينيتين بل هو الزياتين وتركيبه الكيميائي (.)



زياتين (الطبيعي) Zeatin



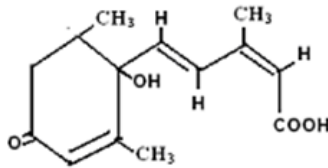
الكينيتين (الصناعي) Kinetin (6-furfurylaminopurine)

مثبطات النمو Growth inhibitors

مثبطات النمو هي مركبات ينتجها النبات طبيعياً تؤثر في تنظيم النمو ويكون تأثيرها في منطقة المرستيم القمي Apical meristem من خلال تحطيم أو إتلاف القمة النامية للنبات، مثل: حمض الأبسيسيك والإتلين والفينولات، وهناك من يضيف مواد البراسينوسترويدات.

■ حمض الأبسيسيك Abscisic acid ABA

حمض الأبسيسيك هو مركب استثنائي يشجع على غلق الثغور وزيادة مقاومة الإجهاد المائي أو الملحي الذي يتعرض له النبات، فهو هرمون تحمل الإجهاد.



حمض الأبسيسيك Absisic Acid

أهم التأثيرات الفيزيولوجية لحمض الأبسيسيك

□ تشجيع غلق الثغور. زيادة تركيز ABA يعمل على فقد الخلايا السمية لعنصر البوتاسيوم وكذلك فقدتها لحالة الامتلاء، وهذا يؤدي إلى غلق الثغور ويقلل نفاذية الخلايا

ويقلل التنفس، وعند غلق الثغور / عند الإجهاد المائي أو الملحي/ يزداد تركيز CO_2 ولو حصل إمداد النباتات بالماء ينخفض تركيز ABA في الخلايا السمية ويعود تركيز البوتاسيوم إلى حالته الطبيعية وكذلك حالة الامتلاء وينخفض تركيز CO_2 في الخلايا السمية وتفتح الثغور ويؤدي ذلك إلى سهولة دخول CO_2 إلى نسج الورقة وبالتالي حدوث عملية التركيب الضوئي.

□ تسريع فقد اليخضور ومنع تركيب البروتين، وتسريع دخول العضو النباتي في طور الهرم وتساقط الأوراق والأزهار والثمار الصغيرة، إحداث حالة سكون في بعض الأوراق النفضية والنباتات الخشبية، تسريع تحلل الصفيحة الوسطى ومكونات الجدار الخلوي، تسريع تكوين البكتيناز والسليلاز والبروتياز، طبعاً هنالك مواد أخرى كالفينولات، وعند رش أوراق الحمضيات في الصيف بمركب ABA تتساقط هذه الأوراق. ويطيل سكون درنات البطاطا وبراعم الحمضيات.

□ تنظيم الدورة السنوية لنمو وسكون البراعم عن طريق حدوث توازن بين المحتوى الداخلي من مثبطات النمو والجبرلين، ويحدث السكون في بعض الحالات إذا زاد المحتوى الداخلي من ABA وانخفض مستوى حمض الجبرليك 3 والعكس صحيح.

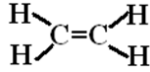
□ تأخير الإنبات، منع الإنبات عند معاملة البذور بعد فترة التتصيد. التأثير في سكون البذور عاريات البذور أو مغلفات البذور بعد النضج ولا تثبت حتى عند توفير جميع متطلبات الإنبات من رطوبة وحرارة وإضاءة. للحمض ABA دور منظم في عملية إنبات البذور، وهو ليس الوحيد في ذلك.

□ ينحصر سبب السكون في البذور في عدة حالات منها: بسبب عدم نفاذية قصرة البذرة للماء والهواء، عدم نضج الجنين، الحاجة إلى التخزين فترة بعد النضج، المقاومة الآلية لقصرة البذرة، وجود مثبطات في قصرة البذرة أو التركيبات المساعدة أو وجود المثبطات في اللحم المحيط بالبذرة كما في الثمار اللحمية الطازجة، احتياجات ضوئية خاصة أو عدم حاجتها للتعرض للضوء. الاحتياج لدرجة حرارة منخفضة 3 - 7 م مع التعرض للرطوبة وتسمى هذه العملية التتصيد، وقد أمكن كسر طور السكون للبذور الناتجة من الأشجار الخشبية النامية في المنطقة المعتدلة بإجراء عملية التتصيد.

□ تثبيط نمو الفروع، منع الأزهار في نباتات النهار الطويل منعاً كاملاً. ودفع نباتات النهار القصير نحو الإزهار، تأخير تفتح الأزهار، تشجيع نضج الثمار، تثبيط نمو القمّة النامية في بادرات الكلتيات والسويقة فوق الفلجية للشوفان وبادرات الرز.

■ الإيثيلين Ethylene

الإيثيلين هو أحد هرمونات النمو النباتي، ويسمى هرمون النضج الطبيعي للثمار. غاز متطاير استغرق 90 عاماً للاتفاق عليه بأنه هرمون، يؤثر غاز الإنارة Illumination gas في نمو النبات ويسبب تساقط الأوراق، يسبب الإثلين إسرار عملية الإنضاج وإعطاء اللون المميز للفاكهة مثل مادة الإيثيفون التي تستعمل مع التفاح والموز والبنندورة ومعظم الثمار كمصدر لغاز الإيثلين المسبب للنضج واللون والرائحة المميزة للثمار.



الإيثيلين Ethylene

□ يشجع الإيثيلين زيادة حجم الخلايا في الاتجاه الأفقي ويؤثر في معدّل الانقسام الخلوي، أي يمنع النمو الطولي، ويزيد سماكة الأجزاء النامية للبطاطا، يعدّل من طبيعة وخواص الجدر الخلوية واتجاه الألياف السليلوزية والبكتينية في الجدر الخلوية ما يجعلها أكثر مرونة مثل إنزيم السليلاز، ويزيد معدّل التنفس، يتحكم في تركيب الرنا وإنتاج الإنزيمات، ومؤثّر في معدل تركيب البروتين ونوعيته.

□ يتركب الإيثيلين طبيعياً في النسيج الخضراء والزهرية وفي الثمار والبذور، وهو منظم للنمو النباتي في جميع المراحل من الإنبات حتى الهرم. يزيد معدّل التنفس ونفاذية الأغشية الخلوية، يتنبط انقسام الخلايا ويزيد من تمدد الخلايا جانبياً.

□ يساعد البادرات على تحمّل الضغط الواقع عليها من حُببيبات التربة، عند الإنبات بزيادة سمكها، أي بزيادة قوتها الآلية والتقليل من ضرر الاحتكاك بحُببيبات التربة.

□ يؤثّر في فترات سكون البذور والدرنات والأبصال والبراعم، له تأثير في نمو براعم درنات البطاطا، يزيد من نمو براعم الكورمات والأبصال والعُقل. تشجيع تكوين ونمو الجذور والأوبار الماصة، لكنه يتنبط استطالة الجذور، يشجّع الإزهار في بعض النباتات ويثبطه في بعضها الآخر.

□ يرافق النضج الطبيعي للثمار زيادة كمية الإثيلين المنتجة، وتؤدي معاملة بعض الثمار بالإثيلين إلى التبرير في بدء عملية النضج والإسراع منها، كالتفاح، يؤثر في اصفرار ثمار الحمضيات.

□ يؤثر في الإنبات ونمو البادرات وفي طور السكون لبعض البراعم والبذور، تساقط الأوراق، يؤثر في الانجذاب الأرضي والضوئي والسيادة القمية، يغير النسبة الجنسية بزيادة عدد الأزهار المؤنثة على حساب المذكرة في القرعيات.

□ الأوكسين ضروري جداً لعمل الإثيلين أما غاز ثنائي أكسيد الكربون فيعمل على تثبيط نشاط الإثيلين، يؤثر الإثيلين في الثمار اللحمية، كالليونة وتحلل المواد المخزنة، وتغير الأصبغة والطعم، وتغير في معدل التنفس.

□ تختلف الاستجابة للأوكسين باختلاف التركيز، التراكيز المنخفضة مشجعة للنمو أما التراكيز العالية فهي مثبطة للنمو بسبب إنتاج الإثيلين، يزداد تركيز الإثيلين في المناطق التي تحتوي كمية من الأوكسين أكبر من التركيز الطبيعي كالجانب السفلي من البادرات في حال الانجذاب الأرضي والجانب المظلم منها في حال الانجذاب الضوئي، ويحدث تثبيط في نمو الجزء السفلي من الجذر وتثبيط في الجزء العلوي من الجذر، لكن يجب عدم الجزم بأن التثبيط في الجزء السفلي من الجذر (في الانجذاب الأرضي)، يرجع للإثيلين الذي ينتج من تأثير التركيز المرتفع للأوكسين، وهناك اعتراضات شديدة على التفسير. لا يوجد فرق في تركيز حمض الإندول الخلي بين كل من الجزأين العلوي والسفلي في الجذر عند الانتحاء الأرضي.

□ هناك دليل على مشاركة مثبط أو أكثر مثل حمض الأبسيسيك في غمد الجذر، ويمكن أن يتحرك قاعدياً ويعاد توزيعه في منطقة الاستطالة بالجذر، أي يحدث التثبيط لنمو خلايا منطقة الاستطالة، لكن هذا الحمض يتكون في غمد الجذر ويتحرك جانبياً فقط في قلسوة الجذر ولا ينتقل جانبياً في منطقة الاستطالة. فدور الحمض في إنتاج الإثيلين في الجذر مشكوك فيه.

□ في الإنبات الأرضي فإن السويقة الجنينية السفلى لا تستطيل، أما البرعم فيستطيل وينحني قرب النهاية ثم تقوم قمة الساق بدفع سطح التربة، ما يحمي البرعم، في الإنبات الهوائي تستطيل السويقة تحت الفلقية ما يدفع البرعم إلى أعلى سطح التربة، ما يحمي البرعم، هنالك ما يدعم دور الإثيلين.

□ عند رشّ الإثفون Ethephon المعروف تجارياً بالإثريل Ethrel على النبات تتحلّل وتعطي غاز الإثيلين داخل النسج النبات، وتسريع الإزهار وزيادة نسبة الإزهار المؤنثة إلى المذكورة كما في الفصيلة القرعية والتحكم في النمو الإعاشي بسبب زيادة الفروع الجانبية وتثبيط النمو الإعاشي أو تشجيع تكوين الجذامير.

● الفينولات Phenols

الفينولات هي مجموعة الحموض الفينولية Phenolic acids كحمض السيناميك، ومجموعة مركبات اللاكتون لحمض الكوماريك Lactons of Coumaric acid، والفلافونويدات Flavonoids. على عكس الهرمونات النباتية فإنها توجد بتركيز عالية في النباتات، إما حرّة أو مرتبطة بمواد أخرى مثل الغليكوزيدات، وهي أكبر المحتويات في النبات بعد السكريات مباشرة، لا يظهر التأثير المثبّط للمركبات الفينولية إلا عند وجودها بتركيز مرتفعة، وهناك مثبطات وهي مركبات ثانوية في النباتات، مثل: - duglone، cyanogenic، chlorogenic acid، Quinic acid، quinines، زيت الخردل والتربينات ومنها الزيوت العطرية التي تعدّ من مثبّطات النمو، ويرجع التأثير المثبّط للمركبات الفينولية في النمو لأن الفينولات تنشّط IAA-oxidase، وقد تتداخل بشدة في عملية الفسفرة التأكسدية، لكن بعض الفينولات الثنائية مثل caffeic acid والأحادية مثل coumaric acid تعدّ مثبّطات للإنزيم IAA-oxidase، ويرتبط تأثير الفينولات بتأثيرها في منظومة التحولات الغذائية ولا يعد تأثيرها كتأثير الهرمونات، والضوء مهم جداً ويساعد على تنشيط تركيب الفينولات المثبطة وتنشيط تركيب الإنزيمات المساعدة في هذه العملية.

تسريع تكوين الجذور على العُقل، زيادة عقد الثمار ومنع تساقطها، تشجيع إزهار النبات، تحفيز انقسام الخلايا، استطالة الخلايا، زيادة طول الساق التغلب على التقزم في النباتات، تأخير النضج والهرم وزيادة حيوية النباتات، السيادة القمية وتثبيط نمو البراعم الجانبية.

التغلب على سكون البراعم والبذور وتنشيط البراعم الساكنة. تشجيع العقد البكري في الثمار، إنضاج الثمار.

يُستعمل معظمها كمبيدات حشائش في المحاصيل المختلفة.

يزداد محتوى ABA في النبات لاسيما في الأوراق في حال تعرّض النبات لأي ظروف إجهاد Stress، مثل: نقص العناصر والجفاف والملوحة:- إجهاد غذائي ومائي وملحي وحراري، وزيادة ABA في هذه الحالات يؤدي إلى زيادة مقاومة النبات لظروف الإجهاد، وتحدث هذه الزيادة خلال دقائق من بداية التأثير، لكن تقل بسرعة عند إمداد النباتات الذابلة بالماء، لوحظ زيادة Dihydrophaseic acid و Phaseic acid في النباتات الواقعة تحت ظروف الإجهاد.

يؤدي الإجهاد المائي إلى زيادة معدّل ABA على معدل Dihydrophaseic acid و Phaseic acid وتصبح كميته ثابتة تقريباً، وعند إمداد النباتات بالماء ينخفض مستوى ABA وتعود حالة الامتلاء للخلايا.

وهناك معوّقات النمو Growth retardants، وهي مركبات مصنّعة تترك تأثيرات معاكسة لعمل الجبرلين، توصف بأنها تمنع انقسام واستطالة الخلايا في منطقة المرستيم تحت القمي، فتقلل من استطالة الساق، مثل: السيكوسيل CCC، الكلتار Cultar، Mo⁻، 1618، Phosphon-D التي يمكن منع تأثيراتها بإضافة الجبرلين، وإن استعملت هذه المركّبات لتقصير طول الساق.

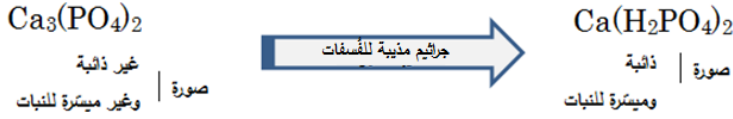
الأسمدة الحيوية Biofertilizers

الأسمدة الحيوية هي منتجات حيوية لها تأثير مميز في النمو النباتي والإنتاج، كالجراثيم المثبتة للنيتروجين تكافلياً، مثل: Rizobium، Frankia والبقوليات وجذور الأشجار، وكذلك الجراثيم الزرقاء أو الطحالب والفطريات لتكوين الأشن Lichens. والجراثيم المثبتة للنيتروجين لاتكافلياً (الحرّة)، مثل: جراثيم المحيط الجذري الذي يتميّز بغناه الغذائي والمحتوى من الأحياء الدقيقة، وتساعد الجراثيم النباتات من خلال مدها بكثير من المركّبات المهمة لتحسين النمو، وبالمقابل تحصل على العناصر الضرورية لنموها في التربة من النبات، مثل: جراثيم Azotobacter و Azospirillum.

ويقوم بعض الجراثيم بمعدنة الفسفور الموجود في البقايا النباتية والحيوانية في كثير من مركباتها العضوية، إذ تنشط في منطقة المحيط الجذري وتحرّر الفسفات الذي يستفيد منه النبات مباشرة. ومن أكثر الأحياء نشاطاً في تحليل مركبات الفسفور العضوية:

Flavobacterium, Enterobacter, Achroobacter, Streptomyces, Candida, Aspergillus.

ويقوم بعض الجراثيم بتحويل الصورة غير الذائبة (فسفات الكالسيوم الثلاثية $(Ca_3(PO_4)_2)$ إلى صورة ذائبة (فسفات كالسيوم أحادية) ودور هذه الأحياء الدقيقة مهم جداً في التربة المتعادلة أو المائلة إلى القلوية.



وتضم عدداً من الجراثيم والفطريات والشعبيات *Actinobacteria* الحرّة في منطقة المحيط الجذري، ومن أهم الأنواع المستعملة في التلقيح كسماد حيوي *Bacillus megatherium var. phosphaticum*، وتنتج عادة باسم فسفوبكتيرين أو فسفورين. وتوجد كذلك الفطريات الجذرية *Mycorrhizae* ذات العلاقة التكافلية مع النباتات خارج الخلوية أو داخل الخلوية، تعمل على تحرير الفسفور المرتبط بقوة مع أكاسيد الحديد (غير الميسر) وإتاحته للنبات. وتعمل جراثيم الكبريت (معدنية التغذية) على أكسدة الكبريت المعدني في التربة جيدة التهوية وفي وجود حمض الكبريتيك، مثل:

Thiobacillus, Leptospirillum, Sulfolobus, Sulfobacillus, Acidianus



ويمكنها أكسدة أملاح الكبريتيد والتيسلفات والتتراتيونات في الظروف الهوائية، ويمكن لبعضها أكسدة الكبريت لاهوائياً، مثل: *Thiobacillus denitrificans*. وتوجد أنواع من الأحياء الدقيقة تفيد كأسمدة حيوية لمعدنة المادة العضوية في التربة أو المضافة ومن أهمها:

Bacillus, Pseudomonas, Clostridium, Aspergillus, Penicillium, Trichoderma

ولبعض الأحياء الدقيقة مقدرة هائلة على تحليل الملوثات الغريبة *Xenobiotics* في التربة والتخلص منها، وقد تتكوّن عنها مواد سامة جداً، مثل:

Streptomyces, Pseudomonas, Xanthomonas, Mucor, Aspergillus, Trichoderma.

عند تلوث التربة بمخلفات المشتقات البترولية يمكن التخلص منها باستعمال الأحياء الدقيقة القادرة على أكسدة الهيدروكربونات.