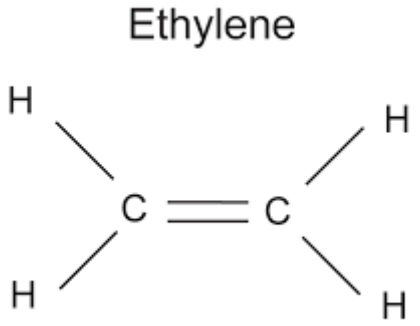
الأثيلين Ethylene



الاثيلين وتركيبه الكيميائي $CH_2 = CH_2$ (C_2H_4) هو غاز هايدروكاربوني غير مشبع Unsaturated Hydrocarbon عديم اللون اخف من الهواء قابل للذوبان في الماء تركيبه الكيميائي بسيط قياسا بالهرمونات النباتية الاخرى يمتاز بوظيفة رئيسية ترتبط بنضج الثمار لذا يطلق عليه هرمون النضج.

ان غاز الفحم او غاز الاضاءة Illuminating Gas المستعمل سابقا في انارة الشوارع يسبب تسربه ذبول اوراق الاشجار القريبة واصفرارها وسقوطها قبل اكتمال نموها الفسلجي، كما لاحظ مزارعي الحمضيات في كاليفورنيا / امريكا ان الغازات المنبعثة من احتراق مادة الكيروسين Kerosene التي تستعمل لتدفئة بساتين الحمضيات خلال مدة الانجمادات قد تحفز ثمار الليمون الخضراء على النضج والتلون، في عام 1951 لاحظ احد الباحثين ان شتلات البزاليا النامية في الظلام تظهر فيها اعراض ثلاثية هي نقصان استطالة الساق، زيادة النموات غير الطبيعية كالانتفاخات والنموات الشاذة وثالثا حدوث النمو الافقي وعند نقل هذه النباتات الى الهواء النقي فأنها تسترجع نموها الطبيعي، في الدول المنتجة للموز كان يحصد في مرحلة النضج الاخضر ويصدر بواسطة البواخر ليتحمل الشحن لمسافات طويلة اذ لوحظ ان ثمار الموز القريبة من محركات البواخر تكون ناضجة او تالفة قياسا بالثمار البعيدة وبعد الدراسة لوحظ ان الغازات والدخان المنبعث من محركات البواخر يولد غاز الاثيلين ممايتسبب في نضج او تلف الثمار.

لم تدرك اهمية الاثيلين كهرمون نباتي لأن الاعتقاد السائد انذاك هو ان تأثيرات الاثيلين هي ناتجة عن الاوكسين كما ان قياسه لم يتم الا بعد عام 1959 عند اكتشاف جهاز الغازكروموتوغرافي Gas Chromotography وتم قياس كميته في النسيج النباتي الى حدود 3-10 ملغم لتر$^{-1}$ وقد سجل رسميا كأحد الهرمونات النباتية عام 1962 وان بناءه وانتاجه وتراكمه وحركته وانتقاله وفعاليته ربما تشترك في حالات وتأثيرات فسلجية لاتتوافر في مجال فسلجة الهرمونات النباتية الاخرى.

طبيعة الاثيلين Ethylene Nature:

الاثيلين هو المركب الهايدروكاربوني الوحيد الذي له تأثيرات فسلجية على النبات وهو عبارة عن غاز اخف من الهواء، ابسط هرمون نباتي تركيبا، وزنه الجزيئي 28، غير سام، لايذوب بالماء بسهولة، سريع الاحتراق والاكسدة حيث يتأكسد في انسجة النبات كليا الى CO_2.

يتحرر الاثيلين بسهولة من الانسجة النباتية وينتشر كغاز من خلال المسافات البينية ثم خارج الانسجة النباتية وهذا يمكن ان يؤثر في خزن الثمار لذا يمكن امتصاصه في المخازن بأستعمال برمنغنات البوتاسيوم $KMnO_4$ مسببا اطالة مدة التخزين للثمار الصالحة للتسويق.

ان بناء وانتاج الاثيلين يعتمد على الظروف البيئية فدرجات الحرارة المرتفعة تؤدي الى زيادة انتاجه بينما يقل انتاجه بدرجات الحرارة المنخفضة وكذلك انخفاض نسبة الاوكسجين تقلل من انتاجه لذلك فعند خزن الفاكهة والخضر تحت ظروف مسيطر عليها Control Atmosphere Storage اي الخزن في جو هوائي معدل يجب ان تتوافر تراكيز عالية من غاز CO_2 (5-10%) ومحتوى منخفض من الاوكسجين O_2 (1-3%) حسب نوع الفاكهة والخضر مما ينتج عن ذلك تخفيض انتاج الاثيلين واطالة عمر الثمار القابلة للتسويق والاستهلاك.

يتشكل الاثيلين اما بالكيمياء الضوئية Photochemically مثل الغلاف الجوي والطبقات البحرية العليا او يتكون انزيميا بواسطة البناء الحيوي والاحياء الدقيقة، ان معدل انتاج الاثيلين يختلف بأختلاف النبات والجزء النباتي وعمره ففي الثمار تقدر كميته 1 نانولتر.غم$^{-1}$.ساعة من الوزن الطري (وهو يكون فعالا حتى بالتراكيز القليلة جدا) وتصل كميته في ثمار الموز الى 0.1 ملغم.لتر$^{-1}$ وفي ثمار الطماطة الناضجة الى اكثر من 2500 مايكرولتر.لتر$^{-1}$ وفي ثمار التفاح الى 2500 ملغم.لتر$^{-1}$ وسبب النسبة العالية في التفاح تعود الى وجود طبقة الكيوتكل التي تغلف الثمرة وتمنع الغاز من الخروج فتزداد كميته داخل الثمرة.

ان انتاج الاثيلين في الاوراق الحديثة اعلى من الاوراق مكتملة النمو لكنه يزداد في الاوراق المسنة التي بلغت الشيخوخة كما انه يتضاعف عدة مرات عند تعرض الجزء النباتي الى اي ضرر ميكانيكي بعد 30 دقيقة من التعرض ثم يعود الى مستواه الطبيعي بعد زوال المؤثر، ان الجذور تنتج الاثيلين بكمية اقل من النمو الخضري كما ان هناك علاقة بينه وبين الاوكسين فكلما زاد مستوى الاوكسين ازداد معه مستوى الاثيلين ان تأثير التداخل بين الاوكسين والاثيلين على تحفيز او تثبيط النمو يعتمد على تركيزهما في النبات لكن عموما ان الاوكسين هو محفز للنمو ولايمكن ان يكون مثبطا ولكن عندما يزداد مستواه داخل النبات الى الحالة الحرجة يزداد انتاج الاثيلين مما يؤدي الى تثبيط الحالة الفسلجية المعينة.

انتقال الاثيلين Ethylene Transport:

ان الاثيلين غاز في درجات الحرارة الاعتيادية ويمتاز بصغر حجم جزيئته وهذا يجعله يتحرك بحرية في انسجة النبات المختلفة عن طريق الانتشار الطبيعي دون الحاجة الى صرف طاقة (ATP) وان حركته تتم من خلال المسافات البينية بسبب سرعة ذوبانه في تكوين الاغشية البروتوبلازمية الحاوية على الفوسفوليبيدات Phospholipids وان حركته مشابهة لحركة غاز CO_2 وهو ينتقل بالأتجاه العمودي كالساق اسرع بعدة اضعاف من انتقاله بالاتجاه الافقي كالافرع الجانبية كما انه يتحرك في جميع الاتجاهات وليس بأتجاه واحد ويفقد الاثيلين الى المحيط الخارجي عن طريق الثغور والعديسات الموجودة بقلف الساق والثمار الناضجة والاجزاء المتضررة الا ان تركيزه داخل النسيج النباتي يكون دائما اعلى من المحيط الخارجي بسبب وجود طبقة الكيوتكل التي تعرقل فقدانه.

الية عمل الاثيلين في تحفيز تكوين طبقة الانفصال او التساقط:

المرحلة الاولى: ان الاثيلين يحدث تغيرات في الفعاليات الحيوية للأوكسين اذ يثبط الانتقال القطبي للأوكسين ويخفض مستوى الاوكسين القابل للانتشار كما ويعمل على هدم الاوكسين من خلال زيادة فعالية انزيم IAA-Oxidase.

المرحلة الثانية: يعمل الاثيلين على تحفيز الاحماض النووية خاصة RNA وتكوين البروتينات وزيادة فعالية بعض انزيمات التحلل مثل Cellulase و Pectinase التي تزيد من تحلل جدار الخلية الابتدائي والصفيحة الوسطى وبذلك يحدث تحطم سريع لطبقة الانفصال مما ينتج عنه حصول الانفصال او التساقط.

مثبطات عمل الاثيلين Ethylene Action Inhibitors:

1- تعد ايونات الفضة Ag^+ التي تكون على صورة نترات الفضة $AgNO_3$ او على صورة سلفات الفضة Silver Thiosulfate [$Ag(S_2O_3)_2^{-3}$] مثبطات فعالة لعمل الاثيلين فالتثبيط الذي يحدثه ايون الفضة لايمكن الغاءه او اعادة التحفيز بأيون معدني اخر.

2- التراكيز العالية من غاز CO_2 بمعدل (5-10%) تثبط عددا من تأثيرات الاثيلين كتثبيط تحفيز نضج الثمار الا ان الـ CO_2 اقل كفاءة من ايون الفضة.

3- مركب 1-Methylcyclopropane (MCP) ويطلق عليه تجاريا EthyBloc يكون فعالا في تثبيط عدد من التأثيرات الفسلجية للاثلين ويعد هذا المركب عديم الرائحة وقد تم تسجيله لأستعماله على نباتات الزينة بهدف زيادة مدة حياة الازهار المقطوفة Cut Flowers.

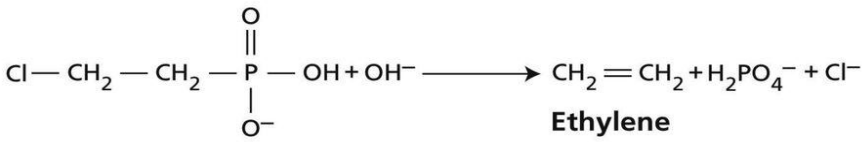
المركبات المحررة للأثيلين Ethylene Releasing Compounds (ERC):

ان التطبيقات العملية للاثيلين على المستوى التجاري لم تستعمل حتى عام 1963 بسبب كون الاثيلين غاز فأن استعماله على النبات يكون غير فعالا الا تحت ظروف البيئة المغلقة وان معاملة النباتات النامية في الحقل المكشوف يعد عملية غير تطبيقية وصعبة لذلك تم اكتشاف عدد من المركبات الكيميائية المحررة للأثيلين Ethylene Releasing Compounds (ERC) ومن اهم تلك المركبات الكيميائية المصنعة المحررة للأثيلين ولها دور مشابه لدوره هي:

الأيثريل او الأثيفون Ethrel او Ethephon:

اسمه الكيميائي (2-Chloroethyl) Phosphonic Acid ، الايثريل مركب ثابت بحالته الحامضية اذ ان الاس الهيدروجيني pH له يساوي (2.8) فيعد حامضا قويا الا انه يتحلل بسرعة عند ارتفاع الاس الهيدروجيني الى اكثر من (4) او الحرارة محررا غاز الاثيلين وان معدل الاثيلين المتحرر من الايثريل يزداد بزيادة الاس الهيدروجيني للوسط المعامل، نظرا لكون الاس الهيدروجيني لخلايا الانسجة النباتية اعلى من (4) فأن الايثريل يتحلل داخل هذه الخلايا بعد استعماله على النبات محررا الاثيلين بتفاعل مجموعة الفوسفات مع جزيئة الماء وازالة ذرة الكلورايد وحسب المعادلة الاتية:

22 In-Text Art, p. 667 Ethephon releases ethylene slowly by a chemical reaction



2-Chloroethylphosphonic acid (Ethephon)

PLANT PHYSIOLOGY, 5e, In-Text Art, Ch. 22, p.667 © 2010 Sinauer Associates, Inc.

ان استعمال الايثريل على النبات فعالا في احداث صفات الاستجابة للمعاملة بغاز الاثيلين داخل الانسجة النباتية ولهذا استعمل في عدد من العمليات الزراعية بصورة عامة والبستنية خاصة منها:

1- الاسراع في نضج الثمار.
2- تسهيل عمليات الجني في كثير من النباتات.
3- زيادة نسبة الازهار الانثوية الى الذكرية في بعض محاصيل الخضر.
4- تشجيع انبات البذور.
5- تسهيل عمليات خف الازهار والثمار لبعض اشجار الفاكهة.
6- تحفيز عملية التجذير في بعض الانواع النباتية.

لكل مركب فوائد اضافة الى بعض المضار فعلى سبيل المثال في الدول المنتجة للزيتون هنالك مشكلة في عمليات الجني خاصة في الدول الاوربية اذ يتم تصنيع مكائن خاصة لعمليات جني الثمار لكن هنالك مشكلة بقاء نسبة كبيرة منها على الاشجار لذلك استخدم الايثريل او الاثيفون لعمليات الجني اذ يستعمل بتراكيز مرتفعة 9000 ملغم لتر$^{-1}$ حيث يسبب تساقط 90% من الثمار الا انه يسبب ايضا تساقط 25% او اكثر من اوراق الشجرة المعاملة به وهذا يعد من العوامل المؤثرة في انتاجية الاشجار للسنة التالية بسبب انخفاض كفاءة عملية التمثيل الضوئي وتجنبا لهذه الصفة الغير مرغوبة نتيجة المعاملة بالايثريل فقد طورت شركة CIBA-GEIGY عام 1972 مركب اطلق عليه **الالسول (Alsol) واسمه التجاري CGA-13586** واسمه الكيميائي :
2-Chloroethyl-tris(2-Methoxy-ethoxy)-Silane وهو من المركبات المحررة للاثيلين الذي استعمل بدلا عن الايثريل في تسهيل عملية جني ثمار الزيتون والذي يمكن بواسطته تقليل مدة الجني والحصول على نسبة تساقط عالية فضلا عن عدم حصول ضرر او تأثيرات جانبية على الاشجار المعاملة به، ان الالسول ذو درجة حامضية متعادلة والاس الهيدروجيني له (7.1) وان جزء المركب الذي هو 2-Chloroethyl يعد جزءا فعالا للالسول وهو المسؤول عن تحرر

الاثيلين خلال تحلله المائي والذي يؤدي الى تحطم الانسجة في السويق الثمري مما يؤدي الى حدوث التساقط عند اجراء عملية الهز اليدوي او الميكانيكي.

ان الالسول يحرر غاز الاثيلين بسرعة اكبر بكثير من الايثريل عند ملامسته الماء الموجود في الانسجة النباتية المعاملة به بسبب ارتفاع الاس الهيدروجيني له ويكون تأثيره موقعيا على طبقة الانفصال للثمار لذا يوصى برشه.

التأثيرات الفسيولوجية للاثيلين Physiological Effects of Ethylene:

1- تساقط الاوراق والثمار Leaves and Fruits Abscission:

ان الاثيلين ذو تاثير وفعالية في تكوين طبقة الانفصال Abscission Layer في قاعدة عنق الورقة او الثمرة وتحفيز التساقط من خلال تحفيزه لأنزيم Cellulase الذي يحلل ويحطم الجدار الخلوي لخلايا طبقة الانفصال مسببا حدوث التساقط ، ان ظاهرة تساقط الاوراق والازهار والثمار ماهي الاعملية كيميائية حيوية نتيجة التفاعلات والتحورات المختلفة للتداخلات بين هرمونات الاوكسينات والجبرلينات والاثيلين وحامض الابسيسيك كما ان انزيم السليولوز يعمل على تحفيز وتكوين طبقة الانفصال وتحللها وحصول عملية التساقط والاثيلين يحفز نشاط هذا الانزيم عبر الية تم التطرق اليها سابقا.

2- تحديد الجنس Sex Determination:

ان الاثيلين يحفز من زيادة نسبة الازهار الانثوية على الازهار الذكرية في النباتات وحيدة المسكن Monoecious فنباتات العائلة القرعية التي تنمو تحت ظروف النهار القصير تكون ازهار مؤنثة بنسبة اكبر من الازهار المذكرة بسبب ارتفاع مستوى هرمون الاثيلين الطبيعي مقارنة بمثيلاتها النامية تحت ظروف النهار الطويل وقد يعزى سبب ذلك الى ان حرارة الصيف المرتفعة عن الشتاء التي تعمل على تحرر وتطاير الاثيلين سريعا خلال الصيف (النهار الطويل).

3- نمو وانبثاق البادرات Seedlings Growth and Emergence:

يسبب الاثيلين نوعا من الاستجابة يطلق عليها الاستجابة الثلاثية Triple Response لبادرات البزاليا الشاحبة او النامية في الظل وهذه الاستجابات هي تثبيط استطالة الساق، زيادة التوسع القطري (سمك) الساق وحركة الساق الافقية بتأثير الجاذبية الارضية حيث لوحظ ان تعريض نبات البرزاليا او الفاصوليا للاثيلين بتركيز 0.06 ملغم.لتر$^{-1}$ فأن الساق يتحول من النمو العمودي (سالب الانتحاء الارضي) الى النمو الافقي (موجب الانتحاء الارضي).

ان انبات البذور يصاحبها ارتفاع معدل الاثيلين لتنظيم النمو ولكن اذا ازداد كثيرا ينتج عنه توقف النمو لاسيما النمو الطولي للسيقان والجذور مسببا تقزم النبات مع زيادة قطر وسمك هذه الاجزاء والتي هي ناتجة استطالة وتوسع الخلايا وليس زيادة انقسامها وهذا التأثير يكون اكثر وضوحا في الظلام بالمقارنة مع وجود الضوء.

كما لوحظ ان الترب الطينية (المتماسكة) تسبب عدم تحرر الاثيلين من جذور النباتات مما يجعل نموها عرضيا وليس طوليا (زيادة سمكها وقطرها) اي تقزمها بعكس الترب الخفيفة المفككة

حيث ينتشر غاز الاثيلين من النبات الى التربة ثم الى الجو الهوائي خارج التربة مما ينتج عنه نقص في الاثيلين داخل النبات مسببا زيادة في استطالة الجذور والسيقان.

فضلا عن ذلك هنالك تاثيرات فسيولوجية اخرى تتلخص بالأتي:

4- تحفيز تكوين الجذور العرضية الا ان الاثيلين يعد مثبطا لنمو الجذور بصورة عامة.

5- تحفيز التزهير في بعض النباتات (الاناناس).

6- للأثيلين دور تنظيمي في نمو البذور وكسر طور السكون في بذور بعض النباتات (الخس والفول السوداني).

7- يحفز الشيخوخة وزيادة معدل التنفس بخاصة في الثمار التي تتصف بطور التنفس الحرج Climacteric Fruits.

8- تحفيز وزيادة نفاذية الاغشية الخلوية.

9- تحفيز فعالية ونشاط بعض الانزيمات مثل Cellulase و Peroxidase.

10- التداخل مع الانتقال القطبي للأوكسين.

PGRS