منظمات النمو الحديثة

اكتشفت حديثاً بعض منظمات النمو النباتية لها أدوار مختلف في نمو النبات وتكشفه منها:

1- ثلاثي الأكونتانول:

إن مركب ثلاثي الأكونتانول (Triacontanol) كحول أولي مشبع عزل في البداية من المجاميع الخضرية للبرسيم (Alfalfa)، وهو عديم الذوبان في الماء ومع ذلك، فإن المعلقات الغروية لهذا المركب تستحث، بصورة ملموسة نمو نباتات الذرة والطماطم والأرز وذلك عند رش أوراقها بتراكيز منخفضة منه.

2- البراسينات أو براسينات الاستيرويدات:

اكتشفت البراسينات (Brassins) أو البراسينات الستيرويدية (Brassinosteroids) حديثاً كمركبات منشطة للنمو، إذ عزلت أولاً من حبوب اللقاح لنبات اللفت، وعرف أن هذه المركبات ذات تأثيرات عديدة في نمو النبات، وتعمل بصورة جزئية بواسطة زيادة الحساسية للأوكسينات، لقد وجد أن هذه المركبات تستحث انقسام وتمدد الخلايا النباتية، فضلاً عن أن استعمالها مع منظمات النمو الأخرى يؤدي إلى بناء الأثيلين. تعد هذه المركبات مهمة في نمو النباتات وتكشفها.

3- حمض الساليسليك:

يعد حامض الساليسليك (Salicylic acid) المادة الفعالة في الأسبرين ويتميز بأهميته كمنظم نمو، لدوره في استحثاث بعض الاستجابات الفسيولوجية. منها المقاومة للإجهادات (حيوية ولاحيوية)، أدى وجود مركب حمض الساليسليك إلى إنتاج واحد أو أكثر من البروتينات ذات العلاقة بالممرضات التي تزيد من مقاومة الأمراض في الأوراق المصابة بالعدوى والأوراق المجاورة. وله دور في المقاومة الجهازية المكتسبة SAR (Systematic Acquired Resistance).

4- عديدات الامين:

عديدات الأمين (Polyamines) من المركبات التي تضم مجموعة أو أكثر من الأحماض الأمينية، بما في ذلك الحامضين الأمينيين اللايسين والأرجينين، توجد هذه المركبات حرة أو متحدة مع مركبات فينولية متعددة وعلى العكس من منظمات النمو النباتية التي توجد غالباً في الأنسجة النباتية بتركيزات قليلة تقدر بالميكروجزيئي فإن مركبات عديدات الأمين توجد بتراكيز الملي جزيئي ومن التأثيرات الفسيولوجية العديدة لهذه المركبات استحثاثها للانقسام الخلوي وتثبيت الأغشية، وتثبيت البروتوبلاست المعزولة (ربما

يحدث ذلك بتأثيرها في الأغشية) واستحثاثها لنمو بعض الثمار، وتقلل من الإجهاد المائي في أنواع متعددة من الخلايا وتأخر اصفرار الأوراق المفصولة. وهناك أنواع أخرى من المنظمات النباتية مثل: الفينولات، المورفاكتين، حامض الابسيسك، حامض الجاسمونيك.

الأثيلين

تاريخ الاكتشاف:

عرف الأثيلين (Ethylene) في الماضي بأنه غاز هدروكربوني بسيط ($H_2C=CH_2$)، وحديثاً يعد هرموناً نباتياً. عرف منذ القدم تأثيرات غازات معينة في نضج الثمار، حتى أن الصينيون القدماء عرفوا أن الفاكهة المقطوفة تنضج سريعاً، إذا ما وضعت في غرفة بها موقد للحرارة.

صدر في القرن التاسع عشر الميلادي تقرير من وزارة الزراعة في جامايكا يوصي بعدم تخزين ثمار البرتقال مع الموز في السفن عند نقلها لأن بعض الغازات المنبعثة من البرتقال تؤدي إلى نضج الموز قبل الأوان (البرتقال السليم لا ينتج في الغالب غاز الأثيلين، ويحتمل أن مصدر هذا الغاز من البرتقال المصاب ببعض الفطريات). يعد هذا التقرير المؤشر الأول الذي يفيد أن الفاكهة تطلق غازاً يعمل على نضج الثمار. لم يحدث إي تقدم في هذا الصدد حتى عام 1934 م، عندما تأكد أن الأثيلين تنتجه النباتات وهو المسؤول عن تعجيل النضج. لقد أشارت تقارير قديمة ترجع إلى عام 1846 م، إل أن غاز الأثيلين له تأثيرات أخرى تتلخص في أن المدن الأوروبية كانت تضيء الشوارع الرئيسة بغاز الإنارة قبل استخدام المصابيح الكهربائية، وحدث تسرب للغاز في بعض المدن الألمانية من الأنابيب الموصلة، مما أدى إلى تساقط أوراق الأشجار. اتضح أن السبب الرئيسي في حدوث تساقط الأوراق واصفرارها يرجع إلى غاز الأثيلين المستخدم في إنارة تلك الشوارع.

خصائص الاثيلين:

غاز الأثيلين يؤثر في نمو النباتات، إذ تم التعرف على أن هذا الغاز يحدث استجابة ثلاثية (Triple response) في بادرات نبات البازلاء (البسلة)، تتمثل في إعاقة استطالة الساق وزيادة سمكه، وحدوث النمو الأفقي، فضلاً عن انه يعيق تمدد الأوراق، ويؤخر من تفتح الخطاف في السويقة الجنينية العليا (Epiocotyl). أشارت بعض الأبحاث إلى أن الاثيلين يشجع نضج الثمار وتكوين مواد نباتية عديدة وبصورة خاصة الثمار اللحمية، مما دعا بعض الباحثين إلى الافتراض بأن الأثيلين ربما يكون منظماً للنمو

الداخلي التكوين، وربما يعد هرمون النضج. ونظراً لعدم توافر التقنية لتحليل كميات قليلة نسبياً من الغاز (في وقتها) للأنسجة النباتية، ولم يحظ الأثيلين باهتمام العلماء إلا بعد مرور مدة تقدر بنحو 24 سنة. وفي نهاية الخمسينات من القرن العشرين، زاد الاهتمام وتوسع في الكيمياء الحيوية للأثيلين وفسلجته، مما أدى إلى معرفة أنه يعد مكوناً طبيعياً لأيض النبات ويتكون في الأنسجة الإنشائية والمسنة والمصابة بالأمراض وله تأثير منظم، أو تأثير في نمو النبات وتكوينه، عموماً خلال حياة النبات. ومن أهم تأثيراته الفسيولوجية:

1- الاستجابة الثلاثية لبادرات الفول الشاحبة، أي تقليل استطالة الساق والورم الفطري (الانتفاخ) للساق وحدوث النمو الافقي للساق (الانتحاء الأرضي السالب Diageo tropism of stems).

2- استحثاث نضج الثمار (خاصة اللحمية)، وانفصال الأوراق، وتكوين الجذور العرضية، والإزهار خاصة في نبات الأناناس، وانحناء الأوراق إلى الأسفل (Epinasty)، وزيادة نفاذية الأغشية، وتكوين القمة الخطافية (Hook) لبادرات نبات الفول.

3- تثبيط نمو الجذور، وتكشف البراعم الجانبية (الإبطية)، وقلة اللون في بعض أنواع الأزهار.

طرق التعرف وقياس الأثلين:

حديثاً اهتم علماء الفسيولوجيا بدراسة الخواص الفسيولوجية والتركيب الكيميائي لغاز الأثيلين بتطبيق التقنية المكتشفة حديثاً لعمل جهاز الفصل اللوني الغازي GLC (Gas Liquid Chromatography) للكشف عن الأثيلين والتعرف علية. تعد هذه خطوة متقدمة للكشف عن هذه المركبات وبدقة عالية مقارنةً مع التقنيات القديمة المستعملة سابقاً. وباستعمال الـ GLC يمكن قياس كمية جزء من المليون أو أي كمية قليلة بحدود 10^{-3} جزء من المليون. لذا أصبح من الممكن الكشف عن الأثيلين الذي تنتجه العديد من الكائنات الحية بسهولة بواسطة جهاز اللوني الغازي (GLC)، لأن جزيئات الغاز يمكن سحبها من الأنسجة النباتية تحت التفريغ (Under vacuum)، ولان جهاز الفصل اللوني الغازي (GLC) شديد الحساسية في الكشف عنه.

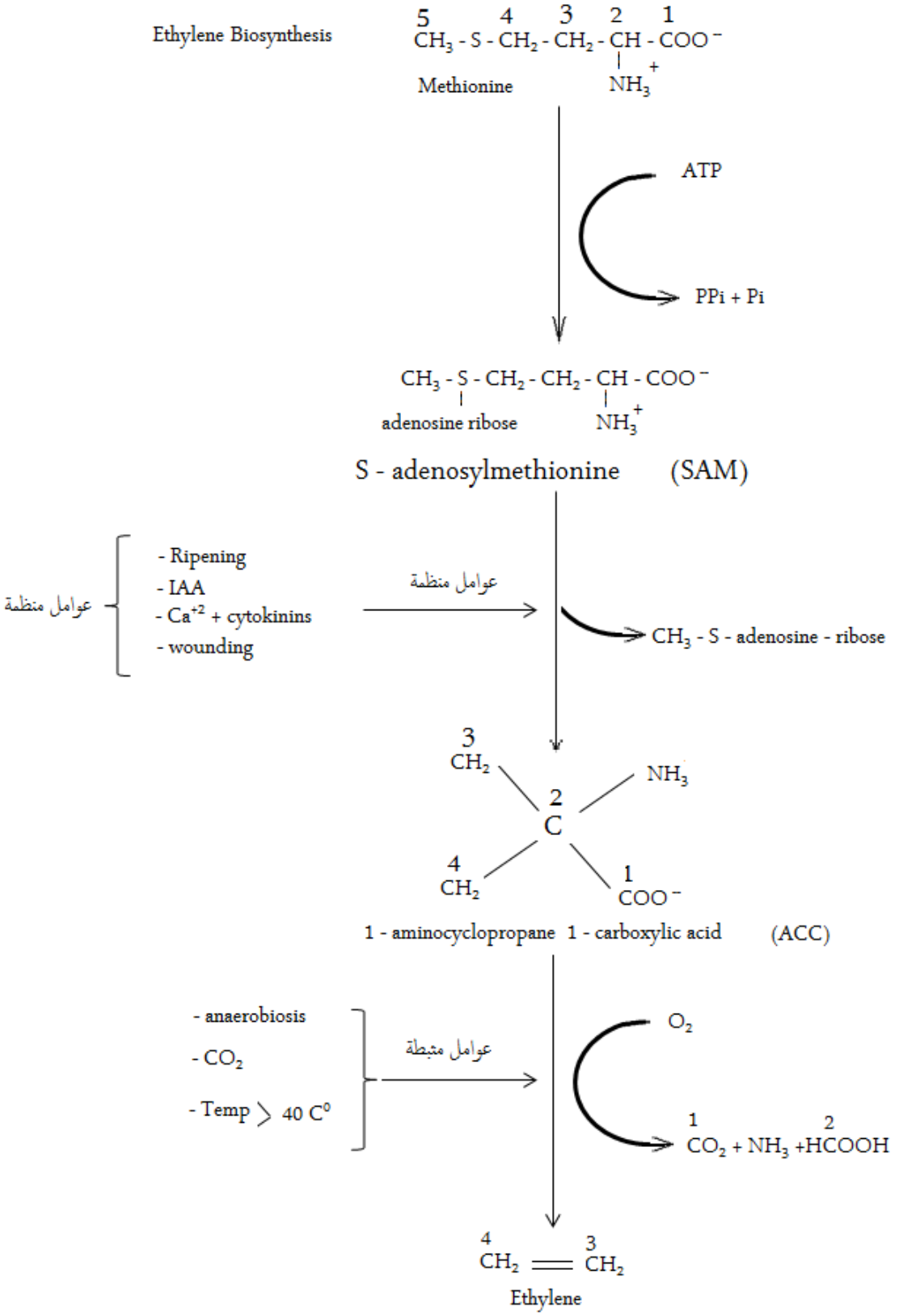
بناء الأثيلين:

تستطيع أعداد قليلة من البكتيريا إنتاج غاز الأثيلين، ولا يعرف من الطحالب أنها تستطيع إنتاجه، علاوة على أن تأثيره ضئيل في نموها. من ناحية أخرى، عرف أن العديد من أنواع الفطريات تنتج الأثيلين، بما في ذلك الأنواع التي تنمو عادة في التربة. وفي الحقيقة تنتج كل أجزاء النباتات البذرية الأثيلين إذ تعد

قمة المجموع الخضري للبادرات أهم موقع لإنتاج الأثيلين. وعقد بادرات ذوات الفلقتين تنتج الأثيلين أكثر مما تنتجه السلاميات عند مقارنة أوزان متساوية من الأنسجة. والجذور تحرر كميات قليلة نسبياً من هذا الغاز إلا أن معاملتها بالأوكسين تسبب (في العادة) زيادة معدل تحرر الغاز. يزداد إنتاج الغاز في الأوراق عامة ببطء حتى تصبح الأوراق هرمة وتسقط. تكون الأزهار مركب الأثيلين وخاصة قبل أن تذبل وتتساقط. ينتج قليل من الأثيلين في العديد من الثمار حتى قبل مرحلة التحول الحرجة في التنفس التي تعطي مؤشراً على نضجها وذلك عندما يرتفع محتوى هذا الغاز في الفراغات البينية الهوائية بشكل ملحوظ.

أوضح كثير من الباحثين، أن الأثيلين يشتق من ذرتي الكربون الثالثة والرابعة من الحامض الأميني الميثيونين (Methionine)، وأجريت تجارب مهمة ومتقدمة في جامعة كاليفورنيا، أوضحت أن المركب الشبيه بالحامض الأميني المسمى 1-Amino-cyclopropane-1-carboxylic acid (ACC)، يعد المركب البادئ والمهم في بناء الأثيلين. يوضح الشكل 1. أحد مسارات بناءه، إذ يلاحظ أن ذرة الكبريت في الحامض الأميني الميثيونين محفوظة بحلقة لعمليات الاسترداد، ومن دون عملية الاسترداد هذه فإن كمية الكبريت المختزل قد تحد من مقدار الميثيونين ومن معدل بناء الأثيلين. من السمات الأخرى الملاحظة في هذا المسار أن مركب ثلاثي فوسفات الأدينوسين (ATP) ضروري لتحويل الميثيونين إلى إس- أدينوسيل ميثايونين SAM (S-Adenosyl Methionine) وأن الأوكسجين مطلوب في التحول النهائي لمركب (ACC) إلى الأثيلين.

شكل 1. أحد مسارات البناء الحيوي لغاز الأثيلين



ا.د. ثامر عبد الله زهوان
ا.م.د. طه شهاب احمد

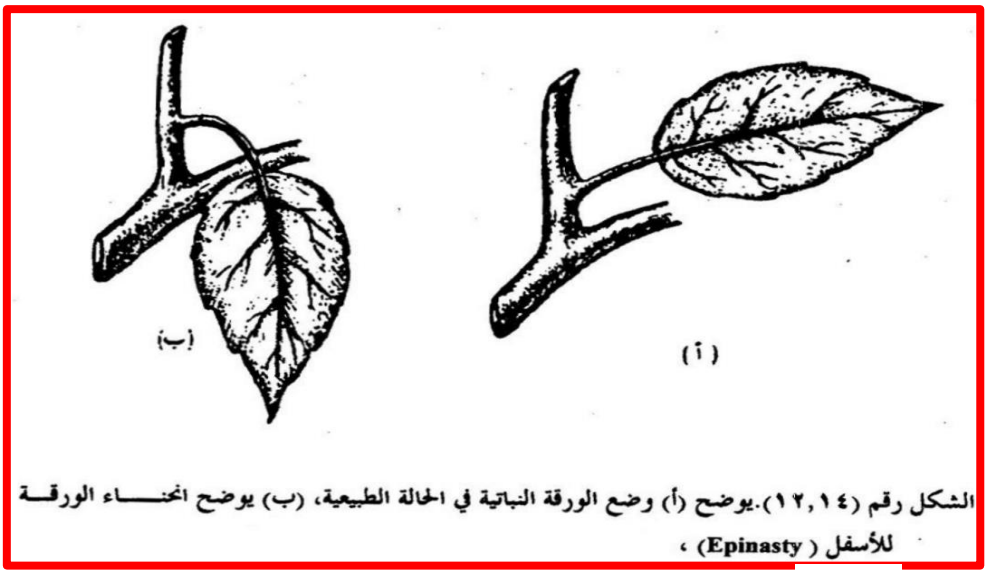
اكتشفت مادتان قويتان تثبطان بناء الأثيلين وكلتاهما من المواد النافعة في دراسة مسار تكوين الأثيلين ومعرفته، ودراسة إنتاج الأثيلين المختزل في الأنسجة. هذه المركبات Amino ethoxy vinyl glycine (AVG) وAmino oxy acetic acid (AOA) وهذه المركبات معروفة جداً كمثبطات للإنزيمات التي تتطلب فوسفات البيريدوكسال (Pyridoxal Phosphate) كمساعدات إنزيمية. يعمل كل من مركب AVG و AOA على إيقاف تحويل مركب SAM إلى ACC، ولكن لا يوجد لهما تأثيرات أخرى مهمة في المسار. توضح الدراسات التي تناولت الإنزيم النقي، أن إنزيم ACC سينثيتيز (ACC Synthase) إنزيم يعتمد غلى فوسفات البيريدوكسال، ويحفز التفاعل النهائي – في مسار تحويل ACC إلى أثيلين – بإنزيم مؤكسد يعرف بالإنزيم المكون للأثيلين EFE (Ethylene-forming enzyme)، هذا الإنزيم لم تتم تنقيته تنقية جيدة، ويحتمل أن يكون ذلك راجعاً إلى ارتباطه الشديد داخل أو على الغشاء.

يزيد أندول حمض الخل (IAA) من تكوين الأثيلين بكميات كبيرة تصل إلى مئات الأضعاف في سيقان بادرات نبات الفاصوليا والبسلة، إذ تستحث الأوكسينات في مثل هذه الأنسجة وأنسجة نباتات أخرى تكويناً إضافياً لإنزيم ACC سينثيتيز، ونتيجة لتأثير هذا الإنزيم يستحث تكوين مركب ACC الذي يقود إلى زيادة إنتاج الأثيلين. تزيد الجروح أيضا من إنتاج الأثيلين وذلك باستحثاث تكوين إنزيم ACC سينثيتيز في مدة النضج الحرج للثمار.

التأثيرات الفسيولوجية لغاز الأثيلين:

أولاً: تأثير الأثيلين في النباتات النامية في التربة المشبعة بالماء:

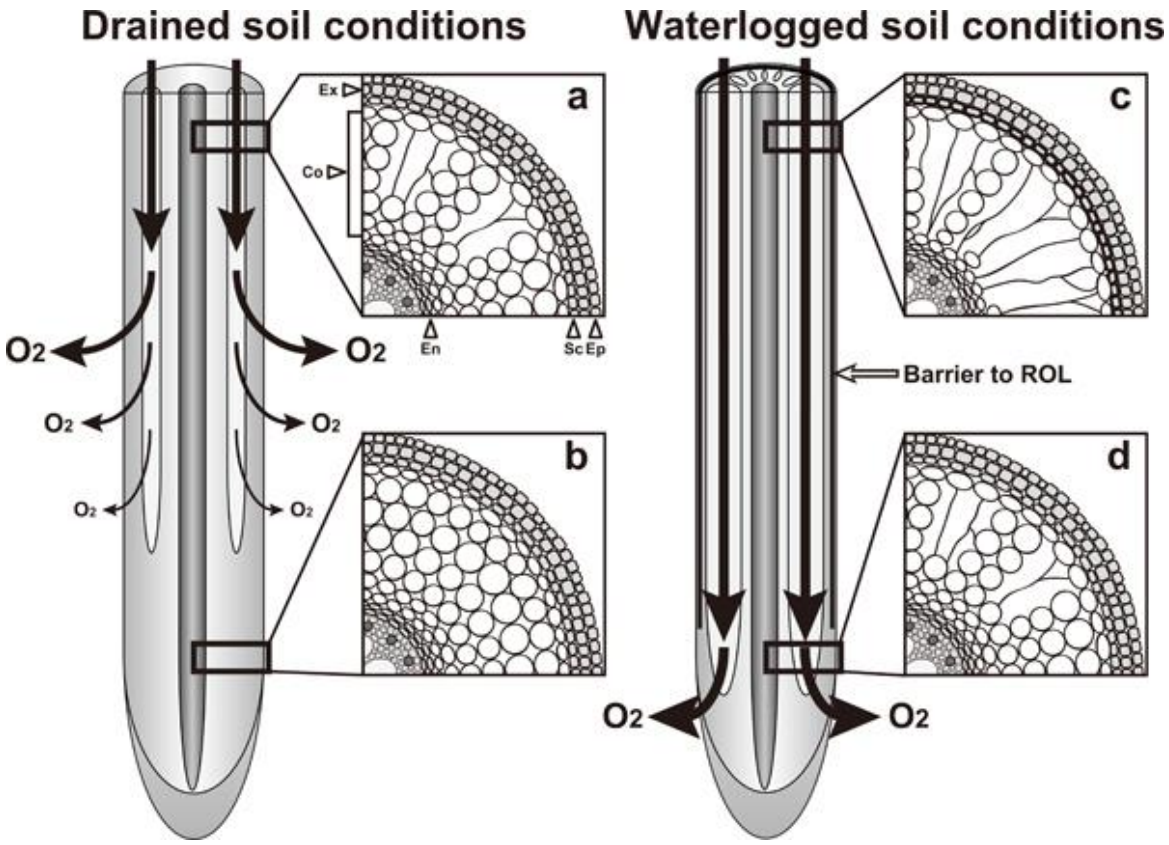
نظراً إلى ضرورة توافر الأكسجين لتحويل مركب ACC إلى أثيلين فالمتوقع أن تنتج الجذور المشبعة بالماء أثيليناً أقل. هذا التوقع حقيقي لكن نبات الطماطم المشبع بالماء يظهر مع ذلك أعراض التسمم بالأثيلين. يكون بعض هذه الأعراض مميزاً للنباتات من هذه الأعراض شحوب الأوراق اصفراراها (Chlorosis) ونقص استطالة الساق مع زيادة سمكها والذبول وانحناء الأوراق للأسفل (Epinasty) كما يبينها الشكل 2. المؤدي إلى سقوطها والنقص في استطالة الجذور الذي غالباً ما يصاحب بتكوين جذور عرضية وزيادة الحساسية للإصابة بأمراض الأحياء الدقيقة. تتكون في كثير من الأصناف النباتية بما في ذلك الطماطم خلايا هوائية (Aerenchyma) في قشرة الجذور (شكل 3) مما يزيد من حركة الأكسجين نحو الجذور من المجموع الخضري.



الشكل رقم (١٤,١٢).يوضح (أ) وضع الورقة النباتية في الحالة الطبيعية، (ب) يوضح انحنـــاء الورقـة للأسفل (Epinasty) ،

2

شكل 2. يبين ذبول وانحناء الاوراق



شكل 3. يبين الخلايا الهوائية

تصبح التربة المشبعة بالماء بسرعة شحيحة في الأوكسجين (Hypoxis)، لأن الماء يملأ الفراغات الهوائية فيها، ويقل الوجود المثالي للأوكسجين حول الجذور، نتيجة للحركة البطيئة جداً للغاز خلال الماء، وهذا بالنتيجة يعيق عملية بناء الأثيلين، لأن الأكسجين متطلب لتحويل مركب (ACC) إلى الأثيلين الذي تم بناؤه في الجذور، وجد أن هذا الأثيلين يستحث بعضاً من القشرة (Cortex) وخلايا القشرة (Cortical) لبناء إنزيم السيليوليز (Cellulase)، وهو إنزيم يسبب تحللاً مائياً (Hydrolyzes) للسيليلوز ويعد مسؤولاً عن تحلل جدر الخلايا وبذلك تفقد خلايا القشرة ومحتواها من البروتوبلاست، ومن ثم تختفي مكونة نسيجاً مملوءً بالهواء يسمى النسيج الهوائي (Aerenchyma tissue).

ثانياً: انحناء الأوراق إلى الأسفل:

قبل تكون النسيج الهوائي وتطوره، يتجمع مركب ACC وينتقل من نسيج الخشب إلى المجموعات الخضرية، ومن ثم يتحول إلى أثيلين الذي يحدث بدوره انحناء الأوراق بسبب استطالة الخلايا البرنكيمية على الجانب العلوي من العنق في وجود الأثيلين، بينما لا يحدث الشيء نفسه على الجانب السفلي من العنق. أن هذا الاختلاف الفسيولوجي في الشكل الظاهري لخلايا متشابه غير مفهوم، لكنة يؤكد مرة أخرى أن الخلايا تكون هدفاً لمنظم النمو المعطى. ووجد أن الأثيلين يؤخر استطالة الساق، ويزيد من تمددها القطري، ويسبب اصفرار (شيخوخة) الأوراق ويستحث تكوين الجذور عرضية على الساق مثل نبات الطماطم.

ثالثاً: استطالة السوق والجذر:

مع أن الأثيلين يحدث نمواً شاذاً للأوراق (Epinasty) نمو إلى الأسفل، باستحثاث خلايا العنق العلوية، فإنه عادة ما يعيق استطالة السوق والجذور، خاصة في النباتات ذوات الفلقتين. عند إعاقة الاستطالة تصبح السوق والجذور أكثر سمكا بفعل التمدد القطري للخلايا. إن سمك الجذور والسيقان الناشئة عن تأثير الأثيلين ذو قيمة بقاء على قيد الحياة (Survival) لبادرات ذوات الفلقتين المنبثقة من التربة. في هذه الأنواع يتكون الخطاف استجابة للأثيلين الداخلي بعد حدوث الإنبات بمدة قصيرة ثم يندفع الخطاف إلى أعلى مخترقاً التربة مكوناً ثقباً تتمكن الفلقات أو الأوراق الصغيرة من البزوغ خلاله بأمان. فإذا كانت التربة متماسكة جداً يصبح الخطاف والجذور الأولى سميكة جداً ويحتمل أن يكون سبب ذلك أن الأثيلين يتم بناؤه

بصورة أسرع عند تعرض تلك الخلايا لمزيد من الضغط الآلي لأن الأثيلين يتسرب بسرعة أقل في التربة المتماسكة. يزيد هذا السمك من قوة كل من السوق والجذر مما يسمح لهما بالاندفاع خلال التربة المتماسكة.

رابعاً: تأثير الأثيلين في نمو السويقة الجنينية الوسطى:

للأثيلين تأثيرات في محاصيل الحبوب كالذرة، والشعير، والشوفان في السويقة الجنينية الوسطى (Mesocotyl) الناشئة من أول سلامية مشابهة لتلك التأثيرات في سيقان ذوات الفلقتين، من حيث تثبيط الاستطالة وزيادة السمك. وفيما يخص تعميم هذا التأثير على جميع النباتات النجيلية فهو إلى وقتنا الحاضر غير معروف.

خامساً: تأثير الأثيلين في الإزهار:

إن استحثاث عملية الإزهار في نبات المانكو (Mango) على سبيل المثال بواسطة الأثيلين (كما ذكرت بعض الأبحاث) عمل غير مألوف في معظم الأنواع النباتية، لأن هذا الغاز يثبط الإزهار. ومع ذلك فإن الاستخدام غير المباشر للأثيلين في استحثاث عملية الإزهار يستخدم بكثرة في إنتاج الأناناس في هاواي ففي العقد الخامس من القرن العشرين كانت الحقول ترش في الغالب بأوكسين Naphthalene acetic acid (NAA)، والمعروف حالياً أنه يساعد في بناء الأثيلين في النباتات. ونتيجة لذلك فإن حقول الأناناس تزهر بشكل أسرع. والأهم من ذلك تظهر الثمار الناضجة في وقت واحد تقريباً وهو ما يسمح بجمع المحصول بطريقة آلية مرة واحدة وهذا بلا شك له مردود اقتصادي جيد.

سادساً: الأثيلين ونضج الثمار:

بينت الدراسات العلمية عن كيفية حفظ الثمار بالغاز (Gas storage) أو جو الخزن المنظم (Controlled atmosphere) للحفظ، إذ عرف أن الأوكسجين ضروري لتكوين الأثيلين، وغاز ثاني أكسيد الكربون يثبط عمل الأثيلين. وتتضمن عملية الحفظ بالتحكم بصورة رئيسية بخزن الثمار في جو غني بغاز ثاني أوكسيد الكربون (5 إلى 10 %) ومحتوى منخفض من الأوكسين (1 إلى 3 %)، وكمية قليلة جداً من الأثيلين. أما فيما يخص بعملية حفظ الثمار تجارياً فإنها تتم بخزن الثمار في غرفة معزولة عن الهواء، وبدرجات حرارة منخفضة ومحتوى منخفض من الأوكسين. ويلاحظ أن نسبة ثاني أكسيد الكربون تزداد نتيجة لتنفس الثمار. يمتص الأثيلين المتكون من الثمار بواسطة مرشحات الفحم والبرومين.

سابعاً: بعض التأثيرات الأخرى للأثيلين:

يحدث الأثيلين آثاراً أخرى متعددة في النبات، بعضها لم يأخذ قدراً كافياً من الدراسة. من الأمثلة القليلة التي درست جيداً، استحثاث شيخوخة (اصفرار) الأزهار. فكما في ثمار الفترة الحرجة، يسلك العديد من الأزهار ارتفاعاً حرجاً في التنفس وفي إنتاج الأثيلين، ففي هذه الأزهار يسبب الأثيلين شيخوخة (Senescence) واضحة. وفي الحقيقة، كما في الثمار، يوجد دليل على أن خلايا التويجيات تصبح على قدر عال من الحساسية للأثيلين، فهي تستجيب لانطلاق الأثيلين المحفز، كما تستحث بناء إنزيم (ACC) سينيثيتيز. وبعد ذلك تبدأ التويجيات في الحال في الذبول استجابة للزيادة في نفاذية الغشاء البلازمي والغشاء حول الفجوة العصارية، التي يعقبها فقدان للمواد الذائبة ومن ثم الماء إلى جدران الخلية ومن المحتمل إلى الفراغات البينية. في بعض الأنواع النباتية يزيد التلقيح من معدل إنتاج الأثيلين، ويعد مركب (ACC)، أحد المواد التي تنتقل من الميسم (Stigma) مؤدية إلى تحرير الأثيلين ومن ثم الشيخوخة.

ويوجد تأثير آخر للأثيلين في بعض الأنواع النباتية هو تشجيع تكوين الجذور العرضية، وهو التأثير الذي يحدث، أيضاً (بصورة مستقلة) بواسطة الأوكسينات. يؤثر الأثيلين أيضاً في جنس الزهرة وفي الأنواع أحادية المسكن ومن الأمثلة على ذلك القرعيات كالقرع (Squash)، واليقطين (Pumpkin)، والبطيخ (Melon)، إذ يستحث الأثيلين بقوة تكوين الأزهار، وزيادة نسبة الأزهار المؤنثة في النباتات الثنائية المسكن.