٥- المعاملة بالمركبات المانعة لتمثيل الإثيلين، مثل aminovinylglycine (اختصارًا: AVG)، والكوبالت الذى يثبط الـ ACS. ولكنهما لا يمكن استعمالهما بعد الحصاد.

٦- تثبيط تمثيل الإثيلين بخفض تركيز الأكسجين وزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الجو المحيط، أو بالتغليف بالمواد التى يمكن أكلها edible coatings، أو بخفض درجة الحرارة.

٧- اللجوء إلى الهندسة الوراثية لخفض إنتاج الثمار من الإثيلين؛ فلقد أمكن فى الطماطم – على سبيل المثال – الحد من نشاط الإنزيمات الرئيسية المسئولة عن تمثيل الإثيلين والتى منها: ACS، و ACO، ومستقبل الإثيلين، و ACC deaminase، وذلك بطرق الهندسة الوراثية (Baldwin ٢٠٠٤).

الإنضاج بالإثيلين

إن جودة بعض المنتجات تزداد إذا ما تم حصادها وهى مكتملة التكوين mature، بحيث يمكنها تحمل ظروف الشحن ومدته، ثم معاملتها بالإثيلين لتحفيز نضجها قبل عرضها للبيع. ومن هذه الثمار: الأفوكادو، والموز، وشهد العسل، والليمون، والبرتقال، والطماطم. ويعد تركيز غاز الإنضاج فعّالاً عند ١٠٠–١٥٠ ميكروليتر إثيلين لكل لتر من هواء المخزن.

ويمكن التوصل إلى ذلك التركيز بعدة طرق، كما يلى:

١- طريقة الطلقة 'shot' method .. وفيها يتم إدخال كمية كبيرة نسبيًا من الغاز فى حجرة الإنضاج بالاعتماد على مقياس يوضع على أنبوبة الغاز المضغوط. وتجدر الإشارة إلى أن تواجد الغاز على الهواء بتركيزات تتراوح بين ٣,١٪، و ٣٢٪ يكون متفجرًا. وبينما تبلغ هذه التركيزات الخطرة أكثر من ٢٠٠ ضعف تلك الموصى بها، فإنها حدثت بالفعل عندما لم تكن أجهزة قياس الغاز سليمة. ويمكن التخلص من تلك المشكلة باستعمال الغاز المضغوط بتركيز ٣,١٪ فى النيتروجين.

٢- استعمال مولدات لغاز الإثيلين والتى يسخن فيها الغاز المسال لإنتاج نحو ١٠-١٠٠ جزء فى المليون من الغاز بصورة دائمة حتى ٢٤ ساعة.

٣- استعمال معدن ساخن فى تحويل الكحول إلى إثيلين catylalytic converters. وهى تفيد فى إدخال تيار مستمر من الغاز فى حجرة التخزين.

٤- يمكن المعاملة بالإثيلين فى صورة منتجات سائلة يمكن أن تتحلل وتطلق الغاز. مثل الإثريل Ethrel. وبينما يعد الإثريل ثابتًا فى الـ pH الحامضى. فإنه سريعًا ما يتحلل معطيًا الإثيلين مع ارتفاع الحرارة والـ pH.

وبينما يُسمح باستعمال الإثيقون (الإثريل) تحت ظروف الحقل فى عديد من المحاصيل، فإنه ليس له استعمالات مباشرة معتمدة بعد الحصاد.

هذا .. ويجب أن تكون المعاملة بالغاز فى حجرات الإنضاج متجانسة تمامًا داخل الحجرة بين العبوات وداخلها؛ مع اتخاذ الوسائل الكفيلة بسرعة التخلص من حرارة التنفس والتراكم الزائد لثانى أكسيد الكربون. ومع زيادة الرطوبة النسبية لخفض الفقد الرطوبى من المنتج. لكن مع مراقبة الإصابات المرضية (Saltveit ٢٠٠٤ب).

٥- استخدام الثمار الناضجة المنتجة للإثيلين بمعدلات عالية كمصدر للغاز. وذلك فى حالات الإنضاج على نطاق ضيق (Kader & Kasmire ١٩٨٤).

هذا .. ومن أهم بدائل الإثيلين فى معاملات الإنضاج الصناعى بعد الحصاد غاز الأسيتلين. الذى يتولد عند تحلل كربيد الكالسيوم calcium carbide لدى اتحاده مع الماء. ويتكون كربيد الكالسيوم باتحاد الكالسيوم مع الكربون.

ويمكن خفض مستوى الإثيلين حول غرف إنضاج الموز بمراعاة ما يلى:

١- استعمال تركيز ١٠٠ ميكروليتر من الإثيلين/لتر من هواء غرف الإنضاج بدلاً من التركيزات الأعلى التى غالبًا ما تستعمل فى تلك الغرف.

٢- تهوية الغرف إلى الهواء الخارجى بعد فترة التعريض للغاز وقبل فتح تلك الغرف.

٣– تهوية المنطقة المحيطة بغرف الإنضاج مرة واحدة يوميًا على الأقل أو وضع ماصّ للغاز فيها.

٤– تستعمل رافعات شوكية تعمل بالبطارية – بدلاً من الوقود – داخل المخازن.

هذا ويفضل الآن أن تكون حجرات الإنضاج مزودة بوسيلة لدفع الهواء المتحكم فى حرارته للمحافظة على تجانس درجة الحرارة فى كل المنتج. ومع الهواء المدفوع يتم دفع الإثيلين بتركيز ١٠٠ إلى ١٥٠ ميكرليتر/لتر من الهواء على فترات حسب كل منتج مع إبقاء مستوى ثانى أكسيد الكربون تحت ١٪ بتهوية الحجرات بالهواء الخارجى. وغالبًا ما يتم الإنضاج فى حرارة ١٥–٢٥°م، مع إضافة بخار الماء لكى تبقى الرطوبة النسبية عند ٨٥٪ إلى ٩٥٪ لأجل خفض الفقد الرطوبى من المنتج (Thompson & Kader ٢٠٠٤).

تباين استجابة الثمار للمعاملة بالإثيلين بهدف استكمال نضجها بعد الحصاد

يمكن تقسيم الثمار (الحديث هنا عن ثمار الفاكهة وثمار الفراولة والبطيخ والحرنكش) إلى مجموعتين، كما يلى:

١– ثمار لا يمكنها استكمال نضجها بعد الحصاد:

تتضمن هذه المجموعة الراسبرى والبلاكبرى والفراولة والشيرى وكل الموالح والعنب والأناناس والرمان والحرنكش.

٢– ثمار يمكن حصادها مكتملة التكوين حيث تستكمل نضجها بعد ذلك:

تتضمن هذه المجموعة التفاح والكمثرى والسفرجل والمشمش والنكتارين والخوخ والبرقوق والكيوى والأفوكادو والموز والباباظ والمانجو والسابوديلا والسبوتة والجوافة.

تُنتج ثمار المجموعة الأولى كميات صغيرة جدًا من الإثيلين ولا تستجيب للمعاملة به باستثناء أنه يخلص الثمار من اللون الأخضر. يجب حصاد ثمار تلك المجموعة وهى مكتملة النضج للحصول على أعلى جودة.

أما ثمار المجموعة الثانية فإنها تنتج كميات أكبر بكثير من الإثيلين أثناء نضجها، وتؤدى معاملتها بالإثيلين إلى زيادة سرعة نضجها مع زيادة تجانس النضج. تجب معاملة الموز بتركيز ١٠–١٠٠ جزء فى المليون من الإثيلين لكى تبدأ فى النضج أثناء النقل وأثناء تواجدها فى مخازن أسواق الجملة. وحاليًا يتم إنضاج جانبًا من ثمار الأفوكادو والكيوى والمانجو والكمثرى قبل التسويق لإعطاء المستهلك فرصة للاختيار بين شرائه للثمار الجاهزة للأكل أو تلك المكتملة التكوين التى يمكن أن تكمل نضجها عند المستهلك.

وإذا ما تأخر بيع الثمار المكتملة النضج فإنها يجب أن تحفظ فى أقل درجة حرارة يمكن أن تتحملها، علمًا بأن الثمار الناضجة من تلك الحساسة للبرودة تتحمل حرارة أكثر انخفاضًا من الثمار المكتملة التكوين غير الناضجة. ويمكن زيادة فترة صلاحية تلك الثمار للتخزين بالتخلص من الإثيلين وخفض تركيز الأكسجين إلى ٣٪–٥٪ (Kader ١٩٩٩).

إن الثمار الكلايمكتيرية تختلف عن غير الكلايمكتيرية فى استجابة كل منهما للمعاملة بالإثيلين، وفى نمط إنتاجها للإثيلين أثناء نضجها. وبينما تنتج جميع الثمار كميات صغيرة من الإثيلين أثناء تكوينها، فإن الثمار الكلايمكتيرية تنتج كميات أكبر – بكثير – من الغاز أثناء نضجها عن الثمار غير الكلايمكتيرية. ويظهر هذا الاختلاف بوضوح – كذلك – فى مستوى الإثيلين داخل أنسجة الثمار خلال مراحل تطورها ونضجها. وبينما يتباين مستوى الإثيلين الداخلى – كثيرًا – فى أنسجة الثمار الكلايمكتيرية، فإن مستوى الغاز لا يتغير إلا قليلاً فى أنسجة الثمار غير الكلايمكتيرية أثناء تطورها ونضجها. وتكفى – عادة – المعاملة بتركيز ٠,١–١,٠ حجم فى المليون (µl/l) لإسراع نضج الثمار الكلايمكتيرية. إلا أن مدى أو مقدار الكلايمكتيريك يعد أمرًا مستقلاً – نسبيًا – عن تركيز الإثيلين المعامل به. وبالمقارنة .. فإن المعاملة بالإثيلين لا تُحدث فى الثمار غير الكلايمكتيرية سوى مجرد زيادة طفيفة – ولفترة قصيرة – فى معدل التنفس، مع توقف مدى أو مقدار الزيادة على تركيز الإثيلين المعامل به. وفضلاً عن

ذلك، فإن تلك الزيادة الطفيفة المؤقتة التى تحدث فى معدل تنفس الثمار غير الكلايمكتيرية عند معاملتها بالإثيلين يقابلها فى الثمار الكلايمكتيرية زيادة وحيدة – وإن كانت كبيرة (الكلايمكتيريك) فى معدل التنفس (Wills وآخرون ١٩٩٨).

وإنه لمن المعروف أنه مع تكوين ونضج عديد من أنواع الثمار، فإنها تصبح أكثر حساسية للإثيلين. فلبعض الوقت بعد تفتح الزهرة يمكن أن تنتج الثمرة الصغيرة معدلات عالية من الإثيلين. وفى المراحل المبكرة من عمر الثمرة فإن تركيز الإثيلين الذى تعامل به الثمار والذى يلزم لبدء النضج يكون عاليًا، وتكون الفترة اللازمة لاكتمال النضج طويلة، ولكنها تنقص مع نضج الثمرة (جدول ٥–٥) وتعد الطماطم مثالاً على المستوى العالى لتحمل الإثيلين. وفى المقابل فإن الموز والكنتالوب يمكنهما النضج سريعًا بالمعاملة بالإثيلين حتى ولو كانت الثمار غير مكتملة التكوين.

جدول (٥–٥): تأثير النضج على الوقت الذى يلزم لنضج ثمار الطماطم.

درجة اكتمال التكوين عند الحصاد (عدد الأيام من تفتح الزهرة)	عدد الأيام لحين بدء التلون بالأحمر	
	ثمار معاملة بالإثيلين (معاملة مستمرة بتركيز ١٠٠٠ حجم فى المليون)	الكنترول
١٧	١١	لم تنضج
٢٥	٦	لم تنضج
٣١	٥	١٥
٣٥	٤	٩
٤٢	١	٣

الظروف المناسبة لإنضاج بعض الحاصلات البستانية

يعطى جدول (٥–٦): بيانًا بالظروف المناسبة لإنضاج بعض الثمار (عن Wills وآخرين ١٩٩٨، و Jobling ٢٠٠٠).

جدول (٥-٦): الظروف المناسبة لإنضاج ثمار بعض الحاصلات البستانية.

المحصول	الحرارة (°م)	الإثيلين (جزء فى المليون)	مدة المعاملة (ساعة)
الأفوكادو	١٨-٢١	١٠	٢٤-٧٢
الموز	١٨-٢١	١٠	٢٤
الكيوى	١٨-٢١	١٠	٢٤
الكاكى	١٨-٢١	١٠	٢٤
الطماطم	١٣-٢٢	١٠	مستمر
الكمنالوب	١٨-٢١	آثار	—
شهد العسل	١٨-٢١	١٠	٢٤
المانجو	٢٩-٣١	١٠	٢٤
الباباظ	٢١-٢٧	آثار	—
الكمثرى	١٥-١٨	١٠	٢٤

يعمل الإثيلين على إسراع التلون الطبيعى للثمار، وإسراع التحولات الطبيعية للنشا إلى سكر. وفيما عدا ذلك .. فليس للإثيلين أية تأثيرات أخرى على محتوى المحصول المعامل به من الفيتامينات، كما أنه ليس له أى تأثير ضار على الصحة. ولا يترك أى لون أو روائح غير مرغوبة بالثمار.

ويحدد التركيز المناسب من الإثيلين على أساس الحجم الكلى للمخزن، دون اعتبار للحيز الذى يشغله المحصول المخزن. ويجب عدم زيادة التركيز أبدًا عن ١ : ١٠٠٠ فى أى من الخضر والفاكهة، كما تجب تهوية المخازن المعاملة من آن لآخر؛ وذلك لتوفير الأكسجين اللازم لتنفس المحصول المخزن. وتجرى التهوية – قبل المعاملة بالإثيلين – بفتح الباب والشبابيك لمدة نصف ساعة. ويوصى بمعاملة المخازن بالتركيز المطلوب من الإثيلين كل ٦ ساعات طوال الفترة المطلوبة للمعاملة.

التخلص من اللون الأخضر بثمار الموالح

إن تركيز الإثيلين الموصى به للتخلص من اللون الأخضر بثمار الموالح هو ١–١٠ أجزاء فى المليون، بينما يلزم تركيز ١٠–١٠٠ جزء فى المليون للإنضاج. وتتراوح فترة التعريض للإثيلين من يوم واحد إلى خمسة أيام حسب درجة اكتمال تكوين الثمار عند حصادها؛ فكلما ازدادت درجة التكوين كلما قصرت فترة المعاملة. وتكفى – عادة – مدة يومين لمعاملة معظم الثمار. ويعد المدى الحرارى الأمثل للإنضاج ١٥–٢٥°م، وفى حدود هذا المدى تزداد سرعة النضج بزيادة درجة الحرارة. أما الرطوبة النسبية فيجب أن تبقى بين ٩٠٪، و ٩٥٪. كما يجب أن تكون هناك حركة دوارة للهواء حول المنتج داخل المخزن لتأمين تجانس توزيع الإثيلين. كذلك يجب عدم السماح بزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون داخل حجرة الإنضاج لأنه يُضاد تأثير الإثيلين، ويتحقق ذلك بتجديد هواء الغرفة على فترات. كما يمكن وضع جير مطفى بحجرة الإنضاج لامتصاص ثانى أكسيد الكربون الناتج عن تنفس المنتج (Kader & Kasmire ١٩٨٤).