ومن بين وسائل الحد من أضرار البرودة، ما يلى:

١- التعريض لحرارة منخفضة تزيد قليلاً على الحرارة الحرجة، قبل تخزينها مباشرة.

٢- التعريض لحرارة مرتفعة قبل التخزين أو بصورة متقطعة أثناء التخزين.

٣- التخزين فى الجو المعدل.

٤- المعاملة ببعض المركبات الكيميائية، مثل بنزوات الصوديوم والثيابندازول.

٥- معاملات منظمات النمو، مثل: حامض الأبسيسيك والإثيلين والترايازولات.

أضرار الإثيلين

تنتج الخضروات والفاكهة غاز الإثيلين عند نضجها وأثناء تخزينها، وهو يعد من الهرمونات الطبيعية التى تكون نشطة فسيولوجيًّا فى تركيزات تصل — فى حدها الأدنى — إلى ٠,١ حتى ٠,٥ جزءًا فى المليون فى مختلف الثمار. وعلى خلاف ما كان شائعًا .. فإن الإثيلين هو الذى يحفز ويقدح التغيرات التى تؤدى إلى النضج، وليس أحد نواتج عملية النضج (Oeller وآخرون ١٩٩١).

معدل إنتاج الخضر والفاكهة للإثيلين

تتباين منتجات الخضر والفاكهة — كثيرًا — فى معدل إنتاجها لغاز الإثيلين عند نضجها وأثناء تخزينها كما هو مبين فى جدول (٢١-٧).

ومن أهم العوامل التى تؤدى إلى زيادة معدلات إنتاج المنتجات البستانية لغاز الإثيلين ما يلى:

١- وصول الثمار إلى مرحلة النضج.

٢- الأضرار الميكانيكية.

٣- الإصابات المرضية.

٤- ارتفاع الحرارة حتى ٣٠°م.

الأضرار التى يحدثها غاز الإثيلين

إن إهم الأضرار التى يحدثها غاز الإثيلين هو إسراع تدهور المنتجات البستانية. وتجدر

الإشارة إلى أنه لا توجد علاقة بين إنتاج المنتجات البستانية للإثيلين وبين سرعة تدهورها بعد الحصاد، ولكن تعريضها لتركيزات عالية من الغاز يسرع كثيرًا من وصولها إلى حالة الشيخوخة.

جدول (٢١-٧): معدل إنتاج بعض منتجات الخضر والفاكهة لغاز الإثيلين بالجزء فى المليون فى حرارة ٢٠ °م.

معدل إنتاج غاز الإثيلين (ميكوليتر/كجم/ساعة)	المنتج
٠,١-٠,٠١	الكريز – الموالح – العنب – الفراولة – الخضر الورقية – الخضر الجذرية – البطاطس
١,٠-٠,١	البلوبرى – الخيار – البامية – الأناناس – الفلفل
١٠-١	الموز – التين – شهد العسل – المانجو – الطماطم
١٠٠-١٠	التفاح – الأفوكادو – الكنتالوب – النكتارين – الباباظ – المشمش – الكيوى – الخوخ – الكمثرى – البرقوق
١٠٠ <	السابوتة – الـ Passion fruit

ويؤدى وجود الثمار ذات المعدلات المرتفعة فى إنتاج الغاز مثل: التفاح، والكمثرى، والبرقوق، والأفوكادو، والقاوون الشبكى، والباباظ، والخوخ، بجانب الخضر الحساسة للغاز إلى حدوث أضرار كثيرة.

ويمكن إيجاز أهم الأضرار التى يحدثها غاز الإثيلين فيما يلى:

١- فقدان اللون الأخضر:

فالإثيلين يسرع من تحلل الكلوروفيل، ويؤدى إلى اصفرار الأنسجة الخضراء؛ فتنخفض بذلك صفات الجودة فى الخضر الورقية، وفى الثمار الخضراء الأخرى، كالبروكولى، والخرشوف. ومن أمثلة ذلك ما يلى:

أ- أدى تعرض الكرنب لـ ١٠-١٠٠ جزء فى المليون من الإثيلين أثناء التخزين فى حرارة ١ °م لمدة خمسة أسابيع إلى فقدان اللون الأخضر وسقوط الأوراق. وتعتبر بعض أصناف

الكرنب أكثر حساسية فى هذا الشأن؛ حيث تفقد اللون الأخضر فى تركيزات أقل من الإثيلين تقدر بحوالى ١–٥ أجزاء فى المليون.

ب– أدى تركيز ٤ أجزاء فى المليون من الغاز إلى زيادة الاصفرار ومعدل التدهور فى كرنب بروكسل، والبروكولى، والقنبيط فى حرارة ١ °م.

جـ– لوحظ أن ثمار الكوسة المعرضة لتركيز ٥ أجزاء فى المليون من الغاز لحرارة ١٥–٢٠ °م قد فقدت لونها الأخضر.

د– أدت معاملة ثمار الخيار بتركيز ٠,١–١٠ أجزاء فى المليون من الإثيلين إلى فقدانها للون الأخضر، كما نقصت صلابة الثمار فى التركيزات المرتفعة.

٢– انفصال الأوراق والأعضاء النباتية الأخرى Abscission:

يؤدى التعرض للإثيلين إلى انفصال الأوراق وسقوطها فى الكرنب، وكرنب بروكسل، والقنبيط، والخضر الورقية، وانفصال البراعم فى البروكولى، وانفصال أوراق الكأس فى الباذنجان. فمثلاً .. أدى تعرض ثمار الباذنجان لغاز الإثيلين بتركيز ١–١٠ أجزاء فى المليون لمدة يومين إلى انفصال الكأس، وتلون لب الثمار والبذور باللون البنى، وسرعة تعفن الثمار.

٣– تأثيرات غير مرغوبة على القوام Texture:

يؤدى تعرض الثمار للإثيلين إلى فقدانها لصلابتها، وخفض فترة تخزينها ومقدرتها على الشحن؛ ومن أمثلة ذلك:

أ– أدى تعرض ثمار البطيخ للإثيلين بتركيز ٥–٦٠ جزءًا فى المليون إلى فقدان الثمار لصلابتها، ونقص سمك قشرة الثمرة، وتهتك أنسجتها. وقد صاحب ذلك زيادة فى نشاط الإنزيمات التالية على الترتيب: peroxidase، و polyphenol oxidase، و esterase، و cellulase، و pectinase.

ب– برغم أن تعرض جذور البطاطا للإيثيلين قد قلل من صلابتها بعد الطهى — وهى صفة مرغوبة — إلا أن المعاملة كان لها تأثير سئ على اللون والطعم.

جـ– أدى تعرض مهاميز الأسبرجس لتركيز ١٠٠ جزء فى المليون من الإثيلين لمدة ساعة

إلى زيادة صلابتها، وكان ذلك مصحوبًا بزيادة فى نشاط البيروكسيديز peroxidase مع زيادة تمثيل اللجنين.

٤- تغيرات فى الطعم:

برغم أن الإثيلين يحدث تغيرات هامة مرغوبة فى طعم ونكهة الخضروات تشمل تحول النشا إلى سكر، وفقدان الحموضة، وتكوين المركبات المتطايرة، إلا أنه يؤدى أيضًا إلى إحداث تغيرات غير مرغوبة، كما فى الحالات التالية:

أ- تكون مادة مرة (عبارة عن isocumarin) فى الجزر.

ب- تكون طعم مر فى الكرنب عند التعرض للغاز بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون.

٥- تبرعم البطاطس:

تنمو البراعم من عيون البطاطس عند تعرضها لغاز الإثيلين بتركيز جزأين فى المليون لمدة ٧٢ ساعة؛ وبذلك تؤدى هذه المعاملة إلى إنهاء حالة السكون، إلا أنها تمنع استطالة النموات المتكونة. ويعد هذا التأثير مفيدًا فى حالة تقاوى البطاطس، ولكنه غير مرغوب فى البطاطس المعدة للاستهلاك. وتصاحب المعاملة بالإثيلين زيادة كبيرة فى معدل تنفس الدرنات.

٦- تكوين تبقعات صدئة Russet spotting فى الخس:

يعتبر الإثيلين هو العامل الأساسى فى ظهور حالة التبقعات الصدئة فى الخس. ويكفى تعرض الخس لتركيز ٠,١ جزء فى المليون لظهور هذا العيب الفسيولوجى بصورة كبيرة أثناء الشحن العادى فى حرارة ٥°م لمدة ٥-٨ أيام. وتبدأ الأعراض فى الظهور على شكل بقع صغيرة فى البشرة أو النسيج الوسطى (الميزوفيل) تمتد حتى النسيج الوعائى؛ حيث يتدهور نسيج الميزوفيل، وتنشأ عن ذلك انخفاضات صدئة تشبه النقر (عن Kader ١٩٨٥).

وسائل تجنب إضرار غاز الإثيلين

لتجنب الأضرار التى يمكن أن يحدثها الإثيلين فى المخازن، يلزم التخلص منه بإحدة الطرق التالية:

١- إزالة الغاز من المخازن أولاً بالتهوية الجيدة.

٢- تجنب مصادر الغاز التى من أهمها:

أ- الجرارات والآلات التى تعمل بالوقود: فيجب عدم تركها فى المخازن دون استعمال. وتفضل استخدام الرافعات forklifts التى تعمل بالكهرباء.

ب- إزالة الثمار الزائدة النضج أولاً بأول.

جـ- إزالة الثمار المجروحة.

د- عدم ترك الثمار المنتجة للإيثيلين مع الثمار الأخرى الأقل إنتاجًا للغاز.

٣- استخدام مادة ماصة ذات مسطح كبير يمكنها ادمصاص برمنجنات البوتاسيوم؛ مثل الفيرميكيوليت، والسيليكاجل، والبرليت؛ حيث تتحول البرمنجنات بواسطة الغاز من صورة MnO_4 ذات اللون القرمزى إلى الصورة MnO_2 ذات اللون البنى (Sherman ١٩٨٥).

٤- المعاملة بمضاد الإثيلين 1-MCP.

تفيد المعاملة بمضاد الإثيلين 1-MCP فى تجنب أضرار الغاز فى بعض محاصيل الخضر. ففى الفلفل كانت المعاملة بالـ 1-MCP بتركيز ١,٠ ميكروليتر/لتر شديدة الفاعلية فى تأخير شيخوخة الثمار، وتحلل الكلوروفيل، والفقد فى الوزن. وقد حافظت المعاملة على محتوى الفلفل من فيتامين جـ، وخفضت من معدل التنفس وإنتاج الإثيلين عما حدث فى ثمار الكنترول، وكان ذلك مصاحبًا بزيادة فى نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة (مثل الـ superoxide dismutase، والـ α-ascorbate peroxidase) ومحتوى الثمار من متعددات الأمين، مثل الـ spermidine، والـ putrescine (Cao وآخرون ٢٠١٢).

تنفس منتجات الخضر بعد الحصاد

يمكن إرجاع غالبية التغيرات التى تطرأ على الخضروات بعد الحصاد إلى تنفس أنسجتها، وما يصاحب ذلك من نشاط إنزيمى وانطلاق للطاقة. فتوجد علاقة طردية مباشرة بين سرعة تدهور الخضروات المخزنة ومعدل تنفس أنسجتها.