اكتمال تكوينها، حيث يزداد معدل التنفس فى الثمار الأقل اكتمالاً فى التكوين (Suslow & Cantwell ٢٠٠٧).

ويبقى مستوى المركب 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (اختصارًا: ACC)، وإنتاج الإثيلين منخفضًا أثناء تعرض الثمار لحرارة ٢,٥°م، ولكنهما يزيدان سريعًا بعد نلقها لحرارة ٢٥°م (عن Lipton & Wang ١٩٨٧).

معاملات خاصة يُعطاها الخيار قبل التخزين والشحن

قد تُعطى ثمار الخيار معاملات معينة قبل التخزين والشحن أو أثناء التخزين؛ بهدف حمايتها من الإصابة بأضرار البرودة، أو المحافظة على جودتها، أو للهدفين معًا. وبينما تطبق بعض هذه المعاملات تجاريًا، فمازال بعضها الآخر قاصرًا على النطاق البحثى.

المعاملة الحرارية قبل التخزين البارد

وجد أن غمر ثمار الخيار فى ماء تبلغ حرارته ٤٢°م لمدة ٣٠ دقيقة أدى إلى زيادة تحملها لأضرار البرودة فيما بعد، وتمثل ذلك فى نقص التسرب الأيونى منها (McCollum & McDonald ١٩٩٣).

وفى دراسة لاحقة أوضح McCollum وآخرون (١٩٩٥) أن تخزين ثمار الخيار على ٢,٥°م ترتب عليه حدوث زيادة كبيرة فى التسرب الأيونى — الذى يعد أحد أهم دلائل أضرار البرودة — وأن ذلك التسرب نقص جوهريًا بغمر الثمار — قبل تخزينها فى حرارة ٢,٥°م — فى ماء دافئ أو ساخن لمدة ٣٠ دقيقة. وقد ازداد النقص فى التسرب الأيونى من جرّاء التخزين فى الحرارة المنخفضة مع زيادة درجة حرارة الماء الذى غمرت فيه الثمار مسبقًا من ٢٥ إلى ٤٢°م. وكان إنتاج ثانى أكسيد الكربون والإثيلين فى الثمار التى تعرضت للحرارة المنخفضة لمدة أسبوعين ثم نقلت إلى حرارة ١٢°م أعلى عما فى الثمار التى لم تُعرض للحرارة المنخفضة، ولكن لم تظهر اختلافات بين معاملات الغمر فى الماء

الدافئ أو الساخن فيما يتعلق بإنتاج الثمار من غاز ثانى أكسيد الكربون، بينما أدت معاملة غمر الثمار فى الماء الساخن قبل تخزينها فى الحرارة المنخفضة إلى انخفاض إنتاجها من الإثيلين، وازداد هذا الانخفاض بزيادة درجة حرارة الماء الذى غمرت فيه الثمار من ٢٥ إلى ٤٢°م، واستمر هذا التأثير لمدة ٧٢ ساعة بعد نقل الثمار إلى ٢١°م، وتأثر محتوى الثمار من مركب ACC بتلك المعاملات مثلما تأثر إنتاجها من غاز الإثيلين. أما نشاط ACC oxidase فقد كان أعلى فى الثمار التى لم تتعرض لأضرار الحرارة المنخفضة (وهى التى خزنت فى حرارة ١٢°م) – عند بداية نقلها إلى حرارة ٢١ °م – عما فى الثمار التى تعرضت للحرارة المنخفضة، كما انخفض نشاط ACC oxidase بزيادة درجة حرارة الماء الذى غمرت فيه الثمار.

التدفئة المتقطعة أثناء التخزين البارد

التدفئة المتقطعة intermittent warming هى تعريض المنتجات المخزنة فى حرارة منخفضة – لفترة واحدة أو أكثر من فترة – فى حرارة مرتفعة. ويجب أن تتم هذه المعاملة قبل أن تتقدم أضرار البرودة إلى مرحلة لا رجوع فيها؛ لأن ذلك إن حدث فهو يعنى أن معاملة التدفئة تؤدى إلى إسراع ظهور أعراض البرودة؛ ولذا .. فإن توقيت معاملة التدفئة يعد أمرًا حيويًا، ومن الأهمية بمكان التعرف على بدايات حدوث أضرار البرودة.

وقد اتبعت طريقة التدفئة المتقطعة فى تجنب أضرار البرودة فى كلّ من الليمون الأضاليا، والبامية، والخيار، والفلفل الحلو، والكوسة، والخوخ، والنكتارين. ولكل محصول منها الفترات الحرجة – الخاصة به – المناسبة لمعاملة التدفئة.

فمثلاً .. وجد Cabrera & Saltveit (١٩٩٠) أن تدفئة ثمار الخيار بنقلها من ٢,٥°م إلى ١٢,٥°م لمدة ١٨ ساعة كل ثلاثة أيام قلل من أضرار البرودة التى ظهرت عليها. وبالمقارنة .. فقد ظهرت أضرار شديدة للبرودة – تمثلت فى تنقير شديدة وتحلل – عندما خزنت الثمار على حرارة ثابتة مقدارها ٢,٥°م لمدة ١٣ يومًا، وذلك بعد ستة أيام

من نقلها إلى ٢٠°م، بينما لم تظهر أية أعراض لأضرار البرودة عندما خزنت الثمار على حرارة ثابتة مقدارها ١٢,٥°م، ثم نقلت بعد ذلك إلى حرارة ٢٠°م.

وفى دراسة لاحقة (Caberara & Saltveit ١٩٩١) استعمل الباحثان التدفئة المتقطعة بالنظام السابق بيانه، ولكن على حرارة ٢٠°م بدلاً من ١٢,٥°م، ووجدا أنها منعت تمامًا ظهور أية أضرار للبرودة. من جرّاء التخزين على حرارة ٢,٥°م لمدة ١٣ يومًا، علمًا بأن الثمار التى لم تعامل بالتدفئة المتقطعة ظهرت عليها أضرار البرودة بعد أسبوع من نقلها من حرارة ٢,٥°م — التى ظلت فيها لمدة ٧ أيام — إلى حرارة ٢٠°م، وأن شدة هذه الأضرار ازدادت بزيادة فترة بقاء الثمار فى الحرارة المنخفضة. كذلك ظهرت نموات فطرية على الثمار التى خزنت على ٢,٥°م بعد أربعة أيام من نقلها إلى ٢٠°م، بينما لم يحدث ذلك فى الثمار التى أعطيت معاملة التدفئة المتقطعة. وقد لوحظ حدوث زيادة مؤقتة فى معدل تنفس الثمار وإنتاجها من الإثيلين خلال فترات التدفئة المتقطعة، وكانت تلك الزيادات أعلى فى دورة التدفئة الأولى عما كان عليه الحال فى دورتى التدفئة الثانية والثالثة.

كذلك وجد أن أضرار البرودة ازدادت فى ثمار الخيار بزيادة فترة تخزينها فى حرارة ٢ أو ٤°م، وكان معدل التنفس والنشاط الأيضى فى تلك الثمار أعلى مما فى الثمار التى خزنت على حرارة ٢٠°م. وقد أدى تعريض الثمار للهواء الدافئ على حرارة ٤٠°م لمدة ٤٨ أو ٧٢ ساعة قبل تخزينها فى حرارة ٤°م إلى استمرار معدل التنفس فيها بصورة طبيعية، وحصل على نتيجة مماثلة بتدفئة الثمار على فترات أثناء التخزين البارد. كذلك ازداد إنتاج الإثيلين والتسرب الأيونى بزيادة فترة التخزين البارد، وأمكن تجنب ذلك بتعريض الثمار لدورتين على الأقل من التدفئة على فترات. هذا بينما لم تؤثر معاملة الثمار بكلوريد الكالسيوم معنويًا على حساسيتها لأضرار البرودة (Imani وآخرون ١٩٩٥).

ومن بين النظريات الافتراضية التى اقترحت لتفسير تأثير التدفئة المتقطعة أن رفع درجة الحرارة فى وسط معاملة البرودة يحفز النشاط الأيضى؛ الأمر الذى يسمح للأنسجة النباتية بتصريف المركبات الوسطية أو المركبات السامة التى تتراكم خلال فترة التعريض

للبرودة؛ بتحويلها إلى مركبات غير ضارة. كذلك قد تسمح تدفئة الأنسجة لفترات قصيرة بمعالجة الأضرار التى تحدث للأغشية الخلوية، وعضيّات الخلية، والمسارات الأيضية خلال فترة التعريض للبرودة. كما قد تفيد التدفئة فى إعادة توفير المركبات التى تستنفذ أو التى لا يمكن تمثيلها خلال معاملة البرودة. وقد تلعب تلك التغيرات الحرارية الفجائية (من البرودة إلى الدفء ثم إلى البرودة) دورًا فى زيادة تمثيل الأحماض الدهنية غير المشبعة؛ الأمر الذى يجعل الأغشية الخلوية أكثر مرونة، ويزيد من تحملها للحرارة المنخفضة (عن Wang ١٩٩٤).

المعاملة بالـ 1-MCP

بينما أدى تعريض ثمار الخيار (الإنجليزى الطويل عديم البذور) لمصدر خارجى من الإثيلين بتركيز ٣–٥ ميكروليتر/لتر إلى إسراع تحلل محتواها من الكلوروفيل، فإن تبخيرها بالـ 1-MCP – قبل تعرضها المستمر للإثيلين – أدى إلى منع تحلل ما بها من كلوروفيل لمدة تراوحت بين ٩، و ١٤ يومًا، ولكن لم تكن للمعاملة بالـ 1-MCP فوائد أخرى (Nilsson ٢٠٠٥).

المعاملة بحامض السلسيلك

كانت معاملة ثمار الخيار بحامض السلسيلك بتركيز ٠,٥ ملى مول قبل تخزينها لمدة ١٨ يومًا على ١°م عالية الكفاءة فى خفض حساسيتها لأضرار البرودة. كذلك أدت تلك المعاملة إلى المحافظة على صلابة الثمار وعلى مستوى منخفض من محتواها من الـ malonialdehyde مقارنة بما حدث فى ثمار الكنترول. هذا فى الوقت الذى أدت فيه المعاملة بحامض السلسيلك إلى تأخير الانخفاض فى محتوى الثمار من حامض الأسكوربيك ومحتوى جلدها من الكلوروفيل، كما ازداد فى الثمار المعاملة نشاط إنزيمات الـ superoxide dismutase، والـ catalase، والـ peroxidase، والـ ascorbate peroxidase، والـ peroxidase، والـ phenylalanine ammonia lyase تحت ظروف شدّ حرارة التخزين المنخفضة. ويعنى ذلك أن معاملة الخيار بحامض السلسيلك بتركيز ٠,٥

مللى مول تحميها بكفاءة عالية من الإصابة بأضرار البرودة على ١°م، وأن تلك الحماية تحدث من خلال زيادة المعاملة لنشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة وللـ phenylalanine ammonia lyase (Cao وآخرون ٢٠٠٩).

التخزين

التخزين البارد العادى وأضرار البرودة

يخزن الخيار على ١٠-١٢,٥°م و ٩٥٪ رطوبة نسبية لمدة ١٤ يومًا، يتدهور بعدها سريعًا فى كل من مظهره وطعمه. فبعد هذه الفترة يظهر على الثمار أعراض الانكماش والاصفرار والتحلل. وعلى حرارة أقل من ١٠°م تظهر على الثمار أعراض الإصابة بأضرار البرودة فى خلال ٢-٣ أيام.

ومن أهم مشاكل الثمار بعد حصادها اصفرارها؛ الأمر الذى يزداد معدله فى الثمار التى تحصد فى عمر متقدم، ولدى التعرض للإثيلين — ولو بتركيز ٠,١ جزءًا فى المليون لمدة ٤٨ ساعة — والتخزين فى حرارة منخفضة (Suslow & Cantwell ٢٠٠٧). كذلك تكون فترة التخزين أقصر فى الثمار ذات اللون الأخضر الفاتح عما فى الثمار ذات اللون الأخضر الداكن (عن Mattsson ١٩٩٣).

أما أصناف التخليل التى قد تُخزن ثمارها مؤقتًا لحين تخليلها فإنها توضع فى حرارة ١٠°م ورطوبة نسبية ٩٥٪، وتتفاوت الأصناف كثيرًا فى مدى قدرة ثمارها فى الاحتفاظ بنضارتها تحت هذه الظروف؛ فهى تتراوح — مثلاً — من ١٠ أيام فى الصنف Ohio MR200 إلى ٤٧ يومًا فى الصنف ماركتر Marketer (عن Robinson & Decker-Walters ١٩٩٧).

وتتعرض الثمار للإصابة بأضرار البرودة إذا خزنت فى حرارة تقل عن ٧°م لمدة أكثر من يومين. وتظهر هذه الأضرار على شكل بقع مائية، ونقر، وانهيار بأنسجة الثمرة، كما تتحلل أنسجة الثمرة بسرعة بعد إخراجها من المخزن. ويؤدى تخزين الثمار - فى حرارة تزيد عن ١٠°م - إلى سرعة اصفرارها، ويبدأ التغير فى اللون فى غضون يومين.