ويجب أن تتراوح الحرارة خلال فترة الإنضاج الصناعى ما بين ١٣°م للثمار التى بدأت فى التلون، و ٢١°م للثمار الخضراء الناضجة. وتؤدى المعاملة بالإثيلين إلى سرعة تحلل الكلوروفيل، وتكوين الليكوبين، وزيادة تجانس اللون، وإسراع مرحلة الكلايمكتريك، وزيادة محتوى الثمار من فيتامين جـ.

التخزين

التخزين فى الحرارة المنخفضة

تتراوح الحرارة المناسبة لتخزين ثمار الطماطم بين ٧ درجات مئوية للثمار الحمراء إلى ١٥°م للثمار الخضراء مكتملة التكوين، فتنخفض درجة الحرارة المناسبة للتخزين تدريجيًا مع ازدياد نضج الثمار. ويجب أن تكون الرطوبة النسبية عالية، وأن يُحتفظ بها فى حدود ٩٠٪-٩٥٪ لمنع فقد الماء من الثمار. يمكن فى هذه الظروف حفظ الثمار الحمراء بحالة جيدة لمدة ١٠ أيام، وتتلون الثمار الخضراء فى خلال ٣٠ يومًا وهى بحالة جيدة. وتنخفض مدة بقاء الثمار المخزونة بحالة جيدة فيما بين هذه الحدود حسب درجة نضجها عند بداية التخزين. وتزداد سرعة نضج ثمار الطماطم بارتفاع الحرارة حتى ٢١°م، بينما تتدهور بسرعة بارتفاع درجة الحرارة عن ذلك، ولا تتلون بصورة جيدة عند ارتفاع الحرارة إلى ٢٩°م، أو أعلى من ذلك.

وبينما تخزن الثمار الحمراء الناضجة بعد ذلك فى غرف باردة لا تقل حرارتها عن ١٠°م، فإن الثمار الخضراء المكتملة التكوين تُعامل بواحدة من أربع طرق — حسب الرغبة — كما يلى:

١ — إنضاجها سريعًا بالمعاملة بالإثيلين فى غرف مغلقة لمدة ٢٤-٤٨ ساعة على ٢٠-٢٥°م قبل شحنها لتأمين سرعة وتجانس نضجها.

٢ — إنضاجها سريعا طبيعيًا بحفظها على حرارة ١٨-٢١°م.

٣ — إنضاجها ببطء على حرارة ١٤-١٦°م.

٤ — تأخذ إنضاجها لمدة أسبوعين بحفظها على حرارة ١٣°م قبل إنضاجها بعد ذلك

على حرارة ١٨-٢١°م، علما بأن حفظها لأكثر من أسبوعين على حرارة ١٣°م يعرضها للإصابة بأضرار البرودة، وتزداد إصابتها بالأعفان، وتفشل فى تكوينها للون أحمر قانٍ (عن Le Strange وآخرين ٢٠٠٠).

لا يمكن تخزين الثمار الخضراء المكتملة التكوين بنجاح فى الحرارة التى تؤخر النضج، وإذا ما خزنت تلك الثمار لمدة أسبوعين أو أكثر على حرارة ١٣°م فإنها قد تتعرض للتحلل غير الطبيعى، وقد لا تتلون بشكل جيد. وتتراوح الحرارة المثلى لتخزين الثمار الخضراء المكتملة التكوين بين ١٨، و ٢١°م. كذلك فإن الطماطم لا تتلون بشكل جيد فى حرارة تزيد عن ٢٧°م. ويناسب المدى الحرارى ١٤-١٦°م إبطاء النضج دون أن يتكون تحلل غير طبيعى. وفى هذا المدى نجد أن الثمار الخضراء المكتملة التكوين يمكن أن تتلون بصورة مناسبة لتعبئتها للعرض بالأسواق فى خلال ٧-١٤ يومًا.

وتتعرض الثمار التى تحفظ فى حرارة تقل عن ١٠°م للإصابة بالألترناريا خلال فترة تلونها بعد التخزين، وتكون الإصابة بالألترناريا شديدة عند تعرض الثمار لمدة ٦ أيام وهى على حرارة الصفر المئوى، أو لمدة ٩ أيام على حرارة ٤°م. كذلك فإن نسبة كبيرة من الثمار التى تتعرض لحرارة تقل عن ١٠°م لمدة أسبوع قبل الحصاد قد تظهر بها إصابة الألترناريا بعد الحصاد حتى ولو خزنت فى حرارة مناسبة.

كذلك فإن أضرار البرودة يمكن أن تظهر على ثمار الطماطم التى تتعرض — قبل الحصاد — لحرارة تقل عن ١٥°م لمدة تزيد عن ١٥ يومًا خلال الأسبوع السابق للحصاد، وتزداد شدة الإصابة بزيادة فترة التعرض للحرارة المنخفضة.

يفضل أن يكون تبريد الطماطم فى حجرات التخزين المبردة room cooling التى تخزن فيها مباشرة، وأفضل حرارة للتخزين هى ١٤-١٥°م للثمار الخضراء المكتملة التكوين، و ٩-١٠°م للثمار الوردية اللون، و ٧-١٠°م للثمار الحمراء الصلبة، علمًا بأن الفترة المتوقعة لاحتفاظ الثمار بجودتها هى ٢١-٢٨ يومًا بالنسبة للثمار الخضراء المكتملة التكوين. و ٧-١٤ يومًا بالنسبة للثمار الوردية اللون، و ٣-٥ أيام بالنسبة للثمار الحمراء

الصلبة، وذلك إذا ما كان التخزين فى الحرارة الموصى بها، مع ٩٠٪-٩٥٪ رطوبة نسبية.

هذا .. ويمكن حفظ الثمار التى وصلت إلى مرحلة ٦٠٪-٩٠٪ تلوين لمدة أسبوع على ١٠°م، ولكن حفظها لفترة أطول من ذلك على تلك الدرجة قد يؤثر سلبيًا على جودتها أثناء عرضها للبيع. كذلك فإن حفظ ثمار الطماطم المكتملة النضج على حرارة تقل عن ٤°م لفترة طويلة يفقدها لونها الجيد ويؤثر سلبيًا على صلابتها وجودتها.

ويتعين — دائمًا — إنضاج الثمار الخضراء المكتملة التكوين قبل محاولة تخزينها فى الحرارة المنخفضة.

ويؤدى تخزين ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين لعدة أسابيع على ١٣°م إلى تعفنها وعدم نضجها بصورة مناسبة، وأفضل حرارة لنضجها هى ١٨-٢١°م مع ٩٠٪-٩٥٪ رطوبة نسبية. وفى حرارة تزيد عن ٢٧°م فإنها تنضج، ولكنها لا تكون فى أفضل نوعية أكلية. هذا بينما يمكن إبطاء نضج الثمار الخضراء المكتملة التكوين وتخزينها لأطول فترة ممكنة بتعريضها — كما أسلفنا — لحرارة ١٤-١٥°م.

هذا ويجب عدم إطالة فترة تخزين الثمار الوردية على ٩-١٠°م عن أسبوعين لأن ذلك يترتب عليه قِصَر فترة الصلاحية للعرض للبيع فى محلات السوبر ماركت. وتجدر الإشارة إلى أن تخزين ثمار الطماطم الوردية أو الحمراء فى حرارة أكثر انخفاضا (مثل ٤°م) بهدف زيادة فترة تخزينها يترتب عليه فقدانها للون الجيد، ولصلابتها، ولطعمها أيضا (جامعة بوردو Purdue — الإنترنت — ٢٠٠٧).

وقد قارن Agar وآخرون (١٩٩٤) فترة الصلاحية للتخزين للثمار التى حصدت وهى خضراء مكتملة التكوين، أو وهى فى مرحلة النضج الوردى، بالثمار التى حصدت وهى حمراء مكتملة التكوين، وذلك فى ثلاثة هجن اختلفت فى كونها إما طبيعية النضج، وإما تحمل جين مثبط النضج rin، أو جين عدم النضج nor، مع تخزين الثمار الخضراء أو الوردية فى حرارة ١٠°م ورطوبة نسبية ٨٥٪-٩٠٪، والثمار الحمراء فى حرارة ٢٠°م.

كانت الثمار التى تحمل الجين rin أكثر الثمار صلابة وأعلاها فى الحموضة المعايرة، ولكنها كانت أقل الثمار فى نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية، بينما كانت الثمار التى تحمل الجين nor أكثرها قدرة على التخزين. وقد بلغت فترة صلاحية الثمار الحمراء — الطبيعية النضج — للتخزين يومين، بينما بلغت فترة التخزين ٤ أيام لتلك التى تحمل الجين rin، و ٦ أيام لتلك التى تحمل الجين nor. وبالمقارنة .. بلغت فترة صلاحية الثمار الوردية للتخزين ٨، و ١٢، و ١٦ يومًا للطرز الثلاثة، على التوالى. وأمكن تخزين الثمار الخضراء مكتملة التكوين التى تنضج طبيعيًا، وتلك التى تحمل الجين rin لمدة وصلت إلى ٣٠ يومًا.

وتتحدد فترة صلاحية الطماطم الشيرى (الكريزية) للتخزين بانفصال الثمار عن محور العنقود rachis، وليس بالتدهور فى الثمار ذاتها، وتعرف منطقتين يمكن أن تتكون فيهما طبقة انفصال ويحدث الانفصال، هما: عند المفصل joint فى منتصف عنق الثمرة، وعند اتصال العنق بالثمرة. وعادة .. يحدث الانفصال عند المفصل شتاءً، بينما يحدث الانفصال عند اتصال العنق بالثمرة صيفًا. ويؤدى بقاء العناقيد فى رطوبة نسبية منخفضة بعد الحصاد إلى فقدها للرطوبة، وعندما تفقد العناقيد ١٠٪ من رطوبتها، فإن وزن محور العناقيد يكون قد فقد ٧٥٪ من وزنه الأصلى، ويزداد معه الانفصال عند مكان اتصال العنق بالثمرة. وبالمقارنة .. فإن بقاء العناقيد فى رطوبة نسبية عالية يحمى الثمار من الانفصال، وعندما يحدث ذلك فإنه يكون عند المفصل (Dvir آخرون ٢٠٠٩).

أضرار البرودة

أعراض أضرار البرودة والعوامل المؤثرة على شدة ظهورها

تتعرض الطماطم للإصابة بأضرار البرودة إذا خزنت — وهى خضراء مكتملة التكوين — على ١٠°م لمدة تزيد عن أسبوعين أو على ٥°م لمدة تزيد عن أسبوع واحد. ومن أهم أعراض أضرار البرودة فشل الثمار فى النضج وفى التلون الكامل، مع ظهور مناطق غير ملونة (blotchy) بها، ولا يكون طعمها جيدًا، وتفقد صلابتها مبكرًا، ويظهر بها نقر

سطحية، مع تلون البذور باللون البنى وزيادة قابلية الثمار للإصابة بالأعفان، وخاصة العفن الأسود الألترنارى.

وبينما تُصاب ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين بأضرار البرودة إذا خزنت على حرارة تقل عن ١٠°م، فإن الثمار تصبح أقل تعرضًا للإصابة بتلك الأعراض كلما ازدادت نضجًا؛ فالثمار الوردية اللون يمكن تخزينها على ٥°م لمدة ٤ أيام دون توقع أية مشاكل، ثم استكمال نضجها على ١٣-١٥°م فى خلال يوم واحد إلى أربعة أيام.

تظهر أعراض أضرار البرودة على الثمار التى تعرضت للحرارة المنخفضة الأقل من تلك التى يمكنها تحملها — حسب درجة نضجها — حتى ولو تعرضت لحرارة معتدلة بعد ذلك.

وتزداد شدة هذه الأضرار بزيادة الانخفاض فى درجة الحرارة، وبزيادة فترة تعرض الثمار للحرارة المنخفضة، سواء أتم ذلك قبل الحصاد، أم بعده، ويكون تأثير التعرض للحرارة المنخفضة متجمعًا. وتظهر أضرار البرودة حتى ولو نقلت الثمار من المخازن ذات الحرارة المنخفضة إلى حرارة أعلى، ويكون ظهور الأعراض أوضح بعد إخراج الثمار من المخازن. كما تحدث أضرار البرودة حتى إذا تعرضت الثمار لدرجة الحرارة المنخفضة قبل الحصاد. ولا يجدى تخزين هذه الثمار — فى المجال الحرارى الملائم — فى وقف إصابتها بهذه الأضرار (Craft & Heinze ١٩٥٤، و Lutz & Hardenburg ١٩٦٨).

وتزداد فرصة تعرض ثمار الطماطم المخزنة فى حرارة ٧°م لأضرار البرودة كلما ازدادت فترة تعرضها لحرارة تقل عن ١٥.٦°م خلال الأسبوع السابق للحصاد (عن Dodds وآخرين ١٩٩٦). وكانت أقل حرارة أمكن تخزين ثمار الطماطم عليها مع نضجها بصورة متجانسة هى ٩°م (Hobson ١٩٨٧).

وتقل فرصة إصابة ثمار الطماطم بأضرار البرودة كلما تقدمت فى النضج؛ فالثمار الحمراء أقل حساسية لأضرار البرودة من الثمار الوردية، والوردية أقل من تلك التى فى بداية التلوين .. وهكذا.

وقد افترض Auto & Bramlage (١٩٨٦) أن نقص حساسية ثمار الطماطم للإصابة بأضرار البرودة بعد بداية الكلايمكترك ربما كان مرتبطًا بزيادة فى لزوجة الأغشية الخلوية.

وقد وجد Bergevin وآخرون (١٩٩٣) أن ثمار الطماطم الخضراء مكتملة التكوين المخزنة بأعناقها فى حرارة درجة واحدة مئوية – تصاب بأضرار البرودة بدرجة أكبر من إصابة الثمار المماثلة – المخزنة تحت نفس الظروف – بدون أعناقها. ظهرت أعراض أضرار البرودة على الثمار المخزنة بأعناقها فى صورة انكماش وتلون سطحى للثمار بعد ٨ أيام أو أكثر من تعرضها للحرارة المنخفضة، ولم تنضج هذه الثمار طبيعيًّا عندما نقلت بعد ذلك إلى حرارة ٢٠°م. أما الثمار التى حزنت بدون أعناقها فإنها لم تصب بشدة بأضرار البرودة، كما أنها أكملت نضجها بصورة طبيعية بعدما نقلت إلى حرارة ٢٠°م. وقد وجد الباحثون أن تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الداخلى للثمار التى خزنت بدون أعناقها – بعد نقلها إلى حرارة ٢٠°م – كان أقل جوهريا من تركيزه فى الثمار التى خزنت بأعناقها، وتبين أن موقع أثر العنق المُزال بالثمرة هيأ منفذًا ملائمًا لتبادل الغازات بين داخل الثمرة وخارجها؛ الأمر الذى لم يحدث من خلال جلد الثمرة. وقد استنتج الباحثون من ذلك أن الهواء الداخلى للثمار التى تخزن بأعناقها يحتوى على تركيز مرتفع من غاز ثانى أكسيد الكربون – بعد نقلها إلى ٢٠°م – وأن ذلك يحفز ظهور أعراض البرودة عليها.

وتقسم أضرار البرودة فى الطماطم – حسب شدة الضرر العادة – إلى الفئات التالية:

١ – أضرار طفيفة، وفيها يقتصر الضرر على فقد الثمار لصلابتها، مع عدم انتظام التلوين.

٢ – أضرار متوسطة، وفيها تظهر بالثمرة بقع مائية المظهر، وتبرقشات صفراء فى خلفية حمراء، ويكون سطحها غير منتظم أو غير أملس.

٣ – أضرار شديدة، وفيها تظهر بالثمرة بقع كبيرة خضراء صلبة فى خلفية حمراء، مع انهيار فى الخلايا يترتب عليه عدم انتظام سطح الثمرة، وفقد الثمرة لرطوبتها وذبولها (عن Jackman وآخرين ١٩٩٠).

وقد جرت العادة على قياس شدة الضرر الحادث من جراء التعرض للحرارة المنخفضة بقياس التغير فى درجة التوصيل الكهربائى لراشح خلايا الأنسجة الثمرية (والذى يحدث نتيجة للتسرب الأيونى الذى يصاحب أضرار البرودة)، ولكن Côte وآخرين (١٩٩٣) أوضحوا أن هذه الطريقة لا تعطى – دائمًا – نتائج يمكن الاعتماد عليها.

طبيعة أضرار البرودة

من المعتقد أن أعراض أضرار البرودة تنشأ نتيجة للأضرار التى تحدثها الحرارة المنخفضة (صفر إلى ١٠°م) فى كل من الأغشية الخلوية المحيطة بالبروتوبلازم plasma membrane، والمبطنة له (المحيطة بالفجوات العصارية) tonoplast، وذلك فى خلايا الجدر الثمرية pericarp؛ الأمر الذى ينعكس على صورة زيادة فى التسرب الأيونى من تلك الثمار.

كذلك تضر الحرارة المنخفضة بالأغشية البلازمية للبلاستيدات الخضراء فى ثمار الطماطم الخضراء مكتملة التكوين؛ الأمر الذى يتعارض مع تحولها إلى بلاستيدات ملونة بعد ذلك.

كما صاحب ظهور أعراض البرودة (بعد أيام من نقل الثمار إلى حرارة ٢٤°م، بعد تخزينها لمدة ٢٠ يومًا فى حرارة ٥°م) حدوث انفصال فى ليبيدات الغشاء الخلوى للميكروسومات (Sharom وآخرون ١٩٩٤).

ويستدل من دراسات L. Heureux وآخرين (١٩٩٣) حدوث زيادة جوهرية فى نسبة الأحماض الدهنية غير المشبعة خلال فترة تعريض ثمار الطماطم للحرارة المنخفضة (١°م)، مع عودة جزئية فقط لحالة التشبع بعد نقل الثمار إلى حرارة مرتفعة

(٢٠°م)؛ الأمر الذى قد يتسبب فى عدم ثبات الأغشية الخلوية وعدم أدائها لوظائفها بصورة طبيعية بعد نقل الثمار إلى الحرارة المرتفعة لاستكمال نضجها.

ويذكر Whitaker (١٩٩٤) أن الفوسفوليبيدات phospholipids – التى توجد فى الأغشية الخلوية – لا تتأثر بالحرارة المنخفضة، بينما تتغير الاستيرولات sterols أثناء التعرض للبرودة وبعد التعرض للدفء؛ الأمر الذى قد يؤثر على وظائف الأغشية الخلوية. كما حصل Bergevin وآخرون (١٩٩٣) على نتائج مماثلة فيما يتعلق بعدم حدوث تغيرات مؤثرة فى الفوسفوليبيدات من جرّاء التعريض للبرودة، ولكنهم أرجعوا أضرار البرودة إلى الفقد الذى تحدثه الحرارة المنخفضة فى الـ galactolipid polyunsaturated fatty acids.

هذا .. ويصاحب ظهور أضرار البرودة فى الطماطم حدوث انهيار تدريجى لخلايا الطبقات العميقة من الجدار الثمرى الخارجى، مع حدوث خفض فى نشاط أيون النضج لكل من السكريات (الجلوكوز والفراكتوز والسكرون)، والأحماض العضوية (الطرطريك tartaric والماليك malic والأسكوربيك ascorbic والصكّنك succinic)، ومضادات الأكسدة: الفينول والليكوبين، مع حدوث توقف لتمثيل الكاروتينات، هذا بينما يزداد مستوى الجلوتاثيون glutathione (Gómez وآخرون ٢٠٠٩).

التغيرات فى النكهة أثناء التخزين العادى

أوضحت دراسات Stern وآخرون (١٩٩٤) أن نحو ٥٠٪ فقط من المركبات المتطايرة التى أمكن عزلها من ثمار الطماطم كانت تركيزاتها عالية بالقدر الذى يمكن من الإسهام فى إعطاء الطماطم نكهتها العامة المميزة. وقد كان هناك تفاعل بين هذه المركبات – باستثناء المركب مثيل سيليكيت methyl silicate – ودرجة الحرارة التى خزنت فيها الثمار، حيث انخفض إنتاج المركبات المتطايرة بشدة مع انخفاض حرارة تخزين الثمار إلى أقل من ١٠°م. ولكن اعتمد المستوى النهائى للمواد المتطايرة المنتجة على درجة الحرارة النهائية التى أُنضجت عليها الثمار. فعندما رفعت حرارة الإنضاج النهائية إلى ٢٠°م للثمار التى

خزنت فى البداية فى ١٠°م أو أقل من ذلك – أُنتجت المركبات المتطايرة بمستويات مماثلة لمستويات إنتاجها فى الثمار التى خزنت فى حرارة أعلى من ١٠°م وعندما كان اكتمال النضج فى حرارة أقل من ١٠°م انخفض إنتاج المركبات المتطايرة.

وأدى تخزين ثمار الطماطم الحمراء على حرارة ١٠°م – مقارنة بحرارة ٢٠°م – إلى إحداث تغيرات فى مستويات المركبات المتطايرة: 3-methylbutanol، و linalool، و guiacol، و hexanol، و trans-2-hexenal، و trans-3-hexenol. وقد ارتبطت تلك التغيرات بأخرى سلبية فى طعم الثمار فى اختبارات التذوق (De León Sánchez وآخرون ٢٠٠٩).

وقد دُرست التغيرات فى مكونات ثمار ثلاثة أصناف من الطماطم من المواد المتطايرة المسئولة عن النكهة، وذلك أثناء تخزينها – بعد حصادها وهى حمراء – لمدة ٢١ يومًا على ٢٠°م، مع ٥٥٪ رطوبة نسبية، ووجد ما يلى:

١ – ازداد تركيز ثمانى مركبات فى جميع الأصناف، وهى:

hexanal	(E)-2-heptenal
(E,E)-2,4-decadienal	6-methyl-5-hepten-2-one
geranylacetone	2-isobutylthiazole
1-nitro-2-phenylethane	geranial

٢ – انخفض تركيز المركب المتطاير methyl salicylate فى كل الأصناف.

٣ – انخفض تركيز المركب (Z)-3-hexenal فى الصنفين Mickey، و Venessa.

٤ – انخفض تركيز المركب (E)-2-hexenal فى الصنف Venessa بعد ١٠ أيام من التخزين.

٥ – ازداد "طعم الطماطم" مع التخزين (Krumbein وآخرون ٢٠٠٤).

التخزين فى الجو المعدل والجو المتحكم فى مكوناته

على الرغم من نجاح تخزين الطماطم فى الجو المعدل إلا أن هذه الطريقة لم تطبق –

بعد — على النطاق التجارى، لعدم وجدود مبررات للحاجة إليها حتـى الأن، ولأن لهـا بعض المساوىء التى تترتب على عدم الدقة فى تنفيذها.

ومن بين الدراسات العديدة التى أجريت فى هذه المجال، نذكر ما يلى:

● كان أفضل جو معدل لزيادة فترة احتفاظ ثمار الطماطم بقدرتها علـى التخـزين هـو الذى احتوى على ٣٪ أكسجين والباقى نيتروجين، حيث تلونت الثمار الخضراء مكتملة النمو — التى حُفظت فى هذا الجو لمدة ٦ أسابيع فى حرارة ١٢,٨°م — عندما نقلـت إلى الهواء العادى فى حـرارة ١٨,٣°م، وكـان طعمهـا "مقبـولاً". وقـد بلغـت نـسبة الإصـابة بالعفن فى هذه الثمار أقل من ٥٪، مقارنة بنسبة عفن بلغت أكثـر مـن ٩٠٪ فـى الثمـار التى حفظت فى الهواء العادى.

● كان من الضرورى عدم تعريض الثمار المخزنة فى الجو المعـدل للحـرارة المنخفـضة (التى تحدث معها أضرار البرودة)، لتجنب زيادة إصابتها بالأعفان.

● ازدادت فترة احتفاظ ثمار الطمـاطم — التـى كانـت فـى كُـلٍّ مـن مرحلتـى بدايـة التلوين أو اللون الوردى — بقدرتها على التخزين عندما حفظت فى جـو معـدل يحتـوى على ٤٪–٨٪ أكسجين، و ١٪–٢٪ ثانى أكسيد كربون. وقد أدى نقص نسبة الأكسجين عن ٤٪، أو زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون عن ٤٪ إلى عدم انتظام نضج الثمار.

● أدى حفظ ثمار الطماطم فى جول معدل يحتـوى علـى أكـسجين بنـسبة ١٠٪، أو ٣٪، أو ١٪ (والبـاقى نـيتروجين) — فـى حـرارة ١٢,٨°م — إلى زيـادة قـدرتها علـى التخزين إلى ٦٢، و ٧٦، و ٨٧ يومًا على التوالى.

● احتفظت ثمار الطماطم التى خزنت فى جول معدل يحتوى على ٥٪ أكـسجين، و ٥٪ ثانى أكسيد كربون بطعمها الجيد عن تلك التى خزنـت فـى ٣٪ أكـسجين مـع ٥٪ ثانى أكسيد كربون. وقد كان وجود ثـانى أكـسيد الكربـون ضـروريًا لتجنـب فقـد الثمـار للونها الأحمر الزاهى.

● تفيد تعبئة الثمار فى البوليثيلين packaging polyethylene فى توفير جـو معـدل تنخفض فيه نسبة الأكسجين، وتزيد فيه نسبة ثـانى أكسيد الكربـون — بـسبب تـنفس

الثمار – الأمر الذى يؤدى إلى تقليل أعفان الثمار، وإبطاء نضجها وطراوتها وفقدها لرطوبتها، وزيادة فترة احتفاظها بجودتها أثناء التخزين، وبمحتواها من المواد الصلبة الذائبة التى تفقد تدريجيا بالتنفس. كذلك تؤدى التعبئة فى أغشية البوليثيلين بسمك ١٠ ميكرونات إلى تقليل إصابة الثمار بأضرار البرودة وبالتشوهات السطحية فى لون الثمار (blemishes، أو red blotches)؛ بسبب سرعة التئام الجروح فى ظروف الرطوبة العالية المحيطة بالثمار التى تمنع كذلك فقد الرطوبة من الجلد، علمًا بأن فقد الرطوبة من الجلد يعد العامل الرئيسى لظهور التشوهات اللونية السطحية (عن Salunkhe & Desai ١٩٨٤).

● يؤدى تعريض ثمار الطماطم الخضراء مكتملة التكوين لتركيز ٣٪–٥٪ من ثانى أكسيد الكربون – لمدة تتوقف على الصنف – إلى تأخير نضجها وعدم انتظامه، وفقدها لصلابتها، وظهور بقع بنية عند طرفها الزهرى. كما أن خفض نسبة الأكسجين فى هواء المخزن بهدف إبطاء نضج الثمار يؤثر كذلك على نوعية الثمار. ولكن هذه الأضرار لا تحدث إلا فى التركيزات المنخفضة كثيرًا؛ فعندما يكون تركيز الأكسجين ٢٪ أو أقل، يكون نضج الثمار غير منتظم، ولا يكون طعمها مستساغًا، إلا أن التخزين فى الجو المعدل يساعد على إبطاء نضج الثمار، وفقد الكلوروفيل، وتمثيل الليكوبين، والصبغات الكاروتينية carotenoids، والزانثوفيلية xanthophylls. ويمكن لثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين أن تخزن لمدة ٧ أسابيع فى هواء معدل حرارته ١٢,٨°م يحتوى على ٤٪ أكسجين، و ٢٪ ثانى أكسيد الكربون، و ٥٪ أول أكسيد الكربون. وتبقى الثمار بعد ذلك بحالة جيدة لمدة أسبوع واحد إلى أسبوعين فى حرارة ٢٠°م لحين استهلاكها. ويعمل أول أكسيد الكربون مع نسبة الأكسجين المنخفضة على خفض أو منع تعفن الثمار أثناء وجودها فى المخازن، دون التأثير على جودتها.

● ولقد وجد أن استعمال الأرجون argon كمكون رئيسى لجو التخزين (مع الأكسجين المنخفض) يقلل من النمو الميكروبى ويحافظ على جودة منتجات الخضر.

● وقد تأخر نضج الطماطم الخضراء المكتملة التكوين وانخفض معدل إنتاجها

للإثيلين ومعدل تنفسها فى جو يحتوى على ٣٪ أكسجين مع الأرجون. مقارنة بما حدث عندما كان النيتروجين هو المستخدم مع تركيز منخفض من الأكسجين (عن Jamie & Saltveit ٢٠٠٢).

● أدى تخزين الطماطم فى هواء خال من الأكسجين لمدة ٢٤ ساعة فقط إلى خفض عفن الثمار المحقونة صناعيًا بالفطر *Botrytis cinerea*، وذلك دون التأثير على أى من صفات جودة الثمار. هذا إلا أن إطالة فترة المعاملة بالهواء الخالى من الأكسجين إلى ٤٨ ساعة كانت لها تأثيرات سلبية على الجودة (Fallik وآخرون ٢٠٠٣).

● عندما خزنت ثمار الطماطم وهى فى مرحلة النضج الوردى فى عبوات من أغشية البوليثيلين بسمك ٢٠ أو ٥٠ ميكرون، أو البولى بروبلين بسمك ٢٥ ميكرون، أو البولى فينيل كلورايد بسمك ١٠ ميكرون لمدة ٦٠ يومًا على ١٣°م، انخفض تركيز الأكجسين، بينما ازداد تركيز ثانى أكسيد الكربون خلال الأيام القليلة الأولى من التخزين؛ ليصل بعدها هواء العبوات إلى حالة توازن. ولقد أصبحت ثمار الكنترول التى لم تعبأ فى أى من تلك الأغشية زائدة النضج بعد ٣٠ يومًا من بداية التخزين، بينما تأخر تلون الثمار التى عبئت فى الأغشية — وخاصة أغشية البوليثيلين والبولى بروبلين لأكثر من ٣٠ يومًا. وكانت الثمار مازالت صلبة بعد ٦٠ يومًا من التخزين، كما أظهرت أقل فقد فى الوزن وكانت الأعلى محتوى من المواد الصلبة الذائبة بعد ٦٠ يومًا من التخزين (Batu & Thompson ١٩٩٨).

● بينما أدى تخزين ثمار الطماطم فى ٣٪ أكسجين إلى تقليل إصابتها بالأعفان التى يسببها الفطرين *Rhizopus*، و *Alternaria*، فإن ذلك التركيز — وأقل منه — لم يكن له تأثير على نمو الفطرين فى البيئات الصناعية؛ بما يعنى أن انخفاض نسبة الأكسجين فى هواء المخزن يؤثر فى أنسجة الثمار ذاتها؛ بما يجعلها أكثر مقاومة للفطرين (Thompson ١٩٩٨).

● يحقق التخزين فى الجو المعدل مزايا أخرى. منها المساعدة فى خفض الآثار المتبقية

من المبيد أوكساميل (وهو مبيد حشائش ومبيد حشرى) فى ثمار الطماطم؛ حيث لا يُسمح بزيادة التركيز المتبقى من هذا المبيد فى ثمار الطماطم عن جزئين فى المليون فى الولايات المتحدة، وعن ٠,١ جزءًا فى المليون فى الطماطم المستوردة فى كندا. وقد وجد McGarvey وآخرون (١٩٩٤) أن تركيز هذا المبيد ينخفض — سريعًا — فى ثمار الطماطم المخزنة فى حرارة ١٥°م فى جو معدل يتكون من ١,٥٪ أكسجينًا + ٨٩,٩٪ نيتروجينًا، أو ١,٥ أكسجينًا + ٤,٠٪ ثانى أكسيد كربون + ٩٤,٥٪ نيتروجينًا عما فى الثمار التى خزنت فى نفس درجة الحرارة ولكن فى الهواء العادى. وقد كان نضج الثمار أسرع فى الهواء العادى مما حدث فى معاملتى الهواء المتحكم فى نسب مكوناته.

الخلاصة

على الرغم من تباين الجو المعدل المناسب لثمار الطماطم فى مختلف درجات النضج، فإن ٣٪ أكسجين + ٢٪ ثانى أكسيد كربون يعد مناسبًا بصورة عامة، حيث تحتفظ الثمار بجودتها لفترة أطول. فمثلاً .. تحتفظ الثمار الخضراء المكتملة التكوين بجودتها لمدة ٦ أسابيع على حرارة ١٣°م فى جو يحتوى على ٣٪ أكسجين + ٩٧٪ نيتروجين، دون أن يظهر بها أى تغيرات غير مرغوب فيها فى المذاق. كذلك يساعد التخزين فى الجو المتحكم فيه فى تأخير ظهور الأعراض غير المرغوب فيها للأضرار الميكانيكية.

وتعد ظروف الهواء المتحكم فيه المناسبة للطماطم كما يلى:

١- الطماطم الخضراء المكتملة التكوين: ٣٪ إلى ٥٪ أكسجين + ٢٪ إلى ٣٪ ثانى أكسيد كربون على حرارة ١٢-٢٠°م، والاستفادة تكون قليلة.

٢- الطماطم الحمراء: ٣٪ إلى ٥٪ أكسجين + ٣٪ إلى ٥٪ ثانى أكسيد كربون على حرارة ١٠-١٥°م، والاستفادة تكون متوسطة (Sargent & Moretti ٢٠٠٤).

التخزين تحت ضغط منخفض

يفيد تخزين جميع الثمار الكلايمكتيرية Climacteric Fruits تحت ضغط منخفض subatmospheric pressure (أو Hypobaric) فى إطالة فترة قدرتها على التخزين؛ ذلك

لأن الإثيلين الذى تنتجه هذه الثمار – وهو الذى يُسَرِّع إنضاجها – تتم إزالته أولا بأول بسبب عملية التفريغ الجزئى الدائمة التى تتعرض لها الثمار المخزنة، كما أن عملية التفريغ تلك تُزيل – كذلك – الأكسجين مع الإثيلين؛ الأمر الذى يبطئ إنتاج الثمار للإثيلين؛ لأن عملية إنتاج الإثيلين تحتاج إلى توفير الأكسجين؛ ويترتب على ذلك كله إبطاء نضج الثمار وزيادة فترة صلاحيتها للتخزين.

وكما أوضحنا فى حالة التخزين فى الجو المعدل، فإن الحاجة إلى تخزين الطماطم تحت تفريغ ليست لها مبررات اقتصادية للتطبيق تجاريًّا – بعد – على الرغم من نجاحها بحثيًّا.

ومن بين الدراسات التى أجريت فى هذا المجال، نذكر ما يلى (عن Salunkhe & Desai ١٩٨٤):

- أمكن تخزين الطماطم لمدة ١٠٠ يوم تحت ضغط ١٠٢ مم زئبق إذا نقلت الثمار – بعد ذلك – إلى ضغط ٦٤٦ مم زئبق، وذلك فى حرارة ١٢,٨°م ورطوبة نسبية ٩٠٪ إلى ٩٥٪. وقد أدت المعاملة إلى تأخير فقد الكلوروفيل، وتثبيط تمثيل الليكوبين والبيتاكاروتين، وتحلل النشا، وتكوين السكريات.
- ازدادت قدرة ثمار الطماطم على التخزين بحفظها تحت ضغط منخفض يتراوح بين ٦٥٨ و ٧٠٩ مم زئبق.
- أمكن حفظ ثمار الطماطم التى فى طور بداية التلوين لمدة ٤ أسابيع تحت تفريغ جزئى دون أن تتقدم فى النضج إلى أكثر من اللون الوردى الفاتح؛ الأمر الذى يمكن معه شحن الثمار وهى فى هذه المرحلة من النضج، حيث تكون صفاتها الأكلية أفضل من الثمار التى تحصد وهى خضراء مكتملة التكوين.

التصدير

يزداد الطلب على الطماطم المصرية فى الفترات التى يقل فيها الإنتاج فى الدول المستوردة. وهى الفترة من ديسمبر إلى مارس بالنسبة للدول الأوروبية. والفترة من يونية