أقل مما فى الثمار التى بردت بطريقة الدفع الجبرى للهواء، كما أمكن مكافحة الفطرين الرئيسيين المسببين لأعفان الثمار بعد الحصاد (وهما: *Botrytis cinerea*، و *Rhizopus stolonifer*) بإضافة الكلور الحر إلى ماء التبريد بتركيز ١٢٠ جزء فى المليون، مع ضبط pH الماء عند ٦-٧.

وعلى الرغم مما تقدم بيانه، فإنه لا يوصى أبدًا فى الوقت الحاضر بتبريد ثمار الفراولة أوليًّا بالماء البارد أو باستعمال الثلج لأن الثمار المبتلة تكون شديدة الحساسية للإصابة بالأعفان، كما أن الأسواق الأوروبية لا تقبل الثمار المبتلة.

التبريد الأولى بالتعريض للضغط المنخفض

أمكن تبريد ثمار الفراولة أوليًّا بطريقة التعريض للتفريغ vacuum cooling. وفى هذه الطريقة تم تعبئة الفراولة أولاً ثم وضعت فى حجرة التبريد بالتفريغ وخفض الضغط تدريجيًّا من ١١ إلى ٢ كيلو باسكال kPa خلال الدقيقة الأولى، ثم إلى ٠,٤ كيلو باسكال خلال الدقيقة الثانية، وبعد ذلك استمر الضغط عند حوالى ٠,٥٥ كيلو باسكال. وفى خلال ٣٠ دقيقة انخفضت حرارة سطح الثمار من ٢٠,٤°م إلى ٣,١°م، وحرارتها الداخلية من ٢١,٢°م إلى ٣°م. ولم تكن للتبريد بهذه الطريقة أية تأثيرات ضارة على خصائص الثمار. وبينما أدى التبريد بالتفريغ إلى فقد الثمار لحوالى ٢,٣١٪ من وزنها، فإن الفقد فى الوزن الذى تلى ذلك عند التخزين على ٥°م، و ٧٥-٨٠٪ رطوبة نسبية لمدة ٨-١٠ أيام كان أقل مما فى ثمار الكنترول التى وضعت مباشرة فى المخزن البارد دونما تبريد أولى (Amigo Martin & Mingot Marcilla ١٩٩٦).

التخزين البارد المؤقت

تحتاج ثمار الفراولة المبردة أوليًّا إلى تخزينها - مؤقتًا - على حرارة الصفر المئوى، مع رطوبة نسبية مقدارها ٩٠-٩٨٪ قبل تحميلها فى شاحنات أو حاويات مبردة. هذا إلا أنه لا يجوز تخزين محصول الفراولة لأكثر من يوم واحد إذا كان معدًّا للتصدير، لأن فترة التخزين تلك تستقطع تلقائيًّا من فترة بقاء الثمار بحالة جيدة خلال عملية الشحن والعرض فى الأسواق والتى يجب ألا تقل عن أسبوع. كما لا يجب إجراء ذلك

التخزين المؤقت إلا بهدف تجميع قدر كاف من المحصول لأجل شغل الفراغ الخاص بالشحنة فى الطائرات، أو إن لم تتوفر فراغات للشحنة فى الطائرات. ويفضل دائمًا وصول المحصول إلى المطار فى مساء نفس يوم الحصاد.

ويلزم عادة توفير أجهزة لرفع الرطوبة النسبية إلى ما بين ٩٠٪، و ٩٨٪. ويجب وضع ستائر بلاستيكية ثقيلة على جميع المداخل لأجل الحد من تسرب الهواء الدافئ إلى داخل المخازن.

ويتعين تزويد المخازن المبردة بمراوح داخلية ذات قدره على تحريك الهواء داخل المخزن بمعدل ٠,٠٦-٠,١٢م^{٣}/دقيقة لكل طن من الفراولة على أساس الحد الأقصى للسعة التخزينية للمخزن. ويجب تصميم وضع المراوح ومنافذ الهواء بحيث يتحرك الهواء ببطء فى جميع أجزاء المخزن لضمان تجانس درجة الحرارة فيه.

ويجب أن تتوفر بالمخازن ستائر بلاستيكية سميكة تتدلى على جميع الأبواب وفتحات الممرات لتجنب فقد الرطوبة من المخازن. كذلك يجب أن يستعمل فى نقل بالتات المحصول روافع مشعبة forklifts تعمل بالكهرباء، للحد من كمية الطاقة الحرارية التى تخلفها عند التشغيل.

وتجدر الإشارة إلى أن احتياجات التبريد لأجل التبريد الأولى تزيد كثيرًا عن الاحتياجات التى تلزم للمخازن المبردة؛ الأمر الذى يتعين أخذه فى الاعتبار عند دراسة احتياجات التبريد لكليهما.

كذلك لاتؤثر كثيرًا حركة الهواء السريعة على فقد الرطوبة من الثمار أثناء التبريد الأولى، ولكن استمرار الحركة السريعة للهواء لفترة طويلة أثناء التخزين التالى للتبريد الأولى يمكن أن يؤدى إلى ذبول الثمار وانكماشها.

وبينما لا تكون الحاجة ماسة جدًّا لأن تكون الرطوبة النسبية ٩٥٪ أثناء التبريد الأولى، فإنها تكون ضرورة حتمية أثناء التخزين البارد.

هذا .. ويفضل دائمًا أن يكون التبريد الأولى فى جزء مستقل من حجرة تبريد كبيرة (عن Picha ١٩٩٧).

الشحن المبرد فى جو هوائى معدل

تفيد زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون وخفض نسبة الأكسجين فى إبطاء نضج الثمار وتحللها بعد الحصاد، ولكن لايمكن أن يكون ذلك بديلاً للتبريد والرطوبة النسبية العالية. وتؤدى زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون إلى ١٠-٢٠٪، مع خفض نسبة الأكسجين إلى ٥-١٠٪ إلى تثبيط إصابة الثمار بالعفن الرمادى دون أن يلحق بها أضرارًا. ولطالما استعمل ثانى أكسيد الكربون فى الماضى كمثبط للنمو الفطرى فى شحنات الفراولة باستعمال الثلج الجاف مع إحكام تغطية البالتات للمحافظة على الغاز الذى ينتج عن تسامى الثلج الجاف.

وعلى خلاف الجو المتحكم فى مكوناته controlled atmosphere – والذى تراقب فيه بدقة تركيز الغازات – فإن الجو المعدل modified atmosphere يتم التوصل إليه من خل نظام البالتات palletization technique. يستخدم لذلك تقنية تجارية تعرف باسم نظام تكترول Tectrol System، وفيه تغطى بالتات الفراولة بكيس كبير من البوليثيلين بسمك ١٢٥ ميكرون، يتم لحامة جيدًا عند القاعدة الخشبية بشريط لاصق، ثم يسحب الهواء من داخل البالتة حتى يحدث تفريغ جزئى، ويلى ذلك دفع مخلوط من ١٥٪-٢٠٪ ثانى أكسيد كبريون مع الهواء عن طريق فتحة صغيرة توجد فى قمة الكيس، ثم تغلق هذه الفتحة جيدًا. وبمقتضى هذه التقنية تتراوح نسبة ثانى أكسيد الكربون داخل البالتة بين ٤٪، و ٢٦٪ (عن Perkins-Veazie ١٩٩٦)، ولكن بمتوسط قدره ١٢٪-١٥٪، حيث يتساوى تقريبًا الفاقد من ثانى أكسيد الكربون بالتسرب مع المنتج منه عن طريق تنفس الثمار (Picha ١٩٩٧).

يمكن أن تظهر نكهة غير مرغوب فيها وروائح منفردة بثمار الفراولة فى خلال فترة لا تتجاوز ١٢ ساعة من تخزينها فى الجو المعدل أو فى الجو المتحكم فيه. وغالبًا ما يحدث ذلك نتيجة لزيادة تركيز الأسيتالدهيد بالثمار، ثم تحلله إلى كحول إثيلى، مكسبًا الثمار طعمًا كحوليًا. وتعد خلات الإثيل أكثر المركبات المتطايرة إسهامًا فى إعطاء الرائحة المنفردة فى مثل هذه الحالات.

ويمكن لثمار الفراولة أن تتحمل تركيزات عالية من ثانى أكسيد الكربون؛ مما يؤدى إلى زيادة قدرتها على تحمل التخزين. ويوصى غالبًا بزيادة تركيز الغاز إلى ١٥٪ عند

التخزين على ١٠°م، وإلى ٢٠٪ عند التخزين على ٥°م. وقد كانت استجابة ثمار الفراولة لزيادة تركيز الغاز خطية فيما بين تركيز صفر٪، و ١٨٪.

وتؤدى زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون إلى ٣٪ إلى تكوين طعم غير مرغوب فيه، وتتراوح النسبة المثلى للغاز بين ١٢٪، و ١٥٪. وبينما يؤدى خفض نسبة الأكسجين إلى ما بين ٠,٥٪، و ٢٪ إلى الحد من تنفس الثمار ومن نشاط الكائنات الدقيقة المسببة للعفن، إلا أن ذلك يؤدى - كذلك - إلى تكوين طعم غير مرغوب.

ولم تؤد زيادة تركيز الغاز إلى تثبيط نمو الفطريات المسببة للأعفان فقط، بل إنها أخرت فقد الثمار لصلابتها دون أن تؤثر على طعمها (عن Kim & Wills ١٩٩٨).

وتؤدى زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون عن الحدود الموصى بها إلى ظهور طعم غير مقبول بالثمار تتوقف شدته على كل من التركيز الذى صل إليه الغاز ومدة التعرض له، كما تختلف الاستجابة للغاز باختلاف الأصناف (عن Fernández-Trujillo وآخرون ١٩٩٩).

وتقل الإصابة كثيرًا بالعفن الرمادى عند خفض نسبة الأكسجين إلى ٠,٥٪، ولكن هذا المستوى يقترب كثيرًا من المستوى الذى يضر بالثمار. كذلك تؤدى زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون عن ١٨٪ إلى تثبيط نمو عديد من الفطريات، ولكن هذه النسبة تُحدث أضرارًا بعديد من الثمار (عن Moyls وآخرين ١٩٩٦).

ويمكن لثمار الفراولة أن تحتفظ بجودتها لمدة ١٠-١٤ يومًا على حرارة ١°م فى هواء معدل يحتوى على ٣٪-٥٪ أكسجين، و ١٥٪-٢٠٪ ثانى أكسيد كربون.

كما أمكن المحافظة على نوعية ثمار الفراولة لمدة ١٤ يومًا - بصورة جيدة - بتخزينها على الصفر المئوى مع ١٢٪ ثانى أكسيد كربون، و ٦٪ أكسجين (Yang & Lee ١٩٩٩).

ومن الأهمية بمكان عند تحضير البالتات لأجل معاملتها بثانى أكسيد الكربون أن تكون الثمار مبردة جيدًا إلى الصفر المئوى؛ ذلك لأن الغطاء البلاستيكى للبالية سوف

يعيق أى تبريد إضافى. كما يتعين إجراء كل خطوات هذه العملية فى حجرات مبردة، وقبل الشحن مباشرة.

وتتكثف الرطوبة على الغشاء البلاستيكى المغلف للبالتة فى أى وقت يكون فيه ذلك الغشاء أبرد من الثمار أو أى سطح آخر بداخل البالتة؛ ولذا .. يتعين أن تكون الثمار مبردة أوليًا بشكل جيد جدًا قبل وضعها فى البالتات، وأن يتم تغليف البالتات قبل شحنها مباشرة.

وتجدر الإشارة إلى أن عملية التكثف المائى لا تحفز فقط انتشار الإصابة بالعفن الرمادى، ولكنها تضعف كذلك من متانة الكراتين وتعرض الثمار بداخل البنتس لأضرار جسيمة.

تحدث أكبر فائدة من الشحن والتخزين فى الجو المعدل عند حصاد الفراولة بعد الفترات التى كان يسودها جو بارد رطب أو ضباب كثيف، حيث قد يتجمع الماء الحر على الثمار فى الحقل، وهى الظروف التى يتوقع على أثرها انتشار الإصابة بالعفن الرمادى (عن Mitchell وآخرين ١٩٩٦).

ويتم بهذه الطريقة شحن كميات كبيرة من الفراولة من كاليفورنيا إلى الساحل الشرقى للولايات المتحدة، كما أنها صالحة للتطبيق على شحنات النقل البحرى من مصر إلى أوروبا، علمًا بأن الشحن يستمر على درجة الصفر المئوى. وبهذه الطريقة يمكن أن تحتفظ الثمار بجودتها لعدة أيام بعد خمسة أيام من الشحن البحرى.

ونظرًا للأهمية القصوى للمحافظة على سلسلة التبريد عند اتبع هذه الطريقة؛ فإنه يصعب تطبيقها بهدف زيادة القدرة التخزينية عند الشحن بطريق الجو، بسب الحاجة لفتح العبوات لإجراء الفحص الجمركى فى كل من الدولتين المصدرة والمستوردة.

كذلك فإن مجرد إزالة الغطاء البلاستيكى المحيط بالبالتة لإجراء عملية الفحص يؤدى حتمًا إلى تسرب غاز ثانى أكسيد الكربون.

ولكن يفيد اتباع هذه التقنية فى الشحن البحرى للفراولة حيث تبقى الشحنة طوال

فترة التسحين وهى محكمة الإغلاق؛ وبذا .. تتحقق الاستفادة المرجوة من زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون (عن Picha ١٩٩٧).

وقد ذكر أن زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون فى الهواء المحيط بالثمار يجعلها تحتفظ بصلابتها لفترة أطول مقارنة بالتخزين فى الجو العادى فى الحرارة ذاتها. ليس [illegible] وجد أن تخزين ثمار الفراولة [illegible] أيامًا إلى ٥ر٠°م لمدة ٤٢ ساعة فى ١٥٪ ثانى أكسيد كربون أدى إلى تحسين صلابة الثمار – مقارنة بصلابتها عند بدء التخزين – فى ٢١ صنفًا من بين ٢٥ صنف تمت دراستها.

كذلك أدى تخزين الفراولة فى هواء يحتوى على ٢٠٪–٣٠٪ ثانى أكسيد كربون على حرارة ٢ر١°م لمدة يومين إلى زيادة صلابتها. وأظهر تحليل الجدر الخلوية أن الثمار المعاملة بهذه الطريقة نقص محتواها من البكتين القابل للذوبان فى الماء، بينما ازداد محتواها من البروتين الذائب الخالب chelating soluble protein، مقارنة بالثمار التى خزنت فى هواء عادى (Siriphanich ١٩٩٨).

وأعطى تعريض ثمار الفراولة لغاز ثانى أكسيد الكربون بتركيز ٢٠٪ – بصورة مستمرة – أفضل تأثير فيما يتعلق بزيادة صلابة الثمار، كما أن معاملة الثمار بالغاز بتركيز ١٠٠٪ لمدة لاتزيد عن ٣ ساعات كانت – كذلك – فعالة فى زيادة الصلابة دون التأثير سلبيًا على الجودة؛ إلا أن المعاملة بهذا التركيز لمدة ٤ ساعات أدت إلى تكوين طعم غير مرغوب فيه. وقد أوصى – للحصول على أحسن جودة للثمار – عند المعاملة بالغاز بتركيز ١٠٠٪، أن يجرى ذلك لمدة ساعتين فقط (Hwang وآخرون ١٩٩٩).

كذلك وجد Watkins وآخرون (١٩٩٩) لدى معاملتهم لثمار ٧ أصناف من الفراولة بتركيز ٢٠ كيلو باسكال من ثانى أكسيد الكربون على حرارة ٢°م لمدة ٧ أيام أن المعاملة أدت إلى زيادة الصلابة فى كل الأصناف، ولكن بدرجات مختلفة. وكانت الثمار المعاملة بالغاز أضعف لونًا وأقل احمرارًا عن الثمار التى خزنت فى الهواء غير المعدل تحت الظروف ذاتها. كذلك تراكم الأسيتالدهيد، والإيثانول، وخلات الإثيل فى الثمار المعاملة بالغاز، ولكن بدرجات مختلفة، وكانت أقل تركيزات لها فى الصنف Annapolis وأعلى تركيزات فى الصنف Governer Simoe.

ويتأثر مدى الزيادة فى صلابة الثمار التى تُحدثها المعاملة بثانى أكسيد الكربون بكل من درجة نضج الثمار ودرجة حرارة التخزين (عن Harker وآخرين ٢٠٠٠).

وقد عامل Harker وآخرون (٢٠٠٠) ثمار صنف الفراولة باخارو بثانى أكسيد الكربون بتركيز ٥٪-٤٠٪ لمدة ثلاثة أيام، ثم خزنوا الثمار على حرارة الصفر المئوى لمدة ثلاثة أسابيع، ووجدوا أن الثمار كانت أكثر صلابة فى المخزن على حرارة الصفر عما كانت عليه عند الحصاد، وأن الصلابة ازدادت بدرجة أكبر عندما عوملت الثمار بثانى أكسيد الكربون، الذى أحدث زيادة مقدارها ٦٠٪ فى شدة التصاق الجدر الخلوية بعضها ببعض. وقد استنتج الباحثون أن زيادة صلابة الثمار التى أحدثتها المعاملة بغاز ثانى أكسيد الكربون ربما تعود إلى التغيرات فى pH الجدر الخلوية الذى ربما يحفز ترسيب البكتينات الذائبة، ويزيد من شدة لصق الخلايا بعضها ببعض.

وللشحن فى الهواء المعدل تأثيرات أخرى على كل من نكهة الثمار ومحتواها من حامض الأسكوربيك، والصبغات.

فعندما عامل Fernández-Trujillo وآخرون (١٩٩٩) ثمار ٧ أصناف من الفراولة بتركيز ٢٠ كيلو باسكال من ثانى أكسيد الكربون .. وجد أن المعاملة أدت إلى زيادة تركيز الأسيتالدهيد، والإيثانول، وخلات الإثيل فى ثمار الصنفين Honeoye، و Kent، ولكن ليس فى ثمار الصنفين Cavendish، و Annapolis. وقد اعتبر الصنفان الأول والثانى حساسين للتركيز العالى من ثانى أكسيد الكربون، بينما اعتبر الصنفان الثالث والرابع متحملين. كذلك كان نشاط الإنزيمين pyruvate decarboxylate، و alcohol dehydrogenase أعلى فى الثمار المعاملة بالغاز عما فى ثمار الكنترول فى الصنفين المتحملين، ولكن ليس فى الصنفين الحساسين. كذلك ازداد تراكم حامض الصكنك succinate فى ثمار جميع الأصناف، ولكن تركيزاته كانت أعلى فى الأصناف المتحملة عما فى الأصناف الحساسة.

وأدى تخزين ثمار الفراولة فى هواء يحتوى على ثانى أكسيد كربون بنسب عالية وصلت حتى ٢٠٪ فى حرارة صفر إلى ١°م إلى سرعة تحلل حامض الأسكوربيك إلى حامض ديهيدروأسكوربيك dehydroascorbic acid، ثم إلى مركب آخر، ربما كان

2,3-diketogulonic acid، وذلك مقارنة بالتخزين فى الهواء العادى فى الحرارة ذاتها. وبعد ٢٠ يومًا من التخزين كان تحلل حامض الأسكوربيك بدرجة أكبر عندما كان الجو المعدل (الذى يحتوى على تركيز عال من ثانى أكسيد الكربون) يحتوى - كذلك - على ١-٣٪ أكسجين مقارنة بتركيز > ١٤٪ (Agar وآخرون ١٩٩٥).

وازداد تركيز الأنثوسيانين فى الأنسجة الخارجية والداخلية لثمار الصنف سلفا المخزنة على ٥°م لمدة ١٠ أيام، وكانت هذه الزيادة أقل سرعة عندما عُدّل الهواء ليحتوى على ١٠ أو ٢٠ كيلو باسكال kPa من ثانى أكسيد الكربون؛ وبذا .. كان لون الثمار أقل دكنة عند زيادة ثانى أكسيد الكربون فى هواء المخزن عما فى حالة التخزين فى الهواء العادى. وقد وجد كذلك أن الـ pH ازداد، بينما انخفضت الحموضة المعايرة بدرجة كبيرة أثناء التخزين، وازدادت هذه التغيرات مع زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الأنسجة الداخلية للثمار، وربما لعبت هذه التغيرات دورًا فى التأثير على صبغة الأنثوسيانين التى يتأثر تعبير اللون فيها بالـ pH (Holcroft & Kader ١٩٩٩أ، و ١٩٩٩ ب).

طرق الشحن

تنقل الفراولة المبردة أوليًا بطريق البر إما إلى الدولة المستوردة مباشرة، وإما إلى المطار لأجل الشحن الجوى، وإما إلى الميناء لأجل الشحن البحرى. كذلك تنقل الفراولة بعد وصولها إلى ميناء الوصول بطريق البر إلى حيث تخزن مؤقتًا لحين تسويقها.

الشحن البرى

يمكن شحن الفراولة بطريق البر، وتستخدم لأجل ذلك شاحنات ذاتية التبريد توضع فيها بالتات أو كراتين الفراولة (كل ٤ كراتين فى حزمة)، حيث يستمر فيها التبريد بطريقة دفع الهواء من أسفل bottom air-delivery. كما يمكن استخدام الشاحنات المبردة - كذلك - فى نقل البالتات ذات الهواء المعدل، بهدف زيادة فترة احتفاظ الفراولة بجودتها لحين وصولها إلى المستهلك.

وتجدر الإشارة إلى أن الشاحنات المبردة ليست وسيلة لتبريد الفراولة وإنما للمحافظة