د– لا تجب محاولة تخزين درنات البطاطا التى حدثت بها أضرار من جراء تعرضها لأشعة الشمس القوية المباشرة عند الحصاد.

٣– العناية بنظافة المخازن والحماية من القوارض:

أ– ليس من الحكمة تخزين منتجات عالية الجودة فى أماكن غير نظيفة. فيجب إبقاء المكان نظيفاً قدر المستطاع، مع تعقيمه من آن لآخر كلما أفرغ المخزن من محتوياته. وبرغم أن تنظيف المكان وتعقيمه لا يمنع حدوث العفن كلية، إلا أنه يقلله إلى أدنى مستوى ممكن.

ب– تجب تنقية الهواء من الغازات التى قد تكسب الحاصلات الطازجة مذاقاً غير مرغوب فيه، ويستخدم لذلك نوع خاص من الفحم (6-14 mesh activated coconut shell carbon).

جـ– يجب أن تكون المخازن محكمة الغلق تماماً ضد القوارض؛ مثل الفئران وغيرها. فهذه الحيوانات تزيد من الفاقد فى المحصول بطريقة مباشرة، وبطريقة غير مباشرة من خلال زيادة العفن بسبب مهاجمة الكائنات المسببة للعفن للأجزاء المقروضة (Lutz & Hardenburg ١٩٦٨).

٤– الاهتمام بإجراء عمليات التداول – التى أسلفنا بيانها – بأفضل صورة ممكنة.

وبالإضافة إلى ما تقدم بيانه .. فإنه تجرى للحاصلات البستانية عديد من المعاملات الأخرى التى تعمل على إطالة فترة احتفاظها بجودتها أثناء التخزين، والتى نناقشها – فيما يلى – بشئ من التفصيل.

المعاملات الحرارية السابقة للتخزين

تعرف المعاملة الحرارية للثمار والحاصلات البستانية الأخرى بعد الحصاد باسم معالجة curing لأنها تعمل على علاج الجروح والأضرار التى تحدث بالثمار أثناء التداول. كما تُعرف – كذلك – باسم "تهيئة" conditioning لأنها تمكن المنتج من تحمل الظروف القاسية مثل الحرارة الأقل من الحرارة المثلى أثناء النقل والتخزين.

إن للحرارة تأثيرات قاتلة على كل من الفطريات والحشرات، ولكن المدى الحرارى المثالى لمكافحة الحشرات قد لا يكون مثاليًا لمكافحة الأمراض. ويجب ألا تؤدى أى معاملة حرارية لمكافحة الأمراض أو الحشرات إلى إحداث أى أضرار بالمنتج.

وفى واقع الأمر .. نجد فى بعض الأحيان أن الحرارة العالية التى قد تعرض لها المنتجات الطازجة قبل التخزين قد يكون لها تأثيرات مفيدة على تلك المنتجات، ومن بين تلك الفوائد ما يلى:

١- إبطاء نضج الثمار والخضر الكلايمكتيرية.

٢- زيادة حلاوة المنتج بزيادة كمية السكر أو خفض الحموضة.

٣- منع أضرار التخزين الفسيولوجية: مثل الانسفاغ scald السطحى فى التفاح وأضرار البرودة فى الخضر والفاكهة تحت الاستوائية.

إن سبق التهيئة الحرارية قد يعنى – كذلك – فترة يترك فيها المنتج فى حرارة الجو العادى (١٦-٢٥°م)، أو حرارة أقل من حرارة الجو العادى ولكنها أعلى من تلك التى قد يتعرض معها للإصابة بأضرار البرودة (٥-١٢°م)، حسب المحصول. وتعرف تلك المعاملة – عادة – باسم معالجة curing، وهى تجرى على منتجات مثل البطاطس والبصل والجزر، ويكون الهدف منها زيادة مقاومة تلك المنتجات للإصابات المرضية، كما أنها تزيد مقاومة ثمار الموالح لأضرار الحرارة المنخفضة (Lurie & Klein ٢٠٠٤).

تعد المعالجة هى الهدف من معظم المعاملات الحرارية، فهى تعالج الجروح والأضرار التى تحدث أثناء الحصاد وعمليات التداول التالية له. أما التهيئة فإنها معاملة حرارية خاصة تمكن المنتج من تحمل عوامل الشدّ الكبيرة، مثل التعرض لحرارة منخفضة بدرجة غير مناسبة. وقد قسمت تلك المعاملات إلى قصيرة المدة (من عدة ثوانٍ حتى ٦٠ دقيقة فى الماء على حرارة ٤٥-٦٠°م)، أو طويلة المدة (١٢ ساعة إلى ٤ أيام فى الهواء على حرارة ٣٨-٤٦°م). والمعاملة الطويلة المدة هى التى تعرف أحيانًا باسم المعالجة curing،

وهى الأسرع والأقل تكلفة، كما استخدمت معها معاملة التفريش brushing من الأتربة اللاصقة والمتبقيات العالقة سطحيًا. كذلك وجد أن تلك المعاملة تزيد كثيرًا من فاعلية المبيدات الفطرية (مثل imazalil، والـ thiabendazole) التى يمكن استخدامها – حينئذٍ – بتركيزات أقل جوهريًا مما يلزم عادة (Schirra وآخرون ٢٠٠٠).

ومن أمثلة حالات المعالجة، ما يلى:

١- تعالج البطاطس بتعريضها لحرارة ١٢°م لمدة ١٠-١٢ يومًا قبل تخزينها على ٤-٩°م حسب الصنف، وما إذا كانت الدرنات مخصصة للتصنيع أم للاستهلاك الطازج.

٢- تعالج البطاطا بتعريضها لحرارة ٣٠°م لمدة خمسة أيام قبل تخزينها على ١٢°م.

وفى كل من البطاطس والبطاطا تسمح عملية المعالجة بالتئام الجروح وترسيب مواد على الجدر الخلوية تعمل كحاجز ضد المسببات المرضية.

٣- تعالج ثمار الكيوى على حرارة ١٠°م قبل تخزينها فى الحرارة المنخفضة.

٤- يؤدى تعريض أبصال البصل لحرارة ٢٨°م لمدة ثلاثة أيام إلى زيادة فترة تحملها للتخزين.

ومن أكثر المعاملات الحرارية التجارية استخدامًا للتخلص من الفطريات، ما يلى:

١- معالجة الباباظ بالماء الساخن .. وهى التى تجرى منذ منتصف القرن العشرين.

٢- معاملة تفريش بالماء الساخن فى خطوط التعبئة وهى التى تعد حديثة نسبيًا وتجرى مع الذرة السكرية، والمانجو. والفلفل. يتم رش الماء وهو على حرارة ٥٠ إلى ٦٥°م على المنتج أثناء مروره على مدحرجات أسطوانية rollers. تؤدى هذه المعاملة إلى التخلص من الأتربة والجراثيم، كما تؤدى معاملة التفريش فى وجود الماء الساخن إلى ملئ الشقوق السطحية بالشمع الطبيعى للمنتج المعامل (Lurie & Klein ٢٠٠٤).

إن الاستجابة للصدمة الحرارية تظهر فى معظم الكائنات الحية على صورة حث أو

زيادة تمثيل بروتينات خاصة تعرف باسم بروتينات الصدمة الحرارية heat shock proteins (اختصارًا: HSPs). ويعتقد بأن هذه البروتينات هى التى توفر القدرة على تحمل الحرارة العالية بحمايتها للبروتينات من الدنترة – التى لا عودة فيها – والتحلل. ولقد تأكد ذلك فى عديد من الأعضاء النباتية بما فى ذلك الثمار. كما وجد أن تعرض النباتات ذاتها لتلك الصدمة الحرارية يؤدى إلى زيادة تمثيل هذه البروتينات فى الثمار، فضلاً عن زيادتها فى الثمار التى تتعرض للصدمة الحرارية بعد الحصاد (Ferguson وآخرون ٢٠٠٠).

ومن المعروف أن المعاملة الحرارية تثبط النضج فى الثمار الكلايمكتيرية مثل الطماطم، على الرغم من أنها تسرع النضج فى المانجو (Schirra وآخرون ٢٠٠٠).

تؤدى المعاملة الحرارية بعد الحصاد إلى تحوير فى التعبير الجينى، كما قد يتأخر – أحيانًا –نضج الثمار أو يصبح أكثر تبكيرًا. ويتوقف مدى التحور فى سرعة نضج الثمار على كل من حرارة التعرض ومدتها، ومدى سرعة تبريد المنتج بعد التعرض للحرارة العالية. ومن بين أكثر مكونات التغيرات المصاحبة للنضج التى يتم قياسها طراوة الثمار، والتغيرات فى الأغشية الخلوية وفى المذاق. ومعدل التنفس، وإنتاج الإثيلين، وإنتاج المركبات المتطايرة. وأكثر ما يتعطل أو حتى يتوقف إنتاجه جراء المعاملة الحرارية أو يتعطل ظهورها إنزيمات تحليل الجدر الخلوية وإنتاج الإثيلين. أما العمليات الأخرى المرتبطة بالنضج فإنها لا تتأثر كثيرًا بالمعاملة الحرارية، أو أنها سريعًا ما تعود إلى حالتها الطبيعية بعد المعاملة.

وتتأثر حساسية الثمار لمعاملة الصدمة الحرارية بكل من الظروف البيئية التى كانت سائدة قبل الحصاد، والصنف، ومعدل الارتفاع فى درجة الحرارة، وظروف التخزين التالية. ويتوقف مدى الحساسية أو التحمل للشدِّ الحرارى على مستوى تواجد البروتينات الحامية من الحرارة عند الحصاد. وعلى إنتاج تلك البروتينات بالمعاملة الحرارية بعد الحصاد.

ويعرف نوعان من الاستجابة للصدمات الحرارية، هما:

١- استجابة خلوية طبيعية للحرارة الأقل من ٤٢°م تقود إلى تقليل الحساسية للبرودة، وتأخير النضج أو إبطاءه وإحداث تغيرات فى الجودة.

٢- تحدث الاستجابة الثانية قريبًا من الدرجة التى يحدث عندها الضرر – وهى التى تزيد عن ٤٥°م – وتتحور بالظروف البيئية السابقة للتعرض لحالة الشدّ. وتتمثل فى فقد الأغشية الخلوية لخصائصها (Paull & Chen ٢٠٠٠).

المعاملات الحرارية التجارية لأجل التخلص من الحشرات الحية

تجرى أكثر المعاملات الحرارية التجارية باستعمال البخار الساخن أو الدفع الجبرى للهواء الساخن بغرض التخلص من التواجد الحشرى بالمنتج insect disinfestation، وتتوفر معاملات خاصة لكل منتج ولكل حشرة (جدول ٩-١).

ومن الأمثلة على ذلك معاملات ثمار المانجو المكسيكية التى قد تكون مصابة بذباب الفاكهة ويتواجد بها يرقات الذباب وبيضه. وتجرى المعاملة الحرارية إما بطريقة الدفع الجبرى للهواء الساخن، وإما بالغمر فى الماء الساخن قبل التخزين والشحن. يستمر تعريض الثمار للهواء الساخن حتى يصل مركزها إلى حرارة ٤٨°م. أما معاملة الغمر فى الماء الساخن فتتوقف مدتها على حجم الثمار وتتراوح بين ٤٥، و ٩٠ دقيقة، حيث تصل حرارة مركز الثمرة إلى ٤٦.١°م.

وتختلف معاملة التعريض للبخار الساخن عن التعريض للهواء الساخن المدفوع جبريًا فى أن الرطوبة تتجمع على سطح الثمرة عند اتباع الطريقة الأولى. مع نقل قطرات الماء للحرارة بكفاءة أعلى عما ينقلها الهواء، بما يسمح بتسخين الثمار بسرعة أكبر، ولكن تلك المعاملة قد تحدث أضرارًا فيزيائية بالثمار. وفى هاواى تعامل ثمار الباباظ بالبخار الساخن قبل تصديرها إلى اليابان.

ويمكن تطهير ثمار الموالح بالغمر فى الماء الساخن على ٤٤°م لمدة ١٠٠ دقيقة يسبقها نحو ٩٠ دقيقة أخرى لكى ترتفع حرارة الماء إلى ٤٤°م. هذا .. إلاّ أن تطهير ثمار الموالح

يتم عادة بتعريضها لحرارة صفر إلى ٢.٢°م لمدة ١٠–١٦ يومًا قبل رفع الحرارة إلى حرارة التخزين العادية التى تتراوح بين ٦. و ١١°م حسب الصنف. ونظرًا لحساسية الموالح لأضرار البرودة، فإن الثمار تحفظ – عادة – على حرارة ٢٠°م أو ١٦°م لمدة ٣ إلى ٥ أيام قبل تعريضها للحرارة المنخفضة. تؤدى المعاملة الأخيرة إلى تقليل قابلية الثمار للإصابة بأضرار البرودة لدى تعريضها بعد ذلك لمعاملة التطهير بالحرارة المنخفضة.

هذا .. وتوجه أكثر من ٥٠٪ من معاملات التطهير من الإصابات الحشرية نحو تخليصها من بيض ويرقات ذبابة الفاكهة (Lurie & Klein ٢٠٠٤).

جدول (٩–١): المعاملات الحرارية للتخلص من الحشرات فى ثمار الخضر والفاكهة.

الحشرات	الاسم العلمى	المحصول	المعاملة	الحرارة (°م)/الوقت
ذباب الفاكهة				
Caribbean fruit fly	*Anastrepha suspense*	جريب فروت	المعاملة بالهواء الساخن	51.5°/125 min
		المانجو	المعاملة بالهواء الساخن	51.5°/125 min
		برتقال	المعاملة بالهواء الساخن	51.5°/125 min
Mediterranean fruit fly	*Ceratitis capitata*	زبدية	المعاملة بالهواء الساخن	40°/24 h
		مانجو	حرارة عالية جدًا	47°/15 min
		باباظ	المعاملة بالهواء الساخن	47.2° at pulp for 3.5 h
Melon fruit fly	*Dacus cucurbitae*	زبدية	المعاملة بالهواء الساخن	40°/ 24 h
	Bactrocera cucurbitae		المعاملة بالهواء الساخن	
		خيار	المعاملة بالهواء الساخن	32.5°/24 h then 45-46°/50-60 min
			ثم بالماء الساخن	
		باباظ	المعاملة بالهواء الساخن	47.2° at pulp for 3.5 h
		كوسة	حرارة عالية جدًا	

تابع جدول (٩–١).

الحشرات	الاسم العلمي	المحصول	المعاملة	الحرارة (°م)/الوقت
Mexican fruit fly	*Anastrepha ludens*	جريب فروت	المعاملة بالهواء الساخن	44°/2 h in 1% O_2
	Bactrocera cucumis		وجو متحكم فيه	
		كوسة	حرارة عالية جدًّا	45°/ 30 min
Oriental fruit fly	*Dacus dorsalis*	خيار	المعاملة بالهواء الساخن	32.5°/24 h then 45-46°/ 50-60 min
	Bactrocera dorsalis		المعاملة بالماء الساخن	
		باباظ	المعاملة بالهواء الساخن	47.2° at pulp for 3.5 h
Papaya fruit fly	*Bactrocera payapae*	مانجو	حرارة عالية جدًّا	47°/ 15 min
Queensland fruit fly	*Bactrocera tyroni*	زبدية	المعاملة بالماء الساخن مع البينوميل	46°C/3 min then 1°/7 days
		مانجو	حرارة عالية جدًّا	46.5°/ 10 min
			المعاملة بالماء الساخن ثم ثم حرارة عالية جدًّا	53°C/ 15 min then 47°C/ 15 min
حشرات أخرى				
Coddling moth	*Cydia pomonella*	تفاح	المعاملة بالهواء الساخن أو حرارة عالية جدًّا	44°/120 min then 0°/4 weeks
		كريز	المعاملة بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	47°/44 min in 1% O_2; 15% CO_2
		كمثرى	المعاملة بالهواء الساخن أو حرارة عالية جدًّا	44°/120 min then 0°/4 weeks
			المعاملة بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	30°/ 30 h in 0.3% O_2
Fuller's rose beetle	*Asynonychus godmani*	ليمون أضاليا	المعاملة بالماء الساخن	52°/8 min
Leafroller	*Cnephasia jactatana*	تفاح	المعاملة بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	40°/10 h in 0.4% O_2 45°/5 h in 0.4% O_2

تابع جدول (٩-١).

الحشرات	الاسم العلمى	المحصول	المعاملة	الحرارة (°م)/الوقت
	Ctenopseustis obliquana	الكيوى	المعاملة بالهواء الساخن	40°/5-7 h in 0.4% O_2
			جو متحكم فيه	40°/6 h in 2% O_2; 5% CO_2
Light brown apple moth	*Epiphyas postvittana*	تفاح	المعاملة بالهواء الساخن	40°//17-20 h in 1.2% O_2; 1% CO_2
			جو متحكم فيه	
		كيوى	المعاملة بالماء الساخن وإيثانول	45°/13 min in 50% ethanol
			المعاملة بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	
		كمثرى	المعاملة بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	30°/30 h in 0.3% O_2
Longtailed mealybug	*Pseudococcus longispinus*	كاكى	المعاملة بالماء الساخن أو أو المعاملة بالهواء الساخن	48°/26 min or 50°/22 min
New Zealand flower thrips	*Thrips obscuratus*	مشمش نكتارين خوخ	المعاملة بالماء الساخن	48°/3 min then 50°/2 min
Obscure mealybug	*Pseudococcus affinis*	تفاح	المعامل بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	40°/10 h in 0.4% O_2
				45°/5 h in 0.4% O_2
Oriental fruit moth	*Grapholita molesta*	كمثرى	المعامل بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	30°/30 h in 0.3% O_2
Two spotted spider mite	*Tetranychus urticae*	تفاح	المعاملة بالماء الساخن وإيثانول	45°/13 min in 50% ethanol

تابع جدول (٩–١).

الحشرات	الاسم العلمى	المحصول	المعاملة	الحرارة (°م)/الوقت
		كيوى	المعامل بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	44°/211 min
		كاكى	المعاملة بالماء الساخن	47°/67 min
White peach scale	*Pseudaulacaspis pentagona* باباظ		حرارة عالية جدًا	47.2°/4 h

المعاملات الحرارية التى تجرى بهدف مكافحة الإصابات المرضية

تعد المعاملة الحرارية لمنتجات الخضر والفاكهة بعد الحصاد وسيلة مناسبة لمكافحة الأعفان أثناء الشحن التخزين. ويمكن إجراء تلك المعاملة بالغمس فى الماء الحار، أو بالتعريض لحرارة البخار أو للهواء الساخن، أو للشطف بالماء الساخن مع التفريش brushing لفترة قصيرة.

جدول (٩–٢): المعاملات الحرارية للتخلص من الفطريات الممرضة والحماية منها (عن Lurie & Klein ٢٠٠٤).

الفطر	المرض	المحصول	المعاملة	الحرارة (°م)/الوقت
Alternaria alternata	البقعة السوداء	جزر	شطف وتفريش بالماء الساخن	100°/3 sec
		المانجو	شطف وتفريش بالماء الساخن	60-70°/15-20 sec
	العفن الأسود	فلفل	المعاملة بالماء الساخن	50°/3 min
Botrytis cinerea	العفن الرمادى	تفاح	المعاملة بالهواء الساخن وكلوريد كالسيوم	38°/4 days and $CaCl_2$ dip
		فلفل	المعاملة بالماء الساخن	50°/3 min

تابع جدول (٩–٢).

الفطر	المرض	الحصول	المعاملة	الحرارة (°م)/الوقت
		فراولة	المعاملة بالماء الساخن	45°/15 min
		طماطم	المعاملة بالماء الساخن	50°/2 min
			المعاملة بالهواء الساخن	38°/2 days
Botryodiplodia theobromae	أعفان الساق وسطح باباظ الثمرة		المعاملة بالهواء الساخن	49°/20 min
				32°/30 min then 49°/20 min
Chalara paradoxa	عفن التاج	موز	المعاملة بالماء الساخن	45°/20 min or 50°/10 min
Colletotrichum gloeosporioides	الأنثراكنوز	مانجو	حرارة عالية جدًّا	46-48°/24 sec – 8 min
			المعاملة بالماء الساخن	
			المعاملة بالهواء الساخن	51.5°/125 min
Diplodia natalensis	عفن طرف العنق	مانجو	المعاملة بالهواء الساخن	51.5°/125 min
			المعاملة بالماء الساخن	
Mycospharella spp.	أعفان الساق وسطح باباظ الثمرة		المعاملة بالهواء الساخن	49°/20 min
				42°/30 min then 49°//20 min
Penicillium digitatum	العفن الأخضر	جريب فروت	المعاملة بالهواء الساخن	46°/6 h
			شطف وتفريش بالماء الساخن	59-62°/15 sec
		ليمون أضاليا	المعاملة بالهواء الساخن	36°/3 days

تابع جدول (٩-٢).

القطر	المرض	المحصول	المعاملة	الحرارة (°م)/الوقت
			المعاملة بالماء الساخن + 2% كربونات الصوديوم Na_2CO_3	45°/150 sec
		برتقال	المعاملة بالماء الساخن	53°/3 min
			المعاملة بالماء الساخن + كربونات الصوديوم 6% Na_2CO_2	41-43°/1-2 min
	العفن الأزرق *Penicillium expansum*	تفاح	المعاملة بالهواء + 4% الساخن وكلوريد الكالسيوم $CaCl_2$	38°/4 days
			المعاملة بالهواء الساخن	38°/4 days
	العفن الأزرق *Penicillium* spp.	ليمون أضاليا	المعاملة بالماء الساخن + إيمازاليل imazalil	50°/3 min
	Rhizopus stolonifer	طماطم	المعاملة بالماء الساخن	50°/2 min

تؤثر المعاملة الحرارية بصورة مباشرة بإبطاء استطالة الأنابيب الجرثومية، أو بوقف نشاط الجراثيم النابتة أو قتلها. وبذا يقل الحمل الجرثومى وتقل الأعفان.

كذلك يمكن أن تؤثر المعاملة الحرارية على الأعفان بصورة غير مباشرة من خلال الاستجابات الفسيولوجية للأنسجة النباتية، تتضمن إنتاج مركبات مضادة للفطريات تثبط تطورها فى النسيج النباتى. أو إنتاج مركبات تسرع من التئام الجروح. ويمكن للمعاملة الحرارية حث إنتاج البروتينات ذات العلاقة بهذا الشأن. مثل الشيتينيز chitinase، و β-1.3 glucanase. كما يمكنها تثبيت وضع الأغشية الخلوية، أو منع تمثيل الإنزيمات المحللة للجدر الخلوية (إنزيمات البولى جالاكتيرونيز polygalacturonases)، وتأخير معدل تحلل المركبات المضادة للفطريات السابقة التكوين فى الأنسجة النباتية.

كذلك فإن المعالجة – كمعاملة حرارية – يمكن أن تؤدى إلى اختفاء الصفائح الشمعية التى تتواجد طبيعيًا على سطح الثمار غير المعاملة؛ مما يجعل سطح الثمار أكثر تجانسًا؛ حيث تمتلئ جزئيًا أو كليًا التشققات الأديمية والجروح الدقيقة ومعظم الثغور بالشمع المنصهر، كذلك تُحاط الجراثيم فى المراحل المبكرة لإنباتها بذلك الشمع؛ مما يوقف نشاطها، وكل ذلك مما يعد عوامل إضافية تساعد فى حماية الثمار من الإصابة بالأعفان (Schirra وآخرون ٢٠٠٠).

وتقسم المعاملات الحرارية التى تجرى بهدف التخلص من الإصابات المرضية إلى فئتين:

١- المعاملة لفترة قصيرة لا تزيد عن الساعة – فى الماء – على حرارة ٤٥-٦٠°م.

٢- المعاملة لفترة طويلة تستمر من ١٢ ساعة إلى أربعة أيام فى الهواء على حرارة ٣٨-٤٦°م، وتلك هى التى يطلق عليها – غالبًا – اسم معاملة المعالجة.

ونظرًا للتكلفة العالية لمعاملة المعالجة – والتى تستلزم تعريض كل المنتج للحرارة العالية لمدة قد تصل إلى ثلاثة أيام – فإن المعاملة الأكثر شيوعًا هى الغمر فى الماء على حرارة ٥٠-٥٣°م لمدة ٢-٣ دقائق. ولقد أثبتت هذه المعاملة فاعليتها مع عديد من الثمار.

تفيد المعاملة بالماء الساخن قبل التخزين مع عديد من الخضر والفاكهة الاستوائية وتحت الاستوائية وكذلك خضر وفاكهة المناطق الباردة. ومن أبرز مميزات تلك المعاملة سهولة تطبيقها، وقِصَر فترة المعاملة؛ وإمكان مراقبة حرارة الماء والمنتج بدقة، وقتل الكائنات المسببة للأعفان التى تُحمل سطحيًا. هذا بالإضافة إلى أن تكلفة إنشاء وحدة تجارية للمعاملة بهذه الطريقة تبلغ نحو ١٠٪ من تكلفة وحدة مماثلة للمعاملة بالبخار.

وتجرى المعاملة بالماء الساخن إما بطريقة الغمر، وإما بالشطف والتفريش. يجرى الغمر فى "تانكات" كبيرة تحتوى على ماء ساخن يتم التحكم فى حرارته بمنظم للحرارة، وتزود التانكات بنظام التحريك ودوران الماء لضمان تجانس درجة الحرارة. أما

طريقة الشطف والتفريش – وهى التى بدأ اتباعها تجاريًّا فى عام ١٩٩٦ – ففيها يُشطف المنتج بماء ساخن دوّار (يُعاد دورانه) يدفع تحت ضغط من بشابير علوية. بينما يتدحرج المنتج على فرش متوسطة النعومة (شكل ٩–١).

تغسل الثمار أولاً بدش علوى من ماء الصنبور غير الساخن والذى لا يُعاد استخدامه، بينما يتم تفريشه فى الوقت ذاته لمدة حوالى ١٠ ثوان؛ بهدف التخلص من الأتربة والمبيدات والجراثيم الفطرية التى توجد على سطح المنتج. تستمر الثمار فى التدحرج فوق الفرش إلى أن تصل إلى الجزء الذى تغسل فيه بماء تحت ضغط يُعاد استخدامه يمكن أن تتراوح حرارته – حسب المحصول والصنف – بين ٤٨، و ٦٣°م لمدة ١٠–٢٠ ثانية.

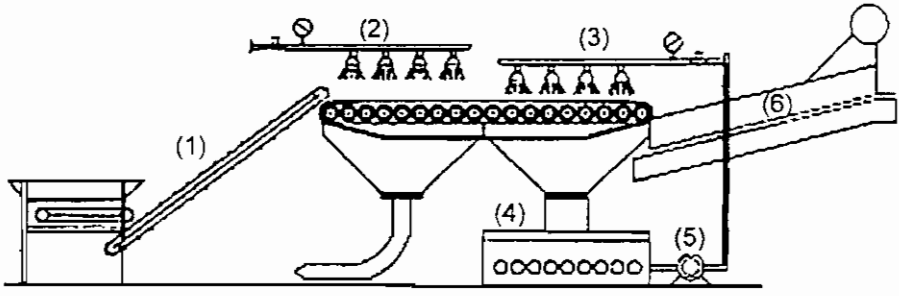
ويلى الغسيل بالماء الساخن تجفيف الثمار بالهواء المدفوع بواسطة مراح لفترة تقل عن دقيقتين داخل أنفاق بطول ٣–٤ أمتار.

وعمومًا .. لوحظت أضرار الحرارة عندما كانت حرارة الماء المستخدم تزيد عن ٦٠°م. وحُصِلَ على أحسن النتائج عندما كانت فرش التنظيف تدور بمعدل ٦٠ دورة فى الدقيقة.

وتستخدم معاملة الغمر فى الماء الساخن لأغراض الحجر الزراعى باستعمال ماء تتراوح حرارته بين ٤٣، و ٤٩°م مع الغمر لمدة تتراوح بين عدة دقائق إلى ساعتين. وتتوقف الفترة على حجم الثمار. حيث تزداد المدة بزيادة حجم الثمرة. ولقد ساعدت هذه المعاملة فى التخلص من عدد من الآفات فى عدد من المحاصيل مثل الموالح. والباباظ، والكرامبولا والتفاح.

ولقد أدى غمر ثمار الفلفل الأخضر فى الماء الساخن على ٥٣°م لمدة ٤ دقائق قبل التخزين إلى الحد من الإصابة بالأعفان لمدة ٢٨ يومًا من التخزين على ٨°م. ويتطلب الأمر تعبئة الثمار فى الأغشية لمنع فقدها للرطوبة والمحافظة على جودتها. كذلك فإن غسيل الفلفل بالماء الساخن على ٥٥°م لمدة ١٢ ثانية – مع التفريش – بعد الحصاد

مباشرة خفَّض جوهريًّا من الإصابة بالأعفان مع المحافظة على الجودة مقارنة بما حدث فى الثمار التى لم تعامل (Fallik ٢٠٠٤).



شكل (٩–١): آلة شطف وتفريش الثمار بالماء الساخن: (١) سير متحرك، (٢) وحدة الشطف والتفريش بماء الصنبور، (٣) وحدة الشطف والتفريش بالماء الساخن الذى يُعاد استخدامه، (٤) خزان الماء الساخن، (٥) مضخة لضخ وإعادة استخدام الماء الساخن، (٦) مجفف بالدفع الجبرى للهواء (Fallik ٢٠٠٤).

كذلك وجد أن غمس ثمار الفلفل الحلو الحمراء المصابة طبيعيًّا بأى من الفطر *Botrytis cinerea* مسبب مرض العفن الرمادى، أو الفطر *Alternaria solani* مسبب مرض العفن الأسود، أو الثمار المحقونة (المعدية) بأى من الفطرين .. أدى غمسها فى الماء على حرارة ٥٠°م لمدة ثلاث دقائق إلى وقف نمو الفطر *B. cinerea* كلية، وإلى تقليل العفن الذى سببه الفطر *A. solani* جوهريًّا. هذا .. وقد لوحظت أضرار للحرارة العالية على الثمار عندما كان غمسها فى الماء على حرارة ٥٠°م لمدة خمس دقائق، أو على حرارة ٥٥°م لمدة دقيقة واحدة، أو لمدة تزيد عن ذلك، وكانت الأضرار على صورة تشققات ونقر ظهرت على سطح الثمرة (Fallik وآخرون ١٩٩٦).

وعمومًا .. فإن معاملة الغسيل بالماء الساخن مع التفريش تكون مُصاحَبة – غالبًا – بانخفاض قدره ٣–٤ لوغاريتم فى الحمل الميكروبى للخضر والفاكهة الطازجة.

ومن بين التأثيرات الأخرى التى لوحظت لمعاملة الماء الساخن مع التفريش تأخير نضج الثمار، وانخفاض معدلى التنفس وإنتاج الإثيلين أثناء التخزين، وظهر التأخير فى

النضج على صورة تثبيط للتلوين فى الكنتالوب والطماطم. كذلك انخفض نشاط إنزيمات الـ polygalacturonase، والـ exo-cellulase، والـ endo-cellulase فى ثمار الفلفل التى عوملت بالماء الساخن مع التفريش. وذلك أثناء التخزين. هذا فى الوقت الذى أدت فيه معاملة ثمار الفلفل الأخضر على ٥٣°م لمدة ٤ دقائق إلى منع ظهور أضرار البرودة بعد ٤ أسابيع من التخزين على ٨°م (Fallik ٢٠٠٤).

وعند اقتران المعاملة الحرارية مع المبيدات – مثل الـ imazalil والـ thiabendazole – فإن ذلك يزيد من فاعلية المبيدات ويقلل من الجرعة التى تلزم استخدامها منها؛ بسبب زيادة المعاملة الحرارية لسرعة نفاذية المبيد من خلال أديم الثمار.

وفى ثمار الأفوكادو يتواجد المركب diene المضاد للفطريات فى الجدار الثمرى الخارجى .. هذا المركب ينخفض تركيزه إلى أن يختفى مع نضج الثمرة. وفى الوقت ذاته يمكن أن يتواجد بالثمار إصابات كامنة (غير نشطة) بالفطر *Colletotrichum gloeosporioides*. وتؤدى المعاملة الحرارية الجافة إلى تأخير نضج ثمار الأفوكادو، بينما يؤدى غمس الثمار فى حرارة ٥٥°م لمدة ١٠ دقائق إلى إسراع ظهور أعراض المرض وكذلك إسراع تحلل المركب diene.

وتجدر الإشارة إلى أن تأثير المعاملة الحرارية يكون بتثبيط نشاط الفطر (fungistatic effect) وليس بقتله (fungicidal effect) (Schirra وآخرون ٢٠٠٠).

المعاملات الحرارية التى تهدف إلى الحد من أضرار البرودة

يؤدى التعرض للبرودة فى المحاصيل الحساسة لها إلى حدوث تغير فى سرعة عديد من التفاعلات الأيضية، وفيما يترتب عليها من نواتج أيضية، وإلى حث تمثيل إنزيمات ومرافقات إنزيمية خاصة. ويبدو أن بعض المعاملات – مثل التدفئة المتقطعة intermittent warming – تُقلل من حدوث أضرار البرودة لأنها تغير من الاتجاه نحو تمثيل تلك المركبات السامة وتسمح بإصلاح المكونات الخلوية المضارة.

كذلك فإن التعرض لصدمة حرارية لفترة قصيرة أو للمعاملة الحرارية لفترة طويلة تُكسب عديد من الأنسجة النباتية قدرة على تحمل الحرارة المنخفضة. وقد يعود تأثير الحماية التى توفرها معاملة الحرارة العالية إلى منعها لإنتاج الإنزيمات التى تفضى إلى ظهور أعراض أضرار البرودة، وليس إلى إنتاج بروتينات خاصة بالصدمة الحرارية، وقد ترجع الحماية إلى العاملين معًا.

قد يعاب على معاملة الصدمة الحرارية أنها تؤدى إلى زيادة معدل التنفس؛ مما يقلل من فترة الصلاحية للتخزين. هذا إلا أن فترة المعاملة الحرارية تقل – عادة – عن دقيقتين، ويتبعها تبريد سريع يكون إلى الصفر المئوى فى حالة الخس. ولكن ذلك يختلف عما يكون عليه الحال عند حفظ الثمار الكاملة على ٣٨°م لمدة حوالى ثلاثة أيام لزيادة قدرتها على تحمل البرودة فيما بعد. ففى حالة كهذه تحدث زيادة فى معدل التنفس خلال تلك الفترة الطويلة. وعلى الرغم من ذلك فإن الانخفاض الشديد فى معدل التنفس الذى يحدث مع الخفض الكبير فى درجة الحرارة الذى يعقب المعاملة – والذى لا يكون ممكنًا بغير المعاملة الحرارية – يؤدى إلى زيادة كبيرة فى فترة الصلاحية للتخزين (Saltveit ٢٠٠٠).

استعراض لمختلف المعاملات الحرارية بالماء الساخن

نقدم فى جدول (٩–٣) بيانًا بمختلف المعاملات الحرارية (التجارية والتجريبية) التى أجريت أو تجرى مع مختلف الخضر والفاكهة الطازجة، ودرجة الحرارة المثلى، والغرض من المعاملة (عن Fallik ٢٠٠٤).

هذا .. وتُجرى المعاملات بالهواء أو بالماء الساخن فى مختلف محاصيل الخضر والفاكهة للأغراض التالية (عن Lurie & Klein ٢٠٠٤).

الحصول	الهدف
أولاً: الحد من أضرار البرودة	
التفاح	الحد من الاسمرار السطحى (الانسفاع) scalding
الأفوكادو	الحد من التلون البنى للجلد والتلون البنى الداخلى والتنقير
الموالح	الحد من التنقير
المانجو	الحد من التنقير
الكاكى	الحد من تكوين الجل
الفلفل الأخضر	الحد من التنقير
الخيار	الحد من التنقير
الطماطم	الحد من التنقير
الكوسة	الحد من التنقير
ثانيًا: تحسين الجودة	
التفاح	زيادة الصلابة
الأسبرجس	تثبيط الانحناء
البروكولى	تقليل الاصفرار
الكولارد	تقليل الاصفرار
البصل الأخضر	تثبيط الاستطالة
الجوافة	تقليل فقد الصلابة والاصفرار
الكيل	تقليل الاصفرار
البطاطس	منع التزريع

جدول (٩–٣): معاملات الماء الساخن للمحاصيل البستانية، ودرجة الحرارة المثلى، والهدف من المعاملة.

المحصول	المعاملة	الحرارة المثلى (الوقت)	الهدف
تفاح رويال جالا	غمر أو غمس فى الماء الساخن	44 (35 min)	حجر زراعى
تفاح جولدن ديلشص	شطف وتفريش بالماء الساخن	55 (15 s)	مكافحة الأعفان
			تثبيط النضج
أسبرجس	غمر أو غمس فى الماء الساخن	47.5 (2-5 min)	تقليل الانتحاء الأرضى
زبدية	غمر أو غمس فى الماء الساخن	40-42 (20-30 min)	مكافحة الأعفان
			المحافظة على الجودة
	غمر أو غمس فى الماء الساخن	38 (60 min)	تقليل أضرار البرودة
كلمنتين	غمر أو غمس فى الماء الساخن	45 (2.5 min)	مكافحة الأعفان
جريب فروت	شطف وتفريش بالماء الساخن	59-62 (20 s)	مكافحة الأعفان
			تقليل أضرار البرودة
			المحافظة على الجودة
بصل أخضر	غمر أو غمس فى الماء الساخن	55 (2 min), 52.5 (4 min)	منع النمو
كمكوات*	شطف وتفريش بالماء الساخن	58 (20 s)	مكافحة الأعفان
			المحافظة على الجودة
ليون أضاليا	غمر أو غمس فى الماء الساخن	52-53 (2 min)	مكافحة الأعفان
ليمون أضاليا	شطف وتفريش بالماء الساخن	62.8 (15 s)	مكافحة الأعفان
			المحافظة على الجودة
يوسفى	غمر أو غمس فى الماء الساخن	50-54 (3 min)	مكافحة الأعفان
مانجو*	غمر أو غمس فى الماء الساخن	43-49 (65-90 min)	حجر زراعى
مانجو*	غمر أو غمس فى الماء الساخن	46.1 (110 min)	حجر زراعى
مانجو*	شطف وتفريش بالماء الساخن	48-65 (10-25 s)	مكافحة الأعفان
كنتالوب جاليا*	شطف وتفريش بالماء الساخن	59 (15 s)	مكافحة الأعفان
			تثبيط النضج
			المحافظة على الجودة

تابع جدول (٩-٣).

المحصول	المعاملة	الحرارة المثلى (الوقت)	الهدف
برتقال شموتى*	شطف وتفريش بالماء الساخن	56 (20 s)	مكافحة الأعفان المحافظة على الجودة
برتقال	شطف وتفريش بالماء الساخن	62.8 (15 s)	مكافحة الأعفان
	غمر أو غمس فى الماء الساخن	53 (3 min)	مكافحة الأعفان تقليل أضرار البرودة
برقوق	غمر أو غمس فى الماء الساخن	40-45 (35-30 min)	مكافحة الأعفان تقليل أضرار البرودة
بطاطس	غمر أو غمس فى الماء الساخن	57.5 (20-30 min)	منع التزريع المحافظة على الجودة
نبت فول الصويا	غمر أو غمس فى الماء الساخن	60 (30 min)	تثبيط التزريع
فلفل حلو*	شطف وتفريش بالماء الساخن	55 (15 s)	مكافحة الأعفان تثبيط النضج المحافظة على الجودة
فلفل حلو	غمر أو غمس فى الماء الساخن	45 (15 min), 53 (4 min)	تقليل أضرار البرودة مكافحة الأعفان تحفيز إنتاج البولى أمينات
طماطم	شطف وتفريش بالماء الساخن	52 (15 s)	مكافحة الأعفان – تثبيط النضج تقليل أضرار البرودة تحفيز إنتاج البولى أمينات
طماطم	غمر أو غمس فى الماء الساخن	39, 45 (60 min)	تقليل أضرار البرودة مكافحة الأعفان

* = معاملة تجارية.