

INVESTIGACIÓN

SUSCEPTIBILIDAD A DAÑO POR ENFRIAMIENTO EN POSTCOSECHA DE PIMIENTO Y TRATAMIENTOS PARA DISMINUIR SU EFECTO¹

Susceptibility to postharvest chilling damage in sweet peppers, and treatments to minimize its effect¹

Elizabeth Kehr M.^{2*}

ABSTRACT

The susceptibility to chilling damage (DPE) with sweet peppers (*Capsicum annuum* L.) was evaluated in the tolerant cultivar 'El Paso', and in the susceptible cultivar 'King Arthur'. The effect of different post-harvest treatments on the reduction of chilling injury was evaluated. Transplanting was carried out in December 2000, at the Julio Ortúzar P. Experimental Station located close to Santiago, of the Pontificia Universidad Católica de Chile; with a density of 31 250 plants ha⁻¹, 0.4 m on the row and 0.8 m between rows, with furrow irrigation. The fertilization dose was calculated according to soil analysis, and pest and disease control according to a previously defined application timetable. The experiments were carried out at the Post-harvest Laboratory of the Crop Department. The results verified the degree of susceptibility of cultivars, with 18.6% damaged in King Arthur fruit and 7.7% damaged in El Paso. The immersion in hot water at 60 °C for one minute diminished chilling damage by 58%, and plastic film coverage by 91%, with 15 days storage at 0 °C and 90% relative humidity, maintaining good product appearance for 3 day extended storage period at 20 °C and 50% relative humidity. The chemical products calcium chloride, methylcyclopropene (MCP) and methyl jasmonate did not have an effect on reducing chilling damage.

Key words: *Capsicum annuum* L., horticulture, post-harvest, cultivars, hot water immersion, plastic film.

RESUMEN

Se verificó la susceptibilidad a daño por enfriamiento (DPE) en frutos de pimiento (*Capsicum annuum* L.) del cultivar tolerante El Paso, y del cultivar sensible King Arthur. Se evaluó el efecto de diversos tratamientos de postcosecha en la disminución de DPE en frutos de pimiento. En diciembre de 2000, en la Estación Experimental Julio Ortúzar P. ubicada cerca de Santiago, de la Pontificia Universidad Católica de Chile; se realizó el trasplante, con una densidad de 31.250 plantas ha⁻¹, 0,4 m y 0,8 m sobre y entre hileras, respectivamente, con riego por surcos. La fertilización se definió en base a análisis de suelos, y el control de plagas y enfermedades según calendario de aplicaciones definido previamente. Los experimentos se realizaron en el Laboratorio de Postcosecha del Departamento de Cultivos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Los resultados verificaron el grado de susceptibilidad varietal, con 18,6% de la superficie del fruto dañada en King Arthur y 7,7% en El Paso. La inmersión en agua caliente a 60 °C por 1 min significó una reducción de 58% del DPE y 91% con la cobertura con lámina de polietileno, con almacenaje posterior de 15 días a 0 °C y 90% de humedad relativa, manteniendo una buena

¹Recepción de originales: 15 de noviembre de 2001.

²Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Carillanca, Casilla 58-D, Temuco, Chile. E-mail: ekehr@carillanca.inia.cl *Autor para correspondencia.

aparición del producto en la prolongación de almacenaje por 3 días a 20 °C y 50% de humedad relativa. Los productos químicos cloruro de calcio, metilciclopropeno (MCP) y metil jasmonato no manifestaron efecto en la reducción del DPE.

Palabras clave: *Capsicum annum* L., hortalizas, postcosecha, variedades, inmersión en agua caliente, película plástica.

INTRODUCCIÓN

El pimiento (*Capsicum annum* L.) es una hortaliza de origen americano tropical ampliamente usada en la comida étnica típica de distintos países. En Asia se ubican los principales países productores, cultivándose cerca de 3 millones de hectáreas a nivel mundial (Bosland y Votava, 2000). En Chile se cultivaron 3.177 ha en la temporada 1998/99 (ODEPA, 2001a), destinado al consumo fresco en el país y a la exportación de pimiento deshidratado, con US\$ 18,6 millones de retorno en 2000 (ODEPA, 2001b). Las exportaciones en fresco han sido poco significativas, siendo Argentina el principal mercado. El Hemisferio Norte es un mercado interesante al cual Chile podría acceder en la contra estación productiva, sin embargo, presenta limitaciones por la corta vida útil de los frutos y el alto costo de transporte aéreo. Para conservarlos se requiere de refrigeración, pero los frutos son susceptibles a daño por enfriamiento, desorden fisiológico provocado por el almacenaje prolongado de frutos a temperaturas inferiores a 10 °C (Hardenburg *et al.*, 1988). Esta respuesta del producto podría mejorarse usando cultivares de baja sensibilidad al frío o mediante tratamientos físicos o químicos que la aminoren.

La sintomatología de daño por enfriamiento (DPE) se caracteriza por maduración anormal y desuniforme, pérdida de agua, depresiones superficiales laminares y circulares, pardeamiento de semilla, desarrollo de patógenos como *Alternaria alternata*, que causa la pudrición de mayor importancia en almacenamiento prolongado (Risse y Chun, 1987), y *Botrytis cinerea* (Meier *et al.*, 1995), aumento de producción de CO₂ y etileno

al trasladarla a temperatura ambiente, mayor susceptibilidad a enfermedades, y mayor permeabilidad de membranas celulares provocando salida de iones, siendo el daño progresivamente más severo durante el almacenamiento por largos períodos a bajas temperaturas (Lin *et al.*, 1993). González-Aguilar *et al.* (2000) indicaron que los síntomas vienen acompañados de varios cambios bioquímicos y fisiológicos, producidos por el efecto directo de la baja temperatura en los constituyentes celulares.

Los frutos de pimiento son susceptibles al daño por enfriamiento en almacenaje a temperaturas menores de 7 °C (Miller y Risse, 1986; Risse *et al.*, 1986; Risse y Chun, 1987; Hardenburg *et al.*, 1988; González-Aguilar *et al.*, 2000), y los síntomas visibles aparecen después de trasladar la fruta a temperaturas mayores (Lin *et al.*, 1993). Por otro lado, el estado de madurez de cosecha verde-maduro es más sensible a temperaturas menores a 6 °C, y frutos cosechados al estado rojo-maduro no se afectan al ser almacenados a 2 °C (Lin *et al.*, 1993; Serrano *et al.*, 1997). Paull (1990) recomienda almacenar a temperaturas de 7-13 °C por un máximo de 2-3 semanas, si los frutos son enfriados rápidamente después de cosecha.

Existen variados métodos para aminorar el daño por enfriamiento en frutos de pimiento en postcosecha, tales como inmersión en agua caliente, uso de coberturas plásticas, y tratamientos químicos.

La inmersión en agua caliente, que se ha usado tradicionalmente para controlar patógenos como hongos, se aplica por pocos minutos a tempe-

raturas sobre 40 °C, la cual es mayor a la que se utiliza con aire caliente o vapor caliente, calentándose sólo la superficie del producto (Lurie, 1997). Su efecto es la inducción de termo tolerancia transitoria en muchas plantas (Mencarelli *et al.*, 1993), a través de la síntesis de un grupo de proteínas denominadas proteínas de golpe de calor (hot shock proteins: HSP), confiriendo al producto mayor tolerancia al DPE (Key *et al.*, 1981, citados por Mencarelli *et al.*, 1993; Wang, 1994). La inmersión en agua a 53 °C por 3 min reduce considerablemente el DPE, y junto con la película plástica puede ser usada efectivamente para reducir el DPE y las pudriciones (González-Aguilar *et al.*, 2000).

Por otro lado, el uso de embalaje sellado con películas plásticas es más beneficioso que el almacenaje en frío, al retrasar el deterioro fisiológico de la fruta (Ben-Yehoshua *et al.*, 1983), debido a la modificación de las concentraciones de CO₂, O₂, y etileno. La reducción de síntomas de DPE en pimientos recubiertos con película plástica se debe al aumento de humedad, reducción de O₂ y acumulación de CO₂ dentro de la envoltura, manteniendo una mejor apariencia. Se produce una micro atmósfera saturada de agua, aliviando el estrés hídrico, condición importante en el control de procesos vitales. Según Meier *et al.* (1995), las bolsas de polietileno perforadas reducen el desarrollo de DPE. Señala, además, que el uso de películas plásticas combinado con almacenaje a baja temperatura podría ampliar la oportunidad para exportar fruta de alta calidad a mercados lejanos.

Dentro de los tratamientos químicos, Frutiver® 6.1 es un producto orgánico fabricado por la empresa CEQSA de Costa Rica y distribuido por ANASAC, que prolonga la vida de postcosecha de frutas y hortalizas, previniendo la deshidratación y proliferación de hongos. Sus ingredientes activos son triacilgliceroles saturados de origen natural, con una concentración de 61 g L⁻¹, peso molecular 812, química y físicamente estable, compatible con la mayoría de los productos sa-

nitarios de uso común. Se recomienda su utilización en chirimoya (*Annona cherimolia*), tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), cítricos, pomáceas, palta (*Persea americana* Mill.) y espárrago (*Asparagus officinalis* L.), aplicado como aspersión o inmersión. De acuerdo a información de la empresa distribuidora, en Chile se ha evaluado su efecto en almacenaje en palta (*Persea americana* Mill), espárrago (*Asparagus officinalis* L.), tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), lechuga (*Lactuca sativa* L.), entre otras especies.

En cuanto a productos químicos, el ácido jasmónico existe naturalmente en las plantas y está involucrado en varios aspectos del desarrollo y en respuestas a estrés biótico y abiótico (Creelman y Mullet, 1997). En varios artículos se indica que tratamientos con metil jasmonato redujeron significativamente el daño por enfriamiento en frutos de pomelo (*Citrus grandis*), palta, pepino (*Cucumis sativus* L.), zapallito italiano (*Cucurbita pepo* L.) y pimiento (Wang, 1993; Droby *et al.*, 1999; Meier *et al.*, 1996). Meier *et al.* (1996) señalaron que en pimientos almacenados por 4-10 semanas a 2 °C, el tratamiento de inmersión por 30 s en metil jasmonato 25 µM, redujo el porcentaje de severidad de DPE y el porcentaje de frutos dañados.

El 1-MCP o 1-metilciclopropano pertenece a las cicloolefinas, inhibe la acción del etileno en plantas ornamentales y algunos frutos (Sisler y Serek, 1997). El 1-MCP puede reducir la producción de etileno, retrasando la maduración de muchos frutos climactericos tales como pera (*Pyrus communis* L. cv. Passe-Crassane) (Lelièvre *et al.*, 1997), plátano (*Musa* sp.) (Wyllie *et al.*, 1998; Sisler y Serek, 1997), ciruela (*Prunus salicina* Lindl) (Abdi *et al.*, 1998) y tomate (Nakatsuka *et al.*, 1997; Sisler y Serek, 1997). Los objetivos de esta investigación fueron comparar la sensibilidad a DPE de dos cultivares y evaluar el efecto de diferentes tratamientos de postcosecha en la disminución del daño por enfriamiento en frutos de pimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

La etapa de precosecha se llevó a cabo en la Estación Experimental Julio Ortúzar P., de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile, ubicada en la localidad Los Panguiles, comuna de Curacaví (33°27' lat. Sur, 70°38' long. Oeste), Región Metropolitana, a 35 km de la ciudad de Santiago.

Se utilizaron dos cultivares de pimiento: 'El Paso', que presentó mayor tolerancia al DPE y 'King Arthur', que presentó alta susceptibilidad al DPE en una investigación realizada la temporada anterior entre 16 cultivares (Kehr y Krarup, 2000).

La siembra del almácigo se realizó el 15 de octubre en bandejas speedling con sustrato esterilizado de tierra de hoja, en condiciones de invernadero, y se trasplantó el 20 de diciembre de 2000. La distancia de plantación fue de 0,4 m sobre la hilera, en surcos distanciados a 0,8 m, equivalente a una densidad de 31.250 plantas ha⁻¹. El cultivo fue regado por surcos. La fertilización fue de 160 kg N ha⁻¹, 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 120 kg K₂O ha⁻¹. El N se aplicó como urea, en dos parcialidades (80 kg N 35 días después del trasplante y 80 kg N a inicio de floración), el P como superfosfato triple, y el K como sulfato de potasio en mezcla 35 días después del trasplante, al surco de riego e incorporado con éste. El control de enfermedades y plagas se realizó según calendario de aplicaciones, con metalaxil + mancozeb (Ridomil MZ 58 WP en dosis de 2 kg ha⁻¹), metamidofos (Monitor 600 en dosis de 1 L ha⁻¹), pirimicarb (Pirimor en dosis de 200 g ha⁻¹) y lambdacihalotrina (Karate 5 EC en dosis de 250 cc ha⁻¹) a partir de los 20 días del trasplante, y cada 15 días. El control de *Phytophthora capsici* se hizo aplicando dimetomorf + mancozeb (Acrobat MZ en dosis de 2 kg ha⁻¹) cada 10 días, a partir de los primeros síntomas. La cosecha se realizó en febrero de 2001, en forma manual, de acuerdo a la evolución de la madurez, con alrededor de 5% de color de la superficie del fruto.

Para los tratamientos se cosecharon frutos al estado de inicio de madurez con 5% del color final, eligiendo frutos relativamente homogéneos en forma y tamaño. Se seleccionaron frutos sin daño mecánico y libres de enfermedades. Se lavaron en una solución de 150 mg kg⁻¹ de hipoclorito de sodio, y se secaron a temperatura ambiente. Se sometieron a los tratamientos, luego se almacenaron por 15 días en cámara de refrigeración (EUROFRIGO, Italia) previamente calibrada a 0 °C ± 2 y 80-90% ± 5 de humedad relativa (HR), y luego fueron transferidos a una sala a 20 °C ± 3 y 50% ± 5 HR (ambiente) por tres días.

Experimento 1. Comparación de sensibilidad a DPE de los cultivares King Arthur y El Paso. Este experimento tuvo por objeto diferenciar la intensidad de la sintomatología de DPE y evaluar el efecto de tratamientos de inmersión en agua caliente. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2 x 3, con ocho repeticiones por tratamiento y una unidad experimental compuesta de un fruto. Los tratamientos fueron los siguientes: Tratamiento 1: Control; Tratamiento 2: Inmersión en agua a 60 °C por 1 min; y Tratamiento 3: Inmersión en agua a 53 °C por 3 min.

Por falta de frutos de los cultivares El Paso y King Arthur en el campo, los experimentos 2 y 3 se realizaron con frutos del cultivar Resistant, obtenidos de una plantación comercial de la VI Región. En la temporada anterior, este cultivar demostró una severidad media de DPE. La selección del material en el campo se hizo con 5% del color final (inicio de madurez), de tamaño relativamente homogéneo, sano y sin daño mecánico.

Experimento 2. Efecto de tratamientos de cobertura y deshidratación en el DPE. Se utilizó un diseño completamente al azar con seis tratamientos, ocho repeticiones por tratamiento y la unidad experimental constituida de un fruto. Los tratamientos fueron los siguientes: Tratamiento 1: Control; Tratamiento 2: Cobertura individual con película de polivinilcloruro (PVC);

Tratamiento 3: Cobertura de frutos con el producto Frutiver 6.1 al 10%; Tratamiento 4: Cobertura de frutos con el producto Frutiver 6.1 al 20%; Tratamiento 5: Deshidratación forzada a estufa a 30 °C, hasta alcanzar pérdida de 3-4% del peso fresco; y Tratamiento 6: Deshidratación forzada a estufa a 30 °C hasta alcanzar pérdida de 3-4% del peso fresco y luego cubiertos individualmente con película de (PVC).

El PVC utilizado tenía un espesor de 17 μ , permeabilidad al vapor de agua de 8,9 g m⁻² h⁻¹ a 760 mm Hg a 37,8 °C y 90% HR, y permeabilidad a gases de 532 y 1.311 mL m⁻² h⁻¹ a 22 °C para O₂ y CO₂, respectivamente.

Experimento 3. Efecto de tratamientos químicos en la sintomatología de DPE. Se utilizó un diseño completamente al azar con seis tratamientos, ocho repeticiones por tratamiento, y una unidad experimental de un fruto. Los frutos fueron sometidos a seis tratamientos químicos: Tratamiento 1: Control; Tratamiento 2: Inmersión en solución de CaCl₂ al 2,5% por 3 min; Tratamiento 3: Inmersión en solución de CaCl₂ al 5,0% por 3 min; Tratamiento 4: Gasificación con 1-MCP en concentración de 1 mg kg⁻¹ por 8 h; Tratamiento 5: Gasificación con 1-MCP en concentración de 0,625 mg kg⁻¹ por 8 h; y Tratamiento 6: Inmersión en solución de metil jasmonato 25 μ M por 30 s.

La fuente de MCP fue Ethylblock polvo (Agro-Fresh Inc., Pennsylvania, USA) que libera el gas 1-metilciclopropano a una tasa de 625 ppb en una cámara de 1.000 L cuando 1 g de producto es disuelto en 20 mL de una solución buffer, que en el caso de este experimento correspondió a dodecil sulfato de sodio en una concentración de 1.000 mg kg⁻¹. Para su aplicación se pusieron los frutos en un recipiente plástico de 41,6 L de capacidad, dentro del cual se colocó el producto en una placa Petri y se agregó la solución buffer, luego se selló el recipiente y se dejó por 24 h.

Con excepción de la evaluación de pérdida de peso fresco que se realizó durante todo el período de almacenaje (15 días a 0 °C y 80-90% HR + 3

días a 20 °C y 50% HR), se realizaron las siguientes evaluaciones:

1. Superficie afectada por DPE: se determinó el porcentaje de la superficie con punteado laminar y circular, a la salida de 15 días de almacenaje a 0 °C, y a la salida de 3 días en almacenaje a 20 °C y 50% de humedad relativa (Miller y Risse, 1986).
2. Pardeamiento de semilla: medida como porcentaje de la semilla con cambio de color al término del almacenaje por 15 días a 0 °C más tres días a 20 °C y 50% de humedad relativa (Miller y Risse, 1986).
3. Pérdida de peso fresco: se determinó la pérdida de peso como porcentaje del peso inicial, cada tres días durante 15 días de almacenaje a 0 °C, y luego al término del almacenaje por tres días a 20 °C (Cantwell, 2001). Se utilizó una balanza de precisión (Precision Standard OHAUS).
4. Pudriciones superficiales: se determinó al término de los tres días a 20 °C, a la salida de 0 °C y a la salida de 20 °C, de acuerdo a la siguiente escala: 1 = nada; 2 = traza; 3 = ligera; 4 = moderada; 5 = severa (González-Aguilar *et al.*, 2000).
5. Firmeza: Corresponde a la fuerza requerida para perforar la fruta (Biles *et al.*, 1993); se midió en tres lugares del fruto: cerca del final del tallo, en el centro, y en la punta del fruto. Las tres mediciones fueron promediadas para obtener un valor para cada fruto (Lester y Bruton, 1986). Se utilizó una medida sensorial de la depresión de la fruta al tacto, para lo cual se usó la siguiente escala: 5 = muy firme; 4 = firme (depresión suave); 3 = moderadamente firme (depresión moderada); 2 = ligeramente firme (fuerte depresión); 1 = blando (sin resistencia a la depresión) (Miller y Risse, 1986); además se midió la firmeza como la resistencia en libras, que opone la pulpa del fruto a la presión de un presionómetro manual (Fruti Pressure Tester Model FT 327) con vástago de 7 mm.

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) de acuerdo al diseño experimental establecido, previa verificación de sus supuestos, y una prueba de Ji cuadrado para las variables no paramétricas. Cuando se encontró significancia, se realizaron las pruebas de comparación múltiple de Tukey y Nemenyi ($P < 0,05$). Para la variable severidad de DPE se hizo transformación de datos, usando para ello la transformación de Bliss (arc-senv%) propuesta por Steel y Torrie (1988), por no cumplir con los supuestos de normalidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó la sintomatología típica de DPE en los frutos en postcosecha: depresiones laminares y circulares en la epidermis del fruto, pardeamiento de semilla, pérdida de peso fresco, y disminución de firmeza. Esto concuerda con lo señalado en la literatura por Risse y Chun (1987), Paull (1990) y Cantwell (2001), quienes definen estos síntomas como indicadores visibles del desorden.

Experimento 1. Se observaron diferencias significativas para la variable severidad de DPE entre cultivares (Cuadro 1); el cultivar King Arthur

presentó 10,3% de la superficie afectada por DPE en comparación con el cv. El Paso que presentó 5,2%. La sintomatología se intensificó en ambos al colocar los frutos en almacenaje por 3 días a temperatura ambiente de 20 °C y 50% humedad relativa. En cuanto al pardeamiento de semilla, citada en la literatura como un síntoma de DPE en frutos de pimiento (Kozukue y Ogata, 1972), se observaron diferencias significativas entre ambos cultivares (Cuadro 1), alcanzando 68,1% el cultivar sensible King Arthur, en tanto que El Paso mostró 30,5% de semilla pardeada. Esto confirma que existe diferente grado de sensibilidad a DPE en las variedades comerciales de pimiento, lo que concuerda con lo observado en la temporada anterior (Kehr y Krarup, 2000), situación que hace recomendable una evaluación permanente de nuevos cultivares en almacenaje refrigerado.

Se observaron diferencias significativas en la pérdida de peso fresco entre cultivares (Cuadro 1), siendo mayor la pérdida en King Arthur que tuvo una mayor sensibilidad a DPE, la que se intensificó al traspasar la fruta a temperatura ambiente, explicado por la disminución de la humedad relativa (50%).

Cuadro 1. Severidad de daño por enfriamiento (DPE), pérdida de peso fresco (PPF), pardeamiento de semilla y firmeza de pulpa de frutos de pimiento cvs. King Arthur y El Paso, bajo dos condiciones de almacenaje

Table 1. Severity of chilling damage (DPE), fresh weight loss (PPF), pulp firmness and seed browning in sweet peppers cvs. King Arthur and El Paso, under two storage conditions

Cultivar	15 días a 0 °C y 80-90% HR		15 días a 0 °C y 80-90% HR + 3 días a 20 °C y 50% HR			
	Severidad DPE	PPF	Severidad DPE	PPF	Pardeamiento semilla	Firmeza lb
	%					
King Arthur	10,3 a	5,8 a	18,6 a	9,5 a	68,1 a	3,2 b
El Paso	5,2 b	3,9 b	7,7 b	6,8 b	30,5 b	3,8 a

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas entre cultivares según prueba Tukey ($P \leq 0,05$).
HR: humedad relativa.

En cuanto a firmeza, medida como resistencia de la pulpa a la presión, hubo diferencias significativas entre cultivares (Cuadro 1) al término del almacenaje a temperatura ambiente, donde el cultivar King Arthur, que presentó la mayor severidad de DPE y mayor pérdida de peso fresco, presentó la menor firmeza o resistencia a la presión, explicado por una mayor deshidratación del producto.

En cuanto al efecto de los tratamientos de inmersión en agua, se observaron diferencias significativas sólo al término del almacenaje refrigerado (Cuadro 2), donde la inmersión en agua a 60 °C por 1 min fue el tratamiento más efectivo en reducir el DPE, mostrando sólo 4,3% de severidad respecto al control con 10,3%: al trasladar la fruta a temperatura ambiente no se alcanzó diferencias significativas. En cuanto al pardeamiento de semilla, no hubo diferencias significativas entre tratamientos, aun cuando lo esperable sería un menor pardeamiento en el tratamiento más efectivo en disminución de severidad de DPE, lo que señala que no hay una relación directa entre ambas variables, sino que esta última se manifiesta como síntoma de DPE de acuerdo a lo señalado por la literatura.

En cuanto a pérdida de peso fresco (Cuadro 2), no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos en ambas condiciones de almacenaje, situación que se repite tanto para el pardeamiento de semilla, como para la firmeza de los frutos.

Experimento 2. Se observaron diferencias significativas de severidad de DPE entre tratamientos (Cuadro 3); la mayoría de ellos se comportó mejor respecto al control, siendo más efectivos en la disminución del DPE los tratamientos de cobertura con película de PVC, la combinación de deshidratación con película de PVC y cobertura con Frutiver 6.1 al 20%, durante el almacenaje refrigerado. El tratamiento de deshidratación manifestó el mayor porcentaje de severidad, al igual que el tratamiento control. La sintomatología se intensificó al trasladar la fruta a una condición de ambiente en todos los tratamientos, llegando a valores de 53,1% en el tratamiento de deshidratación, hasta un mínimo de 4,1% en el tratamiento con cobertura individual de PVC, que fue el más efectivo en la disminución de síntomas, con un comportamiento igual a los tratamientos de deshidratación más película de PVC y cobertura con Frutiver 6.1 al 20%.

Cuadro 2. Efecto de inmersión en agua caliente en la respuesta de frutos de pimiento cvs. King Arthur y El Paso, sobre el daño por enfriamiento (DPE), pérdida de peso fresco (PPF), firmeza de pulpa, y pardeamiento de semilla, bajo dos condiciones de almacenaje

Table 2. Effect of hot water immersion on the response of sweet pepper cultivars King Arthur and El Paso to chilling damage (DPE), fresh weight loss (PPF), pulp firmness and seed browning, under two storage conditions

Cultivar	15 días a 0 °C y 80-90% HR		15 días a 0 °C y 80-90% HR + 3 días a 20 °C y 50% HR			
	Severidad DPE	PPF	Severidad DPE	PPF	Pardeamiento semilla	Firmeza lb
	%					
Control	10,3 a	4,9 a	13,4 a	6,7 a	71,9 a	3,4 a
Inmersión 60 °C por 1 min	4,3 b	5,4 a	9,8 a	5,6 a	74,4 a	3,4 a
Inmersión 53 °C por 3 min	8,7 a	4,9 a	16,3 a	6,3 a	58,1 a	3,8 a

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos según prueba Tukey ($P \leq 0,05$). HR: humedad relativa.

Cuadro 3. Efecto de la cobertura individual y deshidratación de frutos en la respuesta de pimiento cv. Resistant al daño por enfriamiento (DPE) y pardeamiento de semilla, bajo dos condiciones de almacenaje.

Table 3. Effect of individual fruit coverage and dehydration on the response of sweet pepper cv. Resistant to chilling damage (DPE) and seed browning, under two storage conditions.

Tratamientos	15 días a 0 °C y 80-90% HR	15 días a 0 °C y 80-90% HR + 3 días a 20 °C y 50% HR	
	Severidad DPE	Severidad DPE	Pardeamiento semilla
		%	
Control	31,9 ab	43,1 ab	49,4 a
Cobertura con película PVC	2,8 d	4,1 c	40,6 a
Cobertura Frutiver 6,1 al 10%	17,5 bc	29,4 b	31,9 a
Cobertura Frutiver 6,1 al 20%	7,8 cd	13,1 c	61,9 a
Deshidratación (3-4% peso fresco)	44,4 a	53,1 a	15,6 a
Deshidratación + película PVC	4,3 d	8,4 c	36,9 a
Promedio	18,1	25,2	39,4 a

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas según prueba Tukey ($P \leq 0,05$).

HR: humedad relativa.

En cuanto al pardeamiento de semilla, en el Cuadro 3 se puede observar que no hubo diferencias significativas entre tratamientos.

De acuerdo a la literatura, la disminución del peso fresco está asociada con el DPE (González-Aguilar *et al.*, 2000), de modo que el uso de tratamientos de postcosecha tendientes a reducir la pérdida de agua debiera ser efectivo en la reducción de esta fisiopatía. En relación con la pérdida de peso fresco, se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el almacenaje refrigerado (Cuadro 4), con valores más bajos que el control, siendo los tratamientos de cobertura con película de PVC y deshidratación más película de PVC los que perdieron menos peso. Se intensificó la pérdida de peso al trasladar la fruta a una condición de temperatura ambiente, observándose diferencias significativas entre tratamientos, siendo los mismos tratamientos los más efectivos en la disminución de esta pérdida. Esto concuerda con lo indicado por Ben-Yehoshua *et al.* (1983), quienes señalaron que el uso de embalaje sellado con películas plásticas

es más beneficioso que el almacenaje en frío, al retrasar el deterioro fisiológico de la fruta, debido a la modificación de las concentraciones de CO_2 , O_2 , y etileno, y que la reducción de síntomas en pimientos recubiertos con película plástica se debe al aumento de humedad, reducción de O_2 y acumulación de CO_2 dentro de la envoltura, manteniendo una mejor apariencia. Se produce una microatmósfera saturada de agua, aliviando el estrés hídrico, condición importante en el control de procesos vitales.

La firmeza al tacto presentó diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 4), donde la deshidratación sola y combinada con película de PVC durante el almacenaje refrigerado, causaron disminución de la firmeza de la fruta. Al trasladar la fruta a temperatura ambiente, con menor humedad relativa y mayor temperatura, el tratamiento con película de PVC mantuvo el grado inicial de firmeza, el que fue igual al tratamiento con Frutiver 6.1 al 20%, siendo el tratamiento de deshidratación el que tuvo el peor comportamiento.

Cuadro 4. Efecto de cobertura individual de frutos y deshidratación en la pérdida de peso fresco (PPF) y firmeza de pulpa en pimiento cv. Resistant, bajo dos condiciones de almacenaje**Table 4. Effect of individual fruit covering and dehydration on fresh weight loss (PPF) and pulp firmness in sweet pepper cv. Resistant, under two storage conditions**

Tratamiento	15 días a 0 °C y 80-90% HR		15 días a 0 °C y 80-90% HR + 3 días a 20 °C y 50% HR		
	PPF %	Firmeza ¹	PPF %	Firmeza ¹	Firmeza ² lb
Control	5,9 b	5,0 a	11,0 a	3,5 c	3,4 a
Cobertura con película PVC	1,8 d	5,0 a	5,2 c	5,0 a	4,6 a
Cobertura Frutiver 6,1 al 10%	4,4 c	5,0 a	8,3 b	4,5 b	3,2 a
Cobertura Frutiver 6,1 al 20%	3,8 c	5,0 a	7,4 b	4,9 a	4,2 a
Deshidratación (3-4% del PF)	8,0 a	4,1 c	12,7 a	2,9 d	3,2 a
Deshidratación + película PVC	1,2 d	4,8 b	4,7 c	4,5 b	3,6 a

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos según prueba Tukey ($P \leq 0,05$).

¹ Escala de firmeza: 5 = muy firme, 4 = firme, 3 = moderadamente firme, 2 = ligeramente firme, 1 = blando.

² Firmeza en libras.

HR: humedad relativa.

Experimento 3. El uso de tratamientos químicos para aminorar el efecto del DPE ha sido una metodología muy poco estudiada en frutos de pimiento. Un trabajo realizado por Meier *et al.* (1995) informó resultados significativos del uso de metil jasmonato en la disminución de síntomas del DPE y del porcentaje de fruta dañada. Por lo

anterior, pareció interesante evaluar algunos productos disponibles y que han sido reportados en otros frutos, como tomate y melón (*Cucumis melo* L.). Como se observa en el Cuadro 5, no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Al colocar los frutos a temperatura ambiente, se intensificó el DPE, pero no se observaron

Cuadro 5. Efecto de productos químicos sobre el daño por enfriamiento (DPE) y pardeamiento de semilla en frutos de pimiento, cv. Resistant, en dos condiciones de almacenaje**Table 5. Effect of chemicals in chilling damage (DPE) and seed browning on sweet pepper cv. Resistant, under two storage conditions**

Tratamientos	15 días a 0 °C y 80-90% HR		15 días a 0 °C y 80-90% HR + 3 días a 20 °C y 50% HR	
	Severidad DPE		Severidad DPE	Pardeamiento semilla
	%			
Control	33,1 a		37,5 a	25,0 a
CaCl ₂ al 2,5%	35,6 a		41,3 a	21,3 a
CaCl ₂ al 5%	25,6 a		28,8 a	45,0 a
1-MCP (1 ppm por 8 hr)	27,5 a		34,4 a	36,9 a
1-MCP (0,625 ppm por 8 hr)	40,0 a		45,0 a	20,0 a
Metil jasmonato (30 s)	38,8 a		46,3 a	31,3 a

*Letras iguales en las columnas indican que no hubo diferencias significativas entre tratamientos según prueba Tukey.

HR: humedad relativa.

1 - MCP: 1 - metilciclopropeno.

diferencias significativas entre tratamientos. En cuanto al pardeamiento de semilla, no hubo diferencias significativas entre tratamientos.

No se observaron diferencias significativas para las variables pérdida de peso fresco y firmeza (Cuadro 6) durante ambos períodos de almacenaje. Para todos los tratamientos, la firmeza de

frutos disminuyó al traspasarlos a temperatura ambiente. Lo mismo ocurrió para la firmeza medida en libras. En esta investigación no se observaron diferencias a respuesta de los productos químicos utilizados en la disminución del DPE, probablemente debieran estudiarse concentraciones, dosis y tiempos de exposición distintos a los ensayados.

Cuadro 6. Efecto de productos químicos en la pérdida de peso fresco (PPF) y firmeza de pulpa en frutos de pimiento cv. Resistant, en dos condiciones de almacenaje

Table 6. Effect of chemical products on fresh weight lost (PPF) and pulp firmness in sweet pepper cv. Resistant, under two storage conditions

Tratamiento	15 días a 0 °C y 80-90% HR		15 días a 0 °C y 80-90% + 3 días a 20 °C y 50% HR		
	% PPF	Firmeza ¹	% PPF	Firmeza ¹	Firmeza ² lb
Control	6,6 a	5,0 a	11,7 a	3,5 a	3,4 a
CaCl ₂ al 2,5 %	6,6 a	4,9 a	11,6 a	3,8 a	4,0 a
CaCl ₂ al 5,0 %	6,5 a	5,0 a	11,3 a	3,9 a	3,5 a
MCP 1 ppm por 8 hr	6,3 a	4,9 a	11,8 a	3,6 a	3,7 a
MCP 0,625 ppm por 8 hr	6,4 a	4,8 a	11,5 a	3,6 a	3,4 a
Metil jasmonato por 30 s	6,4 a	5,0 a	11,8 a	4,0 a	4,2 a

Letras iguales en las columnas indican que no hubo diferencias significativas entre tratamientos según prueba Tukey.

¹ Escala firmeza: 5 = muy firme, 4 = firme, 3 = moderadamente firme, 2 = ligeramente firme, 1 = blando.

² Firmeza en libras.

HR: humedad relativa.

1 - MCP: 1 - metilciclopropeno.

CONCLUSIONES

El cv. King Arthur, más sensible a DPE, presentó un mayor porcentaje de depresiones superficiales, y pardeamiento de semilla, que duplicaron lo observado en el cv. tolerante El Paso, con una sintomatología que se intensificó al traspasar la fruta a una condición de ambiente, con una temperatura de 20 °C ± 3 y 50% ± 5 HR por tres días.

La inmersión en agua caliente fue efectiva en disminuir el DPE independiente del cultivar; la inmersión a 60 °C por 1 min tuvo la mejor respuesta.

La práctica de utilizar película plástica para cubrir los frutos en forma individual, resultó conveniente para reducir tanto el DPE como la pérdida de peso, y mantuvo la firmeza de los frutos, aunque no tuvo efecto sobre la disminución del pardeamiento de semilla.

El uso de productos químicos en las concentraciones, dosis y tiempos de exposición estudiados, no presentó ventajas sobre la reducción del DPE.

LITERATURA CITADA

- Abdi, N., W.B. McGlasson, P. Holford, M. Williams, and Y. Mizrahi. 1998. Responses of climacteric and suppressed-climacteric plums to treatment with propylene and 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology* 14:29-39.
- Ben-Yehoshua, S., B. Shapiro, Z.E. Chen, and S. Lurie. 1983. Mode of action of plastic film in extending life of lemon and bell pepper fruits by alleviation of water stress. *Plant Physiol.* 73: 87-93.
- Biles, Ch.L., M. Wall, and K. Blackstone. 1993. Morphological and physiological changes during maturation of new mexican types peppers. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 118:476-480.
- Bosland, P.W., and E.J. Votava. 2000. *Peppers: vegetable and spices capsicums*. 204 p. CABI Publishing, New York, USA.
- Cantwell, M. 2001. Pimiento (pimentón, chile dulce): recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. Department of Vegetable Crops, University of California, Davis, CA 95616. Traducido por Farbod Youssefi, Department of Pomology, University of California, Davis, USA. Available at: <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Producerfacts/Espanol/Pimiento.html>. Accessed on March, 2001.
- Creelman, R., and J. Mullet. 1997. Biosynthesis and action of jasmonates in plants. *Plant Physiol.* 48:355-381.
- Droby, S., R. Porat, L. Cohen, B. Weiss, B. Shapiro, S. Hadas, and S. Meier. 1999. Suppressing green mold decay in grapefruit with postharvest jasmonate application. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 124:184-188.
- González-Aguilar, L., L. Gayoso, R. Cruz, J. Fortiz, R. Báez, and C.Y. Wang. 2000. Polyamines induced by hot water treatments reduce chilling injury and decay in pepper fruit. *Postharvest Biology and Technology* 18:19-26.
- Hardenburg, R.E., A. Watada y C.Y. Wang. 1988. Almacenamiento comercial de frutas, legumbres y existencias de floristerías y viveros. 150 p. IICA, San José, Costa Rica.
- Kehr, E, y C. Krarup. 2000. Sintomatología y susceptibilidad a daño por enfriamiento en postcosecha de pimiento (*Capsicum annum* L.) Poster. 51 Congreso Agronómico, 7-10 noviembre 2000, Talca, Chile. Sociedad Agronómica de Chile (SACH), Santiago, Chile.
- Kozukue, N., and K. Ogata. 1972. Physiological and chemical studies of chilling injury in pepper fruits. *J. Food Sc.* 37:708-711.
- Lelièvre, J.M., L. Tichit, P. Dao, L. Fillion, Y-W Nam, J-C Pech, and A. Latché. 1997. Effects of chilling on the expression of ethylene biosynthetic genes in Passe-Crassane pear (*Pyrus communis* L.) fruits. *Plant Mol. Biol.* 33:847-55.
- Lester, G., and B. Bruton. 1986. Relationship of netted muskmelon fruit water loss to post harvest storage life. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 111:727-731.
- Lin, W.C., J.W. Hall, and M.E. Saltveit. 1993. Ripening stage affects the chilling sensitivity of greenhouse-grown peppers. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 118:791-795.
- Lurie, S. 1997. Postharvest heat treatments of horticultural crops. *Hortic. Rev.* 22:91-121.
- Meier, S., I. Rosenberg, Z. Aharoni, S. Grinberg, and E. Fallik. 1995. Improvement of the postharvest keeping quality and colour development of bell pepper (cv. 'Maor') by packaging with polyethylene bags at a reduced temperature. *Postharvest Biology and Technology* 5:303-309.
- Meier, S., S. Philosoph-Hadas, S. Lurie, S. Droby, M. Akerman, G. Zauberman, B. Shapiro, E. Cohen, and Y. Fuchs. 1996. Reduction of chilling injury in stored avocado, grapefruit, and bell pepper by methyl jasmonate. *Can. J. Bot.* 74:870-874.

- Mencarelli, F., B. Ceccantoni, A. Bolini, and G. Anelli. 1993. Influence of heat treatment on the physiological response of sweet pepper kept at chilling temperature. *Acta Hortic.* 343:238-243.
- Miller, W.R., and L.A. Risse. 1986. Film wrapping to alleviate chilling injury of bell peppers during cold storage. *HortScience* 21:467-468.
- Nakatsuka, A., S. Shiomi, Y. Kubo, and A. Inaba. 1997. Expression and internal feedback regulation of ACC synthase and ACC oxidase genes in ripening tomato fruit. *Plant Cell Physiol.* 38: 1103-10.
- ODEPA. 2001a. Temporada Agrícola Nº 17, Primer Semestre de 2001. 140 p. Ministerio de Agricultura, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Santiago, Chile.
- ODEPA. 2001b. Una política de Estado para la agricultura chilena. Período 2000-2010. 140 p. Ministerio de Agricultura, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Santiago, Chile.
- Paull, R. 1990. Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. p. 17-36. *In* Chien Yi Wang (ed.). *Chilling injury of horticultural crops*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Risse, L., and D. Chun. 1987. Influence of various conditioning times and temperatures and intermittent warming on chilling injury and decay of nonwrapped and film wrapped peppers. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.* 100:29-32.
- Risse, L., D. Chun, and W.R. Miller. 1986. Chilling injury and decay of film-wrapped and conditioned bell peppers during cold storage. *Trop. Sci.* 27:85-90.
- Rupasinghe, H., D. Murr, G. Paliyath, and L. Skog. 2000. Inhibitory effect of 1-MCP on ripening and superficial scald development in 'McIntosh' and 'Delicious' apples. *J. Hortic. Sci. & Biotechnol.* 75:271-276.
- Serrano, M., M.C. Martínez-Madrid, M.T. Pretel, F. Riquelme, and F. Remojaro. 1997. Modified atmosphere packaging minimizes increases in putrescine and abscisic acid levels caused by chilling injury in pepper fruit. *J. Agric. Food Chem.* 45:1668-1672.
- Sisler, E.C., and M. Serek. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level. Recent developments. *Physiol. Plant.* 100:577-82.
- Steel, R., y J. Torrie. 1988. *Bioestadística: principios y procedimientos*. 622 p. 2ª ed. McGraw-Hill, México.
- Wang, C.Y. 1993. Approaches to reduce chilling injury of fruits and vegetables. *Hortic. Rev.* 15:63-86.
- Wang, C.Y. 1994. Combined treatment of heat shock and low temperature conditioning reduces chilling injury in zucchini squash. *Postharvest Biology and Technology* 4:65-73.
- Wyllie, S.G., J.B. Golding, W.B. McGlasson, and M. Williams. 1998. The relationship between ethylene and aroma volatiles production in ripening climacteric fruit. *Dev. Food Sci.* 40:375-84.