

Ionización con electrones acelerados como tratamiento de cuarentena contra *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) en cítricos

M. ALONSO¹, M. A. DEL RÍO¹, J. JACAS²

Ceratitis capitata (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) es una plaga de importancia cuarentenaria. Las exportaciones de cítricos españoles a países como Japón o los EE.UU. (donde se excluyen los limones, por no considerar a este fruto como huésped) están sujetas a un tratamiento obligatorio por frío. Sin embargo, algunas variedades/especies no toleran este tratamiento, por lo que se precisa encontrar alternativas que satisfagan tanto las exigencias sanitarias (mortalidad superior al 99,9968%), como de calidad (parámetros físico-químicos y sensoriales), así como la ausencia de residuos y la sencillez de aplicación.

Tanto el limón "Fino" como el híbrido de mandarina "Fortune" son sensibles a la cuarentena por frío. Como alternativa a este tratamiento, se ha ensayado la aplicación de radiación ionizante por electrones acelerados. Para ello, se procedió, en primer lugar, a determinar la dosis necesaria para asegurar la total eliminación de la mosca. Se estudiaron 4 dosis (0; 0,25; 0,50 y 1,0 KGy) sobre todos los estados/estadios del insecto en dieta artificial. Se comprobó que 0,25 kGy eran ya suficientes para asegurar la total eliminación del fitófago (los pocos adultos obtenidos eran estériles), por lo que a continuación, se estudió la influencia de una dosis 1,0 kGy en la calidad de la fruta. Los resultados demostraron que la calidad del limón "Fino" no se alteró significativamente. Sin embargo, el híbrido "Fortune" no toleró este tratamiento, que resultó en la aparición de daños graves que afectaron negativamente su calidad. Por lo tanto, el tratamiento con electrones acelerados aparece como una opción a considerar en el caso del limón "Fino".

¹ Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias; Ctra. Montcada-Nàquera km 5; 46113-Montcada. E-mail: mialva@ivia.es

² Universitat Jaume I; Campus del Riu Sec; 12071-Castelló de la Plana.

Palabras clave: *Ceratitis capitata*, cuarentena, electrones acelerados, limón "Fino", híbrido "Fortune".

INTRODUCCIÓN

Para evitar la diseminación de plagas y enfermedades de regiones infectadas/infestadas a zonas libres de ellas es preciso someter los frutos y hortalizas a tratamientos cuarentenarios (ISMAIL, 1986). Existen diversos métodos de tratamientos cuarentenarios: térmicos (frío, calor), químicos, atmósferas in-

secticidas, irradiaciones y combinaciones de estos (AHARONI *et al.*, 1979; LIDSTER *et al.*, 1981; GOULD, 1988).

En el envío de cítricos españoles a países tales como USA, Japón y Australia, se exige el tratamiento de cuarentena por frío en tránsito de 16-17 días a temperatura en el interior de la pulpa inferior a 2°C (MAÑES-FORTICH, 1997). La irradiación podría ser una alterna-

tiva, aunque los cítricos son de los frutos menos tolerantes (HALLMAN, 1999). La irradiación con rayos gamma para el control de podredumbres en naranjas "Valencia" y pomelos "Marsh" no tuvo éxito por los daños causados en la piel de los frutos (GRIERSON y DENNISON, 1965). AHMED y colaboradores (1966) observaron que las naranjas "Navel" irradiadas con dosis de 0 a 2 kGy presentaban colores más claros y que estas diferencias eran mayores al reducir la temperatura de almacenamiento. La irradiación de pomelos "Duncan", naranjas "Pineapple" y "Valencia" con dosis superiores a 1 kGy reduce el porcentaje de podredumbres pero provoca daños en la piel (DENNISON et al., 1966). Sin embargo la irradiación de naranjas "Valencia" con rayos gamma a dosis de 0,26-0,30 kGy puede ser eficaz para el control de las moscas de la fruta, con nivel de seguridad Probit 9 (BURDITT, 1982), sin afectar negativamente en las características organolépticas, ácido ascórbico, acidez y sólidos solubles totales (NAGAY y MOY, 1985). O'MAHONY y colaboradores, 1985 encontraron grandes diferencias en la evaluación sensorial del manchado de naranjas "Navel" a dosis de 0,60 -0,85 kGy y menores en el olor y sabor, después de 4-6 semanas. En pomelos el manchado se puede reducir acondicionando los frutos con vapor a 38 o 42°C durante 2 horas antes de la irradiación a dosis de 0,5 a 1,0 kGy (MILLER y McDONALD, 1998).

La tolerancia de los frutos cítricos a tratamientos cuarentenarios por irradiación depende de la variedad, por lo que puede sufrir alteraciones a la dosis requerida para la eliminación de las larvas de la mosca de las frutas (MILLER et al., 2000).

Tanto el limón "Fino" como el híbrido de mandarina "Fortune" son sensibles al tratamiento de cuarentena por frío, por lo que se necesita estudiar su comportamiento frente a tratamientos alternativos como la irradiación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para estudiar el comportamiento de la ionización con electrones acelerados sobre

C. capitata y sobre frutos cítricos se realizaron tres tipos de ensayos:

Estudio la mortalidad al aplicar dosis entre 0 y 1,0 kilograys (kGy) a distintos estados/líos de *C. capitata* en dieta artificial dispuesta en placas petri de 140 mm. de diámetro.

A partir de los resultados del ensayo anterior se estudió el efecto de la irradiación sobre el estadio más resistente (LIII) en fruta infestada.

Efectos de la irradiación sobre la calidad de frutos cítricos: limón "Fino" e híbrido de mandarina "Fortune".

La fruta utilizada en estos ensayos, de la variedad "Fortune", provenía de las parcelas experimentales del IVIA. El índice de madurez con que se recolectó la fruta fue 6,25, valor que se alcanzó el día 21 de diciembre de 2000. El limón "Fino" se adquirió en la Cooperativa Albafruits (Albàtera, Alicante). El índice de madurez con que se recolectó la fruta fue 1,24. Este valor se alcanzó el día 9 de febrero de 2001

Las moscas utilizadas procedían de una cría artificial de *C. capitata* en la cual se siguió el procedimiento utilizado por ALBAJES y SANTIAGO-ÁLVAREZ, (1980) con pequeñas modificaciones. Se introdujeron aproximadamente 3000 pupas en jaulas de metacrilato de 40 x 30 x 30 cm. con una de las caras centrales cubierta de tela muselina, a través de la cual los adultos realizaban la puesta de los huevos, que se recolectaban en unas bandejas con agua situadas debajo de las jaulas. Una vez recogidos los huevos se medían volumétricamente y se sembraban en unas bandejas de 30 x 20 x 4 cm. con dieta (ALBAJES y SANTIAGO-ÁLVAREZ, 1980). En cada bandeja, se sembraban unos 3000 huevos, que se cubrían con papel aluminio para evitar la desecación. Una vez las larvas alcanzaban su máximo desarrollo, abandonaban la dieta para realizar la pupación. La cría mantuvo en una cámara de ambiente controlado a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ de temperatura, humedad relativa del $75 \pm 5\%$ y fotoperiodo de 16:8 (L:O).

Los tratamientos de ionización a dosis comprendidas entre 0,50 y 1 kGy se llevaron

a cabo en un acelerador de electrones (10 MeV; 50 kW). en la planta IONMED SA en Tarancón (Cuenca). Para dosis inferiores a 0,50 kGy se realizaron en la planta Radiant-Ouest ESI, en Vannes (Francia).

Ensayo sobre *C. capitata* en dieta artificial

Para poder definir la dosis necesaria para alcanzar el 99,9968% de mortalidad de *C. capitata*, se planteó este ensayo, en que se determinó la sensibilidad de esta especie a la radiación en dieta artificial. Para ello, se trató bajo el acelerador de electrones una serie de placas petri de 140 mm de diámetro, rellenas con dieta artificial y con 100 individuos cada una. Se estudiaron los estados/íos de huevo, LI, LII y LIII. Sin dieta, pero también en placa petri se hicieron los mismos estudios con pupas de 1, 3 y 7 días de edad. Para cada estado/ío se realizaron 6 repeticiones. Para asegurar, tanto el número de huevos, como de larvas en cada placa, éstos se sembraron de forma individualizada con la ayuda de un pincel. Las pupas se contaron directamente a partir de los individuos que habían saltado de las bandejas de cría. Hasta el momento del tratamiento, las placas se dejaron en una cámara climática bajo las mismas condiciones que la cría. Una vez tratadas, se dejó que los individuos completaran su desarrollo en las mismas placas hasta pupar, momento en que se recogieron, se contabilizaron, y se dejaron hasta la emergencia de adultos.

Ensayo sobre *C. capitata* en fruta infestada artificialmente

La fruta se inoculó artificialmente con huevos de *C. capitata* obtenidos de la cría artificial a razón de 50 huevos por fruto. El método de inoculación fue el descrito por KAMBUROV (1972) con algunas modificaciones. Para la inoculación artificial de *C. capitata* en mandarinas se procedió de la siguiente forma: bajo lupa binocular se han

tomado mediante una jeringuilla hipodérmica 50 huevos disueltos en agua formando un volumen de en disolución de 0,3 ml completando hasta 1ml con agar disuelto en agua al 0,02%. La mezcla una vez agitada se inyectó en el fruto. La punción se tapó con parafina caliente para evitar posibles ataques fúngicos.

Una vez inoculada, la fruta se dejó evolucionar a 25°C hasta alcanzar el estadio larvario deseado para el estudio. Inoculando fruta en distintos momentos, se consiguió disponer de fruta infestada con los distintos estados/íos de *C. capitata* considerados para el día del tratamiento. Debido a la alta mortalidad de huevos en los tratamientos sobre limón "Fino" (LABORDA *et al.* 1990), el método de inoculación fue totalmente diferente: con un pincel fino, se colocaron 10 LIII en una perforación de 3,5 cm de profundidad y 1 cm de diámetro. Las heridas fueron tapadas con algodón no absorbente.

Los datos de mortalidad obtenidos se sometieron a análisis probit (FINNEY 1971; ROBERTSON y PREISLER, 1992; Software POLO-LC), con el fin de determinar el probit 9 para el estado/ío más resistente.

Ensayos de calidad

Los parámetros de calidad estudiados fueron color, firmeza, sólidos solubles, acidez e índice de madurez, etanol y acetaldehído, porcentaje de zumo y evaluación sensorial.

Determinación del color

El color de los frutos fue medido con un colorímetro portátil Minolta CR-300, efectuándose tres medidas en la zona ecuatorial del fruto. El colorímetro permite la lectura directa de los parámetros "L", "a", y "b" (parámetros de Hunter). El parámetro "L", adopta valores según tonalidades blanco-negro, el "a" según tonalidades rojo-verde y el parámetro "b" según tonalidades amarillo-azul. Con esta terna de valores proporciona-

dos por el colorímetro se calculó el índice de color (IC), definido por JIMÉNEZ-CUESTA y colaboradores (1981), mediante la relación $IC = 1.000 a / L b$.

Firmeza

Se evaluó individualmente sobre 20 frutos por tratamiento. Para ello se utilizó en texturómetro Instron Universal Machine modelo 4301, situándose la fruta entre dos placas paralelas que se acercaban con una velocidad de 5 mm/minuto, de forma que se somete a una compresión según su eje ecuatorial. La relación entre la deformación producida por una fuerza de 10 Nw para las mandarinas "Fortune" y 20 Nw para los limones "Fino", y el diámetro inicial del fruto se expresó como porcentaje de deformación.

Sólidos solubles, acidez e índice de madurez

Para las determinaciones de sólidos solubles y acidez, se separaron 3 grupos de 15 frutos por tratamiento de los que se obtuvieron 3 zumos. Los sólidos solubles se midieron con un refractómetro digital PR1, siendo expresados en °Brix. Para la determinación de la acidez, de cada uno de los tres zumos se separaron alícuotas de 5 ml de zumo para las mandarinas "Fortune" y de 1 ml para los limones "Fino", que se valoraron con NaOH 0.1 N utilizando fenolftaleína como indicador. Se expresó el resultado como porcentaje

de ácido cítrico (g ácido cítrico/ 100 ml de zumo).

El índice de madurez fue determinado como el cociente de la relación °Brix/acidez sobre los valores anteriormente calculados.

Etanol y Acetaldehído

Se determinaron por triplicado sobre muestras de 3 zumos de 15 frutos, por cromatografía gaseosa de espacio de cabeza según el método de KE y KADER (1990).

Muestras de 5 ml de zumo se conservaron congeladas a -18°C en viales de 10 ml, debidamente sellados, hasta el momento de su análisis. En el momento de las determinaciones se colocaron los viales en baño maría a 20°C durante una hora, siendo más tarde transferidos a 30°C por 10 minutos antes de ser analizados. A continuación, los viales se agitaron con un vibrador Spinmix durante 5 segundos, antes de extraer una submuestra de 1 ml de gas del espacio de cabeza existente sobre la muestra con una jeringa Hamilton 1001 LT de 1 ml y se inyectó en el cromatógrafo Perkin Elmer 2000. Las condiciones de operación en el cromatógrafo fueron: temperatura del horno de 150°C , temperatura del inyector de 175°C , temperatura de detector de ionización de llama (FID) de 200°C . Se usó una columna empacada porapak QS 80/100 de 1.2 m de longitud y 1/8 de pulgada de diámetro, de acero inoxidable. Los patrones de etanol y acetaldehído se prepararon conjuntamente y se conservaron en viales de 10 ml en igual cantidad a la emple-

Tabla 1.—Supervivencia (%) de *C. capitata* irradiada en placa petri en dieta artificial (huevos, LI, LII y LIII), o sin medio alguno (pupas)

Estado/fo	Dosis (kGy)							
	0		0,25		0,50		1,00	
	Pupas	Adultos	Pupas	Adultos	Pupas	Adultos	Pupas	Adultos
Huevo.....	87,33	88,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LI.....	82,83	90,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LII.....	78,33	93,83	2,67	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
LIII.....	90,17	91,31	40,67	0,00	16,83	0,00	0,00	0,00
Pupa 1 día.....	—	90,40	—	0,00	—	0,00	—	0,00
Pupa 3 días.....	—	91,50	—	0,00	—	0,00	—	0,00
Pupa 7 días.....	—	91,50	—	0,00	—	0,00	—	0,00

ada por las muestras. Los resultados se expresaron en mg de acetaldehído y de etanol por 100 ml de zumo.

Porcentaje de zumo

El zumo se obtuvo de forma manual, utilizando un exprimidor de piña giratoria, y posteriormente se tamizó con un tamiz de 0.8 mm de luz. El porcentaje de zumo expresado por la relación entre el volumen de zumo de 10 frutos (ml) y su peso (g).

Evaluación sensorial

El sabor de las mandarinas así como su comestibilidad fueron evaluados por un panel semientrenado de 6-8 catadores en el laboratorio del IVIA de acuerdo con los intervalos definidos por MAZZUZ y DEL RÍO, 1997.

Alteraciones fisiológicas y patológicas

En el recuento de las alteraciones fisiológicas se han aplicado los coeficientes: 0 (sin lesiones), 1 (lesiones ligeras), 2 (lesiones moderadas), 3 (lesiones graves), calculando la media ponderada. Las alteraciones se consideran ligeras cuando éstas no sobrepasan el 10% de la superficie y severas cuando sobrepasan el 20% de la superficie. Este recuento se ha efectuado sobre 100 frutos por tratamiento, tomados en grupos de 10. En los mismos grupos se han contabilizado podredumbres.

Tabla 2.—Porcentaje de pupas formadas y de adultos emergidos en limón "Fino" irradiado y no irradiado

Estado/fo	0		1,00 kGy	
	Pupas	Adultos	Pupas	Adultos
Huevo	—	—	—	—
LI.....	—	—	—	—
LII.....	—	—	—	—
LIII.....	84,00	89,00	0,00	0,00

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se encuentran las mortalidades observadas para los distintos estados/íos de *C. capitata* tras ser irradiados a distintas dosis entre 0 y 1,0 kGy. A 0,25 kGy, menos del 3% de las larvas irradiadas consiguió finalizar su desarrollo, aunque ninguno de los adultos conseguidos a esa dosis fue viable. A 0,50 kGy, sólo consiguió pupar el 16,8% de las LIII irradiadas, aunque no lograron finalizar su desarrollo, ya que no se obtuvo ningún adulto a esta dosis. Por ello, se puede concluir que 0,25 kGy sería suficiente para inhibir totalmente la formación de nuevos adultos y, aunque según el criterio del probit 9 (BAKER, 1939), ésta dosis no sería suficiente desde el punto de vista reglamentario, es innegable que la inhibición de la emergencia de adultos aseguraría plenamente los requerimientos cuarentenarios. Así, la dosis mínima absorbida por el insecto que sugieren las autoridades americanas para el tratamiento contra *C. capitata* es de 0,225 kGy (APHIS, 1996), valor muy próximo al encontrado. Puesto que según HALLMAN (1999) es conveniente multiplicar por 3 la dosis hallada en condiciones controladas para su aplicación comercial, se decidió realizar las siguientes experiencias con fruta inoculada a la dosis de 1,00 kGy.

Tabla 3.—Porcentaje de pupas formadas y de adultos emergidos en mandarina "Fortune" irradiada y no irradiada

Estado/fo	0		1,00 kGy	
	Pupas	Adultos	Pupas	Adultos
Huevo	58,00	73,00	0,00	0,00
LI.....	63,00	81,00	0,00	0,00
LII.....	65,00	86,00	0,00	0,00
LIII.....	83,60	91,75	0,00	0,00

El las Tablas 2 y 3 se recogen los valores de pupación y de emergencia de adultos para las experiencias realizadas en condiciones comerciales y en fruta inoculada a la dosis de 1,0 kGy. Como se puede ver, a esa dosis, y como era de esperar, no se obtuvo ni un solo individuo (ni como pupa, ni como

adulto). En consecuencia, esa dosis fue totalmente eficaz como tratamiento cuarentenario contra la mosca de la fruta.

En las Tablas 4 y 5 se muestran los valores de calidad de la fruta tras los tratamientos de ionización y después de la simulación de un periodo de transporte (14 ó 28 días a 11°C) y comercialización (7 días a 20 °C). Tanto en limón "Fino" como en mandarina "Fortune" los controles presentaron una firmeza significativamente superior, este fenómeno se había constatado anteriormente en mandarinas "Murcott" y "Temple" (MILLER *et al.*, 2000).

En cuanto a los valores del índice de color en limón, se ha observado un incremento en los frutos irradiados tras los diferentes periodos de almacenamiento (Tabla 4). A dosis superiores a 0,45 kGy se perdió luminosidad y, por lo tanto, aumentó el índice de color (MILLER *et al.*, 2000). Sin embargo en mandarina no se encontraron diferencias significativas después de los periodos de almacenamiento estudiados (Tabla 5). Generalmente los valores de "L" luminosidad en los primeros periodos de almacenamiento fueron más elevados debido al efecto blanqueador de la irradiación sobre los pigmentos (GUERRERO *et al.*, 1967).

Los índices de madurez en limón y mandarina fueron significativamente superiores en los frutos irradiados tras 14 y 28 días de

almacenamiento. Durante el almacenamiento, los sólidos totales se mantuvieron prácticamente constantes mientras que se redujo notablemente la acidez, aumentado de esta forma el índice de madurez (MARTINEZ-JÁVEGA, 1997). En los frutos este fenómeno se acentuó por los daños producidos en su epidermis (DENNISON *et al.*, 1966).

Las alteraciones fisiológicas producidas en limón y mandarina si bien no fueron estadísticamente diferentes, presentaron un alto grado de incidencia valores próximos a 2 (intervalo 1-3) lo que demuestra que la piel de los frutos cítricos es sensible a la irradiación (DENNISON *et al.*, 1966).

Los contenidos en etanol y acetaldehído de los frutos irradiados fueron significativamente superiores a los controles en todos los periodos estudiados, tanto en limón como en mandarina. En "Fortune" se alcanzaron a valores muy superiores a 200 mg/100 ml de zumo, límite a partir del cual aparecen malos sabores (CHALUTZ *et al.*, 1981; CUQUERELLA *et al.*, 1981 y NORMAN 1977).

El sabor de los frutos irradiados en mandarinas fue significativamente inferior tras 28 días de almacenamiento. Con la irradiación y el aumento del periodo de almacenamiento se ha observado un incremento de los malos sabores en naranjas "Valencia" irradiadas (NAGAY y MOY, 1985).

Tabla 4.—Limón "Fino". Parámetros de calidad tras los tratamientos de irradiación

	Textura (%)	I.Color (1000a/Lb)	I.Mad. (°Brix/Acid)	Zumo (%)	Alt.fis. (1-3)	C ₂ H ₅ OH (mg/100 ml)	CH ₃ CHO (mg/100 ml)
Control	3,38	-2,20	1,24	40,9	—	20,81	0,44
	± 0,10a ^z	± 0,15a	± 0,01a	± 0,30a		± 1,17a	± 0,02a
Irradiado	5,08	-1,73	1,27	42,6	—	61,82	1,24
	± 0,19b	± 0,08b	± 0,01a	± 0,50a		± 3,32b	± 0,09b
Control +14 ^y	5,98	-1,17	1,25	42,8	1,01	47,85	0,93
	± 0,18a	± 0,08a	± 0,01a	± 0,38a	± 0,42a	± 2,64a	± 0,03a
Irradiado	6,13	-0,84	1,37	36,5	1,04	104,18	1,63
	± 0,21a	± 0,08b	± 0,01b	± 0,40b	± 0,13a	± 1,81b	± 0,10b
Control + 28 ^x	6,92	-1,05	1,23	44,5	1,08	62,70	0,85
	± 0,19a	± 0,07a	± 0,001a	± 0,49a	± 0,17a	± 1,63a	± 0,01a
Irradiado	7,07	-0,37	1,42	37,4	1,36	156,74	1,84
	± 0,30a	± 0,08b	± 0,001b	± 0,50b	± 0,07a	± 3,61b	± 0,05b

^z Para cada pareja de valores en cada columna, los seguidos de la misma letra no difieren significativamente (ANOVA, $p < 0,05$).

^y 14 días a 11°C + 7 días a 20°C.

^x 28 días a 11°C + 7 días a 20°C.q

Tabla 5.—Mandarina "Fortune". Parámetros de calidad tras los tratamientos de irradiación

	Textura (%)	I.Color (1000a/Lb)	I.Mad. (°Brix/Acid)	Zumo (%)	Alt.fis. (1-3)	C ₂ H ₅ OH (mg/100 ml)	CH ₃ CHO (mg/100 ml)	Sabor (0-10)	Comest. (0-10)
Control	6,13 ± 0,48aZ	18,07 ± 0,25b	6,36 ± 0,12a	46,1 ± 0,63a	1,24 ± 0,15a	69,67 ± 3,62a	1,11 ± 0,02a	4,30 ± 0,37a	7,57 ± 0,42a
Irradiado.....	5,86 ± 0,16a	16,38 ± 0,39a	7,28 ± 0,17b	46,7 ± 0,20a	1,60 ± 0,13a	131,91 ± 2,54b	1,87 ± 0,04b	3,33 ± 0,33a	6,43 ± 0,61a
Control +14 ^Y	7,73 ± 0,28a	16,22 ± 0,23a	8,06 ± 0,22a	45,9 ± 0,31a	1,56 ± 0,15a	254,36 ± 9,58a	3,56 ± 0,28a	3,33 ± 0,42a	7,71 ± 0,35a
Irradiado.....	10,99 ± 0,39b	16,77 ± 0,19a	7,67 ± 0,17a	47,4 ± 0,29b	1,91 ± 0,09b	553,36 ± 13,86b	4,28 ± 0,44b	3,86 ± 0,67a	6,14 ± 0,60a
Control + 28 ^X	9,95 ± 0,27a	17,10 ± 0,32a	6,04 ± 0,33a	44,4 ± 0,47a	1,63 ± 0,15a	172,88 ± 15,51a	4,15 ± 0,45a	5,14 ± 0,50b	7,57 ± 0,63a
Irradiado.....	9,25 ± 0,32a	17,28 ± 0,21a	7,83 ± 0,10b	45,7 ± 0,35a	1,97 ± 0,21a	822,59 ± 11,33b	7,16 ± 0,57b	1,57 ± 0,36a	6,43 ± 0,59a

^Z Para cada pareja de valores en cada columna, los seguidos de la misma letra no difieren significativamente (ANOVA, $p < 0,05$).

^Y 14 días a 11°C + 7 días a 20°C.

^X 28 días a 11°C + 7 días a 20°C.

CONCLUSIONES

Dosis de irradiación comprendidas entre 0,25 y 0,50 kGy bastaron para inhibir la viabilidad de los pocos adultos capaces de completar su desarrollo a esas dosis. Tratando la fruta a una dosis de 1 kGy como medida de seguridad se consiguió la total eliminación de *C. capitata*.

La calidad del limón "Fino" no se alteró negativamente por el tratamiento a 1 kGy, incluso después de un mes de su aplicación, sin embargo los daños provocados en "Fortune" fueron inaceptables.

La irradiación por electrones acelerados podría ser una buena alternativa al trata-

miento cuarentenario por frío del limón "Fino".

En el futuro sería necesario estudiar algún tipo de pre-tratamiento para minimizar los posibles daños que pueda causar la irradiación en frutos cítricos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado, en parte, por la CICYT, con fondos FEDER, proyecto 1FD97-1005-C04-04.

A IONMED ESTERILIZACION S.A. por su valiosa colaboración e interés.

ABSTRACT

ALONSO M., M. A. DEL RÍO, J. JACAS. Ionización con electrones acelerados como tratamiento de cuarentena contra *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) en cítricos. *Bol. San. Veg. Plagas*, 28: 419-426.

Ceratitis capitata is a quarantine pest. Spanish citrus exports to countries such as the USA or Japan are subjected to a mandatory quarantine treatment consisting of exposure of fruits to a low temperature. Some citrus ("Fino" lemon, "Fortune" mandarin) are very sensitive to this kind of treatment and can not be treated this way. Therefore, alternative treatments are necessary. In this study, high energy electrons were investigated as an alternative quarantine treatment against *C. capitata* in citrus.

Survival of the different instars (egg to old pupae) of *C. capitata* reared in an artificial medium was assessed when exposed to different doses between 0 and 1 kGy. Both pupariation and adult emergence were almost prevented at 0.25 kGy, and no viable adults were obtained at 0.50 kGy. When artificially infested fruits (in both "Fino" lemon and "Fortune" mandarin) were exposed to 1 kGy, 100% mortality was obtained.

Finally, quality (texture, color index, maturity index, juice yield, ethanol and acetaldehyde contents, physiological alterations and organoleptic characteristics) of irradiated (1 kGy) and non irradiated fruit were compared. High energy electron irradiation resulted in unacceptable damage to "Fortune" mandarin, but quality of "Fino" lemon resulted unaltered even when evaluated one month after irradiation. Therefore high energy electrons could be a useful alternative to cold quarantine treatment for "Fino" lemons.

Key words: *Ceratitis capitata*, quarantine, high energy electrons, "Fino" lemon, "Fortune" hybrid.

REFERENCIAS

- AHARONI Y., HARTSELL P., STEWART J. K., YOUNG D. K. 1979. Control of western flower thrips on strawberries with acetaldehyde in air, 50% carbon dioxide or 1% oxygen. *J. Econ. Entomol.* **72**:820-822.
- AHMED E. M., KNAPP F. W., DENNISON R. A. 1966. Changes in peel color during storage of irradiated oranges. Florida State Horticultural Society 1966: 296-301.
- ALBAJES R., SANTIAGO-ALVAREZ C. 1980. influencia de la temperatura en el desarrollo de *Ceratitis capitata* (Wied). *An. INIA/Ser. Agric.* **13**:183-190.
- APHIS (U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, ANIMAL AND PLANT HEALTH INSPECTION SERVICE). 1996. The application of irradiation to phytosanitary problems. *Fed. Reg.* **24**: 433-439.
- BAKER A.C. 1939. The basis for treatment of products where fruits flies are involved as a condition for entry into the United States. USDA Circular 551.
- BURDITT A. K. 1982. Food irradiation as a quarantine treatment of fruits. *Food Tech.* **36** (11):51-62.
- CHALUTZ E., WAKS J., SCHIFFMANN-NADEL M. 1981. The different responses of several citrus fruit cultivars to low temperatures. *Proc. Intl. Soc. Citriculture* **2**: 773-774.
- CUQUERELLA J., MARTÍNEZ JÁVEGA J. M., JIMÉNEZ CUESTA M. 1981. Some physiological effects of different wax treatments on Spanish citrus fruit during cold storage. *Proc. Intl. Soc. Citriculture* **2**: 734-737.
- DENNISON R. A., GRIERSON W., AHMED E. M. 1966. Irradiation of "Duncan" grapefruit, "Pineapple" and "Valencia" oranges and "Temples". *Flda. State Hort. Soc.* **1966**: 285-292.
- FINNEY D. J. 1971. Probit Analysis. Cambridge University Press, London & NY.
- GOULD W. P. 1988. A hot water/cold storage quarantine treatment for grapefruit infested with de Caribbean fruit fly. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* **101**:190-192.
- GRIERSON W., DENNISON R. A. 1965. Irradiation treatment of "Valencia" oranges and "Marsh' grapefruit". *Flda. State Hort. Soc.* **1965** : 233-237.
- GUERRERO F. P., MAXIE E. C., JOHNSON C., EAKS I. L., SOMMER N. F. 1967. Effects of postharvest gamma irradiation on orange fruits. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **90**:551-553.
- HALLMAN G. J. 1999. Ionizing radiation quarantine treatments against tephritid fruit flies. *Postharvest Biol. Tech.* **16**: 93-106.
- ISMAIL M. A. 1986. Quarantine Treatments: An Update from Florida. *Citrograph.* **June**: 160-162.
- JIMÉNEZ-CUESTA M., CUQUERELLA J., MARTÍNEZ-JÁVEGA J. M. 1981. Determination of a color index for citrus degreening. *Proc. Intl. Soc. Citriculture*, **2**:750-753.
- KAMBUROV S. A. 1972. Artificial infestation of Citrus fruits with the Mediterranean fruit fly. *Annals. Entom. Soc. Am.* **65**: 1238-1239.
- KE D., KADER A. A. 1990. Tolerance of "Valencia" oranges to controlled atmospheres as determined by physiological responses and quality attributes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **115**:779-783.
- LABORDA R., SANTABALLA E., GARCÍA MARÍ F. 1990. Evolución y desarrollo de la mosca de la fruta *Ceratitis capitata* Wied. sobre limones españoles. *Bol. San Veg. Plagas* **16**: 613-618.
- LIDSTER P. D., SANFORD K. H., MCRAE K. B. 1981. Effects of modified atmosphere storage on overwintering populations of the apple rust mite and European red mite eggs on stored "McIntosh" apples. *HortScience* **19**:257-258.
- MAÑES-FORTICH V. 1997. Análisis de los mercados emergentes: EEUU y Japón. *Phytoma* **90**: 183-186.
- MARTÍNEZ-JÁVEGA J. M. 1997. La frigoconservación en naranjas y mandarinas. *Phytoma* **90**: 136-140.
- MAZZUZ C. F., DEL RÍO M. A. 1997. Aplicación del análisis sensorial al control de calidad de frutos cítricos sometidos a tratamientos cuarentenarios. Workshop "Medición de la calidad en frutos tropicales y subtropicales con tratamientos de cuarentena". CYTED. Subprograma XI. Proyecto XI.10 (Ed) C. Saucedo y J.M. Martínez-Jávega, 16-28p.
- MILLER W. R., McDONALD R. E. 1998. Short-term heat conditioning of grapefruit to alleviate irradiation injury. *HortScience* **33**:1224-1227.
- MILLER W. R., McDONALD R. E., CHAPARRO J. 2000. Tolerance of selected orange and mandarin hybrid fruit to low-dose irradiation for Quarantine purposes. *Postharvest Biology & Technology. HortScience* **35** (7): 1288-1291.
- NAGAY N. Y., MOY J. H. 1985. Quality of gamma irradiated California "valencia" oranges. *J. Food Sci.* **50**:215-219.
- NORMAN S. M. 1977. The role of volatiles in storage of citrus fruits. *Proc. Intl. Soc. Citriculture* **1**: 238-242.
- O'MAHONY M., WONG S. Y., ODBERT N. 1985. Sensory evaluation of "navel" oranges treated with low doses of gamma-radiation. *J. Food Sci.* **50**:639-646.
- ROBERTSON J. L., PREISLER H. 1992. Pesticides Bioassays with Arthropods. CRC. Press, EE.UU.

(Recepción: 9 enero 2002)

(Aceptación: 24 mayo 2002)