

COMBINACIÓN DE RADIACIÓN UV-B Y -C COMO ELICITORA DE LA BIOSÍNTESIS DE FLAVONOIDES DURANTE LA VIDA COMERCIAL REFRIGERADA DE PIMIENTOS

Noelia Castillejo, Lorena Martínez-Zamora, y Francisco Artés-Hernández

Grupo de Postrecolección y Refrigeración, Departamento de Ingeniería Agronómica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). Cartagena, Murcia, 30203, España.

Francisco Artés-Hernández

fr.artes-hdez@upct.es

.....

Resumen: *El objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación postcosecha de 6 kJ m^{-2} de luz UV (B, C o B+C) en pimientos rojos tipo California sobre el contenido en flavonoides durante 14 días a 7°C , seguidos de una venta al detalle de 4 días a 18°C . La calidad fisicoquímica no se vio afectada por ningún tratamiento de luz UV. Tras la comercialización, la acidez titulable disminuyó un 37,6 % mientras que el índice de madurez se incrementó en un 53,4 %, sin diferencias entre tratamientos. La UVB y UVB+C incrementaron el contenido de flavonoides un 13 y 19 % tras el tratamiento, respectivamente, en comparación con el control sin UV. La rutina se vio potenciada durante la conservación de los pimientos con UVB+C en más de un 50% respecto al control. Un tratamiento de UVB+C de $6+6 \text{ kJ m}^{-2}$ ha favorecido la acumulación de flavonoides en pimientos durante su vida comercial.*

Palabras clave: *Capsicum annum*, ultravioleta, elicitores, comercialización, rutina.

1. INTRODUCCIÓN

El pimiento de carne gruesa tiene gran importancia en la Región de Murcia al representar el 7 % de la superficie cultivada en España y el 11,2 % de la producción nacional en 2020. Es uno de los ingredientes básicos de la dieta mediterránea debido a su alto contenido en carotenoides y flavonoides los cuales tienen un efecto positivo en la prevención de enfermedades crónicas (1,2). Sin embargo, su piel es muy delicada a daños bióticos y abióticos, los cuales reducen su vida útil. La radiación ultravioleta (UV) proporciona efectos beneficiosos en las plantas al inducir la biosíntesis de metabolitos secundarios de interés nutricional (3,4), sin embargo, también puede provocar daños en la superficie del fruto (5). Sin embargo, no hay apenas estudios sobre la combinación simultánea de UV-B y C, obteniendo nuestro grupo resultados prometedores en ensayos previos (6). Por ello, el objetivo de este estudio fue conocer el efecto de la aplicación postcosecha de una radiación UV-B y -C individual (6 kJ m^{-2}) y simultánea ($6 \text{ kJ m}^{-2} + 6 \text{ kJ m}^{-2}$) durante una conservación de 14 días a 7°C seguido de un periodo de venta al detalle de 4 días a 18°C .

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los pimientos rojos tipo California variedad Angus se recolectaron en los invernaderos propiedad de la empresa Henarejos y Tárrega S.L., localizados en El Mirador, San Javier, Murcia. Los pimientos se llevaron a las instalaciones de la UPCT, donde se lavaron durante 1 minuto con ácido peracético (Citrocide PC, Productos Citrosol, Valencia) seguido de un enjuagado de

1 min. Posteriormente, recibieron un tratamiento de luz UV-B y C (6 kJ m^{-2}) y una combinación de ambos de $6 + 6 \text{ kJ m}^{-2}$, respectivamente. Los pimientos no tratados con luz UV fueron usados como control. Todos fueron conservados 14 días a $7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ seguido de una simulación de una comercialización de 4 días a 18°C .

2.1. Caracterización inicial y determinaciones fisicoquímicas

Se realizó una caracterización inicial de los pimientos determinando su peso inicial mediante una balanza y expresando los resultados en gramos (g). Además, se determinó el calibre ecuatorial y longitudinal y el espesor de la carne, mediante un pie de rey y expresando los resultados en mm. Para la determinación de acidez titulable (AT) se utilizó una dilución de 5 mL de zumo de pimiento más 45 mL de agua destilada con 0,1 M NaOH a pH 8,1 (T50, Metter Toledo; Milán, Lombardía, Italia) y se expresó como mg de ácido cítrico/100 mL. El índice de madurez (IM) fue calculado como el ratio entre los sólidos solubles totales y la AT. Cada muestra se analizó por triplicado en cada día de muestreo por tratamiento.

2.2. Flavonoides individuales

Los flavonoides individuales fueron determinados por cromatografía de líquidos (7). Brevemente, 10 mL de metanol al 80% se añadieron a 1 g de muestra fresca y se homogeneizó con un ultraturrax (IKA A11basic, Staufen, Alemania). La mezcla se incubó en un agitador orbital (Stuart, Stone, Reino Unido) durante 1 h a 200 rpm a $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Los extractos se centrifugaron a 3220 g durante 10 min a $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y el sobrenadante fue filtrado con filtros de $0,2 \text{ }\mu\text{m}$. Posteriormente, 20 μL del sobrenadante fueron inyectados en un UPLC (Agilent) equipado con una columna Gemini C18 (250 mm x 4,6 mm; $5 \text{ }\mu\text{m}$). Los resultados fueron expresados como mg rutina equivalente kg^{-1} peso fresco (pf).

2.3. Análisis estadístico

El análisis estadístico se basó en un análisis de varianza (ANOVA) con dos factores (tratamiento ultravioleta y tiempo) usando el programa Statgraphics Plus (v. 5.1. Statpoint Technologies, Inc. Warrenton, VA, USA). La significancia estadística se evaluó al nivel $p \leq 0,05$, y se usó la prueba de rango múltiple de Tukey para separar las medias.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización inicial

El peso medio de los pimientos recolectados fue $212 \pm 34 \text{ g}$ (Tabla 1). El calibre ecuatorial y longitudinal de los pimientos control fue $88 \pm 6 \text{ mm}$ y $91 \pm 11 \text{ mm}$, respectivamente y el espesor de su carne fue $5,9 \pm 1,1 \text{ mm}$. Todos estos parámetros están dentro de la categoría tipo California y no se vieron afectados tras la aplicación de los diferentes tratamientos de ultravioleta.

Tabla 1. Caracterización inicial de los pimientos tratados con UV-C, UV-B y combinación UV-B+C.

Tratamientos	Peso(g)	Calibre ecuatorial (mm)	Calibre longitudinal (mm)	Espesor (mm)
CTRL	$212,1 \pm 34,1$	$88,2 \pm 6,6$	$91,2 \pm 11,4$	$5,9 \pm 1,1$
UVC	$204,9 \pm 36,4$	$83,6 \pm 6,7$	$89,8 \pm 6,6$	$6,0 \pm 1,1$
UVB	$198,3 \pm 38,2$	$85,4 \pm 7,9$	$85,5 \pm 8,7$	$5,9 \pm 1,1$
UVB+C	$210,5 \pm 47,1$	$90,0 \pm 18,2$	$90,1 \pm 9,2$	$6,0 \pm 0,8$

3.2. Análisis fisicoquímico de calidad

La acidez titulable de los pimientos tras la cosecha fue $0,54 \pm 0,03$ g ácido cítrico 100 mL^{-1} y no se vio afectada tras la aplicación de los diferentes tratamientos UV. Durante los 8 primeros días de conservación a $7 \text{ }^\circ\text{C}$, la acidez no se modificó, pero tras 14 días a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ disminuyó un 24 % con respecto al día inicial. Tras el periodo de comercialización (4 días a $18 \text{ }^\circ\text{C}$), la acidez disminuyó un 17 % más con respecto a los 14 días a $7 \text{ }^\circ\text{C}$. Esa disminución de acidez se vio reflejada en un aumento del índice de madurez hasta valores de 20 tras una conservación de 14 días a $7 \text{ }^\circ\text{C}$ y de 23 tras la simulación de la comercialización.

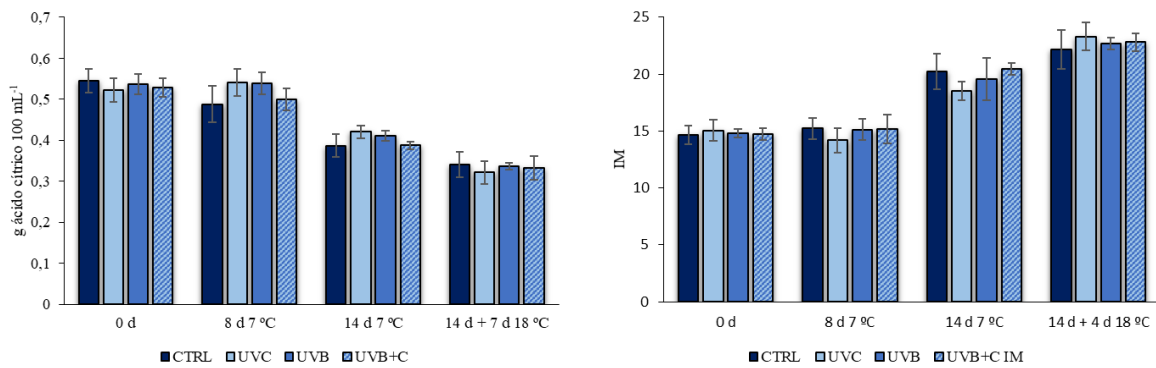


Figura 1. Acidez titulable (g ácido cítrico 100 mL^{-1}) e índice de madurez de pimiento variedad Angus tratado con UVB, UVC y combinación (UVB+C) conservados durante 14 días a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ y tras una comercialización de 4 días a $18 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.3. Flavonoides

Los flavonoides son uno de los principales compuestos bioactivos en el pimiento. El contenido inicial de flavonoides totales fue $1329 \pm 220 \text{ mg kg}^{-1}$. La rutina y sus derivados representaron un 44,6 % del total del contenido de flavonoides. Tras la aplicación de la combinación simultánea de UV-B y UV-C, el contenido de rutina se vio incrementado un 21,4 %, con un valor de $720,5 \pm 7,9 \text{ mg kg}^{-1}$. Estos niveles se mantuvieron durante 14 días a $7 \text{ }^\circ\text{C}$ y tras un periodo de comercialización de 4 días a $18 \text{ }^\circ\text{C}$. La aplicación de UV-B también incrementó la biosíntesis de flavonoides, siendo similar a los valores obtenidos con la combinación (UV-B+C). El estrés oxidativo causado a la planta por la radiación de UV puede inducir la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) que dañan a la planta. Sin embargo, los flavonoides son buenos captando esos ROS y absorbiendo la UV (8).

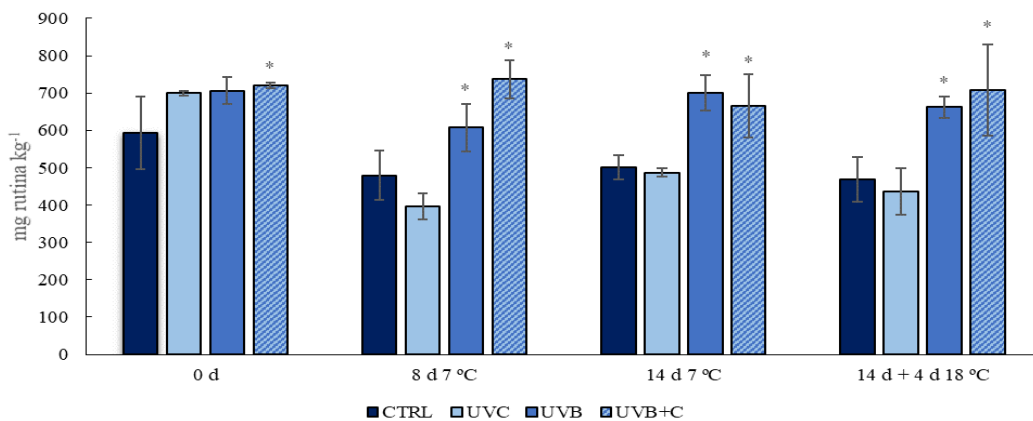


Figura 2. Contenido total de rutina como flavonoide mayoritario en pimiento variedad Angus tratado con UVB, UVC y combinación (UVB+C) conservados durante 14 días a $7 \text{ }^\circ\text{C}$ y tras una comercialización de 4 días a $18 \text{ }^\circ\text{C}$.

4. CONCLUSIONES

Los tratamientos de luz UV no afectaron a los atributos de calidad de los pimientos durante su vida comercial. Sin embargo, tuvieron un efecto positivo a modo de estímulo del metabolismo secundario mediante la biosíntesis de flavonoides, especialmente la UVB y la combinación UVB+C, aumentando un 40 y 33 %, respectivamente, tras 14 días a 7 °C. En conclusión, un tratamiento postcosecha combinado de UVB+C de 6+6 kJ m⁻² ha favorecido la acumulación de flavonoides en pimientos rojos tipo California durante su vida comercial.

REFERENCIAS

1. Wang X, Ouyang Y, Liu J, Zhu M, Zhao G, Bao W, et al. Fruit and vegetable consumption and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer: Systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *BMJ*. 2014;
2. Morales-Soto A, Gómez-Caravaca AM, García-Salas P, Segura-Carretero A, Fernández-Gutiérrez A. High-performance liquid chromatography coupled to diode array and electrospray time-of-flight mass spectrometry detectors for a comprehensive characterization of phenolic and other polar compounds in three pepper (*Capsicum annuum* L.) samples. *Food Res Int*. 2013;51(2):977–84.
3. Cisneros-Zevallos L, Jacobo-Velázquez DA. Controlled Abiotic Stresses Revisited: From Homeostasis through Hormesis to Extreme Stresses and the Impact on Nutraceuticals and Quality during Pre- and Postharvest Applications in Horticultural Crops. *J Agric Food Chem*. 2020;68(43):11877–9.
4. Artés-Hernández F, Castillejo N, Martínez-Zamora L. UV and Visible Spectrum LED Lighting as Abiotic Elicitors of Bioactive Compounds in Sprouts, Microgreens, and Baby Leaves—A Comprehensive Review including Their Mode of Action. *Foods*. 2022;11(3).
5. Guidi L, Brunetti C, Fini A, Agati G, Ferrini F, Gori A, et al. UV radiation promotes flavonoid biosynthesis, while negatively affecting the biosynthesis and the de-epoxidation of xanthophylls: Consequence for photoprotection? *Environ Exp Bot*. 2016;
6. Formica-Oliveira AC, Martínez-Hernández GB, Aguayo E, Gómez PA, Artés F, Artés-Hernández F. A Functional Smoothie from Carrots with Induced Enhanced Phenolic Content. *Food Bioprocess Technol*. 2017;10(3):491–502.
7. Castillejo N, Martínez-Zamora L, Artés-Hernández F. Periodical UV-B radiation hormesis in biosynthesis of kale sprouts nutraceuticals. *Plant Physiol Biochem*. 2021;165:274–85.
8. Falcone Ferreyra ML, Rius SP, Casati P. Flavonoids: Biosynthesis, biological functions, and biotechnological applications. *Front Plant Sci*. 2012;3(222):1–15.