

Effect of application of elicitors on the yield and quality of tomato

V. Hernández, P. Hellín, J. Fenoll, M.P. Flores

Equipo de Calidad Alimentaria. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA). Murcia, España. E-mail: virginia.hernandez5@carm.es

Resumen

En este trabajo se estudia el efecto de metil jasmonato (MeJA) y ácido salicílico (AS) sobre el rendimiento y contenido en compuestos bioactivos en tomate cultivado bajo invernadero. Se aplicaron cinco tratamientos: 100 μM y 1000 μM MeJA, 50 μM y 200 μM AS y un control, sobre los frutos de los racimos 2 y 7. Los tratamientos con MeJA aumentaron el número de frutos. Sin embargo, en el tratamiento con 100 μM , el peso de los frutos disminuyó respecto al control. Los tratamientos con AS aumentaron la producción total debido a un aumento del número de frutos. En los tratamientos con MeJA no se observaron diferencias significativas en el contenido de carotenoides, pero sí una disminución de los ácidos hidroxycinnámicos (100 μM y 1000 μM MeJA) y un aumento de las flavanonas (100 μM MeJA). Los tratamientos con AS aumentaron la concentración de licopeno y flavanonas en frutos tratados con la dosis más baja (50 μM). Los resultados muestran el potencial de MeJA y AS para aumentar el rendimiento de tomate sin disminuir la concentración de la mayoría de los compuestos bioactivos analizados, e incluso, en el caso de AS, aumentando el contenido de determinados metabolitos de interés.

Palabras clave: fitohormonas, estrés abiótico, bioactivos, *Solanum lycopersicum*.

Abstract

This work studies the effect of methyl jasmonate (MeJA) and salicylic acid (SA) on total fruit yield and the content in bioactive compounds, in tomatoes grown under greenhouse. Five treatments were applied: 100 μM and 1000 μM MeJA, 50 μM and 200 μM SA and a control, all applied over the fruits of the trusses 2 and 7. MeJA treatments increased the number of fruits. However, fruit mean weight decreased in the treatment with 100 μM MeJA with regard to the control. SA treatments increased yield due to an increase of the fruit number. Treatments with MeJA did not affect carotenoids content, but a decrease in hydroxycinnamic acids (100 μM y 1000 μM MeJA) and an increase in flavanones (100 μM MeJA) were observed. SA treatments increased the concentration of lycopene and flavanones in fruits treated with the lowest dose (50 μM). The results show the potential of MeJA and SA to enhance tomato yield without decreasing the concentration of the most of the analyzed bioactive compounds and even in the case of SA, increasing the content of certain metabolites of interest.

Keywords: phytohormones, abiotic stress, bioactives, *Solanum lycopersicum*

1. Introducción

Los bioestimulantes vegetales son moléculas que pueden mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos en diversas condiciones de crecimiento y manejo. En concreto, metil jasmonato (MeJA) y ácido salicílico (AS) son compuestos que actúan como moléculas señalizadores en multitud de rutas metabólicas, involucradas principalmente en la respuesta de la planta ante diferentes tipos de estrés [1]. Aunque la principal aplicación de MeJA y AS ha sido la de inducir resistencias a patógenos en cultivos hortícolas, existen evidencias de que también son capaces de mejorar el desarrollo de la planta, el rendimiento de los cultivos y la calidad de los frutos, aumentando así su resistencia ante condiciones medioambientales adversas, como es el estrés

por alta temperatura [2]. Sin embargo, existe escasa información sobre su efecto sobre la productividad y composición final de los frutos. En este trabajo se estudia el efecto de MeJA y AS, sobre la producción y contenido de compuestos bioactivos de interés (compuestos fenólicos y principales carotenoides) en tomate cultivados bajo invernadero, en condiciones de alta temperatura.

2. Materiales y Métodos

Las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Boludo) se cultivaron bajo invernadero durante el periodo comprendido entre enero y julio. La temperatura máxima alcanzada durante el periodo de recolección (mayo-julio) fue de 42 $^{\circ}\text{C}$. Se aplicaron un total de cinco tratamientos:

100 μM y 1000 μM MeJA, 50 μM y 200 μM AS y un control, al que se le aplicó el mismo agente mojante utilizado en los tratamientos (etanol 0.2 % v/v). Cada uno de los tratamientos se aplicó tres veces consecutivas sobre los frutos del 2º y 7º racimos, 4, 7 y 15 días antes de ser recolectados. Se estableció un diseño experimental de bloques al azar, constituido por dos bloques por tratamiento y tres repeticiones por bloque, cada una constituida por tres plantas. Para la determinación del rendimiento de la planta, se recolectaron la totalidad de los frutos. Para el análisis de los compuestos bioactivos, se muestrearon frutos procedentes de los racimos 2 y 7 (por separado), seleccionando frutos totalmente rojos, no sobremaduros, exentos de defectos. Los carotenoides se extrajeron según el método descrito por Bohm [3]. La separación y cuantificación se realizó según la metodología descrita por Hernández et al. [4]. El extracto obtenido se analizó en un cromatógrafo líquido Agilent 1200 (Waldbronn, Alemania) equipado con un detector diodos array (DAD). Los compuestos fenólicos se extrajeron según el método descrito por Vallverdú-Queralt et al. [5]. El extracto obtenido se analizó en un cromatógrafo líquido Agilent 1200 (Waldbronn, Alemania) acoplado a detector espectrómetro de masas triple cuadrupolo (HPLC-MS/MS). Los resultados se analizaron estadísticamente mediante el análisis de la varianza (ANOVA), utilizando el programa estadístico SPSS 21.

3. Resultados y Discusión

Los tratamientos con MeJA aumentaron el número total de frutos (Tabla 1) probablemente debido a un efecto positivo de MeJA sobre la floración en tomate [6]. Sin embargo, en el tratamiento con la dosis más baja (100 μM MeJA), el peso medio de los frutos disminuyó significativamente, mientras que en el tratamiento con la dosis más alta (1000 μM MeJA) no se observaron diferencias respecto al control. Como resultado, solo se observó un ligero aumento de la producción total en las plantas tratadas con la mayor dosis de MeJA. Estos resultados sugieren que, a pesar del efecto estimulador del tratamiento 100 MeJA sobre el número de frutos, el peso de los mismos puede disminuir para compensar una posible disminución de la proporción fuente/sumidero [7]. Los tratamientos con AS aumentaron la producción total, debido a un aumento del número de frutos (Tabla 1). Al igual que en los tratamientos con MeJA, no se observaron diferencias respecto al control en el peso medio

de los frutos tratados con la dosis más alta, aunque si una disminución, en este caso no significativa, en los frutos tratados con la menor dosis.

Los tratamientos con MeJA no afectaron a la concentración de β -caroteno y licopeno, independientemente del racimo estudiado (Tabla 2). Respecto a los tratamientos con AS, la aplicación de una concentración de 50 μM dio lugar a un aumento del contenido de licopeno en ambos racimos. Por otro lado, se observó una disminución de la concentración de carotenoides en el racimo 7 respecto al 2 en los tratamientos con MeJA y SA, atribuible a una disminución de la relación fuente/sumidero [7] y en el caso de licopeno, al aumento de temperatura a lo largo del ciclo de cultivo [8].

En la bibliografía existen numerosos trabajos que describen un aumento de la concentración de compuestos fenólicos en hortalizas, como resultado de la aplicación exógena de jasmonatos y ácido salicílico [9,10]. Sin embargo, en tomates tratados con MeJA y AS se observó una disminución significativa de la concentración de ácidos hidroxicinámicos totales (calculada como la suma de ácido cafeico-*O*-hexosido, ácido felúrico-*O*-hexosido, ácido clorogénico, ácido cafeico y ácido dicafeoilquinico) y de la de flavonoles totales (calculada como la suma de rutin, rutin-*O*-hexosido, rutin-*O*-pentosido y quercetín), independientemente de la dosis aplicada. Por el contrario, en los tratamientos con 100 μM MeJA y 50 μM AS se observó un aumento significativo de la concentración de flavanonas (calculada como suma de isómeros de naringenín-*O*-hexosido). Otros autores han descrito un efecto estimulador de MeJA y AS sobre la ruta de los fenilpropanoides que conduce a la acumulación de compuestos fenólicos requeridos para reforzar la pared celular y estimular la biosíntesis de AS, como mecanismo de defensa de la planta contra el estrés [11]. En nuestro estudio se evidencia la influencia de la dosis utilizada sobre la acumulación de los diferentes grupos de compuestos fenólicos y por lo tanto, la necesidad de más estudios con el fin de optimizar el manejo de la aplicación de estos elicitores. Al contrario de lo observado en carotenoides, la concentración de compuestos fenólicos fue mayor en el racimo 7 respecto al 2.

Las temperaturas máximas alcanzadas durante el desarrollo y maduración de los frutos del racimo 7 fueron aproximadamente 7 °C superiores a las

alcanzadas durante el desarrollo del racimo 2. Por tanto, la mayor concentración de compuestos fenólicos observada en frutos del racimo 7 puede ser atribuida a un mecanismo de defensa de la planta ante situaciones de estrés abiótico, producido por las altas temperaturas [12].

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran la utilidad del ácido salicílico para aumentar el rendimiento de tomate bajo condiciones de alta temperatura, favoreciendo la producción de frutos sin disminuir la calidad. El efecto de metil jasmonato sobre la producción y calidad fue menor y solo se observó un aumento del número de frutos.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con fondos FEDER (proyecto PO07-042).

6. Referencias bibliográficas

[1] Pastori G.M., Foyer C. H. 2002. Common components, networks, and pathways of cross-tolerance to stress. The central role of “redox” and abscisic acid-mediated control. *Plant Physiol.* 129: 460-468.

[2] Cronjé M.J., Bornman L. 1999. Salicylic acid influences Hsp70/Hsc70 expression in *Lycopersicon esculentum*: dose- and time-dependent induction or potentiation. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 265: 422-427.

[3] Bohm V. 2001. Use of column temperature to optimize carotenoid isomer separation by C-30 high performance liquid chromatography. *J. Sep. Sci.* 24: 955-959.

[4] Hernández V., Hellín P., Fenoll J., Flores P. 2015. Increased temperature produces changes in the bioactive composition of tomato, depending on its developmental stage. *J. Agric. Food Chem.* 63: 2378-2382.

[5] Vallverdú-Queralt A., Jauregui O., Medina-Rejon A., Andres-Lacueva C., Lamuela-Raventos R.M. 2010. Improved characterization of tomato polyphenols using liquid chromatography/electrospray ionization linear ion trap quadrupole Orbitrap mass spectrometry and liquid chromatography/electrospray

ionization tandem mass spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 24: 2986-2992.

[6] Wasternack C., Stenzel I., Hause B., Hause G., Kutter C., Maucher H., Neumerkel J., Feussner I., Miersch O. 2006. The wound response in tomato role of jasmonic acid. *J. Plant Physiol.* 163: 297–306.

[7] Bertin N., Buret M., Gary C. 2001. Insights into the formation of tomato quality during fruit development. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 76: 786-792.

[8] Gautier H., Diakou-Verdin V., Benard C. 2008. How does tomato quality (sugar, acid, and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature, and irradiance. *J. Agric. Food Chem.* 56: 1241-1250.

[9] Kim H.J., Fonseca J.M., Choi J.H., Kubota C. 2007. Effect of methyl jasmonate on phenolic compounds and carotenoids of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.). *J. Agric. Food Chem.* 55: 10366–10372.

[10] Pérez-Balibrea S., Moreno D., Garcia-Viguera C. 2011. Improving the phytochemical composition of broccoli sprouts by elicitation. *Food Chem.* 129: 35-44.

[11] Zhao J., Davis L.C., Verpoorte R. 2005. Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. *Biotechnol Adv.* 23: 283–333.

[12] Wittstock U., Gershenzon J. 2002. Constitutive plant toxins and their role in defense against herbivores and pathogens. *Curr. Opin. Plant. Biol.* 5: 300–307.

Tabla 1. Producción (kg), número y peso medio de fruto (g) en plantas tratadas con metil jasmonato y ácido salicílico.

| | Dosis (µM) | Producción (kg) | Nº frutos | Peso (g) |
|------|------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|
| MeJA | 0 | 3,98 | 44,7 ^a | 46,7 ^b |
| | 100 | 4,02 | 55,5 ^b | 37,7 ^a |
| | 1000 | 4,79 ns | 53,3 ^b ** | 47,6 ^b * |
| AS | 0 | 3,98 ^a | 44,67 ^a | 46,74 |
| | 50 | 4,73 ^b | 55,83 ^b | 43,12 |
| | 200 | 4,78 ^b ** | 52,17 ^b ** | 47,14 ns |

Tabla 2. Efecto de la dosis y del racimo sobre la concentración de los carotenoides, all-*trans* β caroteno (all tr β), all-*trans* licopeno (all tr lic), ácidos hidroxicinámicos totales, flavonoles totales y flavanonas totales ($\mu\text{g g}^{-1}\text{PF}$) en frutos de tomate tratados con metil jasmonato.

| | | all. tr. β | all tr. lic | ac. hidroxi. | flavonoles | flavanonas |
|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------------|------------|------------------|
| Dosis | 0 (control) | 8,8 | 17,7 | 29,8 ^b | 12,1 | 2,9 ^a |
| | 100 | 8,9 | 21,0 | 21,7 ^a | 10,9 | 3,7 ^b |
| | 1000 | 8,8 | 21,0 | 21,6 ^a | 8,1 | 2,8 ^a |
| | | n.s. | n.s. | ** | n.s. | * |
| Racimo | 2º | 9,4 | 21,0 | 21,4 | 6,6 | 1,7 |
| | 7º | 8,3 | 18,5 | 27,3 | 14,1 | 4,6 |
| | | * | * | * | *** | *** |
| Interacción | | | | | | |
| Racimo | Dosis | | | | | |
| 2º | 0 (control) | 9,4 | 18,1 | 25,4 | 7,7 | 1,3 |
| | 100 | 10,0 | 23,1 | 16,8 | 7,0 | 2,1 |
| | 1000 | 8,7 | 22,0 | 21,9 | 5,2 | 1,7 |
| 7º | 0 (control) | 8,2 | 17,2 | 34,2 | 16,5 | 4,5 |
| | 100 | 7,3 | 18,1 | 26,5 | 14,9 | 5,3 |
| | 1000 | 8,9 | 20,0 | 21,2 | 11,0 | 3,9 |
| | | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |

Tabla 3. Efecto de la dosis y del racimo sobre la concentración de los carotenoides, all-*trans* β caroteno (all tr β), all-*trans* licopeno (all tr lic), ácidos hidroxicinámicos totales, flavonoles totales y flavanonas totales ($\mu\text{g g}^{-1}\text{PF}$) en frutos de tomate tratados con ácido salicílico.

| | | all. tr. β | all tr. lic | ac. hidroxi. | flavonoles | flavanonas |
|-------------|-------------|------------------|-------------------|-------------------|------------|------------------|
| Dosis | 0 (control) | 8,8 | 17,6 ^a | 29,8 ^b | 12,1 | 2,9 ^a |
| | 50 | 8,0 | 22,3 ^b | 24,0 ^a | 10,9 | 3,4 ^b |
| | 200 | 7,9 | 15,9 ^a | 22,2 ^a | 8,9 | 2,7 ^a |
| | | n.s. | * | ** | n.s. | * |
| Racimo | 2º | 8,4 | 20,3 | 24,5 | 7,1 | 1,6 |
| | 7º | 8,2 | 16,7 | 26,2 | 14,2 | 4,4 |
| | | n.s. | * | n.s. | *** | *** |
| Interacción | | | | | | |
| Racimo | Dosis | | | | | |
| 2º | 0 (control) | 9,4 | 18,0 | 25,4 ^a | 7,7 | 1,3 |
| | 50 | 8,0 | 24,0 | 25,9 ^a | 8,1 | 2,0 |
| | 200 | 7,8 | 18,7 | 22,2 ^a | 5,6 | 1,6 |
| 7º | 0 (control) | 8,2 | 17,2 | 34,2 ^b | 16,5 | 4,5 |
| | 50 | 8,0 | 20,5 | 22,2 ^a | 13,7 | 4,9 |
| | 200 | 8,0 | 12,2 | 22,2 ^a | 12,3 | 3,9 |
| | | n.s. | n.s. | ** | n.s. | n.s. |