

Ca, B and Si application determining fruit physical quality in relation to aquaporins in *Prunus* species

La aplicación de Ca, B y Si determinan la calidad física de la fruta en relación con las acuaporinas en especies de *Prunus*

F.J. Quirante^{1,2*}, M.C. Martínez-Ballesta²

¹Grupo Aquaporinas, Departamento de Nutrición Vegetal, CEBAS-CSIC. Campus Universitario de Espinardo, 25, 30100 Espinardo, Murcia. Spain.

²Departamento de Ingeniería Agronómica, ETSIA, Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 48, 30203 Cartagena. Murcia. Spain.

*fquirante@cebas.csic.es

Abstract

The fruits of the genus *Prunus* sp. follow a climacteric pattern of ripening, producing a quick deterioration of the fruit quality and causing the shortening of their shelf life. Firmness is considered one of the most important features both, commercially and in the fruit management. It is one of the quality parameters most affected by this ripening decay. Some minerals such as Ca, B and Si have been shown to be involved in the structure and function of the cell wall, favouring the maintenance of firmness. On the other hand, Ca, applied in spray, has been shown to be able to regulate the activity of aquaporins under stressful situations for the plant. In this work, the application of combined treatments (Ca+B and Ca+Si) was carried out in four *Prunus* species, determining the relation between their firmness and the activation of nutrient transport through the aquaporins. Both treatments were effective in activating aquaporins, firmness showed to have a more important genetic component.

Keywords: electrolyte leakage; foliar nutrition; fruit firmness; mineral content.

Resumen

Los frutos del género *Prunus* sp. siguen un patrón climatérico de maduración, produciendo un rápido deterioro de la calidad del fruto y causando el acortamiento de la vida útil del producto. Uno de los parámetros de calidad que más afectados se ve por este decaimiento es la firmeza, la cual está considerada como uno de los más importantes tanto a nivel mercantil como de manejo de los frutos. Algunos minerales como Ca, B y Si han demostrado ser claves para la estructura y función de la pared celular, favoreciendo el mantenimiento de la firmeza. Por otro lado, el Ca, aplicado en spray, ha demostrado ser capaz de regular la actividad de las acuaporinas en situaciones de estrés para la planta. En este trabajo se realizaron aplicaciones de tratamientos combinados (Ca+B y Ca+Si) en cuatro especies de *Prunus*, determinando la relación de su firmeza con la activación del transporte y mantenimiento de nutrientes en los frutos a través de las acuaporinas. Ambos tratamientos resultaron efectivos en la activación de acuaporinas, la firmeza mostró tener un componente genético más importante.

Palabras clave: contenido mineral; firmeza; fuga electrolítica; nutrición foliar.

1. INTRODUCCIÓN

El género *Prunus* sp. engloba agronómicamente varias variedades de frutales de hueso como: almendros (*Prunus dulcis*), albaricoques (*Prunus armeniaca*), cerezas (*Prunus avium* L.),

nectarinas y melocotones (*Prunus persica* L.), paraguayos (*Prunus persica* L. var. *platycarpa*) y ciruelas (*Prunus domestica*). La maduración de estos conlleva un rápido decaimiento de sus propiedades físicas, bioquímicas, fisiológicas y organolépticas. Entre los numerosos parámetros de calidad que se encuentran afectados por este proceso encontramos la firmeza, que está considerada como uno de los principales atributos de calidad (1,2).

El turgor celular es uno de los principales factores que afectan a la firmeza, ya que se encuentra íntimamente relacionada con el transporte celular de agua. Este transporte se produce a través de proteínas que funcionan como canales de agua, las acuaporinas (3). Además, estas proteínas son capaces de transportar otros solutos, entre los que podemos encontrar, boro (B) y silicio (Si) en forma de ácido bórico y silícico (4-6). Tanto B como Si son vitales en la estructura y función de la pared celular (7,8), mientras que el Ca, ha mostrado ser importante para la firmeza de la cereza (9,10). Además, un aporte extra de Ca en situaciones de estrés ha demostrado ser efectivo para disminuir los daños del estrés a través de la regulación de la actividad de las acuaporinas (11).

El principal objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de diferentes tratamientos minerales combinados de Ca, B y Si, (Ca+B y Ca+Si) sobre la firmeza de los frutos de albaricoque, cereza, paraguayo y nectarina, determinando la relación de este parámetro con la activación del transporte y mantenimiento de nutrientes en los frutos a través de las acuaporinas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó sobre árboles de albaricoque, cereza, paraguayo, y nectarinas. El diseño experimental consistió en un bloque aleatorio, con 3 sub-bloques. Cada sub-bloque consistía en dos filas de 10 árboles. Los seis árboles centrales de la segunda fila fueron utilizados para, posteriormente, analizar sus frutos. Los tratamientos se aplicaron 3 veces durante el periodo de fructificación. La cosecha fue en el momento comercial. Cinco frutos por árbol (24 por bloque) se recolectaron para su análisis y procesamiento. Las réplicas biológicas se dividieron en 3 réplicas técnicas equitativamente.

2.1 Medición de firmeza

La firmeza se determinó de manera no destructiva, utilizando un penetrómetro digital superficial y realizando dos mediciones por fruto, cada una de ellas se realizó en caras opuestas del fruto.

2.2 Transporte mineral por acuaporinas (fuga de electrolitos)

Para determinar el transporte realizado por estas proteínas se sumergieron cubos (de 5 mm) de fruta, en 35 mL de agua destilada. Se tomaron dos muestras de 5 mL de extracto tras 30 min de incubación, a temperatura ambiente y otra después de 30 min con 10 µL de HgCl₂ 0,5 mM agitando en vortex cada 10 min, para bloquear las acuaporinas, manteniendo la mitad de los tubos como control. La composición de iones en los extractos se analizó por espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inducido (ICP-MS). La diferencia de concentración entre las dos muestras (sin Hg y con Hg) determinará la actividad de las acuaporinas y su implicación en la fuga de electrolitos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La firmeza de las cerezas aumentó de forma significativa con ambos tratamientos, elevando su valor a un 30% frente al 17% observado en el control (Fig. 1). En albaricoques, el tratamiento más eficaz fue el Ca+B, detectando en él valores de firmeza alrededor de un 10% mayor que el control. No obstante, existen resultados contradictorios ya que el uso de sprays únicamente de Ca en cereza incrementó la firmeza (12). Ni en nectarinas, ni en paraguayos se observó influencia del tratamiento aplicado, dato que contrasta con lo observado en melocotón tras la aplicación foliar de Ca+Mg+Ti (13).

Hasta la fecha no se han realizado estudios de la influencia de la aplicación de estas formulaciones en spray sobre el transporte de nutrientes a través de las acuaporinas. Para ello, se usó Hg, un inhibidor de la actividad de las acuaporinas. Nuestros resultados (Fig 2) indican que Ca+B y Ca+Si mantuvieron una fuga menor de nutrientes en comparación con los frutos control. Estos resultados podrían indicar que, en estos frutos, las acuaporinas son activas en el transporte y mantenimiento de nutrientes en el mesocarpio, lo cual estaría respaldado por las deficiencias en el transporte de B y Si observadas en otros vegetales (14,15)

4. CONCLUSIONES

1. La firmeza se ve afectada por los tratamientos las características varietales.
2. La aplicación de Ca+B, aumentó la firmeza y la activación de acuaporinas, permitiendo un mayor mantenimiento de electrolitos, en cereza y albaricoque.
3. Los tratamientos combinados de Ca+B y Ca+Si, favorecen una mayor participación en la adquisición y mantenimiento de nutrientes por parte de las acuaporinas en estas especies.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Fénix Fresh su implicación en el proyecto y envío de frutos para su análisis.

6. REFERENCIAS

1. Valero C, Crisosto CH, Slaughter D. Relationship between nondestructive firmness measurements and commercially important ripening fruit stages for peaches, nectarines and plums. *Postharvest Biol Technol.* 2007;44(3):248–53.
2. García-Gómez BE, Salazar JA, Nicolás-Almansa M, Razi M, Rubio M, Ruiz D, et al. Molecular bases of fruit quality in prunus species: An integrated genomic, transcriptomic, and metabolic review with a breeding perspective. *Int J Mol Sci.* 2021;22(1):1–38.
3. Maurel C, Boursiac Y, Luu DT, Santoni V, Shahzad Z, Verdoucq L. Aquaporins in plants. *Physiol Rev.* 2015;95(4):1321–58.
4. Flexas J, Ribas-Carbó M, Hanson DT, Bota J, Otto B, Cifre J, et al. Tobacco aquaporin NtAQP1 is involved in mesophyll conductance to CO₂ in vivo. *Plant J.* 2006 Nov;48(3):427–39.
5. Bienert GP, Møller ALB, Kristiansen KA, Schulz A, Møller IM, Schjoerring JK, et al. Specific aquaporins facilitate the diffusion of hydrogen peroxide across membranes. *J Biol Chem.* 2007 Jan;282(2):1183–92.
6. Mitani N, Yamaji N, Ma JF. Identification of maize silicon influx transporters. *Plant Cell Physiol.* 2009;50(1):5–12.
7. Sheng H, Chen S. Plant silicon-cell wall complexes: Identification, model of covalent bond formation and biofunction. *Plant Physiol Biochem* [Internet]. 2020 March;155:13–19. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.020>
8. Zdunek A, Pieczywek PM, Cybulska J. The primary, secondary, and structures of higher levels of pectin polysaccharides. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2021;20(1):1101–17.
9. Correia S, Queirós F, Ribeiro C, Vilela A, Aires A, Barros AI, et al. Effects of calcium and growth regulators on sweet cherry (*Prunus avium* L.) quality and sensory attributes at harvest. *Sci Hortic (Amsterdam).* 2019;248:231–40.
10. Dong Y, Zhi H, Wang Y. Cooperative effects of pre-harvest calcium and gibberellic acid on tissue calcium content, quality attributes, and in relation to postharvest disorders of late-maturing sweet cherry. *Sci Hortic (Amsterdam)* [Internet]. 2019;246:123–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.067>
11. Martínez-Ballesta MC, Cabañero F, Olmos E, Periago PM, Maurel C, Carvajal M. Two different effects of calcium on aquaporins in salinity-stressed pepper plants. *Planta.* 2008;228(1):15–25.
12. Michailidis M, Karagiannis E, Tanou G, Karamanoli K, Lazaridou A, Matsi T, et al. Metabolomic and physico-chemical approach unravel dynamic regulation of calcium in sweet cherry fruit physiology. *Plant Physiol Biochem* [Internet]. 2017;116:68–79. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.05.005>
13. Serrano M, Martínez-Romero D, Castillo S, Guillén F, Valero D. Effect of preharvest sprays containing calcium, magnesium and titanium on the quality of peaches and nectarines at harvest and during postharvest storage. *J*

Sci Food Agric. 2004;84(11):1270–6.

14. Yoshinari A, Takano J. Insights into the mechanisms underlying boron homeostasis in plants. *Front Plant Sci*. 2017;8:1–8.
15. Ma JF, Yamaji N. A cooperative system of silicon transport in plants. *Trends Plant Sci* [Internet]. 2015;20(7):435–42. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2015.04.007>

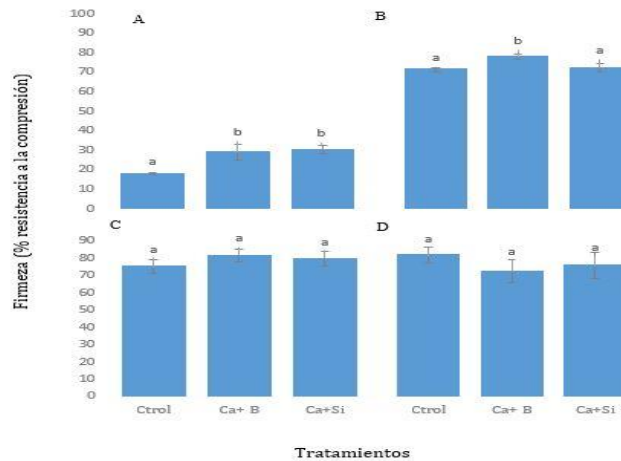


Figura 1. Firmeza (% resistencia a la compresión) en (A) cereza, (B) albaricoque (C) paraguayo y (D) nectarina después de la aplicación de fertilización foliar: Control (Ctrl), Ca + B; Ca + Si. (n=24 ±S.E). Las diferentes letras minúsculas indican diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05).

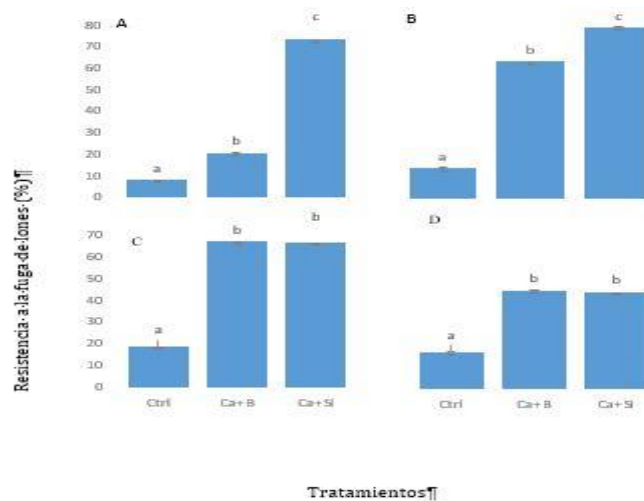


Figura 2. Resistencia a la pérdida de electrolitos en (A) cereza, (B) albaricoque (C) paraguayo y (D) nectarina tras la aplicación foliar de: Control (Ctrl), Ca + B; Ca + Si. (n=24 ±S.E). Las diferentes letras minúsculas indican diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05).