

Análisis de la distribución de la astringencia en caqui 'rojo brillante' usando imagen hiperespectral

S. Munera, C.S. Cubero y J. Blasco* (Centro de Agroingeniería. *blasco_josiva@gva.es).

C. Besada, R. Gil y A. Salvador (Centro de Postcosecha, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Valencia. España).

F. Albert y N. Aleixos (Departamento de Ingeniería Gráfica, Universitat Politècnica de València, Valencia. España).

La eliminación de la astringencia usando tratamientos con altas concentraciones de CO₂ es el método post-cosecha más utilizado antes de comercializar variedades como 'Rojo Brillante'. El objetivo de este trabajo fue evaluar si el proceso de insolubilización de taninos que ocurre durante el tratamiento de desastringentado es uniforme alrededor de todo el fruto. Para este fin, caquis de la variedad astringente 'Rojo Brillante' fueron expuestos a tratamientos de CO₂ (95% de CO₂ a 20°C y 90% HR) durante: 0 h, 6 h, 12 h, 18 y 24 h. Después de cada tratamiento, las frutas se cortaron en mitades y se pusieron en contacto con papel de filtro empapado en una solución de FeCl₃ al 5%, obteniendo una impresión de color azul cuya cantidad e intensidad está relacionada con el contenido de taninos solubles y su distribución. Las imágenes hiperespectrales de los frutos intactos fueron capturadas previamente con el fin de predecir la distribución de los taninos solubles en la pulpa en cada caso. También fue analizado el contenido en taninos solubles y se evaluó la astringencia sensorialmente. Un modelo basado en mínimos cuadrados parciales (PLS) fue diseñado y aplicado a la fruta sometida a los tratamientos de desastringencia para la creación de mapas de distribución de los taninos solubles en el fruto. Con ello se logró diferenciar entre frutas en las que la eficacia del tratamiento fue completa (fruta no astringente) de aquella en la que los taninos solubles estaban presentes y detectados sensorialmente.

PALABRAS CLAVE: astringencia, taninos solubles, distribución, imagen hiperespectral.

INTRODUCCIÓN

La eliminación de la astringencia es un tratamiento post-cosecha que se requiere antes de la comercialización de variedades de caqui astringentes. Tradicionalmente, los cultivares astringentes se han consumido después de que la fruta haya sido sometida a un proceso de sobremaduración que va acompañado de una drástica pérdida de firmeza de la pulpa, lo que dificulta el manejo post-cosecha de los frutos. En la actualidad se han desarrollado tratamientos post-cosecha que permiten la eliminación de la astringencia preservando al mismo tiempo la firmeza de la pulpa. La técnica más utilizada se basa en la exposición de las frutas a altas concentraciones de CO₂ (95% - 98%) durante 24 h (Salvador y col., 2007). Este método promueve la respiración anaeróbica en el fruto, dando lugar a una acumulación de acetaldehído, que reacciona con los taninos solubles, responsables de la astringencia. De esta forma los taninos se insolubilizan y la astringencia ya no se detecta (Matsuo y col., 1991). Después de la aplicación de este tratamiento es necesario evaluar su eficacia, ya que la presencia de astringencia residual en la fruta puede afectar negativamente a la futura intención de compra de los consumidores. La eficacia del tratamiento se puede evaluar mediante la determinación analítica del contenido de taninos solubles presentes en la pulpa mediante el método de Folin-Denis (Taira, 1995), sin embargo este método no es viable a nivel comercial. Uno de los métodos habitualmente utilizados para determinar el nivel de taninos en las centrales de manejo es el basado en la reacción de los taninos solubles con FeCl₃, lo que conduce a una tinción de azul y según la intensidad de la tinción observada así será su nivel de taninos solubles. Aunque este método es más rápido y fácil que la determinación analítica, también es destructiva y subjetiva. En este contexto, una de las principales líneas en el área de la investigación en post-cosecha del caqui es el desarrollo de técnicas no destructivas que permitan evaluar el nivel de astringencia del fruto. Entre estas

técnicas podría destacar la imagen hiperespectral. Esta es una tecnología que integra la espectroscopía y la imagen convencional para obtener un espectro en todos los puntos del fruto y no solo en un punto como hace la sonda, lo que conlleva una inmensa cantidad de información espacial y espectral de un objeto al mismo tiempo. El espectro resultante para cada píxel actúa como una huella digital que puede ser utilizado para caracterizar la composición de dicho píxel en particular en la imagen, algo que no es posible con la espectroscopía convencional. La imagen hiperespectral en el rango visible e infrarrojo cercano (VIS-NIR) se ha aplicado como una herramienta para la inspección rápida y no destructiva de la calidad interna y externa de frutas como la banana (Rajkumar y col., 2012), pera (Li y col., 2016), uva (Baiano y col., 2012), arándano (Leiva-Valenzuela y col., 2013) o manzana (Baranowski y col., 2013), así como en el pimiento (Schmilovitch y col., 2014), tomate (Liu y col., 2015) o patata (Su y Sun, 2016).

Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar la utilidad de la imagen hiperespectral en el rango VIS-NIR para detectar la astringencia en caquis que han estado bajo tratamiento de desastringencia, a través del mapeado en la superficie de la fruta de manera no destructiva y novedosa.

Material y métodos

Caquis de la variedad astringente 'Rojo Brillante' se cosecharon en L'Alcudia (Valencia) en estado de madurez comercial a principios de noviembre. El índice de madurez utilizado para seleccionar los frutos fue la medición del color externo de la fruta (Salvador y col., 2007), siendo éste de $9,46 \pm 1,77$. Se seleccionaron un total de 50 frutos sin daños en la piel, con color homogéneo y fueron divididos en 5 lotes de 10 frutas cada uno. Con el fin de obtener diferentes niveles de astringencia, el tratamiento de desastringencia (95% de CO₂ a 20°C y 90% de HR) fue aplicado por periodos de 0 h, 6 h, 12 h, 18 h ó 24 h para cada uno de los lotes.

Las imágenes hiperespectrales de los frutos intactos se adquirieron 8 h después del tratamiento de CO₂. El sistema hiperespectral se compone de una cámara industrial acoplada a dos filtros sintonizables de cristal líquido (LCTF) capaces de adquirir imágenes entre 400 nm y 1100 nm. El sistema fue configurado para capturar imágenes de 1392 x 1040 píxeles con una resolución espacial de 0,14 mm/píxel y una resolución espectral de 10 nm. El sistema de iluminación consistió en 12 halógenos que iluminaron la escena indirectamente por medio de la reflexión difusa dentro de una cúpula de aluminio, donde se introdujeron manualmente las frutas enteras. Se utilizó un soporte telescópico para colocar la muestra a la misma altura en el interior de la cúpula (Figura 1).

El nivel de astringencia de cada fruta se determinó de tres maneras diferentes para lo cual, la fruta fue dividida en dos mitades:

1. La pulpa de una mitad se puso en contacto con papel de filtro de 10 x 10 cm empapado en una solución de FeCl₃ al 5%, obteniendo una impresión de color azul cuya cantidad e intensidad dio información sobre el contenido de taninos solubles y su distribución. Este

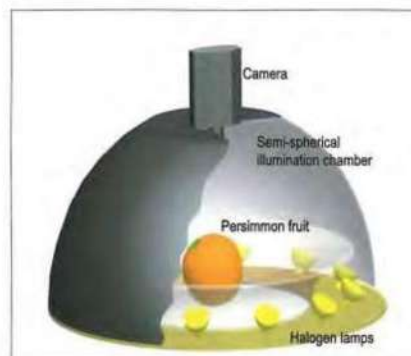


Figura 1. Sistema para la captura de imágenes hiperespectrales.

proceso es una técnica alternativa para el método de Folin-Denis utilizado en la industria para determinar el nivel de astringencia en lotes de frutas.

2. La segunda mitad fue dividida a su vez en dos partes, una se congeló a -20°C y posteriormente se utilizó para analizar el contenido de taninos solubles mediante el método de Folin-Denis (Taira, 1995).

La parte restante de la segunda mitad fue usada para evaluar el nivel de astringencia de cada fruta por un panel sensorial formado por 5 miembros del personal de IVIA familiarizados con el caqui y la astringencia. La astringencia se determinó usando una escala de 5 puntos a desde 1 - no astringente o ausencia de astringencia a 5 - intensamente astringente.

Resultados

Como se puede ver en la Figura 2, la evaluación de los taninos solubles por el método de FeCl₃ reveló que la distribución de los taninos solubles restantes dentro de la pulpa después de los tratamientos de CO₂ es irregular. Se observa una acumulación de taninos que queda remanente en la zona apical del

fruto. Este hecho sugiere que el modelo para la evaluación de la astringencia debe ser construido usando espectros de los píxeles de la superficie de la fruta donde se localizan las zonas más o menos astringentes, incluyendo así información espectral y espacial.

Para clasificar los caquis entre astringente y no astringente, fue usada la técnica de análisis multivariante basada en mínimos cuadrados parciales (Partial Least Squares - PLS). Para construir el modelo PLS se usaron 4 caquis del set total: 2 de ellos intensamente astringentes (0 h) y otros 2 no astringentes (24 h). La distribución de los taninos solubles en el área de la pulpa, visualizada en la reacción con FeCl₃ fue tomada en consideración para seleccionar un total de 122.744 píxeles de regiones correspondientes a zonas astringentes o nada astringentes de las imágenes hiperespectrales correspondientes (Figura 3). El modelo PLS fue calibrado usando el 67% de los píxeles seleccionados y el 33% restante para su validación. Para visualizar la distribución de la astringencia en la superficie de cada fruta, la implementación del modelo se basó en el procedimiento *plsprod* del software llamado Matlab (Matlab v. 2015a - TheMathWorks, Inc. Massachusetts, EEUU). Así los valores del modelo fueron usados para predecir si cada píxel correspondía a un píxel astringente o no astringente.

La Figura 4 muestra un ejemplo del mapa de distribución de la astringencia en caquis tratados en diferentes periodos (desde frutos no tratados e intensamente astringentes, hasta frutos tratados durante 24 h y con astringencia no detectada, incluyendo tratamientos intermedios). Se usó una escala de color para mostrar esta distribución, siendo los píxeles no astringentes representados por los tonos azules y los astringentes por los amarillos y rojos. Aunque el modelo no fue capaz de clasificar las frutas para diferenciar entre los niveles de

astringencia estudiados (0, 6h, 12, 18h y 24h), sí fue posible visualizar la distribución de la astringencia y separar efectivamente las frutas no astringentes del resto que todavía poseen astringencia residual detectada sensorialmente.

Conclusiones

Los resultados del presente estudio mostraron que la técnica de imagen hiperespectral en el rango VIS-NIR puede ser una herramienta potencial para visualizar la distribución de los taninos solubles con el objetivo de diferenciar frutas no astringentes de las completamente astringentes o con astringencia residual. Por lo tanto, esta técnica puede considerarse como un método no destructivo para evaluar la eficacia de los tratamientos de eliminación de la astringencia y garantizar la máxima calidad organoléptica.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria de España (INIA) a través de los proyectos RTA2012-00062-C04-01, RTA2012-00062-C04-03 y RTA2013-00043-C02 con el apoyo de los fondos europeos FEDER. Sandra Munera agradece al INIA la beca FPI-INIA n°43 (CPR2014-0082) parcialmente financiada con el apoyo de los fondos europeos FSE.

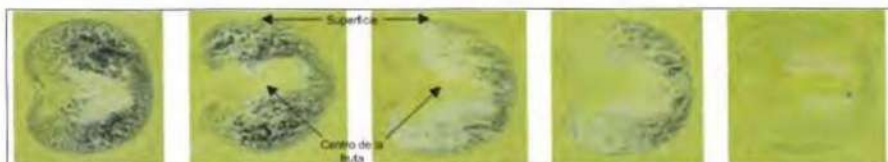


Figura 2. Distribución y evolución de la astringencia a través de la reacción con FeCl_3 tras los diferentes tratamientos con CO_2 . De izquierda a derecha: control (0h), 6 h, 12 h, 18 h y 24 h.



Figura 3. Selección de regiones de interés en la imagen hiperespectral para calibrar el modelo PLS teniendo en cuenta la distribución de taninos obtenida tras la reacción con FeCl_3 . A la izquierda fruta totalmente astringente (0h) y a la derecha fruta no astringente (24h).

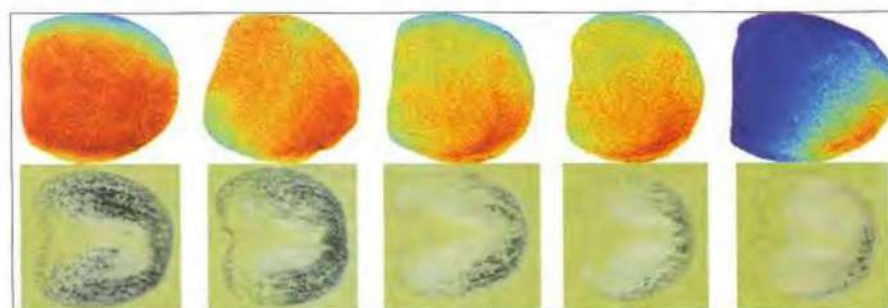


Figura 4. Mapas de la distribución de la astringencia (arriba) con su correspondiente impregnación con FeCl_3 (abajo) de frutos totalmente astringentes (0h), medio astringentes (6 h, 12 h y 18 h) y no astringentes (24 h) respectivamente de derecha a izquierda.

BIBLIOGRAFÍA

- Baiano, A., Terracone, C., Peri, G. & Romaniello, R. (2012). Application of hyperspectral imaging for prediction of physico-chemical and sensory characteristics of table grapes. *Computers and Electronics in Agriculture* 87, 142–151.
- Baranowski, P., Mazurek, W. & Pastuszka-Wóznik, J. (2013). Supervised classification of bruised apples with respect to the time after bruising on the basis of hyperspectral imaging data. *Postharvest Biology and Technology* 86, 249–258.
- Leiva-Valenzuela, G. A., Lu, R. & Aguilera, J. M. (2013). Prediction of firmness and soluble solids content of blueberries using hyperspectral reflectance imaging. *Journal of Food Engineering* 115, 91–98.
- Li, B., Hou, B., Zhang, D., Zhou, Y., Zhao, M., Hong, R. & Huang, Y. (2016). Pears characteristics (soluble solids content and firmness prediction, varieties) testing methods based on visible-near infrared hyperspectral imaging. *Optik* 127, 2624–2630.
- Liu, C., Liu, W., Chen, W., Yang, J. & Zheng, L. (2015). Feasibility in multispectral imaging for predicting the content of bioactive compounds in intact tomato fruit. *Food Chemistry* 173, 482–488.
- Matsuo, T., Ito, S. & Ben-Arie, R. (1991). A model experiment for elucidating the mechanism of astringency removal in persimmon fruit using respiration inhibitors. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 60, 437–442.
- Rajkumar, P., Wang, N., Elmasry, G., Raghavan, G. S. V. & Gariepy, Y. (2012). Studies on banana fruit quality and maturity stages using hyperspectral imaging. *Journal of Food Engineering* 108, 194–200.
- Salvador, A., Arnal, L., Besada, C., Larrea, V., Quiles, A. & Pérez-Munuera, I. (2007). Physiological and structural changes during ripening and deastringency treatment of persimmon cv. 'Rojo Brillante'. *Postharvest Biology and Technology* 46, 181–188.
- Schmilovitch, Z., Ignat, T., Alchanatis, V., Galker, J., Ostrovsky, V. & Felföldi, J. (2014). Hyperspectral imaging of intact bell peppers. *Biosystems Engineering* 117, 83–93.
- Su, W. H. & Sun, D. W. (2016). Potential of hyperspectral imaging for visual authentication of sliced organic potatoes from potato and sweet potato tubers and rapid grading of the tubers according to moisture proportion. *Computers and Electronics in Agriculture* 125, 113–124.
- Taira, S. (1995). Astringency in persimmon. In: Linskens, H.F., Jackson, J.F. *Fruit Analysis*. Springer, Hannover, Germany, pp. 97–110.