

FACTORES DETERMINANTES EN EL PROCESO DE MADURACIÓN Y SU RELACIÓN CON LOS DIFERENTES CAMBIOS EN FRUTAS Y HORTALIZAS

DETERMINING FACTORS IN THE MATURATION PROCESS AND ITS RELATIONSHIP WITH THE DIFFERENT CHANGES IN FRUITS AND VEGETABLES

	¹ Gabriela Elizabeth Campos Mera *	gabcampos@correo.ugr.es
	² Jessica Verónica Guamangallo Tandalla	jvguamangallo2011@gmail.com
	³ Edwin Ramiro Cevallos Carvajal	edwin.cevallos@utc.edu.ec
	⁴ Orley Alejandro Acosta Ordoñez	orley.acosta@esPOCH.edu.ec

¹ Universidad de Granada.

² Investigador independiente.

³ Universidad Técnica de Cotopaxi.

⁴ investigador independiente.

E-mail: * gabcampos@correo.ugr.es

RESUMEN

Maduración y cambios bioquímicos en la postcosecha son procesos críticos que afectan la calidad y vida útil de las frutas y verduras después de ser recolectadas. Durante la maduración, las frutas continúan su desarrollo metabólico, experimentando cambios fisiológicos y bioquímicos que influyen en su sabor, textura y apariencia. La presente investigación tiene como objetivo determinar los factores determinantes en el proceso de maduración y su relación con los diferentes cambios en frutas y hortalizas. Para la presente investigación se analizaron un sinnúmero de investigaciones que presentan los cambios más frecuentes en las frutas y hortalizas utilizando el método de investigación bibliográfica dando como resultado que la hormona vegetal que regula y acelera el proceso de maduración. El etileno es clave para la activación de enzimas que degradan almidones en azúcares, lo que resulta en un aumento del contenido de azúcar y la dulzura de la fruta. Además, los pigmentos como clorofila y carotenoides se degradan y sintetizan, dando lugar a cambios en el color de la fruta a medida que madura. Sin embargo, en la postcosecha, estos cambios bioquímicos pueden ser desfavorables si no se controlan adecuadamente. El exceso de etileno puede provocar una maduración desigual, ablandamiento excesivo y pérdida de calidad. Para mitigar estos efectos, se utilizan técnicas de manejo postcosecha, como el control de la atmósfera y la

temperatura, que retrasan la producción de etileno y alargan la vida útil del producto. En conclusión, la maduración y cambios bioquímicos en la postcosecha son procesos naturales que afectan la calidad de las frutas y verduras, pero que también pueden ser controlados y gestionados para extender su vida útil y preservar sus propiedades nutricionales y organolépticas. Un adecuado manejo postcosecha es esencial para garantizar que estos productos lleguen al consumidor en óptimas condiciones y maximizar su valor comercial y nutricional.

Palabras clave: Manejo postcosecha, maduración, cambios bioquímicos, frutas y verduras.

ABSTRACT:

Ripening and biochemical changes in the postharvest are critical processes that affect the quality and shelf life of fruits and vegetables after being harvested. During ripening, fruits continue their metabolic development, undergoing physiological and biochemical changes that influence their flavor, texture and appearance. The objective of this research is to determine the determining factors in the ripening process and its relationship with the different changes in fruits and vegetables. For the present investigation, countless investigations were analyzed that present the most

frequent changes in fruits and vegetables using the bibliographic research method, resulting in the plant hormone that regulates and accelerates the maturation process. Ethylene is key to the activation of enzymes that break down starches into sugars, resulting in an increase in the sugar content and sweetness of the fruit. Additionally, pigments such as chlorophyll and carotenoids are degraded and synthesized, leading to changes in the color of the fruit as it ripens. However, in the postharvest, these biochemical changes can be unfavorable if they are not adequately controlled. Excess ethylene can cause uneven ripening, excessive softening and loss of quality. To mitigate these effects, postharvest handling techniques are used, such as controlling the atmosphere and temperature, which delay the production of ethylene and extend the useful life of the product. In conclusion, ripening and biochemical changes in the postharvest are natural processes that affect the quality of fruits and vegetables, but they can also be controlled and managed to extend their useful life and preserve their nutritional and organoleptic properties. Proper postharvest handling is essential to guarantee that these products reach the consumer in optimal conditions and maximize their commercial and nutritional value.

Keywords: *Postharvest handling, ripening, biochemical changes, fruits and vegetables.*

1. INTRODUCCIÓN

La maduración y los cambios bioquímicos en la postcosecha son procesos cruciales que afectan la calidad y la vida útil de las frutas y verduras después de ser recolectadas. Estos fenómenos biológicos y fisiológicos, que ocurren de manera natural en los vegetales, juegan un papel fundamental en la transformación de la materia prima en productos listos para el consumo (1). Comprender los mecanismos y regulaciones de estos procesos es esencial para los agricultores, productores, distribuidores y consumidores, ya que influyen directamente en la calidad organoléptica, nutricional y comercial de los alimentos. En esta extensa introducción, exploraremos en detalle los conceptos clave de la maduración y los cambios bioquímicos en la postcosecha, analizando los principales factores que influyen en estos procesos y cómo pueden ser controlados y manipulados para maximizar la calidad y vida útil de los productos agrícolas (1). Adentrémonos en el fascinante mundo de la fisiología vegetal y los mecanismos bioquímicos que rigen la maduración y postcosecha de las frutas y verduras. Importancia de la maduración y la

postcosecha. La maduración es una fase crítica en el ciclo de vida de las frutas y verduras, durante la cual se desarrollan las características organolépticas que determinan su sabor, aroma, color y textura. Sin embargo, una vez cosechadas, las frutas y verduras continúan experimentando cambios bioquímicos en la postcosecha que pueden afectar tanto positiva como negativamente su calidad y valor nutricional (2). Estos cambios pueden ser beneficiosos, como la síntesis de antioxidantes y compuestos bioactivos que contribuyen a la salud humana, o pueden ser perjudiciales, como la descomposición de nutrientes y la producción de compuestos indeseables, como compuestos volátiles que afectan negativamente el sabor y aroma. Es esencial comprender estos cambios para aplicar técnicas adecuadas de manejo postcosecha que minimicen pérdidas nutricionales y mantengan la calidad del producto final. Control y manipulación de la maduración y postcosecha dada la importancia de la maduración y los cambios bioquímicos en la postcosecha, se han desarrollado diversas técnicas para controlar y manipular estos procesos en beneficio de la industria alimentaria (2). El control de la atmósfera, el uso de reguladores de maduración, la aplicación de tratamientos de frío y el uso de tecnologías de conservación son algunas de las estrategias utilizadas para prolongar la vida útil de las frutas y verduras, mejorar su calidad y satisfacer las demandas del mercado. Sin embargo, es fundamental asegurar que estas técnicas sean aplicadas de manera sostenible y segura, garantizando la seguridad alimentaria y la preservación de las propiedades nutricionales de los alimentos. Avances y perspectivas futuras a medida que la ciencia y la tecnología continúan avanzando, se abren nuevas oportunidades para mejorar la maduración y la postcosecha de frutas y verduras. La investigación continua en este campo y la aplicación de avances tecnológicos ofrecen nuevas oportunidades para mejorar la producción y comercialización de frutas y verduras, contribuyendo a una industria alimentaria más eficiente y respetuosa con el medio ambiente (2).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la presente investigación se analizaron un sinnúmero de investigaciones que presentan los cambios más frecuentes en las frutas y hortalizas utilizando el método de investigación bibliográfica, para estudiar la maduración, se puede realizar una evaluación visual de las frutas y verduras a lo largo del tiempo, registrando cambios en color, firmeza, aroma y sabor (3). También se pueden emplear técnicas de medición no destructivas, como la espectroscopía o el uso de etileno como

marcador de madurez (3). Se pueden realizar ensayos enzimáticos para evaluar la actividad de enzimas específicas involucradas en la maduración, como la polifenoloxidasas y la pectinmetiltransferasa, utilizando espectrofotometría para cuantificar los productos generados. Para evaluar los cambios bioquímicos en la postcosecha, se pueden medir los contenidos de nutrientes como vitamina C, carotenoides, antocianinas y polifenoles mediante técnicas de cromatografía u otros métodos específicos de análisis (1).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Maduración fisiológica de frutos.

La madurez fisiológica de los frutos es una etapa crucial en su desarrollo biológico, que se caracteriza por el máximo nivel de desarrollo y maduración interna alcanzado de forma natural, independientemente del momento en que sean cosechados (4). En este estado, los frutos han completado su crecimiento y han alcanzado su máxima calidad organoléptica y contenido nutricional (5). Durante la madurez fisiológica, los frutos desarrollan su sabor y aroma característicos. Los niveles de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos volátiles alcanzan su punto máximo, lo que contribuye a la dulzura y el sabor distintivo de la fruta. Asimismo, la maduración de los pigmentos y aceites esenciales contribuye a su aroma característico, lo que resulta en una experiencia sensorial más placentera para el consumidor. Los frutos en estado de madurez fisiológica tienen su mayor contenido de nutrientes, como vitaminas, minerales y compuestos antioxidantes (5). La ingesta de frutas en este punto óptimo puede proporcionar una mayor cantidad de nutrientes beneficiosos para la salud, como vitamina C, vitamina A, vitamina E, entre otros. Durante la madurez fisiológica, los frutos adquieren una textura suave y jugosa, lo que los hace más agradables al paladar. La firmeza y la textura de la pulpa son importantes para determinar la calidad de la fruta y su capacidad de satisfacer las preferencias del consumidor (6). Los frutos cosechados en estado de madurez fisiológica tienen una mayor capacidad de resistir daños mecánicos y enfermedades, lo que prolonga su vida útil y facilita su almacenamiento y transporte (6).



Figura 1. Fisiología del crecimiento y maduración de frutos [1]

Proceso de Maduración

El proceso de maduración en frutas es una serie de cambios fisiológicos, bioquímicos y estructurales que ocurren de forma natural en el fruto desde su desarrollo en la planta hasta alcanzar su estado óptimo para el consumo (7). Es un proceso regulado por una serie de factores internos y externos, que varía dependiendo de la especie y la variedad de la fruta. El proceso de maduración está influenciado por una variedad de factores internos y externos. Factores internos incluyen la genética del fruto y su composición química, mientras que factores externos incluyen la temperatura, humedad, luz, y la producción de hormonas vegetales como el etileno (8). El etileno es una hormona vegetal clave en el proceso de maduración, ya que actúa como un regulador del cambio de una etapa a otra, activando enzimas que descomponen almidones en azúcares y transforman pigmentos para cambiar el color del fruto. La comprensión del proceso de maduración en frutas es esencial para los agricultores, productores, distribuidores y consumidores, ya que influye directamente en la calidad, sabor y valor nutricional de los frutos (9). El manejo adecuado de la maduración, incluyendo la cosecha en el momento adecuado y el control de la atmósfera durante el almacenamiento y transporte, son aspectos fundamentales para garantizar que las frutas lleguen a los consumidores en su punto óptimo de consumo (10). Además, el estudio de la maduración también es importante en la investigación científica y la mejora genética de las especies frutales, buscando desarrollar variedades con características específicas de maduración y mejor adaptadas a las necesidades del mercado y la producción sostenible (10).

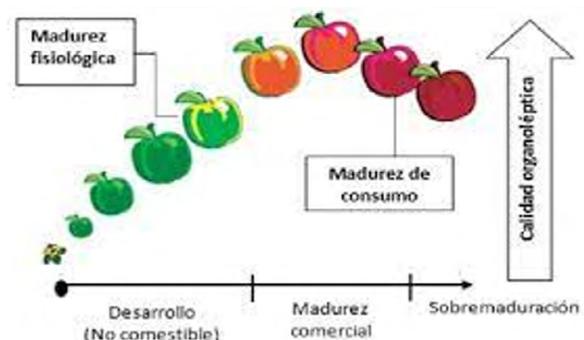


Figura 2. Bioestimulación de la Maduración de Cultivos Hortofrutícolas [2]

Cambios bioquímicos en las frutas.

Conversión de almidón en azúcares Durante la maduración, las frutas verdes contienen almidón que se convierte en azúcares, principalmente glucosa,

fructosa y sacarosa. Este cambio es responsable del aumento de la dulzura en las frutas maduras (11). Descomposición de ácidos orgánicos: Los ácidos orgánicos, como el ácido málico y el ácido cítrico, disminuyen en concentración a medida que la fruta madura (12). Esta reducción de la acidez contribuye a un sabor más suave y menos ácido. Durante la maduración, las frutas producen una variedad de compuestos aromáticos que contribuyen a su aroma característico (12). Estos compuestos son volátiles y se liberan al ambiente, lo que influye en la percepción olfativa de la fruta. La maduración también conlleva cambios en los pigmentos de las frutas. Por ejemplo, en muchas frutas, los pigmentos verdes de la clorofila se degradan, y los pigmentos amarillos, naranjas y rojos de los carotenoides y antocianinas se sintetizan o acumulan. Esto da lugar a cambios de color, como el cambio de verde a amarillo o rojo, a medida que la fruta madura (13).

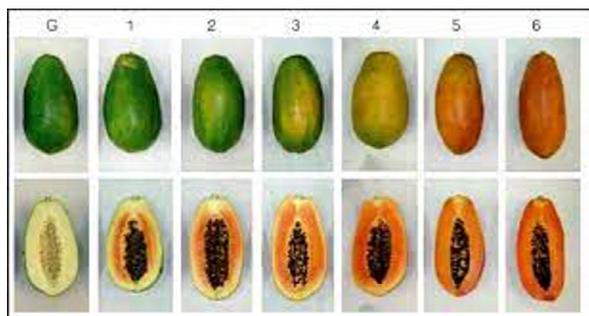


Figura 3. Cambios químicos en maduración de vegetales [3]

Cambios sensoriales en las frutas.

Los cambios bioquímicos en las frutas, como la conversión de almidón en azúcares y la reducción de la acidez, influyen directamente en su sabor. A medida que maduran, las frutas tienden a volverse más dulces y menos ácidas (13). Los compuestos aromáticos sintetizados durante la maduración contribuyen al aroma característico de las frutas maduras. Estos compuestos son liberados al ambiente y percibidos por el olfato al oler la fruta (14). La textura de las frutas también cambia durante la maduración. En general, las frutas verdes son más firmes y crujientes, mientras que las frutas maduras tienden a ser más suaves y jugosas. Los cambios en los pigmentos de las frutas durante la maduración afectan directamente su color. A medida que la fruta madura, puede cambiar de color, lo que indica su estado de madurez (14). Algunas frutas inmaduras pueden ser astringentes o amargas debido a la presencia de compuestos como taninos. Estos sabores astringentes y amargos tienden a disminuir a medida que la fruta madura (15).

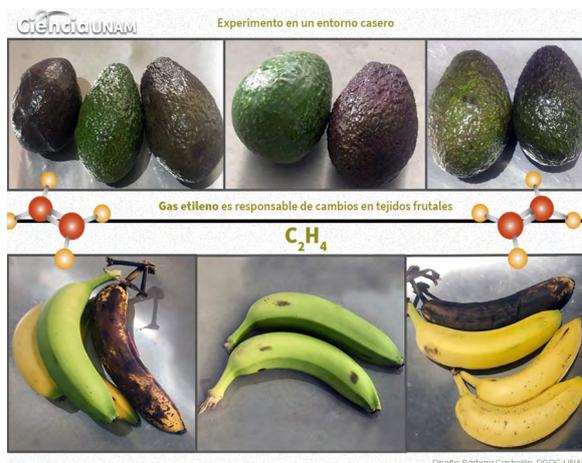


Figura 4. Cambios sensoriales en las frutas. [4]

Hormonas que ayudan en el crecimiento y desarrollo del futo.

Las auxinas son hormonas responsables de la elongación celular y el crecimiento de los tejidos vegetales. En el desarrollo de los frutos, las auxinas juegan un papel en la división celular y el crecimiento del fruto desde su inicio (15). También regulan la formación del ovario después de la polinización y estimulan la síntesis de etileno en la maduración del fruto (15). Las citoquininas promueven la división celular y retrasan el envejecimiento de los tejidos vegetales. En el desarrollo de los frutos, las citoquininas participan en la proliferación y expansión celular, lo que favorece el crecimiento del fruto y el desarrollo de estructuras como las semillas (16). El etileno es una hormona gaseosa que juega un papel central en la maduración de los frutos. Es producido en las frutas en cantidades significativas durante la madurez y es responsable de la transformación de los tejidos, la conversión de almidones en azúcares, la degradación de la pared celular y la producción de compuestos volátiles que contribuyen al aroma y sabor característicos de las frutas maduras (17).

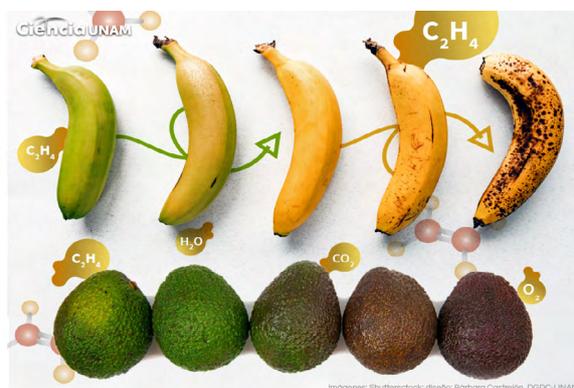


Figura 5. Intervención del etileno en las frutas. [5]

Etileno principal hormona que inicia y controla el proceso de maduración de los frutos.

Es importante destacar que el etileno no solo juega un papel en la maduración, sino que también regula otros procesos fisiológicos, como la caída de hojas, la floración y la senescencia de las plantas (18). Además, la respuesta de las frutas al etileno puede variar según la especie y la variedad, lo que afecta su sensibilidad y la velocidad de maduración (19). El conocimiento y la comprensión del papel del etileno en la maduración de los frutos son fundamentales para el manejo postcosecha y la comercialización de las frutas, ya que permite optimizar el tiempo de cosecha, el almacenamiento y la distribución para que lleguen al consumidor en su punto óptimo de consumo y calidad (20).



Figura 6. *Funciones del etileno.* [6]

Biosíntesis de etileno.

El proceso de biosíntesis de etileno involucra varias etapas y enzimas que catalizan las reacciones químicas necesarias para la formación del etileno a partir de precursores (21). A grandes rasgos, la biosíntesis de etileno Formación de S-adenosilmetionina (SAM) La primera etapa implica la conversión del aminoácido metionina en S-adenosilmetionina (SAM), que es un compuesto clave en la biosíntesis de etileno. Formación de 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) La SAM se convierte en 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) mediante la enzima ACC sintasa (22). Esta reacción es considerada el paso limitante de la biosíntesis de etileno. Conversión de ACC en etileno El ACC se convierte en etileno a través de la acción de la enzima ACC oxidasa, también conocida como etileno sintasa (23). Esta enzima cataliza la oxidación del ACC para producir etileno y CO₂. Regulación de la síntesis de etileno La biosíntesis de etileno está finamente regulada por una variedad de factores, incluyendo factores internos como la concentración de etileno y ACC, así como factores externos como la

luz, la temperatura y el estrés (24). La regulación de la producción de etileno permite a las plantas responder adecuadamente a las condiciones ambientales y coordinar sus respuestas fisiológicas (24). El conocimiento de la biosíntesis de etileno es esencial para comprender cómo esta hormona regula los diferentes procesos fisiológicos en las plantas y cómo su producción puede ser manipulada para mejorar el manejo postcosecha de frutas y hortalizas, así como para el desarrollo de técnicas agrícolas que optimicen el crecimiento y rendimiento de los cultivos (25).



Figura 7. *Figura 7. Detección del etileno.* [7]

4. CONCLUSIONES

Hay un notable progreso en el estudio de los mecanismos de la maduración de los frutos, pero un gran número de preguntas aún permanecen sin respuesta. El etileno juega un papel determinante en el proceso de maduración y su relación con los diferentes procesos que ocurren en esta etapa en los frutos climatéricos, pero aún quedaría por abordar la función de otras hormonas y la forma en la que actúan junto con el etileno. Asimismo, otro tema sobre el que se requiere más información es el mecanismo por el cual el etileno selecciona genes específicos de regulación de la maduración. Por otro lado, aunque en frutos no climatéricos hay información acerca de los mecanismos que regulan el proceso de maduración, existe interés en el tema y se realizan estudios que están generando información valiosa. Como resultado de esta búsqueda exhaustiva de información relacionada con los cambios bioquímicos en la maduración de los frutos durante su manejo postcosecha, se permite una actualización de lo que se hace en investigación sobre el tema, cuya información servirá para que los investigadores biotecnólogos y fitomejoradores generen conocimiento o propongan materiales vegetales sobresalientes con una técnica de manejo postcosecha más efectiva y aplicable, lo que impactaría en la economía de países cuya principal actividad es la agricultura.

5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Yun, Z., Gao, H., & Jiang, Y. (2022). Insights into metabolomics in quality attributes of postharvest fruit. *Current Opinion in Food Science*, 45, 100836. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100836>
- González-Gordo, S., Rodríguez-Ruiz, M., López-Jaramillo, J., Muñoz-Vargas, M. A., Palma, J. M., & Corpas, F. J. (2022). Nitric Oxide (NO) Differentially Modulates the Ascorbate Peroxidase (APX) Isozymes of Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) Fruits. *Antioxidants*, 11(4), 765. <https://doi.org/10.3390/antiox11040765>
- Kashyap, K., Kashyap, D., Nitin, M., Ramchiary, N., & Banu, S. (2020). Characterizing the Nutrient Composition, Physiological Maturity, and Effect of Cold Storage in Khasi Mandarin (*Citrus reticulata* Blanco). *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 521–540. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1666334>
- De los Santos-Santos, M. A., Balois-Morales, R., Jiménez-Zurita, J. O., Alia-Tejacal, I., López-Guzmán, G. G., Palomino-Hermosillo, Y. A., Berumen-Varela, G., & García-Paredes, J. D. (2020). Edible Coating Based on Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Mucilage Applied to Soursop Fruits in Postharvest Storage. *Journal of Food Quality*, 2020, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2020/4326840>
- Nayab, S., Razzaq, K., Ullah, S., Rajwana, I. A., Amin, M., Faried, H. N., Akhtar, G., Khan, A. S., Asghar, Z., Hassan, H., & Naz, A. (2020). Genotypes and harvest maturity influence the nutritional fruit quality of mulberry. *Scientia Horticulturae*, 266, 109311. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109311>
- Gong, X., Wu, X., Qi, N., Li, J., & Huo, Y. (2020). Changes in the biochemical characteristics and volatile fingerprints of atemoya during postharvest ripening at room temperature. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 12(4), 26–35. <https://doi.org/10.15586/qas.v12i4.786>
- Maldonado-Celis, M. E., Yahia, E. M., Bedoya, R., Landázuri, P., Loango, N., Aguillón, J., Restrepo, B., & Guerrero Ospina, J. C. (2019). Chemical Composition of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit: Nutritional and Phytochemical Compounds. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01073>
- Zhang, C., Xiong, Z., Yang, H., & Wu, W. (2019). Changes in pericarp morphology, physiology and cell wall composition account for flesh firmness during the ripening of blackberry (*Rubus* spp.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 250, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.015>
- Lim, Y. J., & Eom, S. H. (2018). Kiwifruit cultivar 'Halla gold' functional component changes during preharvest fruit maturation and postharvest storage. *Scientia Horticulturae*, 234, 134–139. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.036>
- Skic, A., Szymańska-Chargot, M., Kruk, B., Chylińska, M., Pieczywek, P., Kurenda, A., Zdunek, A., & Rutkowski, K. (2016). Determination of the Optimum Harvest Window for Apples Using the Non-Destructive Biospeckle Method. *Sensors*, 16(5), 661. <https://doi.org/10.3390/s16050661>
- Kullaj, E. (2016). New insights on postharvest ecophysiology of fresh horticultural crops. In *Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality* (pp. 1–38). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804313-4.00001-3>
- Hassan, A., Othman, Z., & Siriphanich, J. (2011). Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.). In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (pp. 194–218e). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857092618.194>
- Molina-Delgado, D., Larrigaudière, C., & Recasens, I. (2009). Antioxidant activity determines on-tree maturation in 'Golden Smoothie' apples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(7), 1207–1212. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3577>
- Lima, M. A. C. de, Alves, R. E., & Filgueiras, H. A. C. (2006). Mudanças relacionadas ao amaciamento da graviola durante a maturação pós-colheita. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(12), 1707–1713. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006001200004>
- Sehar, S., Adil, M. F., Askri, S. M. H., Feng, Q., Wei, D., Sahito, F. S., & Shamsi, I. H. (2023). Pan-transcriptomic Profiling Demarcates Serendipita Indica-Phosphorus Mediated Tolerance Mechanisms in Rice Exposed to Arsenic Toxicity. *Rice*, 16(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s12284-023-00645-0>
- Sun, L., Wang, J., Cui, Y., Cui, R., Kang, R., Zhang, Y., Wang, S., Zhao, L., Wang, D., Lu, X., Fan, Y., Han, M., Chen, C., Chen, X., Guo, L., & Ye, W. (2023). Changes in terpene biosynthesis and submergence tolerance in cotton. *BMC Plant Biology*, 23(1), 330. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04334-4>
- Pei, Y., Cao, W., Yu, W., Peng, C., Xu, W., Zuo, Y., Wu, W., & Hu, Z. (2023). Identification and functional characterization of the dirigent gene family in *Phryma leptostachya* and the contribution of PDIR1 in lignan biosynthesis. *BMC Plant Biology*

- gy, 23(1), 291. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04297-6>
18. Shin, S. Y., Lee, C.-M., Kim, H.-S., Kim, C., Jeon, J.-H., & Lee, H.-J. (2023). Ethylene signals modulate the survival of Arabidopsis leaf explants. *BMC Plant Biology*, 23(1), 281. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04299-4>
 19. Ma, L., Ma, S., Chen, G., Lu, X., Wei, R., Xu, L., Feng, X., Yang, X., Chai, Q., Zhang, X., & Li, S. (2023). New insights into the occurrence of continuous cropping obstacles in pea (*Pisum sativum* L.) from soil bacterial communities, root metabolism and gene transcription. *BMC Plant Biology*, 23(1), 226. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04225-8>
 20. Frazão, C. J. R., Wagner, N., Rabe, K., & Walther, T. (2023). Construction of a synthetic metabolic pathway for biosynthesis of 2,4-dihydroxybutyric acid from ethylene glycol. *Nature Communications*, 14(1), 1931. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37558-x>
 21. Sajeevan, R. S., Abdelmeguid, I., Saripella, G. V., Lenman, M., & Alexandersson, E. (2023). Comprehensive transcriptome analysis of different potato cultivars provides insight into early blight disease caused by *Alternaria solani*. *BMC Plant Biology*, 23(1), 130. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04135-9>
 22. Ma, X., Jin, Q., Wang, Y., Wang, X., Wang, X., Yang, M., Ye, C., Yang, Z., & XU, Y. (2023). Comparative transcriptome analysis reveals the regulatory mechanisms of two tropical water lilies in response to cold stress. *BMC Genomics*, 24(1), 82. <https://doi.org/10.1186/s12864-023-09176-w>
 23. Pan, L., Li, H., & Zhao, J. (2023). Improvement of the prediction of a visual apple ripeness index under seasonal variation by NIR spectral model correction. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 302, 123075. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2023.123075>
 24. Moing, A., Berton, T., Roch, L., Diarrassouba, S., Bernillon, S., Arrivault, S., Deborde, C., Maucourt, M., Cabasson, C., Bénard, C., Prigent, S., Jacob, D., Gibon, Y., & Lemaire-Chamley, M. (2023). Multi-omics quantitative data of tomato fruit unveils regulation modes of least variable metabolites. *BMC Plant Biology*, 23(1), 365. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04370-0>
 25. Jeong, M.-J., Ko, B. J., & Kim, J. Y. (2023). Mass spectrometry-based metabolomics study for delay tomato fruit ripening by sound waves. *Journal of Analytical Science and Technology*, 14(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s40543-023-00384-3>

