

LA APLICACIÓN DE PUTRESCINA EXÓGENA EXTIENDE LA VIDA ÚTIL DE LAS BANANAS EN POSTCOSECHA

Sanabria Franco, Marcos Fabian*; Preczenhak, Ana Paula; Bonandi, Ralph; Oliveira, Ellen Rayssa; Rocha, Tainá; Kluge, Ricardo

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba - SP, Brasil.
marcosfabian@usp.br

RESUMEN: El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la aplicación exógena de putrescina sobre la conservación postcosecha de bananos. Los frutos fueron cosechados en el Campo Experimental de Fruticultura del Departamento de Producción Vegetal de la Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP-Brasil. Después de la higienización y selección, fueron aplicados los tratamientos con diferentes dosis de putrescina (0,5; 1,0 y 1,5 mM), y se utilizó un testigo que no recibió las aminas biogénicas. Los frutos se almacenaron a 18 °C ± 1 y se evaluaron los siguientes parámetros: pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles, acidez, pH, color, tasa respiratoria y producción de etileno. Los resultados mostraron que las bananas tratadas perdieron menos peso y mantuvieron su firmeza y color durante más tiempo, independientemente de la dosis de putrescina. Los sólidos solubles, pH y ácido málico no se vieron afectados por la putrescina, pero variaron con el tiempo. La tasa respiratoria y producción de etileno fueron menores en las bananas tratadas, lo que sugiere un menor gasto energético y una mayor estabilidad durante el almacenamiento. En resumen, la putrescina aplicada externamente afecta los parámetros respiratorios y la producción de etileno, lo que prolonga la vida útil de las bananas después de la cosecha.

PALABRAS CLAVE: poliaminas, calidad, longevidad, etileno, respiración.

THE APPLICATION OF EXOGENOUS PUTRESCINE EXTENDS THE SHELF LIFE OF POSTHARVEST BANANAS

ABSTRACT: The objective of the research was to assess the impact of the exogenous application of putrescine on the postharvest preservation of bananas. The bananas were harvested at the Experimental Fruit Farming Field of the Department of Plant Production at the Luiz de Queiroz School of Agriculture in Piracicaba, SP-Brazil. Following sanitation and selection, treatments with varying doses of putrescine (0.5, 1.0, and 1.5 mM) were administered, along with a control group that did not receive biogenic amines. The fruits were stored at 18 °C ± 1, and assessments were made regarding weight loss, firmness, soluble solids, acidity, pH, color, respiratory rate, and ethylene production. The results indicated that the treated bananas experienced reduced weight loss and maintained their firmness and color for a longer duration, irrespective of the putrescine dose. Soluble solids, pH, and malic acid levels remained unaffected by putrescine but showed variations over time. Respiratory rate and ethylene production were lower in treated bananas, suggesting decreased energy expenditure and enhanced stability during storage. In summary, externally applied putrescine has an impact on respiratory parameters and ethylene production, thereby extending the shelf life of bananas after harvest.

KEYWORDS: polyamines, quality, longevity, ethylene, respiration.

INTRODUCCIÓN

El banano (*Musa spp.*) es uno de los principales cultivos frutales producidos y consumidos en todo el mundo y posee una gran relevancia en el mercado internacional [1]. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción mundial de banana es aproximadamente de 124,9 millones de toneladas [2].

La banana presenta gran aceptación debido a su facilidad de consumo y sus características organolépticas como textura, sabor y aroma. Además, la fruta contiene un alto contenido de compuestos bioactivos, como vitaminas, fitoesteroles, poliaminas, compuestos fenólicos, carotenoides,

así como compuestos volátiles, minerales y carbohidratos que confieren propiedades nutraceuticas de interés para el consumidor [3, 4].

Es considerada como una fruta climatérica debido al aumento de la tasa respiratoria, la producción autocatalítica de etileno y los cambios organolépticos acelerados durante su maduración. Consecuentemente, es esencial tomar precauciones minuciosas en el manejo postcosecha para evitar estimular el proceso autocatalítico de etileno, que impulsa la mayoría de estos cambios [5].

Debido a estos aspectos, la vida postcosecha de la banana es relativamente corta, principalmente como consecuencia del ablandamiento de los tejidos y la degradación de los componentes de la

pared celular, promoviendo así, que la fruta sea más susceptible al deterioro por patógenos (hongos y bacterias), daños mecánicos y trastornos fisiológicos en condiciones de almacenamiento de baja temperatura y humedad inadecuada [6, 7]. Por lo tanto, durante el almacenamiento, la calidad y longevidad de las frutas se ven comprometidas debido a la degradación de sus características físicas y químicas [8, 9].

Las pérdidas durante la postcosecha son un obstáculo que enfrenta el sector agrícola. Por lo tanto, para prolongar el tiempo de conservación de frutas perecederas, como la banana, es necesario adoptar técnicas de conservación que involucren estímulos antes y después de la cosecha, con el objetivo de reducir los daños en los frutos y prolongar su vida útil [10].

En este contexto, la aplicación exógena de poliaminas es una herramienta eficaz en la postcosecha para preservar la calidad de los frutos durante el almacenamiento. Las poliaminas son una clase de aminas alifáticas producidas durante el metabolismo celular que desempeñan roles importantes en varios procesos del desarrollo de las plantas, incluyendo la maduración de los frutos [11, 12, 13]. Por ejemplo, la putrescina es una diamina que puede ayudar a retrasar la maduración y, en consecuencia, prolongar la vida útil de los frutos [14, 15].

El tratamiento con aminas biogénicas exógenas promueve la reducción de la pérdida de peso y la descomposición, mantiene la firmeza de los frutos, disminuye la tasa respiratoria y la producción de etileno, además de mitigar el estrés oxidativo en las frutas, lo que se traduce en la conservación de sus atributos de calidad y la maximización del tiempo de almacenamiento [16, 17, 18, 19, 20, 21]. En bananas Grande Nain, la putrescina retrasa los cambios en la maduración y mantiene los atributos organolépticos por mayor tiempo [22]. Por ende, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación exógena de putrescina en la calidad postcosecha de las bananas.

METODOLOGÍA

Las bananas de cultivar "Nánica" fueron cosechadas en el Campo Experimental de Fruticultura del Departamento de Producción Vegetal de la Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP-Brasil, durante el período matinal. Los frutos fisiológicamente maduros fueron despencados, almacenados en cajas y transportados al laboratorio de Fisiología y Bioquímica Postcosecha. Después de la higienización y selección, fueron aplicados los tratamientos con diferentes dosis de putrescina (0,5; 1,0 y 1,5 mM), con un testigo que no recibió las aminas biogénicas. Para la aplicación de los tratamientos se prepararon soluciones de putrescina y se aplicaron en forma de aspersión hasta que el agua corriera por los frutos. A continuación, fueron secados a temperatura ambiente y transportados para almacenamiento a temperatura de $18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$. El experimento tuvo 3 repeticiones, donde cada repetición estuvo compuesto por 10 frutos, los cuales fueron evaluados cada 5 días. El diseño experimental fue completamente al azar. Luego de aplicar los tratamientos se realizaron las siguientes evaluaciones:

Pérdida de peso: se determinó utilizando una balanza electrónica, calculando los resultados como la diferencia de peso de la fruta después del tratamiento con respecto a su peso inicial al ser cosechada, expresada en porcentaje.

Análisis Visual: los frutos fueron evaluados visualmente, siempre por el mismo evaluador, asignando grados según la escala de madurez de Von Loesecke [23]. Las notas de la escala varían entre 1 (completamente

verde), 2 (verde con trazos amarillos), 3 (más verde que amarillo), 4 (más amarillo que verde), 5 (amarillo con punta verde), 6 (completamente amarillo) y 7 (amarillo con manchas oscuras) (Figura 1).

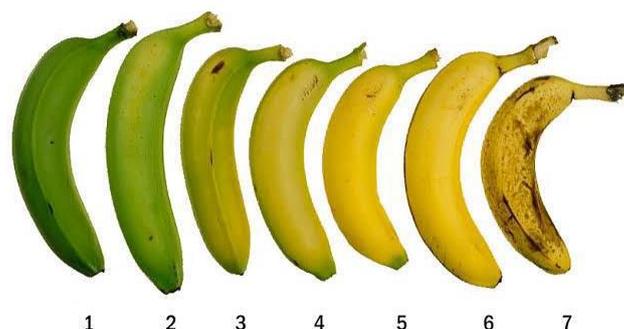


Figura 1 - Escala de madurez de Von Loesecke para frutos de banana.

Firmeza de la pulpa: fue evaluado a través de un penetrómetro manual electrónico, y los resultados se expresaron en Newton (N). Para ello se retiraron las porciones correspondientes a la cascara del fruto, para realizar dos mediciones de la resistencia a la penetración de la pulpa, en lados equidistantes (lado expuesto al sol y lado sombreado). Fue utilizado una punta de 8 mm para las evaluaciones.

Acidez titulable (AT): realizado por triplicado, en un titulador automático (Methron, modelo 848 Titrino Plus) y los resultados se expresaron como porcentaje de ácido málico (% ácido málico). Para ello se añadieron 10 g de pulpa triturada a 90 ml de agua desionizada y se tituló con solución de NaOH 0,1 M.

Color de la epidermis: el color fue determinado mediante un colorímetro (Minolta Chroma Meter CR-300). De la determinación de los valores CIE L^* , a^* , b^* se obtuvo los parámetros de luminosidad, representados por L^* , y la cromaticidad, este último calculado en función relación $(a^2 + b^2)^{1/2}$.

Contenido de sólidos solubles: luego de triturar las muestras en un multiprocesador, se colocó una gota de jugo de la muestra del fruto de banana para su lectura en un refractómetro digital (Modelo ATAGO, PR 100, Japón). Los resultados se expresaron en % Brix.

Emisión de etileno y tasa respiratoria: Los frutos se colocaron en recipientes herméticos durante 2 horas para cuantificar la frecuencia respiratoria y el etileno, respectivamente. Luego, se inyectó una alícuota de 0,5 ml del recipiente en un cromatógrafo de gases Thermofinigan Trace GC Ultra (Thermo Fisher Scientific, EE. UU.), equipado con un detector de ionización de llama (FID), metanizador y columna de acero inoxidable preparada con Porapak N 50. /80 (1/8" y 1,8 m). La calibración se realizó comparando el área de los cromatogramas con el área de los estándares primarios de CO_2 o etileno. Los datos se representarán en $\mu\text{g kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ de masa fresca (MF).

Análisis estadísticos

Se realizaron inicialmente la verificación de normalidad y homogeneidad de varianzas. Posteriormente, los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA). Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey. Fue utilizado el software electrónico Speed Stat [24] y se adoptó un nivel de significancia del 5% de error.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se verifica que las variables acidez, pH y % brix no fueron afectados por el uso de putrescina exógena, observándose que independiente del fornecimiento externo de la amina biogénica, esas variables solo presentaron diferencias estadísticas con el factor tiempo. El

pH y la acidez titulable son indicadores importantes de la calidad del fruto del banano, ya que intervienen en la percepción de acidez y dulzura [25] siendo el pH una variable de la fruta que tiende a decrecer a medida que aumenta la acidez y el contenido de sólidos solubles [26]. Dado que se trata de un solo cultivar que ha sido sometido al mismo manejo agronómico a lo largo de todo el proceso de producción, se espera que estas variables no experimenten cambios. Esto se debe a que es ampliamente conocido que los parámetros cualitativos se establecen durante la fase de precosecha del fruto [27].

En lo que respecta a la firmeza de la pulpa de las bananas, hubo un efecto del factor putrescina, lo cual indica que el fornecimiento exógeno de esta amina ayuda a mantener la textura de las frutas por mayor periodo de tiempo, al preservar las propiedades estructurales de la fruta. La firmeza es uno de los parámetros fisicoquímicos más importantes a la hora de escoger una fruta, pues el consumidor lo relaciona directamente con la capacidad postcosecha que posee el vegetal. La reducción de firmeza de la pulpa se debe al proceso asociado mediante el cual los contenidos de polisacáridos pécticos, hemicelulósicos y almidón disminuyen durante la maduración [28, 29].

Tabla 1 - Acidez, pH, Firmeza (N) y sólidos solubles (Brix%) de la pulpa de banana, cultivar Nanica. Piracicaba-SP, Brasil.

| Variables | Días después de la cosecha | | | |
|---------------------------|----------------------------|---------|---------|---------|
| | D0 | D5 | D10 | D15 |
| Acidez ^{NS} | 0,15d | 0,27c | 0,60b | 0,67a |
| pH ^{NS} | 6,00a | 5,20b | 4,33c | 4,33c |
| Firmeza (N) ^{**} | 46,87Aa | 40,78Bb | 17,47Cb | 14,35Ac |
| Brix % ^{NS} | 8,41d | 11,47c | 17,73b | 21,68a |

^{NS} Estadísticamente no son significativas las dosis de putrescina en esas variables.
^{**} Letras mayúsculas indican efectos significativos de las dosis de putrescina.
^{*} Letras minúsculas indican que el factor tiempo interfiere estadísticamente.

En la Figura 2a se observa que la pérdida de peso fue inferior en los tratamientos con putrescina, esto, independiente de la dosis usada. La pérdida de masa en los frutos está directamente relacionada con las reacciones metabólicas, como la respiración y transpiración causada por las diferencias en la presión de vapor entre el fruto y el entorno. La pérdida de peso se da de forma natural, pues a medida que la cáscara del fruto madura, se produce la ruptura del látex y disminuye la integridad de la cáscara [30], observándose ese comportamiento fisiológico más pronunciado en las frutas no tratadas.

Em relación al color, (Figura 2b) se observó que la cromaticidad de las cáscaras de las bananas fue disminuyendo a través del tiempo, indicando que estaban virando al amarillo. Mientras tanto, a través del análisis visual (Tabla 2), fue verificado que la percepción del color se mantuvo por mayor periodo de tiempo independiente de las dosis utilizadas. Esto refleja que los análisis subjetivos muchas veces no son suficientes para ratificar un resultado objetivo, pues depende mucho de la percepción del evaluador. El análisis cromático es muy importante para observar ese grado de pureza que tiene un color, pues el color de la cáscara de la banana comienza a perder su cromaticidad y se vuelve más opaca, es decir queda más clara al madurar. Durante la maduración, la cáscara cambia de verde a amarillo, debido a la degradación gradual de la clorofila, mediante acción enzimática, permitiendo que los carotenoides se hagan más evidentes [31].

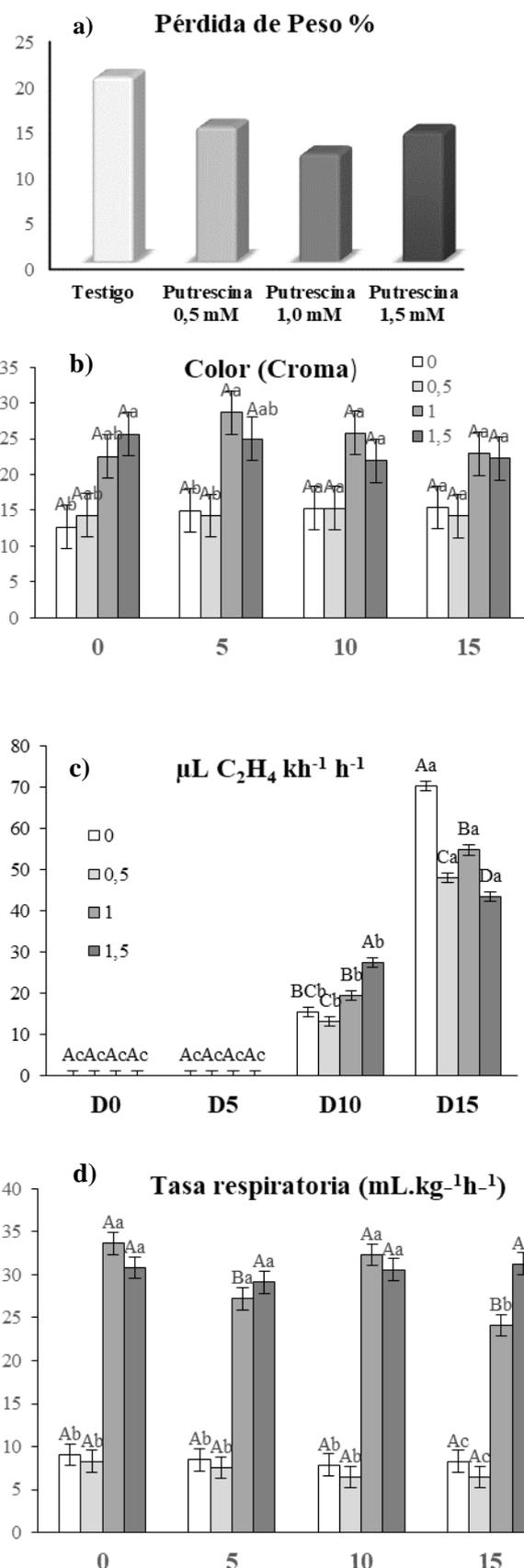


Figura 2 - Pérdida de Peso (a), Color (croma) de la cáscara (b), producción de etileno (c) y tasa respiratoria de bananas cultivar Nanica (d) después de la cosecha con relación a la aplicación exógena de dosis de putrescina. Piracicaba-SP, Brasil.

En la Figura 2c, puede verificarse el impacto de la putrescina para reducir la tasa de producción de etileno, esto sugiere su potencial capacidad antagonista en la reducción de la producción de esta hormona de

maduración. Ambas vías de biosíntesis comparten el precursor común, la S-adenosil metionina (SAM), donde en la vía de formación de etileno, la SAM es catalizada por la acción secuencial de dos enzimas: ACC sintasa y ACC oxidasa, mientras que, en la vía de formación de poliaminas, la SAM es desviada hacia la síntesis de espermina y espermidina por la acción de la enzima SAM descarboxilasa [32]. Así, el SAM, cuyo precursor es la metionina, actúa como intermediario equilibrador para facilitar la síntesis de etileno y al mismo tiempo facilitar la biosíntesis de poliaminas naturales, espermina y espermidina.

Tabla 2 - Análisis visual del color de la cáscara de la banana sometido a aplicación exógena de dosis de putrescina.

| Dosis de putrescina (mM) | Días después de la cosecha | | | | |
|--------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|------|
| | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| 0 | 1 | 2 | 4 | 5,5 | 7 |
| 0,5 | 1 | 1,46 | 3 | 4,5 | 6,33 |
| 1 | 1 | 1,31 | 3 | 4,7 | 6,33 |
| 1,5 | 1 | 1 | 3 | 4,6 | 6,01 |
| CV (%) | 0 | 19,23 | 17,67 | 12,78 | 7,89 |

Para la biosíntesis de etileno y poliaminas el carbono puede dirigirse a la formación de uno u otro compuesto, ejerciendo un papel antagonista, debido a la competencia por SAM [33]. Se ha observado previamente evidencia de esta interacción antagonista, donde las poliaminas inhibieron la producción de etileno inducida por auxinas y la conversión de metionina y ácido I-aminociclopropano-1-carboxílico en etileno [34], y en frutos de tomate, superexpresando genes de biosíntesis de poliaminas, donde se redujo la producción de etileno y aumentó la vida útil de la fruta [35].

La putrescina exógena en bananas aporta mayor estabilidad en las células contra el estrés al aumentar los contenidos de los compuestos fenólicos y en la actividad antioxidante durante el almacenamiento [36]. Estudios del fornecimiento exógeno de putrescina en otras frutas, como la ciruela, retrasó el ablandamiento durante el almacenamiento, redujo la tasa respiratoria, al suprimir la biosíntesis de etileno y redujo la actividad de enzimas como la poligalacturonasa (exo-PG) y la endopoligalacturonasa (endo-PG) [37, 38].

Las poliaminas son compuestos biológicos de bajo peso molecular que actúan como agentes antisenescentes, retrasan la producción de etileno, reducen la tasa de respiración, aumentan la firmeza del fruto, inducen resistencia, reducen los síntomas mecánicos de frío y retardan los cambios de color [39]. En la Figura 2d, puede verificarse que las frutas tratadas con putrescina disminuyen la tasa respiratoria de las bananas y por ende aumentan la longevidad mediante el menor gasto energético de las reservas.

Trabajos anteriores [22, 40] verificaron que la putrescina posee potencial para atenuar los estreses postcosecha en la banana y así prolongar la vida útil. Los daños oxidativos son atenuados cuando hay elevados niveles de poliaminas en las células, pues participan en el mantenimiento de la proporción de ácidos grasos insaturados/saturados garantizando la integridad y fluidez de las membranas [41]. Por eso, un fornecimiento exógeno de esas aminos bioactivas puede aportar mayor estabilidad a las membranas por mayor periodo de tiempo.

CONCLUSIÓN

Las frutas tratadas presentan menor gasto energético, por lo cual las características fisicoquímicas son más estables durante el

almacenamiento. En resumen, la putrescina aplicada exógenamente afecta los parámetros respiratorios y pico de producción de etileno, por lo cual extiende la vida útil de las bananas después de la cosecha.

REFERENCIAS

- [1] N. Panigrahi, A. J. Thompson, S. Zubezlu, J. W. Knox. "Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production". *Sci. Hortic.*, 276, **2021**, 109735.
- [2] FAOSAT. Crops and livestock products. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Visitado en october de 2023.
- [3] K. P. Sampath Kumar, D. Bhowmik, S. Duraivel, M. Umadevi. "Traditional and medicinal uses of banana". *J. Pharmacogn. Phytochem*, 1, **2012**, 51-63.
- [4] S. Qamar, A. Shaikh. "Therapeutic potentials and compositional changes of valuable compounds from banana-A review". *Trends Food Sci Technol*, 79, **2018**, 1-9.
- [5] Y. Chen et al. "Ethylene receptors and related proteins in climacteric and non-climacteric fruits". *Plant sci.*, 276, **2018**, 63-72.
- [6] J. Liu et al. "Revealing further insights on chilling injury of postharvest bananas by untargeted lipidomics". *Foods*, 9, **2020**, 894.
- [7] M. G. Lobo, M. Montero-Calderón. "Harvesting and postharvest technology of banana". *Handbook of Banana Production, Postharvest Science, Processing Technology, and Nutrition*, M. Siddiq, J. Ahmed, M. G. Lobo, John Wiley & Sons Ltd, **2020**, 61-80.
- [8] T. S. Neris et al. "Avaliação físico-química da casca da banana (*Musa spp.*) in natura e desidratada em diferentes estádios de maturação". *Ciência e Sustentabilidade*, 4, **2018**, 5-21.
- [9] R. B. Watharkar, Y. Pu, B. B. Ismail, B. Srivastava, P. P. Srivastav, D. Liu. "Change in physicochemical characteristics and volatile compounds during different stage of banana (*Musa nana* Lour vs. Dwarf Cavendish) ripening". *Journal of Food Measurement & Characterization*, 14, **2020**, 2040-2050.
- [10] M. Al-Dairi, P. B. Pathare, R. Al-Yahyai, H. Jayasuriya, Z. Al-Attabi. "Postharvest quality, technologies, and strategies to reduce losses along the supply chain of banana: A review". *Trends Food Sci Technol*, 134, **2023**, 177-191.
- [11] D. Chen et al. "Polyamine function in plants: metabolism, regulation on development, and roles in abiotic stress responses". *Front. Plant Sci.*, 9, **2019**, 1945.
- [12] X. Cao, Z. Wen, C. Shang, X. Cai, Q. Hou, G. Qiao, "Copper Amine oxidase (CuAO)-mediated polyamine catabolism plays potential roles in sweet cherry (*Prunus avium* L.) fruit development and ripening". *Int. J. Mol. Sci.*, 23, **2022**, 12112.
- [13] X. Cheng, Z. Cui, Y. Jiang, Y. Chen, B. Tan, J. Cheng, W. Wang. "PpeERF115 regulates peach fruit ripening by increasing polyamine turnover through up-regulation of genes involved in polyamine synthesis and catabolism". *Postharvest Biol. Technol.*, 204, **2023**, 112432.
- [14] R.K. Singh, S. Srivastava, V. A. Sane. "Biology and biotechnology of fruit flavor and aroma volatiles". *Stewart Postharvest Rev.*, 9, 2013, 1-13.
- [15] M. Shankhu et al. "Role of post-harvest treatment of polyamines on biochemical characteristics and shelf life of papaya (*Carica papaya* L.) var. red lady fruits during ambient storage". *J. Pharm. Innov.*, 11, **2022**, 538-544.
- [16] K. Jawandha et al. "Effect of post-harvest treatments of putrescine on storage of Mango cv. Langra". *Afr. J. Agric. Res.*, 7, 2012, 6432-6436.

- [17] Y. Li, Y. Ma, T. Zhang, Y. Bi, Y. Wang, D. Prusky. "Exogenous polyamines enhance resistance to *Alternaria alternata* by modulating redox homeostasis in apricot fruit". *Food Chem.*, 301, **2019**, 125303.
- [18] H. A. Ennab, M. A. El-Shemy, S. M. Alam-Eldein. "Salicylic acid and putrescine to reduce post-harvest storage problems and maintain quality of Murcott mandarin fruit". *Agron.*, 10, **2020**, 115.
- [19] O. A. Fawole, J. Atukuri, E. Arendse, U. O. Opara. "Postharvest physiological responses of pomegranate fruit (cv. Wonderful) to exogenous putrescine treatment and effects on physico-chemical and phytochemical properties". *Food Sci. Hum. Wellness.*, 9, **2020**, 146-161.
- [20] S. Mishra, K. Barman, A. K. Singh, B. Kole. "Exogenous polyamine treatment preserves postharvest quality, antioxidant compounds and reduces lipid peroxidation in black plum fruit". *S. Afr. J. Bot.*, 146, **2022**, 662-668.
- [21] A. Taş, S. K. Berk, H. Kibar, M. Gündoğdu. "An in-depth study on post-harvest storage conditions depending on putrescine treatments of kiwifruit". *J. Food Compos. Anal.*, 111, **2022**, 104605.
- [22] T.J. Archana, G.J. Suresh. "Putrescine and Spermine Affects the Postharvest Storage Potential of Banana Cv. Grand Naine". *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 8, **2019**, 3127-3137.
- [23] H. Von Loesecke. *Bananas*, 2 ed. New York: InterScience, **1950**.
- [24] A.M.X. Carvalho et al. "SPEED Stat: A free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments". *Crop. Breed. Appl. Biotechnol.*, 20, **2020**, e327420312.
- [25] C. Bugaud et al. "Modelling pH and titratable acidity in banana fruit based on acid and mineral composition". In: *VII International Postharvest Symposium 1012*. **2012**. 1223-1228.
- [26] V. Matabura, O. Kibazohi. "Physicochemical and sensory evaluation of mixed juices from banana, pineapple and passion fruits during storage". *Tanz. J. Sci.*, 47, **2021**, 332-343.
- [27] A. Jullien, M. Chillet, E. Malézieux. "Pre-harvest growth and development, measured as accumulated degree days, determine the post-harvest green life of banana fruit". *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 83, **2008**, 506-512.
- [28] S. D. T. Maduwanthi, R. A. U. J. Marapana. "Biochemical changes during ripening of banana: A review". *Int J Food Sci Nutr*, 2, **2017**, 166-169.
- [29] F. N. Zainal A'bidin et al. "Mass modelling and effects of fruit position on firmness and adhesiveness of banana variety Nipah". *Int. J. Food Eng.*, 16, **2020**, 20190199.
- [30] M. I. F. Chitarra, A. B. Chitarra. *Pós-colheita de frutas e hortaliças*. Lavras: Editora UFLA, **2005**.
- [31] F. C. A. U. Matsuura, R. L. Cardoso, D. E. Ribeiro. "Qualidade sensorial de frutos de híbridos de bananeira cultivar Pacovan". *Rev. Bras. Frut.*, 24, **2002**, 263-266.
- [32] D.V. Vaka et al. "Role of Polyamines on Post-Harvest Fruit Quality and Storability". *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 9, **2020**, 3519-3529.
- [33] D. Martínez-Romero et al. "Tools to maintain postharvest fruit and vegetable quality through the inhibition of ethylene action: a review". *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 47, **2007**, 543-560.
- [34] A. Apelbaum et al. "Polyamines inhibit biosynthesis of ethylene in higher plant tissue and fruit protoplasts". *Plant physiol.*, 68, **1981**, 453-456.
- [35] R. Pandey et al. "Over-expression of mouse ornithine decarboxylase gene under the control of fruit-specific promoter enhances fruit quality in tomato". *Plant Mol. Biol.*, 87, **2015**, 249-260.
- [36] M. S. Hosseini et al. "Effects of postharvest treatments with chitosan and putrescine to maintain quality and extend shelf-life of two banana cultivars". *Food Sci. Nutr.*, 6, **2018**, 1328-1337.
- [37] A.S. Khan, Z. Singh, N.A. Abbasi. "Pre-storage putrescine application suppresses ethylene biosynthesis and retards fruit softening during low temperature storage in 'Angelino'plum". *Postharvest Biol. Technol.*, 46, **2007**, 36-46.
- [38] A.S. Khan, Z. Singh. "Pre-harvest application of putrescine influences Japanese plum fruit ripening and quality". *Food Sci. Technol. Int.*, 16, **2010**, 53-64.
- [39] D. Valero, D. Martínez-Romero, M. Serrano. "The role of polyamines in the improvement of the shelf life of fruit". *Trends Food Sci. Technol.*, 13, **2002**, 228-234.
- [40] P. Nilprapruck, P. Meetum, C. Chanthasa. "Role of Exogenous Putrescine and Spermine Applications for Improving Banana Fruit Quality of Banana cv. Hom Thong at Low Temperature Storage". *Sci. Eng. Health Stud.*, 11, **2017**, 9-15.
- [41] S. H. Mirdehghan et al. "Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: role of polyamines". *Postharvest Biol. Technol.*, 44, **2007**, 19-25.