

Quitosan y compuesto quitosano-octanoato de sodio reducen la pudrición de fresa en poscosecha

Sigifredo López-Díaz¹
Ma. Guadalupe Sandoval-Flores²
Luis Enrique Flores-Pantoja³
Rafael Jiménez-Mejía³
Gustavo Santoyo⁴
Pedro Damián Loeza-Lara^{3§}

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Unidad Michoacán. Jiquilpan, Michoacán, México. CP. 59510. Tel. 353 5330218, ext. 82923. (slopezd@ipn.mx). ²Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. CP. 58893. Tel. 443 2958029, ext. 111. (lupitaflores96@outlook.com). ³Licenciatura en Genómica Alimentaria-Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo. Sahuayo, Michoacán, México. CP. 59103. Tel. 353 5320762, ext. 1420. (leflores@ucienegam.edu.mx; rjimenez@ucienegam.edu.mx). ⁴Instituto de Investigaciones Químico Biológicas-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. CP. 58030. Tel. 443 3265788, ext. 125. (gsantoyo@umich.mx).

§Autor para correspondencia: pdloeza@ucienegam.edu.mx.

Resumen

La fresa (*Fragaria x ananassa*) es un alimento exquisito, que proporciona beneficios a la salud, por lo que es la frutilla de mayor producción y exportación en México. Sin embargo, es altamente perecedera, susceptible de sufrir daños en poscosecha, por *Botrytis cinerea* y *Rhizopus stolonifer*, entre otros. El uso de plaguicidas en precosecha es la estrategia de control de estos patógenos; no obstante, está documentado que los plaguicidas dañan la salud humana y al ecosistema, lo que muestra la necesidad de estudiar alternativas amigables. El quitosano grado reactivo (QGR) es un polímero inocuo con actividad antifúngica ampliamente reportada, mientras que el octanoato de sodio (8:0) (OS) también tiene esta propiedad; sin embargo, hasta el momento se desconoce si el quitosano grado comercial (QGC) disponible en México, tiene el mismo efecto. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la efectividad de QGR y el compuesto QGR-OS en la protección de fresa en poscosecha y compararla con la de QGC y el compuesto QGC-OS. Los compuestos se asperjaron sobre los frutos y se incubaron simulando las condiciones de exportación. Los resultados mostraron reducción significativa de la severidad y la incidencia de las enfermedades fúngicas de fresa en poscosecha luego de la aplicación de QGR, QGC y QGR-OS, QGC-OS, no así del OS aplicado solo. El QGC y el compuesto QGC-OS son excelentes candidatos para ser utilizados en un estudio comercial de mayor alcance.

Palabras clave: alternativas inocuas, enfermedades fúngicas, polímeros antifúngicos.

Recibido: julio de 2021

Aceptado: agosto de 2021

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) es una frutilla con exquisito sabor y aroma que proporciona beneficios a la salud como protección al corazón y equilibrio de la presión sanguínea, además de que posee actividad antioxidante y anticancerígena, entre otras (Lombardi *et al.*, 2020). Estos efectos se relacionan con el contenido de compuestos fenólicos que tiene como antocianinas que retardan el envejecimiento celular. Asimismo, contiene minerales como hierro, fósforo, cobre, magnesio y vitaminas A, E, K y C, principalmente (Forbes-Hernández *et al.*, 2017).

Desafortunadamente, esta frutilla es altamente perecedera, particularmente durante la etapa en poscosecha, ya que es susceptible a pudrición e infección por hongos patógenos. El moho gris y la pudrición blanda son enfermedades ocasionadas por *Botrytis cinerea* (Pers.) y *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.), respectivamente, las cuales se consideran la principal causa de pudrición de fresa en poscosecha (Feliziani y Romanazzi, 2016). No obstante, se han reportado otros patógenos importantes en esta etapa como *Mucor* spp., *Colletotrichum* spp., *Penicillium* spp., *Phytophthora* spp. y *Fusarium* spp. (Lopes *et al.*, 2014; Feliziani y Romanazzi, 2016; Arceo-Martínez *et al.*, 2019).

La estrategia de control de la pudrición se basa en la aplicación en campo de fungicidas químicos sintéticos durante el crecimiento del cultivo, por ejemplo, Captafol® y Diclorán®. Sin embargo, numerosos estudios demuestran que la exposición continua a los plaguicidas en general está asociada a efectos adversos en la salud humana y contaminación del ecosistema (Curl *et al.*, 2020; Hassaan y El Nemr, 2020). Lo anterior, muestra la necesidad de estudiar alternativas amigables para el control de los hongos patógenos.

Entre las alternativas amigables destaca el quitosano grado reactivo (QGR), biopolímero inocuo, con actividad antifúngica sobre los principales patógenos de fresa en poscosecha (Lopes *et al.*, 2014; Feliziani y Romanazzi, 2016; Lizardi-Mendoza *et al.*, 2016; Romanazzi *et al.*, 2017; Arceo-Martínez *et al.*, 2019; Mejdoub-Trabelsi *et al.*, 2019). Sobresale también el octanoato de sodio (8:0) (OS), sal de ácido graso inocua, con actividad antifúngica sobre patógenos de fresa (Liu *et al.*, 2008; Pohl *et al.*, 2011; Sandoval *et al.*, 2018; Yoon *et al.*, 2018). Adicionalmente, resalta el compuesto quitosano-octanoato de sodio (QGR-OS), el cual mostró mayor protección de frutos inoculados con *B. cinerea* (Sandoval *et al.*, 2018).

Los resultados anteriores muestran el potencial de estas moléculas y sus compósitos para utilizarse en el control de enfermedades fúngicas de la fresa en almacenamiento. Sin embargo, hasta el momento no se ha reportado el efecto de quitosano grado comercial (QGC) disponible en México, el cual, es el candidato más adecuado para realizar un estudio a nivel comercial, puesto que es 25 veces más económico que el QGR. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue valorar la efectividad de QGC y del compósito QGC-OS en el control de la pudrición de fresa en poscosecha y comparar dicha efectividad con la del QGR y el compósito QGR-OS.

En el presente estudio se utilizaron frutos de fresa *var* Frontera, obtenidos de la empresa Zarzara Biofarm SA de CV, ubicada en Tangancícuaro, Michoacán. Los frutos se seleccionaron con base en la ausencia de daños e infección evidente por microorganismos y nivel de maduración (2/3 partes del fruto eran rojas). Los frutos se utilizaron en el experimento el mismo día de la cosecha (Romanazzi *et al.*, 2013). QGR de mediano peso molecular (190 a 300 kDa), se obtuvo de Sigma-Aldrich®, México, mientras que QGC de bajo peso molecular (50 a 190 kDa), se obtuvo de Future Foods® SA de CV, México.

Se preparó una solución de cada polímero a una concentración de 20 mg ml⁻¹, en agua destilada y ácido acético al 1% (J. T. Baker[®], México). Dichas soluciones se mantuvieron en agitación constante por 24 h. Posteriormente, el pH de la solución se ajustó a 5.6 con NaOH 1 N (J. T. Baker[®], México) y se procedió a esterilizar la solución a 120 °C, por 15 min (Modificado de Liu *et al.*, 2007). Por su parte, el OS se obtuvo de Sigma-Aldrich[®], México. El ácido graso se preparó a una concentración de 50 mg ml⁻¹ en agua destilada, el cual se esterilizó por filtración utilizando membranas de 0.22 µm de diámetro de poro (Merck Millipore[®], USA) (modificado de Liu *et al.*, 2008).

Los compósitos se prepararon de la siguiente manera: una vez esterilizados los dos polímeros y el ácido graso, éste se mezcló con QGR y QGC. Los compósitos se mantuvieron en agitación constante a temperatura ambiente (25 ±2 °C). Previo a su uso en los bioensayos, los compósitos se agitaron vigorosamente por 5 min en Vórtex (Sandoval *et al.*, 2018).

Todos los tratamientos se aplicaron por aspersión en las siguientes concentraciones: QGR y QGC (15 mg ml⁻¹), OS (0.49 mg ml⁻¹), QGR-OS y QGC-OS (15-0.49 mg ml⁻¹) (Sandoval *et al.*, 2018). Se estableció un testigo absoluto: agua destilada estéril y un testigo negativo: ácido acético al 1%, pH 5.6. Después de aplicar los tratamientos, las fresas se dejaron secar en campana de flujo laminar (CHCbiolus[®], México) por 1.5 h. Luego, se colocaron en cajas de plástico estériles (30 x 32 cm) y se almacenaron por 7 días a 2 ±2 °C, 95-98 HR. Transcurrido este periodo, las fresas se colocaron a temperatura ambiente (25 ±2 °C, 95-98 HR) durante 3 días para representar las condiciones de almacenamiento de la fresa para exportación.

Después de este tiempo, se determinó la severidad y el índice de las enfermedades. Se utilizaron 5 réplicas de 30 fresas para cada tratamiento (150 frutos por tratamiento). Las infecciones que aparecieron posteriormente correspondieron al inóculo natural de los frutos (Romanazzi *et al.*, 2013). La severidad del daño de las enfermedades se obtuvo de acuerdo con la escala empírica de Romanazzi *et al.* (2013), misma que maneja seis niveles: 0, fruto sano; 1, 1-20% de fruto infectado; 2, 21-40% de fruto infectado; 3, 41-60% de fruto infectado; 4, 61-80% de fruto infectado; 5, más de 81% del fruto infectado.

Esta escala permitió calcular el índice de McKinney el cual, es un índice de infección que muestra valores variables de 0 (ninguna enfermedad) a 100% (nivel máximo de la enfermedad) (McKinney, 1923). Los hongos aislados se identificaron culturalmente y por morfología microscópica de acuerdo con Barnett y Hunter (1998); Maas (1998). Los tratamientos se aplicaron bajo un diseño experimental completamente al azar. Los datos obtenidos (n= 150 por tratamiento) se transformaron con la función $\sqrt{x + 0.5}$, se sometieron a un análisis de varianza (Anova $p < 0.05$) y se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Se utilizó el programa estadístico SPSS-IBM Statistics versión 25.

Control de la pudrición de fresa en poscosecha por quitosanos, OS y sus compósitos

En el presente trabajo, los frutos de fresa tratados con QGR (15 mg ml⁻¹), QGC (15 mg ml⁻¹) y los compósitos QGR-OS (15-0.49 mg ml⁻¹) y QGC-OS (15-0.49 mg ml⁻¹) mostraron reducción significativa ($p < 0.05$) de las infecciones ocasionadas por hongos patógenos, lo que se reflejó en la severidad de las enfermedades fúngicas y en el índice de McKinney, en comparación con el testigo

negativo. Los tratamientos con QGR y QGC mostraron índices de McKinney de 7 y 38.8%, respectivamente; mientras que el testigo negativo mostró un índice de 52%. Por otro lado, la aplicación de OS (0.49 mg ml^{-1}) no mostró efectividad (índice de 55.3%), ya que se observó mayor infección que el testigo negativo ($p < 0.05$). Asimismo, los compósitos QGR-OS y QGC-OS revelaron índices de 6 y 19.8%, respectivamente, mostrando diferencias con el testigo negativo ($p < 0.05$) (Cuadro 1, Figura 1).

Cuadro 1. Reducción de la severidad de las enfermedades fúngicas en frutos de fresa tratados con los compuestos después de 10 días en almacenamiento.

Tratamientos (mg ml^{-1})	Grado de severidad (escala de daño 0-5)	Índice de McKinney (%)
QGR (15)	1	7 b
QGC (15)	2	38.8 d
OS (0.49)	3.7	55.3 f
QGR-OS (15/0.49)	1	6 a
QGC-OS (15/0.49)	1	19.8 c
Testigo absoluto*	3.6	52 e
Testigo negativo	3.6	52 e

Valores con letra diferente en cada columna son diferentes de acuerdo con Tukey ($p < 0.05$). * = frutos de fresa con agua destilada estéril. Frutos de fresa tratados con ácido acético al 1%, pH= 5.6.



Figura 1. Efecto de la aplicación de quitosanos y OS en la reducción de la severidad de las enfermedades fúngicas en frutos de fresa. A) QGR (15 mg ml^{-1}); B) QGC (15 mg ml^{-1}); C) OS (0.49 mg ml^{-1}); D) QGR-OS ($15-0.49 \text{ mg ml}^{-1}$); E) QGC-OS ($15-0.49 \text{ mg ml}^{-1}$); F) control absoluto; y G) control negativo.

Numerosos estudios han demostrado la capacidad del quitosano para inhibir el crecimiento micelial de hongos patógenos, lo que se explica por la naturaleza catiónica del polímero que afecta la síntesis de la pared celular de los patógenos, así como la estructura de la membrana. Dicho mecanismo lo ejerce mediante el establecimiento de atracciones electrostáticas con moléculas que tienen grupos aniónicos. Lo anterior provoca un desbalance en la síntesis de la pared celular y la formación de poros en la membrana, con la consecuente salida del contenido citoplasmático y la muerte posterior de la célula (Verlee *et al.*, 2017; De Oliveira *et al.*, 2020).

Las combinaciones de QGR-OS y QGC-OS fueron los mejores tratamientos, en comparación con los compuestos aplicados solos, ya que el primero mostró una protección de los frutos de 94%, mientras que en el segundo se registró una protección 80.2% (Cuadro 1, Figura 1).

Estudios previos muestran las propiedades del quitosano de formar una película protectora y ser una excelente matriz para diversos compuestos como aditivos alimentarios y metabolitos secundarios, con el objetivo de incrementar el efecto biológico del polímero, aumentar el valor nutricional de los frutos y su calidad microbiológica (Hernández-Muñoz *et al.*, 2008; Rodríguez-Romero *et al.*, 2019). La sinergia es un efecto que resulta de la combinación de dos compuestos, que puede diferir de los efectos de cada una de las partes (Ryabushkina, 2005) así, de acuerdo a los resultados obtenidos (Cuadro 1), se observa que, el OS *per se* no tiene efecto frente a los patógenos evaluados; sin embargo, el efecto sinérgico que aportó como parte de los compósitos probados es estadísticamente significativo, lo que coincide con el reporte de Sandoval *et al.* (2018), quienes observaron un mayor efecto protector del OS al formar el compósito QGR-OS.

Asimismo, se destaca un mayor efecto antifúngico del QGR (mediano peso molecular) en comparación con el QGC (bajo peso molecular), tanto utilizado solo, como en combinación con el OS. Se ha reportado que el efecto antimicrobiano del quitosano es dependiente de diferentes características físico-químicas, entre ellas el peso molecular (Rodríguez-Pedroso *et al.*, 2009). Los resultados anteriores concuerdan con los de Rodríguez *et al.* (2016), quienes demostraron que el quitosano de mediano peso molecular tiene mayor efecto sobre el crecimiento radial del hongo *Bipolaris oryzae*, agente causal del grano manchado en arroz (*Oryza sativa*).

Adicionalmente, es importante destacar que, aunque el QGR y la combinación de QGR-OS resultaron ser los mejores tratamientos, el QGC y el compósito QGC-OS también mostraron resultados favorables, lo que sugiere que ambos podrían ser los candidatos ideales para realizar un estudio a nivel comercial, ya que, además del efecto en la reducción de la severidad observado, el QGC disponible en México es 25 veces más económico que el QGR. Finalmente, es importante mencionar que los hongos aislados a partir de los frutos infectados correspondieron a *B. cinerea* y *R. stolonifer* lo cual coincide con los reportado por Feliziani y Romanazzi (2016).

Conclusiones

El presente estudio muestra que el QGC redujo la severidad de las infecciones en frutos de fresa en almacenamiento, ocasionadas por hongos patógenos (*B. cinerea* y *R. stolonifer*). También revela que la combinación de QGC-OS fue aún más efectiva en la protección de los frutos, que el QGC aplicado solo. Los resultados anteriores sugieren que tanto el QGC-OS como el QGC, podrían ser utilizados en un estudio comercial para determinar la capacidad del quitosano de mantener el control de las enfermedades fúngicas de fresa en poscosecha y con ello mejorar la calidad microbiológica de frutos para exportación.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo otorgado por la Universidad de La Ciénega del estado de Michoacán de Ocampo (UCEMICH), al proyecto: SA/PI/002/20/08/19, así como el apoyo técnico del Dr. Alberto Margarito García Munguía y del Ing. Roberto Zepeda Anaya.

Literatura citada

- Arceo-Martínez, M. T.; Jiménez-Mejía, R.; Salgado-Garciglia, R.; Santoyo, G.; López-Meza, J. E. and Loeza-Lara, P. D. 2019. *In vitro* and *in vivo* anti-fungal effect of chitosan on post-harvest strawberry pathogens. *Agrociencia*. 53(8):1297-1311. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1877/1874>.
- Barnett, H. L. and Hunter, B. B. 1998. *Illustrated genera of imperfect fungi*. 4th (Ed.). APS Press. Minnesota, USA. 240 p.
- Curl, C. L.; Spivak, M.; Phinney, R. and Montrose, L. 2020. Synthetic pesticides and health in vulnerable populations: agricultural workers. *Curr. Envir. Health Rpt.* 7(1):13-29. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00266-5>.
- De Oliveira, P. R.; Ribeiro, P. A.; Oliveira, O. N. and Berbeitas, M. P. 2020. Interaction of chitosan derivatives with cell membrane models in a biologically relevant medium. *Colloid. Surface. B.* 192:1-11. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2020.111048>.
- Feliziani, E. and Romanazzi, G. 2016. Postharvest decay of strawberry fruit: etiology, epidemiology, and disease management. *J. Berry Res.* 6(1):47-63. Doi: 10.3233/JBR-150113.
- Forbes-Hernández, T. Y.; Gasparrini, M.; Afrin, S.; Cianciosi, D.; González-Paramás, A. M.; Santos-Buelga, C.; Mezzetti, B.; Quiles, J. L.; Battino, M.; Giampieri, F. and Bompadre, S. 2017. Strawberry (*cv* Romina) methanolic extract and anthocyanin-enriched fraction improve lipid profile and antioxidant status in HepG2 cells. *Int. J. Mol. Sci.* 18(6):1149-1154. Doi: 10.3390/ijms18061149.
- Hassaan, M. A. and El Nembr, A. 2020. Pesticides pollution: Classification, human health impact, extraction and treatment techniques. *Egypt. J. Aquat. Res.* 46(3):207-209. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.08.007>.
- Hernández-Muñoz, P.; Almenar, E.; Del Valle, V.; Velez, D. and Gavara, R. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chem.* 110(2):428-435. Doi: 10.1016/j.foodchem.2008.02.020.
- Liu, J.; Tiang, S.; Meng, X. and Xu, Y. 2007. Effects of chitosan on control of postharvest diseases and physiological responses of tomato fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 44(3):300-306. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.019>.
- Liu, S.; Weibin, R.; Jing, L.; Hua, X.; Jingan, W.; Yubao, G. and Jingguo, W. 2008. Biological control of phytopathogenic fungi by fatty acids. *Mycopathology.* 166(2):93-102. Doi:10.1007/s11046-008-9124-1.
- Lizardi-Mendoza, J.; Argüelles, M. W. M. and Goycoolea, V. F. M. 2016. Chemical characteristics and functional properties of chitosan. In Bautista-Baños, S.; Romanazzi, G.; Jiménez-Aparicio, A. (Ed.). *Chitosan in the preservation of agricultural commodities*. Elsevier: Academic Press. 3-31 pp. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-802735-6.00001-X>.
- Lombardi, N.; Caira, S.; Troisel, A. D.; Scaloni, A.; Vitaglione, P.; Vinale, F.; Marra, R.; Salzano, A. M.; Lorito, M. and Woo, S. L. 2020. *Trichoderma* applications on strawberry plants modulate the physiological processes positively affecting fruit production and quality. *Font. Microbiol.* 11:1364. Doi: 10.3389/fmicb.2020.01364.
- Lopes, U. P.; Zambolim, L.; Pinho, D. B.; Barros, A. V.; Costa, H. and Pereira, O. L. 2014. Postharvest rot and mummification of strawberry fruits caused by *Neofusicoccum parvum* and *N. kwambonambiense* in Brazil. *Trop. Plant Pathol.* 39(2):178-183. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1982-56762014000200009>.

- Maas, J. 1998. Compendium of strawberry diseases. 2nd (Ed). APS Press. St. Paul, Minnesota, USA. 138 p.
- McKinney, H. H. 1923. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. J. Agric. Res. 26(5):195-218. <http://handle.nal.usda.gov/10113/IND43966679>.
- Mejdoub-Trabelsi, B.; Touihri, S.; Ammar, N.; Riahi, A. and Daami-Remadi, M. 2019. Effect of chitosan for the control of potato diseases caused by *Fusarium* species. J. Phytopatol. 168(1):18-27. Doi: 10.1111/jph.12847.
- Pohl, C. H.; Kock, L. F. J. and Thibane, V. S. 2011. Antifungal free fatty acids: a review. In: science against microbial pathogens: Communicating current research and technology advances. Méndez V. A. (Ed.). 61-71 pp.
- Rodríguez, P. A. T.; Jatomea, M. P.; Bautista, B. S.; Cortez, R. M. O. y Ramírez, A. M. A. 2016. Actividad antifúngica *in vitro* de quitosanos sobre *Bipolaris oryzae* patógeno del arroz. Acta Agron. 65(1):98-103. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169943143015>.
- Rodríguez-Pedroso, A. T.; Ramírez-Arrebató, M. A.; Rivero-González, D.; Bosquez-Molina, E.; Barrera-Necha, L. L. y Bautista-Baños, S. 2009. Propiedades químico-estructurales y actividad biológica de la quitosana en microorganismos fitopatógenos. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 15(3):307-317. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S1027-152X2009000500012>.
- Rodríguez-Romero, V. M.; Villanueva-Arce, R.; Trejo-Raya, A. B. and Bautista-Baños, S. 2019. Chitosan and *Pseudomonas fluorescens* extracts for *Alternaria alternata* control in tomato (*Solanum lycopersicum*). Mex. J. Phytopathol. 37(2):202-219. Doi: 10.18781/R.MEX.FIT.1812-2.
- Romanazzi, G.; Feliziani, E.; Baños, B.S. and Sivakumar, D. 2017. Shelf-life extension of fresh fruit and vegetables by chitosan treatment. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 57(3):579-601. Doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.900474>.
- Romanazzi, G.; Feliziani, E.; Satini, M. and Landi, L. 2013. Effectiveness of postharvest treatment with chitosan and others resistance inducers in the control of storage decay of strawberry. Post. Biol. Tech. 75:24-27. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.07.007>.
- Ryabushkina, N. A. 2005. Synergism of metabolite action in plant responses to stresses. Russ. J. Plant Physiol. 52:547-552. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11183-005-0081-y>.
- Sandoval, F. M. G.; Jiménez, M. R.; Santoyo, G.; Alva, M. P. N.; López, M. J. E. and Loeza, L. P. D. 2018. Chitosan-fatty acids composite reduce *Botrytis cinerea* infection on post-harvest strawberry. Nova Scientia. 10(21): 207-227. doi.org/10.21640/ns.v10i21.1599.
- Verlee, A.; Mincke, S. and Stevens, C.V. 2017. Recent developments in antibacterial and antifungal chitosan and its derivatives. Carbohydr. Polym. 164:268-283. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.02.001>.
- Yoon, B. K.; Jackman, J. A.; Valle-González, E. R. and Nam-Joon, Ch. 2018. Antibacterial free fatty acids and monoglycerides: biological activities, experimental testing, and therapeutic applications. Int. J. Mol. Sci. 19(4):1114.10.3390/ijms19041114.