

Evaluación de la sensibilidad de *Fusarium* sp. aislado de lechuga (*Lactuca sativa*) a fungicidas químicos y extractos vegetales

Evaluation of the sensitivity of *Fusarium* sp. isolated of lettuce (*Lactuca sativa*) to chemical fungicides and plant extracts

Antonio de Jesús Aparicio Muñiz¹, Pedro Emmanuel Franco Medel¹, Diana Sanzón Gómez¹

¹ Departamento de Agronomía, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. Carretera Irapuato-Silao Km 9 ap 311. Irapuato, Gto.
adj.apariciomuniz@ugto.mx, pe.francomedel@ugto.mx, diana.sanzon@ugto.mx

Resumen

Fusarium es un género de hongos fitopatógenos que afectan la producción de cultivos hortícolas como la lechuga. En la actualidad no se cuenta con un producto fungicida autorizado para el manejo de este fitopatógeno. Este estudio evaluó el efecto inhibitorio de fungicidas químicos (procloraz y fluazinam) y un extracto vegetal (*Larrea tridentata*) sobre el crecimiento micelial de *Fusarium* sp. *in vitro*. A partir de lechugas con síntomas de marchitez se aisló, purificó e identificó morfológicamente una cepa de *Fusarium*. Posteriormente se realizó una prueba de sensibilidad en medio PDA acidificado aplicando cuatro concentraciones por fungicida químico y extracto vegetal. Procloraz presentó un 100% de inhibición en todas las concentraciones (1, 5, 10 y 100 ppm), mientras que las concentraciones de 5, 10 y 100 ppm de fluazinam fueron estadísticamente iguales con un rango de inhibición de 62.10 a 65.75%. El extracto de *L. tridentata* a concentraciones de 10 y 100 ppm no lograron un efecto inhibitorio del hongo y las concentraciones de 500 y 1000 ppm lograron inhibir el crecimiento en 40.64 y 58.45% respectivamente. Los resultados sugieren que la combinación de estrategias químicas y botánicas pueden reforzar el manejo integrado de *Fusarium* sp. en sistemas agrícolas sostenibles.

Palabras clave: *Fusarium*, procloraz, fluazinam, *Larrea tridentata*.

Introducción

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es la hortaliza de hoja más consumida a nivel mundial y tienen un alto contenido nutricional al aportar a la dieta diaria minerales, vitaminas, moléculas bioactivas como los compuestos fenólicos, clorofila, y carotenoides entre otros (Shi *et al.*, 2022). La producción de lechuga a nivel nacional durante el ciclo agrícola 2023 fue de 552,940 t y en este ciclo los estados con la mayor producción fueron Guanajuato, Zacatecas y Puebla con 151,245, 100,410 y 75,052 t, respectivamente (Sistema de Información Agronómica y Pesquera [SIAP], 2025).

En los últimos años la producción de lechuga ha sido afectada por la presencia de enfermedades inducidas por hongos y oomicetos, como la marchitez (*Fusarium* spp.), pudrición del cuello (*Sclerotinia* spp.), moho gris (*Botrytis cinerea*) y mildiu veloso (*Bremia lactucae*), entre otras, las cuales pueden llegar a causar la muerte de las plántulas, además de la reducción del rendimiento en el campo (Subbarao & Koike, 2007; Velásquez-Valle & Reveles-Torres, 2017; Tör *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2025).

Como medida de control de enfermedades en los cultivos, los agricultores utilizan principalmente fungicidas químicos, pero su excesiva aplicación ha promovido la resistencia de patógenos, aunado a que generan residuos tóxicos en alimentos y en el medio ambiente que pone en riesgo la salud humana. En la actualidad, la agricultura busca alternativas no contaminantes para el control de enfermedades, con la finalidad de producir alimentos inocuos y de alta calidad evitando el deterioro del ambiente.

Actualmente no se cuenta con un producto específico para el manejo de *Fusarium* en lechuga. Ortiz-Martínez *et al.* (2022) evaluaron distintos fungicidas para determinar su sensibilidad en *Fusarium* sp. agente causal de la marchitez vascular en cítricos, donde procloraz presentó un 92% de inhibición bajo condiciones *in vitro*. Otro fungicida el fluazinam, presentó una actividad inhibitoria del crecimiento de micelio y la germinación de conidios en *F. fujikuroi* y *F. graminearum* (Qu *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2022). El extracto vegetal de *Larrea tridentata* ha sido evaluado bajo condiciones de invernadero para el manejo de *F. oxysporum* radicis-

lycopersici en el cultivo de jitomate que mostró un menor índice de severidad y un desarrollo de plantas mayor al fungicida comercial probado (Peñuelas-Rubio *et al.*, 2017). El uso de extractos vegetales con propiedades antimicrobianas pueden ser una buena alternativa para el control de enfermedades utilizándolo dentro de un manejo integrado de plagas y enfermedades (López-Benítez *et al.*, 2005). El objetivo de este estudio fue evaluar la sensibilidad *in vitro* de *Fusarium* sp. de lechuga a fungicidas químicos, biológicos y extractos vegetales.

Materiales y métodos

Material vegetal

Las muestras de lechuga con síntomas de marchitez vascular fueron recolectadas en el municipio de San Diego de la Unión, en el norte de Guanajuato (ubicación 101° 51' 31" longitud oeste y 21° 01' 07" latitud norte, y 1752 msnm), y trasladadas al laboratorio de Fitopatología de la División de Ciencias de la Vida (DICIVA) del Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato.

Aislamiento del hongo

De las plantas colectadas se hicieron cortes de tejido de raíz con lesiones de 0.5 cm de largo. El tejido se desinfectó con hipoclorito de sodio al 1% por 30 s y se enjuago con agua destilada estéril hasta eliminar los residuos de hipoclorito. El tejido vegetal se sembró en forma de cinco de oros en cajas Petri con medio de cultivo Papa-Dextrosa-Agar (PDA, BD Bioxon®, 39 g/L agua), ajustando el pH a 5.0 con ácido tartárico. Las cajas se incubaron a una temperatura de 25 °C.

Purificación del hongo

De las cajas Petri con crecimiento micelial, se tomó micelio con ayuda de una aguja de disección y se colocó en cajas de Petri con medio agar-agar (Merck®, 14 g/L agua). Al día siguiente, mediante la técnica de punta de hifa se obtuvieron los cultivos puros del hongo en medio PDA acidificado y se incubaron a 25 °C hasta verificar el crecimiento de micelio,

Identificación morfológica de *Fusarium* sp.

Al momento de la identificación, los cultivos contaban con 10 días después de la siembra. Se observaron las características morfológicas del hongo en las cajas Petri y mediante preparaciones temporales con asistencia de un microscopio se describieron las hifas vegetativas y reproductivas, así como los conidios y se compararon con las claves taxonómicas descritas por Barnett y Hunter (1998).

Pruebas de sensibilidad *in vitro*

Para la evaluación de los tratamientos se preparó medio PDA acidificado. En el proceso de enfriamiento del PDA se colocaron las dosis de cada tratamiento para posteriormente vaciar en las cajas Petri. Una vez que se solidificó el medio se almacenaron las cajas hasta su uso. Posteriormente, en el centro de cada caja se colocó un círculo de 6 mm de diámetro con micelio de *Fusarium* en crecimiento activo (23 días de edad) y se incubaron a 25 °C durante 14 días. Los tratamientos evaluados, incluyendo al testigo se observan en la Tabla 1.

Variables evaluadas

Para la evaluación de la inhibición se midió el diámetro del crecimiento con ayuda de un vernier, cada 24 h durante 14 días. El porcentaje de inhibición se calculó con la fórmula de Abbott (Moo-Koh *et al.*, 2014):

$$\% \text{ de inhibición} = \frac{\text{diámetro micelial del testigo (cm)} - \text{diámetro micelial del tratamiento (cm)}}{\text{diámetro micelial del testigo (cm)}} \times 100$$

Tabla 1. Fungicidas químicos y extracto vegetal evaluados in vitro para el control de *Fusarium* sp.

Ingrediente activo	Concentración (ppm)	Clave del tratamiento
procloraz	1	P1
	5	P5
	10	P10
	100	P100
fluazinam	1	F1
	5	F5
	10	F10
	100	F100
<i>Larrea tridentata</i>	10	L10
	100	L100
	500	L500
	1000	L1000
Testigo	No aplica	TE

Diseño experimental y análisis estadístico

Los datos fueron analizados como un diseño completamente al azar con cinco repeticiones por tratamiento. Se realizó una prueba de comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$), con el paquete estadístico InfoStat versión 2020.

Resultados y discusión

Identificación morfológica de *Fusarium*

El micelio de *Fusarium* sp. presentó, por la parte superior, una consistencia algodonosa y una coloración blanca en el centro, seguida de un tono rojo-vino y en la periferia un color salmón. Por la parte inferior se observó un color rojo-vino en la parte central que se fue aclarando en la periferia con los bordes irregulares (Figuras 1 y 2). Estas características coinciden con lo reportado por Mariscal-Amaro *et al.* (2017), quienes mencionan que *Fusarium* spp. en medio PDA produce micelio de tonalidad blanco, rosa, salmón y violeta. Márquez-Fernández *et al.* (2020) mencionan que los pigmentos del tipo xantona y antraquinona inducen las coloraciones rojo-vino del género *Fusarium*, también señalan un micelio algodonoso esparcido por todo el medio de cultivo. Juárez-García *et al.*, (2020) describen colonias rosadas de *F. oxysporum*, las cuales con la edad cambian a una tonalidad violeta.



Figura 1. Micelio de *Fusarium* sp., vista superior.



Figura 2. Micelio de *Fusarium* sp., vista inferior.

En las preparaciones temporales se identificaron hifas septadas, delgadas y hialinas; microconidios unicelulares, ovalados y curvos; macroconidios alargados y curvos, y pluricelulares con cuatro a siete células (Figura 3). Estas características coinciden con las mencionadas por Barnett y Hunter (1998) para especies del género *Fusarium*.

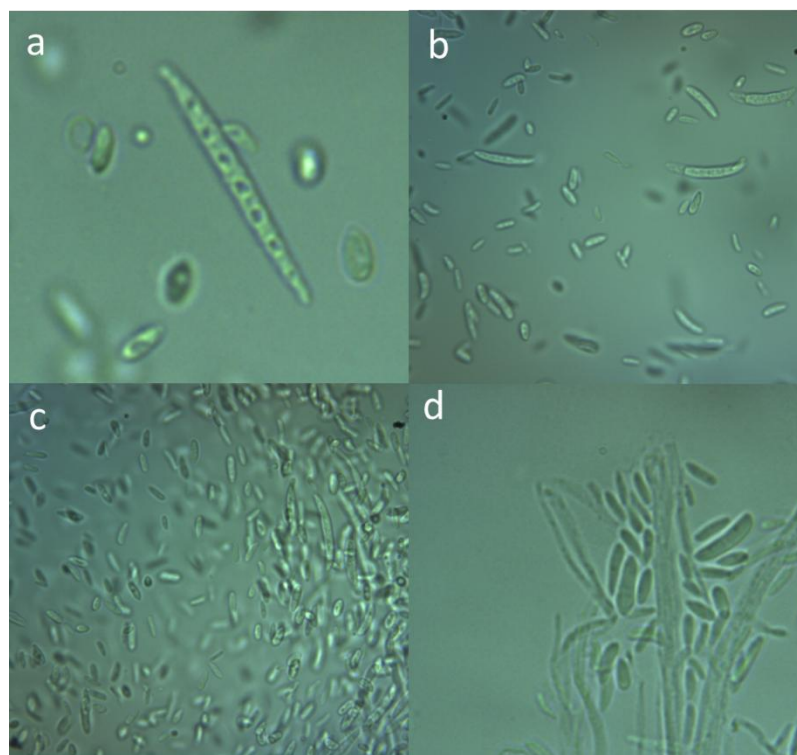


Figura 3. a) Macroconidios con pluricelulares, b) y c) micro y macroconidios, d) hifas y conidios.

Porcentaje de inhibición del crecimiento de micelio

En la Tabla 2 se presenta el porcentaje de inhibición del crecimiento del micelio de *Fusarium* sp. cada dos días después de la siembra (dds). Todas las concentraciones probadas de procloraz (P1, P5, P10, P100) mostraron una inhibición del 100% durante 14 días y fueron estadísticamente diferentes al resto de los tratamientos. En cuanto a fluazinam, F100 de los 4 a 12 dds mostró un mayor porcentaje de inhibición con respecto a F5 y F10, pero para la última evaluación a los 14 dds, los tres tratamientos fueron estadísticamente iguales con un rango de inhibición de 62.10 a 65.75%. El tratamiento F1 presentó una inhibición inferior al resto de las concentraciones de este fungicida en la mayoría de los días evaluados. El extracto de *L. tridentata* en las concentraciones L10 y L100 no inhibió el crecimiento de *Fusarium* sp. El tratamiento L1000 mostró un mayor porcentaje de inhibición con respecto a L500 y fue estadísticamente igual a los 14 dds a F10. Del total de tratamientos los que sobresalieron fueron los de procloraz, seguidos en orden descendente por los de F100, L1000, F10, F5, F1 y L500.

Los resultados muestran que procloraz a una concentración de 1 ppm inhibió el crecimiento de micelio de *Fusarium* aislado de lechuga, siendo una alternativa para el manejo integrado de este fitopatógeno. Caamal-Eb et al. (2024) menciona que para *F. solani* aislado a partir de cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) la concentración mínima inhibitoria y la concentración letal mínima de este fungicida fue de 2.44 ppm previniendo la germinación de conidios y el crecimiento del micelio. Esta concentración fue muy cercana a 1 ppm evaluada en este estudio. En otra investigación se menciona que la concentración efectiva media de procloraz en *F. graminearum* fue de 0.066 mg/L, un valor menor al reportado en este estudio (Dongfang et al., 2017). Esto sugiere probar concentraciones menores a 1 ppm para el hongo aislado de lechuga.

Por otro lado, Fluazinam en concentraciones de 5 y 10 ppm mostró a los 14 días una inhibición promedio de 62.3%. Degani y colaboradores (2022), reportaron que concentraciones de fluazinam de 1, 10 y 100 ppm tuvieron en promedio una inhibición del 67% del crecimiento de micelio de cepas de *F. acutatum* y *F. oxysporum* f sp. *cepae* a los 6 dds, coincidiendo con lo reportado en este estudio.

Tabla 2. Porcentaje de inhibición del crecimiento de micelio de *Fusarium* sp. in vitro con fungicidas químicos y extracto vegetal.

Tratamiento	% inhibición						
	Días después de siembra (dds) de micelio						
	2	4	6	8	10	12	14
P100 ^a	100 a*	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
P10	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
P5	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
P1	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
F100	35.19 b	54.35 b	56.20 bc	62.16 b	63.59 b	66.50 b	65.75 b
F10	33.34 bc	50.00 c	53.72 cd	58.11 cd	58.38 c	61.58 c	62.10 bc
F5	29.63 cd	50.00 c	51.24 de	56.08 d	58.38 c	62.56 c	62.56 b
F1	25.93 d	44.56 d	48.76 ef	50.00 e	53.18 d	55.17 d	55.71 d
L1000	35.19 b	55.43 b	59.51 b	60.81 bc	61.85 bc	60.59 c	58.45 cd
L500	31.49 bc	45.65 d	44.63 f	45.95 f	40.47 e	41.38 e	40.64 e
L100	0.00 e	0.00 e	0.00 g	0.00 g	0.00 f	0.00 f	0.00 f
L10	0.00 e	0.00 e	0.00 g	0.00 g	0.00 f	0.00 f	0.00 f

P= procloraz, F= fluazinam, L= *Larrea tridentata*, ^a concentración en ppm del ingrediente activo. * Valores con distinta letra en cada columna indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

El tratamiento de 1000 ppm del extracto de *L. tridentata* a los 8 dds alcanzó un 60.81% de inhibición en el crecimiento del micelio de *Fusarium* sp. Este porcentaje se mantuvo hasta los 14 dds. Peñuelas-Rubio *et al.* (2017) mencionan que concentraciones de 500 a 2000 ppm de extracto de *L. tridentata* con diferentes disolventes usados presentaron porcentajes de inhibición de 94 a 98% sobre *F. oxysporum radialis-lycopersici*, mostrando que las condiciones de extracción y disolventes, entre otras, pueden afectar su efectividad.

Conclusiones

Las características del micelio y estructuras microscópicas de las hifas y conidios aislados a partir de lechugas con síntomas de marchitez vascular coinciden con las reportadas para especies del género *Fusarium*. Procloraz mostró en mejor efecto inhibitorio del crecimiento del micelio en condiciones *in vitro* a bajas concentraciones. Las concentraciones evaluadas de fluazinam y *L. tridentata* inhibieron parcialmente el micelio de *Fusarium* sp.

Referencias

- Barnett, H. L. & Hunter, B. B. (1998). Illustrated Genera of Imperfect Fungi. APS Press.
- Caamal-Eb, L., Cristóbal-Alejo, J., Tun-Suárez, J. M., Reyes-Ramírez, A., Uc-Vázquez, A., & García-Díaz, S. E. (2024). *Fusarium solani* asociado a *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* y su sensibilidad a fungicidas convencionales. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 42, 27. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2405-5>
- Degani, O., Dimant, E., Gordani, A., Graph, S., & Margalit, E. (2022). Prevention and control of *Fusarium* spp., the causal agents of onion (*Allium cepa*) basal rot. *Horticulturae*, 8, 1071. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111071>
- Dongfang, M., Shi, H., Peng, Z., Cai, Z., Wendi, H., Guangjun, L., Changqing, Z., & Zhengwu, F. (2017). Sensitivity of *Fusarium graminearum* to carbendazim y procloraz. *Plant Diseases and Pests*, 8, 21-23. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20173124763>
- Fungicide Resistance Action Committee (FRAC). (2024). FRAC Code List©* 2024: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action. <https://www.frac.info/fungicide-resistance-management/#open-tour>
- Juárez-García, R. A., Sanzón-Gómez, D., Ramírez-Santoyo, L. F., Ruíz-Nieto, J. E., & Hernández-Ruiz, J. (2020). Inhibición del crecimiento in vitro de *Fusarium oxysporum* Schtdl., con extractos de Argemone ochroleuca Sweet (Papaveraceae). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 6, 1-8. <https://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/123/45>
- Li, N., Geiser, D. M., Steenwyk, J. L., Tsuchida, C., Koike, S., Slinski, S., & Martin, F. N. (2025). A systematic approach for identifying unique genomic sequences for *Fusarium oxysporum* f. sp. lactucae race 1 and development of molecular diagnostic tools. *Phytopathology*, 115, 2. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-24-0142-R>
- López-Benítez, A., López-Betancourt, S. R., Vázquez-Badillo, M. E., Rodríguez-Herrera, S. A., Mendoza-Elos, M., & Padrón-Corral, E. (2005). Inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* Schlechtend. f. sp. lycopersici (Sacc.) Snyder y Hansen, *Rhizoctonia solani* Kühn y *Verticillium dahliae* Kleb. mediante vegetales acuosos. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 23(2), 183-190.
- Mariscal-Amaro, L. A., Rivera-Yerena, A., Dávalos-González, P. A., & Ávila-Martínez, D. (2017). Situación actual de hongos asociados a la secadera de la fresa (*Fragaria×ananassa* Duch.) en Guanajuato, México. *Agrociencia*, 51, 673-681. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1319/1319>
- Márquez-Fernández, O., Medel-Ortiz, R., Naara, P. E., & Emilia, B. M. (2020). Identificación de dos cepas de *Fusarium* productoras de pigmentos aisladas de Bemisia sp. (Hemiptera). *Scientia Fungorum*, 50, 1-7. <https://doi.org/10.33885/sf.2020.50.1262>
- Moo-Koh, F. A., Cristóbal-Alejo, J., Reyes-Ramírez, A., Tun-Suárez, J. M., Sandoval-Luna, R., & Ramírez-Pool, J. A. (2014). Actividad in vitro del extracto acuoso de Bonellia flammea contra hongos fitopatógenos. *Agrociencia*, 48, 833-845. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1123/1123>

- Morales-Ubaldo, A. L., Rivero-Perez, N., Valladares-Carranza, B., Madariaga-Navarrete, A., Higuera-Piedrahita, R. I., Delgadillo-Ruiz, L., Bañuelos-Valenzuela, R., & Zaragoza-Bastida, A. (2022). Phytochemical compounds and pharmacological properties of *Larrea tridentata*. *Molecules*, 27, 5393. <https://doi.org/10.3390/molecules2717539>
- Ortiz-Martínez, L. E., Robles-Yerena, L., Leyva-Mir, S. G., Camacho-Tapia, M., & Juárez-Rodríguez, L. (2022). *Fusarium* sp., causal agent of vascular wilt in citrus and its sensitivity to fungicides. *Revista mexicana de Fitopatología*, 40, 1-17. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2106-3>
- Peñuelas-Rubio, O., Arellano-Gil, M., Verdugo-Fuentes, A. A., Chaparro-Encinas, L. A., Hernández-Rodríguez, S. E., Martínez-Carrillo, J. L., & Vargas-Arispuro, I. C. (2017). Extractos de *Larrea tridentata* como una estrategia ecológica contra *Fusarium oxysporum* radicle-lycopersici en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35, 360-376. DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.1703-3
- Qu, X. P., Li, J. S., Wang, J. X., Wu, L. Y., Wang, Y. F., Chen, C. J., Zhou, M. G., & Hou, Y. P. (2018). Effects of the dinitroaniline fungicide fluazinam on *Fusarium fujikuroi* and rice. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 152, 98-105. doi: 10.1016/j.pestbp.2018.09.010
- Shi, M., Gu, J., Wu, H., Rauf, A., Emran, T. B., Khan, Z., Mitra, S., Aljohani, A. S. M., Alhumaydhi, F. A., Al-Awthan, Y. S., Bahattab, O., Thiruvengadam, M., & Suleria, H. A. R. (2022). Phytochemicals, nutrition, metabolism, bioavailability, and health benefits in lettuce-a comprehensive review. *Antioxidants*, 11, 1158. <https://doi.org/10.3390/antiox11061158>
- Sistema de Información Agronómica y Pesquera (SIAP). (2025, 18 de febrero). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Subbarao, K. V., & Koike, S. T. (2007). Lettuce diseases: ecology and control. En D. Pimentel (Ed.). *Encyclopedia of Pest Management Volume II* (pp.313-318). CRC Press.
- Tör, M., Wood, T., Webb, A., Göll, D., & McDowell, J. M. (2023). Recent developments in plant-downy mildew interactions. *Seminars in Cell and Developmental Biology*, 148-149, 42-50. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2023.01.010>
- Velásquez-Valle, R., & Reveles-Torres, L. R. (2017). El moho blanco de la lechuga causado por *Sclerotinia* en Zacatecas. Folleto Técnico Núm. 86. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC – INIFAP.
- Wu, L., Wu, Z., Zhao, F., Hahn, M., Zhou, M., & Hou, Y. (2022). Activity and cell toxicology of fluazinam on *Fusarium graminearum*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 188, 105253. doi: 10.1016/j.pestbp.2022.105253