

**Artículo científico
(Original paper)**
**EFFECTOS SUBLETALES EN EL DESARROLLO DE *PLUTELLA XYLOSTELLA*
(LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) ASOCIADOS A LA RESISTENCIA A FIPRONIL**
**SUBLETHAL EFFECTS IN THE DEVELOPMENT OF *PLUTELLA XYLOSTELLA*
(LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) ASSOCIATED WITH RESISTANCE TO FIPRONIL**

JOSÉ FRANCISCO RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ¹, ERNESTO CERNA-CHÁVEZ^{2*}, YISA MARÍA OCHOA-FUENTES², MARIANA BELTRÁN-BEACHE³, JERÓNIMO LANDEROS-FLORES², LUIS PATRICIO GUEVARA-ACEVEDO⁴

¹Estudiante de Doctorado en Ciencias en Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonia Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, C.P. 25315. <francisco_azul@live.com.mx>

²Universidad Autónoma Agraria Antonia Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, C.P. 25315. <jabaly1@yahoo.com>; <yisa8a@yahoo.com>; <jlanflo@hotmail.com>

3Culta S.A. de C.V. Blvd. Luis Echeverría Álvarez No. 1700, Col. Altavista, CD. Mante, Tamaulipas, México, C.P. 89880. <beltramariana89@gmail.com>

⁴Instituto Tecnológico de Roque, Km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, Celaya; Guanajuato, México, Apartado Postal 508, C.P. 38110. <lpguevara@itroque.edu.mx>

*Autor corresponsal: <jabaly1@yahoo.com>

Recibido: 25/06/2019; aceptado: 26/02/2020; publicado en línea: 27/03/2020

Editor responsable: Trevor Williams

Rodríguez-Rodríguez, J. F., Cerna-Chávez, E., Ochoa-Fuentes, Y. M., Beltrán-Beache, M., Landeros-Flores, J., Guevara-Acevedo, L. P. (2020) Efectos subletales en el desarrollo de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) asociados a la resistencia a fipronil. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 36, 1–10.

<https://doi.org/10.21829/azm.2020.3612214>

RESUMEN. *Plutella xylostella* (L.) es la principal plaga de los cultivos de la familia Brassicaceae generando grandes pérdidas económicas. Su control se basa principalmente en la aplicación de insecticidas de químicos, el uso excesivo de estos plaguicidas ha ayudado al desarrollo de resistencia hacia estos ingredientes activos. La implementación de dosis subletales de insecticidas afecta la fisiología y comportamiento de los insectos. Se determinó las concentraciones letales (CL_{20} y CL_{50}) de fipronil sobre una línea resistente y una línea susceptible a este compuesto y posteriormente estas se aplicaron a larvas de tercer instar para evaluar el porcentaje de pupación, peso de pupas, emergencia de adultos en dos generaciones (progenitores y descendientes), así como los tiempos de desarrollo de cada estadio de *P. xylostella*. Se observó un efecto importante en la aplicación de CL_{20} de fipronil al verse alargado el tiempo de desarrollo por más de tres días y una disminución de la fecundidad en más de un 20% en la línea resistente a fipronil, lo que puede ser un factor importante para el manejo y control de esta plaga cuando se presenten problemas de resistencia a fipronil.

Palabras clave: *Plutella xylostella*; resistencia; fipronil; efectos subletales



CC-BY-NC-SA

Reconocimiento –noComercial-CompartirIgual

Rodríguez-Rodríguez, J. F., Cerna-Chávez, E., Ochoa-Fuentes, Y. M., Beltrán-Beache, M., Landeros-Flores, J., Guevara-Acevedo, L. P. (2020) Sublethal effects in the development of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) associated with resistance to fipronil. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 36, 1–10.
<https://doi.org/10.21829/azm.2020.3612214>

ABSTRACT. *Plutella xylostella* (L.) is the main pest of Brassicaceae crops, in which it can generate considerable economic losses. Its control is based mainly on the application of chemical insecticides, but the excessive use of these pesticides has contributed to the development of resistance towards these active ingredients. Sublethal doses of insecticides can affect the physiology and behavior of insects. Lethal concentrations (LC_{20} and LC_{50}) of fipronil were determined on a resistant line and a susceptible line of insects and later these concentrations were applied to third instar larvae to evaluate the percentage of pupation, weight of pupae, emergence of adults in two generations (progenitors and descendants) as well as the development times of each stage of *P. xylostella*. Following the application of an LC_{20} of fipronil, the development time was extended for more than 3 days and the fecundity decreased by more than 20% in the line resistant to fipronil. This can be an important factor for the management and control of this pest when there are problems of resistance to fipronil.

Key words: *Plutella xylostella*; resistance; fipronil; sublethal effects

INTRODUCCIÓN

El Estado de Guanajuato es el principal productor de brócoli (*Brassica oleracea* var. Itálica L.) en México, con una producción de 364,658.01 ton, lo que significa un ingreso para los productores del estado de 2,084,816.33 de pesos (SIAP, 2019). La mayor parte de la producción es para exportación, el 97.5% de exportaciones de este vegetal son adquiridas por Estados Unidos, seguido de Canadá y países europeos como Reino Unido, Alemania, Francia, Países Bajos y Bélgica (SIAP, 2018). La Palomilla de dorso diamante (PDD), *Plutella xylostella* (L.), es la plaga más importante en cultivos de la familia Brassicaceae (Fathi *et al.*, 2011; Zalucki *et al.*, 2012). El manejo de PDD se basa principalmente en el uso de insecticidas de síntesis química de amplio espectro (Tabone *et al.*, 2012). La mayoría de los insecticidas existentes son perjudiciales para el medio ambiente y se han observado múltiples efectos secundarios en artrópodos benéficos (Biondi *et al.*, 2012; Lu *et al.*, 2012). Además, debido al uso excesivo de plaguicidas comerciales y las aplicaciones inadecuadas (Sun *et al.*, 2012), la PPD ha desarrollado resistencia a al menos 95 diferentes ingredientes activos, entre los que destacan la cipermetrina, abamectina, indoxacarb, spinosad, permetrina, fipronil y productos elaborados a base de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (APRD, 2019). Los plaguicidas, dependiendo de la forma de aplicación y dosis utilizadas, presentan efectos letales y subletales sobre los insectos (Mahmoudvand *et al.*, 2011a). La toxicología demográfica es una técnica ecotoxicológica que integra los parámetros de la tabla de vida en función a las dosis aplicadas (letales o subletales), las poblaciones expuestas a diversas dosis de un tóxico se comparan con poblaciones no expuestas a este mismo tóxico (Mahmoudvand *et al.*, 2011b). Las dosis subletales llegan a afectar la fisiología y el comportamiento de los insectos (Haynes, 1988), lo cual puede influir en el tiempo de desarrollo (Wang *et al.*, 2008), peso de larvas, pupas y adultos (Yin *et al.*, 2008), longevidad del adulto (Ergin *et al.*, 2007), incubabilidad (Alyokhin *et al.*, 2008), fecundidad (Wang *et al.*, 2009), tamaño del huevo (Yin *et al.*, 2008) y parámetros de reproducción, tales como la tasa reproductiva neta (R_0), tasa de aumento intrínseca (r_m), tasa de aumento finita (k), tiempo de generación (T), tiempo de duplicación (D_t) (Ahmad *et al.*, 2012) y la proporción de sexos (Delpuech & Meyet, 2003). Los efectos subletales son considerados factores que intervienen en el desarrollo de la resistencia, por lo que una mejor comprensión de estos puede ser importante para diseñar estrategias efectivas de manejo de la resistencia a insecticidas (Tabashnik *et al.*, 2008). El objetivo de esta investigación fue caracterizar los efectos subletales en la fase de huevo, estadios larvales, el tiempo de



desarrollo, supervivencia, ovoposición y la longevidad del adulto en una población resistente de *P. xylostella* a fipronil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Insectos. La línea de campo se colectó en parcelas comerciales ubicadas en el municipio de Celaya en el Estado de Guanajuato y fue criado en condiciones de laboratorio manteniéndolas bajo presión de selección con el insecticida fipronil durante diez generaciones (G_{10}), para incrementar el nivel de resistencia. Utilizando plantas de brócoli de 50 días de edad, la alimentación de los adultos consistió en una solución azucarada al 15%, esto para asegurar el apareamiento y la ovoposición. Todas las etapas de desarrollo de la PDD se mantuvieron en condiciones controladas de $27\pm1^{\circ}\text{C}$, $80\pm10\%$ HR, 16:8 h L:O. Como línea susceptible se utilizaron insectos proporcionados por Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria (INIFAP), sin haberse sometido a un proceso de presión de selección con insecticidas desde 1996.

Bioensayos. Se evaluó el insecticida fipronil a seis concentraciones y un testigo absoluto que consistió en agua más adherente, la prueba de efectividad biológica se realizó mediante el método de inmersión de hojas (IRAC, 2019). Se recortaron discos de hojas de *B. oleracea* var. Itálica de 6 cm de diámetro y se sumergieron durante 10 s en las diferentes concentraciones evaluadas y fueron preparadas con agua destilada que contenía 1 mL L⁻¹ de adherente. Las hojas se dejaron secar durante 1 hora y luego se colocaron de forma individual en cajas Petri revestidas con papel absorbente humedecido con agua. Se transfirieron un total de 10 larvas de tercer instar por cada disco de hoja y se realizaron cuatro repeticiones por concentración. La mortalidad se evaluó 24 h después del inicio del experimento; las larvas que no reaccionaron cuando fueron estimulados con un pincel en la parte dorsal se registraron como muertas. Esta actividad se repitió hasta la décima generación fue donde ya no hubo diferencias en la respuesta al insecticida.

Efectos de la resistencia a fipronil en el desarrollo de *Plutella xylostella*. Una vez que la población de campo de *P. xylostella* alcanzó resistencia en la G_{10} en base a presión de selección de fipronil, 10 larvas de tercer instar se colocaron en disco de hoja tratado con la CL₂₀ de la G_{10} (progenitores), utilizando un diseño experimental completamente al azar 10 repeticiones por cada tratamiento. Cada hoja con 10 larvas de tercer instar se consideró como unidad experimental. Se dejaron las larvas a alimentar por 24 h y posteriormente se cambió la hoja por otra no tratada y se observaron las larvas hasta transformarse en pupas y la emergencia de adultos. Una vez emergidos, los adultos se sexaron y se formaron 10 parejas, las cuales se colocaron en cajas Petri provistas de papel absorbente humedecido con agua potable y una hoja de *B. oleracea* var. Itálica y se dejaron que copularan y ovipositaran hasta que la última hembra murió. Diariamente se tomó el registro de los huevos ovipositados por hembra por día, los adultos fueron alimentados con agua azucarada al 15%, para asegurar su apareamiento y la oviposición. Se colectaron 100 huevos al azar de las parejas formadas y se colocaron sobre discos de hojas de brócoli en cajas Petri revestidas con papel absorbente humedecido con agua potable, realizado mediante un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones. Cada unidad experimental consistió en un disco de hoja de brócoli con 10 huevos. Se registró la duración del desarrollo en cada una de las etapas larvales, así como de pupa y de adulto de ambos sexos. En la etapa de pupa, se seleccionaron 10 pupas al azar de dos días de edad y se pesaron. En los adultos emergidos se evaluaron los efectos subletales, como proporción sexual, longevidad del adulto (hembra y macho) y fecundidad. Durante la fase experimental los insectos se mantuvieron en condiciones ambientales controladas de $27\pm1^{\circ}\text{C}$, $80\pm10\%$ HR, 16:8 h L:O.

Análisis de resultados. Los datos de mortalidad obtenidos en los bioensayos fueron corregidos con la fórmula de Abbott (1925) y los resultados se sometieron a un análisis probit (Finney, 1971) para obtener la curva de concentración-mortalidad, utilizando el programa SAS System for Windows ver 9.0 (SAS, 2002). Con los valores obtenidos en las variables de desarrollo se realizó un análisis de varianza (ANVA), cuando

este indicó diferencia significativa entre los tratamientos se aplicó la prueba de Tukey ($\alpha<0.05$), para la separación de las medias. Todos los análisis fueron realizados con el programa R, versión 3.3.1.

RESULTADOS

Los valores de CL_{50} y CL_{20} de la línea susceptible (LS), la línea de campo sin presión de selección, o generación inicial G_1 (LC) y la línea de campo con presión de selección G_{10} o resistente (LR) de *P. xylostella* se muestra en el Cuadro 1. Para la LS se estimó una CL_{50} de 0.092 partes por millón (ppm) y una CL_{20} de 0.028 ppm, la línea de campo generación inicial presentó una CL_{50} de 0.482 ppm y una CL_{20} de 0.095 ppm. Despues de haber aplicado un proceso de selección durante diez generaciones se obtuvo una CL_{50} de 3.024 ppm y una CL_{20} de 0.865 ppm. El factor de resistencia fue 32.86 veces mayor en comparación a la LS.

Cuadro 1. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción para el insecticida fipronil aplicado a diferentes poblaciones de *Plutella xylostella*.

Línea	CL_{50} (ppm)	LFI -LFS (95%)	CL_{20} (ppm)	Ecuación	P.R.
Línea susceptible (LS)	0.092	0.030 - 0.211	0.028	$y=0.1337+0.1018x$	-
Generación inicial (LC)	0.482	0.383 - 0.615	0.095	$y=0.3786+1.1954x$	5.23
Línea Resistente G_{10} (LR)	3.024	0.903 - 8.767	0.865	$y=-0.7445+1.5488x$	32.86

CL=Concentración letal; LFI=Límite Fiducial Inferior; LFS=Límite Fiducial Superior (95%); P.R.= Proporción de resistencia; ppm=partes por millón.

Los porcentajes de pupas, pesos de pupa, porcentajes de adultos emergidos y proporción sexual tanto para progenitores como descendientes de la LS y la línea de campo LR expuestas a una concentración subletal (CL_{20}) y sin exposición se muestran en el Cuadro 2. De acuerdo con el ANVA hubo una diferencia significativa entre los tratamientos en estudio para los porcentajes pupales, porcentaje de adultos emergidos y proporción sexual, en cuanto a los pesos de pupas no hubo diferencia significativa entre los tratamientos. La LS registró el mayor promedio para el porcentaje de pupas de los progenitores (95%), mientras que la LR expuesta a CL_{20} tuvo el valor menor (53%), observándose una reducción del 44% respecto a la LS. Por su parte, el porcentaje de pupas de los descendientes se vio reducido tanto para la LS tratada con una CL_{20} , como para la LR sin exposición y LR expuesta a CL_{20} con valores de 43, 41 y 33%, respectivamente. En el porcentaje de adultos emergidos se observa que hubo un efecto marcado al tratar la LS y LR con la CL_{20} reduciéndose más de un 25%, respecto a la LS y la LR sin aplicación para los progenitores. En lo que respecta a la proporción sexual de los progenitores no se observó diferencia significativa entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, hubo una diferencia significativa en los descendientes al verse reducida la proporción de 1.92 a 0.9 hembras por macho para LS sin aplicación, con respecto a la LS con aplicación de la CL_{20} , de igual manera la LR sin exposición con respecto a la LR expuesta se vio reducida de 1.55 a 0.27 hembras por macho.

Los efectos subletales del fipronil en la oviposición tanto de hembras de la LS con y sin aplicación de la CL_{20} y de la LR con y sin aplicación se muestran en el Cuadro 3, donde se observa que hubo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados para el número de huevos por hembra por día (HHD) y en el total de huevos ovipositados por hembra. La LR fue la que presentó la media más alta de HHD tanto para progenitores como descendientes con valores de 53.76 y 42.28 huevos, respectivamente, reportando un total de 251.8 huevos para progenitores y 253 huevos para descendientes. Por su parte la LS muestra medias de 32.04 y 24.28 de HHD y un total de 160.2 y 145.8 huevos para progenitores y descendientes, respectivamente. La aplicación de una concentración subletal (CL_{20}) de fipronil en ambas líneas (LS y LR) presenta un efecto para las hembras en la oviposición de huevos al verse reducida en la generación de



progenitores en más de un 11% para la LS y en 25% para la LR. En el caso de los descendientes solo se aprecia una disminución en la LR de un 20.5%, lo cual se verá reflejado en un menor número de individuos, caso contrario en la LS se observó un aumento de un 59%.

En el Cuadro 4 se muestra la comparación de medias de las fases de desarrollo, así como el tiempo de longevidad de hembra-macho y el tiempo total de desarrollo de las líneas con y sin aplicación, así como la línea LR con y sin exposición a la CL₂₀ de *P. xylostella*, observándose diferencias significativas para las fases de huevo, larva 4 (L4) y pupa, longevidad de hembra-macho y para el tiempo total de desarrollo de *P. xylostella*. La LR presentó el mayor tiempo de desarrollo en la fase de huevo con un valor medio de 3.85 días, por su parte la LS y LR con aplicación presentaron la media más baja de 3.03 y 3.00 días, respectivamente. De igual manera para la fase de L4 se puede observar que al aplicar fipronil (CL₂₀) en la LS y en la LR hubo un efecto en el desarrollo de las larvas al alargar su tiempo de 2.379 y 4.64 días, respectivamente, en comparación con la LS y la LR sin aplicación (1.79 y 3.33 días, respectivamente). Por otro lado, en la fase de pupa el tiempo de desarrollo se ve disminuido al aplicar una CL₂₀ de fipronil en la LS y LR con valores de 2.14 y 2.83 días, respectivamente, mientras que en la LS y LR sin aplicación los días de desarrollo fueron de 4.05 y 3.25, respectivamente. El tiempo de vida de las hembras también se vio afectado por la aplicación de fipronil tanto en la LS y LR al reducirse en más de 1.95 y 2.75 días respectivamente, en comparación de la LS y la LR sin tratamiento insecticida. La vida de los machos solo se vio reducida para la LS con aplicación, en comparación a la LS sin aplicación acortándose sus días de vida de 2.89 a 1.00. Para el tiempo total de desarrollo del huevo hasta la muerte del adulto, se puede observar que la LS como la LR sin exposición se comportaron de manera muy similar (17.81 y 18.17 días, respectivamente). Sin embargo, para las líneas LS y LR expuestas, los días de vida desde huevo hasta la muerte del adulto se vieron afectados donde la LS se redujo 2.46 días, en tanto que para LR se presentó un aumento de 3.3 días.

Cuadro 2. Comparación de medias de los efectos subletales en el porcentaje pupal, peso de pupas, adultos emergidos y proporción sexual de *Plutella xylostella* expuestos a fipronil (10 repeticiones/tratamiento).

Tratamiento	Progenitores			
	Pupas formadas (%)	Peso de pupas (mg)	Adultos emergidos (%)	Proporción sexual ¹
L.S	95 ± 7.071 a	4.73 ± 0.802 a	81 ± 11.972 a	1.36 ± 0.921 a
L.S CL ₂₀	73 ± 11.595 bc	4.15 ± 0.937 a	55.3 ± 22.311 b	1.05 ± 0.980 a
L.R	82 ± 17.511 ab	5.19 ± 0.657 a	62 ± 9.189 b	1.68 ± 0.848 a
L.R CL ₂₀	53 ± 26.687 c	4.75 ± 1.203 a	48 ± 17.511 b	1.03 ± 0.666 a
Descendientes				
L.S	91.66 ± 16.408 a	4.19 ± 0.696 a	85.57 ± 7.538 a	1.92 ± 1.258 a
L.S CL ₂₀	43 ± 28.303 b	4.10 ± 0.767 a	59.05 ± 39.843 ab	0.9 ± 0.994 ab
L.R	41 ± 32.81 b	3.32 ± 0.963 a	36.00 ± 25.473 b	1.55 ± 1.930 ab
L.R CL ₂₀	33 ± 25.407 b	3.39 ± 1.158 a	29.00 ± 21.84 b	0.27 ± 0.337 b

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, $\alpha<0.05$); ¹hembras por macho.

Cuadro 3. Efectos subletales del fipronil en el número promedio de huevos por hembra por día de *Plutella xylostella*.

Tratamiento	Progenitores		Descendientes	
	HHD ¹	Total	HHD ¹	Total
L.S	32.04 ± 8.162 ab	160.2 ± 40.812 b	24.282 ± 6.023 b	145.8 ± 15.466 b
L.S CL ₂₀	28.45 ± 2.891 b	131.8 ± 24.294 b	38.61 ± 11.505 ab	96.0 ± 44.362 b
L.R	53.76 ± 19.981 ab	251.8 ± 47.678 a	42.28 ± 10.554 a	253.0 ± 93.765 a
L.R CL ₂₀	39.34 ± 14.798 ab	162.4 ± 33.08 b	33.60 ± 9.569 ab	187.6 ± 51.964 b

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, $\alpha<0.05$); ¹Huevos por hembra por día.

Cuadro 4. Efectos subletales del fipronil en las fases de desarrollo de *Plutella xylostella*.

Estadio	Tratamientos ¹			
	L. S.	L. S. (CL ₂₀)	L. R.	L. R. (CL ₂₀)
Huevo	3.55 ± 0.39 ab	3.03 ± 0.053 b	3.85 ± 0.512 a	3.00 ± 1.098 b
Larva 1	1.08 ± 0.179 a	1.78 ± 0.768 a	1.82 ± 1.136 a	1.95 ± 0.831 a
Larva 2	1.83 ± 0.337 a	1.81 ± 1.048 a	2.83 ± 1.395 a	2.63 ± 1.046 a
Larva 3	1.91 ± 0.410 a	1.63 ± 0.980 a	0.80 ± 0.866 a	1.57 ± 1.413 a
Larva 4	1.79 ± 0.276 b	2.379 ± 1.486 b	3.33 ± 1.783 ab	4.64 ± 1.735 a
Pupa	4.05 ± 0.904 a	2.14 ± 1.275 b	3.25 ± 1.206 ab	2.83 ± 1.545 ab
Adulto	3.57 ± 0.472 a	2.56 ± 1.634 a	3.14 ± 1.752 a	2.74 ± 2.000 a
Hembra	4.41 ± 0.790 a	1.95 ± 0.693 b	3.30 ± 1.988 ab	2.75 ± 2.141 ab
Macho	2.89 ± 0.891 a	1.00 ± 0.552 b	2.21 ± 1.976 ab	2.88 ± 2.064 ab
Total	17.81 ± 0.994 ab	15.35 ± 5.356 b	18.17 ± 6.380 ab	22 ± 2.207 a

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, $\alpha<0.05$); ¹Valores en días.

DISCUSIÓN

En estudios previos con el fipronil, Barrera *et al.* (2006) reportaron valores de CL₅₀ de 0.03 ppm para una línea de campo, siendo estos resultados menores a los reportados en esta investigación para la línea resistente G₁₀ (3.024 ppm), por lo cual concluimos que *P. xylostella* ha desarrollado resistencia a este insecticida a través del proceso de selección por 10 generaciones. Después de someter a selección a la generación progenitora durante 10 generaciones se obtuvo un aumento en la resistencia de 32.86 veces en comparación a la LS. En trabajos similares como los reportados por Wang *et al.* (2015), quienes reportaron un factor de resistencia de 2,200 veces al realizar una selección durante 25 generaciones de *P. xylostella*. Pu *et al.* (2009) reportaron un factor de resistencia de 4,330 veces en G10 en una población de *P. xylostella* sometida a selección al insecticida abamectina. Por otro lado, Abbas *et al.* (2014) obtuvieron una resistencia para fipronil de 140.25 veces en 11 generaciones de selección sobre *Musca domestica*.

Estos resultados de porcentaje de transformación de pupa de esta investigación difieren a lo reportado por Hui *et al.* (2010), donde efectos del fenvalerato en el desarrollo de *P. xylostella* presentaron un porcentaje de pupación en el control de 88.5 y de 87.4% para una línea tratada con una concentración subletal (CL₂₅). Por su parte, Yin *et al.* (2008), reportaron un porcentaje de pupación en descendientes de *P. xylostella* de 75.19% de una línea tratada con una CL₂₅ de spinosad, resultados mayores a los reportados en esta investigación. Huang *et al.* (2015) reportaron una disminución del 24% en el porcentaje de emergencia de adultos de una LS al ser tratada con CL₂₅ de cantaridina.

Yin *et al.* (2008) reportaron una fecundidad de 121.19 huevos en promedio por hembra, para una línea susceptible, la cual se vio reducida a 81.70 huevos al exponer a sus progenitores a una CL₂₀ de spinosad. Sin embargo, Mahmoudvand *et al.* (2011a) observaron una fecundidad mayor para una línea susceptible de 207.29 huevos en promedio por hembra, disminuida a 146.05 huevos al aplicar indoxacarb a una CL₂₅. Por su parte, Han *et al.* (2012) reportaron una fecundidad menor a la observada en esta investigación con un número total de 120 huevos en una línea susceptible, la cual disminuyó al hacer exponer larvas de tercer instar a una CL₂₀ de chlorantraniliprole. Por lo anterior, se puede considerar que para el insecticida fipronil la fecundidad de *P. xylostella* fue reducida al aplicar concentraciones subletales de insecticidas. Fipronil actúa sobre el sistema nervioso de los insectos al unirse a los receptores de ácido gamma-aminobutírico (GABA). Estos receptores controlan el flujo de iones de cloruro a través de las membranas celulares del canal iónico que inhibe al sistema nervioso central, induciendo una hiperpolarización (Narahashi *et al.*, 2007). Los receptores GABA se encuentran en el cerebro de los insectos afectando la memoria y la percepción sensorial (El Hassani *et al.*, 2005). Asimismo, el fipronil baja la capacidad de la actividad de la enzima citocromo oxidasa, que es parte fundamental del complejo IV de la



cadena respiratoria mitocondrial que actúa en la fase terminal de la cadena de transporte de electrones en el proceso de respiración mitocondrial para generar la energía requerida para la actividad metabólica y desarrollo (Hevner & Wong-Riley 1989; Decourtey *et al.*, 2002).

Sin embargo, comparando la línea LS con la línea LR sin exposición se puede observar que hubo un efecto de hormoligosis, lo cual se puede atribuir a la resistencia generada a través del tiempo. La hormoligosis describir el fenómeno cuando dosis subletales de insecticidas aumentan la tasa reproductiva y la incidencia de insectos (Mahmoudvand *et al.*, 2011a). Sota *et al.* (1998) reportaron que el número de huevos de hembras de *P. xylostella* tratadas con LC_{12.5}, LC₂₅ y LC₅₀ de fenvalerato aumentaron en comparación a un control.

Los resultados obtenidos en las fases de desarrollo de *P. xylostella* son muy similares a los reportados por Mahmoudvand *et al.* (2011a; b), en estudios realizados sobre los efectos subletales de indoxacarb y hexaflumuron sobre *P. xylostella* se reportaron valores de 3.26 a 3.86 días en la fase de huevo al exponer larvas de tercer instar a una CL₂₅ de ambos insecticidas. Mahmoudvand y Moharrampour (2015) presentaron un incremento en los días de desarrollo de L4 de *P. xylostella* tratadas con CL₁₀ y CL₂₅ de fenoxy carb y un control con medias de 2.40, 2.28 y 1.51 días, respectivamente. Han *et al.* (2012) reportaron que *P. xylostella* no presentó una disminución significativa en el tiempo de desarrollo de la fase pupal al exponer larvas de tercer instar a CL₁₀ y CL₂₅ de chlorantraniliprole en comparación a un control con valores de 4.13, 4.29 y 4.16 días, respectivamente. Por su parte, Mahmoudvand y Moharrampour (2015) reportaron un incremento en los días de pupación para esta plaga al aplicar CL₁₀ y CL₂₅ de fenoxy carb respecto a un control con medias de 4.98, 4.71 y 3.70 días, respectivamente. Zhang *et al.* (2012) observaron que el tiempo de longevidad tanto de hembras y machos de *P. xylostella* fue mayor a 8.78 y 9.89 días, respectivamente, al aplicar la CL₂₅ de metaflumizona en larvas de tercer instar. Sin embargo, Yin *et al.* (2008) reportaron una disminución en el tiempo de desarrollo para hembras y machos en comparación con un control de 7.73 a 6.78 días para hembras y para los machos de 6.64 a 5.52 días en larvas de tercer instar expuestas a dosis subletal (CL₂₅) de spinosad. Zhang *et al.* (2012) observaron que el tiempo de longevidad tanto de hembras y machos de *P. xylostella* es mayor a 8.78 y 9.89, respectivamente, al aplicar CL₂₅ de metaflumizona en larvas de tercer instar de *P. xylostella*. Por otro lado, Yin *et al.* (2008) reportaron una disminución en el tiempo de desarrollo para hembras y machos en comparación con un control de 7.73 a 6.78 días para hembras y para los machos fue de 6.64 a 5.52 días al exponer larvas de tercer instar a dosis subletal (CL₂₅) de spinosad. Yin *et al.* (2008), Zhang *et al.* (2012), Mahmoudvand y Moharrampour (2015) y Han *et al.* (2012) observaron una leve disminución en el tiempo total de desarrollo de *P. xylostella* al exponer larvas de tercer instar a dosis subletales de spinosad, metaflumizona, fenoxy carb y chlorantraniliprole, respectivamente, lo cual puede propiciar mayor número de generaciones en campo de esta plaga. En el caso de la LR no hubo diferencia en comparación a la LS; sin embargo, cuando a esta se le aplicó una CL₂₀ su ciclo de vida fue extendido.

CONCLUSIONES

La aplicación de bajas concentraciones (CL₂₀) de fipronil en una línea resistente presentó efectos importantes en la biología de *P. xylostella* al alargar el tiempo de desarrollo, disminuir el porcentaje de pupación y emergencia de adultos, así como una menor fecundidad comparada con la línea susceptible. Estos cambios pueden ser resultado de los costos biológicos de la resistencia. Por otro lado, hubo un menor número de individuos con un ciclo más largo, lo que pudiera ocasionar un mayor número de aplicaciones del insecticida. El desarrollo de resistencia de *P. xylostella* a fipronil genera un fenómeno de hormoligosis al aumentar el número de huevos por hembra, lo que favorece a una mayor incidencia de individuos, lo cual puede ocasionar problemas para su control.

LITERATURA CITADA

- Abbas, N., Khan, H. A. A., Shad, S. A. (2014)** La resistencia cruzada, la genética y la heredabilidad de la resistencia al fipronil en la mosca doméstica, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae): un vector potencial para la transmisión de enfermedades. *Investigación de Parasitología*, 113 (4), 1343–1352. <https://doi.org/10.1007/s00436-014-3773-4>
- Abbott, W. S. (1925)** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18, 265–267. Disponible en línea: https://www.doc-developpement-durable.org/file/Arbres-Fruitiers/FICHES_ARBRES/Dattier-du-desert_Balanites%20%C3%A6gyptiaca/Molluscicidal%20activity%20of%20Balanites%20aegyptiaca.pdf
- Alyokhin, A., Sewell, G., Choban, R. (2008)** Reduced viability of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, eggs exposed to novaluron. *Pest Management Science*, 64, 94–99. <https://doi.org/10.1002/ps.1459>
- Ahmad, N., Ansari, M. S., Nazrullah (2012)** Effect of neemarin on life table indices of *Plutella xylostella* (L.). *Crop Protection*, 38, 7–14. <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.006>
- APRD (Arthropod Pesticide Resistance Database) (2019)** Disponible en línea: <https://www.pesticideresistance.org/display.php?page=species&arId=571> (última consulta 7 de marzo 2019).
- Barrera-Urzúa, R., Bujanos-Muñiz, R., Rodríguez-Maciel, C., Mora-Aguilera, G., Martínez-Téllez, M. Á. (2006)** Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) del Estado de Guanajuato, México. *Agrociencia*, 49 (3), 355–362. Disponible en línea: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240308>
- Biondi, A., Mommaerts, V., Smagghe, G., Vinuela, E., Zappalà, L., Desneux, N. (2012)** The non-target impact of spinosyns on beneficial arthropods. *Pest Management Science*, 68, 1523–1536. <https://doi.org/10.1002/ps.3396>
- Decourtye, A., Lefort, S., Devillers, J., Gauthier, M., Aupinel, P., Tisseur, M. (2008)** Sublethal effects of fipronil on the ability of honeybee (*Apis mellifera*) to orientate in a complex maze. Pp: 75–83, En: P. A. Oomen, H. M. Thompson (Eds.). Hazard of pesticides to bees. 10th International Symposium of the ICP-BR Bee Protection Group. Julius-Kühn-Archiv, Bucharest.
- Delpuech, J. M., Meyet, J. (2003)** Reduction in the sex ratio of the progeny of a parasitoid wasp (*Trichogramma brassicae*) surviving the insecticide chlorpyrifos. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45, 203–208. <https://doi.org/10.1007/s00244-002-0146-2>
- El Hassani, A. K., Dacher, M., Gauthier, M., Armengaud, C. (2005)** Effects of sublethal doses of fipronil on the behavior of the honeybee (*Apis mellifera*). *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 82, 30–39.
- Ergin, E., Er, A., Uckan, F., Rivers, D. B. (2007)** Effect of cypermethrin exposed hosts on egg-adult developmental time, number of offspring, sex ratio, longevity, and size of *Apanteles galleriae* Wilkinson (Hymenoptera: Braconidae). *Belgian Journal of Zoology*, 137, 27–31.
- Fathi, S. A. A., Bozorg-Amirkalaee, M., Sarfaraz, R. M. (2011)** Preference and performance of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) on canola cultivars. *Journal of Pest Science*, 84, 41–47. <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0324-3>
- Finney, D. J. (1971)** Probit Analysis. Cambridge at the University Press. 3rd Ed, 120 pp.
- Han, W., Zhang, S., Shen, F., Liu, M., Ren, C., Gao, X. (2012)** Residual toxicity and sublethal effects of chlorantraniliprole on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Pest Management Science*, 68 (8), 1184–1190. <https://doi.org/10.1002/ps.3282>
- Haynes, K. F. (1988)** Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behavior. *Annual Review Entomology*, 33, 149–168.



<https://doi.org/10.1146/annurev.en.33.010188.001053>

Hevner, R. F., Wong-Riley, M. T. T. (1989) Brain cytochrome oxidase: purification, antibody production, and immunohistochemical/histochemical correlations in the CNS. *Journal of Neuroscience*, 9 (11), 3884–3898.

Huang, Z., Wang, Y., Zhang, Y. (2015) Lethal and sublethal effects of cantharidin on development and reproduction of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 108 (3), 1054–1064.
<https://doi.org/10.1093/jee/tov057>

Hui, W., Juan, W., Li, H. S., Dai, H. G., Gu, X. J. (2010) Sub-lethal effects of fenvalerate on the development, fecundity, and juvenile hormone esterase activity of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Agricultural Sciences in China*, 9 (11), 1612–1622.
[https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60258-3](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60258-3)

IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) (2019) Disponible en línea: <https://www.irac.online.org/methods/plutella-xylostella-larvae/> (última consulta 8 de marzo 2019).

Lu, Y. H., Wu, K. M., Jiang, Y. Y., Guo, Y. Y., Desneux, N. (2012) Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature*, 487, 362–365.
<https://doi.org/10.1038/nature11153>

Mahmoudvand, M., Abbasipour, H., Garjan, A. S., Bandani, A. R. (2011a) Sublethal effects of indoxacarb on the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Applied Entomology and Zoology*, 46 (1), 75–80.
<https://doi.org/10.1007/s13355-010-0010-1>

Mahmoudvand, M., Abbasipour, H., Garjan, A. S., Bandani, A. R. (2011b) Sublethal effects of hexaflumuron on development and reproduction of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Insect Science*, 18 (6), 689–696.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2011.01411.x>

Mahmoudvand, M., Moharramipour, S. (2015) Efectos subletales del fenoxicarb sobre la *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Diario de la Ciencia del Insecto*, 15 (1).
<https://doi.org/10.1093/jis/esa/iev064>

Narahashi, T., Zhao, X., Ikeda, T., Nagata, K., Yeh, J.Z. (2007) Differential actions of insecticides on target sites: basis for selective toxicity. *Human and Experimental Toxicology*, 26 (4), 361–366.

Pu, X., Yang, Y., Wu, S., Wu, Y. (2009) Characterization of abamectin resistance in a field-evolved multiresistant population of *Plutella xylostella*. *Pest Management Science*, 66 (4), 371–378.
<https://doi.org/10.1002/ps.1885>

SAS Institute Inc. (2002) Guide for personal computers. SAS institute, Cary, N.C.

SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pecuaria) (2018) Disponible en línea: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018 (última consulta 7 de marzo 2019).

SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pecuaria) (2019) Disponible en línea: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (última consulta 7 de marzo 2019).

Sun, J. Y., Liang, P., Gao, X. W. (2012) Cross-resistance patterns and fitness in fufenozide-resistant diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Pest Management Science*, 68, 285–289.
<https://doi.org/10.1002/ps.2258>

Tabashnik, B. E., Gassmann, A. J., Crowder, D. W., Carrière, Y. (2008) Insect resistance to Bt crops: evidence versus theory. *Nature Biotechnology*, 26, 199–202.
<https://doi.org/10.1038/nbt1382>

Tabone, E., Bardon, C., Desneux, N. (2012) Dispersal study as Trichogrammatidae selection criteria for biological control in cauliflower greenhouses. *Acta Horticulturae*, 927, 227e235.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.25>

- Wang, D. X., Qiu, H., Ren, X. X., Zhang, W. Z., Wang, K. Y. (2009)** Sublethal effects of spinosad on survival, growth and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Managements Science*, 65, 223–227.
<https://doi.org/10.1002/ps.1672>
- Wang, X. Y., Yang, Z. Q., Shen, Z. R., Lu, J., Xu, W. B. (2008)** Sublethal effects of selected insecticides on fecundity and wing dimorphism of green peach aphid (Hom., Aphididae). *Journal of Applied Entomology*, 132, 135–142.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2007.01225.x>
- Wang, X., Wu, S., Gao, W., Wu, Y. (2015)** Herencia dominante de la resistencia desarrollada en el campo al fipronil en *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Diario de Entomología Económica*, 109 (1), 334–338.
<https://doi.org/10.1093/jee/tov317>
- Yin, X. H., Wu, Q. J., Li, X. F., Zhang, Y. J., Xu, B. Y. (2008)** Sublethal effects of spinosad on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Crop Protection*, 27, 1385–1391.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.05.008>
- Zalucki, M. P., Shabbir, A., Silva, R., Adamson, D., Shu-Sheng, L., Furlong, M. J. (2012)** Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): just how long is a piece of string. *Journal of Economic Entomology*, 105, 1115–1129.
<https://doi.org/10.1603/EC12107>
- Zhang, Z., Li, J. H., Gao, X. W. (2012)** Sublethal effects of metaflumizone on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Integrative Agriculture*, 11 (7), 1145–1150.
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60108-](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60108-)