

Selección de Resistencia y Efectos Subletales de Cipermetrina en la Palomilla Dorso de Diamante (*Plutella xylostella* L.)
Selection of Resistance and Sub-lethal Effects of Cypermethrin in the Diamondback Moth (*Plutella xylostella* L.)

José Francisco Rodríguez-Rodríguez ¹
Ernesto Cerna-Chávez ¹
Mariana Beltrán-Beache ¹
Yisa María Ochoa-Fuentes ¹
Jerónimo Landeros-Flores ¹
Luis Patricio Guevara-Acevedo ²

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ✉ yisa9a@gmail.com

² Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, México

© Universidad De La Salle Bajío (México)

Recibido en: 04 – 06 – 2020 / Aceptado en: 14 – 09 – 2020

Resumen

Plutella xylostella es una importante plaga de cultivos de brassicas en más de 100 países. El principal método de control de *P. xylostella* se basa en el uso de insecticidas químicos. Sin embargo, esta especie se caracteriza por su rápido desarrollo de resistencia a casi todos los insecticidas. Se ha reportado que la aplicación de concentraciones bajas de insecticidas afecta la fisiología, bioquímica y ecología de los insectos. En este estudio, se realizó una selección de resistencia de cipermetrina durante ocho generaciones de *P. xylostella* y se determinó la dosis subletal (CL₂₀) de la línea resistente y de la línea susceptible. Posteriormente, la dosis subletal se aplicó a larvas de tercer instar para investigar su efecto en el porcentaje de pupación, peso de pupas, emergencia de adultos en dos generaciones (progenitores y descendientes), así como los tiempos de desarrollo de cada fase de desarrollo de *P. xylostella*. Se observó una disminución el porcentaje de pupas formadas, adultos emergidos y peso de pupas. Por otro lado, el número de huevos depositados aumentó cuando los individuos fueron expuestos al insecticida. Lo anterior puede ser un factor importante para el manejo y control de esta plaga cuando se presenten problemas de resistencia a cipermetrina.

Palabras clave: *Plutella xylostella*; resistencia; cipermetrina; efectos subletales; cultivos; plagas; insecticidas; pupación; palomilla dorso de diamante;

Abstract

Plutella xylostella is a major pest of cruciferous crops in more than 100 countries. The main control method for *P. xylostella* is based on the use of chemical insecticides. However, this moth species is characterized by its rapid development of resistance to almost all insecticides. The application of low concentrations of insecticides can affect the physiology, biochemistry, and ecology of insects. In this study, a cypermethrin resistance selection was performed during eight generations of *P. xylostella* and the sublethal dose (LC₂₀) of the resistant line and the susceptible line was determined. Later, the sublethal dose was applied to third instar larvae to investigate its effect on the percentage of pupation, weight of pupae, emergence of adults in two generations (parents and offspring), as well as the development times of each phase of development of *P. xylostella*. A decrease was observed in the percentage of formed pupae, emerged adults and pupal weight. On the other hand, the number of oviposited eggs increased when individuals were exposed to the insecticide. The above can be an important factor for the management and control of this pest when problems of resistance to cypermethrin occur.

Keywords: *Plutella xylostella*; resistance; cypermethrin; sublethal effects; crops; pests; insecticides; pupation; diamondback moth

Introducción

El manejo intensivo de sistemas agrícolas usa insecticidas de amplio espectro para el control de plagas sin considerar en la mayoría de los casos, el impacto potencial que estos productos pueden ocasionar sobre el ambiente (Rimoldi *et al.*, 2015). Algunos de los insecticidas convencionales más empleados para el control de plagas agrícolas son los piretroides entre los que se encuentran: deltametrina, permetrina y cipermetrina (CASAFE, 2011). La cipermetrina es un insecticida que se ha utilizado excesivamente desde su lanzamiento al mercado en los años 60 del siglo pasado presentado un efecto residual a largo plazo (Zhong *et al.*, 2013). Este insecticida actúa a nivel fisiológico al alterar el funcionamiento normal del sistema nervioso central, prolongando la apertura de los canales axónicos de sodio (Na) dependientes del voltaje, lo que permite el flujo excesivo de Na al interior de la célula, interrumpiendo así la señalización eléctrica provocando la muerte del insecto (Soderlund, 2010). Sin embargo, estudios recientes reportan efectos negativos de este insecticida como el desarrollo de resistencia por parte de las insectos plaga (Zhong *et al.*, 2013).

La polilla del dorso del diamante (*Plutella xylostella* L.) (Lepidóptera: Plutellidae) es una plaga de importancia económica en cultivos de brassicas en más de 100 países, aunque se ha encontrado en más de 125 países. Este insecto afecta especialmente al repollo (*Brassica oleracea* var. capitata), la coliflor (*B. oleracea* var. botrytis), el brócoli (*B. oleracea* var. italica), las coles de Bruselas (*B. oleracea* var. gemmifera) y el nabo (*Brassica rapa* subsp. rapa) (Odevole y Adebayo, 2014). El principal método de control para *P. xylostella* ha sido el uso de insecticidas químicos (Shelton *et al.*, 1993; Kannan *et al.*, 2017). Sin embargo, esta especie desarrolla rápidamente resistencia a casi todos los insecticidas convencionales (Liu *et al.*, 2015), debido a sus múltiples generaciones, corto período de crecimiento, traslape generacional y el abuso de varios pesticidas, (Kang *et al.*, 2017). Sin embargo, el impacto de los pesticidas no solo se ve reflejado en matar a las plagas insectiles, sino también estos presentan efectos secundarios en la fecundidad, longevidad (Wang *et al.*, 2016), así como en la bioquímica y ecología de los insectos (Stark y Banks, 2003). Yin *et al.* (2008) mencionan que la aplicación de dosis subletales de spinosad sobre *P. xylostella* disminuye de manera significativa el tiempo de eclosión de los huevos, el tamaño del huevo y el apetito reproductivo. Por su parte, otros estudios reportan que la aplicación de concentraciones subletales de permetrina puede inhibir la fecundidad femenina en *P. xylostella* (Kumar y Chapman, 2010; Su y Xia 2019). James y Price (2002) mencionan que las concentraciones subletales pueden tener un efecto adverso al estimular la reproducción de los insectos. Las dosis subletales se consideran que intervienen en el desarrollo de resistencia, por lo que, se necesita una mejor comprensión de dichos efectos para diseñar estrategias efectivas de manejo de la resistencia a insecticidas (Tabashnik *et al.*, 2008). El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de las dosis subletales del insecticida cipermetrina en la fase de huevo, estadios larvarios, tiempo de desarrollo, supervivencia, oviposición y longevidad del adulto de una población resistente de *P. xylostella*.

Método

Cría de insectos

Las larvas se colectaron en parcelas comerciales de brócoli ubicadas en el municipio de San Luis de la Paz (21°05'42.9"N 100°32'21.3"W) en el Estado de Guanajuato y se criaron en condiciones de laboratorio manteniéndolas bajo presión de selección a una concentración subletal (CL₂₀) en larvas L3 con el insecticida cipermetrina durante ocho generaciones (G8), para incrementar el nivel

de resistencia. Las larvas se alimentaron con plantas de brócoli de 50 días de edad, mientras que la alimentación de los adultos consistió en una solución de agua azucarada al 15 %, esto para asegurar el apareamiento y la ovoposición. Todas las etapas de desarrollo de *la P. xylostella* se mantuvieron en condiciones controladas de 27 ± 1 °C, 80 ± 10 % HR, 16: 8 h L:O. Como línea susceptible (LS) se utilizaron insectos proporcionados por Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria (INIFAP) campo experimental Bajío, sin haberse sometido a un proceso de presión de selección con insecticidas desde 1996.

Bioensayos

Las pruebas de efectividad biológica para el insecticida cipermetrina se realizaron mediante el método de inmersión de hojas (IRAC, 2019). Se evaluaron seis concentraciones (300, 600, 900, 1200, 1500 y 1800 ppm) que fueron preparadas con agua destilada más adherente (Inex-A®) 1 mL L^{-1} y un testigo absoluto que consistió en agua más adherente Inex-A®) 1 mL L^{-1} . Se recortaron discos de hojas de *B. oleracea* var. *italica* de 6 cm de diámetro y se sumergieron durante 10 s en las diferentes concentraciones en estudio, preparadas con agua destilada que contenía 1 mL L^{-1} de adherente. Las hojas se dejaron secar durante 1 h y se colocaron de forma individual en cajas Petri de 9 cm de diámetro revestidas con papel absorbente humedecido con agua destilada. Se transfirieron 10 larvas de tercer instar (L3) 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 al ser estimuladas con un pincel en la parte dorsal se registraron como muertas. Se repitió este mismo procedimiento en cada generación hasta alcanzar la octava generación en la cual no se presentaron diferencias en la respuesta dosis-mortalidad al insecticida.

Efectos subletales

Una vez que inducida la resistencia hasta la octava generación de la población de laboratorio de *P. xylostella* (LR), se procedió a determinar los efectos subletales en el número de huevos ovipositados, supervivencia y peso de pupas, porcentaje de adultos emergidos, proporción sexual y tiempo de desarrollo de cada una de las fases de *P. xylostella*. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones por cada tratamiento, como unidad experimental se consideró a una hoja con 10 individuos. Se transfirieron 10 larvas de tercer instar a disco de hoja *B. oleracea* var. *italica* de 6 cm de diámetro tratado con la CL_{20} de la octava generación

(progenitores), se dejaron 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. Cuando las larvas se transformaron en pupas y cumplieron 2 días de edad, se seleccionaron 10 individuos de cada tratamiento y fueron pesados en una balanza analítica digital Ohaus® modelo Explore® Pro. Una vez emergidos, los adultos se separaron por sexos y se formaron parejas en cajas Petri de 9 cm de diámetro provistas de papel absorbente humedecido con agua y una hoja de *B. oleracea* var. *itálica*. Los adultos se alimentaron con una solución de agua azucarada al 15 % y se dejaron que copularan y ovipositaran hasta que la última hembra se murió. Diariamente se tomó el registro de los huevos ovipositados por hembra por día colocando un disco de hoja de 6 cm de diámetro cada día. Se tomaron 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 y se registró el tiempo de desarrollo en cada una de las fases. Una vez que las larvas puparon, se pesaron 10 pupas de forma al azar de cada tratamiento de 2 días de edad en una balanza analítica digital Ohaus® modelo Explore® Pro. En los adultos emergidos se evaluó la proporción sexual, longevidad del adulto (hembra y macho) y fecundidad. Durante la fase experimental los insectos se mantuvieron en condiciones ambientales controladas de $27 \pm 1^\circ\text{C}$, $80 \pm 10\%$ HR, 16: 8 h L:O.

Análisis estadístico

Con el porcentaje de individuos muertos en los bioensayos se realizó una corrección de mortalidad con la fórmula de Abbott (1925) y posteriormente 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). La proporción de resistencia se determinó dividiendo la CL_{50} de línea resistente entre la CL_{50} de la línea susceptible y los niveles de resistencia a insecticidas se clasificaron según el estándar establecido por Shen *et al.* (1991), donde menciona que líneas con factores de resistencia mayores a 10 ya se consideran resistentes. Con los promedios obtenidos en la determinación de los efectos subletales en el tiempo de desarrollo de cada una de las fases, el porcentaje de pupas formadas, peso de pupas, adultos emergidos, proporción sexual y en el número de huevos por hembra por día se realizó la prueba Kruskal-Wallis para determinar la normalidad de los datos, y posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha < 0.05$). Los análisis fueron realizados mediante el programa R, versión 3.3.1.

Resultados y Discusión

Con base a los resultados de la respuesta de presión de selección de cipermetrina en ocho generaciones en una población de campo de *P. xylostella*, se desarrolló un factor de resistencia de 86.43 veces mayor a la línea susceptible y con un incremento de niveles medios de resistencia entre generaciones de 1.19 veces (**Tabla 1**). Dukre *et al.*, (2009) en un estudio previo de selección de resistencia de *P. xylostella* a los insecticidas cipermetrina y fenvalerato reportaron factores de resistencia de 518.48 y 616 veces, en ocho generaciones, respectivamente, al aplicar a una concentración subletal de CL₅₀. Por otro lado, en líneas de campo se reportan proporciones de resistencia de 25.10 (Jiang *et al.*, 2015) y 69.76 (Zhang *et al.*, 2016) veces en comparación a que una línea susceptible para el insecticida cipermetrina. Liu *et al.* (2015) en un estudio de selección de resistencia de clorantranipole en *P. xylostella* obtuvo una proporción de resistencia de 3.41 veces en ocho generaciones, lo que indica que la palomilla dorso de diamante desarrollo resistencia 25.34 veces más rápido a cipermetrina en comparación al clorantranilipole. Esto se puede deber a que la resistencia a piretroides está dada por varios mecanismos como son las enzimas detoxificativas: oxidasas, esterases (Ishtiaq *et al.*, 2012) y glutathion-S-transferasas (Gong *et al.*, 2013). Otro mecanismo involucrado en la resistencia a piretroides es la modificación en el sitio de acción, ya que los canales de sodio sensibles al voltaje son el principal objetivo de estos insecticidas. Estudios anteriores confirman que la resistencia se debe a una sensibilidad nerviosa reducida a la molécula del piretroide (Soderlund, 2010).

Tabla 1. Selección de resistencia y concentraciones subletales de Cipermetrina en ocho generaciones de *Plutella xylostella*.

Table 1. Selection of resistance and sublethal concentrations of Cypermethrin in eight generations of *Plutella xylostella*.

Generación	n	CL ₅₀ (ppm)	LFI-LFS	CL ₂₀ (ppm)	Ecu. Predicción	P.R ¹	P.R.R ²
LS	40	90.36	60.60 - 138.26	28.84	y = -3.31+1.69	-	-
G ₁	40	1,164	862 - 1,805	138.82	y = -2.79+0.91	12.88	-
G ₂	40	1,354	1,201 - 1,555	485.23	y = -5.91+1.88	14.98	1.16
G ₃	40	1,564	1,392 - 1,779	527.24	y = -5.69+1.78	17.31	1.16
G ₄	40	2,689	2,133 - 3,455	904.13	y = 0.90-0.26	29.76	1.72
G ₅	40	3,686	3,234 - 4,202	1,424	y = -7.26+2.03	40.79	1.37
G ₆	40	5,949	3,379 - 9,862	3,285	y = -12.31+3.26	65.84	1.61
G ₇	40	6,498	5,929 - 7,082	3,561	y = -12.28+3.22	71.91	1.09
G ₈	40	7,810	7,256 - 8,366	4,583	y = -14.15+3.63	86.43	1.20

¹ Proporción de resistencia; ² Proporción de resistencia entre generaciones.

¹ Ratio of resistance; ² Ratio of resistance between generations.

El análisis de varianza para el porcentaje pupal y adultos emergidos de la generación progenitora de *P. xylostella* presenta valores estadísticos de g.l.= 3; P= 1.671 y g.l.= 3; P= 13.66, respectivamente. Por su parte, la generación descendiente muestra los siguientes valores g.l.= 3; P= 3.786 y g.l.= 3; P =10.40, para el porcentaje de pupas formadas y adultos emergidos, respectivamente. La aplicación de una concentración subletal (CL₂₀) de cipermetrina en larvas L3 de *P. xylostella* de la línea susceptible con aplicación (LSCL₂₀) (60 %) y de la línea resistente con aplicación (LRCL₂₀) (55.55 %) disminuyó el porcentaje de pupas en comparación a una LS (95 %) y una LR (68 %) sin aplicación (Figura 1). La resistencia a cipermetrina también afecta en el porcentaje de pupas ya que observa una disminución del 28.5 % comparando la línea susceptible (LS) y línea resistente (LR), en el caso de la LSCL₂₀ y LRCL₂₀ se redujo en un 36.8 y 41.5% respectivamente Este fenómeno también llegó a tener un efecto transgeneracional (descendientes) al presentarse una disminución en la formación de pupas en los tratamientos con aplicación (LSCL₂₀ y LRCL₂₀) en comparación a la LS y LR presentando un comportamiento similar entre sí (91.66 y 95.50 % respectivamente). Estos resultados son inferiores a los reportados por Su y Xia, (2019), quienes muestran que la aplicación de dosis subletales de metiltio-diafentiurón tuvo poco efecto en la tasa de pupación de las larvas progenitoras de *P. xylostella*. Por su parte, Hui *et al.* (2010), estudiando los efectos del fenvalerato en el desarrollo de *P. xylostella*, encontraron un porcentaje de pupación en el control de 88.5, y de 87.4 % para una línea tratada con una concentración subletal (CL₂₅).

Respecto a los adultos de la generación progenitora no se presentó diferencia significativa entre los tratamientos evaluados con un porcentaje mayor al 70 % (Figura 1). Sin embargo, la descendencia de los adultos emergidos fue afectada al mostrar una disminución entre tratamientos, la LR (89.88 %) y LS (85.57 %) presentaron los valores más altos, por su parte LSCL₂₀ presentó el porcentaje medio más bajo con 67.25 %. Huang *et al.* (2015) reportaron una disminución del 24 % en adultos emergidos de una LS tratada con CL₂₅ de cantaridina. Por su parte, Su y Xia, (2019) demostraron que la aplicación de dosis subletales de metiltio-diafentiurón tienen un efecto en la disminución de adultos emergidos de *P. xylostella* al verse reducida en más de un 36 % en comparación a una línea sin tratar.

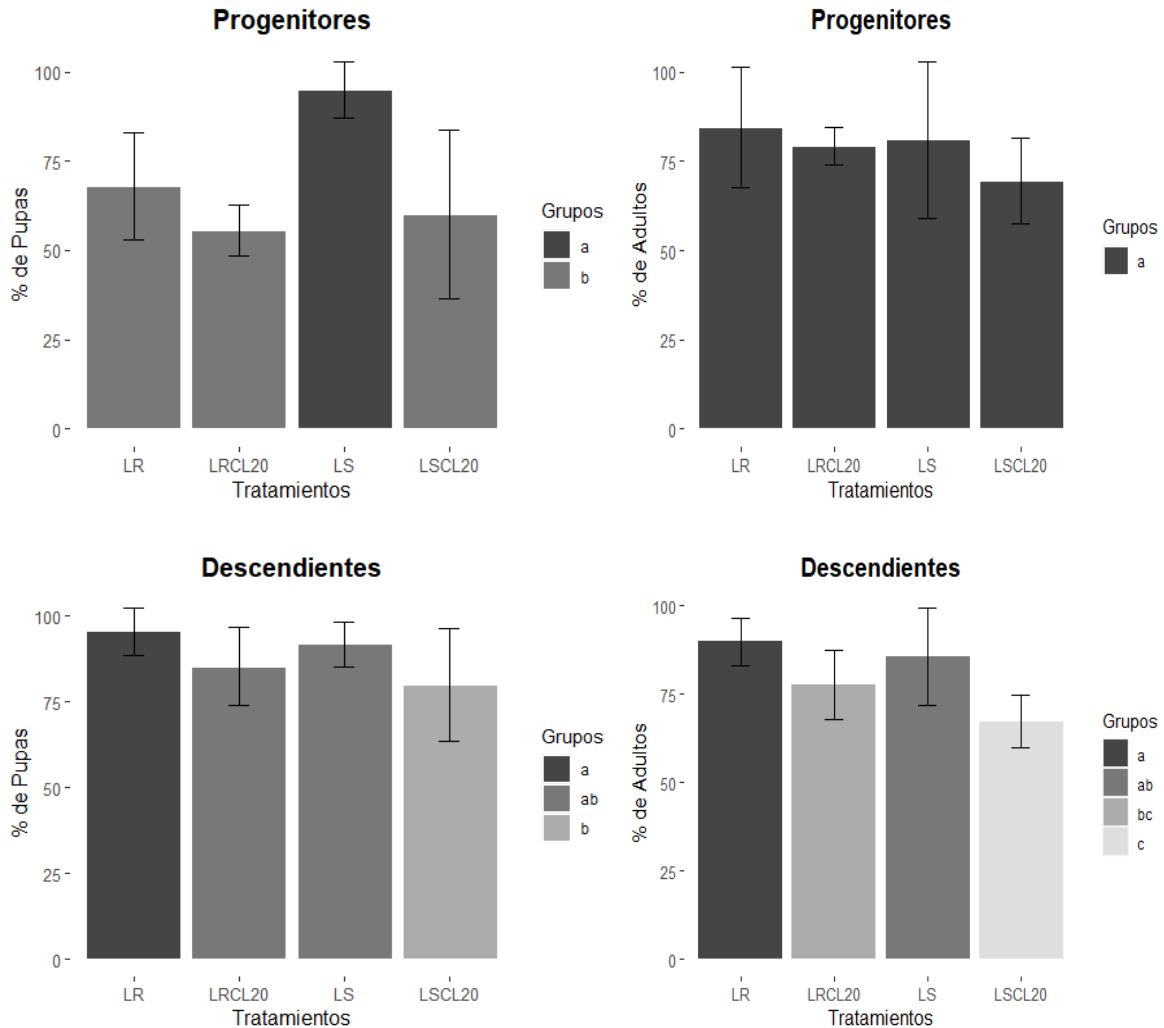


Fig. 1. Comparación de medias de los efectos subletales en el porcentaje pupal y adultos emergidos de *Plutella xylostella* expuestos a Cipermetrina.

LR: Línea resistente; LS: Línea susceptible; LSCL20: Línea susceptible con aplicación; LRCL20: Línea resistente con aplicación.

Fig. 1. Comparison of means of the sublethal effects in the pupal percentage and emerged adults of *Plutella xylostella* exposed to Cypermethrin.

LR: resistant line; LS: Susceptible line; LSCL20: Susceptible line with application; LRCL20: Resistant line with application.

En la **Tabla 2** se muestran los valores medios del peso de pupas, donde se observa que ambas generaciones (progenitores y descendientes) presentan diferencia significativa. La LSCL₂₀ se vio significativa (g.l.= 3; P = 4.66 y g.l.= 3; P = 3.137, respectivamente). La LSCL₂₀ presentó las medias más bajas en comparación al resto de los tratamientos, con un peso de 2.96 y 2.88 mg, mientras que la LS fue la que presentó el mayor peso con 4.73 y 4.460 mg, respectivamente. Estos resultados difieren a los reportados por Mahmoudvand *et al.* (2011), quienes encontraron un efecto en la disminución del peso en los progenitores al aplicar una CL₂₅ de hexaflumuro, mientras en la

generación descendiente no hubo diferencias significativas en los pesos de pupas de *P. xylostella*. Lo anterior indica que el hexaflumuro tiene un efecto directo en el peso de las pupas al afectar solo a los progenitores, mientras cipermetrina presenta un efecto directo e indirecto al afectar ambas generaciones.

En lo que se refiere a la proporción sexual, los progenitores no se vieron afectados al aplicar una concentración subletal de cipermetrina presentado valores medios de 1.363, 1.658, 1.425 y 1.736 hembras por macho para las líneas LS, LSCL₂₀, LR y LRCL₂₀, respectivamente. Sin embargo los descendientes si se presentaron diferencia significativa (g.l.= 3; P= 6.524) entre los tratamientos evaluados siendo la LRCL₂₀ la que presentó la proporción sexual más alta con 2.222 hembras por macho y la línea LSCL₂₀ reporta el valor más bajo con 0.607 hembras por macho. En contraste, Rodríguez *et al.* (2020) reportaron una disminución de 1.03 a 0.27 de hembras por machos de una línea resistente de *P. xylostella* al aplicar un CL₂₀ de Fipronil. Por su parte, Steinbach *et al.*, (2017) no encontraron diferencias en la proporción sexual de poblaciones resistentes a cipermetrina, deltametrina, fipronil, indoxabarb y clorantropole reportando una media de 1 hembra por macho.

Tabla 2. Comparación de medias de los efectos subletales en el peso de pupas, y proporción sexual de *Plutella xylostella* expuestos a Cipermetrina.

Table 2. Comparison of means of the sublethal effects on pupal weight and sex ratio of *Plutella xylostella* exposed to Cypermethrin.

Tratamiento	Progenitores		Descendientes	
	Peso de pupas (mg) (Media ± SD ²)	Proporción sexual ¹ (Media ± SD ²)	Peso de pupas (mg) (Media ± SD ²)	Proporción sexual ¹ (Media ± SD ²)
L.S.	4.73 ± 0.802 a	1.363 ± 0.921 a	4.19 ± 0.696 a	1.925 ± 1.258 a
L.S.(CL₂₀)	2.96 ± 1.236 b	1.658 ± 1.595 a	2.880 ± 0.748 b	0.607 ± 0.294 b
L.R.	4.30 ± 1.729 ab	1.425 ± 1.041 a	4.460 ± 1.477 a	1.675 ± 0.897 a
L.R. (CL₂₀)	4.30 ± 1.552 ab	1.736 ± 0.723 a	3.811 ± 0.914 ab	2.222 ± 0.666 a

Medias seguidas de la misma letra dentro de cada columna no presentan diferencia significativa (Tukey, $\alpha < 0.05$);

¹Hembras por macho; ²Desviación estándar.

Means followed by the same letter within each column do not present a significant difference (Tukey, $\alpha < 0.05$);

¹Females per male; ²standard deviation.

En la **Tabla 3** se muestran los efectos subletales de la cipermetrina en la fecundidad de *P. xylostella*, presentando diferencias significativas tanto en progenitores como descendientes con valores estadísticos de g.l.= 3; P= 12.25, para huevos por hembra por día y g.l.= 3; P= 3.802, para el total de huevos ovipositados en la generación progenitoras. Por su parte los descendientes reportan los siguiente valores de g.l.= 3; P= 4.975 y g.l.= 3; P= 8.612, para huevos por hembras por día y total

de huevos, respectivamente. Se observó un incremento en el número de huevos por hembra por día (HHD) en las líneas con aplicación (LSCL₂₀ y LRCL₂₀) en ambas generaciones. La línea LRCL₂₀ fue la que presentó el mayor número de HHD para progenitores y descendientes con una media de 58.34 y 39.80, y con un total de 227.4 y 182.6 huevos respectivamente. Por su parte, la línea LS presentó valores más bajos con 34.04 y 24.55 HHD para los progenitores y descendientes y un total de 160.2 y 145.8 huevos respectivamente, lo que nos indica que la aplicación de cipermetrina aumenta la fecundidad en más de 70 %. Estudios previos mencionan que la aplicación de dosis subletales de cipermetrina estimuló el crecimiento de poblaciones de *P. xylostella* (Han *et al.*, 2011) y *Carposina sasakii* (Quan *et al.*, 2016). En esta última especie se incrementó el número de HHD en más de 13 % en comparación al control. Sin embargo, el uso de dosis subletales de cipermetrina contra *Helicoverpa armígera*, disminuyó de manera significativa el número de huevos ovipositados en 48.48 % en comparación al control (Ahmad y Ansari, 2013). Estudios anteriores han demostrado que las concentraciones subletales de insecticidas pueden estimular significativamente la fecundidad de las plagas y son factores potenciales que conducen al brote de plagas de insectos (Li *et al.*, 2014).

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

Table 3. Sub-lethal effects of cypermethrin on the average number of eggs per female per day of *Plutella xylostella*.

Tratamiento	Progenitores		Descendientes	
	HHD ¹ (Media ± SD ²)	Total (Media ± SD ²)	HHD ¹ (Media ± SD ²)	Total (Media ± SD ²)
L.S.	34.04 ± 6.886 c	160.2 ± 40.812 b	24.55 ± 6.023 b	145.8 ± 15.466 ab
L.S.(CL₂₀)	49.34 ± 7.896 ab	181.4 ± 28.465 ab	28.466 ± 6.087 ab	115.6 ± 11.282 b
L.R.	39.08 ± 4.339 bc	172 ± 32.503 ab	37.30 ± 4.050 ab	157.6 ± 23.383 a
L.R. (CL₂₀)	58.34 ± 7.924 a	227.4 ± 31.895 a	39.80 ± 10.894 a	182.6 ± 29.720 a

Medias seguidas de la misma letra por columna no presentan diferencia significativa (Tukey, $\alpha < 0.05$); ¹Huevos por hembra por día; ²Desviación estándar.

Means followed by the same letter within each column do not present a significant difference (Tukey, $\alpha < 0.05$); ¹Females per male; ²standard deviation.

En la **Tabla 4** se muestra la comparación de medias de las fases de desarrollo, así como la longevidad de hembra-macho y el tiempo total de desarrollo de la LS con y sin aplicación, así como la LR con y sin exposición a la CL₂₀ de *P. xylostella*, observándose diferencias significativas para las fases de huevo, larva 1 (L1), larva 3 (L3) larva 4 (L4) y pupa, adultos, longevidad de hembra-macho y para el tiempo total de desarrollo con valores estadísticos de g.l.= 3; P= 8.104, g.l.= 3;

P= 4.957, g.l.= 3; P= 5.483, g.l.= 3; P= 30.98, g.l.= 3; P= 7.790, g.l.= 3; P= 13.94, g.l.= 3; P= 11.08, g.l.= 3; P= 16.76 y g.l.= 3; P= 9.627, respectivamente. La LRCL₂₀ y la LS presentaron el mayor tiempo de desarrollo en la fase de huevo con una media de 3.55 y 3.33 días, por su parte la LSCL₂₀ presentó el valor más bajo con 2.46 días.

La LR con y sin aplicación reportaron los tiempos de desarrollo más altos para L1 con 1.55 y 1.66 días respectivamente. De igual manera para la fase de L3 se puede observar que la resistencia y la aplicación de cipermetrina (CL₂₀) afectan en el desarrollo de las larvas al alargar su tiempo de 2.19 y 2.44 días para la LR y la LRCL₂₀, respectivamente, en comparación con la LS (1.91 días). En lo que se refiere a L4 las LSCL₂₀ y LRCL₂₀ prolongaron su tiempo de desarrollo en 0.03 y 0.75 días, respectivamente en comparación a la LS y LR. Por otro lado, en la fase de pupa el tiempo de desarrollo se ve disminuido al aplicar una CL₂₀ de cipermetrina en la LS y LR con valores de 2.65 y 3.12 días, respectivamente, mientras que en la LS y LR sin aplicación los días de desarrollo fueron de 4.05 y 3.27, respectivamente. El tiempo de vida de las hembra-macho también fue afectado por la aplicación de cipermetrina en la LRCL₂₀ al reducirse en más 0.60 y 0.30 días, respectivamente en comparación a la LR, caso contrario a la LSCL₂₀ que presentó un incremento en la longevidad de hembra-macho de 0.20 y 2.09 días, respectivamente, en comparación a la LS. Para el tiempo total de desarrollo del huevo hasta la muerte del adulto, se puede observar LRCL₂₀ presentó un incremento de 1.12 y 1.54 días, en comparación a la LS y LR, respectivamente. Sin embargo, para la línea LSCL₂₀ disminuyó su tiempo de desarrollo más de 1.70 días, en comparación a la LS. Xiao *et al.* (2016) reportaron un incremento el tiempo total de desarrollo de *Harmonia axyridis* de más de 4 días al aplicar cipermetrina. La aplicación de una CL₂₀ de clorantranilipole (Guo *et al.*, 2013) y Fipronil (Rodríguez *et al.*, 2020) en larvas de *P. xylostella* alargó su periodo de desarrollo en 0.59 y 4.19 días, respectivamente. Sin embargo, Zhang *et al.* (2012) y Mahmoudvand y Moharramipour (2015) observaron una leve disminución en el tiempo total de desarrollo de *P. xylostella* al exponer larvas de tercer instar a dosis subletales de metaflumizona y fenoxycarb, respectivamente.

Tabla 4. Efectos subletales de cipermetrina en las fases de desarrollo de *Plutella xylostella*.
Table 4. Sub-lethal effects of cypermethrin in the development stages of *Plutella xylostella*.

Fase ¹	Tratamientos			
	L.S. (Media ± SD ²)	L.S.(CL ₂₀) (Media ± SD ²)	L.R. (Media ± SD ²)	L.R. (CL ₂₀) (Media ± SD ²)
Huevo	3.559 ± 0.398 a	2.467 ± 0.337 b	3.066 ± 0.712 ab	3.333 ± 0.559 a
L1	1.083 ± 0.179 b	1.244 ± 0.296 ab	1.550 ± 0.453 a	1.666 ± 0.500 a
L2	1.832 ± 0.337 a	1.688 ± 0.471 a	1.745 ± 0.314 a	1.708 ± 0.500 a
L3	1.918 ± 0.410 ab	1.634 ± 0.341 b	2.190 ± 0.488 a	2.444 ± 0.583 a
L4	1.793 ± 0.276 c	1.823 ± 0.219 bc	2.131 ± 0.2833 b	2.888 ± 0.333 a
Pupa	4.056 ± 0.904 a	2.653 ± 0.419 b	3.270 ± 0.449 ab	3.122 ± 0.747 b
Adulto	3.575 ± 0.472 b	4.730 ± 0.271 a	3.450 ± 0.497 b	3.777 ± 0.666 b
Macho	2.894 ± 0.891 c	4.990 ± 0.662 a	4.150 ± 0.241 b	3.833 ± 0.707 b
Hembra	4.410 ± 0.790 ab	4.620 ± 0.423 a	3.720 ± 0.553 bc	3.100 ± 0.734 c
Total	17.814 ± 0.994 ab	16.020 ± 1.114 c	17.402 ± 1.608 bc	18.942 ± 0.946 a

Medias seguidas de la misma letra dentro de cada fila no presentan diferencia significativa (Tukey, $\alpha < 0.05$); ¹

Valores en días; ²Desviación estándar.

Means followed by the same letter within each row do not present significant difference (Tukey, $\alpha < 0.05$); ¹Values in days; ²Standard deviation.

Conclusiones

Plutella xylostella tiene la capacidad de desarrollar resistencia a cipermetrina en un corto tiempo. La aplicación de dosis subletales de cipermetrina tiene un efecto en la biología de *P. xylostella* ya que el porcentaje de pupas formadas, peso de pupas y adultos emergidos disminuyó, en cambio el ciclo de vida se vio alargado de manera mínima (1 día), en lo que se refiere a la fecundidad presenta una estimulación, la cual se ve reflejada en el número de huevos por hembra por día y en el total de huevos ovipositados.

Referencias

- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265-267.
- Ahmad, S., & Ansari, M. S. (2013). Acute toxicity and sub-lethal effects of a pyrethroid (cypermethrin) on survival, development, and fitness of *Helicoverpa armigera*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 46(14), 1726-1739. DOI: <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.774809>
- CASAFE - CÁMARA ARGENTINA DE SANIDAD AGROPECUARIA Y FERTILIZANTES. (2011). Guía de productos fitosanitarios. Eds. CASAFE 15th, Buenos Aires. 996 p.

- Dukre, A. S., Moharil, M. P., Ghodki, B. S., & Rao, N. G. V. (2009). Role of glutathione S-transferase in imparting resistance to pyrethroids in *Plutella xylostella* (L.). *International Journal of Integrative Biology*, 6(1), 17-21.
- Gong, Y.J., Wang, Z.H., Shi, B.C., Kang, Z.J., Zhu, L., Jin, G.H., & Liu, T.X. (2013). Correlación entre la resistencia a los pesticidas y la actividad enzimática en la polilla del lomo del diamante, *Plutella xylostella*. *Journal of Insect Science*, 13 (1). DOI: <https://doi.org/10.1673/031.013.13501>
- Guo, L., Desneux, N., Sonoda, S., Liang, P., Han, P., & Gao, X. W. (2013). Sublethal and transgenerational effects of chlorantraniliprole on biological traits of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. *Crop Protection*, 48, 29-34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.02.009>
- Han, W.S, Zhang, S.F., Shen F.Y., Zhang, H.J. & Gao, X.W. (2011). Sublethal effects of beta-cypermethrin on abamectin resistant and –susceptible population of diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal Environmental Entomology* 33, 335–341. En Línea: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotat-KCTD201103010.htm
- 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. DOI: <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. DOI: [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). En línea: <https://www.ircac.online.org/methods/plutella-xylostella-larvae/> Consultado: 8 de marzo del 2019.
- Ishtiaq, M., Saleem, M. A., & Wright, D. J. (2012). Stability, cross-resistance, and effect of synergists, PBO and DEF, on deltamethrin resistant strain of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) from Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology*, 44(6).
- James, D. G., & Price, T. S. (2002). Fecundity in two spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) is increased by direct and systemic exposure to imidacloprid. *Journal of Economic Entomology*, 95(4), 729-732. DOI: <https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.4.729>

- Jiang, T., Wu, S., Yang, T., Zhu, C., & Gao, C. (2015). Monitoring field populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) for resistance to eight insecticides in China. *Florida Entomologist*, 98(1), 65-73.
- Kang, W. J., Koo, H. N., Jeong, D. H., Kim, H. K., Kim, J., & Kim, G. H. (2017). Functional and genetic characteristics of chlorantraniliprole resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Entomological Research*, 47(6), 394-403. DOI: <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12258>
- Kannan, M., Lokesh, S., Prithiva, J. N., & Mohan, M. (2017). Toxicity and sublethal effects of *Bacillus thuringiensis* B. δ -Endotoxin Cry1Ab on the biological parameters of diamondback moth, *Plutella xylostella* L. *Mysore Journal of Agricultural Sciences*, (Special Issue), 51(A), 153-158.
- Kumar, K., & Chapman, R. B. (1984). Sublethal effects of insecticides on the diamondback moth *Plutella xylostella* (L.). *Pesticide Science*, 15(4), 344-352. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.2780150404>
- Li, J. Y., Xiao, D., Qu, Y., Gao, X., & Song, D. (2014). Sublethal effects of malathion on biological traits and life table parameters of the soybean aphid, *Aphis glycines* (Matsumura). *Chinese Journal of Pesticide Science*, (2), 2. http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotale-NYXB201402002.htm
- Liu, X., Wang, H. Y., Ning, Y. B., Qiao, K., & Wang, K. Y. (2015). Resistance selection and characterization of chlorantraniliprole resistance in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 108(4), 1978-1985. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tov098>
- Mahmoudvand, M., Abbasipour, H., Garjan, A. S., Bandani, A. R. (2011) Sublethal effects of hexaflumuron on development and reproduction of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Insect Science*, 18 (6), 689–696. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2011.01411.x>
- Mahmoudvand, M., & Moharrampour, S. (2015). Sublethal effects of fenoxycarb on the *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Insect Science*, 15(1). DOI: <https://doi.org/10.1093/jisesa/iev064>
- Odevole, A. F., & Adebayo, T. A. (2014). Field evaluation of plant extracts for the control of diamond moth (*Plutella xylostella* Linnaeus) infesting cabbage (*Brassica oleracea* Linn).

International Letters of Natural Sciences, 11(2), 164-178. [bwmeta1.element.agro-36a9e394-959c-4275-913f-9e95d2bb8cc](https://doi.org/10.1093/jee/tow170)

- Quan, L. F., Qiu, G. S., Zhang, H. J., Sun, L. N., Li, Y. Y., & Yan, W. T. (2016). Sublethal concentration of beta-cypermethrin influences fecundity and mating behavior of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) adults. *Journal of Economic Entomology*, 109(5), 2196-2204. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tow170>
- Rimoldi, F., Fogel, M. N., Schneider, M. I., & Ronco, A. E. (2015). Efectos indirectos de insecticidas convencionales y biorracionales sobre la alimentación de *Rachiplusia nu* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 41(1), 41-47. DOI: <http://hdl.handle.net/11336/9382>
- Rodríguez, J. F. R., Chávez, E. C., Fuentes, Y. M. O., Beache, M. B., Flores, J. L., & Acevedo, L. P. G. (2020). Efectos subletales en el desarrollo de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) asociados a la resistencia a fipronil. *Acta Zoológica Mexicana (NS)*, 36(1), 1-10. DOI: <https://doi.org/10.21829/azm.2020.3612214>
- SAS Institute Inc. (2002). *Guide for personal computers*. SAS institute, Cary, N.C.
- Shen, J.L. Tan, J.G. Xiao, B. Tan, F.J. You, Z.P. Monitoring and forecasting of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to pyrethroid pesticides in China. *Chinese J. Appl. Entomol.*, 28 (1991), pp. 337-341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.03.011>
- Shelton, A. M., Wyman, J. A., Cushing, N. L., Apfelbeck, K., Dennehy, T. J., Mahr, S. E. R., & Eigenbrode, S. D. (1993). Insecticide resistance of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in North America. *Journal of Economic Entomology*, 86(1), 11-19. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/86.1.11>
- Steinbach, D., Moritz, G., & Nauen, R. (2017). Fitness costs and life table parameters of highly insecticide-resistant strains of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) at different temperatures. *Pest Management Science*, 73(9), 1789-1797. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.4597>
- Soderlund, D. M. (2010). Toxicology and mode of action of pyrethroid insecticides. In Hayes' handbook of pesticide toxicology (pp. 1665-1686). Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374367-1.00077-X>

- Stark, J. D. & Banks, J.E. (2003). Stark, J. D., & Banks, J. E. (2003). Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annual Review of Entomology*, 48(1), 505-519. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.48.091801.112621>
- Su, C. & Xia, X. (2019). Su, C., & Xia, X. (2020). Sublethal effects of methylthio-diafenthiuron on the life table parameters and enzymatic properties of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.)(Lepidoptera: Plutellidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 162, 43-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.08.011>
- Tabashnik, B.E., Gassmann, A.J., Crowder, D.W. & Carrière Y. (2008). Insect resistance to Bt crops: evidence versus theory. *Nat Biotechnol* 26:199–202. DOI: <https://doi.org/10.1038/nbt1382>
- Wang, R., Zheng, H., Qu, C., Wang, Z., Kong, Z., & Luo, C. (2016). Lethal and sublethal effects of a novel cis-nitromethylene neonicotinoid insecticide, cycloxaprid, on *Bemisia tabaci*. *Crop Protection*, 83, 15-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.01.015>
- Xiao, D., Zhao, J., Guo, X., Li, S., Zhang, F., & Wang, S. (2016). Sublethal effect of beta-cypermethrin on development and fertility of the Asian multicoloured ladybird beetle *Harmonia axyridis*. *Journal of Applied Entomology*, 140(8), 598-608. DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12302>
- 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(10), 1385-1391. DOI: [org/10.1016/j.cropro.2008.05.008](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.05.008)
- Zhang, S., Zhang, X., Shen, J., Mao, K., You, H., & Li, J. (2016). Susceptibility of field populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, to a selection of insecticides in Central China. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 132, 38-46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2016.01.007>
- 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. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60108-](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60108-)
- Zhong, D., Chang, X., Zhou, G., He, Z., Fu, F., Yan, Z., & Cui, L. (2013). Relationship between knockdown resistance, metabolic detoxification, and organismal resistance to pyrethroids in *Anopheles sinensis*. *PloS one*, 8(2). DOI: 10.1371 / journal.pone.0055475