环境昆虫学报 2021，43（5）：1325－1330
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2021. 05. 30



殷先元，蒲宇辰，黄颖，黄斌，侯有明. 苏云金芽胞杆菌 HA 和 HD 对黄曲条跳甲成虫的毒力分析［J］. 环境昆虫学报，2021，43（5）：1325－1330.

苏云金芽胞杆菌 HA 和 HD 对黄曲条跳甲成虫的毒力分析

殷先元[1,2,3]，蒲宇辰[1,2,4]，黄　颖[1,2]，黄　斌[1,2]，侯有明[1,2*]

（1. 福建农林大学闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室，福州 350002；2. 福建省昆虫生态重点实验室，福州 350002；
3. 湖北省农业科学院植保土肥研究所，农业农村部华中作物有害生物综合治理重点实验室，武汉 430064；
4. 闽南师范大学生物科学与技术学院，福建漳州 363000）

摘要：黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata*（Fabricius）是为害十字花科蔬菜的世界性害虫之一。为了探究苏云金芽胞杆菌 HA 和 HD 对黄曲条跳甲成虫的防治潜力，本研究测定了苏云金芽胞杆菌 HA 和 HD 菌株对黄曲条跳甲成虫的毒力，以及对其谷胱甘肽-S-转移酶（GST）活性和中肠组织形态的影响。结果表明：*Bt*-HA 和 *Bt*-HD 均对黄曲条跳甲成虫有杀虫活性，LC_{50}分别为 4.01×10^8 CFU/mL 和 1.17×10^8 CFU/mL。菌株 *Bt*-HD 处理组的 GST 酶活性高于对照组和菌株 *Bt*-HA 处理组。菌株 *Bt*-HA 处理黄曲条跳甲成虫 14 d 后，中肠微绒毛肿胀脱落；菌株 *Bt*-HD 处理黄曲条跳甲成虫 4 d 后中肠微绒毛开始疏松脱落，14 d 后中肠柱状细胞底膜变形脱落。综上所述，苏云金芽胞杆菌 HD 对黄曲条跳甲成虫的毒力更强，是防治黄曲条跳甲成虫的优势菌株，其杀虫机理值得深入研究。

关键词：黄曲条跳甲；苏云金芽胞杆菌；成虫；毒力；组织病理学
中图分类号：Q968.1；S476　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674－0858（2021）05－1325－06

Toxicity analysis of *Bacillus thuringiensis* HA and HD against *Phyllotreta striolata* adults

YIN Xian-Yuan[1,2,3], PU Yu-Chen[1,2,4], HUANG Ying[1,2], HUANG Bin[1,2], HOU You-Ming[1,2*]

（1. State Key Laboratory of Ecological Pest Control for Fujian-Taiwan Crops, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Key Laboratory of Insect Ecology in Fujian, Fuzhou 350002, China; 3. Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Central China, Ministry of Agricultural and Rural Affairs, Institude of Plant Protection and Soil Fertilizer, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China; 4. School of Biological Science and Biotechnology, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, Fujian Province, China）

Abstract: The Striped flea beetle, *Phyllotreta striolata*（Fabricius）, is one of the most destructive pests of cruciferous vegetables worldwide. To explore prevention potential of *Bacillus thuringiensis* HA and HD on *P. striolata* adults, bioassays, glutathione S-transferase（GST）enzyme activity and histopathological analysis of midgut epithelium of *P. striolata* adults were conducted. The results showed that the LC_{50} values of *Bt*-HA and *Bt*-HD were 4.01×10^8 CFU/mL and 1.17×10^8 CFU/mL respectively. GST enzyme activity in the *Bt*-HD treatment group was higher than that in the control group and the *Bt*-HA treatment

基金项目：国家重点研发计划（2018YFD0201209－5）；福建省高等学校创新能力提升计划（K80ND800102B）
作者简介：殷先元，女，硕士，研究方向为昆虫生态与害虫综合治理，E－mail：2206241414@qq.com
* 通讯作者 Author for correspondence：侯有明，男，博士，教授，研究方向为昆虫生态与害虫综合治理，E－mail：ymhou@fafu.edu.cn
收稿日期 Received：2020－07－08；接受日期 Accepted：2021－06－05

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

group. Histopathological analysis revealed the microvilli swelled and fell off after 14 days of treatment with *Bt*-HA, the microvilli began to loosen and fall off after 4 days of treatment with strain *Bt*-HD, and the basement membrane of columnar cells in the midgut began to deform and fall off after 14 days. In conclusion, *Bt*-HD is more virulent to adults of *P. striolata* than *Bt*-HA. The insecticidal mechanism of *B. thuringiensis* HD on *P. striolata* adults should be further investigated.

Key words: *Phyllotreta striolata*; *Bacillus thuringiensis*; adults; toxicity; histopathological analysis

黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata* (Fabricius) 隶属于鞘翅目 Coleoptera 叶甲科 Chrysomelidae，是专门为害十字花科蔬菜的寡食性害虫 (Beran *et al.*, 2011)，也是十字花科蔬菜上危害最为严重的世界性害虫之一 (Andersen *et al.*, 2006)，在我国分布范围广泛，尤其在我国广东和福建两地危害严重，严重制约了蔬菜生产 (贺华良等, 2012a)。黄曲条跳甲成虫寿命长，繁殖力强，为害状严重 (贺华良等, 2012b)，并对多种化学药剂产生抗性难以防治，急需寻找新的替代防治方法 (Feng *et al.*, 2000; Yan *et al.*, 2013)。

苏云金芽胞杆菌 *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (简称 *Bt*) 对鳞翅目、双翅目、鞘翅目等多种昆虫幼虫具有高效杀虫活性，广泛用于防治农林业害虫 (Roh *et al.*, 2007)，是重要的生防菌 (Grove *et al.*, 2001)。*Bt* 制剂浇淋土壤可以减少黄曲条跳甲产卵量和幼虫数量，对成虫的防效可达 67.56% (胡珍娣等, 2012)。杨建云等 (2013) 研究表明 *Bt* 工程菌施用后 72 h 可造成黄曲条跳甲幼虫的校正死亡率为 41.67%，并抑制黄曲条跳甲卵的孵化。同时，研究表明，苏云金芽胞杆菌能够影响昆虫成虫的生长发育 (Yamaguchi *et al.*, 2008, 2013; Zhang *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2016)。西方玉米根虫 *Diabrotica virgifera* (LeConte) 成虫取食表达 Cry3Bb1 蛋白的转基因玉米叶片后，雄虫的存活率减少，雌虫的体重和产卵量均下降 (Meissle *et al.*, 2011)。Qi 等 (2011) 研究表明 *Bt* ZQ-89 菌株对云斑天牛 *Batocera horsfieldi* (Hope) 成虫的校正死亡率可达 55.33%，同时使成虫的体重和卵孵化率分别减少 2.22% 和 19.62%。

苏云金芽胞杆菌是否能直接用于防治黄曲条跳甲成虫？本研究基于苏云金芽胞杆菌 HA 和 HD 这两个菌株，其中苏云金芽胞杆菌 HA 对红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) 2 龄幼虫具有较好的杀虫活性 (Pu *et al.*, 2017)，而苏云金芽胞杆菌 HD 对黄曲条跳甲幼虫也表现出杀虫活性 (吉亮等, 2016)。本文通过测定苏云金芽胞杆菌 HA 和 HD 对黄曲条跳甲成虫的毒力，分析不同 *Bt* 菌株对谷胱甘肽-S-转移酶 (GST) 活性的影响，并利用透射电镜观察对比 HA 和 HD 对黄曲条跳甲中肠的影响，最终综合判断 HA 和 HD 两株苏云金芽胞杆菌用于防治黄曲条跳甲成虫的价值，并分析其在黄曲条跳甲成虫中肠中的作用机理。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试菌株：苏云金芽胞杆菌 HA 和 HD (记为菌株 *Bt*-HA 和 *Bt*-HD)，来自华中农业大学微生物学国家重点实验室孙明教授课题组。

供试蔬菜：上海青 (福州金铭种业有限公司)，实验室内标准化种植，整个生长周期内不喷施任何杀虫剂。

供试昆虫：黄曲条跳甲成虫分别于采集于福建省建瓯市西大街外的菜地。经室内用上海青饲喂 48 h 后备用。

供试药剂：Bradford 法蛋白定量试剂盒 (北京全式金生物技术有限公司)，谷胱甘肽-S-转移酶测定试剂盒 (南京建成生物工程研究所)。

1.2 试验方法

1.2.1 毒力测定

分别用含 0.1% 吐温-80 的无菌水将 *Bt*-HA 粉剂稀释成 1.51×10^8、3.03×10^8、6.05×10^8、1.21×10^9、2.42×10^9 CFU/mL，*Bt*-HD 粉剂稀释成 7.46×10^7、1.49×10^8、2.99×10^8、5.97×10^8、1.19×10^9 CFU/mL 5 种等比浓度。以含 0.1% 吐温-80 的无菌水溶液为空白对照组。以新鲜洗净的上海青叶片，剪成正方形 (3 × 3 cm)，将叶片分别浸渍于 *Bt*-HA、*Bt*-HD 菌悬液和对照组溶液中，25 min 后取出叶片，在滤纸上自然晾干。将叶片放入垫有湿润滤纸的塑料培养皿中 (D = 70 mm)，每皿放入 5 片叶片，罩上塑料瓶。在温度 28℃ ± 1℃，相对湿度 75% ± 5%，光周期

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

L∶D = 14∶10 的环境条件下，接入饥饿处理 24 h 的黄曲条跳甲成虫约 30 头，每 2 d 更换一次叶片，连续喂毒 14 d，每天检查成虫的死亡数，每个处理重复 4 次。采用 Abbott 公式计算校正死亡率（Abbott，1987）。

1.2.2　GST 酶活性测定

试虫准备：同 1.2.1。设 *Bt*-HA、*Bt*-HD 和空白对照 3 个处理，*Bt*-HA 和 *Bt*-HD 菌悬液浓度为 4.01×10^8 CFU/mL，黄曲条跳甲成虫饥饿处理 24 h 后接入，每天更换对应处理的叶片，每一处理分别于接虫后 1、4、7 和 14 d 取 30 头黄曲条跳甲成虫，共 12 个样。样本放入 -80℃冰箱中冷冻保存备用。

酶活性测定：从 -80℃冰箱中取出试虫，每个样 5 头，装入 1.5 mL EP 管中，每管加入 500 μL 0.02 M PBS（pH 7.4）缓冲液，并放入 3 颗锆珠进行组织研磨（65 Hz，60 s）。研磨后于 4℃下 10 000 rpm 离心 10 min，取上清液作为酶源。每个样重复 3 次，采用 Bradford 法测定酶源蛋白含量，GST 酶活性测定按照说明书进行。

1.2.3　中肠组织病理学观察

黄曲条跳甲成虫的处理方法同 1.2.2。分别于取食叶片 4 d 和 14 d 时取样，3 种处理各取 5 头黄曲条跳甲成虫。成虫用冰麻醉后解剖，截取小段中肠，用 0.15 M NaCl 洗净后，放入 2.5% 戊二醛溶液中，进行透射电镜观察。

1.3　数据处理与分析

实验数据由 SPSS 21.0 进行统计分析。菌株 *Bt*-HA 和 *Bt*-HD 毒力与 GST 酶活性数据采用 ANOVA 分析，Turkey HSD 进行多重比较；Probit 机率值法计算致死中浓度 LC_{50} 和线性回归方程。

2　结果与分析

2.1　菌株 *Bt*-HA 和 *Bt*-HD 对黄曲条跳甲成虫的毒力测定

Bt-HD 对黄曲条跳甲成虫的毒力强于 *Bt*-HA，LC_{50} 分别为 1.17×10^8 CFU/mL 和 4.01×10^8 CFU/mL（表 1）。

表 1　菌株 *Bt*-HA 和 *Bt*-HD 对黄曲条跳甲成虫的致死中浓度

Table 1　Median lethal concentration of *Bacillus thuringiensis* HA and HD against *Phyllotreta striolata* adults

菌株 Strains	LC_{50}（95% 置信区间，CFU/mL）Lethal Concentration 50	回归方程 Regression equation	卡方 χ^2	P
Bt-HA	4.01×10^8（2.70×10^8 ~ 5.52×10^8）	$y = -13.453 + 1.564x$	5.886	0.117
Bt-HD	1.17×10^8（1.60×10^7 ~ 2.21×10^8）	$y = -7.704 + 0.955x$	6.834	0.077

2.2　菌株 *Bt*-HA 和 *Bt*-HD 对黄曲条跳甲 GST 酶活性影响

在 1 ~ 14 d 内，随着时间的延长，对照组体内的 GST 酶活性呈显著性下降（$F_{3,8} = 16.652$，$P = 0.001$）；*Bt*-HA 处理组的黄曲条跳甲 GST 酶在第 4 天时与对照组并没有显著差异，第 7 天活性显著上升达到峰值，后显著性降低（$F_{3,8} = 6.066$，$P = 0.019$），而 *Bt*-HD 处理的黄曲条跳甲 GST 酶在第 4 天活性达到峰值，随后呈下降趋势（$F_{3,8} = 2.732$，$P = 0.114$）（图 1）。

同时，*Bt*-HD 处理组的黄曲条跳甲体内 GST 酶活性始终高于取食菌株 *Bt*-HA 处理组和对照组叶片的黄曲条跳甲体内 GST 酶活性。

2.3　菌株 *Bt*-HA 和 *Bt*-HD 对黄曲条跳甲成虫中肠组织形态的影响

电镜观察结果表明，取食处理叶片 4 d 后，*Bt*-HD 处理组的黄曲条跳甲成虫中肠微绒毛开始疏松脱落（图 2-C），对照组和菌株 *Bt*-HA 处理组的中肠微绒毛致密且排列整齐，形态未见变化（图 2-A 和 2-B）；取食处理叶片 14 d 后，菌株 *Bt*-HD 处理组的黄曲条跳甲成虫中肠柱状细胞的底膜变形脱落（图 3-C），菌株 *Bt*-HA 处理组的中肠微绒毛开始肿胀脱落（图 4-B），但底膜与基质结合紧密且形态完整（图 3-B），对照组中肠底膜和微绒毛形态完整，未见明显变化（图 3-A 和图 4-A）。这表明 *Bt*-HA 和 *Bt*-HD 皆能损伤黄曲条跳甲成虫中肠的微绒毛，并且 *Bt*-HD 能使中肠的底膜变形脱落，对中肠的损伤更为明显。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

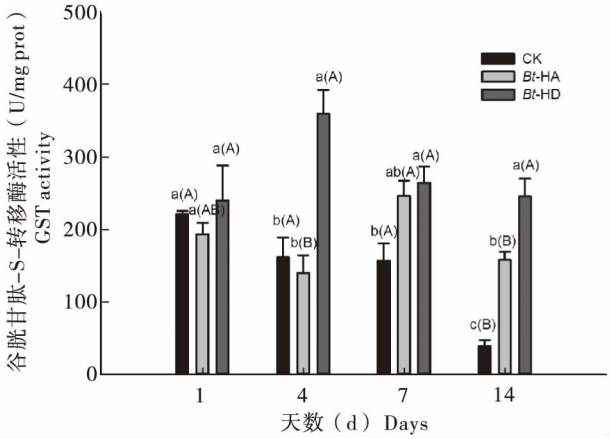


图 1 不同处理的黄曲条跳甲体内 GST 酶活性的时间变化动态

Fig. 1 Time dynamics of GST enzyme activities of *Phyllotreta striolata* adults under different treatments

注：不同的小写字母表示同一时间点上 3 种处理的 GST 酶活差异性显著；不同的大写字母表示同一处理不同时间点的 GST 酶活差异显著（单因素方差分析，Turkey 多重比较，$P < 0.05$）。Note: Lowercase letter represent at the same time point between the three treatmens were significantly different; Uppercase letters represent at different time points within the same treatment were significant different (One way ANOVA: Tukey's HSD tests, $P < 0.05$).

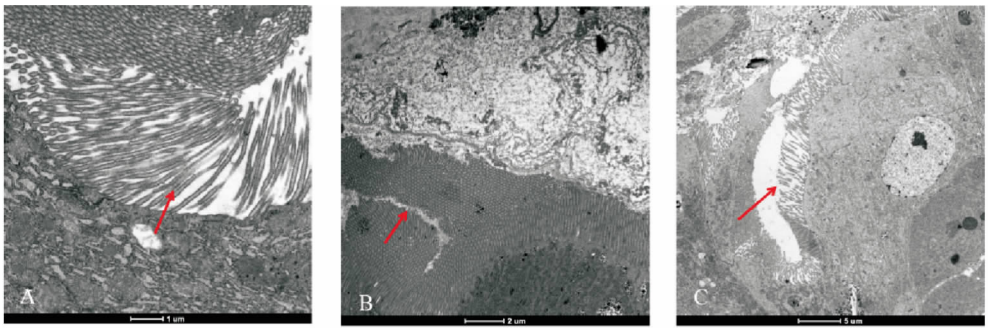


图 2 取食 3 种不同处理叶片 4 d 后黄曲条跳甲成虫中肠微绒毛的形态变化

Fig. 2 Morphological changes of the microvillus of midguts of *Phyllotreta striolata* adults after three treatments for 4 days

注：A，对照组；B，*Bt*-HA 处理组；C，*Bt*-HD 处理组。下同。Note: A, Control group; B, *Bt*-HA treatment group; C, *Bt*-HD treatment group. Same as follows.

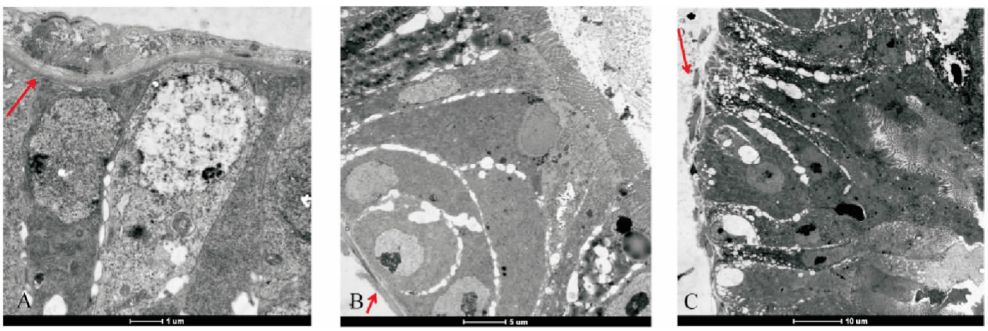


图 3 取食 3 种不同处理叶片 14 d 后黄曲条跳甲成虫中肠柱状细胞底膜的形态变化

Fig. 3 Morphological changes of the basement membrane of midguts of *Phyllotreta striolata* adults after three treatments for 14 days

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

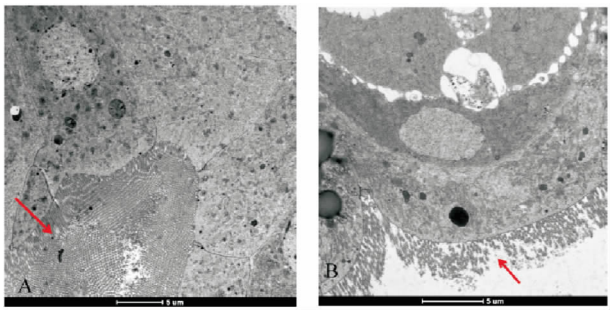


图 4　取食菌株 *Bt*-HA 处理的叶片 14 d 后黄曲条跳甲成虫中肠微绒毛的形态变化

Fig. 4　Effects of *Bacillus thuringiensis* HA on the microvillus of midguts of *Phyllotreta striolata* adults for 14 days

3　讨论与结论

本研究结果表明，苏云金芽胞杆菌 *Bt*-HA 和 *Bt*-HD 对黄曲条跳甲成虫都具有杀虫活性，且 *Bt*-HD 对黄曲条跳甲成虫的毒力比 *Bt*-HA 强。用 *Bt*-HA 或 *Bt*-HD 处理黄曲条跳甲成虫时都会触发黄曲条跳甲的解毒机制，引起 GST 酶表达量上升。昆虫体内的解毒酶包括羧酸酯酶、乙酰胆碱酯酶、谷胱甘肽-S-转移酶（GST）等，能够代谢大量的外源毒素（任羽等，2016）。小地老虎 *Agrotis ypsilon* Rottemberg 幼虫在遇到相同剂量的 *Bt* Cry2Ab 和 Cry1Ac 毒蛋白时，毒性更高的 Cry2Ab 引起小地老虎幼虫体内 GST 酶活性显著升高，而 Cry1Ac 对 GST 酶活性的影响不明显（陆琼等，2009），所以昆虫体内 GST 酶活性与底物的毒性相关。谭树乾等（2013）发现在华北大黑鳃金龟 *Holotrichia oblita* 幼虫中 GST 酶活性与毒蛋白 Cry8Ga1 的浓度呈正相关。本文研究结果表明，毒性更高的 *Bt*-HD 会引起黄曲条跳甲强烈的防御反应，体内 GST 酶活性显著上升，并且高于 *Bt*-HA 处理组。

昆虫摄取 *Bt* 毒蛋白后，*Bt* 毒蛋白与中肠上皮细胞上的受体结合，进而穿孔，引起细胞渗透压改变，导致昆虫死亡（Vachon *et al.*，2012）。在组织病理学上表现为 *Bt* 毒蛋白造成昆虫中肠微绒毛的肿胀脱落、中肠上皮细胞的肿胀和空泡化、肠腔空泡化、细胞内容物外泄等（Endo and Nishiitsutsuji-Uwo，1980；李芳芳等，2007；Bowling *et al.*，2017）。本研究表明，苏云金芽胞杆菌对黄曲条跳甲成虫造成毒性的机制之一是 *Bt* 毒蛋白会对其中肠的组织形态造成损伤。苏云金芽胞杆菌 *Bt*-HA 和 *Bt*-HD 皆能造成黄曲条跳甲成虫中肠微绒毛脱落，其中 *Bt*-HD 作用速度更快并能使中肠柱状细胞底膜变形脱落，这与 *Bt*-HD 毒性更强相一致。

综上所述，苏云金芽胞杆菌 HD 具有用于田间防治黄曲条跳甲成虫的应用前景，有关苏云金芽胞杆菌 HD 对黄曲条跳甲成虫的杀虫作用机理还需进一步探索。

参考文献（References）

Abbott WS. A method ofcomputing the effectiveness of an insecticide [J]. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 1987, 3 (2): 302 – 303.

Andersen CL, Hazzard R, VanDriesche R, *et al.* Alternative management tactics for control of *Phyllotreta cruciferae* and *Phyllotreta striolata* (Coleoptera: Chrysomelidae) on *Brassica rapa* in Massachusetts [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2006, 99 (3): 803 – 810.

Beran F, Mewis I, Srinivasan R, *et al.* Male *Phyllotreta striolata* (F.) produce an aggregation pheromone: Identification of male – specific compounds and interaction with host plant volatiles [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2011, 37 (1): 85 – 97.

Bowling AJ, Pence HE, Li HR, *et al.* Histopathological effects of *Bt* and *TcdA* insecticidal proteins on the midgut epithelium of western corn rootworm larvae (*Diabrotica virgifera virgifera*) [J]. *Toxins*, 2017, 9 (5): 156.

Endo Y, Nishiitsutsuji – Uwo J. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* δ – endotoxin: Histopathological changes in the silkworm midgut [J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 1980, 36 (1): 90 – 103.

Feng H, Hung Y, Hsu J. Insecticide susceptibility of cabbage flea beetle (*Phyllotreta striolata* (Fab.)) in Taiwan [J]. *Plant Protection Bulletin Taipei*, 2000, 42: 67 – 72.

Grove M, Kimble W, Mccarthy W. Effects of individual *Bacillus thuringiensis* insecticidal crystal proteins on adult *Heliothis virescens* (F.) and *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Biocontrol*, 2001, 46 (3): 321 – 335.

He LH, Bin SY, Lin JT, *et al.* Advances in integrated control of vegetable pest, *Phellodendron striolata* [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012a, 39 (12): 80 – 83. [贺华良，宾淑

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

英，林进添，等. 蔬菜害虫黄曲条跳甲综合防治研究进展［J］. 广东农业科学，2012a，39（12）：80－83］

He LH，Bin SY，Lin JT. Advances in biology ecological characteristics and occurrence causes of *Phyllostachys striolata* ［J］. *Anhui Agriculture Sciences*，2012b，40（20）：10683－10686.［贺华良，宾淑英，林进添. 黄曲条跳甲生物学生态学特征及其发生原因研究进展［J］. 安徽农业科学，2012b，40（20）：10683－10686］

Hu ZD，Feng X，Chen HY，*et al.* Control effect of the soil treatment on striped flea beetle，*Phyllotreta striolata*（F.）with some insecticides［J］. *Guangdong Agricultural Sciences*，2012，39（13）：100－101.［胡珍娣，冯夏，陈焕瑜，等. 药剂土壤处理对菜心田黄曲条跳甲的防治效果［J］. 广东农业科学，2012，39（13）：100－101］

Ji L，Liang SQ，Zhao JQ，*et al.* Exploratory test of *Bacillus thuringiensis* against *Phyllotreta striolata* ［J］. *Rural Economy and Science Technology*，2016，27（16）：51.［吉亮，梁仕权，赵基荃，等. 苏云金杆菌防治黄曲条跳甲探索试验［J］. 农村经济与科技，2016，27（16）：51］

Li FF，Ye GY，Wu Q，*et al.* Histopathological changes in the midgut of the rice leaf folder，*Cnaphalocrocis medinalis*（Lepidoptera：Pyralidae）larvae feeding on transgenic *Bt* rice ［J］. *Acta Entomologica Sinica*，2007，50（10）：1070－1076.［李芳芳，叶恭银，吴琼，等. 取食转 *Bt* 基因水稻对稻纵卷叶螟幼虫中肠的组织病理学效应［J］. 昆虫学报，2007，50（10）：1070－1076］

Lu Q，Zhang YQ，Yu HC，*et al.* Insecticidal activity of Cry2Ab proteins to *Agrotis ypsilon*（Rottemberg）and induced protease activities changes in the larvae［J］. *Journal of Plant Protection*，2009，36（1）：16－20.［陆琼，张永军，于洪春，等. Cry2Ab 杀虫蛋白对小地老虎幼虫致死效果及体内酶活性的影响［J］. 植物保护学报，2009，36（1）：16－20］

Meissle M，Hellmich R，Romeis J. Impact of Cry3Bb1－expressing *Bt* maize on adults of the western corn rootworm，*Diabrotica virgifera virgifera*（Coleoptera：Chrysomelidae）［J］. *Pest Management Science*，2011，67（7）：807－814.

Pu YC，Ma TL，Hou YM，*et al.* An entomopathogenic bacterium strain，*Bacillus thuringiensis*，as a biological control agent against the red palm weevil，*Rhynchophorus ferrugineus*（Coleoptera：Curculionidae）［J］. *Pest Management Science*，2017，73（7）：1494－1502.

Qi G，Lu J，Zhang P，*et al.* The cry1Ac gene of *Bacillus thuringiensis* ZQ－89 encodes a toxin against long－horned beetle adult［J］. *Journal of Applied Microbiology*，2011，110（5）：1224－1234.

Ren Y，Guo WC，Yue MQ，*et al.* Influence of Cry8E sublethal doses on activities of detoxification enzymes and protective enzyme of the potato beetle larvae［J］. *Chinese Journal of Biological Control*，2016，32（6）：794－799.［任羽，郭文超，岳明翠，等. Cry8E 亚致死浓度对马铃薯甲虫解毒酶和保护酶的影响［J］. 中国生物防治学报，2016，32（6）：794－799］

Roh JY，Choi JY，Li MS，*et al.* *Bacillus thuringiensis* as a specific，safe，and effective tool for insect pest control［J］. *Journal of Microbiology and Biotechnology*，2007，17（4）：547－559.

Tan SQ，Yin J，Li KB，*et al.* Effects of Cry8Ga1 toxin on the activities of main enzymes in *Holotrichia oblita* larvae［J］. *Plant Protection*，2013，39（3）：1－6.［谭树乾，尹姣，李克斌，等. Cry8Ga1 蛋白对华北大黑鳃金龟幼虫主要酶活性的影响［J］. 植物保护，2013，39（3）：1－6］

Vachon V，Laprade R，Schwartz JL. Current models of the mode of action of *Bacillus thuringiensis* insecticidal crystal proteins：A critical review ［J］. *Journal of Invertebrate Pathology*，2012，111（1）：1－12.

Wang L，Wan P，Cong SB，*et al.* Adult exposure to *Bt* toxin Cry1Ac reduces life span and reproduction of resistant and susceptible pink bollworm（Lepidoptera：Gelechiidae）［J］. *Journal of Economic Entomology*，2016，109（3）：1357－1363.

Yamaguchi T，Bando H，Asano SI. Identification of a *Bacillus thuringiensis* Cry8Da toxin－binding glucosidase from the adult Japanse beetle，*Popillia japonica* ［J］. *Journal of Invertebrate Pathology*，2013，113（2）：123－128.

Yamaguchi T，Sahara K，Bando H，*et al.* Discovery of a novel *Bacillus thuringiensis* Cry8D protein and the unique toxicity of the Cry8D－class proteins against scarab beetles［J］. *Journal of Invertebrate Pathology*，2008，99（3）：257－262.

Yan X，Han RC，Moens M，*et al.* Field evaluation of entomopathogenic nematodes for biological control of striped flea beetle，*Phyllotreta striolata*（Coleoptera：Chrysomelidae）［J］. *Biocontrol*，2013，58：247－256.

Yang JY，Xiang YL，Tian YJ，*et al.* Study on the activity of several biological agents against eggs and larvae of the striped flea beetle *Phyllotreta striolata*［J］. *Guangdong Agricultural Sciences*，2013，40（2）：65－67，72.［杨建云，向亚林，田耀加，等. 几种生物制剂对黄曲条跳甲卵及幼虫的活性测定［J］. 广东农业科学，2013，40（2）：65－67，72］

Zhang Y，Ma Y，Wan PJ，*et al.* *Bacillus thuringiensis* insecticidal crystal proteins affect lifespan and reproductive performance of *Helicoverpa armigera* and *Spodoptera exigua* adults［J］. *Journal of Economic Entomology*，2013，106（2）：614－621.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net