

低浓度 Bt 杀虫蛋白连续刺激对甜菜夜蛾飞翔力的影响

蔡文宸, 苏宏华, 陈玲, 周浩, 杨益众*

(扬州大学园艺与植物保护学院, 扬州 225009)

摘要 以人工饲料中添加低浓度的 Cry1Ac 杀虫蛋白(0、5、10、20 $\mu\text{g/g}$)饲养甜菜夜蛾 5 个世代,探讨低浓度杀虫蛋白连续刺激对该虫处女蛾与产卵蛾飞行速度、飞行时间与飞行距离的影响。结果表明,甜菜夜蛾对低浓度 Bt 毒素的响应经过了敏感期、逐步适应期到最终适应甚至反弹几个阶段;在 F_1 代,对照组的飞行距离显著长于最高浓度处理组。 F_2 、 F_3 代,低浓度处理(5~10 $\mu\text{g/g}$)后的甜菜夜蛾飞行力开始增强,高浓度杀虫蛋白处理组(20 $\mu\text{g/g}$)的飞行力仍低于对照,不同处理在飞行时间与飞行距离上差异显著。在 F_4 代,处女蛾的飞行力开始回升,特别是低浓度处理(5 $\mu\text{g/g}$)的飞行时间和飞行距离显著高于对照,也显著或极显著高于其他 2 个浓度处理,各处理在飞行时间和飞行距离上达到显著差异。到了 F_5 代,所有处理的飞行力均大于对照,其飞行速度、飞行时间与飞行距离 3 个指标在各处理间均达到显著差异。研究同时发现,无论是处女蛾,还是产卵雌蛾,对低浓度 Cry1Ac 杀虫蛋白的响应基本一致。文章认为,阐述毒蛋白对昆虫飞行的影响需要研究多个世代。

关键词 Cry1Ac 杀虫蛋白; 甜菜夜蛾; 飞翔力; 响应

中图分类号: S 433.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.04.012

Effects of low concentration of Bt toxin on flight ability of *Spodoptera exigua*

Cai Wenchen, Su Honghua, Chen Ling, Zhou Hao, Yang Yizhong

(College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract The effects of low concentration of Bt toxin on flight speed, flight time and flight distance of virgin and egg-laying adults were examined by adding Bt toxin to the artificial diets (0, 5, 10 and 20 $\mu\text{g/g}$) and feeding larvae with different diets for 5 generations. The results showed that, in F_1 generation, the flight distance of adult in CK group was significantly longer than in 20 $\mu\text{g/g}$ treatment; in the F_2 and F_3 generations, flight performance was enhanced after fed with low concentration of Bt toxin (5–10 $\mu\text{g/g}$), while high concentration of Bt toxin (20 $\mu\text{g/g}$) inhibited flight of adults. In addition, there were significant differences in flight time and flight distance among different treatments. In F_4 generation, flight ability of virgin adult started to increase, especially for the treatment with low concentration of Bt toxin (5 $\mu\text{g/g}$), the flight time and flight distance were significantly higher than those of the control, and significantly and extremely significantly higher than those of the other two treatments. There were significant difference in flight time and flight distance among different treatments. In F_5 generation, after Bt treatments flight ability were all stronger compared to the control, and there were significant differences in flight speed, flight time and flight distance among all treatments. In this research, virgin and egg-laying females both had similar responses to low concentration of Bt toxin. The study indicates that exact influences of Bt toxin on insect flight should be investigated for multi-generations.

Key words Cry1Ac toxin; *Spodoptera exigua*; flight ability; response

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner 属鳞翅目夜蛾科,是一种间歇暴发性的多食性害虫^[1]。20 世纪

80 年代以前,该害虫仅在我国局部地区零星发生,且以为害蔬菜作物为主。但自 80 年代中期以后

特别是进入 90 年代,它在棉花等作物上的发生日趋严重,21 世纪以来已成为棉花、芝麻、蔬菜等作物上的一种主要害虫^[2-3]。王生元等报道江苏姜堰市自从 1992 年在棉花上发现甜菜夜蛾后,发生量逐年增加,1995 年、1996 年连续两年大发生,第 3、4 代百株棉花虫量超过 100 头,严重的田块达 1 000 头,对棉花产量造成的损失一般 20%~30%,严重田块达 50%以上^[4]。河北省植保总站 1999 年曾报道,转基因抗虫棉田甜菜夜蛾发生为害十分严重,有些田块百株虫量高达 100 多头,叶片被啃食成花叶^[5]。而该虫也是一种间歇性迁飞的食叶性害虫^[6]。甜菜夜蛾的迁飞频次以及发生为害加重的程度与转基因棉花的大面积推广应用之间是否存在一定的联系值得探讨。

关于甜菜夜蛾飞行力与 Bt 毒素浓度的关系,前人已做过一些研究。陈建研究发现,在一定浓度范围内,甜菜夜蛾的飞行能力随着饲料中 Bt 毒素浓度的升高而升高,超过一定的浓度范围,飞行力便显著下降^[7];还有研究结果进一步指出,当甜菜夜蛾人工饲料中 Cry1Ac 杀虫蛋白的浓度在 25~50 $\mu\text{g}/\text{g}$ 时,甜菜夜蛾的飞行能力呈上升趋势,并在 50 $\mu\text{g}/\text{g}$ 时飞行距离和飞行时间均达到最大,但与对照差异不显著。但当浓度升高到 100 $\mu\text{g}/\text{g}$,甚至 200 $\mu\text{g}/\text{g}$ 时,雌蛾的飞行距离、飞行时间和飞行速度均较对照显著下降^[8]。

在长江流域,甜菜夜蛾为害棉花是一个连续的过程。自棉花现蕾至成熟吐絮均可发生为害,其中第 3、4 代是主害代,而大发生年份,第 2 代、第 5 代也可造成棉花产量的损失^[9]。有研究指出,转基因棉花叶片中的 Bt 毒素含量呈动态下降趋势,在棉花生长中后期含量较低^[10]。为此,本文以较低浓度的 Bt 杀虫蛋白连续人工饲养甜菜夜蛾 5 个世代,探讨经低浓度 Bt 杀虫蛋白多代刺激后该害虫飞行能力的变化,为预测转基因棉田甜菜夜蛾的大发生提供理论依据,也为转基因棉花的长期安全种植与棉田害虫的综合治理提供基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源、人工饲料配方与饲养条件

所用甜菜夜蛾虫源和人工饲料配方均由中国农业科学院植物保护研究所提供。

饲养条件的控制:所有试验均在恒温培养箱中进行。温度设定为(26±1)℃,相对湿度 60%~75%,光周期 L//D=14 h//10 h。

1.2 含有不同浓度 Cry1Ac 杀虫蛋白人工饲料的配制

吸取一定量、已商业化的 Cry1Ac 杀虫蛋白溶液

稀释后置于 1 mL 离心管中放入冰盒中备用,称取 1 000 g 的室温正常人工饲料置于保鲜盒中,用移液枪吸取一定量的 Cry1Ac 溶液加入保鲜盒中并用玻璃棒迅速搅拌,配制成含 Cry1Ac 杀虫蛋白浓度为 5、10、20 $\mu\text{g}/\text{g}$ 的饲料,以未加入 Cry1Ac 杀虫蛋白的饲料作为对照。

1.3 甜菜夜蛾飞行力的测定

1.3.1 甜菜夜蛾的饲养

将孵化 12 h 后的幼虫接至保鲜盒中(19 cm×13 cm×6 cm),每盒 20~30 头。用含 Cry1Ac 毒蛋白浓度分别为 0(对照)、5、10 和 20 $\mu\text{g}/\text{g}$ 的饲料饲喂至化蛹,每天或隔天更换饲料。以第一代各处理成虫所产的卵作为下一代各处理的虫源,以此类推,连续饲养 5 个世代^[11]。待测虫态为刚产卵的雌蛾(产卵蛾)和同日龄未交配的处女蛾。

1.3.2 甜菜夜蛾飞行力的测定

测试前,先在指形管中用乙醚轻度麻醉大小较为一致的甜菜夜蛾,然后用毛笔轻刷甜菜夜蛾胸腹部交界处,去除毛和鳞片,再将小铜丝环用 502 胶粘接在虫体上。测试时,将小铜丝环连接于飞行磨(佳多科工贸有限责任公司研发,型号:FXM-D)的吊臂上。室内测试温度保持在 26℃左右,相对湿度约 70%。测试时间 8 h(23:00—07:00)。用飞行距离、飞行时间和平均速度来描述成虫的飞行能力^[12]。每处理测试成虫 20 头,重复 3 次。

1.4 试验数据的统计与分析

相关数据均表示为平均数±标准差,采用 Excel 2003, DPS v7.05 等软件进行处理分析。单因素方差分析各参数的变化, LSD 法进行差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 取食不同浓度 Cry1Ac 对甜菜夜蛾处女蛾飞行能力的影响

不同浓度的 Cry1Ac 杀虫蛋白对甜菜夜蛾处女蛾飞行力的影响随世代的不同而不同。研究发现,甜菜夜蛾对 Bt 毒素的响应经过了敏感、逐步适应,到最终适应甚至反弹等几个阶段。F₁ 代,对照组的飞行能力大多强于各处理组。其中,飞行距离在处理间达到显著差异($df=3$, $F=10.66$, $P=0.0036$)(表 1)。说明 Bt 毒素的短期刺激抑制了甜菜夜蛾的飞行; F₂、F₃ 代,甜菜夜蛾对 Bt 毒素的响应从开始适应到逐步适应,且低浓度处理(5~10 $\mu\text{g}/\text{g}$)的飞行力有增强趋势。尤其是 F₂ 代,最低浓度处理(5 $\mu\text{g}/\text{g}$)的飞行时间与对照没有显著差异,较低浓度处理(5~

10 $\mu\text{g/g}$)的飞行距离与对照也没有显著差异;但随着杀虫蛋白浓度的增加(20 $\mu\text{g/g}$),飞行力仍较对照显著下降。不同处理在飞行时间和飞行距离上差异显著(F_2 代:飞行时间: $df=3, F=10.36, P=0.004$;飞行距离: $df=3, F=9.33, P=0.0054$)。 F_4 、 F_5 代,甜菜夜蛾对Bt毒素的响应从完全适应到刺激反弹。在 F_4 代,处理组甜菜夜蛾的飞行力开始上升,特别是低浓度处理(5 $\mu\text{g/g}$)的飞行时间和飞行距离显著高于对照,也显著或极显著高于其他2

个浓度处理,各处理在飞行时间和飞行距离上差异显著(飞行时间: $df=3, F=7.18, P=0.0117$;飞行距离: $df=3, F=11.14, P=0.0032$)。到了 F_5 代,所有处理组的飞行指标均大于对照,处理间达到了显著差异(平均速度: $df=3, F=4.28, P=0.0445$;飞行时间: $df=3, F=4.32, P=0.0436$;飞行距离: $df=3, F=4.25, P=0.0453$)。这表明经多代刺激后,低浓度Cry1Ac杀虫蛋白对甜菜夜蛾飞行的影响出现了正效应。

表1 取食不同浓度Cry1Ac杀虫蛋白的 $F_1 \sim F_5$ 代甜菜夜蛾处女蛾的飞行能力¹⁾

Table 1 Flight performance of *Spodoptera exigua* virgin adult from first to fifth generations feeding different concentrations of diets with Bt toxin

代次 Generation	处理/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Treatment	飞行速度/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ Average speed	飞行时间/h Flight time	飞行距离/km Flight distance
F_1	0	(1.37±0.30)a	(2.86±1.10)a	(4.64±0.77)a
	5	(1.02±0.01)a	(2.52±0.82)a	(2.91±0.25)b
	10	(1.21±0.32)a	(3.55±1.36)a	(4.55±0.73)a
	20	(1.12±0.31)a	(2.44±0.59)a	(2.59±0.32)b
F_2	0	(1.26±0.08)a	(3.48±0.79)a	(5.13±1.02)a
	5	(1.16±0.17)a	(4.16±0.83)a	(5.66±0.75)a
	10	(1.87±0.97)a	(1.38±0.55)b	(4.37±1.09)a
	20	(1.13±0.41)a	(1.42±0.86)b	(1.84±0.94)b
F_3	0	(1.42±0.24)a	(5.09±0.84)a	(7.45±0.67)a
	5	(1.11±0.10)a	(3.52±0.66)b	(4.74±0.96)bc
	10	(1.12±0.23)a	(4.06±0.75)ab	(5.56±0.82)b
	20	(1.12±0.17)a	(3.09±0.67)b	(3.86±0.89)c
F_4	0	(1.00±0.23)a	(2.68±0.45)b	(2.97±0.78)b
	5	(1.19±0.34)a	(3.93±0.59)a	(5.31±1.02)a
	10	(1.02±0.20)a	(2.32±0.99)b	(2.13±1.10)bc
	20	(0.88±0.05)a	(1.53±0.38)b	(1.14±0.75)c
F_5	0	(0.97±0.33)b	(0.96±0.65)b	(1.18±0.69)b
	5	(1.06±0.27)b	(1.68±0.36)ab	(2.32±0.50)a
	10	(1.19±0.27)b	(1.84±0.41)ab	(2.06±0.40)ab
	20	(1.80±0.38)a	(2.36±0.46)a	(2.54±0.43)a

1) 数字后不同小写字母示同代、同列间差异显著($P < 0.05$)。

Different lowercase letters in the same generation and same column indicate significant difference($P < 0.05$).

2.2 相同浓度Cry1Ac处理条件下产卵蛾和处女蛾飞行力比较

研究发现,同一世代取食同一浓度人工饲料的甜菜夜蛾处女蛾与已产卵雌蛾的平均飞行速度、飞行时间和飞行距离大多没有显著差异(表2)。由此说明,在研究不同浓度Cry1Ac处理对甜菜夜蛾飞行力的影响时,无论用产卵蛾还是处女蛾,对研究结论没有太大影响。

3 结论与讨论

甜菜夜蛾现已成为长江中下游地区棉花、蔬菜

等作物上的重要害虫,一旦暴发,对这些作物产量和品质的影响将是灾难性的。它又是一种间歇性迁飞性害虫,食料等条件将会影响该虫的飞行时间与距离等。为此,本文模拟转基因棉花叶片中的Cry1Ac含量,探讨低浓度Cry1Ac杀虫蛋白连续刺激后对甜菜夜蛾飞行力的影响。结果表明:低浓度Bt毒素对甜菜夜蛾飞行力的影响以及该虫对毒蛋白的响应呈现多代效应,经历了对Bt毒素敏感、逐步适应到最终适应几个阶段。一方面说明了低浓度Cry1Ac杀虫蛋白对某种昆虫的影响需要多个世代的连续观测,另一方面也提示研究外在因素对昆虫的影响仅

做一、二个世代有时是不够的。当然,需要做多少世代才能阐明昆虫对某些因素的稳定响应还需要深入

研究;同时,外在影响因子与昆虫种类甚多,这方面的探讨也需要做大量、长期的工作。

表 2 同一世代取食同一浓度 Cry1Ac 饲料后产卵蛾与处女蛾飞行力的比较¹⁾

Table 2 Comparison of flight performance of virgin and egg-laying *Spodoptera exigua* adults feeding the same concentration of diets with Bt toxin and in the same generation

世代 Generation	检测指标 Index	对照 CK		5 $\mu\text{g/g}$		10 $\mu\text{g/g}$		20 $\mu\text{g/g}$	
		产卵蛾	处女蛾	产卵蛾	处女蛾	产卵蛾	处女蛾	产卵蛾	处女蛾
		Egg-laying adult	Virgin adult	Egg-laying adult	Virgin adult	Egg-laying adult	Virgin adult	Egg-laying adult	Virgin adult
F ₁	平均速度 Average speed	(1.93±0.61)a	(1.37±0.30)a	(0.74±0.16)b	(1.02±0.01)a	(1.17±0.31)a	(1.21±0.32)a	(0.88±0.06)a	(1.12±0.31)a
	飞行时间 Flight time	(4.63±0.24)a	(2.86±1.10)a	(3.69±0.67)a	(2.52±0.82)a	(2.42±0.35)a	(3.55±1.36)a	(2.21±0.86)a	(2.44±0.59)a
	飞行距离 Flight distance	(4.54±0.86)a	(4.64±0.77)a	(3.09±0.69)a	(2.91±0.25)a	(3.33±1.05)a	(4.55±0.73)a	(2.35±0.71)a	(2.59±0.32)a
F ₂	平均速度 Average speed	(1.24±0.15)a	(1.26±0.08)a	(1.20±0.31)a	(1.16±0.17)a	(0.80±0.13)a	(1.87±0.97)a	(1.11±0.28)a	(1.13±0.41)a
	飞行时间 Flight time	(3.51±0.28)a	(3.48±0.79)a	(1.66±0.83)b	(4.16±0.83)a	(2.61±0.58)a	(1.38±0.55)a	(2.63±0.70)a	(1.42±0.86)a
	飞行距离 Flight distance	(4.68±0.31)a	(5.13±1.02)a	(2.40±0.86)b	(5.66±0.75)a	(2.83±0.63)a	(4.37±1.09)a	(3.29±0.19)a	(1.84±0.94)a
F ₃	平均速度 Average speed	(1.43±0.23)a	(1.42±0.24)a	(0.95±0.35)a	(1.11±0.10)a	(1.08±0.53)a	(1.12±0.23)a	(1.05±0.03)a	(1.12±0.17)a
	飞行时间 Flight time	(4.49±0.61)a	(5.09±0.84)a	(3.88±0.86)a	(3.52±0.66)a	(2.74±0.68)a	(4.06±0.75)a	(2.20±0.30)a	(3.09±0.67)a
	飞行距离 Flight distance	(6.88±0.39)a	(7.45±0.67)a	(4.45±0.87)a	(4.74±0.96)a	(3.50±0.38)b	(5.56±0.82)a	(2.55±0.27)a	(3.86±0.89)a
F ₄	平均速度 Average speed	(1.13±0.43)a	(1.00±0.23)a	(0.90±0.26)a	(1.19±0.34)a	(0.94±0.35)a	(1.02±0.20)a	(1.06±0.31)a	(0.88±0.05)a
	飞行时间 Flight time	(2.37±0.84)a	(2.68±0.45)a	(2.97±1.00)a	(3.93±0.59)a	(3.20±0.85)a	2.32±0.99a	(3.18±1.00)a	(1.53±0.38)a
	飞行距离 Flight distance	(2.01±0.81)a	(2.97±0.78)a	(3.59±0.41)a	(5.31±1.02)a	(3.78±0.64)a	(2.13±1.10)a	(3.82±0.79)a	(1.14±0.75)b
F ₅	平均速度 Average speed	(1.16±0.18)a	(0.97±0.33)a	(1.18±0.33)a	(1.06±0.27)a	(1.21±0.32)a	(1.19±0.27)a	(1.59±0.25)a	(1.80±0.38)a
	飞行时间 Flight time	(1.82±0.53)a	(0.96±0.65)a	(1.99±0.82)a	(1.68±0.36)a	(2.24±0.19)a	(1.84±0.41)a	(2.56±0.79)a	(2.36±0.46)a
	飞行距离 Flight distance	(2.39±0.81)a	(1.18±0.69)a	(2.63±0.89)a	(2.32±0.50)a	(2.70±0.33)a	(2.06±0.40)a	(2.81±0.75)a	(2.54±0.43)a

1) 数字后相同小写字母示同代、同处理产卵蛾与处女蛾间无显著差异($P>0.05$)。

The same lowercase letters between egg-laying and virgin adults in the same generation and same treatment indicate no significant difference ($P>0.05$).

江幸福等曾以含有较高剂量 Bt 毒素(25、50、100 $\mu\text{g/g}$ 等)的饲料饲养甜菜夜蛾,发现浓度低于 50 $\mu\text{g/g}$ 处理甜菜夜蛾,其飞行力有增强趋势,但当浓度达到一定水平后(100 $\mu\text{g/g}$ 和 200 $\mu\text{g/g}$)则对飞行力有抑制作用^[8]。Chen 等曾系统测定过几种不同转基因棉花体内各生育期叶片中的 Bt 毒素含量,发现棉花苗期至现蕾期体内的 Bt 毒蛋白含量最高,花铃期次之,吐絮期更低^[10]。在长江黄河流域,甜菜夜蛾的发生主要是在棉花生长的中后期^[13]。这也是本文设计较低浓度的 Cry1Ac 剂量处理甜菜夜蛾的依据。当然基因类型不同的棉花品种间 Bt 毒素的含量差异较大,这方面还有大量的问题需要探索。

张小丽等曾用转 Bt 基因棉‘国抗 22’及其亲本对照‘泗棉 3 号’和转 Bt + CpTI 基因棉‘SGK321’及其亲本对照‘石远 321’的成熟叶片,连续饲养甜菜夜蛾种群 3 个世代。结果发现,随着取食转基因棉花时间的延长,甜菜夜蛾种群的趋势指数(I 值)越来越大。这说明转基因棉花对甜菜夜蛾的刺激似乎存在累积效应^[9]。本研究也发现,随着含低浓度 Bt 毒素饲料饲养甜菜夜蛾代数的增加,飞行力也呈逐渐增强趋势。由此可见低浓度的毒蛋白刺激对该害虫种群增长的影响和对飞行力的影响有一致性。不过,经 Bt 毒素刺激后甜菜夜蛾 1~5 代的飞行力没有按设计浓度与代数呈现出线性的升高或降低,以及

(下转 109 页)

取食,并未妨碍营养物质及水分从果柄向栗苞运输,栗苞及栗苞内果实仍可膨大生长,且栗实象羽化出土相对较晚。因此,早先报道栗果提前脱落可能是由栗雪片象幼虫为害引起的,栗实象幼虫是否引发栗果早期脱落有待进一步研究证实。

板栗雪片象和栗实象 DNA 条形码序列(COI基因 5'端 684 bp)的遗传距离高达 18.9%~19.6%,碱基差异明显。板栗雪片象与 Molytinae 亚科的 *Niphadomimus* sp. 聚为一支,遗传距离为 17.0%~17.6%;栗实象与同属的 3 种聚为一支,遗传距离为 10.6%~12.1%,具有较近的亲缘关系,但在 GenBank 数据库中未发现与两种象甲遗传距离更小的序列。目前,全世界已知象甲科昆虫 5 万种^[7],但 BOLD 数据库中仅记载象甲科昆虫 2 571 个已命名种的 DNA 条形码 COI 基因片段序列^[12],有待大量开展象甲科昆虫的 DNA 条形码序列研究,为象甲科害虫尤其是幼虫的快速准确鉴定提供技术支持。

参考文献

[1] 汪玉平,肖云丽,程水源. 我国板栗小蛾类害虫名录[J]. 黄冈师范学院学报,2013,33(6):32-39.

(上接 69 页)

及第 5 代对照种群的各参数比处理种群的相应参数要低,其机理还有待深入研究。

研究发现,大多数迁飞性昆虫的飞翔力在卵巢发育中期最强,尤其是卵巢开始发育后的 3~5 d。通过长距离迁飞(移),其卵巢发育逐步完成,并实施交尾与产卵^[14]。本研究亦以处女蛾为材料,系统研究低浓度的 Cry1Ac 毒蛋白连续刺激对其飞翔力的影响。因此其结果更能反映迁飞性昆虫的一些特征。本文也探讨了产卵蛾与处女蛾在飞行时间与距离等方面对 Cry1Ac 毒蛋白的响应,结果表明,用处女蛾还是已经交配产卵的雌虫测定其迁飞能力,两者差异不甚明显。由此说明,Cry1Ac 毒蛋白对甜菜夜蛾迁飞性的影响与该虫的成熟度关系不大。

参考文献

[1] 王瑞明,刘海南. 甜菜夜蛾的综合控制技术[J]. 江西棉花,2004,26(5):37.

[2] 夏敬源,崔金杰,常蕊芹. 转基因抗虫棉对甜菜夜蛾的抗性研究[J]. 中国棉花,2000,27(9):10-11.

[3] 周文,汪登松. 甜菜夜蛾生物学特性及防治技术[J]. 安徽农业,2004(9):22.

[4] 王生元,张银贵,缪荣蓉,等. 姜堰市甜菜夜蛾在棉花上发生

[2] 汪玉平,肖云丽,程水源. 我国板栗大鳞翅类害虫名录[J]. 黄冈师范学院学报,2014,34(3):24-33.

[3] 肖云丽,汪玉平,程水源,等. 我国板栗害虫研究概述[J]. 环境昆虫学报,2014,36(3):442-451.

[4] 汪玉平. 罗田板栗害虫与天敌调查研究[D]. 武汉:武汉工程大学,2014.

[5] 肖云丽,汪玉平,孙康,等. 湖北省罗田县板栗害虫种类调查研究初报[J]. 植物保护,2015,41(6):205-211.

[6] 徐育海,蒋迎春,方波,等. 罗田县板栗产业生产调查[J]. 湖北农业科学,2008,47(1):67-70.

[7] 李巧. 中国象甲科分类研究综述[J]. 西南林学院学报,2003,23(3):74-79.

[8] Hebert P D N, Cywinska A, Bal S L, et al. Biological identifications through DNA barcodes [J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2003,270:313-321.

[9] 刘先琴,张祥万. 湖北栗实象甲的发生与综合防治[J]. 植保技术与推广,2000,20(6):26.

[10] 屈顶柱,黄应成,张宜仁. 栗实象甲生物学特性及综合防治技术研究[J]. 陕西林业科技,2009(1):71-73.

[11] 赵书有. 栗实象甲的发生规律及综合防治[J]. 特种经济动植物,2010,18(7):52.

[12] DNA barcode of life data[DB/OL]. BOLD, 2016, <http://www.boldsystems.org>.

(责任编辑:田喆)

为害特点及防治对策[J]. 中国棉花,1998,25(6):28.

[5] 河北省植保总站. 抗虫棉田病虫害发生与防治不容忽视[J]. 农药市场信息,1999(9):31.

[6] 苏建亚. 甜菜夜蛾的迁飞及在我国的发生[J]. 昆虫知识,1998,35(1):55-57.

[7] 陈建. Cry1Ac 杀虫蛋白对甜菜夜蛾生长发育、繁殖、食物利用率及飞行能力的影响[D]. 北京:中国农业科学院,2011.

[8] 江幸福,陈建,罗礼智,等. Cry1Ac 杀虫蛋白对甜菜夜蛾飞行能力的影响[J]. 植物保护,2011,37(6):102-106.

[9] 张小丽,陈萍,陈翠芳,等. 转 Bt 基因抗虫棉对甜菜夜蛾实验种群增长的影响[J]. 植物保护学报,2007,34(4):391-395.

[10] Chen Chunxia, Wu Erzong, Yang Yizhong, et al. The transfer of Bt insecticidal protein to higher tropic levels via a transgenic cotton, then beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and their natural enemies [J]. The Canadian Entomologist, 2014,146:1-7.

[11] 陈建,江幸福,罗礼智,等. 甜菜夜蛾低龄幼虫取食含 Cry1Ac 杀虫蛋白的人工饲料对其生长发育和成虫繁殖的影响[J]. 昆虫学报,2010,53(10):1119-1126.

[12] 江幸福,罗礼智,胡毅. 幼虫食物对甜菜夜蛾生长发育、繁殖及飞行的影响[J]. 昆虫学报,1999,42(3):271-276.

[13] 王智广,刘少芳,崔书瑞. 黄河流域棉区甜菜夜蛾的发生规律及防治技术[J]. 中国棉花,2006,33(10):29-29.

[14] 洪晓月,丁锦华. 农业昆虫学[M]. 第 2 版. 北京:中国农业出版社,2007.

(责任编辑:田喆)