

陈 琼, 陈洁琼, 黄水金, 等. 小菜蛾对啉虫酰胺的抗性现实遗传力及风险评价[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 267-271.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.02.007

小菜蛾对啉虫酰胺的抗性现实遗传力及风险评价

陈 琼, 陈洁琼, 黄水金, 陈洪凡, 秦文婧, 秦厚国

(江西省农业科学院植物保护研究所, 江西 南昌 330200)

摘要: 为了明确小菜蛾对啉虫酰胺的抗性风险, 为啉虫酰胺的合理应用提供理论依据, 在室内用啉虫酰胺对小菜蛾进行抗性选育, 并应用域性状分析法, 研究了小菜蛾对啉虫酰胺的抗性现实遗传力(h^2)和抗性发展速率。结果表明, 连续筛选前 13 代($F_0 \sim F_{13}$), 小菜蛾对啉虫酰胺的抗性现实遗传力为 0.124 9; 停止筛选 2 代后, 再连续筛选 11 代($F_{16} \sim F_{26}$), 抗性现实遗传力为 0.183 4; 整个 26 代筛选期间, 现实遗传力为 0.167 2。当 $h^2 = 0.167 2$ 时, 在致死率为 50% ~ 90% 的选择压力下, 预计小菜蛾对啉虫酰胺的抗性增长 10 倍需要 15.0 ~ 6.8 代, 表明小菜蛾对啉虫酰胺产生抗性的风险较大。

关键词: 小菜蛾; 啉虫酰胺; 抗性现实遗传力; 抗性风险

中图分类号: S481+.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)02-0267-05

Realized heritability and risk assessment of resistance of *Plutella xylostella* to tolfepryad

CHEN Qiong, CHEN Jie-qiong, HUANG Shui-jin, CHEN Hong-fan, QIN Wen-jing, QIN Hou-guo

(Institute of Plant Protection, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China)

Abstract: To evaluate the resistance risk of diamondback moth (*Plutella xylostella*) to tolfepryad and to provide positive guidance for scientific application of tolfepryad, *P. xylostella* were selected in the laboratory for resistance to tolfepryad. The realized resistance heritability and generations holding a 10-time increase in LC_{50} were evaluated based on the Tabashnik's method (threshold trait analysis). The realized resistance heritability (h^2) was 0.124 9 for $F_0 - F_{13}$ and 0.184 3 for $F_{16} - F_{26}$, during which there were a total of 2 generations without selection. The realized resistance heritability for the entire selection period was 0.167 2, according to which it would take 15.0 ~ 6.8 generations for *P. xylostella* to develop 10-time resistance to tolfepryad under selection pressure of 50% ~ 90% mortality for each generation. These results indicated that *P. xylostella* may have significant resistance risk to tolfepryad.

Key words: *Plutella xylostella*; tolfepryad; realized resistance heritability; resistance risk

收稿日期: 2014-09-10

基金项目: 江西省科技支撑计划项目(20122BBF60102); 公益性行业(农业)科研专项(201103021)

作者简介: 陈 琼(1983-), 女, 江西高安人, 硕士, 助理研究员, 主要从事昆虫毒理学与害虫综合治理研究。(Tel) 13870097151; (E-mail): jonecq2000@sina.com。陈洁琼为共同第一作者。

通讯作者: 黄水金, (E-mail): sjhuang@aliyun.com

小菜蛾(*Plutella xylostella*)属于鳞翅目菜蛾科, 是世界性的十字花科蔬菜主要害虫^[1-3]。由于其年发生代数多, 繁殖系数高, 危害极为严重。施用化学药剂一直是防治小菜蛾的主要手段, 由于长期的不合理用药, 导致该虫对诸多药剂均产生了严重的抗药性^[4-7]。

长期以来, 害虫抗性问题的解决大多依赖于新

型药剂的研发。然而,新型杀虫剂的研发难度越来越大,所需的费用越来越多,时间越来越长。因此,延缓或阻止害虫对现有药剂品种的抗性,延长现有药剂的使用寿命显得极其重要。唑虫酰胺(Tolfenpyrad)为吡唑杂环类杀虫杀螨剂。其作用机理为阻碍线粒体代谢系统中的电子传递系统复合体 I,从而使电子传递受到阻碍,使昆虫不能提供和贮存能量,被称为线粒体电子传达复合体阻碍剂(METI)。该药对多种螨类以及鳞翅目、半翅目、膜翅目、双翅目和缨翅目害虫均有效,特别是对小菜蛾、蓟马和茶叶小绿叶蝉有特效^[8]。目前已广泛应用于小菜蛾的防治,但尚未见小菜蛾田间种群对唑虫酰胺产生抗性的报道。抗药性风险评估是有害生物抗药性机制与治理策略研究的重要内容。任何一种杀虫剂在大面积推广应用或害虫明显产生抗性之前,有必要通过在室内用杀虫剂对害虫进行抗性筛选,来评估其产生抗药性的风险。本试验利用群体汰选法在实验室内用唑虫酰胺对小菜蛾种群进行抗性选育,并根据每代抗性筛选所得的毒力资料,采用 Tabashnik 等的域性状分析方法^[9]计算抗性现实遗传力,并进行抗性风险评估。旨在为唑虫酰胺在生产上的合理使用、延长药剂的使用寿命和开展抗性治理提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试虫源

供试小菜蛾于 2011 年采自江西省南昌县郊区菜地,参照刘传秀等的蛭石萝卜苗法^[10]在养虫室内不接触任何药剂连续饲养作为相对敏感品系,2013 年从此相对敏感品系中分出一部分,采用群体汰选法进行唑虫酰胺抗性选育。

1.2 供试药剂

15% 唑虫酰胺(Tolfenpyrad)水乳剂,由江西正邦生物化工股份有限公司技术部提供。

1.3 抗性选育

当饲养的小菜蛾幼虫大部分进入 3 龄时,根据测定的 LC_{50} 值配置相应浓度的唑虫酰胺药液,用小型手持式喷壶将药液均匀地喷洒至带虫的萝卜苗上,3 d 后将存活幼虫转移至新鲜无药的萝卜苗上进行饲养。汰选过程中,根据每一代的生物测定结果以及幼虫存活情况逐步提高药剂汰选浓度。监测每一代的毒力回归式、 LC_{50} 值及 95% 置信限。

1.4 生物测定方法

采用浸叶法^[11]。取新鲜甘蓝叶片,清洗擦拭干净后用打孔器打成直径约 6 cm 的圆片(避开主脉)若干,然后浸在系列浓度药液中 10 s;室内晾干后接 3 龄中期小菜蛾幼虫,放入培养皿(直径 7 cm)中,每皿接入 10 头幼虫,重复 4 次,并设清水对照;然后将带虫培养皿放置于温度 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $65\% \pm 5\%$ 、光周期 14:10(光:暗)的人工养虫室中饲养,于药剂处理 72 h 后统计死亡率,以尖锐镊子轻触虫体,不能协调运动视为死亡。利用 Probit 软件计算毒力回归方程、 LC_{50} 和 95% 置信区间等。

1.5 抗性现实遗传力 h^2 估算方法

根据每代抗性筛选时所得的毒力资料,采用 Tabashnik 等的阈性状分析方法^[9]计算抗性现实遗传力 h^2 , $h^2 = R/S$ 。式中 R 为选择反应,表示子代平均表现型值与整个亲本群体平均表现型值之差, $R = [\lg(\text{终 } LC_{50}) - \lg(\text{初 } LC_{50})]/n$, n 为所选择的代数; S 为选择差异,表示受选亲本平均表现型值与整个亲本群体的平均表现型值之差, $S = i\delta p$, i 为选择强度, $i \approx 1.583\,00 - 0.019\,33p + 0.000\,04p^2 + 3.651\,94/p$ ($10 < p < 80$), $p = (100\% - \text{平均校正死亡率}) \times 100$, 平均校正死亡率是抗性选育中各代死亡率用 Abbott 公式校正后的平均值, δp 为表现型标准差,是筛选各代的毒力回归线斜率平均值的倒数, $\delta p = [1/2(\text{初斜率} + \text{终斜率})]^{-1}$ 。

1.6 抗性风险评估

根据计算得到的抗性现实遗传力 h^2 , 预测筛选后抗性上升 x 倍所需的代数 $[Gx = \lg x / (h^2 S)]$, 以及推算在不同选择压力(唑虫酰胺对小菜蛾的致死率分别为 50%、60%、70%、80% 和 90%)下抗性上升 10 倍所需的代数 $[G = R^{-1} = 1/(h^2 S)]$ 。

2 结果与分析

2.1 唑虫酰胺对小菜蛾的抗性选育

利用群体汰选法在实验室内对小菜蛾相对敏感种群进行抗性选育,结果见表 1。从表 1 可以看出,唑虫酰胺对小菜蛾相对敏感品系的 LC_{50} 为 10.955 5 mg/L,经过连续 13 代的筛选,其 LC_{50} 值上升至 31.888 8 mg/L,抗性上升了 2.91 倍,敏感性变化不大,抗性发展缓慢。在停筛 2 代后继续选育 $F_{16} \sim F_{20}$ 代,其 LC_{50} 值从 31.279 3 mg/L 上升至 94.985 9 mg/L,抗性倍数在 2.86 ~ 8.67,抗性

上升至低水平抗性,继续选育至 F_{26} 代,其 LC_{50} 值上升至643.720 9 mg/L,抗性上升较快,抗性倍数达 58.76 倍,呈现出高水平抗性。因此,小菜蛾对啉虫酰胺的抗性发展具有前期缓慢、后期上升迅速的特点。

表 1 啉虫酰胺对不同世代 3 龄小菜蛾幼虫的毒力

Table 1 Toxicity of tolfenpyrad against 3 rd instar larvae from different generations of *P. xylostella*

汰选代数	毒力回归方程	相关系数	LC_{50} (95% 置信区间) (mg/L)	抗性倍数
F_0	$Y=2.727\ 4+2.185\ 9x$	0.964 3	10.955 5(8.946 2 ~ 13.416 2)	1.00
F_1	$Y=2.747\ 3+1.833\ 5x$	0.964 2	16.929 0(13.098 2 ~ 21.880 2)	1.55
F_2	$Y=3.527\ 2+1.443\ 9x$	0.931 3	10.470 2(7.722 8 ~ 14.195 1)	0.96
F_3	$Y=3.157\ 2+1.438\ 6x$	0.959 2	19.096 8(14.101 8 ~ 25.861 0)	1.74
F_4	$Y=1.969\ 8+1.954\ 5x$	0.977 7	35.507 9(27.836 5 ~ 45.293 4)	3.24
F_5	$Y=1.208\ 4+2.797\ 7x$	0.994 6	22.659 3(18.917 3 ~ 27.141 5)	2.07
F_6	$Y=2.164\ 1+2.232\ 6x$	0.991 7	18.631 0(15.068 2 ~ 23.036 1)	1.70
F_7	$Y=3.057\ 1+1.613\ 4x$	0.981 8	16.004 7(12.228 6 ~ 20.946 9)	1.46
F_8	$Y=3.317\ 0+1.618\ 0x$	0.988 3	10.969 1(8.374 3 ~ 14.368 0)	1.00
F_9	$Y=2.844\ 9+1.449\ 6x$	0.998 2	30.664 5(21.514 3 ~ 43.706 3)	2.80
F_{10}	$Y=2.192\ 8+1.695\ 0x$	0.976 2	45.304 1(34.699 5 ~ 59.149 6)	4.14
F_{11}	$Y=2.028\ 5+1.699\ 1x$	0.974 8	56.089 5(40.709 5 ~ 77.280 0)	5.12
F_{12}	$Y=1.920\ 7+1.924\ 5x$	0.985 6	39.815 9(29.643 6 ~ 53.478 7)	3.63
F_{13}	$Y=2.551\ 3+1.628\ 5x$	0.932 2	31.888 8(23.455 8 ~ 43.353 7)	2.91
F_{14}	-	-	-	-
F_{15}	-	-	-	-
F_{16}	$Y=0.417\ 2+3.064\ 9x$	0.986 3	31.279 3(25.749 5 ~ 37.996 6)	2.86
F_{17}	$Y=1.973\ 3+1.794\ 3x$	0.976 7	48.622 5(36.615 9 ~ 64.566 1)	4.44
F_{18}	$Y=3.425\ 9+0.901\ 5x$	0.976 5	55.727 5(35.091 4 ~ 88.499 1)	5.09
F_{19}	$Y=1.904\ 7+1.692\ 1x$	0.957 4	67.484 3(52.056 0 ~ 87.485 3)	6.16
F_{20}	$Y=1.878\ 7+1.578\ 3x$	0.982 4	94.985 9(72.088 5 ~ 125.156 1)	8.67
F_{21}	$Y=0.973\ 4+1.838\ 3x$	0.986 5	155.022 5(121.273 2 ~ 198.164 1)	14.15
F_{22}	$Y=0.809\ 9+1.643\ 0x$	0.983 9	355.071 0(269.172 6 ~ 468.381 2)	32.41
F_{23}	$Y=1.402\ 2+1.384\ 2x$	0.994 2	397.321 3(291.802 9 ~ 540.996 2)	36.27
F_{24}	$Y=0.232\ 4+1.786\ 9x$	0.979 2	465.651 8(363.188 9 ~ 597.021 5)	42.50
F_{25}	$Y=0.447\ 8+1.638\ 6x$	0.974 2	599.998 1(458.813 3 ~ 784.628 1)	54.77
F_{26}	$Y=1.013\ 6+1.419\ 3x$	0.972 5	643.720 9(475.162 5 ~ 872.073 6)	58.76

-: F_{14} 、 F_{15} 两代停止筛选。

2.2 啉虫酰胺对小菜蛾的抗性现实遗传力

根据上述小菜蛾啉虫酰胺抗性发展的特点,将抗性筛选分成 2 个阶段,分别计算不同筛选阶段的 R 、 S 、 δp 及抗性现实遗传力 h^2 。在前期汰选的 13 代

($F_1 \sim F_{13}$) 中,抗性遗传力 $h^2 = 0.124\ 9$;在后期 13 代共筛选了 11 代($F_{16} \sim F_{26}$),该阶段的抗性遗传力 $h^2 = 0.183\ 4$;整个 26 代抗性现实遗传力 $h^2 = 0.167\ 2$ (表 2)。

表 2 小菜蛾对啉虫酰胺的抗性现实遗传力

Table 2 Realized heritability of resistance to tolfenpyrad in *P. xylostella*

筛选代数	每代平均选择反应			存活率 (%)	每代平均选择差异				现实遗传力 (h^2)
	始 LC_{50} (mg/L)	终 LC_{50} (mg/L)	选择反应 (R)		选择强度 (i)	平均斜率	标准差 (δp)	选择差异 (S)	
26 ($F_0 \sim F_{26}$)	10.955 5	643.720 9	0.068 0	52.84	0.750 0	1.844 1	0.542 3	0.406 7	0.167 2
13 ($F_0 \sim F_{13}$)	10.955 5	31.888 8	0.035 7	65.16	0.561 0	1.962 7	0.509 5	0.285 8	0.124 9
11 ($F_{16} \sim F_{26}$)	31.279 3	643.720 9	0.101 0	41.72	0.938 4	1.703 9	0.586 9	0.550 7	0.183 4

2.3 啉虫酰胺对小菜蛾的抗性风险评估

根据表 2 中不同筛选阶段的抗性现实遗传力值,对小菜蛾的啉虫酰胺抗性风险进行预测。假设小菜蛾在啉虫酰胺选育下的平均死亡率分别为 50%、60%、70%、80% 和 90%,计算抗性提高 10 倍所需代数(假设筛选前后毒力回归线的斜率为 2.0,即 $\delta p = 0.5$,该假设的斜率与筛选前后的斜率接近)。从图 1 可以看出,小菜蛾对啉虫酰胺的抗性发展速率与药剂致死率(即药剂的选择压力)和抗性现实遗传力之间密切相关,药剂致死率越高,抗性现实遗传力越大,抗性发展速度越快。在啉虫酰胺对小菜蛾的致死率分别为 50%、60%、70%、80% 和 90% 条件下,当 $h^2 = 0.124 9$ 时,预计小菜蛾对啉虫酰胺抗性增加 10 倍分别需要 20.1、16.5、13.8、11.5 和 9.1 代;当 $h^2 = 0.167 2$ 时,抗性增加 10 倍分别需要 15.0、12.3、10.3、8.6 和 6.8 代;当 $h^2 = 0.183 4$ 时,抗性增加 10 倍分别需要 13.7、11.2、9.4、7.8 和 6.2 代。

3 讨论

通过室内抗性筛选了解害虫的抗性形成规律是制定抗性综合治理策略的重要基础工作,特别在害虫抗性产生之前进行的抗性风险评估对制定和实施预防性抗性治理具有重要意义。刘传秀等在室内用溴氰菊酯对小菜蛾连续汰选 65 代后,其抗性倍数上升至 1 163 倍,其中, $F_0 \sim F_{25}$ 代抗性倍数增长幅度较小,抗性仅上升至 59.47 倍^[12];朱剑翔等用多杀菌素对小菜蛾种群进行筛选,筛选 26 代,抗性上升 22.4 倍^[13]。李二虎等用苦皮藤素对小菜蛾进行抗性选育 20 代,其抗性增长 21.57 倍^[14]。龙丽萍等用定虫隆对小菜蛾进行抗性选育,结果表明 $F_1 \sim F_5$ 仍属敏感状态, F_6 的敏感性已下降, $F_7 \sim F_{10}$ 达到低水平抗性, $F_{11} \sim F_{13}$ 达中等水平抗性^[15]。牛洪涛等

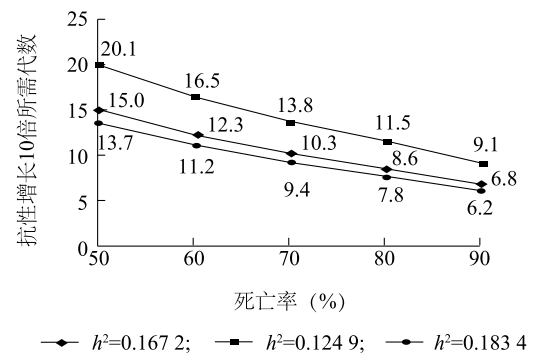


图 1 不同选择压力和 h^2 对啉虫酰胺抗性发展速率的影响 ($\delta p = 0.5$)

Fig. 1 Effects of realized resistance heritability and selection pressure on generations holding a 10-time increase in LC_{50} ($\delta p = 0.5$)

用了烯氟虫腈对小菜蛾种群进行了 13 代的筛选,抗性增长 90.27 倍^[16]。李腾武等用阿维菌素对小菜蛾进行了抗性选育,结果表明,选育从 F_0 至 F_{21} 代,抗性缓慢波动上升,达到选育前的 122.91 倍; F_{21} 至 F_{27} 代,抗性迅速增长,达到选育前的 812.73 倍,抗性发展趋势呈现 S 型曲线^[17]。这些研究结果表明,小菜蛾对不同药剂的抗性发展速度和特点不同。本试验用啉虫酰胺对小菜蛾进行了 26 代 24 次抗性选育, LC_{50} 由最初的 10.955 5 mg/L 上升到 643.720 9 mg/L,抗性上升了 58.76 倍,在汰选初期 ($F_0 \sim F_{13}$) 抗性发展缓慢,抗性仅上升了 2.91 倍,后期抗性发展较快,在此基础上抗性又上升了 20.19 倍,抗性发展趋势整体呈现先慢后快的特点。

抗性风险的评估是害虫抗性治理策略研究中的一项目其重要的内容。目前常用的抗性风险评估方法是在抗性选育的基础上,根据抗性现实遗传力来预测害虫在一定选择压力下对药剂抗性发展的速率。程罗根等的研究结果表明小菜蛾对杀螟丹和杀

虫双的抗性遗传力很低($h^2=0.03$),因此,在室内选择条件下,假如斜率 $=2.0$, $h^2=0.05$,群体中70%个体致死时要获得10倍的抗性约需34代,说明小菜蛾对杀螟丹和杀虫双产生抗性的风险较小^[18];牛洪涛等报道小菜蛾对丁烯氟虫腈的抗性遗传力为0.2206,假设遗传力为室内筛选估算值的一半,死亡率为50%~90%,预计小菜蛾对丁烯氟虫腈抗性增长10倍需要约10.3~22.8代^[16]。本研究结果表明,室内用啉虫酰胺对小菜蛾进行了26代24次抗性选育,小菜蛾对啉虫酰胺的抗性现实遗传力为0.1672,假如斜率 $=2.0$, $h^2=0.1672$,群体死亡率为50%~90%时,抗性上升10倍需6.8~15.0代,表明小菜蛾对啉虫酰胺产生抗性的风险较大。为了保证筛选种群的延续性,室内抗性选育时的选择压力一般在40%~65%,然而在生产实践上,药剂对小菜蛾的选择压力较大,田间防治小菜蛾的效果一般都在80%以上,因此田间 h^2 可能偏大。此外,在田间条件下,小菜蛾种群受天敌、温湿度、抗性个体的迁出和敏感个体的迁入以及交替用药或轮换用药、基因突变等影响,使得抗性基因频率降低,从而延缓抗性发展速度。尽管室内环境与田间环境有较大差异,但是,室内抗性风险评估的结果仍然可以作为田间防治的参考。目前国内外尚未见小菜蛾田间种群对啉虫酰胺产生抗性的报道,但随着该药剂使用时间的延长和范围的不断扩大以及不合理的应用将会导致小菜蛾对该药剂产生抗性。因此,今后仍有必要加强小菜蛾对啉虫酰胺的抗性监测和抗性机制研究,建立预防性抗性治理对策,从而为该药的合理应用、延长其使用寿命以及小菜蛾抗性综合治理提供科学依据。

参考文献:

- [1] TALEKAR N S, SHELTON A M. Biology, ecology, and management of the diamondback moth[J]. Annual Review of Entomology, 1993, 38: 275-301.
- [2] 滕忠才,张立红,刘廷辉,等.小菜蛾高毒力球孢白僵菌菌株抗旱性研究[J].江苏农业科学,2013,41(9):119-121.
- [3] 魏书艳,陆德玲,张 婧,等.9种药剂对小菜蛾的室内毒力测定及田间防控试验[J].江苏农业科学,2013,41(7):116-119.
- [4] ZHOU L, HUANG J, XU H. Monitoring resistance of field populations of diamondback moth *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) to five insecticides in South China: a ten-year case study[J]. Crop Protection, 2011, 30: 272-278.
- [5] 张友军,吴青君,王少丽,等.我国蔬菜重要害虫研究现状与展望[J].植物保护,2013,39(5):38-45.
- [6] 胡珍娣,陈焕瑜,李振宇,等.华南小菜蛾田间种群对氯虫苯甲酰胺已产生严重抗性[J].广东农业科学,2013,39(1):79-81.
- [7] 夏耀民,鲁艳辉,朱 勋,等.华中地区小菜蛾对9种杀虫剂的抗性测定[J].中国蔬菜,2013(22):75-80.
- [8] 张一宾.新颖杀虫杀螨剂-啉虫酰胺[J].世界农药,2003(6):45-43.
- [9] TABASHNIK B E, MCGAUGHEY W H. Resistance risk assessment for single and multiple insecticide: response of Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae) to *Bacillus thuringiensis*[J]. Journal of Economic Entomology, 1994, 87(4):834-841.
- [10] 刘传秀,韩招久,李凤良,等.应用蛙石萝卜苗法室内继代大量繁殖小菜蛾的研究[J].昆虫知识,1993,30(6):342-343.
- [11] ZHAO J Z, LI Y X, COLLINS H L, et al. Monitoring and characterization of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to spinosad[J]. Journal of Economic Entomology, 2002, 95(2):430-436.
- [12] 刘传秀,李凤良,韩招久,等.小菜蛾对溴氰菊酯的抗性选育及其机理[J].植物保护学报,1995,22(1):367-372.
- [13] 朱剑翔,武淑文,杨亦桦,等.小菜蛾对多杀菌素的抗性筛选及遗传方式分析[J].南京农业大学学报,2007,30(1):61-65.
- [14] 李二虎,吴文君,陈之浩,等.小菜蛾对苦皮藤素抗性选育及交互抗性测定[J].昆虫学报,2003,46(1):18-21.
- [15] 龙丽萍,蔡健和,覃建林,等.小菜蛾对定虫隆的抗性选育和增效剂的作用[J].广西师范大学学报:自然科学版,2007,25(1):82-85.
- [16] 牛洪涛,罗万春,宗建平,等.小菜蛾对丁烯氟虫腈的抗性遗传力及风险评估[J].植物保护学报,2008,35(2):165-168.
- [17] 李腾武,高希武,郑炳宗,等.阿维菌素对小菜蛾的抗性选育及其对解毒酶活性的影响[J].昆虫学报,2000,43(S1):38-43.
- [18] 程罗根,李凤良,韩招久,等.小菜蛾对杀虫双和杀螟丹抗性的现实遗传力[J].昆虫学报,2001,44(3):263-267.

(责任编辑:张震林)