

烯啶虫胺对褐飞虱的亚致死效应

程世阳^{1#}, 龚佑辉^{2#}, 王福莲^{1*}, 侯茂林^{2*}

(1. 长江大学农学院, 荆州 434000; 2. 植物病虫害生物学国家重点实验室,
中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要 测定了烯啶虫胺亚致死浓度对处理当代褐飞虱及其子代生物学特性的影响。结果表明:与对照相比,烯啶虫胺亚致死浓度 LC_{15} (0.009 mg/L) 处理褐飞虱 3 龄若虫,其发育历期显著延长,成虫羽化率显著下降,单雌产卵量从 226.6 粒下降到 176.4 粒,产卵期也显著缩短;子代的发育历期比对照组显著缩短,而子代的产卵量、产卵期和成虫寿命均与对照组无显著差异。子代种群数量趋势指数与对照组也无明显差异。上述结果表明,烯啶虫胺亚致死浓度处理对当代褐飞虱生长发育和繁殖产生不利影响,子代发育历期缩短可能使褐飞虱存在一定的再猖獗风险。

关键词 烯啶虫胺; 褐飞虱; 亚致死效应; 繁殖力; 生物适合度

中图分类号: S 435.112.3 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019476

Sublethal effects of nitenpyram on performance of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*

CHENG Shiyang^{1#}, GONG Youhui^{2#}, WANG Fulian^{1*}, HOU Maolin^{2*}

(1. College of Agriculture, Changjiang University, Jingzhou 434000; 2. State Key Laboratory for Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract The effects of sublethal concentration of nitenpyram on performance of the treated generation and the F_1 generation of *Nilaparvata lugens* were assessed. When the 3rd instar nymphs of brown planthopper were exposed to nitenpyram at the LC_{15} (0.009 mg/L), nymphal development was significantly prolonged, adult emergence rate was significantly decreased, fecundity per female was significantly decreased from 226.6 to 176.4, and oviposition period was also significantly shortened. In the F_1 generation, the nymphal developmental duration was significantly shortened, while fecundity, oviposition period, adult longevity, and population trend index were not significantly affected by the treatment on the parental generation. These results indicate that the sublethal concentration of nitenpyram has adverse effects on growth and development of the treated generation of brown planthopper, but the negative effects are not as pronounced in the offspring (F_1) generation. The shorter developmental duration of the F_1 generation may pose a possible risk of population resurgence after *N. lugens* exposure to sublethal concentration of nitenpyram.

Key words nitenpyram; *Nilaparvata lugens*; sublethal effect; fecundity; biological fitness

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 是目前为害水稻的重要害虫之一, 遍布于热带、亚热带和温带地区。其主要通过直接刺吸稻茎韧皮部的汁液; 和传播水稻病毒(齿叶矮缩病毒和草状丛矮病毒) 导致水稻减产, 严重时呈“虱烧”状^[1]。在中国每年发生 3~8 代, 为害单季中、晚稻和双季早稻较重。2005 年—2007 年, 我国曾连续三年褐飞虱大发生, 对水稻生产构成严重威胁^[2]。现在亚洲地区平均每年由褐

飞虱造成的水稻减产约 100 万 t^[3]。

杀虫剂施于田间后, 毒力会随着时间的推移和环境的改变逐渐递减, 从而形成亚致死剂量^[4-5]。当个体暴露在该剂量条件下时, 对个体生理和行为上产生的影响称为亚致死效应^[6]。因杀虫剂种类、剂量高低和其作用对象不同, 亚致死效应会对昆虫的生长发育产生不同影响^[7], 如不利于昆虫生长发育^[8-10], 刺激增殖^[11-12], 导致害虫对农药的耐受性或

收稿日期: 2019-09-10 修订日期: 2019-11-12

基金项目: 国家自然科学基金(31801772)

* 通信作者 E-mail: 王福莲 wangfl_hb@163.com; 侯茂林 mlhou@ippcaas.cn
为并列第一作者

抗药性增加^[13-14]及害虫再猖獗^[15-16]。

烯啶虫胺属于氯代烟碱类杀虫剂,作用于昆虫中枢神经系统的烟碱型乙酰胆碱受体^[17]。烯啶虫胺是防治刺吸式口器害虫的主要杀虫剂,近年来作为替代产品用于防治对吡虫啉有抗性的褐飞虱种群^[18-20]。由于烯啶虫胺近年来的大量使用,关注褐飞虱田间种群的敏感性非常重要。Zhang 等^[20]报道褐飞虱田间种群对烯啶虫胺的 LC_{50} 为 0.45~6.44 mg/L,显示出中等抗性水平。广东和湖北稻区褐飞虱对烯啶虫胺产生了低到中等水平的抗性^[21-22]。

了解药剂的亚致死效应是评估其管理风险的关键^[23]。目前,烯啶虫胺是防治褐飞虱的主要杀虫剂,而关于其亚致死剂量对褐飞虱生长发育和种群发展的影响研究较少。我们在室内研究了烯啶虫胺亚致死浓度对处理当代褐飞虱及其子代生物学特性的影响,可为褐飞虱的可持续治理及烯啶虫胺的科学合理使用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

供试褐飞虱种群受赠于华中农业大学李建洪教授实验室,原采集于湖北农业科学院水稻田,在未接触过任何农药的情况下用‘台中一号’稻苗室内饲养已 10 年以上,饲养条件为 $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、光周期 L//D = 16 h//8 h、相对湿度在 70% 左右。

1.2 供试药剂

烯啶虫胺(nitenpyram)原药,纯度 97%,购自北京普益华科技有限公司(Macklin),Triton X-100 购自国药集团化学试剂有限公司,丙酮购自北京化工厂。

1.3 毒力测定

烯啶虫胺对褐飞虱的毒力测定采用稻苗浸渍法^[24-26]。用电子天平(精度为万分之一)称取烯啶虫胺原药,用丙酮溶解,然后用含 0.1% Triton X-100 的蒸馏水稀释成一系列浓度。选取长势良好,高约 7 cm 的‘TN1’稻苗 20 株左右,洗净。然后将稻苗分别在不同浓度的药液中浸泡 30 s,用湿润脱脂棉包裹根部,并放进一次性塑料杯($d=5\text{ cm}$, $h=7.5\text{ cm}$)中,每杯接入 3 龄若虫 15 头,罩上纱网罩。静置 2 h 后,剔除损伤个体。以含 0.1% Triton X-100 的蒸馏水作为对照,每个处理重复 3 次,然后将装置放入温度 $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 70%、光周期 L//D = 16 h//8 h 的人工气候箱中。96 h 后检查并记录死亡情况。

1.4 烯啶虫胺亚致死剂量处理对褐飞虱生物学特性的影响

1.4.1 对处理当代的影响

若虫生长发育和存活率:根据烯啶虫胺毒力测定结果,用供试褐飞虱种群的 LC_{15} 作为亚致死浓度处理褐飞虱 3 龄若虫,同时用只含 0.1% Triton X-100 的蒸馏水为对照,处理方法同 1.3。每处理 40 头若虫,每个处理设置 3 次重复。96 h 后存活若虫单头转移到平底玻璃试管($d=25\text{ mm}$, $h=75\text{ mm}$)中的分蘖期稻苗的茎段(4~5 cm)上,试管内加 1 mL 的灭菌超纯水保持茎段新鲜。每日观察记录直至成虫羽化。每 2 d 更换一次稻茎。处理后若虫饲养在上述人工气候箱中。

成虫繁殖力:取初羽化的成虫随机配对,饲养于平底玻璃试管($d=40\text{ mm}$, $h=180\text{ mm}$)内,管内有高约 10 cm 且长势良好的稻苗^[27],管口用尼龙网封口。每天定时观察,记录每日孵化的若虫数量(计数后移出用于下述试验)和成虫存活状况,直至成虫死亡。一对成虫为一次重复,每处理至少 15 个重复。计算每雌产卵量和成虫寿命。

1.4.2 对子代的影响

随机选取处理组和对照组 24 h 内孵化的若虫,转移至含 1 mL 灭菌超纯水的平底玻璃试管($d=25\text{ mm}$, $h=75\text{ mm}$)内分蘖期稻苗的茎段(4~5 cm)上单头培养,用保鲜膜封口。每组 4 个重复,每重复 25 头若虫。每 2 d 更换一次稻茎。每天观察记录若虫的存活情况,直至羽化为成虫。计算龄期、初孵若虫到 3 龄若虫存活率($Sr1$)、3 龄到 5 龄若虫存活率($Sr2$)、雌虫比例(Fr)。子代繁殖力测定方法同亲代,并计算羽化率(Er)、交配率(Cr)、每雌产卵量(Fd)。

参照庞雄飞和刘泽文的方法构建实验种群生命表^[28-30],并据此计算种群数量趋势指数(I),确定相对适合度的变化。

$$N_t = N_0 \times Sr1 \times Sr2 \times Er \times Cr \times Fr \times Fd$$

$$I = N_t / N_0$$

1.5 数据处理

采用 POLO-Plus2.0 软件计算 LC_{15} 值。采用独立样本 t 检验分析褐飞虱发育历期、寿命、产卵量等在处理组与对照组之间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 烯啶虫胺的毒力

烯啶虫胺对褐飞虱的毒力测定结果如表 1。烯

啶虫胺对褐飞虱 3 龄若虫的 LC_{50} 和 LC_{15} 分别为 0.023 mg/L 和 0.009 mg/L。

表 1 烯啶虫胺对褐飞虱 3 龄若虫的毒力

Table 1 Toxicity of nitenpyram to 3rd instar nymph of *Nilaparvata lugens*

杀虫剂 Insecticide	斜率±标准差 Slope±SE	卡方值 χ^2	概率 P	LC_{50} (95%CL)/mg · L ⁻¹	LC_{15} (95%CL)/mg · L ⁻¹
烯啶虫胺 Nitenpyram	2.480±0.306	15.557	0.270	0.023 0.018~0.030	0.009 0.005~0.012

2.2 烯啶虫胺亚致死浓度对处理当代褐飞虱生长发育和繁殖力的影响

如图 1 所示。 LC_{15} 的烯啶虫胺处理褐飞虱 3 龄若虫后,与对照相比,从 3 龄若虫到羽化为成虫的时间显著延长了 0.4 d($P=0.006$),且成虫羽化率显著下降 17.1%($P=0.005$)。 LC_{15} 的烯啶虫胺处理 3 龄若虫后雌虫寿命从 17.7 d 显著降低到 14.5 d($P=0.002$),但雄虫寿命反而从 15.8 d 显著增加到 19.0 d($P=0.014$)(图 2)。雌虫的单雌产卵量(176.4 粒)相对于对照(226.6 粒)显著下降($P=0.001$)、产卵期相比对照也显著缩短 1.4 d($P=0.021$)(图 3)。

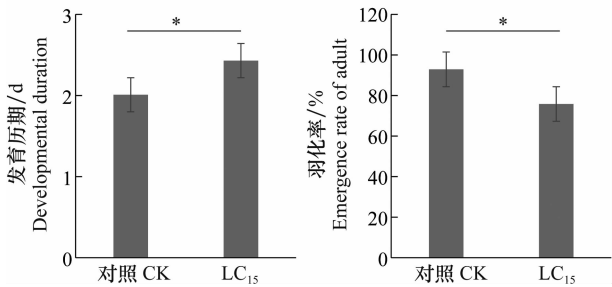


图 1 LC_{15} 的烯啶虫胺处理褐飞虱 3 龄若虫对处理当代若虫发育历期和成虫羽化的影响

Fig. 1 Effects of nitenpyram at LC_{15} to *Nilaparvata lugens* 3rd instar nymph on nymphal developmental duration and adult emergence of the treated generation

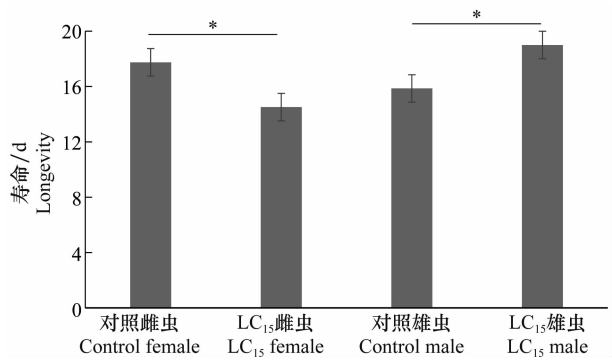


图 2 LC_{15} 的烯啶虫胺处理 3 龄若虫对处理当代褐飞虱成虫寿命的影响

Fig. 2 Effect of nitenpyram at LC_{15} to *Nilaparvata lugens* 3rd instar nymph on adult longevity of the treated generation

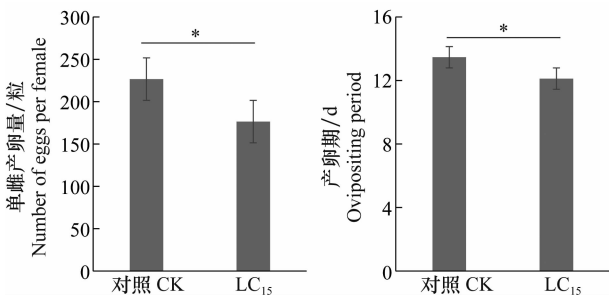


图 3 LC_{15} 的烯啶虫胺处理 3 龄若虫对处理当代褐飞虱产卵量和产卵期的影响

Fig. 3 Effect of nitenpyram at LC_{15} to *Nilaparvata lugens* 3rd instar nymph on fecundity and oviposition period of the treated generation

2.3 烯啶虫胺亚致死浓度对子代褐飞虱适合度的影响

LC_{15} 的烯啶虫胺处理褐飞虱 3 龄若虫后,与对照相比,子代若虫期显著缩短 0.7 d($P=0.026$)。这主要是 5 龄若虫的历期由 5.2 d 显著缩短到 4.8 d($P=0.037$)所致,而其他龄期发育期与对照相比均无显著差异($P>0.05$)(表 2)。

表 2 LC_{15} 的烯啶虫胺处理褐飞虱 3 龄若虫对子代若虫发育历期的影响¹⁾

Table 2 Effect of nitenpyram at LC_{15} to *Nilaparvata lugens* 3rd instar nymph on nymphal developmental duration of F_1 generation

发育阶段 Development stage	发育历期/d Developmental duration	
	对照 Control	烯啶虫胺 LC_{15} Nitenpyram at LC_{15}
1 龄若虫 1st instar nymph	(2.8±0.60)a	(2.9±0.70)a
2 龄若虫 2nd instar nymph	(2.8±0.59)a	(2.7±0.57)a
3 龄若虫 3rd instar nymph	(2.7±0.61)a	(2.5±0.66)a
4 龄若虫 4th instar nymph	(3.3±1.13)a	(3.2±0.87)a
5 龄若虫 5th instar nymph	(5.2±1.21)a	(4.8±1.34)b
若虫期 Nymphal stage	(16.8±0.22)a	(16.1±0.24)b

1) 表中数据为平均值±标准误差,同一行中不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。
Data in the table are mean±SE. Data in the same row followed by different letters are significantly different ($P<0.05$).

子代产卵期和单雌产卵量(孵化若虫数量)与对照之间均无显著差异($P>0.05$)(图 4),子代成虫寿

命不论雌雄均与对照组之间无显著差异($P>0.05$) (图 5)。

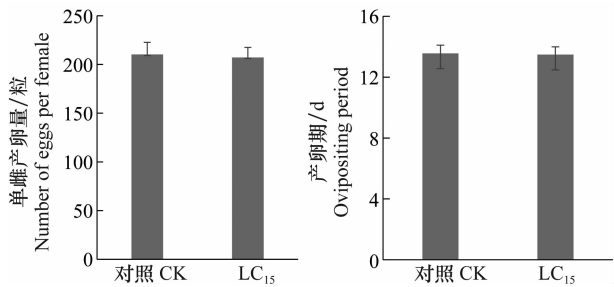


图 4 LC₁₅ 的烯啶虫胺处理褐飞虱 3 龄若虫对子代单雌产卵量和产卵期的影响

Fig. 4 Effect of nitenpyram at LC₁₅ to *Nilaparvata lugens* 3rd instar nymph on fecundity and oviposition period of F₁ generation

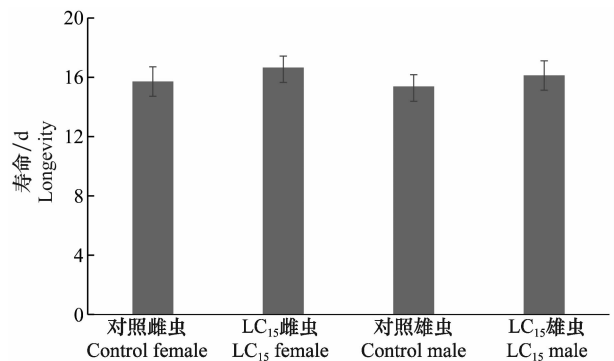


图 5 LC₁₅ 的烯啶虫胺处理褐飞虱 3 龄若虫对子代成虫寿命的影响

Fig. 5 Effect of nitenpyram at LC₁₅ to *Nilaparvata lugens* 3rd instar nymph on adult longevity of F₁ generation

LC₁₅ 的烯啶虫胺处理后子代 1 龄至 3 龄若虫的存活率和成虫羽化率显著低于对照(表 3), 3 龄至 5 龄若虫的存活率、雌虫比例、交配率及单雌产卵量在处理组与对照组间差异不显著。LC₁₅ 的烯啶虫胺处理后的子代种群数量趋势指数与对照无明显差异(表 3)。

3 讨论

烯啶虫胺作为第二代新烟碱类杀虫剂, 因为其防治效果好及褐飞虱对吡虫啉抗性的不断提升, 而广泛应用于褐飞虱防治^[31-33]。研究表明, 烯啶虫胺对于褐飞虱有很好的防治效果^[22, 34]。

亚致死剂量的杀虫剂对昆虫的生长发育、生殖力、行为和抗药性发展都会产生不同程度的影响^[6]。一些研究表明, 亚致死剂量的杀虫剂会刺激害虫增

表 3 烯啶虫胺亚致死剂量处理褐飞虱的试验种群生命表¹⁾

参数 Parameter	对照 Control	烯啶虫胺处理 Nitenpyram treatment
初孵若虫数量/头 Number of newly hatched nymphs	100	100
初孵若虫至 3 龄若虫存活率/% Survival of 1st-3rd instar nymphs	(96.5±0.14)a	(86.6±0.23)b
3 龄若虫至 5 龄若虫存活率/% Survival of 3rd-5th instar nymphs	(93.9±0.17)a	(94.5±0.26)a
羽化率/% Emergence rate	(90.7±0.32)a	(83.9±0.22)b
雌虫比例/% Percentage of female adults	(43.0±0.96)a	(52.0±0.39)a
交配率/% Mating rate	(96.7±0.33)a	(93.3±0.33)a
单雌产卵量/个 Egg numbers per female	(210.3±12.49)a	(207.2±10.38)a
N, 预测子代数量/头 Predicted number of offspring	7 186.7	6 902.2
I, 种群数量趋势指数 Index of population trend	71.9	69.0
相对适合度 Relative fitness	1	0.96

1) 同一行中不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。
Values in the same row followed by different lowercase letters are significantly different at the $P<0.05$ level.

殖。如溴氰菊酯 LC₅ 处理后, 褐飞虱产卵前期显著缩短、产卵期和产卵量显著增加, 表现出显著的刺激增殖作用^[35]。Zeng 等^[12]研究发现用 LC₃₀ 的吡虫啉和溴氰虫酰胺处理桃蚜能提高 F₁ 代的繁殖力。但更多研究表明亚致死剂量往往对害虫生长发育产生不利影响。例如亚致死剂量的氯虫苯甲酰胺和毒死蜱处理可显著降低甜菜夜蛾的化蛹率、蛹重、羽化率和单雌产卵量, 从而对甜菜夜蛾种群的增长产生不利影响^[7]。但即使是同一种药剂, 不同的亚致死剂量以及处理后不同的世代也表现出不同的亚致死效应。Tang 等^[11]研究表明, LC₂₅ 的氟吡呋喃酮处理对 F₁ 代桃蚜具有显著刺激生殖的作用, 但可抑制 F₂ 代的生长发育和繁殖。LC₁₀ 的噻虫嗪可显著刺激桃蚜的繁殖力, 但 LC₃₀ 处理则对桃蚜的生长发育和繁殖存在不利影响^[36]。我们研究发现, 烯啶虫胺的亚致死剂量 LC₁₅ 处理褐飞虱 3 龄若虫对处理当代的生长发育和繁殖均产生不利影响(图 1~3、表 2),

从而抑制其种群发展。但在子代中,仅若虫发育历期、1~3 龄若虫存活率和成虫羽化率有显著下降(图 4~5、表 3),即对子代的影响不如对处理当代的影响大。 LC_{15} 的烯啶虫胺处理后子代的种群趋势指数是对照的 96%(表 3),表明对子代的适合度影响不大。与此不同的是,吡虫啉亚致死剂量处理褐飞虱后,子代种群适合度明显下降(为对照的 0.838)^[37]。由于子代发育历期缩短,烯啶虫胺亚致死剂量处理可能使褐飞虱产生再猖獗的可能。

本文研究结果对褐飞虱的有效控制具有一定的参考价值,但因为所用试虫为室内敏感种群,仍无法准确推测出烯啶虫胺亚致死剂量在田间施用后会对田间褐飞虱产生怎样的影响,且尚不明确连续多代处理对褐飞虱的效应,特别是对其耐药性或抗性发展会产生怎样的影响。另外,褐飞虱对烯啶虫胺的抗药性发展与 P450 多功能氧化酶和酯酶的活性上升有关^[27],那么连续多代亚致死剂量处理会如何影响褐飞虱体内的解毒酶活性。这些问题都需开展进一步研究,以便为烯啶虫胺的合理使用和褐飞虱的适应性或抗性发展提供更多理论支持和科学依据。

参考文献

- [1] GARROOD W T, ZIMMER C T, GORMAN K J, et al. Field-evolved resistance to imidacloprid and ethiprole in populations of brown planthopper *Nilaparvata lugens* collected from across South and East Asia[J]. Pest Management Science, 2016, 72(1): 140–149.
- [2] 王笑见. 抗倒伏和抗稻瘟病或抗褐飞虱水稻恢复系的创建[D]. 武汉:华中农业大学, 2014.
- [3] ZHANG Xiaolei, LIAO Xun, MAO Kaikai, et al. Insecticide resistance monitoring and correlation analysis of insecticides in field populations of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (stål) in China 2012–2014[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2016, 132: 13–20.
- [4] BOINA D R, ROGERS M E, WANG Nian, et al. Effect of pyriproxyfen, a juvenile hormone mimic, on egg hatch, nymph development, adult emergence and reproduction of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama [J]. Pest Management Science, 2010, 66(4): 349–357.
- [5] 李会仙,郝赤,王利英,等. 高效氯氟菊酯和溴氰菊酯对棉铃虫的亚致死效应[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2005(2): 231–233.
- [6] DESNEUX N, DECOURTYE A, DELPUECH J M. The sublethal effects of pesticides on *Beneficial Arthropods* [J]. Annual Review of Entomology, 2007, 52(1): 81–106.
- [7] 马冲,路兴涛,刘震,等. 氯虫苯甲酰胺、毒死蜱亚致死剂量对甜菜夜蛾生长发育和繁殖力的影响[J]. 植物保护, 2012, 38

- (4): 38–41.
- [8] ZHEN Congai, MIAO Ling, GAO Xiwu. Sublethal effects of sulfoxaflor on biological characteristics and vitellogenin gene (*AlVg*) expression in the mirid bug, *Apolygus lucorum*, (Meyer-Dür) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2018, 144: 57–63.
- [9] KANG Zhiwei, LIU Fanghua, PANG Ruiping, et al. Effect of sublethal doses of imidacloprid on the biological performance of aphid endoparasitoid *Aphidius gifuensis* (Hymenoptera: Aphididae) and influence on its related gene expression[J]. Frontiers in Physiology, 2018, 11(9): 1729.
- [10] LI Wenqiang, LU Zengbin, LI Lili, et al. Sublethal effects of imidacloprid on the performance of the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* [J/OL]. PLoS ONE, 2018, 13(9): e0204097.
- [11] TANG Qiuling, MA Kangsheng, CHI H, et al. Transgenerational hormetic effects of sublethal dose of flupyradifurone on the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) [J/OL]. PLoS ONE, 2019, 14(1): e0208058.
- [12] ZENG Xianyi, HE Yingqin, WU Jiaying, et al. Sublethal effects of cyantraniliprole and imidacloprid on feeding behavior and life table parameters of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2016, 109(4): 1595–1602.
- [13] GUEDES N M P, TOLLEDO J, CORREIA A S, et al. Insecticide-induced hormesis in an insecticide-resistant strain of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* [J]. Journal of Applied Entomology, 2010, 134(2): 142–148.
- [14] GONG Youhui, XU Baoyun, ZHANG Youjun, et al. Demonstration of an adaptive response to preconditioning *Frankliniella occidentalis* (Pergande) to sublethal doses of spinosad: a hormetic dose response [J]. Ecotoxicology, 2015, 24(5): 1141–1151.
- [15] NANDIHALLI B S, PATIL B V, HUGAR P. Influence of synthetic pyrethroid usage on aphid resurgence in cotton [J]. Karnataka Journal of Agricultural Science, 1992, 5(3): 234–237.
- [16] MURALI-MOHAN A, CHRISTOPHER C G, SCOTT-DUPREE C D, et al. Transgenerational shifts in reproduction hormesis in green peach aphid exposed to low concentrations of imidacloprid [J/OL]. PLoS ONE, 2013, 8(9): e74532.
- [17] 唐振华. 新烟碱类杀虫剂的结构与活性及其药效基团[J]. 现代农药, 2002(1): 1–6.
- [18] 李敏,成四喜,李海屏,等. 新烟碱类杀虫剂烯啶虫胺述评[J]. 农药研究与应用, 2012, 16(2): 1–5.
- [19] ZHANG Xiaolei, LIU Xiangyang, ZHU Fuxing, et al. Field evolution of insecticide resistance in the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) in China [J]. Crop Protection, 2014, 58: 61–66.
- [20] ZHANG Xiaolei, LI Dongyang, ALIA E, et al. The role of detoxifying enzymes in field-evolved resistance to nitenpyram in the brown planthopper *Nilaparvata lugens* in China [J]. Crop Protection, 2017, 94: 106–114.

- [31] 洗晓青, 张桂芬, 刘万学, 等. 世界性入侵害虫番茄潜麦蛾入侵我国的风险分析[J]. 植物保护学报, 2019, 46(1): 49-55.
- [32] 中商情报网. 中国番茄加工行业现状研究分析[EB/OL]. (2013-08-13)[2019-02-10]. <http://www.askci.com/news/201308/13/131403033111.shtml>.
- [33] 中国日报网. 2017年中国出口番茄酱情况分析[EB/OL]. (2017-12-29)[2019-02-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id=1588083521510977518&wfr=spider&for=pc>.
- [34] 搜狐网. 云南蔬菜在全国的地位和作用[EB/OL]. (2017-09-23)[2019-02-10]. https://www.sohu.com/a/194066297_721269.
- [35] 搜狐网. 一图带你看懂云南番茄产业布局[EB/OL]. (2018-11-20)[2019-02-10]. http://www.sohu.com/a/276793344_656712.
- [36] 中商情报网. 2017年中国番茄出口数据分析: 云南出口量最多[EB/OL]. (2018-02-21)[2019-02-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id=1593000204245534799&wfr=spider&for=pc>.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 247 页)

- [21] 肖汉祥, 刘明津, 李燕芳, 等. 广东稻区褐飞虱对烯啶虫胺和吡虫啉的敏感性测定[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(6): 1369-1373.
- [22] 张欧, 王京安, 顾辉, 等. 湖北省稻飞虱抗药性试验研究[J]. 湖北植保, 2018(5): 11-12.
- [23] 余慧灵, 向兴, 袁贵鑫, 等. 溴氰虫酰胺亚致死剂量对甜菜夜蛾生长发育及体内解毒酶活性的影响[J]. 昆虫学报, 2015, 58(6): 634-641.
- [24] 倪珏萍. 褐飞虱室内活性测定法的优化与应用[J]. 药科学与管理, 2007, 28(8): 36-41.
- [25] BAN Lanfeng, ZHANG Shuai, HUANG Ziyang, et al. Resistance monitoring and assessment of resistance risk to pymetrozine in *Laodelphax striatellus* (Hemiptera: Delphacidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2012, 105(6): 2129-2135.
- [26] ZHANG Kai, ZHANG Wei, ZHANG Shuai, et al. Susceptibility of *Sogatella furcifera* and *Laodelphax striatellus* (Hemiptera: Delphacidae) to six insecticides in China [J]. Journal of Economic Entomology, 2014, 107(5): 1916.
- [27] ZHANG Xiaomin, TAO Yunli, CHI H, et al. Adaptability of small brown planthopper to four rice cultivars using life table and population projection method[J/OL]. Scientific Reports, 2017, 7: 42399.
- [28] 庞雄飞. 种群数量控制指数及其应用[J]. 植物保护学报, 1990, 17(1): 11-16.
- [29] LIU Zewen, HAN Zhaojun. Fitness costs of laboratory-select-
- ed imidacloprid resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) [J]. Pest Management Science, 2010, 62(3): 279-282.
- [30] 刘泽文, 韩召军, 王荫长. 褐飞虱抗有机磷品系的交互抗性及其适合度研究[J]. 南京农业大学学报, 2001, 24(4): 37-40.
- [31] 李建, 周彩荣, 余永红. 新烟碱类杀虫剂——Nitenpyram [J]. 河南化工, 2004(8): 4-6.
- [32] WANG Yanhua, CHEN Jin, ZHU Yucheng, et al. Susceptibility to neonicotinoids and risk of resistance development in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae) [J]. Pest Management Science, 2008, 64(12): 1278-1284.
- [33] 孙慧, 杨春河. 新型杀虫剂烯啶虫胺[J]. 精细与专用化学品, 2009, 17(11): 16-18.
- [34] 刘玉坤, 陈宇, 席春虎. 5种药剂对稻飞虱防治效果评价[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(8): 57.
- [35] 汤爱兵. 溴氰菊酯对稻褐飞虱繁殖力的影响[J]. 江西植保, 2007, 30(2): 70-71.
- [36] WANG Pan, ZHOU Lilin, YANG Fan, et al. Sublethal effects of thiamethoxam on the demographic parameters of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2017, 110(4): 1750-1754.
- [37] 刘淑华, 杨保军, 刘双, 等. 亚致死剂量吡虫啉和吡蚜酮对褐飞虱生物适合度的影响[J]. 中国水稻科学, 2012, 26(3): 361-364.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 280 页)

- [9] 李伟平. 新型白及组培快繁体系的建立及总酚含量测定研究[D]. 杭州: 浙江中医药大学, 2013.
- [10] 赵艳霞, 邓雁如, 张晓静, 等. 白及属药用植物化学成分及药理作用研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2013(8): 1137-1145.
- [11] 汤逸飞, 阮川芬, 应晨, 等. 白及属植物化学成分与药理作用研究进展[J]. 中草药, 2014(19): 2864-2872.
- [12] 孙爱静, 庞素秋, 王国权. 中药白及化学成分与药理活性研究进展[J]. 环球中医药, 2016(4): 507-511.
- [13] 梅再胜, 吕晓妮, 徐天鹏, 等. 茶树菇栽培过程中的七个主要问题及防治技术[J]. 科学种养, 2016(11): 33-34.
- [14] 龙开道. 棘跳虫在百合上的发生规律及防治技术初探[J]. 中国植保导刊, 2004, 24(9): 5-7.
- [15] 刘永清, 龙开道. 芋田棘跳虫的发生特点及防治技术[J]. 中国植保导刊, 2005(8): 19-20.
- [16] 菇讯. 杏鲍菇菇疣跳虫防治技术[J]. 农家之友, 2015(12): 57.
- [17] 朱富春. 食用菌跳虫的发生规律及综合防治措施[J]. 食用菌, 2012(5): 310-311.
- [18] 曹丹丹. 松材线虫病死木隐翅虫及其与寄主间化学信息联系机制研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2014.
- [19] 吴才祥. 跳虫对天麻的危害与防治[J]. 中国食用菌, 2001(4): 21-22.
- [20] 梁玉勇, 田战强. 微孔防虫膜防治天麻跳虫为害的试验[J]. 食用菌, 2009(2): 64-65.

(责任编辑: 杨明丽)