

取食香根草后水稻螟虫对杀虫剂敏感度变化

宋瑞雪 鲁涵 鲁艳辉* 郑许松 吕仲贤*

(¹浙江省植物有害生物防控省部共建国家重点实验室培育基地/浙江省农业科学院 植物保护与微生物研究所, 杭州 310021; ²兰州大学 生命科学学院, 兰州 730000; *通讯联系人, E-mail: luzxmh@163.com; luyanhui4321@126.com)

Sensitivity Changes of Rice Stem Borers to Insecticides After Feeding on *Vetiveria zizanioides*

SONG Ruixue, LU Han, LU Yanhui*, ZHENG Xusong, LÜ Zhongxian*

(¹State Key Laboratory of Breeding Base for Zhejiang Sustainable Pest and Disease Control/Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; ²School of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; *Corresponding author, E-mail: luzxmh@163.com; luyanhui4321@126.com)

Abstract: 【Objective】 Previous studies showed that vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) can effectively attract female adults of *Sesamia inferens* (Walker) and *Chilo suppressalis* (Walker) to lay eggs, while hatched larvae will die after feeding on vetiver grass for a certain time. Therefore, vetiver grass is recommended for field control of rice stem borers. However, the combination of various measures is always used for field control. At present, chemical control is still an irreplaceable measure. Nevertheless, the sensitivity change of rice stem borers after feeding on vetiver to commonly used insecticides is still unclear. 【Method】 Seedling dipping bioassay method was used to investigate the toxicity of eight insecticides, including indoxacarb, chlorantraniliprole, spinosad, emamectin benzoate, sulfluramid, metaflumizone, abamectin and chlorpyrifos to both *S. inferens* and *C. suppressalis*, and the sensitivity changes of these two insect species to these insecticides after feeding on vetiver grass. 【Result】 LC_{50} to *S. inferens* were as follows: metaflumizone 1.04 mg/L, emamectin benzoate 1.40 mg/L, chlorantraniliprole 2.67 mg/L, sulfluramid 3.48 mg/L, spinosad 7.59 mg/L, abamectin 13.03 mg/L, indoxacarb 16.57 mg/L, chlorpyrifos 23.28 mg/L; and to *C. suppressalis* were metaflumizone 1.94 mg/L, emamectin benzoate 2.07 mg/L, chlorantraniliprole 4.20 mg/L, sulfluramid 8.93 mg/L, indoxacarb 9.51 mg/L, spinosad 9.72 mg/L, abamectin 17.63 mg/L, chlorpyrifos 64.68 mg/L. The sensitivity of the two kinds of rice stem borers fed on vetiver grass was increased as compared with the stem borers fed on rice. Three days after feeding on vetiver grass, the sensitivity of *S. inferens* larvae to eight pesticides was improved, and the mortality was also increased by 13.3%–22.2%. The sensitivities of *S. inferens* to chlorantraniliprole, spinosad, sulfluramid, metaflumizone and chlorpyrifos were significantly increased, while the sensitivity of *C. suppressalis* larvae to all the tested pesticides was significantly increased after feeding on vetiver grass with an increased mortality by 26.7%–33.3%. Overall, the sensitivity of *C. suppressalis* larvae was obviously increased more than that of *S. inferens*. 【Conclusion】 The sensitivity of rice stem borers to eight commonly used insecticides was dramatically increased after feeding on vetiver grass.

Key words: *Sesamia inferens*; *Chilo suppressalis*; vetiver grass; insecticides; sensitivity; bioassay

摘要: 【目的】香根草能有效诱集水稻螟虫产卵,且孵化的幼虫取食香根草一定时间后死亡,可用于水稻螟虫的田间防控。但田间防治往往是多种防治措施相结合。为了研究取食香根草后的幼虫对常用杀虫剂的敏感度,【方法】利用稻苗浸渍法测定了茚虫威、氯虫苯甲酰胺、多杀菌素、甲氨基阿维菌素、氟虫胺、氟氟虫脒、阿维菌素、毒死蜱8种常用杀虫剂对水稻大螟和二化螟的毒力作用,以及取食香根草后螟虫对这些药剂的敏感度变化。【结果】8种杀虫剂(氟氟虫脒,甲氨基阿维菌素,氯虫苯甲酰胺,氟虫胺,多杀菌素,阿维菌素,茚虫威,毒死蜱)对大螟的 LC_{50} 依次为1.04, 1.40, 2.67, 3.48, 7.59, 13.03, 16.57, 23.28 mg/L;对二化螟的 LC_{50} 依次为1.94, 2.07, 4.20, 8.93, 9.72, 17.63, 9.51, 64.68 mg/L。与取食水稻的螟虫比较,香根草饲喂3 d后,大螟幼虫对8种药剂的敏感性均有所提高,致死率提高13.3~22.2个百分点,其中,对氯虫苯甲酰胺、多杀菌素、氟虫胺、氟氟虫脒、毒死蜱的敏感度显著提高;而香根草饲喂后的二化螟幼虫对所有测定药剂敏感度均显著提高,致死率提高26.7~33.3个百分点。二化螟幼虫对所有测定药剂敏感度升高更为明显。【结论】初步明确了水稻螟虫取食香根草后对杀虫剂的敏感度有不同程度提高。

关键词: 二化螟; 大螟; 香根草; 杀虫剂; 敏感度; 抗药性

中图分类号: S435.112⁺; S482.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2019)03-0191-05

收稿日期: 2018-03-13; 修改稿收到日期: 2018-08-29。

基金项目: 浙江省科技计划项目重大科技专项(2015C02014); 国家重点研发计划资助项目(2016YFD0200800); 国家重点实验室培育基金资助项目(2010DS700124-ZZ1601)。

水稻是中国最主要的粮食作物之一, 而螟虫的发生严重影响水稻产量和质量。水稻螟虫主要包括大螟 [*Sesamia inferens* (Walker)] 和二化螟 [*Chilo suppressalis* (Walker)]。大螟属鳞翅目夜蛾科 (Noctuidae), 寄主植物包括水稻、茭白、高粱等, 以为害水稻为主。二化螟属鳞翅目草螟科 (Crambidae), 是杂食性害虫, 主要为害水稻、玉米、茭白、油菜、蚕豆、高粱、甘蔗等作物。两种螟虫均可造成水稻枯鞘、枯心、白穗和枯孕穗等^[1-2]。近年来, 随着耕作制度及种植结构的调整, 杂交水稻种植面积逐年增加^[3], 使得越冬代有效虫源面积扩大, 更加剧了螟虫的危害^[4-6]。目前, 我国多采用化学药剂对水稻螟虫进行防治^[7]。但是, 不合理的化学防治措施导致螟虫抗性水平不断提高, 田间防效下降, 残虫数量增加, 从而加大了螟虫的猖獗危害。与此同时, 化学农药带来的环境污染、农产品药物残留超标等问题日益突出。这些不利因素促使人们迫切寻求环境相容性更好的作物保护方式^[8]。

香根草 (*Vetiveria zizanioides*) 又名岩兰草, 是一种禾本科多年生草本植物, 分布于印度、泰国、缅甸、马来西亚等热带地区, 在中国分布于台湾、海南、广东、福建、四川、浙江等地。由于香根草生长快, 适应力强, 常用于水土保持、生态环境治理等方面。已有研究报道表明, 香根草具有诱集二化螟雌蛾产卵的特性, 二化螟在香根草上的产卵量是水稻上的 4 倍左右^[9,10]。但香根草中的活性物质会降低二化螟解毒酶的活性, 使孵化的二化螟幼虫逐渐死亡, 不能在香根草上完成生活史^[11]。此外, 香根草对大螟也有一定的诱集作用, 在香根草上孵化的大螟幼虫体内部分消化酶活性降低, 生长发育受到抑制, 有利于大螟的防治^[12]。因此, 香根草的开发利用为水稻螟虫的绿色防控开辟了新途径。

目前, 对于水稻螟虫的田间防治往往是多种措施相结合, 化学防治还是不可避免的, 但取食香根草后的幼虫对田间常用药剂的敏感度是否变化尚不清楚。本研究在明确水稻大螟和二化螟对 8 种常用杀虫剂敏感度的基础上, 测定了取食香根草后水稻螟虫对这 8 种药剂的敏感度变化, 为建立以诱集植物香根草为基础的水稻螟虫综合防控技术提供一定的理论依据。

1 材料与与方法

1.1 供试虫源

二化螟和大螟种群均于 2014 年采自浙江省金

华市 (29°05' N, 119°38' E) 常规水稻田, 置于人工气候室 (温度 26°C ± 1°C, 相对湿度 70% ± 5%, 光周期 16 h 光照/8 h 黑暗) 饲养并维持种群。幼虫采用人工饲料饲养^[13-14], 羽化后成虫以 10% 蔗糖水补充营养。其中 F₁ 或 F₂ 代 3 龄幼虫用于后续生测实验。

1.2 供试药剂

选用 8 种杀虫剂原药, 包括茚虫威 (有效成分 99%, 陕西惠诚生物科技有限公司)、氯虫苯甲酰胺 (95%, 武汉远城科技发展有限公司)、多杀菌素 (99%, 陕西惠诚生物科技有限公司)、甲氨基阿维菌素 (92%, 河北威远生物化工股份有限公司)、氟虫胺 (95%, 南京邦诺生物科技有限公司)、氰氟虫腙 (95%, 武汉欣欣佳丽生物科技有限公司)、阿维菌素 (98%, 河北威远生物化工股份有限公司) 和毒死蜱 (95.3%, 山东华阳化工有限公司)。

1.3 供试植物

水稻品种台中本地 1 号 (TN1), 种子由国际水稻研究所提供。将 TN1 水稻种子于室内进行催芽处理, 播种于无虫网室的塑料盆中。待苗龄达到 3 叶期时, 将稻苗移入小盆钵中, 按照实验要求进行水肥管理。分蘖期时用于水稻螟虫的生物测定或剪取茎秆用于螟虫的饲喂试验。

香根草种苗购于杭州固绿交通工程有限公司。将香根草种苗种于温室 (28°C ± 2°C), 以分蘖苗作为繁殖体, 待香根草分蘖较多时剪取茎秆用于螟虫饲喂试验。

1.4 水稻螟虫幼虫对药剂的敏感度测定

采用稻苗浸渍法进行敏感度测定^[11]。每种药剂用含 0.1% 的 Triton X-100 水等比稀释 6 个浓度梯度, 0.1% 的 Triton X-100 水作为对照。

用于大螟的药剂稀释浓度梯度如下: 1) 茚虫威, 5, 10, 20, 40, 80, 160 mg/L; 2) 氯虫苯甲酰胺, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16 mg/L; 3) 多杀菌素, 1.25, 2.5, 5, 10, 20, 40 mg/L; 4) 甲氨基阿维菌素, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 mg/L; 5) 氟虫胺, 1, 2, 4, 8, 16, 32 mg/L; 6) 氰氟虫腙, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 mg/L; 7) 阿维菌素, 2.5, 5, 10, 20, 40, 80 mg/L; 8) 毒死蜱, 5, 10, 20, 40, 80, 160 mg/L。

用于二化螟的药剂稀释浓度梯度如下: 1) 茚虫威, 2.5, 5, 10, 20, 40, 80 mg/L; 2) 氯虫苯甲酰胺, 1, 2, 4, 8, 16, 32 mg/L; 3) 多杀菌素, 2.5, 5, 10, 20, 40, 80 mg/L; 4) 甲氨基阿维菌素, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 mg/L; 5) 氟虫胺, 1, 2, 4, 8, 16, 32 mg/L; 6) 氰氟虫腙, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 mg/L; 7) 阿维菌素, 2.5, 5, 10, 20, 40, 80 mg/L; 8) 毒死蜱, 10, 20, 40, 80, 160, 320 mg/L。

表1 8种杀虫剂对水稻螟虫3龄幼虫的毒力

Table 1. Toxicity of eight insecticides against third instar larvae of *S. inferens* and *C. suppressalis*.

药剂 Insecticide	大螟 <i>S. inferens</i>				二化螟 <i>C. suppressalis</i>			
	斜率±标准误 Slope±SE	半致死浓度 LC_{50} (mg/L, 95% FL)	卡方(自由度) χ^2 (df)	齐次性检验 Heterogeneity	斜率±标准误 Slope±SE	半致死浓度 LC_{50} (mg/L, 95% FL)	卡方(自由度) χ^2 (df)	齐次性检验 Heterogeneity
茚虫威 Indoxacarb	1.90±0.21	16.57 (13.02~20.56)	3.10 (4)	0.77	1.52±0.16	9.51 (6.60~13.16)	4.49 (4)	1.12
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	2.03±0.21	2.67 (2.17~3.28)	2.19 (4)	0.55	1.54±0.16	4.20 (3.34~5.21)	2.22 (4)	0.56
多杀菌素 Spinosad	1.68±0.19	7.59 (5.99~9.65)	1.77 (4)	0.44	1.28±0.12	9.72 (6.57~14.28)	7.05 (5)	1.41
甲氨基阿维菌素 Emamectin Benzoate	1.68±0.19	1.40 (1.10~1.77)	2.09 (4)	0.52	2.33±0.21	2.07 (1.76~2.45)	3.34 (4)	0.84
氟虫胺 Sulfluramid	1.82±0.20	3.48 (2.73~4.35)	0.74 (4)	0.19	2.24±0.23	8.93 (7.37~10.98)	1.78 (4)	0.45
氰氟虫腙 Metaflumizone	1.57±0.18	1.04 (0.80~1.33)	0.89 (4)	0.22	1.36±0.15	1.94 (1.53~2.50)	3.30 (4)	0.83
阿维菌素 Abamectin	2.44±0.24	13.03 (9.36~17.94)	5.82 (4)	1.45	1.58±0.16	17.63 (14.26~22.01)	0.74 (4)	0.19
毒死蜱 Chlorpyrifos	1.72±0.20	23.28 (12.60~39.00)	8.26 (4)	2.07	2.24±0.19	64.68 (45.61~93.20)	8.26 (4)	2.07

将分蘖期的水稻茎秆放入各处理药液中浸渍10 s, 取出晾干后将稻茎齐根剪成5~6 cm的茎秆。将晾干后的茎秆放入事先准备好的培养皿中(直径6.5 cm, 每皿内铺四层滤纸并加入无菌水保湿), 每个培养皿放置15根茎秆并用毛笔接入10头事先用人工饲料饲喂的3龄幼虫, 每组重复3次, 并用两层黑布覆盖。48 h后统计幼虫死亡情况。

1.5 取食香根草后水稻螟虫对8种常用药剂的敏感度测定

选取人工饲料饲喂的大小一致的水稻螟虫3龄幼虫, 分别用香根草和水稻茎秆饲喂3 d。根据上述两种水稻螟虫对8种药剂的毒力测定结果, 计算8种药剂对水稻螟虫48 h后的 LC_{50} , 并用1.4中的方法处理饲喂后的水稻螟虫。将处理后的水稻螟虫置于温度 $26^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 下, 光周期16 h光照/8 h黑暗的条件下饲养和观察。48 h后统计幼虫死亡情况。

2 结果与分析

2.1 8种杀虫剂对水稻螟虫的毒力测定

测定了茚虫威、氯虫苯甲酰胺、多杀菌素、甲氨基阿维菌素、氟虫胺、氰氟虫腙、阿维菌素、毒死蜱8种杀虫剂对大螟的毒力作用。以48 h LC_{50} 为评价标准, 8种药剂的 LC_{50} 依次是16.57 mg/L、2.67 mg/L、7.59 mg/L、1.40 mg/L、3.48 mg/L、1.04 mg/L、13.03 mg/L、23.28 mg/L。其中毒死蜱的 LC_{50} 最高, 氰氟虫腙的 LC_{50} 最低。大螟对氰氟虫腙与甲氨基阿维菌素、氯虫苯甲酰胺与氟虫胺、多杀菌素与阿维菌素、阿维菌素、茚虫威和毒死蜱的敏感度没有显著差异(LC_{50} 置信区间重叠)(表1)。

同样测定了上述8种药剂对二化螟的毒力作用。以48 h后的 LC_{50} 为评价标准, 8种药剂对二化螟3龄幼虫的 LC_{50} 依次是9.51 mg/L、4.20 mg/L、9.72 mg/L、2.07 mg/L、8.93 mg/L、1.94 mg/L、17.63 mg/L、64.68 mg/L。其中毒死蜱的 LC_{50} 最高, 氰氟虫胺的 LC_{50} 最低。二化螟对氰氟虫胺与甲氨基阿维菌素、氟虫胺与茚虫威和多杀菌素的敏感度没有显著差异(LC_{50} 置信区间重叠)(表1)。

对比大螟的敏感性测定结果, 除茚虫威外, 其他7种药剂对二化螟幼虫的毒力低于对大螟幼虫的毒力(表1)。

2.2 取食香根草后螟虫对8种常用杀虫剂的敏感度变化

采用上述实验测定的 LC_{50} 对取食水稻和香根草3 d的螟虫进行敏感度测定, 统计48 h死亡率。结果发现利用8种药剂 LC_{50} 处理取食水稻后的大螟幼虫, 死亡率最高的是氰氟虫胺, 达60.0%, 最低的是茚虫威, 死亡率为51.1%。而香根草饲喂3 d后, 大螟幼虫对8种药剂的敏感性均有所提高, 死亡率提高13.3~22.2个百分点, 其中, 对氯虫苯甲酰胺、多杀菌素、氟虫胺、氰氟虫胺、毒死蜱的敏感度显著提高。

8种药剂 LC_{50} 处理水稻饲喂后的二化螟幼虫, 死亡率最高的是氰氟虫胺, 死亡率为60.0%, 最低的是茚虫威, 死亡率为48.9%。对比发现, 香根草饲喂3 d后的二化螟幼虫对所有测定药剂敏感度均显著提高, 死亡率提高26.7~33.3个百分点(表2)。

3 讨论

本研究对茚虫威、氯虫苯甲酰胺、多杀菌素、

表 2 取食香根草后螟虫对 8 种常用杀虫剂的敏感度变化

Table 2. Changes in susceptibility of borers to 8 insecticides after feeding vetiver grass.

药剂 Insecticide	大螟 <i>S. inferens</i>				二化螟 <i>C. suppressalis</i>			
	剂量 Dose/(mg L ⁻¹)	死亡率 Mortality/%		剂量 Dose/(mg L ⁻¹)	死亡率 Mortality/%			
		取食水稻 Feeding rice	取食香根草 Feeding vetiver grass		取食水稻 Feeding rice	取食香根草 Feeding vetiver grass		
茚虫威 Indoxacarb	16.5	51.1±5.9 a	68.9±5.9 a	9.5	48.9±5.9 b	82.2±2.2 a		
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	3.0	53.3±3.9 b	73.3±3.9 a	4.5	55.6±4.4 b	82.2±2.2 a		
多杀菌素 Spinosad	7.5	53.3±7.7 b	73.3±7.7 a	10.0	55.6±5.9 b	82.2±2.2 a		
甲氨基阿维菌素 Emamectin Benzoate	1.5	55.6±4.4 a	68.9±2.2 a	2.0	53.3±6.7 b	84.4±2.2 a		
氟虫胺 Sulfluramid	3.5	57.8±8.0 b	73.3±3.9 a	9.0	57.8±2.2 b	86.7±3.9 a		
氰氟虫腙 Metaflumizone	1.0	60.0±10.2 b	82.2±2.2 a	2.0	60.0±3.9 b	93.3±3.9 a		
阿维菌素 Abamectin	13.0	55.6±5.9 a	71.1±2.2 a	18.0	51.1±5.9 b	80.0±10.2 a		
毒死蜱 Chlopyrifos	23.5	57.8±4.4 b	80.0±3.9 a	65.0	55.6±2.2 b	82.2±5.9 a		

不同小写字母表示取食水稻或香根草后螟虫对药剂的敏感性存在显著差异(*t*-检验, $P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate that *S. inferens* or *C. suppressalis* differs significantly in sensitivity to insecticides after feeding rice or vetiver grass.

甲氨基阿维菌素、氟虫胺、氰氟虫腙、阿维菌素、毒死蜱毒力测定结果表明 8 种常用杀虫剂中氰氟虫腙、甲氨基阿维菌素对水稻螟虫的防治效果较好, 毒死蜱的活性较低, 已产生较高的抗性。目前关于水稻螟虫敏感度或抗性变化监测的报道较多。赵钧^[15]比较了 2010—2014 年大螟种群对不同杀虫剂的敏感性变化, 发现大螟对阿维菌素、氯虫苯甲酰胺、茚虫威和毒死蜱的 LC_{50} 值变化不大, 波动幅度都在 2 倍以内。Su 等^[16]2010—2011 年抗性监测结果发现多个二化螟地理种群对氯虫苯甲酰胺的敏感度下降; 张扬等^[5]2014 年的抗性监测结果同样显示江西几个不同种群二化螟对氯虫苯甲酰胺、毒死蜱的敏感度下降。我们的监测结果也显示毒死蜱对水稻螟虫的活性较低。2016 年, Lu 等^[17]对浙江地区二化螟种群进行监测, 发现二化螟已对氯虫苯甲酰胺产生了中高水平的抗性。

近年来, 农业部提出了“科学植保、公共植保、绿色植保”理念。这是发展现代农业、建设“资源节约、环境友好”两型农业, 促进农业生产、农产品质量、农业生态和农业贸易安全的有效途径^[18]。而香根草的开发利用为水稻螟虫的绿色防控开辟了新途径。我们的研究发现, 对比水稻饲喂后的螟虫, 在香根草饲喂 3 d 后大螟幼虫对 8 种药剂的敏感性均有所提高, 致死率提高 13.3~22.2 个百分点, 其中, 对氯虫苯甲酰胺、多杀菌素、氟虫胺、氰氟虫腙、毒死蜱的敏感度显著提高; 香根草饲喂 3 d 后的二化螟幼虫对所有测定药剂敏感度均显著提高, 致死率提高 26.7~33.3 个百分点。取食不同食料后害虫对药剂敏感度变化的相关报道较多。覃春华等^[19]研究表明, 斜纹夜蛾(*Spodoptera litura*)幼虫取食莲藕、芋、水芹后对氟啶脲、毒死蜱、茚虫威和甲维盐等药剂的敏感性不同; 甜菜夜蛾(*Spodoptera exigua*)取食不同寄主植物后对溴氰菊

酯、毒死蜱、溴虫腈、虫酰肼的敏感性有不同程度的变化^[20]; 苹果黄蚜(*Aphis citricolavon der goot*)取食不同寄主植物后对吡虫啉、马拉硫磷、溴氰菊酯和灭多威的敏感性为杏树种群>李子树种群>梨树种群>苹果树种群^[21]。我们前期的研究表明香根草中含有对水稻螟虫具有致死作用的有毒活性物质, 这些物质可能通过抑制幼虫体内解毒酶 CarE 和 P450 酶的活性, 使幼虫对药剂的敏感度增加; 此外, 相对水稻来讲, 香根草营养物质匮乏, 螟虫幼虫取食香根草后营养不均衡, 从而影响体内正常生理机能^[11]。这些都可能是水稻螟虫取食香根草后对药剂的敏感度提高的重要原因。

本研究初步明确了水稻螟虫取食香根草后对药剂的敏感度有不同程度提高, 进一步说明香根草作为诱集植物在水稻螟虫的综合防治中起到积极作用, 为以香根草为基础的水稻螟虫的绿色防控技术研究提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 蒋学辉, 章强华, 胡仕孟, 谢士杰, 徐喜刚. 浙江省水稻二化螟抗性现状与治理对策. 植保技术与推广, 2001, 21(3): 27-29.
Jiang X H, Zhang Q H, Hu S M, Xie S J, Xu X G. The status of pesticide resistance of rice stalk borer in Zhejiang Province and their management tactics. *Plant Prot Technol Ext*, 2001, 21(3): 27-29. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张真真. 二化螟抗性监测及其对氯虫苯甲酰胺敏感基线的建立. 南京: 南京农业大学, 2012.
Monitoring of insecticide resistance and baseline susceptibility of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae) to chlorantraniliprole. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [3] 彭少兵. 转型时期杂交水稻的困境与出路. 作物学报, 2016, 42(3): 313-319.
Peng S B. Dilemma and way-out of hybrid rice during the transition period in China. *Acta Agron Sin*, 2016, 42(3):

- 313-319. (in Chinese with English abstract)
- [4] 姜卫华. 二化螟的抗药性及综合防治研究. 南京: 南京农业大学, 2011.
Jiang W H. Study on insecticide resistance and integrated control of rice stem borer, *Chilo suppressalis*. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [5] 张扬, 王保菊, 韩平, 韩召军. 二化螟抗药性检测方法比较和抗药性监测. 南京农业大学学报, 2014, 37(6): 37-43.
Zhang Y, Wang B J, Han P, Han Z J. Comparison of methods for testing insecticide resistance in *Chilo suppressalis* and the resistance monitored. *J Nanjing Agric Univ*, 2014, 37(6): 37-43. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张海艳, 李海东, 韩召军. 大螟田间种群对不同杀虫剂敏感性的差异. 中国稻米, 2012, 18(1): 29-33.
Zhang H Y, Li H D, Han Z J. Sensitivity of field populations to different insecticides in rice stem borer, *Sesamia inferens* (Walker). *China Rice*, 2012, 18(1): 29-33. (in Chinese with English abstract)
- [7] 胡君, 陈文明, 张真真, 郑雪松, 靳建超, 苏建亚, 高聪芬, 沈晋良. 长江流域稻区二化螟抗药性监测. 中国水稻科学, 2010, 24(5): 509-515.
Hu J, Chen W M, Zhang Z Z, Zheng X S, Jin J C, Su J Y, Gao C F, Shen J L. Insecticide resistance monitoring of *Chilo suppressalis* in the drainage area of the Yangtze River China. *Chin J Rice Sci*, 2010, 24(5): 509-515. (in Chinese with English abstract)
- [8] 梁齐, 鲁艳辉, 何晓婵, 郑许松, 徐红星, 杨亚军, 田俊策, 吕仲贤. 诱集植物在害虫治理中的最新研究进展. 生物安全学报, 2015, 24(3): 184-193.
Liang Q, Lu Y H, He X C, Zheng X S, Xu H X, Yang Y J, Tian J C, Lu Z X. Mini review of the significance of trap crop in insect pest management. *J Biosafety*, 2015, 24: 184-193. (in Chinese with English abstract)
- [9] 陈先茂, 彭春瑞, 姚锋先, 关贤交, 王华伶, 邓国强. 利用香根草诱集诱杀水稻螟虫的技术及效果研究. 江西农业学报, 2007, 19(12): 51-52.
Chen X M, Peng C R, Yao F X, Guan X J, Wang H L, Deng G Q. Study on technique and effect of vetiver for trapping and killing rice borer. *Acta Agric Jiangxi*, 2007, 19: 51-52 (in Chinese with English abstract).
- [10] 郑许松, 徐红星, 陈桂华, 吴降星, 吕仲贤. 苏丹草和香根草作为诱虫植物对稻田二化螟种群的抑制作用评估. 中国生物防治学报, 2009, 25(4): 299-303.
Zheng X S, Xu H X, Chen G H, Wu J X, Lu Z X. Potential function of Sudan grass and vetiver grass as trap crops for suppressing population of striped stem borer, *Chilo suppressalis* in rice. *Chin J Biol Control*, 2009, 04: 299-303. (in Chinese with English abstract)
- [11] 鲁艳辉, 高广春, 郑许松, 吕仲贤. 诱集植物香根草对二化螟幼虫致死的作用机制. 中国农业科学, 2017, 50(3): 486-495.
Lu Y H, Gao G C, Zheng X S, Lu Z X. The lethal mechanism of trap plant vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) against the larvae of striped stem borer, *Chilo suppressalis*. *Sci Agric Sin*, 2017, 50(3): 486-495. (in Chinese with English abstract)
- [12] 鲁艳辉, 梁齐, 郑许松, 吕仲贤. 诱集植物香根草对大螟幼虫营养作用及消化酶的影响. 中国生物防治学报, 2017(5): 719-724.
Lu Y H, Liang Q, Zheng X S, Lu Z X. Effects of trap plant vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) on nutritional and digestive enzyme activities of pink stemborer (*Sesamia inferens*) larvae. *Chin J Biol Control*, 2017(5): 719-724. (in Chinese with English abstract)
- [13] 戴长庚, 李凯龙, 王立峰, 谭显胜, 胡阳, 袁哲明, 傅强. 基于均匀设计优化的大螟实用饲料配方及继代饲养. 中国水稻科学, 2013, 27(4): 434-439.
Dai C G, Li K L, Wang L F, Tan X S, Hu Y, Yuan Z M, Fu Q. An oligidic diet for *Sesamia inferens* optimized by uniform design and successive rearing. *Chin J Rice Sci*, 2013, 27(4): 434-439. (in Chinese with English abstract)
- [14] 胡阳, 郑永利, 曹国连, 傅强. 利用半人工饲料大规模简化饲养二化螟. 中国水稻科学, 2013, 27(5): 535-538.
Hu Y, Zheng Y L, Cao G L, Fu Q, 2013. A technique for rearing *Chilo suppressalis* in the large scale with an oligidic diet in laboratory. *Chin J Rice Sci*, 2013, 27(5): 535-538. (in Chinese with English abstract)
- [15] 赵钧, 付文曦, 韩召军. 大螟对7种杀虫剂的抗药性监测及相对敏感基线验证. 南京农业大学学报, 2016, 39(1): 84-88.
Zhao J, Fu W X, Han Z J. Resistance monitoring of *Sesamia inferens*(Walker) to seven insecticides and verification of related baseline data. *J Nanjing Agric Univ*, 2016, 39(1): 84-88.
- [16] Su J Y, Zhang Z Z, Wu M, Gao C F. Geographic susceptibility of *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Crambidae), to chlorantraniliprole in China. *Pest Manag Sci*, 2014, 70 (6): 989-995.
- [17] Lu Y H, Wang G R, Zhong L Q, Zhang F C, Bai Q, Zheng X S, Lu Z X. Resistance monitoring of *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Crambidae) to chlorantraniliprole in eight field populations from east and central China. *Crop Prot*, 2017, 100: 196-202.
- [18] 周阳, 赵中华, 杨普云. 以绿色防控促进生态文明建设. 中国植保导刊, 2013, 33(11): 75-78.
Zhou Y, Zhao Z H, Yang P Y. Promoting the construction of ecological civilization with green prevention and control. *China Plant Prot*, 2013, 33(11): 75-78. (in Chinese with English abstract)
- [19] 覃春华, 匡晶, 余明华, 李建洪. 不同水生蔬菜对斜纹夜蛾药剂敏感性的影响. 中国蔬菜, 2011, 8: 71-75.
Qin C H, Kuang J, Yu M H, Li J H. Effects of feeding different aquatic vegetables on sensitivity to insecticides of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *China Veg*, 2011, 8: 71-75. (in Chinese with English abstract)
- [20] 乐伟, 马伟华, 王沫. 取食不同寄主植物的二个甜菜夜蛾品系对药剂的敏感性. 昆虫知识, 2005, 42(3): 290-294.
Le W, Ma W H, Wang M. The variation of sensitivity to insecticides of *Spodoptera exigua* strains feeding on different host plants. *Chin Bull Entomol*, 2005, 42(3): 290-294. (in Chinese with English abstract)
- [21] 吕朝军, 韩巨才, 刘慧平, 任一新, 马林. 寄主植物对苹果黄蚜药剂敏感性及解毒酶活性的影响. 植物保护学报, 2007, 34(5): 534-538.
Lü C J, Han J C, Liu H P, Ren Y X, Ma L. Influence of host plants to detoxification enzymes and susceptibilities to insecticides on *Aphis citricola* von der Goot. *Acta Phytophy Sin*, 2007, 34(5): 534-538. (in Chinese with English abstract)