

11 种植物源杀虫活性成分对草地贪夜蛾的毒力测定

刘锦霞^{1,2}, 李 晶¹, 张丹丹^{2,3}, 李 娜¹, 付麟雲¹, 丁 品¹, 吴孔明^{2*}

(1. 甘肃省科学院生物研究所, 兰州 730000; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 3. 北京林业大学草业与草原学院, 北京 100083)

摘要 草地贪夜蛾是2018年入侵我国的重大迁飞性害虫,对玉米等农作物生产构成重大威胁。为开发新型生物农药产品,提供防效更高的生物农药品种,本研究采用点滴法评价了蛇床子素、大蒜素、补骨脂素、闹羊花毒素Ⅲ、印楝素、对叶百部碱、莨菪碱、血根碱、辣椒碱、苦参碱和丁香酚等共11种植物源杀虫活性成分对草地贪夜蛾2龄幼虫的毒力水平。结果显示:这11种杀虫活性成分对草地贪夜蛾2龄幼虫均有毒杀作用,但起效时间都有不同程度的滞后。用药后48、72 h和168 h,不同杀虫活性成分对草地贪夜蛾2龄幼虫的LD₅₀范围分别为0.212~14.382 μg/头、0.191~11.675 μg/头和0.164~9.463 μg/头。药后72 h毒力大小顺序为:丁香酚>印楝素>闹羊花毒素Ⅲ>补骨脂素>血根碱>大蒜素>苦参碱>莨菪碱>蛇床子素>辣椒碱>对叶百部碱。研究结果为利用丁香酚等活性成分开发防治草地贪夜蛾的生物农药新产品提供了技术支持。

关键词 草地贪夜蛾; 植物源杀虫剂; 杀虫活性成分; 毒力

中图分类号: S 482.39 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2021617

Toxicity of 11 botanical insecticidal active ingredients to the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*

LIU Jinxia^{1,2}, LI Jing¹, ZHANG Dandan^{2,3}, LI Na¹, FU Linyun¹, DING Pin¹, WU Kongming^{2*}

(1. Institute of Biology, Gansu Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. College of Grassland Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, an important migratory pest which invaded China in 2018, has become a major threat to the production of maize and other crops in many countries. In order to develop novel biopesticide, the toxicity of 11 botanical active components, including osthole, allicin, psoralen, rhodojaponinⅢ, azadirachtin, tuberostemonine, anisodamine, sanguinarine, capsaicin, matrine and eugenol to *S. frugiperda* larvae was evaluated using topical application method. The results showed that all the active ingredients presented toxic effects to larvae of the pest, but worked at different speed. The ranges of LD₅₀ were 0.212–14.382 μg/larva at 48 h, 0.191–11.675 μg/larva at 72 h, and 0.164–9.463 μg/larva at 168 h, respectively. The 72 h toxicities was ordered from high to low as eugenol>azadirachtin>rhodojaponinⅢ>psoralen>sanguinarine>allicin>matrine>anisodamine>osthole>capsaicin>tuberostemonine. This study provides a basis for development of novel biological pesticides against *S. frugiperda* using eugenol and other active ingredients.

Key words *Spodoptera frugiperda*; botanical insecticide; active ingredient; toxicity

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 起源于美洲热带及亚热带地区,是一种繁殖力很强的迁飞性农业害虫^[1]。其2018年12月11日首次从缅甸迁入我国^[2],2019年10月已扩散至26个省,2020年

进入定殖为害阶段^[3-4]。草地贪夜蛾寄主植物涉及76科353种^[5],在我国可为害玉米、小麦、水稻、高粱、大麦、甘蔗、马铃薯等大宗作物,花生、大豆、向日葵等油料作物和生姜、辣椒、卷心菜、白菜等蔬菜作

收稿日期: 2021-11-07 修订日期: 2021-12-31

基金项目: 甘肃省科学院“科苑英才”访问学者计划;甘肃省科学院应用研究与开发计划项目(2018JK-08);甘肃省科学院产业化开发计划(2021CY01)

* 通信作者 E-mail: wukongming@caas.cn

物,以及香蕉、茶树、姜黄和烟草等其他作物^[6-9]。2019年—2020年累计查实受害作物238万hm²,以玉米受害最重^[10-13]。草地贪夜蛾具有较强的物种竞争能力,对云南滇西甜糯玉米害虫的调查研究发现,其发生程度远超甜菜夜蛾 *S. exigua* (Hübner)、斜纹夜蛾 *S. litura* Fabricius、黏虫 *Mythimna separata* (Walker)、劳氏黏虫 *Leucania loreyi* Duponchel 和棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 等原生土著害虫,入侵已对玉米害虫的种群结构和动态产生了重要影响^[14-15],成为影响农业生产的新问题^[16]。

草地贪夜蛾入侵后,农业农村部迅速构建监测预警控制体系,通过区域性联防联控有效控制了其在我国的发生为害^[17]。但该控制体系主要依靠化学农药进行应急防治,过度使用化学农药会导致草地贪夜蛾产生抗药性,并因杀伤天敌而产生种群再猖獗的问题^[18-20]。此外,迁飞习性还会将抗性种群的抗性位点扩散到其他地方^[21]。对草地贪夜蛾入侵种群的遗传特征研究显示,亚洲和非洲的入侵种群可能来自美国东南部^[22-23],它们对有机磷、氨基甲酸酯、拟除虫菊酯和烟碱类等农药已经产生了高水平抗药性^[24-27],而最近的研究结果亦表明,草地贪夜蛾对双酰胺类、多杀菌素类和苯甲酰胺类等杀虫剂也产生了不同程度的抗性^[28-30]。因此,生产上需要安全环保高效的生物杀虫剂,替代部分已产生抗性的化学农药,或将其与高效化学杀虫剂交替使用,降低草地贪夜蛾的抗药性风险和化学农药对生态环境的影响。

植物源杀虫剂作用方式多样、不易产生抗药性、易降解、对环境及非靶标生物影响小^[31-32]。相比微生物杀虫剂,还具有使用便捷和环境条件要求低^[33]等优点,是草地贪夜蛾综合绿色防控的适宜农药种类^[34]。目前全世界已报道了80余种对防控草地贪夜蛾有应用前景的药源植物及20多种有效活性组分,包括生物碱类(alkaloids)、萜烯类(terpenes)、黄酮类(flavonoids)、糖苷类化合物、脂肪酸类、酚类和甾醇类等^[35]。其中用量较大的植物源农药为苦参碱^[36]和印楝素^[37-38]制剂。针对我国对防控草地贪夜蛾植物源有效活性组分缺乏研究的问题,我们评价了国内外已登记的11种植物源杀虫活性成分对入侵草地贪夜蛾幼虫的毒力,以期对开发草地贪夜蛾新型高效植物源农药提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试虫:草地贪夜蛾于2019年1月30日采自云南省普洱市江城县宝藏镇鲜食玉米田。将2~5龄幼虫带回室内,饲养繁殖、建立实验种群。饲养环境温度(25±1)℃,相对湿度(75±5)%,光周期L//D=16h//8h。幼虫用含有玉米面和黄豆面的人工饲料(不含任何杀虫物质)饲养;成虫置于养虫笼中,饲喂10%的糖水补充营养,养虫笼上方覆盖医用纱布供其产卵;每24h更换一次卵布,然后将卵布置于自封袋中,待其孵化,饲养至2龄幼虫供试。

供试药剂:蛇床子素、大蒜素、对叶百部碱、补骨脂素、莨菪碱、苦参碱、血根碱、闹羊花毒素Ⅲ、丁香酚、印楝素、辣椒碱共11种供试植物源杀虫活性成分均由上海源叶生物科技有限公司生产,其中大蒜素纯度为UV≥98%,其他均为HPLC≥98%。丙酮(分析纯)由成都市科隆化学品有限公司生产。

1.2 试验方法

采用点滴法测定。分别将11种植物源杀虫活性成分用丙酮配制成母液,依据预试验等比稀释成6个所需浓度,即:蛇床子素、补骨脂素、莨菪碱、血根碱、辣椒碱、苦参碱和闹羊花毒素Ⅲ所用浓度梯度为:0.4、0.8、1.6、3.2、6.4、9.6 mg/mL;丁香酚所用浓度为:0.05、0.1、0.2、0.4、0.8、1.6 mg/mL;印楝素所用浓度梯度为:0.2、0.4、0.8、1.6、3.2、6.4 mg/mL;大蒜素和对叶百部碱所用浓度梯度为:0.8、1.6、3.2、6.4、9.6、19.2 mg/mL,以丙酮处理作为对照。

取直径9cm的培养皿,每皿接入8头有活力、生长发育一致的2龄幼虫。使用1μL的微量点滴器将1μL药液滴在幼虫的前胸背板上。每种药剂的每个浓度重复3次,共24头试虫。以丙酮作为对照。之后单头置于加入1.5g人工饲料的24孔培养板中,在温度(25±1)℃,相对湿度(75±5)%,光周期L//D=16h//8h环境条件下饲养,观察和记录。分别于48、72h和168h后统计各组幼虫的死亡情况。用小毛刷触碰虫体后无反应或幼虫表现出严重的中毒症状,如畸形、颤搐、行动迟缓、进食中断、蜕皮停止和生长严重抑制等则被视为死亡。

1.3 数据统计分析

所得数据用SPSS 21.0软件统计分析,计算毒力回归方程参数、LD₅₀及其95%置信限,并计算卡

方值 χ^2 等。

2 结果与分析

2.1 11 种植物源杀虫活性成分对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的毒力比较

结果显示,11 种植物源活性成分对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的毒力差异较大,在用药后同一时间最大 LD₅₀ 与最小 LD₅₀ 相差 40 倍(表 1)。其中,丁香酚在用药后 48、72 h 和 168 h,对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的 LD₅₀ 均低于 0.22 $\mu\text{g}/\text{头}$,远远小于其他植物源有效成分;其次为印楝素和闹羊花毒素Ⅲ,其用药后 48、72 h 和 168 h 的 LD₅₀ 均小于 4.01 $\mu\text{g}/\text{头}$ 和 5.02 $\mu\text{g}/\text{头}$,补骨脂素用药后 168 h 的 LD₅₀ 为 2.924 $\mu\text{g}/\text{头}$,毒力也较强。而

对叶百部碱在用药后 48、72 h 和 168 h 的 LD₅₀ 在 9.463~14.382 $\mu\text{g}/\text{头}$ 之间,毒力明显弱于其他成分。

2.2 11 种植物源杀虫活性成分对草地贪夜蛾幼虫毒力与起效时间的关系

11 种植物源杀虫活性成分对草地贪夜蛾幼虫的毒力随药后时间延长而增大,且相对毒力大小也有一定的变化(表 2)。用药后 48 h,毒力大小顺序为丁香酚>印楝素>闹羊花毒素Ⅲ>血根碱>补骨脂素>苦参碱>大蒜素>蛇床子素>辣椒碱>莨菪碱>对叶百部碱;用药后 168 h,毒力大小顺序为丁香酚>印楝素>闹羊花毒素Ⅲ>补骨脂素>血根碱>苦参碱>大蒜素>莨菪碱>辣椒碱>蛇床子素>对叶百部碱。对于草地贪夜蛾 2 龄幼虫,丁香酚毒力最强。

表 1 11 种植物源杀虫活性成分对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的毒力测定结果

Table 1 Toxicity of 11 botanical active ingredients to the 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

供试药剂 Tested reagent	药后时间/h Time after treatment	斜率±标准误 b±SE	LD ₅₀ / $\mu\text{g} \cdot \text{头}^{-1}$	95%置信区间/ $\mu\text{g} \cdot \text{头}^{-1}$ 95% confidence limit	χ^2	df
蛇床子素 Osthole	48	0.210±0.057	8.854	6.687~14.439	0.327	4
	72	0.172±0.054	8.162	5.822~15.430	0.450	4
	168	0.146±0.052	6.262	3.925~13.372	0.803	4
大蒜素 Allicin	48	0.141±0.033	8.309	5.755~11.883	1.593	4
	72	0.169±0.037	6.122	3.866~8.653	1.733	4
	168	0.186±0.041	5.125	2.954~7.308	1.216	4
补骨脂素 Psoralen	48	0.212±0.056	7.751	5.827~12.168	1.480	4
	72	0.339±0.066	3.765	2.648~5.071	1.593	4
	168	0.351±0.070	2.924	1.788~4.086	1.302	4
闹羊花毒素Ⅲ RhodojaponinⅢ	48	0.193±0.054	5.019	3.210~7.985	1.315	4
	72	0.274±0.064	2.552	0.958~3.922	1.521	4
	168	0.300±0.070	1.790	0.099~3.011	0.417	4
印楝素 Azadirachtin	48	0.264±0.082	4.009	2.656~7.486	0.743	4
	72	0.411±0.108	1.023	0.038~3.082	0.992	4
	168	3.492±0.833	0.471	0.104~1.227	1.919	4
对叶百部碱 Tuberostemonine	48	0.144±0.031	14.382	8.785~19.498	1.031	4
	72	0.153±0.032	11.675	6.760~17.696	1.537	4
	168	0.143±0.032	9.463	4.390~15.825	0.873	4
莨菪碱 Anisodamine	48	0.222±0.059	9.367	7.162~15.019	0.399	4
	72	0.237±0.056	6.480	4.886~9.385	0.162	4
	168	0.241±0.056	6.001	4.476~8.594	0.550	4
血根碱 Sanguinarine	48	0.259±0.057	6.279	4.809~8.755	1.441	4
	72	0.251±0.057	4.840	3.411~6.860	1.202	4
	168	0.196±0.056	3.585	1.539~5.771	0.759	4
辣椒碱 Capsaicin	48	0.182±0.056	9.122	6.644~16.954	1.220	4
	72	0.157±0.054	8.549	5.951~18.434	1.411	4
	168	0.175±0.053	6.041	4.055~10.474	3.382	4
苦参碱 Matrine	48	0.368±0.068	7.792	5.054~20.279	1.003	4
	72	0.476±0.076	6.291	4.045~11.178	0.934	4
	168	0.445±0.073	4.958	2.352~11.440	1.278	4
丁香酚 Eugenol	48	8.182±1.704	0.212	0.155~0.280	0.586	4
	72	8.173±1.758	0.191	0.133~0.256	1.847	4
	168	8.128±1.832	0.164	0.102~0.225	0.709	4

3 结论与讨论

防治草地贪夜蛾植物源农药已有 12 种原药的 429 款产品分别在 30 个国家获得注册登记,其中印楝素和除虫菊素分别有 171 种和 193 种产品,其次是苦参碱、大蒜素、异硫氰酸烯丙酯、辣椒素和橙油等^[39-40]。供试的 11 种植物源杀虫活性成分中,生物碱类对草地贪夜蛾入侵种群低龄幼虫的毒力普遍比萜烯类小,以酚类毒力最强,这是因为具有良好杀虫活性的植物次生代谢物质的毒力大小与它们的化学结构和杀虫机制密切相关^[41]。这类物质都有胃毒和触杀活性,但又各不相同。生物碱类有麻醉和抑制生长发育等活性;萜烯类多以拒食、忌避、抑制生长发育为主;而精油类不仅兼具生物碱的活性作用,还具有类似性外激素的引诱作用^[42]。另有研究资料显示,植物源杀虫化合物的拒食活性强,辅以其他作用方式,则其毒力会显著增强^[43]。

植物源杀虫剂的杀虫机制主要是引起害虫拒食、发育停滞和麻痹,而不是立即致死,因此,相对于化学农药,其起效较慢,一般在用药后第一天效果不显著^[44-45]。但起效慢并不代表最后的防控效果差。本研究发现,用药后 72 h,印楝素、闹羊花素Ⅲ和补骨脂素对草地贪夜蛾幼虫的毒杀效果没有丁香酚高,但它们能显著抑制幼虫生长发育。当用药量大于 3.2 μg/头时,幼虫蜕皮生长受到较强抑制,使害虫无法正常完成生活史,从而使种群发展与危害得到控制。草地贪夜蛾不同龄期的幼虫对杀虫剂的敏感程度不同,一般而言,虫龄越小对药物的敏感度越高。因此,防控草地贪夜蛾幼虫应在低龄时施药为好。

不同化学结构的杀虫化合物对草地贪夜蛾的作用方式不同,这就要求使用最适合的生物测定方法^[46]。本研究采用了国内外认为准确率、灵敏度和重复性均较高的点滴法,它对于以触杀为主的蛇床子素^[47]、补骨脂素^[48]、大蒜素^[49]、对叶百部碱^[50]、莨菪碱^[51]、血根碱^[52]、丁香酚^[53]和苦参碱^[54]等化合物比较适合,但对于以拒食、忌避、抑制生长发育为主的闹羊花毒素Ⅲ^[55]和印楝素^[56]等化合物,可能会有一定程度的影响。

植物源杀虫剂起效较慢和有效成分见光易分解的问题,是影响其规模化生产应用的主要原因^[57]。国内外的一些研究已表明,不同类型植物源杀虫活性成分的复配,可产生多靶标协同作用而显著增效^[58-59]。本研究供试的 11 种植物源杀虫活性成分对草地贪夜

蛾低龄幼虫均有不同程度的毒杀活性,为了提高各植物源杀虫活性成分的协同作用效果,可进一步筛选复合作用配方提高对草地贪夜蛾的防控效率和延缓抗药性产生。对植物源有效成分易分解、易氧化和易光解等问题,可通过剂型改进予以解决。

参考文献

- [1] 石旺鹏. 草地贪夜蛾到底有多“贪”[J]. 植物保护学报, 2020, 47(4): 687 - 691.
- [2] SUN Xiaoxu, HU Chaoxing, JIA Huiru, et al. Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(3): 664 - 672.
- [3] FAO. Briefing note on FAO actions on fall armyworm [EB/OL]. (2019 - 12)[2021 - 11 - 07]. <http://www.fao.org/3/a-bs183e>.
- [4] 姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 等. 2019 年我国草地贪夜蛾扩散规律观测[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 10 - 19.
- [5] MONTEZANO D G, SPECHT A, SOSA-GOMEZ D R, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas [J]. African Entomology, 2018, 26(2): 286 - 300.
- [6] GUERRERO A, MALO E A, COLL J, et al. Semiochemical and natural product-based approaches to control *Spodoptera* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Journal of Pest Science, 2014, 87(2): 231 - 247.
- [7] 杨现明, 孙小旭, 赵胜园, 等. 小麦田草地贪夜蛾的发生为害、空间分布与抽样技术[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 10 - 16.
- [8] 何莉梅, 赵胜园, 吴孔明, 等. 草地贪夜蛾取食为害花生的研究[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 28 - 33.
- [9] 徐清云. 国内关于草地贪夜蛾寄主的相关研究[J]. 辽宁农业科学, 2020(2): 57 - 60.
- [10] 徐蓬军, 张丹丹, 王杰, 等. 草地贪夜蛾对玉米和烟草的偏好性研究[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 61 - 64.
- [11] HE Limei, WANG Tengli, CHEN Yuchao, et al. Larval diet affects development and reproduction of East Asian strain of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(3): 736 - 744.
- [12] WU Qiulin, SHEN Xiujing, HE Limei, et al. Windborne migration routes of newly-emerged fall armyworm from Qinling Mountains-Huaihe River region, China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(3): 694 - 706.
- [13] 张琼, 赵林, 何平, 等. 草地贪夜蛾在云南省曲靖市的潜在适生区及其造成的经济损失评估[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2020, 42(6): 1224 - 1229.
- [14] 太红坤, 白树雄, 顾中量, 等. 云南省德宏州亚洲玉米螟发生动态及主要危害区域调查[J]. 植物保护, 2016, 42(2): 171 - 176.
- [15] 宋翼飞, 吴孔明. 滇西甜糯玉米草地贪夜蛾防治现状调查[J]. 植物保护, 2020, 46(5): 217 - 222.
- [16] 吴孔明. 中国草地贪夜蛾的防控策略[J]. 植物保护, 2020, 46(2): 1-5.
- [17] MARA (Ministry of Agriculture and Rural Affairs). MARA on the

- issuance of the “2020 national plan for the prevention and control of fall armyworm” [EB/OL]. (2020-02-21)[2021-11-07]. http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/202002/t20200221_6337551.htm.
- [18] ZHOU Yan, WU Qiulin, ZHANG Haowen, et al. Spread of invasive migratory pest *Spodoptera frugiperda* and management practices throughout China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(3): 637-645.
- [19] 吴超, 张磊, 廖重宇, 等. 草地贪夜蛾对化学农药和 Bt 作物的抗性机制及其治理技术研究进展[J]. 植物保护学报, 2019, 46(3): 503-513.
- [20] 杨普云, 李萍, 任彬元, 等. 我国农作物病虫害化学防控技术的环境成本分析[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(6): 37-43.
- [21] ARIASO, CORDEIROE, CORRêA AS, et al. Population genetic structure and demographic history of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae): implications for insect resistance management programs [J]. Pest Management Science, 2019, 75(11): 2948-2957.
- [22] 张磊, 柳贝, 姜玉英, 等. 中国不同地区草地贪夜蛾种群生物型分子特征分析[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 20-27.
- [23] NAGOSHI RODNEY N, DHANANI ISABEL, ASOKAN R, et al. Genetic characterization of fall armyworm infesting South Africa and India indicate recent introduction from a common source population [J/OL]. PLoS ONE, 2019, 14(5): e0217755. DOI: 10.1371/journal.pone.0217755.
- [24] DIEZ-RODIGUES GI, OMOTO C. Inheritance of lambda-cyhalothrin resistance in *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. Neotropical Entomology, 2001, 30: 311-316.
- [25] RIOS-DIEZ J D, SALDAMANDO-BENJUMEA C I. Susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) strains from central Colombia to two insecticides, methomyl and lambda-cyhalothrin: a study of the genetic basis of resistance [J]. Journal of Economic Entomology, 2011, 104(5): 1698-1705.
- [26] CARVALHO R A, OMOTO C, FIELD L M, et al. Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* [J/OL]. PLoS ONE, 2013, 8(4): e62268. DOI: 10.1371/journal.pone.0062268.
- [27] 秦梦真, 高正辉, 徐义流, 等. 草地贪夜蛾对农药主要抗性机制的概述[J]. 植物保护学报, 2020, 47(4): 692-697.
- [28] BOLZAN A, PADOVEZ F E O, NASCIMENTO A R B, et al. Selection and characterization of the inheritance of resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole and cross-resistance to other diamide insecticides [J]. Pest Management Science, 2019, 75(10): 2682-2689.
- [29] LIRA E C, BOLZAN A, NASCIMENTO A R B, et al. Resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to spinetoram: inheritance and cross-resistance to spinosad [J]. Pest Management Science, 2020, 76(8): 2674-2680.
- [30] NASCIMENTO A R, FARIAS J R, BERNARDI D, et al. Genetic basis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to the chitin synthesis inhibitor lufenuron [J]. Pest Management Science, 2016, 72(4): 810-815.
- [31] TAVARES W S, COSTA M A, IVANCRU Z, et al. Selective effects of natural and synthetic insecticides on mortality of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its predator *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. Journal of Environmental Science and Health Part B, 2010, 45: 557-561.
- [32] 何军, 马志卿, 张兴. 植物源农药概述[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(9): 79-85.
- [33] 陈万斌, 李玉艳, 王孟卿, 等. 草地贪夜蛾的昆虫病原微生物资源及其应用现状[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 1-9.
- [34] DUARTE J P, REDAELLI L R, SILVA C E, et al. Effect of *Azadirachta indica* (Sapindales: Meliaceae) oil on the immune system of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) immatures [J]. Journal of Insect Science, 2020, 20(3): 17-18.
- [35] 葛阳, 孙嘉惠, 王铁霖, 等. 药源植物在草地贪夜蛾防控中的应用研究进展[J]. 植物保护学报, 2020, 47(4): 706-718.
- [36] HE Huiqing, QIN Xiangjing, DONG Fangyun, et al. Synthesis, characterization of two matrine derivatives and their cytotoxic effect on Sf9 cell of *Spodoptera frugiperda* [J/OL]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 17999. DOI: 10.1038/s41598-020-75053-1.
- [37] 林素坤, 刘凯鸿, 王瑞飞, 等. 印楝素对草地贪夜蛾的毒力测定及田间防效[J]. 华南农业大学学报, 2020, 41(1): 22-27.
- [38] 赵胜园, 杨现明, 孙小旭, 等. 常用生物农药对草地贪夜蛾的室内防效[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 21-26.
- [39] BATEMAN M L, DAY R K, LUKE B, et al. Assessment of potential biopesticide options for managing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Africa [J]. Journal of Applied Entomology, 2018, 142(9): 805-819.
- [40] EARLY R, GONZÁLEZ-MORENO P, MURPHY S T, et al. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm [J]. NeoBiota, 2018, 40(40): 25-50.
- [41] 雷霖. 曼陀罗与其变种生物碱含量及杀虫活性比较研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [42] 蔡璞瑛, 毛绍名, 章怀云, 等. 植物源杀虫剂国内外研究进展[J]. 农药, 2014, 53(8): 547-551.
- [43] 尚小飞. 四类天然产物的生物活性评价及作用机制研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [44] ZHANG Jifa, CHEN Lin, HUANG Shuai, et al. Diterpenoid alkaloids from two *Aconitum* species with antifeedant activity against *Spodoptera exigua* [J]. Journal of Natural Products, 2017, 80(12): 3136-3142.
- [45] 陈利民, 黄俊, 吴全聪, 等. 绿色杀虫剂对草地贪夜蛾杀虫活性比较测定[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 775-781.
- [46] 吕圣兰, 王有兵, 谷少华, 等. 化学杀虫剂对草地贪夜蛾毒力的生物测定方法比较[J]. 昆虫学报, 2020, 63(5): 590-596.
- [47] 方罗. 蛇床子素与甲氨基阿维菌素苯甲酸盐复配对小菜蛾种群的控制作用[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.
- [48] AYIL-GUTIÉRREZ B, VILLEGAS-MENDOZA J M, SANTES-

- HER-NANDEZ Z, et al. Ruta graveolens extracts and metabolites against *Spodoptera frugiperda* [J]. Natural Product Communications, 2015, 10(11): 1955–1958.
- [49] 李慧, 路清宇, 张瑞杰, 等. 改性大蒜素对玉米象的熏蒸作用研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(6): 111–114.
- [50] 邓云夏, 王靖菲, 殷中琼, 等. 4 种中药单体物质的体外杀螨活性[J]. 中国兽医学报, 2014, 34(1): 136–143.
- [51] 胡冠芳, 刘敏艳, 余海涛, 等. 甘青莨菪粗提物的杀虫活性研究[J]. 草原与草坪, 2013, 33(1): 11–15.
- [52] 李春梅, 郁建平. 血根碱对菜青虫几种代谢酶活性的影响[J]. 中国生物防治学报, 2013, 29(3): 463–468.
- [53] 曲晓, 金启安, 温海波, 等. 丁香酚对斜纹夜蛾的杀虫活性研究[J]. 热带农业科学, 2011, 31(3): 17–19.
- [54] 章冰川, 徐晖. 苦参碱及其类似物的农用生物活性及结构修饰研究进展[J]. 农药学报, 2019, 21(5): 609–626.
- [55] 钟国华. 闹羊花素-Ⅲ (Rhodojaponin-Ⅲ) 的杀虫活性及作用机理[D]. 广州: 华南农业大学, 1999.
- [56] PHAMBALA K, TEMBO Y, KASAMBALA T, et al. Bioactivity of common pesticidal plants on fall armyworm larvae (*Spodoptera frugiperda*) [J]. Plants, 2020, 9(1): 112.
- [57] RIOBA N B, STEVENSON P C. Opportunities and scope for botanical extracts and products for the management of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) for small holders in Africa [J]. Plants, 2020, 9(2): 207.
- [58] 王运儒, 曾鑫年, 王华堂, 等. 鱼藤酮与印楝素对小菜蛾幼虫的协同增效作用[J]. 中国农学通报, 2012, 28(36): 251–254.
- [59] CRUZ G S, WANDERLEY-TEIXEIRA V, OLIVEIRA J V, et al. Sublethal effects of essential oils from *Eucalyptus staigeriana* (Myrtales: Myrtaceae), *Ocimumgratissimum* (Lamiaceae), and *Foeniculum vulgare* (Apiaceae) on the biology of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2016, 109(2): 660–666.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 350 页)

衣剂、30%吡醚·咯·噻虫悬浮种衣剂。由于气候与地块原因,花生苗期发生的茎腐病未造成危害,无法评价各药剂处理对其防治效果,相关结果有待于进一步验证。

综上所述,11%精甲·咯·噻菌悬浮种衣剂和25%噻虫·咯·霜灵悬浮种衣剂处理对目前在山东省花生产区普遍发生的花生冠腐病、根腐病和白绢病均具有较好的防治效果,可以达到“一药多防”的高效、安全以及省时省力的防治目标,建议在生产中推广应用。

参考文献

- [1] 徐永菊, 叶霄, 李爽, 等. 花生白绢病互作研究进展[J]. 中国农学通报, 2019, 35(32): 108–114.
- [2] 张立伟, 王辽卫. 我国花生产业发展状况、存在问题及政策建议[J]. 中国油脂, 2020, 45(11): 116–122.
- [3] 李杨, 高志山, 李建涛, 等. 戊唑醇等四种杀菌剂防治花生冠腐病应用研究[J]. 花生学报, 2012, 41(2): 13–19.
- [4] 张霞, 许曼琳, 郭志青, 等. 吡唑醚菌酯和芸苔素内酯协同防治花生根腐病和白绢病的研究[J]. 花生学报, 2020, 49(3): 52–57.
- [5] 陈坤荣, 任莉, 许理, 等. 花生白绢病研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(2): 302–308.
- [6] 邢小萍, 袁虹霞, 孙炳剑, 等. 花生根部主要土传真菌病害的发生与防治[J]. 杂粮作物, 2010, 30(6): 441–444.
- [7] 李孝刚, 张桃林, 王兴祥. 花生连作土壤障碍机制研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(2): 266–271.
- [8] LIU Jinguang, LI Xiaogang, JIA Zhongjun, et al. Effect of benzoic acid on soil microbial communities associated with soilborne peanut diseases [J]. Applied Soil Ecology, 2017, 110: 34–42.
- [9] 中国农药信息网, 农药登记数据[DB/OL]. <http://www.chinapesticide.org.cn/hysj/index.jhtml>.
- [10] 中华人民共和国农业部. 农药田间药效试验准则(一): 杀菌剂种子包衣防治苗期病害: GB/T17980.36-2000 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [11] 中华人民共和国农业部. 田间药效试验准则(二)第 88 部分: 杀菌剂防治大豆根腐病: GB/T17980.88-2004 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [12] 李孝刚, 王兴祥, 戴传超, 等. 不同施肥措施对连作花生土传真菌病害及产量的影响[J]. 土壤通报, 2014, 45(4): 930–933.
- [13] 董炜博, 石延茂, 孙爱香, 等. 花生白绢病的温室接种技术及抗性鉴定[J]. 花生学报, 2001, 30(3): 17–20.
- [14] 曹海潮, 刘庆顺, 白海秀, 等. 30%噻虫胺·吡唑醚菌酯·苯醚甲环唑悬浮种衣剂的研制及其在花生田应用的效果[J]. 中国农业科学, 2019, 52(20): 3595–3604.
- [15] 管磊. 防治花生土传真菌病害种子处理药剂的筛选[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
- [16] 管磊, 郭贝贝, 王晓坤, 等. 苯醚甲环唑等杀菌剂包衣种子防治花生冠腐病和根腐病[J]. 植物保护学报, 2016, 43(5): 842–849.
- [17] 惠祥海, 赵艳丽, 王祥会, 等. 精甲·咯菌腈处理种子防治花生根腐病效果[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(9): 78–80.
- [18] 赵婷婷, 焦庆清, 蒋莹, 等. 240 g/L 噻呋酰胺悬浮剂拌种对花生病害的防效及对花生产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(27): 148–150.
- [19] 李建涛, 范怀峰, 王建美, 等. 四种杀菌剂对花生白绢病菌的毒力及田间控制作用[J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(6): 686–691.

(责任编辑: 田 喆)