15 种杀虫剂对草地贪夜蛾卵的毒力测定

林玉英， 金 涛*， 马光昌， 温海波， 向凯萍， 彭正强， 易克贤

（中国热带农业科学院环境与植物保护研究所，农业部热带农林有害生物入侵监测与控制重点开放实验室，海口 571101）

摘要 采用浸卵法测定了 15 种杀虫剂对草地贪夜蛾卵的毒力，并比较了不同杀虫剂的毒力水平。结果表明：100 mg/L 处理后 48 h，甲氨基阿维菌素苯甲酸盐（甲维盐）和灭多威对草地贪夜蛾卵孵化抑制率最高，达到 100%，其 LC_{50} 分别为 12.67 mg/L 和 16.95 mg/L；而 200 mg/L 的氯虫苯甲酰胺、多杀霉素、阿维菌素、高效氯氰菊酯、虱螨脲、辛硫磷和杀螟丹分别处理后 72 h 对草地贪夜蛾卵的孵化抑制率次之，在 69.6%～87.65%之间，其 LC_{50} 分别为 44.1、50.9、78.37、79.0、98.15、126.8 mg/L 和 137.7 mg/L。依据毒力测定的结果和高效低毒类杀虫剂优先选用的原则，推荐选择甲维盐、氯虫苯甲酰胺、多杀霉素、阿维菌素和高效氯氰菊酯作为防治草地贪夜蛾卵的主要药剂。

关键词 草地贪夜蛾； 杀虫剂； 毒力测定； 浸卵法

中图分类号： S 433.4 **文献标识码**： B **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2019524

Toxicity of 15 insecticides against eggs of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*)

LIN Yuying， JIN Tao*， MA Guangchang， WEN Haibo，
XIANG Kaiping， PENG Zhengqiang， YI Kexian

(*Environment and Plant Protection Institute of China Academy of Tropical Agricultural Sciences*, *Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops of Ministry of Agriculture*, *Haikou* 571101, *China*)

Abstract Using egg dipping method, the toxicities of 15 insecticides to eggs of *Spodoptera frugiperda* were tested under laboratory conditions. The results showed that 48 h post treatment with 100 mg/L of emamectin benzoate and methomyl, the hatching inhibition rates to eggs of *S. frugiperda* both reached 100%, and their 50% lethal concentration (LC_{50}) values were 12.67 mg/L and 16.95 mg/L, respectively. And 72 h post treatment with 200 mg/L of chlorantraniliprole, spinosad, abamectin, *beta*-cypermethrin, lufenuron, phoxim, and cartap, the hatching inhibition rate to eggs ranged from 69.6% to 87.65%, and their LC_{50} values were 44.1, 50.9, 78.37, 79, 98.15, 126.8 mg/L and 137.7 mg/L, respectively. Based on these results, to use emamectin benzoate, chlorantraniliprole, spinosad, abamectin, or *beta*-cypermethrin as the main ingredients were recommended for the control of *S. frugiperda* eggs.

Key words *Spodoptera frugiperda*； insecticide； toxicity bioassay； egg dipping method

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*，又称秋黏虫，属于鳞翅目夜蛾科灰翅夜蛾属，原产于美洲热带和亚热带地区，是一种严重威胁农业生产的重大危险性迁飞害虫。2016 年 1 月，因商贸货运在美洲大陆栖居的草地贪夜蛾被带入了非洲西海岸的尼日利亚，随后仅用了两年时间该虫就席卷了非洲 44 个国家和地区[1-2]，造成玉米年产量减少约 830 万～2 060万 t[2-3]。2019 年 1 月入侵我国云南省以来，至 2019 年 9 月，全国已有 25 个省发现其为害，见虫面积超过 100 万 hm^2，实际发生为害面积 16.4 万 hm^2（2019 年 9 月 17 日农业农村部就草地贪夜蛾防控工作召开新闻发布会）。现阶段发生趋势预测表明，该虫将可能继续北迁至华北、西北和东北等粮食主产区[4-6]。其扩散速度快、影响范围大、为害程度重的发生态势对我国粮食生产构成了严重威胁。

海南地处我国最南端，属热带海洋性季风气候，温润潮湿多雨，岛内作物种类繁多，玉米、水稻和甘蔗等易受害作物不分季节地常年种植，为草地贪夜蛾

收稿日期： 2019－09－27 **修订日期**： 2019－10－11
基金项目： 农业农村部 2019 年草地贪夜蛾监测防治应急调研指导项目；中国热带农业科学院院创新团队项目(1630042017012)
* 通信作者 E-mail：Jintao337@aliyun.com

提供了周年繁殖的寄主植物。自 2019 年 4 月 30 日在海口市石山镇石岩村首次发现草地贪夜蛾以来,当前全省 18 个县市新发生疫情不断,对鲜玉米的生产造成了严重影响。更重要的是,种群的长期累积和扩繁作用极有可能为将来迁飞其他越冬地提供基础虫源,因此,其对周边省份乃至全国的草地贪夜蛾防治工作的影响不容忽视。当前,筛选有效的杀虫剂和采用喷施化学农药方法是应对和防治草地贪夜蛾的主要手段[7-10]。本文作者前期测定了杀虫剂原药对草地贪夜蛾低龄幼虫的毒力水平,明确了甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、多杀霉素、氯虫苯甲酰胺、辛硫磷、吡丙醚、氟虫腈、啶虫脒、阿维菌素、高效氯氰菊酯和虱螨脲等化学农药对海南地区草地贪夜蛾幼虫具有较显著的作用[11],并比较了不同常规杀虫剂组合对玉米田草地贪夜蛾的田间防效[7]。鉴于草地贪夜蛾卵块也暴露于寄主植物表面,是易于被杀虫剂接触的虫态,本文选用了 15 种杀虫剂原药,测定其对草地贪夜蛾卵的孵化抑制率和毒力水平。旨在了解当前草地贪夜蛾卵对不同杀虫剂的敏感性水平,为进一步明确和选择高效杀虫剂实施科学防治提供依据。

1　材料与方法

1.1　供试昆虫和药剂

于 2019 年 7 月 20 日至 8 月 12 日,采集海南省儋州市两院沙田区玉米地的高龄幼虫,带回中国热带农业科学院环境与植物保护研究所的隔离检疫室内,使用玉米叶单个隔离饲养,成虫羽化后转入含玉米苗的饲养笼中,以其产下的卵作为试验虫卵。饲养和测试环境:温度 26～28℃,L//D=16 h//8 h,相对湿度 75%～85%。

共选用 15 种杀虫剂原药:97%多杀霉素、92%辛硫磷、90%敌百虫、95%高效氯氰菊酯、96.5%吡虫啉、97.4%灭多威和 98.1%杀螟丹,由江苏南通江山农药化工股份有限公司提供;96.4%氯虫苯甲酰胺、98%阿维菌素、72%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(简称甲维盐)、98%氟虫腈和 96.9%高效氯氟氰菊酯由广东立威化工有限公司提供;97%吡丙醚由浙江禾本科技有限公司提供;97%虱螨脲由石家庄瑞凯化工有限公司提供;97.3%啶虫脒由海南正业中农高科股份有限公司提供。除氯虫苯甲酰胺使用二甲基甲酰胺和丙酮混合液配制母液,杀螟丹使用水和丙酮混合液配制母液外,其他原药均使用丙酮将药剂配制成母液,为防止丙酮挥发,在瓶口使用封口胶密封保存。

1.2　杀虫剂的初步筛选和生物测定

采用浸卵法测定杀卵活性。使用丙酮:双蒸水(1∶1)将母液稀释至 200、100、50 mg/L 和 10 mg/L,将各浓度药液倒入玻璃管中。用毛刷将 0～12 h 卵龄的淡绿色卵块分散为单粒卵,使用双面胶粘在牛皮纸的边缘位置制成卵卡。将卵卡在药液中浸渍 3～5 s 后用滤纸吸去多余药液,自然晾干后放入培养皿中。试验设置药剂处理和丙酮＋双蒸水溶液对照,每处理 20～30 粒卵,重复 4 次。处理后 48 h 和 72 h 使用体视解剖镜检查卵孵化数量及未孵化数量,计算孵化抑制率及校正孵化抑制率。判断卵被杀死的标准:卵粒表面塌陷干瘪,且试验后 72 h 仍不能正常孵化。

1.3　毒力计算方法

以低浓度杀虫剂在 72 h 时对试虫表现出较高卵孵化抑制率作为优选的高效杀虫剂种类,并对药剂开展毒力测定。应用 SPSS 数据处理系统[11]和 Excel 表格分析软件[12],计算出致死中浓度(LC_{50})及其 95%置信限,卡方值及决定系数(R^2)等参数,以 LC_{50} 的 95%置信限是否有重叠作为判断不同药剂毒力水平差异是否显著的标准。相关计算公式如下:

卵孵化率=(未孵化卵数/处理总卵数)×100%;

校正孵化抑制率=(处理孵化抑制率－对照孵化抑制率)/(1－对照孵化抑制率)×100%。

2　结果与分析

2.1　不同浓度和作用时间下杀虫剂对草地贪夜蛾卵孵化的抑制作用

由于药剂处理和对照处理后 24 h 未发现草地贪夜蛾卵孵化,部分杀虫剂对卵的孵化时间具有延迟作用,且试验中处理 72 h 后未孵化的卵大多数干瘪,绝大多数卵不能孵化,因此表 1 中列出处理后 48 h 和 72 h 校正卵孵化抑制率。药剂处理后,不同种类的供试药剂对草地贪夜蛾卵孵化抑制率具有较大差异,同一杀虫剂在相同处理时间的卵孵化抑制率随着其浓度增加而提高。其中,100 mg/L 甲维盐和灭多威在 48 h 内对草地贪夜蛾的卵孵化抑制率最高,达到 100%;200 mg/L 阿维菌素、辛硫磷、多杀霉素、高效氯氰菊酯、杀螟丹、氯虫苯甲酰胺和虱螨脲在 72 h 对草地贪夜蛾的卵孵化抑制率分别为 87.65%、81.97%、81.4%、73.97%、71.62%、70.47%和 69.6%,表明这些杀虫剂对草地贪夜蛾卵具有显著的抑制和致死作用。而 200 mg/L 啶虫脒、高效氯氟氰菊酯和吡虫啉在 72 h 对草地贪夜蛾的卵孵化抑制率分别为

54.01%、35.11%和34.6%，表明这些杀虫剂具有一定的抑制卵孵化的效果，而吡丙醚、敌百虫和氟虫腈在200 mg/L浓度条件下，在72 h的卵孵化抑制率分别为12.41%、8.59%和8.33%，无显著的杀卵作用，表明这些种类的杀虫剂不适合用于防治草地贪夜蛾卵。上述结果表明，对草地贪夜蛾卵毒力作用较为显著的杀虫剂为甲维盐、灭多威、阿维菌素、辛硫磷、多杀霉素、高效氯氰菊酯、杀螟丹、氯虫苯甲酰胺、虱螨脲、啶虫脒、高效氯氟氰菊酯和吡虫啉等，同时明确了这12种杀虫剂对草地贪夜蛾卵的毒力水平。

表1 15种杀虫剂对草地贪夜蛾杀卵活性的初步筛选[1)]

Table 1 Preliminary screening of the ovicidal activity of fifteen insecticides against *Spodoptera frugiperda*

药剂 Insecticide	浓度/mg·L^{-1} Concentration	校正卵孵化抑制率/% Corrected hatching inhibition rate	
		48 h	72 h
甲维盐 emamectin benzoate	200	100.00 a	100.00 a
	100	100.00 a	100.00 a
	50	(60.47±9.70)b	(58.86±8.89)b
	10	(44.64±9.68)b	(44.70±9.71)b
氯虫苯甲酰胺 chlorantraniliprole	200	(70.47±2.20)a	(70.47±2.20)a
	100	(64.64±4.83)ab	(64.64±4.83)a
	50	(45.47±5.78)bc	(45.47±5.78)b
	10	(27.26±4.59)c	(10.59±2.07)c
多杀霉素 spinosad	200	(11.63±9.40)a	(81.40±3.90)a
	100	(4.30±0.83)a	(80.85±4.33)a
	50	0.00	(35.32±1.48)b
	10	0.00	(23.20±2.88)c
阿维菌素 abamectin	200	(6.92±3.89)	(87.65±2.32)a
	100	0.00	(52.16±3.23)b
	50	0.00	(33.48±3.66)c
	10	0.00	(9.07±3.33)d
虱螨脲 lufenuron	200	(66.83±10.91)a	(69.60±12.40)a
	100	(46.78±9.72)ab	(47.28±8.75)ab
	50	(16.62±1.38)b	(16.18±2.62)b
	10	0.00	0.00
辛硫磷 phoxim	200	(77.23±4.93)a	(81.97±4.19)a
	100	(38.24±5.57)b	(79.93±4.38)a
	50	(37.91±4.43)b	(79.62±5.04)a
	10	(7.05±2.25)c	(11.77±5.99)b
高效氯氰菊酯 *beta*-cypermethrin	200	(74.81±4.46)a	(73.97±3.74)a
	100	(62.31±4.45)a	(61.47±5.00)a
	50	(33.97±5.26)b	(33.14±5.09 b
	10	0.00	0.00
高效氯氟氰菊酯 *lambda*-cyhalothrin	200	(10.69±5.79)a	(35.11±3.81)a
	100	(7.38±3.19)a	(20.31±4.29)ab
	50	(7.60±6.92)a	(12.56±3.39)b
	10	0.00	0.00
灭多威 methomyl	200	100.00 a	100.00 a
	100	100.00 a	100.00 a
	50	(63.54±11.48)b	(88.52±4.03)b
	10	(33.20±15.30)b	(37.00±12.50)c
杀螟丹 cartap	200	(9.85±9.20)a	(71.62±9.20)a
	100	0.00	(9.50±4.53)b
	50	0.00	0.00
	10	0.00	0.00
啶虫脒 acetamiprid	200	(57.35±13.76)a	(54.01±12.64)a
	100	(54.85±10.70)a	(30.68±8.46)a
	50	(19.85±7.15)a	(19.85±7.15)a
	10	0.00	0.00
吡虫啉 imidacloprid	200	(49.33±7.66)a	(34.60±6.58)a
	100	(30.99±7.81)a	(19.60±5.53)a
	50	(23.17±7.08)a	(14.66±5.08)a
	10	0.00	0.00
敌百虫 trichlorfon	200	(8.59±3.55)a	(8.59±3.55)a
	100	0.00	0.00
	50	0.00	0.00
	10	0.00	0.00
氟虫腈 fipronil	200	(8.33±1.12)a	(8.33±1.12)a
	100	0.00	0.00
	50	0.00	0.00
	10	0.00	0.00
吡丙醚 pyriproxyfen	200	(12.41±4.80)a	(12.41±4.80)a
	100	(12.22±2.94)a	(12.22±2.94)a
	50	0.00	0.00
	10	0.00	0.00

1) 表中数据为平均值±标准误，数据后不同小写字母表示相同药剂不同浓度处理下差异显著($P<0.05$)。
Data shown as mean±SE. Data of same insecticide in same column followed by different letters are significant different ($P<0.05$).

2.2 杀虫剂对草地贪夜蛾卵的毒力水平

初步筛选的12种杀虫剂对草地贪夜蛾卵的毒力水平如表2所示。甲维盐与灭多威对草地贪夜蛾卵的毒力水平最高，其LC_{50}分别为12.67 mg/L和16.95 mg/L，显著高于其他杀虫剂的LC_{50}；氯虫苯甲酰胺、多杀霉素、阿维菌素和高效氯氰菊酯对草地贪夜蛾卵的毒力水平次之，其LC_{50}分别为44.1、50.9、78.37 mg/L和79.00 mg/L，显著低于甲维盐与灭多威的毒力水平；而虱螨脲、辛硫磷、杀螟丹、啶虫脒、高效氯氟氰菊酯和吡虫啉等对草地贪夜蛾卵的毒力水平较低，其LC_{50}分别为98.15、126.8、137.7、157.52、269.33 mg/L和415.49 mg/L。这些结果表明了甲维盐与灭多威对草地贪夜蛾卵的毒力作用最高，氯虫苯甲酰胺、多杀霉素、阿维菌素和高效氯氰菊酯等对草地贪夜蛾卵也具有较明显的毒力作用，可将这些杀虫剂用于草地贪夜蛾卵的防治。

3 讨论

自2019年1月草地贪夜蛾迁飞入侵我国以来，鉴于其为害猖獗，防控局势严峻，各地区均以化学药剂进行应急防治以压低虫口基数，减少入侵虫源。根据草地贪夜蛾的为害特点和发生习性，暴露在寄主植物表面的卵和低龄幼虫是杀虫剂的靶标，而较大龄的幼虫、蛹和成虫由于蛰伏在寄主植物心叶内或土壤中，或者具有较强的飞行能力，喷洒杀虫剂时接触药剂效率较低，因而卵高峰期和低龄幼虫高峰期是最好的施药防治时机。通常认为拟除虫菊酯类杀虫剂对鳞翅目害虫卵具有显著的控制作用[12-14]。

研究者在筛选杀虫剂商品制剂对草地贪夜蛾卵的活性时发现,20%甲氰菊酯乳油、25 g/L 高效氯氟氰菊酯乳油、25 g/L 溴氰菊酯乳油和 25 g/L 联苯菊酯乳油等 5 种拟除虫菊酯类杀虫剂对草地贪夜蛾卵的孵化抑制率在 66.67%～94.87%,具有显著的卵孵化抑制效果[9]。而本文研究发现,原药稀释的高效氯氰菊酯对草地贪夜蛾卵毒力水平较高,200 mg/L 下 72 h 的卵孵化抑制率和 LC_{50} 分别为 73.97%和 79 mg/L,高于原药稀释的高效氯氟氰菊酯的毒力水平,后者 200 mg/L 下 72 h 的卵孵化率抑制率为 35.11%,LC_{50} 为 269.33 mg/L,这些结果表明拟除虫菊酯类药剂对草地贪夜蛾卵具有一定的毒力作用,但实际作用效果与杀虫剂的种类、剂型和作用方式等存在密切关系。同时本文也发现阿维菌素类和抗生素类杀虫剂如甲维盐、阿维菌素和多杀霉素对草地贪夜蛾卵的孵化抑制率在 81.4%～100%之间,具有较好的卵孵化抑制效应,可用于产卵盛期卵的防治,但应注意与其他类型农药复配使用。吡丙醚、敌百虫和氟虫腈对草地贪夜蛾卵抑制效率极低,不适用于草地贪夜蛾卵的防治。

表 2　杀虫剂对草地贪夜蛾卵的毒力[1)]

Table 2　Toxicity of insecticides against the eggs of *Spodoptera frugiperda*

杀虫剂 Insecticide	致死中浓度/mg·L^{-1} LC_{50}(95% CI)	致死 90%浓度/mg·L^{-1} LC_{90}	斜率 Slope±SE	χ^2	df	决定系数 R^2
吡虫啉 imidacloprid	415.49(274.73～881.24)a	7 188.78	1.04±0.18	1.11	3	0.98
高效氯氟氰菊酯 *lambda*-cyhalothrin	269.33(204.84～387.48)a	3 407.81	1.16±0.14	3.01	3	0.98
啶虫脒 acetamiprid	157.52(137.88～183.86)ab	655.23	2.07±0.22	0.91	3	0.99
杀螟丹 cartap	137.70(87.19～315.95)ab	654.39	1.89±0.21	9.71	3	0.97
辛硫磷 phoxim	126.80(68.38～399.61)ab	479.37	2.22±0.23	16.64	3	0.96
虱螨脲 lufenuron	98.15(53.72～180.38)b	443.31	1.96±0.18	13.26	3	0.95
高效氯氰菊酯 *beta*-cypermethrin	79.00(47.23～105.17)bc	240.80	2.65±0.29	8.63	3	0.96
阿维菌素 abamectin	78.37(42.57～137.28)bc	454.50	1.68±0.16	9.84	3	0.97
多杀霉素 spinosad	50.90(15.21～104.73)cd	518.99	1.27±0.14	11.31	3	0.95
氯虫苯甲酰胺 chlorantraniliprole	44.10(36.94～52.43)c	274.03	1.62±0.15	4.81	3	0.95
灭多威 methomyl	16.95(13.14～20.76)d	100.27	1.66±0.16	4.13	3	0.99
甲维盐 emamectin benzoate	12.67(6.93～18.62)d	225.92	1.02±0.14	7.05	3	0.95

1) 致死中浓度数值后标有不同小写字母表示差异显著(95%置信限无重叠)。
LC_{50} values followed by different small letters are significantly different (For their 95% CI of LC_{50} are not overlapped).

采用适当的施药方法和喷洒方式对草地贪夜蛾卵形成有效的接触是利用化学农药有效防治草地贪夜蛾卵的关键。在田间自然条件下,草地贪夜蛾卵块多分布于苗期玉米叶的背面,且卵粒间形成叠层,喷雾施药时,喷头垂直向下的施药方式难以对叶片背面形成有效药剂接触面,应当采用喷头偏侧下的喷药方式,兼顾苗期心叶里的幼虫和叶背面的卵防治,才能达到最佳防治效果。此外,草地贪夜蛾卵发育历期短,产卵后 2～3 d 就孵化为幼虫,需通过解剖卵巢确定该虫的卵高峰期进行施药[15],以达到对卵的最佳防治效果。

草地贪夜蛾作为存在于美洲地区玉米上的主要害虫,化学防治一直是草地贪夜蛾主要分布国家和地区如美国、巴西和委内瑞拉的主要防治方法,多种类型的杀虫剂都曾被用来防治该虫,如早期使用甲胺磷、敌敌畏等高毒类杀虫剂防治草地贪夜蛾幼虫,到 90 年代以来多杀霉素、溴虫腈、杀虫隆、灭多威、氟虫酰胺、乙基多杀菌素、氯虫苯甲酰胺、茚虫威、毒死蜱、氯氟氰菊酯、虱螨脲被广泛地用于防治草地贪夜蛾[16-17]。2016 年草地贪夜蛾入侵非洲以后,灭多威、氟氯氰菊酯、甲基对硫磷和硫丹等杀虫剂也作为防治该虫的主要品种[3]。草地贪夜蛾入侵我国后,国内研究人员已报道了各种杀虫剂对草地贪夜蛾幼虫和卵的作用效果[9, 11, 18-19],总体上对该虫防治药剂的选择余地较大,一些拟除虫菊酯类和有机磷类等类型的杀虫剂同样具有较好的防治效果[7]。本文测定了 15 种杀虫剂原药对草地贪夜蛾卵的作用效果和毒力水平,评价了不同杀虫剂的应用潜力,研究表明甲维盐、灭多威、氯虫苯甲酰胺、多杀霉素、阿维菌素和高效氯氰菊酯等杀虫剂,对草地贪夜蛾具有较高的杀卵作用。虽然灭多威也表现出较高的杀卵活性,但因为毒性较高和污染环境等原因,在 2011 年 6 月 15 日农业部 1586 号公告上,撤销了灭多威在柑橘、苹果、茶树、十字花科蔬菜上的登记使用。因此,推荐优先选用甲维盐、氯虫苯甲酰胺、多杀霉素、阿维菌素和高效氯氰菊酯等为主要成分的杀虫剂,作为防治草地贪夜蛾卵高峰期应急防控的药剂。

参考文献

[1] PRASANNA B M, HUESING J E, EDDY R, et al. Fall armyworm in Africa: a guide for integrated pest management

[R]. The International Maize and Wheat Improvement Center, United States Agency for International Development, and Oakside Editorial Services, 2018: 109.
[2] GOERGEN G, KUMAR P L, SANKUNG S B, et al. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa[J/OL]. PLoS ONE, 2016, 11(10): e0165632.
[3] DAY R, ABRAHAMS P, BATEMAN M, et al. Fall armyworm: impacts and implications for Africa[J]. Outlooks on Pest Management, 2017, 28(5): 196-201.
[4] 王磊,陈科伟,陆永跃. 我国草地贪夜蛾入侵扩张动态与发生趋势预测[J]. 环境昆虫学报,2019,41(4):683-694.
[5] 吴秋琳,姜玉英,胡高,等. 中国热带和南亚热带地区草地贪夜蛾春夏两季迁飞轨迹的分析[J]. 植物保护,2019,45(3):1-9.
[6] 吴秋琳,姜玉英,吴孔明. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析[J]. 植物保护,2019,45(2):1-6.
[7] 金涛, 林玉英, 马光昌, 等. 常规杀虫剂组合对草地贪夜蛾的防治效果及其经济性评价[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 766-774.
[8] 王芹芹,崔丽,王立,等. 草地贪夜蛾对杀虫剂的抗性研究进展[J]. 农药学学报,2019,21(4):401-408.
[9] 赵胜园,孙小旭,张浩文,等. 常用化学杀虫剂对草地贪夜蛾防效的室内测定[J]. 植物保护,2019,45(3):10-14.
[10] 赵胜园,杨现明,杨学礼,等. 8种农药对草地贪夜蛾的田间防治效果[J]. 植物保护,2019,45(4):74-78.
[11] 金涛,林玉英,马光昌,等. 杀虫剂对新入侵海南草地贪夜蛾种群幼虫的毒力[J]. 热带作物学报,2019,40(8):1571-1576.
[12] 武海斌,范昆,张坤鹏,等. 13种杀虫剂对小地老虎卵和幼虫的生物活性[J]. 环境昆虫学报,2013,35(3):409-414.
[13] 范登进,张弘,袁静,等. 几种拟除虫菊酯杀虫剂对粘虫的杀卵活性研究[J]. 农药,1999,38(2):24-25.
[14] BIONDI A, ZAPPALA L, DESNEUX N, et al. Potential toxicity of *alpha*-cypermethrin-treated nets on *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2015, 108(3): 1191-1197.
[15] 赵胜园, 杨现明, 和伟, 等. 草地贪夜蛾卵巢发育分级与繁殖潜力预测方法[J]. 植物保护,2019,45(6):28-34.
[16] BELAY D K, HUCKABA R M, FOSTER J E. Susceptibility of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), at Santa Isabel, Puerto Rico, to different insecticides [J]. Florida Entomologist, 2012, 95(2): 476-478.
[17] YU S J. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1991, 39(1): 84-91.
[18] 凌炎,黄芊,蒋婷,等. 两个广西草地贪夜蛾种群对常用杀虫剂的敏感性测定[J]. 环境昆虫学报,2019,41(5):954-960.
[19] 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.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接54页)

[5] Food and Agriculture Organization (FAO). Community-based fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) monitoring, early warning and management [R]. 2019. http://www.fao.org/3/CA2924EN/ca2924en.pdf
[6] YU S J. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1991, 39(1): 84-91.
[7] 李志刚,吕欣,押玉柯,等. 粤港两地田间发现夜蛾黑卵蜂与螟黄赤眼蜂寄生草地贪夜蛾[J]. 环境昆虫学报,2019,41(4):760-765.
[8] 朱凯辉, 周金成, 张柱亭, 等. 短管赤眼蜂对草地贪夜蛾和斜纹夜蛾不同日龄卵的寄生能力及子代蜂适合度[J]. 植物保护,2019,45(5):54-59.
[9] 霍梁霄, 周金成, 宁素芳, 等. 夜蛾黑卵蜂寄生草地贪夜蛾和斜纹夜蛾卵的生物学特性[J]. 植物保护,2019,45(5):60-64.
[10] 颜珣, 谷星慧, 韩日畴. 昆虫病原线虫防治草地贪夜蛾的研究进展[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 695-700.
[11] 郑亚强, 胡惠芬, 付玉飞, 等. 草地贪夜蛾莱氏绿僵菌的分离鉴定[J]. 植物保护,2019,45(5):65-70.
[12] 程东美,洪婉雯,孙辉,等. 草地贪夜蛾幼虫僵虫发生率调查及致病菌分离鉴定[J/OL]. 环境昆虫学报:1-9[2019-09-18]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.Q.20190717.1722.002.html.
[13] 王燕,张红梅, 尹艳琼, 等. 蠋蝽成虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力[J]. 植物保护,2019,45(5):42-46.
[14] 代晓彦,翟一凡,陈福寿,等. 东亚小花蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力评价[J/OL]. 中国生物防治学报,2019,35(5):704-708.
[15] 徐庆宣,王松,田仁斌, 等. 大草蛉对草地贪夜蛾捕食潜能研究[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 754-759.
[16] 可芮, 徐继伟, 肖志新, 等. 瓢虫对烟蚜的控制效能及异色瓢虫与烟蚜茧蜂的取食竞争作用[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(3): 338-344.
[17] 杜军利, 武德功, 詹秋文, 等. 亚洲多色瓢虫捕食玉米蚜的功能反应及寻找效应研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2018, 33(6): 1024-1029.
[18] 赵英杰, 郑亚强, 符成悦, 等. 异色瓢虫对草地贪夜蛾2龄幼虫的捕食功能反应[J]. 植物保护,2019,45(5):75-78.
[19] 武德功, 杜军利, 刘长仲, 等. 不同龄期龟纹瓢虫对豌豆蚜的捕食功能反应(英文)[J]. 草地学报, 2012, 12(4): 778.
[20] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
[21] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing [EB/OL]. [2019-03-11]. https://www.r-project.org/.
[22] 南俊科,宋丽文,左彤彤,等. 丽草蛉和异色瓢虫对美国白蛾的捕食作用研究[J]. 沈阳农业大学学报,2019,50(2):161-166.
[23] 周集中, 陈常铭. 拟环纹狼蛛对褐飞虱的捕食作用及其模拟模型的研究Ⅰ. 功能反应[J]. 生物防治通报, 1986, 2(1): 2-9.
[24] HOLLING C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism [J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385-398.
[25] 王秀梅, 臧连生, 邹云伟, 等. 异色瓢虫成虫对榆紫叶甲卵的捕食作用[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(1): 70-72.
[26] 赵天璇, 袁明龙. 我国异色瓢虫的生物生态学特性[J]. 草业科学, 2017, 34(3): 614-629.
[27] MILONAS P G, KONTODIMAS D C, MARTINOU A F. A predator's functional response: influence of prey species and size [J]. Biological Control, 2011, 59(2): 141-146.
[28] 巫厚长, 程遐年, 邹运鼎. 不同饥饿程度的龟纹瓢虫成虫对烟蚜的捕食作用[J]. 应用生态学报, 2000, 11(5): 749-752.

(责任编辑: 杨明丽)