

常用生物农药对草地贪夜蛾的室内防效

赵胜园¹, 杨现明¹, 孙小旭^{1,2}, 张浩文¹, 张生³, 吴孔明^{1*}

(1. 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;

2. 西南大学, 重庆 400715; 3. 广西田园生化股份有限公司, 南宁 530007)

摘要 世界重大迁飞害虫草地贪夜蛾已在中国中南部地区发生为害, 对中国农作物生产构成了严重威胁。目前, 生产上主要依赖化学农药控制其种群发展, 这很可能导致草地贪夜蛾产生抗药性并对农业生态系统造成负面影响。为了减少化学农药的用量, 我们在室内测试了 10 种常用抗生素、微生物和植物源生物农药对草地贪夜蛾的防治效果。结果表明, 各种生物农药对草地贪夜蛾的杀卵活性均低于 25%, 但对幼虫有不同程度的控制作用。用药 5 d 后, 抗生素类杀虫剂 25 g/L 多杀霉素 ME、10% 多杀霉素 WG 和 1.5% 阿维菌素 UL 对 2 龄幼虫的校正防效分别为 82.67%、76.00% 和 54.67%; 微生物杀虫剂 80 亿孢子/g 球孢白僵菌 OF 和 8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌 SC 对 2 龄幼虫的校正死亡率为 60%~71.62%; 植物源生物农药 0.3% 苦参碱 AS、0.3% 印楝素 EC 和 6% 鱼藤酮 ME 对 2 龄幼虫防效较差, 校正死亡率均低于 42%。结果表明, 多杀霉素、阿维菌素、苏云金芽孢杆菌与球孢白僵菌可用于防治田间草地贪夜蛾。

关键词 草地贪夜蛾; 生物农药; 防治效果

中图分类号: S 435.132 文献标识码: B DOI: 10.16688/j.zwbh.2019240

Laboratory control efficacy of commonly-used bioinsecticides against *Spodoptera frugiperda*

ZHAO Shengyuan¹, YANG Xianming¹, SUN Xiaoxu^{1,2}, ZHANG Haowen¹, ZHANG Sheng³, WU Kongming¹

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection,

Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Southwest University,

Chongqing 400715, China; 3. Guangxi Tianyuan Biochemical Co., Ltd., Nanning 530007, China)

Abstract The fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) is an important migratory pest for crop production worldwide. It has been recently recorded in southern and central China in early May 2019 and produced a great threat to crop production. Nowadays, chemical insecticides are widely used to manage its population development, which would lead to insecticides resistance of pest insects and adverse effect on agricultural ecosystem. To reduce the use of chemical insecticides, the experiment was carried out to assess the efficacy of 10 commonly used biopesticides e. g. antibiotic, microbial and botanical extracts to control *S. frugiperda*. Our results showed that all examined biopesticides did not inhibit the hatch of eggs well, while their control efficacies on larvae were quite different. The antibiotic biopesticides spinosad 25 g/L ME, spinosad 10% WG and abamectin 1.5% UL, caused a high mortality of 82.67%, 76.00% and 54.67%, respectively, to the 2nd instar larvae, while the microbial biopesticides *Beauveria bassiana* 8 billion spores/g OF and *Bacillus thuringiensis* 8 000 IU/ μ L SC caused a mortality of 60%–71.62%. However, the botanical biopesticides matrine 0.3% AS, azadirachtin 0.3% EC and rotenone 6% ME caused a much lower mortalities (<42%). In conclusion, the spinosad, abamectin, *Bacillus thuringiensis* and *Beauveria bassiana* are recommended for the control of field *S. frugiperda* populations.

Key words *Spodoptera frugiperda*; biopesticides; control effect

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) 是世界重大迁飞性农业害虫^[1], 2019 年 1 月入侵

中国云南省后不断扩散蔓延。据全国农业技术推广服务中心监测, 到 2019 年 5 月上旬, 该虫已迁入浙江、湖

收稿日期: 2019-05-11 修订日期: 2019-05-14

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-15-19)

致谢: 感谢云南省普洱市江城县委植保站杨学礼、江城县委宝藏镇农业服务中心罗倩明、王文辉在试验开展过程中提供的帮助。

* 通信作者 E-mail: wukongming@caas.cn

北、湖南和重庆等省,成为中国玉米、甘蔗等作物的重要致害因子,严重威胁中国南方乃至全国的农业生产^[2-4],生产上急需发展有效的防控技术体系。

历史上,在原发生区的美洲各国,化学农药是防治草地贪夜蛾的主要手段^[5-7]。由于其幼虫常在玉米轮生叶内藏匿取食为害,喷洒化学农药难以直接到达虫体,往往不能取得较好的防治效果^[8]。另一方面,巴西等南美国家大量施用化学农药导致草地贪夜蛾对有机磷类、氨基甲酸酯类和拟除虫菊酯类化学杀虫剂产生了较高的抗性^[9-16]。此外,化学农药的大量使用还降低传粉昆虫和天敌等有益昆虫的数量,带来一系列的环境生态问题^[9]。在我国,过去大量使用化学农药防治棉铃虫也引发了生态系统失衡等问题^[17]。因此,发展草地贪夜蛾绿色防治技术十分必要。

利用植物、细菌、真菌、病毒以及天敌等活体生物资源或其代谢产物的生物农药具有低毒、低残留、环境友好等特点^[18-19],是减少化学农药使用量和对害虫实施绿色防控的重要手段^[20]。在国际上,抗生素类农药、微生物农药和植物源农药均被用于防治该虫^[5-6],其中抗生素类生物农药多杀霉素和阿维菌素在巴西和美国已注册使用^[5-6]。已有的研究工作表明,对草地贪夜蛾具有高毒力的真菌种类较为稀少^[6],目前只有南非登记球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* R444 株系防治该虫。防治草地贪夜蛾的细菌类生物农药

主要为苏云金芽孢杆菌 *Bacillus thuringiensis*^[21],已在南非等国批准使用^[6]。植物源农药也是害虫防治的手段之一,前人发现苦参碱对草地贪夜蛾有致死和亚致死作用^[23],印楝油对草地贪夜蛾亦具有较高的毒力^[6,24],但在草地贪夜蛾防治上的应用十分有限^[22]。在中国,生物农药已被批准用于多种农业害虫的防治,我们选取国内常用的几类生物农药,旨在通过室内药效评价试验,从现有生物农药产品中筛选可用于防治草地贪夜蛾的药剂。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试虫源

供试草地贪夜蛾采自云南省普洱市江城县宝藏镇(101°39′3.72″ N,22°40′53.19″ E)冬玉米田,利用苗期玉米叶片在室内饲养至 F₃ 代,使用 F₃ 代卵及 2 龄幼虫作为供试虫源。饲养环境条件为温度(25 ± 1)℃,相对湿度 75% ± 5%、光周期 L//D=16 h//8 h。

1.1.2 供试商品农药

供试生物农药及生产厂家信息见表 1。根据中国农药信息网登记的鳞翅目害虫(如棉铃虫、玉米螟、菜青虫等)的防治推荐剂量范围的平均值,参照苗期玉米常规喷雾 30 kg/667m² 药液量换算为稀释倍数(表 1),每种生物农药配制 300 mL 药液备用。

表 1 10 种生物农药商品信息和试验用药的稀释倍数			
Table 1 Commercial information of 10 biopesticides and dilution times for bioassay			
商品农药 Commercial insecticide	生产厂家 Producer	推荐剂量/mL · (667m ²) ⁻¹ Dosage recommended	稀释倍数/倍 Dilution times
0.3%苦参碱水剂 matrine 0.3% AS	山东省潍坊鸿汇化工有限公司	80~100	330
10%多杀霉素水分散粒剂 spinosad 10% WG	山东惠民中联生物科技有限公司	10~20	2 000
25 g/L 多杀霉素微乳剂 spinosad 25 g/L ME	广西田园生化股份有限公司	50~66	510
1.5%阿维菌素超低容量液剂 abamectin 1.5% UL	广西田园生化股份有限公司	50~60	545
80 亿孢子/g 球孢白僵菌可分散油悬浮剂 <i>Beauveria bassiana</i> 8 billion spores/g OF	重庆聚立信生物工程有限公司	60~90	400
80 亿孢子/g 金龟子绿僵菌 CQMa421 可分散油悬浮剂 <i>Metarhizium anisopliae</i> CQMa421 8 billion spores/g OF	重庆聚立信生物工程有限公司	60~90	400
0.3%印楝素乳油 azadirachtin 0.3% EC	成都绿金生物科技有限公司	80~100	330
6%鱼藤酮微乳剂 rotenone 6% ME	北京三浦百草绿色植物制剂有限公司	30~50	750
8 000 IU/μL 苏云金杆菌悬浮剂(Bt-1) <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/μL SC (Bt-1)	河北青园腾达生物科技有限公司	300~400	85
8 000 IU/μL 苏云金杆菌悬浮剂(Bt-2) <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/μL SC (Bt-2)	黑龙江省卫星生物科技有限公司	300~400	85

1.2 试验方法

采用浸卵法^[25]测定杀卵活性。使用毛刷将当日产淡绿色卵块分散为单粒卵,混匀后粘在透明胶带上制成卵卡;将卵卡在药液中浸渍 10 s 后,用滤纸吸去多余药液,自然晾干后放入 50 mL 离心管中。试验设置药剂处理和清水对照,每处理 20 粒卵,4 次重复。处理后第 3~5 日使用体视解剖镜检查每日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。

采用浸叶法^[26]测定杀虫活性。取喇叭口期幼嫩玉米叶片剪为 10 cm 长叶段,在药液中浸渍 10 s,自然晾干后用湿润脱脂棉包裹叶段下缘保湿,置于圆形塑料盒(直径 10 cm,高 10 cm)内。选取发育整齐的草地贪夜蛾 2 龄幼虫为供试虫源,饥饿处理 4 h 后接虫。将试验设置药剂处理和清水对照,每处理 20 头幼虫,4 次重复。其中,白僵菌和绿僵菌两种生物农药可通过侵染昆虫体壁寄生,因此,除了浸叶法外,还同时采用浸虫法^[27]测定其防效,将试虫饥饿处理后在药液中浸渍 10 s,用滤纸吸去多余药液并自然晾干,放置于圆形塑料盒内正常饲养,并另设清水对照,每处理 20 头幼虫,4 次重复。处理后第 1~5 天逐日检查幼虫存活状态,以毛刷轻触幼虫体表,无反应判定为死亡,记录幼虫死亡数、存活数,计算死亡率及校正死亡率。

控制试验环境条件为温度(25±1)℃,相对湿度

75%±5%、光周期 L//D=16 h//8 h。

1.3 数据处理与统计分析

根据调查数据,参照公式(1)和(2)计算校正孵化抑制率,参照公式(3)和(4)计算校正死亡率:

孵化抑制率 = $\frac{\text{未孵化卵数}}{\text{处理总卵数}} \times 100\%$ (1)

校正孵化抑制率 = $\frac{\text{处理孵化抑制率} - \text{对照孵化抑制率}}{1 - \text{对照孵化抑制率}} \times 100\%$ (2)

死亡率 = $\frac{\text{死亡虫数}}{\text{处理总虫数}} \times 100\%$ (3)

校正死亡率 = $\frac{\text{处理死亡率} - \text{对照死亡率}}{1 - \text{对照死亡率}} \times 100\%$ (4)

所有数据经 Excel 整理后,采用 SPSS 20.0 对不同处理的校正孵化抑制率和校正死亡率进行统计分析,均值采用邓肯氏新复极差法(Duncan's new multiple range test)进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 对草地贪夜蛾卵的毒杀效果

由表 2 可知,试验中的几种生物农药杀卵活性均较低。药后第 4 天,除了 25 g/L 多杀霉素微乳剂对卵的孵化抑制率为 42.86%,其余生物农药的校正孵化抑制率均小于 25%。药后第 5 天,各处理校正孵化抑制率均低于 25%,基本无杀卵活性。

表 2 不同生物农药对草地贪夜蛾的杀卵活性¹⁾

Table 2 Activity of different biopesticides against eggs of *Spodoptera frugiperda*

商品农药 Commercial insecticide	校正孵化抑制率/% Corrected hatching inhibition rate	
	药后 4 d	药后 5 d
	4 days after treatment	5 days after treatment
25 g/L 多杀霉素 ME spinosad 25 g/L ME	(42.86±16.43)a	(23.08±4.19)a
8 000 IU/μL 苏云金杆菌 SC(Bt-1) <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/μL SC(Bt-1)	(23.38±14.92)b	(15.38±9.82)b
1.5%阿维菌素 UL abamectin 1.5% UL	(5.19±7.79)cd	(7.69±4.19)c
80 亿孢子/g 球孢白僵菌 OF <i>Beauveria bassiana</i> 8 billion spores/g OF	(15.58±15.51)bc	(1.28±4.91)cd
80 亿孢子/g 金龟子绿僵菌 CQMa421 OF <i>Metarhizium anisopliae</i> CQMa421 8 billion spores/g OF	(3.90±6.71)cd	(1.28±4.91)cd
10%多杀霉素 WG spinosad 10% WG	(-1.30±3.00)d	(0.00±2.96)cd
8 000 IU/μL 苏云金杆菌 SC (Bt-2) <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/μL SC (Bt-2)	(1.30±7.35)cd	(0.00±5.13)d
0.3%印楝素 EC azadirachtin 0.3% EC	(1.30±4.24)cd	(-1.28±2.56)d
6%鱼藤酮 ME rotenone 6% ME	(-2.60±2.60)d	(-1.28±2.56)d

1) 表中数据为平均数±标准差,同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。
Data in the table are mean±SD, and different lowercase letters in the same column indicate significant difference at P<0.05 by Duncan's multiple range test. The same is applied in below tables.

2.2 对草地贪夜蛾幼虫的毒杀效果

对草地贪夜蛾 2 龄幼虫防治效果较好的有 25 g/L 多杀霉素 ME、10%多杀霉素 WG、80 亿孢子/g 球孢白僵菌 OF、8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌 SC 和 1.5%阿维菌素 UL(表 3)。药后 1 d 25 g/L 多杀霉素 ME 和 10%多杀霉素 WG 对 2 龄幼虫具有较高防效,校正死亡率分别为 62.82%和 50.64%,并显著高于其他处理。药后 2 d 各处理校正死亡率基本无太大变化。药后 3 d,25 g/L 多杀霉素 ME、10%多杀霉素 WG、8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌 SC(Bt-1)、1.5%阿维菌素 UL 和 8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌 SC(Bt-2)处理组的校正死亡率分别上升为 73.33%、69.33%、60.00%、

40.00%和 38.67%,杀虫效果增强;药后 4 d,80 亿孢子/g 球孢白僵菌浸虫处理校正死亡率上升至 47.30%;药后 5 d,25 g/L 多杀霉素 ME、10%多杀霉素 WG、80 亿孢子/g 球孢白僵菌 OF 浸虫处理、8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌 SC(Bt-1)和 1.5%阿维菌素 UL 处理组的校正死亡率分别为 82.67%、76.00%、71.62%、70.67%、60.00%和 54.67%,对草地贪夜蛾幼虫具备较好的杀虫活性。其中,白僵菌和绿僵菌的不同处理对其防效影响显著,80 亿孢子/g 球孢白僵菌的浸虫处理组的 5 d 校正死亡率为 71.62%,显著优于浸叶处理的 18.67%,而绿僵菌处理组 5 d 校正死亡率为 21.62%,优于浸叶处理组的 5.33%(表 3)。

表 3 不同生物农药对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的杀虫活性¹⁾

商品农药 Commercial insecticide	校正死亡率/% Corrected mortality				
	药后 1 d 1 d after treatment	药后 2 d 2 d after treatment	药后 3 d 3 d after treatment	药后 4 d 4 d after treatment	药后 5 d 5 d after treatment
25 g/L 多杀霉素 ME spinosad 25 g/L ME	(62.82±8.76)a	(62.21±8.20)a	(73.33±4.35)a	(77.33±2.67)a	(82.67±5.11)a
10%多杀霉素 WG spinosad 10% WG	(50.64±8.47)b	(50.64±8.64)b	(69.33±5.11)ab	(72.00±2.67)ab	(76.00±6.89)ab
80 亿孢子/g 球孢白僵菌 OF* <i>Beauveria bassiana</i> 8 billion spores/g OF*	(2.56±2.96)d	(0.26±2.46)g	(10.81±6.98)d	(47.30±8.11)c	(71.62±5.18)b
8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌 SC(Bt-1) <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/ μ L SC (Bt-1)	(34.62±8.76)c	(36.25±9.46)c	(60.00±10.21)b	(65.33±6.89)b	(70.67±6.89)b
8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌 SC(Bt-2) <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/ μ L SC (Bt-2)	(25.64±4.19)c	(24.42±4.24)d	(38.67±6.89)c	(48.00±8.00)c	(60.00±6.89)c
1.5%阿维菌素 UL abamectin 1.5% UL	(12.82±12.21)d	(13.37±11.97)e	(40.00±15.32)c	(45.33±15.93)c	(54.67±11.10)c
0.3%苦参碱 AS matrine 0.3% AS	(10.90±9.90)d	(11.31±9.10)ef	(33.33±14.11)c	(40.00±10.10)c	(41.33±11.52)d
80 亿孢子/g 金龟子绿僵菌 CQMa421 OF* <i>Metarhizium anisopliae</i> CQMa421 8 billion spores/g OF*	(3.85±2.56)d	(0.78±2.07)g	(4.05±2.70)d	(12.16±2.70)d	(21.62±3.12)e
6%鱼藤酮 ME rotenone 6% ME	(2.56±2.96)d	(1.29±3.03)fg	(6.67±3.08)d	(13.33±5.11)d	(20.00±4.35)e
80 亿孢子/g 球孢白僵菌 OF <i>Beauveria bassiana</i> 8 billion spores/g OF	(2.56±2.96)d	(0.26±2.52)g	(5.33±2.67)d	(13.33±2.67)d	(18.67±5.11)e
80 亿孢子/g 金龟子绿僵菌 CQMa421 OF <i>Metarhizium anisopliae</i> CQMa421 8 billion spores/g OF	(3.85±4.91)d	(1.54±4.78)fg	(1.33±3.08)d	(4.00±4.35)d	(5.33±5.11)f
0.3%印楝素 EC azadirachtin 0.3% EC	(3.85±4.91)d	(1.29±4.67)fg	(5.33±6.71)d	(5.33±6.71)d	(5.33±6.71)f

1) * 采用浸虫法处理。
* Treated by larvae dipping method.

3 讨论

环境友好型的生物农药,如微生物农药、植物源农药及抗生素类农药是防治草地贪夜蛾的重要手段之一^[5-6],选用中国市场上防治鳞翅目害虫常用的生物农药对草地贪夜蛾卵和 2 龄幼虫的防效进行测定,结果表明,供试生物农药对草地贪夜蛾皆无较强的杀卵活性,药后第 5 天各处理的校正孵化抑制率均低于 25%,但抗生素类杀虫剂多杀霉素和阿维菌素、微生物杀虫剂苏云金芽孢杆菌及球孢白僵菌对 2 龄幼虫有较高的防效,其中值得注意的是,球孢白僵菌在浸虫处理时的防效远高于浸叶处理,这启示

我们在实际生产过程中使用白僵菌防治草地贪夜蛾时应着重对幼虫藏匿的喇叭口处喷雾,使药液充分接触幼虫虫体,可提高白僵菌的侵染能力。

对 2 龄幼虫的生物测定结果表明,抗生素类药剂 25 g/L 多杀霉素 ME、10%多杀霉素 WG 和 1.5%阿维菌素 UL 药后第 5 天校正死亡率分别为 82.67%、76.00%及 54.67%。鉴于这两类杀虫剂已在巴西被登记或在美国部分地区被推荐用于该虫的生物防治^[5-6],生产上可以考虑使用此两种生物农药防治草地贪夜蛾。基于草地贪夜蛾已对多杀霉素产生抗性的报道,在使用过程中应进行抗性监测和治理工作^[28]。

国外的研究表明,真菌杀虫剂较难用于防治草

地贪夜蛾幼虫,一些株系的真菌即便在 1×10^9 孢子/mL 的较高浓度下对该虫仍没有较强致死作用。Carneiro 等的研究表明,用白僵菌 *Bassiana* spp. 孢子悬浮液浸泡草地贪夜蛾 2 龄幼虫,24 个株系中只有 2 个可导致其较高的死亡率^[29]。Thomazoni 等发现 3 龄幼虫在 1×10^9 孢子/mL 的球孢白僵菌孢子悬浮液中浸泡 10 s 后,49 个菌株中,只有 1 个菌株 (Unioeste 26) 可以导致高于 44.9% 的幼虫死亡率^[30]。García 测定 97 个球孢白僵菌和金龟子绿僵菌菌株,发现球孢白僵菌 Bb42 菌株对草地贪夜蛾初孵幼虫的致死率达到 97%^[31]。本研究中的 8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌悬浮剂对 2 龄幼虫有较高的防效,药后第 5 天校正死亡率高于 50%,具有用于防治该虫的潜力。

Bt 玉米在美洲被广泛用于草地贪夜蛾的防控^[7]。但在巴西,草地贪夜蛾已对 Bt 作物产生了较高的抗性,每个生长季需喷 3 次化学农药控制该虫的种群数量^[7]。本研究与国外对苏云金芽孢杆菌的研究结果^[21,32] 基本一致,入侵中国的草地贪夜蛾对苏云金芽孢杆菌有较高的敏感性,Bt 农药可以用于防控草地贪夜蛾。

植物源杀虫剂 0.3% 苦参碱水剂、6% 鱼藤酮微乳剂和 0.3% 印楝素乳油对草地贪夜蛾的防效较差,药后 5 d 的致死率分别为 41.33%、20.00% 及 5.33%。国外的研究结果也表明,苦参碱对草地贪夜蛾具有致死和亚致死作用,但致死率相对较低,更适合作为杀螨剂使用^[23]。但有报道苦楝油对 4 日龄到 6 日龄草地贪夜蛾幼虫致死率可分别达到 80%^[24],且对天敌南美洲瓢虫 *Eriopis connexa* 的毒性较低,并在巴西被推荐用于防控草地贪夜蛾。本研究中印楝素乳油对该虫防治效果较低,可能与有效成分的差别有关。鱼藤酮对草地贪夜蛾毒力较低,不适宜作为防治用药^[33]。

除了真菌和细菌杀虫剂,病毒杀虫剂在国外已用于草地贪夜蛾的防治。在巴西,草地贪夜蛾核型多角体病毒 *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus (SfNPV) 已被登记使用,年均防治面积 2 万 hm^2 ^[5-6,34]。在美国,SfNPV 也被批准用于该虫的防治用药^[5-6]。鉴于真菌、细菌及病毒类杀虫剂杀虫速度慢但持效期长的特点,以及抗生素类农药杀虫速率较快但持效期较短的特征,国外开展了抗生素类生物农药与微生物杀虫剂的复配制剂研究工作,如核型多角体病毒与多杀霉素复配使用^[35-36],多杀霉素和

AgMNPV 的增效作用研究^[37]等。此外,在 1×10^8 孢子/mL 浓度下,金龟子绿僵菌 ETL 株系、球孢白僵菌 Bb88 株系对草地贪夜蛾致死率为 50% 左右,但 Bb88 在与多杀霉素协同使用时致死率可提高 34%。同时,也发现复配的减效现象,如白僵菌与乙基多杀霉素共同使用时具有拮抗作用^[38]。基于国外的这些研究结果,应进一步开展微生物杀虫剂和抗生素杀虫剂的复配技术研究工作,以期提高防治效果,增强对草地贪夜蛾的控制能力。

参考文献

- [1] LUGINBILL P. The fall army worm [R]. USDA Technology Bulletin, 1928, 34: 2-7.
- [2] 姜玉英,刘杰,朱晓明. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(2): 33-35.
- [3] 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.
- [4] 全国农业技术推广服务中心. 植物病虫情报[EB/OL]. 2019. https://www.natesc.org.cn/Html/2019_05_06/28092_151760_2019_05_06_458341.html.
- [5] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Integrated management of the fall armyworm on maize. A guide for farmer field schools in Africa [R/OL]. 2018. <http://www.fao.org/3/i8741en/I8741EN.pdf>.
- [6] United States Agency for International Development, The International Maize and Wheat Improvement Center, The CGIAR Research Program on Maize. Fall armyworm in Africa: a guide for integrated pest management [R/OL]. 2018. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/FallArmyworm_IPM_Guide_forAfrica.pdf.
- [7] BURTET L M, BERNARDI O, MELO A A, et al. Managing fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), with Bt maize and insecticides in south Brazil [J]. Pest Management Science, 2017, 73(12): 2569-2577.
- [8] LABATTE J M. Within-plant distribution of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae on corn during whorl-stage infestation [J]. Florida Entomologist, 1993, 76(3): 437-447.
- [9] ARAHAMS P, BEALE T, COCK M, et al. Fall armyworm status: Impacts and control options in Africa: Preliminary evidence note (April 2017) [R]. CABI, UK, 2017.
- [10] YOUNG J R, MCMILLIAN W W. Differential feeding by two strains of fall armyworm larvae on carbaryl treated surfaces [J]. Journal of Economic Entomology, 1979, 72(2): 202-203.
- [11] YU S J. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 1992, 85(3): 675-682.
- [12] YU S J, NGUYEN S N, ABO-ELGHAR G E. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm,

- Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2003, 77(1): 1–11.
- [13] BERTA C D, VIRLA E, COLOMO M V, et al. Efecto en el parasitoide *Camponotus grioti* de un insecticida usado para el control de *Spodoptera frugiperda* y aportes a la bionomía del parasitoide [J]. Manejo Integrado de Plagas (CATIE), 2000 (57): 65–70.
- [14] DIEZ-RODRÍGUEZ G I, OMOTO C. Inheritance of *lambda*-cyhalothrin resistance in *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. Neotropical Entomology, 2001, 30(2): 311–316.
- [15] 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.
- [16] NASCIMENTO A R B, 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.
- [17] 吴孔明. 中国农作物病虫害防控科技的发展方向[J]. 农学学报, 2018, 8(1): 35–38.
- [18] 徐汉虹, 安玉兴. 生物农药的发展动态与趋势展望[J]. 农药科学与管理, 2001(1): 32–34.
- [19] 邵仁志, 刘小安, 孙兰, 等. 中国植物源农药的研究进展[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(8): 1401–1405.
- [20] 袁梅, 徐汉虹. 未来治理害物抗性的工具[J]. 世界农药, 2013, 35(1): 8–11.
- [21] SILVA M C, SIQUEIRA H, SILVA L M, et al. Cry proteins from *Bacillus thuringiensis* active against diamondback moth and fall armyworm [J]. Neotropical Entomology, 2015, 44(4): 392–401.
- [22] ISMAN M B, GRIENEISEN M L. Botanical insecticide research; many publications, limited useful data [J]. Trends in Plant Science, 2014, 19(3): 140–145.
- [23] ZANARDI O Z, RIBEIRO L D P, ANSANTE T F, et al. Bioactivity of a matrine-based biopesticide against four pest species of agricultural importance [J]. Crop Protection, 2015, 67: 160–167.
- [24] TAVARES W S, COSTA M A, CRUZ I, 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(6): 557–561.
- [25] 中华人民共和国农业部. 农药室内生物测定试验准则. 杀虫剂. 第5部分: 杀卵活性试验 浸渍法: NY/T 1154. 5–2006[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [26] 中华人民共和国农业部. 农药室内生物测定试验准则. 杀虫剂. 第14部分: 浸叶法: NY/T 1154. 14–2008[S]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [27] 中华人民共和国农业部. 农药室内生物测定试验准则. 杀虫剂. 第6部分: 杀虫活性试验. 浸虫法: NY/T 1154. 6–2006[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [28] OKUMA D M, BERNARDI D, HORIKOSHI R J, et al. Inheritance and fitness costs of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to spinosad in Brazil [J]. Pest Management Science, 2018, 74(6): 1441–1448.
- [29] CARNEIRO A A, GOMES E A, GUIMARÃES C T. Molecular characterization and pathogenicity of isolates of *Beauveria* spp. to fall armyworm [J]. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2008, 43(4): 513–520.
- [30] THOMAZONI D, FORMENTINI M A, ALVES L F A. Pathogenicity of entomopathogenic fungi to *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. Arquivos do Instituto Biológico, 2014, 81(2): 126–133.
- [31] GARCÍA G C, GONZÁLEZ M M B, BAUTISTA M N. Pathogenicity of isolates of entomopathogenic fungi against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Epilachna varivestis* (Coleoptera: Coccinellidae)[J]. Revista Colombiana de Entomología, 2011, 37(2): 217–222.
- [32] MONNERAT R G, BATISTA A C, DE MEDEIROS P T, et al. Screening of Brazilian *Bacillus thuringiensis* isolates active against *Spodoptera frugiperda*, *Plutella xylostella* and *Anticarsia gemmatilis* [J]. Biological Control, 2007, 41(3): 291–295.
- [33] LI Z H, HUANG R L, LI W S, et al. Addition of cinnamon oil improves toxicity of rotenone to *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae[J]. Florida Entomologist, 2017, 100(3): 515–521.
- [34] MOSCARDI F. Assessment of the application of baculoviruses for control of lepidoptera [J]. Annual Review of Entomology, 1999, 44(1): 257–289.
- [35] MENDEZ W V J, IBARRA J E, CISNEROS J, et al. Spinosad and nucleopolyhedrovirus mixtures for control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in maize[J]. Biological Control, 2002, 25(2): 195–206.
- [36] RAMEZ-GUERRA P, TAMAYO-MEJÍA F, GOMEZ-FLORES R, et al. Increased efficacy and extended shelf life of spinosad formulated in phagostimulant granules against *Spodoptera frugiperda*[J]. Pest Management Science, 2017, 74(1): 100–110.
- [37] JACHSON D M, SHAPIRO M, SHEPARD B M. Effects of spinosad and neem on the efficacy of a nucleopolyhedrovirus on pickleworm larvae [J]. Journal of Agricultural and Urban Entomology, 2014, 30(30): 28–37.
- [38] RIVERO-BORJA M R, GUZMÁN-FRANCO A W, RODRÍGUEZ-LEYVA E, et al. Interaction of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* with chlorpyrifos ethyl and spinosad in *Spodoptera frugiperda* larvae [J]. Pest Management Science, 2018, 74(9): 2047–2052.

(责任编辑: 杨明丽)