

卵孢白僵菌及添加杀虫助剂对两种地老虎的生物活性测定^{*}

刘聪鹤^{1**} 王雨薇¹ 于洪春^{1***} 孙艺峰¹ 侯月敏¹ 赵奎军¹ 李克斌²

(1. 东北农业大学农学院, 哈尔滨 150030; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘 要 【目的】确定卵孢白僵菌 *Beauveria brongniartii* 菌株 NEAU30503 对八字地老虎 *Xestia c-nigrum* (Linnaeus) 和小地老虎 *Agrotis ypsilon* (Rottemberg) 的杀虫活性。【方法】采用浸叶法测定 NEAU30503 对地老虎低龄幼虫的生物活性, 土壤处理法测定对高龄幼虫的杀虫活性。【结果】NEAU30503 对 5 日龄八字地老虎幼虫第 15 天毒力回归方程为 $y = 0.6568x - 0.1636$ ($r=0.9846$), 其 LC_{50} 、 LC_{80} 分别为 7.28×10^7 孢子/mL、 139.14×10^7 孢子/mL; 对 5 龄八字地老虎幼虫毒力回归方程为 $y = 1.0929x - 3.2893$ ($r=0.9801$), 其 LC_{50} 、 LC_{80} 分别为 3.85×10^7 孢子/L、 22.65×10^7 孢子/L。未死幼虫化蛹后仍有部分蛹死于白僵菌感染, 并能明显降低成虫羽化率。白僵菌与 Bt、茶皂素、以及亚致死剂量的高效氯氢菊酯和阿维菌素混用能明显提高其杀虫活性和杀虫速度。【结论】NEAU30503 对地老虎具有较高的杀虫活性, 土壤处理防治高龄幼虫效果好, 喷雾处理防治低龄幼虫加入少量的高效氯氢菊酯或茶皂素效果明显。本研究为开展白僵菌田间防治地老虎提供了科学依据。

关键词 卵孢白僵菌, 小地老虎, 八字地老虎, 生物测定, 助剂

Toxicity of *Beauveria brongniartii* to two cutworm species

LIU Cong-He^{1**} WANG Yu-Wei¹ YU Hong-Chun^{1***} SUN Yi-Feng¹
HOU Yue-Min¹ ZHAO Kui-Jun¹ LI Ke-Bin²

(1. College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract 【Objectives】To determine the toxicity of the *Beauveria brongniartii* strain NEAU30503 to larvae of the spotted and black cutworm. 【Methods】The leaf dipping method was used to determine the toxicity of NEAU30503 to young cutworm larvae and the soil treatment method to determine its toxicity to older instar larvae. 【Results】The toxicity of NEAU30503 to 5-day-old larvae of spotted cutworm at day 15 post infection can be expressed by the regression equation $y = 0.6568x - 0.1636$ ($r=0.9846$). The LC_{50} and LC_{80} were 7.28×10^7 conidia/mL and 139.14×10^7 conidia/mL, respectively. The toxicity of NEAU30503 to 5th instar spotted cutworm larvae can be expressed by the regression equation $y = 1.0929x - 3.2893$ ($r=0.9801$), with LC_{50} and LC_{80} of 3.85×10^7 conidia/L and 22.65×10^7 conidia/L, respectively. NEAU30503 was lethal to cutworm pupae, and clearly decreased the eclosion rate of cutworms. When NEAU30503 was mixed with tea saponin, the sublethal dose of beta-cypermethrin and abamectin could significantly increase the toxicity to black cutworms. 【Conclusion】The NEAU30503 strain was the most toxic to cutworms. NEAU30503 was more toxic to older instar larvae when delivered via the soil. When sprayed, a mixture of NEAU30503 with a sublethal dose of beta-cypermethrin or tea saponin had a significant effect on young cutworm larvae. This study provides a scientific basis for using *Beauveria* sp. to control cutworms in the field.

Key words *Beauveria brongniartii*, *Agrotis ypsilon* (Rottemberg), *Xestia c-nigrum* (Linnaeus), bioassay, pesticide adjuvant

*资助项目 Supported projects: 国家公益性行业(农业)科研专项(201003025); 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-04)

**第一作者 First author, E-mail: 542556114@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: hongcyu@126.com

收稿日期 Received: 2016-04-18, 接受日期 Accepted: 2016-06-29

地老虎是我国最重要的地下害虫类群之一,俗名切根虫、夜盗虫,属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae。小地老虎 *Agrotis ypsilon* (Rottemberg) 和八字地老虎 *Xestia c-nigrum* (Linnaeus) 是地老虎的重要种类,分布广,寄主范围广泛,可取食豆类、玉米、棉花、麦类、薯类、烟草、甜菜、蔬菜、果树林木等上百种寄主植物(魏鸿钧等,1989;陆琼等,2009;高川等,2012;张智等,2015)。低龄幼虫昼夜在地上取食作物叶片,形成小孔洞或缺刻,高龄幼虫白天潜伏地下,晚间切断靠近地表的幼苗茎部,造成死苗或缺苗断垄(魏鸿钧等,1989;向玉勇和杨茂发,2008;高川等,2012;仵均祥,2013),严重影响作物的保苗和产量。目前,地老虎的防治仍以化学防治为主(高川等,2012;刘晓垒等,2012),不但污染土壤和环境,造成作物农残超标,而且还易引起地老虎产生抗药性(韩召军,1986;向玉勇和杨茂发,2008;于伟丽等,2012)。

卵孢白僵菌 *Beauveria brongniartii* 是一类常见的昆虫病原真菌,也是白僵菌的一个重要类群。其具有对环境安全、对人畜无害、易商业化大规模生产、可通过害虫体壁侵染并能在昆虫个体间传播的特点,已广泛用于农林害虫的防治(Faria and Wraight, 2001;宋龙腾等,2013)。为克服白僵菌作用速度较慢,侵染过程长的缺陷,进行白僵菌与增效助剂混用是一重要途径和解决手段。有文献报道,白僵菌与增效助剂混合使用能明显提高其对二斑叶螨、马铃薯甲虫、蝗虫的致死率(Anderson *et al.*, 1989;Delgado *et al.*, 1999;Irigaray *et al.*, 2003)。

为探求卵孢白僵菌对地老虎的生物活性,增加对地老虎的生物防治手段,本论文在实验室条件下研究了卵孢白僵菌菌株 NEAU30503 对八字地老虎的生物活性,并开展了 NEAU30503 与亚致死剂量化学杀虫剂、苏云金芽孢杆菌 *Beauveria brongniartii* (Bt)、杀虫助剂混用对小地老虎的杀虫活性试验,以期提高白僵菌的杀虫活性和杀虫速度,为用白僵菌防治地老虎提供科学依据,丰富地老虎的生物防治内容。

1 材料与方法

1.1 试验材料

菌株:卵孢白僵菌菌株 NEAU30503、苏云金芽孢杆菌菌株 Bt15,由东北农业大学害虫生物防治研究室提供。

试虫:试验所用八字地老虎和小地老虎幼虫来源于东北农业大学园艺试验站黑光灯下诱集的成虫,实验室内饲喂 10%蜂蜜水补充营养,收集虫卵孵化而得。

杀虫剂和助剂:1.8%阿维菌素乳油,浙江海正化工股份有限公司;4.5%高效氯氰菊酯乳油,济南天邦化工有限公司;茶皂素,上海伊卡生物技术有限公司;杰效利,迈图高新材料(南通)有限公司。

培养基:用于卵孢白僵菌菌株 NEAU30503 培养的培养基为 PDA 培养基,其制作方法参考文献(李红霞等,2009);用于菌株 Bt15 培养的培养基为牛肉膏蛋白胨琼脂培养基,其配方参考文献(于洪春等,2013)。

1.2 菌株培养与计数

将供试的卵孢白僵菌菌株 NEAU30503 接入 PDA 培养基斜面上,苏云金芽孢杆菌菌株 Bt15 接种于牛肉膏蛋白胨琼脂培养基斜面上,分别于 $(28\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 的培养箱中恒温培养 10 d 和 3 d 后收菌。按文献(Wu *et al.*, 2015)方法进行孢子和芽孢计数。

1.3 卵孢白僵菌菌株 NEAU30503 对八字地老虎幼虫的生物测定

1.3.1 叶片浸渍法测定 NEAU30503 对八字地老虎低龄幼虫的生物活性 参考文献(Ma *et al.*, 2008),采用叶片浸渍法。新鲜的大豆幼苗叶分别浸泡在 4×10^6 、 2×10^7 、 1×10^8 、 5×10^8 、 2.5×10^9 孢子/mL NEAU30503 孢子悬浮液中 5~10 min,取出阴干后饲喂 5 日龄八字地老虎幼虫,并设清水对照。每处理设 3 次重复,每重复 20 头幼虫。于 25°C 、RH70%、光周期 L14:D10 的人工气

候箱中饲养。之后每天更换 1 次新鲜无菌饲料。第 15 天统计活虫数, 计算累积死亡率和校正死亡率。利用 DPS v7.05 软件生物测定数量型数据机值分析模块建立浓度对数值与校正死亡率的回归方程, 求出其 LC_{50} 和 LC_{80} 。

1.3.2 土壤处理法测定 NEAU30503 对八字地老虎高龄幼虫的生物活性 将经高压灭菌土壤与 NEAU30503 孢子混合均匀制成菌土, 菌土浓度分别为 7.81×10^6 、 31.25×10^6 、 125×10^6 、 500×10^6 、 $2\,000\times10^6$ 孢子/L。每处理 3 次重复, 每重复 15 头 5 龄八字地老虎幼虫, 并设清水对照。每养虫盒内菌土量 500 mL, 土上放入新鲜大豆幼苗, 将 15 头幼虫放入盒内, 保持毒土湿润。每天更换 1 次新鲜饲料。于 25℃、RH70%、光周期 L14:D10 的人工气候箱中饲养。第 15 天统计幼虫死亡数和化蛹数, 并观察有无白僵菌明显感染症状。计算处理后第 15 天累积死亡率和校正死亡率, 利用 DPS v7.05 软件按 1.3.1 方法获得其毒力回归方程, 求出其 LC_{50} 和 LC_{80} 。将各处理及对照计数后的蛹分别放入灭过菌的土中, 于人工气候箱中培养 15 d, 统计死亡蛹数、正常羽化蛾数、畸形蛾数, 计算出蛹死亡率、正常成虫羽化率、畸形蛾率。

1.4 NEAU30503 与 Bt、农药和助剂混用对小地老虎幼虫的活性测定

处理浓度为: NEAU30503 5×10^8 孢子/mL, Bt15 5×10^8 芽孢/mL, 高效氯氰菊酯 40 000×, 阿维菌素 9 000×, 茶皂素 5 000×, 杰效利 3 000×。处理设上述单剂各浓度单用、NEAU30503+ Bt15、NEAU30503+ Bt15+高效氯氰菊酯、NEAU30503+ Bt15+阿维菌素、NEAU30503+Bt15+茶皂素、NEAU30503+ Bt15+杰效利, 混用中各成分浓度同单用浓度。参照 1.3.1 采用叶片浸渍法, 处理 5 日龄小地老虎幼虫, 每处理 20 头, 3 次重复, 并设清水对照。每天更换 1 次新鲜饲料。在处理 后 2、4、6、8 d 统计死亡虫数, 计算各处理校正死亡率。利用 DPS v7.05 软件对各处理校正死亡率进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 卵孢白僵菌菌株 NEAU30503 对八字地老虎幼虫的生物活性

采用叶片浸渍法, 卵孢白僵菌菌株 NEAU30503 处理 5 日龄八字地老虎幼虫第 15 天累积死亡率和校正死亡率见表 1。

表 1 卵孢白僵菌 NEAU30503 对 5 日龄八字地老虎幼虫的生物测定
Table 1 Bioassay on 5-day-old larvae of spotted cutworm with *Beauveria brongniartii* NEAU30503 strain

浓度 ($\times10^6$ 孢子/mL) Concentration ($\times10^6$ conidia/mL)	试虫 (头) Test insect (head)	死亡率 (%) Mortality (%)	校正 死亡率 (%) Corrected mortality (%)
2 500	60	86.67	86.44
500	60	66.67	66.10
100	60	51.67	50.85
20	60	43.33	42.37
4	60	20.00	18.64
水 Water	60	1.67	—

试验结果表明, 卵孢白僵菌 NEAU305035 对低龄八字地老虎幼虫具有杀虫活性, 其活性随孢子浓度的增加而增大。5 个处理浓度的 NEAU305035 对 5 日龄八字地老虎幼虫第 15 天的累积死亡率平均为 20%~86.7%, 累积校正死亡率平均为 18.64%~86.44%。得出其毒力回归方程为 $y=0.6568x-0.1636$ ($r=0.9846$), 其 LC_{50} 、 LC_{80} 分别为 7.28×10^7 孢子/mL、 139.14×10^7 孢子/mL。

采用土壤处理法, 将卵孢白僵菌 NEAU305035 孢子悬浮液与细土混合配制成 5 个浓度的菌土, 处理 5 龄八字地老虎幼虫第 15 天累积死亡率和校正死亡率见表 2。

考虑地老虎高龄幼虫生活在土壤中, 将 NEAU305035 孢子制成菌土进行土壤处理 5 龄八字地老虎幼虫, 其能被 NEAU305035 明显感染, 并表现出白僵菌感染死亡的明显特征。每升土壤含 5×10^8 、 2×10^9 孢子的浓度下, 至第 15 天八字地老虎幼虫校正死亡率超过 90%, 表现出较高的生物杀虫活性。以后随孢子浓度的下降其杀虫活

表 2 卵孢白僵菌 NEAU30503 对 5 龄八字地老虎幼虫的生物测定

Table 2 Bioassay on 5th instar larvae of spotted cutworm with *Beauveria brongniartii* NEAU30503 strain

浓度 ($\times 10^6$ 孢子/L) Concentration ($\times 10^6$ conidia/L)	试虫 (头) Test insect (head)	死亡率 (%) Mortality (%)	校正死亡率 (%) Corrected mortality (%)
2 000	45	95.56	95.13
500	45	93.33	92.70
125	45	73.33	70.73
31.25	45	57.78	53.66
7.81	45	24.44	17.07
水 Water	45	8.89	-

性随之降低。得出其毒力回归方程为 $y=1.0929x-3.2893$ ($r=0.9801$), 其 LC_{50} 、 LC_{80} 分别为 3.85×10^7 孢子/L、 22.65×10^7 孢子/L。菌土处理八字地老虎高龄幼虫的防治效果优于菌液处理低龄幼虫。

将土壤处理后存活的八字地老虎幼虫化的蛹分别收集, 放入正常无菌土壤中 15 d 后, 检查土上羽化的成虫和土内的死蛹数量见表 3。经过菌土处理的幼虫共有 70 头化蛹, 15 d 后有 26 头成虫正常羽化, 正常蛾羽化率为 37.14%; 畸形蛾有 9 头, 畸形蛾率为 12.86%; 死亡蛹 35 头, 蛹死亡率为 50%。未进行菌土处理的对照有 36

表 3 卵孢白僵菌 NEAU30503 土壤处理后八字地老虎蛹的生长发育情况

Table 3 Growth condition of pupa of spotted cutworm after soil treatment with *Beauveria brongniartii*

浓度 ($\times 10^6$ 孢子/L) Concentration ($\times 10^6$ conidia/L)	化蛹 (头) Amount of pupation (head)	死亡蛹 (头) Died pupa (head)	正常蛾 (头) Normal adult (head)	畸形蛾 (头) Abnormal adult (head)
2 000	2	2	0	0
500	3	2	0	1
125	12	9	1	2
31.25	19	13	4	2
7.81	34	9	21	4
水 Water	41	3	36	2

头成虫正常羽化, 正常蛾羽化率为 87.80%; 畸形蛾 2 头, 畸形蛾率为 4.88%; 死亡蛹 3 头, 蛹死亡率为 7.32%。经过菌土处理的蛹死亡率、蛾畸形率明显高于未菌土处理的对照, 而正常蛾羽化率明显低于对照。剖土检查菌土处理未能羽化的死蛹, 有 5 头蛹壳包住成虫头部死亡, 8 头蛹明显感染白僵菌而死亡, 22 头蛹变黑死亡。由于具有明显的白僵菌感染致死的八字地老虎蛹, 说明幼虫被 NEAU305035 感染后虽有未死亡幼虫能够正常化蛹, 但对蛹仍具有致死作用, 能够明显降低成虫羽化率, 在防治上仍具有实际意义。

2.2 NEAU30503 与杀虫助剂混用对小地老虎幼虫的杀虫活性

为提高 NEAU305035 菌液的杀虫速度和防治效果, 进行了 NEAU305035 与 Bt、杀虫剂、助剂等混用对小地老虎 5 日龄幼虫的防治试验, 试验结果见表 4。NEAU305035、Bt15 单用第 2、4、6 天对小地老虎的防治效果均很低, 最高仅为 10.34%, 第 8 天防治效果也仅仅超过 35%, 防治效果不高, 杀虫速度慢。但 NEAU305035 与 Bt15 混用比单用防治效果好, 第 4、6、8 天防治效果均与单用差异显著。方差分析表明, 处理后 2 d、4 d, NEAU30503 与 Bt15 和高效氯氰菊酯 40 000 $\times$ 混用防治效果最高, 分别达到 35%、56.67%, 但与同浓度的高效氯氰菊酯单用差异不显著, 与其他处理差异均显著。处理后 6 d、8 d, NEAU30503 与 Bt15 和高效氯氰菊酯混用防治效果最高, 分别为 75.87% 和 98.24%, 与其他处理差异极显著。处理后 6 d, 高效氯氰菊酯 40 000 $\times$ 、NEAU30503 与 Bt15 和阿维菌素 9 000 $\times$ 混用、NEAU30503 与 Bt15 和茶皂素 5 000 $\times$ 混用防效差异不显著, 但与 NEAU30503 和 Bt15 混用差异显著。处理后 8 d, NEAU30503 与 Bt15 和茶皂素混用防效达到 71.89%, 高于除 NEAU30503 与 Bt15 和高效氯氰菊酯混用外的其他处理, 且差异显著; NEAU30503 与 Bt15 和阿维菌素混用、NEAU30503 与 Bt15 和杰效利混用、NEAU30503 与 Bt15 混用、高效氯氰菊酯单用差异不显著。可见 NEAU305035 与 Bt15 和低浓度的高效氯氰

表 4 卵孢白僵菌 NEAU305035 与几种杀虫剂和助剂混用对 5 日龄小地老虎的防治效果
Table 4 Control effect of NEAU305035 mixture with several insecticides and adjuvant to *Agrotis ypsilon* 5-day-old larvae

处理 Treatments	试虫 (头) Test insect (head)	校正死亡率 Corrected mortality (%)			
		2 d	4 d	6 d	8 d
NEAU30503	60	0.00 c C	6.67 ef DEF	6.90 f G	35.08 e E
Bt15	60	0.00 c C	3.33 f EF	10.34 f G	36.84 e E
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	60	33.33 a A	51.67 a AB	56.89 b B	59.65 c C
阿维菌素 Abamectin	60	10.00 b B	28.33 c C	46.55 c CD	47.37 d D
茶皂素 Tea saponin	60	0.00 c C	6.67 ef def	24.14 e F	35.08 e E
杰效利 JXL	60	0.00 c C	1.67 f F	5.17 f G	3.51 f F
NEAU30503+Bt15	60	0.00 c C	13.33 d D	34.52 d E	57.89 c C
NEAU30503+Bt15+Beta-cypermethrin	60	35.00 a A	56.67 a A	75.87 a A	98.24 a A
NEAU30503+Bt15+Abamectin	60	8.33 b B	45.00 b B	53.45 bc BC	63.16 c BC
NEAU30503+Bt15+Tea saponin	60	1.67 c C	33.33 c C	50.01 bc BC	71.89 b B
NEAU30503+Bt15+JXL	60	0.00 c C	11.67 de DE	37.93 d DE	59.65 c C

表中同一列数据 (平均值±标准误) 后标有不同字母表示差异显著, 小写字母表示 0.05 水平, 大写字母表示 0.01 水平 (Duncan’s 新复极差法)。
The date with different letters in each column indicate the significant different, lowercase letters for 0.05 level, capital letters for 0.01 level by Duncan’s multiple range test.

菊酯混用最好, 其次为 NEAU305035 与 Bt15 和茶皂素混用, 能显著提高 NEAU305035 的杀虫速度和防治效果。

3 结论与讨论

地老虎危害特点是 3 龄前昼夜在地上为害作物叶片, 3 龄后白天潜伏在地下, 晚间出土 (甚至不出土在土表下) 咬断大豆幼苗根茎, 尤其 5 龄、6 龄为害严重, 造成大豆缺苗断垄, 甚至毁种重播。因此用白僵菌防治地老虎低龄幼虫适于喷雾处理叶片防治, 而对高龄幼虫适于幼苗根部土壤处理防治, 尤其多数地老虎以高龄或老熟幼虫土壤越冬, 白僵菌土壤处理效果更佳。室内生物测定表明, 卵孢白僵菌 NEAU30503 浸叶法对八字地老虎的低龄幼虫有较高杀虫活性, 但土壤处理杀虫活性更高, 并且对感染未死幼虫化蛹仍具致死作用, 能明显降低成虫羽化率, 有利于对地老虎的持续控制; 两者 LC₅₀ 分别为 7.28×10⁷ 孢子/mL 和 3.85×10⁷ 孢子/L, 差异很大, 表明 NEAU30503 菌土处理防治高龄幼虫比喷雾防治低龄幼虫效果要好。考虑到室外大田喷雾处理后

湿度明显比室内试验条件低, 而白僵菌孢子萌发需要较高湿度, 室外喷雾防治地老虎低龄幼虫效果可能还要降低。

考虑到 3 龄前喷雾防治地老虎的便利性和高效性, 3 龄前喷雾防治地老虎仍是一个很好的选择。但本研究发现, NEAU30503 感染地老虎周期较长, 作用速度较慢, 防治效果并不是很高, 如 NEAU30503 菌株 (5×10⁸ 孢子/mL) 处理 5 日龄八字地老虎和小地老虎幼虫第 8 天校正死亡率分别为 38.1%和 35.08%, 第 15 天八字地老虎的校正死亡率也仅为 66.1%。一些研究表明, 白僵菌与其他杀虫因子混用能提高其杀虫效果和杀虫速度。如球孢白僵菌与杀铃脉混用能增加对二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 的防治效果 (Irigaray *et al.*, 2003), 与除虫脲混用能提高其对蝗虫的杀虫活性 (Delgado *et al.*, 1999)。球孢白僵菌与多杀菌素混用防治小地老虎有协同增效作用, 并能明显降低小地老虎幼虫的体重和大小 (Gosselin *et al.*, 2009)。本试验为提高叶片处理对低龄小地老虎的防治效果, 开展了卵孢白僵菌 NEAU30503 与 Bt、杀虫剂高效氯氰菊酯、抗生素阿维菌素、助剂茶

皂素和杰效利的混用试验,证实 NEAU30503 与 Bt 混用比单用能明显提高其杀虫速度和防治效果,与亚致死剂量的高效氯氰菊酯(40 000×)混用效果最佳,不但杀虫速度快、防效高,而且至 6 d 与所有其他处理差异极显著,其次为添加助剂茶皂素。因此,在生产实践中用白僵菌喷雾防治低龄地老虎幼虫添加增效助剂是提高其防治效果的一个很好选择。

参考文献 (References)

- Anderson TE, Hajek AE, Roberts DW, Preisler HK, Robertson JL, 1989. Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae): effects of combinations of *Beauveria bassiana* with insecticides. *Journal of Economic Entomology*, 82(1): 83–89.
- Delgado FX, Britton JH, Onsager JA, Swearingen W, 1999. Field assessment of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin and potential synergism with diflubenzuron for control of savanna grasshopper complex (Orthoptera) in Mali. *Journal of Invertebrate Pathology*, 73(1): 34–39.
- Faria M, Wraight SP, 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* with fungi. *Crop Protection*, 20(9): 767–778.
- Gao C, Lang ZH, Zhu L, Song FP, Zhang YJ, Zhang J, Huang DF, 2012. Insecticidal effect of transgenic tobacco harboring cry2Ab4 or vip3Aa11 gene on *Agrotis ypsilon*. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(5): 42–48. [高川, 郎志宏, 朱莉, 宋福平, 张永军, 张杰, 黄大昉. 2012. 转 cry2Ab4 和 vip3Aa11 基因烟草对小地老虎杀虫效果研究. 中国农业科技导报, 14(5): 42–48.]
- Gosselin ME, Belair G, Simard L, Brodeur J, 2009. Toxicity of spinosad and *Beauveria bassiana* to the black cutworm, and the additivity of sublethal doses. *Biocontrol Science and Technology*, 19(2): 201–217.
- Han ZJ, 1986. Toxicological responses and resistances of the black cutworm, *Agrotis ypsilon* Rottemberg, to several groups of insecticides. *Journal of Plant Protection*, 13(2): 125–130. [韩召军, 1986. 小地老虎对几类杀虫剂的毒力反应及其抗药性变化. 植物保护学报, 13(2): 125–130.]
- Irigaray SDC, Marco-Mancebón V, Pérez-Moreno I, 2003. The entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and its compatibility with triflumuron: effects on the twospotted spider mite *Tetranychus urticae*. *Biological Control*, 26(2): 168–173.
- Li HX, Yu HC, Xi XJ, 2009. Isolation and identification of a strain of *Beauveria* sp. and its biological activity to *Colaphellus bowringi*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 46(5): 744–748. [李红霞, 于洪春, 席贤举, 2009. 一株白僵菌菌株的分离鉴定及对大猿叶虫的生物活性测定. 昆虫知识, 46(5): 744–748.]
- Liu XL, Wang PX, Shu CL, Wang XL, Hao ZB, Zhang YJ, Song FP, 2012. Toxicity evaluation of four *Bacillus thuringiensis* strains against *Agrotis ypsilon*. *Chinese Journal of Biological Control*, 28(2): 198–204. [刘晓垒, 王品舒, 束长龙, 王秀丽, 郝再彬, 张永军, 宋福平. 2012. 四株对小地老虎有活性的苏云金芽孢杆菌的毒力评价. 中国生物防治学报, 28(2): 198–204.]
- Lu Q, Zhang YJ, Yu HC, Cao GC, Lu YH, Guo YY, 2009. Insecticidal activity of Cry2Ab proteins to *Agrotis ypsilon* (Rottemberg) and induced protease activities changes in the larvae. *Journal of Plant Protection*, 36(1): 16–20. [陆琼, 张永军, 于洪春, 曹广春, 陆宴辉, 郭予元, 2009. Cry2Ab 杀虫蛋白对小地老虎幼虫致死效果及体内酶活性的影响. 植物保护学报, 36(1): 16–20.]
- Ma XM, Liu XX, Ning X, Zhang B, Han F, Guan XM, Tan YF, Zhang QW, 2008. Effects of *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1Ac and *Beauveria bassiana* on Asiatic corn borer (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Invertebrate Pathology*, 99: 123–128.
- Song LT, Yu HC, Wang YW, Zhang XL, Xu GQ, 2013. Study on control of beetle larvae by mixture of pesticides with *Beauveria brongniartii*. *Northern Horticulture*, 280(1): 131–134. [宋龙腾, 于洪春, 王雨薇, 张鑫琳, 许国庆, 2013. 卵孢白僵菌与农药混用对蛴螬防治效果研究. 北方园艺, 280(1): 131–134.]
- Wei HJ, Zhang ZL, Wang YC, 1989. China Underground Pest. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers. 35. [魏鸿钧, 张治良, 王荫长. 1989. 中国地下害虫. 上海: 上海科学技术出版社. 35.]
- Wu JX, 2013. Agricultural Entomology. Beijing: China Agriculture Press. 62–64. [仵均祥, 2013. 农业昆虫学. 北京: 中国农业出版社. 62–64.]
- Wu SY, Gao YL, Xu XN, Mark SG, Lei ZR, 2015. Compatibility of *Beauveria bassiana* with *Neoseiulus barkeri* for Control of *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(1): 98–105.
- Xiang YY, Yang MF, 2008. Study on the occurrence, damage and control techniques of black cutworm in China. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 36(33): 14636–14639. [向玉勇, 杨茂发, 2008. 小地老虎在我国的发生危害及防治技术研究. 安徽农业科学, 36(33): 14636–14639.]
- Yu HC, Wang YW, Song LT, Deng JJ, Xu GQ, 2013. Virulence screening of *Bacillus thuringiensis* strains on *Xestia c-nigrum*. *Journal of Northeast Agricultural University*, 44(10): 128–133. [于洪春, 王雨薇, 宋龙腾, 邓佳佳, 许国庆, 2013. 八字地老虎高毒力苏云金杆菌菌株的筛选. 东北农业大学学报, 44(10): 128–133.]
- Yu WL, Du JH, Hu YP, Shen RP, Mu W, 2012. Toxicity of six insecticides to black cutworm *Agrotis ypsilon* (Rottemberg) and safety evaluation to oil organisms. *Journal of Plant Protection*, 39(3): 277–282. [于伟丽, 杜军辉, 胡延萍, 申瑞平, 慕卫. 2012. 六种杀虫剂对小地老虎的毒力及对土壤生物安全性评价. 植物保护学报, 39(3): 277–282.]
- Zhang Z, Xie SX, Zhang YH, Wang ZM, Xie AT, Mu CQ, 2015. Monitoring the population dynamics and generations of *Xestia c-nigrum* (Lepidoptera: Noctuidae) in Shunyi, Beijing. *Plant Protection*, 41(1): 147–149. [张智, 解书香, 张云慧, 王泽民, 谢爱婷, 穆常青, 2015. 北京顺义区八字地老虎的种群监测与发生世代分析. 植物保护, 41(1): 147–149.]