

微生物农药联合防治亚洲玉米螟的研究

张云月, 汪洋洲*, 高月波, 毛 刚, 张 强, 刘 剑

(吉林省农业科学院植物保护研究所, 吉林 公主岭 136100)

摘 要:本研究使用植保无人机联合喷施球孢白僵菌(*Beauveria bassiana*)(Bb)、金龟子绿僵菌(*Metarhizium anisopliae*)(Ma)和苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis*)(Bt)三种微生物杀虫剂菌悬液,防治第二代亚洲玉米螟。结果表明:球孢白僵菌和金龟子绿僵菌联合使用的处理中亚洲玉米螟幼虫发生密度、被害株率、蛀孔率以及孔道长度均显著低于其他接种组和空白对照组,田间防治效果最好。结果证明,针对特定害虫的特定防治时期,生物防治的联防技术可以取得很好的防治效果。

关键词:亚洲玉米螟;球孢白僵菌;金龟子绿僵菌;苏云金芽孢杆菌;生物防治

中图分类号:S476

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2022)04-0070-04

Study on Microbial Insecticides Combined Control of Asian Corn Borer in Field

ZHANG Yunyue, WANG Yangzhou*, GAO Yuebo, MAO Gang, ZHANG Qiang, LIU Jian,

(Institute of Plant Protection, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100, China)

Abstract: The research of biological control the 2nd generation Asian corn borer was conducted using unmanned aerial vehicle to spray *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Bacillus thuringiensis* synthetically in field. The result shows that pest density, percentage of damaged plants, percentage of borehole, and length of borehole in treatment of *B. bassiana* with *M. anisopliae* were significant lower than other treatments and the control, which indicated that the treatment achieved significant control effect. The results shows that the biocontrol technology of biological control can achieve good control effect in the specific control period of specific pests.

Key words: Asian corn borer; *Beauveria bassiana*; *Metarhizium anisopliae*; *Bacillus thuringiensis*; Biocontrol

亚洲玉米螟(*Ostrinia furnacalis*)是危害吉林省玉米生产的最主要害虫,常年危害损失达10%以上,重发生年份甚至达20%以上,严重影响玉米的产量和品质^[1]。在吉林省亚洲玉米螟每年发生1~2.5代。随着全球气候变暖,吉林省亚洲玉米螟的世代发生数有增加的趋势^[2]。第一代亚洲玉米螟主要危害玉米心叶造成典型的大量排孔症状,第二代亚洲玉米螟主要危害花丝、果穗,蛀食雌穗的穗柄和穗轴。蛀茎危害使茎秆易倒折,影响养分输送,造成果穗发育不良或籽粒干瘪,同时不利于机收;蛀茎和蛀穗还易加重玉米茎腐病和穗腐病的发生^[3-5]。且二代亚洲玉米螟危害呈逐年加重趋势^[6]。

对于亚洲玉米螟的防治措施主要有物理防

治、生物防治、化学防治、农业防治等,目前仍以化学防治为主。根据亚洲玉米螟的危害特点,心叶期是防治一代螟虫的关键时期,在此时期内如何将药剂快速精准地投放于心叶中成为防治难点。穗期是防治二代螟虫的关键时期。玉米属于高秆作物,此时玉米株高基本都在2 m以上。玉米螟幼虫多集中在雌穗以上。由于植株高大,人工使用背负式施药器械作业进地困难,施药速度慢,影响了防治效果^[7]。近年来生物防治技术已经成为有效控制亚洲玉米螟群体的重要措施,由于其致病力强、药效持久、对环境友好,对人、畜、植物无毒害、可持续控制害虫等优点决定其在防控亚洲玉米螟方面上的优越性日渐突出。

利用昆虫病原微生物防治农业害虫是生物防治技术的主要方式之一^[8]。球孢白僵菌(*B. bassiana*)和金龟子绿僵菌(*M. anisopliae*)是目前世界上防治害虫应用较广的杀虫真菌^[9],其致病性强、可持续控制害虫群体^[10],但是防病周期长、效果不稳定。苏云金芽孢杆菌(*B. thuringiensis*)是国际市场上用量最高的微生物农药,其杀虫速度快、

收稿日期:2019-12-05

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0201804)

作者简介:张云月(1985-),女,助理研究员,硕士,主要从事农业昆虫与害虫防治研究。

通讯作者:汪洋洲,男,博士,副研究员, E-mail: wang_yangzhou@163.com

毒力高,但是持效期较短,害虫易产生抗药性。研究表明,多种昆虫病原微生物联合应用能充分发挥不同生防资源优势,提高防治效率。彭国雄等利用金龟子绿僵菌、球孢白僵菌和苏云金芽孢杆菌两两联合使用对草地贪夜蛾(*Spodoptera frugiperda*)幼虫进行室内杀虫活性评估,结果表明不同杀虫真菌联合使用、杀虫真菌与苏云金芽孢杆菌联合使用能有效提高对草地贪夜蛾幼虫的杀虫活性^[11];毛刚等利用白僵菌和苏云金芽孢杆菌联合防治亚洲玉米螟,防治效果优于单一使用白僵菌或苏云金芽孢杆菌^[12]。本研究利用植保无人机一次性投放球孢白僵菌、金龟子绿僵菌和苏云金芽孢杆菌三种微生物农药田间防治亚洲玉米螟,以期多种微生物杀虫剂联合防治亚洲玉米螟新方法提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

球孢白僵菌可湿性粉剂、苏云金芽孢杆菌可湿性粉剂(绿陇生物有限公司提供);金龟子绿僵菌可湿性粉剂(厦门多多生物有限公司提供)。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

本研究设置4个试验处理:球孢白僵菌和金龟子绿僵菌联合防治(Bb+Ma)、球孢白僵菌、金龟子绿僵菌和苏云金芽孢杆菌联合防治(Bb+Ma+Bt)、苏云金芽孢杆菌单独防治(Bt)、空白对照组(CK),每个处理小区0.33 hm²,处理之间距离50 m。

1.2.2 接种方法

玉米植株雌穗时期,将球孢白僵菌、金龟子绿僵菌和苏云金芽孢杆菌分别用水稀释,过滤出残渣,配制成菌液浓度为 1×10^{10} CFU/mL的菌悬液,在无降水且微风的天气条件下分别用植保无人机接种Bb+Ma联合防治组(孢子浓度比为1:1)、Bb+Ma+Bt联合防治组(孢子浓度比为1:1:1)、Bt单独防治组,以喷施水为空白对照组。飞机的飞行高度距玉米植株冠层上方1.5 m,飞行速度7 m/s,作业喷幅4 m,每次飞行轨道间隔1 m。

1.2.3 调查方法

秋季玉米收获前进行剖秆调查,在每个处理小区随机选取5个点,5次重复,每个点之间距离3~5 m,每个点随机选择20株玉米,共调查100株。记录亚洲玉米螟幼虫活虫数,被害植株数量、蛀孔数量、蛀孔位置、孔道长度后计算统计出各处理组植株亚洲玉米螟幼虫的发生密度、被害

株率、蛀孔率,以及各茎节蛀孔的分布比率和孔道长度。发生密度=活虫数/调查植株数,被害株率=(被害株数/调查植株数) $\times 100\%$,蛀孔率=(蛀孔数量/调查植株数) $\times 100\%$,蛀孔分布比率=(相应部位蛀孔数量/蛀孔总数) $\times 100\%$ 。

1.2.4 数据统计分析

利用DPS 12.50分析软件进行方差分析,幼虫发生密度、被害株率、蛀孔率和孔道长度采用单因素随机区组方差分析,多重比较采用邓肯氏新复极差法(Duncan's)。

2 结果与分析

2.1 不同处理组玉米植株上亚洲玉米螟幼虫发生密度的比较

经过方差分析比较发现各个处理组之间亚洲玉米螟幼虫的发生密度差异不显著(表1),除Bb+Ma+Bt组与CK组相等都是0.19头/株外,其他处理组均低于CK, Bb+Ma组发生密度最低,为0.04头/株,表明Bb+Ma组的防治效果最好。

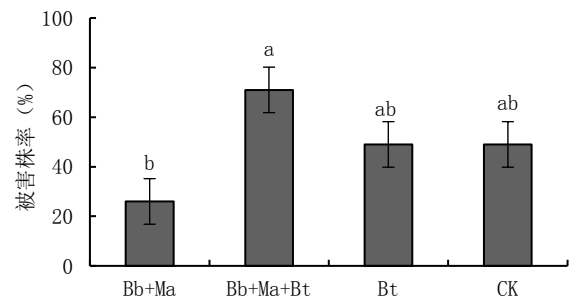
表1 不同处理组玉米植株上亚洲玉米螟幼虫发生密度

处理	发生密度(头/株)	5%显著水平
Bb+Ma	0.04±0.07	a
Bb+Ma+Bt	0.19±0.18	a
Bt	0.15±0.06	a
CK	0.19±0.14	a

注:表内数据为“平均值±标准差”,小写字母相同表示差异不显著($P>0.05$),小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同

2.2 不同处理组玉米被害株率的比较

从图1可以看出,Bb+Ma组被害株率为26%,低于CK组49%,Bt组比率与CK组相同,Bb+Ma+Bt组的被害株率最高为71%。各处理组与CK组差异不显著,Bb+Ma组与Bb+Ma+Bt组有显著差异($F=5.74$, $P=0.0025$)。结果表明Bb+Ma组的防治效果最好,Bb+Ma+Bt组和Bt组防效较差。



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同

图1 不同处理组玉米被害株率

2.3 不同处理组玉米植株蛀孔率以及蛀孔分布情况的比较

由图 2 可知, Bb+Ma 组蛀孔率最低, 为 29%, 低于 CK 组 61%; Bb+Ma+Bt 组和 Bt 组的蛀孔率均高于对照组, 分别是 90% 和 65%。Bb+Ma 组蛀孔率与 Bb+Ma+Bt 组、Bt 组及 CK 组均有显著差异 ($F_{3,12}=6.30, P=0.001\ 3; F_{3,12}=3.72, P=0.027\ 2; F_{3,12}=3.30, P=0.037\ 6$), Bb+Ma+Bt 组和 Bt 组与 CK 组差异不显著。

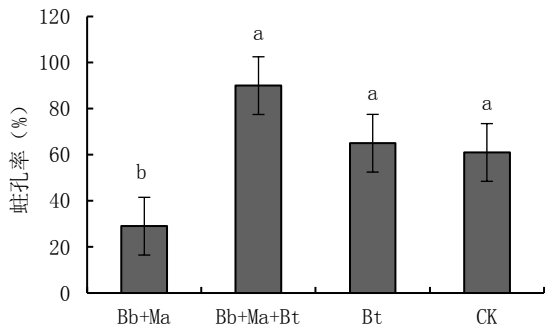


图 2 亚洲玉米螟幼虫危害蛀孔率

由图 3 可知, 亚洲玉米螟幼虫危害的蛀孔在玉米雄穗柄至雌穗下第 7 节均有分布, 其中以雌穗着生节, 雌穗及其上、下 1~3 节蛀孔最多。在此范围内, Bb+Ma 组、Bb+Ma+Bt 组、Bt 组以及 CK 组植株上蛀孔分布比率分别为 93.09%、90.00%、90.77%、86.90%, 接种组均高于 CK 组。蛀孔在雌穗以下茎节的分布比率分别为 27.59%、30.00%、

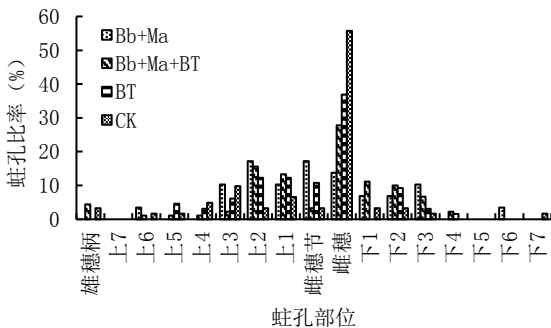


图 3 亚洲玉米螟幼虫危害蛀孔在玉米植株上不同部位比率

13.85%、9.84%; 蛀孔在雌穗以上茎节的分布比率分别为 41.37%、34.44%、38.47%、27.88%, 分别高出雌穗以下茎节的分布比率为 13.78%、4.44%、24.62%、18.04%。蛀孔在这两个部分的分布比率均高于 CK 对照组。各个接种组蛀孔在雌穗节的分布比率同样也高于对照。而与此相反的是各个接种组蛀孔在雌穗部位的分布比率均低于 CK 组, Bb+Ma 组最低, 仅为 13.79%, Bb+Ma+Bt 组 27.78%、Bt 组 36.62%。综合以上数据分析得出, 接种组与对照组相比, 幼虫对玉米植株雌穗以上茎节、雌穗以下茎节及雌穗节部分危害较高, 对雌穗部位危害较低。

2.4 不同处理组玉米植株上孔道长度的比较分析

由表 2 可知, Bb+Ma 组蛀孔总长度最短, 为 11 cm, 且小于对照组; 其余两个接种组蛀孔总长度均大于对照组。蛀孔总长度最短的 Bb+Ma 组与最长的 Bb+Ma+Bt 组相比差异显著 ($F_{3,12}=4.22, P=0.0165$)。在各处理组中玉米植株不同部分受害程度也是不同的。在雌穗节上茎部分, Bb+Ma 组孔道长度最短, 为 5.0 cm, 只有该组孔道长度小于 CK 组。在雌穗节下茎部分, Bb+Ma+Bt 组孔道长度最长, 为 13.5 cm, 与 Bb+Ma 组、Bt 组及 CK 组孔道长度差异显著 ($F_{3,12}=3.39, P=0.024\ 7; F_{3,12}=3.85, P=0.022\ 9; F_{3,12}=3.35, P=0.035\ 6$), Bb+Ma 组、Bt 组孔道长度分别为 3.5、3.6 cm, 均小于 CK 组。与此部分相反, 在雌穗节部位 Bb+Ma 组、Bt 组孔道长度分别为 2.1、2.7 cm, 均大于 CK 组, Bb+Ma+Bt 组长度与 CK 组相等, 均为 2.0 cm。在雌穗部位各接种组长度均小于 CK 组, Bb+Ma 组最短, 仅为 0.4 cm, Bb+Ma+Bt 组 3.0 cm、Bt 组 3.3 cm。在雄穗柄部位 Bb+Ma 组和 Bt 组均没有被危害, CK 组危害较轻, Bb+Ma+Bt 组被危害程度最为严重, 与其他处理组相比差异显著 (Bb+Ma+Bt, CK: $F_{3,12}=2.33, P=0.041\ 8$; Bb+Ma+Bt, Bb+Ma: $F_{3,12}=4.83, P=0.006\ 6$; Bb+Ma+Bt, Bt: $F_{3,12}=4.83, P=0.007\ 7$)。综合各个部分被危害程度, 可见 Bb+Ma 组防效最好。

表 2 不同处理组玉米植株上亚洲玉米螟幼虫蛀孔长度 cm

蛀孔部位	Bb+Ma	Bb+Ma+Bt	Bt	CK
雌穗节上茎	5.0±6.74a	13.0±9.73a	11.2±8.05a	5.5±6.22a
雌穗节	2.1±2.13a	2.0±3.94a	2.7±2.91a	2.0±3.08a
雌穗节下茎	3.5±8.85b	13.5±7.33a	3.6±1.95b	4.9±5.79b
雌穗	0.4±0.22b	3.0±1.46a	3.3±1.44a	3.7±1.79a
雄穗柄	0.0±0.00b	0.6±0.55a	0.0±0.00b	0.2±0.27b
合计	11.0±14.25b	32.1±10.09a	20.8±8.02ab	16.3±10.22ab

3 结论与讨论

不同类型的生物农药联合使用防治同一种害虫,不但可减少每一种药剂用量,扬长避短,在得到更好的杀虫效果同时,降低环境风险,还可以延缓农药抗性产生,延长农药使用寿命^[13-14]。

本研究利用球孢白僵菌和金龟子绿僵菌两种真菌杀虫剂联合防治亚洲玉米螟,以及真菌杀虫剂和 Bt 联合防治亚洲玉米螟,对田间防治效果进行评估。结果表明,Bb+Ma 组合田间防治效果最好,Bb+Ma+Bt 组合防效较差。多天敌联合应用,主要包括两种结果:一是协同增效作用;二是拮抗作用^[15]。在实际田间应用中,病原真菌的杀虫活性很容易受到环境温度的影响,研究表明 25℃ 是最适合球孢白僵菌生长发育的温度,且致病力最强^[16]。绿僵菌在 30~35℃ 范围内对东亚飞蝗的感染力最强^[17-19],说明不同的杀虫真菌感染昆虫最适温度存在差异。因此将球孢白僵菌和金龟子绿僵菌联合用于田间防治亚洲玉米螟,使最适感染温度范围变宽,从而提高防效。另一个能够使不同真菌杀虫剂联用具有协同增效作用的原因可能与这两种真菌在寄主体内分泌的不同毒素有关。白僵菌可以产生白僵菌素、白僵菌交酯、有机酸等^[20-22],绿僵菌产生腐败菌素、破坏素 a^[23-24],当多种毒素同时分泌在寄主昆虫体内时,可能存在一定的协同作用,加快昆虫的致死进程。研究表明 Bt 联合白僵菌或者绿僵菌对于害虫的防治具有协同增效作用,如对草地贪夜蛾^[11],亚洲玉米螟^[12]、翠纹钻夜蛾^[25]和棉铃虫^[26]等均具有显著增效作用。研究发现其增效机制是由于 Bt 的侵染降低了昆虫的免疫反应,从而加快了真菌孢子在昆虫表皮的萌发速度^[27]。本研究结果与先前报道结果刚好相反,Bt 与真菌杀虫剂联合使用防治亚洲玉米螟表现出拮抗作用。以往研究报道均是 Bt 与单一真菌杀虫剂相结合,Bt 与白僵菌联合或者 Bt 与绿僵菌联合防治害虫均能起到增效作用,本研究将 Bt 与球孢白僵菌和金龟子绿僵菌同时联合使用出现拮抗作用,可能是由于三者互相作用,相互干扰,致使毒力抵消,进而降低了防效。拮抗作用的具体原因还需进一步研究。

通过对蛀孔在玉米植株不同部位上的分布比较发现,无论是蛀孔数量还是蛀孔长度,雌穗上的危害程度接种组均低于 CK 组。表明微生物农药对亚洲玉米螟的致病作用虽然效果比较缓慢,但能控制二代玉米螟的发生数量,对玉米螟的种

群数量具有持续控制作用。

本研究将多种微生物农药联合用于田间防治亚洲玉米螟,进一步明确球孢白僵菌和金龟子绿僵菌联合应用是可行的,球孢白僵菌、金龟子绿僵菌和苏云金芽孢杆菌联用的可行性还需进一步验证。

参考文献:

- [1] 陈立玲,张庆贺,薛 争,等.吉林省玉米螟生物防治现状与展望[J].中国生物防治学报,2015,31(4):561-567.
- [2] 鲁 新,周淑香,李丽娟,等.吉林省不同地区亚洲玉米螟发生世代的变化[J].植物保护学报,2015,42(6):978-984.
- [3] Malvar R A, Butrón A, Ordás B, et al. Causes of natural resistance to stem borers in maize [M]. New York: Crop Protection Research Advances Nova Science Publishers, 2008:51-96.
- [4] 宋立秋,魏利民,王振营,等.亚洲玉米螟与串珠镰孢菌复合侵染对玉米产量损失的影响[J].植物保护学报,2009,36(6):487-490.
- [5] 宋立秋,石 洁,王振营,等.亚洲玉米螟为害对玉米链孢穗腐病发生程度的影响[J].植物保护,2012,38(6):50-53.
- [6] 周淑香,鲁 新,李丽娟,等.吉林省二代区亚洲玉米螟危害趋势研究[J].应用昆虫学报,2014,51(3):654-660.
- [7] 陈德春.自走式高秆作物喷杆喷雾机在二代玉米螟幼虫防治中的应用实践[J].现代农业,2019(1):50.
- [8] 徐庆丰,宋益良,杜长喜,等.白僵菌粉剂防治玉米螟研究[J].吉林农业科学,1988(4):44-46.
- [9] de Faria M R, Wraight S P. Mycoinsecticides and mycoacaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types[J]. Biological control, 2007, 43(3): 237-256.
- [10] 张 强,朱晓敏,骆家玉,等.白僵菌在田间自然环境中对玉米螟持续防效的初步研究[J].东北农业科学,2019,44(3):20-22,27.
- [11] 彭国雄,张淑玲,张 维,等.杀虫真菌与苏云金芽孢杆菌对草地贪夜蛾的联合室内杀虫活性研究[J].中国生物防治学报,2019,35(5):735-740.
- [12] 毛 刚,赵 宇,徐文静,等.白僵菌与苏云金芽孢杆菌水悬浮剂研制及田间防治玉米螟研究[J].玉米科学,2018,26(5):157-161.
- [13] 李春香,崔也平,李学梅.常用农药与球孢白僵菌复配对甜菜夜蛾的毒力研究[J].华北农学报,2008,23(S2):224,228.
- [14] Gangwar G P. Compatibility of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin with chemicals and bio-pesticides[J]. Annals of Plant Protection Sciences, 2013, 21(2): 360-363.
- [15] Agboton B V, Hanna R, Onzo A, et al. Interactions between the predatory mite *Typhlodromalus aripo* and the entomopathogenic fungus *Neozygites tanajoae* and consequences for the suppression of their shared prey/host *Mononychellus tanajoa*[J]. Experimental and Applied Acarology, 2013,60: 205-217.
- [16] 周仙红,范晓杰,曹 雨,等.低温对球孢白僵菌生物学特性及其对韭蛆毒力的影响[J].植物保护,2018,44(2):158-161.

(下转第141页)

- 模拟研究[J]. 中国环境监测, 2011, 27(4): 84-88.
- [14] 陈庆男. 天津市树木叶片含硫量与空气中二氧化硫污染关系的研究[J]. 生态学杂志, 1984(5): 15-19.
- [15] 赵彩婷, 任一艳. 二氧化硫(SO₂)治理方法探讨[J]. 广州化工, 2012, 40(12): 60-62.
- [16] 刘玉香. SO₂的危害及其流行病学与毒理学研究[J]. 生态毒理学学报, 2007, 2(2): 225-231.
- [17] 周旋, 李庆新, 严向东, 等. 硫酸厂SO₂事故排放对人体健康危害的评价[J]. 环境科学与技术, 2003, 26(S2): 58-59.
- [18] 王凯玺, 丁增伟, 张海金, 等. 谷子灌浆期叶片比叶重变化及产量关系研究[J]. 东北农业科学, 2016, 41(1): 32-34.
- [19] 杨成, 罗绪强, 王娅, 等. 电解铝厂周边蔬菜氟含量特征[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(11): 186-190.
- [20] 刘丽光, 任长林. 硫与硒在心肌损害中相关关系的实验研究[J]. 职业卫生与应急救援, 1997, 15(2): 73-74.
- [21] 陈毛华, 刘明广, 郭斌, 等. 阜阳市颍州区城郊菜地重金属污染调查与评价[J]. 东北农业科学, 2016, 41(3): 37-40.
- [22] Simon E, Harangi S, Baranyai E, et al. Influence of past industry and urbanization on elemental concentrations in deposited dust and tree leaf tissue[J]. Urban forestry & urban greening, 2016, 20: 12-19.
- [23] 洪渊, 黄俊华, 张冬鹏. 深圳市园林植物叶片含硫量的特点[J]. 生态科学, 2007, 26(2): 122-125.
- [24] Balsberg-Pahlsson A M. Effects of heavy-metal and SO₂ pollution on the concentrations of carbohydrates and nitrogen in tree leaves [J]. Canadian Journal of Botany, 2011, 67(7): 2106-2113.
- [25] 丁启夏. 兰州市区大气二氧化硫污染对蔬菜含硫量的影响[J]. 农业环境科学学报, 1987, 6(5): 35-36.
- [26] 杨晓晓, 杨丹, 方欢欢, 等. 3种地被植物对二氧化硫胁迫的生理响应[J]. 西北植物学报, 2016, 36(2): 361-369.
- [27] 曹洪法, Taylor O C. 低浓度SO₂长期暴露下菜豆的生长发育和气孔反应[J]. 环境科学学报, 1985, 5(2): 108-112.
- (责任编辑: 王 昱)

(上接第73页)

- [17] 刘银民, 程雨蒙, 李红梅, 等. 不同温度下绿僵菌对东亚飞蝗3龄蝗蛹的致病力影响[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(4): 642-647.
- [18] 岳梅, 雷仲仁, 孟涛, 等. 温度对绿僵菌LA菌株孢子萌发、酶活力及毒力的影响[J]. 植物保护, 2010, 36(2): 56-60.
- [19] 朱彬洲, 雷仲仁, 徐洪富, 等. 不同温湿度条件下绿僵菌LA菌株对东亚飞蝗的致病力[J]. 中国生物防治学报, 2010, 26(4): 448-452.
- [20] 樊金华, 谢映平, 薛皎亮, 等. 一株寄生油松毛虫的白僵菌毒素化学成分[J]. 微生物学报, 2008(5): 596-601.
- [21] 高英, 薛皎亮, 范三红, 等. 布氏白僵菌代谢毒素的分离纯化及其对油松毛虫幼虫的毒性研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3125-3133.
- [22] 胡丰林, 樊美珍, 李增智. 一种白僵菌代谢产物中生物活性物质的研究 I: 具有清除自由基的活性物质的分离和制备[J]. 菌物系统, 2000, 19(4): 522-528.
- [23] Vilcinskis A, Matha V, Gotz P. Effects of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* and its secondary metabolites on morphology and cytoskeleton of plasmatocytes isolated from the greater wax moth, *Galleria mellonella*[J]. Journal of Insect Physiology, 1997, 43(12): 1149-1159.
- [24] Kershaw M J, Moorhouse E R, Bateman R, et al. The role of destruxins in the pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* for three species of insects[J]. Journal of Invertebrate Pathology, 1999, 74(3): 213-223.
- [25] Wakil W, Ghazanfar M U, Riasat T, et al. Effects of interactions among *Metarhizium anisopliae*, *Bacillus thuringiensis* and chlorantraniliprole on the mortality and pupation of six geographically distinct *Helicoverpa armigera* field populations[J]. Phytoparasitica, 2013, 41(2): 221-234.
- [26] Ali K, Wakil W, Zia K, et al. Control of *Earias vittella* (Lepidoptera: Noctuidae) by *Beauveria bassiana* along with *Bacillus thuringiensis*[J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2015, 17: 773-778.
- [27] Yaroslavtseva O N, Dubovskiy I M, Khodyrev V P, et al. Immunological mechanisms of synergy between fungus *Metarhizium robertsii* and bacteria *Bacillus thuringiensis* ssp. *morrisoni* on Colorado potato beetle larvae[J]. Journal of Insect Physiology, 2017, 96(1): 14-20.
- (责任编辑: 王 昱)