

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2018.04.003

西花蓟马高毒力虫生真菌筛选及其生防应用潜力的研究进展

葛文超¹, 杜广祖¹, 赵永鑫¹, 张凌英¹, 户艳霞^{2*}, 孙军伟², 陈 斌^{1*}
¹云南农业大学植物保护学院, 生物多样性研究与应用技术国家工程中心, 云南 昆明 650201;
²云南省大理州烟草公司, 云南 大理 671000

摘要: 西花蓟马是一种外来入侵的世界性害虫, 对农林业危害巨大。查阅国内外相关文献, 综述了当前防治西花蓟马的虫生真菌的种类、高毒力菌株的筛选及防治现状。现已知西花蓟马的寄生病原真菌有 5 种, 包括蜡蚧轮枝菌(半知菌: 丝孢目)、球孢白僵菌(半知菌: 丝孢目)、金龟子绿僵菌(半知菌: 丝孢目)、玫瑰色棒束孢(半知菌: 束梗孢目)和小孢新接霉。其中, 球孢白僵菌、金龟子绿僵菌在西花蓟马的生物防治中应用最广, 具有良好的开发应用潜力, 部分防效好的虫生真菌已申请专利及实现工厂化生产。

关键词: 西花蓟马; 虫生真菌; 致病力; 生防菌株

Searching for highly virulent entomopathogenic fungi of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) and their potential applications in biocontrol

GE Wenchao¹, DU Guangzu¹, ZHAO Yongxin¹, ZHANG Lingying¹, HU Yanxia^{2*}, SUN Junwei², CHEN Bin^{1*}
¹National Engineering Center of the Research and Applied Techniques for Biodiversity of China, College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China; ²Dali Tobacco Company, Dali, Yunnan 671000, China

Abstract: The western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) is an important alien invasive pest in agriculture and forestry in China. Searching in the domestic and international literature, here we summarize information on species, and strain virulence of various entomopathogenic fungi as well as their use to control *F. occidentalis*. There were five species of entomopathogenic fungi reported to control *F. occidentalis*: *Lecanicillium lecanii* (Hyphomycetales), *Beauveria bassiana* (Hyphomycetales), *Metarhizium anisopliae* (Hyphomycetales), *Paecilomyces fumerosus* (Stilbellales) and *Neozygites parvispora*, among which *B. bassiana* and *M. anisopliae* were the most widely used and also had a good potential for further development and application to control *F. occidentalis*. Some entomopathogenic fungi with good control effect are patented and are in commercial production.

Key words: *Frankliniella occidentalis*; entomopathogenic fungi; virulence; biocontrol strain

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) 属缨翅目 Thysanoptera 蓟马科 Thripidae 花蓟马属, 是一种外来入侵的世界性农林害虫(吕要斌等, 2004)。西花蓟马食性杂, 寄主范围广, 可为害 60 多个科 500 多种植物, 且寄主谱有进一步扩大的趋势(万方浩和郑小波, 2005)。西花蓟马在取食和产卵过程中, 不仅直接为害寄主植物, 还可以传播植物病毒, 对农作物的产量和品质造成严重影响(吴青君等, 2005)。该虫在我国的适生区广, 对农林作物的威胁巨大。

西花蓟马个体小, 善于隐藏(若虫常藏匿于芽和花蕾里, 蛹多生活在土壤中), 繁殖力强。根据相关报道, 西花蓟马对有机磷、有机氯、氨基甲酸酯、拟除虫菊酯和多杀菌素类杀虫剂等都产生了不同程度的抗药性(Bielza *et al.*, 2007, 2008; Espinosa *et al.*, 2002; Fatih & Irfan, 2007), 为其防治造成很大困难。由于化学农药毒性高、残留量大、残效期长, 污染环

境,威胁人类健康(张琦等,2010; Carmelo & Vincenzo,2012),因此,寻找高效、安全的替代方法是解决西花蓟马防治问题的有效途径。

昆虫病原真菌作为一种重要的生物杀虫剂,由于其对环境无污染,对人和动物无害,杀虫谱广、致病性强,目前在国内外广泛应用(潘志萍等,2007; 翟锦彬等,1995; 钟锋等,2009; Hossein *et al.*, 2015; Iwona *et al.*, 2016)。但是,不同病原真菌菌株之间的生物学特性以及对靶标害虫的致病力存在显著差异。本文通过整理国内外相关文献,对球孢白僵菌、金龟子绿僵菌等真菌菌株对西花蓟马成虫、若虫和蛹的致病力进行了总结(Saito & Brownbridge, 2016; Se *et al.*, 2016),选出对西花蓟马具有高毒力的菌株,以期利用虫生真菌防治西花蓟马提供参考。

1 防治西花蓟马的虫生真菌种类

据报道,侵染西花蓟马的昆虫病原真菌主要有5种,多为半知菌亚门 Deutero-mycotina (张琦等, 2010),分别为蜡蚧轮枝菌 *Lecanicillium lecanii* (Zimmerman) Viegas (Vestergaard *et al.*, 1995)、金龟子绿僵菌 *Metarizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin (Azaizeh *et al.*, 2002; Svetlana *et al.*, 2008)、球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* Vuill (李娟等, 2015; Lee *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2014)、玫烟色拟青霉 *Paecilomyces fumerosus* (Bain.) (Ansari *et al.*, 2008) 和小孢新接霉 *Neozygites parvispora* (D.M. MacLeod & K.P. Carl) Remaud. & S. Keller (Montserrat *et al.*, 1998; Saito *et al.*, 1989)。近年来,关于西花蓟马虫生真菌毒力及应用研究主要为球孢白僵菌和金龟子绿僵菌。

2 虫生真菌的侵染机制

昆虫病原真菌孢子通过寄主体壁进行主动入侵感染,侵染过程中主要包括寄主识别、附着胞分化、穿透体壁、免疫拮抗及体内定殖等过程(吕丁丁等, 2008; Holder & Keyhani, 2005),由多种因素共同作用导致寄主昆虫死亡(李增智, 2015; 蒲蛰龙和李增智, 1996)。

昆虫病原真菌分生孢子附着到昆虫体表是虫生真菌侵染寄主的重要环节,有些虫生真菌的分生孢子通过分生孢子的细胞壁与昆虫表皮上皮细胞的疏水作用进行被动附着,也有分生孢子是特异性的主动附着,即通过病原真菌诱导分泌的胞外蛋白酶作用,使分生孢子牢固黏附在昆虫体壁上(Holder &

Keyhani, 2005)。

分生孢子附着在虫体上后,虫生真菌即进行识别寄主,其分生孢子萌发所形成的芽管分化形成附着胞等侵染结构,借助所形成的机械压力、降解酶、代谢物质和毒素的联合作用进而穿透昆虫体壁(Charnley & Leger, 1991)。蜡蚧轮枝菌穿透体壁的作用方式与上述不同,该虫生真菌的芽管没有分化形成附着胞,可以通过穿透寄主昆虫的角质层直接侵染,或在寄主表面的角质层大量定殖间接侵染(Schreiter *et al.*, 1994)。

虫生真菌通过芽管顶端的附着胞产生的侵入钉刺破体表进入血腔,在血腔中产生的菌丝段通过芽殖大量繁殖,并伴随着分泌一系列次生代谢物质等毒素,在这些毒素的共同作用下,虫生真菌通过一系列攻击反应击溃寄主的防御系统,进而获取寄主体内的营养物质迅速繁殖,大量摄取寄主体内营养最终导致寄主死亡(Schreiter *et al.*, 1994)。温度和湿度差异会影响菌丝生长,进而影响毒力高低。

3 西花蓟马虫生真菌高毒力菌株

评价虫生真菌菌株毒力通常用活体生测法(黄冬如等, 2006)。虫生真菌对昆虫的毒力随菌株、环境条件和寄主昆虫等不同。目前,常用的生物测定法有浸渍法和喷雾法,喷雾法较传统浸渍法可降低因浸渍接种时间差异带来的误差,对指导田间防治应用更有意义(陈斌等, 2012),一般都是从致死中浓度(LC₅₀)、致死中时间(LT₅₀)和死亡率3个方面来评价其对西花蓟马的致病力。

3.1 球孢白僵菌高毒力菌株

球孢白僵菌寄生范围广、致病性强、适应性强。据报道,球孢白僵菌的寄主包括750多种昆虫和10多种蛱和螨,是目前国内外研究最多、应用最广的昆虫病原真菌(李增智等, 2011; 蒲蛰龙和李增智, 1996; Butt *et al.*, 2002)。

李娟等(2015)在孢悬液浓度 1.0×10^7 个·mL⁻¹ 条件下测定了191株不同地理来源的球孢白僵菌对西花蓟马初羽成虫的毒力,筛选出61株高毒力的菌株,其LT₅₀均小于4.1 d,10 d后61株球孢白僵菌的累积校正死亡率均在90%以上,而空白对照的试虫在10 d的自然死亡率仅为15%,大多数处理中的试虫均在3~5 d达到死亡高峰。

袁盛勇等(2011a, 2011b)测定球孢白僵菌MZ050724菌株和MZ041016菌株对西花蓟马成、若

虫毒力,2 株菌株孢子浓度均为相同的 4 个浓度梯度 (3.6×10^5 、 3.6×10^6 、 3.6×10^7 和 3.6×10^8 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$)。结果表明,MZ050724 菌株在 4 个质量浓度下对西花蓟马成、若虫的毒力均在 50% 以上,最高死亡率分别达 87.21%、93.13%, LT_{50} 分别为 4.84、5.00 d;而 MZ041016 菌株对成、若虫的最高死亡率分别为 82.31%、87.21%, LT_{50} 分别为 5.39、5.09 d。2 株菌株对西花蓟马毒力差异的原因可能与菌株的寄主不同有关(Yvonne & Annette,2016)。

李银平等(2013)在孢悬液浓度 2.0×10^7 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 条件下从 33 株球孢白僵菌中筛选出了 4 株对西花蓟马成虫高毒力的菌株——球孢白僵菌 N-5、SZ-26、SZ-22 和 SZ-15,其 LT_{50} 分别为 3.822、4.171、4.538 和 4.742 d,累积校正死亡率均在 90% 以上。

王静等(2011)在 5 个不同孢子浓度下 (1.0×10^4 、 1.0×10^5 、 1.0×10^6 、 1.0×10^7 和 1.0×10^8 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$) 开展了白僵菌对西花蓟马若虫的致病力和对巴氏钝绥螨的影响的研究。结果表明,供试菌株对西花蓟马若虫均有致病性,校正死亡率为 18.33%~100%,其中菌株 TL-7、SZ-15 和 RSB 在 1×10^8 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 孢子浓度下的致死率分别为 90.8%、92.5% 和 100%; LT_{50} 分别为 3.844、3.342 和 2.383 d,显示出较高的毒力效果。

王雅卉等(2011)在 4 个不同孢子浓度下 (1.0×10^6 、 1.0×10^7 、 1.0×10^8 和 1.0×10^9 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$) 研究了球孢白僵菌对西花蓟马成虫的毒力及体表侵染特性。发现球孢白僵菌 CYT4 菌株对西花蓟马成虫的致死率随时间的增加而增加,接菌处理第 6 天时,试虫的累积校正死亡率分别为 83.57%、66.08%、49.78% 和 20.22%。

球孢白僵菌不同分离株对西花蓟马的毒力也不同,陈斌等(2012)研究发现,球孢白僵菌菌株 BbKM030716、BbJS080625、BbQJ031121 和 BbXW060615 这 4 个菌株的地理来源和寄主来源都不相同,在孢子浓度为 1.25×10^5 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 条件下 BbKM030716 菌株、BbJS080625 菌株的 LT_{50} 分别为 5.64、9.81 d,这 2 个菌株在相同浓度条件下的 LT_{50} 相差较大。实验是在室内 25℃ 条件下进行的,因此可排除温度这一因素(刘银泉等,2000;张素华等,2009),其原因可能是由于菌株的地理来源和寄主来源不同(单乐天和冯明光,2006;Fadi *et al.*,2015;Montserrat *et al.*,1998)。对上述总结的高毒力球孢白僵菌菌株见表 1。

3.2 金龟子绿僵菌高毒力菌株

金龟子绿僵菌是常用的广谱性昆虫寄生真菌,普遍存在于世界各地的土壤中。据报道,金龟子绿僵菌的寄主包括 200 多种昆虫,此外有部分线虫和螨类(何学友等,2011)。目前,正在使用金龟子绿僵菌防治的害虫包括甲虫、白蚁、沫蝉、蝗虫、褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stal)、小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.)、椰心叶甲 *Brontispa longissima* (Gestro)、红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren、马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* 和西花蓟马等(王磊等,2018;徐超和章应华,2017;郑亚强等,2016;Ansari *et al.*,2008;Azaizeh *et al.*,2002;Svetlana *et al.*,2008;Vestergaard *et al.*,1995;Zimmermann,1993)。该菌绿色无污染,对人畜无害,是一种有效的生防真菌(王鹏等,2010)。

目前,金龟子绿僵菌对西花蓟马的生防研究主要集中于国外。Vestergaard *et al.* (1995)采用浸渍生测法,在 1.0×10^7 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 孢子浓度下,接种后 7 d,金龟子绿僵菌 275 菌株对西花蓟马成虫的致死率可达到 94% 以上, LT_{50} 为 3.0 d。

Azaizeh *et al.* (2002)在 5.0×10^7 孢子 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度下,在温室内连续 3 个季节对金龟子绿僵菌 *M. a-7* 进行了研究。结果表明,喷施 *M. a-7* 菌液均可显著降低西花蓟马的种群密度。

Ansari *et al.* (2008)开展了昆虫病原真菌在植物生长介质中对西花蓟马土壤生活期的影响,结果表明,接种后 11 d,2 株金龟子绿僵菌菌株 V275 和 ERL700 的效果最好,可使西花蓟马若虫和蛹的死亡率达到 85%~96%。2 株金龟子绿僵菌的毒力均高于化学杀虫剂氟虫腈,造成该结果的原因可能是西花蓟马预蛹或蛹更易受真菌感染。

Svetlana *et al.* (2008)研究了接种单一和混合真菌对西花蓟马致病力,在 3 个不同孢子浓度下 (1.25×10^6 、 2.5×10^6 和 5.0×10^6 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$) 金龟子绿僵菌 ERL-49 菌株对西花蓟马若虫的致死率随浓度的增加而增加。在孢子浓度为 2.5×10^6 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 时,金龟子绿僵菌 ERL-49 菌株与拮抗真菌绿色木霉混合使用造成的累积死亡率高于单独使用金龟子绿僵菌 ERL-49 菌株。而在孢子浓度为 5.0×10^6 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 时,二者混合使用造成的累积死亡率低于单独使用金龟子绿僵菌 ERL-49 菌株。对上述总结的高毒力金龟子绿僵菌菌株见表 2。

表 1 对西花蓟马高毒力的球孢白僵菌菌株

Table 1 The highly virulent strains of *B. bassiana* against *F. occidentalis*

菌株 Strain	采集地 Site	寄主 Host	虫态 Stage	生测方法 Bioassay method	参考文献 Reference
GZGY-1-5	贵州贵阳 Guiyang, Guizhou	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
GZGY-1-6	贵州贵阳 Guiyang, Guizhou	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
GZGY-1-7	贵州贵阳 Guiyang, Guizhou	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
GZGY-2	贵州贵阳 Guiyang, Guizhou	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
GZGY-5	贵州贵阳 Guiyang, Guizhou	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HLJ-8	黑龙江 Heilongjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HLJ-11	黑龙江 Heilongjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HLJ-13	黑龙江 Heilongjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HLJ-16	黑龙江 Heilongjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HLJTL-12	黑龙江泰来 Tailai, Heilongjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HLJTL-15	黑龙江泰来 Tailai, Heilongjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HLJTL-19	黑龙江泰来 Tailai, Heilongjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HLJTL-21	黑龙江泰来 Tailai, Heilongjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HLJTL-23	黑龙江泰来 Tailai, Heilongjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HLJTL-41	黑龙江泰来 Tailai, Heilongjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HLJTL-42	黑龙江泰来 Tailai, Heilongjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HLJTL-43	黑龙江泰来 Tailai, Heilongjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HLJTL-45	黑龙江泰来 Tailai, Heilongjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HNLY-2	河南洛阳 Luoyang, Henan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HNLY-11	河南洛阳 Luoyang, Henan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HNLY-23	河南洛阳 Luoyang, Henan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HNLY-26	河南洛阳 Luoyang, Henan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HNLY-28	河南洛阳 Luoyang, Henan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HNLY-29	河南洛阳 Luoyang, Henan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
25HNLY-30	河南洛阳 Luoyang, Henan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HNLY-32	河南洛阳 Luoyang, Henan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HNLY-39	河南洛阳 Luoyang, Henan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HNLY-46	河南洛阳 Luoyang, Henan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HNLY-47	河南洛阳 Luoyang, Henan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
HNLY-58	河南洛阳 Luoyang, Henan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
JLGZL-1	吉林公主岭 Gongzhuling, Jilin	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
JLGZL-2	吉林公主岭 Gongzhuling, Jilin	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
JLGZL-3	吉林公主岭 Gongzhuling, Jilin	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
JLGZL-9	吉林公主岭 Gongzhuling, Jilin	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
JLGZL-14	吉林公主岭 Gongzhuling, Jilin	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
JLGZL-32	吉林公主岭 Gongzhuling, Jilin	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
JLNA	吉林农安 Nongan, Jilin	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
NMTL-2	内蒙通辽 Tongliao, Neimeng	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
NMTL-10	内蒙通辽 Tongliao, Neimeng	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
NMTL-11	内蒙通辽 Tongliao, Neimeng	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
NMTL-13	内蒙通辽 Tongliao, Neimeng	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
NMTL-15	内蒙通辽 Tongliao, Neimeng	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
NMTL-19	内蒙通辽 Tongliao, Neimeng	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
NMTL-21	内蒙通辽 Tongliao, Neimeng	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
SCWJ-1	四川温江 Wenjiang, Sichuan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
SCWJ-2	四川温江 Wenjiang, Sichuan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
SCWJ-4	四川温江 Wenjiang, Sichuan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
SCWJ-5	四川温江 Wenjiang, Sichuan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
SCWJ-6	四川温江 Wenjiang, Sichuan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
SCWJ-7	四川温江 Wenjiang, Sichuan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
SCWJ-9	四川温江 Wenjiang, Sichuan	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
SDDZ-2	山东德州 Dezhou, Shandong	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
SDDZ-8	山东德州 Dezhou, Shandong	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015

续表 1

菌株 Strain	采集地 Site	寄主 Host	虫态 Stage	生测方法 Bioassay method	参考文献 Reference
SDDZ-2	山东德州 Dezhou, Shandong	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
SDDZ-8	山东德州 Dezhou, Shandong	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
SDDZ-13	山东德州 Dezhou, Shandong	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
SDDZ-14	山东德州 Dezhou, Shandong	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
SDDZ-20	山东德州 Dezhou, Shandong	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
SDDZ-21	山东德州 Dezhou, Shandong	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
XJWLMQ-32	新疆乌鲁木齐 Urumchi, Xinjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
XJWLMQ-36	新疆乌鲁木齐 Urumchi, Xinjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
XJWLMQ-41	新疆乌鲁木齐 Urumchi, Xinjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
XJWLMQ-49	新疆乌鲁木齐 Urumchi, Xinjiang	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李娟等, 2015
MZ050724	云南蒙自 Mengzi, Yunnan	银纹夜蛾 <i>Argyrogramma agnata</i>	成虫、若虫 Adult, larva	浸渍法 Dipping	袁盛勇等, 2011a
N-5	吉林农安 Nongan, Jilin	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李银平等, 2013
SZ-26	辽宁绥中 Suizhong, Liaoning	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李银平等, 2013; Wu <i>et al.</i> , 2017
SZ-22	辽宁绥中 Suizhong, Liaoning	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	李银平等, 2013
SZ-15	辽宁绥中 Suizhong, Liaoning	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	王静等, 2011; 李银平等, 2013
TL-7	辽宁铁岭 Tieling, Liaoning	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	若虫 Larva	浸渍法 Dipping	王静等, 2011
RSB	北京 Beijing	二化螟 <i>Chilo suppressalis</i>	若虫 Larva	浸渍法 Dipping	王静等, 2011
NA-2	吉林农安 Nongan, Jilin	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	若虫 Larva	浸渍法 Dipping	王静等, 2011
CYT4	山东烟台 Yantai, Shandong	草履蚧 <i>Drosicha corpulenta</i>	成虫 Adult	喷雾法 Spraying	王雅卉等, 2011
BbKM030716	云南昆明 Kunming, Yunnan	桃蚜 <i>Myzus persicae</i>	成虫 Adult	喷雾法 Spraying	陈斌等, 2012
BbJS080625	云南建水 Jianshui, Yunnan	甘薯小象甲 <i>Cylas formicarius</i>	成虫 Adult	喷雾法 Spraying	陈斌等, 2012
BbQJ031121	云南曲靖 Qujing, Yunnan	果蝇 <i>Drosophila</i> sp.	成虫 Adult	喷雾法 Spraying	陈斌等, 2012
BbXW060615	云南宣威 Xuanwei, Yunnan	马铃薯块茎蛾 <i>Phthorimaea operculella</i>	成虫 Adult	喷雾法 Spraying	袁盛勇等, 2010
MZ060812	云南蒙自 Mengzi, Yunnan	银纹夜蛾 <i>Argyrogramma agnata</i>	成虫、若虫 Adult, larva	浸渍法 Dipping	袁盛勇等, 2010
MZ041016	云南蒙自 Mengzi, Yunnan	菜青虫 <i>Pieris rapae</i>	成虫、若虫 Adult, larva	浸渍法 Dipping	袁盛勇等, 2011b

表 2 对西花蓟马高毒力的金龟子绿僵菌菌株
Table 2 The highly virulent strains of *M. anisopliae* against *F. occidentalis*

菌株 Strain	采集地 Site	寄主 Host	虫态 Stage	生测方法 Bioassay method	参考文献 Reference
ERL-49	美国佛罗里达州 Florida, USA	棉铃虫 <i>Helicoverpa armigera</i>	若虫 Larva	喷雾法 Spraying	Svetlana <i>et al.</i> , 2008
<i>M. a-7</i>	以色列 Israel	甲虫 Coleoptera	成虫 Adult	喷雾法 Spraying	Azaizeh <i>et al.</i> , 2002
V275	澳大利亚 Austria	苹果蠹蛾 <i>Cydia pomonella</i>	若虫、蛹 Larva, nymphea	喷雾法 Spraying	Ansari <i>et al.</i> , 2008
ERL700	美国 USA	玉米夜蛾 <i>Spodoptera exigua</i>	若虫、蛹 Larva, nymphea	喷雾法 Spraying	Ansari <i>et al.</i> , 2008
275	德国 Germany	苹果蠹蛾 <i>Cydia pomonella</i>	成虫 Adult	浸渍法 Dipping	Vestergaard <i>et al.</i> , 1995

3.3 蜡蚧轮枝菌高毒力菌株

蜡蚧轮枝菌属寄主范围广泛,可寄生蚜虫、蚧类、蓟马等多种昆虫 (Vestergaard *et al.*, 1995)。

目前,针对蜡蚧轮枝菌对西花蓟马的研究报道国内外均较少。Vestergaard *et al.* (1995) 利用丝孢属真菌蜡蚧轮枝菌和金龟子绿僵菌对西花蓟马的致病性进行了研究,结果显示,在接种后 7 d,蜡蚧轮枝菌 VL4 菌株对西花蓟马若虫的累积死亡率仅为 36.8%,LT₅₀为 8.8 d(表 3)。其毒力相对于其他真菌较低,可能是由于蜡蚧轮枝菌穿透昆虫体壁的

作用方式与其他真菌不同(Schreiter *et al.*, 1994)。

3.4 玫烟色棒束孢高毒力菌株

玫烟色棒束孢原名玫烟色拟青霉,具有较强的生态适应能力,寄主范围广,可寄生 40 多种昆虫,对同翅目蚜虫、粉虱等刺吸式口器害虫具有很强的致病力(黄振等,2006)。

目前,国内还未见有关玫烟色棒束孢对西花蓟马影响的研究。Ansari *et al.* (2008) 研究发现,玫烟色棒束孢菌株 CLO 55 和 P34 在接种后 11 d,对西花蓟马若虫的累积死亡率为 63%~75%(表 3)。

表 3 对西花蓟马高毒力的蜡蚧轮枝菌菌株和玫烟色棒束孢菌株

Table 3 The highly virulent strains of *L. lecanii* and *P. fumerosus* against *F. occidentalis*

菌株 Strain	采集地 Site	寄主 Host	虫态 Stage	生测方法 Bioassay method	参考文献 Reference
ERL-65	法国博勒加德 Bellegarde, France	西花蓟马 <i>Frankliniella occidentalis</i>	若虫 Larva	喷雾法 Spraying	Vestergaard <i>et al.</i> , 1995
VL4	丹麦 Denmark	蚜虫 <i>Aphis</i> sp.	成虫、若虫 Adult, larva	浸渍法 Dipping	Vestergaard <i>et al.</i> , 1995
CLO 55	比利时 Belgium	土壤 Soil	若虫 Larva	喷雾法 Spraying	Ansari <i>et al.</i> , 2008
P34	英国 UK	土壤 Soil	若虫 Larva	喷雾法 Spraying	Ansari <i>et al.</i> , 2008

4 昆虫病原真菌的应用及展望

不同虫生真菌菌株对西花蓟马的 LC₅₀ 和 LT₅₀ 造成差异原因可能与菌株的地理来源和寄主来源 (Mohsen *et al.*, 2015; Muzammil & Shoaib, 2016; Pilz *et al.*, 2007)、温度和湿度 (崔璟辉等, 2012; 孙鲁娟等, 2001; He *et al.*, 2005)、供试西花蓟马虫源采集地、生物测定方法 (雷妍圆等, 2010)、侵染机制 (Vestergaard *et al.*, 1995) 等有关。如 Vestergaard *et al.* (1995) 在同一个实验中分别用蜡蚧轮枝菌和金龟子绿僵菌对西花蓟马进行生物测定, 处理后 7 d, 金龟子绿僵菌对西花蓟马的致死率可达 94% 以上, 而蜡蚧轮枝菌只有 20%~70%, 这种侵染机制的差异可能是其毒力较低的原因之一。

目前, 虫生真菌菌株的筛选都是在室内条件下进行, 筛选出的高毒力菌株在室内条件下对西花蓟马成虫、若虫及蛹都具有较高的毒力, 但在自然条件下感染的西花蓟马罹病虫体很少, 只有少数虫生真菌菌株应用于大田试验。关于其他真菌在田间自然条件下的侵染致病情况还有待进一步研究 (Mercy *et al.*, 2016)。

近些年来, 昆虫病原真菌作为生物杀虫剂被广泛用来防治各种害虫 (Sahayaraj & Karthick, 2008), 防效较好的真菌菌株已进行工厂化生产及专利申请 (Faria & Wraight, 2007), 如球孢白僵菌 (Botani Gard[®], Mycotrol[®] 和 Beauverin[®])、布氏白僵菌 (Betel[®])、蜡蚧轮枝菌 (Vertalec[®])、金龟子绿僵菌 (Met52[®], Bio-Catch-M[®] and Green Muscle[®])、黄绿绿僵菌 (Biogreen[®])、玫烟色棒束孢 (Preferal[®] and Priority[®]) 等。

王海鸿等 (2014) 对球孢白僵菌菌株 GZGY-1-3、SCWJ-2 已申请专利。在高温 42~46 ℃ 的大棚环境中, 这 2 种菌株侵染率高, 致病力强, 对西花蓟马 2 日龄成虫 8 d 内的累积死亡率达 84.3% 和 89%, LT₅₀ 分别为 4.17、4.14 d; 产孢量高, 分别为 3.87×

10⁸、3.82×10⁸ 个孢子·cm⁻²; 耐热性好, 45 ℃ 处理 2 h 后, 相对萌发率仍然高达 60.6% 和 79.4%。2 种菌株的各项综合指标表现良好, 可以有效防治蔬菜、花卉大棚中的西花蓟马。

Svetlana *et al.* (2008) 在研究中发现, 金龟子绿僵菌与拈抗真菌绿色木霉 *Trichoderma viride* 混合使用可显著提高其对西花蓟马若虫的致死率, 二者混合可作为广谱杀虫真菌剂。

此外, 虫生真菌对西花蓟马的天敌捕食螨类无毒力, 虫生真菌的分生孢子能在其体表附着和萌发, 但不能穿透体壁, 无法完成侵染 (Wu *et al.*, 2016)。王静 (2011) 开展了球孢白僵菌 RSB 与巴氏钝绥螨 *Neoseiulus barkeri* Hughes 对西花蓟马的联合作用及高效诱虫板的应用研究, 结果显示, 在日光温室与温室大棚试验中两者联合施用对西花蓟马的防治效果高于单独施用其中一种。吴圣勇 (2014) 开展了对白僵菌、巴氏新小绥螨和西花蓟马的互作关系研究, 结果与王静 (2011) 的研究结果基本相同, 研究进一步表明, 在温室中同时联合应用球孢白僵菌 SZ-26 和捕食螨, 对西花蓟马的防治无增效作用, 但间隔联合应用具有明显的增效作用。

当前, 化学防治仍是害虫防治中的主要方法, 这种防治方法造成的环境污染已引起了世人的广泛关注。我国每年因农药残留超标影响出口的损失高达 1000 亿元以上, 农药的大量及其不合理使用严重有害人畜健康并污染水资源体系, 且造成害虫的抗药性越来越高 (王利军等, 2010)。为解决当前农药大量使用带来的各种问题, 使用生物农药是一种重要的途径, 也为虫生真菌的研究提供了条件。然而, 虫生真菌生物多样性丰富, 不同种类的虫生真菌对不同种类害虫的毒力不同, 因此, 加强对西花蓟马虫生真菌种类及高毒力菌株的筛选研究, 仍是西花蓟马虫生真菌开发利用的基础。

参考文献

- 陈斌, 张琦, 桂富荣, 何永红, 刘云龙, 李正跃, 肖关丽, 2012. 球孢白僵菌不同分离株对西花蓟马的毒力测定. 生物安全学报, 21(1): 14-19.
- 崔璟辉, 谭周进, 陈浩涛, 2012. 不同温湿度下球孢白僵菌对甜菜夜蛾幼虫的致病力. 江西农业学报, 24(5): 41-43.
- 何恒果, 李正跃, 陈斌, 文良柱, 2004. 虫生真菌对害虫防治的研究与应用. 云南农业大学学报, 19(2): 167-173.
- 黄冬如, 雷仲仁, 问锦曾, 2006. 绿僵菌的生物学特征及其致病机理研究进展. 广西植保, 19(2): 12-14.
- 何学友, 蔡守平, 童应华, 熊瑜, 黄勇, 谢家冬, 陈顺立, 2011. 球孢白僵菌和金龟子绿僵菌不同菌株对黑足角胸叶甲成虫的致病力评价. 昆虫学报, 54(11): 1281-1287.
- 黄振, 任顺祥, 吴建辉, 2006. 玫烟色拟青霉和吡虫啉对烟粉虱种群的联合控制作用. 生态学报, 26(10): 3250-3257.
- 吕要斌, 贝亚维, 林文彩, 章金明, 2004. 西花蓟马的生物学特性、寄主范围及危害特点. 浙江农业学报, 16(5): 317-320.
- 李娟, 吴圣勇, 王晓青, 王帅宇, 雷仲仁, 2015. 防治西花蓟马的球孢白僵菌菌株筛选及耐热性测定. 中国生物防治学报, 31(6): 845-852.
- 李银平, 雷仲仁, 王海鸿, 2013. 对西花蓟马高效的球孢白僵菌菌株筛选及产孢特性研究. 中国生物防治学报, 29(2): 219-226.
- 刘银泉, 冯明光, 刘树生, 张宝鑫, 2000. 不同温度下球孢白僵菌对桃蚜的毒力. 中国生物防治, 16(2): 56-60.
- 雷妍圆, 吕利华, 何余容, 2010. 不同接种方式下球孢白僵菌对小菜蛾的致病力. 植物保护, 36(6): 142-146.
- 李增智, 2015. 我国利用真菌防治害虫的历史、进展及现状. 中国生物防治学报, 31(5): 699-711.
- 李增智, 黄勃, 陈名君, 王滨, 樊美珍, 2011. 分子时代的白僵菌研究. 菌物学报, 30(6): 823-835.
- 潘志萍, 吴伟南, 刘惠, 方小端, 郭明昉, 2007. 入侵害虫西花蓟马综合防治进展的概述. 昆虫天敌, 29(2): 76-83.
- 蒲哲龙, 李增智, 1996. 昆虫病原真菌学. 合肥: 安徽科学技术出版社.
- 单乐天, 冯明光, 2006. 不同寄主及地理来源的 16 株绿僵菌对桃蚜的毒力比较. 微生物学报, 46(4): 602-607.
- 孙鲁娟, 吴孔明, 郭予元, 2001. 不同温、湿度下白僵菌对棉铃虫幼虫的致病力. 昆虫学报, 44(4): 501-506.
- 万方浩, 郑小波, 2005. 重要农林外来入侵物种的生物学与控制. 北京: 科学出版社.
- 吴青君, 张友军, 徐宝云, 朱国仁, 2005. 入侵害虫西花蓟马的生物学、危害及防治技术. 昆虫知识, 42(1): 11-14.
- 王利军, 谭万忠, 罗华东, 杜喜翠, 2010. 虫生真菌及其在害虫生物控制中的应用现状及展望. 河南农业科学 (4): 119-125.
- 王静, 雷仲仁, 徐洪富, 高玉林, 王海鸿, 2011. 白僵菌对西花蓟马若虫的致病力和对巴氏钝绥螨的影响. 中国生物防治学报, 27(4): 479-484.
- 王静, 2011. 球孢白僵菌与巴氏钝绥螨对西花蓟马的联合作用及高效诱虫板的应用. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.
- 王雅卉, 郑长英, 王俊平, 2011. 球孢白僵菌对西花蓟马成虫的毒力及体表侵染的扫描电镜观察. 中国生物防治学报, 27(3): 324-330.
- 王磊, 许益鏊, 李梓琳, 曾玲, 陆永跃, 2018. 三株金龟子绿僵菌对红火蚁的致病力测定. 环境昆虫学报, 40(4): 820-824.
- 王鹏, 张亚波, 舒金平, 邓顺, 王浩杰, 2010. 金龟子绿僵菌小孢变种对筛胸梳爪甲幼虫致病力的生物测定. 中国生物防治学报, 26(3): 274-279.
- 吴圣勇, 2014. 白僵菌、巴氏新小绥螨和西花蓟马间的互作关系研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院.
- 徐超, 童应华, 2017. 金龟子绿僵菌对椰心叶甲的致病力. 森林与环境学报, 37(2): 212-217.
- 袁盛勇, 孔琼, 张宏瑞, 王平, 孙士卿, 李正跃, 肖春, 2011a. 球孢白僵菌对西花蓟马成虫和若虫的毒力研究. 西南大学学报(自然科学版), 33(6): 54-57.
- 袁盛勇, 张宏瑞, 孔琼, 李正跃, 骆弟乾, 王学丽, 董丽玲, 2010. 球孢白僵菌 MZ060812 菌株对西花蓟马的致病性研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 38(3): 145-149.
- 袁盛勇, 张宏瑞, 孔琼, 王平, 孙士卿, 李正跃, 肖春, 2011b. 球孢白僵菌 MZ041016 菌株对西花蓟马的毒力测定. 华中农业大学学报, 30(2): 197-199.
- 张琦, 王晶晶, 李正跃, 陈斌, 2010. 西花蓟马天敌种类及主要种类的控害潜能. 植物保护, 36(4): 41-48.
- 翟锦彬, 黄秀梨, 许萍, 1995. 杀虫真菌——球孢白僵菌的昆虫致病机理研究近况. 微生物学通报, 22(1): 45-48.
- 张素华, 雷仲仁, 范淑英, 问锦曾, 2009. 不同温度下 4 株白僵菌对西花蓟马的致病力. 植物保护, 35(6): 64-67.
- 张友军, 吴青君, 徐宝云, 朱国仁, 2003. 危险性外来入侵有害生物——西花蓟马在北京发生危害. 植物保护, 29(4): 58-59.
- 郑亚强, 宋盛杰, 陈斌, 肖关丽, 杨磊, 罗春萍, 李正跃, 2016. 金龟子绿僵菌 KMa0107 对马铃薯块茎蛾的侵染致病效应. 云南农业大学学报, 31(6): 999-1005.
- 钟锋, 吕利华, 高燕, 何余容, 李小玺, 张金强, 李世茂, 2009. 西花蓟马的危害及生物防治研究进展. 广东农业科学 (8): 120-123.
- ANSARI M A, BROWNBRIDGE M, SHAH F A, BUTT T M, 2008. Efficacy of entomopathogenic fungi against soil-dwell-

- ing life stages of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, in plant-growing media. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 127(2): 80–87.
- AZAIZEH H, GINDIN G, SAID O, BARASH I, 2002. Biological control of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* in cucumber using the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Phytoparasitica*, 30(1): 18–24.
- BIELZA P, QUINTO V, CONTRERAS J, TORNE M, MARTIN A, ESPINOSA P J, 2007. Resistance to spinosad in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), in greenhouses of south-eastern Spain. *Pest Management Science*, 63: 682–687.
- BIELZA P, QUINTO V, GRAVALOS C, FERNANDEZ E, ABELLAN J, 2008. Impact of production system on development of insecticide resistance in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Economic Entomology*, 101(5): 1685–1690.
- BUTT T M, JACKSON C, MAGAN N, 2002. Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential. *Plant Pathology*, 51: 518–521.
- CARMELO P B, VINCENZO V, 2012. Influences of botanical pesticides and biological agents on orius laevigatus — *Frankliniella occidentalis* dynamics under greenhouse conditions. *Journal of Plant Protection Research*, 52(1): 15–23.
- ESPINOSA P J, BIELZA P, CONTRERAS J, LACASA A, 2002. Insecticide resistance in field populations of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in Murcia (south-east Spain). *Pest Management Science*, 58: 967–971.
- FADI O Q, MOHAMMAD I A, RADWAN M B, 2015. Effectiveness of *Beauveria bassiana* native isolates in the biological control of the Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*). *Advances in Entomology*, 3: 44–55.
- FARIA M R D, WRIGHT S P, 2007. Mycoinsecticides and mycoacaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biological Control*, 43(3): 237–256.
- FATIH D, IRFAN T, 2007. Insecticide resistance in *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) collected from horticulture and cotton in Turkey. *Australian Journal of Entomology*, 46: 320–324.
- HE Y R, LU L H, KUANG Z B, FENG X, CHEN H Y, WU Y J, 2005. Effect of temperature and humidity on the virulence of beetle-derived *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Deuteromycetes: Moniliales) against the daikon leaf beetle, *Phaedon brassicae* Baly (Coleoptera: Chrysomelidae). *Acta Entomologica Sinica*, 48(5): 679–686.
- HOLDER D J, KEYHANI N O, 2005. Adhesion of the entomopathogenic fungus *Beauveria* (*Cordyceps*) *bassiana* to substrata. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(9): 5260–5266.
- HOSSEIN F, ARASH Z, HASSAN H, MOHAMMAD M S, 2015. Purification and characterization of the cuticle-degrading proteases produced by an isolate of *Beauveria bassiana* using the cuticle of the predatory bug, *Andrallus spinidens* Fabricius (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Plant Protection Research*, 55(2): 179–186.
- IWONA S, ELZBIETA P N, ROBERT W, ALICJA S, TOMASZ J, ELZBIETA P, DOROTA T, IWONA P, 2016. The role of fungus *Beauveria bassiana* in reducing the number of *Pissodes castaneus* (Col., Curculionidae) in young forests. *Folia Forestalia Polonica, Series A-Forestry*, 58(4): 214–219.
- LEE S J, KIM S, KIM J C, MI R L, HOSSAIN M S, SHIN T S, KIM T H, KIM J S, 2017. Entomopathogenic *Beauveria bassiana*, granules to control soil-dwelling stage of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, (Thysanoptera: Thripidae). *Biocontrol*, 62(5): 1–10.
- MOHAMED E, AHLEM H, ESSIA L S, CHERMITI B, 2018. *Orius laevigatus* (Insecta; Heteroptera) local strain, a promising agent in biological control of *Frankliniella occidentalis* (Insecta; Thysanoptera) in protected pepper crops in Tunisia. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 3(1): 1–6.
- MOHSEN A H, REZA T H, QODRAT S, 2015. Simultaneous use of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and *Diatomaceous earth* against the larvae of Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 6: 501–507.
- MONTERRAT M, CASTANE C, SANTAMARIA S, 1998. *Neozygites parvispora* Zygomycotina; entomophthorales causing an epizootic in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on cucumber in Spain. *Journal of Invertebrate Pathology*, 71(2): 165–168.
- MURIGU M M, NANA P, WARUIRU R M, NGA'NGA' C J, EKESI S, MANIANIA N K, 2016. Laboratory and field evaluation of entomopathogenic fungi for the control of amitraz-resistant and susceptible strains of *Rhipicephalus decoloratus*. *Veterinary Parasitology*, 225: 12–18.
- MUZAMMIL F, SHOAIB F, 2016. Infectivity of house fly, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) to different entomopathogenic fungi. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47(4): 807–816.

- PILZ C, WEGENSTEINER R, KELLER S, 2007. Selection of entomopathogenic fungi for the control of the western corn rootworm *Diabrotica virgifera virgifera*. *Journal of Applied Entomology*, 131(6): 426–431.
- SAHAYARAJ K, KARTHICK R N S, 2008. Mass production of entomopathogenic fungi using agricultural products and by products. *African Journal of Biotechnology*, 7 (12): 1907–1910.
- SCHREITER G, BUTT T M, BECKT A, VESTERGAARD S, MORITZ G, 1994. Invasion and development of *Verticillium lecanii* in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Mycological Research*, 98(9): 1025–1034.
- SVETLANA G, VLADIMIR G, MARGARET S, BRUCE P, JOSE M, MAGARITA S, 2008. Mortality of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, under influence of single and mixed fungal inoculations. *Journal of Agricultural Technology*, 4(2): 37–47.
- VESTERGAARD S, GILLESPIE A T, BUTT T SCHREITER M G, EILENBERG J, 1995. Pathogenicity of the hyphomycete fungi *Verticillium lecanii* and *Metarhizium anisopliae* to the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Biocontrol Science and Technology*, 5(2): 185–192.
- WU S Y, HE Z, WANG E D, XU X N, LEI Z R, 2017. Application of *Beauveria bassiana* and *Neoseiulus barkeri* for improved control of *Frankliniella occidentalis* in greenhouse cucumber. *Crop Protection*, 96: 83–87.
- WU S Y, GAO Y L, GUY S, XU X N, LEI Z R, 2016. Interactions between the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and the predatory mite *Neoseiulus barkeri* and biological control of their shared prey/host *Frankliniella occidentalis*. *Biological Control*, 98: 43–51.
- WU S Y, GAO Y L, ZHANG Y P, WANG E D, XU X N, LEI Z R, 2014. An entomopathogenic strain of *Beauveria bassiana* against *Frankliniella occidentalis* with no detrimental effect on the predatory mite *Neoseiulus barkeri*: evidence from laboratory bioassay and scanning electron microscopic observation. *PLoS ONE*, 9(1): e84732.
- YVONNE R, ANNETTE R, 2016. Endophytic *Beauveria bassiana* in grapevine *Vitis vinifera* (L.) reduces infestation with piercing-sucking insects. *Biological Control*, 116: 82–89.

(责任编辑:郭莹)