

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2022.03.013

2 株烟粉虱高致病力病原棒束孢菌株的毒力测定

任丽梅¹, 苏正钦², 欧达², SHAUKAT Ali², 邱宝利³

1. 广西大学 农学院植物科学国家级实验教学示范中心, 南宁 530004;
2. 华南农业大学 生物防治教育部工程研究中心, 广州 510642;
3. 重庆师范大学 媒介昆虫重庆市重点实验室, 重庆 401331

摘 要: 烟粉虱(*Bemisia tabaci*)是世界性分布且危害严重的蔬菜花卉害虫。由于烟粉虱的抗药性及传统化学药剂施用潜在的负面影响, 利用病原微生物、天敌昆虫等开展烟粉虱的生物防治一直是国内外学者们研究的重点与热点之一。本研究在室内条件下, 分析了爪哇棒束孢(*Isaria javanica*) GZQ-1 菌株和玫烟色棒束孢(*Isaria fumosorosea*) YMS01 菌株对烟粉虱(MEAM1 隐种)不同虫态的致病力。结果表明, 2 种棒束孢昆虫病原真菌均能侵染烟粉虱各个龄期, 且随着孢子浓度的升高, 烟粉虱的死亡率不断上升; 在 1×10^8 孢子/mL 时, 2 株棒束孢对烟粉虱 2 龄若虫的感染致死率分别达到 92.68% 和 78.12%; 此外, 2 株棒束孢菌株对 2 龄若虫的致病力回归方程分别为 $y=0.421x-1.665$, $y=0.33x-1.646$, LC_{50} 值分别为 9.01×10^3 孢子/mL 和 9.74×10^4 孢子/mL, LT_{50} 为 3.05 d 和 4.56 d。综上所述, 本研究所评价的 2 株棒束孢均对烟粉虱有较高的致病力, 且爪哇棒束孢对烟粉虱致病力优于玫烟色棒束孢, 可以将 2 株棒束孢作为烟粉虱的优良生防菌株开展更深入的应用研究。

关 键 词: 爪哇棒束孢; 玫烟色棒束孢;

昆虫病原真菌; 烟粉虱; 生物防治

中图分类号: S435.72

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2022)03-0086-08

Pathogenicity Evaluation of Two *Isaria* strains for Whitefly *Bemisia tabaci* Biological Control

REN Limei¹, SU Zhengqin², OU Da²,
SHAUKAT Ali², QIU Baoli³

1. National Demonstration Center for Experimental Plant Science Education, College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, China;
2. Engineering Research Center of Biological Control, Ministry of Education, Guangzhou 510642, China;
3. Chongqing Key Laboratory of Vector Insects, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China

收稿日期: 2022-06-01

基金项目: 广东省重点研发计划项目(2018B020205003); 国家重点研究计划(2017YFD0200406)项目。

作者简介: 任丽梅, 博士研究生, 主要从事植物保护研究。

通信作者: 邱宝利, 教授, 博士研究生导师。

Abstract: *Bemisia tabaci* is a serious agricultural pest across the world. Entomopathogenic fungi, being an important external control factor of natural ecological regulation, can effectively reduce the number of pests through infection of insect thus showing an ideal control effect. This study investigated the pathogenicity of two *Isaria* strains, *I. javanica* GZQ-1 and *I. fumosorosea* YMS01, against the Middle East-Asia Minor (MEAM1) cryptic species of *B. tabaci*. The results showed that both strains can infect all the life stages of *Bemisia tabaci* and virulence was enhanced in a dose depend manner. The pathogenicity of *I. javanica* GZQ-1 and *I. fumosorosea* YMS01 (when the concentration was 1×10^8 conidia/mL) to the 2nd instar nymphs of *B. tabaci* was 92.68% and 78.12%, respectively, the regression equations for *I. javanica* GZQ-1 and *I. fumosorosea* YMS01 pathogenicity were $y = 0.421x - 1.665$, $y = 0.33x - 1.646$, respectively. The median lethal concentration (LC_{50}) of *I. javanica* GZQ-1 and *I. fumosorosea* YMS01 to the 2nd instar nymphs were 9.01×10^3 and 9.74×10^4 conidia/mL, respectively, while their median lethal time (LT_{50}) values to whitefly were 3.051 days and 4.557 days, respectively. In summary, the two *Isaria* strains used in current experiment can be excellent biological control agents of *B. tabaci*, and the pathogenic potential of *I. javanica* GZQ-1 was higher than *I. fumosorosea* YMS01. These results will improve the overall knowledge on application of entomopathogenic fungi for biological control of *B. tabaci*.

Key words: *Bemisia tabaci*; *Isaria fumosorosea*; entomopathogenic fungi; *Bemisia tabaci*; biological control

烟粉虱(*Bemisia tabaci*), 属半翅目(Hemiptera)粉虱科(Aleyrodidae), 是我国重要的世界性入侵害虫。烟粉虱世代重叠, 繁殖速度快, 短期内暴发即可造成严重危害^[1]。昆虫病原真菌作为害虫的重要病原微生物, 是昆虫病原微生物里最大的类群, 在害虫种群消长方面起着重要调控作用^[2], 在环境友好型生物农药中也占据着重要地位^[3]。昆虫病原真菌自身具有致病力强、种类多、分布范围广等多种优势, 推动了很多商业微生物杀虫剂得到开发和应用^[4-6], 其中棒束孢属(*Isaria*)病原真菌, 作为分布广泛的昆虫病原真菌类群, 经常用于害虫的生物防治中^[7-8]。

在棒束孢属病原真菌中, 玫烟色棒束孢(*Isaria fumosorosea*)和爪哇棒束孢(*Isaria javanica*)是2个重要的代表性种类。玫烟色棒束孢, 旧称玫烟色拟青霉(*Paecilomyces fumosoroseus*), 分布广泛, 且有丰富的寄主资源, 包括半翅目、膜翅目、鞘翅目和鳞翅目等昆虫^[9], 是重要的昆虫病原真菌之一^[10]。同大多数昆虫病原真菌一样, 玫烟色棒束孢具有自身致病力强、种类多等害虫生物防治优势^[11-12], 逐渐被应用到小菜蛾(*Plutella xylostella*)、菜青虫(*Pieris rapae*)和烟粉虱(*Bemisia tabaci*)等害虫防治里^[13-15]。爪哇棒束孢(*Isaria javanica*)作为棒束孢属的一个重要种, 同样具有棒束孢属昆虫病原真菌致病力强、分布广泛等特性, 其致病性影响因素类似于玫烟色棒束孢。

毒力是衡量真菌菌株生物防治潜力重要评价指标之一^[6], 也是优劣菌株的区别所在。不同菌株对昆虫侵染能力存在差异^[16], 很多优良菌株的筛选都是通过对靶标昆虫致病力进行测定而实现的。在前期采集、鉴定的基础上, 本研究选择玫烟色棒束孢和爪哇棒束孢菌株各1株, 分别研究其对烟粉虱的致病力, 以期棒束孢菌株商品化开发提供参考, 进一步推进烟粉虱生物防治工作。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试烟粉虱

烟粉虱种群(中东-小亚细亚1隐种, MEAM1)最初采自华南农业大学教学农场, 以棉花

(品种为“鲁棉32号”)作为寄主植物扩繁饲养,保存于生物防治教育部工程研究中心实验室内,繁殖多代用于试验。

1.1.2 供试菌株

供试棒束孢菌株为玫烟色棒束孢 YMS01 菌株和爪哇棒束孢 GZQ-1 菌株,采集于华南农业大学长岗山,寄主分别为烟粉虱和柑橘木虱,后继代保存于生物防治教育部工程研究中心,试验时转接到新的马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA 培养基)上,培养2周后用于试验。

1.2 试验方法

分生孢子悬浮液配制的具体方法是:利用接种环将2株菌株刮取到放有1%吐温-80的烧杯里,经磁力搅拌器搅拌,待完全均匀打散后,用4层滤纸过滤,利用血球计数板在40倍物镜下计数。最终配制孢子悬浮液浓度分为 1×10^8 , 1×10^7 , 1×10^6 , 1×10^5 , 1×10^4 , 1×10^3 孢子/mL,进一步测定分生孢子活性后备用。然后进行以下试验操作。

1.2.1 爪哇棒束孢和玫烟色棒束孢对烟粉虱不同龄期的致病力

为保证寄主植物各种生理指标统一,棉花植株采用相同营养土种植到同种规格的花盆里。在相同的环境条件下培养,定期浇水施肥,尽量保证棉花植株长势良好且一致。利用实验室自制接虫盒接入烟粉虱成虫,24 h后移走粉虱成虫,待叶片上烟粉虱若虫长到适宜龄期,进行试验。

若虫试验,采用浸渍法。选取棉花叶片分别带有烟粉虱1龄、2龄、3龄、4龄若虫浸入孢子悬浮液15 s(1×10^8 孢子/mL),每叶至少50头若虫,每个处理重复5次,用1%的吐温-80作为对照。然后将棉花叶片放到有琼脂(10 g/L)的培养皿里,用扎孔的保鲜膜封口,把培养皿置于人工气候箱(温度为26~27℃,相对湿度为75%~80%,光照条件为14L:10D)中培养,连续记录烟粉虱若虫7 d死亡率。

成虫实验,用干净的棉花叶片浸入孢子悬浮液15 s,自然风干菌液后,将棉花叶片放到有琼脂(10 g/L)的培养皿里,接入烟粉虱成虫(不分雌雄),用扎孔的保鲜膜封口,用1%的吐温-80作为对照。每个培养皿50头烟粉虱成虫,每个处理重复5次。培养条件同上一步操作,连续观察记录烟粉虱成虫7 d死亡率。

1.2.2 不同浓度爪哇棒束孢和玫烟色棒束孢对烟粉虱二龄若虫的致病力

将有烟粉虱2龄若虫取食的棉花叶片浸入GZQ-1菌株和YMS01菌株不同浓度的孢子悬浮液15 s(1×10^8 , 1×10^7 , 1×10^6 , 1×10^5 , 1×10^4 , 1×10^3 孢子/mL),用1%的吐温-80作为对照。其他操作同1.2.1。

1.3 数据处理与统计学分析

累计死亡率=样本死亡虫数/样本总虫数;

累计校正死亡率(%)=(处理区死亡率-对照区死亡率)/(1-对照区死亡率) $\times 100\%$ 。

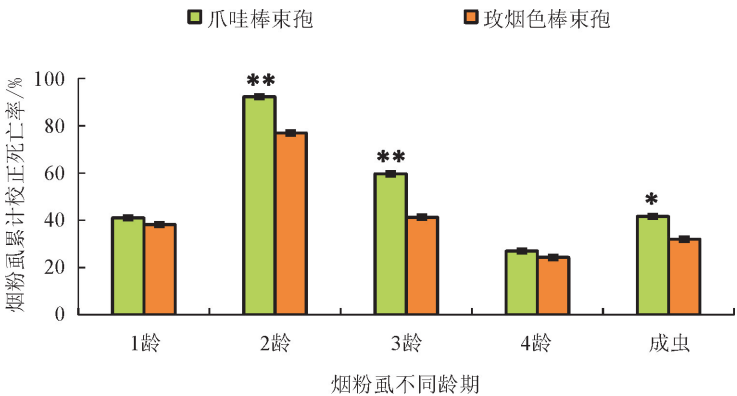
所有数据采用Excel和SPSS 19.0进行分析,对于多个样本的多重比较,采用单因素方差分析中的Tukey's多重比较法分析其差异性;对于2个样本间的均值比较,采用t检验分析差异水平,LC₅₀和LT₅₀采用Probit概率分析法进行分析。

2 结果与分析

2.1 爪哇棒束孢和玫烟色棒束孢对烟粉虱不同龄期的致病力

试验分别评价了爪哇棒束孢和玫烟色棒束孢孢子悬浮液浓度为 1×10^8 孢子/mL时对烟粉虱不同龄期的致病力。根据烟粉虱不同龄期第7 d的累计校正死亡率结果可以看出,玫烟色棒

束孢 YMS01 菌株和爪哇棒束孢 GZQ-1 菌株对烟粉虱各龄期均有防效,尤其是 2 龄若虫死亡率最高. 爪哇棒束孢对烟粉虱各龄期致病力由高到低分别为 2 龄(92.33%)、3 龄(59.67%)、成虫(41.67%)、1 龄(41.00%)和 4 龄(27.01%),各龄期之间差异有统计学意义($F=621.978$; $df=4, 10$; $p<0.001$); 玫烟色棒束孢为 2 龄(77.00%)、3 龄(41.33%)、1 龄(38.21%)、成虫(32.00%)和 4 龄(24.33%),致死率差异有统计学意义($F=512.787$; $df=4, 10$; $p<0.001$). 此外,爪哇棒束孢对烟粉虱 2 龄、3 龄若虫以及成虫的致死率显著高于玫烟色棒束孢(图 1).

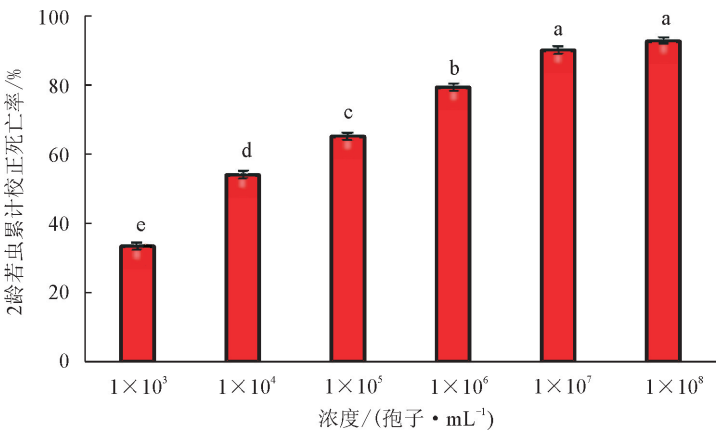


数据为平均值±标准误, * 表示在 0.05 水平上差异有统计学意义, ** 表示在 0.01 水平上差异有统计学意义.

图 1 爪哇棒束孢 GZQ-1 和玫烟色棒束孢 YMS01 对烟粉虱各龄期致病力

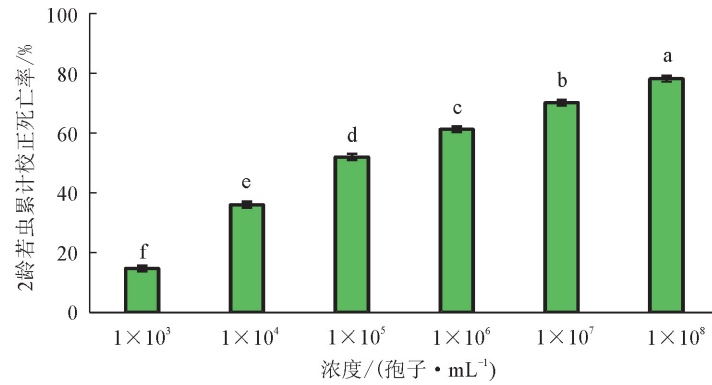
2.2 不同浓度爪哇棒束孢和玫烟色棒束孢对烟粉虱 2 龄若虫的致病力

依据上述研究结果可知, 2 株昆虫病原真菌均对烟粉虱 2 龄若虫致病力高. 因此本试验继续选择烟粉虱 2 龄若虫作为研究对象, 评价了不同孢子浓度对 2 龄若虫致病力. 结果如图 2 和图 3 所示, 由结果可知, 当采用不同浓度的孢子悬浮液处理烟粉虱 2 龄若虫时, 随着孢子浓度的增加, 烟粉虱累计校正死亡率逐渐升高. 当浓度为 1×10^8 孢子/mL 和 1×10^7 孢子/mL 时, 爪哇棒束孢 GZQ-1 菌株对烟粉虱 2 龄若虫致死率没有差异, 但与其他浓度之间的差异有统计学意义($F=233.069$; $df=5, 12$; $p<0.001$). 玫烟色棒束孢 YMS01 菌株各龄期间致病力差异有统计学意义($F=397.611$; $df=5, 12$; $p<0.001$).



不同小写字母表示差异有统计学意义($p<0.005$).

图 2 不同浓度爪哇棒束孢 GZQ-1 对烟粉虱 2 龄若虫的致病力



不同小写字母表示差异有统计学意义($p < 0.005$).

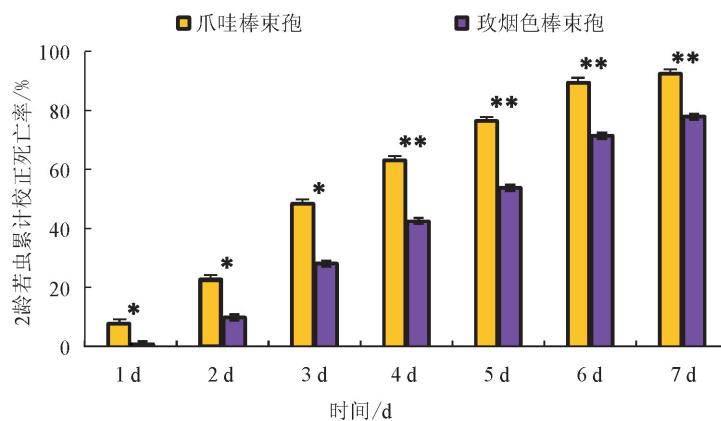
图 3 不同浓度玫烟色棒束孢 YMS01 对烟粉虱 2 龄若虫的致病力

通过 SPSS 9.0 软件分析, 得到 2 株昆虫病原真菌的致病力回归方程及相关参数, 结果显示, 爪哇棒束孢和玫烟色棒束孢对 2 龄若虫的致病力回归方程分别为 $y = 0.421x - 1.665$, $y = 0.33x - 1.646$; χ^2 分别是 6.356 和 5.149, 相关系数 r 是 0.932 和 0.972, 致死中浓度 LC_{50} 分别是 9.01×10^3 和 9.74×10^4 孢子/mL. 从而可见, 2 个 LC_{50} 之间差值较大, 表明 2 株昆虫病原真菌杀死 50% 的烟粉虱 2 龄若虫浓度相差较大, 爪哇棒束孢 GZQ-1 菌株对烟粉虱致病力高于玫烟色棒束孢 YMS01 菌株(表 1).

表 1 爪哇棒束孢 GZQ-1 和玫烟色棒束孢 YMS01 对烟粉虱 2 龄若虫致病力的致死中浓度 (LC_{50})

菌株	回归方程	LC_{50} /(孢子·mL ⁻¹)	95% 置信区间/(孢子·mL ⁻¹)	χ^2	相关系数(r)
爪哇棒束孢	$y = 0.421x - 1.665$	9.01×10^3	$5.61 \times 10^3 \sim 1.37 \times 10^4$	6.356	0.932
玫烟色棒束孢	$y = 0.33x - 1.646$	9.74×10^4	$6.11 \times 10^4 \sim 1.55 \times 10^5$	5.149	0.972

比较分析了爪哇棒束孢 GZQ-1 菌株和玫烟色棒束孢 YMS01 菌株侵染烟粉虱 2 龄若虫的逐日累计校正死亡率(图 4). 由结果可知, 菌株孢子悬浮液处理后 2 d 后 2 株昆虫病原真菌侵染率都相对较低, 在第 3 天时爪哇棒束孢 GZQ-1 菌株的侵染率达到 48.67%, 此时玫烟色棒束孢 YMS01 菌株对烟粉虱致死率低于 30%. 2 株菌株对烟粉虱的致病力在第 7 天分别是 92.68% 和 78.12%. 玫烟色棒束孢 YMS01 菌各处理之间差异有统计学意义($F = 705.066$; $df = 6, 14$; $p < 0.001$), 爪哇棒束孢 GZQ-1 菌第 6 和第 7 天之间差异无统计学意义, 但与其余各处理间差异有统计学意义($F = 632.285$; $df = 6, 14$; $p < 0.001$).



数据为平均值±标准误, * 表示在 0.05 水平上差异有统计学意义, ** 表示在 0.01 水平上差异有统计学意义.

图 4 爪哇棒束孢 GZQ-1 和玫烟色棒束孢 YMS01 对烟粉虱 2 龄若虫的逐日死亡率

试验结果看出, 2 株昆虫病原真菌致死中时(LT_{50})回归方程分别 $y = 1.641x - 3.384$, $y = 3.674x - 2.420$. χ^2 值为 15.47 和 12.73, LT_{50} 值分别为 3.051 d 和 4.557 d, 可以看到 LT_{50} 值相差较大, 爪哇棒束孢 GZQ-1 菌的 LT_{50} 小于玫烟色棒束孢 YMS01 菌的 LT_{50} , 说明爪哇棒束孢 GZQ-1 菌侵染烟粉虱死亡率达到 50% 的时间较快, 致病力明显强于玫烟色棒束孢 YMS01 菌(表 2).

表 2 爪哇棒束孢 GZQ-1 和玫烟色棒束孢 YMS01 对烟粉虱 2 龄若虫致病力的致死中时(LT_{50})					
菌株	回归方程	LT_{50} /d	95%置信区间/d	χ^2	相关系数(r)
爪哇棒束孢	$y = 1.641x - 3.384$	3.051	2.917~3.185	15.47	0.663
玫烟色棒束孢	$y = 3.674v - 2.420$	4.557	4.382~4.743	12.73	0.852

3 结论与讨论

烟粉虱作为世界性害虫, 对其防控至关重要. 近年来, 利用病原微生物、天敌昆虫等开展烟粉虱的生物防治一直是国内外学者们研究的重点与热点之一. 本研究系统评价了 2 株病原真菌(爪哇棒束孢菌菌株 GZQ-1 和玫烟色棒束孢菌菌株 YMS01)对烟粉虱的致病力, 发现 2 株昆虫病原真菌都能侵染烟粉虱不同龄期, 且随着孢子浓度增加, 烟粉虱死亡率提高; 其中, 2 株昆虫病原真菌均对烟粉虱 2 龄若虫具有最好的致病力, 且 GZQ-1 菌株的致病力优于 YMS01 菌株.

对烟粉虱 2 龄若虫的侵染试验结果表明, 在孢子浓度为 1×10^8 孢子/mL 侵染 7 d 后, GZQ-1 菌株和 YMS01 菌株的致病力分别为 92.68% 和 78.12%, 侵染致病趋势与先前的一些报道相似^[17-20]. 但不同的是, 在田晶等^[21]的报道中, 玫烟色棒束孢浓度为 1×10^7 孢子/mL 时, 烟粉虱 2 龄若虫校正死亡率达到 83.05%, LC_{50} 值为 2.61×10^4 孢子/mL, 但在本试验中死亡率仅有 70.14%, LC_{50} 是 9.74×10^4 孢子/mL, 这种差距表明同种昆虫病原真菌菌株的不同分离株都存在致病力差异^[17]. 另外, 温度、湿度、光照等环境因子很大程度上影响了病原真菌的杀虫效率和稳定性^[22-25]. 昆虫病原真菌的侵染机制、寄主昆虫的防卫机制和环境条件直接制约着真菌的杀虫速度和杀虫谱, 应该加大这些方面的研究力度^[26].

本研究还发现, 试验所用的 2 株菌, 同一浓度下的爪哇棒束孢 GZQ-1 菌对烟粉虱 2 龄若虫致病力高于玫烟色棒束孢 YMS01 菌, 而且玫烟色棒束孢 YMS01 菌的致死中浓度 LC_{50} 和致死中时间 LT_{50} 都大于爪哇棒束孢, 这些都表明爪哇棒束孢 GZQ-1 菌对烟粉虱的防控效果要优于玫烟色棒束孢 YMS01 菌, 相对于后者, 前者是更为优良的烟粉虱生防菌株. 爪哇棒束孢通常寄生于鳞翅目昆虫、地下害虫等^[27-28], 因其具有寄主广泛性和高致病力, 被认为是极具应用前景的候选菌种^[29-31]. 已经有报道爪哇棒束孢对斜纹夜蛾(*Spodop-tera litura*)^[32]、桃蚜(*My-zus persicae*)^[33]、马铃薯块茎蛾(*Ph-thorimaea operculella*)^[34]、棕榈蓟马(*Thrips palmi*)^[35]、假眼小绿叶蝉(*Empoasca vitis*)^[36-37]、埃及吹绵蚧(*Icerya aegyptiaca*)^[38]等表现出很好的防治效果. 本研究前期已将该菌株与烟粉虱寄生性天敌桨角蚜小蜂联合应用于烟粉虱的田间防控, 并取得了很好的防治效果. 尽管玫烟色棒束孢 YMS01 菌对烟粉虱的致病力不及爪哇棒束孢 GZQ-1 菌, 但本研究结果表明二者都可以作为烟粉虱潜在、优良的生防种质资源, 具有良好的开发应用前景.

参考文献:

- [1] DE BARRO P J, DRIVER F, NAUMANN I D, et al. Descriptions of Three Species of *Eretmocerus haldeman* (Hymenoptera: Aphelinidae) Parasitising Bemisiatabaci (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) in Australia Based on Morphological and Mol[J]. Australian Journal of Entomology, 2000, 39(4): 259-269.
- [2] 梁宗琦. 昆虫病原真菌的研究利用[J]. 贵州农业科学, 1983, 11(5): 21-28.
- [3] MEYLING N V, EILENBERG J. Ecology of the Entomopathogenic Fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in Temperate Agroecosystems: Potential for Conservation Biological Control[J]. Biological Control, 2007, 43(2): 145-155.
- [4] 邱德文. 生物农药研究进展与未来展望[J]. 植物保护, 2013, 39(5): 81-89.
- [5] 范月蕾, 赵晓勤, 陈大明, 等. 微生物杀虫剂研发现状和产业化发展态势[J]. 生物产业技术, 2016(1): 54-58.
- [6] 蒲蛰龙. 应用昆虫的病原真菌防治害虫[J]. 生物防治通报, 1985, 1(1): 27-31.
- [7] SCORSETTI A C, HUMBER R A, GREGORIO C, et al. New Records of Entomopathogenic Fungi Infecting *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum*, Pests of Horticultural Crops, in Argentina[J]. BioControl, 2007, 53(5): 787-796.
- [8] 黄勃, 王四宝, 金伟, 等. 家蚕灰僵病病原的鉴定[J]. 蚕业科学, 2008, 34(2): 257-261.
- [9] ZIMMERMANN G. The Entomopathogenic Fungi *Isaria farinosa* (Formerly *Paecilomyces farinosus*) and the *Isaria fumosorosea* Species Complex (Formerly *Paecilomyces fumosoroseus*): Biology, Ecology and Use in Biological Control[J]. Biocontrol Science and Technology, 2008, 18(9): 865-901.
- [10] MAKETON M, OROSZ-COGLAN P, JAENGARUN J. Note: Field Evaluation of *Isaria fumosorosea* in Controlling the Diamondback Moth (*Plutella xylostella*) in Chinese Kale[J]. Phytoparasitica, 2008, 36(3): 260-263.
- [11] BUITENHUIS R, BROWNBRIDGE M, BROMMIT A, et al. How to Start with a Clean Crop: Biopesticide Dips Reduce Populations of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) on Greenhouse Poinsettia Propagative Cuttings[J]. Insects, 2016, 7(4): E48.
- [12] MAHERMATTER M, MAHMOUD S M. Differential Efficacies of *Nomuraea rileyi* and *Isaria fumosorosea* on some Serious Pests and the Pests' Efficient Predator Prevailing in Tomato Fields in Egypt[J]. Journal of Plant Protection Research, 2013, 53(2): 103-109.
- [13] 张仙红. 玫烟色拟青霉生物学特性及感病菜青虫病理变化的研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2005.
- [14] 吕利华, 武亚敬, 何余容, 等. 玫烟色拟青霉致死浓度对小菜蛾取食和成虫生殖的影响[J]. 中国生物防治, 2007, 23(4): 322-327.
- [15] 黄振, 任顺祥, 吴建辉. 玫烟色拟青霉对烟粉虱种群的控制作用[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(2): 24-28.
- [16] 景云飞, 张仙红. 昆虫病原真菌玫烟色拟青霉的研究进展[J]. 山西农业科学, 2007, 35(9): 19-22.
- [17] VIDALC, LACE L A, FARGUESJ. Pathogenicity of *Paecilomyces fumosoroseus* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) Against *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) with a Description of a Bioassay Method[J]. Journal of Economic Entomology, 1997, 90(3): 765-772.
- [18] LABANOWSKI G S, SOIKA G. Effectiveness of Microbial and Botanical Insecticides in the Control of Bemisia-Tabaci and *Frankliniella occidentalis* on Ornamental Plants [J]. EPPO Bulletin, 1999, 29(1-2): 77-80.
- [19] 田晶, 梁丽, 李新风, 等. 玫烟色棒束孢 IF-1106 菌株对烟粉虱的致病力[J]. 山西农业科学, 2013, 41(7): 728-731.
- [20] CHEN C C, KUMAR H G A, KUMAR S, et al. Molecular Cloning, Characterization, and Expression of a Chitinase from the Entomopathogenic Fungus *Paecilomyces javanicus*[J]. Current Microbiology, 2007, 55(1): 8-13.
- [21] 田晶, 田浩楷, 刁红亮, 等. 玫烟色棒束孢对烟粉虱致病的时间-剂量-死亡率模型分析[J]. 河南农业科学, 2017, 46(1): 70-75.
- [22] 张仙红, 李文英, 贺运春. 影响虫生真菌玫烟色拟青霉孢子萌发的因素探析[J]. 中国农学通报, 2007, 23(7): 478-481.
- [23] 田晶. 玫烟色棒束孢生物学特性及对烟粉虱致病作用研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2014.
- [24] 王兴民, 罗莹, 龙秀珍, 等. 紫外线诱变对玫烟色棒束孢生物学特性的影响[J]. 南方农业学报, 2015, 46(7): 1213-1217.
- [25] 田晶, 刁红亮, 马瑞燕. 玫烟色棒束孢侵染对烟粉虱成虫体内不同酶活的影响[J]. 山西农业科学, 2016, 44(7): 1007-1010.
- [26] 张维, 彭国雄, 夏玉先. 昆虫病原真菌防控草地贪夜蛾的现状、问题与展望[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(5): 674-681.
- [27] SHIMAZU M, TAKATSUKA J. *Isaria javanica* (Anamorphic Cordycipitaceae) Isolated from Gypsy Moth

- Larvae, *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae), in Japan[J]. Applied Entomology and Zoology, 2010, 45(3): 497-504.
- [28] AYALA-ZERMENO M A, GALLOU A, BERLANGA-PADILLA A M, et al. Characterisation of Entomopathogenic Fungi Used in the Biological Control Programme of *Diaphorina citri* in Mexico[J]. Biocontrol Science and Technology, 2015, 25(10): 1192-1207.
- [29] KIM J J, XIEL, HAN J H, et al. Influence of Additives on the Yield and Pathogenicity of Conidia Produced by Solid State Cultivation of an *Isaria javanica* Isolate[J]. Mycobiology, 2014, 42(4): 346-352.
- [30] LI X, HAN J H, KIM J J, et al. Effects of Culture Conditions on Conidial Production of the Sweet Potato Whitefly Pathogenic Fungus *Isaria javanica*[J]. Mycoscience, 2016, 57(1): 64-70.
- [31] HERRERO N. Identification and Sequence Determination of a New Chrysovirus Infecting the Entomopathogenic Fungus *Isaria javanica*[J]. Archives of Virology, 2017, 162(4): 1113-1117.
- [32] NGUYEN T T, TRUONG X S, THAI T N L. Pathogenicity Assessment of *Isaria javanica* (Frider&Bally) Samson&Hywel-Jones Isolates Against *Spodoptera litura* Fabr[J]. Biological Forum, 2017, 9(1): 189-193.
- [33] KANG B R, HAN J H, KIM J J, et al. Dual Biocontrol Potential of the Entomopathogenic Fungus, *Isaria javanica*, for both Aphids and Plant Fungal Pathogens[J]. Mycobiology, 2018, 46(4): 440-447.
- [34] CHENG X, GAO Y Y, YANG C L. Potential of Entomopathogenic Fungus *Isaria javanica* for Controlling the Potato Tuberworm *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae)[J]. Israel Journal of Entomology, 2018, 48(2): 197-208.
- [35] PARK S E, KIM J C, LEE S J, et al. Solid Cultures of Thrips-Pathogenic Fungi *Isaria javanica* Strains for Enhanced Conidial Productivity and Thermotolerance[J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2018, 21(4): 1102-1109.
- [36] 展茂魁, 何玲敏, 陈名, 等. 防治假眼小绿叶蝉的虫生真菌高毒菌株的筛选及田间防治效果[J]. 中国生物防治学报, 2012, 28(1): 41-46.
- [37] 陈名, 张大敏, 彭凡, 等. 用于防治假眼小绿叶蝉的爪哇棒束孢可湿性粉剂的研制[J]. 中国生物防治学报, 2014, 30(1): 51-57.
- [38] 邓嘉茹, 孙龙华, 毕可可, 等. 埃及吹绵蚧昆虫病原真菌的筛选、鉴定及其致病性测定[J]. 植物保护学报, 2020, 47(1): 53-64.

责任编辑 王新娟