

不同寄主及地理来源的 16 株绿僵菌对桃蚜的毒力比较

单乐天, 冯明光*

(浙江大学微生物研究所 杭州 310058)

摘 要 害虫生防真菌绿僵菌的不同种及变种被广泛应用于害虫微生物防治, 但罕见以蚜虫等同翅目刺吸式害虫作为靶标。从两种绿僵菌的 4 个变种中精选 16 个不同寄主及地理来源的菌株, 用喷塔接种桃蚜 (*Myzus persicae*) 无翅成蚜并在 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 和 12L:12D 条件下饲养观察, 所获生物测定数据进行时间-剂量-死亡率模型模拟分析。结果显示, 高接种剂量 (~ 1000 个孢子/ mm^2) 下 7d 内死亡率达 67%~100% 的 10 个菌株均为金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* (Ma) 及其金龟子变种 *M. anisopliae* var. *anisopliae* (Maa), 而高剂量处理下仅感染致死个别或少数蚜虫的菌株包括金龟子绿僵菌及其金龟子变种、大孢变种 *M. anisopliae* var. *majus* 和蝗变种 *M. anisopliae* var. *acridum* 以及黄绿绿僵菌小孢变种 *M. flavoviride* var. *minus*。杀蚜活性优异的 2 个菌株分别为 Ma 456 和 Maa 3332, 接种后第 4 天的 LC_{50} 分别为 113 和 260 个孢子/ mm^2 , 第 5 天为 32 和 43 个孢子/ mm^2 , 第 6 天为 17 和 26 个孢子/ mm^2 , 第 7 天仅 11.4 和 19.9 个孢子/ mm^2 。这两个菌株具有用于蚜虫微生物防治的良好开发潜力。

关键词 生物防治真菌 绿僵菌 桃蚜 生物测定 毒力 微生物防治

中图分类号: Q939.9 文献标识码: A 文章编号: 0001-6209(2006)04-0602-06

无性真菌 (mitosporic fungi) 丝孢纲 (Hyphomycetes) 中的生防真菌 (Fungal biocontrol agents) 资源十分丰富, 被深入研究和广泛应用于农林害虫防治的种类主要包括白僵菌 (*Beauveria*)、绿僵菌 (*Metarhizium*) 及拟青霉 (*Paecilomyces*)^[1~3]。由于经寄主体壁接触而侵染的独特方式, 丝孢类生防真菌是目前所知可开发用于刺吸式口器害虫防治的主要昆虫病原微生物。又由于受自然流行程度越高越有开发前途的经典微生物防治理论的束缚, 长期以来丝孢类生防真菌的研究和利用主要针对咀嚼式口器害虫, 因为常见菌种如白僵菌在刺吸式口器害虫种群中的流行并不多见。随着九十年代初白僵菌的杀蚜活性及其高毒力菌株的发现^[4,5], 自然偶发的白僵菌、拟青霉等生防真菌成为刺吸式口器害虫微生物防治的研究热点, 大力推动了针对蚜虫、粉虱、叶蝉等重要农业害虫的真菌杀虫剂产品研发与应用^[1,2,6,7], 并由此形成了利用生防真菌进行害虫微生物防治的全新认识, 即害虫自然感染的小概率事件可以通过人工放菌途径转化为大概率事件而达到害虫控制的目的。

相比之下, 作为最常见的丝孢类生防真菌, 绿僵菌在刺吸式口器害虫防治中的作用尚未被充分认

识。尽管有关绿僵菌的害虫生物防治的研究已相当深入^[8], 尤其绿僵菌对刺吸式的植食性叶蝉^[9~11]、牲畜外寄生蜱螨^[12~14]、植食性盲蝽^[15]及锉吸式蓟马^[16]的生防潜力有较多的研究报道, 但国际上针对蚜虫的绿僵菌研究报道仅见一例^[17], 而且结果基本是负面的。在这一特例中, 25 株金龟子绿僵菌 (*Metarhizium anisopliae*) 的孢子液分别用浸渍法接种莴苣根瘤蚜 (*Pemphigus bursarius*), 结果只有一个菌株表现出一定的毒力, LC_{50} 为 2.45×10^6 个孢子/mL。更早一些的根瘤蚜野外研究虽也分离到一株绿僵菌, 但有关其对蚜虫生防潜力的结论也是悲观的^[18]。

蚜虫等同翅目刺吸式口器害虫一般栖息危害暴露性的植物叶片, 而大量绿僵菌株分离于土壤或地下害虫, 菌种或菌株的生态适应性显然与叶面环境存在明显差异, 已有的个别悲观研究报道恰好在菌株选择上未能注意到害虫栖境间的区别。由于绿僵菌对刺吸式螨类的生防潜力基本上是肯定的^[9~14], 迄今有关绿僵菌对同翅目害虫的生防潜力有可能被低估。为此, 本研究精选了来源于世界各地暴露性害虫的不同种或变种的绿僵菌菌株, 以桃蚜 (*Myzus persicae*) 作为模式刺吸式口器害虫进行了比较生物

基金项目: 国家重大基础研究计划 (2003CB114203), 国家自然科学基金 (30571250)

* 通讯作者。Tel/Fax: 86-571-88201978; E-mail: mgfeng@zju.edu.cn

作者简介: 单乐天 (1981-), 男, 浙江杭州人, 硕士研究生, 从事应用微生物研究。

收稿日期: 2005-09-05, 接受日期: 2005-11-01, 修回日期: 2006-03-17

测定 ,以期从新的视角来评价用绿僵菌防治刺吸式口器害虫的潜力。

1 材料和方法

1.1 供试菌株

供试的 16 个菌株包括 2 种绿僵菌的 4 个变种 ,其中金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* (Ma) 8 株 ,金龟子绿僵菌金龟子变种 *M. anisopliae* var. *anisopliae* (Maa) 5 株 ,金龟子绿僵菌大孢变种 *M. anisopliae* var. *majus* (Mam) 蝗变种 *M. anisopliae* var. *acridum* (Maac) 以及黄绿绿僵菌小孢变种 *M.*

flavoviride var. *minus* (Mfm) 各 1 株。所有供试菌株除 1 株外均自美国农业部害虫生防菌种库 ARSEF (USDA-ARS Plant Protection Research Unit , U. S. Plant , Soil & Nutrition Laboratory , Ithaca , New York , USA) 征集 ,其原始寄主大多为亚洲、非洲、南北美洲的不同类型暴露性害虫。各菌株代码(数字为 ARSEF accession number) 寄主(括号内给出所属科目 种名列于括号前) 及原分离地区列于表 1。所有征集菌株均以萨氏培养基(SDAY) 平板的形式保存于 - 72℃ 超低温冰箱中。

表 1 供试绿僵菌株的 ARSEF 代码、原始寄主及原产地

Table 1 The ARSEF codes , host insects and geographic origins of <i>Metarhizium</i> strains used in this study		
Strains	Host insects	Geographic origins
Ma 456	<i>Nilaparvata lugens</i> [Homoptera : Delphacidae]	IRRI , Los Baños , Manila , Philippines
Ma 759 *	Unknown	Canada
Ma 1055	<i>Nezara viridula</i> [Hemiptera : Pentatomidae]	Londrina , Paraná , Brazil
Ma 1548	<i>Scotinophara coarctata</i> [Hemiptera : Pentatomidae]	Arbor Lan , Palawan , Philippines
Ma 2421	<i>Nilaparvata lugens</i> [Homoptera : Delphacidae]	Cikampek , Jawa Barat , Java , Indonesia
Ma 3389	<i>Tribolium castaneum</i> [Coleoptera : Tenebrionidae]	Seto Farm , Granger , Washington , USA
Ma 3608	<i>Curculio caryae</i> [Coleoptera : Curculionidae]	USA
Ma 5197	<i>Diaprepes abbreviata</i> [Coleoptera : Curculionidae]	Florida , USA
Maa 2080	<i>Nilaparvata lugens</i> [Homoptera : Delphacidae]	Palawan , Philippines
Maa 3332	<i>Popillia japonica</i> [Coleoptera : Scarabaeidae]	Syracuse , New York , USA
Maa 4822	<i>Otiorhynchus ligustici</i> [Coleoptera : Curculionidae]	Alfalfa field , Great Bend , New York , USA
Maa 5628	<i>Schistocerca gregaria</i> [Orthoptera : Acrididae]	coastal Eritrea , Shelsela , Ethiopia
Maa 6910	<i>Coptotermes formosanus</i> [Isoptera : Rhinotermitidae]	Baton Rouge , Louisiana , USA
Mam 1946	<i>Oryctes rhinoceros</i> [Coleoptera : Scarabaeidae]	Quezon , Philippines
Maac 5734	Unknown [Orthoptera : Acrididae]	Madagascar
Mfm 5748	<i>Schistocerca piceifrons</i> [Orthoptera : Acrididae]	Cerro de Ortega , Colima , Mexico

* A non-ARSEF strain from Canada.

1.2 孢子粉的制备

孢子粉的制备始于保存菌种在 SDAY 平板上的活化培养 ,培养条件为温度 25 ± 1℃ 和光照 12L : 12D 培养时间为 8 ~ 9d。以平板上收集的分生孢子粉接种萨式培养液(SDB) ,25℃ 下振荡(100r/min) 培养 48 ~ 72h 后 ,所获种子菌液与灭菌并适度熟化的大米混合均匀 ,摊于直径 15cm 的培养皿中 ,在上述条件下固相发酵产孢 8d ,发酵物料在 33℃ 下通风干燥 24h 后过 200 目标标准筛 ,收集的孢子粉再经常温真空干燥 12h 后贮于 - 20℃ 冰箱备用 ,所有菌株孢子粉的活孢率均不低于 90%。

1.3 供试桃蚜

试虫全部采用桃蚜的无翅成蚜 ,虫龄控制在最后一次蜕皮后不超过 2d。取甘蓝植株的新鲜中位叶片 ,清水洗净后将其剪成与培养皿(15cm) 吻合的圆片 ,在其边缘刷上 0.1% 萘乙酸溶液并以吸足标准十字花科蔬菜营养液的棉球(每天补充营养液) 包

裹叶柄基部 ,叶背朝上放入培养皿中 ,使叶片边缘切口产气生根与培养皿边缘紧贴 ,如此可维持上百头蚜虫取食 20d 左右。将无翅成蚜 100 头一组移至上述叶片上 ,在人工气候室(23 ± 2℃ , 12L : 12D) 条件下任其繁殖 24h ,然后去除成蚜 ,新产若蚜原处饲养至 4 龄时 ,每 40 头一组分别移至直径 9cm 的甘蓝圆片(制备方法同上) 上继续饲养 ,所有蚜虫完成最后一次蜕皮后即用于以下接种试验。

1.4 生物测定

每个菌株对桃蚜的生物测定均采用标准喷塔法接种^[19,20]。用含 0.02% Tween-80 的无菌水将孢子粉分别兑成孢子悬液 ,定浓度后渐次稀释至 10⁸、10⁷ 及 10⁶ 个孢子/mL 的梯度浓度 ,并用上述无菌水作为对照处理(CK)。接种从对照、低浓度至高浓度 ,将载有蚜虫的叶片培养皿平置于自动喷塔(Spray Tower , Burkard Scientific Ltd. , Uxbridge , Middx , UK) 的载物台(直径 11cm ,面积 95cm²) 上 ,在 1.7kPa/cm² 的喷雾压

力下将 1.0mL 无菌水(CK)或孢子悬液(剂量处理)自喷头由上而下喷到载物台上,沉降 5s 后取出培养皿,加盖后饲养观察。喷菌前先将一盖玻片(2cm × 2cm)平放在培养皿叶片上,用于收集沉降的孢子,然后在显著镜下随机取 5 个视野(0.2165mm²/视野)计数孢子,将菜叶及虫体上的孢子附着量标准化为孢子数/mm²。每个菌株等量喷雾 3 个浓度的孢子液于相同面积上,得高、中、低 3 个孢子接种剂量,每剂量重复 3 次(~40 头/次)。喷雾接种后,各处理蚜虫均置于光照培养箱(25 ± 1℃, 12L:12D)中饲养,逐日定时观察 7d,记录死亡蚜虫数并及时将蚜尸和新产若蚜移出。蚜尸在 25℃ 下保湿培养,根据体表长出的菌物特征确认有效侵染致死。

1.5 数据分析

所获各菌株对桃蚜的生测数据采用时间-剂量-死亡率模型方法^[20,21]进行模拟分析,再用拟合的剂量效应和时间效应参数估计随时间变化的致死中浓度(LC₅₀)及其 95% 置信区间,该模型模拟方法是目前所知最佳的杀虫微生物评价方法^[20]。模拟运算采用 DPS 数据处理系统软件^[22]。

2 结果和分析

2.1 生测概况

表 1 中所列各株绿僵菌对桃蚜接种后,在观察期间除个别逃逸外,每剂量处理 3 次重复的蚜虫总数实为 110 ~ 129 头。凡被供试菌有效侵染致死的蚜虫,在保湿条件下体表均有典型的长出物,初为簇密的菌丝和分生孢子梗,后变为一层墨绿色的分生孢子(图 1)。

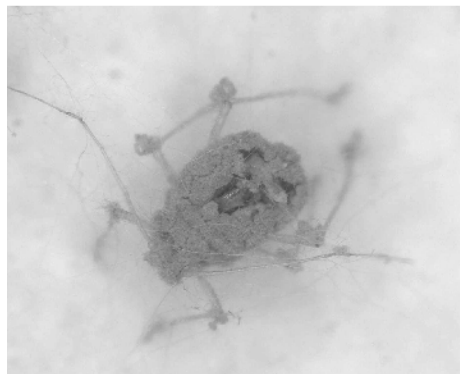


图 1 金龟子绿僵菌侵染致死的桃蚜体表长出物

Fig.1 Fungal outgrowth from *M. persicae* cadaver killed by *M. anisopliae*.

在供试的 16 株菌中,有 5 株菌仅引起个别或少数蚜虫病死,它们分别是 Ma 1548、Maa 5628、Maac

5734、Mam 1946 和 Mfm 5748,在最高剂量(702 ~ 1881 个孢子/mm²)下的有效侵染致死率分别仅为 1.7%、1.5%、11.7%、0.8% 及 4.5%,对桃蚜的侵染力差或极差。菌株 Ma 3608 最高剂量下的有效致死率为 31.6%,侵染力明显强于前述菌株;而 Maa 4822 和 Maa 6910 的侵染力更强,最高剂量下的桃蚜死亡率分别为 66.7% 和 68.3%。其余 8 株绿僵菌在高、中、低接种剂量下均引发了有效侵染,高剂量下的有效死亡率为 78.3% ~ 100%,显然值得重点关注。后 8 株菌均为金龟子绿僵菌(Ma)及其金龟子变种(Maa),接种后桃蚜在不同剂量下的发病死亡率趋势见图 2 所示。

2.2 模型模拟与 LC₅₀

桃蚜对图 2 中 9 株绿僵菌及 Maa 4822(最高致死率 66.7%)的时间-剂量-死亡率数据的模型模拟分析结果显示,拟合各菌株的模型中的剂量效应和时间效应参数的 *t* 检验均达极显著水平(*P* < 0.01),即各参数估计的标准误差(SE)相对于参数估计值极小,说明模型拟合良好^[20,21]。最高死亡率不过半的其余 6 株绿僵菌不宜或不能进行模型模拟。在此基础上,应用所建立的时间-剂量-死亡率模型,分别计算出 10 株绿僵菌对桃蚜接种后第 4 ~ 7 天的致死中浓度 LC₅₀ 及 95% 置信区间,结果列于表 2。

表 2 中接种后第 7 天的 LC₅₀ 值给出了 10 株绿僵菌对桃蚜毒力的排序,范围为 10.9 ~ 378.4 个孢子/mm²,LC₅₀ 值越小,毒力即杀蚜活性越强,反之亦然。然而,仅凭最后一天的 LC₅₀ 值评价各菌株的优劣是不够的,还要考查由时间与剂量及其互作效应所决定的 LC₅₀ 值在第 4 ~ 7 天内的变化,发病越早和 LC₅₀ 值越低,菌株的毒力越强。据此,Ma 456 和 Maa 3332 第 4 天的 LC₅₀ 分别为 113 和 260 个孢子/mm²,第 7 天 LC₅₀ 均不超过 20 个孢子/mm²,显然属于优异杀蚜菌株,值得重点关注。Ma 1055、Maa 2080、Ma 3389 及 Ma 759* 等 4 个菌株虽然第 5 ~ 7 天的 LC₅₀ 值很低或较低,但第 4 天的 LC₅₀ 过高(实际上此时最高死亡率均不过半),属于侵染速度稍慢的高毒力菌株,也值得给予关注。菌株 Ma 5197 的毒力也较强,主要表现为第 5 天的 LC₅₀ 过大,但第 7 天的 LC₅₀ 则降至高毒力水平范围却又明显高于上述各菌株。其余 3 株绿僵菌,即 Maa 6910、Maa4822 和 Ma 2421,它们对桃蚜具有中等毒力,第 5 天的 LC₅₀ 为 550 ~ 930 个孢子/mm²,第 6 天为 292 ~ 473 个孢子/mm²,第 7 天为 195 ~ 378 个孢子/mm²。

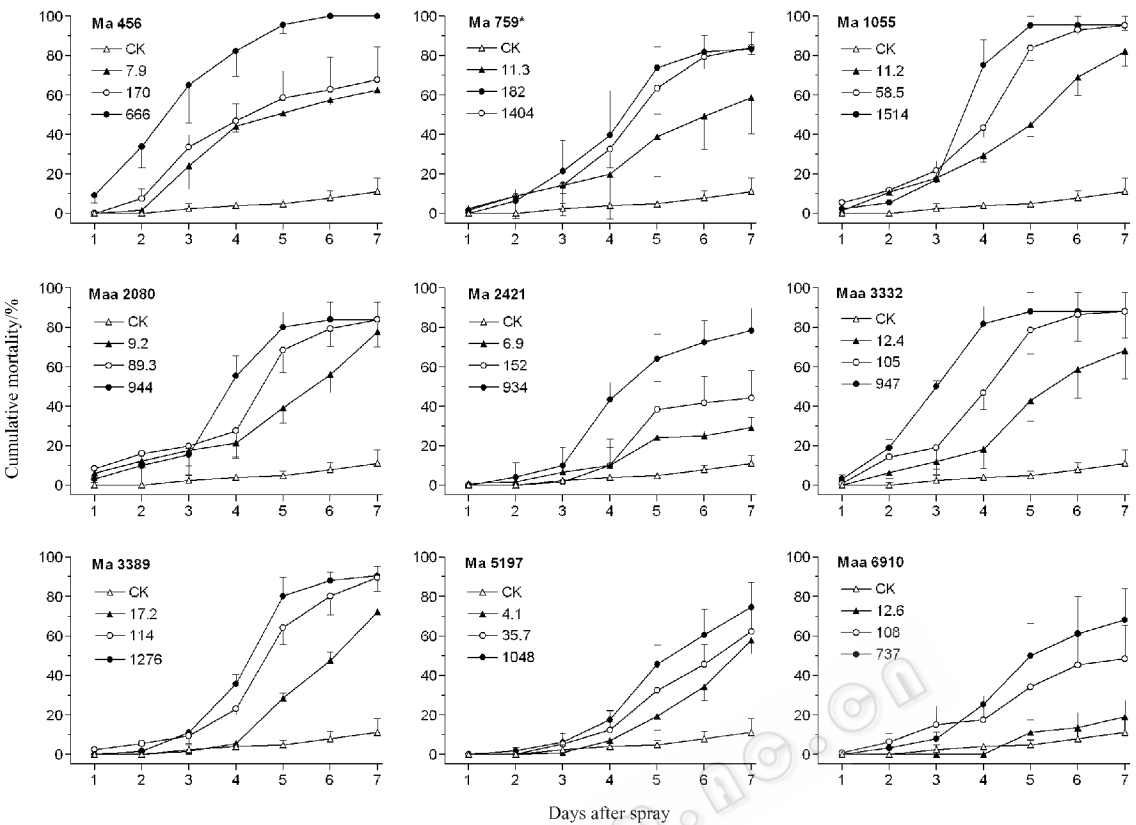


图 2 金龟子绿僵菌(Ma)及其金龟子变种(Maa)的不同菌株在不同接种剂量 (符号后数字表示孢子数/mm²)下桃蚜的发病死亡趋势

Fig. 2 Trends in the mortalities of *M. persicae* apterae after exposure to different dosages (No. conidia/mm² , denoted by symbols) of *M. anisopliae* (Ma) or *M. anisopliae* var. *anisopliae* (Maa).

表 2 基于时间-剂量-死亡率模型的 10 株绿僵菌对桃蚜的 LC₅₀ 及其 95% 置信区间

Table 2 The LC₅₀ estimates with 95% confidence intervals (CI) of 16 *Metarhizium* strains against *M. persicae* apterae over days after spray , based on the time-dose-mortality model fitted for each fungal strain

Strains	LC ₅₀ with 95% CI (no. conidia/mm ²) over days after spray			
	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
Ma 3389	Too large	220.6 (63.9 ~ 761.8)	38.8 (9.4 ~ 159.3)	10.9 (1.7 ~ 68.6)
Ma 456	112.6 (49.5 ~ 255.9)	31.7 (12.2 ~ 82.4)	17.2 (5.8 ~ 50.9)	11.4 (3.5 ~ 37.3)
Maa 2080	Too large	186.8 (28.5 ~ 1224)	39.4 (5.6 ~ 275.2)	15.5 (1.5 ~ 155.9)
Maa 3332	260.1 (82.8 ~ 817.1)	43.3 (13.6 ~ 137.6)	25.5 (7.3 ~ 90.0)	19.9 (5.3 ~ 74.5)
Ma 1055	Too large	90.8 (29.7 ~ 277.7)	36.1 (11.1 ~ 117.9)	26.7 (7.8 ~ 90.9)
Ma 759 *	Too large	332.9 (97.9 ~ 1133)	68.6 (18.5 ~ 254.3)	35.7 (8.2 ~ 155.7)
Ma 5197	Too large	3730 (1063 ~ 13000)	359.6 (163.2 ~ 792.1)	80.1 (41.3 ~ 155.6)
Maa 6910	5822 (1386 ~ 24467)	623.5 (302.4 ~ 1285)	292.4 (164.5 ~ 519.9)	195.4 (113.5 ~ 336.3)
Maa 4822	6320 (3260 ~ 12253)	929.2 (651.1 ~ 1326)	472.6 (357.6 ~ 624.6)	361.8 (278.9 ~ 469.5)
Ma 2421	2779 (1477 ~ 5230)	551.3 (385.8 ~ 787.8)	440.6 (315.3 ~ 615.5)	378.4 (273.8 ~ 523.0)

3 讨论

综上所述 ,供试的 16 株绿僵菌对桃蚜的毒力差异极大 ,从微弱到极强不等。无论从剂量效应还是时间效应看 ,金龟子绿僵菌 Ma 456 及其金龟子变种 Maa 3332 无疑是理想的杀蚜菌株 ;菌株 Ma 1055、Maa 2080、Ma 3389 及 Ma 759* 虽然杀蚜速率稍慢 ,但

其一周的杀蚜活性仍属强毒范畴 ,LC₅₀ 值不超过 36 个孢子/mm²(表 2)。这些绿僵菌株对蚜虫等刺吸式口器害虫的生防潜力都值得进一步研究 ,从中极可能选育出针对刺吸式口器害虫的绿僵菌制剂的高效菌株。

本研究精选了 16 株绿僵菌对桃蚜进行生测 ,选择依据是尽可能使用原始寄主为危害植株地上部的

暴露性害虫,同时在生测中有意安排了3株寄主与土栖环境密切相关的绿僵菌(金龟子寄主2株:Maa 3332和Mam 1946;白蚁寄主1株:Maa 6910),但无任何菌株直接源于蚜虫寄主。结果是令人鼓舞的,获得了6株杀蚜活性特强或强的绿僵菌,另有4株杀蚜活性中等偏强,1株中等偏弱,仅有5株杀蚜活性弱或微弱。这与Chandler从25株绿僵菌中只筛选到杀蚜活性中偏弱的1个菌株的研究报道^[17]形成了鲜明对比。本研究中较高比例高效杀蚜菌株的获得显然得益于菌株初选注重原始寄主生物学特性及原产地气候带的理念。例外的情况也有,如3株与土栖环境相关的绿僵菌中虽有2株杀蚜活性偏弱(Maa 6910)或极弱(Mam 1946),但也见到杀蚜活性最佳的Maa 3332菌株。

本研究采用时间-剂量-死亡率模型模拟的方法^[20~22]分析各菌株的生测数据,高中低3个浓度处理足以获得充分的菌虫互作信息^[19]。设置最高浓度1000个孢子/mm²左右的处理,其根据是国际上杀虫真菌制剂的田间标准用量一般为10¹³个孢子/公顷左右,亦即田间喷雾后可能达到的孢子附着量(再高就不符合田间实际了)。若在如此高浓度处理下试虫的发病死亡反应都还不能满足模型模拟分析的要求,则相应菌株完全可排除在利用考虑之外。同理,LC₅₀估计值越低于此用菌浓度,说明田间应用的潜力越大。两株杀蚜活性最强的菌株在喷菌后第4天的LC₅₀分别为113和260个孢子/mm²,随时间往后推延而递减,第7天的LC₅₀仅11.4和19.9个孢子/mm²。杀蚜活性如此优异的绿僵菌株从未有其他来源的报道,因而具有很好的研究开发和应用前景。

参 考 文 献

- [1] Faria M, Wraight SP. Biological control of *Bemisia tabaci* with fungi. *Crop Prot*, 2001, **20**: 767–778.
- [2] Milner RJ. Prospects for biopesticides for aphid control. *Entomophaga*, 1997, **42**: 227–239.
- [3] Feng MG, Poprawski TJ, Khachatourians GG. Production, formulation and application of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for insect control: current status. *Biocontrol Sci Technol*, 1994, **4**: 3–34.
- [4] Feng MG, Johnson JB. Relative virulence of six isolates of *Beauveria bassiana* (Fungi: Hyphomycetes) on the Russian wheat aphid, *Diuraphis noxia* (Homoptera: Aphididae). *Environ Entomol*, 1990, **19**: 785–790.
- [5] Feng MG, Johnson JB, Kish LP. Virulence of *Verticillium lecanii* and an aphid-derived isolate of *Beauveria bassiana* (Fungi: Hyphomycetes) for six species of cereal aphids (Homoptera: Aphididae). *Environ Entomol*, 1990, **19**: 815–820.
- [6] Feng MG, Pu XY, Ying SH. Trials of *Beauveria bassiana*, *Paecilomyces fumosoroseus* and imidacloprid for management of *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) on greenhouse grown lettuce. *Biocontrol Sci Technol*, 2004, **14**: 531–544.
- [7] Feng MG, Pu XY, Ying SH, et al. Field trials of an oil-based emulsifiable formulation of *Beauveria bassiana* conidia and low application rates of imidacloprid for control of false-eye leafhopper *Empoasca vitis* in southern China. *Crop Prot*, 2004, **23**: 489–496.
- [8] Roberts DW, St Leger RJ. *Metarhizium* spp., cosmopolitan insect-pathogenic fungi: mycological aspects. *Adv Appl Microbiol*, 2004, **54**: 1–70.
- [9] Wekesa VW, Maniania NK, Knapp M, et al. Pathogenicity of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* to the tobacco spider mite *Tetranychus evansi*. *Exp Appl Acarol*, 2005, **36**: 41–50.
- [10] Chandler D, Davidson G, Jacobson RJ. Laboratory and glasshouse evaluation of entomopathogenic fungi against the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), on tomato, *Lycopersicon esculentum*. *Biocontrol Sci Technol*, 2005, **15**: 37–54.
- [11] Shi WB, Feng MG. Lethal effect of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Paecilomyces fumosoroseus* on the eggs of *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: Tetranychidae) with a description of a mite egg bioassay system. *Biol Control*, 2004, **30**: 165–173.
- [12] Brooks A, Wall R. Horizontal transmission of fungal infection by *Metarhizium anisopliae* in parasitic *Psoroptes* mites (Acari: Psoroptidae). *Biol Control*, 2005, **34**: 58–65.
- [13] Kirkland BH, Cho EM, Keyhani NO. Differential susceptibility of *Amblyomma maculatum* and *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae) to the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. *Biol Control*, 2004, **31**: 414–421.
- [14] Brooks AJ, de Muro MA, Burree E, et al. Growth and pathogenicity of isolates of the fungus *Metarhizium anisopliae* against the parasitic mite, *Psoroptes ovis*: effects of temperature and formulation. *Pest Manag Sci*, 2004, **60**: 1043–1049.
- [15] Liu HP, Skinner M, Brownbridge M, et al. Characterization of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* isolates for management of tarnished plant bug, *Lygus lineolaris* (Hemiptera: Miridae). *J Invertebr Pathol*, 2003, **82**: 139–147.
- [16] Maniania NK, Sithanatham S, Ekesi S, et al. A field trial of the entomogenous fungus *Metarhizium anisopliae* for control of onion thrips, *Thrips tabaci*. *Crop Prot*, 2003, **22**: 553–559.
- [17] Chandler D. Selection of an isolate of the insect pathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* virulent to the lettuce root aphid, *Pemphigus bursarius*. *Biocontrol Sci Technol*, 1997, **7**: 95–104.
- [18] Foster WA. The life history and population biology of an intertidal aphid, *Pemphigus treherhei* Foster. *Trans Royal Entomol Soc Lond*, 1975, **127**: 193–207.
- [19] Ye SD, Dun YH, Feng MG. Time and concentration dependent interactions of *Beauveria bassiana* with sublethal rates of imidacloprid against the aphid pests *Macrosiphoniella sanborni* and *Myzus persicae*. *Ann Appl Biol*, 2005, **146**: 459–468.

- [20] 顿玉慧,冯明光,应盛华. 新型球孢白僵菌孢子乳悬剂的高效杀蚜活性及其评价方法. 微生物学报, 2003, 43(6): 781-787.
- [21] Robertson JL, Preisler HK. Pesticide Bioassays with Arthropods. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1992.
- [22] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2002.

Comparative susceptibility of *Myzus persicae* to 16 strains of *Metarhizium* spp. from different host insects and geographic regions

SHAN Le-tian, FENG Ming-guang*

(Institute of Microbiology, College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: The fungal biocontrol agents *Metarhizium* species and varieties have been widely applied for insect control but their targets rarely aim at sucking-type homopteran insects such as aphids. To search for fungal candidates against aphids, 16 strains of four varieties of two *Metarhizium* species, most of which originally infected foliage insect pests in Asia, Africa and America, were bioassayed to compare their virulence to *Myzus persicae* apterae. With each strain, each of three conidial suspensions was sprayed onto aphids in three Petri dishes (about 40 aphids per dish) in a Potter Spray Tower, resulting in deposits of conidia for low, medium and high dosage treatments (no. conidia/mm²). After spray, all aphids were reared at the regime of 25 ± 1 °C and 12:12 L:D and observed daily for counts of mycosed cadavers. As a result, 10 strains of *M. anisopliae* (Ma) and *M. anisopliae* var. *anisopliae* (Maa) caused 67% ~ 100% mortalities at the high dosage of about 1000 conidia/mm² within 7 days after spray whereas other strains, including *M. anisopliae* var. *majus*, *M. anisopliae* var. *acidum*, *M. flavoviride* var. *minus*, killed a very small number of aphids even at the high conidial dosage. Of the 10 strains, Ma 456 and Maa 3332 were highly virulent to the aphid species based the modeling of their time-dose-mortality data. The LC₅₀s of the two strains were estimated as 113 and 260 conidia/mm² on day 4, 32 and 43 conidia/mm² on day 5, 17 and 26 conidia/mm² on day 6, and only 11.4 and 19.9 conidia/mm² on day 7, respectively. Thus, both strains are highly potential for use in microbial control of aphids.

Keywords: Fungal biocontrol agents; *Metarhizium* spp.; *Myzus persicae*; Bioassay; Virulence; Microbial control

Foundation item: China National Programs for Fundamental Research and Development (2003CB114203); Natural Science Foundation of China (30571250)

* Corresponding author. Tel/Fax: 86-571-88201978; E-mail: mgfeng@zju.edu.cn

Received: 5 September 2005/Accepted: 1 November 2005/Revised: 17 March 2006