

谢 涛, 苟剑渝, 申修贤, 等. 球孢白僵菌对烟蚜的毒力及食蚜瘿蚊的安全性评价[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(12): 128–133.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.12.017

球孢白僵菌对烟蚜的毒力及食蚜瘿蚊的安全性评价

谢 涛¹, 苟剑渝², 申修贤³, 黄纯杨², 吴慧子², 杨茂发^{1,3}, 杨 相², 于晓飞¹

(1. 贵州大学烟草学院/贵州省烟草品质研究重点实验室, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州省烟草公司遵义市公司, 贵州遵义 564200;
3. 贵州大学昆虫研究所/贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵州贵阳 550025)

摘要:球孢白僵菌和食蚜瘿蚊均是控制烟蚜的重要生物防治技术, 为及时明确球孢白僵菌对烟蚜的毒力及对天敌昆虫食蚜瘿蚊的影响。本研究采用浸渍法, 在室内开展不同浓度球孢白僵菌分生孢子液对烟蚜(3 龄若蚜)的毒力, 以及对食蚜瘿蚊(3 龄初幼虫)的致死率、化蛹率和羽化率以及雌雄比的影响。结果表明, 接种 1.60×10^8 个/mL 的球孢白僵菌后烟蚜的 7 d 累积校正死亡率最高, 达 92%; LC_{50} 和 LC_{90} 分别为 3.14×10^4 个/mL 和 1.05×10^8 个/mL, LT_{50} 和 LT_{90} 分别为 3.60 d 和 6.39 d。球孢白僵菌 1.60×10^8 个/mL 浓度对食蚜瘿蚊 3 龄幼虫 7 d 的累积校正死亡率最高, 为 42.42%; $\lg(LC_{50})$ 以及 $\lg(LC_{90})$ 分别为 9.427 和 22.545, LT_{50} 和 LT_{90} 分别为 7.64 d 和 14.38 d; 食蚜瘿蚊的化蛹率和羽化率分别为 $(75.00 \pm 2.04)\%$ 和 $(81.25 \pm 3.75)\%$, 雌雄比值为 1.092 : 1, 除化蛹率、羽化率与对照组有显著差异外, 雌雄比无显著差异。综上所述, 球孢白僵菌 1.60×10^8 个/mL 浓度可与食蚜瘿蚊联合防控烟蚜。

关键词:球孢白僵菌; 烟蚜; 食蚜瘿蚊; 毒力; 安全性评价

中图分类号:S433.39; S476 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)12-0128-05

烟蚜 [*Myzus persicae* (Sulzer)] 是烟草的重要害虫之一, 不仅可通过直接取食对烟草造成危害, 同时会传播植物病毒, 如黄瓜花叶病毒 (Cucumber mosaic virus, 简称 CMV)、马铃薯 Y 病毒 (Potato virus Y, 简称 PVY) 等 100 多种植物病毒, 导致烟叶品质下降, 造成严重的经济损失^[1]。目前, 对烟蚜主要以化学防治为主^[2]。长期依赖化学农药必然导致烟蚜抗药性增强, 对环境及其天敌造成不良影响^[3]。近年来, 生物防治因绿色安全有效而备受关注, 有效合理地利用天敌控蚜, 不仅能够减少对化学药剂的依赖性, 同时还能减少环境污染和降低农残。目前常用的控蚜天敌有烟蚜茧蜂 (*Aphidius*

gifuensis)、异色瓢虫 (*Harmonia axyridis*)、大草蛉 [*Chrysopa pallens* (Rambur)]、食蚜瘿蚊 [*Aphidoletes aphidimyza* (Rondani)] 等昆虫^[4-7]; 常用的生防菌种类有球孢白僵菌 (*Beauveria bassiana*) 以及绿僵菌 (*Metarhizium anisopliae*)^[8-9]。

食蚜瘿蚊隶属双翅目 (Diptera) 瘿蚊科 (Cecidomyiidae)^[10], 能捕杀 85 种蚜虫, 对烟蚜有较好的控制作用^[11-12]。该天敌具有分布广泛、控蚜效果好、易于繁殖和运输、已实现规模化繁殖等优点^[13-15], 是烟蚜的重要天敌昆虫资源。

球孢白僵菌是许多昆虫的天然病原体, 其相关制剂因具有对人、畜无毒, 无残留、无污染, 对作物安全等特点, 是理想的生物防治资源^[16-17]。目前已成为田间害虫防治的热点^[18]。在烟蚜上已有不少相关研究, 如菌株 Sc145、Cj4 对烟蚜具有较好的防治效果^[19]; 菌株 BQ-63 对桃蚜具有高致病性^[20]; 菌株 JL-005 在 1.0×10^8 CFU/mL 浓度下对桃蚜具有较好防效^[21]。因此, 球孢白僵菌对烟蚜具有较强的侵染力^[22]。

单一的防控技术往往不能够达到理想的效果, 多种防控技术联合具有明显的增效作用^[23]。然而昆虫病原真菌的施用除了感染靶标害虫外, 同时还会对天敌昆虫产生不同程度的影响^[24-25]。在田间喷施球孢白僵菌后异色瓢虫的感染率低于 20%, 并

收稿日期: 2023-09-30

基金项目: 贵州省烟草公司遵义市公司成果转化项目 (编号: 2020xm05, 2021520300200081); 贵州省烟草公司遵义市公司科技项目 (编号: 201608); 中国烟草总公司贵州省公司重大科技专项 (编号: 201603; 201752010040001); 贵州大学引进人才科研项目 (编号: 贵大人基合字[2016]70 号); 2019 年贵州省农业生产防灾救灾资金 (农作物病虫害防治专项); 贵州省高层次创新型人才 (“百”层次) 培养项目 (编号: 黔科合人才[2016]4022 号)

作者简介: 谢 涛 (1998—), 男, 贵州遵义人, 硕士, 从事微生物农药与食蚜瘿蚊联合防治烟蚜研究。E-mail: xt15085411887@163.com。

通信作者: 于晓飞, 博士, 副教授, 从事烟草害虫绿色防控技术研究与应用。E-mail: anjingfly2009@163.com。

且对其生长发育几乎没有影响^[26];Bb21 菌株对天敌异色瓢虫和大草蛉影响较小^[27];NI8 菌株不会影响草蛉对蚜虫的防控效果^[28];球孢白僵菌 Bb-Et 对寄生蜂后代生长也没有显著影响^[29]。而采用商品化的球孢白僵菌 1.0×10^8 CFU/mL 悬浮液对管氏肿腿蜂 *Scleroderma guani* 雌成蜂的 7 d 累计致死率高达 100%;Trizelia 等研究发现,绿僵菌对烟蚜茧蜂幼虫的寄生能力有极显著影响^[30]。由此可知,病原菌对不同天敌昆虫的影响差异较大。关于烟田施用球孢白僵菌控蚜是否对天敌食蚜瘿蚊造成影响,目前尚未见相关报道。

因此,本研究通过室内测定不同浓度球孢白僵菌分生孢子液对 3 龄烟蚜的毒力,以及对食蚜瘿蚊 3 龄幼虫的影响,探究不同浓度的球孢白僵菌分生孢子液对烟蚜的毒力效果,评价其对烟蚜天敌食蚜瘿蚊的安全性。以期筛选出对烟蚜防治效果较好且对食蚜瘿蚊较安全的分生孢子液浓度。为指导科学合理采用球孢白僵菌微生物制剂提供科学依据,同时为 2 种生物防治手段的复合防控技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试虫源:贵州大学天敌扩繁中心长期以“蚕豆+豌豆修尾蚜+食蚜瘿蚊”为繁殖体系的饲养 10~12 代的食蚜瘿蚊 3 龄幼虫;以 K326 烟草植株(6 张真叶)饲养 3~4 代的烟蚜 3 龄若虫。

供试菌液:有效成分为 150 亿个孢子/g 的球孢白僵菌可湿性粉剂(广州多宇多生物科技有限公司)。

试验条件:人工气候室温度为 $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度为 $(60 \pm 5)\%$,光—暗周期为 16 h—8 h。

试验仪器:显微镜(奥林巴斯 BX41)。

1.2 试验方法

1.2.1 不同浓度球孢白僵菌分生孢子液配制 所有试验均在贵州山地农业病虫害重点实验室进行,试验时间为 2021 年 4—6 月。将上述购买的球孢白僵菌可湿性粉剂,按照 3 g 球孢白僵菌可湿性粉剂加入 6 mL 的无菌水混合摇匀,在显微镜下,用血球计数板计算出相应的孢子数,随后配制成浓度为 1.60×10^4 、 1.60×10^5 、 1.60×10^6 、 1.60×10^7 、 1.60×10^8 个/mL 的球孢白僵菌孢子悬浮液。

1.2.2 球孢白僵菌对烟蚜毒力的测定 将 3 龄烟蚜(每处理 20 头)置于无菌纱布中,放入不同浓度孢子悬浮液浸沾 2 s 后迅速取出,用滤纸吸取多

余的汁液,随后把烟蚜轻轻抖落在置于塑料培养皿(直径为 35 mm)中的新鲜烟叶上(烟叶叶柄处用湿棉花包裹保持新鲜,每隔 2 d 给棉花注射等量的无菌水保湿),最后用帕拉莫封口并扎孔保持透气。以浸沾 0.1% 吐温-80 定量无菌水为对照。每组 5 次重复。每隔 24 h 连续 7 d 定时观察记录烟蚜死亡情况;将死亡的烟蚜用载玻片放置在培养皿中于 23°C 保持 15 d,镜检死亡蚜虫感染情况,计算死亡率,拟合毒力回归方程。

死亡率 = 死亡虫数/供试虫数 $\times 100\%$;

校正死亡率 = (处理死亡率 - 对照死亡率)/(1 - 对照死亡率) $\times 100\%$ 。

1.2.3 球孢白僵菌对食蚜瘿蚊的致病力测定 将 3 龄食蚜瘿蚊(每处理 20 头)置于无菌纱布中,放入不同浓度孢子悬浮液浸沾 2 s 后迅速取出,用滤纸吸取多余的汁液,随后把 3 龄食蚜瘿蚊幼虫放置于供试烟叶上,每组 5 次重复,供试烟叶上载有 400 头烟蚜,每天定时定量补充足量烟蚜以供食蚜瘿蚊取食,其他操作环节同“1.2.2”节。对食蚜瘿蚊幼虫继续观察并记录其化蛹率和羽化率。

化蛹率 = (处理存活虫数)/(处理虫口数) $\times 100\%$;

羽化率 = (处理羽化虫数)/(化蛹虫口数) $\times 100\%$ 。

1.3 数据分析

采用 SPSS 23.0 统计软件进行数据分析,并用新复极差法进行差异显著性检验。由 Origin 8.5.1 软件完成文章的制图。

2 结果与分析

2.1 不同浓度球孢白僵菌对烟蚜累积校正致死率

由图 1 可知,各处理烟蚜的累计校正死亡率随着时间的延长逐渐升高,整体趋势为: 1.60×10^8 个/mL $> 1.60 \times 10^7$ 个/mL $> 1.60 \times 10^6$ 个/mL $> 1.60 \times 10^5$ 个/mL $> 1.60 \times 10^4$ 个/mL。在接种球孢白僵菌 1 d 后,仅 1.60×10^4 个/mL 浓度未致死烟蚜。接菌后 2~3 d 烟蚜染菌致死率上升最快。7 d 后累计校正致死率最高的为 1.60×10^8 个/mL 处理的 92%,最低为 1.60×10^4 个/mL 处理的 46%。

2.2 不同浓度球孢白僵菌对烟蚜的毒力

由表 1 可知,不同浓度的球孢白僵菌随侵染烟蚜时间的延长,LC₅₀和 LC₉₀逐渐降低。其中侵染 4 d 的 LC₅₀和 LC₉₀均达到最大,分别为 3.68×10^6 、 1.15×10^{12} 个/mL,毒力方程为 $y = 0.233x - 1.531$ 。而 7 d 的 LC₅₀(3.14×10^4 个/mL)和 LC₉₀($1.05 \times$

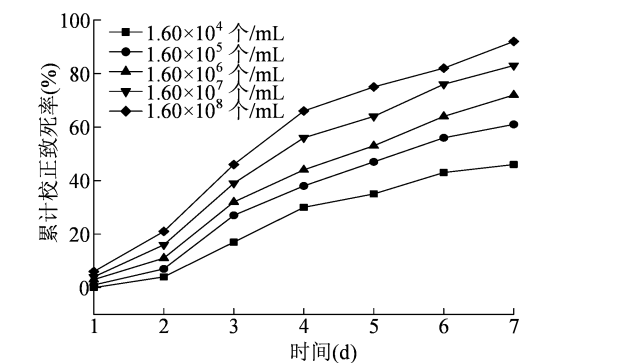


图1 不同浓度球孢白僵菌侵染烟蚜的累计校正死亡率

表 1 不同浓度球孢白僵菌对烟蚜 3 龄若虫毒力

时间 (d)	毒力回归方程	LC ₅₀ (个/mL)		LC ₉₀ (个/mL)	
		药剂浓度	95% 置信区间	药剂浓度	95% 置信区间
4	$y = 0.233x - 1.531$	3.68×10^6	$1.21 \times 10^6 \sim 1.38 \times 10^7$	1.15×10^{12}	$3.22 \times 10^{10} \sim 1.54 \times 10^{15}$
5	$y = 0.254x - 1.449$	4.99×10^5	$1.42 \times 10^5 \sim 1.38 \times 10^6$	5.46×10^{10}	$3.65 \times 10^9 \sim 8.95 \times 10^{12}$
6	$y = 0.275x - 1.312$	6.01×10^4	$1.08 \times 10^4 \sim 1.83 \times 10^5$	2.79×10^9	$3.72 \times 10^8 \sim 1.05 \times 10^{11}$
7	$y = 0.364x - 1.635$	3.14×10^4	$7.83 \times 10^3 \sim 8.18 \times 10^4$	1.05×10^8	$3.13 \times 10^7 \sim 6.81 \times 10^8$

表 2 不同浓度球孢白僵菌对烟蚜致死时间

浓度 (个/mL)	毒力回归方程	LT ₅₀ (d)	LT ₉₀ (d)
1.60×10^4	$y = 0.328x - 3.272$	6.63	10.72
1.60×10^5	$y = 0.315x - 2.751$	5.53	9.28
1.60×10^6	$y = 0.314x - 2.335$	4.92	8.46
1.60×10^7	$y = 0.318x - 1.545$	4.17	7.29
1.60×10^8	$y = 0.293x - 1.427$	3.60	6.39

2.4 不同浓度球孢白僵菌分生孢子液对食蚜瘿蚊累计校正致死率

由图 2 可知,随着侵染时间的延长,球孢白僵菌对食蚜瘿蚊的累计校正致死率逐渐上升。球孢白僵菌对食蚜瘿蚊的 7 d 累计校正致死率以 1.60×10^8 个/mL 处理最高,为 42.42%。

表 3 球孢白僵菌对食蚜瘿蚊 3 龄幼虫的毒力

时间 (d)	毒力回归方程	lg(LC ₅₀)		lg(LC ₉₀)	
		lg(LC ₅₀) 估算值	95% 置信区间	lg(LC ₉₀) 估算值	95% 置信区间
1	$y = 7.924x - 8.540$	32.076	$15.14 \sim 5.27 \times 10^5$	115.590	$30.40 \sim 4.49 \times 10^9$
2	$y = 7.903x - 8.019$	20.383	$12.87 \sim 153.49$	63.370	$25.91 \sim 3\ 420.94$
3	$y = 6.542x - 6.472$	17.403	$11.87 \sim 70.51$	56.205	$25.12 \sim 1\ 135.96$
4	$y = 5.787x - 5.550$	14.047	$10.59 \sim 32.00$	42.227	$22.22 \sim 290.77$
5	$y = 5.719x - 5.164$	11.836	$9.59 \sim 19.81$	32.364	$19.48 \sim 119.05$
6	$y = 5.533x - 4.750$	10.424	$8.84 \sim 14.97$	27.039	$17.65 \sim 73.13$
7	$y = 5.842x - 4.782$	9.427	$8.28 \sim 12.15$	22.545	$15.92 \sim 47.14$

10^8 个/mL) 浓度最小,毒力方程为 $y = 0.364x - 1.635$ 。说明球孢白僵菌的毒力随时间的延长逐渐增强。

2.3 不同浓度球孢白僵菌对烟蚜的时间效应

由表 2 可知,随着球孢白僵菌孢子液处理浓度的增加,球孢白僵菌对烟蚜 3 龄若虫的 LT₅₀ 以及 LT₉₀ 逐渐降低。其中 1.60×10^4 个/mL 的 LT₅₀ 和 LT₉₀ 最高,分别为 6.63、10.72 d; 1.60×10^8 个/mL 的 LT₅₀ 和 LT₉₀ 最小,分别为 3.60、6.39 d。

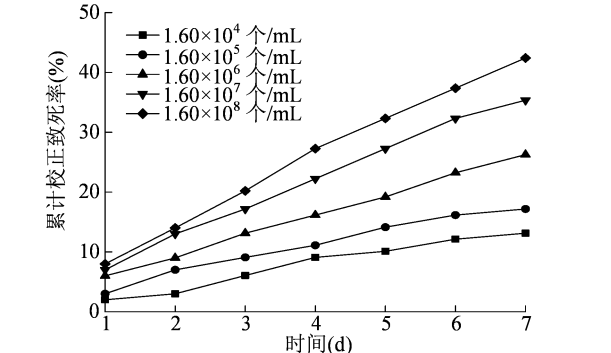


图2 不同浓度球孢白僵菌侵染食蚜瘿蚊的累计校正死亡率

2.5 不同浓度球孢白僵菌对食蚜瘿蚊的毒力

由表 3 可知,随着接种时间的延长,球孢白僵菌对食蚜瘿蚊的 lg(LC₅₀) 以及 lg(LC₉₀) 也随之减小。7 d 时,lg(LC₅₀) 和 lg(LC₉₀) 估算值最小,分别为 9.427、22.545,毒力回归方程为 $y = 5.842x - 4.782$ 。表明各处理均对食蚜瘿蚊的影响较小。

2.6 球孢白僵菌对食蚜瘿蚊的致死时间

由表 4 可知, 1.60×10^4 个/mL 的 LT_{50} 和 LT_{90} 值最大, 分别为 14.10、22.91 d。 1.60×10^8 个/mL 的 LT_{50} 和 LT_{90} 值最小, 分别为 7.64、14.38 d。

表 4 不同浓度球孢白僵菌对食蚜瘿蚊致死时间参数

浓度 (个/mL)	毒力回归方程	LT_{50} (d)	LT_{90} (d)
1.60×10^4	$y = 0.145x - 2.051$	14.10	22.91
1.60×10^5	$y = 0.132x - 1.790$	13.60	23.34
1.60×10^6	$y = 0.146x - 1.615$	11.06	19.83
1.60×10^7	$y = 0.171x - 1.501$	8.78	16.28
1.60×10^8	$y = 0.190x - 1.454$	7.64	14.38

2.7 球孢白僵菌对食蚜瘿蚊化蛹率、羽化率以及雌雄比的影响

由表 5 可知, 食蚜瘿蚊随着侵染浓度的增大, 其化蛹率和羽化率逐渐降低, 雌雄比未发生显著变化。 1.60×10^6 个/mL 处理下化蛹率、羽化率最高分别为 $(85.00 \pm 2.24)\%$ 和 $(92.40 \pm 1.03)\%$, 雌雄比为 1.074 : 1; 1.60×10^8 个 U/mL 处理下化蛹率、羽化率最低, 分别为 $(75.00 \pm 2.04)\%$ 和 $(81.25 \pm 3.75)\%$, 雌雄比为 1.092 : 1。

表 5 不同浓度球孢白僵菌对食蚜瘿蚊幼虫化蛹率、羽化率以及雌雄比的影响

浓度 (个/mL)	化蛹率 (%)	羽化率 (%)	雌雄比 (雌 : 雄)
1.60×10^6	$85.00 \pm 2.24b$	$92.40 \pm 1.03a$	1.074 : 1a
1.60×10^7	$80.00 \pm 1.58bc$	$88.40 \pm 1.44a$	1.082 : 1a
1.60×10^8	$75.00 \pm 2.04c$	$81.25 \pm 3.75b$	1.092 : 1a
CK (对照)	$95.00 \pm 1.87a$	$94.00 \pm 1.00a$	1.040 : 1a

注: 同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

3 结论与讨论

球孢白僵菌对害虫具有很好的控害作用, 高达 80% 的害虫种群可受到感染, 目标害虫各个阶段的潜在死亡率高, 垂直和水平传播能力强, 并且对环境影响较小^[31]。目前关于球孢白僵菌防治蚜虫的研究报道较多^[22,32-33]。菌株 ATCC 74040 在 2.3×10^7 CFU/mL 下对棉蚜 7 d 的累计致死率高达 100%^[34]; 菌株 Bb2032、Bb2488、Bb444 在 1×10^8 CFU/mL 下对茶蚜 (*Toxoptera aurantii*) 7 d 累计致死率均高于 90%^[35]。本试验研究结果表明, 球孢白僵菌孢悬液对烟蚜若虫具有良好活性,

随着孢悬液浓度的增加对烟蚜的防控效果逐渐增强, 其中浓度为 1.60×10^8 个/mL 时对烟蚜的感染力最高, 发病最快, 接种后 7 d 累计校正致死率高达 92%, LC_{50} 为 3.14×10^4 个/mL、 LC_{90} 为 1.05×10^8 个/mL, LT_{50} 和 LT_{90} 值分别是 3.60、6.39 d。与球孢白僵菌 BB-1339 菌株对蚜虫的最高防治效率为 55% 和球孢白僵菌 JL-005 菌株在浓度为 1.0×10^8 CFU/mL 时对蚜虫的防治效率为 71% 相比效果更好^[21,36]。接种球孢白僵菌 Bb0816 对蚜虫的控制效果达到 90%, 蚜虫致死时间参数 LT_{50} 以及 LT_{90} 分别为 3.6 d 和 6.39 d^[22], 该结果与本试验结果相近, 证实球孢白僵菌对蚜虫具有较好的防治效果。导致球孢白僵菌对蚜虫毒力差异较大的原因可能与蚜虫的虫龄以及菌株的种类有关^[37]。

农业生态系统中宿主-捕食者-昆虫病原体的相互作用可能对非靶向昆虫和有益节肢动物具有拮抗、有害或协同作用。因此, 球孢白僵菌对害虫的有效防治有赖于对害虫的高效防治和对非目标害虫特别是天敌的低致病性。近些年有关球孢白僵菌对天敌影响的报道中显示, 球孢白僵菌油悬剂 HFW-05 对七星瓢虫 [*Coccinella septempunctata* (Linnaeus)] 3 龄幼虫的最高致死率不足 20%^[38]。BB40 分离菌株对寄生蜂成虫发育时间, 以及羽化率与对照组差异不大, 均在 80% 以上^[39]。本试验中球孢白僵菌孢悬液 1.60×10^8 个/mL 的 7 d 累计校正致死率为 42.42%, 化蛹率和羽化率均在 75% 以上, 表明该球孢白僵菌对天敌食蚜瘿蚊较为安全。根据国际生物防治组织在实验室条件下药剂对天敌生物影响的划分标准(致死率 0~30% 为无或者低风险, 致死率 30%~79% 为中风险, 致死率 >79% 为高风险), 可以判定在 1.60×10^8 个/mL 下对食蚜瘿蚊为中风险, 在后续球孢白僵菌与食蚜瘿蚊联合防治蚜虫使用中可以间隔时间 7d 再释放天敌, 以此提高防治蚜虫的效率。研究结果将为烟蚜联合防控治理提供参考依据。

此外, 由于本试验在室内进行, 浓度作为变量, 控制相同的温湿度条件, 对于不同地区气候条件进行联合生物防控还需要多方面考虑, 以确保球孢白僵菌与食蚜瘿蚊防治蚜虫效果最大化。本研究只观察记录了食蚜瘿蚊亲代的影响, 尚未开展对子代的影响研究。2 种天敌因素的联合应用影响因素很多, 后续还需要更加深入的探索, 以期 为食蚜瘿蚊和球孢白僵菌的联合应用技术提供科学依据。

参考文献:

- [1] Soares J R S, da Silva Paes J, de Araújo V C R, et al. Spatiotemporal dynamics and natural mortality factors of *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) in bell pepper crops [J]. Neotropical Entomology, 2020, 49(3): 445–455.
- [2] Sadeghi A, van Damme J M, Michiels K, et al. Acute and chronic insecticidal activity of a new mannose – binding lectin from *Allium porrum* against *Acyrtosiphon pisum* via an artificial diet [J]. The Canadian Entomologist, 2009, 141(1): 95–101.
- [3] Bass C, Puinean A M, Zimmer C T, et al. The evolution of insecticide resistance in the peach potato aphid, *Myzus persicae* [J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2014, 51: 41–51.
- [4] 吴珂珂, 顾 钢, 赖荣泉, 等. 光周期和温湿度对烟蚜茧蜂寄生能力和繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2022, 65(11): 1488–1497.
- [5] 可 芮, 徐继伟, 肖志新, 等. 瓢虫对烟蚜的控制效能及异色瓢虫与烟蚜茧蜂的取食竞争作用[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(3): 338–344.
- [6] 王 杰, 邸 宁, 蒋瑞鑫, 等. 以豆蚜为食物的大草蛉生命表及饥饿对其食物利用率的影响[J]. 环境昆虫学报, 2021, 43(5): 1257–1264.
- [7] 申修贤. 5 种生物农药对食蚜瘿蚊的亚致死效应研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020: 1–3.
- [8] Ye C, Wang Z W, Sheng Y L, et al. GNBPI as a potential RNAi target to enhance the virulence of *Beauveria bassiana* for aphid control [J]. Journal of Pest Science, 2022, 95(1): 87–100.
- [9] Ali S, Sajjad A, Shakeel Q, et al. Influence of bacterial secondary symbionts in *Sitobion avenae* on its survival fitness against entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium brunneum* [J]. Insects, 2022, 13(11): 1037.
- [10] 王秀琴, 欧后丁, 于晓飞, 等. 食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食作用[J]. 中国烟草科学, 2020, 41(5): 79–86.
- [11] Messelink G J, Bloemhard C M J, Cortes J A, et al. Hyperpredation by generalist predatory mites disrupts biological control of aphids by the aphidophagous gall midge *Aphidoletes aphidimyza* [J]. Biological Control, 2011, 57(3): 246–252.
- [12] Boulanger F X, Jandric S, Bolckmans K, et al. Optimizing aphid biocontrol with the predator *Aphidoletes aphidimyza*, based on biology and ecology [J]. Pest Management Science, 2019, 75(6): 1479–1493.
- [13] 林清彩, 翟一凡, 陈 浩, 等. 食蚜瘿蚊捕食能力研究[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(2): 171–175.
- [14] 郭慧娟, 李保平, 王玉波, 等. 蚜虫密度对食蚜瘿蚊终身产卵量的影响[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(3): 312–316.
- [15] 于晓飞, 韩小斌, 宋冬梅, 等. 食蚜瘿蚊工厂化繁殖技术规程 [J]. 贵州农业科学, 2018, 46(5): 38–40, 2.
- [16] 郭 涵, 刘柱东, 孙江华. 孢悬液浓度和宿主体型大小对球孢白僵菌对松墨天牛幼虫的致病力的影响[J]. 昆虫学报, 2020, 63(7): 835–842.
- [17] González – Mas N, Cuenca – Medina M, Gutiérrez – Sánchez F, et al. Bottom – up effects of endophytic *Beauveria bassiana* on multitrophic interactions between the cotton aphid, *Aphis gossypii*, and its natural enemies in melon [J]. Journal of Pest Science, 2019, 92(3): 1271–1281.
- [18] Wang C S, Feng M G. Advances in fundamental and applied studies in China of fungal biocontrol agents for use against arthropod pests [J]. Biological Control, 2014, 68(1): 129–135.
- [19] 叶兰钦. 球孢白僵菌对烟蚜致病力研究[J]. 云南民族大学学报(自然科学版), 2007, 16(1): 39–41.
- [20] 田 佳, 汝冰璐, 王 颖, 等. 一株对桃蚜有高致病性球孢白僵菌的分离、筛选与鉴定[J]. 植物保护学报, 2018, 45(3): 606–613.
- [21] 孙大平, 路 茜, 王 鹏, 等. 4 种病原真菌对桃蚜和温室白粉虱的致病力[J]. 吉林农业大学学报, 2021, 43(6): 664–672.
- [22] 徐继伟, 李 丽, 肖志新, 等. 球孢白僵菌对不同烟草品种寄主烟蚜的侵染致病力及生殖力的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019, 34(2): 216–222.
- [23] Sayed S, Elarnnauty S A, AlOtaibi S, et al. Pathogenicity and side effect of indigenous *Beauveria bassiana* on *Coccinella undecimpunctata* and *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. Insects, 2021, 12(1): 42.
- [24] 杨清碰, 李 莉. 球孢白僵菌侵染对管氏肿腿蜂雌成蜂的不利影响[J]. 昆虫学报, 2017, 60(1): 53–59.
- [25] 吴圣勇. 白僵菌、巴氏新小绥螨和西花蓟马间的互作关系研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2014: 3–6.
- [26] Feng M G, Poprawski T J, Khachatourians G G. Production, formulation and application of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for insect control: current status [J]. Biocontrol Science and Technology, 1994, 4(1): 3–34.
- [27] 朱 虹, 骆绪美, 宋仅星, 等. 球孢白僵菌对桃蚜及其两种捕食性天敌的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(9): 2413–2418.
- [28] Portilla M, Snodgrass G, Luttrell R. Lethal and sub – lethal effects of *Beauveria bassiana* (Cordycipitaceae) strain N18 on *Chrysoperla rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. Florida Entomologist, 2017, 100(3): 627–633.
- [29] Jaber L R, Araj S E. Interactions among endophytic fungal entomopathogens (Ascomycota: Hypocreales), the green peach aphid *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera: Aphididae), and the aphid endoparasitoid *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Braconidae) [J]. Biological Control, 2018, 116: 53–61.
- [30] Trizelia T, Busniah M, Permadi A. Pathogenicity of entomopathogenic fungus *Metarhizium* spp. against predators *Menochilus sexmaculatus Fabricius* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. Asian Journal of Agriculture, 2017, 1(1): 1–5.
- [31] Sadiq M A, Afzal M, Raza A B M, et al. Effect of insect growth regulators and the fungi *Beauveria bassiana* (Bals.) alone and in combination on the larvae of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) in different cereals [J]. International Journal of Tropical Insect Science, 2022, 42(1): 827–834.
- [32] Mantzoukas S, Daskalaki E, Kitsiou F, et al. Dual action of *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) endophytic strains as biocontrol agents against sucking pests and plant growth biostimulants on melon and strawberry field plants [J]. Microorganisms, 2022, 10(11): 2306.

胡展,程伟,李一路,等. 水稻内生放线菌 Ahn109 的分离鉴定及对稻瘟病的抑制活性[J]. 江苏农业科学,2024,52(12):133-140.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.12.018

水稻内生放线菌 Ahn109 的分离鉴定 及对稻瘟病的抑制活性

胡展,程伟,李一路,付祖姣,郭照辉,肖蓉,罗容琚,杨华,伍善东
(湖南省微生物研究院,湖南长沙 410009)

摘要:利用植物内生放线菌防控水稻稻瘟病,已成为新的生物防治方法。为挖掘对稻瘟病菌具有高效拮抗作用的植物内生放线菌资源,采用平板对峙法和菌丝速率抑制法对海南水稻组织中分离纯化的内生放线菌进行筛选,通过菌落形态、培养特征观察、16S rRNA 和基因组序列分析对筛选菌株进行鉴定,并初步研究了拮抗菌株的抗逆特性、次生代谢产物组成及其对稻瘟病的防治效果。结果表明,一株微白黄链霉菌(*Streptomyces albidoflavus*) Ahn109 对稻瘟病菌的抑制效果较好,其平板对峙抑菌率为 56.73%,发酵滤液稀释 10 倍后抑菌率为 59.84%。抗逆试验显示,该菌株具有良好的紫外、碱和盐耐受性。AntiSMASH 软件分析预测该菌株基因组中含有白地霉抗菌素、菲特霉素和缬氨霉素等多种抗菌化合物的生物合成基因簇。盆栽试验结果显示,该菌株对水稻叶瘟和穗颈瘟均有较好防效,其孢子悬浮液处理水稻组织后,盆栽水稻的叶瘟和穗颈瘟发病率比对照分别降低了 35.65% 和 39.08%,叶瘟和穗颈瘟病情防效分别为 35.77% 和 33.64%。综上所述,菌株 Ahn109 具有较高的生防潜力,可用于水稻稻瘟病生防菌剂的开发。

关键词:内生放线菌;微白黄链霉菌;稻瘟病;生物防治;分离鉴定

中图分类号:S435.111.4⁺1;S182 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)12-0133-08

水稻稻瘟病是由病原真菌稻梨孢菌(*Magnaporthe oryzae*)侵染水稻不同组织而引起的一种严重危害水稻产量和质量的病害,发病可贯穿于水稻整个发育时期^[1]。每年水稻因稻瘟病造成的

产量损失约为 10%~30%,损失的稻米可以养活近 6 000 万的人口^[2-3]。近年来,我国多地暴发稻瘟病,部分地区水稻大面积减产甚至绝收,导致国家粮食安全受到严重威胁^[4]。目前,水稻稻瘟病的防治主要依赖于化学农药的施用,而化学农药的降解周期相对较长,长期施用对土壤和环境带来了较大的污染,给水稻安全生产和人类健康带来较大的隐患^[5-6]。此外,种植水稻抗病新品种也是防止水稻发生稻瘟病的一种策略,但抗病新品种的培育周期较长,且抗瘟性还会随着稻瘟病菌的变异而消失^[7]。因此,当前社会迫切需要发展新的稻瘟病防控方法,其中生物防治成为一个重要研究方向。

微生物菌剂因为具有对环境友好、低毒且不易

收稿日期:2023-07-25

基金项目:湖南省技术攻关“揭榜挂帅”项目(编号:2021NK1040);国家自然科学基金(编号:32171633);湖南省自然科学基金(编号:2021JJ30411)。

作者简介:胡展(1987—),男,湖南湘潭人,硕士,助理研究员,主要从事农业微生物的基础和应用研究。E-mail:309594397@qq.com。

通信作者:杨华(1986—),硕士,助理研究员,主要从事农业微生物的基础和应用研究。E-mail:dyyhua@163.com。

[33] Dwivedi S A, Singh R S, Amin M A, et al. Synthetic insecticides and bio-pesticide affect natural enemies of aphid (*Lipaphis erysimi* Kalt) in mustard [J]. Indian Journal of Agricultural Research, 2022, 56(6): 717-725.

[34] Homayoonzadeh M, Esmaily M, Talebi K, et al. Inoculation of cucumber plants with *Beauveria bassiana* enhances resistance to *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) and increases aphid susceptibility to pirimicarb [J]. European Journal of Entomology, 2022, 119: 1-11.

[35] 秦丽,卫书霞,汪仁敏,等. 球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 对茶蚜 *Toxoptera aurantii* 致病力筛选及毒力活性研究[J]. 中国

茶叶加工, 2019(3): 70-76.

[36] 孟豪,田晶,付淑慧,等. 玫烟色棒束孢与球孢白僵菌对桃蚜致病力对比[J]. 植物保护学报, 2014, 41(6): 717-722.

[37] 况再银,童文,孙佩,等. 球孢白僵菌的侵染特性及应用研究进展[J]. 微生物学通报, 2023, 50(7): 3187-3197.

[38] 宋健,曹伟平,杜立新,等. 球孢白僵菌 HFW-05 油悬剂对天敌昆虫的毒力测定[J]. 华北农学报, 2011, 26(2): 180-183.

[39] Tamayo-Mejía F, Tamez-Guerra P, Guzmán-Franco A W, et al. Developmental stage affects survival of the ectoparasitoid *Tamarixia trioxae* exposed to the fungus *Beauveria bassiana* [J]. Biological Control, 2016, 93: 30-36.