



程东美, 洪婉雯, 孙辉, 华宏伟, 张子枫, 徐汉虹, 张志祥. 草地贪夜蛾幼虫僵虫发生率调查及致病菌分离鉴定 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (6): 1298 - 1304.

草地贪夜蛾幼虫僵虫发生率调查及致病菌分离鉴定

程东美¹, 洪婉雯¹, 孙辉¹, 华宏伟¹, 张子枫¹, 徐汉虹², 张志祥^{2*}

(1. 仲恺农业工程学院农业与生物学院, 广州 510225; 2. 华南农业大学植物保护学院, 广州 510642)

摘要: 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 是一种新的入侵害虫, 目前已侵入我国多个省区, 严重危害玉米。本研究调查了广州地区草地贪夜蛾僵虫的自然发生率, 并分离出具有较高致病性的白僵菌, 测定了其对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的致病性。结果表明: 广州地区草地贪夜蛾幼虫僵虫发生普遍, 田间僵虫率最高为 20.99%, 累积僵虫率达 43.21%; 结合僵虫、致病菌菌落、显微超微等形态和分子生物学分析, 以及致病性测定, 确定从草地贪夜蛾幼虫上分离的真菌为球孢白僵菌 *Beauveria bassiana*; 分离培养的分生孢子和僵虫体表洗脱的分子孢子对幼虫致病力相近, 有效致死浓度为 1×10^7 cfu/mL, 幼虫累积校正死亡率达 78.57%。研究表明, 该白僵菌菌株对草地贪夜蛾幼虫具有较高的致病性, 可作为生防真菌进一步的研究。

关键词: 草地贪夜蛾; 病原真菌; 白僵菌; 致病性

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 06-1298-07

Survey on the cadaver rates of *Spodoptera frugiperda* and isolation of pathogenic strain

CHENG Dong-Mei¹, HONG Wan-Wen¹, SUN Hui¹, HUA Hong-Wei¹, ZHANG Zi-Feng¹, XU Han-Hong², ZHANG Zhi-Xiang^{2*} (1. College of Agriculture and Biology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2. College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), is a new important invasive pest. Currently, *S. frugiperda* has invaded many provinces in China and became an important pest of maize production. We investigated the cadaver rates of *S. frugiperda* in Guangzhou, and isolated the pathogenic fungi on cadaver of *S. frugiperda*, and tested its pathogenicity to the 3rd larvae of *S. frugiperda*. The results showed that the cadaver of *S. frugiperda* distributed widely in the cornfield; the highest natural cadaver rate could be 20.99% and cumulative cadaver rate was 43.21%. The strain was identified as *Beauveria bassiana* by using morphological methods, molecular biological analysis, and pathogenicity on *S. frugiperda*. The cultured conidium had the same mortality rates with that of cadaver surface, and the effective spore concentration was 1×10^7 cfu/mL, and the cumulative mortality was 78.57% at the concentration. The results indicated that strain was highly virulent to *S. frugiperda* and could be used as a biocontrol fungus for further research.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; pathogenic fungi; *Beauveria*; pathogenicity

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020224002); 广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队项目 (2019KJ133)

作者简介: 程东美, 女, 1973 年生, 安徽来安人, 博士, 副教授, 主要研究方向为植物保护, E-mail: zkcsm@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 张志祥, 博士, 教授, 主要研究方向为植物保护, E-mail: zdsys@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-06-10; 接受日期 Accepted: 2020-09-09

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), 属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 原分布于美洲热带和亚热带地区。2019 年 1 月 13 日草地贪夜蛾入侵我国云南省 (杨普云等, 2019), 4 月 23 日广东省广州市增城区发现草地贪夜蛾幼虫入侵为害 (廖永林等, 2019), 截至 6 月 4 日, 已经入侵了长江流域及其以南的 18 个省 (市、自治区), 严重威胁我国农业及粮食生产 (全国农业技术推广服务中心, 2019)。草地贪夜蛾各龄幼虫均可产生为害, 取食玉米的叶片、穗轴、籽粒, 所到之处肆虐暴食, 轻则导致田块斑驳、茎叶残缺, 重则毁种, 严重威胁玉米生产 (张丹丹等, 2019)。

药剂防治是控制草地贪夜蛾为害的主要方法 (赵胜园等, 2019), 目前我国尚无防治该虫的登记农药, 根据《农药管理条例》有关规定, 农业农村部在专家论证的基础上, 提出了 25 种应急使用的农药产品, 推荐给农民使用。25 个产品中有 17 个单剂和 9 个以甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、高效氯氟氰菊酯为主要成分的二元混配制剂, 单剂含 11 个化学农药和 6 个生物农药, 白僵菌是推荐的产品之一 (农业农村部, 2019)。

白僵菌是研究应用最为广泛的广谱性昆虫病原性真菌之一, 属于半知菌亚门丝孢纲丛梗孢目丛梗孢科白僵菌属, 应用较为广泛的有球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 和布氏白僵菌 (卵孢白僵菌) *B. brongniatii* (高红等, 2011)。该菌分布广, 寄生能力强且范围广, 可侵染 700 余种昆虫和 10 多种蜚蠊类害虫, 且对人畜无害, 因而已被广泛开发并应用于有害生物防治 (田佳等, 2018)。我国关于白僵菌的研究与应用处于世界先进水平, 白僵菌产量全球第一, 已成功应用于大面积防治农林害虫, 如玉米螟 *Ostrinia nubilalis*、大豆食心虫 *Leguminivora glycinivorella* Matsumura、松毛虫 *Dendrolimus* 等 (李增智和樊美珍, 2000; 余素红等, 2009)。利用白僵菌防治草地贪夜蛾具有安全性高、可持续性好、害虫不易产生抗药性等优点。国外在利用白僵菌防治草地贪夜蛾方面也做了很多研究, 如 Gutierrez 等 (2018) 分离出一株球孢白僵菌, 处理 72 h 后草地贪夜蛾幼虫死亡率达 100%。白僵菌还能够与多种杀虫混用, 提高杀虫活性, 减少化学农药的使用, 如 Rivero-Borja 等 (2018) 研究发现白僵菌与多杀菌素联用对草地贪夜蛾幼虫具有增效作用。广东省植物重大灾害综

合防控共性关键技术研发创新团队 2019 年 5 月初在广州地区调查草地贪夜蛾为害时, 发现幼虫被真菌侵染和白僵虫, 该项目团队随即对花都、番禺、增城等地草地贪夜蛾幼虫的僵虫率进行了调查, 并对致病菌进行了分离和初步鉴定, 现将结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 草地贪夜蛾幼虫僵虫率调查

先后在广州市花都区花东镇联安村、番禺区大石街会江村、增城石滩镇旧山吓村玉米地进行调查, 调查采用普查法和抽样调查法相结合。对发生较轻的玉米地, 采用抽样调查法; 对发生较重的农田, 采用普查法。

抽样调查法: 花都联安村调查地块玉米受害呈明显点片状, 以每受害点为中心, 调查直至无虫害状, 然后根据玉米的密度, 估算玉米总株数。普查法: 增城、番禺两地为害较重, 对试验田块所有玉米进行调查, 采集幼虫, 记录受害株数、总虫数。将典型被真菌感染的幼虫或虫尸单头置于指形管, 以脱脂棉塞住管口, 带回实验室置于温度 27 ~ 29℃, 相对湿度 50% ~ 70%, 光周期 L : D = 16 h : 8 h 的培养箱中, 幼虫以玉米嫩叶加人工饲料混合饲养至化蛹, 连续观察幼虫的存活情况, 死亡幼虫在上述环境保湿放置 14 d, 记录出现的僵虫数, 计算僵虫比率。

1.2 白僵虫致病菌分离纯化

田间采集的白僵虫致病菌分离方法参考田佳等 (2018)、冯玉元 (2018) 并适当调整。接菌后的 PDA 平板置于 27 ~ 29℃, 相对湿度 50% ~ 70% 的培养箱培养。

方法一是选择虫体中部切成小块, 浸入 70% 乙醇中 3 ~ 5 min, 取出后, 再浸入次氯酸钠溶液 2 min, 然后用无菌水冲洗 3 次, 取 2 ~ 3 块均匀放置于加有乳酸的 PDA 平板表面倒置培养。

方法二是以无菌接种针挑取虫体表面白色孢子粉, 接种针置于 PDA 平板上方 2 ~ 3 cm, 轻拍手腕, 观察有孢子落下后将 PDA 平板倒置培养。

由方法一和方法二分离的菌落再分离培养至菌落长出绒毛状菌丝后, 切新生菌丝转移到水琼脂培养基, 生长 1 d 后, 用灭菌小手术刀挑取单根菌丝接在新 PDA 培养基培养。由 2 种分离纯化获得 6 株真菌, 经形态学初步鉴定, 每一株真菌都

具有十分相似的菌落形态和显微形态, 将其视为同一种菌, 并命名为 ZKQB3。

1.3 形态学鉴定

将 ZKQB3 接种到 PDA 培养基上, 于 27 ~ 29℃ 恒温培养箱培养, 记录菌落特征及其直径。培养 7 d 时, 待菌落表面有孢子粉时, 挑取菌丝制成玻片在光学显微镜下观察孢子、孢子梗以及产孢结构。选取已明显产孢的 PDA 平板, 挑取菌丝和孢子制片, 采用 Hitachi S-3000N 扫描电镜观察超微结构。

1.4 分子生物学鉴定

采用 Chelex-100 法提取菌丝 DNA: 吸取 10 μ L 树脂到 50 μ L 指型管, 挑少许菌丝加进树脂中, 先震荡 5 min, 再 90℃ 以上水浴加热 5 min, 反复 2 次完成粗提 DNA。

PCR 扩增: 引物选取真菌常用的 ITS1 和 ITS4, 引物由广州华大基因公司合成。PCR 反应体系: DNA 1 μ L、ITS1 1 μ L、ITS4 1 μ L、Taq PCR mix 液 12.5 μ L、无菌水 9.5 μ L。PCR 反应条件是 94℃ 3 min 预变性; 94℃ 30 s; 55℃ 30 s; 72℃ 40 s, 进行 30 循环后 72℃ 延伸 10 min。1.8% 琼脂糖凝胶电泳检测, 确认扩增成功后送往广州天一辉远基因科技有限公司测序。

根据测序结果, 对序列进行编辑, 去除两端质量差的碱基, 将优化好的 ITS 序列提交到 NCBI 网站 (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>), 使用 BLAST 程序进行比对。序列在 BLAST 后下载相似性大于 84% 的序列及其相关近缘属菌株的 ITS 序列, 用 MEGA 7.0 进行序列处理, 应用最大似然法 (ML), 运行 1 000 次 bootstrap 验证, 构建系统发育树。

1.5 菌株致病性及最适浓度测定

感染试验所采用的清水和对照均为含 0.1% 吐温-80 和 100 mg/L 农用链霉素的无菌水, 供试昆虫为草地贪夜蛾 3 龄幼虫。

1.5.1 僵虫体表孢子致病性测定

以昆虫针轻挑或轻刮, 并用无菌水冲洗僵虫表面, 将表面白色孢子粉充分洗脱, 再振荡 15 min, 制成孢子悬浮液, 以血球计算板计数, 然后稀释配制成浓度为 1×10^5 、 1×10^6 、 1×10^7 、 1×10^8 cfu/mL 的分生孢子悬浮液。将供试草地贪夜蛾幼虫在孢子悬液中浸 3 s 后取出, 置于滤纸上, 待虫体表面无明显液体时置于玻璃指形管中单头正常饲养。

1.5.2 离体培养孢子致病性 (活性) 测定

选取分离并纯化的 ZKQB3 菌株在 PDA 培养 15 d, 刮取菌落表面孢子至 0.1% 吐温-80 + 100 mg/L 农用链霉素的无菌水中, 充分振荡后稀释成浓度为 1×10^5 、 1×10^6 、 1×10^7 、 1×10^8 cfu/mL 的分生孢子悬浮液。浸染方法同 1.5.1。

每浓度处理 10 头, 重复 3 次; 对照以无菌水处理, 每天观察并检查死亡情况。死虫置于指形管、27 ~ 29℃ 培养箱保湿放置, 连续观察 15 d。将虫体僵硬、体表有菌丝或孢子长出的死虫判为僵虫, 计算死亡率、侵染率。

2 结果与分析

2.1 草地贪夜蛾僵虫症状及发生率调查

2019 年 5 月至 6 月, 在广州的花都、番禺和增城等三区的 4 块玉米田调查均发现入侵草地贪夜蛾幼虫被寄生, 白僵虫 (图 1) 较为普遍。白僵虫虫体密被白色 (孢子) 粉, 多数僵虫头向上, 可见黑色头壳, 多在植株中上部发生, 心叶、喇叭口、未展开的雄蕊上僵虫数量多, 个体大; 完全展开的叶片上数量少, 僵虫个体小。僵虫多为 3 ~ 5 龄幼虫, 2 龄幼虫的僵虫较少, 未发现初孵幼虫和蛹被感染。

各调查点僵虫发生率有明显不同 (表 1)。5 月 6 日花都联安村玉米地, 该调查点玉米受害率较低, 有明显的为害中心, 玉米受害呈明显的片状, 每个受害点约有 10 ~ 15 株玉米有明显的受害状, 田间僵虫少, 累积僵虫率为 12.00%。5 月 10 日番禺会江村玉米地, 草地贪夜蛾发生普遍, 玉米受害, 受害率达 89.00%, 无明显的为害中心。调查前期连续降雨, 湿度较大, 玉米叶片及喇叭口有明显水珠, 田间僵虫率为 20.99%。采集的幼虫累积死亡率高, 死亡幼虫保湿培养后呈明显的白僵虫症状, 累积僵虫率 43.21%。调查后即进行喇叭口颗粒施药, 7 d 后再次调查, 玉米进入花粒期, 雄蕊已完全展开, 叶片受害较轻, 新形成的虫孔少, 果穗及未完全展开的雄蕊受害较重, 田间僵虫自然发生率 8.70%, 僵虫累积比率为 9.52%。6 月 5 日旧山吓村, 该调查点玉米田草地贪夜蛾发生普遍, 除试验田块外, 农田均以常规杀虫剂进行喷雾处理, 玉米受害率下降。试验玉米田未进行药剂处理, 玉米受害较重, 受害率达 78.00%, 僵虫自然发生率为 6.67, 累积僵虫率为 13.33%。



图1 草地贪夜蛾幼虫感染白僵菌症状

Fig. 1 Infection symptom of *Spodoptera frugiperda* larvae by *Beauveria*

表1 草地贪夜蛾幼虫僵虫发生率调查

Table 1 Cadaver rates of *Spodoptera frugiperda* larvae

地点 Area	日期 Date (mm - dd)	玉米受 害率 (%) Damage rate	虫数 (头) /百株 Average number	田间僵 虫 (%) Cadaver rate	累积僵 虫 率 (%) Accumulated cadaver rate	玉米生长阶段 Growth stage	备注 Remark
联安村 Lianan Village	5 - 06	21.00	16	8.00	12.00	拔节期 Jointing stage	前期连续阴雨 Overcast and rainy continuously
会江村 Huijiang Village	5 - 10	89.00	127	20.99	43.21	大喇叭口期 Bell-mouth period	前期连续阴雨 Overcast and rainy continuously
会江村 Huijiang Village	5 - 17	65.00	83	8.70	19.57	花粒期 Granulation period	晴, 湿度小 Sunny, low humidity
旧山吓 Jiushanxia Village	6 - 05	78.00	60	6.67	13.33	大喇叭口期 Bell-mouth period	阴, 有时有雨 Cloudy, sometimes rainy

2.2 形态鉴定结果

ZKQB3 菌株在 PDA 培养基上菌落圆形, 菌丝较茂密, 短绒毛状, 正面白色, 背面淡黄色 (图 2 - A1, A2)。经光学显微镜观察, 3 号菌株产孢细胞为瓶状, 簇生于菌丝顶端或其分枝上, 直或弯曲 (图 2 - B2)。分生孢子透明, 卵圆形或近球形, 无色, 表面光滑, 大小为 $1.59 \sim 4.88 \mu\text{m} \times 0.86 \sim 2.06 \mu\text{m}$ (图 2 - B1)。经扫描电镜观察, 分生孢子卵圆形 (图 2 - C1), 分生孢子簇生于分生孢子梗“之”字形分支末端 (图 2 - C2)。根据培养基培养特征, 其产生的分生孢子和产孢结构

的显微和超微形态, 鉴定菌株 ZKQB3 为白僵菌 *Beauveria* sp.。

2.3 分子鉴定结果

以引物 ITS1 和 ITS4 进行 PCR 扩增, 对菌株 ZKQB3 测定所得 ITS 序列修剪编辑, 去除两端质量不好的碱基, 再导入 NCBI 中进行 Blast 比较, 与球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 的同源性达到 99% 以上, 和数据库中的球孢白僵菌聚成一簇, 两者高度相似性。综合形态特征鉴定和 ITS 序列相似性分析, 确定该菌株为白僵菌属球孢白僵菌。

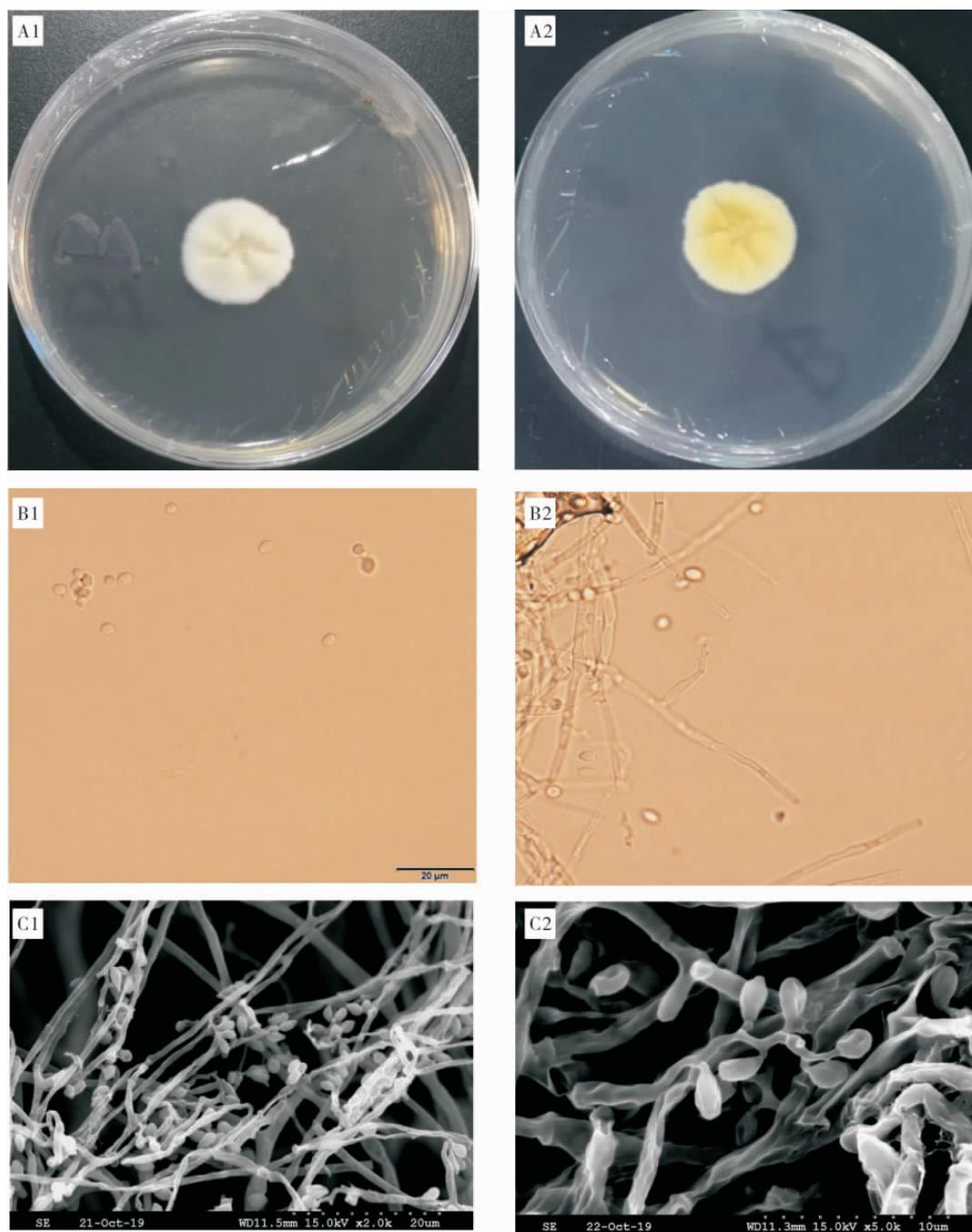


图2 球孢白僵菌 ZKQB3 形态

Fig. 2 Morphology of *Beauveria bassiana* ZKQB3

注: A, PDA 菌落形态; B, 光学显微形态结果 (分生孢子和产孢结构); C, 扫描电镜超微结构 (分生孢子和产孢结构)。Note: A, Colonial morphology on PDA medium; B, Optical microscopic morphology (conidiospore, sporulation structure); C, Scanning electron ultrastructure (conidiospore, sporulation structure)

2.4 白僵菌菌株的致病性和最适浓度测定

僵虫体表和 PDA 平板上洗脱的孢子制成的孢子悬浮液均能感染草地贪夜蛾 3 龄幼虫, 被感染幼虫症状相似, 3 d 时幼虫活动力下降, 取食减少, 生长缓慢, 体长明显小于对照, 通过体视镜放大, 可观察到个别虫体侧面有菌丝; 第 4 天有

试虫死亡; 处理后第 5 天, 体表明显白色菌丝, 显微镜下观察菌丝有隔, 未观察到孢子。两种来源孢子对幼虫均有致病作用 (表 2), 浓度为 1×10^7 cfu/mL 时的死亡率均为 78.57%; 浓度为 1×10^8 cfu/mL 时的校正死亡率分别为 85.71% 和 82.14%, 且与 1×10^7 cfu/mL 处理的效果差异不显著。

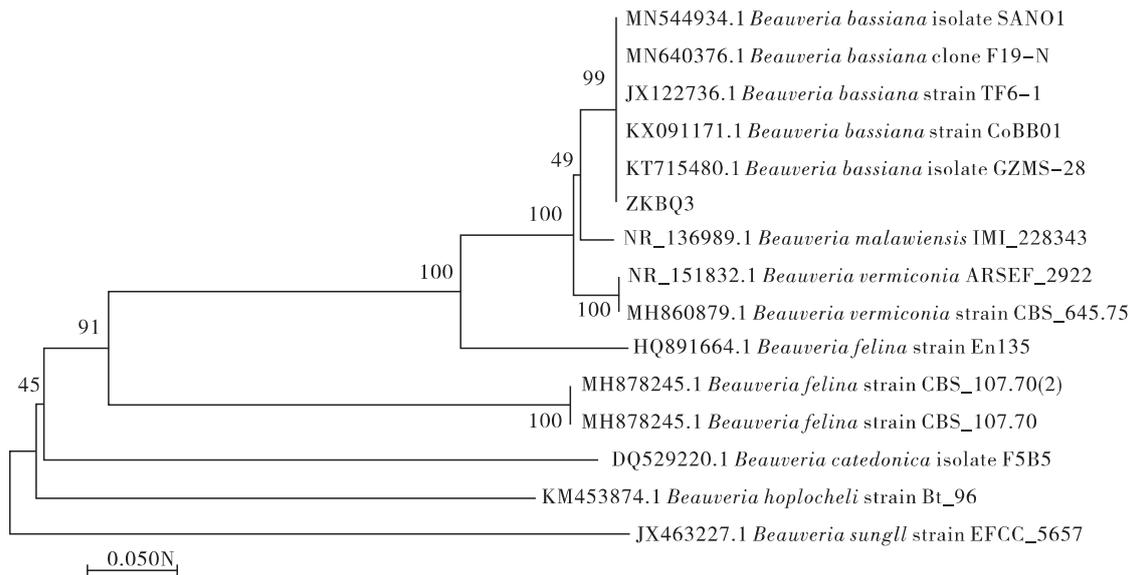


图3 基于 ITS 序列 ZKBQ3 菌株的系统发育分析

Fig. 3 Phylogenetic analysis of ZKBQ3 strain based on ITS sequence

表2 僵虫体表和分离培养的白僵菌孢子对草地贪夜蛾幼虫的致病性
 Table 2 The pathogenicity of *Beauveria* on the larvae of *Spodoptera frugiperda*

孢子浓度 (cfu/mL) Concentration	僵虫体表洗脱的孢子 Conidia from cadaver		PDA 平板培养的分生孢子 Invitro cultured conidia	
	死亡率 (%) Mortality	校正死亡率 (%) Adjusted mortality	死亡率 (%) Mortality	校正死亡率 (%) Adjusted mortality
1×10^5	26.67 ± 3.00	21.43 c	30.000 ± 0.00	25.00 c
1×10^6	56.67 ± 8.00	53.57 b	63.33 ± 2.90	60.71 b
1×10^7	80.00 ± 0.00	78.57 a	80.00 ± 5.00	78.57 a
1×10^8	86.67 ± 3.00	85.71 a	83.33 ± 2.90	82.14 a
CK	6.67	-	6.67	-

注: 同列不同小写字母表示采用 Tukey 法进行比较, 差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Different lower-case letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$ by Tukey's range test.

3 结论与讨论

虫生真菌种类多, 代谢类型复杂, 有显著的流行潜力和生产的便利性, 在害虫的生物防治中有着极为重要的作用 (王联德等, 2010)。本文的调查发现, 刚入侵广州地区的草地贪夜蛾幼虫在田间有明显被真菌寄生现象, 田间僵虫率在 6% ~ 21% 之间, 累积僵虫率最高达 43.21%, 说明广州地区具有天然的草地贪夜蛾寄生性真菌, 利用虫生真菌防治该重大入侵害虫具有适合的环境和天

敌微生物。

白僵菌是最重要的虫生真菌之一, 也是一种优良的生物农药, 能够寄生多种昆虫, 其分生孢子与虫体接触后, 在适宜温度和湿度条件下迅速萌发, 侵入虫体, 吸取虫体内水分和养分继续生长, 最后虫体充满菌丝而死亡, 死亡的虫体僵硬并发白, 表面布满白色粉状分生孢子, 向外飞扬, 随风传播, 感染其它昆虫, 形成昆虫流行病 (冯玉元, 2018)。昆虫被寄生而死, 对人畜无毒副作用, 对环境安全。本文的研究表明, 导致广州地区草地贪夜蛾僵虫的主要致病菌为球孢白僵菌,

菌株室内感染幼虫后出现白僵虫, 试虫感染症状与虫体表面孢子直接感染的症状一致; 对 3 龄幼虫有较好致病作用的孢子浓度为 1×10^7 个/mL, 累积死亡率与僵虫体表分离的分生孢子相当, 表明菌株对草地贪夜蛾具有较高的致病性, 具有进一步研究的价值。

通过对田间僵虫发生情况调查, 发现广州地区白僵菌自然发生普遍, 气候适宜, 有利于推广应用利用生防真菌防治草地贪夜蛾。

参考文献 (References)

- Cipriano GG, Ninfa Maria RG, Cosme BR, *et al.* Molecular identification and pathogenic activity of *Beauveria bassiana* isolates against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Southwestern Entomologist*, 2015, 40 (3): 539–544.
- Feng YY. Experimental study on isolation strain of *Beauveria bassiana* [J]. *Forestry Science & Technology*, 2018, 43 (1): 31–33. [冯玉元. 白僵菌菌种的分离试验研究 [J]. 林业科技, 2018, 43 (1): 31–33]
- Guo DS, Zhai YY, Ren GW, *et al.* Advance of classification of genus *Beauveria* [J]. *Acta Agriculture Borealis-occidentalis Sinica*, 2019, 28 (4): 497–509. [郭东升, 翟颖妍, 任广伟, 等. 白僵菌分类研究进展 [J]. 西北农业学报, 2019, 28 (4): 497–509]
- Guo JF, Zhao JZ, He KL, *et al.* Potential invasion of the crop-devastating insect pest fall army worm *Spodoptera frugiperda* to China [J]. *Plant Protection*, 2018, 44 (6): 1–10. [郭井菲, 赵建周, 何康来, 等. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国 [J]. 植物保护, 2018, 44 (6): 1–10]
- Li ZZ, Fan MZ. Fungal biotechnology and development of fungal insecticides. In: Yu ZL, eds. *Microbial Pesticide and Industrialization* [C]. Beijing: Science Press, 2000: 115–121. [李增智, 樊美珍. 真菌生物技术与真菌杀虫剂的发展. 见: 喻子牛 主编. 微生物农药及其产业化 [C]. 北京: 科学出版社, 2000: 115–121]
- Liao YL, Li CY, Huang SH, *et al.* Survey on the prevalence and damage of *Spodoptera frugiperda* first invasive in Guangdong [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (3): 497–502. [廖永林, 李传瑛, 黄少华, 等. 草地贪夜蛾首次入侵广东地区发生为害调查 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (3): 497–502]
- National agrotech extension and service center. The occurrence and damage of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* [R]. *Plant Bug Information*, 2019: 16. [全国农业技术推广服务中心. 近期草地贪夜蛾发生为害动态 [R]. 植物病虫情报, 2019: 第 16 期]
- Rivero-Borja M, Guzmán-Franco AW, Rodríguez-Leyva E, *et al.* Interaction of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* with chlorpyrifos ethyl and spinosad in *Spodoptera frugiperda* larvae [J]. *Pest Management Science*, 2018, 74 (9): 2047–2052.
- Rwomushana I, Bateman M, Beale T, *et al.* Fall armyworm: Impacts and implications for Africa: Evidence Note Update, October 2018 [R]. Report to DFID. Wallingford, UK: CAB international 2018.
- Tian J, Ru BL, Wang Y, *et al.* Separation, screening and identification of one isolate of *Beauveria bassiana* with high pathogenicity to *Myzus persicae* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45 (3): 606–613. [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]
- Wang LD, You MS, Huang J, *et al.* Diversity of entomopathogenic fungi and their application in biological control [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2010, 32 (5): 920–927. [王联德, 尤民生, 黄建, 等. 虫生真菌多样性及其在害虫生物防治中的作用 [J]. 江西农业大学学报, 2010, 32 (5): 920–927]
- Yang PY, Zhu XM, Guo JF, *et al.* Strategy and advice for managing the fall armyworm in China [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (4): 1–6. [杨普云, 朱晓明, 郭井菲, 等. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议 [J]. 植物保护, 2019, 45 (4): 1–6]
- Yu SH, Zeng MS, Wu GY. Application and prospect of *Beauveria bassiana* [J]. *Tea Science and Technology*, 2009, 3: 8–11. [余素红, 曾明森, 吴光远. 球孢白僵菌的研究应用与展望 [J]. 茶叶科学技术, 2009, 3: 8–11]
- Zhang DD, Wu KM. The bioassay of Chinese domestic Bt-Cry1Ab and Bt- (Cry1Ab + Vip3Aa) maize against the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (4): 54–60. [张丹丹, 吴孔明. 国产 Bt-Cry1Ab 和 Bt- (Cry1Ab + Vip3Aa) 玉米对草地贪夜蛾的抗性测定 [J]. 植物保护, 2019, 45 (4): 54–60]
- Zhao SY, Sun XX, Zhang HW, *et al.* Laboratory test on the control efficacy of common chemical insecticides against *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (3): 21–26. [赵胜园, 孙小旭, 张浩文, 等. 常用化学杀虫剂对草地贪夜蛾防效的室内测定 [J]. 植物保护, 2019, 45 (3): 21–26]
- 中华人民共和国农业农村部. 农业农村部办公厅关于做好草地贪夜蛾应急防治用药有关工作的通知 [EB/OL]. [2019-06-05]. http://www.moa.gov.cn/gk/tzgg_1/tfw/201906/t20190605_6316201.htm.

该论文于 2019 年 7 月 18 日在中国知网网络首发, 现纸质版论文进行了补充实验, 进一步佐证了试验结果与结论, 纸质版本与网络首发版本结论一致。特此说明。