



蒋希峰. 虫生真菌杀虫增效途径研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2022(2):95-98, 99.

虫生真菌杀虫增效途径研究进展

蒋希峰

(黑龙江省农业科学院 植物保护研究所/农业部哈尔滨作物有害生物科学观测实验站, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为促进虫生真菌在生产实践中的应用,通过查阅国内外相关文献,回顾了化学杀虫剂、营养类物质、菌种间复配及菌种代谢产物、表面活性剂,以及基因工程菌株等提高虫生真菌毒力的相关研究。总结得出在化学杀虫剂、营养类物质、表面活性剂与虫生真菌相容性较好的情况下,将其按一定比例添加可增强虫生真菌的毒力。菌株间复配及应用菌株代谢产物可拓宽虫生真菌的杀虫谱。强致病力基因在虫生真菌中高效表达后亦可增强虫生真菌的毒力。

关键词:虫生真菌;工程菌株;增效途径;致病力

昆虫病害中大约有 70% 为真菌性病害。虫生真菌作为微生物杀虫剂,在寻求绿色可持续防虫的新策略新技术中,具有种类多、毒力强、已规模化生产、害虫不易产生抗药性及环境友好等明显优点,具有显著的社会效益和生态效益,是害虫综合治理中重要的生物防治材料^[1-3]。作为一种生物杀虫剂,虫生真菌防治效果受环境温、湿度的影响较大,且防效不稳定、杀虫速度慢,进一步的推广应用受到限制^[4-5]。为解决虫生真菌在应用中存在的问题及受到的限制,国内外学者从多途径进行研究试验,以提高虫生真菌的杀虫毒力,增强其生防效果。本文主要探讨了增强虫生真菌毒力的几种有效途径,旨在为今后的生产实践中更好地发挥虫生真菌的生物防治效果提供借鉴。

1 化学杀虫剂的增效作用

虫生真菌作为应用广泛的昆虫病原微生物,与农业密切相关。但是由于生物和非生物因素,虫生真菌在野外应用中并没有达到预期效果。在有害生物综合治理中,虫生真菌的应用越发值得关注。大量研究表明,有选择性地将化学杀虫剂和虫生真菌结合在一起使用可对多种农业害虫起到较好的控制效果^[6-7],而且虫生真菌和化学药剂复配可明显提高对害虫的防效^[8-9]。另一方面,虫生真菌杀虫剂的活性成分是活孢子,使用非选择性或不兼容的化学杀虫剂有可能阻碍虫生真菌的

营养生长和发育,从而导致对 IPM 的负面影响。

化学杀虫剂与虫生真菌混用时,影响真菌孢子活力的成分可能是农药原药,此外,有些农药成分也会影响其活力。首先,了解不同杀虫剂对昆虫病原真菌的副作用是非常必要的,大量试验针对化学杀虫剂对虫生真菌不同发育阶段的危害做出了评估;其次,混用的必备条件是真菌杀虫剂必须与化学农药有较好的相容性^[10-11]。越来越多的研究者已开始进行相容性室内试验。Purwar 等^[12]测定了虫生真菌与几种化学杀虫剂对人纹灯蛾老熟幼虫的致死率,结果显示虫生真菌与化学杀虫剂混合处理的致死率比单独的孢子液或杀虫剂处理要高。其中,17.8 倍吡虫啉可溶液剂和 25 倍虱吸磷乳油与白僵菌和绿僵菌混合对人纹灯蛾老熟幼虫致死效果最好。Asi 等^[13]研究了几种化学杀虫剂对绿僵菌以及拟青霉菌丝体生长和分生孢子萌发的影响,结果表明毒死蜱对菌丝生长和孢子萌发的抑制作用最强,灭多威、硫双灭多威和溴虫腈次之,多杀菌素对菌丝生长和孢子萌发是安全的。蔡悦等^[14]研究了几种化学杀虫剂和除草剂与球孢白僵菌的相容性,结果表明试验中的杀虫剂和除草剂在正常施用浓度下对球孢白僵菌分生孢子萌发、菌丝生长和产孢量都有显著抑制作用。通常,杀虫剂的相容性高于杀菌剂,低浓度的杀虫剂相容性优于高浓度^[15-16]。李敏等^[17]研究了吡虫啉、噻虫嗪、呋虫胺和吡蚜酮与蜡蚧菌、玫烟色拟青霉和白僵菌的相容性,总体来看,在田间推荐使用浓度下,各供试农药与 3 种虫生真菌均可相容,可选择性地使用。杨华等^[18]利用具有触杀和胃毒作用的苯氧威与金龟子绿僵菌

收稿日期:2021-10-29

基金项目:黑龙江省应用技术与开发计划重大项目(GA19B104-5)。

作者简介:蒋希峰(1978—),男,学士,助理研究员,从事作物病虫害生物防治。E-mail:82996868@qq.com。

混配,处理樟巢螟低龄幼虫 24 h 后,LC₅₀ 仅为 35.89 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$,表现出高效的协同增效作用。Alizadeh 等^[19]利用低浓度杀虫剂敌百虫与球孢白僵菌复配防治马铃薯甲虫获得了较好的防治效果。

2 营养物质的增效作用

营养物质的添加是在与虫生菌相容的前提下,提高其产孢量或促进孢子萌发,进而缩短对目标害虫的侵染时间,达到提高侵染毒力的效果。尤其是虫生真菌液体发酵过程中产孢机制和产孢数量均受到培养基的营养条件和培养环境等理化条件的限制^[20]。

一些学者研究了营养类化学试剂的添加对真菌杀虫剂毒力的增强作用。结果发现氨基酸、维生素及无机盐对真菌的产孢具有诱导和促进作用^[21-22]。Sabbour^[23]研究了 8 个类别的 22 种化合物对球孢白僵菌和绿僵菌毒力的影响,结果显示浓度为 0.05% 的 22 种化合物均对白僵菌和绿僵菌的毒力有不同程度的增强作用。对马铃薯块茎蛾幼虫的毒力测定中,22 种化合物使白僵菌的致死中浓度下降了 79%~21%,使绿僵菌的致死中浓度下降了 76.00%~0.69%。王素英等^[24]研究了在白僵菌悬液中添加不同浓度 H_3BO_3 对光肩星天牛毒力的影响,结果表明,加入 0.20~1.00 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 助剂可提高发病率 12.5%。徐均焕等^[25]将几类生化营养基质中的海藻糖、蛋白胨、菜籽油等喷雾接种桃蚜无翅成蚜,结果表明以上几种物质均有作为球孢白僵菌制剂添加剂的应用潜力。刘洪剑等^[26]研究表明白僵菌胞悬液添加 4 种不同浓度的增效剂对松墨天牛幼虫的致死作用都有所增强。宋漳等^[27]研究结果表明,在培养液中添加适宜的维生素能有效地刺激球孢白僵菌液生分生孢子的形成,而且不同维生素对球孢白僵菌的生长及液生分生孢子的形成影响极显著。同时液生分生孢子的产量与维生素组合有关,复杂的维生素组合比单一的维生素更有利于液生分生孢子的形成。徐超民等^[28]研究表明,在一定范围内随着水溶性真菌增效剂浓度增加,其对金龟子绿僵菌的产孢有促进作用,使球孢白僵菌的增效作用增强、产孢量增高。

3 菌种间复配及菌种代谢产物的增效作用

生防真菌的侵染致病机理较复杂,不同生防真菌在生长和侵染致病过程中产生的代谢产物和

防治对象均有差异^[29]。有报道显示两种亲缘关系较远的生防菌在防治效果上可能产生协同增效作用^[30-31]。因此,通过研究不同种生防菌之间的复配,以克服各自弊端,达到兼容各自优点,扩大杀虫谱,最终提高杀虫效果。刘锦霞等^[29]利用蜡蚧轮枝菌和球孢白僵菌最佳共培养方法,发酵获得了组合菌株共发酵液,并使用其进行了白粉虱和菜青虫同时防治的温室小区防效试验,结果显示其对靶标害虫表现出了比任何单一菌剂都强的防治效果,持效期可达 15 d 以上。王志英等^[32]研究表明苏云金杆菌和白僵菌以质量比 3:1 混合配制成的混配菌剂对黄褐天幕毛虫 2 龄幼虫致死率高于任一种供试可湿性粉剂单剂。徐玲等^[33]将 3 种虫生真菌配制不同组合,对黄粉虫进行毒力测定,发现 3 种虫生真菌组合的协同毒力指数最高。

虫生真菌在侵染昆虫后,不仅在害虫体内大量生长、掠夺营养,通常还产生有毒的次生代谢产物——毒素,进而引起有害昆虫死亡。毒素是昆虫病原真菌防治有害昆虫的一种有效手段,在穿透寄主体壁能力相等的情况下,高毒菌株杀死寄主更快^[34]。大量研究也证实了昆虫体内真菌粗毒素的产量与其对幼虫的感染致死中时(LT₅₀)及校正死亡率显著相关,且粗毒素对幼虫致死效应较强的时间早于孢子悬液处理^[35-37]。洪慧金等^[38]研究表明蜡蚧轮枝菌毒素Ⅷ不仅对烟粉虱 3 龄若虫具有毒杀作用,对其成虫还表现出取食忌避。在 500 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理浓度下,取食忌避率高达 60.83%,拒食率也达 59.72%。Khoury 等^[39]研究显示实验室条件下 100 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 浓度的白僵菌对温室草莓二斑叶螨的致死率达 100%,抑制孵化率高达 83.3%,第 7 天防治效果仍然高达 72.4%。郭卓琼等^[40]研究表明绿僵菌破坏素 A 对苹果黄蚜的 LC₅₀ 为 0.016 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,且具有较高的毒力。前人研究发现,毒素能扰乱昆虫分泌系统的正常功能,抑制细胞增殖、破坏细胞结构、诱导细胞凋亡,以另一种形式有效地控制害虫。

4 表面活性剂的增效作用

表面活性剂是杀虫剂中除载体之外的最重要的一类助剂^[41],有较好的湿润和渗透性能,能够降低虫生真菌疏水性分生孢子的表面张力,增强对昆虫体表的渗透和覆盖,从而提高其在靶标害虫上的稳定持留量,以达到杀虫效果^[42-43]。研究者也在探讨表面活性剂是否会提高虫生真菌对靶

标害虫的防效。李增智等^[44]研究表明, 0.05% 的吐温-80 具有明显降低悬浮液表面张力的作用, 还可以提高真菌孢子在溶液中的分散性, 并且可以促进某些真菌孢子的萌发。赵义涛等^[45]研究筛选了对玫烟色棒束孢 PF904 有增效作用的表面活性剂, 结果表明 Nekal 和 OFX-0193 与玫烟色棒束孢 PF904 的孢子有较好的相容性, 而 AOS 则对孢子萌发有抑制作用。因此可以考虑玫烟色棒束孢 PF904 分别与 OFX-0193 和 Nekal 两种表面活性剂混配防治苹果、甘蓝类害虫, 与 OFX-0193 混配防治茄类害虫。在进一步的研究中, 王宏民等^[46]比较了两种表面活性剂对玫烟色棒束孢防治小菜蛾幼虫的增效作用, 结果表明, 250 mg·L⁻¹ Nekal 是玫烟色棒束孢 PF904 的适宜助剂和添加浓度, 对其防治小菜蛾幼虫有较强的增效作用。一般情况下, 表面活性剂对虫生真菌的增效作用往往是在其与虫生真菌具有较好相容性的基础上进行研究的。

5 基因工程菌株的增效作用

为克服虫生真菌在生产应用中存在的缺点, 就需要对生产真菌杀虫剂所用的野生型菌株进行遗传改良。在大量分子致病机制研究的基础上, 虫生真菌的基因工程取得了一定的进展。Leger 等^[47]首次将内源的类枯草杆菌蛋白酶基因 *Pr1A* 置于构巢曲霉的启动子 Ppgd 下, 在金龟子绿僵菌中得到了高效表达, 提高毒力 25%。

在我国菌株改良之初主要是运用原生质体融合等细胞工程手段^[48]。后续昆虫真菌分子生物学和生物技术方面的研究取得了关键技术突破, 从球孢白僵菌中克隆了类枯草杆菌蛋白酶基因 (*Bb pr1*)、几丁质酶基因 (*Bb chit1*) 和真菌孢子形成相关基因。新构建的含有前两种基因的工程菌较单一 *Bb pr1* 基因工程菌杀虫毒力提高近 1 倍, 侵染致病时间缩短近一半^[31]。Gao 等^[49]研究发表了金龟子绿僵菌和蝗绿僵菌全基因组序列, 标志着虫生真菌的分子研究已进入崭新的基因组时期^[48]。

但是研究者们发现, 虫生真菌工程菌株自发的变异退化机制有可能掩盖转基因对毒力的提高^[50]。Lu 等^[51]所获得的 2 株球孢白僵菌转基因工程菌株, 在继代培养 30 代后目标基因虽未丢失, 但也会像野生型菌株一样发生产孢量减少、毒力降低等表型变异退化现象。丝状菌的遗传机制比较复杂, 不仅异核现象和异质现象十分常见, 而

且核基因突变也可以在 $1.1 \times 10^{-6} \sim 2.04 \times 10^{-5}$ 的低频率发生^[52]。因此, 在丝状菌遗传机制下的基因工程株的遗传稳定问题值得高度重视。

6 展望

虫生真菌是一种极具潜力的微生物杀虫剂。目前, 在实验室筛选虫生真菌进行毒力测定方面虽效果明显, 但在实际生产应用中却不尽如人意。主要是由于虫生真菌在生产、储存及田间应用等诸多环节受到不利因素的影响, 使其降低或丧失活性。挖掘、研发高效广谱的虫生真菌杀虫剂是绿色农业可持续发展的趋势。筛选对虫生真菌具有增效作用和保护作用的各种因子并最终解决田间防效不稳定的难点能够为虫生真菌杀虫剂的广泛应用提供有力保障。

参考文献:

- [1] 蒲蛰龙, 李增智. 昆虫真菌学[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1996.
- [2] 余焱颖, 郭英菊, 杨雪, 等. 我国虫生菌的研究现状[J]. 四川农业科技, 2018(12): 27-29.
- [3] 农向群, 闫多子, 蔡霓, 等. 真菌防治蝗虫研究进展[J]. 中国生物防治学报, 2021, 37(1): 11-29.
- [4] 林华峰. 虫生真菌研究进展[J]. 安徽农业大学学报, 1998, 25(3): 251-254.
- [5] 王利军, 谭万忠, 罗华东, 等. 虫生真菌及其在害虫生物控制中应用现状与展望[J]. 河南农业科学, 2010(4): 119-125.
- [6] FATIMA T, SHARMA N, SHARMA Y K, et al. Compatibility of insecticides and botanicals on *Beauveria bassiana* (Balsamo) [J]. Journal of Eco-friendly Agriculture, 2017, 12(1): 100-102.
- [7] 曹伟平, 宋健, 冯书亮, 等. 球孢白僵菌与低剂量化学杀虫剂对小菜蛾的协同增效作用[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(3): 370-376.
- [8] 刘策. 球孢白僵菌对烟粉虱的复配增效及可湿性粉剂的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2020.
- [9] 王峰, 郑鹏飞, 农向群, 等. 球孢白僵菌与三种农药对萝卜蚜的协同防治效果[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(6): 752-759.
- [10] AKBAR S, FREED S, HAMEED A, et al. Compatibility of *Metarhizium anisopliae* with different insecticides and fungicides[J]. African Journal of Microbiology Research, 2012, 6(17): 3956-3962.
- [11] 柴军发, 谢婷, 景亮亮, 等. 球孢白僵菌与 8 种杀虫剂的相容性及其对烟粉虱的室内联合毒力[J]. 西北农业学报, 2021, 30(4): 618-624.
- [12] PURWAR J P, SACHANG C. Synergistic effect of entomogenous fungi on some insecticides against Bihar hairy caterpillar *Spilarctia obliqua* (Lepidoptera: Arctiidae) [J]. Microbiological Research, 2006, 161: 38-42.
- [13] ASI R M, BASHIR H M, AFZAL M, et al. Compatibility of entomopathogenic fungi, *Metarhizium anisopliae* and *Paecilomyces fumosoroseus* with selective insecticides [J]. Pakistan Journal of Botany, 2010, 42(6): 4207-4214.
- [14] 蔡悦, 张胜利, 李增智. 球孢白僵菌与几种化学杀虫剂和除草剂的相容性[J]. 中国生物防治学报, 2011, 27(3):

- 316-323.
- [15] 熊琦,王旭,朱永敏,等. 七种化学杀虫剂与球孢白僵菌 TST05 菌株的相容性研究[J]. 植物保护, 2012, 38(3): 108-112.
- [16] 姜玲,洪波,王新谱,等. 常用杀虫剂与球孢白僵菌的相容性及对温室白粉虱的协同防效[J]. 植物保护, 2018, 44(1): 199-204.
- [17] 李敏,谢明,苏冬辉,等. 四种常用化学杀虫剂与三种虫生真菌的相容性[J]. 北方园艺, 2018(19): 42-47.
- [18] 杨华,赵丹阳,秦长生. 绿僵菌与 3 种杀虫剂混配对照巢螟的协同作用[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(6): 1494-1501.
- [19] ALIZADEH A, SAMIH M A, IZADI H. Compatibility of *Verticillium lecanii* (Zimm.) with several pesticides[J]. Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences, 2007, 72(4): 1011-1015.
- [20] 杨爽. 禾长蠕孢菌孢子生产及其制剂加工研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [21] GAO L, SUN M H, LIU X Z, et al. Effects of carbon concentration and carbon to nitrogen ratio on the growth and sporulation of several bio-control fungi[J]. Mycological Research, 2007, 111(1): 87-92.
- [22] 陈建爱,王未名. 木霉 T1010 固相培养产孢分析[J]. 山东农业科学, 2008(9): 61-63.
- [23] SABBOUR M M. The role of chemical additives in enhancing the efficacy of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2002, 5(11): 1155-1159.
- [24] 王素英,邹立杰,时亚琴,等. 球孢白僵菌加增效剂对光肩星天牛的防治效果[J]. 中国生物防治, 2000, 16(2): 96-98.
- [25] 徐均焕,冯明光,童贤明. 球孢白僵菌孢子萌发促进剂的筛选及其对杀蚜效果的增强作用[J]. 植物保护学报, 2003, 30(1): 45-50.
- [26] 刘洪剑,束庆龙,汪来发,等. 白僵菌孢子悬液添加增效剂对松墨天牛幼虫的致死作用[J]. 林业科学研究, 2009, 22(5): 652-656.
- [27] 宋漳,周晓妹. 维生素对白僵菌生长和液生分生孢子形成的影响[J]. 福建林学院学报, 2010, 30(3): 198-201.
- [28] 徐超民,李霜,孟祥晨,等. 不同浓度增效剂对金龟子绿僵菌、黄绿绿僵菌和球孢白僵菌产孢的影响[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(5): 737-743.
- [29] 刘锦霞,杜文静,李晶,等. 蜡蚧轮枝菌和球孢白僵菌的共发酵[J]. 微生物学通报, 2012, 39(1): 33-43.
- [30] 张小霞,尹新明,梁振普,等. 害虫生物防治技术基础与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [31] 黄大昉. 生防微生物生物技术研究与发展[J]. 植物保护, 2003, 29(5): 3-4.
- [32] 王志英,孙丽丽,张健,等. 苏云金杆菌和白僵菌可湿性粉剂研制及杀虫毒力测定[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(3): 34-40.
- [33] 徐玲,艾薇,陈自宏. 三种虫生真菌组合的协同生防效果[J]. 保山学院学报, 2020, 39(5): 12-15.
- [34] 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.
- [35] KERSHAW M J, MOORHOUSE E R, BATEMAN R, et al. The role of destruxins in the pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* for three species of insect[J]. Journal of Invertebrate Pathology, 1999, 74: 213-223.
- [36] CITO A, BARZANTI G P, STRANGI A, et al. Cuticle-degrading proteases and toxins as virulence markers of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin[J]. Journal of Basic Microbiology, 2016, 56(9): 941-948.
- [37] 童应华,李万里,马淑娟. 金龟子绿僵菌及其粗毒素对樟巢螟幼虫的致病性[J]. 昆虫学报, 2014, 57(4): 418-427.
- [38] 洪慧金,杨艺华,王联德. 蜡蚧轮枝菌毒素Ⅷ对烟粉虱的忌避与拒食活性[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(1): 60-64.
- [39] KHOURY C A, GUILLOT J, NEMER N. Lethal activity of beauvericin, a *Beauveria bassiana* mycotoxin, against the two-spotted spider mites, *tetranychus urticae* koch[J]. Journal of Applied Entomology, 2019, 143(9): 974-983.
- [40] 郭卓琼,弓奇田,张建珍,等. 金龟子绿僵菌破坏素 A 与 5 种杀虫剂混配对照苹果黄蚜的联合毒力[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 275-279.
- [41] 姜虹,闫凤超,于文清. 微生物农药助剂研究进展[J]. 现代化农业, 2020(1): 2-6.
- [42] XU L Y, ZHU H P, OZKAN H E, et al. Droplet evaporation and spread on waxy and hairy leaves associated with type and concentration of adjuvants[J]. Pest Management Science, 2011, 67(7): 842-851.
- [43] 单提升,许国升,王翠翠,等. 两种有机硅助剂对四氯虫酰胺防治菜青虫的增效作用[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 241-244.
- [44] 李增智,宣言,刘玉珍. 几种表面活性剂及营养物对虫生真菌孢子萌发的影响[J]. 安徽农业大学学报, 1996, 23(3): 355-359.
- [45] 赵义涛,王宏民,郭恒,等. 虫生真菌玫烟色棒束孢 PF904 表面活性剂的筛选[J]. 农药学学报, 2020, 22(1): 154-162.
- [46] 王宏民,赵义涛,郭恒,等. 两种表面活性剂对玫烟色棒束孢 PF904 菌株侵染小菜蛾幼虫的影响[J]. 昆虫学报, 2021, 64(2): 205-212.
- [47] LEGER R J, JOSHI L, BIDOCHKA M J, et al. Construction of an improved mycoinsecticide over-expressing a toxic protease[J]. Proceedings of National Academy of Science USA, 1996, 93: 6349-6354.
- [48] 李增智,黄渤,陈名君,等. 分子时代的白僵菌研究[J]. 菌物学报, 2011, 30(6): 823-835.
- [49] GAO Q, JIN K, YING S H, et al. Genome sequencing and comparative transcriptomics of the model entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *M. acridum*[J]. PLoS Genetics, 2011, 7(1): e1001264.
- [50] 汪黎明,陈雪,徐延平,等. 一株球孢白僵菌转基因工程菌在继代培养中的变异[J]. 菌物学报, 2011, 30(5): 738-743.
- [51] LU D D, PAVA-RIPOLL M, LI Z Z, et al. Insecticidal evaluation of *Beauveria bassiana* engineered to express a scorpion neurotoxin and a cuticle degrading protease[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2008, 81: 515-522.
- [52] BARACHO M S, BARACHO I R. An analysis of the spontaneous mutation rate measurement in filamentous fungi[J]. Genetics and Molecular Biology, 2003, 26: 83-87.



陈金洁,程瑶,章昕颖,等.桑基鱼塘陆面子系统物质循环利用研究进展[J].黑龙江农业科学,2022(2):99-106.

桑基鱼塘陆面子系统物质循环利用研究进展

陈金洁^{1,2},程瑶^{1,2},章昕颖¹,谢湘¹,张池³,戴军³,刘科学^{1,2}

(1.广州新华学院 资源与城乡规划学院,广东 广州 510520;2.广东华南空间规划研究院,广东 广州 510642;3.华南农业大学 资源环境学院,广东 广州 510642)

摘要:为揭示桑基鱼塘生态系统内部潜在的科学规律,从而促进桑基鱼塘的传承和保护。本文通过系统梳理桑基鱼塘陆面子系统的基本模式、物质来源与归趋、物质循环过程,通过分析桑叶的矿物元素和营养物质含量、桑树产量质量的影响因素、桑叶活性成分含量的影响因素、用桑量水平对蚕种产量质量的影响、蚕对桑叶营养物质消化率的影响因素来揭示桑叶对桑基鱼塘生态系统的影响特征。并通过分析蚕沙营养物质的分布特征、蚕沙对桑基鱼塘系统水质的影响、蚕沙的资源化利用,总结了蚕沙对桑基鱼塘生态系统的影响特征及资源化利用情况。通过分析池塘底泥的物质分布特征、堆肥对底泥理化性状的影响、底泥的资源化利用,综述了池塘底泥对陆面生态系统的影响。

关键词:桑基鱼塘;陆面子系统;氮;磷;物质循环

桑基鱼塘是一种传承了 2 500 多年的农业生产经营模式,被誉为良性经济循环的典范^[1]。在我国的长三角和珠三角地区,由于两地地势低洼且雨量充沛,人们便利用低洼的水泽围堤筑堰,养殖鱼虾,鱼塘中肥沃的底泥运到四周的塘基用于种植桑树的肥料,陆面桑基土壤中的营养物质随着雨水的冲刷流进鱼塘,桑蚕的蚕沙成为鱼塘养

鱼的鱼饲料,形成栽桑、养蚕、养鱼三位一体的地方农业生产模式^[2-3]。

近年来,随着社会经济的快速发展,桑蚕的产业效益趋于动荡,农民又片面追求桑蚕养殖中的经济效益,造成桑基鱼塘生态系统不稳定,系统内部的物质循环和资源化利用失去平衡,首当其冲的就是作为桑基鱼塘生态系统基础的桑基子系统。目前对于桑基鱼塘陆面子系统的理论研究主要聚焦在 5 个方面:(1)桑基鱼塘的历史发展及时代变迁;(2)桑基鱼塘系统水陆相互作用过程与机理;(3)生态系统内部物质循环与能量流动;(4)桑基鱼塘技术体系与模式;(5)基塘时空演变格局^[4]。

收稿日期:2021-10-11

基金项目:广东省教育科研项目(2020GXJK116)。

第一作者:陈金洁(1994—),女,硕士,从事农业资源与环境研究。E-mail:1369113867@qq.com。

通信作者:刘科学(1980—),男,博士,高级工程师,从事土壤学研究。E-mail:28257448@qq.com。

Research Progress on Entomogenous Fungi Insecticidal Synergistic Ways

JIANG Xi-feng

(Plant Protection Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pest in Harbin, Ministry of Agriculture, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to promote the application of entomogenous fungi in production, the research history of entomogenous fungi in China and abroad were consulted in this paper. The various methods which were used by domestic and foreign researchers to improve the virulence of entomogenous fungi by compounding entomogenous fungi with chemical insecticides, chemical substances, surfactants, biological insecticides, and constructing engineering strains were reviewed and summarized, to provide a basis for further research and application. It is concluded that when chemical pesticides, nutrients, and surfactants were compatible with entomogenous fungi, adding a certain proportion could enhance the virulence of entomogenous fungi. The insecticidal spectrum of entomogenous fungi was broadened by the mixture of strains and the application of its metabolites. The virulence of entomogenous fungi was enhanced after highly pathogenic genes been highly expressed in entomogenous fungi.

Keywords: entomogenous fungi; engineering strain; toxin synergistic pathway; pathogenicity