

生物杀虫剂组合在有机水稻种植中的作用效果

刘 蓉^{1#}, 赵 薇^{2#}, 农向群^{1*}, 周 燕³, 石育萍⁴, 于 丽⁵,
杨金娟⁵, 王广君¹, 涂雄兵¹, 张泽华¹

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害综合治理全国重点实验室, 北京 100193;
2. 长江大学农学院, 荆州 434000; 3. 上海市崇明区农业技术推广中心, 上海 202150;
4. 上海北湖现代农业发展有限公司, 上海 202156; 5. 宁夏农业技术推广总站, 银川 750000)

摘要 针对上海市崇明区有机水稻生产过程中病虫害防治效果不佳的问题,在水稻无化肥、无化学农药种植条件下开展了生物杀虫剂对水稻主要害虫稻纵卷叶螟和稻飞虱的田间防控效果评价。在崇明区的2个试验基地,于水稻不同生长时期,以绿僵菌、白僵菌产品分别与病毒杀虫剂 MbNPV、植物源杀虫剂苦参碱和细菌杀虫剂 Bt 组合进行施药处理。结果表明,应用绿僵菌/白僵菌与 MbNPV 组合,能够有效防治稻纵卷叶螟,在稻纵卷叶螟发生较早的基地,施药后 7 d 和 14 d 的防效可达 58.2%~81.2%,而在稻纵卷叶螟发生较晚的另一基地,施药后 7 d 防效可达 61.3%和 65.6%;绿僵菌/白僵菌与苦参碱组合,可用于防治稻飞虱,7 d 和 14 d 的防效达 64.7%~76.1%;绿僵菌/白僵菌与苏云金杆菌组合防治稻纵卷叶螟的 14 d 防效分别达 64.0%和 75.4%,优于对稻飞虱的防效;各组合试验结果显示,白僵菌有相对较长的持效作用,且在害虫迁入早期阶段(水稻发育分蘖盛期至拔节期)施用生物农药比在中后期(抽穗期及之后)施用的防效高。可见,生物杀虫剂组合可作为农作物绿色防控的有效手段。

关键词 绿僵菌; 白僵菌; 稻纵卷叶螟; 稻飞虱; 防治效果

中图分类号: S 482.39 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2022165

Efficacy of combined biological insecticides under rice farming without chemical fertilizers and chemical pesticides

LIU Rong^{1#}, ZHAO Wei^{2#}, NONG Xiangqun^{1*}, ZHOU Yan³, SHI Yuping⁴, YU Li⁵, YANG Jinjuan⁵,
WANG Guangjun¹, TU Xiongbing¹, ZHANG Zehua¹

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434000, China;
3. Shanghai Chongming District Agricultural Technology Extension Center, Shanghai 202150, China; 4. Shanghai Beihu Modern Agriculture Development Co., Ltd., Shanghai 202156, China; 5. Ningxia Agricultural Technology Extension Station, Yinchuan 750000, China)

Abstract Aiming at the poor effect of disease and insect pest control in rice production in Chongming district, the field control effect of biological insecticides on the main pests of rice without chemical fertilizer and chemical pesticide was evaluated. In two experimental bases in Chongming district of Shanghai, *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* products were combined with viral insecticide MbNPV, botanical insecticide matrine and bacterial insecticide Bt at different stages of rice growth. The results showed the combination of *M. anisopliae*/*B. bassiana* and MbNPV could effectively control *Cnaphalocrocis medinalis*. In the base where the *C. medinalis* occurred earlier, the control efficacy could reach to 58.2%–81.2% 7 and 14 days after application, while in the base where the *C. medinalis* occurred later, the control efficacy reached 61.3% and 65.6% 7 days after

收稿日期: 2022-03-29 修订日期: 2022-06-05

基金项目: 上海市崇明区农业科创项目(2020CNKC-01-09); 国家科技基础资源调查专项(2019FY102002, 2019FY100300); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund(Y2022LM31, S2022XM11)

* 通信作者 E-mail: xqnong@sina.com

为并列第一作者

application. The combination of *M. anisopliae*/ *B. bassiana* and matrine can be used to control rice planthoppers, and the control efficacy can reach 64.7%—76.1% 7 and 14 days after application. The 14-day-control efficacy of *M. anisopliae*/ *B. bassiana* combined *Bacillus thuringiensis* (Bt) against *C. medinalis* was 64.0% and 75.4%, respectively, which was better than that against rice planthoppers. Among these combinations, *B. bassiana* demonstrated a relatively long lasting effect. Besides, the control efficacy of applying biological pesticides in the early stage of pest migration (from the peak tillering stage to jointing stage of rice) was higher than that in the middle and late stage (heading stage and after). It suggested that the combinations of biological insecticides can be an effective means for green crop pest management.

Key words *Metarhizium anisopliae*; *Beauveria bassiana*; *Cnaphalocrocis medinalis*; rice planthopper; control efficacy

近年来,可持续生态农业愈加受到重视,环保型肥料、农药技术的研究和集成是实现生态农业的必要基础。上海崇明区为了打造高品质有机稻米、建立“稻虾鳖蟹共生”模式和培植动植物友好依存共生的生态链,开展了全过程不施用化学肥料和化学农药的水稻种植技术研究和示范,拟通过科研和农技部门对种植全过程的科学管理、优选有机肥和生物农药等技术措施集成,实现高品质生态农业的可持续发展。

崇明当地水稻的主要害虫有飞虱类和螟蛾类,褐飞虱 *Nilaparvata lugens*、白背飞虱 *Sogatella furcifera*、灰飞虱 *Laodelphax striatellus*、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 是常发多发种类,还有二化螟 *Chilo suppressalis*、三化螟 *Tryporyza incertulas* 等混合发生。飞虱类和稻纵卷叶螟具有迁飞性,除了灰飞虱、二化螟、三化螟等少数种类可在当地越冬,大部分在相对温暖区域越冬,每年春末夏初,成虫随季风由南向北迁飞,成为当地的初始虫源,之后定殖、产卵,伴随水稻发育不断生长繁殖,加上还有迭代迁入,造成混合种群为害。长期应用化学农药使这些水稻害虫抗药性日趋严重,以生物农药减少和取代化学农药,已成为保障水稻优质高产的重要技术。

昆虫病原真菌是一类能够特异性侵染昆虫,导致昆虫罹病死亡,从而控制昆虫种群的真菌。其中金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae*、球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 具有寄主广谱性,分别可寄生 13 目 200 多种和 15 目 700 多种昆虫及螨类,是研发作为生物杀虫剂的重要潜力资源^[1-2]。目前,已有金龟子绿僵菌、球孢白僵菌产品用于防治水稻害虫试验^[3-4]。其他生物农药如细菌类的苏云金芽胞杆菌 *Bacillus thuringiensis*、病毒类的甘蓝夜蛾核型多角

体病毒(*Mamestra brassicae* nucleopolyhedrovirus)和棉铃虫核型多角体病毒(*Helicoverpa armigera* nucleopolyhedrovirus)、植物源的苦参碱和印楝素等也陆续进入田间试验^[4-6]。不同类别的生物农药在针对靶标害虫特性、适应水稻种植环境等方面各存在优势和不足。本研究在基本了解当地水稻害虫发生规律的基础上,在水肥管理与病、虫、草害防控一体化条件下,应用真菌生物农药结合细菌、病毒、植物源生物农药对崇明当地水稻害虫进行防治试验,以评估不同组合处理对水稻主要害虫的防治效果,为水稻有机种植的害虫治理提供必要基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验地点及种植概况

试验分别在上海市崇明区 2 处试验地进行。泛信农业种植专业合作社基地(以下简称泛信, 121°24'E, 31°43'N)试验面积 1.5 hm²;北湖现代农业发展有限公司生产基地(以下简称北湖, 121°34'E, 31°42'N)试验面积 3.6 hm²。两地近年均采用绿色有机方式种植,土质均为沙壤土,肥力中上、均匀,排灌方便。水稻品种均为‘南粳 46 号’,泛信和北湖水稻移栽日期分别为 6 月 3 日和 6 月 9 日,按当地常规种植管理,以有机肥作基肥和追肥,全季不施用化学肥料和化学农药。

1.2 试验药剂

100 亿孢子/g 金龟子绿僵菌可湿性粉剂(以下简称绿僵菌)、200 亿孢子/g 球孢白僵菌可湿性粉剂(以下简称白僵菌)由宁夏中微泰克生物技术有限公司生产。32 000 IU/mg 苏云金杆菌可湿性粉剂(以下简称 Bt)由武汉科诺生物科技股份有限公司生产,30 亿 PIB/mL 甘蓝夜蛾核型多角体病毒悬浮剂(以下简称 MbNPV)由江西省新龙生物科技有限公

司生产,1.5%苦参碱水剂由内蒙古赤峰市帅旗农药有限责任公司生产。

1.3 试验处理与设计

以绿僵菌和白僵菌为基础,2个试验地分别设置绿僵菌+组合的处理区(T1)、白僵菌+组合的处理区(T2)和本地常规处理即在虫害发生期每旬施用1次苦参碱为对照区(T3),按实际田埂分隔面积。泛信试验地 T1 区 0.5 hm²、T2 区 0.4 hm² 和 T3 区 0.5 hm²。北湖试验地 T1 区 1.3 hm²、T2 区 1.1 hm²和 T3 区 1.2 hm²。处理区内按排灌水方向

平均分设 3 个并列的小区重复。

在种植期间,根据水稻发育期和实际虫情调查情况,进行各阶段施用绿僵菌、白僵菌分别与 Bt、MbNPV 或苦参碱的防虫处理,具体施药日期和药剂组合见表 1。施药用量为 T1 区内每 667 m² 绿僵菌 200 g 加 Bt 75 g 或 MbNPV 30 mL 或苦参碱 100 mg; T2 区内每 667m² 白僵菌 100 g 加 Bt 75 g 或 MbNPV 30 mL 或苦参碱 100 mg。施用时各组合用 60 L 水配制,进行喷雾处理。T3 区由当地按常规方法管理。

表 1 实际施用的生物药剂处理
Table 1 Actual application of biopesticides

序次 Order	试验地 Location	日期/月-日 Date	水稻发育期 Rice developmental stage	主要虫害种类 Main pest	施药处理 Treatment	
					T1	T2
1	泛信	07-15	分蘖-拔节	稻纵卷叶螟	绿僵菌+MbNPV	白僵菌+MbNPV
	北湖	07-21	分蘖-拔节	稻飞虱	绿僵菌+苦参碱	白僵菌+苦参碱
2	泛信	08-02	孕穗-抽穗	稻飞虱	绿僵菌+苦参碱	白僵菌+苦参碱
	北湖	08-07	孕穗-抽穗	稻纵卷叶螟	绿僵菌+MbNPV	白僵菌+MbNPV
3	泛信	08-20	灌浆乳熟	稻纵卷叶螟	绿僵菌+MbNPV	白僵菌+MbNPV
	北湖	08-21	灌浆乳熟	稻飞虱	绿僵菌+苦参碱	白僵菌+苦参碱
4	泛信	09-16	成熟	螟蛾、飞虱	绿僵菌+Bt	白僵菌+Bt
	北湖	09-17	成熟	螟蛾、飞虱	绿僵菌+Bt	白僵菌+Bt

1.4 调查

在水稻移栽 20 d 后,每周观察 2 次,监测虫害发生情况,当发现稻纵卷叶螟虫口密度≥10 头/百丛成虫或新虫苞 15 个/百丛(约 5 m²)或稻飞虱≥40 头/百丛(约 5 m²)时,开始实施防治。设定在施药后 7 d、14 d 调查,如调查日遇降雨等情况顺延次日。

在水稻不同发育期,分别对当期主要虫种稻纵卷叶螟或稻飞虱的数量进行调查评估。调查稻纵卷叶螟时,在每个小区内采用五点取样,每点调查 20 丛,共计 100 丛,调查卷叶数(包括有虫苞的卷叶和虫已出苞的条斑叶或枯白叶)。3 个重复小区之间相邻的采样点相距至少 20 m。调查稻飞虱时,采用平行跳跃式取样,间隔 4~5 行取稻丛,每丛 <5 头时调查 50 丛;5~10 头时调查 30 丛;>10 头时调查 25 丛。采用拍查法用力拍击植株下部 3 下和中上部 3 下,收取并记录飞虱数量。

1.5 防效分析

参照《稻纵卷叶螟和稻飞虱防治技术规程》NY/T 2737.1~2—2015 的药效评价方法,对于稻纵卷叶螟,根据调查的各小区卷叶数计算卷叶率,防治效

果为处理区相对于对照区减少的卷叶率^[7];对于稻飞虱,根据调查的各小区虫口数,计算施药前、后的虫口减退率作为防治效果^[8]。利用 SPSS 20.0 对数据进行分析,以单因素 ANOVA 中的 Duncan 和 LSD 法进行差异显著性分析。

卷叶率=(卷叶数/调查总叶数)×100%;

稻纵卷叶螟防治效果=(对照区卷叶率-处理区卷叶率)/对照区卷叶率×100%;

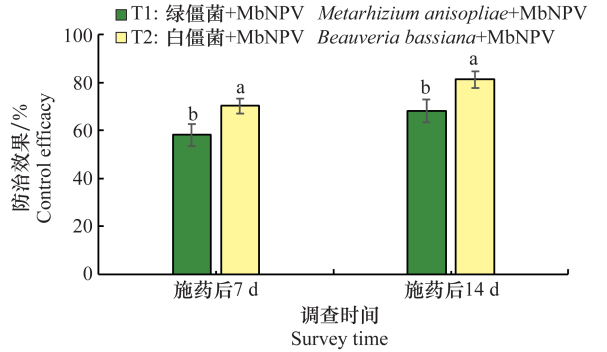
稻飞虱防治效果即虫口减退率=(施药前虫数-施药后虫数)/施药前虫数×100%。

2 结果与分析

2.1 绿僵菌、白僵菌与 MbNPV 组合对稻纵卷叶螟的防治效果

根据水稻生长发育进程及田间监测调查,适时针对性地施用绿僵菌+、白僵菌+的生物杀虫剂组合。在泛信基地,稻纵卷叶螟出现早于稻飞虱。移栽后 42 d(7 月 14 日)时,水稻发育处于分蘖期,多点调查的稻纵卷叶螟平均数量为 22 头/百丛。于次日在 T1 区、T2 区分别施用了绿僵菌+MbNPV、白

僵菌+MbNPV 的组合。结果显示,施用绿僵菌与 MbNPV 组合后,对稻纵卷叶螟在 7 d 和 14 d 的防治效果分别为 58.2%和 68.1%;施用白僵菌与 MbNPV 组合后,在 7 d 和 14 d 的防治效果分别为 70.3%和 81.2%,显著优于绿僵菌组合($P<0.05$)(图 1)。



柱上不同字母代表调查当天的不同处理间在 0.05 水平差异显著,下同。Different letters on the bars represent significant differences between different treatments at 0.05 level on the survey day. The same applies below.

图 1 绿僵菌、白僵菌与 MbNPV 组合对稻纵卷叶螟的防治效果(泛信基地 7 月 15 日施药)

Fig. 1 Control efficacy of *Metarhizium anisopliae* or *Beauveria bassiana* combined with MbNPV on *Cnaphalocrocis medinalis* (treatment on 15th July in Fanxin)

在北湖基地,稻纵卷叶螟种群发生相对晚于稻飞虱,在施用防治稻飞虱药剂(见 2.2 小节)2 周后即 8 月初时,水稻已开始破口抽穗,稻纵卷叶螟数量明显上升,成为田间主要害虫。8 月 6 日调查 T1、T2、T3 区的卷叶率分别达到 10.0%、8.3% 和 8.0%,于次日用绿僵菌、白僵菌分别与 MbNPV 组合对 T1 区和 T2 区实施防控,T3 按本地管理施药。结果显示,施药后 7 d,绿僵菌与 MbNPV 组合对稻纵卷叶螟的防治效果为 61.3%,白僵菌与 MbNPV 组合的防治效果达到 65.6%。在第 11 天时,T3 本地管理因虫口快速上升,额外增加 1 次施药,结果在 14 d 后的调查显示,T1、T2、T3 的卷叶率分别为 51.0%、34.0%和 43.0%,绿僵菌或白僵菌与 MbNPV 组合相对 T3 二次施药的防治效果为-18.6%和 20.9%(图 2),说明白僵菌组合保持了较长的防效。

2.2 绿僵菌、白僵菌与苦参碱组合对稻飞虱的防治效果

在北湖基地,稻飞虱种群的出现早于稻纵卷叶螟,且虫口密度快速上升,在移栽后 40 d(7 月 20 日)时,水稻发育处于分蘖期,T1、T2 和 T3 区的稻

飞虱数量均已超过 1 000 头/百丛,于次日对试验地进行了首次施药处理。针对主要害虫稻飞虱,在 T1 区、T2 区分别施用绿僵菌、白僵菌与苦参碱组合,在 T3 区按本地管理用药。试验结果显示,施药 7 d 后,3 个小区的防治效果即虫口减退率在 64.7%~68.3%,之间无显著差异($P>0.05$);而至 14 d 时,白僵菌处理显示较高的虫口减退率,为 76.1%,反映了白僵菌有较好的持续作用(图 3)。

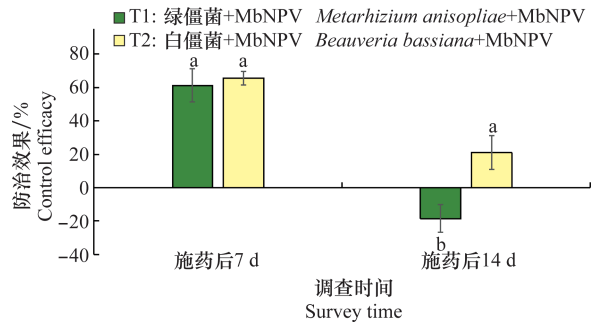


图 2 绿僵菌、白僵菌与 MbNPV 组合对稻纵卷叶螟的防治效果(北湖基地 8 月 7 日施药)

Fig. 2 Control efficacy of *Metarhizium anisopliae* or *Beauveria bassiana* combined with MbNPV on *Cnaphalocrocis medinalis* (treatment on 7th August in Beihu)

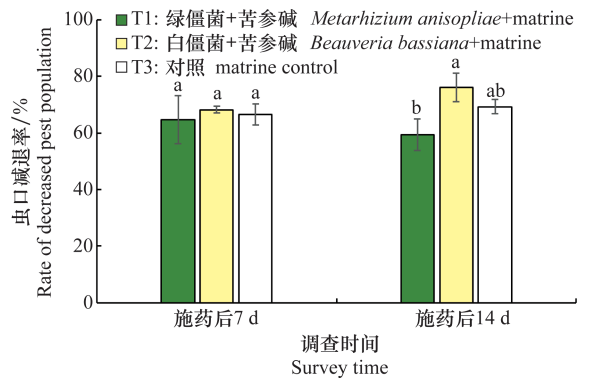


图 3 绿僵菌、白僵菌与苦参碱组合对稻飞虱的防治效果(北湖基地 7 月 21 日施药)

Fig. 3 Control efficacy of *Metarhizium anisopliae* or *Beauveria bassiana* combined with matrine on rice planthoppers (treatment on 21st July in Beihu)

在泛信基地,7 月下旬至 8 月初期间,水稻逐渐破口抽穗,稻飞虱种群数量上升较快,成为田间主要害虫。8 月 1 日调查 T1、T2 和 T3 区的稻飞虱虫口数量已分别达到 149、148、170 头/百丛,于次日在 T1 区和 T2 区实施了绿僵菌、白僵菌分别与苦参碱组合处理。调查显示,施药后 7 d 时 T1、T2、T3 虫

口数量分别为 68、73、173 头/百丛,对照区虫口数量是处理区的 2~3 倍;14 d 时 T1、T2、T3 虫口数量分别为 41、49、157 头/百丛,对照区虫口数量是处理区的 3 倍以上。计算结果表明,施药后 7、14 d 的防效上升,防治效果即虫口减退率在 T1 区由 54.5% 上升到 72.3%,在 T2 区由 50.4% 上升到 66.7%,而在本地管理区 T3 的虫口数量持续上升,虫口减退率为负值,对比十分明显(图 4)。

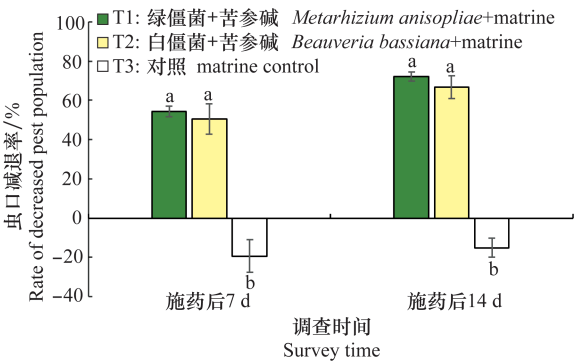


图 4 绿僵菌、白僵菌与苦参碱组合对稻飞虱的防治效果 (泛信基地 8 月 2 日施药)
Fig. 4 Control efficacy of *Metarhizium anisopliae* or *Beauveria bassiana* combined with matrine on rice planthopper (treatment on 2nd August in Fanxin)

2.3 绿僵菌、白僵菌与苏云金杆菌组合对稻纵卷叶螟和稻飞虱的防治效果

9 月中旬水稻进入灌浆乳熟后期逐渐成熟,此时田间虫害混合发生,调查显示虫害总数较前期明显减少。在泛信基地,稻纵卷叶螟仍然相对较多,T1、T2、T3 区的卷叶率分别为 18.3%、10.5%、29.5%,稻飞虱也有一定的虫口数量。9 月 16 日以绿僵菌、白僵菌分别与苏云金芽胞杆菌(Bt)组合进行了防治。结果显示,根据卷叶率评估,施用绿僵菌与 Bt 组合后,7、14 d 的防治效果分别为 37.4% 和 64.0%;施用白僵菌与 Bt 组合后,7 d 的防治效果为 58.4%,14 d 上升到 75.4%(图 5)。同时,根据稻飞虱虫口减退率评估,2 种菌剂组合起效较慢,在 7 d 时绿僵菌与 Bt 组合的防治效果为 24.7%,白僵菌与 Bt 组合的防治效果为 -11.7%,即没能抑制害虫种群发展;但在 14 d 时,2 种菌剂组合的防效分别快速上升到 77.3% 和 78.1%,二者之间无显著差异,比本地施药管理效果(84.1%)略低,但存在显著差异 ($P<0.05$)(图 6)。

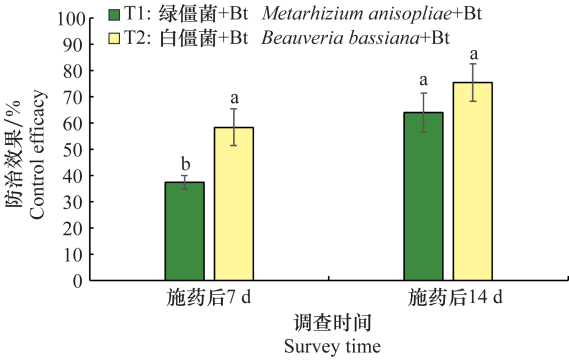


图 5 绿僵菌、白僵菌与苏云金杆菌组合对稻纵卷叶螟的防治效果 (泛信基地 9 月 16 日施药)
Fig. 5 Control efficacy of *Metarhizium anisopliae* or *Beauveria bassiana* combined with *Bacillus thuringiensis* on *Cnaphalocrocis medinalis* (treatment on 16th September in Fanxin)

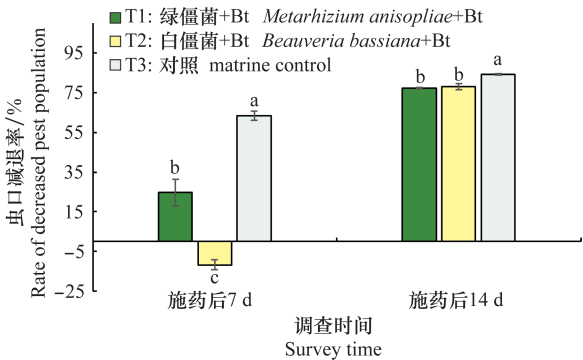


图 6 绿僵菌、白僵菌与苏云金杆菌组合对稻飞虱的防治效果 (泛信基地 9 月 16 日施药)
Fig. 6 Control efficacy of *Metarhizium anisopliae* or *Beauveria bassiana* combined with *Bacillus thuringiensis* on rice planthoppers (treatment on 16th September in Fanxin)

在北湖基地,9 月中旬时,水稻也进入灌浆乳熟后期,田间调查发现多种害虫混合发生,T1、T2、T3 区的虫口数量分别为 189、102 头/百丛和 350 头/百丛,卷叶率分别为 29.2%、56.5% 和 57.3%,T1、T2 处理区的虫害总体低于对照区 T3,但仍然存在较高数量。于 9 月 17 日用绿僵菌、白僵菌分别与苏云金芽胞杆菌(Bt)组合进行了防控处理。结果显示,根据稻飞虱虫口减退率评估,施用绿僵菌与 Bt 组合后,7、14 d 的虫口数量逐渐下降,虫口减退率逐步上升,分别为 44.8% 和 65.2%,在 14 d 时超过了本地用药管理的效果;施用白僵菌与 Bt 组合在前期未能阻止害虫种群发展,7 d 的调查虫口减退率仅为 1.1%,随后逐渐起控制作用,14 d 防效为 14.3%。

相比之下,绿僵菌组合的优势更明显(图 7)。同时,根据卷叶率评估,2 种组合防治稻纵卷叶螟的防效在前期均低于本地常规施药管理,显示 7 d 时的防效为负值,只有白僵菌组合在 14 d 后相对于常规管理提高了 34.6%(图 8)。但从小区内施药前后比较,绿僵菌与 Bt 组合没能有效控制为害,卷叶率小幅上升波动,至 14 d 时卷叶率仍有 37.8%。施用白僵菌与 Bt 组合使卷叶率逐步减少,至 14 d 时卷叶率为 22.3%,比施药前减少了 60.5%。

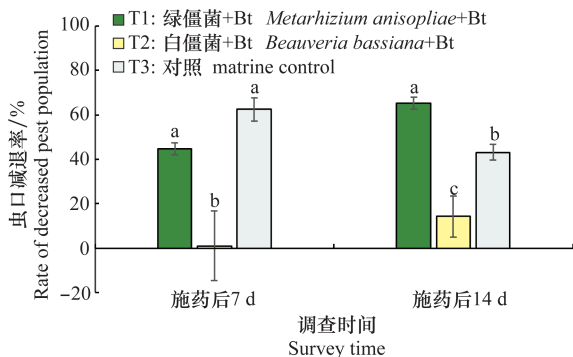


图 7 绿僵菌、白僵菌与苏云金杆菌组合对稻飞虱的防治效果(北湖基地 9 月 17 日施药)

Fig. 7 Control efficacy of *Metarhizium anisopliae* or *Beauveria bassiana* combined with *Bacillus thuringiensis* on rice planthoppers (treatment on 17th September in Beihu)

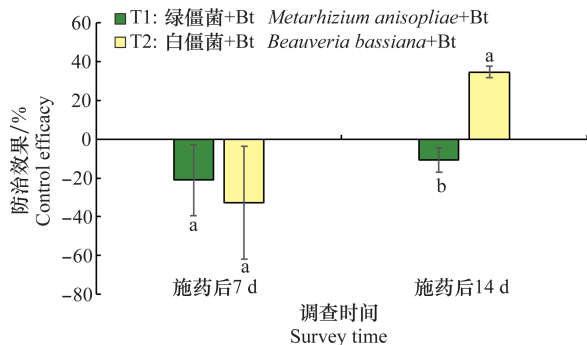


图 8 绿僵菌、白僵菌与苏云金杆菌组合对稻纵卷叶螟的防治效果(北湖基地 9 月 17 日施药)

Fig. 8 Control efficacy of *Metarhizium anisopliae* or *Beauveria bassiana* combined with *Bacillus thuringiensis* on *Cnaphalocrocis medinalis* (treatment on 17th September in Beihu)

3 结论与讨论

生物杀虫剂由对昆虫有寄生或毒性作用的天然生物资源研发而成,包括真菌、细菌、病毒和植物源物质等,与环境友好兼容,是减少化学农药使用的重要替代品。生物杀虫剂通常专性作用较强,不同种

类各有优势和局限,例如细菌 Bt 具有高效杀虫毒蛋白,需经昆虫肠道发挥效用,对刺吸式口器害虫难以奏效;真菌具有表皮侵入特性,致病寄主范围广,对咀嚼式、刺吸式口器害虫均有效;病毒 NPV 专一性更强等,组合使用可以互补不足或协同增效^[4,6,9]。绿僵菌属和白僵菌属是具有较广泛杀虫谱的真菌类群,但不同菌株对不同害虫的毒力范围和强度有差异。除了对稻纵卷叶螟、稻飞虱有防控效果外,还有报道绿僵菌、白僵菌对二化螟 *Chilo suppressalis*、烟粉虱 *Bemisia tabaci* 有高效防治作用^[10-11]。在印度 Thiruvallur 和 Kancheepuram 地区水稻田中,施用绿僵菌防治稻黑蝽 *Scotinophara lurida* 可减少虫害达 60.8%^[12]。本试验在前期了解生物杀虫剂产品特性的基础上,针对水稻生长发育过程中的主要害虫种类及优势种群,设计了以绿僵菌、白僵菌分别与病毒杀虫剂 MbNPV、细菌杀虫剂 Bt 和植物源杀虫剂苦参碱的组合,以应对水稻主要迁飞性害虫稻纵卷叶螟和稻飞虱的为害,兼顾防控其他害虫。试验证明,在水稻无化肥、无化学农药的种植条件下,绿僵菌\白僵菌与 MbNPV 组合,绿僵菌与苏云金杆菌组合防治稻纵卷叶螟有优势,而白僵菌与苦参碱组合,用于防治稻飞虱可获得较高防效。这些防效优势不仅取决于生物杀虫剂本身的毒力选择性,还取决于其作用机理,并与靶标害虫的取食习性有关。绿僵菌、白僵菌为昆虫病原真菌,有较宽的寄主谱,主要从昆虫表皮侵入感染,适用于喷施防治各种害虫,但其感病进程相对较慢;苏云金芽胞杆菌杀虫谱较宽,而 MbNPV 专一性强,二者都主要通过消化道侵染发挥作用,用于防治在叶片表面取食的害虫。稻纵卷叶螟为咀嚼式口器昆虫,直接啃食为害植株,而稻飞虱以刺吸式口器取食,将口针刺入植株组织汲取营养,因此苏云金芽胞杆菌和 MbNPV 适用于稻纵卷叶螟,而对稻飞虱效果欠佳。苦参碱为植物源提取物,植物源种类和提取组分的差异可能会影响其作用效果。本试验的生物农药组合协同提高防效,可为实现有机种植提供技术保障。

生物农药通常不像化学药剂那样快速见效,一般需要 1~2 d 或更长时间与害虫作用,因此应当抓住害虫发生早期施用。同时绿僵菌、白僵菌还具有田间宿存和增殖的优势,表现出较长的持效作用,早期施用后宿存和增殖菌群有利于追随害虫侵染而发挥作用。

本研究在崇明两个试验基地进行。在种植品种相同、栽种日期相近的条件下,两地水稻生长发育进程大致相同。但两地稻纵卷叶螟和稻飞虱的迁入有先后差别,在泛信基地,稻纵卷叶螟较早迁入成为水稻分蘖期的主要有害种群,而在北湖基地的水稻分蘖期,较早迁入并快速形成主要种群的是稻飞虱。两地相距只有约 30 km,北湖处于泛信东略偏北,离长江岸边和入海口更近,周边是连片的稻田,可见微小地理差异和周边小环境因素差异可能影响虫害迁移和发生情况。因此,两个试验基地在同一时期针对各自的主要害虫采用了不同的生物农药组合,而相同的生物农药组合则先后在两个试验基地在不同时期应用,地理和时间的差异可能会影响防治效果的稳定性。随着水稻的发育进程,水稻害虫的种类、种群的繁殖和迭代变化趋于复杂化,也会影响防治效果的评估,在实际投入杀虫剂时应考量其相对广谱多效性、长效性,因此,以绿僵菌和白僵菌为基础与其他种类生物杀虫剂的组合应用是一个合理的选择。

参考文献

- [1] LI Zengzhi, ALVES S B, ROBERTS D W, et al. Biological control of insects in Brazil and China: history, current programs and reasons for their successes using entomopathogenic fungi [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2010, 20(2): 117–136.
- [2] PAVLYUSHIN V. Pathogenic post-effect of entomopathogen-
~~~~~  
(上接 297 页)
- [10] 郑果,王立,李继平,等. 9 种叶面处理剂对春油菜产量的影响及对其病害的防效[J]. *西北农业学报*, 2019, 28(7): 1093–1099.
- [11] 朱振家,杨瑞,秦宝,等. 3 种诱导剂单独和联合使用对草莓灰霉病防治效果比较[J]. *生物化工*, 2020, 6(6): 72–74.
- [12] 张强,刘祥臣,余贵龙,等. 不同浓度阿泰灵对再生稻两优 6326 秧苗素质和纹枯病抗性及其产量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(15): 130–133.
- [13] 郝建宇,王伟军,陈文朝,等. 生物农药阿泰灵对‘玫瑰香’葡萄产量和品质的影响[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2020(1): 56–59.
- [14] 王立,郑果,李继平,等. 9 种叶面处理剂对马铃薯早晚疫病的防控效果[J]. *西北农业学报*, 2021, 30(3): 439–444.
- [15] 盛世英,周强,邱德文,等. 植物免疫蛋白制剂阿泰灵诱导小麦抗病增产效果及作用机制[J]. *中国生物防治学报*, 2017, 33(2): 213–218.
- [16] 韩彦卿,王鹤,王慧娜,等. 谷子抵御白发病菌侵染的生理生

ic fungi on phytophagous pests and entomophagous biocontrol agents [J/OL]. *BIO Web of Conferences*, 2020, 21(6): 00020. DOI: 10.1051/bioconf/20202100020.

- [3] TANG Jifeng, LIU Xinyu, DING Yuchi, et al. Evaluation of *Metarhizium anisopliae* for rice planthopper control and its synergy with selected insecticides [J]. *Crop Protection*, 2019, 121: 132–138.
- [4] 彭爱珍. 几种药剂防治稻纵卷叶螟田间药效试验比较[J]. *广西农学报*, 2015, 30(4): 9–11.
- [5] 黄海兵,关洪丹. 甘蓝夜蛾核型多角体病毒 SC 防治稻纵卷叶螟田间药效试验[J]. *上海农业科技*, 2020(3): 2.
- [6] 杨兰,高宇,史树森. 4 种微生物药剂防治水稻主要害虫的田间试验[J]. *浙江农业科学*, 2021, 62(1): 119–120.
- [7] 中华人民共和国农业部. 稻纵卷叶螟和稻飞虱防治技术规程第 1 部分:稻纵卷叶螟: NY/T 2737.1—2015[S]. 北京:中国农业出版社, 2015.
- [8] 中华人民共和国农业部. 稻纵卷叶螟和稻飞虱防治技术规程第 2 部分:稻飞虱: NY/T 2737.2—2015[S]. 北京:中国农业出版社, 2015.
- [9] RENUKA V V L, ARUNDHATI S. Evaluation of various IPM modules against foliage feeding insect-pests of rice [J]. *Annals of Plant Protection Sciences*, 2019, 27(1): 1–6.
- [10] 薛进,陈秋芳,胡立冬,等. 不同生物农药对水稻二化螟及稻纵卷叶螟的防治效果[J]. *现代农业科技*, 2017(22): 89–90.
- [11] 谢婷,姜灵,洪波,等. 球孢白僵菌与苦参碱混配对烟粉虱的毒力与田间防效[J]. *西北农业学报*, 2019, 28(5): 830–836.
- [12] SUMATHI E, RAMASUBRAMANIAN G V. Evaluation of biopesticides against rice black bug [J]. *Journal of Biopesticides* 2013(2): 117–119.

(责任编辑:田 喆)

化及基因表达分析[J]. *植物病理学报*, 2020, 50(6): 657–665.

- [17] 高俊凤. *植物生理学实验指导*[M]. 北京:高等教育出版社, 2006: 210–219.
- [18] 刘艳潇,祝一鸣,周而勋. 植物免疫诱抗剂的作用机理和应用研究进展[J]. *分子植物育种*, 2020, 18(3): 1020–1026.
- [19] 邱德文. 植物免疫诱抗剂的研究进展与应用前景[J]. *中国农业科技导报*, 2014, 16(1): 39–45.
- [20] AYBA L Y, KARPUN N N, MIKHAILOVA Y V, et al. Inclusion of plant immunity inducers in the fruit crops protection system for the purpose of reducing the pesticide load [C/OL]//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020, 604: 012019. DOI: 10.1088/1755-1315/604/1/012019.
- [21] 向礼波,石磊,徐东,等. 3 种新型生物产品及复配杀菌剂防治小麦赤霉病的研究[J]. *植物保护*, 2021, 47(4): 276–281.

(责任编辑:田 喆)