

技术与应用

Technology & Application

东亚小花蝽携带绿僵菌防控西花蓟马和烟粉虱的效果评价

刘俊秀, 朱正阳, 田丽霞, 王杰, 王甦, 张帆, 邸宁*

(北京市农林科学院植物保护研究所, 北京 100097)

摘要 天敌昆虫和生防菌的联合应用对害虫防控具有潜在的增效作用。东亚小花蝽 *Orius sauteri* 是目前常用的捕食性天敌之一, 被广泛用于温室蓟马、粉虱等害虫的防治。金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 寄主广泛, 可有效防治多种温室害虫, 且相对安全。为探索东亚小花蝽与金龟子绿僵菌联用的控害效果, 本文在室内和田间条件下研究了二者对烟粉虱 *Bemisia tabaci* 和西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 的协同控害作用。室内测定结果表明, 绿僵菌孢子悬浮液浓度不大于 5×10^7 个/mL 时, 不会对东亚小花蝽 5 龄若虫的存活和羽化造成负面影响。室内与温室笼罩条件下, 东亚小花蝽携带绿僵菌的处理能够降低辣椒上的西花蓟马和烟粉虱发生量, 表明东亚小花蝽携带绿僵菌可提高对西花蓟马和烟粉虱的防治效果, 证明了天敌昆虫和生防菌联合应用的可行性, 为生物防治方式多元化应用与推广提供了实践指导。

关键词 天敌昆虫; 虫生真菌; 联合应用; 辣椒; 害虫防治

中图分类号: S 476 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2022587

Evaluation of the combined application of *Orius sauteri* and *Metarhizium anisopliae* on controlling *Frankliniella occidentalis* and *Bemisia tabaci*

LIU Junxiu, ZHU Zhengyang, TIAN Lixia, WANG Jie, WANG Su, ZHANG Fan, DI Ning*

(Institute of Plant Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract Combined application of natural enemies and bio-control bacteria has potential synergistic effects on pest control. *Orius sauteri* is a predatory natural enemy widely used for the control of thrips and whiteflies and so on. *Metarhizium anisopliae* has a wide range of host, which can control a variety of greenhouse pests effectively and is relatively safe. To determine the control effects of combined application of *O. sauteri* and *M. anisopliae*, the synergistic effects of the two biological control agents on *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* were investigated under indoor and field conditions. The results showed that *M. anisopliae* spore suspension at 5×10^7 spores/mL had no significant impact on the survival and emergence of the 5th instar nymph of *O. sauteri*. The combined application of *O. sauteri* and *M. anisopliae* led to lower pest amounts of *F. occidentalis* and *B. tabaci* than individual application in both laboratory and greenhouse conditions. Therefore, the above results revealed that the combined application of *M. anisopliae* and *O. sauteri* enhanced the control effects on *F. occidentalis* and *B. tabaci* synergistically. This work also proved that the simultaneous application of the two measures was feasible and provided a guide for the diversified application of biological control methods.

Key words natural enemy; entomopathogenic fungi; combined application; pepper; pest control

生物防治作为一种重要的农业害虫绿色防控措施, 在避免化学投入品带来的害虫抗药性、减少环境污染、保证农产品的产量与质量等方面具有重要作

用^[1-3]。天敌昆虫和生防微生物均作为常用的生防产品被应用于农业害虫的绿色防控^[4-5]。随着农业集约化与设施化, 作物上的害虫发生呈现多种害虫同时暴

收稿日期: 2022-09-23

修订日期: 2022-11-04

基金项目: 国家自然科学基金(31901945); 现代农业产业技术体系北京市创新团队(BAIC08-2022)

* 通信作者 E-mail: ento88@163.com

发为害的特性,单一的生防资源难以取得较好的控制效果^[2]。因此,不同天敌的联合应用,如多种天敌昆虫混合释放、天敌昆虫携带生防菌等措施,大大提升了害虫防治效果^[6-8]。然而,天敌间的兼容性和互作关系是影响天敌联用防治效果的重要因素。已有研究表明,广谱性昆虫病原真菌在杀灭害虫的同时也可能对天敌昆虫构成威胁^[9-11]。因而,评估病原真菌和天敌昆虫相容性是天敌联合增效的首要任务。

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 和烟粉虱 *Bemisia tabaci* 是辣椒生产中极易暴发且为害严重的两种害虫^[12],不仅取食辣椒叶片造成褪绿斑、坏死,影响其光合作用和干物质积累,而且传播多种植物病毒,对作物的品质和产量造成严重损失^[13]。东亚小花蝽 *Orius sauteri* 是一种重要捕食性天敌昆虫,已广泛用于防治温室番茄、辣椒、茄子等茄科作物上为害严重的西花蓟马、烟粉虱等害虫^[14-15]。但东亚小花蝽易受环境因素(如温室高温高湿、疏花疏果和施肥等农事操作)影响而定殖能力较差,导致防效减弱、防治成本增加。金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae*,作为一种虫生真菌,可侵入昆虫体内并导致寄主死亡,目前已用于防控西花蓟马和烟粉虱^[16-17]。但是,绿僵菌的应用效果受施用方法影响较大,常规的喷施难以使其到达作物的叶片背面、心叶和花内等部位,而西花蓟马和烟粉虱常在隐蔽处为害,导致绿僵菌施用效果差、效率低等问题^[17-18]。

因此,基于天敌昆虫和生防菌剂应用的局限性,以天敌携带生防菌进行协同防控的研究越来越多。但杀虫谱较广的虫生真菌不仅可以杀灭害虫,也会影响天敌昆虫的适合度^[9]。例如,Dongan 等^[10]研究发现绿僵菌对捕食螨具有 58%~100% 的侵染率。低浓度白僵菌 *Beauveria bassiana* 孢子悬浮液不影响东亚小花蝽对二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 的捕食能力,而高浓度白僵菌或孢子粉均显著降低其捕食效力^[19]。所以,通过天敌昆虫搭载生防菌开展害虫生物防治具有潜在增效作用,但生防菌对天敌的安全性评价和搭载应用效果评价也是必不可少的。研究表明,金龟子绿僵菌对绿步甲 *Carabus smaragdinus* 安全,且二者协同应用可以提高对东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* 的控害效率^[20];利用无毛小花蝽 *O. laevigatus* 携带长孢蜡蚧菌 *Lecanicillium longisporum* 可显著降低桃蚜 *Myzus persicae* 和西花蓟马的存活率^[21]。但利用东亚小花蝽携带绿僵菌的相关评价及田间应用还未见报道。

利用天敌搭载生防菌,可充分利用天敌昆虫主动搜索害虫和在作物各部位扩散分布的能力,使天敌发挥捕食作用的同时,将生防菌携带至药液不易达到的地方,从而增加生防菌的防治面^[22-23]。在释放应用时,东亚小花蝽常出现在叶片背面、花内和心叶等部位,通过东亚小花蝽携带绿僵菌来防治西花蓟马和烟粉虱具有潜在的增效作用。因此,为探究东亚小花蝽与金龟子绿僵菌联用的适合度和实际控害效果,本研究首先在室内通过梯度浓度试验探索对东亚小花蝽毒性最小的绿僵菌孢子悬浮液的最高浓度,并通过药效试验验证该浓度的绿僵菌孢子悬浮液是否对西花蓟马和烟粉虱具有毒性作用;然后分别在室内笼罩和生产温室内,研究东亚小花蝽携带绿僵菌对西花蓟马和烟粉虱数量动态的影响及防治效果。以期探索以该天敌昆虫携带绿僵菌防控辣椒上蓟马和烟粉虱的可行性,为天敌携菌的田间应用提供基础数据和理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物:辣椒‘吉祥一号’种子催芽后于 24 穴(长×宽×高=5.0 cm×5.0 cm×5.0 cm)育苗盘(长×宽×高=36.5 cm×23.0 cm×5.0 cm,草炭土:蛭石=3:1)中育苗。环境条件为温度(26±1)℃,相对湿度(50±5)%,光周期 L//D=16 h//8 h。每隔 3 d 均匀浇水一次,待子叶完全伸展开后移栽于塑料盆(口径 18.5 cm,高 15.2 cm)中,长至 5 叶期备用。

供试东亚小花蝽于 2017 年 7 月采自河北省廊坊市玉米田中,并在北京市农林科学院植物保护研究所应用昆虫研究室人工气候箱(三洋 MLR-351H,日本三洋电器有限公司)内建立长期稳定的种群,并饲养 20 代以上。人工气候箱温度为(26±1)℃,相对湿度为(65±5)%,光照为 L//D=16 h//8 h。东亚小花蝽用上盖带有 120 目尼龙纱网(长×宽=18.0 cm×9.0 cm)的塑料保鲜盒(长×宽×高=24.8 cm×18.0 cm×9.0 cm)饲养。所用饲养猎物为经紫外光照射 30 min 杀胚处理过的新鲜米蛾 *Corcyra cephalonica* 卵。饲养时所使用产卵基质为普通扁豆 *Lablab purpureus*。于每年 7、8 月向饲养种群内补充足量西花蓟马进行复壮。试验前,选取同日孵化的东亚小花蝽的卵进行饲养,随机选择 5 龄第 1 天若虫供试,试验前饥饿处理 12 h。

西花蓟马来自北京市农林科学院植物保护研究所实验室饲养种群,饲养 20 代以上。以普通扁豆为食物,置于长方体塑料饲养箱(长×宽×高=24.8 cm×18.0 cm×9.0 cm)中,饲养箱上方有 120 目纱网制作的通风孔(长×宽=18.0 cm×9.0 cm)。西花蓟马于培养箱(三洋 MLR-351H,日本三洋电器有限公司)内饲养,温度为(26±1)℃,相对湿度为(65±5)%,光周期为 L//D=16 h//8 h。随机选取羽化 3~5 d 的雌成虫用于试验,试验前饥饿处理 6 h。

烟粉虱来自北京市农林科学院植物保护研究所实验室饲养种群,在人工温室,温度为(26±1)℃,相对湿度为(65±5)%,自然光照条件下饲养,寄主为番茄苗。随机选取羽化 3~5 d 成虫供试,试验前饥饿处理 6 h。

黏虫 *Mythimna separata*、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 和草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的卵购于吉林省农业科学院植物保护研究所,随机选取孵化 24 h 的长势一致的 1 龄幼虫供试,试验前饥饿处理 12 h。

供试菌液:试验用绿僵菌原液为 80 亿个/mL(金龟子绿僵菌 CQM421,重庆聚立信生物工程有限公司),使用 0.05% 的吐温-80 无菌水将绿僵菌原液稀释为 5×10^3 、 5×10^4 、 5×10^5 、 5×10^6 、 5×10^7 或 5×10^8 个/mL,试验所用绿僵菌孢子悬浮液均为现配现用。

1.2 方法

1.2.1 不同浓度绿僵菌孢子悬浮液对东亚小花蝽 5 龄若虫存活和羽化的影响

试验在透明的圆柱形塑料培养盒(上部直径 9.5 cm,底部直径 7.0 cm,高 5.3 cm)中进行,为保证养虫盒通风,在盒盖上粘贴有 120 目纱网(直径 5 cm)。将东亚小花蝽在不同浓度的绿僵菌孢子悬浮液中浸泡 5 s 后取出放于上述培养盒(方法同陈亚丰等^[19]),每个养虫盒中放入 300 粒米蛾卵作为东亚小花蝽的食物。每盒放入 10 头处于 5 龄第一天的东亚小花蝽若虫,24 h 后统计存活的东亚小花蝽数量;5 d 后统计东亚小花蝽羽化数量,并计算羽化率(羽化率=羽化数量/10×100%)。每个处理 3~7 个重复。

1.2.2 不同浓度绿僵菌孢子悬浮液对 5 种东亚小花蝽猎物的影响

将上述 5 个不同浓度的绿僵菌孢子悬浮液(约

0.5 mL)喷在养虫盒底部,并分别将西花蓟马、烟粉虱、黏虫、棉铃虫和草地贪夜蛾 5 种害虫置于养虫盒(同 1.2)中,其中西花蓟马和烟粉虱为雌成虫,鳞翅目害虫均为 1 龄幼虫,每盒 10 头,24 h 后统计存活的害虫数量。每个处理 3~10 个重复。

1.2.3 室内笼罩条件下东亚小花蝽携带绿僵菌对烟粉虱和西花蓟马存活的影响

选用长势一致的 5 叶期辣椒植株用于试验。使用 5 L 透明塑料桶(长 15.9 cm,宽 14.8 cm,高 33.0 cm;前后各开长 15.0 cm、宽 9.0 cm 的通气孔,粘贴 100 目纱网)制作的笼罩将辣椒苗罩住,塑料桶口部朝下插入基质中,每株辣椒苗用一个笼罩罩住。每个笼罩内接入 3 日龄西花蓟马和烟粉虱成虫各 15 对,使害虫在植物上繁殖 14 d 后进行试验。

试验共计 4 个处理:1)对照组,不接入东亚小花蝽和绿僵菌;2)东亚小花蝽组,用软毛笔将 10 头未经绿僵菌孢子悬浮液浸泡的东亚小花蝽 5 龄若虫随机放于辣椒叶片;3)东亚小花蝽+绿僵菌组,用软毛笔将 10 头经绿僵菌孢子悬浮液浸泡的东亚小花蝽 5 龄若虫随机放于辣椒叶片;4)绿僵菌组,用软毛笔将 10 头经绿僵菌孢子悬浮液浸泡的死亡东亚小花蝽 5 龄若虫随机放于辣椒叶片。绿僵菌组加入死亡东亚小花蝽的设置是为避免带菌的虫体自身对绿僵菌防效的影响。于接入天敌后第 0、1、3、5、7、14 d 统计每株辣椒上西花蓟马和烟粉虱成虫和若虫的总数量。每个处理 10~15 个重复。

1.2.4 生产温室条件下东亚小花蝽携带绿僵菌对害虫数量和辣椒产量的影响

选用长势一致的 5 叶期辣椒植株种植于塑料薄膜生产温室(北京诺亚农业科技有限公司)内,用 100 目纱网罩(长 1 m,宽 1 m,高 1 m)罩住 4 株相邻的辣椒植株,植株间隔 0.5 m,不同网罩间隔 1 m。每个网罩内接入西花蓟马和烟粉虱成虫(羽化 3 d)各 30 对,使害虫在植物上繁殖 14 d 后,按照室内笼罩条件下的试验设置,除接入东亚小花蝽数量为 40 头,其他方法同 1.2.3。试验期间不使用任何化学杀虫剂。于接入天敌后第 0、6、15、24、33 d 统计每株辣椒上西花蓟马和烟粉虱成虫和若虫的总数量。根据辣椒果实可以作为商品进行销售的成熟标准,统一

采摘第一茬成熟辣椒并称重记录产量。每个处理 4~5 个重复。

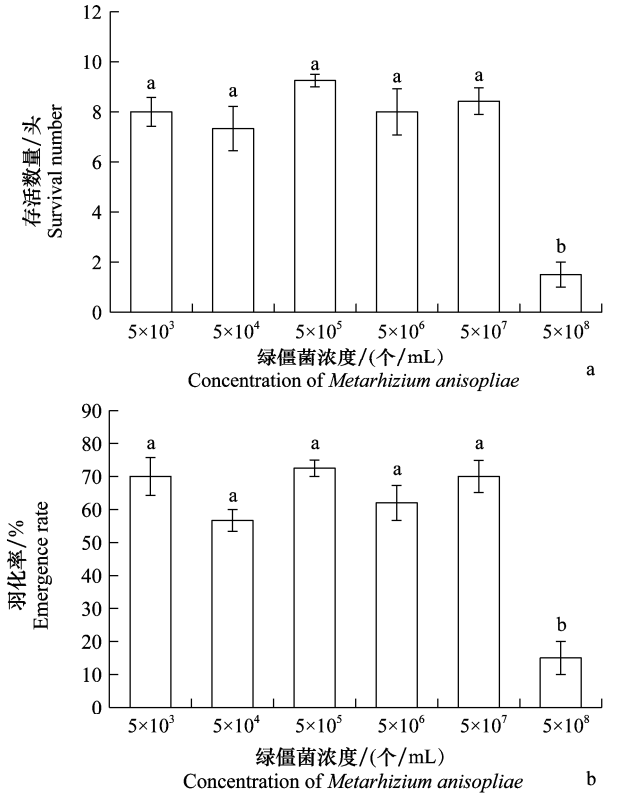
1.3 数据统计分析方法

应用独立样本 *t* 检验对绿僵菌处理的猎物存活数量进行差异显著性分析。应用单因素方差分析 (One way ANOVA) 对不同浓度绿僵菌孢子悬浮液处理后东亚小花蝽 5 龄若虫存活量、羽化率, 及笼罩和田间不同处理组间烟粉虱和西花蓟马的数量及辣椒产量进行差异显著性分析, 并进行多重比较 (Tukey HSD), 其中羽化率数据在分析前进行反正弦平方根转换。数据分析均使用 SPSS 25.0。

2 结果与分析

2.1 不同浓度绿僵菌孢子悬浮液处理对东亚小花蝽 5 龄若虫的影响

经不同浓度绿僵菌孢子悬浮液处理后的东亚小花蝽若虫的存活数存在显著差异 (图 1a, $F =$



图中数据为平均值±标准误。不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。Data in the chart are mean ± SE. Different letters indicate significant differences among different treatments ($P < 0.05$).

图 1 东亚小花蝽 5 龄若虫在不同浓度绿僵菌孢子悬浮液处理下的存活数 (a) 和羽化率 (b)

Fig. 1 Survival number (a) and emergence rate (b) of 5th instar nymph of *Orius sauteri* at different concentrations of *Metarhizium anisopliae* spore suspension

22.027; $df = 5, 27$; $P < 0.001$)。其中, 经 5×10^8 个/mL 绿僵菌孢子悬浮液处理后东亚小花蝽 5 龄若虫的存活数显著低于其他浓度处理, 其余各浓度处理组间无显著差异 (图 1a)。经不同浓度绿僵菌孢子悬浮液处理后的东亚小花蝽若虫的羽化率存在显著差异 (图 1b, $F = 17.136$; $df = 5, 27$; $P < 0.001$), 其中, 经 5×10^8 个/mL 绿僵菌孢子悬浮液处理后东亚小花蝽 5 龄若虫羽化率最低, 其余处理均显著高于 5×10^8 个/mL 的处理 ($P < 0.05$), 且这些处理间无显著差异 (图 1b)。

2.2 绿僵菌孢子悬浮液对东亚小花蝽不同猎物的影响

用绿僵菌孢子悬浮液 (5×10^7 个/mL) 处理东亚小花蝽的不同猎物后, 西花蓟马、黏虫和烟粉虱的存活数量与对照间差异显著, 而棉铃虫和草地贪夜蛾与对照相比无显著差异 (表 1)。

2.3 室内笼罩条件下东亚小花蝽携带绿僵菌对烟粉虱以及西花蓟马防治效果

2.3.1 烟粉虱种群动态

3 个处理组从释放天敌或应用生防菌第 3 天开始, 烟粉虱数量与对照相比具有显著差异 (表 2, $F = 4.146$; $df = 3, 47$; $P = 0.011$)。应用天敌的 3 个处理组中烟粉虱数量从第 5 天均显著低于对照, 并且东亚小花蝽携带绿僵菌处理组中烟粉虱数量最低, 略低于单独释放小花蝽或单独应用绿僵菌的处理组 (表 2)。随着时间的延长, 对照组烟粉虱数量显著升高; 而东亚小花蝽处理组、绿僵菌处理组和东亚小花蝽携带绿僵菌处理组中, 烟粉虱数量呈现先增加后下降的趋势, 3 个处理组趋势基本一致。东亚小花蝽携带绿僵菌处理组中, 烟粉虱的增长水平较低。

2.3.2 西花蓟马种群动态

3 个处理组从释放天敌或应用生防菌后的第 1 天 (表 3, $F = 3.595$; $df = 3, 42$; $P = 0.022$) 和第 14 天 (表 3, $F = 29.818$; $df = 3, 42$; $P < 0.001$), 西花蓟马数量与对照相比具有显著差异。应用生防产品的 3 个处理组中, 在第 14 天西花蓟马数量低于对照, 东亚小花蝽携带绿僵菌处理组最低, 但 3 个处理组之间无显著差异。随着时间的延长, 对照组西花蓟马的数量升高; 其余 3 个处理组在处理 1 d 西花蓟马的数量明显降低; 在 5 d 后会有一个上升的趋势, 但也基本稳定在较低的初始水平 (表 3)。

表 1 绿僵菌孢子悬浮液处理后不同东亚小花蝽猎物的存活数量¹⁾

Table 1 Survival number of different prey of <i>Orius sauteri</i> treated with <i>Metarhizium anisopliae</i> spore suspension				
物种 Species	存活数/头 Survival number		<i>t</i> 测验 <i>t</i> -test	
	对照 Control	处理 Treatment		
西花蓟马 <i>Frankliniella occidentalis</i>	7.40±2.91	0.70±1.57	$t=6.404, df=18, P<0.001^{***}$	
黏虫 <i>Mythimna separata</i>	5.67±0.33	2.67±0.33	$t=6.364, df=4, P=0.003^{**}$	
棉铃虫 <i>Helicoverpa armigera</i>	5.67±1.33	2.65±1.53	$t=1.808, df=4, P=0.145$	
烟粉虱 <i>Bemisia tabaci</i>	7.60±0.68	3.17±0.60	$t=4.907, df=9, P=0.001^{**}$	
草地贪夜蛾 <i>Spodoptera frugiperda</i>	8.50±0.22	7.83±0.31	$t=1.754, df=10, P=0.110$	

1) 表中数据为平均值±标准误。**表示同一害虫的处理组和对照组差异显著($P<0.01$),***表示同一害虫的处理组和对照组差异极显著($P<0.001$)。
Data in the table are mean±SE. ** indicate significant difference between control and treatment groups for the same pest ($P<0.01$). *** indicate extremely significant difference between control and treatment groups for the same pest ($P<0.001$).

表 2 实验室条件下东亚小花蝽与绿僵菌不同处理中烟粉虱的数量¹⁾

Table 2 Number of <i>Bemisia tabaci</i> under different treatments of <i>Orius sauteri</i> and <i>Metarhizium anisopliae</i> in laboratory conditions				
时间/d Time	烟粉虱数量/头 Number of <i>Bemisia tabaci</i>			
	东亚小花蝽 <i>Orius sauteri</i>	东亚小花蝽+绿僵菌 <i>Orius sauteri</i> + <i>Metarhizium anisopliae</i>	绿僵菌 <i>Metarhizium anisopliae</i>	对照 CK
0	(49.50±4.75)a	(38.92±4.58)a	(41.83±3.92)a	(54.83±4.66)a
1	(38.92±3.64)a	(38.00±3.45)a	(41.75±3.60)a	(48.75±3.94)a
3	(64.42±5.82)ab	(47.17±4.97)b	(58.25±5.86)b	(79.33±8.15)a
5	(44.25±3.55)b	(42.08±2.81)b	(50.42±3.90)b	(87.33±10.85)a
7	(80.50±9.04)b	(60.17±3.67)b	(74.75±2.96)b	(129.92±11.97)a
14	(78.00±5.96)b	(49.83±3.91)c	(74.92±3.53)b	(188.33±9.93)a

1) 表中数据为平均值±标准误。不同字母表示在同一天不同处理间差异显著($P<0.05$)。
Data in the table are mean±SE. Different letters indicate significant differences among different treatments on the same day ($P<0.05$).

表 3 实验室条件下东亚小花蝽与绿僵菌不同处理下西花蓟马的数量¹⁾

Table 3 Number of <i>Frankliniella occidentalis</i> under different treatments of <i>Orius sauteri</i> and <i>Metarhizium anisopliae</i> in laboratory conditions				
时间/d Time	西花蓟马数量/头 Number of <i>Frankliniella occidentalis</i>			
	东亚小花蝽 <i>Orius sauteri</i>	东亚小花蝽+绿僵菌 <i>Orius sauteri</i> + <i>Metarhizium anisopliae</i>	绿僵菌 <i>Metarhizium anisopliae</i>	对照 CK
0	(6.17±0.91)a	(5.25±0.65)a	(4.75±1.02)a	(2.91±0.66)a
1	(2.66±0.43)a	(2.08±0.42)a	(3.67±0.92)a	(2.75±0.64)a
3	(2.17±0.47)ab	(0.83±0.28)b	(2.42±0.59)ab	(4.83±1.38)a
5	(1.67±0.73)a	(1.58±0.80)a	(5.33±1.21)a	(4.83±1.22)a
7	(1.25±0.34)c	(2.00±0.66)bc	(5.50±1.35)ab	(7.17±1.58)a
14	(2.25±0.41)b	(1.33±0.41)b	(5.00±0.99)b	(11.55±1.81)a

1) 表中数据为平均值±标准误。不同字母表示在同一天不同处理间差异显著($P<0.05$)。
Data in the table are mean±SE. Different letters indicate significant differences among different treatments on the same day ($P<0.05$).

2.4 生产温室条件下东亚小花蝽携带绿僵菌对烟粉虱以及西花蓟马防治效果

2.4.1 烟粉虱种群动态

在调查期间内,随着时间的延长,各个处理组中烟粉虱总量呈现先增长后平稳趋势。在调查的第 33 天(表 4, $F=4.494; df=3, 19; P=$

0.018),4 个处理组的烟粉虱数量差异显著。其中第 33 天对照组烟粉虱数量最高,为(202.30±24.43)头,东亚小花蝽携带绿僵菌处理组最低,为(117.50±4.73)头(显著低于对照),单独释放东亚小花蝽和单独应用绿僵菌的处理组无差异(表 4)。

表 4 温室中东亚小花蝽与绿僵菌不同处理下烟粉虱的数量¹⁾

Table 4 Number of *Bemisia tabaci* under different treatments of *Orius sauteri* and *Metarhizium anisopliae* in greenhouse

时间/d Time	烟粉虱数量/头 Number of <i>Bemisia tabaci</i>			
	东亚小花蝽 <i>Orius sauteri</i>	东亚小花蝽+绿僵菌 <i>Orius sauteri</i> + <i>Metarhizium anisopliae</i>	绿僵菌 <i>Metarhizium anisopliae</i>	对照 CK
0	(25. 35±4. 72)a	(25. 35±3. 67)a	(25. 15±2. 29)a	(26. 30±6. 25)a
6	(61. 75±3. 98)a	(51. 75±4. 14)a	(76. 85±5. 19)a	(76. 65±6. 76)a
15	(126. 45±13. 97)a	(115. 35±8. 30)a	(117. 15±11. 21)a	(147. 55±12. 25)a
24	(137. 35±11. 96)a	(119. 35±7. 48)a	(136. 25±9. 64)a	(156. 45±12. 48)a
33	(147. 90±7. 37)ab	(117. 50±4. 73)b	(162. 60±8. 36)ab	(202. 30±24. 43)a

1) 表中数据为平均值±标准误。不同字母表示在同一天不同处理间差异显著($P<0.05$)。
Data in the table are mean±SE. Different letters indicate significant differences among different treatments on the same day ($P<0.05$).

2.4.2 西花蓟马种群动态 且始终处于较低水平,4 个处理在各调查日期均无在调查期间,温室内西花蓟马数量为下降趋势, 显著性差异($P>0.05$)(表 5)。

表 5 温室中东亚小花蝽与绿僵菌不同处理下西花蓟马的数量¹⁾

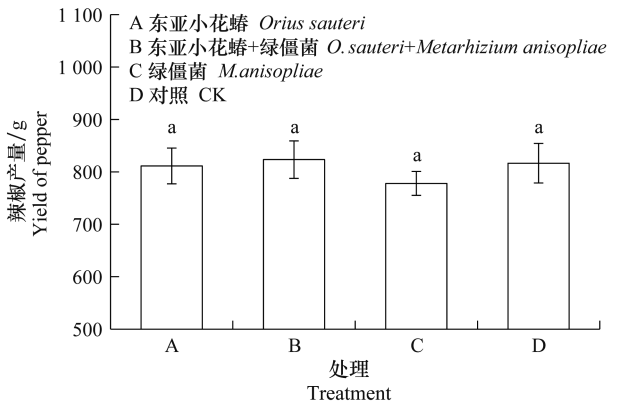
Table 5 Number of *Frankliniella occidentalis* under different treatments of *Orius sauteri* and *Metarhizium anisopliae* in greenhouse

时间/d Time	西花蓟马数量/头 Number of <i>Frankliniella occidentalis</i>			
	东亚小花蝽 <i>Orius sauteri</i>	东亚小花蝽+绿僵菌 <i>Orius sauteri</i> + <i>Metarhizium anisopliae</i>	绿僵菌 <i>Metarhizium anisopliae</i>	对照 CK
0	(1. 89±0. 43)a	(1. 85±0. 32)a	(2. 00±0. 35)a	(1. 75±0. 29)a
6	(0. 60±0. 12)a	(0. 75±0. 24)a	(0. 75±0. 36)a	(1. 95±0. 65)a
15	(0. 05±0. 00)a	(0. 35±0. 20)a	(0. 20±0. 30)a	(0. 35±0. 06)a
24	(0. 00±0. 00)a	(0. 05±0. 05)a	(0. 05±0. 05)a	(0. 20±0. 00)a
33	(0. 00±0. 00)a	(0. 10±0. 00)a	(0. 05±0. 07)a	(0. 00±0. 00)a

1) 表中数据为平均值±标准误。不同字母表示在同一天处理间差异显著($P<0.05$)。
Data in the table are mean±SE. Different letters indicate significant differences among different treatments on the same day ($P<0.05$).

2.4.3 辣椒产量

东亚小花蝽携带绿僵菌处理组中单笼第 1 茬辣椒产量为(823. 40±35. 77)g,略高于其他处理组,但试验不同处理内所采摘的第 1 茬辣椒产量无显著差异(图 2, $F=0.371$; $df=3,11$; $P=0.776$)。



图中数据为平均值±标准误。相同字母表示不同处理间无显著差异($P>0.05$)。
Data in the figure are mean ± SE. The same letter indicates no significant difference among different treatments ($P>0.05$).

图 2 温室内东亚小花蝽与绿僵菌不同处理下辣椒的产量
Fig. 2 Yield of pepper under different treatments of *Orius sauteri* and *Metarhizium anisopliae* in greenhouse

3 结论与讨论

利用东亚小花蝽携带绿僵菌对害虫进行协同控害,不仅能够通过天敌搜寻猎物的过程将绿僵菌带至害虫隐蔽为害的组织中,提高绿僵菌的应用效率,也可在一定程度上弥补单独释放小型捕食性天敌时的易损耗缺陷。本研究基于农业生产中对东亚小花蝽携带绿僵菌防控辣椒西花蓟马和烟粉虱的实际需求,明确了对东亚小花蝽无害的绿僵菌最高孢子浓度,并通过笼罩试验和田间试验明确了二者协同应用对 2 种害虫数量动态的影响。

在实际应用前,需首先对天敌进行安全性评价^[21]。本研究将金龟子绿僵菌孢子悬浮液稀释为系列浓度后,发现浓度为 5×10^7 个/mL 及以下时,其对东亚小花蝽 5 龄若虫的存活和羽化无显著影响,但浓度大于 5×10^8 个/mL 时,东亚小花蝽的适合度显著降低。东亚小花蝽的低龄若虫体型较小且捕食能力相对较低,目前生产中应用较多的东亚小花蝽虫态为 4~5 龄若虫。因此, 5×10^7 个/mL 是对东亚小花蝽 5 龄若虫无显著影响的最高可用绿僵

菌孢子悬浮液浓度。

室内笼罩试验和田间试验结果均表明,东亚小花蝽与绿僵菌联用可提高对烟粉虱的防控效果。笼罩试验中,第14天对照组烟粉虱数量增长达3.5倍左右,显著高于处理组。东亚小花蝽携带绿僵菌处理组的烟粉虱数量显著低于单独释放小花蝽或单独施用绿僵菌处理组。对照组烟粉虱为增长趋势,而不管是应用天敌还是生防菌,烟粉虱数量始终维持在种群初始水平。田间试验中,对照组烟粉虱数量在调查的第33天种群数量增长达7倍以上,显著高于应用生防产品的处理组,东亚小花蝽与绿僵菌联用显著降低烟粉虱数量,防控效果最好。本研究结果与Wu等^[24]所报道的白僵菌与巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 联用可增强对西花蓟马的控害效果趋势一致。对西花蓟马种群动态的研究结果表明,笼罩中联合应用小花蝽和绿僵菌可增强对西花蓟马的抑制作用。第14天对照组西花蓟马数量增长4倍以上,显著高于应用生防产品的处理组。东亚小花蝽携带绿僵菌处理组中西花蓟马数量最低,但与单独释放东亚小花蝽和单独应用绿僵菌处理相比无显著差异,表明东亚小花蝽和绿僵菌的联合应用对西花蓟马的捕食控害具有优于二者的单独应用的潜力,但仍需进一步的试验验证。此外,东亚小花蝽携带绿僵菌处理组中第1茬辣椒产量略高于其他处理组,表明二者的联合应用具有一定的增产效果,统计结果无显著差异可能是源于试验过程中适宜的水肥管理措施^[25],使辣椒苗生长旺盛,另外试验周期较短,第一茬挂果期害虫虫量不足以对辣椒的产量造成影响。今后的研究应全面评价田间不同虫口密度及其对辣椒全生育期产量的影响,从而为天敌昆虫与生防菌的协同应用提供更好的指导与借鉴。

本研究揭示了烟粉虱/西花蓟马-东亚小花蝽-金龟子绿僵菌的相互作用关系,为探索和发展多种生物防治措施联用技术来防控温室辣椒上的西花蓟马和烟粉虱提供了基础数据。在生防菌和天敌昆虫协同应用时,由于虫生真菌侵染的非特异性,可能对天敌的适合度造成不可预知的影响,所以安全性评价与适宜施用浓度的筛选是此技术的关键一环^[24]。我们的研究基于东亚小花蝽5龄若虫释放,选择存活状况和羽化率作为指标进行评估。天敌释放后是否能够成功定殖关系着其防控的持久性,今后还应更加关注东亚小花蝽携带绿僵菌释放后其后代的数

量动态,以及对害虫的田间攻击能力^[9]。使用 5×10^7 个/mL绿僵菌孢悬液处理东亚小花蝽并释放后,可对西花蓟马和烟粉虱起到协同控害作用,表明在研发天敌携菌技术时,需综合考虑天敌-生防菌-害虫的相互作用关系^[26-27],从而提高防控效率。

总之,在有限资源下创新生物防治的作用方式,提高防控效率是非常必要的。而本文把生物防治中的“以虫治虫”和“以菌治虫”两者结合应用,对于后续生物防治的多元化研究提供了一定的借鉴作用。

参考文献

- [1] 陈学新. 21世纪我国害虫生物防治研究的进展、问题与展望[J]. 昆虫知识, 2010, 47(4): 615-625.
- [2] 张帆, 李姝, 肖达, 等. 中国设施蔬菜害虫天敌昆虫应用研究进展[J]. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3463-3476.
- [3] 潘明真, 张毅, 曹贺贺, 等. 我国主要农作物蚜虫生物防治的研究进展、应用与展望[J]. 植物保护学报, 2022, 49(1): 146-172.
- [4] 李姝, 王甦, 赵静, 等. 释放异色瓢虫对北京温室甜椒和圆茄上桃蚜的控害效果[J]. 植物保护学报, 2014, 41(6): 699-704.
- [5] 农向群, 张英财, 王以燕. 国内外杀虫绿僵菌制剂的登记现状与剂型技术进展[J]. 植物保护学报, 2015, 42(5): 702-714.
- [6] 李姝, 劳永兵, 王甦, 等. 东亚小花蝽和丽蚜小蜂对烟粉虱的协同控制效果研究[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(6): 978-982.
- [7] 杨芷, 路杨, 毛刚, 等. 松毛虫赤眼蜂携带球孢白僵菌防治亚洲玉米螟技术研究与应用[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(1): 52-57.
- [8] 邓竣丹, 庄文欣, 刘玉军, 等. 球孢白僵菌对松墨天牛的致病力及其与花绒寄甲的相容性[J]. 植物保护学报, 2021, 48(3): 602-609.
- [9] ONG T W Y, VANDERMEER J H. Coupling unstable agents in biological control [J/OL]. Nature Communications, 2015, 6: 5991. DOI: 10.1038/ncomms6991.
- [10] DONGAN Y O, HAZIR S, YILDIZ A, et al. Evaluation of entomopathogenic fungi for the control of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and the effect of *Metarhizium brunneum* on the predatory mites (Acari: Phytoseiidae) [J]. Biological Control, 2017, 111: 6-12.
- [11] 查萌, 刘方慧, 蔡丽美, 等. 核型多角体病毒与中红侧沟茧蜂对寄主棉铃虫的联合效应[J]. 植物保护学报, 2021, 48(5): 1139-1146.
- [12] ZHANG Kai, DI Ning, RIDSILL S J, et al. Does a multi-plant diet benefit a polyphagous herbivore? A case study with *Bemisia tabaci* [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2014, 152(2): 148-156.
- [13] DI Ning, ZHANG Kai, ZHANG Fan, et al. Polyculture and monoculture affect the fitness, behavior and detoxification metabolism of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J/OL]. Frontiers in Physiology, 2018, 9: 1392. DOI: 10.3389/fphys.2018.01392.

- [17] 蒋月丽. 不同颜色诱捕器诱集昆虫多样性及诱集效果研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [18] MCINTOSH R L, KATINIC P J, ALLISON J D, et al. Comparative efficacy of five types of trap for woodborers in the Cerambycidae, Buprestidae and Siricidae [J]. *Agricultural and Forest Entomology*, 2001, 3(2): 113–120.
- [19] 卢辉, 唐继洪, 吕宝乾, 等. 性诱剂对热区草地贪夜蛾的诱捕效果[J]. *热带农业科学*, 2020, 40(S1): 1–5.
- [20] 阎雄飞, 王亚文, 李刚, 等. 不同配方引诱剂和诱捕器对枣飞象成虫的田间诱集效果[J]. *南京林业大学学报*, 2020, 44(4): 125–130.
- [21] 邢合龙. 3种因素对栗山天牛诱捕数量影响[J]. *林业科技通讯*, 2020(6): 53–54.
- [22] 路常宽, 王晓勤, 张巨山, 等. 苹毛丽金龟对植物挥发物成分的触角电位及行为反应[J]. *昆虫学报*, 2009, 52(12): 1379–1384.
- [23] 滕小慧, 高新国, 龚东风, 等. 金龟甲广谱引诱剂配方筛选及田间评价[J]. *应用昆虫学报*, 2017, 54(5): 859–864.
- [24] 卢雪凝, 章家恩, 向慧敏, 等. 诱集植物在农业中的应用研究进展与展望[J]. *生态科学*, 2021, 40(2): 196–203.
- [25] 李为争, 杨雷, 申小卫, 等. 金龟甲对蓖麻叶挥发物的触角电位和行为反应[J]. *生态学报*, 2013, 33(21): 6895–6903.
- [26] 李晓峰, 李金桥, 曹雅忠, 等. 华北大黑鳃金龟引诱剂配方筛选及引诱效果评价[J]. *昆虫学报*, 2020, 63(4): 482–493.
- [27] 吴学三, 郭峰, 田翔, 等. 白星花金龟对9种植物的趋避行为[J]. *植物保护*, 2021, 47(6): 141–147.
- [28] 谢明惠, 陈浩梁, 衣建坤, 等. 铜绿丽金龟对植物源挥发物的触角电位和行为反应[J]. *植物保护*, 2015, 41(1): 33–38.
- [29] 鞠倩, 郭晓强, 李晓, 等. 铜绿丽金龟对寄主植物挥发物的触角电生理及行为反应[J]. *植物保护学报*, 2016, 43(2): 281–287.
- [30] ALLISON J D, BHANDARI B D, MCKENNEY J L, et al. Design factors that influence the performance of flight intercept traps for the capture of longhorned beetles (Coleoptera: Cerambycidae) from the subfamilies Lamiinae and Cerambycinae [J/OL]. *PLoS ONE*, 2014, 9(3): e93203. DOI: 10.1371/journal.pone.0093203.
- [31] 苑鹏宇, 钱沉鱼, 胡可炎, 等. 鞘翅目昆虫诱捕器野外应用技术探讨[J]. *中国生物防治学报*, 2022, 38(5): 1334–1344.
- [32] 田厚军, 张洁, 林硕, 等. 农林害虫诱捕器应用技术[J]. *中国生物防治学报*, 2020, 36(6): 963–971.
- [33] 景瑞, 阎雄飞, 张鹏, 等. 粘虫板颜色和悬挂方式对枣飞象诱集效果的影响[J]. *应用昆虫学报*, 2021, 58(6): 1426–1432.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 316 页)

- [14] 蒋月丽, 武予清, 段云, 等. 释放东亚小花蝽对大棚辣椒上几种害虫的防治效果[J]. *中国生物防治学报*, 2011, 27(3): 414–417.
- [15] 侯峥嵘, 李锦, 李金萍, 等. 释放东亚小花蝽对三种设施蔬菜蓟马的防治效果[J]. *湖北农业科学*, 2018, 57(22): 67–69.
- [16] SHARMA M, BUDHA P B, PRADHAN S B. Efficacy test of bio-pesticides against tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) on tomato plants in Nepal [J]. *Journal of Institute of Science and Technology*, 2015, 20(2): 11–17.
- [17] 裴松松, 吴轩, 李瑞军, 等. 对西花蓟马高效金龟子绿僵菌菌株筛选及在花生田间的应用效果[J]. *中国生物防治学报*, 2021, 37(4): 732–739.
- [18] 彭国雄, 谢佳沁, 夏玉先. 金龟子绿僵菌 CQMa421 与杀虫剂、杀菌剂的兼容性[J]. *中国生物防治学报*, 2017, 33(6): 747–751.
- [19] 陈亚丰, 王甦, 邸宁, 等. 利用功能反应模型评价球孢白僵菌对东亚小花蝽捕食二斑叶螨的影响[J]. *昆虫学报*, 2021, 64(8): 967–975.
- [20] 秦兴虎, 吴惠惠, 王广君, 等. 以绿步甲为载体携播绿僵菌对东亚飞蝗的协同控制作用研究[J]. *中国生物防治学报*, 2015, 31(2): 284–290.
- [21] DOWN R E, CUTHBERTSON A G, MATHERS J J, et al. Dissemination of the entomopathogenic fungi, *Lecanicillium longisporum* and *L. muscarium*, by the predatory bug, *Orius laevis*, to provide concurrent control of *Myzus persicae*, *Frankliniella occidentalis* and *Bemisia tabaci* [J]. *Biological Control*, 2009, 50(2): 172–178.
- [22] WU Shengyong, GAO Yulin, SMAGGHE G, et al. Interactions between the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*, and the predatory mite *Neoseiulus barkeri*, and biological control of their shared prey/host *Frankliniella occidentalis* [J]. *Biological Control*, 2016, 98(6): 43–51.
- [23] 吴圣勇, 杨清波, 徐长春, 等. 昆虫病原真菌和捕食螨间的相互作用及二者联合应用研究进展[J]. *中国生物防治学报*, 2019, 35(1): 127–133.
- [24] WU Shengyong, GAO Yulin, XU Xuenong, et al. Compatibility of *Beauveria bassiana* with *Neoseiulus barkeri* for control of *Frankliniella occidentalis* [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2015, 14(1): 98–105.
- [25] 庄迎春, 季林章, 孙楠, 等. 有机肥替代化肥对辣椒产量和土壤理化性状的影响[J]. *农业科技通讯*, 2022(3): 170–171.
- [26] MARJAN S, ALIREZA S, HOSSEIN A. Interactions of two natural enemies of *Tetranychus urticae*, the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* and the predatory mite, *Phytoseiulus persimilis* [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2012, 22(8): 873–882.
- [27] BUGEME D M, KNAPP M, EKESI S, et al. Efficacy of *Metarhizium anisopliae* in controlling the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* on common bean in screenhouse and field experiments [J]. *Insect science*, 2015, 22(1): 121–128.

(责任编辑: 田 喆)