



张宇, 朱正阳, 寇晶, 徐庆宣, 王甦, 邸宁, 景岚. 不同光谱对东亚小花蝽捕食西花蓟马的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2024, 46 (4): 822–829. ZHANG Yu, ZHU Zheng-Yang, KOU Jing, XU Qing-Xuan, WANG Su, DI Ning, JING Lan. Effects of different light spectra on the predation of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* by minute pirate bug *Orius sauteri* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2024, 46 (4): 822–829.

不同光谱对东亚小花蝽捕食西花蓟马的影响

张宇^{1,2}, 朱正阳², 寇晶^{1,2}, 徐庆宣², 王甦², 邸宁^{2*}, 景岚^{1*}

(1. 内蒙古农业大学园艺与植物保护学院, 呼和浩特 010011;

2. 北京市农林科学院植物保护研究所, 农业农村部天敌昆虫重点实验室, 北京 100097)

摘要: 设施补光可能会影响天敌昆虫的应用效率, 为探索提升天敌应用效果的补光光谱, 促进补光与天敌释放技术的有机结合, 本研究在相同光强和光周期的条件下, 比较了红 (R)、蓝 (B)、红蓝组合 (RB) 和白 (W, 对照) 光处理下东亚小花蝽对西花蓟马捕食能力的差异。结果表明, 相比于 W 光, B 光显著降低东亚小花蝽雌成虫的存活率, R 和 RB 光未影响其雌成虫的存活。R 和 RB 光显著增加东亚小花蝽在高密度猎物下对西花蓟马的捕食量。不同光谱处理下东亚小花蝽雌成虫对西花蓟马雌成虫的捕食能力均符合 Holling II 型功能反应模型, 且搜寻效应随猎物密度增加逐渐降低。RB 光处理下, 东亚小花蝽捕食西花蓟马的效果最好, 理论日最大捕食量最高, 为 43.10 头/d, 单头猎物处理时间最短, 为 0.0232 d; B 光的理论日最大捕食量也较高, 为 42.90 头/d, 单头猎物处理时间为 0.0233 d; R 光下东亚小花蝽捕食西花蓟马的瞬时攻击率最高为 1.0837。东亚小花蝽对西花蓟马的搜寻效率最高的是 RB 光处理, 其次是 R 或 B 光, 最低的是 W 光。以上结果表明, 相比于 W 光, R、B 和 RB 光均增加东亚小花蝽对西花蓟马的捕食能力和搜寻效率, 但 B 光会降低东亚小花蝽的存活率。因此, 与设施补充 R 和 RB 光相结合, 可潜在提升东亚小花蝽对西花蓟马的捕食效果。本文基于捕食功能差异评价了三种常用补光光谱对东亚小花蝽捕食西花蓟马的影响, 为设施补光兼顾天敌应用提供了基础数据。

关键词: 光谱; 东亚小花蝽; 西花蓟马; 捕食功能反应; 搜寻效应; 防治效果

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2024) 04-0822-08

Effects of different light spectra on the predation of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* by minute pirate bug *Orius sauteri*

ZHANG Yu^{1,2}, ZHU Zheng-Yang², KOU Jing^{1,2}, XU Qing-Xuan², WANG Su², DI Ning^{2*}, JING Lan^{1*} (1. College of Horticulture and Plant Protection, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010011, China; 2. Key Laboratory of Natural Enemies Insects, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Institute of Plant Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: Light supplementary in greenhouses may affect the application efficiency of natural enemies. In order to explore the spectrum of supplementary light on improving the application efficiency of natural enemies and promote the combination of light supplementary and natural enemy release technology, this study compared the differences in predatory ability of *Orius sauteri* to *Frankliniella occidentalis* under red

基金项目: 国家重点研发计划 (2023YFD1400600); 北京市农林科学院创新能力建设项目 (KJCX20230417, KJCX20230115)

作者简介: 张宇, 男, 河北邯郸人, 硕士研究生, 研究方向为害虫综合防治, E-mail: 15614415760@163.com

* 共同通讯作者 Author for correspondence: 邸宁, 女, 博士, 副研究员, 研究方向为害虫综合防治, E-mail: ento88@163.com;

景岚, 女, 博士, 教授, 研究方向为病害综合治理, E-mail: jinglan71@126.com

收稿日期 Received: 2024-03-18; 接受日期 Accepted: 2024-05-29

(R), blue (B), red and blue combination (RB) and white (W, control) light treatment under the same light intensity and photoperiod. The results showed that compared with W light, B light significantly reduced the survival of female adult *O. sauteri*, but R and RB light had no effect on the survival of *O. sauteri*. R and RB light significantly increased the predatory amount of *O. sauteri* against *F. occidentalis* under high prey density. The predatory ability of female adult of *O. sauteri* to female adult of *F. occidentalis* under different light spectra fitted the Holling II functional response model, and the searching efficiency decreased with the increase of prey density. Under RB light, *O. sauteri* had the best predatory ability on *F. occidentalis* with the theoretical daily maximum prey consumption number of 43.10 individuals/d, and the shortest handling time of 0.0232 d. At the same time, the theoretical daily maximum prey consumed of B light was 42.90 individuals/d, and the handling time was 0.0233 d. The highest instantaneous attack rate of *O. sauteri* against *F. occidentalis* was from R light treatment, of 1.0837. In addition, the searching efficiency of *O. sauteri* on *F. occidentalis* was highest under RB light, followed by R or B light, and that was the lowest under W light. These results indicate that compared with W light, R, B and RB light can enhance the predatory functional response and searching efficiency of *O. sauteri* preying on *F. occidentalis*, but B light can reduce the survival rate of *O. sauteri*. Therefore, the combination of R or RB light could potentially improve the predation effect of *O. sauteri* on *F. occidentalis*. In this study, we evaluated the effects of three commonly used supplementary light spectra on the predation of *O. sauteri* on *F. occidentalis* based on predation differences, providing basic data for the application of supplementary light with natural enemies.

Key words: Light spectra; *Orius sauteri*; *Frankliniella occidentalis*; predatory functional response; searching efficiency; control efficiency

害虫生物防治是利用生物或生物代谢产物来控制虫害的技术,是害虫治理中最成功、最节约和环境安全的防治方法,是害虫持续控制不可缺少的重要组成部分(陈学新,2010)。其中,利用天敌昆虫开展“以虫治虫”是害虫生物防治的一种重要方法,在害虫生物防治中占有重要地位,具有广泛的应用前景(胡尊瑞等,2022)。天敌昆虫可以分为寄生性天敌和捕食性天敌昆虫。在目前的农业生产中,应用较多的捕食性天敌主要有瓢虫、草蛉、捕食蝽和捕食螨等,而应用较多的寄生性天敌主要有各类小蜂、姬蜂、茧蜂和赤眼蜂等(张礼生和陈红印,2016)。天敌昆虫的推广与应用在我国绿色农业和有机农业生产中发挥着重要的作用,具有广泛的发展前景。

东亚小花蝽 *Orius sauteri* 作为一种重要的捕食性天敌昆虫,具有分布范围广、适应性强、捕食能力强等优点,在害虫生物防治中发挥着越来越重要的作用,具有极高的应用前景。东亚小花蝽主要分布在亚洲东部的中国、日本、朝鲜和俄罗斯远东地区(Di *et al.*, 2022; 朱正阳等, 2022)。东亚小花蝽主要以成虫和若虫捕食蓟马、粉虱、蚜虫、叶螨、叶蝉和鳞翅目昆虫的卵及低龄幼虫

等,在温室和大田作物上的小型害虫防治中发挥着重要的作用(Zhao *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2019; Di *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2024)。尽管东亚小花蝽捕食范围很广,但相比于烟粉虱 *Bemisia tabaci*、二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 和桃蚜 *Myzus persi*, 它更喜欢捕食西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Xu and Enkegaard, 2009; Wang *et al.*, 2014; Di *et al.*, 2022)。

西花蓟马是一种多食性害虫,寄主范围非常广泛,已知可取食 60 余科 500 余种植物(金奕轩等, 2023)。西花蓟马主要以锉吸式口器聚集于花、叶或植物幼嫩器官内取食汁液,并且可通过取食和产卵行为传播多种病毒对寄主植物造成重大危害(杨帆等, 2011)。西花蓟马的成虫和若虫会对农作物的生长发育、产量和品质产生破坏性的影响,造成严重的经济损失(Reitz *et al.*, 2020)。目前,东亚小花蝽作为可规模化生产的捕食性天敌,已经广泛用于防治温室内草莓、茄科和葫芦科等果蔬上的蓟马类害虫,在绿色农业生产中发挥着越来越重要的作用(Di *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2024)。研究发现,在室内条件下东亚小花蝽对西花蓟马具有较强的捕食能力,东亚小

花蝽成虫对西花蓟马成虫和若虫日最大捕食量分别达 51.3 和 163.9 头/d (张安盛等, 2007a, b)。并且在温室中, 东亚小花蝽对辣椒、茄子、黄瓜上的蓟马也具有较好的防治效果 (蒋月丽等, 2011; 尹健等, 2013; 侯峥嵘等, 2018; 王杰等, 2023), 表明东亚小花蝽对西花蓟马具有较好的控害潜能。

东亚小花蝽的应用也会受到温度、湿度、光照条件和杀虫剂等环境条件的影响 (朱正阳等, 2022)。但是目前仅有少数报道温度、杀虫剂等影响东亚小花蝽的捕食能力 (Wang *et al.*, 2013; 何丹等, 2018; Lin *et al.*, 2021; 张治科等, 2023)。如东亚小花蝽在一定温度范围内对猎物的捕食能力先随温度升高而增强, 在最适温度下达到最大, 之后随着温度的升高其捕食能力逐渐降低 (张安盛等, 2007a, 2007b)。光照强度、光周期和光谱的改变会严重影响东亚小花蝽的发育进程、繁殖能力、移动能力和趋向性 (Wang *et al.*, 2013; Ogino *et al.*, 2016, 2020; Park *et al.*, 2023)。蓝光和红光可以显著延长东亚小花蝽的发育历期和产卵前期, 并降低产卵量和卵的孵化率, 而且东亚小花蝽雌成虫的移动速度也会因为光照强度和光谱的改变而受到影响 (Wang *et al.*, 2013)。紫外 (UV) 光可以将东亚小花蝽吸引到田间作物上, 进而降低农作物上的蓟马的数量 (Ogino *et al.*, 2016; 2020)。但是, 关于不同光照条件如何影响东亚小花蝽及其它天敌昆虫捕食行为和应用效率还未见报道。目前, 随着设施补充不同光谱的应用逐渐增加, 评价光谱 (光质, 即光的波长) 是否影响东亚小花蝽对西花蓟马的捕食能力十分必要。

红光、蓝光及其红蓝组合光作为光合作用的主要吸收光谱, 在目前的设施补光中应用最为广泛, 可显著调控园艺作物的生长发育、产量和营养品质等 (刘文科, 2024)。因此, 本研究通过对比红 (R)、蓝 (B)、红蓝组合 (RB) 和白 (W) 光处理下东亚小花蝽雌成虫对西花蓟马雌成虫的捕食功能反应和搜寻效应, 评价了不同光谱下东亚小花蝽对西花蓟马的捕食潜能。本研究为不同光谱下东亚小花蝽捕食西花蓟马的生防潜能及设施补光与天敌的应用达到有机结合提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

在室内建立西花蓟马长期饲养种群, 在上盖

带有尼龙纱网的饲养盒中使用新鲜扁豆 *Lablab purpureus* 豆荚饲养西花蓟马的成虫和若虫 (Zhu *et al.*, 2024)。饲养盒置于温度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度 $65\% \pm 5\%$, 光周期 16 L: 8 D, 光照强度 30 000 Lux 的人工气候培养箱 (PGX-350D, 宁波赛福实验仪器有限公司) 中进行饲养。每隔 2 d 更换一次新鲜扁豆豆荚, 以获得龄期相近的西花蓟马若虫和成虫。

东亚小花蝽采自北京市农林科学院玉米试验田, 并在人工气候培养箱 (PGX-350D, 宁波赛福实验仪器有限公司) 内建立长期稳定种群。环境条件设置为温度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $65\% \pm 5\%$, 光周期为 16 L: 8 D, 光照强度 30 000 Lux。东亚小花蝽的成虫和若虫均使用新鲜扁豆豆荚作为产卵基质饲养在如上的饲养盒中。使用经紫外光照射 30 min 杀胚处理过的新鲜米蛾 *Corcyra cephalonica* 卵作为食物, 并用脱脂棉浸有 10% (V: V) 的蜂蜜水作为补充营养。每隔 2 d 更换一次新鲜扁豆豆荚, 以获得龄期相近的东亚小花蝽成虫和若虫。

1.2 光谱设置

在环境可控的人工培养室内, 分别设置为红 (R) 光 (620 ~ 660 nm)、蓝 (B) 光 (440 ~ 470 nm)、红蓝组合 (RB) 光 (R: B = 1: 1) 和白 (W) 光处理, 其中 W 光为对照。光量子通量密度均设置为 $300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 。所有使用的光源由惠州可道智慧植物工厂研究开发有限公司提供。其他的环境条件为温度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度 $65\% \pm 5\%$, 光周期 16 L: 8 D。

1.3 不同光谱对东亚小花蝽存活状况的影响

在上盖带有尼龙纱网 (孔径: 125 μm ; 直径: 3.0 cm) 的养虫盒 (上盖 8.6 cm, 下底 7.5 cm, 高 3.5 cm) 中放入 20 头初羽化且交配过的东亚小花蝽雌成虫 (羽化 3 ~ 5 d), 并放入米蛾卵卡和扁豆豆荚作为食物和产卵基质。将养虫盒分别置于如上 (1.2) 的环境下, 每天记录东亚小花蝽成虫的死亡数量, 直至成虫全部死亡。每隔 3 d 更换新的米蛾卵卡和扁豆荚。每个处理重复 12 次, 共计测试 240 头东亚小花蝽。

1.4 不同光谱下东亚小花蝽捕食西花蓟马的能力测定

在上盖带有尼龙纱网 (孔径: 125 μm ; 直径: 2.0 cm) 的养虫盒 (上盖 6.7 cm, 下底 5.4 cm, 高 3.2 cm) 中放入扁豆豆荚供西花蓟马取食。同时分别将密度梯度为 5、10、20、30、40、50 和

60 头的西花蓟马雌成虫（羽化 2~3 d）放入养虫盒中，并将 1 头饥饿处理 24 h 的东亚小花蝽雌成虫（羽化 3~5 d）接入相应猎物密度的养虫盒中。将养虫盒分别置于如上（1.2）的环境下，24 h 后记录猎物的存活数量。东亚小花蝽的捕食量（捕食量 = 初始西花蓟马数量 - 存活西花蓟马数量）。以只放入西花蓟马而不放入东亚小花蝽为空白对照来校正实际的捕食量（实际捕食量 = 观测捕食量 - 空白对照死亡量）。各个光谱处理重复 10 次。

1.5 不同光谱下东亚小花蝽对西花蓟马的捕食功能反应模型分析

使用 1.4 观察得到的数据拟合捕食功能反应模型，可与 Holling II 型较好的拟合。模型方程为： $N_a = a' TN / (1 + a' T_h N)$ （Holling, 1959）。式中 N_a 为相应密度下的猎物捕食量， N 为猎物密度， T 为捕食者可利用发现猎物的时间（本研究为 1 d）， a' 为瞬时攻击率， T_h 为捕食者处理 1 头猎物所花费的时间。瞬时攻击率 a' 和处理时间 T_h 之比越大，则表示天敌对害虫的捕食能力越强。

1.6 不同光谱下东亚小花蝽捕食西花蓟马的搜寻效应分析

根据 1.5 节中拟合 Holling II 型功能反应模型所得到的参数，对东亚小花蝽捕食西花蓟马的搜寻效应（ S ）按照如下公式进行计算： $S = a' / (1 + a' T_h N)$ ，式中 S 为搜寻效应值， a' 、 T_h 和 N 代表意义同 1.5 Holling II 型功能反应模型方程相同。

1.7 数据分析

使用 GraphPad Prism 的 Gehan-Breslow-Wilcoxon test 检验不同光谱下东亚小花蝽的存活差异（ $P < 0.05$ ）。采用 SPSS 的独立样本 t 检验比较同一猎物密度下 R、B、RB 三种光谱分别与 W 光下东亚小花蝽对西花蓟马捕食量的差异显著性（ $P < 0.05$ ）。使用卡方检验分析不同光谱处理下东亚小花蝽对西花蓟马的取食是否拟合 Holling II 型功能反应模型。试验数据均采用 Excel 2016、SPSS 25.0、GraphPad Prism 8.0 进行整理、分析、并作图。

2 结果与分析

2.1 不同光谱对东亚小花蝽存活状况的影响

与 W 光相比，B 光（ $\chi^2 = 3.942$ ， $P = 0.047$ ）

处理显著降低了东亚小花蝽雌成虫的存活，但是 R 和 RB 光处理对东亚小花蝽雌成虫的存活无显著影响（图 1）。

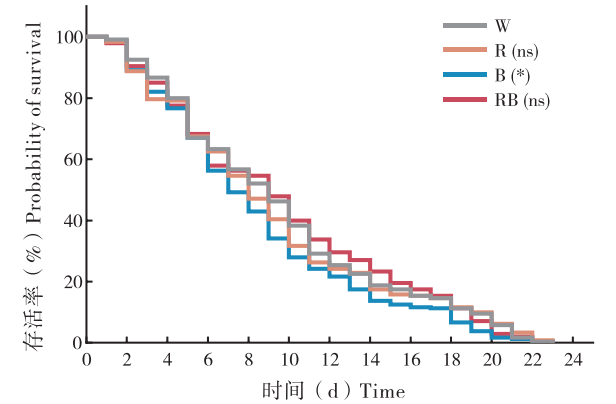


图 1 不同光谱处理的东亚小花蝽雌成虫的生存曲线
Fig. 1 Survival probability of female adults of *Orius sauteri* treated with different light spectra
注：图中数据为平均值。星号表示经 Gehan-Breslow-Wilcoxon 检验分别比较 R、B、RB 光与 W 光处理的东亚小花蝽雌成虫的生存曲线显著差异（ $n = 240$ ；*， $P < 0.05$ ；ns，不显著）。W，白光；R，红光；B，蓝光；RB，红蓝组合光。Note: Data in the figure were means. The asterisk indicated that the significant difference in survival probability of female adults of *O. sauteri* between R, B, and RB light compared to W light using Gehan-Breslow-Wilcoxon statistical test. ($n = 240$; *, $P < 0.05$; ns, not significant). W, White light; R, Red light; B, Blue light; RB, Red and blue combination light.

2.2 不同光谱下东亚小花蝽对西花蓟马的捕食能力

不同光谱下东亚小花蝽对西花蓟马的捕食量如（图 2）所示。随着西花蓟马密度的增加，东亚小花蝽的捕食量逐渐增大，当西花蓟马密度达到一定程度时，东亚小花蝽的日捕食量趋于稳定。当西花蓟马的密度为 40 头/盒时，RB 光（ $t = -2.428$ ， $P = 0.026$ ）下东亚小花蝽对西花蓟马的捕食量显著高于 W 光处理；当西花蓟马的密度为 50（R: $t = -2.186$ ， $P = 0.042$ ；RB: $t = -2.176$ ， $P = 0.043$ ）、60（R: $t = -2.699$ ， $P = 0.015$ ；RB: $t = -2.258$ ， $P = 0.037$ ）头/盒时，R 和 RB 光下东亚小花蝽对西花蓟马的捕食量显著高于 W 光处理。在其他低猎物密度下，不同光谱未显著影响东亚小花蝽对西花蓟马的捕食量。表明在高密度时，R 和 RB 光下东亚小花蝽对西花蓟马具有更强的捕食效果。

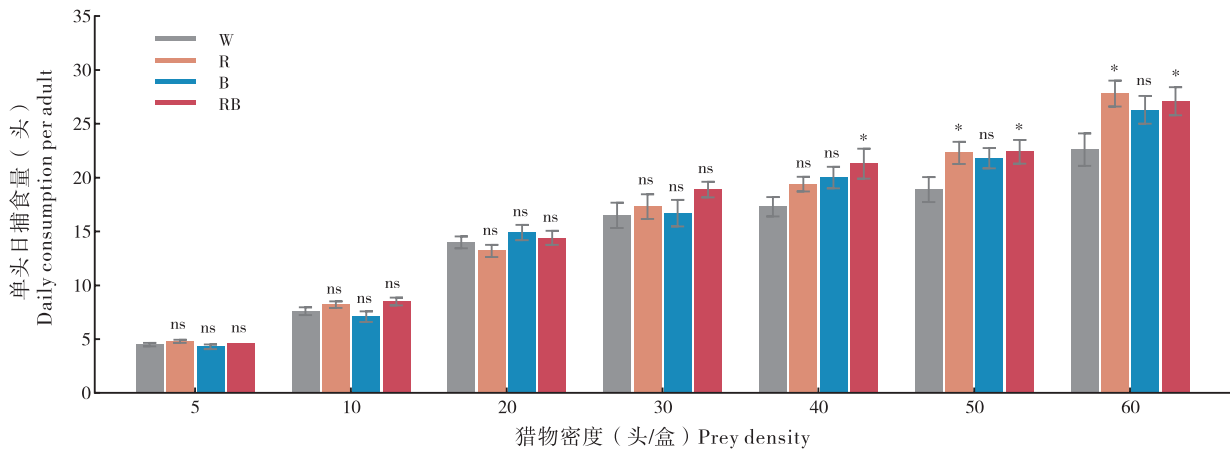


图2 不同光谱处理的东亚小花蝽雌成虫在不同猎物密度下对西花蓟马雌成虫的捕食量

Fig. 2 Daily consumption of *Frankliniella occidentalis* female adults by female adults of *Orius sauteri* treated with different light spectra under different prey densities

注：图中数据为平均值 ± 标准误。星号表示在同一猎物密度下经独立样本 t 检验 R、B、RB 光分别与 W 光处理的捕食量差异显著 (n = 10; *, P < 0.05; ns, 不显著)。W, 白光; R, 红光; B, 蓝光; RB, 红蓝组合光。Note: Data in the figure were means ± SE. The asterisk indicated that the significant difference in prey consumption between R, B, and RB light compared to W light under the same prey density using Student's t - test. (n = 10; *, P < 0.05; ns, not significant). W, White light; R, Red light; B, Blue light; RB, Red and blue combination light.

2.3 不同光谱下东亚小花蝽对西花蓟马的捕食功能反应模型

采用 HollingII 型圆盘方程模型计算得到不同光谱下东亚小花蝽雌成虫捕食西花蓟马雌成虫的功能反应方程及其参数 (表 1)。W、R、B 和 RB 光谱下东亚小花蝽对西花蓟马的瞬时攻击率 a' 分别为 1.0309、1.0837、0.9038 和 1.0320, R 光下的 a' 最高, 而 B 光下最低。W、R、B 和 RB 光谱下东亚小花蝽对西花蓟马的处理时间 T_h 分别为 0.0320 d、0.0278 d、0.0233 d 和 0.0232 d, RB 光下的 T_h 最低, W 光下最高。东亚小花蝽在 4 种

光下对西花蓟马的捕食能力依次为 RB 光最高, 其次是 R 和 B 光相似, 而 W 光最低。RB 光处理的东亚小花蝽对西花蓟马具有最强的捕食能力, 理论日最大捕食量最高为 43.10 头/d; 其次是 B 光处理的 42.92 头/d, R 光处理的 35.97 头/d, W 光的最低为 31.25 头/d。综上所述, 与 W 光相比, R、B 和 RB 光均对东亚小花蝽的捕食具有一定的增效作用。RB 光处理可以显著增强东亚小花蝽对西花蓟马的捕食能力, R 和 B 光也具有一定的增效潜能, 但稍逊于 RB 光。

表 1 不同光谱处理的东亚小花蝽雌成虫对西花蓟马雌成虫的捕食功能反应

Table 1 Predatory functional response of female adults of *Orius sauteri* preying on female adults of *Frankliniella occidentalis* treated with different light spectra

处理 Treatment	功能反应方程 Functional response equation	相关系数 R^2 Correlation coefficient	瞬时攻 击率 a' Instantaneous attack rate	处理时间 T_h Handling time	捕食能力 a'/T_h Predation capacity	理论日最大捕食量 Theoretical daily maximum prey consumed $N_{a-max} (1/T_h)$	χ^2	P
W	$N_a = 1.0309N / (1 + 0.0330N)$	0.9343	1.0309	0.032	32.22	31.25	2.242	0.896
R	$N_a = 1.0837N / (1 + 0.0301N)$	0.9585	1.0837	0.0278	38.98	35.97	2.345	0.885
B	$N_a = 0.9038N / (1 + 0.0211N)$	0.8842	0.9038	0.0233	38.79	42.92	2.966	0.813
RB	$N_a = 1.0320N / (1 + 0.0239N)$	0.9776	1.032	0.0232	44.48	43.10	2.745	0.840

注：W, 白光; R, 红光; B, 蓝光; RB, 红蓝组合光。Note: W, White light; R, Red light; B, Blue light; RB, Red and blue combination light.

2.4 不同光谱下东亚小花蝽对西花蓟马的搜寻效应

根据如上 Holling II 捕食功能反应模型参数计算出不同光谱下东亚小花蝽对西花蓟马的搜寻效应（图 3）。东亚小花蝽在不同光下对西花蓟马的搜寻效应均随猎物密度的增加而逐渐下降。在最低猎物密度为 5 头/盒时，光处理下的东亚小花蝽搜寻效应依次为 $R > RB > W > B$ 。在猎物密度为 20 ~ 60 头/盒时，东亚小花蝽的搜寻效应在 RB 光下最高，其次是 R 或 B 光，最低的为 W 光。表明在高密度下，RB 光处理下东亚小花蝽对西花蓟马的搜寻效应最好。

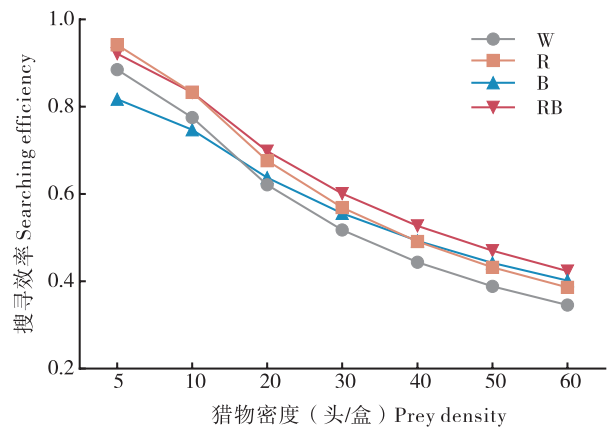


图3 不同光谱处理的东亚小花蝽雌成虫对西花蓟马雌成虫的搜寻效应

Fig.3 Searching efficiency of female adults of *Orius sauteri* preying on female adults of *Frankliniella occidentalis* treated with different light spectra

注：W，白光；R，红光；B，蓝光；RB，红蓝组合光。Note: W, White light; R, Red light; B, Blue light; RB, Red and blue combination light.

3 结论与讨论

东亚小花蝽作为西花蓟马的重要天敌，对西花蓟马的防治发挥至关重要的作用（朱正阳等，2022）。捕食能力是分析天敌昆虫应用效率和潜力的主要标准，捕食功能反应是室内研究天敌昆虫捕食能力的重要方法（王利利等，2023）。本研究主要通过研究不同光谱下东亚小花蝽雌成虫对西花蓟马雌成虫的捕食功能反应和搜寻效应，来评价光谱是否会影响天敌昆虫东亚小花蝽的应用效率。结果表明，与 W 光相比，B 光显著降低东亚小花蝽雌成虫的存活，R 和 RB 光对东亚小花蝽雌

成虫的存活无显著影响；R、B 和 RB 光均对东亚小花蝽搜寻和捕食西花蓟马具有一定的增效作用。B 光显著降低东亚小花蝽雌成虫的存活，可能由于东亚小花蝽对光敏感性的差异所致。相似的研究发现，蓝光条件可以降低筛豆龟蝽 *Megacopta cribraria* 的若虫发育历期和存活率，黄光条件下可以增加筛豆龟蝽雌雄成虫的寿命，而红光对筛豆龟蝽的存活并没有显著差异（许喆，2020）。不同的昆虫对于光谱的敏感性不同，其所产生的行为变化也有所差异。

不同光谱下东亚小花蝽雌成虫对西花蓟马雌成虫的捕食能力均符合 Holling II 型功能反应模型，捕食量随西花蓟马密度的上升而上升后趋于稳定。这与前人研究的发现东亚小花蝽成虫对西花蓟马的捕食功能反应模型 Holling II 型相一致（张安盛等，2007a，2007b），温度和杀虫剂等的外界环境条件并不会影响东亚小花蝽捕食西花蓟马功能反应模型的拟合效果（张安盛等，2007a，2007b；Lin *et al.*，2021）。但是目前光对昆虫的捕食行为影响的报道还很少（周兴苗等，2004；Kumar and Omkar，2015），特别是几乎未见光谱对天敌昆虫捕食行为的影响。本研究发现，在猎物密度更高时，R 和 RB 光下东亚小花蝽雌成虫对西花蓟马的捕食量均高于 W 光。通过 Holling II 型捕食功能反应模型发现，在 RB 光处理下东亚小花蝽捕食西花蓟马的效果最好，理论日最大捕食量最高，单头猎物处理时间最短；B 光处理下，东亚小花蝽的理论日最大捕食量也较高，单头猎物处理时间较短；R 光下东亚小花蝽捕食西花蓟马的瞬时攻击率最高。在 R、B 和 RB 光处理下，高猎物密度下东亚小花蝽的实际捕食量均要高于 W 光处理。这表明 R、B 和 RB 光谱对于东亚小花蝽捕食西花蓟马的效果均有影响，在一定程度上可以提高东亚小花蝽对西花蓟马的捕食效率。这与之前研究中发现的 UV-LED 灯照射下促进烟盲蝽捕食烟粉虱的结果相似（Park and Lee，2021）。

搜寻效应是天敌昆虫依赖猎物密度，在捕食猎物过程中对害虫攻击的一种行为效应，其对猎物的捕食能力与自身的寻找能力相关（王利利等，2023）。本研究中，不同光谱处理下东亚小花蝽对西花蓟马的搜寻效应与西花蓟马密度呈负相关。在猎物密度逐渐增加时，RB 光处理下东亚小花蝽对西花蓟马的搜寻效应最高，其次是 R 或 B 光，最后是 W 光。这种搜寻效应的增强，可以使东亚

小花蝽更好的捕食西花蓟马。因此,在田间释放东亚小花蝽控制西花蓟马时,需综合考虑天敌和害虫比例(王杰等,2023)、光照条件等因素,以期使天敌达到最好的应用效果。不同光谱下东亚小花蝽的捕食量和搜寻效应的差异,可能取决于其复眼的敏感性。冯娜等(2015)发现东亚小花蝽对橙红色光谱较为敏感,这可能会对东亚小花蝽捕食产生一定的影响。也可能是由于光谱的变化改变了东亚小花蝽的行动速度、呼吸熵,并延长其发育历期(Wang *et al.*, 2013),进而影响其捕食效果。不同光谱也可能引起东亚小花蝽的应激反应,使其复眼的刺激性差异造成对于周边环境的敏感性,进而促进其能更好的捕食。但是这些影响因素都有待挖掘,从而明确本研究试光谱增加东亚小花蝽捕食和搜寻西花蓟马能力的原因。

本研究结果证明 R、B 和 RB 光均对东亚小花蝽捕食西花蓟马具有一定增效作用,对田间西花蓟马的爆发具有防控潜能,同时 R 和 RB 光不会影响东亚小花蝽成虫的存活。因此,在东亚小花蝽的田间应用中,结合补光(R 和 RB 光)可以有效的提高东亚小花蝽的捕食能力和搜寻效应,增效其对西花蓟马的防治。但本研究是在室内可控条件下进行的,仍需要进一步开展田间实验,评价长期的光谱改变对东亚小花蝽防治西花蓟马或其它害虫的影响。此外,也要评估长期的光谱改变对作物的产量、品质以及病害发生等的综合影响,为农业生产的提质增效提供新的技术支持。本研究将为害虫防控和天敌应用提供新的方法和思路,为 LED 光源在设施栽培中的与天敌的联合应用提供基础数据,为促进设施农业补光技术和天敌释放应用技术实现有机结合和双赢奠定理论基础。

参考文献 (References)

- Chen XX. Recent progress, existing problems and prospects in biological control of insect pests in China [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2010, 47 (4): 615–625. [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]
- Di N, Zhu Z, Harwood JD, *et al.* Fitness of *Frankliniella occidentalis* and *Bemisia tabaci* on three plant species pre-inoculated by *Orius sauteri* [J]. *Journal of Pest Science*, 2022, 95 (4): 1531–1541.
- Feng N, Fan F, Tao B, *et al.* Effect of spectral sensitivity response on the phototaxis of *Orius sauteri* (Poppius) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35 (14): 4810–4815. [冯娜, 范凡, 陶晔, 等. 光谱对东亚小花蝽趋光行为的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35 (14): 4810–4815]
- He D, Lin RH, Men XY, *et al.* Ecological risk assessment of 16 pesticides to *Orius sauteri* [J]. *Aian Journal of Ecotoxicology*, 2018, 13 (6): 202–211. [何丹, 林荣华, 门兴元, 等. 16 种农药对东亚小花蝽的生态风险评估 [J]. 生态毒理学报, 2018, 13 (6): 202–211]
- Holing CS. The characteristics of simple type of predation and parasitism [J]. *The Canadian Entomologist*, 1959, 91 (7): 385–398.
- Hu ZR, Li ZQ, Wu XY, *et al.* Development status and suggestions of natural enemy insect industry in China [J]. *Journal of Tropical Biology*, 2022, 13 (5): 532–539. [胡尊瑞, 李志强, 吴晓云, 等. 我国天敌昆虫产业发展现状与建议 [J]. 热带生物学报, 2022, 13 (5): 532–539]
- Jiang YL, Wu QY, Duan Y, *et al.* Control efficiencies of releasing *Orius sauteri* (Heteroptera: Anthocoridae) on some pests in greenhouse pepper [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2011, 27 (3): 414–417. [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]
- Jin YX, Huang XY, Li SH, *et al.* Behavioral responses of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) to twelve plant volatiles [J]. *Journal of Plant Protection*, 2023, 50 (3): 676–683. [金奕轩, 黄欣怡, 李思涵, 等. 西花蓟马对 12 种植物挥发物的选择行为 [J]. 植物保护学报, 2023, 50 (3): 676–683]
- Kumar B, Omkar. Temperature and photoperiod influence prey consumption and utilization by two sympatric *Coccinella species* (Coleoptera: Coccinellidae) in conspecific and heterospecific combinations [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2015, 58 (3): 297–307. [Kumar B, Omkar. 温度和光周期影响两种同域发生瓢虫同种和异种组合时的猎物消耗量和利用率 [J]. 昆虫学报, 2015, 58 (3): 297–307]
- Lin QC, Chen H, Babendreier D, *et al.* Improved control of *Frankliniella occidentalis* on greenhouse pepper through the integration of *Orius sauteri* and neonicotinoid insecticides [J]. *Journal of Pest Science*, 2021, 94 (1): 101–109.
- Liu W. Research and application status of LED lighting in greenhouse horticulture in China [J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2024, 35 (1): 30–40. [刘文科. 温室园艺 LED 照明研究与应用现状 [J]. 照明工程学报, 2024, 35 (1): 30–40]
- Ogino T, Uehara T, Muraji M, *et al.* Violet LED light enhances the recruitment of a thrip predator in open fields [J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 32302.
- Ogino T, Yamaguchi T, Uehara T, *et al.* Analysis of the activity rhythm of the predatory bug *Orius sauteri* (Poppius) (Heteroptera: Anthocoridae) for optimizing its selective light attraction [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2020, 55 (1): 115–120.
- Park YG, Lee JH. UV-LED lights enhance the establishment and biological control efficacy of *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae) [J]. *PLoS ONE*, 2021, 16 (1): e0245165.
- Park YG, Lee YS, Sarker S, *et al.* Attractiveness of four wavelengths of LED light: UV (385 nm), violet (405 nm), blue (450 nm), and red (660 nm) for seven species of natural enemies [J]. *Biological*

Control, 2023: 105166.

Reitz SR, Gao Y, Kirk WDJ, *et al.* Invasion biology, ecology, and management of western flower thrips [J]. *Annual Review Entomology*, 2020, 65: 17 – 37.

Hou ZR, Li J, Li JP, *et al.* Effectiveness of *Orius sauteri* (Poppius) for the control of thrips on greenhouse vegetables [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 57 (22): 67 – 69, 76. [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]

Wang J, Zhang C, Zhu ZY, *et al.* Control effects of *Orius sauteri* on *Frankliniella occidentalis* in pepper and eggplant flowers in greenhouses [J]. *Chinese journal of Biological Control*, 2023, 39 (2): 264 – 270. [王杰, 张晨, 朱正阳, 等. 东亚小花蝽对温室辣椒及茄子花内西花蓟马的控害作用 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39 (2): 264 – 270]

Wang LL, Di N, Huang NX, *et al.* Evaluation of the predatory ability of mirid *Nesidiocoris poppiusi* (Heteroptera: Miridae) on *Myzus persicae*, *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* using functional response models [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2023, 39 (4): 782 – 788. [王利利, 邸宁, 黄宁兴, 等. 利用捕食功能模型评价波氏烟盲蝽对烟蚜、烟粉虱和西花蓟马的捕食能力 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39 (4): 782 – 788]

Wang S, Michaud JP, Tan XL, *et al.* Comparative suitability of aphids, thrips and mites as prey for the flower bug *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthoeoridae) [J]. *BioControl*, 2014, 58 (5): 667 – 674.

Wang S, Tan XL, Michaud JP, Zhang F, Guo XJ. Light intensity and wavelength influence development, reproduction and locomotor activity in the predatory flower bug *Orius sauteri* (Poppius) (Hemiptera: Anthocoridae) [J]. *BioControl*, 2013, 58 (5): 667 – 674.

Wang SX, Di N, Chen X, *et al.* Life history and functional response to prey density of the flower bug *Orius sauteri* attacking the fungivorous sciarid fly *Lycoriella pleuroti* [J]. *Journal of Pest Science*, 2019, 92: 715 – 722.

Xu XN, Enkegaard A. Prey preference of *Orius sauteri* between western flower thrips and spider mites [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2009, 132: 93 – 98.

Xu Z. Study on the Adaptability and Physiological Mechanism of *Megacopta cribraria* (Fabricius) to Light Environment [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2020. [许喆. 筛豆龟蝽对光环境适应性及其生理机制研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2020]

Yang F, Liu WX, Zhang GA, *et al.* Research advances on transmission of tomato spotted wilt virus by *Frankliniella occidentalis* (Pergande) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2011, 33 (2): 241 – 249. [杨帆, 刘万学, 张国安, 等. 西花蓟马传播番茄斑萎病毒研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2011, 33 (2): 241 – 249]

Yin J, Gao XG, Wu YQ, *et al.* Thrips control on the greenhouse eggplant by releasing *Orius sauteri* (Heteroptera: Anthocoridae) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2013, 29 (3): 459 – 462. [尹健, 高新国, 武予清, 等. 释放东亚小花蝽对茄子上蓟马的控制效果 [J]. 中国生物防治学报, 2013, 29 (3): 459 – 462]

Zhang AS, Yu Y, Li LL, *et al.* Functional response and searching rate of *Orius sauteri* adults on *Frankliniella occidentalis* nymphs [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007a, 26 (8): 1233 – 1237. [张安盛, 于毅, 李丽莉, 等. 东亚小花蝽成虫对西花蓟马若虫的捕食功能反应与搜寻效应 [J]. 生态学杂志, 2007a, 26 (8): 1233 – 1237]

Zhang AS, Yu Y, Li LL, *et al.* Predation of *Orius sauteri* adult on adults of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*), an invasive insect pest [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007b, 27 (5): 1903 – 1909. [张安盛, 于毅, 李丽莉, 等. 东亚小花蝽 (*Orius sauteri*) 成虫对入侵害虫花蓟马 (*Frankliniella occidentalis*) 成虫的捕食作用 [J]. 生态学报, 2007b, 27 (5): 1903 – 1909]

Zhang LS, Chen HY. Achievements and prospects in introduction of natural enemy insects and biocontrol microbial agents in China over the last three decades [J]. *Plant Protection*, 2016, 42 (5): 24 – 32. [张礼生, 陈红印. 我国天敌昆虫与生防微生物资源引种三十年成就与展望 [J]. 植物保护, 2016, 42 (5): 24 – 32]

Zhang ZK, Zhou YD, Wu XM. Effect of temperature on the predation of *Orius sauteri* against *Frankliniella occidentalis* [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2023, 36 (9): 123 – 127. [张治科, 周银迪, 吴小梅. 温度对东亚小花蝽捕食西花蓟马效果的影响 [J]. 中国瓜菜, 2023, 36 (9): 123 – 127]

Zhao J, Guo X, Tan X, *et al.* Using *Calendula officinalis* as a floral resource to enhance aphid and thrips suppression by the flower bug *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae) [J]. *Pest Management Science*, 2017, 73: 515 – 520.

Zhou XM, Jiang Y, Niu CY, *et al.* Influence of temperature and light on the growth and development of *Tenodera angustipennis* and related preying functional responses [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (8): 1423 – 1426. [周兴苗, 姜勇, 牛长缨, 等. 光温条件对狭翅大刀螳生长发育的影响及其捕食功能研究 [J]. 应用生态学报, 2004, 15 (8): 1423 – 1426]

Zhu ZY, Di N, Zhang F, *et al.* Research progress and prospect of minute pirate bug *Orius sauteri* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2022, 49 (6): 1551 – 1564. [朱正阳, 邸宁, 张帆, 等. 天敌昆虫东亚小花蝽研究进展与展望 [J]. 植物保护学报, 2022, 49 (6): 1551 – 1564]

Zhu ZY, Jaworski CC, Gao YL, *et al.* Host plants benefit from non-predatory effects of zoo phytophagous predators against herbivores [J]. *Journal of Pest Science*, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10340-024-01749-2>