蓝光对保护地蔬菜烟粉虱的控制作用*

陈向荣[1**] 韩杜斌[1] 吴晓霞[2] 赵 明[1] 郑佳寅[1] 陈学好[1] 周福才[1***]

（1. 扬州大学园艺与植物保护学院，扬州 225009；2. 扬州大学生物科学与技术学院，扬州 225009）

摘 要 **【目的】** 研究蓝光开灯时段、蓝光光强对烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 的驱避作用，以及蓝光照射对保护地辣椒和黄瓜上烟粉虱的控制作用，为利用驱虫灯实施对蔬菜烟粉虱的绿色防控提供科学依据。**【方法】** 在蔬菜上用蓝光（波长为 470 nm）照射，设置照射时间段 17:00-18:00、18:00-19:00、19:00-20:00、20:00-21:00 和 21:00-22:00 5 个处理、光照强度 1、2、6、8、10、20、30、70、150 lx 9 个处理，分别研究不同开灯时段和光强对烟粉虱的驱避作用，以不用蓝光处理为对照；分别在保护地黄瓜和辣椒上放置蓝色灯带，每天 18:00-20:00 开灯，每 3 d 一次，分别调查黄瓜和辣椒上烟粉虱的虫量。**【结果】** 18:00-19:00 时间段蓝光照射对蔬菜烟粉虱的驱避作用最强，虫口减退率占试验总时段的 50.94%；17:00-18:00 次之，占 22.29%；烟粉虱的虫口减退率与光照强度呈正相关（P<0.05），其回归方程为 y = 3.029 7x + 12.508 （R^2 = 0.981）。蓝光对保护地辣椒和黄瓜上烟粉虱有较好的驱避作用，辣椒上蓝光处理 10 d 后烟粉虱的虫口减退率达到 85.73%，上部叶片和中部叶片上虫口减退率之间没有显著差异（P>0.05）；蓝光处理黄瓜 12 d 后烟粉虱的虫口减退率达 90.33%，在光照的前期上部叶片的虫口减退率高于中部叶片，处理 9 d 后上部叶片和中部叶片上虫口减退率之间没有显著差异（P>0.05）。**【结论】** 蓝光对蔬菜烟粉虱具有较强的驱避作用，在 18:00-19:00 使用蓝光对保护地蔬菜上的烟粉虱的控制效果较好。

关键词 保护地蔬菜；蓝光；烟粉虱；控制作用

Effectiveness of blue light as a method of protecting greenhouse vegetables from damage by *Bemisia tabaci* (Gennadius)

CHEN Xiang-Rong[1**] HAN Du-Bin[1] WU Xiao-Xia[2] ZHAO Ming[1]
ZHENG Jia-Yin[1] CHEN Xue-Hao[1] ZHOU Fu-Cai[1***]

(1. College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;
2. College of Bioscience and Biotechnology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract **[Objectives]** To determine the relative effectiveness of different blue light intensities and exposure periods for protecting peppers and cucumbers from damage by *Bemisia tabaci*, and thereby provide a scientific basis for the development of insect repellent lamps. **[Methods]** The effects of different intensities (1, 2, 6, 8, 10, 20, 30, 70 and 150 lx) of blue light (470 nm) on a *B. tabaci* population were investigated at different times of day (17:00-18:00, 18:00-19:00, 19:00-20:00, 20:00-21:00 and 21:00-22:00). The number of *B. tabaci* on cucumber and pepper plants were measured once every 3 days with blue lights turned on from 18:00 to 20:00 every day. **[Results]** Exposure to blue light between 17:00 and 22:00 had a significant effect on *B. tabaci* numbers. The strongest repellent effect (a 50.94% reduction) occurred during the time window from 18:00 to 19:00, followed by the time window from 17:00-18:00 (22.29% reduction). Linear regression indicated a positive relationship between the rate of decline in the *B. tabaci* population and light intensity (P<0.05), which approximated the fomula: y = 3.029 7x + 12.508 (R^2 = 0.981). The rate of decline of *B. tabaci* on peppers reached 85.73% after 10 days of exposure to blue light with no significant difference between the upper and middle leaves (P>0.05). Twelve days exposure of

*资助项目 Supported projects：江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(21)3037)；镇江市 1+1+N 新型农业技术推广项目（ZJNJ[2019]05）；江苏省农业重大新品种创制项目（PZCZ201720）

**第一作者 First author，E-mail：862809405@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：fczhou@yzu.edu.cn

收稿日期 Received：2020-11-06；接受日期 Accepted：2021-04-19

cucumber plants to blue light resulted in a 90.33% decline in *B. tabaci* numbers. There was a greater decline in *B. tabaci* numbers on upper than on middle leaves during the early stage of light treatment, but no significant difference after 9 days (P>0.05). **[Conclusion]** Blue light is strongly repellent to *B. tabaci* and can be used to reduce the abundance of this pest on vegetable crops.

Key words greenhouse vegetables; blue light; *Bemisia tabaci*; control effect

烟粉虱 *Bemisia tabaci*（Gennadius）是江苏地区保护地蔬菜上的重要害虫（周福才，2017）。烟粉虱若虫聚集在叶背面刺吸植物汁液，造成叶片褪绿、变黄、萎蔫；分泌的蜜露诱发霉污病，导致蔬菜产量和质量的下降。烟粉虱成虫可传播多种植物病毒病，造成病毒病扩散流行，严重影响蔬菜的生长发育，造成产量损失（刘俊生等，2010）。传统的化学防治方法不仅污染环境，而且还增加蔬菜产品上农药残留超标的风险（卢丁伊慧等，2020）。多年来，研究人员围绕协调有害生物防控与农田生态系统建设，研究蔬菜害虫绿色防控技术（常青等，2020）。目前，防虫网、粘虫色板、诱虫灯、天敌生物等物理防控和生物防控技术在蔬菜害虫防控中得到了广泛应用，取得了较好的效果（赵中华等，2011）。

昆虫对不同波长光的响应不同，不同昆虫对同一波长光的响应也存在差异（张敏，2018）。众多研究表明，部分昆虫的光敏感区多集中在UV、蓝光和绿光区域，如龟纹瓢虫 *Propylaea japonica*（陈晓霞，2009）、草地螟 *Loxostege sticticalis*（江幸福等，2010）、绿盲蝽 *Apolygus lucorμm*（董松等，2017）等，但也有的昆虫表现不同，如棉铃虫 *Helicoverpa armigera*（Hübner）对蓝光灯的表现为负趋性（张艳红等，2009）。不同颜色的光对昆虫的生长发育和繁殖也会产生明显的影响（董婉君，2018）。在绿光和黄光环境下，小菜蛾 *Plutella xylostella*（Linnaeus）孵化率会显著降低（王明明，2010）；在蓝光环境中，灰飞虱 *Laodelphax striatellus* Fallén、蚊蝇类、毛健夜蛾 *Brithys crini* Fabricius 等昆虫的繁殖量会下降（Bentley *et al.*，2009；涂小云等，2012；朱锦磊等，2014）。蓝光对一些昆虫还具有致死作用，如波长 440 nm 和 467 nm 的蓝光对黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* 等有较高的致死性；波长 466 nm 的蓝光对果蝇幼虫和成虫致死作用最大（Shibuya *et al.*，2018）。

目前，利用灯光防治蔬菜害虫主要集中在灯的诱集作用上（边磊等，2012），随着蔬菜绿色防控要求的不断加大，诱虫灯的应用也越来越广泛（张志勇，2019），而诱虫灯对天敌昆虫的误杀等负面作用也引起了人们越来越多的关注。驱虫光是一种对昆虫具有负趋性的光波，它可以对特定的害虫产生驱避作用，同时对天敌昆虫没有负面影响（桑文等，2016）。本文利用对烟粉虱具有负趋性的蓝光，探究蓝光对保护地蔬菜烟粉虱种群的控制作用，以期为蔬菜烟粉虱的绿色防控提供新的手段和方法。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试蔬菜为黄瓜和辣椒，黄瓜品种为津优 35 号，市购种子，穴盘育苗，大棚栽培；辣椒品种为苏椒 15 号，种子由江苏省农业科学院蔬菜研究所提供。黄瓜和辣椒均按常规管理，试验时为开花结果期。

试验场所：辣椒实验在扬州大学园艺与植物保护学院蔬菜试验田进行；黄瓜实验在江苏扬州市西江生态园玻璃温室内进行。

供试蓝灯：LED 蓝光灯带，光波长 470 nm，灯带长度 5 m，每米 60 个 LED 灯珠，总功率 55 W，凌科照明有限公司生产；蓝光灯，浙江磐安有限公司生产，光波长 470 nm，功率 8 W；蓝光射灯，自制，射灯用 1 m 长的铝合金支架制成，在支架上安装 10 个 8 W LED 灯，灯泡具有聚光功能。

黄色粘虫板：规格 25 cm×20 cm，科凌虫控

有限公司生产。

数位式照度计：DT1332A，品牌为LIHUADA，购于深圳市福田区利华仪器工具行。

1.2　试验方法

1.2.1　蓝光不同照射时段对烟粉虱种群的影响　试验在大棚辣椒上进行，光源为蓝光灯带，灯带放置在距辣椒冠层叶片上方 10-15 cm 处。开灯时间设置 17:00-18:00、18:00-19:00、19:00-20:00、20:00-21:00 和 21:00-22:00 5 个处理，不用蓝光灯作对照。对照和处理之间用黑布隔离，确保对照区没有蓝光。开灯照射前 10 min 调查辣椒上烟粉虱的成虫数量，调查时每垄随机取辣椒 5 株，每株辣椒取上部和中部叶片各 3 张。关灯前 5 min 再调查辣椒上烟粉虱的成虫数量，计算每个时间段的虫口减退率，连续调查 5 d，试验重复 3 次。

1.2.2　蓝光不同光照强度对烟粉虱种群的影响　试验在保护地栽培黄瓜上进行。光源为蓝光射灯，射灯悬挂于黄瓜垄前 1 m 处。试验地垄长 30 m，顺着垄的方向每 3 m 作为一个小区，共设 9 个小区，以每个小区顺着垄方向的中间点光强作为该小区的光强，经测定各小区光强从远到近分别为 1、2、6、8、10、20、30、70、150 lx。每天 18:00-20:00 开灯，不用蓝光为对照。开灯前 10 min 调查各小区烟粉虱成虫虫量基数，关灯前 10 min 再调查各小区烟粉虱成虫的虫量。调查方法：每个小区选取两端和中间黄瓜各 3 株，每株取上、中、下部叶片各 1 张，调查叶片上烟粉虱成虫的数量。连续调查 3 d。

1.2.3　蓝光处理对保护地辣椒不同叶位烟粉虱种群数量的影响　试验在保护地栽培辣椒上进行。在辣椒植株冠层叶上方 10-15 cm 处放置蓝光灯带，每天 18:00-20:00 开灯，不用蓝光照射作为对照。在处理区和对照区分别随机选择辣椒 5 株，每株分别取中部和上部叶片各 3 张，调查叶片上部、中部和整株的烟粉虱成虫虫量，每 3 d 调查 1 次，连续调查 5 次，分别计算虫口减退率。

1.2.4　蓝光处理对保护地黄瓜不同叶位烟粉虱种群数量的影响　试验在保护地栽培黄瓜上进行，光源为蓝光灯带，灯带放置在黄瓜棚架的中上部，距离地面 1 m 处，每天 18:00-20:00 开灯，以不用蓝光灯作为对照。每 3 d 调查 1 次黄瓜叶片上烟粉虱的成虫数量。调查时每个处理随机选黄瓜 10 株，每株分别取上部和中部叶片各 3 张，调查叶片上部、中部和整株的烟粉虱成虫虫量，计算虫口减退率。

1.2.5　黄板和蓝光对保护地黄瓜烟粉虱种群的影响　试验在保护地栽培黄瓜上进行，试验期黄瓜为开花结果期，光源为蓝光射灯，射灯放置田头两行黄瓜的垄间，使光能从两行黄瓜间穿过，灯柱的顶端距离地面 1 m，每日 18:00-20:00 开灯，以不用蓝光照射作为对照。同时在处理区和对照区每 5 m 悬挂一张黄板，黄板距地面 80 cm 左右，每次虫量调查后更换黄板。虫量调查采用五点取样法，每点随机选取黄瓜 3 株，每株分别取上、中、下部叶片各 1 张，轻轻翻转叶片，调查叶片背面烟粉虱成虫数量。调查每 10 d 一次，连续调查 3 次。计算虫口减退率。

1.2.6　数据处理　数据采用 Excel、DPS5.0 统计软件进行显著性分析和 Duncan's 新复极差法进行多重比较，百分率进行平方根反正弦转换后再进行多重比较。

虫口减退率 =（处理前虫数 - 处理后虫数）/处理前虫数×100%。

2　结果与分析

2.1　蓝光不同照射时段对烟粉虱种群数量的影响

蓝光不同照射时间段辣椒烟粉虱的虫口减退率差异显著（$P<0.05$），其中 18:00-19:00 时间段烟粉虱的虫口减退率最大，达到 56.20%，占整个试验时间段总虫口减退率的 50.94%，高于其它时间段的总量；17:00-18:00 时间段辣椒上烟粉虱的虫口减退率次之，达到 22.29%。17:00-19:00 的虫口减退率占整个开灯处理时间的 73.23%。试验期间，17:00-19:00 的蓝光照射对烟粉虱的驱避作用相对较强（图 1）。

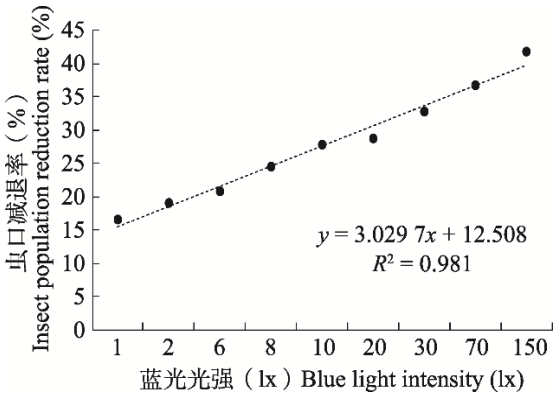


图 1　蓝光不同照射时段辣椒烟粉虱的虫口减退率

Fig. 1　Reduction rate of *Bemisia tabaci* in pepper under blue light

图中数据为平均值±标准误，柱上标有不同小写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验差异显著（$P < 0.05$）。

Data in the figure are mean ± SE, histograms with the different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level by Duncan's multiple range test.

2.2　蓝光不同光照强度对烟粉虱种群数量的影响

蓝光对蔬菜烟粉虱的驱避作用与蓝光的光强呈正相关，回归方程为 $y = 3.029\ 7x + 12.508$（$R^2 = 0.981$）（图 2）。在光照强度为 2-150 lx 之间，随着光照强度的增大蔬菜上烟粉虱的虫口减退率上升，光强 150 lx 处的烟粉虱虫口减退率分别较 8、6 和 2 lx 的高 17.01%、22.66%和 24.62%。

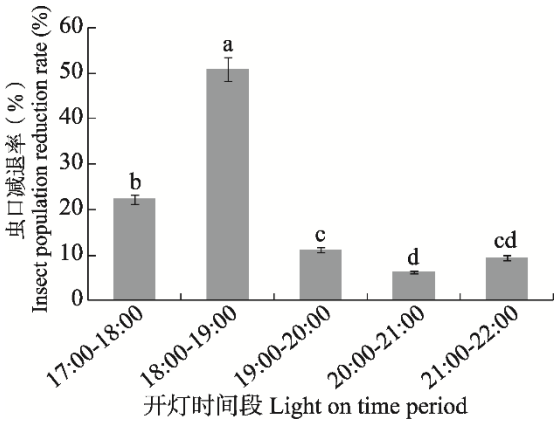


图 2　蓝光光照强度与烟粉虱虫口减退率的关系

Fig. 2　Relationship between the intensity of blue light and the depopulation rate of *Bemisia tabaci*

2.3　蓝光处理对辣椒不同叶位烟粉虱种群数量的影响

蓝光照射对辣椒烟粉虱有较好的控制作用，并且随着光照时间的延长，虫口减退率逐渐增加（表 1）。蓝光照射 2 d 后，辣椒上烟粉虱整株叶片的虫口减退率为 18.43%，蓝光照射 10 d 后虫口减退率迅速上升到 85.73%。结果表明，蓝光照射对辣椒烟粉虱具有快速、高效的控制作用。从表 1 还可以发现，蓝光照射对辣椒上部和中部叶片上烟粉虱的虫口减退率之间没有明显的差异，即同一处理时间不同叶位烟粉虱数量无显著变化。

表 1　蓝光处理后辣椒烟粉虱的种群数量

Table 1　The number of *Bemisia tabaci* under blue light

处理时间（d）Processing time (d)	虫口减退率（%）Infestation rate		
	整株叶片 Whole leaves	上部叶片 Upper leaves	中部叶片 Middle leaves
2	18.43±0.74e	15.62±4.36d	21.40±4.29d
4	62.44±1.81d	60.23±2.77c	64.87±3.96c
6	72.53±0.73c	73.54±0.56b	70.67±2.53bc
8	78.46±1.25b	78.77±1.96ab	77.67±1.45ab
10	85.73±0.98a	85.31±1.64a	86.07±1.02a

表中数据为均值±标准误，同列数据后标有不同小写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验在 0.05 水平差异显著。下表同。

Data are mean±SE, and followed by different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level by Duncan's multiple range test. The same below.

2.4　蓝光处理对保护地黄瓜不同叶位烟粉虱种群数量的影响

蓝光照射对保护地黄瓜辣椒烟粉虱有较好的控制作用，并且随着光照时间的延长，虫口减退率上升（表 2），从表 2 可以看出，蓝光照射 3 d 后黄瓜叶片上烟粉虱整株叶片的虫口减退率为 57.42%，蓝光照射 12 d 后虫口减退率迅速上升到 90.33%，即蓝光照射对黄瓜烟粉虱具有快速、高效的控制作用。从表 2 还可以发现，蓝光处理的前 6 d 内，黄瓜上部叶片的虫口减退率显著高于中部叶片，其中处理第 3 天，上部叶片的虫口减退率比中部叶片高 61.56%，但蓝光处理 9 d 后上部和中部叶片的虫口减退率之间没有显著的差异。

2.5　黄板和蓝光对保护地黄瓜烟粉虱种群的影响

蓝光照射后黄瓜叶片上烟粉虱的虫量迅速下降，同时黄板上烟粉虱的虫量迅速上升（表 3），从表 3 可以看出，蓝光处理 10 d 后，黄瓜上烟粉虱的虫量（1.25 头/叶）较对照（6.79 头/叶）降低 81.59%，而黄板上烟粉虱的虫量（17.38 头/5 cm^2）为对照（3.71 头/5 cm^2）的 4.68 倍。30 d 后，虽然烟粉虱繁殖了 1 代以上，但黄瓜上烟粉虱的数量仍维持在较低的水平，黄板上烟粉虱虫量也出现了下降的趋势，表明大棚内烟粉虱总的种群数量得到了控制。结果表明，保护地蔬菜上进行蓝光照射处理可以促使烟粉虱向黄板上迁移，提高了黄板对烟粉虱的诱集效果，从而降低棚内烟粉虱的种群密度，减轻对黄瓜的危害。

3　结论与讨论

光作为影响昆虫生长发育、生活习性的重要外界因子，光的波长、强度、时间等都会影响昆虫的行为（汪诗凯等，2018；姚明勇等，2020）。

表 2　蓝光处理后黄瓜不同叶位烟粉虱种群数量

Table 2　The number of *Bemisia tabaci* under blue light on different leaf positions of cucumber

处理时间（d）Processing time (d)	虫口减退率（%）Infestation rate（%）		
	整株叶片 Whole leaves	上部叶片 Upper leaves	中部叶片 Middle leaves
3	57.42±1.26c	69.34±1.34c*	42.92±1.33c
6	72.26±4.68b	88.43±0.85b*	77.94±0.85b
9	86.12±0.84a	93.78±0.59a	93.78±0.59a
12	90.33±0.75a	94.03±0.80a	94.03±0.80a

*表示同行数据经 *t*-检验差异显著（$P<0.05$）。

* indicates significant difference between the value of upper and lower blades at 0.05 level by *t*-test.

表 3　不同处理下黄瓜叶片和黄板上烟粉虱的数量

Table 3　The number of *Bemisia tabaci* on cucumber leaves and yellow boards under different treatments

处理时间（d）Processing time (d)	叶片烟粉虱成虫数量（头/叶）Number of *Bemisia tabaci* adults on leave (ind./leaf)		黄板烟粉虱成虫数量（头/5 cm^2）Number of *Bemisia tabaci* adults on the yellow board(ind./5 cm^2)	
	蓝光 Blue light	对照 Contrast	蓝光 Blue light	对照 Contrast
10	1.25±0.17a**	6.79±0.56a	17.38±1.14a**	3.71±0.44a
20	1.08±0.37a**	3.79±1.03b	8.62±0.40b**	4.65±0.38a
30	2.29±0.44a**	8.33±1.90a	6.34±0.63b *	5.32±0.45a

*表示蓝光和对照组成虫虫量经独立样本 *t*-检验在 0.05 水平上差异显著，**表示蓝光和对照组成虫虫量经独立样本 *t*-检验在 0.01 水平差异极显著。

* indicates significant difference at 0.05 level by *t*-test between the adult amount of blue light and the control, ** indicates extremely significant difference at 0.01 level by *t*-test between the adult amount of blue light and the control.

不同的昆虫对光的敏感时间不同，如亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 在 20:00-24:00 对光较敏感，蔬菜上的甜菜夜蛾在 23:00-3:00 对光较敏感（桑文等，2016）。烟粉虱属日出性昆虫，但喜欢在光强较低的环境中飞行活动（Bellamy and Byrne，2010）。本研究发现，蓝光处理时段 18:00-19:00 显著降低蔬菜上烟粉虱的虫口减退率。本实验于 2020 年 8 月中旬在江苏扬州市进行，根据扬州市气象局资料，8 月 15 日试验地的日落时间为 18:47，本研究发现开灯时间段在 17:00-19:00 之间时，烟粉虱虫口减退率占 70% 以上，这说明烟粉虱喜欢在较低光强环境中飞行。这一结果与 Bellamy 和 Byrne（2010）的研究结果一致。因此，综合考虑防控效果和防控成本，建议利用蓝光驱避烟粉虱时可以在日落前 1 h 左右开灯，持续开灯 2-3 h。

烟粉虱成虫主要分布在植株中、上部的嫩叶上（沈斌斌等，2005；冯正娣等，2008）。本研究发现，随着处理时间的延长，蓝光对 2 种保护地蔬菜植株上的烟粉虱都有较好的驱避作用，但是无论是辣椒还是黄瓜，处理 6 d 以后蓝光对不同叶位的烟粉虱的驱避效果都没有显著差异。因此，为了方便操作，蔬菜田间利用蓝光防控烟粉虱时，灯带可以放置在植株冠层叶的上方。

烟粉虱对黄色具有较强的趋性，利用黄板可以诱杀烟粉虱（侯茂林等，2006）。但是，烟粉虱对绿色也有较强的嗜好性（Isaacs *et al.*，2010），在正常情况下，也会有一定数量的烟粉虱停息在绿色寄主植物上，而不能被黄板所引诱。本研究发现，蓝光照射后，蔬菜叶片上烟粉虱成虫虫量显著少于没有蓝光的对照，而黄板上烟粉虱成虫虫量显著多于没有蓝光的对照黄板，说明蓝光能将蔬菜植株上的烟粉虱驱离，其中一部分成虫向黄板迁移。由于在保护地中烟粉虱较难飞出大棚，虽然它们被蓝光从寄主蔬菜上驱离，但蓝光关闭后仍有可能迁回寄主蔬菜。因此，大棚内应适当增加黄板的悬挂密度，使被蓝光从蔬菜上驱离的烟粉虱尽可能多的被黄板所诱杀，从而提高蓝光对蔬菜上烟粉虱的控制效果。

参考文献 (References)

Bellamy DE, Byrne DN, 2010. Effects of gender and mating status on self-directed dispersal by the whitefly parasitoid *Eretmocerus eremicus*. *Ecological Entomology*, 26(6): 571–577.

Bentley MT, Kaufman PE, Kline DL, Hogsette JA, 2009. Response of adult mosquitoes to light-emitting diodes placed in resting boxes and in the field. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 25(3): 285–291.

Bian L, Sun XL, Gao Y, Luo ZX, Jin S, Zhang ZQ, Chen ZM, 2012. Research on the light tropism of insects and the progress in application. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1677–1686. [边磊, 孙晓玲, 高宇, 罗宗秀, 金珊, 张正群, 陈宗懋, 2012. 昆虫光趋性机理及其应用进展. 应用昆虫学报, 49(6): 1677–1686.]

Chang Q, Hong B, Chen ZJ, Li YM, Zhang SL, 2020. The advances and problems of green management for diseases and pests on facility vegetables. *Northern Horticulture*, (17): 131–137. [常青, 洪波, 陈志杰, 李英梅, 张锋, 张淑莲, 2020. 保护地蔬菜病虫害绿色防控技术现状与问题思考. 北方园艺, (17): 131–137.]

Chen XX, 2009. Study on the influence factor of phototaxis and feeding behavior of *Propylea japonica* (Thunberg). Master dissertation. Baoding: Agricultural University of Hebei. [陈晓霞, 2009. 龟纹瓢虫成虫趋光性和取食行为的影响因素研究. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.]

Dong S, Lu ZB, Li LL, Li WQ, Yu Y, Men XY, Yin SY, 2017. Behavior response of *Apolygus lucorum* Meyer-Dür adults to spectrum and light intensity. *Shandong Agricultural Sciences*, 49(9): 122–127. [董松, 卢增斌, 李丽莉, 李文强, 于毅, 门兴元, 尹淑艳, 2017. 绿盲蝽成虫对光谱和光照强度的行为反应. 山东农业科学, 49 (9): 122–127.]

Dong WJ, 2018. Effects of different light sources on the growth and reproduction of five insects. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [董婉君, 2018. 不同光源对五种昆虫生长发育和繁殖的影响研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]

Feng ZD, Lin FG, Cai CG, 2008. Occurrence characteristics and control techniques of Q-type *Bemisia tabaci* on leafy vegetables. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 14(19): 179–180. [冯正娣, 林付根, 蔡长庚, 2008. Q 型烟粉虱在叶菜类蔬菜上的发生特点与防治技术. 安徽农学通报, 14(19): 179–180.]

Hou ML, Lu W, Wen JH, 2006. Trap catches and control efficiency of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) adults in greenhouse by yellow sticky traps. *Scientia Agricultura Sinica*, 39(9): 1934–1939. [侯茂林, 卢伟, 文吉辉, 2006. 黄色粘虫板

对温室黄瓜烟粉虱成虫的诱集作用和控制效果. 中国农业科学, 39(9): 1934–1939.]

Isaacs R, Willis MA, Byrne DN, 2010. Modulation of whitefly take-off and flight orientation by wind speed and visual cues. *Physiological Entomology*, 24(4): 311–318.

Jiang XF, Zhang ZZ, Luo LZ, 2010. Phototaxis of the beet webworm *Loxostege sticticalis* to different wavelengths and light intensity. *Plant Protection*, 36(6): 69–73. [江幸福, 张总泽, 罗礼智, 2010. 草地螟成虫对不同光波和光强的趋光性. 植物保护, 36(6): 69–73.]

Lu DYH, Liu Y, Ge DQ, Zhang ZH, Zhang DY, Tan XQ, Shi XB, 2020. Damage characteristics and integrated control techniques of *Bemisia tabaci*. *Journal of Changjiang Vegetables*, (18): 69–71. [卢丁伊慧, 刘勇, 戈大庆, 张战泓, 张德咏, 谭新球, 史晓斌, 2020. 烟粉虱为害特点及其综合防治技术. 长江蔬菜, (18): 69–71.]

Liu JS, Zhang F, Chen ZJ, Chen ZF, Zhang SL, Li YM, 2010. Outbreak regularity and sustainable management of cucumber pest in greenhouse in Shanxi province. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26(17): 260–263. [刘俊生, 张锋, 陈志杰, 陈振峰, 张淑莲, 李英梅, 2010. 陕西温室黄瓜害虫发生规律及持续控制对策. 中国农学通报, 26 (17): 260–263.]

Shen BB, Ren SX, Musa PD, Zhou JH, 2005. The spatial distribution pattern of *Bemisia tabaci* adults. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(5): 544–546. [沈斌斌, 任顺祥, P. D. Musa, 周建华, 2005. 烟粉虱成虫空间分布型的研究. 昆虫知识, 42(5): 544–546.]

Shibuya K, Onodera S, Hori M, 2018. Toxic wavelength of blue light changes as insects grow. *PLoS ONE*, 13(6): e0199266.

Sang W, Zhu ZH, Lei CL, 2016. Review of phototaxis in insects and an introduction to the light stress hypothesis. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(5): 913–918. [桑文, 朱智慧, 雷朝亮, 2016. 昆虫趋光行为的光胁迫假说. 应用昆虫学报, 53(5): 913–918.]

Tu XY, Chen YS, Chen J, Hu ZL, Jin YQ, Xu F, 2012. Effects of different LED light sources on the behavior of *Brithys crini* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(10): 1185–1192. [涂小云, 陈元生, 陈娟, 胡章龙, 金义钦, 徐飞, 2012. 不同波段 LED 光源对毛健夜蛾行为的影响. 昆虫学报, 55(10): 1185–1192.]

Wang MM, 2010. Effects of magnetic field and led (light emittingdiode) illumination on biological characters of the diamondback moth, *Plutella xylosetella* L. Master dissertation. Yangzhou: Yangzhou University. [王明明, 2010. 磁场和LED光照对小菜蛾生物学特性的影响. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学.]

Wang SK, Zhang JH, Zhou P, Shi WP, Yu YX, 2018. Application of optics, acoustics and pheromone in insect monitoring. *Plant Quarantine*, 32(4): 10–17. [汪诗凯, 张俊华, 周萍, 石旺鹏, 于艳雪, 2018. 光、声和信息素在昆虫监测中的应用. 植物检疫, 32(4): 10–17.]

Yao MY, Zhou L, Wang L, Chen WL, 2020. Effects of different photoperiods on development and reproduction of *Eocanthecona furcellata*. *Journal of Southwest China Normal University* (*Natural Science Edition*), 45(3): 109–114. [姚明勇, 周吕, 王岚, 陈文龙, 2020. 光周期对叉角厉蝽生长发育及繁殖的影响. 西南师范大学学报(自然科学版), 45(3): 109–114.]

Zhang M, 2018. Effects of different light conditions on biological characteristics of five insect species. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [张敏, 2018. 不同光环境对 5 种昆虫生物学特性的影响研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]

Zhang YH, Liu XX, Zhang QW, Wei GS, 2009. Effects of different light source on phototaxis rate of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübne). *Journal of Hebei Agricultural University*, 32(5): 69–72. [张艳红, 刘小侠, 张青文, 魏国树, 2009. 不同光源对棉铃虫蛾趋光率的影响. 河北农业大学学报, 32(5): 69–72.]

Zhang ZY, 2019. Advances in pest control in greenhouses. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(5): 934–946. [张志勇, 2019. 温室害虫防治研究进展与展望. 应用昆虫学报, 56(5): 934–946.]

Zhao ZH, Yin Z, Yang PY, 2011. Advances in the applications of green crop pest control techniques. *Plant Protection*, 37(3): 29–32. [赵中华, 尹哲, 杨普云, 2011. 农作物病虫害绿色防控技术应用概况. 植物保护, 37(3): 29–32.]

Zhou FC, 2017. Occurring and damage of *Bemisia tabaci* (Gennadius) and its ecological control in Jiansu province. *China Plant Protection*, 37(1): 41–45. [周福才, 2017. 江苏地区烟粉虱的发生为害与生态防控. 中国植保导刊, 37(1): 41–45.]

Zhu JL, Zhu W, Liu HA, Lu YR, Zhang CM, 2014. Effects of LED lights on phototaxis and reproduction of small brown planthopper. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 30(3): 508–513. [朱锦磊, 朱伟, 刘怀阿, 陆玉荣, 张春梅, 2014. 灰飞虱对 5 种波长 LED 的趋光性比较及蓝光对灰飞虱繁殖力的影响. 江苏农业学报, 30(3): 508–513.]