



曲文雅, 陈向荣, 孙善加, 吴晓霞, 赵明, 郑佳寅, 陈学好, 周福才. 蓝光照射对黄瓜无翅蚜驱避行为的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (3): 801–806.

蓝光照射对黄瓜无翅蚜驱避行为的影响

曲文雅¹, 陈向荣¹, 孙善加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, 江苏扬州 225009; 2. 扬州大学生物科学与技术学院, 江苏扬州 225009)

摘要: 蓝光照射可以降低黄瓜 *Cucumis sativus* 上蚜虫的种群密度, 但蓝光照射后无翅蚜虫是如何被驱离的尚未见报道。本文以盆栽黄瓜为供试材料, 研究蓝光照射对黄瓜上无翅蚜 *Aphis gossypii* 驱避行为的影响。结果表明, 蓝光照射对设施黄瓜上的无翅蚜有较强的驱避作用, 光照强度越大、照射时间越长, 黄瓜上蚜虫的虫口减退率越大。蓝光照射后无翅蚜主要通过黄瓜主茎离开黄瓜向花盆的土下迁移, 少部分蚜虫还可以顺着花盆向盆外迁移。光强越强, 相同时间内迁离黄瓜的蚜虫越多。300 lux 蓝光照射 10 h 后, 蚜虫种群的校正虫口减退率达到 64.03%。相同的蓝光光强和照射时间下, 晚间蓝光照射处理后蚜虫的迁移数量多于白天。地面黄光环境对蓝光驱避黄瓜蚜虫具有较强的促进作用, 盆外放置黄板, 迁向盆外的蚜虫量增加。黄光点亮 30 min 后关闭, 同时打开蓝光可以提高蓝光对蚜虫驱避作用。因此, 蓝光照射可以驱离黄瓜上的无翅蚜, 驱离的无翅蚜主要迁移到盆内土中, 少量的可以迁出花盆。

关键词: 蓝光; 黄瓜; 瓜蚜; 无翅蚜; 趋避作用; 迁移

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2023) 03-0801-06

Effects of blue light irradiation on the repellent behavior of wingless *Aphis gossypii* on *Cucumis sativus*

QU Wen-Ya¹, CHEN Xiang-Rong¹, SUN Shan-Jia¹, WU Xiao-Xia², ZHAO Ming¹, ZHENG Jia-Yin¹,
CHEN Xue-Hao¹, ZHOU Fu-Cai^{1*} (1. College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu Province, China; 2. College of Biological Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu Province, China)

Abstract: Blue light irradiation could reduce the population density of aphids on cucumbers, but there was no report about how the wingless aphids were driven away from the host plants by blue light. In this paper, the effects of blue light on the repellent behavior of wingless aphid were studied by using potted cucumber as test material. Our results showed that blue light could significantly increasing the aphid declines rate along with the increasing of light intensity and irradiation time. During the same irradiation time, it was observed that the more numbers of aphid migrated from the cucumber along with the increasing density of blue light. The aphids migrated from the cucumber to the soil of the flowerpot mainly through the main stem of the cucumber, and a small number of aphids could also migrate along the flowerpot to the outside of the pot. After exposure to 300 lux blue light for 10 hours, the corrected population decline rate of aphid

基金项目: 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)

作者简介: 曲文雅, 女, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜害虫绿色防控技术, E-mail: 2532151645@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 周福才, 博士, 研究员, 研究方向为昆虫生态和蔬菜害虫绿色防控, E-mail: fczhou@yzu.edu.cn

收稿日期 Received: 2022-01-20; 接受日期 Accepted: 2022-06-20

reached to the 64.03%. Compared with that in daytime, the treatment at night with same blue light intensity and irradiation time caused increased number of migrated aphids. The repelling effect of blue light on cucumber aphids were strongly promoted by the yellow light environment. Putting yellow board placed outside the flowerpot lead to the increase in the numbers of aphid migrated to the outside of the pot. Extra 30 mins of yellow light irradiation just before blue light treatment could promote the repelling effect of blue light on aphids. The conclusion was that the blue light irradiation could drive off the wingless aphid from the cucumbers to the soil in the pot, and a small amount of aphid could be migrated out of the flowerpot.

Key words: Blue light; cucumber; *Aphis gossypii* Glover; wingless aphid; repellent and avoidance effect; migrate

趋光性是昆虫的视觉器官对外界光刺激发生的行为响应。光可以对昆虫产生直接影响,也可以间接影响植物体内抗虫物质的代谢来影响昆虫的取食。不同昆虫对特定光谱有正趋性和负趋性之分,趋向光为趋光性,避开光为负趋性(边磊等, 2012; 韩杜斌等, 2021a), 东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) 和亚洲小车蝗 *Oedaleus decorus asiaticus* (Bey-Bienko) 对紫光、蓝光、绿光等有较强的趋光性, 对红光、橙光等趋光性较弱(牛虎力和周强, 2009); 蓝光对烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius)、蚜虫 *Aphidoidea* spp. 也有较强的驱避作用(陈向荣等, 2021; 韩杜斌等, 2021a; 2021b; 郑佳寅等, 2021)。昆虫的性别、虫龄和取食情况等生理状态影响昆虫的趋光性反应, 例如蚱蝉 *Cryptotympana atrata* (Fabricius) 对不同光源的趋性表现出雌性强于雄性, 并且雌雄蝉在不同时间的趋性也有较大的差异(胡忠朗等, 1993); 果蝇 *Drosophilid melanogaster* Meigen 的幼虫具有避光性, 但是化蛹阶段则具有趋光性(Gong *et al.*, 2010), 并且果蝇的光趋性会随虫龄的增大而呈现出规律性变化, 雌性降低, 雄性增加, 在中龄呈现顶峰(Le Bourg and Lints, 1992; Le Bourg and Badia, 1995)。光波长、光照时间以及光照强度对昆虫的捕食能力也有显著的影响(Mori *et al.*, 2005), 不同的光照强度下昆虫的趋光反应存在较大的差异, 甚至有些昆虫会因光强的变化表现相反的趋性(蔡侠, 2014)。光还可以影响昆虫的生长发育(Wilde, 1962), 如蓝紫光 and 蓝光对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 的生长发育具有显著抑制作用(董婉君, 2018), 二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 若虫发育到成虫的发育历期存在差异, 历期最长的是绿光, 最短的是黄光(Ismail *et al.*, 2011)。光强和光照时间影响昆虫卵、幼虫、蛹、成虫的发育

历期(Telles and Lind, 2014)。

灯光照射对植物的生理生化也有明显的影响, 如灯光照射对植物的生长发育、叶绿素合成、光合作用等具有一定调控作用(闫晓花等, 2016), 从而直接或间接地影响昆虫的光趋避性和繁殖。韩杜斌(2021a)等研究发现, 蓝光照射还可以诱导黄瓜 *Cucumis sativus* Linn 叶片中抗生性物质的上调, 提高黄瓜对烟粉虱的抗性。由于灯光控虫没有化学残留, 不会诱导昆虫产生适应性, 并且对植物安全(邵久之等, 2021), 是蔬菜绿色防控的有效手段, 因此受到了植保工作者和蔬菜生产者越来越多的关注。目前, 利用灯光防治害虫主要是利用害虫的趋光性, 将害虫诱集后再利用电击、陷阱等方式将其杀死, 但这种方式存在误伤天敌昆虫的风险。

蚜虫是黄瓜等蔬菜生产中危害最严重的害虫之一(李艳艳等, 2013), 严重影响黄瓜的品质和产量。随着绿色环保理念的深入, 蔬菜蚜虫的绿色防控技术是一个重要的防治方向。研究发现, 蓝光照射后黄瓜上蚜虫的种群数量下降, 其中无翅蚜的种群数量也迅速下降(郑佳寅等, 2021)。无翅蚜是蚜虫的主要为害虫态, 而且在适宜的寄主植物和环境下, 无翅蚜一般不离开取食环境和取食位置, 但蓝光照射后黄瓜上的无翅蚜去哪里了? 这一问题未见报道。为此, 本文以盆栽黄瓜为材料, 研究蓝光照射对黄瓜无翅蚜驱避行为的影响, 为进一步阐明蓝光对蚜虫的驱避作用机制提供理论依据, 并为设施黄瓜蚜虫的绿色防控提供新的手段。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试黄瓜品种: 津优 35 号, 天津黄瓜研究所

生产。黄瓜在无虫环境中用基质育苗，3 片真叶时移栽到花盆中，6 叶期供试。

供试蚜虫品种：瓜蚜，原始蚜虫在黄瓜上采集，在供试黄瓜品种上饲养 3 代后供试。试验前每盆黄瓜在 3、4、5 片真叶上共接无翅成蚜 20 头，接虫 12 h 后移去成蚜，保留 80 头初产若蚜，其余若蚜清除。第 2 天供试。

蓝光灯：浙江磐安有限公司生产，光源为 LED 灯，波长 470 nm，功率 8 W。

粘虫板：杭州科凌虫控科技有限公司生产，大小为 25 cm × 20 cm。

1.2 试验方法

1.2.1 蓝光照射对黄瓜叶片上无翅蚜种群的影响

用 4 片真叶期盆栽黄瓜，用毛笔从虫源黄瓜上取无翅成蚜，接到黄瓜叶片背面，每株黄瓜留 80 头初产若蚜。将接有蚜虫的盆栽黄瓜置于有防虫网的笼内，在笼的上方 20 cm 处放置 1 盏蓝色灯，18 : 00 开始开灯，试验设光强 100 lux 和 300 lux 两个处理。分别于处理 2、4、6、8、10 h 后调查黄瓜叶片上蚜虫的数量，计算蚜虫的虫口减退率。以不用蓝光作对照。

1.2.2 蓝光照射后黄瓜叶片上无翅蚜的迁移行为

在栽种黄瓜的花盆土上面放一张保鲜薄膜，膜上面再覆 1 cm 厚的细土，细土湿度与花盆内土相近。花盆放在 25 cm × 20 cm 的白色粘虫板上，以捕捉从花盆内爬出来的蚜虫。试验设光强 100 lux 和 300 lux 两个处理、白天和晚上开灯两个处理。分别于处理 2、4、6、8、10 h 后调查花盆土内和花盆底白色粘虫板上蚜虫的数量。花盆土

内蚜虫采用洗土法调查，观察蓝光照射后蚜虫向花盆土内和向花盆外迁移情况。不用蓝光照射作对照。

1.2.3 花盆外黄板环境对蓝光照射后黄瓜叶片上无翅蚜迁移的影响

花盆内处理方法同 1.2.1，花盆放在 25 cm × 20 cm 的黄色粘虫板上，观察黄板和花盆内土下蚜虫的数量。以花盆放在白色粘虫板上作对照。

1.2.4 地面黄光环境对蓝光照射后黄瓜叶片上无翅蚜迁移的影响

花盆栽黄瓜处理同 1.2.1。试验设先开黄灯 30 min 后关闭，再打开蓝光和蓝光与黄光同时打开 2 个处理。

2 结果与分析

2.1 蓝光照射对黄瓜叶片上无翅蚜种群数量的影响

蓝光对黄瓜叶片上无翅蚜具有较强的驱避作用，随着蓝光照射时间的延长，黄瓜叶片上蚜虫的虫口减退率快速上升（表 1）。在 300 lux 的蓝光照射 4 h 和 10 h 后，黄瓜叶片上虫口减退率分别为 26.53% 和 64.03%，后者是前者的 2.41 倍。蓝光光强与黄瓜叶片上蚜虫的虫口减退率呈正相关，分别用 100 lux 和 300 lux 蓝光照射 10 h 后，黄瓜叶片上虫口减退率分别为 48.75% 和 64.03%，后者是前者的 1.31 倍。结果表明，蚜虫的虫口减退率与蓝光的光强和光照时间呈正相关。

表 1 蓝光处理后黄瓜叶片上蚜虫的校正虫口减退率
Table 1 Corrected population decline rate of aphids on cucumber leaves after blue light treatment

光强 (lux) Light intensity	不同处理时间 (h) 后黄瓜叶片上蚜虫的校正虫口减退率 (%) Corrected population decline rate of aphids on cucumber leaves after different treatment times				
	2	4	6	8	10
100	1.81 ± 0.59 eA	9.72 ± 1.14 dA	29.17 ± 2.81 cA	41.94 ± 2.23 bA	48.75 ± 2.09 aA
300	12.50 ± 0.95 eA	26.53 ± 1.19 dA	38.61 ± 1.69 cA	49.58 ± 1.69 bB	64.03 ± 1.78 aB

注：表中不同小写字母表示同行数据差异显著 ($P < 0.05$)；不同大写字母表示同列数据差异显著 ($P < 0.05$)。下同。
Note: Different lowercase letters indicated that there were significant differences after peer data ($P < 0.05$)；Different capital letters indicated that there was significant difference after the same column of data ($P < 0.05$). Same below.

2.2 蓝光照射对黄瓜叶片上无翅蚜迁移行为的影响

蓝光照射对黄瓜叶片上无翅蚜具有较强的驱

避作用（表 2）。蓝光照射后黄瓜叶片上无翅蚜迅速向土中和盆外迁移，其中向土中迁移的蚜虫显著多于向盆外迁移的蚜虫 ($F_{\text{部位}} = 2695.5013$,

$P_{\text{部位}} = 0.0001$)。蓝光处理时间对蚜虫的迁移也有明显的影响, 处理时间越长, 迁移的蚜虫数量越多 ($F_{\text{处理时间}} = 874.0388$, $P_{\text{处理时间}} = 0.0001$)。不同时间段的蓝光处理对蚜虫的迁移也有明显的影响, 其中晚上蓝光照射蚜虫的迁移率明显的多于白天 ($F_{\text{时段}} = 94.9054$, $P_{\text{时段}} = 0.0001$)。不同光强的蓝

光处理对蚜虫的迁移也有明显的影响, 光照强度越强, 迁移的蚜虫数量越多 ($F_{\text{光强}} = 509.6591$, $P_{\text{光强}} = 0.0001$)。结果表明, 蓝光照射可以引起黄瓜叶片上无翅蚜的迁移, 在盆栽的环境中, 蚜虫主要向盆土中迁移, 迁移的蚜虫数量与处理时间呈正相关, 迁移的蚜虫数量与蓝光光强也呈正相关。

表 2 蓝光处理后的蚜虫数量变化

Table 2 Changes of aphid number after blue light treatment

光强 (lux) Light intensity	时段 Time interval	处理 Treatments 部位 Position	不同处理时间 (h) 的后蚜虫数量 (头) Number of aphids after different treatment times				
			2	4	6	8	10
100	白天 Day	盆土 Basin soil	1.44 ± 0.47 dA	3.78 ± 0.66 dA	13.11 ± 1.18 cA	22.00 ± 0.69 bA	23.22 ± 1.68 aA
		白色粘虫板 White armyworm board	0.00 ± 0.00 cB	0.89 ± 0.35 cB	2.78 ± 0.49 bB	5.56 ± 1.29 aC	5.89 ± 1.39 aC
		黄色粘虫板 Yellow armyworm board	0.11 ± 0.11 dB	0.89 ± 0.20 dB	3.22 ± 1.40 cB	7.00 ± 0.37 bB	9.44 ± 0.34 aB
		盆土 Basin soil	2.11 ± 0.54 dA	6.89 ± 0.82 cA	18.89 ± 1.21 bA	25.22 ± 0.88 aA	27.11 ± 1.90 aA
		白色粘虫板 White armyworm board	0.11 ± 0.11 eB	1.33 ± 0.37 dB	4.89 ± 0.51 cC	6.89 ± 0.45 bB	8.11 ± 0.48 aC
		黄色粘虫板 Yellow armyworm board	0.56 ± 0.24 eB	1.89 ± 0.26 dB	6.33 ± 0.41 cB	8.78 ± 0.55 bB	10.22 ± 0.43 aB
	晚上 Night	盆土 Basin soil	6.56 ± 0.69 eA	13.70 ± 1.04 dA	23.33 ± 1.22 cA	32.56 ± 1.65 bA	36.67 ± 1.51 aA
		白色粘虫板 White armyworm board	0.67 ± 0.24 eB	3.33 ± 0.41 dB	5.33 ± 0.50 cB	6.67 ± 0.55 bB	8.00 ± 0.47 aC
		黄色粘虫板 Yellow armyworm board	1.00 ± 0.29 eB	3.56 ± 1.24 dB	5.78 ± 1.57 cB	7.33 ± 1.37 bB	10.78 ± 1.49 aB
		盆土 Basin soil	8.56 ± 0.50 eA	20.40 ± 1.77 dA	28.22 ± 1.35 cA	35.00 ± 1.27 bA	43.67 ± 1.38 aA
		白色粘虫板 White armyworm board	0.78 ± 0.28 eB	3.33 ± 0.41 dB	5.56 ± 0.38 cB	7.00 ± 0.33 bC	8.22 ± 0.32 aC
		黄色粘虫板 Yellow armyworm board	1.22 ± 0.32 eB	4.33 ± 0.41 dB	5.67 ± 0.47 cB	9.78 ± 1.09 bB	12.67 ± 1.93 aB
300	白天 Day	盆土 Basin soil	6.56 ± 0.69 eA	13.70 ± 1.04 dA	23.33 ± 1.22 cA	32.56 ± 1.65 bA	36.67 ± 1.51 aA
		白色粘虫板 White armyworm board	0.67 ± 0.24 eB	3.33 ± 0.41 dB	5.33 ± 0.50 cB	6.67 ± 0.55 bB	8.00 ± 0.47 aC
		黄色粘虫板 Yellow armyworm board	1.00 ± 0.29 eB	3.56 ± 1.24 dB	5.78 ± 1.57 cB	7.33 ± 1.37 bB	10.78 ± 1.49 aB
		盆土 Basin soil	8.56 ± 0.50 eA	20.40 ± 1.77 dA	28.22 ± 1.35 cA	35.00 ± 1.27 bA	43.67 ± 1.38 aA
		白色粘虫板 White armyworm board	0.78 ± 0.28 eB	3.33 ± 0.41 dB	5.56 ± 0.38 cB	7.00 ± 0.33 bC	8.22 ± 0.32 aC
		黄色粘虫板 Yellow armyworm board	1.22 ± 0.32 eB	4.33 ± 0.41 dB	5.67 ± 0.47 cB	9.78 ± 1.09 bB	12.67 ± 1.93 aB
	晚上 Night	盆土 Basin soil	6.56 ± 0.69 eA	13.70 ± 1.04 dA	23.33 ± 1.22 cA	32.56 ± 1.65 bA	36.67 ± 1.51 aA
		白色粘虫板 White armyworm board	0.67 ± 0.24 eB	3.33 ± 0.41 dB	5.33 ± 0.50 cB	6.67 ± 0.55 bB	8.00 ± 0.47 aC
		黄色粘虫板 Yellow armyworm board	1.00 ± 0.29 eB	3.56 ± 1.24 dB	5.78 ± 1.57 cB	7.33 ± 1.37 bB	10.78 ± 1.49 aB
		盆土 Basin soil	8.56 ± 0.50 eA	20.40 ± 1.77 dA	28.22 ± 1.35 cA	35.00 ± 1.27 bA	43.67 ± 1.38 aA
		白色粘虫板 White armyworm board	0.78 ± 0.28 eB	3.33 ± 0.41 dB	5.56 ± 0.38 cB	7.00 ± 0.33 bC	8.22 ± 0.32 aC
		黄色粘虫板 Yellow armyworm board	1.22 ± 0.32 eB	4.33 ± 0.41 dB	5.67 ± 0.47 cB	9.78 ± 1.09 bB	12.67 ± 1.93 aB

2.3 盆外不同颜色粘虫板对蓝光照射后黄瓜叶片上无翅蚜迁移的影响

盆外黄板环境对蓝光照射后黄瓜叶片上蚜虫

的迁移具有一定的诱集作用 (表 2)。盆外不同环境对蚜虫的迁移也有明显的影响 (表 2), 其中盆外黄板环境下蚜虫的迁移率明显的多于白色粘虫

板 ($F_{\text{粘虫板}} = 84.2986$, $P_{\text{粘虫板}} = 0.0001$)。

2.4 地面黄光环境对蓝光照射后黄瓜叶片上无翅蚜迁移的影响

地面黄光环境对蓝光驱避黄瓜蚜虫具有较强的促进作用，先开黄灯 30 min 后关闭，再打开蓝光可以加强蓝光对蚜虫趋避作用（表 3），在蓝光

开 8 h 时蚜虫的校正虫口减退率为 52.93%，说明蓝光可以提高驱蚜效果；而蓝光与黄光同时打开，两个颜色光源会互相干扰减弱各自的作用，其校正虫口减退率最高为 41.61%，前者（52.93%）是后者（41.61%）的 1.3 倍。

表 3 地面黄光环境中蓝光处理后叶片上的蚜虫校正虫口减退率

Table 3 Corrected population decline rate of aphids on leaves after blue light treatment in ground yellow light environment

处理 Treatments	不同处理时间（h）的蚜虫校正虫口减退率（%） Corrected population decline rate of aphids at different treatment times				
	2	4	6	8	10
黄光 0.5 h 后开蓝光	0.17 ±	12.52 ±	28.70 ±	52.93 ±	52.84 ±
Turn on blue light after yellow light for 0.5 h	1.22 dA	1.97 cA	2.69 bA	2.78 aA	2.33 aA
黄光和蓝光同时开	-0.11 ±	7.02 ±	17.68 ±	40.01 ±	41.61 ±
Yellow light and blue light are on at the same time	1.15 dA	1.73 cA	1.70 bB	1.85 aB	1.98 aB

3 结论与讨论

昆虫趋光的本质是视觉感受器接受光波刺激后的行为反应（蔡侠，2014），是昆虫在长期的协同进化过程中形成的生物学习性之一（徐练，2016）。昆虫的驱光性分为正趋光性（简称趋光性）和负趋光性（简称避光性），昆虫对不同波长的光表现出的趋光性特色不同，如龟纹瓢虫 *Propylea japonica* Thunberg 成虫在 340 nm 处表现出较强的趋光反应（陈晓霞等，2009）；烟粉虱对黄色光具有较强的趋光性，而对蓝光具有较强的避光性（韩杜斌等，2021）。研究发现，绿色和蓝色 LED 灯可有效控制农业和贮藏害虫（Park and Lee，2017），蓝光对苗期黄瓜的生长发育具有较强的促进作用（邵久之等，2021），黄瓜瓜蚜对蓝光表现出较强的避光性，有翅蚜通过飞行逃离蓝光环境（郑佳寅等，2021），而本研究发现，黄瓜无翅瓜蚜则可以通过爬行入土或爬行远离蓝光环境，避开蓝光胁迫。

光的强度影响昆虫的趋光行为，例如，大草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur) 成虫趋光性反应率随光强增大而增大，而弱光时无趋光性行为（张海强等，2009）。但部分有多个敏感光波长的昆虫，其不同敏感光波长环境中的光反应还受光强度的影响，如烟盲蝽 *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) 成虫最敏感光谱有 4 个，波长分别是 504 nm、

568 nm、589 nm 和 628 nm，其中 568 nm 黄绿光趋光性最强的光强是 150 lux，而 628 nm 红光趋光性最强的光强是 50 lux（陈祯，2016）。本研究也发现，黄瓜上无翅瓜蚜迁移量与光强呈正相关。

不同昆虫对不同波长组合的复色光有不同的反应，如 350 nm 与 405 nm、436 nm 光波结合对烟青虫 *Heliothis assulta* Guenee 成虫诱集有增效作用，而与 578 ~ 656 nm 光波结合有干扰驱避作用（丁岩钦，1978）。本研究发现，在蓝光环境中花盆底部再增加黄光，黄瓜叶片上蚜虫迁出的数量较大幅度的增加。这可能是由于试验环境中，上部的蓝光与下部的黄光对蚜虫形成了一种“推 - 拉”复合作用，促进了蚜虫从黄瓜叶片上向外迁移。但黄、蓝两种颜色的灯光形成的复合光波对蚜是否还有干扰驱避作用还有待进一步的研究。

蓝光对蚜虫具有较强的驱避作用，同时对目标蔬菜的生长发育具有较好的安全性（邵久之等，2021），利用蓝光驱蚜虫将可以成为蔬菜蚜虫绿色防控的有效手段。由于蓝光照射后无翅蚜主要向土壤中迁移，而周边环境中的黄色可以提高无翅蚜虫的迁移速率和数量，因此，利用蓝光驱避蚜虫时可以在菜地的土表增加黄光，或在地面增加黄板的数量，以提高驱蚜的效果。

蓝光照射后晚上蚜虫迁移数量多，而白天自然光照条件下，蓝光的影响力显著下降。白天蚜虫的回迁情况如何？这一问题还有待于进一步研究。

参考文献 (References)

- Bian L, Sun XL, Gao Y, *et al.* Phototaxis mechanism of insects and its application [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2012, 49 (6): 1677–1686. [边磊, 孙晓玲, 高宇, 等. 昆虫光趋性机理及其应用进展 [J]. 应用昆虫学报, 2012, 49 (6): 1677–1686]
- Briscoe AD, Chittka L. The evolution of color vision in insects [J]. *Annual Review of Entomology*, 2001, 46: 471–510.
- Cai X. Phototaxis of Several Tea Pests [D]. Hangzhou: China Jiliang University, 2014. [蔡侠. 几种茶树害虫的趋光性研究 [D]. 杭州: 中国计量学院, 2014]
- Chen XR, Han DB, Wu XX, *et al.* Control effect of blue light on *Bemisia tabaci* in protected vegetables [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2021, 58 (5): 1159–1165. [陈向荣, 韩杜斌, 吴晓霞, 等. 蓝光对保护地蔬菜烟粉虱的控制作用 [J]. 应用昆虫学报, 2021, 58 (5): 1159–1165]
- Chen Z. Phototaxis of Insects and Ecological Impact of the Application of Armyworm Color Board [D]. Kunming: Yunnan University, 2016. [陈祯. 昆虫趋光特性与粘虫色板应用的生态影响 [D]. 昆明: 云南大学, 2016]
- Ding YQ. Studies on the phototaxis of *Spodoptera litura*: The response of adults to dichroic light and light intensity [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1978, 1: 1–6. [丁岩钦. 夜蛾趋光特性的研究: 烟青虫成虫对双色光与光强度的反应 [J]. 昆虫学报, 1978, 1: 1–6]
- Dong WJ. Effects of Different Light Sources on the Growth, Development and Reproduction of Five Insects [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018. [董婉君. 不同光源对五种昆虫生长发育和繁殖的影响研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2018]
- Gong ZF, Liu JQ, Guo C, *et al.* Two pairs of neurons in the central brain control *Drosophila* innate light preference [J]. *Science*, 2010, 330 (6003): 499–502.
- Han DB, Chen XR, Zhou FC, *et al.* Control effect of blue and yellow light combination on *Bemisia tabaci* in Greenhouse [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2021, 29 (5): 802–808. [韩杜斌, 陈向荣, 周福才, 等. 蓝光和黄光组合对设施黄瓜烟粉虱的控制作用 [J]. 中国生态农业学报, 2021, 29 (5): 802–808]
- Han DB, Chen XR, Zhou FC, *et al.* Control effect of blue light on *Bemisia tabaci* in vegetables [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32 (6): 2191–2198. [韩杜斌, 陈向荣, 周福才, 等. 蓝光对蔬菜烟粉虱的控制作用 [J]. 应用生态学报, 2021, 32 (6): 2191–2198]
- Hu ZL, Han CX, Tong JX, *et al.* Preliminary study on phototaxis of grasshopper [J]. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 1993, 3: 32–34, 51. [胡忠朗, 韩崇选, 同金侠, 等. 蚱蜢趋光性初步研究 [J]. 陕西林业科技, 1993, 3: 32–34, 51]
- Ismail MSM, AboGhalia AH, Soliman MFM, *et al.* Certain effects of different spectral colors on some biological parameters of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* [J]. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 2011, 3: 27–39.
- Le BE, Badia J. Decline in photopositive tendencies with age in *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae) [J]. *Journal of Insect Behavior*, 1995, 8 (6): 835–845.
- Le BE, Lints FA. Hypergravity and aging in *Drosophila melanogaster*. 4. Climbing activity [J]. *Gerontology*, 1992, 38 (1–2): 59–64.
- Li YY, Zhou XR, Pang BP, *et al.* Effects of host plants on life table parameters of experimental population of melon aphid [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24 (5): 1435–1438. [李艳艳, 周晓榕, 庞保平, 等. 寄主植物对瓜蚜实验种群生命表参数的影响 [J]. 应用生态学报, 2013, 24 (5): 1435–1438]
- Mori K, Nozawa M, Arai K, *et al.* Life-history traits of the acarophagous lady beetle, *Stethorus japonicus*, at three constant temperatures [J]. *Biocontrol*, 2005, 50: 35–51.
- Niu HL, Zhou Q. Study on spectrum and light intensity response behavior of locusts under photoelectric induction [J]. *Progress in Modern Biomedicine*, 2009, 9 (3): 466–469. [牛虎力, 周强. 光电诱导作用下蝗虫的光谱和光强反应行为研究 [J]. 现代生物医学进展, 2009, 9 (3): 466–469]
- Park Jun-Hwan, Lee Hoi-Seon. Phototactic behavioral response of agricultural insects and stored product insects to light-emitting diodes (LEDs) [J]. *Biological Chemistry*, 2017, 60 (2): 137–144.
- Sarah EA, Philip CS, Steven RB. Shades of yellow: Interactive effects of visual and odour cues in a pest beetle [J]. *PeerJ*, 2016, 4: e2219.
- Shao JZ, Han DB, Chen XR, *et al.* Effects of blue light on morphological and physiological characteristics of cucumber seedlings [J]. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 2021, 38 (4): 94–98. [邵久之, 韩杜斌, 陈向荣, 等. 蓝光对黄瓜苗期形态和生理特性的影响 [J]. 扬州大学学报 (农业与生命科学版), 2021, 38 (4): 94–98]
- Telles FJ, Lind O, Henze MJ, *et al.* Out of the blue: The spectral sensitivity of hummingbird hawkmoths [J]. *Journal of Comparative Physiology A*, 2014, 200: 537–546.
- Wilde JD. Photoperiodism in insects and mites [J]. *Annual Review of Entomology*, 1962, 7: 1–26.
- Wu FZ. Encyclopedia of Chinese Agriculture (Insect Volume) [M]. Beijing: Agricultural Press, 1990: 476. [吴福桢. 中国农业百科全书 (昆虫卷) [M]. 北京: 农业出版社, 1990: 476]
- Xu L. Phototaxis of Ladybug, Corn Borer and *Bemisia tabaci* [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2016. [徐练. 异色瓢虫、玉米螟和烟粉虱的趋光性研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016]
- Yan XH. Effects of Light Supplement Time and Light Quality on Growth and Photosynthetic Characteristics of Cucumber Seedlings in Greenhouse [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2016. [闫晓花. 补光时间及光质对温室黄瓜幼苗生长及光合特性的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016]
- Zheng JY, Han DB, Chen XR, *et al.* Control effect of blue light on cucumber aphid population in greenhouse [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2022, 44 (2): 462–467. [郑佳寅, 韩杜斌, 陈向荣, 等. 蓝光对设施黄瓜蚜虫种群的控制作用 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (2): 462–467]