



乔利, 金银利, 蒋月丽, 尹健, 耿书宝, 武予清. 光谱对小贯小绿叶蝉趋光行为的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (5): 1197–1204.

光谱对小贯小绿叶蝉趋光行为的影响

乔利¹, 金银利¹, 蒋月丽², 尹健¹, 耿书宝¹, 武予清^{2*}

(1. 信阳农林学院, 河南信阳 464000; 2. 河南省农业科学院, 郑州 450002)

摘要: 为了解小贯小绿叶蝉 *Empoasca onukii* Matsuda 对光的行为反应, 为茶园害虫综合治理提供新思路, 本研究利用光谱行为学, 采用 18 种 LED 单色光源对小贯小绿叶蝉的趋光行为进行了研究。结果显示, 小贯小绿叶蝉成虫对 18 个光源中的黄光 (590 ~ 595 nm) 趋向性相对较强, 其次为紫光 (420 ~ 425 nm), 对白色光源 (对照) 的趋向性最低。趋光性由大到小分别为黄光 (590 ~ 595 nm), 紫光 (420 ~ 425 nm), 紫外光 (390 ~ 395 nm), 蓝光 (460 ~ 465 nm)。忌避性较强的分别为橙光 (600 ~ 605 nm), 对照, 冰蓝青光 (490 ~ 495 nm), 绿光 (520 ~ 525 nm)。17 种光谱与对照光结合显示, 小贯小绿叶蝉对不同光谱的选择发生了变化, 更倾向于先择紫外光 (370 ~ 375 nm、380 ~ 385 nm、385 ~ 390 nm), 紫光 (420 ~ 425 nm), 其次为琥珀色光 (595 ~ 600 nm), 趋光率最低的为蓝光 (460 ~ 465 nm) 和红光 (660 ~ 665 nm)。双光谱结合时, 其选择随不同的结合而发生改变。黑暗、对照和光谱间相结合处理时, 白光结合下对光谱的选择趋向性显著高于黑暗条件, 两者间呈负相关。小贯小绿叶蝉对黄光 (590 ~ 595 nm) 和紫外光 (370 ~ 375 nm) 的趋向性较强, 而对橙光 (600 ~ 605 nm)、绿光 (520 ~ 525 nm) 和蓝光 (460 ~ 465 nm) 有显著的忌避性。可利用其对光谱的选择性, 在室内饲养或茶园防治中采用相应的光谱进行处理, 从而达到合理利用的目的。

关键词: 茶; 小贯小绿叶蝉; 光谱; 趋光率; 避光率

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 05-1197-08

Effects of spectra on phototactic behavior of the *Empoasca onukii* Matsuda

QIAO Li¹, JIN Yin-Li¹, JIANG Yue-Li², YIN Jian¹, GENG Shu-Bao¹, WU Yu-Qing^{2*} (1. Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang 464000, Henan Province, China; 2. Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: To understand the behavior response of *Empoasca onukii* Matsuda to light and provide new ideas for integrated pest control in tea garden, In this study, 18 LED monochromatic light sources were used to study the phototactic behavior of the *E. onukii*. The results showed that, the adults of *E. onukii* had relatively strong tendency to yellow light at 590 ~ 595 nm in 18 light sources, followed by purple light at 420 ~ 425 nm, and had the lowest tendency to white light (control). Phototaxis from large to small were respectively, the phototaxis of yellow light was 590 ~ 595 nm, purple light was 420 ~ 425 nm, ultraviolet light was 390 ~ 395 nm, and blue light was 460 ~ 465 nm. Orange light (600 ~ 605 nm), natural white, glacial blue-green light (490 ~ 495 nm) and green light (520 ~ 525 nm) were the most

基金项目: 河南省重点研发与推广专项 (科技攻关) (222102110109); 国家重点研发计划项目 (2016YFD0200900); 信阳农林学院青年教师科研基金资助项目 (2018LG003); 信阳市创新应用专项 (20200017)

作者简介: 乔利, 女, 博士, 副教授, 从事农业昆虫与害虫防治研究, E-mail: qiaoli@xyafu.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence: 武予清, 博士, 研究员, 研究方向为昆虫生态与害虫防治, E-mail: yuqingwu36@hotmail.com

收稿日期 Received: 2021-06-13; 接受日期 Accepted: 2021-07-28

avoidable. 17 spectra combined with natural white light were displayed that the selection of different spectra by *E. onukii* changed, and it was more inclined to choose ultraviolet light (370 ~ 375 nm, 380 ~ 385 nm, 385 ~ 390 nm), violet light (420 ~ 425 nm). The second was amber light (595 ~ 600 nm), the lowest phototaxis were blue light (460 ~ 465 nm) and red light (660 ~ 665 nm). The choice of bispectral combination changed with different combination. When the light was combined with darkness, CK and spectrum, the selectivity of white light was significantly higher than that of dark, and there was a negative correlation between them. *E. onukii* had strong tendency to yellow light (590 ~ 595 nm) and ultraviolet light (370 ~ 375 nm), but had significant aversion to orange light (600 ~ 605 nm), green light (520 ~ 525 nm) and blue light (460 ~ 465 nm). It could be used in indoor breeding or tea garden control by using its spectrum selectivity, so as to achieve the goal of reasonable utilization.

Key words: Tea; *Empoasca onukii* Matsuda; spectra; phototactic rate; photophobism rate

小贯小绿叶蝉 *Empoasca onukii* Matsuda 是茶叶生产中的重要害虫之一, 受害的茶叶叶片发黄枯萎, 导致茶树生长发育停滞, 甚至叶片脱落, 受危害的芽叶制成茶叶后易碎, 严重影响茶叶产量与品质 (王敏, 2016; 王海存等, 2020)。目前防治小贯小绿叶蝉的主要手段仍是化学农药, 但是化学农药的大量使用不仅会影响茶园环境, 还会降低茶叶品质 (陈晶等, 2018)。化学农药的过多使用, 污染环境, 对害虫天敌的影响较大, 还会引起害虫的抗药性 (罗宗秀等, 2018; 张方梅等, 2019), 生物防治因见效慢, 且易受天气和人为等因素的影响, 防治效果不稳定 (唐美君等, 2017; 张家侠等, 2018)。因此, 研究茶园害虫防治的新方法具有重要的现实意义。利用昆虫的趋/避光性对成虫进行灯光诱杀、驱赶或干扰其发育节律等措施, 减少其在田间的落卵量以避免其大量发生的方法为害虫防治提供了新思路 (桑文等, 2018; 刘倩等, 2019; 王飞凤等, 2020)。

昆虫对短波光或长波光均具有较强的趋性 (林闽等, 2007; 刘晓英等, 2009; Chen *et al.*, 2016; 陈祯和况荣平, 2020)。340 ~ 605 nm 波谱范围内, 西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* Pergande 对 380 nm、440 nm 和 498 ~ 524 nm 波长的光表现出趋光行为 (范凡等, 2012)。在 340 ~ 605 nm 波谱范围内, 二点委夜蛾 *Proxenus lepigone* Moschler 成虫的趋光率较高, 且对 360 nm 紫外光趋光性最强 (杨心月等, 2015)。紫光 and 蓝光组成的 LED 双光谱太阳能杀虫灯在 380 ~ 400 nm 波段对灰茶尺蠖 *Ectropis grisescens* Warren 诱杀量最多 (涂海华等, 2019)。也有研究表明光谱范围 350 nm、348 nm、452 nm 对灰茶尺蠖的诱杀效果最好 (王朝伟等,

2018)。Otieno 等 (Otieno *et al.*, 2018) 研究表明, LED 灯增强了蓝色粘胶诱捕器诱杀西花蓟马的效果。因此, 了解不同波长光谱对昆虫的影响, 为生产上运用灯光防治害虫提供依据。

关于小贯小绿叶蝉成虫更偏好哪种光源以及它们对不同单色波长的趋/避光行为目前尚无研究报道, 本研究利用光行为学方法, 研究小贯小绿叶蝉对 18 种不同波长单色光的行为反应及性别差异, 为其趋光性和光视觉的深入研究提供理论依据, 也为研发选择性强、干扰效率高的光谱进行综合防控提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验虫源与设备

小贯小绿叶蝉源来自于信阳市马鞍山茶园 (经度: 114.08, 纬度: 32.13), 于室内鲜叶继代饲养, 室内环境为温度 22℃ ~ 26℃、相对湿度 60% ~ 70%, 光周期为 12 L: 12 D。PM6612 数字照度计, 深圳市华谊智测科技股份有限公司; 反应装置参考乔利等改进而来 (乔利等, 2020): 原装置主要适用于鳞翅目成虫, 由于小贯小绿叶蝉成虫体积较鳞翅目成虫小, 根据需要缩小了趋光反应装置, 改进后装置体积为: 长 × 宽 × 高 = 44 cm × 29 cm × 13 cm, 趋光室和避光室均为: 长 × 宽 × 高 = 10 cm × 29 cm × 13 cm, 活动栖息室: 长 × 宽 × 高 = 24 cm × 29 cm × 13 cm。如图 1。

1.2 供试光源

18 种不同波长光谱的 LED 灯珠分别为: 橙光 (600 ~ 605 nm)、黄光 (590 ~ 595 nm)、绿光 (520 ~ 525 nm)、冰蓝青光 (490 ~ 495 nm)、蓝光

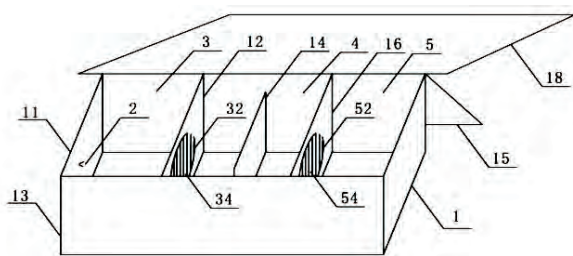


图1 反应观察装置

Fig.1 Device for testing behavior

注：1，箱体；2，光源；3，趋光反应室；4，栖息室；5，避光反应室；11，左侧面；12，前隔板；13，前侧面；14，挡光板；15，箱盖；16，后隔板；18，白纱布；32，趋光通孔；34，趋光通孔盖板；52，避光通孔；54，避光通孔盖板。Note: 1, Box body; 2, Light source; 3, Phototactic response chamber; 4, Inhabitation regions; 5, Photophobism response chamber; 11, Left side; 12, Separators; 13, Front side; 14, Dowser; 15, Box cover; 16, Aft bulkhead; 18, White gauze; 32, Phototactic response hole; 34, Phototactic cover plate; 52, Photophobism response hole; 54, Photophobism cover plate.

(460 ~ 465 nm)、紫外光 (370 ~ 375 nm)、紫光 (410 ~ 415 nm)、宝蓝光 (440 ~ 450 nm)、紫外光 (400 ~ 405 nm)、紫外光 (380 ~ 385 nm)、白色光 (CK)、红光 (620 ~ 625 nm)、植物红 (660 ~ 665 nm)、琥珀色 (595 ~ 600 nm)、紫光 (390 ~ 395 nm)、紫外光 (385 ~ 390 nm)、紫外光 (395 ~ 400 nm)、紫光 (420 ~ 425 nm)。光照强度为 50 ~ 100 Lx。本试验采用光源为常规光源，波长的波动范围为 5 ~ 10 nm (宝蓝光为 10 nm)，由深圳荣成微电子有限公司提供。

1.3 试验方法

该试验共分为 3 个处理。处理 1 于暗室中进行，分别选取小贯小绿叶蝉成虫，置于趋光行为反应装置的栖息活动室内，在每次单色光刺激前，将成虫置于暗室暗适应 1 h。每种单色光刺激时间为 15 min，重复 3 次，每次重复间隔 5 min，每次重复 20 头，为减少试验误差，每种单色光采用多组试虫，试虫不重复利用，经单色光刺激后，分别统计趋光室和避光室的试虫数，计算其趋光率。趋向率 (%) = 趋向反应室虫数 / 总虫数 × 100；避光率 (%) = 避光反应室虫数 / 总虫数 × 100。

处理 2 为 17 种光谱均与自然白结合，观察小贯小绿叶蝉成虫的趋向性，计算趋向率，方法同处理 1。

处理 3 将 5 种单色光源分别结合，共 10 组。光源颜色及波长分别为橙光、黄光、绿光、蓝光、紫外光。光源组合分别为：1. 橙黄：橙光 (光室 1)、黄光 (光室 2)；2. 橙绿：橙光 (光室 1)、绿光 (光室 2)；3. 橙蓝：橙光 (光室 1)、蓝光 (光室 2)；4. 橙紫：橙光 (光室 1)、紫外光 (光室 2)；5. 黄绿：黄光 (光室 1)、绿光 (光室 2)；6. 黄蓝：黄光 (光室 1)、蓝光 (光室 2)；7. 黄紫：黄光 (光室 1)、紫外光 (光室 2)；8. 绿蓝：绿光 (光室 1)、蓝光 (光室 2)；9. 绿紫：绿光 (光室 1)、紫外光 (光室 2)；10. 蓝紫：蓝光 (光室 1)、紫外光 (光室 2)。每个光室分别计算趋向率，方法同处理 1。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 软件和 SPSS 16.0 (SPSS Inc, Chicago, IL) 进行处理。不同光源处理间差异显著性采用 *F* 测验，多重分析采用 LSD 测验。处理间比较采用独立样本 *T* 检验。

2 结果与分析

2.1 趋光 - 黑暗处理行为反应

小贯小绿叶蝉的成虫趋光性主要表现为 3 个突出的峰。主峰位于黄光 590 ~ 595 nm，趋光率为 43.76%，次峰位于紫光 420 ~ 425 nm，趋光率为 40.52%，低于主峰峰值，方差分析与主峰趋光率处于同一水平，与其它处理均达差异达显著水平。第 3 峰位于紫光 390 ~ 395 nm，趋光率为 32.67%，与其它处理差异显著。此外还有 3 个较小的峰，分别位于蓝光 460 ~ 465 nm (28.37%)，紫光 370 ~ 375 nm (25.24%)，红光 660 ~ 665 nm (20.24%)，趋光值均在 20% 以上。趋光率最低的为橙光 600 ~ 605 nm 处 (8.17%)，与冰蓝青光 490 ~ 495 nm (10.22%) 和 CK (10.22%) 处于同一水平，与其它处理差异显著 (图 2)。

从小贯小绿叶蝉成虫的趋、避光反应曲线可以看出，避光反应曲线明显高于趋光反应曲线。曲线特点为多峰型，且各峰值间距离较近，主要表现为有 4 个较突出的峰。第 1 峰位于橙光 600 ~ 605 nm (93.26%)，第 2 峰位于 CK (90.57%)，第 3 峰位于冰蓝青光 490 ~ 495 nm (90.57%)，该 3 个峰除与绿光 520 ~ 525 nm (88.26%) 的峰值差异处于同一水平外，与其它处理均达差异显著水平 (图 2)。

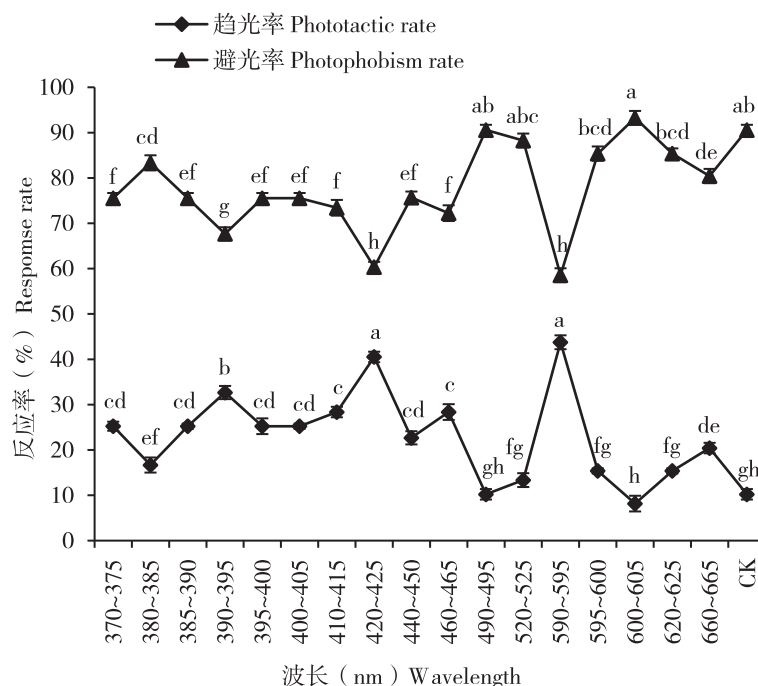


图2 光源-黑暗反应率曲线

Fig. 2 Light source-dark reactivity curve

注: 不同小写字母表示不同波长处理间差异显著 ($P < 0.05$, F 测验)。下同。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences under different wavelength treatments ($P < 0.05$, F test). The same below.

2.2 光谱-自然白光处理行为反应

在不同光谱与对照相结合时, 趋光谱率主要表现为3个较明显的峰。第1峰位于紫外光370~375 nm (75.24%) 和紫外光380~385 nm (75.33%) 处, 第2峰位于紫光420~425 nm (72.58%), 前两峰与紫外光385~390 nm (72.67%) 趋光率差异显著性处于同一水平, 与其它处于均达差异显著水平, 趋光率均在70%以上。第3峰位于琥珀光595~600 nm (63.42%) 处, 与紫外光395~400 nm、紫外光400~405 nm和紫光410~415 nm的趋光值处于同一水平, 均在60%以上。趋光率最低的为蓝光和460~465 nm和红光660~665 nm, 与其它处理均达差异显著水平(图3)。

小贯小绿叶蝉对自然白光的趋向性上, 主要表现为2个较突出的峰值。主峰位于红光660~665 nm (82.77%) 处, 与其它处理差异显著。次峰位于蓝光460~465 nm (70.21%) 处, 与其它处理均达差异显著水平。此外与冰蓝青490~495 nm和绿光520~525 nm结合时, 与对照的趋向率也较高, 均达到65.82%, 还有红光620~

625 nm (62.85%) 蓝光440~450 nm, 4个处理的趋光率与其它处理差异达显著水平(图3)。

2.3 双光谱处理行为反应

在两种组合光源处理下, 小贯小绿叶蝉成虫的趋性变化明显, 两种光源的峰值呈负相关。处理室1, 最大值位于橙-紫结合的橙光处, 与其它处理差异呈显著水平。其次为位于绿-蓝结合的绿光处, 与橙-黄(38.24%)和橙-绿(37.67%)光结合的橙光值差异显著性表现为无差异。以绿-紫外光结合时, 绿光的趋向率最低, 仅为22.67%, 与其它处理差异显著。其它均处于同等水平(表1)。

处理室2的趋光率均高于处理室1, 主要表现为3个较突出的值。首先是位于绿-紫结合的紫光室(75.83%), 其次为黄-紫结合的紫外光室(72.58%), 二者的趋光率无差异, 均与其它处理差异显著。第3则位于橙-蓝结合的蓝光处理室(66.75%), 与其它4个处理(橙-黄、橙-绿、黄-蓝和蓝-紫)差异显著性处于同一水平(表1)。

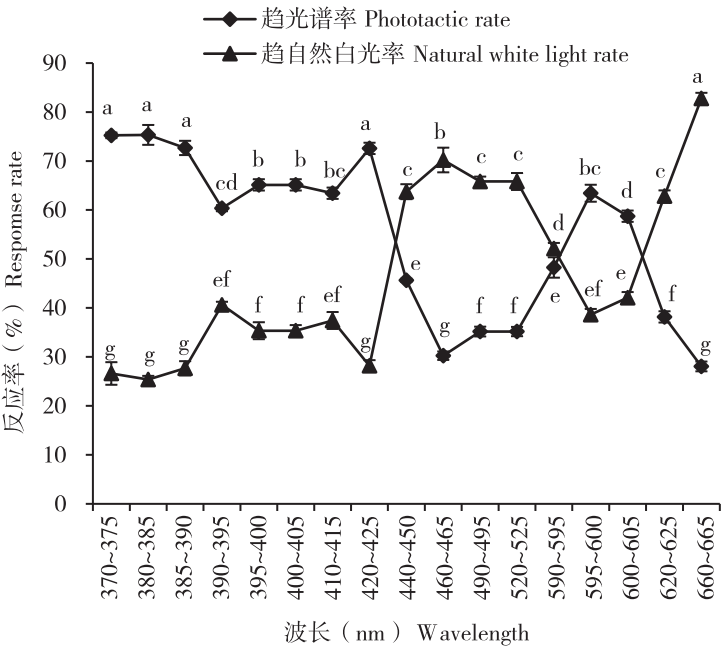


图3 光谱-自然白光反应率曲线
Fig.3 Spectral-natural white light reactivity curve

表1 双光谱反应差异显著性分析
Table 1 Significance analysis of the bispectrum reactivity

光源组合 Light combination	趋光率 1 (%) Phototactic rate 1	趋光率 2 (%) Phototactic rate 2
橙 - 黄 Orange-yellow	38. 24 ± 1. 17 bed	62. 04 ± 1. 15 bed
橙 - 绿 Orange-green	37. 67 ± 1. 52 bed	62. 67 ± 1. 45 bed
橙 - 蓝 Orange-blue	32. 69 ± 1. 44 d	66. 75 ± 0. 88 b
橙 - 紫 Orange-purple	47. 77 ± 1. 31 a	51. 52 ± 0. 81 e
黄 - 绿 Yellow-green	42. 74 ± 1. 45 b	57. 82 ± 1. 66 d
黄 - 蓝 Yellow-blue	37. 26 ± 1. 15 cd	63. 37 ± 1. 12 bed
黄 - 紫 Yellow-purple	28. 35 ± 1. 05 e	72. 58 ± 1. 17 a
绿 - 蓝 Green-blue	40. 55 ± 1. 12 bc	60. 45 ± 1. 54 cd
绿 - 紫 Green-purple	22. 67 ± 1. 45 f	75. 83 ± 2. 33 a
蓝 - 紫 Blue-purple	35. 62 ± 0. 58 cd	65. 46 ± 1. 13 bc

注：趋光率 1 指橙光反应室（光室 1）内的成虫数量/反应总虫数×100%；趋光率 2 指黄光反应室（光室 2）内成虫数量/反应总虫数×100%。Note: Phototactic rate 1 referred to 100% of the total number of adult/total number of adult in the orange light reaction chamber (1). Phototactic rate 2 referred to 100% of the total number of adult/total number of adult in yellow light reaction chamber (2).

2.4 光谱行为反应的差异性

17 种光谱分别于黑暗和对照相结合时，小贯小绿叶蝉对光谱的选择也发生了变化，主要表现为与对照结合下对光谱的趋向率高于与黑暗相结

合。除对蓝光 460 ~ 465 nm、黄光 590 ~ 595 nm 和红光 660 ~ 665 nm 的选择差异显著性处于同一水平外，其它处理均表现为与对照结合下对光谱的选择趋向性显著高于和黑暗条件相结合（表 2）。

表 2 组合处理光谱反应率差异显著性分析

Table 2 Significance analysis of the combined spectra reactivity

波长 (nm) Wavelength	光谱 - 黑暗处理 (%) Spectral-dark light	光谱 - 自然白处理 (%) Spectral-natural white light
370 ~ 375	25.24 ± 1.00 B	75.24 ± 0.58 A
380 ~ 385	16.68 ± 1.67 B	75.33 ± 2.03 A
385 ~ 390	25.24 ± 0.58 B	72.67 ± 1.45 A
390 ~ 395	32.67 ± 1.45 B	60.37 ± 0.62 A
395 ~ 400	25.24 ± 1.73 B	65.13 ± 1.15 A
400 ~ 405	25.24 ± 0.58 B	65.13 ± 1.15 A
410 ~ 415	28.37 ± 1.15 B	63.42 ± 1.15 A
420 ~ 425	40.52 ± 1.15 B	72.58 ± 1.15 A
440 ~ 450	22.68 ± 1.45 B	45.64 ± 0.33 A
460 ~ 465	28.37 ± 1.73 A	30.25 ± 0.87 A
490 ~ 495	10.22 ± 1.15 B	35.18 ± 1.00 A
520 ~ 525	13.35 ± 1.53 B	35.18 ± 0.95 A
590 ~ 595	43.76 ± 1.53 A	48.26 ± 2.08 A
595 ~ 600	15.38 ± 0.58 B	63.42 ± 1.73 A
600 ~ 605	8.17 ± 1.73 B	58.73 ± 1.15 A
620 ~ 625	15.38 ± 0.58 B	38.17 ± 1.15 A
660 ~ 665	20.42 ± 1.15 A	28.06 ± 1.00 A

注：同行数据后不同大写字母表示不同波长间差异显著 ($P < 0.05$, T 测验)。Note: Different capital letters showed significant difference between different wavelength ($P < 0.05$, T test).

3 结论与讨论

利用昆虫趋光特性诱杀农田害虫，是一种便捷有效的防治措施，既节能环保又可直接把害虫消灭在大发生之前（周向平等，2012）。本研究发现，小贯小绿叶蝉成虫对 18 个纯色光源中的黄光（590 ~ 595 nm）趋向性相对较强，其次为紫光（420 ~ 425 nm），而对橙光（600 ~ 605 nm）、绿光（520 ~ 525 nm）的忌避性较强。该研究结果与二点委夜蛾雌、雄成虫对紫光、灰茶尺蠖成虫雌雄成虫均对紫光有较高的趋向一致，而与其对橙光、绿光与较高的趋向性较强存在差异（杨心月等，2015；乔利等，2020），分析其原因可能与不同昆虫对光的趋向性不同有关。

17 种光谱与对照结合时，小贯小绿叶蝉对不同光谱的选择发生了变化，更倾向于先择紫外光（370 ~ 375 nm、380 ~ 385 nm、385 ~ 390 nm），紫光（420 ~ 425 nm），其次为琥珀色光（595 ~

600 nm），该表现与小贯小绿叶蝉畏光习性一致，对自然白光的忌避性最高。趋光率最低的为蓝光（460 ~ 465 nm）和红光（660 ~ 665 nm）。双光谱结合时，其选择随不同的结合而发生改变。黑暗、对照和光谱间相结合处理时，白色光结合下对光谱的选择趋向性显著高于黑暗条件，两者间呈负相关。

单纯的夜间灯光照射（特别是白光或绿光）不仅能对茶小绿叶蝉的种群数量产生影响，并且能推迟叶蝉暴发的时间，结合本研究结果，可利用小贯小绿叶蝉对光谱的趋向和忌避性，在室内饲养或茶园防治中采用相应的光谱进行处理，从而达到引诱或驱逐的目的（施龙清，2016）。同时，在茶园进行应用时还应考虑灰尺蠖对光谱的趋避性，在其发生高峰期应用，以达到最佳防效。

在茶叶生产中，频振灯、LED 灯等诱杀方式多样（边磊等，2018），不仅可以监测害虫种群动态的发展趋势，还可以对害虫进行有效防控。目前生产上常用的诱虫灯大多是混合连续光源，虽

然在害虫监测和诱杀上有较好效果,同时也对天敌等非靶标昆虫造成一定危害(杨心月等, 2015)。采用蓝光、黄光、绿光分别对茶小绿叶蝉的卵进行照射,研究光对其卵孵化的影响,结果表明蓝光可使其卵的孵化量显著降低,光对茶小绿叶蝉的防治作用不仅限于诱杀,通过单纯光照控制茶小绿叶蝉种群数量具有潜在的应用价值(陈伟忠等, 2016)。因此,根据害虫发生的特定敏感光谱设计研发专用的光谱灯具有较大的现实意义。本研究中,仅将 17 种单色光谱分别与白色光相结合进行处理,发现小贯小绿叶蝉对不同光谱的选择发生了变化,推测黑暗(晚上)或者白天可以影响小贯小绿叶蝉对光谱的选择性,具体原因有待通过趋光节律等试验深入研究。

参考文献 (References)

- Bian L, Su L, Cai DX. Application technology of natural enemy friendly LED insecticide lamp [J]. *China Tea*, 2018, 40 (2): 5–8. [边磊, 苏亮, 蔡顶晓. 天敌友好型 LED 杀虫灯应用技术 [J]. 中国茶叶, 2018, 40 (2): 5–8]
- Chen J, Zhu QB, Huang M, et al. Recognition of *Empoasca flavescens* based on machine vision [J]. *Laser and Optoelectronics Progress*, 2018, 55 (1): 348–355. [陈晶, 朱启兵, 黄敏, 等. 基于机器视觉的茶小绿叶蝉识别方法研究 [J]. 激光与光电子学进展, 2018, 55 (1): 348–355]
- Chen WZ, Huang HS, Chen XH, et al. Effect of light on the hatching of the *Empoasca onukii* Matsuda eggs in tea garden [J]. *Newsletter of Sericulture and Tea*, 2016, 4: 22–24. [陈伟忠, 黄伙水, 陈秀辉, 等. 光对茶园小贯小绿叶蝉卵孵化的影响 [J]. 蚕桑茶叶通讯, 2016, 4: 22–24]
- Chen Z, Kuang RP. Spectral sensitivity and response to light intensity of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. *Journal of Plant Protection*, 2020, 47 (1): 209–210. [陈祯, 况荣平. 烟粉虱成虫对不同单色光和光强度的趋性反应 [J]. 植物保护学报, 2020, 47 (1): 209–210]
- Chen Z, Xu R, Kuang RP, et al. Phototactic behaviour of the parasitoid *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2016, 26 (2): 250–262.
- Fan F, Ren HM, Lv LH, et al. Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (6): 1790–1795. [范凡, 任红敏, 吕利华, 等. 光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响 [J]. 生态学报, 2012, 32 (6): 1790–1795]
- Lin M, Yao BY, Zhang YH, et al. The studies of solar LED lights for killing worms [J]. *Renewable Energy Resources*, 2007, 25 (3): 79–80. [林闽, 姚白云, 张艳红, 等. 太阳能 LED 杀虫灯的研究 [J]. 可再生能源, 2007, 25 (3): 79–80]
- Liu Q, Gao HH, Liu S, et al. A comparative study on the phototaxis behaviors of *Drosophila suzukii* and *D. melanogaster* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2019, 46 (2): 499–500. [刘倩, 高欢欢, 刘莎, 等. 光谱对斑翅果蝇和黑腹果蝇成虫趋光行为的影响 [J]. 植物保护学报, 2019, 46 (2): 499–500]
- Liu XY, Jiao XL, Guo SR, et al. Experiment of light emitting diode catching insect lamp on phototaxis of *Drosophila* [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40 (9): 178–180. [刘晓英, 焦学磊, 郭世荣, 等. 基于 LED 诱虫灯的果蝇趋光性实验 [J]. 农业机械学报, 2009, 40 (9): 178–180]
- Luo ZX, Su L, Li ZQ, et al. Field application technology of sex pheromone on *Ectopis grisescens* [J]. *Journal of Tea Science*, 2018, 38 (2): 140–145. [罗宗秀, 苏亮, 李兆群, 等. 灰茶尺蠖性信息素田间应用技术研究 [J]. 茶叶科学, 2018, 38 (2): 140–145]
- Otieno JA, Stukenberg N, Weller J, et al. Efficacy of LED-enhanced blue sticky traps combined with the synthetic lure lurem-TR for trapping of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* [J]. *Journal of Pest Science*, 2018, 91 (4): 1301–1314.
- Qiao L, Hong F, Jin YL, et al. Effects on the photoreaction behavior of *Ectopis grisescens* Warren to different light spectrum [J]. *Journal of Tea Science*, 2020, 40 (5): 617–624. [乔利, 洪枫, 金银利, 等. 光谱对灰茶尺蠖成虫光反应行为的影响, 茶叶科学, 2020, 40 (5): 617–624]
- Sang W, Cai FY, Wang XP, et al. Application status and prospects of insect trapping lamp in fields [J]. *China Plant Protection*, 2018, 38 (10): 26–30. [桑文, 蔡夫业, 王小平, 等. 农用诱虫灯田间应用现状与展望 [J]. 中国植保导刊, 2018, 38 (10): 26–30]
- Shi LQ. Identification of the Tea Green Leafhopper in Fujian, China, and its Behavioral Responses to Varying Light Conditions [D]. Fujian Agriculture and Forestry University, 2016. [施龙清. 福建茶小绿叶蝉种类鉴定及其对光的行为响应 [D]. 福州: 福建农林大学, 2016]
- Tang MJ, Guo HW, Ge CM, et al. Pathogenic characters of *Ectopis obliqua nucleopolyhedro viruses* on *Ectopis grisescens* Warren and screening of high efficient strain [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2017, 29 (10): 1686–1691. [唐美君, 郭华伟, 葛超美, 等. EoNPV 对灰茶尺蠖的致病特性及高效毒株筛选 [J]. 浙江农业学报, 2017, 29 (10): 1686–1691]
- Tu HH, Hu XX, Mao Y, et al. Development and application of the dual spectrum LED insecticidal lamp for tea garden dedicated [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47 (3): 114–117. [涂海华, 胡秀霞, 毛宇, 等. 双光谱 LED 茶园专用杀虫灯的研制与应用 [J]. 安徽农业科学, 2019, 47 (3): 114–117]
- Wang CW, Yang YQ, Qian LJ, et al. Trapping effect of different light sources from frequency trembler grid lamp on major insects in tea fields of southern Anhui [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2018, 45 (5): 790–795. [王朝伟, 杨云秋, 钱六九, 等. 不同频振光源对皖南茶园主要昆虫的诱集效果 [J]. 安徽农业大学学报, 2018, 45 (5): 790–795]
- Wang FF, Wang Y, Chen YC, et al. Phototaxis of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) to LED lights [J]. *Journal of*

- Environmental Entomology*, 2020, 42 (1): 187–192. [王飞凤, 王也, 陈雨晨, 等. 柑橘木虱成虫趋光行为反应 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (1): 187–192]
- Wang HC, Li WF, Li SM, *et al.* Green control technology of green leafhopper in Shangluo tea garden [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 66 (4): 96–97. [王海存, 李卫芳, 李书民, 等. 商洛茶园小绿叶蝉的绿色防控技术 [J]. 陕西农业科学, 2020, 66 (4): 96–97]
- Wang M. Effects of Different Damage Degree of Green Leafhopper on Tea Quality [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016. [王敏. 小绿叶蝉不同为害程度对茶叶品质的影响 [D]. 广州: 华南农业大学, 2016]
- Yang XY, Fan F, Chen J, *et al.* Effects of spectral sensitivity on the phototaxis of *Athetis lepigone* adults [J]. *Journal of Plant Protection*, 2015, 42 (6): 1009–1013. [杨心月, 范凡, 陈洁, 等. 光谱对二点委夜蛾成虫趋光行为的影响 [J]. 植物保护学报, 2015, 42 (6): 1009–1013]
- Zhang JX, Sun QY, Ge CM, *et al.* The attractivity and predictive effect of four kinds of sex attractants on the inchworm in tea plantation [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 20: 86–88. [张家侠, 孙钦玉, 葛超美, 等. 4种性诱剂诱芯对茶园尺蠖的引诱与预测效果 [J]. 江苏农业科学, 2018, 20: 86–88]
- Zhang FM, Liu SH, Chen LJ, *et al.* Fumigant activity of chenopodium ambrosioides oil and its effects on acetylcholinesterase and carboxylesterase in *Ectropis grisea* [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (4): 13–16, 43. [张方梅, 刘书含, 陈利军, 等. 土荆芥精油对灰茶尺蠖幼虫的熏蒸活性及对其体内两种酶活性的影响 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39 (4): 13–16, 43]
- Zhou XP, Jiang DZ, Shen L, *et al.* Controlling effect of solar trapping lamp on tobacco pests [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2012, 19: 90–92. [周向平, 蒋笃忠, 沈力, 等. 太阳能诱虫灯诱杀烟草害虫的效果研究 [J]. 湖南农业科学, 2012, 19: 90–92]