

光波长、刺激时长和性别结构对龟纹瓢虫趋光性的影响

黄彤彤 李梦瑶 杨小凡 范 凡 苑士涛* 魏国树*

(河北农业大学植物保护学院, 保定 071000)

摘要: 为揭示天敌昆虫趋光性中光源因子与虫源因子的作用, 采用室内多向行为选择方法研究光波长、刺激时长和性别结构对龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 趋光性的影响。结果显示: 在 365~630 nm 波长范围内, 光波长对龟纹瓢虫雌雄性比为 1:1 的两性种群的趋光性有显著影响, 其对 365 nm 处紫外光的趋光率最高, 为 27.90%; 对 625~630 nm 处红光的趋光率最低, 为 6.50%。在 120 min 范围内, 光刺激时长对龟纹瓢虫雌雄性比为 1:1 的两性种群的趋光性有显著影响, 且该影响与光波长有关。利用紫外光刺激龟纹瓢虫雌雄性比为 1:1 的两性种群 5 min 时的趋光率 (41.07%) 显著高于其它刺激时长处理, 且其它处理之间均无显著差异。随着光刺激时长的增加, 龟纹瓢虫雌雄性比为 1:1 的两性种群对紫外光、蓝光短波长的趋光率降低, 对红光和黑暗处理的趋光率增加。在紫外光、蓝光、绿光及橙光处理下性别结构对龟纹瓢虫有显著影响, 雌性单性种群偏嗜紫外光和绿光; 雄性单性种群偏嗜绿光和橙光; 雌雄性比为 1:1 的两性种群偏嗜紫外光、蓝光和橙光。表明光波长是龟纹瓢虫趋光性的核心诱因, 性别结构及光刺激时长具有重要的协同调控作用。

关键词: 龟纹瓢虫; 趋光性; 波长; 刺激时长; 性别结构; 天敌

Effects of wavelength, duration of light stimulation and gender structure on the phototaxis of ladybird beetle *Propylea japonica* (Thunberg)

Huang Tongtong Li Mengyao Yang Xiaofan Fan Fan Yuan Shitao* Wei Guoshu*

(College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei Province, China)

Abstract: In order to reveal the role of light source and insect source in the phototaxis of natural enemy, the effects of light wavelength, duration of light stimulation and gender structure on the phototaxis of ladybird beetle *Propylea japonica* were studied by using the method of indoor multi-directional behavior selection. The results showed that, within the wavelength range from 365 nm to 630 nm, the wavelength of light had a significant effect on the phototaxis of *P. japonica*, with a sex ratio of 1:1. The phototactic rate of *P. japonica* to UV (365 nm) was the highest (27.90%) and to red light (6.50%) the lowest. Within 120 min of light stimulation, the stimulation duration had a significant effect on the phototaxis of the female and male (1:1) of *P. japonica*, which was related to the wavelength factor. There was a significant difference only at 5 min (41.07%) in UV treatment and no obvious difference in other treatments. With the increase of stimulus duration, the phototaxis to UV and short wavelength of blue light decreased, while that to red light and dark treatment increased. Gender structure was significantly different under four wavelengths: UV, blue, green, and orange light. Female monosexual population biased toward UV and green; male monosexual population biased toward green and orange; male and female population (1:1) was sexually sensitive to ultraviolet, blue and orange. The results indicated that the wavelength was

the core cause of the phototaxis in *P. japonica* and the gender structure as well as the stimulation duration took important synergistic effects.

Key words: *Propylea japonica*; phototaxis; wavelength; stimulation duration; gender structure; natural enemy

龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 属鞘翅目瓢甲科龟纹瓢虫属,广泛分布于中国、日本、印度、俄罗斯等国家,在我国大部分地区均有分布(桂承明和曹义山, 1984; Zhang et al., 2014),是多种农、林生态系统的捕食性天敌优势种(李凯, 2010; 胡道武等, 2018),可捕食蚜虫、多种幼龄害虫和卵等(戈峰和丁岩钦, 1995; 张世泽等, 2004)。由于龟纹瓢虫年发生世代多,食量大,产卵量多且对温湿度适应性较强(魏建华和冉瑞碧, 1983),在害虫生物防治中具有较大的应用潜力。

利用物理灯光防治害虫已有 70 多年的历史(Frost, 1957; 胡成志等, 2008),但在实践中发现诱虫灯在诱杀害虫的同时也会杀伤大量昆虫天敌,极大限制了其在害虫监测和高效防控中的作用(鞠倩等, 2010)。目前,频振式、多光谱、LED 多光谱杀虫灯诱杀昆虫益害比分别为 1:16.39、1:28.57、1:21.80(张大为等, 2018);在惠州市十字花科蔬菜田中,诱虫灯下的鞘翅目天敌大红瓢虫 *Rodolia rufopilosa* 和六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculata* 共占天敌总数的 18.4%(钟平生等, 2009);在苜蓿、玉米及大豆田中,黑光灯下瓢虫占非靶标昆虫的 30%(Nabli et al., 1999)。因此,了解特定天敌优势种的敏感波长及其性别结构等虫源因子的影响,成为减少诱虫灯杀伤天敌的关键。邵英等(2013)研究发现,捕食性天敌黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 对蓝光(455~458 nm)较敏感;Lobdell et al.(2005)认为寄生性天敌玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostrinae* 较偏好黄色;吕飞等(2016)研究结果显示,在鞘翅目中黑绒鳃金龟甲成虫 *Serica orientalis* 的敏感光谱在紫光区 400 nm 与 420 nm 处。昆虫的性别同样也是影响趋光性的因素之一,振频式杀虫灯诱杀水稻二化螟 *Chilo suppressalis* 的雌雄比为 6.53:1.00(张天才和黄丕娇, 2005)。

由于诱虫灯多在夜间发挥作用,因此本试验采用多向行为选择方法系统比较研究夜间 LED 光波长、刺激时长及性别结构对龟纹瓢虫种群趋光性的影响,明确昆虫趋光性中光源因子、虫源因子的作用,以期研发靶标精准的天敌友好型诱虫光源提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源:龟纹瓢虫成虫于试验当日 7:00—8:00 采集于河北农业大学西校区玉米试验田,置于自然光照下饲喂当日田间 7:00—8:00 采集的新鲜豆蚜 *Aphis craccivora* 及白杨毛蚜 *Lipaphis erysimi*,并补充 40% 糖水。对采集的龟纹瓢虫成虫进行性别鉴定,挑选健康成虫供试。

仪器:LED 灯,广州市松华光电有限公司;TES-139 照度计,泰仕电子工业股份有限公司;趋光行为试验装置是利用有机玻璃设计制作的多向趋光行为选择装置,分为中央试虫活动室(图 1-a)与选择室(图 1-b~i),外部趋光室下侧有 8 cm 小口供试虫进入,试虫活动室用于释放试虫并作为其活动空间,趋光选择室顶部悬挂不同波长的 LED 灯来提供光刺激。各趋光选择室外壁透明,以便于观察,其余部分贴有不透明卡纸,避免不同 LED 灯之间相互干扰。

1.2 方法

1.2.1 光波长对龟纹瓢虫趋光性的影响测定

试验采用龟纹瓢虫雌雄性比为 1:1 的两性种群进行。试验于 20:00—22:00 时间段在暗室进行,暗室温度为 28℃、相对湿度为 60%。选取红光(625~630 nm)、橙光(600~605 nm)、黄光(590~595 nm)、绿光(525~530 nm)、蓝光(455~460 nm)、紫光(435~445 nm)、紫外光(365 nm) 7 种不同波长的 LED 光源和黑暗共 8 个处理。每次试验时 LED 灯的位置随机排列。试验开始前,调节各趋光选择室中 LED 灯的高度,通过照度计测量,使底部光强均保持 100 lx。将健康试虫置于试虫活动室内,每处理试虫 60 头,雌雄各 30 头,重复 15 次,试虫不重复使用。不同波长 LED 光源持续照射 120 min 后统计各趋光选择室中的成虫数量,并计算趋光率和理论平均趋光率,趋光率=(趋光选择室虫数/试虫总数-试虫活动室虫数)×100%;理论平均趋光率=1/趋光选择室个数×100%。

1.2.2 光刺激时长对龟纹瓢虫趋光性的影响测定

试验采用龟纹瓢虫雌雄性比为 1:1 的两性种群进行。试验于 20:00—22:00 时间段在暗室进行,暗室温度为 28℃、相对湿度为 60%。设置与 1.2.1 相同的 8 个处理,试验条件亦相同。将健康试虫置于试

虫活动室内,每处理试虫60头,雌雄各30头,重复15次,试虫不重复使用。不同波长LED光源持续照射120 min,分别统计5、15、30、45、60、75、90、105、120 min光刺激时间节点下各趋光选择室的成虫数量,并计算趋光率和理论平均趋光率。

1.2.3 性别结构对龟纹瓢虫趋光性的影响测定

试验采用龟纹瓢虫雌、雄单性种群及雌雄性比

为1:1的两性种群,于20:00—22:00时间段在暗室中进行,暗室温度为28℃、相对湿度为60%。设置与1.2.1相同的8个处理,试验条件亦相同。将健康试虫置于试虫活动室内,每处理试虫60头,两性种群雌雄各30头,重复15次,试虫不重复使用。不同波长LED光源持续照射120 min后统计各趋光选择室的成虫数量,并计算趋光率和理论平均趋光率。

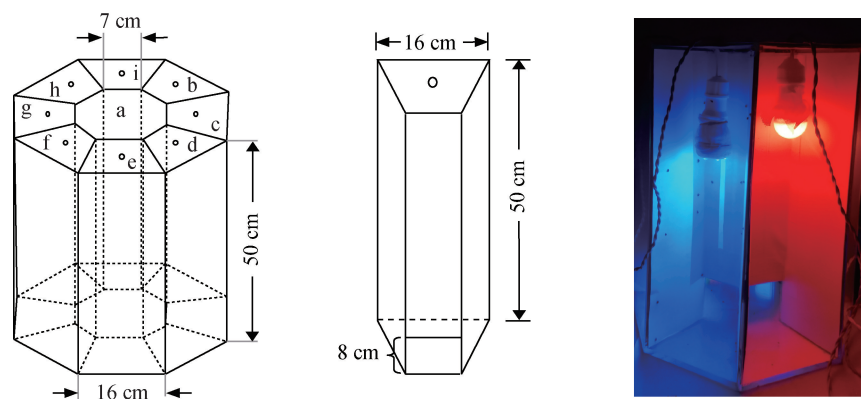


图1 多向趋光行为选择装置示意图与实物图

Fig. 1 The multiple choice device for phototactic behavior

a: 试虫活动室; b~i: 趋光选择室。a: Releasing and activity room; b~i: choice room.

1.3 数据分析

试验数据采用SPSS 19.0软件进行统计分析,光源因子分析应用卡方检验法,虫源因子及刺激时长分析应用单因素方差分析法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 光源因子对龟纹瓢虫趋光性的影响

2.1.1 光波长对龟纹瓢虫趋光性的影响

夜间光刺激120 min时,龟纹瓢虫雌雄性比为1:1

的两性种群对不同波长光源的趋光率存在显著差异,其中对紫外光的趋光率为27.90%,显著高于其它波长处理,对红光的趋光率最低,仅为6.50%。其余各波长光源处理下龟纹瓢虫的趋光率由高到低依次为蓝光(16.69%)、黄光(11.21%)、橙光(10.96%)、紫光(9.68%)、绿光(9.30%)、黑暗(7.77%)(图2)。表明以紫外光、短波蓝光为主要成分的诱虫灯对龟纹瓢虫的诱杀概率较高,这极可能是诱虫灯杀伤天敌的根本原因。

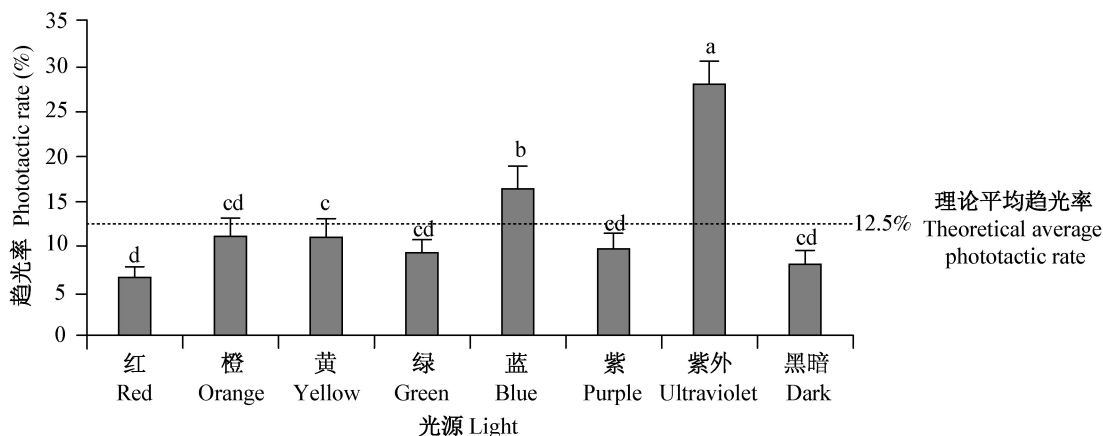


图2 在20:00—22:00时间区段不同波长光对龟纹瓢虫趋光性的影响

Fig. 2 Phototaxis of *Propylea japonica* to different wavelengths of light at 20:00–22:00

图中数据为平均数+标准误。不同字母表示经卡方检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean+SE. Different letters indicate significant difference at $P<0.05$ level by chi-square test.

2.1.2 光刺激时长对龟纹瓢虫趋光性的影响

自然节律的夜间光刺激时长影响龟纹瓢虫对不同波长光源的选择。在紫外光(365 nm)刺激下,光刺激时长对龟纹瓢虫的趋光性有显著影响。龟纹瓢虫在光刺激30 min以内对紫外光的趋光性有显著差异,刺激时长为5 min时的趋光率最高,为41.07%,刺激时长为15 min时的趋光率为35.46%,刺激时长为30 min时的趋光率为31.55%,在刺激时长为30~120 min间的趋光率无显著差异(图3-A)。在其它波长光刺激下,随着光刺激时长的增加,龟纹瓢虫的趋光率均无显著差异。

龟纹瓢虫的趋光性在不同波长光源下呈现不同趋势。在蓝光下,随着光刺激时长的增加,龟纹瓢虫的趋光率降低,当刺激时长为5 min时龟纹瓢虫的

趋光率最高,为18.75%,刺激时长为120 min时的趋光率最低,为16.69%(图3-B)。在红光及黑暗条件下,随着光刺激时长的增加,龟纹瓢虫的趋光率增加;红光下刺激时长为5 min时龟纹瓢虫的趋光率最低,为3.19%,刺激时长为120 min时的趋光率最高,为6.75%(图3-C);黑暗条件下刺激时长为5 min时龟纹瓢虫的趋光率最低,为5.61%,刺激时长为120 min时的趋光率最高,为7.77%(图3-D)。表明光刺激时长影响龟纹瓢虫对趋光性的选择,且该影响与光的波长有关。在短波长紫外光、蓝光刺激下龟纹瓢虫的趋光率随着刺激时长的增加而减少,在长波长红光及黑暗条件下龟纹瓢虫的趋光率随着刺激时长的增加而增加。

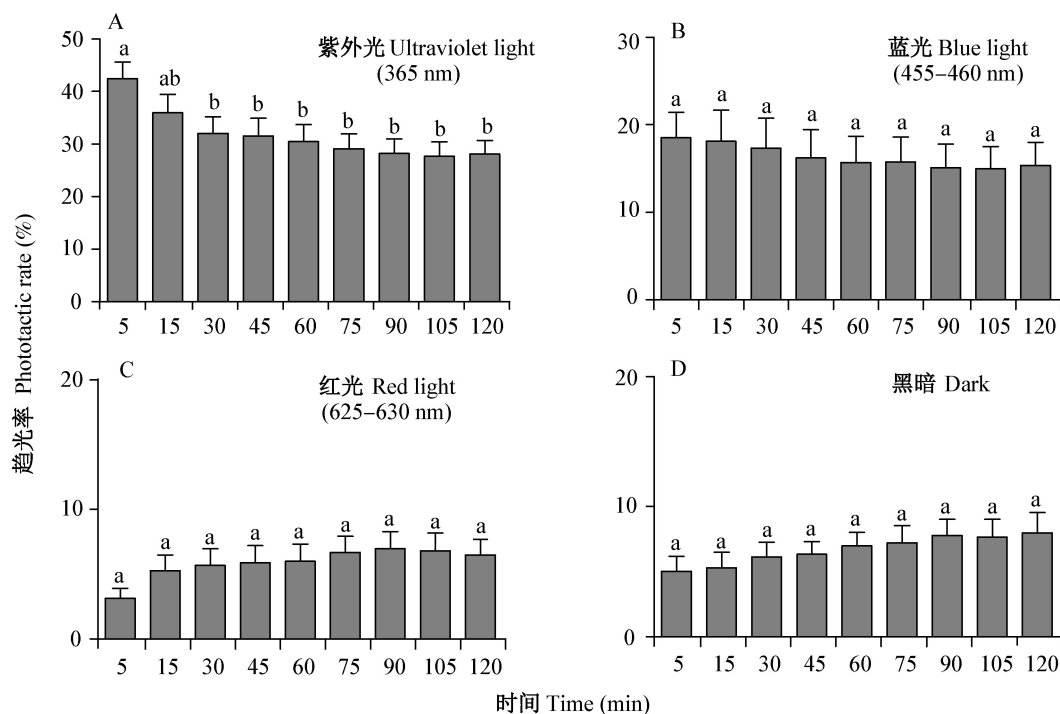


图3 在20:00—22:00时间区段不同波长光刺激时长对龟纹瓢虫趋光性的影响

Fig. 3 Phototaxis of *Propylea japonica* to different stimulation durations of light at 20:00—22:00

图中数据为平均数+标准误。不同字母表示经单因素方差分析法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean+SE. Different letters indicate significant difference at $P<0.05$ level by one-way analysis of variance test.

2.2 性别结构对龟纹瓢虫趋光性的影响

在7种不同波长光源处理中,不同性别结构的龟纹瓢虫对紫外光、蓝光、绿光、橙光的趋光率有显著影响。紫外光处理下,雌性单性种群(28.55%)与雌雄性比为1:1两性种群(27.90%)的趋光率显著高于雄性单性种群(22.94%)(图4-A);蓝光处理下,3个种群间的趋光率均有显著差异,从高到低依次为,雌雄性比为1:1两性种群(16.69%)、雄性单性种

群(13.02%)、雌性单性种群(8.34%)(图4-B);绿光处理下,单性种群的趋光率(雄:15.51%;雌:15.34%)显著高于雌雄性比为1:1两性种群(9.30%)(图4-C);橙光处理下,雄性单性种群(11.34%)与雌雄性比为1:1两性种群(10.96%)的趋光率显著高于雌性单性种群(6.65%)(图4-D)。表明性别结构对龟纹瓢虫的趋光行为有显著影响,且该影响与光的波长有关。

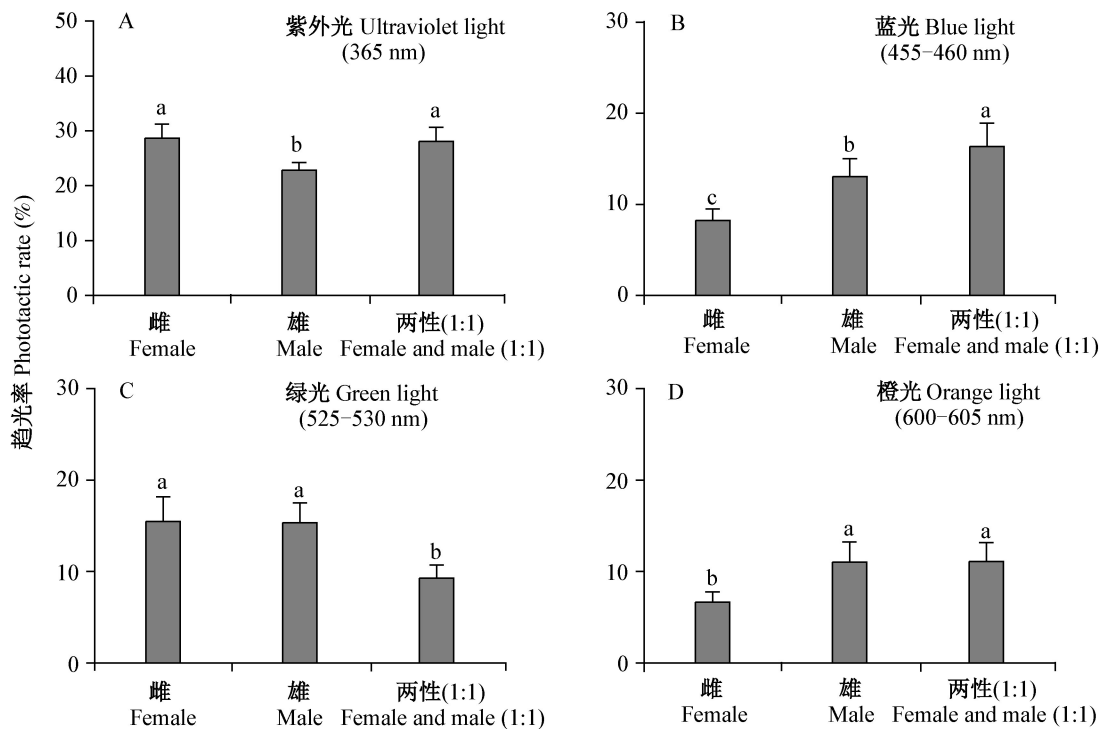


图4 在20:00—22:00时间区段性别结构对龟纹瓢虫趋光性的影响

Fig. 4 Phototaxis of *Propylea japonica* to different LED lights in different sexes at 20:00—22:00

图中数据为平均数+标准误。不同字母表示经单因素方差分析法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean+SE. Different letters indicate significant difference at $P<0.05$ level by one-way analysis of variance test.

3 讨论

诱虫灯波长范围多位于紫光、紫外光等短波光区(赵建伟等,2008),这与多种重要害虫的敏感波长吻合,如棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 的敏感波长之一为400 nm 紫外光(魏国树等,2000)、烟蚜 *Myzus persicae* 的敏感波长之一位于330~340 nm 区间(Kirchner et al.,2005)。同时,一些天敌优势种的敏感波长也在此范围内,如七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 对光波长的敏感高峰为365 nm 及500 nm (Agee et al.,1990)。卢秀琴等(2005)使用360 nm 波长的光持续照射七星瓢虫2 h 后发现其复眼内视小杆发生扭曲,说明复眼内有可接受紫外光的感受器;且本研究也发现龟纹瓢虫最敏感的光波长在365 nm 处。推测诱虫灯吸引龟纹瓢虫的原因是其复眼中有接收短波光的感受器,这也应该是造成诱虫灯诱杀大量瓢虫类天敌的根本原因。

性别是影响昆虫趋光的重要因素。Sun et al. (2014)和刘彦飞等(2013)发现梨小食心虫 *Grapholitha molesta* 偏嗜绿光,且雌虫对绿光的趋性高于雄虫。Altermatt et al. (2009)研究结果表明苹果巢蛾 *Yponomeuta cagnagella* 雄性对诱虫灯的趋性是雌性

的1.6倍。本试验发现性别结构会影响龟纹瓢虫的趋光性,且该影响与光的波长有关,推测原因与其性别特异的生理状态和行为有关,如黄、绿色对异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 性成熟有促进作用(王甦等,2008)。推测不同性别龟纹瓢虫对不同波长光之间的差异选择与自身生理结构及特定行为相关,如产卵、交配、觅食等。

昼夜变化间昆虫复眼的转化速率影响昆虫对光的反应。郭炳群等(2000)发现棉铃虫、欧洲玉米螟 *Ostrinia nubilalis* 的暗眼受光刺激后其复眼屏蔽色素向心移动的距离随光照时间增长而增大,移动速度随光照时间推延在不均匀地减缓,递减的幅度以光照初期最大。本试验发现龟纹瓢虫对紫外光的趋光率随光刺激时长的增加而降低,在30 min 以内变化显著,在30~120 min 之间逐渐趋于平稳。推测龟纹瓢虫对紫外光的趋向选择速度减缓的原因可能是其复眼内屏蔽色素随着光刺激时长增加而移动速率减缓造成。

目前诱虫灯的使用中,一个生长季中害虫活动早、天敌活动晚,建议生长季前期对单一种植模式下主要害虫进行集中诱杀,以有效压低害虫种群基数,

尽量减少对天敌种类和数量的影响。本质上, 只有根据天敌种类、种群动态的变化, 特别是了解特定生境中优势种天敌的趋光性特点, 从而调整诱虫灯波长构成和使用时段, 在天敌种群季节和昼夜活动上升时期或时段科学使用诱虫灯, 才能达到高效防控害虫和保护天敌的目的。本试验各LED光源的设定光强为100 lx, 仅为田间实际生境中诱虫灯特定时空条件下的光强节点之一, 其它光强下的结果是否一致尚需进一步研究验证。

参 考 文 献 (References)

- Agee HR, Mitchell ER, Flanders RV. 1990. Spectral sensitivity of the compound eye of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 83(4): 817–819
- Altermatt F, Baumeier A, Ebert D. 2009. Experimental evidence for male biased flight-to-light behavior in two moth species. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 130(3): 259–265
- Frost SW. 1957. The Pennsylvania insect light trap. *Journal of Economic Entomology*, 50(3): 287–292
- Ge F, Ding YQ. 1995. The foraging behavior of lady beetle *Propylaea japonica* towards cotton *Aphis gossypii*. *Acta Entomologica Sinica*, 38(4): 436–441 (in Chinese) [戈峰, 丁岩钦. 1995. 龟纹瓢虫对棉蚜的捕食行为. *昆虫学报*, 38(4): 436–441]
- Gui CM, Cao YS. 1984. Classification of *Propylaea japonica* (Thunberg) and *Propylaea quatuordecimpunctata* (Linnaeus) and their external morphology. *Plant Protection*, 10(3): 42–43 (in Chinese) [桂承明, 曹义山. 1984. 关于龟纹瓢虫与方斑瓢虫分类略历及其外部形态简介. *植物保护*, 10(3): 42–43]
- Guo BQ, Li SW, Xi RH. 2000. A comparative study on the stimuli response of compound eyes of *Helicoverpa armigera* and *Pyrausta nubilalis*. // Chinese Entomology towards the 21st Century: proceedings of the 2000 annual conference of the Chinese Insect Society. Beijing: Chinese Insect Society, pp. 148–151 (in Chinese) [郭炳群, 李世文, 席瑞华. 2000. 棉铃虫与玉米螟蛾复眼强光刺激反应比较研究. // 走向21世纪的中国昆虫学: 中国昆虫学会2000年学术年会论文集. 北京: 中国昆虫学会, pp. 148–151]
- Hu CZ, Zhao JC, Hao HM. 2008. Application progress on insecticidal light traps in pest control in China. *China Plant Protection*, 28(8): 11–13 (in Chinese) [胡成志, 赵进春, 郝红梅. 2008. 杀虫灯在我国害虫防治中的应用进展. *中国植保导刊*, 28(8): 11–13]
- Hu DW, Zhang S, Luo JY, Wang CY, Lü LM, Zhang LJ, Cui JJ. 2018. Population dynamics of cotton aphid and its major natural enemies on different crops. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(2): 310–316 (in Chinese) [胡道武, 张帅, 雒珺瑜, 王春义, 吕丽敏, 张利娟, 崔金杰. 2018. 不同作物上棉蚜及其主要天敌的发生规律. *中国生物防治学报*, 34(2): 310–316]
- Ju Q, Qu MJ, Chen JF, Zhao ZQ, Niu HL, Zhou Q, Yu SL. 2010. The influence of spectral and sexual differences on phototaxis action of several kinds of beetles. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(3): 512–516 (in Chinese) [鞠倩, 曲明静, 陈金凤, 赵志强, 牛虎力, 周强, 禹山林. 2010. 光谱和性别对几种金龟子趋光行为的影响. *昆虫知识*, 47(3): 512–516]
- Kirchner SM, Döring TF, Saucke H. 2005. Evidence for trichromacy in the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulz.) (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Insect Physiology*, 51(11): 1255–1260
- Li K. 2010. The influence of forest belts on population dynamics of predatory arthropods in agroforestry system. Ph. D Thesis. Beijing: Beijing Forestry University (in Chinese) [李凯. 2010. 农林复合生态系统林带对捕食性节肢动物种群动态的影响. 博士学位论文. 北京: 北京林业大学]
- Liu YF, Yu HL, Wu JX. 2013. Phototaxis of the oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) to LED lights and related affecting factors. *Chinese Bulletin of Entomology*, 50(3): 735–741 (in Chinese) [刘彦飞, 于海利, 仵均祥. 2013. 梨小食心虫对LED光的趋性及影响因素的研究. *应用昆虫学报*, 50(3): 735–741]
- Lobdell CE, Yong TH, Hoffmann MP. 2005. Host color preferences and short-range searching behavior of the egg parasitoid *Trichogramma ostrinae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 116(2): 127–134
- Lu XQ, Tong LZ, Lin JD. 2005. Localization of retinula cells within an ommatidium of *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) by the rhabdomeric deformation. *BioFormosa*, 40(2): 76–82 (in Chinese) [卢秀琴, 童丽珠, 林金盾. 2005. 杆小体变形法定位七星瓢虫的小眼视细胞. *生物学报*, 40(2): 76–82]
- Lü F, Hai XX, Fan F, Zhou X, Liu S. 2016. The phototactic behavior of oriental brown chafer *Serica orientalis* to different monochromatic lights and light intensities. *Journal of Plant Protection*, 43(4): 656–661 (in Chinese) [吕飞, 海小霞, 范凡, 周鑫, 刘顺. 2016. 黑绒鳃金龟甲成虫对不同单色光和光强的趋光行为. *植物保护学报*, 43(4): 656–661]
- Nabli H, Bailey WC, Necibi S. 1999. Beneficial insect attraction to light traps with different wavelengths. *Biological Control*, 16(2): 185–188
- Shao Y, Cheng JJ, Liu F. 2013. Research on phototaxis in *Sogatella furcifera* and its natural enemy, *Cyrtorhinus lividipennis*. *Chinese Journal Applied Entomology*, 50(3): 700–705 (in Chinese) [邵英, 程建军, 刘芳. 2013. 白背飞虱及其天敌黑肩绿盲蝽的趋光性研究. *应用昆虫学报*, 50(3): 700–705]
- Sun YX, Tian A, Zhang XB, Zhao ZG, Zhang ZW, Ma RY. 2014. Phototaxis of *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Olethreutidae) to different light sources. *Journal of Economic Entomology*, 107

- (5): 1792–1799
- Wang S, Liu S, Zhang F, Zhang RZ. 2008. Effects of environment color on developmental characteristics and reproduction capability of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Acta Entomologica Sinica*, 51(12): 1320–1326 (in Chinese) [王甦, 刘爽, 张帆, 张润志. 2008. 环境颜色对异色瓢虫生长发育及繁殖能力的影响. *昆虫学报*, 51(12): 1320–1326]
- Wei GS, Zhang QW, Zhou MZ, Wu WG. 2000. Studies on the phototaxis of *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Acta Biophysica Sinica*, 16(1): 89–95 (in Chinese) [魏国树, 张青文, 周明群, 吴卫国. 2000. 不同光波及光强度下棉铃虫(*Helicoverpa armigera*)成虫的行为反应. *生物物理学报*, 16(1): 89–95]
- Wei JH, Ran RB. 1983. Study on *Propylea japonica*. *Natural Enemies of Insects*, 5(2): 89–93 (in Chinese) [魏建华, 冉瑞碧. 1983. 龟纹瓢虫研究. *昆虫天敌*, 5(2): 89–93]
- Zhang DW, Luo JC, Jin SL, Guo JM, Hui NN, Wei YH. 2018. Insecticidal lamps with different spectrum: the effect on trapping pest and insect population structure in apple orchard. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 34(31): 140–146 (in Chinese) [张大为, 罗进仓, 金社林, 郭建明, 惠娜娜, 魏玉红. 2018. 不同光谱杀虫灯对苹果园害虫诱杀效果及灯下昆虫种群结构分析. *中国农学通报*, 34(31): 140–146]
- Zhang SZ, Wu JX, Zhang Q, Jiang JX, Xu XL, Chen JA. 2004. Research advances of *Propylea japonica* (Thunberg) in biology, ecology and utilization. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 22(4): 206–210 (in Chinese) [张世泽, 仵均祥, 张强, 姜军侠, 许向利, 陈继安. 2004. 龟纹瓢虫生物生态学特性及饲养利用研究进展. *干旱地区农业研究*, 22(4): 206–210]
- Zhang TC, Huang PJ. 2005. The trapping effect of frequency-vibration insecticidal lamp on *Chilo suppressalis*. *China Agricultural Technology Extension*, (2): 47–48 (in Chinese) [张天才, 黄丕娇. 2005. 频振式杀虫灯对水稻二化螟的诱杀效果. *中国农技推广*, (2): 47–48]
- Zhang XJ, Li YH, Romeis J, Yin XM, Wu KM, Peng YF. 2014. Use of a pollen-based diet to expose the ladybird beetle *Propylea japonica* to insecticidal proteins. *PLoS ONE*, 9(1): e85395
- Zhao JW, He YX, Weng QY. 2008. Application and research of insect light traps in China. 2008. *Entomological Journal of East China*, 17(1): 76–80 (in Chinese) [赵建伟, 何玉仙, 翁启勇. 2008. 诱虫灯在中国的应用研究概况. *华东昆虫学报*, 17(1): 76–80]
- Zhong PS, Li XS, Kuang ZF, Zheng MT. 2009. Effect of trap lamp on vegetable pests and their natural enemies. *Journal of Changjiang Vegetables*, (1): 45–48 (in Chinese) [钟平生, 李小舍, 邝灼芳, 郑明铁. 2009. 诱虫灯对蔬菜害虫的诱杀效果及对天敌的影响. *长江蔬菜*, (1): 45–48]

(责任编辑:李美娟)