

不同光环境对梨小食心虫成虫寿命和繁殖的影响

焦润琰 杨小凡* 冉红凡 路子云 刘文旭 马爱红 李建成*

(河北省农林科学院植物保护研究所, 河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心,

农业农村部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 保定 071000)

摘要: 为明确不同光环境对梨小食心虫 *Grapholita molesta* 成虫寿命和繁殖的影响, 于室内条件下测定不同光照强度($10\,000$ 、 $1\,000$ 、 100 、 1 和 0.01 mW/m^2)与不同波长光(红光 630 nm 、黄光 575 nm 、绿光 510 nm 、蓝光 455 nm 、紫光 440 nm 和紫外光 365 nm)照射下梨小食心虫的成虫寿命、交配率、产卵前期、产卵期、单雌产卵量、卵发育历期和卵孵化率等生物学参数进行分析。结果表明, 相较于 $10\,000$ 、 $1\,000$ 和 100 mW/m^2 高光照强度处理, 1 mW/m^2 和 0.01 mW/m^2 低光照强度处理下, 梨小食心虫雌、雄成虫寿命较短(<15 d), 单雌产卵量较低, 分别为 51.44 粒和 51.02 粒; 卵发育历期较长, 分别为 3.36 d 和 3.24 d ; 产卵前期和产卵期均以 1 mW/m^2 处理最短, 分别为 3.80 d 和 5.19 d ; 交配率和卵孵化率在不同光照强度下无显著差异。相较于黄光、绿光和蓝光, 红光和紫外光环境下梨小食心虫雌、雄成虫寿命缩短(<13 d), 交配率降低, 分别为 54.45% 和 65.56% ; 产卵前期延长(>5.5 d), 产卵期缩短(<6 d), 单雌产卵量降低, 分别为 38.34 粒和 57.60 粒; 卵发育历期在红光、蓝光和紫外光处理下较短, 分别为 2.66 、 2.58 和 2.65 d ; 卵孵化率在紫外光处理下最低(89.90%), 显著低于其他波长光处理。表明光环境可影响梨小食心虫成虫寿命和繁殖力, 其中低光照强度或红光、紫外光均能抑制其繁殖力, 不利于种群发展, 可用于该害虫田间光诱控技术的开发。

关键词: 梨小食心虫; 光照强度; 波长; 繁殖

Effects of different light environments on adult longevity and reproduction of oriental fruit moth *Grapholita molesta*

Jiao Huitan Yang Xiaofan* Ran Hongfan Lu Ziyun Liu Wenxu Ma Aihong Li Jiancheng*

(Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture and

Rural Affairs; Integrated Pest Management Center of Hebei Province, Plant Protection Institute, Hebei Academy of

Agriculture and Forestry Sciences, Baoding 071000, Hebei Province, China)

Abstract: In order to elucidate the effects of light environments on the adult longevity and reproduction of oriental fruit moth *Grapholita molesta*, the experiments on measure the adult longevity, mating rate, pre-oviposition duration, oviposition duration, fecundity, egg duration, and hatching rate under different light intensities ($10\,000$, $1\,000$, 100 , 1 and 0.01 mW/m^2) and wavelength ranges (red light, 630 nm ; yellow light, 575 nm ; green light, 510 nm ; blue light, 455 nm ; purple light, 440 nm ; and ultraviolet (UV) light, 365 nm) were conducted in the laboratory. The results showed that, compared to higher light intensities ($10\,000$, $1\,000$ and 100 mW/m^2), lower intensities (1 mW/m^2 and 0.01 mW/m^2) led to shorter adult longevity (<15 d), reduced fecundity (51.44 and 51.02 eggs, respectively), and longer egg duration (3.36 d and 3.24 d , respectively). In addition, pre-oviposition and oviposition durations were extended

基金项目: 河北省自然科学基金(C2021301029), 河北省农林科学院基本科研业务费项目(2024120203), 河北省现代农业产业技术体系
(HBCT2018100206, HBCT2021220205)

*通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: yangxiaofan87@126.com, lijiancheng08@163.com

收稿日期: 2023-04-27

under 1 mW/m², with 3.80 d and 5.19 d, respectively. There was no significant difference in the mating rate and egg hatching rate under different light intensities. Compared to yellow, green and blue light, exposure to red and UV light resulted in shorter adult longevity (<13 d), lower mating rates (54.45% and 65.56%, respectively), longer pre-oviposition periods (>5.5 d), shorter oviposition period (<6 d), and reduced fecundity (38.34 and 57.60, respectively). Egg duration was shorter under red, blue and UV light (2.66, 2.58 and 2.65 d, respectively), and egg hatching rate was the lowest under UV light (89.90%), which significantly lower than those under other wavelength ranges. The study indicates that light environment significantly affects the adult longevity and reproduction of *G. molesta*. Lower light intensity, as well as exposure to red and UV light, were found to inhibit reproductive ability, which may not be conducive to population development. These results offer insights into light environment setting for indoor breeding and the development of light trapping technology in the field.

Key words: *Grapholita molesta*; light intensity; wavelength; reproduction

梨小食心虫 *Grapholita molesta* 属鳞翅目卷蛾科, 是一种世界性果树常发性害虫, 广泛分布于我国除西藏自治区之外的各地果树种植区(杜娟等, 2013)。梨小食心虫主要以幼虫蛀食为害桃、梨、苹果、杏、李、山楂和枣等多种果树的新梢或果实, 造成蛀果、落果, 一般减产20%~30%, 重发时减产高达50%以上, 造成严重的经济损失(范仁俊等, 2013; Wu et al., 2022)。由于该虫幼虫为害具有隐蔽性, 加之成虫具有较高的繁殖力, 致使以化学农药为主的防治措施难以达到预期效果, 从而造成农药残留严重、环境污染加剧和害虫抗药性增强等后续问题。

繁殖是昆虫种群定殖、扩散和发展的重要前提, 受光照、温度、湿度、营养条件和天敌等多种环境因素的影响, 其中光照条件如光照强度、波长范围和光周期等对繁殖的调控作用受到广泛关注(Suzuki et al., 2009; 蒋月丽等, 2020)。如王甦等(2014)研究发现光照强度可以显著影响异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 的交配行为, 其交配持续时间和交配间隔时间可随光照强度的增强而降低; 许喆等(2019)研究结果表明筛豆龟蝽 *Megacopta cribraria* 的发育速率、存活率、成虫寿命和繁殖力在500 lx 和2 500 lx 较低光照强度下均显著降低; Kim et al.(2020)发现绿光(520 nm)可明显抑制黏虫 *Mythimna separata* 的繁殖力, 当暗期用绿光持续照射6、8和10 h时, 其单雌产卵量与对照相比分别降低了49.09%、40.35%和46.70%。果园光环境在空间和时间上均存在异质性, 光环境对梨小食心虫的生长发育和繁殖有何影响至今未见相关报道。

本研究将对不同光照强度(10 000、1 000、100、1和0.01 mW/m²)和不同波长光(红光、黄光、绿光、蓝光、紫光和紫外光)照射下梨小食心虫的成虫寿

命、交配率、产卵前期、产卵期、单雌产卵量、卵发育历期和卵孵化率等生物学参数进行测定, 明确光环境对梨小食心虫寿命和繁殖行为的影响, 以为其室内饲养、发生分布的预测预报和防控技术的开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源: 梨小食心虫幼虫采自河北省顺平县台鱼乡桃园, 在温度(26.0±0.5)℃、相对湿度(70±10)%、光周期15 L:9 D的人工气候箱中继代饲养。幼虫期饲喂苹果和人工饲料, 成虫期以10%蜂蜜水补充营养。待幼虫化蛹羽化后, 选取当日羽化的健壮雌、雄成虫供试。苹果购自当地市场, 品种为富士; 人工饲料参照杜娟等(2010)方法制备。

仪器: GXZ-300B人工气候箱, 宁波东南仪器有限公司; 红色(630 nm)、黄色(575 nm)、绿色(510 nm)、蓝色(455 nm)、紫色(440 nm)和紫外(365 nm)LED灯, 功率均为18 W, 直径均为14 cm, 广州鑫源光电(开发)有限公司; IL1700照度计, 美国International Light公司; USB 4000光谱仪, 美国Ocean Optics公司; 直径7.5 cm、高6.5 cm的透明昆虫盒, 合肥雨蝶生物科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 光环境设置

试验在人工气候箱中进行, 温度为(26.0±0.5)℃, 相对湿度为(70±10)%, 光周期为15 L:9 D, 光期为04:30—19:30, 暗期为19:30—04:30。根据梨小食心虫田间生存环境条件, 分别设置5个光照强度和6个波长范围的光环境。

通过调控人工气候箱自身光源的数量使试验区

光照强度分别为10 000、1 000、100、1和0.01 mW/m²,光期定时照射15 h。因光源(白光)位于人工气候箱的两侧,为了保证试验区的光照强度一致,昆虫盒放置于中间两层隔板的两侧区域。使用照度计测定所设置环境中的光照强度,确保试验条件准确。

于人工气候箱上部分别固定紫外、紫色、蓝色、绿色、黄色和红色LED灯,光期定时照射15 h。试验期间,4~5个LED灯均匀排列,不同波长光源间排列方式略有不同,利用光谱仪测定所设置环境光源的波长范围。同时,为保证试验区的光照强度相同,通过调整LED灯高度确保试验区光照强度均为1 000 mW/m²,用照度计测定光照强度确保试验条件准确。此时人工气候箱内自身光源的光照强度为0.01 mW/m²;暗期的光照强度均为0.001 mW/m²。

1.2.2 成虫寿命和繁殖力测定

选取当日羽化(<8 h)的健壮雌、雄成虫各1头进行配对,单对置于昆虫盒中,盒盖中央有便于观察的放大镜,边缘有若干通气孔,侧壁悬挂1个蘸有10%蜂蜜水的棉球为其补充营养,编号后分别置于1.2.1所设置光环境的人工气候箱中。每天定时观察、记录成虫存活及产卵情况,并及时更换昆虫盒,至成虫全部死亡。统计开始产卵日期、每日产卵量、产卵结束日期及雌、雄成虫死亡日期,计算产卵前期、产卵期、单雌产卵量和成虫寿命。成虫死亡后,解剖所有雌成虫,根据交配囊的形状确定其是否已交配,并计算交配率,产卵量不统计未交配雌成虫的。每个处理30对成虫,重复3次,试虫不重复使用。

1.2.3 卵发育历期及孵化率测定

基于1.2.2试验,于产卵期的第2天或第3天随机收集不同光环境下雌成虫所产卵粒,每个处理取100粒,分别放到长12 cm×宽12 cm×高5 cm的透明保鲜盒内,盒底置棉球保湿,盒盖扎通气孔若干,放置于对应光环境的人工气候箱中,每天继续定时观察、统计卵孵化数量,计算卵发育历期和卵孵化率。每个处理重复3次。

1.3 数据分析

试验数据采用SPSS 19.0软件进行统计分析,产卵前期、产卵期、单雌产卵量、成虫寿命和卵发育历期采用单因素方差分析,用Tukey法进行差异显著性检验;交配率及卵孵化率采用卡方检验法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 光环境对梨小食心虫成虫寿命的影响

光照强度($F_{\text{雌}}=5.505, df=4, P_{\text{雌}}=0.013; F_{\text{雄}}=7.782,$

$df_{\text{雄}}=4, P_{\text{雄}}=0.004$)和波长范围($F_{\text{雌}}=6.795, df_{\text{雌}}=5, P_{\text{雌}}=0.003; F_{\text{雄}}=11.125, df_{\text{雄}}=5, P_{\text{雄}}<0.001$)对梨小食心虫雌、雄成虫寿命均有显著影响。10 000 mW/m²和100 mW/m²光照强度下雌成虫的寿命分别为15.20 d和16.06 d,显著长于1 mW/m²光照强度处理(12.30 d),但10 000、1 000、100和0.01 mW/m²处理间差异不显著,1 000、1和0.01 mW/m²处理间差异不显著(图1-A)。10 000、1 000和100 mW/m²光照强度下雄成虫的寿命分别为15.95、15.95和16.35 d,显著长于1 mW/m²光照强度处理(13.74 d),但10 000、1 000、100和0.01 mW/m²处理间差异不显著,1 mW/m²和0.01 mW/m²处理间差异不显著(图1-A)。绿光、蓝光和紫光环境下雌成虫的寿命较长,分别为14.67、14.69和14.74 d,显著长于红光和紫外光环境下雌成虫的寿命(分别为12.36 d和12.82 d),但黄光、绿光、蓝光和紫光处理间差异不显著,红光、黄光和紫外光处理间差异不显著(图1-B)。黄光、绿光、蓝光和紫光环境下雄成虫的寿命分别为14.26、14.12、13.88和13.87 d,显著长于红光(10.49 d)和紫外光(11.46 d)处理(图1-B)。

2.2 光环境对梨小食心虫成虫繁殖力的影响

光照强度对梨小食心虫成虫的交配率无显著影响($\chi^2=4.565, df=4, P=0.335$),均在77.78%以上(表1);但对产卵前期有显著影响($F=6.004, df=4, P=0.010$),对产卵期则无显著影响($F=2.898, df=4, P=0.078$)。其中,1 000 mW/m²和1 mW/m²光照强度下梨小食心虫的产卵前期最短,分别为4.05 d和3.80 d,100 mW/m²光照强度下产卵前期最长(5.48 d),但10 000、1 000、1和0.01 mW/m²处理间无差异显著,10 000、100和0.01 mW/m²处理间无显著差异(表1)。10 000、1 000、100和0.01 mW/m²光照强度下梨小食心虫的产卵期较长,分别为6.34、6.08、6.26和6.83 d,四者间无显著差异;1 mW/m²光照强度下的产卵期最短(5.19 d),但与10 000、1 000和100 mW/m²处理无显著差异(表1)。光照强度对梨小食心虫的单雌产卵量有显著影响($F=9.743, df=4, P=0.002$),其中,1 000 mW/m²和100 mW/m²处理下的单雌产卵量分别为96.68粒和87.63粒,显著高于1 mW/m²(51.44粒)和0.01 mW/m²(51.02粒)处理(表1)。

光波长范围对梨小食心虫成虫的交配率($\chi^2=39.581, df=5, P<0.001$)、产卵前期($F=26.551, df=5, P<0.001$)、产卵期($F=5.049, df=5, P=0.010$)和单雌产卵量($F=13.956, df=5, P<0.001$)均有显著影响。黄光、绿光、蓝光和紫光处理下梨小食心虫的交配率分别为83.34%、83.33%、84.44%和80.00%,显著高于红

光(54.45%)和紫外光(65.56%)处理(表1)。蓝光处理下其产卵前期最短,为3.74 d,其次为黄光(4.43 d)和绿光(4.72 d)处理,红光、紫光和紫外光处理下产卵前期较长(表1)。蓝光处理下的产卵期最长,为7.04 d,但与黄光、绿光、紫光和紫外光处理间无显著差异,红光处理下的产卵期最短,为4.54 d(表1)。

蓝光处理下的单雌产卵量最高,为95.65粒,显著高于其他光处理;其次为黄光(73.86粒)和绿光(78.12粒)处理,而红光、紫光和紫外光处理下的单雌产卵量较低,分别为38.34、58.86和57.60粒(表1)。

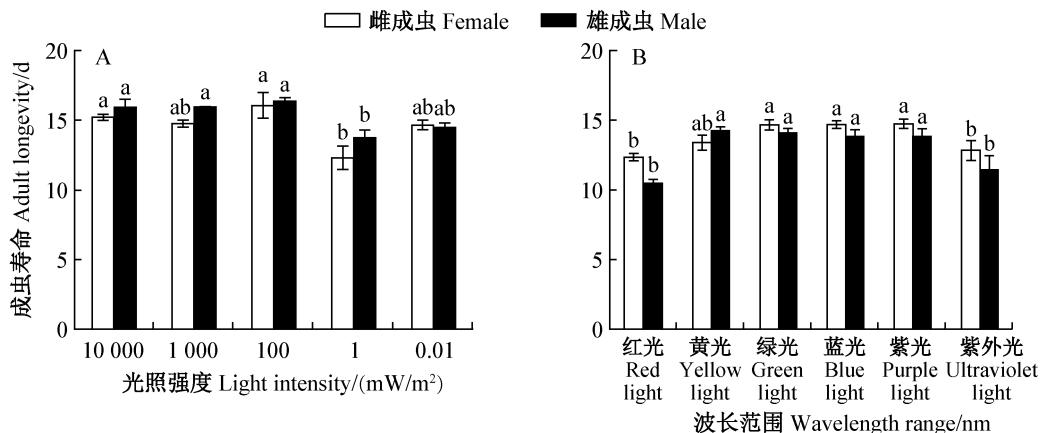


图1 不同光环境对梨小食心虫成虫寿命的影响

Fig. 1 Effects of different light conditions on adult longevity of *Grapholita molesta*

图中数据为平均数±标准误。同色柱上不同小写字母分别表示经Tukey法检验差异显著($P<0.05$)。Data in the figure are mean±SE. Different lowercase letters on the same color bars indicate significant difference by Tukey's test ($P<0.05$)。

表1 不同光环境对梨小食心虫成虫繁殖力的影响

Table 1 Effects of different light conditions on adult fecundity of *Grapholita molesta*

处理 Treatment	光环境 Light condition	交配率 Mating rate/%	产卵前期 Pre-oviposition duration/d	产卵期 Oviposition duration/d	单雌产卵量 No. of eggs laid per female
光照强度 Light intensity	10 000 mW/m ²	85.56±2.94 A	4.78±0.49 ab	6.34±0.42 ab	69.67±7.23 ab
	1 000 mW/m ²	86.66±3.33 A	4.05±0.23 b	6.08±0.65 ab	96.68±8.72 a
	100 mW/m ²	78.89±4.01 A	5.48±0.73 a	6.26±0.68 ab	87.63±5.01 a
	1 mW/m ²	77.78±4.45 A	3.80±0.38 b	5.19±0.72 b	51.44±5.60 b
	0.01 mW/m ²	81.11±2.94 A	4.65±0.31 ab	6.83±0.66 a	51.02±5.98 b
波长范围 Wavelength range	红光 Red light	54.45±9.69 B	5.52±0.73 a	4.54±0.40 b	38.34±3.51 c
	黄光 Yellow light	83.34±3.33 A	4.43±0.19 b	5.29±0.50 ab	73.86±4.43 ab
	绿光 Green light	83.33±1.93 A	4.72±0.37 b	6.21±0.28 ab	78.12±4.63 ab
	蓝光 Blue light	84.44±1.11 A	3.74±0.29 c	7.04±1.31 a	95.65±9.21 a
	紫光 Purple light	80.00±3.85 A	5.51±0.18 a	5.51±0.83 ab	58.86±3.63 bc
	紫外光 Ultraviolet light	65.56±8.49 B	5.68±0.87 a	5.52±0.91 ab	57.60±4.75 bc

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经Tukey法检验差异显著($P<0.05$),同列不同大写字母表示经卡方检验法检验差异显著($P<0.05$)。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Tukey's test ($P<0.05$), and different uppercase letters in the same column indicate significant difference by Chi-square test ($P<0.05$)。

2.3 光环境对梨小食心虫雌成虫产卵动态的影响

不同光照强度和波长范围的光环境下,梨小食心虫雌成虫的单雌日产卵量均随日龄的增加呈先升高再下降的趋势,累计产卵率呈升高趋势,直至产卵结束(图2)。在不同光环境下,雌成虫的产卵高峰均集中在3~10日龄,但产卵峰值出现时间并不完全一致。其中,10 000、1 000 和 1 mW/m² 光照强度下

其产卵高峰出现较早,均出现在4~7日龄,单雌日产卵量可达10~16粒,0.01 mW/m² 光照强度下其产卵高峰出现较晚,出现在9~10日龄(图2-A)。黄光、绿光和蓝光处理下雌成虫的产卵高峰出现较早,出现在3~6日龄,单雌日产卵量可达10~16粒,红光、紫光和紫外光处理下雌成虫的产卵高峰出现较晚,出现在4~7日龄,且单雌日产卵量低于12粒(图2-B)。

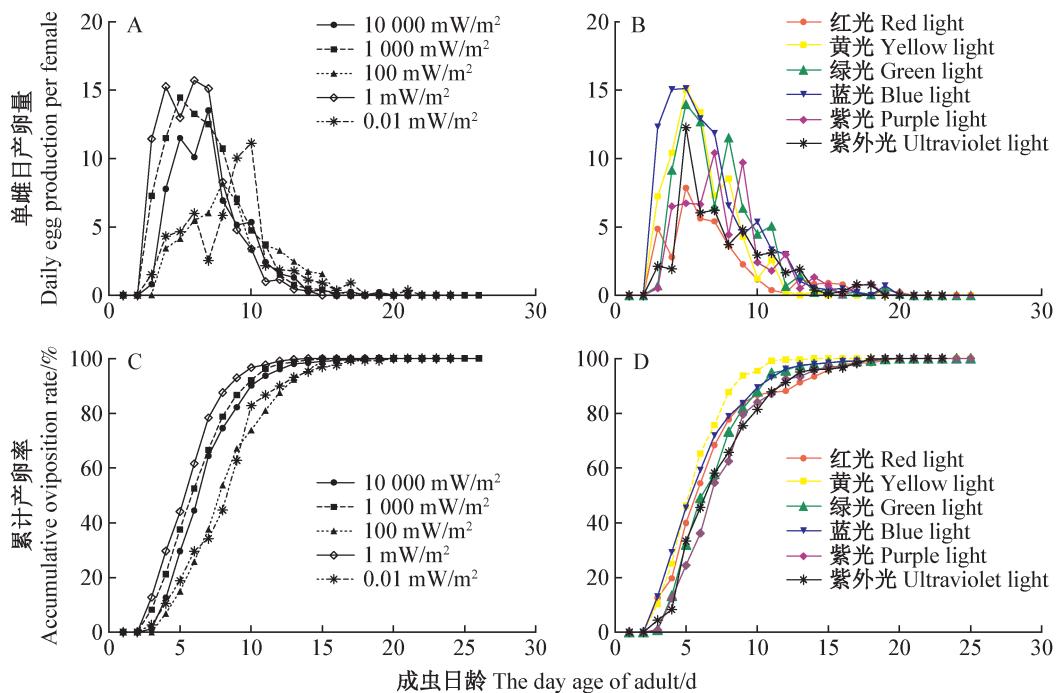


图2 不同光环境下梨小食心虫雌成虫的产卵动态(A~B)和累计产卵率(C~D)

Fig. 2 Egg laying dynamics (A–B) and accumulative oviposition rate (C–D) of *Grapholita molesta* female under different light conditions

2.4 光环境对梨小食心虫卵发育历期及孵化率的影响

光照强度对梨小食心虫的卵发育历期有显著影响($F=10.091, df=4, P<0.001$),但对卵孵化率无显著影响($\chi^2=8.649, df=4, P=0.070$)。在10 000、1 000和100 mW/m²处理下梨小食心虫的卵发育历期分别为2.70、2.73和2.82 d,显著短于1 mW/m²(3.36 d)和0.01 mW/m²(3.24 d)处理;而卵孵化率在不同光照强度下均无显著差异,均高于91.61%(表2)。光波长

范围对梨小食心虫的卵发育历期($F=44.885, df=5, P<0.001$)和卵孵化率($\chi^2=12.500, df=4, P=0.029$)均有显著影响。红光、蓝光和紫外光处理下梨小食心虫的卵发育历期较短,分别为2.66、2.58和2.65 d,显著短于黄光、绿光和紫外光处理(表2)。红光、黄光、绿光、蓝光和紫光处理下梨小食心虫的卵孵化率较高,分别为96.25%、97.10%、97.23%、98.60%和97.26%,显著高于紫外光处理下的卵孵化率89.90%(表2)。

表2 不同光环境对梨小食心虫卵发育历期和孵化率的影响

Table 2 Effects of different light conditions on egg duration and hatching rate of *Grapholita molesta*

处理 Treatment	光环境 Light condition	卵发育历期 Egg duration/d	卵孵化率 Hatching rate/%
光照强度 Light intensity	10 000 mW/m ²	2.70±0.01 b	94.43±0.45 A
	1 000 mW/m ²	2.73±0.02 b	98.56±0.12 A
	100 mW/m ²	2.82±0.01 b	91.61±2.77 A
	1 mW/m ²	3.36±0.14 a	97.11±0.80 A
	0.01 mW/m ²	3.24±0.06 a	95.76±0.98 A
波长范围 Wavelength range	红光 Red light	2.66±0.05 c	96.25±0.91 A
	黄光 Yellow light	3.85±0.14 a	97.10±1.18 A
	绿光 Green light	3.76±0.04 a	97.23±0.49 A
	蓝光 Blue light	2.58±0.03 c	98.60±0.25 A
	紫光 Purple light	3.14±0.11 b	97.26±0.76 A
	紫外光 Ultraviolet light	2.65±0.04 c	89.90±1.70 B

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经Tukey法检验差异显著($P<0.05$),同列不同大写字母表示经卡方检验法检验差异显著($P<0.05$)。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Tukey's test ($P<0.05$), and different uppercase letters in the same column indicate significant difference by Chi-square test ($P<0.05$)。

3 讨论

昆虫具有灵敏的视觉系统,可以准确感知周围环境中光照强度、波长范围等光环境因素的差异变化,从而调整自身的生长发育、繁殖、行为习性和生物节律等以适应环境(Connor, 2006; Shimoda & Honda, 2013; Liporoni et al., 2020)。梨小食心虫具有良好的视觉能力,对特定强度或波长的光表现出明显偏好性,如紫外光以及绿光等,从而有效进行定向及产卵等行为活动(Sun et al., 2014; Yang et al., 2020; 2022)。本研究结果表明,光照强度和波长范围对梨小食心虫成虫寿命和繁殖等均具有显著影响,揭示了光环境在一定程度上可以改变梨小食心虫的生物学特性,这为开发潜在的害虫光诱控新技术提供了理论基础。

本研究结果表明,在10 000、1 000、100、1和0.01 mW/m²光照强度下梨小食心虫的成虫寿命存在显著差异,其中雌、雄成虫寿命在1 mW/m²和0.01 mW/m²低光照强度下较短(<15 d),表明较低光照强度对梨小食心虫成虫寿命有一定的抑制作用,而较高光照强度处理下则表现出明显的促进作用。这与许喆等(2019)研究结果相似,该研究发现增加光照强度可以显著延长筛豆龟蝽的成虫寿命,进而有利于个体或种群的营养积累和繁殖。

不同波长范围的光可以影响草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*(蒋月丽等, 2020; 田太安等, 2020)、甜菜夜蛾 *S. exigua*(蒋月丽等, 2008)、黏虫(桑文等, 2018)、灰茶尺蠖 *Ectropis grisescens*(乔利等, 2022)和普通大薺马 *Megalurothrips usitatus*(金海峰等, 2022)等昆虫的发育历期、存活率、成虫寿命、产卵历期和产卵量等生物学特性。本研究发现,相较于其他波长环境,黄光、绿光和蓝光条件下,梨小食心虫成虫寿命和产卵期延长,交配率提高,产卵前期缩短,产卵量增加,表明黄光、绿光和蓝光环境可以提高梨小食心虫的繁殖力,这与杨小凡等(2013)的研究结果基本一致,可能是由于黄光、绿光和蓝光环境与梨小食心虫的自然生境相似,在一定程度上预示着适宜的生存环境,是一种环境适应性表现。这与蒋月丽等(2008; 2020)报道黄光和绿光会干扰甜菜夜蛾和草地贪夜蛾的寿命和繁殖的结果不同,可能与光照处理方式不同有关。蒋月丽等(2008; 2020)采用的是白天进行普通白光照射,夜间给予一定的黄光或绿光干扰,而本试验则白天利用不同波长范围的光进行照射,夜间为黑暗状态,无任何光干扰。此外,红光和紫外光环境下梨小食心虫的成虫

寿命最短(<13 d),单雌产卵量较低,分别为38.34粒和57.60粒。究其原因,一方面是梨小食心虫对不同波长范围光的敏感性不同,因无红光感受器,无法感知红光范围内的光刺激,因此红光环境对梨小食心虫而言相当于黑暗环境,进而抑制其成虫寿命和产卵量;另一方面是紫外光能够破坏昆虫的DNA结构,导致基因突变等,从而对昆虫的生长发育和繁殖造成一定的损伤(Tariq et al., 2015; Ali et al., 2016)。Zhang et al.(2011)研究发现,棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 成虫在较低强度UV-A 照射后寿命缩短而繁殖力提高,表现为生殖补偿现象,但当UV-A 照射强度增大时,其产卵量明显降低。卵黄原蛋白(vitellogenin, Vg)是参与昆虫繁殖的关键因子,亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 成虫每日用UV-A 照射1.5、2.0、2.5、3.0 和3.5 h 时,Vg 表达量先缓慢下降后快速上升,在照射3.5 h 处理下达到最高,但当照射时长延长为4.0 h 时,Vg 表达量则骤降(刘芳等, 2020)。

本研究结果显示,低光照强度或红光、紫外光环境对梨小食心虫成虫寿命和繁殖有一定的抑制作用,而较高光照强度或黄光、蓝光、绿光环境则对梨小食心虫表现出明显的促进作用,表明改变光环境可能是一种潜在的梨小食心虫防控措施,这为开发基于光干扰昆虫生物学特性的新型物理防控技术提供了理论基础。但本试验仅在室内研究了不同光环境对梨小食心虫寿命和繁殖的影响,其在田间的应用效果尚未明确,还有待进一步研究。

参 考 文 献 (References)

- Ali A, Rashid MA, Huang QY, Lei CL. 2016. Effect of UV-A radiation as an environmental stress on the development, longevity, and reproduction of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae). Environmental Science and Pollution Research, 23(17): 17002–17007
- Connor EF. 2006. Effects of the light environment on oviposition preference and survival of a leaf-mining moth, *Cameraria hamadryadella* (Lepidoptera: Gracillariidae), on *Quercus alba* L. Ecological Entomology, 31(2): 179–184
- Du J, Liu YF, Tan SQ, Wu JX. 2013. Control index based on number of adults of *Grapholita molesta* captured by sex pheromone traps. Journal of Plant Protection, 40(2): 140–144 (in Chinese) [杜娟, 刘彦飞, 谭树乾, 仵均祥. 2013. 基于性诱剂监测的梨小食心虫防治指标. 植物保护学报, 40(2): 140–144]
- Du J, Wang YR, Wu JX. 2010. Effect of four different artificial diets on development and reproduction of *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 30(3): 228–231 (in Chinese) [杜娟, 王艳蓉, 仵均祥. 2010. 不同饲料配方对梨小食心虫生长发育及繁殖的影响. 山西农业大学学报(自然科学版), 30(3): 228–231]

- Fan RJ, Liu ZF, Lu JJ, Feng YT, Yu Q, Gao Y, Zhang RX. 2013. Progress in the application of IPM to control the oriental fruit moth (*Grapholita molesta*) in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(6): 1509–1513 (in Chinese) [范仁俊, 刘中芳, 陆俊姣, 封云涛, 庚琴, 高越, 张润祥. 2013. 我国梨小食心虫综合防治研究进展. 应用昆虫学报, 50(6): 1509–1513]
- Jiang YL, Duan Y, Wu YQ. 2008. Effects of green-yellow light with three different wavelengths on the oviposition biology of *Spodoptera exigua* (Hübner). *Journal of Plant Protection*, 35(5): 473–474 (in Chinese) [蒋月丽, 段云, 武予清. 2008. 三种不同波长绿-黄光对甜菜夜蛾产卵生物学的影响. 植物保护学报, 35(5): 473–474]
- Jiang YL, Guo P, Li T, Li GP, Wang XQ, Wu YQ. 2020. Effects of yellow and green light on the reproduction and adult longevity of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Plant Protection*, 47(4): 902–903 (in Chinese) [蒋月丽, 郭培, 李彤, 李国平, 王雪琴, 武予清. 2020. 黄光和绿光照射对草地贪夜蛾成虫生殖和寿命的影响. 植物保护学报, 47(4): 902–903]
- Jin HF, Lu RC, Gong XY, Li F, Yang L, Wu SY. 2022. Effects of different wavelengths of light on growth and development of Asian bean thrips *Megalurothrips usitatus*. *Journal of Plant Protection*, 49(6): 1809–1810 (in Chinese) [金海峰, 陆容材, 巩雪燕, 李芬, 杨磊, 吴少英. 2022. 不同波长光对普通大薺马生长发育的影响. 植物保护学报, 49(6): 1809–1810]
- Kim KN, Jo YC, Huang ZJ, Song HS, Ryu KH, Huang QY, Lei CL. 2020. Influence of green light illumination at night on biological characteristics of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae). *Bulletin of Entomological Research*, 110(1): 136–143
- Liporoni R, Cordeiro GD, Prado PI, Schlindwein C, Warrant EJ, Alves-dos-Santos I. 2020. Light intensity regulates flower visitation in Neotropical nocturnal bees. *Scientific Reports*, 10: 15333
- Liu F, Meng JY, Yang CL, Zhang CY. 2020. Cloning and expression profiling of vitellogenin gene and its response to UV-A stress in *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Acta Entomologica Sinica*, 63(3): 255–265 (in Chinese) [刘芳, 孟建玉, 杨昌利, 张长禹. 2020. 亚洲玉米螟卵黄原蛋白基因的克隆、表达谱及对UV-A胁迫的响应. 昆虫学报, 63(3): 255–265]
- Qiao L, Zhang MM, Gong ZJ, Geng SB, Hong F, Yin J, Wu YQ. 2022. Effects of yellow LED light of different intensity on the development and reproduction of *Ectropis griseascens* Warren. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(4): 785–793 (in Chinese) [乔利, 张苗苗, 巩中军, 耿书宝, 洪枫, 尹健, 武予清. 2022. 不同光强LED黄光对灰茶尺蠖发育和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 59(4): 785–793]
- Sang W, Dong WJ, Huang QY, Zhu F, Wang XP, Guo SH, Lei CL. 2018. Effects of different light wavelengths on the growth and reproduction of *Mythimna separata*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(5): 810–816 (in Chinese) [桑文, 董婉君, 黄应, 朱芬, 王小平, 郭墅豪, 雷朝亮. 2018. 不同光环境对粘虫生长发育的影响. 应用昆虫学报, 55(5): 810–816]
- Shimoda M, Honda KI. 2013. Insect reactions to light and its applications to pest management. *Applied Entomology and Zoology*, 48(4): 413–421
- Sun YX, Tian A, Zhang XB, Zhao ZG, Zhang ZW, Ma RY. 2014. Phototaxis of *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Olethreutidae) to different light sources. *Journal of Economic Entomology*, 107(5): 1792–1799
- Suzuki T, Watanabe M, Takeda M. 2009. UV tolerance in the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Journal of Insect Physiology*, 55(7): 649–654
- Tariq K, Noor M, Saeed S, Zhang HY. 2015. The effect of ultraviolet-a radiation exposure on the reproductive ability, longevity, and development of the *Dialeurodes citri* (Homoptera: Aleyrodidae) F₁ generation. *Environmental Entomology*, 44(6): 1614–1618
- Tian TA, Liu JF, Yu XF, Dong XL, Li ZM, Yang MF. 2020. Effects of different light resources on the reproductive behavior of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Plant Protection*, 47(4): 822–830 (in Chinese) [田太安, 刘健锋, 于晓飞, 董祥立, 李治模, 杨茂发. 2020. 不同光源对草地贪夜蛾生殖行为的影响. 植物保护学报, 47(4): 822–830]
- Wang S, Guo XJ, Zhang JM, Zhang F. 2014. Copulatory behavior of predacious ladybird *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) under different illuminative conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 34(24): 7428–7435 (in Chinese) [王甦, 郭晓军, 张君明, 张帆. 2014. 异色瓢虫不同光环境下的交配行为. 生态学报, 34(24): 7428–7435]
- Wu YN, Fang HB, Liu XX, Michaud JP, Xu HY, Zhao ZH, Zhang SD, Li Z. 2022. Laboratory evaluation of the compatibility of *Beauveria bassiana* with the egg parasitoid *Trichogramma dendrolimi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) for joint application against the oriental fruit moth *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Pest Management Science*, 78(8): 3608–3619
- Xu Z, Cui J, Bi R, Gao Y, Shi SS. 2019. Effects of light intensity on the growth, development and reproduction of *Megacopta cribraria* (Hemiptera: Plataspidae). *Acta Entomologica Sinica*, 62(5): 645–652 (in Chinese) [许喆, 崔娟, 毕锐, 高宇, 史树森. 2019. 光照强度对筛豆龟蝽生长发育及繁殖的影响. 昆虫学报, 62(5): 645–652]
- Yang XF, Feng N, Liu YF, Fan F, Ma CS, Wei GS. 2013. Effects of different colour backgrounds on spawning biology of *Grapholita molesta*. *Journal of Plant Protection*, 40(3): 200–204 (in Chinese) [杨小凡, 冯娜, 刘玉峰, 范凡, 马春森, 魏国树. 2013. 颜色背景对梨小食心虫成虫产卵生物学的影响. 植物保护学报, 40(3): 200–204]
- Yang XF, Li MY, Fan F, An LN, Li JC, Wei GS. 2020. Brightness mediates oviposition in crepuscular moth, *Grapholita molesta*. *Journal of Pest Science*, 93(4): 1311–1319
- Yang XF, Lu ZY, Ran HF, Ma AH, Liu WX, Li JC, Wei GS. 2022. Oviposition site selection in the crepuscular moth, *Grapholita molesta*: does light matter? *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 170(5): 442–448
- Zhang CY, Meng JY, Wang XP, Zhu F, Lei CL. 2011. Effects of UV-A exposures on longevity and reproduction in *Helicoverpa armigera*, and on the development of its F₁ generation. *Insect Science*, 18(6): 697–702

(责任编辑:李美娟)