

不同光强 LED 黄光对灰茶尺蠖 发育和繁殖的影响*

乔利^{1**} 张苗苗¹ 巩中军² 耿书宝¹ 洪枫¹ 尹健¹ 武予清^{2***}

(1. 信阳农林学院, 信阳 464000; 2. 河南省农业科学院植物保护研究所, 郑州 450002)

摘要 【目的】为探索 LED 黄光不同光照强度对灰茶尺蠖 *Ectropis grisescens* Warren 种群发展的影响, 为茶园防蛾灯的应用提供理论依据。【方法】以室内鲜叶饲养的灰茶尺蠖第 5 代 1 龄幼虫为材料, 设置黄光组 6 个处理和对照组 1 个处理, 每个处理 80 头幼虫。具体处理方法为: 白天 (7:00-19:00) 均用普通日光灯 (150-200 lx) 持续照射 12 h, 夜间 (19:00-7:00) 黄光 (波长为 590-600 nm, 光照强度分别为 17、27、37、40、80 和 120 lx) 持续照射 12 h。对照组持续黑暗 12 h。研究不同光照强度对灰茶尺蠖幼虫发育历期、存活率、蛹重、成虫羽化率、产卵前期、产卵历期、产卵量、寿命及卵孵化率的影响。【结果】与对照组相比, 120 lx 黄光处理下幼虫发育历期延长至 13.28 d, 存活率降低至 1%。4 龄和 5 龄幼虫延迟进入蛹期。不同处理组显著影响成虫的羽化率、产卵量及产卵历期, 其中 120 lx 强度照射后对灰茶尺蠖成虫影响最大, 与对照组相比, 成虫羽化率和产卵量分别下降 50% 和 34.68%, 产卵历期缩短了 3.14 d。不同处理组灰茶尺蠖卵孵化率均大幅度降低, 其中, 经 40、80 和 120 lx 强度黄光照射后, 卵孵化率分别下降了 83.77%、82.00% 和 86.89%。【结论】通过光照强度为 40、80 和 120 lx 的黄光处理后, 显著缩短了灰茶尺蠖成虫的寿命, 降低了羽化率, 抑制灰茶尺蠖的产卵量及孵化率, 从而抑制灰茶尺蠖种群的发展速度, 为茶园灰尺蠖绿色防控提供了技术支撑。

关键词 黄色光谱; 不同光强度; 灰茶尺蠖; 发育; 繁殖

Effects of yellow LED light of different intensity on the development and reproduction of *Ectropis grisescens* Warren

QIAO Li^{1**} ZHANG Miao-Miao¹ GONG Zhong-Jun² GENG Shu-Bao¹
HONG Feng¹ YIN Jian¹ WU Yu-Qing^{2***}

(1. Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang 464000, China;

2. Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract 【Objectives】To compare the effect of different intensities of yellow LED light on the development of *Ectropis grisescens* Warren, and thereby provide a theoretical basis for the environmentally-friendly prevention and control of this pest. 【Methods】Fifth generation first instar larvae were reared on fresh leaves and randomly assigned to one of 5 yellow-light treatment groups plus a control group, with 80 larvae in each group. During the day (7:00-19:00) all treatment groups were subject to 12 h illumination from an ordinary fluorescent lamp (150-200 lx). During the night (19:00-7:00) the five treatment groups were exposed to different intensities (17, 27, 37, 40, 80 and 120 lx) of yellow light (590-600 nm) for 12 h, while the control group was kept in darkness over the same period. The larval period duration, survival rate, pupal weight, adult emergence rate, pre-oviposition period, duration of oviposition, female fecundity, adult longevity and hatching rate, of each group, were measured and compared. 【Results】The larval period and survival rate of the 120 lx treatment group were

*资助项目 Supported projects: 河南省重点研发与推广专项 (科技攻关) “基于茶园鳞翅目害虫灯光和生防菌联合防控技术研究” (222102110109); 国家重点研发计划 “新型材料对害虫的诱 (驱) 技术及产品研发” (No.2017YFD0200907)

**第一作者 First author, E-mail: 2017180004@xyafu.edu.cn

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: yuqingwu36@hotmail.com

收稿日期 Received: 2022-02-16; 接受日期 Accepted: 2022-06-18

significantly longer (13.28 d) than those of the control group, the survival rate significantly lower (1%), and fourth and fifth instar larvae pupated later. The intensity of yellow light significantly affected the eclosion rate, female fecundity and duration of oviposition; these parameters were 50%, 34.68% and 3.14 d lower, respectively, in the 120 lx treatment group than in the control group. The hatching rate in all treatment groups was lower than in the control group; 83.77%, 82% and 86.89% lower, respectively in the 40, 80 and 120 lx treatment groups. **[Conclusion]** Exposure to 40, 80 and 120 lx yellow LED light significantly reduced the adult longevity, emergence rate, female fecundity and hatching rate of *E. grisescens*, and prolonged larval development. These results suggest that yellow LED lights could be an environmentally-friendly way of controlling *E. grisescens* in tea plantations.

Key words yellow spectrum; different light intensities; *Ectropis grisescens* Warren; development and reproduction

灰茶尺蠖 *Ectropis grisescens* Warren 属鳞翅目 Lepidoptera, 尺蛾科, 是我国茶园主要害虫(陈宗懋等, 2020), 其分布范围较广, 在各大产茶省均有发生(王定锋等, 2021), 且食量大, 繁殖速度快, 主要以幼虫取食茶树幼嫩部分, 大发生时可将叶片吃光, 成为制约茶叶优质、高产的重要因素(Li *et al.*, 2019; 乔利等, 2021)。目前, 化学防治仍然是茶叶生产中的主要防治方法, 不仅导致灰茶尺蠖抗药性增加, 而且农药残留也严重影响了茶叶的品质(Wang *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2018; Lou *et al.*, 2021; Qiao *et al.*, 2021a)。因此, 研究茶园害虫防治新方法具有重要意义。

利用昆虫对光的反应或对其生理特征的影响减少害虫发生量, 是一种便捷有效的防治措施, 既节能环保又可控制害虫种群数量(Infusino *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2019; 桑文等, 2019; Camacho *et al.*, 2021)。乔利等(2020)研究表明, 灰茶尺蠖对 18 种单色光波长有一定的趋/避光现象。王文龙等(2017)研究发现, 波长为 365 nm 和 380 nm 的紫外光对油毛松虫 *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai et Liu 的诱捕效果较强, 可抑制其产卵。徐翔等(2017)研究了 LED 单波长光源杀虫灯对茶园害虫的诱杀效果, 表明波长为 365-580 nm 的 LED 杀虫灯对茶园鳞翅目害虫诱集效果最好。其中黄色光可能对夜出型蛾类的生物学习性产生影响并在害虫密度的控制上发挥作用(Numata *et al.*, 2009)。防蛾灯(黄色光)对蛾类的影响主要在于光照波长及光照强度(蒋月丽等, 2018)。蒋月丽等(2020a)研究表明, 夜晚采用波长为 565-585 nm 光照强度为 10 lx 和 100 lx 的黄光照射 10 h, 甜菜夜蛾

Spodoptera exigua Hübner 单雌产卵量、产卵历期和成虫寿命显著低于对照。夜晚采用光照强度为 80 lx 的黄光或绿光照射 10 h, 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 成虫寿命、产卵量、孵化率与对照显著差异(蒋月丽等, 2020b)。夜间黄光(波长 590-595 nm)持续照射(光照强度为 50-100 lx) 12 h, 灰茶尺蠖的羽化率、产卵量及孵化率均显著低于对照(乔利等, 2021)。研究表明, 强光或连续强光照射昆虫, 可影响其求偶行为, 从而抑制产卵(Webster and Conner *et al.*, 1986; Raina *et al.*, 1991; Kawazu *et al.*, 2011)。然而, 在黄色 LED 不同光照强度下对灰茶尺蠖的生长发育及繁殖的影响尚未见报道。

本试验于室内条件下, 探究黄光不同光照强度对灰茶尺蠖的干扰效果, 分析不同强度黄光照射灰茶尺蠖幼虫对其发育历期、成虫寿命、羽化率、存活率、产卵量和孵化率的影响, 为茶园防蛾灯的研发及应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

灰茶尺蠖虫源采自河南省信阳市浉河港乡白庙村, 于光照培养箱内采用茶叶鲜叶饲养至第 5 代幼虫进行试验。饲养环境为温度 26-30 °C, 湿度为 70%-80%, 光照强度 150-200 lx, 光周期为 12 L : 12 D。

1.2 供试设备与材料

光照培养箱(宁波莱福科技有限公司); 数字照度计(深圳市华谊智测科技股份有限公司);

温、湿度计(深圳市德福五金制品有限公司);电子天平(深圳市美孚电子有限公司);养虫罩(亚克力透明圆管, 15 cm×7 cm, 顶端罩直径 30 μm 白色网纱, 底部放直径 8 cm 的培养皿, 培养皿内放白色滤纸, 保持 80%的相对湿度);培养皿(直径 8 cm);光照处理箱(45 cm×45.2 cm×37 cm, 分别与上端, 左侧和右侧提供光源, 根据照度计增加或减少光强);黄色 LED 灯, 波长为 590-600 nm;遮光布。

1.3 试验方法

1.3.1 黄光不同光照强度对灰茶尺蠖幼虫的影响 将 LED 灯安装于纸箱(45 cm×45.2 cm×37 cm)内, 形成灯光反应装置。以室内茶叶鲜叶饲养的 1 龄灰茶尺蠖幼虫为材料。饲养环境为温度 26-30 ℃, 湿度为 70%-80%。设置黄光组 6 个处理, 对照组 1 个处理, 每个处理 80 只 1 龄幼虫。其中黄光组白天(7:00-19:00)普通日光灯(150-200 lx)持续照射 12 h, 夜间(19:00-7:00)黄光(波长为 590-600 nm, 光照强度分别为 17、27、37、40、80 和 120 lx)持续照射 12 h。对照组白天(7:00-19:00)普通日光灯(150-200 lx)持续照射 12 h, 夜间(19:00-7:00)持续黑暗 12 h。每天 17:00 给灰茶尺蠖更换茶叶并记录灰茶尺蠖每日龄期和存活天数, 以便计算其发育历期和存活率。

1.3.2 黄光不同光照强度对灰茶尺蠖成虫羽化率的影响 试验设黄光组 6 个处理, 对照组 1 个处理。取初化的蛹(雌蛹、雄蛹各 5 只)。用天平称取蛹的重量。黄光组 6 个处理, 白天用普通日光灯(150-200 lx)持续照射 12 h, 夜间(19:00-7:00)黄光(波长为 590-600 nm, 光照强度分别为 17、27、37、40、80 和 120 lx)持续照射 12 h。对照组白天(7:00-19:00)普通日光灯(150-200 lx)持续照射 12 h, 夜间(19:00-7:00)持续黑暗 12 h。记录雌雄蛹的羽化数量, 直至蛹全部羽化, 计算灰茶尺蠖的羽化率, 每个处理重复 3 次。

1.3.3 黄光不同光照强度对灰茶尺蠖成虫产卵情况、卵孵化率和成虫寿命的影响 将刚羽化的

灰茶尺蠖雌雄虫配对, 置于养虫罩内, 每罩一对雌雄虫, 并放置两个棉球, 一个棉球滴上 10% 的蜂蜜水用于灰茶尺蠖成虫补充营养, 另放一个干棉球便于灰茶尺蠖产卵。设黄光组 6 个处理, 对照组 1 个处理。黄光组白天用普通日光灯(150-200 lx)持续照射 12 h, 夜间(19:00-7:00)黄光(波长为 590-600 nm, 光照强度分别为 17、27、37、40、80 和 120 lx)持续照射 12 h。对照组白天(7:00-19:00)普通日光灯(150-200 lx)持续照射 12 h, 夜间(19:00-7:00)持续黑暗 12 h。每个处理 5 对成虫, 重复 3 次。记录灰茶尺蠖雌虫产卵量、产卵前期、产卵历期、雌雄成虫寿命, 直到灰茶尺蠖全部死完。

产卵第 3-5 天, 每天随机取灰茶尺蠖的卵 50 粒, 并放入培养皿(8 cm, 内放白色滤纸, 保持相对湿度 80%)中, 与上述试验处理相同。记录灰茶尺蠖的孵化数量, 计算其孵化率。重复 3 次。

1.4 数据处理

采用 SPSS 16.0 软件进行单因素方差分析(ANOVA), 采用 Duncan's 法进行差异显著性检验($P < 0.05$)。

羽化率(%) = (蛹壳数/总活虫数) × 100;

存活率(%) = (每日存活虫数/总虫数) × 100;

孵化率(%) = (孵化总数/卵总数) × 100。

2 结果与分析

2.1 光照强度对灰茶尺蠖幼虫发育历期的影响

从表 1 可以看出, 光照强度为 40、80 和 120 lx 处理组的 1 龄幼虫发育历期分别为 3.15、3.32 和 3.68 d, 且显著高于对照组(2.61 d), 发育历期随着光照强度的增加呈逐渐增加的趋势($F=18.42$, $df_1=6$, $df_2=553$, $P<0.001$)。与对照组相比, 经光照强度 37、40、80 和 120 lx 处理的 2 龄幼虫发育历期与对照组差异显著, 表现趋势同 1 龄幼虫($F=18.42$, $df_1=6$, $df_2=553$, $P<0.001$)。3 龄幼虫的 17、27、37、40 和 80 lx 处理间无差异, 均低于 120 lx 处理, 且高于对照组(1.60 d)($F=7.12$, $df_1=6$, $df_2=553$, $P<0.001$)。

表 1 光照强度对灰茶尺蠖幼虫发育历期的影响

Table 1 Influence of light intensity on development duration of larvae of *Ectropis grisescens*

光照强度 (lx) Light intensity (lx)	1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	总历期 Total duration
17	2.62±0.06d	1.26±0.07d	2.26±0.12b	1.60±0.13bc	2.62±0.17b	11.30±0.53bc
27	2.76±0.08d	1.45±0.08d	2.37±0.10b	1.97±0.15ab	2.75±0.22ab	11.57±0.43bc
37	2.88±0.10cd	1.77±0.06c	2.38±0.10b	2.16±0.13a	2.81±0.14ab	11.71±0.43b
40	3.15±0.15bc	1.86±0.17bc	2.43±0.13b	2.18±0.11a	2.97±0.16ab	12.20±0.38ab
80	3.32±0.16b	2.08±0.09b	2.55±0.15ab	2.28±0.13a	3.08±0.19ab	12.77±0.49ab
120	3.68±0.12a	2.45±0.13a	2.86±0.18a	2.32±0.11a	3.23±0.17a	13.28±0.43a
CK	2.61±0.07d	1.20±0.08d	1.60±0.16c	1.53±0.16c	1.83±0.19c	10.62±0.71c

表中数据为平均值±标准误, 同列数据后标有不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$, 单因素方差分析)。下表同。
Data in the table are mean ± SE, and followed by different lowercase letters indicate significant differences between treatments ($P<0.05$, One-way analysis of variance). The same below.

4 龄时, 37、40、80 和 120 lx 间无显著性差异, 均显著高于 17 lx 处理, 各处理均与对照组存在显著性差异 ($F=5.47$, $df_1=6$, $df_2=553$, $P<0.001$)。幼虫达到 5 龄时, 随着光照强度的增加, 其发育历期逐渐延长, 各处理均与对照组差异达显著水平 ($F=6.18$, $df_1=6$, $df_2=553$, $P<0.01$)。幼虫总发育历期表现为低光照强度 17 lx 和 27 lx 与对照组无显著性差异, 高光照强度 37、40、80 和 120 lx 的幼虫发育历期与对照组存在显著性差异, 并随着光照强度的增加而延长 ($F=4.18$, $df_1=6$, $df_2=553$, $P<0.001$)。

2.2 光照强度对灰茶尺蠖蛹重的影响

不同光照强度的黄光显著影响灰茶尺蠖雄蛹重 ($F=2.19$, $df_1=6$, $df_2=98$, $P<0.01$) (表 2)。光照强度为 40、80 和 120 lx 时, 雄蛹重均约 0.09 g, 与光照强度为 17、27 和 37 lx 的雄蛹重存在显著性差异, 但与对照组 (0.10 g) 无明显差异。光照强度为 17、27 和 37 lx 处理的雄蛹重与对照组存在显著性差异。雌虫蛹重受黄光光照强度影响不显著 ($F=1.22$, $df_1=6$, $df_2=98$, $P=0.01$)。

2.3 光照强度对灰茶尺蠖成虫羽化率的影响

由图 1 可以看出, 不同光照强度的黄光对灰茶尺蠖成虫羽化率有明显影响 ($F=9.96$, $df_1=6$,

表 2 黄光不同光照强度对灰茶尺蠖蛹重的影响

Table 2 Influence of light intensity on pupal weight of *Ectropis grisescens*

光照强度 (lx) Light intensity (lx)	雌蛹重 (g) Pupa weight of female (g)	雄蛹重 (g) Pupa weight of male (g)
17	0.10±0.003a	0.08±0.003c
27	0.11±0.005a	0.08±0.004c
37	0.11±0.002a	0.08±0.002c
40	0.11±0.003a	0.09±0.004ab
80	0.11±0.006a	0.09±0.005ab
120	0.09±0.006a	0.09±0.007ab
CK	0.11±0.004a	0.10±0.002a

$df_2=14$, $P<0.05$), 随着光照强度的增加, 成虫羽化率呈逐渐下降的趋势。与对照组 (96%) 相比, 光照强度为 17、37 和 40 lx 黄光处理后, 成虫羽化率分别为 73%、76% 和 76%, 存在显著性差异 ($F=9.96$, $df_1=6$, $df_2=14$, $P<0.05$); 处理 80 lx 和 120 lx 的成虫羽化率分别为 50% 和 46%, 且与对照存在极显著差异 ($F=9.96$, $df_1=6$, $df_2=14$, $P<0.05$), 当处理为 27 lx 时, 与对照组无明显差异 ($F=9.96$, $df_1=6$, $df_2=14$, $P=0.07$)。黄光处理间 17、27、37 和 40 lx 与 80 lx 和 120 lx 存在显著性差异 ($F=9.96$, $df_1=6$, $df_2=14$, $P<0.05$)。

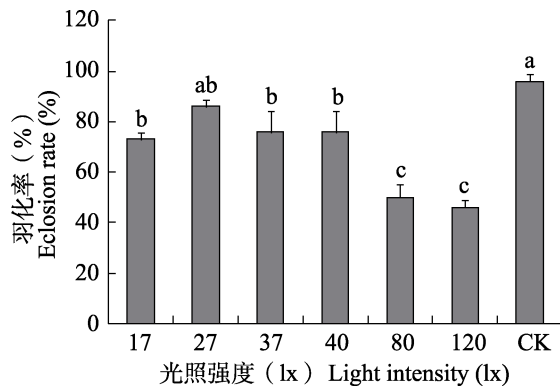


图 1 光照强度对灰茶尺蠖成虫羽化率的影响

Fig. 1 Influence of light intensity on emergence rate of adult of *Ectropis grisescens*

柱上标有不同小写字母表示处理间差异显著

($P < 0.05$, 单因素方差分析)。图 4 同。

Histograms with different lowercase letters indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$, One-way analysis of variance). The same as Fig. 4.

2.4 光照强度对灰茶尺蠖 4 龄和 5 龄幼虫存活率的影响

由图 2 可以看出,随着处理强度的增加,灰茶尺蠖 4 龄幼虫的存活率呈下降趋势,逐渐进入下一龄期。与对照组相比,光照强度为 80 lx 和 120 lx 处理的 4 龄幼虫从第 4 天开始存活率逐渐上升,比对照组推迟 3 d 进入 5 龄。而光照强度为 37 lx 和 17 lx 与对照组无显著差异 ($F=3.23$, $df_1=6$, $df_2=98$, $P=0.61$)。

由图 3 可以看出,随着光照强度的增加,灰茶尺蠖 5 龄幼虫存活率呈下降趋势。与对照组相比,处理为 120 lx 的 5 龄幼虫从第 3 天开始,存活率逐渐降低,至第 8 天呈平稳趋势,比对照组推迟 5 d 进入蛹期。

2.5 光照强度对灰茶尺蠖成虫寿命的影响

由表 3 可知,黄光不同光照强度对灰茶尺蠖雌虫寿命存在显著影响。17、27 和 37 lx 强度处理间成虫寿命差异不显著,且与对照组无显著性差异,与 120 lx 相比,其雌虫寿命缩短了 3.4 d,且差异显著,与 40 lx 和 80 lx 处理间差异不显著。与对照组相比,当光照强度为 120 lx 时,雌虫寿命缩短了 3.8 d,表现为差异极显著,当处理强度为 40 lx 和 80 lx 时,二者之间差异显著性处于

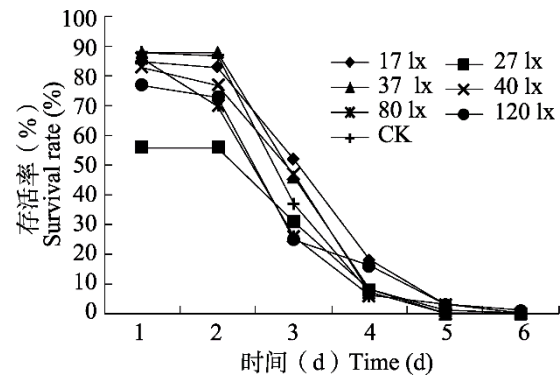


图 2 光照强度对灰茶尺蠖 4 龄幼虫存活率的影响

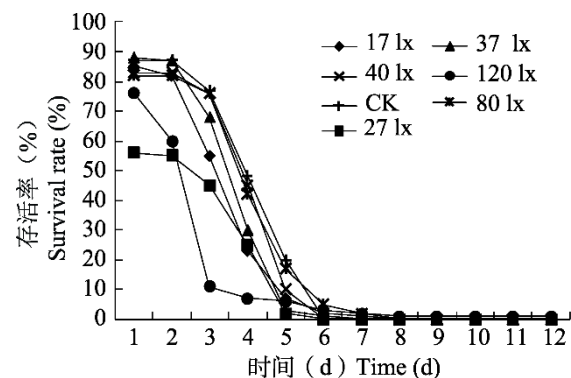
Fig. 2 Influence of light intensity on the survival rate of the 4th instar larvae of *Ectropis grisescens*

图 3 光照强度对灰茶尺蠖 5 龄幼虫存活率的影响

Fig. 3 Influence of light intensity on survival rate of 5th instar larvae of *Ectropis grisescens*

同一水平;雌虫寿命比对照缩短了 2.6 d,二者间差异显著 ($F=6.34$, $df_1=6$, $df_2=98$, $P < 0.01$)。

雄虫寿命除 27 lx 处理与对照无差异外,其它处理均与对照间差异显著 ($F=6.22$, $df_1=6$, $df_2=98$, $P < 0.01$)。17、27 和 37 lx 三者之间无显著性差异;40、80 和 120 lx 处理之间无显著性差异,40 lx 处理的雄虫寿命比 17、27 和 37 lx 的雄虫寿命分别缩短了 3.1、3.3 和 2.5 d,80 lx 比 17、27 和 37 lx 的雄虫寿命分别缩短了 3.4、3.6 和 2.8 d,差异达显著水平 ($F=7.31$, $df_1=6$, $df_2=98$, $P < 0.01$)。40 lx 和 80 lx 处理与对照组相比,其雄虫寿命分别缩短了 5.9 d 和 6.2 d,差异达显著水平 ($F=5.26$, $df_1=6$, $df_2=98$, $P < 0.01$)。

2.6 光照强度对灰茶尺蠖成虫产卵前期、产卵历期和产卵量的影响

不同光照强度处理后的灰茶尺蠖成虫的产

表 3 光照强度对灰茶尺蠖成虫寿命的影响
Table 3 Influence of light intensity on adult longevity of *Ectropis grisescens*

光照强度 (lx) Light intensity (lx)	雌虫 Female	雄虫 Male
17	6.86±0.52ab	7.46±1.17b
27	6.33±0.65ab	7.66±1.14ab
37	7.00±0.62ab	6.86±1.24bc
40	5.00±0.75bc	4.33±0.67cd
80	5.00±0.68bc	4.06±0.70d
120	3.46±0.56c	3.86±0.69d
CK	7.26±0.85a	10.26±0.76a

卵前期, 除 17 lx 和 120 lx 处理间差异显著外 ($F=1.43$, $df_1=6$, $df_2=98$, $P<0.01$), 其它处理均差异不显著。17、27 和 37 lx 处理与对照的产卵历期呈逐渐缩短的趋势, 未达显著性差异 ($F=2.89$, $df_1=6$, $df_2=98$, $P=0.25$)。光照强度为 37、40、80 和 120 lx 的产卵历期无差异, 但均与对照组的差异达显著水平, 120 lx 处理的产卵历期最短, 较对照缩短 3.1 d ($F=2.89$, $df_1=6$, $df_2=98$, $P<0.01$)。灰茶尺蠖成虫的产卵量随着

处理强度的增加呈逐渐下降的趋势, 各处理均与对照差异达显著水平 ($F=3.62$, $df_1=6$, $df_2=98$, $P<0.05$)。光照强度为 17、27、37 和 40 lx 的产卵量无显著差异, 除 40 lx 处理外, 均与 80 lx 和 120 lx 处理的差异达显著水平 ($F=3.16$, $df_1=6$, $df_2=98$, $P<0.01$)。对照组的产卵量最高, 平均单雌产卵量可达 495.60 粒, 显著高于 40、80 和 120 lx 处理组的产卵量 ($F=4.26$, $df_1=6$, $df_2=98$, $P<0.01$) (表 4)。

2.7 光照强度对灰茶尺蠖卵孵化率的影响

由图 4 可以看出, 随着光照强度的增加, 卵孵化率呈逐渐下降趋势, 且对照组灰茶尺蠖卵孵化率显著高于处理组 ($F=32.26$, $df_1=6$, $df_2=56$, $P<0.01$), 以 120 lx 处理下的卵孵化率最低 (0.4%)。与对照相比, 各处理的卵孵化率分别下降了 44.66%、60.89%、56.66%、83.77%、82.00% 和 86.89%, 均呈显著性差异 ($F=32.26$, $df_1=6$, $df_2=56$, $P<0.01$)。光照强度为 40、80 和 120 lx 的卵孵化率均与 17、27 和 37 lx 的差异显著 ($F=32.26$, $df_1=6$, $df_2=56$, $P<0.01$)。

表 4 光照强度对灰茶尺蠖成虫产卵的影响
Table 4 Influence of light intensity on oviposition of adults of *Ectropis grisescens*

光照强度 (lx) Light intensity (lx)	产卵量 (粒) Fecundity (grain)	产卵前期 (d) Pre-oviposition period (d)	产卵历期 (d) Spawning time (d)
17	397.33±56.86b	1.46±0.16a	5.33±0.65ab
27	362.46±41.23b	1.13±0.09ab	4.73±0.44ab
37	355.60±27.10b	1.20±0.17ab	4.40±0.54abc
40	321.40±41.37bc	1.13±0.09ab	3.93±0.62bc
80	293.73±61.34c	1.13±0.09ab	3.60±0.68c
120	223.73±43.58c	1.00±0.09b	3.06±0.56c
CK	495.60±31.06a	1.13±0.09ab	6.20±0.81a

3 结论与讨论

与昆虫杀虫灯不同, 黄光和绿光主要通过影响夜出型蛾类的行为活动、生活习性和干扰其生育节律等控制其种群数量的 (Allada and Chung, 2010; Cara and Jones, 2013; Qiao *et al.*, 2021b)。

夜间使用一定波长的灯光对夜行性蛾类的复眼有明显的刺激效果, 对其取食、交配、产卵、卵孵化及成虫寿命等活动都有影响 (Paris *et al.*, 2017)。本研究采用的 6 种不同光照强度 LED 黄光处理中, 以 40、80 和 120 lx 的黄光处理对灰茶尺蠖各龄历期影响最大。通过光照处理后的灰茶尺蠖幼虫发育总历期延长, 4 龄和 5 龄幼虫推

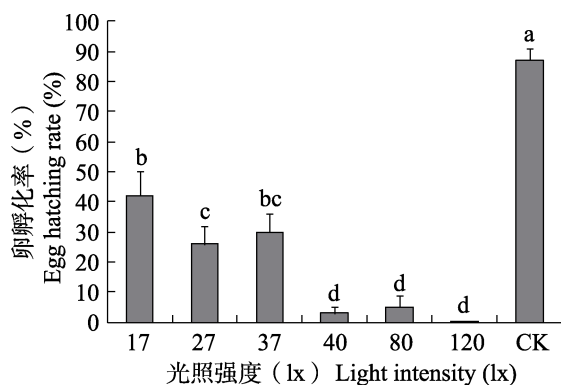


图 4 光照强度对灰茶尺蠖卵孵化率的影响

Fig. 4 Influence of light intensity on egg hatching rate of *Ectopis grisescens*

迟进入蛹期,雌成虫、雄成虫和成虫羽化率显著降低及缩短了灰茶尺蠖成虫的产卵量及产卵历期,使其卵孵化率大幅度降低,对抑制灰茶尺蠖种群繁衍有明显作用,从而达到绿色防控的目的。不同昆虫、同类昆虫的雌虫和雄虫对不同波长、不同光强的反应程度不同 (Ghadireh and Mohammad, 2009)。如光照强度在 10-100 lx 区间时,龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* 雌性种群趋光率高于雄性种群,光照强度在 100-1 000 lx 区间时,雄性种群趋光率高于雌性种群 (黄彤彤, 2019)。草地贪夜蛾黑暗 6 h 后用黄光 (波长为 565-585 nm) 不同光照强度照射 30 min 后,雌虫趋光性显著高于雄虫 (蒋月丽等, 2021)。本研究从灰茶尺蠖各龄幼虫发育历期总体呈逐渐增加的趋势,且随着光照强度的增加与对照差异显著。夏志涛 (2018) 的研究结果表明在黄光光照强度为 1 000 lx 照射下,水稻干尖线虫 *Caenorhabditis elegans* 2 龄幼虫的趋光性与对照组并无明显差异,处于 3 龄和 4 龄时的趋光性显著高于对照组,这可能与光照强度的设定不同有关,也可能与不同昆虫对光照强度的反应存在差异性有关。经不同强度黄光照射后,灰茶尺蠖雌蛹重未发生显著变化,雄蛹重在低光照强度下重量减少,这一结果与钟春兰等 (2020) 研究斜纹夜蛾在不同光周期处理下蛹重变化趋势相似,灰茶尺蠖蛹重受光强度影响较小。经 80 lx 和 120 lx 强度黄光处理后,灰茶尺蠖 4 龄和 5 龄幼虫的存活率降低,比对照组推迟进入下一龄期,且灰茶尺蠖成虫产卵历期缩短,产卵量减少,孵化率降

低显著。与 17、27 和 37 lx 低光照强度相比,40、80 和 120 lx 高光照强度对灰茶尺蠖的干扰效果影响较大,说明黄光可显著影响灰茶尺蠖的羽化、产卵和孵化行为,这与前人 (蒋月丽等, 2020a, 2020b; 乔利等, 2020, 2021) 有关甜菜夜蛾、草地贪夜蛾和灰茶尺蠖的研究结果一致。

随着环保意识的增强,灯光技术必将在茶叶害虫绿色防治领域发挥越来越重要的作用。本文研究结果为茶叶生产中防蛾灯的研发与应用提供理论参考。在生产上,建议从 1 龄幼虫开始照射黄光,但在节约能源方面,是否考虑只照射成虫期或减少照射时间以达到干扰的效果,还需要进一步的深入研究。

参考文献 (References)

- Allada R, Chung BY, 2010. Circadian organization of behavior and physiology in *Drosophila*. *Annual Review of Physiology*, 72: 605-624.
- Camacho LF, Barragán G, Espinosa S, 2021. Local ecological knowledge reveals combined landscape effects of light pollution, habitat loss, and fragmentation on insect populations. *Biological Conservation*, 262: 109311.
- Cara FD, Jones KK, 2013. How clocks and hormones act in concert to control the timing of insect development. *Current Topics in Developmental Biology*, 105: 1-36.
- Chen ZM, Cai XM, Zhou L, Bian L, Luo ZX, 2020. Developments on tea plant pest control in past 40 years in China. *China Tea*, 42(1): 1-8. [陈宗懋, 蔡晓明, 周利, 边磊, 罗宗秀, 2020. 中国茶园有害生物防控四十年. 中国茶叶, 42(1): 1-8.]
- Ghadireh M, Mohammad T, 2009. A study of the effect of ultraviolet light (UVC) in short intervals on 3rd instar larvae of *Drosophila melanogaster*. *Journal of the Science (Kharazmi University)*, 9(4): 613-624.
- Huang TT, 2019. Histological modulation and the causation of phototactic behavior in *Propylaea japonica*. Master dissertation. Baoding: North China Agricultural University. [黄彤彤, 2019. 龟纹瓢虫趋光行为的结构基础及其成因. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.]
- Infusino M, Brehm G, Marco CD, Scalercio S, 2017. Assessing the efficiency of UV LEDs as light sources for sampling the diversity of macro-moths (Lepidoptera). *European Journal of*

- Entomology*, 114(114): 25–33.
- Jiang YL, Guo P, Li T, Hao CQ, Miao J, Gong ZJ, Duan Y, Liu QH, Wu YQ, 2020a. Interference effect study on reproductive behavior and adult longevity of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) on different yellow light intensity. *Journal of Environmental Entomology*, 42(5): 1230–1234. [蒋月丽, 郭培, 李彤, 郝超群, 苗进, 巩中军, 段云, 刘启航, 武予清, 2020. 黄光光照强度对甜菜夜蛾成虫生殖行为和寿命的干扰效果. 环境昆虫学报, 42(5): 1230–1234.]
- Jiang YL, Guo P, Li T, Li GP, Wang XQ, Wu YQ, 2020b. 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. [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.]
- Jiang YL, Wu YQ, Li T, Miao J, Gong ZJ, Duan Y, Mei SQ, Wang XQ, Liu QH, 2021. Light and dark adaptation of adult compound eyes of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and their transformation rate to light-adapted state under yellow light. *Acta Entomologica Sinica*, 64(9): 1120–1126. [蒋月丽, 武予清, 李彤, 苗进, 巩中军, 段云, 梅诗琼, 王雪芹, 刘启航, 2021. 草地贪夜蛾成虫复眼明暗适应及黄光照射下明适应状态转化率. 昆虫学报, 64(9): 1120–1126.]
- Jiang YL, Zhang JZ, Yuan SX, Li T, Gong ZJ, Miao J, Duan Y, Lv CF, Wu YQ, 2018. Progresses in the research and application of yellow light for pest control. *Plant Protection*, 44(3): 6–10. [蒋月丽, 张建周, 袁水霞, 李彤, 巩中军, 苗进, 段云, 吕春芳, 武予清, 2018. 黄色灯防治害虫的研究与应用进展. 植物保护, 44(3): 6–10.]
- Kawazu K, Adati T, Tatsuki S, 2011. The effect of photoregime on the calling behavior of the rice leaf folder moth, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Japan Agricultural Research Quarterly*, 45(2): 197–202.
- Kim KN, Huang QY, Lei CL, 2019. Advances in insect phototaxis and application to pest management: a review. *Pest Management Science*, 75(12): 3135–3143.
- Li ZQ, Cai XM, Luo ZX, Bian L, Xin ZJ, Liu Y, Chu B, Chen ZM, 2019. Geographical distribution of *Ectropis grisescens* (Lepidoptera: Geometridae) and *Ectropis obliqua* in China and description of an efficient identification method. *Journal of Economic Entomology*, 112(1): 277–283.
- Lou S, Zhang BR, Zhang DH, 2021. Foresight from the hometown of green tea in China: Tea farmers' adoption of pro-green control technology for tea plant pests. *Journal of Cleaner Production*, 320(20): 128817.
- Numata H, Shiga S, Morita A, 2009. Photoperiodic receptors in Arthropods. *Zoological Science*, 14(2): 187–197.
- Paris TM, Allan SA, Udell BJ, Stansly PA, Stout MJ, Davis J, Diaz R, Beuzelin JM, 2017. Wavelength and polarization affect phototaxis of the asian citrus psyllid. *Insects*, 8(3): 88.
- Qiao L, Guo SB, Jin YL, Wang CS, Yin J, Geng SB, 2021a. Effect of different light-emitting diode (LED) lights on the behavior and habits of *Scopulasub punctaria* Herrichet schaeffer. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 15(2): 203–209.
- Qiao L, Zhang Q, Geng SB, Zhang FM, Chen JH, Guo SB, 2021b. Effect of LED illumination on the biological habits of the adults of *Ectropis grisescens*. *Zoological Society of Pakistan*, 54(1): 71–76.
- Qiao L, Hong F, Jin YL, Geng SB, Guo SB, 2020. Effects on the photoreaction behavior of *Ectropis grisescens* Warren to different light spectrum. *Journal of Tea Science*, 40(5): 617–624. [乔利, 洪枫, 金银利, 耿书宝, 郭世保, 2020. 光谱对灰茶尺蠖成虫光反应行为的影响. 茶叶科学, 40(5): 617–624.]
- Qiao L, Hong F, Jin YL, Geng SB, Yin J, Wang CS, 2021. Effects of yellow and green light on biological habit of *Ectropis grisescens* Warren. *Journal of Northwest A&F University (Nat. Sci. Ed.)*, 49(7): 2–7. [乔利, 洪枫, 金银利, 耿书宝, 尹健, 王春生, 2021. 黄光和绿光对灰茶尺蠖成虫生物学习性的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 49(7): 2–7.]
- Raina AK, Davis JC, Stadelbacher EA, 1991. SEX-pheromone production and calling in *Helicoverpa zea* (Lepidoptera, Noctuidae): Effect of temperature and light. *Environment Entomology*, 20(5): 1451–1456.
- Sang W, Huang QY, Wang XP, Guo SH, Lei CL, 2019. Progress in research on insect phototaxis and future prospects for pest light-trap technology in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(5): 907–916. [桑文, 黄求应, 王小平, 郭墅濠, 雷朝亮, 2019. 中国昆虫趋光性及灯光诱虫技术的发展、成就与展望. 应用昆虫学报, 56(5): 907–916.]
- Wang DF, Li LD, Li HL, Li JY, Wu GY, 2021. High-throughput unveiling of microsatellite markers using *Ectropis grisescens* transcriptome. *Acta Tea Sinica*, 62(4): 191–197. [王定锋, 李良德, 李慧玲, 李金玉, 吴光远, 2021. 基于转录组数据高通量发掘灰茶尺蠖微卫星标记. 茶叶学报, 62(4): 191–197.]
- Wang JX, Lin GF, Batool K, Zhang SQ, Chen MF, Xu J, Wu J, Jin L,

- Gelbic L, Xu L, Zhang LL, Guan X, 2018. Alimentary tract transcriptome analysis of the tea geometrid, *Ectropis oblique* (Lepidoptera: Geometridae). *Journal of Economic Entomology*, 111(3): 1411–1419.
- Wang WL, Ren LL, Zhang LS, Ma YB, Luo YQ, 2017. Evaluation of trapping *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai et Liu using different wavelength LED lights. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(6): 955–960. [王文龙, 任利利, 张连生, 马云波, 骆有庆, 2017. 不同波长 LED 灯对油毛松虫的诱捕效果与评价. *应用昆虫学报*, 54(6): 955–960.]
- Webster P, Conner WE, 1986. Effects of temperature, photoperiod, and light intensity on the calling rhythm in arctiid moths. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 40(3): 239–245.
- Xia ZT, 2018. Phototactic behavior of three different nematode species, and the reproduction & development of *Caenorhabditis elegans* under light stress. Master dissertation. Hangzhou: Zhejiang Agriculture & Forestry University. [夏志涛, 2018. 三种线虫的光行为学及光照条件下秀丽隐杆线虫的繁殖发育研究. 硕士学位论文. 杭州: 浙江农林大学.]
- Xu X, Ma L, Yue ZL, Chen HB, 2017. Trapping effect of LED single wavelength insecticidal lamp against tea insect pests. *China Plant Protection*, 37(12): 53–56. [徐翔, 马利, 岳泽霖, 陈华保, 2017. LED 单波长光源杀虫灯对茶园害虫的诱杀效果. *中国植保导刊*, 37(12): 53–56.]
- Zhang FM, Qiao L, Pan PL, Wang GJ, Yin J, Chen LJ, 2018. Electroantennogram and behavioral responses of *Ectropis grisescens* (Lepidoptera: Geometridae) to essential oils from three non-host plants. *Acta Entomologica Sinica*, 61(5): 565–573.
- Zhong CL, Chen SH, Zhou XM, Weng RY, Xiao GQ, Zheng HH, Tu XY, 2020. Effects of 5 h LED light of different wavelengths in scotophase on the growth, development and reproduction of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 63(12): 1490–1496. [钟春兰, 陈苏泓, 周小妹, 翁如玉, 肖国权, 郑欢欢, 涂小云, 2020. 暗期 5 h 不同波长 LED 光照对斜纹夜蛾生长发育及繁殖的影响. *昆虫学报*, 63(12): 1490–1496.]