

网络出版时间:2021-01-13 13:48 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2021.07.008
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20210112.1147.005.html

黄光和绿光对灰茶尺蠖成虫生物学习性的影响

乔利^{1,2},洪枫^{1,2},金银利^{1,2},耿书宝^{1,2},尹健^{1,2},王春生^{1,2}

(1 信阳农林学院,河南 信阳 464000;2 豫南农作物有害生物绿色防控院士工作站,河南 信阳 464000)

【摘要】【目的】研究不同波长光谱对灰茶尺蠖成虫生物学习性的影响,为灰茶尺蠖的绿色无公害防控提供参考。【方法】以室内鲜叶饲养 5 代的灰茶尺蠖成虫为材料,设置黄光组、绿光组 and 对照组 3 个处理,具体处理方法为:白天(07:00—19:00),黄光组、绿光组 and 对照组灰茶尺蠖成虫均用普通日光灯照射(光照强度 150~200 lx)12 h;夜间(19:00—07:00),黄光组成虫用黄光(波长 590~595 nm)持续照射 12 h(光照强度为 50~100 lx),绿光组成虫用绿光(波长 520~525 nm)持续照射 12 h(光照强度为 50~100 lx),对照组成虫黑暗 12 h,分析不同光谱处理对灰茶尺蠖成虫产卵情况、寿命以及卵孵化率和成虫羽化率的影响。【结果】与对照组相比,黄光组、绿光组灰茶尺蠖成虫的总产卵量分别下降了 24.05% 和 32.97%,且与对照组差异达显著水平($P<0.05$);黄光组和绿光组灰茶尺蠖成虫单雌最高产卵量、产卵率和卵孵化率均显著下降。黄光和绿光处理对灰茶尺蠖成虫的产卵前期影响不显著;但其平均产卵期显著缩短,分别较对照组缩短 3.01 和 3.25 d。黄光组、绿光组和对照组灰茶尺蠖成虫的单雌产卵量高峰均出现在第 4 天,此时黄光组和绿光组灰茶尺蠖成虫的单雌产卵量均显著低于对照组。与对照组相比,黄光组和绿光组灰茶尺蠖雄虫和雌虫的寿命均显著缩短,但 2 种光谱处理间无显著差异。经黄光和绿光处理后,灰茶尺蠖成虫的羽化率分别下降了 45.18% 和 29.76%,且与对照差异显著。【结论】不同波长光谱对灰茶尺蠖的生物学习性有明显影响,于茶园内夜间提供黄光或绿光照射,能扰乱灰茶尺蠖的发育节律,减少其种群数量,从而达到绿色防控的目的。

【关键词】 光谱;灰茶尺蠖;产卵量;卵孵化率;成虫寿命

【中图分类号】 S433.4

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2021)07-0069-07

Effects of yellow and green light on biological habit of *Ectropis grisescens* Warren

QIAO Li^{1,2}, HONG Feng^{1,2}, JIN Yinli^{1,2}, GENG Shubao^{1,2},
YIN Jian^{1,2}, WANG Chunsheng^{1,2}

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

2 South Henan Crop Pest Green Prevention and Control Academician Workstation, Xinyang, Henan 464000, China)

Abstract: 【Objective】 This study aims at analyzing biological habit of *Ectropis grisescens* Warren adults under laboratory conditions, so as to provide reference for effective control of pest population. 【Method】 Five generations of *E. grisescens* reared in fresh leaves were treated with yellow light, green light and control. Nine groups of adult *E. grisescens* were fed in pairs. During daytime (07:00—19:00), they were irradiated by common fluorescent lamp (light intensity 150—200 lx) for 12 h. At night (19:00—07:00), yellow light (wavelength 590—595 nm) was continuously irradiated for 12 h (light intensity 50—100 lx) in the yellow light group. Green light (wavelength 520—525 nm) was continuously irradiated for 12 h (light intensity 50—100 lx) in the green light group, while the control group kept dark for 12 h. The

【收稿日期】 2020-07-17

【基金项目】 国家重点研发计划项目“茶园化肥农药减施增效技术集成研究与示范”(2016YFD0200900);信阳农林学院青年教师科研基金资助项目(2018LG003);旱区作物逆境生物学国家重点实验室开放课题(CSBAA2019008)

【作者简介】 乔利(1980—),女,河南平顶山人,副教授,博士,主要从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail:qiaoli@xyafu.edu.cn

【通信作者】 王春生(1984—),男,河南光山人,讲师,博士,主要从事植物病虫害综合治理研究。E-mail:adamdy@163.com

effects of different treatments on oviposition and life span of adult *E. griseascens* as well as egg hatching rate and pupa emergence rate after treatment were analyzed. 【Result】 Total egg number of *E. griseascens* was reduced by 24.05% (yellow light) and 32.97% (green light) in with significant difference from the control. The pre-oviposition period was insignificantly affected, while average spawning period was significantly reduced by 3.01 and 3.25 d, respectively. The maximum egg production amount, egg production rate and egg hatch rate of adult *E. griseascens* in the yellow and green light groups all decreased. The spawning peak in treatment groups occurred on the 4th day, which was consistent with the control. However, total egg number in the treatment groups was significantly lower than the control. The longevity of female and male of *E. griseascens* decreased significantly without significant difference between treatments. The eclosion rates of the yellow and green light groups were significantly reduced by 45.18% (590—595 nm) and 29.76% (520—525 nm), respectively. 【Conclusion】 Spectral treatments at different wavelengths had significant effects on biological parameters of *E. griseascens* Warren. Yellow or green light at night in tea garden could disturb development rhythm and reduce amounts of *E. griseascens* Warren to meet the goal of green prevention and control.

Key words: spectrum; *Ectropis griseascens* Warren; egg quantity; egg oviposition rate; adult longevity

灰茶尺蠖(*Ectropis griseascens* Warren)属鳞翅目(Lepidoptera)尺蛾科(Geometridae),是茶园的重要害虫。该虫食量大、繁殖速度快、年发生代数多,其幼虫取食茶树嫩叶会导致茶树叶片残缺、茶枝光秃,甚至会使茶树干枯死亡,严重影响茶叶的产量和质量^[1-4]。灰茶尺蠖的危害已成为制约茶叶优质、高产的重要因素之一。除少量有机茶园外,目前对灰茶尺蠖的防治大多采用化学农药,这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^[5-9]。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^[10-12]。因此,研究茶园害虫防治的新方法对提升茶叶产量和品质具有重要的现实意义。

利用昆虫的趋/避光性对灰茶尺蠖成虫进行灯光诱杀、驱赶或干扰其发育节律,减少田间落卵量以避免其大量发生的方法为防治提供了新思路。研究表明,不同昆虫对灯光的反应和敏感程度不同,多数昆虫对短波光具有较强的趋性,部分昆虫对长波光的趋性较强^[13-15]。段云等^[16]研究表明,夜间使用 505 和 590 nm 2 种波长的 LED 光持续照射,对小菜蛾(*Plutella xylostella* Linnaeus)的产卵量、卵孵化率和产卵率均有影响。范凡^[17]研究表明,在 340~605 nm 波谱范围内,西花蓟马(*Frankliniella occidentalis* Pergande)对 380,440 及 498~524 nm 波长的光表现出了趋光行为,且趋光率随光强的增强而增大。王文龙等^[18]研究了不同波长 LED 灯对油松毛虫(*Dendrolimus tabulaeformis* Tsai et Liu)的诱捕效果,结果显示,油松毛虫对波长 365 和 380 nm

紫外光有明显的趋向性。Otieno 等^[19]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了依据。目前为止,关于光谱对灰茶尺蠖成虫生育节律的影响尚未见报道。

研究发现,波长 500~590 nm 光源(黄光和绿光)对小菜蛾、黏虫等鳞翅目昆虫的生物学习性影响较大^[16,20-21],因此本研究测定波长 590~595 nm 黄光和波长 520~525 nm 绿光照射对灰茶尺蠖成虫产卵量、卵孵化率、成虫羽化率及寿命等的影响,为研发选择性强、干扰效率高的茶园防虫 LED 灯提供参考,进而为茶园灰茶尺蠖的绿色防治提供依据。

1 材料与方法

1.1 虫源及饲养

灰茶尺蠖虫源采自河南省信阳市浉河港乡白庙村茶园,于室内新鲜茶叶继代饲养 5 代后的成虫,备用。饲养环境为温度 22~26 ℃、相对湿度 60%~70%,光周期为 12 h(光照):12 h(黑暗)。

1.2 试验设备

主要设备包括 RTOP-310Y 型人工气候箱(浙江托普云农科技股份有限公司)、PM6612 数字照度计(深圳市华谊智测科技股份有限公司)、养虫笼(50 cm×50 cm×60 cm)。

1.3 供试光源

绿光(波长 520~525 nm)和黄光(波长 590~595 nm)2 种。

1.4 试验方法

1.4.1 不同波长光谱对灰茶尺蠖成虫产卵情况、卵孵化率及寿命的影响 将初羽化的灰茶尺蠖雌雄成虫配对,置于养虫罩中(亚克力透明圆管,直径 8 cm,高 20 cm,顶端罩 300 μm 白色网纱,底部放直径 9 cm 的培养皿,培养皿内铺白色滤纸,相对湿度保持在 80%),每罩 1 对灰茶尺蠖成虫。试验设黄光组、绿光组和对照组 3 个处理,其中黄光组,白天(07:00—19:00)普通日光灯(150~200 lx)照射 12 h,夜间(19:00—07:00)黄光(波长 590~595 nm)持续照射(光照强度为 50~100 lx)12 h;绿光组,白天(07:00—19:00)普通日光灯(150~200 lx)照射 12 h,夜间(19:00—07:00)绿光(波长 520~525 nm)持续照射(光照强度为 50~100 lx)12 h;对照组,白天(07:00—19:00)普通日光灯(150~200 lx)照射 12 h,夜间(19:00—07:00)黑暗 12 h。每处理 15 对灰茶尺蠖成虫,重复 3 次,养虫笼内置 10%的蜂蜜水用于补充营养。记录灰茶尺蠖雌虫的产卵量(卵产于罩子顶部边沿的纱网上或培养皿内滤纸上)、单雌最高产卵量、产卵前期、产卵期、产卵率,此外统计雌、雄成虫的寿命,直至灰茶尺蠖成虫全部死亡。根据每头成虫的存活时间,计算存活率。在产卵第 3~5 天,每天随机取 50 粒卵,记录其孵化数量,计算卵的孵化率,重复 3 次。

1.4.2 不同波长光谱对灰茶尺蠖成虫羽化率的影响 试验设黄光组、绿光组和对照组 3 个处理,其中黄光组、绿光组处理方法为:收集初化的灰茶尺蠖雌、雄蛹(预蛹期开始收集,化蛹后分别取雌、雄蛹进行处理)各 50 个,白天用普通日光灯(150~200 lx)照射 12 h,夜间分别在黄光(波长 590~595 nm)或

绿光(波长 520~525 nm)下持续照射 12 h;对照组的处理方式同成虫,即白天(07:00—19:00)普通日光灯(150~200 lx)照射 12 h,夜间(19:00—07:00)黑暗 12 h。记录雌、雄蛹的羽化数,直至所有蛹全部羽化为止(约 10 d),最后计算成虫的羽化率。每处理重复 3 次。

1.5 数据处理与分析

采用 SPSS 16.0(SPSS Inc.,Chicago,IL)进行试验数据处理。采用 Duncan’s 新复极差法进行不同处理间差异显著性检验,显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同波长光谱对灰茶尺蠖成虫产卵情况的影响

由表 1 可知,不同波长光谱处理灰茶尺蠖成虫单雌最高产卵量均显著低于对照组,其中黄光组和绿光组的单雌最高产卵量分别比对照减少 112 和 154 粒,且黄光组与绿光组差异显著。与对照组相比,不同波长光谱处理灰茶尺蠖成虫的总产卵量显著下降,其中黄光组和绿光组的总产卵量分别下降了 24.05%和 32.97%。

从表 1 还可知,对照组灰茶尺蠖成虫的产卵率高达 96.67%;与对照组相比,黄光组和绿光组灰茶尺蠖成虫的产卵率均下降,其中绿光组与对照组和黄光组差异显著,但黄光组与对照组差异不显著。与对照组相比,黄光和绿光 2 种光谱处理下,灰茶尺蠖成虫的产卵前期延长,但均与对照组差异不显著;灰茶尺蠖成虫的产卵期显著缩短,分别较对照组缩短了 3.01 和 3.25 d。

表 1 不同波长光谱对灰茶尺蠖成虫产卵的影响

Table 1 Effects of wavelength on oviposition of *Ectropis grisescens*

处理 Treatment	总产卵量/粒 Total spawned	单雌最高产卵量/粒 Maximum fecundity per female	产卵率/% Spawning rate	产卵前期/d Pre-oviposition period	产卵期/d Oviposition period
黄光组 Yellow light group	274.83±2.47 b	409±5.37 b	90.00±1.26 a	1.88±0.38 a	3.67±0.21 b
绿光组 Green light group	242.53±2.39 c	367±4.62 c	83.33±2.14 b	1.93±0.33 a	3.43±0.57 b
对照组 Control group	361.84±5.33 a	521±4.13 a	96.67±1.73 a	1.68±0.75 a	6.68±0.62 a

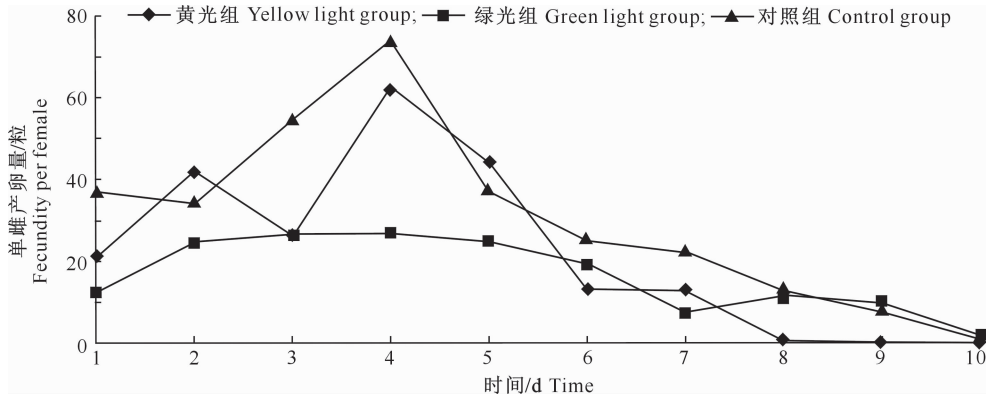
注:表中数值均为“平均值±标准误”。同列数据后标不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。表 2 同。
Note:The values in the table are “mean±standard error”. Different small letters indicate significant differences among treatments($P<0.05$). The same in Table 2.

由图 1 可知,黄色和绿色光谱对灰茶尺蠖成虫的产卵动态均有一定的影响。对照组灰茶尺蠖前期单雌产卵量除了在第 2 天略有降低外,总体呈升高趋势,其产卵量最高峰出现在第 4 天,此时平均单雌产卵量为 74 粒;之后单雌产卵量呈降低趋势。黄色

光谱处理后,灰茶尺蠖成虫在第 2 天时出现了第 1 个产卵高峰期,此时其单雌产卵量高于绿光组和对照组;单雌产卵量在第 4 天时出现了第 2 个最高峰,为 62 粒,与对照组相比下降了 16.21%;之后单雌产卵量呈降低趋势。绿光组灰茶尺蠖成虫的单雌产

卵量呈先升高后降低趋势,也在第 4 天时达到最高峰,为 27 粒,此时与对照组相比下降了 63. 51%,说明绿光处理对灰茶尺蠖成虫产卵的影响更大。从产

卵高峰期来看,2 种光谱处理的灰茶尺蠖成虫产卵高峰期与对照组一致,但单雌产卵量显著下降,且以绿光组更为明显。



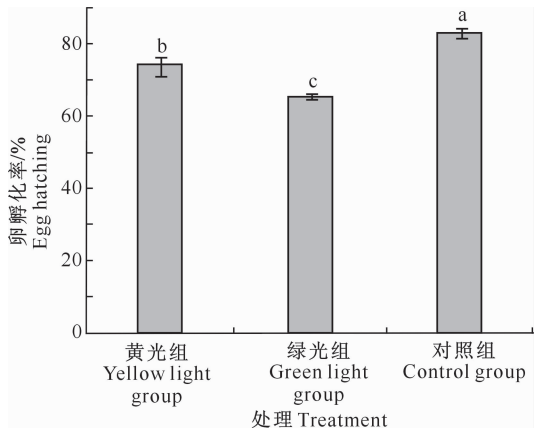
图中数值为 3 个处理每天产卵数的平均值
Values in the figure are mean of eggs per day of three treatments

图 1 不同波长光谱对灰茶尺蠖产卵动态的影响

Fig. 1 Effects of wavelength on oviposition duration of *Ectropis grisescens*

2. 2 不同波长光谱对灰茶尺蠖卵孵化率的影响

由图 2 可知,不同波长光谱对灰茶尺蠖卵孵化率的影响较大。与对照组相比,黄光组和绿光组灰茶尺蠖卵的孵化率均显著下降,其中黄光组下降了 8. 73%,绿光组下降了 17. 60%,说明自然饲养条件下灰茶尺蠖卵的孵化率显著高于不同波长光谱处理。



图柱上标不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0. 05$)。图 4 同

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments($P<0. 05$). The same as Fig. 4

图 2 不同波长光谱对灰茶尺蠖卵孵化率的影响
Fig. 2 Effects of wavelength on egg hatching rate of *Ectropis grisescens*

2. 3 不同波长光谱对灰茶尺蠖成虫寿命的影响

由表 2 可以看出,2 种光谱处理对灰茶尺蠖成虫寿命均有显著的干扰作用。与对照组相比,黄光

组灰茶尺蠖雄虫的寿命缩短了 3. 09 d,绿光组灰茶尺蠖雄虫的寿命缩短了 3. 84 d,二者之间差异不显著,但均与对照差异达显著水平;黄光组和绿光组灰茶尺蠖雌虫的寿命也分别显著缩短了 6. 7 和 6. 1 d,二者之间差异不显著,但均与对照组差异达显著水平。

表 2 不同波长光谱对灰茶尺蠖成虫寿命的影响

Table 2 Effect of wavelength on adult longevity of *Ectropis grisescens*

处理 Treatment	of <i>Ectropis grisescens</i>		d
	雄虫 Male	雌虫 Female	
黄光组 Yellow light group	13. 87±0. 28 b	9. 10±0. 82 b	
绿光组 Green light group	13. 12±0. 44 b	9. 70±0. 15 b	
对照组 Control group	16. 96±0. 09 a	15. 80±0. 06 a	

动态分析结果(图 3)显示,不同波长光谱处理后,随着时间的延长,灰茶尺蠖成虫的存活率均呈逐渐下降趋势。与对照组相比,黄光组和绿光组第 5 天时灰茶尺蠖雌成虫存活率下降速度开始变快,雄成虫推迟 1 d,到第 6 天时其存活率下降速度开始变快,且同一时间下雄成虫的下降速度低于雌成虫,二者的存活率均明显低于对照组,且同一时间下绿光组灰茶尺蠖雌、雄成虫的存活率均高于黄光组。

2. 4 不同波长光谱对灰茶尺蠖成虫羽化率的影响

由图 4 可以看出,2 种波长光谱处理灰茶尺蠖蛹后,对其成虫的羽化率影响显著。与对照组相比,2 种不同波长光谱处理灰茶尺蠖蛹后,其成虫的羽化率均显著下降,其中绿光组成虫的羽化率下降了 29. 76%,黄光组成虫的羽化率下降了 45. 18%,且

黄光组成虫羽化率显著低于绿光组。

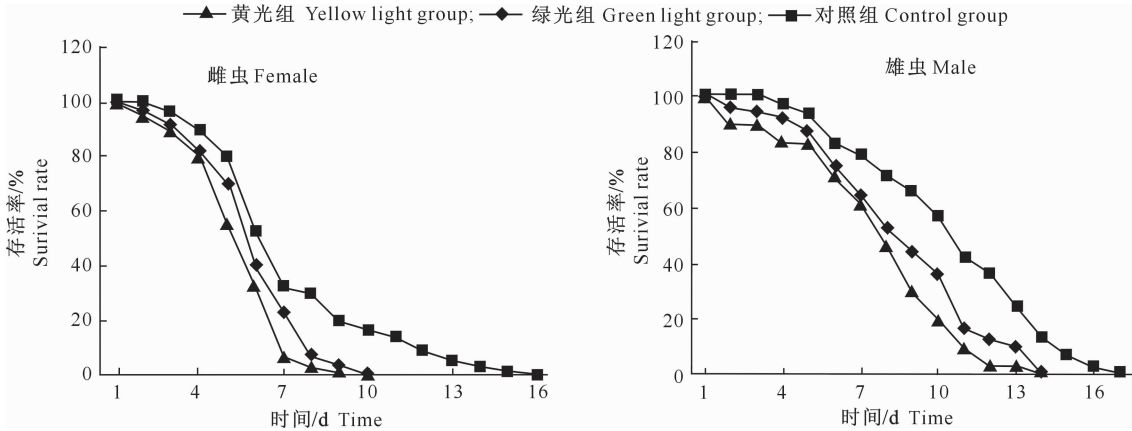


图 3 不同波长光谱对灰茶尺蠖成虫存活率的影响

Fig. 3 Effects of wavelength on adult survival rate of *Ectopis grisescens*

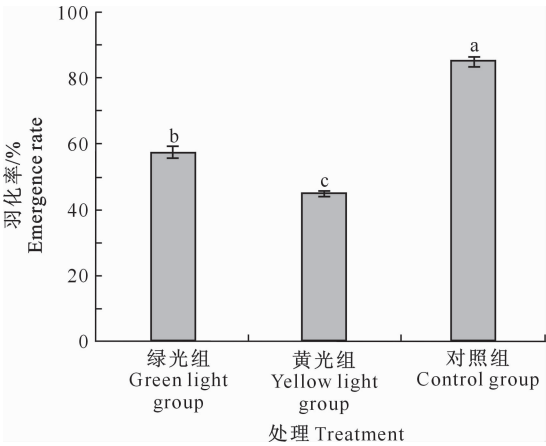


图 4 不同波长光谱对灰茶尺蠖成虫羽化率的影响

Fig. 4 Effects of wavelength on emergence rate of *Ectopis grisescens*

3 讨论与结论

目前化学防治是灰茶尺蠖的主要防治方法,由于茶园长期、大量、不合理用药,导致灰茶尺蠖对多种杀虫剂产生了抗药性,进一步增加了治理难度^[22-23]。灯光防治是生产上防治害虫的一种新趋势,其效果好、见效快、不污染环境,而且可以直接消灭害虫^[24-25]。研究表明,昆虫的趋光性受不同条件影响,不同昆虫、同一昆虫不同性别的趋光性也存在差异。黑森瘿蚊(*Mayetiola destructor* Say)的趋光率随光照强度的增强而增大^[26];东亚小花蝽(*Orius sauteri* Poppius)、黑绒鳃金龟甲虫(*Maladera orientalis* Motschulsky)雌成虫对光更加敏感^[27-29]。因此,利用昆虫的敏感光谱可以达到精准诱杀靶标害虫的目的。研究表明,夜间使用一定波长的灯光照射对夜行性蛾类的复眼有明显的刺激效果,且对其取食、交配、产卵、卵孵化、成虫寿命等活动均有影

响^[30-32]。通过夜间不同波长的干扰,打乱灰茶尺蠖正常的生长规律和生物钟,扰乱其取食、交配和产卵等行为,以达到防治的目的^[17]。

本研究采用 2 种不同波长光谱处理配对的灰茶尺蠖成虫,均使其产卵前期延长,产卵期缩短,总产卵量下降,甚至部分成虫不产卵,降低了其后代种群的数量。与黄光处理相比,绿光处理对灰尺蠖成虫的产卵率影响较大,显著降低了其种群繁衍速度,进而降低其后代种群数量。这说明黄光和绿光可显著干扰灰茶尺蠖成虫的产卵习性,该研究结果与前人对小菜蛾、甘蓝夜蛾(*Mamestra brassicae* (Linnaeus))和黏虫的研究结果^[20-21]一致。光可以影响昆虫的生殖能力^[33]。本研究中,黄光和绿光照射后均显著降低了灰茶尺蠖卵的孵化率和成虫的羽化率。作为可见光源,黄光和绿光不同于杀虫灯,其主要通过影响夜出型蛾类的行为活动和生活习性来干扰其生育节律,进而达到控制其种群数量的目的^[34]。

随着环保意识的增强,灯光诱杀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^[35-36]。本研究通过黄光和绿光照射处理后,显著减少了灰茶尺蠖的总产卵量,缩短了其生命周期,降低了卵的孵化率和成虫羽化率,从而降低了下一代幼虫的发生数量,将其种群数量控制在经济阈值水平以下,使茶叶的产量、品质及茶园的生态环境得到提升。但该试验也存在一些不足之处,如研究中的数据均是不同光谱对一代成虫的处理结果,至于其对连续多代成虫处理的影响效果如何,还需进一步深入研究。

[参考文献]

[1] 陈宗懋,蔡晓明,周 利,等. 中国茶园有害生物防控 40 年[J]. 中国茶叶,2020(1):1-8.

- Chen Z M, Cai X M, Zhou L, et al. Developments on tea plant pest control in past 40 years in China [J]. China Tea, 2020(1): 1-8.
- [2] 张汉鹄, 谭济才. 中国茶树害虫及其无公害治理 [M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2004.
- Zhang H G, Tan J C. Pest of Chinese tea tree management [M]. Hefei: Anhui Science & Technology Publishing House, 2004.
- [3] 李喜旺, 刘丰静, 邵胜荣, 等. 茶尺蠖绿色防控技术研究现状及展望 [J]. 茶叶科学, 2017, 37(4): 325-331.
- Li X W, Liu F J, Shao S R, et al. Research progress and prospect of green control techniques of *Ectropis oblique* [J]. Journal of Tea Science, 2017, 37(4): 325-331.
- [4] 张丽丽, 武怡琼, 魏佳平, 等. 灰茶尺蠖 *EgSCP2* 多克隆抗体制备及组织表达分析 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(11): 114-122.
- Zhang L L, Wu Y Q, Wei J P, et al. Preparation of polyclonal antibody and tissue expression analysis of *EgSCP2* from *Ectropis grisea* [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2019, 47(11): 114-122.
- [5] 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其体内两种酶活力的影响 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39(4): 13-16, 43.
- Zhang F M, Liu S H, Chen L J, 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.
- [6] 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.
- Luo Z X, Su L, Li Z Q, et al. Field application technology of sex pheromone on *Ectropis grisea* [J]. Journal of Tea Science, 2018, 38(2): 140-145.
- [7] Ma T, Xiao Q, Yu Y G, et al. Analysis of tea geometrid (*Ectropis grisea*) pheromone gland extracts using GC-EAD and GC × GC/TOFMS [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(16): 3161-3166.
- [8] Wang Z B, Ma T, Mao T F, et al. Application technology of the sex pheromone of the tea geometrid *Ectropis grisea* (Lepidoptera: Geometridae) [J]. International Journal of Pest Management, 2018, 64(4): 372-378.
- [9] 葛超美, 殷坤山, 唐美君, 等. 灰茶尺蠖的生物学特性 [J]. 浙江农业学报, 2016, 28(3): 464-468.
- Ge C M, Yin K S, Tang M J, et al. Biological characteristics of *Ectropis grisea* Warren [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2016, 28(3): 464-468.
- [10] 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 F F, Wang Y, Chen Y C, et al. Phototaxis of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) to LED lights [J]. Journal of Environmental Entomology, 2020, 42(1): 187-192.
- [11] 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.
- Tang M J, Guo H W, Ge C M, et al. Pathogenic characters of *Ectropis oblique* nucleopolyhedro viruses on *Ectropis grisea* Warren and screening of high efficient strain [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2017, 29(10): 1686-1691.
- [12] 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 J X, Sun Q Y, Ge C M, 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.
- [13] 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.
- Sang W, Cai F Y, Wang X P, et al. Application status and prospects of insect trapping lamp in fields [J]. China Plant Protection, 2018, 38(10): 26-30.
- [14] 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.
- Lin M, Yao B Y, Zhang Y H, et al. The studies of solar LED lights for killing worms [J]. Renewable Energy Resources, 2007, 25(3): 79-80.
- [15] 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.
- Liu X Y, Jiao X L, Guo S R, 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.
- [16] 段云, 吴仁海, 武予清, 等. LED 光照对小菜蛾成虫生物学的影响 [J]. 河南农业科学, 2010(1): 80-82, 89.
- Duan Y, Wu R H, Wu Y Q, et al. Effects of LED illumination on the biology of *Plutella xylostella* [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2010(1): 80-82, 89.
- [17] 范凡. 基于害虫-天敌关系的西花蓟马-东亚小花蝽趋光性的结构基础及其行为机理 [D]. 河北保定: 河北农业大学, 2012.
- Fan F. The structural basis and behavior mechanism of phototaxis of *Frankliniella occidentalis*-*Orius sauteri* in view of the pest-enemy relationship [D]. Baoding, Hebei: Hebei Agricultural University, 2012.
- [18] 王文龙, 任利利, 张连生, 等. 不同波长 LED 灯对油松毛虫的诱捕效果与评价 [J]. 应用昆虫学报, 2017, 54(6): 955-960.
- Wang W L, Ren L L, Zhang L S, et al. Evaluation of trapping *Dendrolimus tabulae formis* Tsai et Liu using different wavelength LED lights [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2017, 54(6): 955-960.
- [19] Otieno J A, 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.
- [20] 段云, 苗进, 巩中军, 等. 黄色光对黏虫成虫产卵和寿命的影响 [J]. 植物保护, 2016, 42(3): 175-177.

- Duan Y, Miao J, Gong Z J, et al. Effects of yellow light on the oviposition and adult longevity of *Mythimna separata* [J]. Plant Protection, 2016, 42(3): 175-177.
- [21] 蒋月丽, 张建周, 袁水霞, 等. 黄色灯防治害虫的研究与应用进展 [J]. 植物保护, 2018, 44(3): 6-10.
- Jiang Y L, Zhang J Z, Yuan S X, et al. Progresses in the research and application of yellow light for pest control [J]. Plant Protection, 2018, 44(3): 6-10.
- [22] Wang J X, Lin G F, Batool K, et al. Alimentary tract transcriptome analysis of the tea geometrid, *Ectropis oblique* (Lepidoptera: Geometridae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2018, 111(3): 1411-1419.
- [23] 张方梅, 乔利, 潘鹏亮, 等. 灰茶尺蠖对三种非寄主植物精油的触角电位和行为反应 [J]. 昆虫学报, 2018, 61(5): 565-573.
- Zhang F M, Qiao L, Pan P L, et al. Electroantennogram and behavioral responses of *Ectropis griseascens* (Lepidoptera: Geometridae) to essential oils from three non-host plants [J]. Acta Entomologica Sinica, 2018, 61(5): 565-573.
- [24] Infusino M, Brehm G, Marco C D, et al. Assessing the efficiency of UV LEDs as light sources for sampling the diversity of macro-moths (Lepidoptera) [J]. European Journal of Entomology, 2017, 114: 25-33.
- [25] 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(10): 90-92.
- Zhou X P, Jiang D Z, Shen L, et al. Controlling effect of solar trapping lamp on tobacco pests [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2012(10): 90-92.
- [26] 徐练, 文礼章. 影响杀虫灯诱虫效果的因素及其发展方向 [J]. 中国植保导刊, 2015, 35(5): 19-22.
- Xu L, Wen L Z. Review on impact factors on insecticidal efficiency trap lamp and its development [J]. China Plant Protection, 2015, 35(5): 19-22.
- [27] Schmid R B, Snyder D, Cohnstaedt L, et al. *Hessian fly* (Diptera: Cecidomyiidae) attraction to different wavelengths and intensities of light-emitting diodes in the laboratory [J]. Environmental Entomology, 2017, 46(4): 895-900.
- [28] 冯娜, 范凡, 陶晔, 等. 光谱对东亚小花蛾趋光行为的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4810-4815.
- Feng N, Fan F, Tao B, et al. Effect of spectral sensitivity response on the phototaxis of *Orius sauteri* (Poppius) [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4810-4815.
- [29] 吕飞, 海小霞, 范凡, 等. 黑绒鳃金龟甲成虫对不同单色光和光强的趋光行为 [J]. 植物保护学报, 2016, 43(4): 656-661.
- Lü F, Hai X X, Fan F, et al. The phototactic behavior of oriental brown chafer *Serica orientalis* to different monochromatic lights and light intensities [J]. Journal of Plant Protection, 2016, 43(4): 656-661.
- [30] 顾国华, 葛红, 陈小波. 几种夜出性昆虫夜间扑灯节律研究及应用 [J]. 湖北农学院学报, 2004, 24(3): 174-177.
- Gu G H, Ge H, Chen X B. Study on and application of the rhythm of several night-active insects to light trap in the night [J]. Journal of Hubei Agricultural College, 2004, 24(3): 174-177.
- [31] 靖湘峰, 雷朝亮. 昆虫趋光性及其机理的研究进展 [J]. 昆虫知识, 2004, 41(3): 198-203.
- Jing X F, Lei C L. Advances in research on phototaxis of insects and the mechanism [J]. Entomological Knowledge, 2004, 41(3): 198-203.
- [32] Paris T M, Allan S A, Udell B J, et al. Wavelength and polarization affect phototaxis of the Asian citrus psyllid [J]. Insects, 2017, 8(3): 88.
- [33] Cara F D, Jones K K. How clocks and hormones act in concert to control the timing of insect development [J]. Current Topics in Developmental Biology, 2013, 105: 1-36.
- [34] Allada R, Chung B Y. Circadian organization of behavior and physiology in *Drosophila* [J]. Annual Review of Physiology, 2010, 72: 605-624.
- [35] 边磊, 陈宗懋, 陈华才, 等. 新型LED杀虫灯对茶园昆虫的诱杀效果评价 [J]. 中国茶叶, 2016, 38(6): 22-23.
- Bian L, Chen Z M, Chen H C, et al. Evaluation of trapping and killing effect of new LED insecticidal lamp on tea garden insects [J]. China Tea, 2016, 38(6): 22-23.
- [36] Oh M S, Lee C H, Lee S G, et al. Evaluation of high power light emitting diodes (HPLEDs) as potential attractants for adult *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2011, 54(3): 416-422.