

乔利, 张天海, 蒋月丽, 等. 夜间光照度变化对灰茶尺蠖生物学特性的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(9): 1617-1622.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.09.005

夜间光照度变化对灰茶尺蠖生物学特性的影响

乔利¹, 张天海¹, 蒋月丽², 周洲¹, 周国涛³, 耿书宝¹, 金银利¹

(1. 信阳农林学院农学院, 河南 信阳 464000; 2. 河南省农业科学院植物保护研究所, 河南 郑州 450002; 3. 河南云飞科技发展有限公司, 河南 郑州 450003)

摘要: 为了探究夜间不同光照度对灰茶尺蠖生物学特性的影响, 为茶园科学应用灯光防治害虫提供参考, 本研究设置 LED 灯光 6 个光照度(分别为 40 lx、80 lx、120 lx、160 lx、200 lx 和 240 lx)处理和 1 个白色自然光(150~200 lx)对照, 观察记录不同光照对灰茶尺蠖幼虫发育历期、存活率、化蛹率、单蛹重、羽化率、成虫发育历期及产卵的影响。结果显示, 与对照相比 6 个光照度对灰茶尺蠖各龄期幼虫发育历期均有不同程度的影响, 其中 240 lx 光照度处理下发育总历期最短; 240 lx 光照度处理下 5 龄幼虫存活率最低, 羽化率显著低于对照; 光照处理对雄成虫寿命影响较雌成虫显著; 随着光照度增加, 灰茶尺蠖雌成虫产卵历期逐渐缩短, 产卵量不断减少。本研究结果表明, 茶园在夜间增加适宜波长光照射可扰乱灰茶尺蠖正常生长历期, 抑制其种群发展速度, 有效减轻灰茶尺蠖危害。

关键词: 茶园; 灰茶尺蠖; 光照度; 生物学特性

中图分类号: S571.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)09-1617-06

Effects of nighttime light intensity changes on biological characteristics of *Ectropis grisescens* Warren

QIAO Li¹, ZHANG Tianhai¹, JIANG Yueli², ZHOU Zhou¹, ZHOU Guotao³, GENG Shubao¹, JIN Yinli¹

(1. School of Agriculture, Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang 464000, China; 2. Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 3. Henan Yunfei Technology Development Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China)

Abstract: To investigate the effects of different light intensities at night on the biological characteristics of *Ectropis grisescens* Warren, and to provide a reference for the scientific application of light to control pests in tea gardens, this study set six light intensities (40 lx, 80 lx, 120 lx, 160 lx, 200 lx and 240 lx) and one white natural light (150–200 lx) control. The effects of different light intensities on larval development, survival rate, pupation rate, single pupa weight, emergence rate, adult development period and oviposition of *E. grisescens* were observed. The results showed that compared with

收稿日期: 2024-01-05

基金项目: 信阳农林学院科技创新团队项目(XNKJTD-007); 河南省重点研发与推广专项(222102110109); 国家重点研发计划项目(2017YFD0200907); 国家自然科学基金项目(32001902); 河南省国际科技合作项目(242102520042); 河南省科技攻关项目(242102110178); 河南省高等学校重点科研项目(24B210012); 信阳生态研究院开放基金项目(2023XYQN08)

作者简介: 乔利(1980-), 女, 河南平顶山人, 博士, 副教授, 主要从事昆虫生态与害虫综合防治研究。(E-mail) 2017180004@xyafu.edu.cn

通讯作者: 金银利, (E-mail) jinyinli02@163.com

the control, six light intensities had different effects on the development duration of *E. grisescens* larvae in every instar. Under 240 lx illumination treatment, the total developmental period of *E. grisescens* was the shortest, the survival rate of 5th instar larvae was the lowest, and the emergence rate was significantly lower than that of the control. The effect of light intensity on the longevity of male adults was more significant than that of female adults. With the increase of light intensity, the oviposition duration of female adults of *E. grisescens* was gradually shortened, and the oviposition amount was continuously reduced. The results of this study indicated that increasing the irradiation

of light with appropriate wavelengths at night in tea garden could disturb the normal growth period of *E. griseascens*, restrain the development speed of its population, and effectively reduce the occurrence of *E. griseascens*.

Key words: tea plantation; *Ectopis griseascens* Warren; light intensity; biological characteristics

灰茶尺蠖(*Ectopis griseascens* Warren)又名拱拱虫、量尺虫,是茶叶生产中主要害虫之一^[1-4],分布范围广,中国各大产茶区均有发生^[5]。灰茶尺蠖低龄幼虫栖息在叶片上咬食嫩叶边缘,遭到2~3龄幼虫咬食后的叶片会呈现“C”形缺刻,进入暴食期的4~5龄虫可将茶树新梢、老叶全部吃光,仅剩秃枝;灰茶尺蠖虫害严重发生时可将整个茶园茶树冠层啃光,除了会造成夏秋茶严重减产外,还易引起树势衰退、耐寒力差等问题^[6-9]。当前灰茶尺蠖的田间防治方法仍以化学药剂为主,化学农药大量使用不仅会影响茶园生态环境,而且会降低茶叶品质^[10-14],因此亟需绿色高效防治方法。

灯光诱杀是害虫绿色防控的重要手段之一,利用昆虫的趋光性诱集或趋避害虫是解决因使用化学农药引起质量安全问题的有效方法,为害虫综合防控提供了新途径^[15]。目前生产上用于防治害虫的自体发光光源,如频振式杀虫灯、黑光灯均是利用害虫趋光性进行诱集捕杀的,对许多单一作物田暴发的夜出害虫具有良好的防治效果^[16-18]。但是诱虫灯也会对防治区域的天敌造成威胁,使天敌数量逐渐下降,部分有益天敌如瓢虫、蜘蛛、蜜蜂和草蛉等被误杀^[19],因此诱虫灯的大范围推广应用可能会破坏生物多样性,对自然生态平衡造成不良影响。LED(Light emitting diode)光源波长单一,不但解决了传统光源光谱范围广、害虫针对性差等缺点,而且在不降低光照度的前提下,还具有减少能耗、光照覆盖面积大、控害区域广等优点,靶标害虫的诱集率显著提高^[20]。由此可见,研究灯光诱杀害虫的效果是绿色防控的重要手段之一,是减少化学农药使用量的重要途径^[21-23]。

不同昆虫或同种昆虫不同性别、不同发育时期的趋光性均存在一定的差异^[24-25]。采用一定波长的灯光在夜间照射蛾类成虫,结果发现对幼虫取食、成虫交配和产卵等行为都有影响^[26]。陈向荣等^[24]的研究结果显示,波长470 nm、光照度150 lx的光在18:00-19:00时间段照射,对保护地辣椒和黄瓜上的烟粉虱控制效果比其他时间段更好。蒋月丽等^[27]研究表明,波长565~585 nm,光照度为10

lx和100 lx光照射可致甜菜夜蛾雌成虫的产卵量明显下降。段云等^[28]的研究结果表明,505 nm和590 nm的LED光照射处理可显著降低小菜蛾的产卵量和卵孵化率。因此,合理使用敏感光谱可达到精准防治害虫的目的。

从已有的研究结果可知,灰茶尺蠖对多种光波均存在一定的趋(避)现象^[29],在茶园持续进行光照射处理会影响昆虫从幼虫到成虫的整个生长期,不过采用不同光照度的光在灰茶尺蠖整个生长期持续进行夜间照射后,其生物学特性的变化目前尚未见报道。本研究采用波长440~475 nm的LED灯光,设置不同梯度的光照度进行照射,记录其对灰茶尺蠖幼虫不同龄期的影响,5龄幼虫存活率、化蛹率、羽化率、成虫寿命和雌成虫产卵量等各项参数,为茶园灯光应用中波长及光照度的选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 虫源采集及室内饲养

供试虫源采自河南省信阳市浉河区白庙村河东组茶园,置于实验室光照培养箱中饲养至第3代。

1.2 仪器设备

本试验所用仪器设备包括LED灯(波长440~475 nm),PM6612数字照度计(深圳市华谊智测科技股份有限公司产品),温度计和湿度计(深圳市德福五金制品有限公司产品),PGX-330A-12H(L)光照培养箱(宁波莱福科技有限公司产品),电子分析天平(深圳市美孚电子有限公司产品),光照处理箱(规格:45.0 cm×45.2 cm×37.0 cm)^[29]。

1.3 试验方法

本试验设置6个光照度(分别为40 lx、80 lx、120 lx、160 lx、200 lx和240 lx)处理和1个对照组(CK)。选取生长健壮且发育一致的2龄幼虫作为试验材料,每个处理30头,置于温度22~25℃,湿度70%±5%,波长440~475 nm的LED光源处理装置内饲养;对照组在常规条件下饲养。光周期昼夜比为12 h:12 h。各处理设3个重复。

处理组每天7:00-19:00应用日光灯持续照射

12 h(光照度为150~200 lx),19:00-7:00 应用 LED 灯持续照射 12 h(波长440~475 nm)。对照组每天 7:00-19:00应用日光灯照射 12 h(光照度为150~200 lx),19:00-7:00黑暗处理 12 h。幼虫化蛹前每天观察培养皿内灰茶尺蠖幼虫各龄期的形态特征、生长状况及存活天数,记录1~5 龄幼虫的发育历期及5 龄幼虫存活率。幼虫化蛹后每天上午8:00统计蛹羽化数,记录蛹发育历期,称量雌虫蛹和雄虫蛹的质量,计算化蛹率及成虫羽化率。雌成虫和雄成虫羽化后配对饲养于养虫罩内(透明的亚克力圆管,直径7 cm,高15 cm),将直径8 cm的培养皿置于底部,铺一层一次性滤纸,内部放置脱脂棉球,供雌成虫产卵。用含10%蜂蜜水的棉球为成虫补充营养。每天上午8:00更换脱脂棉球,统计雌雄成虫存活天数,雌成虫产卵数量及产卵历期。将收集到的卵转移至培养皿中继续观察,记录卵孵化数量。

1.4 数据处理

选用 Excel 2019 软件进行数据整理,用 SPSS 16.0 软件对数据进行方差分析,应用最小显著性差异法(LSD)对数据进行多重比较^[30]。同一光照度处理雌雄成虫间的比较采用独立样本 *t* 检验。计算存活率、化

蛹率和羽化率。

2 结果与分析

2.1 不同光照度对各龄期幼虫发育历期的影响

如表1所示,不同光照度对灰茶尺蠖各龄期幼虫均有一定程度的影响。1龄幼虫在160 lx、200 lx和240 lx处理下发育历期均比对照长,且160 lx和200 lx处理与对照相比差异显著;其他处理发育历期均短于对照。2龄幼虫在160 lx、200 lx和240 lx处理下发育历期显著长于对照,80 lx和120 lx处理下发育历期显著短于对照。3龄幼虫6个光照度处理下发育历期均比对照短,且除了40 lx和120 lx处理与对照差异不显著,其他处理与对照差异均达显著水平。4龄幼虫以80 lx处理下发育历期最长,与其他处理及对照差异均达显著水平,240 lx处理下幼虫发育历期最短。5龄幼虫的发育历期各处理均比对照短,其中240 lx处理下幼虫发育历期最短,且显著短于对照以及40 lx、80 lx、120 lx、160 lx处理。从幼虫发育总历期看,240 lx处理下总历期最短,与其他处理及对照差异均达显著水平。

表1 不同光照度对灰茶尺蠖幼虫发育历期的影响

Table 1 Effects of different light intensities on the developmental duration of larvae of *Ectropis grisescens* Warren

| 光照度 (lx) | 各龄期幼虫发育历期(d) | | | | | 总历期 (d) |
|-------------|--------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | 1龄 | 2龄 | 3龄 | 4龄 | 5龄 | |
| 40 | 2.29±0.10c | 1.95±0.08b | 2.37±0.10a | 2.53±0.11b | 2.96±0.20a | 12.10±0.39a |
| 80 | 2.28±0.10c | 1.34±0.08c | 2.06±0.11b | 2.86±0.14a | 2.91±0.18ab | 11.45±0.41ab |
| 120 | 2.01±0.09d | 1.45±0.08c | 2.25±0.10ab | 2.31±0.12bc | 3.05±0.21a | 11.05±0.37b |
| 160 | 3.09±0.09a | 2.73±0.19a | 1.98±0.16b | 1.78±0.15de | 2.61±0.23bc | 12.18±0.66a |
| 200 | 3.13±0.12a | 2.58±0.19a | 1.66±0.15c | 2.10±0.16d | 2.28±0.18cd | 11.74±0.65a |
| 240 | 2.71±0.09b | 2.53±0.19a | 1.21±0.11d | 1.56±0.14e | 2.06±0.18d | 10.01±0.61c |
| CK | 2.61±0.08b | 1.78±0.07b | 2.39±0.11a | 2.19±0.11cd | 3.24±0.17a | 12.20±0.38a |

表中数据均为平均值±标准差,同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

2.2 不同光照度对灰茶尺蠖5龄幼虫存活率的影响

图1显示了不同光照度处理下5龄灰茶尺蠖幼虫的存活率,其中160 lx、200 lx和240 lx处理下幼虫存活率显著低于对照,分别比对照下降了22%、17%和23%。

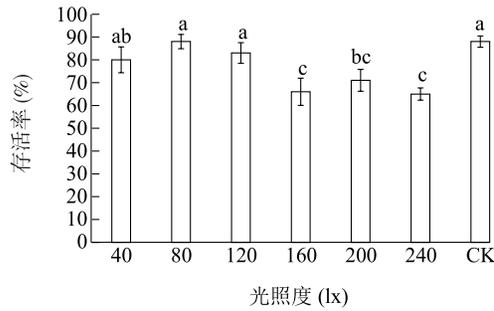
2.3 不同光照度对灰茶尺蠖幼虫化蛹率的影响

从图2可见,不同光照度处理下灰茶尺蠖幼虫

化蛹率与对照相比均有不同程度的降低,且各处理与对照差异均达显著水平。160 lx和240 lx处理下幼虫化蛹率比对照分别下降了20%和19%。

2.4 不同光照度处理对蛹重的影响

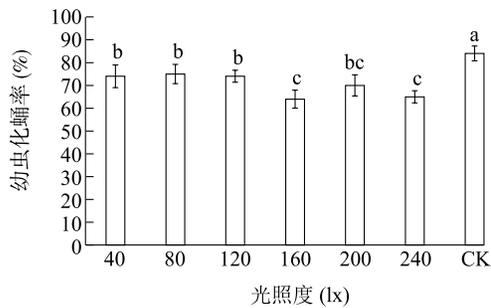
如图3所示,40 lx光照度处理下的雌蛹重最高,且与对照及其他处理差异显著;240 lx处理与对照差异未达显著水平,但与其他处理差异均达显著水平。在120lx、160lx、200lx和240lx光照度处理



图柱上不同小写字母代表不同处理之间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 1 不同光照度下 5 龄幼虫的存活率

Fig.1 Survival rate of 5th instar larvae under different light intensities



图柱上不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 2 不同光照度下幼虫的化蛹率

Fig.2 Pupation rate of larvae under different light intensities

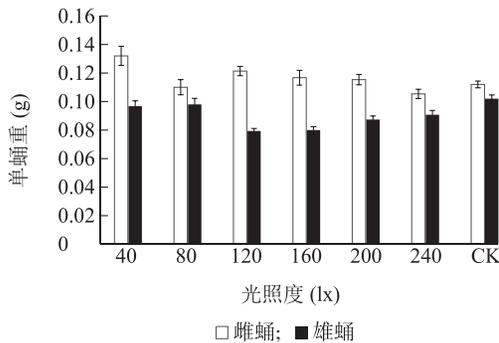


图 3 不同光照度下灰茶尺蠖单蛹重

Fig.3 Single pupa weight of *Ectropis grisescens* Warren under different light intensities

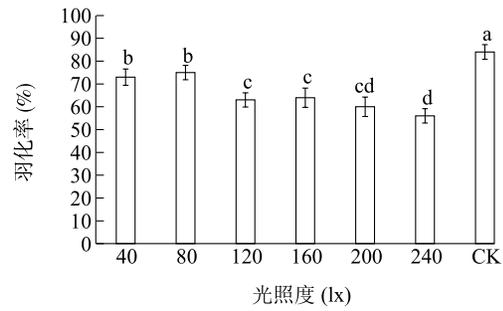
下雄蛹重显著低于对照。此外,同一光照度处理下雌蛹重和雄蛹重相比差异均达显著水平。

2.5 不同光照度对羽化率的影响

从图 4 可知,6 个光照度处理后灰茶尺蠖蛹的羽化率均显著低于对照,240 lx 处理羽化率最低,比对照下降了 28%。

2.6 不同光照度对成虫发育历期的影响

从图 5 可见,不同光照度处理对灰茶尺蠖雌成



图柱上不同小写字母表示各处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 4 不同光照度下蛹的羽化率

Fig.4 The eclosion rate of pupae under different light intensities

虫和雄成虫的发育历期均有影响。光照度为 200 lx 时雌成虫发育历期最短,与对照和其他处理间差异均达显著水平。6 个光照度处理下雄成虫发育历期均显著短于对照。值得关注的是,不同光照度处理对雄成虫的影响均大于雌成虫,雄成虫发育历期均短于雌成虫;同一光照度处理下,除 200 lx 处理外雌成虫和雄成虫发育历期差异均达显著水平。

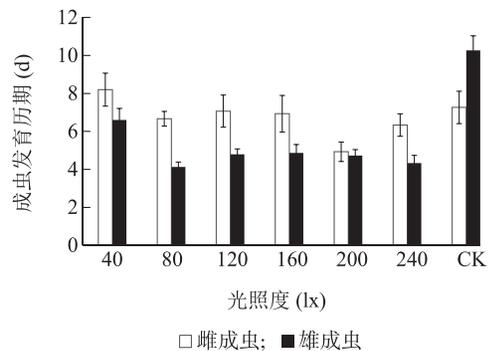


图 5 不同光照度下成虫的发育历期

Fig.5 The developmental duration of adults under different light intensities

2.7 不同光照度对灰茶尺蠖成虫产卵量、产卵前期和产卵历期的影响

如表 2 所示,不同光照度对灰茶尺蠖成虫产卵量和产卵历期均有不同程度的影响。从产卵量看,6 个光照度处理下灰茶尺蠖产卵量均显著低于对照,且随着光照度增加产卵量逐渐减少,其中 240 lx 处理下产卵量最少,与对照相比下降了 53.58%。从产卵历期看,120 lx、160 lx、200 lx、240 lx 光照度处理下灰茶尺蠖产卵历期均短于对照,且随着光照度增加产卵历期逐渐缩短,其中 240 lx 处理下产卵历

期与对照相比短 2.87 d。由此可知,灰茶尺蠖成虫产卵数量、产卵历期与光照度均呈负相关关系。随着光照度的增加,灰茶尺蠖产卵前期呈逐渐增加的趋势,其中 240 lx 光照处理下产卵前期最长,比对照多 1.14 d,160 lx、200 lx 和 240 lx 处理下产卵前期均显著长于对照。

表 2 光照度对灰茶尺蠖雌成虫产卵的影响

Table 2 Effects of different light intensities on oviposition of female adults of *Ectropis grisescens* Warren

| 光照度 (lx) | 产卵量 (粒) | 产卵前期 (d) | 产卵历期 (d) |
|----------|----------------|-------------|-------------|
| 40 | 378.07±18.25b | 1.20±0.12c | 5.67±0.45ab |
| 80 | 327.33±24.77c | 1.27±0.17c | 5.67±0.21ab |
| 120 | 289.60±26.97cd | 1.33±0.13c | 5.20±0.58bc |
| 160 | 287.13±20.88cd | 2.13±0.13b | 4.80±0.37c |
| 200 | 263.13±12.23d | 2.27±0.13ab | 3.73±0.35d |
| 240 | 230.07±10.45e | 2.47±0.17a | 3.33±0.47d |
| CK | 495.60±24.57a | 1.33±0.13c | 6.20±0.72a |

同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

3 讨论与结论

采用灯光诱杀农田害虫,既能有效防止害虫大发生,又节能环保^[31]。不同昆虫对光的反应不同,如 440~450 nm、460~465 nm、600~605 nm 和 490~495 nm LED 光对灰茶尺蠖成虫的产卵量及卵孵化率都有不同程度的影响^[32]。茶银尺蠖在 370~665 nm 单色光刺激下,雌成虫、雄成虫均能产生一定程度的趋避光行为^[33]。根据不同害虫对光的反应,夜间在茶园内进行光照射可扰乱其发育节律,减少种群数量,实现绿色防控。

本试验采用 440~475 nm LED 灯光设置不同光照度处理,对灰茶尺蠖幼虫各龄期的发育历期、5 龄幼虫存活率、化蛹率、羽化率和成虫寿命进行研究。结果发现不同光照度处理下,灰茶尺蠖幼虫化蛹率与对照相比均有不同程度的下降,160 lx 和 240 lx 处理下幼虫化蛹率比对照分别下降了 20% 和 19%,该结果与钟春兰等^[26]不同波长 LED 光照处理对斜纹夜蛾化蛹率无显著影响的研究结果不同,原因可能与不同昆虫对光的反应不同有关。乔利等^[30]的研究结果表明,520~525 nm 绿光不同光照度处理后,灰茶尺蠖 5 龄幼虫的存活率与对照相比均显著下降,该结果与本研究 5 龄幼虫存活率有所不同,

说明不同波长处理对灰茶尺蠖幼虫存活率影响不同。本研究中 6 个光照度处理下灰茶尺蠖蛹的羽化率均显著低于对照;对照成虫的产卵量最高,且与其他处理间差异均达显著水平,随着光照度增加成虫的产卵量和产卵历期呈逐渐下降的趋势,产卵前期呈逐渐增加的趋势,说明 LED 灯光照射可影响灰茶尺蠖蛹的羽化、成虫的产卵行为,这与前人的研究结果一致^[24,27,34]。

随着人们绿色环保意识的不断提高,物理防治在茶园绿色防控中显得更加重要^[35]。本研究采用不同光照度 LED 灯光对灰茶尺蠖进行处理,干扰其正常发育节律,减少下代种群数量。结果显示,240 lx 光照度处理下幼虫总发育历期在所有处理中最短,5 龄幼虫存活率在所有处理中最低,化蛹率、单蛹重与对照相比均下降,雌成虫产卵历期和产卵量均显著低于对照,这些结果说明在茶园应用 240 lx 光照度 LED 灯光照射可以达到抑制灰茶尺蠖种群数量增长的目的。本研究结果对茶园防虫灯的研发与应用具有一定的现实意义。

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,2020,42(1):1-8.
- [2] 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.
- [3] 肖强. 茶园害虫“双胞胎”——茶尺蠖和灰茶尺蠖的识别[J]. 中国茶叶,2019,41(11):11-12.
- [4] 耿书宝,侯贺丽,乔利,等. 灰茶尺蠖过冷点与结冰点的测定[J]. 中国植保导刊,2023,43(4):5-10,22.
- [5] 王定锋,李良德,李慧玲,等. 基于转录组数据高通量发掘灰茶尺蠖微卫星标记[J]. 茶叶学报,2021,62(4):191-197.
- [6] 张珩琪,冯博文,张婧,等. 灰茶尺蠖和茶尺蠖绿色防控技术研究进展[J]. 环境昆虫学报,2020,42(5):1121-1138.
- [7] LI Z Q, CAI X M, LUO Z X, et al. Geographical distribution of *Ectropis grisescens* (Lepidoptera: Geometridae) and *Ectropis obliqua* in China and description of an efficient identification method[J]. Journal of Economic Entomology, 2019, 112(1):277-283.
- [8] 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.
- [9] 乔利,洪枫,金银利,等. 黄光和绿光对灰茶尺蠖成虫生物学习性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2021,49(7):69-75.
- [10] 刘丰静,李慧玲. 茚虫威对灰茶尺蠖室内毒力测定和田间防效[J]. 福建茶叶,2024,46(4):26-28.
- [11] 徐德良,田晓兰,吴培中. 江苏茶尺蠖抗药性评估及治理对策[J]. 茶业通报,2006(1):15-16.

- [12] CHEN Z M, SUN X L, DONG W X. Genetics and chemistry of the resistance of tea plant to pests [M]. Zhejiang: Zhejiang University Press, 2012: 343-360.
- [13] 朱祚亮, 程仁群, 余昌清, 等. 茶尺蠖核型多角体病毒·苏云菌防治茶尺蠖示范研究[J]. 现代农业科技, 2016(14): 97-99.
- [14] 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.
- [15] 杨现明, 陆宴辉, 梁革梅. 昆虫趋光行为及灯光诱杀技术[J]. 照明工程学报, 2020, 31(5): 22-31.
- [16] BEN-YADIR D, ANTIGNUS Y, OFFIR Y, et al. Optical manipulations: an advance approach for reducing sucking insect pests [J]. *Advanced Technologies for Managing Insect Pests*, 2013, 1: 249-267.
- [17] 蒋月丽, 周国涛, 张桦, 等. 防蛾灯对茶园主要蛾类害虫的防控效果评估[J]. 中国植保导刊, 2024, 44(3): 63-68.
- [18] JOHANSEN N S, VÄNNINEN I, PINTO D M, et al. In the light of new greenhouse technologies: 2. Direct effects of artificial lighting on arthropods and integrated pest management in greenhouse crops [J]. *Annals of Applied Biology*, 2011, 159(1): 1-27.
- [19] 雷朝亮. 杀虫灯行业应该创新发展[J]. 湖北植保, 2019(6): 1-3.
- [20] 桑文, 黄求应, 王小平, 等. 中国昆虫趋光性及灯光诱杀技术的发展、成就与展望[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(5): 907-916.
- [21] CAMACHO L F, BARRAGÁN G, ESPINOSA S. Local ecological knowledge reveals combined landscape effects of light pollution, habitat loss, and fragmentation on insect populations [J]. *Biological Conservation*, 2021, 262: 109311.
- [22] KIM K N, HUANG Q Y, LEI C L. Advances in insect phototaxis and application to pest management: a review [J]. *Pest Management Science*, 2019, 75(12): 3135-3143.
- [23] 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(114): 25-33.
- [24] 陈向荣, 韩杜斌, 吴晓霞, 等. 蓝光对保护地蔬菜烟粉虱的控制作用[J]. 应用昆虫学报, 2021, 58(5): 1159-1165.
- [25] YANG J Y, KIM M G, LEE H S. Phototactic behavior; attractive effects of *Spodoptera litura* (*Lepidoptera*: Noctuidae), tobacco cutworm, to high-power light-emitting diodes [J]. *Journal of Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 2012, 55: 809-811.
- [26] 钟春兰, 陈苏泓, 周小妹, 等. 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[J]. 昆虫学报, 2020, 63(12): 1490-1496.
- [27] 蒋月丽, 郭培, 李彤, 等. 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[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(5): 1230-1234.
- [28] 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.
- [29] 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[J]. 茶叶科学, 2020, 40(5): 617-624.
- [30] 乔利, 张天海, 周国涛, 等. 绿光光照强度对灰茶尺蠖生长发育和繁殖的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2023, 51(12): 95-100, 110.
- [31] 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.
- [32] QIAO L, ZHANG Q, GENG S B, et al. Effect of LED illumination on the biological habits of the adults of *Ectropis grisescens* [J]. *Zoological Society of Pakistan*, 2021, 54(1): 71-76.
- [33] QIAO L, GUO S B, JIN Y L, et al. Effect of different light-emitting diode (LED) lights on the behavior and habits of *Scopulasub punctaria Herrichet Schaeffer* [J]. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2021, 15(2): 203-209.
- [34] 乔利, 张苗苗, 巩中军, 等. 不同光强LED黄光对灰茶尺蠖发育和繁殖的影响[J]. 应用昆虫学报, 2022, 59(4): 785-793.
- [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.

(责任编辑:黄克玲)