暗期不同 LED 光转换处理对斜纹夜蛾生长发育及繁殖的影响*

钟春兰** 朱地福 程禹朦 龚慧蓉 曹玲珍 黄少迪
饶嘉玲 徐鸿儒 涂小云***
（江西师范大学生命科学学院，南昌 330022）

摘 要 **【目的】** 探明暗期不同 LED 光转换处理对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 生长发育及繁殖的影响。**【方法】** 试验组斜纹夜蛾幼虫、蛹和成虫于暗期分别接受 2 种 LED 光转换处理，共计 6 个处理（分别是 L_1、L_2、P_1、P_2、A_1 和 A_2），对照组在 14L∶10D 条件下培养，观察其生长发育和繁殖情况。**【结果】** LED 光转换处理对斜纹夜蛾化蛹率无显著影响（P>0.05）；P_1 处理组的成虫羽化率（66.2%，P<0.05）显著低于 L_1 和 L_2 处理组。L_1 处理组幼虫期（雌雄分别为 15.8 和 16.4 d）和雌蛹期（9.8 d）显著缩短（P<0.05），P_1 和 P_2 处理组雄蛹期（分别为 11.9 和 11.8 d）则显著延长（P<0.05）；除 L_2 处理组雌蛹外，其他试验组蛹重显著低于对照组（P<0.05）；P_2 处理组雄成虫寿命（7.5 d）显著短于对照组（12.2 d，P<0.05），A_2 处理组产卵前期（3.4 d）显著长于 L_2 和 A_1 组（P<0.05）。L_1、P_1 和 P_2 处理组单雌产卵量均显著低于对照组（1427.7 粒）（P<0.05）。**【结论】** 暗期 LED 光转换处理对斜纹夜蛾生长发育和繁殖均有影响，且因虫态和 LED 光转换处理方式不同而异。

关键词 斜纹夜蛾；LED 光转换；生长发育；繁殖

Effects of exposure to different LED lights during the scotophase on the growth, development and reproduction of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae)

ZHONG Chun-Lan** ZHU Di-Fu CHENG Yu-Meng GONG Hui-Rong CAO Ling-Zhen
HUANG Shao-Di RAO Jia-Ling XU Hong-Ru TU Xiao-Yun***
(College of Life Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

Abstract **[Objectives]** To understand the effects of exposure to different LED lights on the growth, development and reproduction of *Spodoptera litura*. **[Methods]** Larvae, pupae and adults of *S. litura* were randomly assigned to different LED light treatment groups: L_1, L_2, P_1, P_2, A_1 and A_2, whereas those assigned to the control group were kept under a photoperiod of 14L□10D. **[Results]** Exposure to LED light had no significant effect on the pupation rate compared to the control group (P>0.05). The adult eclosion rate of the P_1 group (66.2%) was significantly lower than that of the L_1 and L_2 groups (P<0.05). The L_1 group had a significantly shorter larval (♀: 15.8 d, ♂: 16.4 d) and female pupal, periods (9.8 d, P<0.05) than the control group. The P_1 and P_2 groups had a significantly longer male pupal period (11.9 and 11.8 d, respectively, P<0.05). With the exception of female pupae in L_2 group, all treatment groups had significantly lower pupal weights (P<0.05) than the control group. Adult male longevity in the P_2 group (7.5 d) was significantly less than that of the control group (12.2 d, P<0.05), and the pre-oviposition period of the A_2 group (3.4 d) was significantly longer than in the L_2 and A_1 groups (P<0.05). Females in the L_1, P_1 and P_2 groups laid fewer eggs per female than those in the control group (P<0.05). **[Conclusion]** Exposure to different LED lights during the scotophase has significant effects on the growth, development and reproduction of *S. litura.*

*资助项目 Supported projects：江西省教育厅科学技术研究项目（GJJ191686）；国家自然科学基金地区项目（31960558）
**第一作者 First author，E-mail：1436862785@qq.com
***通讯作者 Corresponding author，E-mail：txy1036@163.com
收稿日期 Received：2022-07-20；接受日期 Accepted：2023-05-29

These effects vary with developmental stage and the type of LED light.

Key words *Spodoptera litura*; LED light in turns; growth and development; reproduction

光作为重要的生态因子，对昆虫的趋光、取食、生长发育、繁殖及寿命等均有影响（方梅等, 2017; Kim *et al*., 2019a; 钟春兰等, 2020）。在同样能耗情况下，LED 光源的光强较其他光源更强，灯光的覆盖面积更大，控害范围更广，大大提高了靶标害虫的诱集率，降低了对天敌和中性昆虫的潜在伤害（桑文等, 2019）。随着 LED 技术的发展和成本的降低，其在现代农业增产补光、城市亮化、户外广告、景观照明和道路照明等工程中得到了广泛的应用（陈小山, 2019; 季一鸣等, 2020; 侯萌萌和王超, 2021; 雷滕楠, 2021; 李增勇等, 2021）。有资料表明，夜间光照以不同方式影响着夜行性昆虫，如导致其暂时迷失方向、时空紊乱、被光吸引（趋光性）、脱敏反应、目标定位或辨认错误等（Owens and Lewis, 2018）。据多年观察，城市亮化或道路照明等 LED 光照开启和熄灭时间不一致，灯箱广告等 LED 光照色彩多样、时有时无，有的 LED 光照损坏更新不及时，LED 光照环境呈现多样性、复杂性；加之昆虫的幼虫及成虫可移动，因此受 LED 光照影响非常复杂，需要设计更多、更复杂的 LED 光照试验以探究其对昆虫的各种影响，为害虫防治和益虫繁育提供科学依据。

斜纹夜蛾 *Prodenia litura* Fabricius 为鳞翅目夜蛾科重要害虫，繁殖能力强，可暴发为害，造成农业生产等严重损失。随着我国农作物种植格局的转变及农业设施装备的大力发展，为斜纹夜蛾提供了更多的嗜食农作物及有利的发育和繁殖条件，斜纹夜蛾在田间为害呈连续暴发的特点，加之其寄主植物广泛，易暴露于多种 LED 光环境下（秦厚国等, 2006）。近年来 LED 光照对昆虫生物学特性等的影响也受到广泛关注（董婉君, 2018; 张敏, 2018; 蒋月丽等, 2023）。作者课题组前期研究结果表明，斜纹夜蛾的生长发育及繁殖受静态的不同波长 LED 光照影响（钟春兰等, 2020），但 LED 灯的工作状态在日与日之间不是一成不变的，受 LED 灯具质量、LED 灯具故障后维修是否及时、甚至城市建设施工等因素的影响，加之昆虫幼虫和成虫可移动，因此，斜纹夜蛾受 LED 光照影响有时呈现动态特征，动态的、变换的 LED 光照可能有别于静态光照。为深入了解变换的 LED 光照对斜纹夜蛾种群动态的影响，设计了暗期人工 LED 光转换试验，结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试虫源 自南昌市艾溪湖湿地公园荷叶上采集斜纹夜蛾低龄幼虫，于实验室内在透明长方形塑料盒（长×宽×高=15 cm×8 cm×6 cm）中用新鲜荷叶饲养，荷叶采自艾溪湖湿地公园。幼虫化蛹后分辨雌雄，并置于 6 孔塑料板（孔径×深度=3.50 cm×1.66 cm）内待羽化，成虫羽化后用 10%蜂蜜水饲喂。室温（26 ± 1）℃，RH 75%±2%，光周期为 14L∶10D。

1.1.2 光源 本研究所用光源为日光灯，光照强度为 500 lx，暗期不使用任何光照；红（620-625 nm）、黄（580-585 nm）、蓝（465-467 nm）、绿（520-523 nm）LED 灯（杭州拓亚光电科技有限公司定制球泡灯），光照强度均为（200 ± 5）lx。

1.2 LED 光转换处理实验

卵均在 14L∶10D 光照下孵化（即卵期不接受 LED 光源处理），幼虫、蛹和成虫分别设计 2 个实验。

试验 1 为第 1 至 4 天的暗期（10 h）分别用红、蓝、黄和绿光代替，第 5 至 8 天仍按此光序进行；试验 2 为第 1 至 2、第 3 至 4、第 5 至 6 和第 7 至 8 天的暗期（10 h）分别用红、蓝、黄和绿光代替。8 d 后均在 14L∶10D 光照条件下继续饲养、观察。

幼虫试验 1 和 2 均收集 14L∶10D 光照下所得第 1 天幼虫（每处理各 100 只，重复 3 次，不分雌雄），幼虫试验 1 和 2 分别标记为 L_1 和 L_2。记录化蛹日期，计算幼虫期，于第 4 天称取蛹重，

分辨雌雄。

蛹期试验 1 和 2 均收集 14L：10D 光照下所得第 1 天蛹（每处理各 70 只，重复 3 次），蛹试验 1 和 2 分别标记为 P_1 和 P_2，光转换处理 4 d 后于光期称取蛹重，分辨雌雄，继续光转换试验至第 8 天。记录羽化日期、计算蛹期。

成虫试验 1 和 2 均收集 14L：10D 光照下所得第 1 天成虫（各至少 30 对），成虫试验 1 和 2 分别标记为 A_1 和 A_2。记录成虫死亡日期、雌虫起始产卵日期及统计单雌产卵量。

上述试虫均为 14L：10D 光照条件下所得第 2 代虫源，光处理采用人工转换的方法，试验温度为(26 ± 1) ℃，RH 75% ± 2%。

1.3　数据分析

数据用平均值±标准差表示。采用 SPSS 21.0 软件进行单因素方差分析（One way ANOVA），Tukey 多重比较法检验其显著性差异（P<0.05）。斜纹夜蛾幼虫期、蛹期、蛹重和成虫寿命的性别差异性分析采用独立样本 t-检验进行评估。

2　结果与分析

2.1　对斜纹夜蛾化蛹率和成虫羽化率的影响

L_1 和 L_2 组的化蛹率分别为 87.9%和 93.7%，LED 光转换处理对斜纹夜蛾化蛹率无显著影响（df=2, 6, F=0.945, P=0.440）（表 1），但对斜纹夜蛾成虫羽化率有显著性影响（df=4, 10, F=4.966, P=0.018），表现为 P_1 成虫羽化率显著低于 L_1 和 L_2 组（即幼虫接受 LED 光照转换）。L_1 和 L_2 组的成虫羽化率均高于对照组，而 P_1 和 P_2 组的成虫羽化率则低于对照组，但差异均不显著。

表 1　LED 光转换对斜纹夜蛾化蛹率和成虫羽化率的影响

Table 1　Effect of different LED light in turns in scotophase on pupation rate and adult eclosion rate of *Spodoptera litura*

光处理 Treatment	化蛹率（%） Pupation rate (%)	成虫羽化率（%） Adult eclosion rate (%)
L_1	87.9±12.6 a	89.0±6.1 a
L_2	93.7±2.7 a	88.1±3.0 a
P_1	-	66.2±10.7 b
P_2	-	72.2±7.5 ab
14L：10D (CK)	96.2±1.7 a	72.8±10.1 ab

L 和 D 分别代表光期和暗期，对照组（CK）在 14L：10D 下培养；L_1、L_2、P_1 和 P_2 分别代表幼虫试验 1、幼虫试验 2、蛹期试验 1 和蛹期试验 2。表中数据为平均值±标准差，同列数据后不同字母表示差异显著（P<0.05, Tukey 多重比较）。下表同。

L and D mean photophase and scotophase, respectively. The control groups were cultured under a photoperiod of 14L：10D. L_1, L_2, P_1 and P_2 mean larval experiment 1, larval experiment 2, pupae experiment 1 and pupae experiment 2, respectively. Data are mean ± SD, and different letters after the data in the same column show significant difference (P<0.05, Tukey's multiple comparison). The same below.

2.2　对斜纹夜蛾幼虫期和蛹期的影响

LED 光转换处理对斜纹夜蛾幼虫期和蛹期均影响显著（表 2）。L_1 组的雌幼虫期（15.8 d）

表 2　LED 光转换对斜纹夜蛾幼虫期和蛹期的影响

Table 2　Effects of different LED light in turns in scotophase on the larval and pupal duration of *Spodoptera litura*

光处理 Treatment	幼虫期（d）Larval duration (d)		蛹期（d）Pupal duration (d)	
	♀	♂	♀	♂
L_1	15.8±1.0 (139) b	16.4±1.0 (138) b*	9.8±0.5 (128) b	11.3±0.6 (117) b*
L_2	16.9±1.2 (128) a	16.6±1.1 (167) ab*	9.9±0.6 (118) a	11.3±0.6 (142) b*
P_1	-	-	10.0±0.5 (76) a	11.9±0.5 (62) a*
P_2	-	-	10.0±0.5 (86) a	11.8±0.5 (68) a*
14L：10D (CK)	16.8±1.2 (144) a	16.8±1.0 (159) a	10.0±0.5 (127) a	11.4±0.6 (94) b*

括号内数据为样本数；星号表示雌雄间差异显著（P<0.05, t 检验）。表 3，表 4 同。

Data in brackets are the number of samples. Data followed by the asterisk indicate significant differences between female and male (P<0.05, t-test). The same for table 3 and table 4.

显著低于对照组（16.8 d），L_2 组的雌幼虫期（16.9 d）最长，较 L_1 组显著延长，但与对照组无显著差异（*df*=2, 408, *F*=38.57, *P*=0.000）；和对照组相比，L_1 和 L_2 组的雄幼虫期均有所缩短，L_1 组的雄幼虫期（16.4 d）显著低于对照组（16.8 d），而 L_2 组的雄幼虫期（16.6 d）则与对照组无显著差异（*df*=2, 461, *F*=5.523, *P*=0.004）。对照组雌雄幼虫发育历期无显著差异（*t* 检验，*P*=0.713），但同一试验组中雌雄幼虫发育历期均差异显著（*t* 检验，L_1 和 L_2 组 *P* 值分别为 0.000 和 0.042）。

L_1 组的雌蛹期最短（9.8 d），显著低于对照组和其他试验组，而其他试验组雌蛹期与对照组无显著性差异（*df*=4, 530, *F*=4.95, *P*=0.001）；P_1 和 P_2 组的雄蛹期（分别为 11.9 d 和 11.8 d）均较对照组（11.4 d）显著延长，但 P_1 和 P_2 两组之间无显著影响，L_1、L_2 以及对照组之间亦无显著影响（*df*=4, 478, *F*=16.126, *P*=0.000）。各试验组和对照组的雄蛹期均显著长于雌蛹期（*t* 检验, *P* 值均为 0.000）。

2.3 对斜纹夜蛾蛹重的影响

暗期分别给予不同 LED 转换光处理后，各试验组雌、雄蛹重与对照组差异性见表 3。就雌蛹重而言，P_2 组的雌蛹重仅 0.153 g，L_1 组较轻（0.157 g），除 L_2 组外，各试验组雌蛹重均显著低于对照组（0.176 g）（*df*=4, 597, *F*=12.857, *P*=0.000）；就雄蛹重而言，P_2 组的雄蛹重最轻，仅 0.158 g，各试验组雄蛹重均显著低于对照组（0.179 g）（*df*=4, 682, *F*=14.609, *P*=0.000）。

表 3 LED 光转换对斜纹夜蛾蛹重的影响

Table 3 Effects of different LED light in turns in scotophase on the pupal weight of *Spodoptera litura*

光处理 Treatment	蛹重（g） Pupal weight (g)	
	♀	♂
L_1	0.157±0.022 (139) c	0.165±0.021 (138) b*
L_2	0.168±0.023 (128) ab	0.162±0.018 (167) b*
P_1	0.161±0.026 (95) bc	0.165±0.026 (109) b
P_2	0.153±0.023 (96) c	0.158±0.024 (114) b
14L：10D (CK)	0.176±0.040 (144) a	0.179±0.034 (159) a

L_1、P_1 和 P_2 以及对照组的雄蛹重均大于雌蛹重（*t* 检验，*P* 分别为 0.003、0.270、0.092 和 0.427），且 L_1 组的雄蛹重显著大于雌蛹重（*t* 检验，*P* 值为 0.003），L_2 则相反，雌蛹重显著大于雄蛹重（*t* 检验，*P* 值为 0.008）。

2.4 对斜纹夜蛾寿命和繁殖的影响

暗期给予 LED 光转换处理后，对斜纹夜蛾成虫寿命影响不同（表 4）。L_2 组的雌虫寿命最短（10.2 d），A_2 的雌虫寿命最长（12.5 d），但各试验组以及对照组之间差异均不显著（*df*=6, 279, *F*=1.877, *P*=0.085）；对于雄虫而言，经 LED 转换光处理后，其寿命差异显著（*df*=6, 279, *F* = 6.304, *P*=0.000），P_2 组的雄虫寿命最短（7.5 d），显著低于对照组、L_2 组和 A_2 组，A_2 组的雄虫寿命最长（13.8 d），与对照组相比差异不显著，但又显著性长于 L_1、P_1 和 P_2。

表 4 LED 光转换对斜纹夜蛾寿命和繁殖的影响

Table 4 Effects of different LED light in turns in scotophase on the longevity and reproduction of *Spodoptera*

光处理 Treatment	交配数（对） Number of copulation (pair)	成虫寿命（d）Adult longevity (d)		产卵前期（d） Pre-oviposition period (d)	单雌产卵量（粒） Number of eggs laid per female (grain)
		♀	♂		
L_1	50	10.3±3.2 a	10.4±4.9 bc	2.8±1.0 abc	1 005.2±497.1 bc
L_2	43	10.2±2.9 a	13.2±4.8 ab*	2.4±1.0 c	1 345.0±516.3 a
P_1	34	10.3±3.7 a	10.4±4.7 bc	3.1±1.3 abc	782.7±384.3 c
P_2	36	11.1±5.0 a	7.5±4.3 c*	3.3±1.2 ab	712.3±398.3 c
A_1	34	10.7±3.6 a	10.9±5.4 abc	2.5±0.9 bc	1 151.7±577.2 ab
A_2	39	12.5±3.8 a	13.8±6.2 a	3.4±1.3 a	1 156.5±413.4 ab
14L：10D (CK)	50	11.3±4.3 a	12.1±5.8 ab	2.8±1.3 abc	1 427.7±591.8 a

A_1 和 A_2 分别代表成虫试验 1 和成虫试验 2。A_1 and A_2 mean adult experiment 1 and experiment 2.

进一步比较同一转换光处理下的雌、雄成虫寿命可知，L_2 组的雄成虫寿命显著大于雌成虫寿命（*t* 检验，*P* 值为 0.001），与之相反，P_2 组的雌成虫寿命则显著大于雄成虫寿命（*t* 检验，*P* 值为 0.002），其余 4 组和对照组的雌雄成虫寿命则差异不显著（*t* 检验，L_1、P_1、成 A_1、A_2 和对照组 14L∶10D 的 *P* 值分别为 0.865、0.954、0.812、0.248 和 0.448）。

与对照组相比，L_2 和 A_1 组缩短了产卵前期，但差异不显著；L_1 组与对照组的产卵前期均为 2.8 d，其余 3 组则延长了产卵前期，且 A_2 产卵前期最长（3.4 d），显著长于 L_2 和 A_1 组（df=6, 279, F=3.819, P=0.001）。

与对照组相比，各试验组均减少了单雌产卵量，P_2 组单雌产卵量最少（712.3 粒），其次为 P_1 组（782.7 粒），均显著低于对照组，L_1 组的单雌产卵量亦显著低于对照组（df=6, 279, F=11.861, P=0.000）。

3　讨论

研究结果表明，2 种不同方式的 LED 光转换处理后对斜纹夜蛾幼虫化蛹率影响差异不显著，与对照差异亦不显著（表 1），原因可能是该幼虫化蛹率受光源颜色及光照时长的影响不大。前期研究亦表明，暗期 5 h 和 200 lx 不同波长 LED 光照及暗期彩色光源闪烁（10 lx）对斜纹夜蛾幼虫化蛹率均无显著影响，但资料显示光照强度为 1 000 lx 的不同光源对斜纹夜蛾化蛹率则影响显著（董婉君，2018；钟春兰等，2020，2022），不同强度的 LED 光转换对该幼虫化蛹率的影响则有待于进一步研究。

有资料表明，在昆虫蛹期给予 LED 光照，能够降低其羽化率，如在蛹期给予灰茶尺蠖 *Ectropis grisescens* Warren 黄光和绿光照射，其羽化率均显著下降，粘虫 *Mythimna separate* Walker 蛹在不同光环境条件下，其羽化率也显著下降（桑文等，2018; 乔利等，2021），本研究中 2 组 LED 光转换处理蛹期试验的羽化率也较对照组低，但差异不显著（表 1）。然而，在幼虫期给予 8 d 2 种不同方式的 LED 光转换则能显著提高羽化率，这是否是因为 LED 光转换处理刺激幼虫取食增加还是有其他原因，尚需更多的研究加以验证。

LED 光转换方式不同对斜纹夜蛾幼虫期和蛹期影响不同（表 2）。L_1 处理显著缩短了斜纹夜蛾的雌、雄幼虫期及蛹期，尤其是雌蛹期，但 L_2 组对幼虫期和蛹期影响不大；P_2 组则显著延长了雄蛹期。资料表明，LED 对粘虫发育历期有显著性影响，如 420 nm 波长的光源能够延长其幼虫期和蛹期（桑文等，2018），LED 光照对昆虫幼虫期和蛹期的影响因昆虫种类及光照方式不同而异。

侧单眼是完全变态类昆虫幼虫仅有的感光器官，与复眼一样，它们可以感知颜色、形状、距离等，但一些昆虫的视蛋白基因表达量在性别上存在差异（刘红霞和彩万志，2007；Xu *et al.*，2018），本研究也表明，同一光处理下，雌雄幼虫期差异显著，据此推测斜纹夜蛾不同性别幼虫对 LED 光的敏感性可能不同，进而造成雌雄幼虫期的差异。外界光线可作用于蛹脑，有利于脑激素的分泌，进而促进蜕皮激素的产生，加速活性蛹的变态形成（羽化）（邓华山，1980），本研究证实不同 LED 光转换方式对蛹期亦有影响，但因性别不同而异，雄蛹接受 LED 光转换处理后蛹期显著长于对照组。

就蛹重而言，发育历期和发育速率是影响体型的重要因素，而温度和光照均能影响幼虫的生长发育（陈超等，2012；钟春兰等，2020）。本研究中，幼虫期经 LED 光转换处理后，斜纹夜蛾雌、雄蛹重均低于对照组（表 3）；同一光处理下，幼虫期经 LED 光转换处理后，雌、雄蛹之间蛹重均有显著性差异，这可能也与幼虫发育历期相关，较长的幼虫期获得的食物资源更多，可能是导致蛹重较大的主要原因。蛹期经过 4 d LED 光转换处理后，蛹重显著低于对照组，可能与暗期增加的 LED 光照加速了蛹的新陈代谢、消耗了部分能量物质有关。需要说明的是，本研究未称取第 1 天蛹重，主要原因是考虑称取蛹重时，人为损伤可能对随后的成活率有影响。

研究结果表明，给予幼虫、蛹及成虫 LED 光转换处理，对雌成虫寿命均影响不大，但对雄成虫寿命影响显著，P_2 组对雄成虫寿命影响最显著，较对照组短 4.6 d（表 4）。雌雄成虫因复眼的差异可能导致雌雄成虫在相同光源条件下有着不同的敏感性（程文杰等，2011），而幼虫期和蛹期受 LED 光转换的影响可能分别与侧单眼和蛹脑感受光有关。LED 对昆虫寿命的影响存在性别差异的现象也见于其他昆虫，如黄光和绿光对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* Smith 雌成虫寿命无显著影响，黄光却显著缩短了雄成虫寿命（蒋月丽等，2020）；但更多资料表明 LED 对昆虫雌雄寿命的影响是同步的，如黄光和绿光均能延长粘虫的雌雄成虫寿命，筛豆龟蝽 *Megacopta cribraria* Fabricius 雌雄成虫寿命均在黄光下延长，在蓝光条件下却缩短（段云等，2016；Kim *et al*., 2019；许喆，2019）。

LED 光转换处理对斜纹夜蛾产卵前期和单雌产卵量有显著影响（表 4），其中 A_2 组显著性延长了产卵前期，LED 光照延长产卵前期的现象也见于小菜蛾 *Plutella xylostella* Linnaeus 和粘虫等（段云等, 2010; Kim *et al*., 2019b）。各试验组均减少了单雌产卵量，且单雌产卵量最低的是蛹期试验组，这可能与本研究中观察到的蛹期被处理后羽化的成虫交配行为受到一定影响有关系。事实上蛹期接受光处理后产卵量受到影响的现象还见于家蚕蛹 *Bombyx mori* Linnaeus 和梨小食心虫 *Grapholitha molesta* Busck 等（王怡等, 2019; 黄扬玉等, 2020）。

综上所述，暗期 10 h 人工 LED 光转换处理对斜纹夜蛾幼虫发育历期和成虫繁殖均有影响，对羽化率、幼虫期、蛹期和蛹重、雄成虫寿命及雌成虫产卵行为均影响显著，且因该虫受处理的虫态和人工转换光照的方式而不同。研究结果可为复杂的、变换光照条件下害虫测报和益虫繁育提供参考。

参考文献 (References)

Chen C, Zhou HY, Xia QW, Chen YS, Xue FS, 2012. Temperature-dependent development and protogyny in *Helicoverpa armigera*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(4): 867–873. [陈超, 周海燕, 夏勤雯, 陈元生, 薛芳森, 2012. 棉铃虫温度依赖的生长发育及雌性先熟现象. 应用昆虫学报, 49(4): 867–873.]

Chen XS, 2019. Application of intelligent lighting system in urban lighting project. *Electrical Technology of Intelligent Buildings*, 13(5): 51–55. [陈小山, 2019. 智慧照明系统在城市亮化工程中的应用. 智能建筑电气技术, 13(5): 51–55.]

Cheng WJ, Zheng XL, Wang P, Lei CL, Wang XP, 2011. Sexual difference of insect phototactic behavior and related affecting factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(12): 3351–3357. [程文杰, 郑霞林, 王攀, 雷朝亮, 王小平, 2011. 昆虫趋光的性别差异及其影响因素. 应用生态学报, 22(12): 3351–3357.]

Deng HS, 1980. The effect of sensitization and diapause on pupa silkworms. *Acta Sericologica Sinica*, 6(2): 125–128. [邓华山, 1980. 关于柞蚕蛹期感光解除滞育的效应. 蚕业科学, 6(2): 125–128.]

Dong WJ, 2018. Effects of different light sources on the growth and reproduction of five insects. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [董婉君, 2018. 不同光源对五种昆虫生长发育和繁殖的影响研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]

Duan Y, Miao J, Gong ZJ, Jiang YL, Li T, Li HL, Wu YQ, 2016. Effects of yellow light on the oviposition and adult longevity of *Mythimna separata*. *Plant Protection*, 42(3): 175–177. [段云, 苗进, 巩中军, 蒋月丽, 李彤, 李慧玲, 武予清, 2016. 黄色光对黏虫成虫产卵和寿命的影响. 植物保护, 42(3): 175–177.]

Duan Y, Wu RH, Wu YQ, Jiang YL, Zhao MQ, 2010. Effects of LED illumination on the biology of *Plutella xylostella*. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2010(1): 80–82, 89. [段云, 吴仁海, 武予清, 蒋月丽, 赵明茜, 2010. LED 光照对小菜蛾成虫生物学的影响. 河南农业科学, 2010(1): 80–82, 89.]

Fang M, Dai ZY, Shuai YL, Liang LY, Zhang CQ, Xie JK, Tu XY, 2017. Effects of varying temporal exposure to light on the feeding and walking behavior of adult *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Fabricius). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(5): 813–823. [方梅, 戴志颖, 帅艳玲, 梁龙阳, 张超群, 谢建坤, 涂小云, 2017. 光期位点对茄二十八星瓢虫成虫取食和爬行行为节律的影响. 应用昆虫学报, 54(5): 813–823.]

Huang YY, Wei HQ, Pu YX, Ye JW, Mo LJ, Chen DX, 2020. The effect of illumination during pupal stage on the quality silkworm eggs of Furong, 932, Xianghui and 7532 varieties. *Newsletter of Sericultural Science*, 40(3): 16–19. [黄扬玉, 韦红群, 浦月霞, 叶建蔚, 莫柳静, 陈得贤, 2020. 蛹期光照对芙蓉、932、湘晖和 7532 原种质量的影响. 蚕学通讯, 40(3): 16–19.]

Hou MM, Wang C, 2021. Research on intelligent control and application of LED landscape Lighting. *Lamps & Lighting*, 2021(2): 30–31. [侯萌萌, 王超, 2021. LED 景观照明智能控制及应用研究. 光源与照明, 2021(2): 30–31.]

Ji YM, Liu K, Zhang YP, Mao HL, 2020. Exploratory experiment on the effects of LED on increasing production of hydroponic lettuce and green cabbage in greenhouse during winter.

Agricultural Engineering Technology, 40(34): 53–57. [季一鸣, 刘康, 张样平, 毛宏雷, 2020. LED 补光对冬季温室水培生菜和青梗菜的增产效果探究试验. 农业工程技术, 40(34): 53–57.]

Jiang YL, Gao XG, Lu RJ, Zhou GT, Li T, Gong ZJ, Mei SQ, Lu CT, Wu YQ, 2023. Control effect of yellow light on moth pests and its effect onnon target insects and natural enemies in pakchoi field. *Journal of Environmental Entomology*, 45(1): 246–252. [蒋月丽, 高新国, 鲁瑞杰, 周国涛, 李彤, 巩中军, 梅诗琼, 鲁传涛, 武予清, 2023. 黄光灯对小白菜田蛾类害虫的防控效果及对非靶标昆虫和天敌的影响. 环境昆虫学报, 45(1): 246–252.]

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. [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.]

Kim KN, Huang QY, Lei CL, 2019a. Advances in insect phototaxis and application to pest management: A review. *Pest Management Science*, 75(12): 3135–3143.

Kim KN, Jo YC, Huang ZJ, Song HS, Ryu KH, Huang QY, Lei CL, 2019b. Influence of green light illumination at night on biological characteristics of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae). *Bulletin of Entomological Research*, 110(1): 1–8.

Lei TN, 2021. Lighting design of LED advertising light box. *Electronics World*, 2021(4): 134–135. [雷滕楠, 2021. LED 广告灯箱照明设计. 电子世界, 2021(4): 134–135.]

Li ZY, Xiao QM, He XJ, 2021. Application of intelligent LED street lamp in urban road lighting. *Mechanical & Electrical Engineering Technology*, 50(7): 259–260, 264. [李增勇, 萧倩美, 何秀娟, 2021. 智慧LED路灯在城市道路照明中的应用. 机电工程技术, 50(7): 259–260, 264.]

Liu HX, Cai WZ, 2007. The structure and function of simple eyes of insects. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(4): 603–607. [刘红霞, 彩万志, 2007. 昆虫单眼的结构和功能. 昆虫知识, 44(4): 603–607.]

Owens ACS, Lewis SM, 2018. The impact of artificial light at night on nocturnal insects: A review and synthesis. *Ecology and Evolution*, 8(22): 11337–11358.

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* (*Natural Science Edition*), 49(7): 69–75. [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): 69–75.]

Qin HG, Wang DD, Ding J, Huang RH, Ye ZX, 2006. Host plants of *Spodoptera litura*. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 18(5): 51–58. [秦厚国, 汪笃栋, 丁建, 黄荣华, 叶正襄, 2006. 斜纹夜蛾寄主植物名录. 江西农业学报, 18(5): 51–58.]

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. [桑文, 董婉君, 黄求应, 朱芬, 王小平, 郭墅濠, 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.]

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 Y, Kong WN, Guo YF, Cai XH, Li J, Ma RY, 2019. Effect of pupal exposure to different photoperiods on emergence, mating and reproduction of *Grapholita molesta* (Lepidoptera, Tortricidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 56(2): 307–315. [王怡, 孔维娜, 郭永福, 柴晓晗, 李捷, 马瑞燕, 2019. 不同光周期处理蛹对梨小食心虫羽化及交配繁殖的影响. 应用昆虫学报, 56(2): 307–315.]

Xu PJ, Lu B, Xiao HJ, Fu XW, Murphy RW, Wu KM, 2018. The evolution and expression of the moth visual opsin family. *PLoS ONE*, 8(10): e78140.

Xu Z, 2019. Study on the adaptability and physiological mechanism of *Megacopta cribraria* (Fabricius) to light environment. Master dissertation. Changchun: Jilin Agricultural University. [许喆, 2019. 筛豆龟蝽对光环境适应性及其生理机制研究. 硕士学位论文. 长春: 吉林农业大学.]

Zhang M, 2018. Effects of different light conditions on biological characteristics of five insect species. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [张敏, 2018. 不同光环境对 5 种昆虫生物学特性的影响研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]

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.]

Zhong CL, Zhu DF, Cheng YM, Liu ZH, Fu ZX, Wang JY, Gong HR, Tu XY, 2022. Effects of exposing *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) to flashing colored LED lights during the scotophase on the growth, development and reproduction of this species. *Journal of Northwest A&F University* (*Natural Science Edition*), 59(6): 1421–1427. [钟春兰, 朱地福, 程禹朦, 刘子航, 付子欣, 王剑颖, 龚慧蓉, 涂小云, 2022. 暗期 LED 彩色光源闪烁对斜纹夜蛾生长发育及繁殖的影响. 应用昆虫学报, 59(6): 1421–1427.]