

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.06.027

袁清娇, 吕建华, 白春启, 等. 6 种储粮害虫成虫对 LED 光的趋光行为研究[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(6): 226-233.

YUAN Q J, LV J H, BAI C Q, et al. Studies on the phototropic behavior to LED light of six stored grain insects[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(6): 226-233.

6 种储粮害虫成虫对 LED 光的趋光行为研究

袁清娇¹, 吕建华¹✉, 白春启¹, 韩志强², 张峰², 张袁泉¹

(1. 河南工业大学 粮食和物资储备学院 粮食储藏安全河南省协同创新中心, 河南 郑州 450001;
2. 中山市粮食储备经营管理有限公司, 广东 中山 528447)

摘要: 灯光诱捕是一种环境友好的害虫监测方法。深入了解不同波长和光强的发光二极管(LED)光源对储粮害虫趋向性的影响可以提高灯光诱捕效果。在实验室条件下研究了米象、赤拟谷盗、烟草甲、锈赤扁谷盗、杂拟谷盗和玉米象等 6 种常见储粮害虫成虫对不同波长和强度的 LED 光的趋性。研究表明, 米象对波长 590 nm、光照强度为 170 lx 的 LED 灯趋光率最高, 达到 81.11%; 赤拟谷盗对波长 520 nm、光照强度为 120 lx 的 LED 灯趋光率最高, 达到 92.22%; 烟草甲对波长 460 nm、光照强度 170 lx 的 LED 灯趋光率最高, 达到 77.78%; 锈赤扁谷盗对波长 356 nm 的 LED 灯趋光率最高, 达到 93.33%; 杂拟谷盗对波长 460 nm、光照强度 120 lx 的 LED 灯趋光率最高, 达到 84.44%; 玉米象对波长 365 nm 的 LED 灯趋光率最高, 达到 88.89%。研究结果对科学利用储粮害虫趋光性开展害虫综合治理具有参考价值。

关键词: 储粮害虫; 趋光行为; LED 灯; 趋光装置; 波长; 光强

中图分类号: S379.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)06-0226-08

网络首发时间: 2024-11-07 13:16:45

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20241107.1141.014>

Studies on the Phototropic Behavior to LED Light of Six Stored Grain Insects

YUAN Qing-jiao¹, LV Jian-hua¹✉, BAI Chun-qi¹, HAN Zhi-qiang², ZHANG Feng², ZHANG Yuan-quan¹

(1. Henan Collaborative Innovation Center for Grain Storage Security, School of Food and Strategic Reserves, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China;
2. Zhongshan Grain Reserve Management Co., Ltd, Zhongshan, Guangdong 528447, China)

Abstract: Light trapping is an environmentally friendly pest insect monitoring method. Deeply understanding the influence of different wavelengths and light intensities of light source on the phototaxis of stored grain insects is very helpful for improving light trapping effectiveness. Thus, the phototaxis of adults

收稿日期: 2024-03-20

基金项目: “十四五”国家重点研发计划项目(2021YFD2100604); 中山市粮食储备经营管理有限公司科技项目(2022年)

Supported by: National Key Research and Development Project of the 14th five-year plan, China (No. 2021YFD2100604); Zhongshan Grain Reserve Management Co., Ltd. (2022)

第一作者: 袁清娇, 女, 1998 年出生, 在读硕士生, 研究方向为储粮害虫综合治理及品质控制, E-mail: 2683545091@qq.com

通信作者: 吕建华, 男, 1971 年出生, 博士, 教授, 研究方向为储粮害虫综合治理及品质控制, E-mail: jianhly@163.com

of *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) (Coleoptera: Curculionidae), *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae), *Lasioderma serricorne* (F.) (Coleoptera: Ptinidae), *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae), *Tribolium confusum* (Jacquelin du Val) (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) to LED lights of different wavelengths and intensities were investigated in laboratory, respectively. The results showed that *S. oryzae* adults had the highest phototactic ratio (81.11%) to LED lights with a wavelength of 590 nm and a light intensity of 170 lx. *T. castaneum* adults had the highest phototactic ratio (92.22%) to LED lights with a wavelength of 520 nm and a light intensity of 120 lx. *L. serricorne* adults had the highest phototactic ratio (77.78%) to LED lights with a wavelength of 460 nm and a light intensity of 170 lx. *C. ferrugineus* adults had the highest phototactic ratio (93.33%) to LED lights with a wavelength of 365 nm. *T. confusum* adults had the highest phototactic ratio (84.44%) to LED lights with a wavelength of 460 nm and a light intensity of 120 lx, and *S. zeamais* adults showed the highest phototactic ratio (88.89%) to LED lights with a wavelength of 365 nm. These results have reference value for effectively designing integrated pest management (IPM) strategies utilizing the phototaxis of stored grain insects.

Key words: stored grain insects; phototropic behavior; LED lights; phototropic devices; wavelength; intensity of light

粮食在产后储藏及加工过程中时常因遭受储粮害虫的为害造成严重损失^[1]。目前,常用化学方法防治储粮害虫,但长期单一使用化学防治造成的环境污染、害虫抗药性增加、药剂残留等负面问题已引起人们高度关注。同时,政府对化学药剂管控也越来越严。因此,迫切需求对环境友好、可持续、高效的储粮害虫防治方式。

灯光诱杀具有经济环保、绿色高效的特点,已在无公害农业、绿色农业和有机农业生产中广泛应用,并逐步推广到储粮害虫监测和防治领域。发光二极管(Light emitting diodes, LED)作为一种新型光源,具有波长范围窄、耗能小、使用寿命长、波长种类多、价格便宜等优点,在储粮害虫防治领域具有较大应用潜力^[2]。

已有研究表明储粮害虫具有趋光性^[3-5]。储粮害虫趋光行为主要受到波长和光强影响,但目前对储粮害虫趋光性研究较多集中在不同波长对其趋光行为的影响,关于不同光照强度对储粮害虫趋光性影响报道较少。因此,本文研究 6 种常见储粮害虫对不同波长及光强 LED 光的行为反应,为科学利用趋光性防治储粮害虫提供参考依据。

1 材料与amp;方法

1.1 供试昆虫

本试验所用虫种均已在河南工业大学储藏物昆虫实验室纯化培养多代。烟草甲以全麦粉为饲料;赤拟谷盗和杂拟谷盗以全麦粉与酵母质量比 9 : 1 混配为饲料;米象、玉米象以全麦为饲料;锈赤扁谷盗以燕麦片、全麦粉和酵母粉按质量比 5 : 4 : 1 混配为饲料。培养条件:(30±2)℃、相对湿度(70±5)%、光周期 L : D = 0 : 24 h。试验采用初羽化成虫。

1.2 仪器与amp;设备

SPX 型生化培养箱:北京永光明医疗仪器厂;101B 型电热鼓风干燥箱:北京海天友诚科技有限公司;LED 小射灯:晟利光电公司;MS-35-12V LED 开关电源:香港明伟电器有限公司;DC12V/24V LED 调光器:厦门拉伯塔电子商务有限公司;TA8131 照度计:苏州特安斯电子实业有限公司;其他用具包括毛笔、粘虫纸、托盘等。

1.3 试验方法

1.3.1 6 种储粮害虫对不同波长 LED 光源的趋光行为测试

趋光行为测试装置如图 1。趋光装置使用材

料为聚甲基丙烯酸甲酯，光区顶部的圆为光源进入通道。

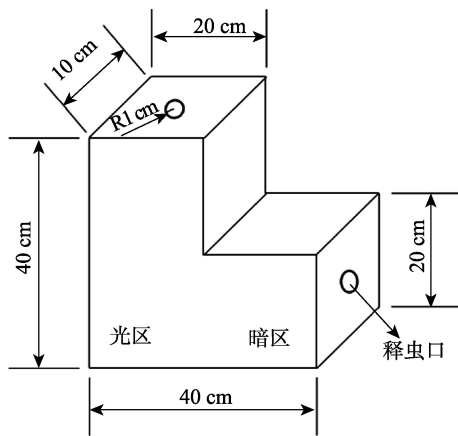


图 1 害虫趋光行为反应装置

Fig. 1 Phototactic behavior response device for pest insects

从峰值波长为 365、395、420、460、520、595、625 nm 的单色光 LED 射灯中分别选取一种作为试验光源，以无单色光 LED 射灯为对照。具体方法如下：挑选 30 头健壮试虫预先置于黑暗无光照环境中进行 1 h 暗处理，然后打开光源，用照度计测量 LED 光的光强度，LED 调光器控制在 70~80 lx 的范围内，待处理 15、30、60 和 90 min 后，分别记录暗区害虫数并计算趋光率。试验环境温度 (26±2) °C、相对湿度 60%~70%。重复 3 次。

1.3.2 6 种储粮害虫对不同光强 LED 光源的趋光行为测试

试验方法同 1.3.1。根据 1.3.1 研究结果，筛选出影响不同储粮害虫趋光行为的最佳波长的 LED 光，再分别测定 6 种储粮害虫对不同光照强度的各自最佳波长 LED 光的趋光率。光照强度设置为 20、70、120、170、220 lx。

1.4 数据处理

储粮害虫趋光率计算公式如下：

$$\text{趋光率}(\%) = \frac{\text{供试昆虫数} - \text{暗区昆虫数}}{\text{供试昆虫数}} \times 100\%$$

采用 Microsoft Excel 2019 软件对试验数据进行初步统计处理，计算每组数据的趋光率和标准误差，再对趋光率进行反正弦转换，然后使用 SPSS 26 数据处理软件对所得数据进行双因素方差分析和多重比较。采用 Duncans 多重比较法检验其差异显著性。

2 结果与分析

2.1 米象成虫对 LED 光源的趋光行为反应

LED 灯的波长 (F=93.279; df=7,64; P<0.001) 和处理时间 (F=154.552; df=3,64; P<0.001) 及其交互作用 (F=6.037; df=21,64; P<0.001) 对米象成虫的趋光率均有显著影响 (表 1)。光强 (F=32.767; df=5,48; P<0.001) 和处理时间 (F=67.513; df=3,48; P<0.001) 对米象成虫的趋光率有显著影响，但其交互作用 (F=1.587, df=15,48; P>0.05) 对米象成虫的趋光率无显著影响 (表 2)。随处理时间增加，米象成虫对 LED 光的趋光率显著增加，在 90 min 后，对波长 590 nm 的 LED 光趋光率最大，对 170 lx 的光强显示最大趋光率。

2.2 赤拟谷盗成虫对 LED 光源的趋光行为反应

LED 灯的波长 (F=35.765; df=7,64; P<0.001) 和处理时间 (F=109.566; df=3,64; P<0.001) 及其交互作用 (F=2.463; df=21,64; P=0.003) 对赤拟谷盗成虫的趋光率有显著影响 (表 3)。光强 (F=73.237; df=5,48; P<0.001) 和处理时间 (F=53.386; df=3,48; P<0.001) 对赤拟谷盗成虫对 520 nm LED 光的趋光率均有显著影响，而两者交互作用对赤拟谷盗成虫的趋光率无显著影响 (F=0.852; df=15,48; P=0.618) (表 4)。随处理时间增加，赤拟谷盗成虫的趋光率显著增加，处理 90 min 后，对 520 nm 的 LED 光趋光率最大，对 120 lx 的 LED 光趋光率最大。

2.3 烟草甲成虫对 LED 光源的趋光行为反应

波长 (F=100.686; df=7,64; P<0.001) 和处理时间 (F=104.756; df=3,64; P<0.001) 及其交互作用 (F=5.963; df=21,64; P<0.001) 对烟草甲成虫趋光率均有显著影响 (表 5)。光照强度 (F=119.809; df=5,48; P<0.001) 和处理时间 (F=135.851; df=3,48; P<0.001) 及其交互作用 (F=2.535; df=15,48; P=0.007) 对烟草甲成虫趋光率均有显著影响 (表 6)。草甲成虫趋光率随处理时间的增加显著增加，处理 90 min 后，对 460 nm LED 光趋性最强，对光强为 170 lx 的 LED 光趋性最强。

表 1 不同处理时间后米象成虫对不同波长 LED 光源的趋光率

Table 1 Phototactic ratio of *S. oryzae* adults to LED lights with different wavelengths after different exposure times %

波长/nm	15/min	30/min	60/min	90/min
对照	36.67±1.93Db	42.22±1.11Da	43.33±0.00Da	43.33±0.00Fa
365	56.67±1.93Ac	62.22±1.11Bbc	65.55±2.22Bb	72.22±1.11BCa
395	27.78±1.11Fd	38.89±1.11Dc	52.22±2.22Cb	64.44±2.94CDa
420	45.55±2.22BCb	53.33±1.93Cb	55.56±1.11Ca	61.11±4.84DEa
460	38.89±2.94CDb	40.00±1.92Db	43.33±0.00Da	53.33±1.93Ea
520	50.00±1.92ABd	61.11±1.11Bc	67.78±1.11Bb	73.33±1.93Ba
590	51.11±2.94ABc	66.67±1.93Ab	77.78±2.94Aa	84.44±2.94Aa
620	37.78±2.94Dd	48.89±2.22Cc	62.22±1.11Bb	71.11±1.11BCa

注：数据为平均值±标准误。同一行不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)；同一列不同大写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

Note: The data in the table are mean values ± standard errors. Data followed by different lowercase letters in each row, and data followed by different capital letters in each column indicated significant difference ($P<0.05$). The same as below.

表 2 不同处理时间后米象成虫对不同光照强度的 590 nm LED 光源的趋光率

Table 2 Phototactic ratio of *S. oryzae* adults to LED lights with a wavelength of 590 nm at various light intensities after different exposure times %

光强/lx	15/min	30/min	60/min	90/min
对照	36.67±1.93Cb	53.33±3.33BCa	54.44±2.94Da	57.78±1.11Ca
20	50.00±1.92ABc	60.00±1.92ABb	63.33±1.93BCab	66.67±1.93BCa
70	48.89±1.11ABb	55.55±4.01BCb	67.78±2.22Ba	67.78±1.11Ba
120	48.89±2.94ABc	62.22±2.22ABb	70.00±1.92Bab	74.45±4.01ABa
170	55.00±2.89Ab	66.67±3.85Ab	77.78±2.94Aa	81.11±2.94Aa
220	44.44±2.94Bb	45.55±2.22Cb	56.67±1.93CDa	57.78±2.94Ca

表 3 不同处理时间后赤拟谷盗成虫对不同波长 LED 光源的趋光率

Table 3 Phototactic ratio of *T. castaneum* adults to LED lights with different wavelengths after different exposure times %

波长/nm	15/min	30/min	60/min	90/min
对照	33.33±1.93BCc	36.67±1.93CDEbc	43.33±3.85CDB	51.11±1.11Da
365	40.00±5.77ABb	45.56±5.56BCab	51.11±2.94ABCab	58.89±1.11Ca
395	46.67±3.85Ab	50.00±1.92ABb	58.89±1.11Aa	65.56±1.11Ba
420	21.11±2.94Cc	32.22±2.22Eb	35.56±1.11Dab	38.89±1.11Ea
460	35.56±1.11Bc	55.55±2.22Ab	60.00±1.92Ab	66.67±1.93Ba
520	41.11±1.11ABb	43.33±1.93BCDb	56.22±8.22ABb	72.22±2.94Aa
590	17.78±1.11Cc	30.00±3.85Eb	46.67±1.93BCDa	51.11±1.11Da
620	33.33±1.93BCc	34.45±2.22DEc	53.33±1.93ABCb	60.00±1.92Ca

表 4 不同处理时间后赤拟谷盗成虫对不同光照强度的 520 nm LED 光源的趋光率

Table 4 Phototactic ratio of *T. castaneum* adults to LED lights with a wavelength of 520 nm at various light intensities after different exposure times %

光强/lx	15/min	30/min	60/min	90/min
对照	38.89±2.22Eb	42.22±1.11Db	53.33±1.93Ca	56.67±1.93Ca
20	48.89±2.22Db	56.67±1.93Cb	65.56±2.94BCa	72.22±2.94Ba
70	54.44±2.94CDb	65.55±4.01Bab	75.56±4.84Ba	76.67±3.85Ba
120	73.33±1.93Ac	80.00±1.92Abc	85.55±4.01Aab	92.22±1.11Aa
170	61.11±1.11BCb	65.55±2.22Bb	74.44±2.94Ba	76.67±1.93Ba
220	66.67±1.93Bc	72.22±1.11Bb	76.67±1.93ABab	77.78±1.11Ba

表 5 不同处理时间后烟草甲成虫对不同波长 LED 光源的趋光率

Table 5 Phototactic ratio of *L. serricorne* adults to LED lights with different wavelengths after various exposure times %

波长/nm	15/min	30/min	60/min	90/min
对照	31.11±1.11Cc	36.67±1.93BCb	46.67±1.93BCa	47.78±1.11Ca
365	28.89±1.11Cb	31.11±1.11Cb	43.33±1.93CDa	45.55±2.22Ca
395	36.67±1.93Bc	46.67±1.93Abc	50.00±1.92ABab	53.33±1.93Ba
420	33.33±1.93BCc	35.56±1.11BCbc	38.89±1.11DEb	44.33±1.17Ca
460	44.44±1.11Ac	46.67±1.93Ab	52.22±2.22Ab	66.67±1.93Aa
520	16.67±1.93Db	22.22±2.94Dab	23.33±1.93Fab	27.78±1.11Ea
590	31.11±1.11Cc	38.89±1.11Bb	42.22±1.11CDab	43.33±1.93Ca
620	30.00±1.92Ca	33.33±1.93BCa	33.33±1.93Ea	36.67±1.93Da

表 6 不同处理时间后烟草甲成虫对不同光照强度的 460 nm LED 光源的趋光率

Table 6 Phototactic ratio of *L. serricorne* adults to LED lights with a wavelength of 460 nm at various light intensities after different exposure times %

光强/lx	15/min	30/min	60/min	90/min
对照	34.44±2.94Cb	41.11±1.11Bab	46.67±1.93Ca	46.67±1.93Ca
20	35.56±2.94Cb	41.11±1.11Bb	47.78±2.22Ca	50.00±0.00Ca
70	35.56±2.94Cc	42.22±1.11Bbc	47.78±1.11Cab	52.22±2.22Ca
120	45.56±2.94Bc	54.45±2.22Ab	56.67±1.93Bab	63.33±1.93Ba
170	54.44±2.94Ac	60.00±1.92Ac	67.78±1.11Ab	77.78±1.11Aa
220	42.22±2.94BCb	44.45±4.01Bb	52.22±2.94Bb	62.22±2.94Ba

2.4 锈赤扁谷盗成虫对 LED 光源的趋光行为反应

波长 ($F=182.269$; $df=7,64$; $P<0.001$) 和处理时间 ($F=173.490$; $df=3, 64$; $P<0.001$) 及其交互作用 ($F=3.581$; $df=21,64$; $P<0.001$) 均对锈赤扁谷盗成虫趋光率有显著影响 (表 7)。光强 ($F=102.060$; $df=5,48$; $P<0.001$) 和处理时间 ($F=64.159$; $df=3,48$; $P<0.001$) 均对锈赤扁谷盗成虫趋光率有显著影响,但其交互作用 ($F=0.902$; $df=15,48$; $P=0.567$) 对锈赤扁谷盗趋光率无显著影响 (表 8)。锈赤扁谷盗成虫的趋光率随处理时间增加显著增加,处理 90 min 后,在波长为 365 或 460 nm 时达到最大,在光照强度为 170 lx 时达

到最大。

2.5 杂拟谷盗成虫对 LED 光源的趋光行为反应

波长 ($F=264.911$; $df=7,64$; $P<0.001$) 和处理时间 ($F=102.003$; $df=3,64$; $P<0.001$) 及其交互作用 ($F=2.423$; $df=21,64$; $P=0.004$) 对杂拟谷盗成虫趋光率有显著影响 (表 9)。光强 ($F=415.371$; $df=5,48$; $P<0.001$) 和处理时间 ($F=41.597$; $df=3, 48$; $P<0.001$) 及其交互作用 ($F=2.643$; $df=15, 48$; $P=0.005$) 均对杂拟谷盗成虫趋光率有显著影响 (表 10)。杂拟谷盗成虫对不同波长和光强的 LED 光趋光率随处理时间增加显著增加,处理 90 min 后,对 460 nm 的 LED

表 7 不同处理时间后锈赤扁谷盗成虫对不同波长 LED 光源的趋光率

Table 7 Phototactic ratio of *C. ferrugineus* adults to LED lights with different wavelengths after different exposure times %

波长/nm	15/min	30/min	60/min	90/min
对照	37.78±1.11Ec	44.44±1.11Db	47.78±1.11Db	58.89±2.22Da
365	77.78±2.22Ab	86.67±1.92Aa	90.00±0.00Aa	93.33±2.22Aa
395	71.11±2.22Bb	81.11±1.11Ba	83.33±2.94ABa	84.44±1.11BCa
420	57.78±1.11Cc	67.78±4.01Cbc	78.89±2.94Bab	84.44±4.01BCa
460	78.89±2.94Ab	85.56±1.11Bb	86.66±3.33Aab	93.33±1.93Aa
520	48.89±4.01Dc	67.78±1.11Cb	77.78±1.11Ba	83.33±1.93BCa
590	54.45±2.22CDc	66.67±1.92Cb	71.11±1.11BCb	80.00±1.92Ca
620	40.00±1.92Eb	45.56±1.11Db	66.67±1.93Ca	67.78±1.11Da

表 8 不同处理时间后锈赤扁谷盗成虫对不同光照强度的 460 nm LED 光源的趋光率

Table 8 Phototactic ratio of *C. ferrugineus* adults to LED lights with a wavelength of 460 nm at various light intensities after different exposure times %

光强/lx	15/min	30/min	60/min	90/min
对照	31.11±1.11Cc	38.89±1.11Db	46.67±1.93Da	50.00±1.92Da
20	46.67±3.33Bb	65.55±2.22Ba	71.11±2.22Ba	72.22±2.94BCa
70	51.11±1.11Bc	64.44±2.94BCb	72.22±1.11Ba	74.45±2.22BCa
120	55.55±2.22Bc	66.67±3.33BCb	70.00±3.85Bab	77.78±1.11Ba
170	73.33±1.93Ac	82.22±1.11Ab	87.78±1.11Aa	90.00±1.92Aa
220	54.44±4.44Bb	60.00±1.92Cb	62.22±1.11Cab	70.00±1.92Ca

表 9 不同处理时间后杂拟谷盗成虫对不同波长 LED 光源的趋光率

Table 9 Phototactic ratio of *T. confusum* adults to LED lights with different wavelengths after different exposure times %

波长/nm	15/min	30/min	60/min	90/min
对照	33.33±1.93BCc	36.67±1.93CDEbc	43.33±3.85CDb	51.11±1.11Da
365	40.00±5.77ABb	45.56±5.56BCab	51.11±2.94ABCab	58.89±1.11Ca
395	46.67±3.85Ab	50.00±1.92ABb	58.89±1.11Aa	65.56±1.11Ba
420	21.11±2.94Cc	32.22±2.22Eb	35.56±1.11Dab	38.89±1.11Ea
460	41.11±1.11ABb	43.33±1.93BCDb	56.22±8.22ABb	72.22±2.94Aa
520	35.56±1.11Bc	55.55±2.22Ab	60.00±1.92Ab	66.67±1.93Ba
590	17.78±1.11Cc	30.00±3.85Eb	46.67±1.93BCDa	51.11±1.11Da
620	33.33±1.93BCc	34.45±2.22DEc	53.33±1.93ABCb	60.00±1.92Ca

表 10 不同处理时间后杂拟谷盗成虫对不同光照强度的 460 nm LED 光源的趋光率

Table 10 Phototactic ratio of *T. confusum* adults to LED lights with a wavelength of 460 nm at various light intensities after different exposure times %

光强/lx	15/min	30/min	60/min	90/min
对照	22.22±2.22Da	23.33±1.93Fa	26.67±1.93Fa	26.67±1.93Ea
20	53.33±1.93Bb	54.44±1.11Cb	58.89±1.11Ca	62.22±1.11Ca
70	60.00±1.92Ab	66.67±1.93Ba	71.11±1.11Ba	71.11±1.11Ba
120	61.11±2.22Ac	72.22±1.11Ab	76.67±1.93Ab	84.44±2.94Aa
170	37.78±1.11Cc	40.00±0.00Ebc	43.33±1.93Eb	47.78±1.11Da
220	43.33±1.93Cb	45.55±2.22Dab	48.89±1.11Dab	51.11±1.11Da

光趋光率最高,对 120 lx 的 460 nm 的 LED 光趋光率最高。

2.6 玉米象成虫对 LED 光源的趋光行为反应

波长 ($F=97.314$; $df=7,64$; $P<0.001$) 和处理时间 ($F=107.103$; $df=3,64$; $P<0.001$) 及其交互作用 ($F=2.179$; $df=21,64$; $P=0.009$) 均对玉米象成虫趋光率有显著影响(表 11)。光强 ($F=108.049$; $df=5,48$; $P<0.001$) 和处理时间 ($F=142.580$; $df=3,48$; $P<0.001$) 及其交互作用 ($F=3.175$; $df=15,48$; $P=0.001$) 均对玉米象成虫趋光率有显著影响(表 12)。玉米象成虫趋光率随处理时间增加显著增加,处理 90 min 后,对波长为 365 和 590 nm 的 LED 光趋光率最高,对光照强度为 220 lx

的 590 nm LED 光趋光率最高。

3 讨论与结论

3.1 讨论

研究表明,6 种储粮害虫对不同波长和强度的 LED 光源趋性不同,并且它们的敏感波长集中在紫外光区、蓝光区以及绿光区,这是由于多数昆虫的光感受器含有对紫色光 (325~430 nm)、蓝色光 (430~500 nm) 和绿色光 (>500 nm) 波长敏感的光色素^[6]。在本研究中,锈赤扁谷盗对 460 nm 波长 LED 光比较敏感,这与 Cui 等^[7]研究结果相似。波长 460 nm、光照度 170 lx 的 LED 光对烟草甲有引诱作用最强,这与 Katsuki^[4]和

表 11 不同处理时间后玉米象成虫对不同波长 LED 光源的趋光率

波长/nm	15/min	30/min	60/min	90/min
对照	42.22±2.22Eb	46.67±1.93Cab	50.00±1.92Ea	53.33±1.93Da
365	70.00±1.92Bd	75.56±1.11Ac	81.11±1.11ABb	88.89±1.11Aa
395	53.33±1.93Dd	60.00±1.92Bc	68.89±1.11CDb	76.67±1.93Ba
420	41.11±1.11Ec	58.89±1.11Bb	64.45±2.22Da	65.56±1.11Ca
460	60.00±1.92CDc	70.00±3.85Ab	74.45±2.22Cab	80.00±1.92Ba
520	65.56±2.94BCb	67.78±4.01ABb	75.55±4.01BCab	81.11±1.11Ba
590	76.67±1.93Ab	75.56±2.94Ab	84.45±2.22Aa	88.89±1.11Aa
620	53.33±1.93Dd	61.11±2.94Bc	68.89±1.11CDb	77.78±1.11Ba

表 12 不同处理时间后玉米象成虫对不同光照强度的 590 nm LED 光源的趋光率

光强/lx	15/min	30/min	60/min	90/min
对照	41.11±1.11Dc	47.78±1.11Cb	54.44±1.11Ca	54.44±1.11Ca
20	43.33±1.93Dc	50.00±1.92Cb	54.44±1.11Cb	60.00±1.92Ca
70	54.44±1.11Bc	63.33±1.93Bb	63.33±1.93Bb	71.11±1.11Ba
120	44.44±2.94CDc	50.00±1.92Cc	63.33±1.93Bb	70.00±1.92Ba
170	48.89±1.11Cc	61.11±1.11Bb	64.44±1.11Bb	72.22±2.22Ba
220	64.44±1.11Ac	71.11±2.22Abc	73.33±1.93Ab	86.67±1.93Aa

Hironaka^[8]研究结果不同,二者研究均认为 375 nm 的紫外 LED 光对烟草甲引诱作用强。赤拟谷盗对 520 nm 波长 LED 灯趋光性最强,其次是 460、395 nm,这与前人研究结果相似^[9-10]。但是,赤拟谷盗对 520 nm、120 lx 的 LED 光趋光性最强,这与 Song 等^[11]研究结果不同, Park^[12]研究表明玉米象对 625 nm、25 lx 的 LED 光趋性最大; Jeon^[13]研究表明,米象对 450 nm 的 LED 光波趋光性最强;但本研究中米象和玉米象均对 590 nm 的 LED 光趋光性最大,以上均可能是由于处理时间不同引起的差异。本研究中处理时间较短,为 1.5 h,而上述学者研究的处理时间较长,分别为 60 h、48 h。目前,对杂拟谷盗趋光性研究报道较少。我们发现 460 nm、120 lx 的 LED 光对杂拟谷盗有引诱作用,这对利用趋光性防治杂拟谷盗具有指导作用。

昆虫趋光行为受多种因素协同影响,除波长、光强外,昆虫日龄、性别以及交配等因素亦影响储粮害虫趋光行为^[14]。本文仅在试验室条件下研究了 6 种储粮害虫对不同波长和光照强度的 LED 灯趋光性,关于日龄、性别、是否交配等对于趋

光性的影响值得进一步研究。此外,实际仓储条件下储粮害虫趋光性仍需进一步验证。

每种害虫都利用光、气味、颜色、声音、振动和其他感官信号进行种内和种间交流^[15],考虑这些因素并将其应用于诱捕器可提高对害虫的诱捕率。Miyatake 等^[16]研究表明性信息素与蓝光 LED 灯诱捕器组合对烟草甲有强控制作用。Duehl^[9]研究也表明聚集信息素或者化学引诱剂与紫光 LED 灯组合使用显著增加对赤拟谷盗的诱捕率。因此,关于如何将 LED 光与食物引诱剂、信息素、防护剂等其他手段综合应用防治储粮害虫也值得进一步研究。

3.2 结论

本研究表明,随着时间增加,6 种储粮害虫成虫对不同波长和光强的 LED 光源趋光性均增加,其中,米象成虫对波长 590 nm、光强为 170 lx 的 LED 光源趋性最大,赤拟谷盗成虫对波长 520 nm、光强 120 lx 的 LED 光源趋性最大,烟草甲成虫对波长 460 nm、光强 170 lx 的 LED 光源趋性最大,锈赤扁谷盗成虫对波长 365 nm 的 LED 光源趋性最大,杂拟谷盗成虫对波长 460 nm、

光强 120 lx 的 LED 光源趋性最大, 玉米象成虫对波长 365 nm 的 LED 光源趋性最大。

参考文献:

- [1] PHILLIPS T W, THRONE J E. Biorational approaches to managing stored-product insects[J]. Annual Review of Entomology, 2010, 55: 375-397.
- [2] TAMULAITIS G, DUCHOVSKIS P, BLIZNIKAS Z, et al. High-power light-emitting diode based facility for plant cultivation[J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 2005, 38: 3182-3187.
- [3] KIM M G, LEE H S. Phototactic behavior 5: attractive effects of the angoumois grain moth, *Sitotroga cerealella*, to light-emitting diodes[J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2014, 57(2): 259-262.
- [4] KATSUKI M, ARIKAWA K, WAKAKUWA M, et al. Which wavelength does the cigarette beetle, *Lasioderma serricornis* (Coleoptera: Anobiidae), prefer? Electro physiological and behavioral studies using light-emitting diodes(LEDs)[J]. Applied Entomology & Zoology, 2013, 48(4): 547-551.
- [5] JOHN D M, CAMPBELL J F, PHILLIPS T W, et al. Evaluation of light attraction for the stored-product psocid, *Liposcelis bostrychophila*[J]. Journal of Pest Science, 2016, 89(4): 923-930.
- [6] BRISCOE A D, CHITTKA L. The evolution of color vision in insects[J]. Annual Review of Entomology, 2001, 46(1): 471-510.
- [7] CUI M, WU Y, XIA L Y, et al. Phototactic responses of three species of *Cryptolestes* (Coleoptera: Laemphloeidae) to different wavelengths of light[J]. Journal of Entomological Science, 2023, 58(1): 85-94.
- [8] HIRONAKA, KAMURA, OSADA, et al. Adults of *Lasioderma serricornis* and *Stegobium paniceum* (Anobiidae: Coleoptera) are attracted to ultraviolet (UV) over blue light LEDs[J]. Journal of Economic Entomology, 2017, 110(4): 1911-1915.
- [9] DUEHL A J, COHNSTAEDT L W, ARBOGASTRT, et al. Evaluating light attraction to increase trap efficiency for *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2011, 104(4): 1430-1435.
- [10] SONE S, MIYATAKE T. Sex and strain-specific spectral attraction of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae): behavioral studies[J]. Applied Entomology and Zoology, 2023, 58(3): 257-263.
- [11] SONG J E, LEE S G, LEE H S. Effect of LED trap on controlling *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* in granary[J]. Journal of Applied Biological Chemistry, 2016, 59(2): 129-132.
- [12] PARK J H, SUNG B K, LEE H S. Phototactic behavior 7: phototactic response of the maize weevil, *Sitotroga zeamais* Motsch (Coleopter: Curculionidae), to light-emitting diodes[J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2015, 58(3): 373-376.
- [13] JEON J H, OH MS, CHO K S, et al. Phototactic response of the rice weevil, *Sitophilus oryzae* Linnaeus (Coleoptera: Curculionidae), to light-emitting diodes[J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2012, 55(1): 35-39.
- [14] CALLAHAN P S. Oviposition response of the imago of the corn earworm, *Heliothis zea* (Boddie), to various wavelengths of light[J]. Annals of The Entomological Society of America, 1957, 50(5): 444-452.
- [15] NIERI R, ANFORA G, MAZZONI V, et al. Semiochemicals, semiophysicals and their integration for the development of innovative multi-modal systems for agricultural pests' monitoring and control[J]. Entomologia Generalis, 2022, 42(2): 167-183.
- [16] MIYATAKE T, YOKOI T, FUCHIKAWA T, et al. Monitoring and detecting the cigarette beetle (Coleoptera: Anobiidae) using ultraviolet (LED) direct and reflected lights and/or pheromone traps in a laboratory and a storehouse[J]. Journal of Economic Entomology, 2016, 109(6): 2551-2560. 