

不同波长 LED 诱虫灯对菜地昆虫的诱集效果*

吴霜** 张谊模 郭萧 黄云峰 刘剑飞***

(重庆市农业科学院, 重庆 401329)

摘要 【目的】研究不同波长窄波段光谱 LED 诱虫灯对菜地昆虫的诱集效果, 为合理利用 LED 诱虫灯提供依据。【方法】以市售长波紫外线太阳能 LED 诱虫灯为对照, 调查 12 个窄波段光谱诱虫灯诱集菜地昆虫的种类和数量, 监测菜地昆虫的发生动态。【结果】各波长诱虫灯诱集到的菜地趋光性害虫有莲藕潜叶摇蚊 *Stenochironomus nelumbus*、甜菜白带野螟 *Hymenia recurvalis*、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、八点广翅蜡蝉 *Ricania speculum*、稻绿蝽 *Nezara viridula*、黑条灰灯蛾 *Cretonotus gangis*、东方蝼蛄 *Gryllotalpa orientalis*、稻缘蝽 *Leptocoris* sp. 和瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae*, 天敌昆虫为龟纹瓢虫 *Propylaea japonica*、中华婪步甲 *Harpalus sinicus* 和黄足猎蝽 *Sirthena flavipes*, 中性昆虫为缅甸蓝叶蚤 *Altica birmanensis*、姬牙虫 *Sternolophus rufipes*、毒隐翅虫 *Paederus* sp. 和齿甲 *Uloma* sp.。其中, 莲藕潜叶摇蚊、甜菜白带野螟和缅甸蓝叶蚤为灯下昆虫优势种, 瓜实蝇、稻缘蝽和黄足猎蝽为少见种, 其余为常见种。从诱集昆虫总量来看, 数量最多的为 440-445 nm 蓝光灯, 其次是 460-470、390-400、410-420、380-390 和 450-460 nm 诱虫灯。【结论】露地种植模式下菜地害虫的防治应结合菜地昆虫发生动态, 在不同时段适时使用 390-400、410-420、440-445 和 450-460 nm 诱虫灯, 以有效诱杀菜地害虫, 保护天敌昆虫。该研究结果不仅为露地种植模式下菜地害虫的预测预报和物理防控提供了参考, 还为规范诱虫灯使用, 为进一步开发高效智能 LED 诱虫灯奠定了基础。

关键词 LED 诱虫灯; 窄波段光谱; 趋光性昆虫; 菜地; 露地种植模式

Effectiveness of different wavelength LED insect lamp traps in vegetable fields

WU Shuang** ZHANG Yi-Mo GUO Xiao HUANG Yun-Feng LIU Jian-Fei***

(Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329, China)

Abstract 【Objectives】To provide a useful reference for the rational use of Light-Emitting Diode (LED) insect lamp traps for pest control in open vegetable fields. 【Methods】The species and quantity of insects trapped by twelve different narrow-spectrum LED lamp-traps and the trapping dynamics of insects captured, were recorded and compared. A commercially available long wave ultraviolet (UV) LED insect-trapping lamp was used as a control. 【Results】Nine phototactic insect pests (*Stenochironomus nelumbus*, *Hymenia recurvalis*, *Spodoptera litura*, *Ricania speculum*, *Nezara viridula*, *Cretonotus gangis*, *Gryllotalpa orientalis*, *Leptocoris* sp. and *Bactrocera cucurbitae*), three natural enemy insects (*Propylaea japonica*, *Harpalus sinicus* and *Sirthena flavipes*) and four neutral insects (*Altica birmanensis*, *Sternolophus rufipes*, *Paederus* sp. and *Uloma* sp.), were collected. *S. nelumbus*, *H. recurvalis* and *A. birmanensis* were the dominant species caught in lamp-traps. *B. cucurbitae*, *Leptocoris* sp. and *S. flavipes* were rarely captured; all other species were common. Traps could be ranked in terms of the number of insects caught as follows: 440-445 nm > 460-470 nm > 390-400 nm > 410-420 nm > 380-390 nm > 450-460 nm. 【Conclusion】The optimum wavelength of lamp trap depends on the trapping dynamics of the targeted insect species. Timely and proper application of lamps with wavelengths of 390-400, 410-420, 440-445 and 450-460 nm

*资助项目 Supported projects: 农业基础性长期性科技工作子项目 (ZX04S230100); 重庆特色效益农业基础科研工作 (NKY, 2016AA002); 重庆市级专项资金 (蔬菜产业技术支撑)

**第一作者 First author, E-mail: wushuang51@foxmail.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: 2894586433@qq.com

收稿日期 Received: 2019-06-25; 接受日期 Accepted: 2020-02-05

can both effectively control the main insect pests, and reduce the bycatch of their natural enemies, in vegetable fields. These results provide a reference for pest forecasting and the physical control of insect pests, and also lay a foundation for standardizing the use of lamp traps and developing more efficient and intelligent LED lamp traps.

Key words LED insect-trapping lamp; narrow-spectrums; phototactic insects; vegetable field; open-field pattern

当今社会经济飞速发展,人民生活水平日益提高,人们对农产品质量的要求也不断提高。在我国,化学防治仍是农业生产过程中最主要的病虫害防治方法(沈亮等, 2018; 李新宇等, 2020; 史雪岩等, 2020)。然而,化学农药的大量生产和不合理使用对生态环境、生物多样性、农产品质量安全,以及人类健康的负面影响也日益突出(王宝义, 2018)。农药残留问题已成为我国农产品质量安全的重大隐患(左晓磊等, 2020)。因此,农作物病虫害无害化防控技术的研发和推广日益成为人们关注的焦点。灯光诱杀技术是一种利用害虫趋光习性对其进行集中诱杀的物理防治技术,其在降低化学农药使用量、保障农业生产安全和农产品质量安全等方面具有重要作用(桑文等, 2019)。

自 20 世纪 50 年代,我国就开始运用煤油灯、沼气灯、白炽灯等监测农田害虫,而后黑光灯、高压汞灯、频振式诱虫灯等产品相继出现,被广泛用于农林害虫防治(刘超华等, 2013)。尽管诱虫灯在害虫防治中取得明显成效,但其中存在的弱点,如诱虫范围广、对非靶标昆虫和生物多样性影响较大等问题(张广学等, 2004),也亟待完善。LED 灯则因其光谱范围可控、低能耗等特点,被逐步运用于诱虫灯的研发(Chu *et al.*, 2003; Zheng *et al.*, 2014)。然而,在往年调查中我们发现,即便使用光谱较窄的长波紫外线 LED 杀虫灯,也会对部分天敌昆虫和中性昆虫造成伤害(吴霜等, 2018)。并且,已有研究表明,即使是单一波长诱虫灯,也会对多种昆虫产生诱集作用(涂小云等, 2014),同一种类昆虫亦会对不同光源做出响应(蔡侠, 2014; 蒋月丽, 2014; 程静, 2015; Schmid *et al.*, 2017),并且因为实验条件、测试装置等不同,获取的最适诱集波长范围也会有差异(丁岩钦等, 1974; 魏国树等, 2000; 靖湘峰和雷朝亮, 2004)。

为了因地制宜制定供试菜地趋光性害虫防

治策略,更好地利用 LED 灯在光谱范围上的可控性,准确锁定目标害虫,降低对非靶标昆虫的杀伤作用,本研究在往年调查的基础上(吴霜等, 2018),以市售长波紫外线太阳能 LED 诱虫灯为对照,调查了 12 个窄波段光谱 LED 诱虫灯对露地种植模式下菜地趋光性昆虫的诱集效果,以期明确在本试验研究条件下菜地趋光性昆虫对不同波长 LED 诱虫灯的趋性差异,结合各昆虫发生动态,提出运用不同波长 LED 诱虫灯防治菜地趋光性害虫的最佳模式,为合理利用 LED 诱虫灯提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验灯具

采用 12 个窄波段光谱 LED 诱虫灯,波长范围分别为 365-370、380-390、390-400、410-420、440-445、450-460、460-470、515-535、585-595、600-610、620-630 和 730 nm,另以波长范围 320-400 nm,主波长 350 nm 的市售长波紫外线太阳能 LED 诱虫灯为对照进行试验,各诱虫灯功率均为 5 W,除灯管外的其余组件均相同,由重庆恒义丰新能源电子科技有限公司生产。

1.2 试验方法

参照说明书安装和使用 LED 诱虫灯。于 2018 年 5-12 月期间,在国家农作物蔬菜改良中心重庆分中心(29°29'54.06"N, 106°20'58.40"E,海拔 295 m)进行试验。调查期间平均气温 22.0 °C,日照时数 690.5 h,累计降雨量 593.8 mm,平均相对湿度 76.6%。试验基地占地 80 000 m²,露地种植蔬菜种类以黄瓜 *Cucumis sativus* L.、茄子 *Solanum melongena* L.、番茄 *Lycopersicon esculentum* Mill.、辣椒 *Capsicum annuum* L.、苦瓜 *Momordica charantia* L.、丝瓜 *Luffa cylindrica* (L.) Roem.、南瓜 *Cucurbita moschata* (Duch. ex

Lam.) Duch. ex Poiret、菜豆 *Phaseolus vulgaris* L.、甘蓝 *Brassica oleracea* L.、莴笋 *Lactuca sativa* L.、白菜 *B. pekinensis* L.、萝卜 *Raphanus sativus* L.为主, 另有豇豆 *Vigna unguiculata* (L.) Walp.、大豆 *Glycine max* (L.) Merr.、蚕豆 *Vicia faba* L.、芥菜 *Brassica juncea* (L.) Czern. & Coss.、菠菜 *Spinacia oleracea* L.、莲藕 *Nelumbo nucifera* Gaertn.、马铃薯 *Solanum tuberosum* L.、番薯 *Ipomoea batatas* (L.) Lam.等零星分布。年度间各蔬菜种植面积无变化。灯间距约 50 m, 灯距地面 1 m, 13 盏诱虫灯随机排列, 每次调查后更换诱虫灯位置, 共调查 23 次。每晚天黑自动开灯, 5 h 后自动关灯, 下雨不开灯, 13 盏灯开关时间一致。

1.3 昆虫收集及数据统计

间隔 4-7 d 调查并收集诱虫灯里的昆虫, 将可鉴别的虫体制成标本, 依据相关文献资料(王

平远, 1980; 赵志模等, 1994; 虞佩玉等, 1996; 陈一心, 1999; 方承莱, 2000; 陈斌等, 2010; 彭萍等, 2011; 张巍巍和李元胜, 2011; 吴钜文和陈红印, 2013)进行分类, 采用 Microsoft office excel 2010 统计各诱虫灯对不同种类昆虫的诱集数量, 分析各类昆虫发生动态。

2 结果与分析

2.1 诱集菜地昆虫种类

调查期间诱集昆虫共计 20 909 头, 分属鞘翅目 Coleoptera、双翅目 Diptera、鳞翅目 Lepidoptera、直翅目 Orthoptera 和半翅目 Hemiptera。菜地灯光诱集昆虫物种组成见表 1。结果显示诱集到的昆虫以鳞翅目昆虫数量最多, 共 7 383 头, 其次是双翅目、鞘翅目和半翅目昆虫, 分别为 7 065、4 416 和 1 813 头, 直翅目昆虫诱集量最少, 为 232 头。各诱虫灯诱集的害虫

表 1 露地种植模式下菜地灯光诱集昆虫类群
Table 1 The insect species trapped by LED lamps in open vegetable field

目名 Order	科名 Family	种名 Species	诱集数量(头) Number of insects trapped (ind.)	比例(%) Proportion
鞘翅目 Coleoptera	叶甲科 Chrysomelidae	缅甸蓝叶蚤 <i>Altica birmanensis</i>	2 195	10.50
	瓢甲科 Coccinellidae	龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i>	868	4.15
	水龟虫科 Hydrophilidae	姬牙虫 <i>Sternolophus rufipes</i>	413	1.98
	步甲科 Carabidae	中华婪步甲 <i>Harpalus sinicus</i>	434	2.08
	拟步甲科 Tenebrionidae	齿甲 <i>Uloma</i> sp.	232	1.11
	隐翅虫科 Staphylinidae	毒隐翅虫 <i>Paederus</i> sp.	274	1.31
双翅目 Diptera	摇蚊科 Chironomidae	莲藕潜叶摇蚊 <i>Stenochironomus nelumbus</i>	6 946	33.22
	实蝇科 Tephritidae	瓜实蝇 <i>Bactrocera cucurbitae</i>	119	0.57
鳞翅目 Lepidoptera	灯蛾科 Arctiidae	黑条灰灯蛾 <i>Cretonotus gangis</i>	689	3.30
	夜蛾科 Noctuidae	斜纹夜蛾 <i>Spodoptera litura</i>	781	3.74
	螟蛾科 Pyralidae	甜菜白带野螟 <i>Hymenia recurvalis</i>	5 913	28.28
直翅目 Orthoptera	蝼蛄科 Gryllotalpidae	东方蝼蛄 <i>Gryllotalpa orientalis</i>	232	1.11
半翅目 Hemiptera	猎蝽科 Reduviidae	黄足猎蝽 <i>Sirthenia flavipes</i>	177	0.85
	蝽科 Pentatomidae	稻绿蝽 <i>Nezara viridula</i>	733	3.51
	广翅蜡蝉科 Ricaniidae	八点广翅蜡蝉 <i>Ricania speculum</i>	738	3.53
	缘蝽科 Coreidae	稻缘蝽 <i>Leptocoris</i> sp.	165	0.79

主要包括双翅目摇蚊科 Chironomidae 莲藕潜叶摇蚊 *Stenochironomus nelumbus*、实蝇科 Tephritidae 瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae*、鳞翅目螟蛾科 Pyralidae 甜菜白带野螟 *Hymenia recurvalis*、夜蛾科 Noctuidae 斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、灯蛾科 Arctiidae 黑条灰灯蛾 *Cretonotus gangis*、半翅目广翅蜡蝉科 Ricaniidae 八点广翅蜡蝉 *Ricania speculum*、蝽科 Pentatomidae 稻绿蝽 *Nezara viridula*、缘蝽科 Coreidae 稻缘蝽 *Leptocoris* sp. 和直翅目蝼蛄科 Gryllotalpidae 东方蝼蛄 *Gryllotalpa orientalis*。依据 Berger-Parker 优势度指数, 莲藕潜叶摇蚊和甜菜白带野螟的占比大于 10% (表 1), 为灯下害虫的优势种, 瓜实蝇和稻缘蝽为少见种, 其余为常见种。诱集的天敌昆虫主要为鞘翅目瓢甲科 Coccinellidae 龟纹瓢虫 *Propylaea japonica*、步甲科 Carabidae 中华婪步甲 *Harpalus sinicus* 和半翅目猎蝽科 Reduviidae 黄足猎蝽 *Sirthena flavipes*, 其中黄足猎蝽为少见种, 其余为常见种。诱集的中性昆

虫主要为鞘翅目叶甲科 Chrysomelidae 缅甸蓝叶蚤 *Altica birmanensis*、水龟虫科 Hydrophilidae 姬牙虫 *Sternolophus rufipes*、拟步甲科 Tenebrionidae 齿甲 *Uloma* sp. 和隐翅虫科 Staphylinidae 毒隐翅虫 *Paederus* sp., 其中缅甸蓝叶蚤为优势种, 其余为常见种。

2.2 不同波长诱虫灯对菜地害虫的诱集效果

不同波长 LED 诱虫灯对露地种植模式下菜地趋光性害虫的诱集数量见表 2。不同时段诱虫灯对优势种和常见种害虫的诱集动态见图 1, 以各波长诱虫灯诱集总量表示。结果显示, 440-445 nm 和 460-470 nm 蓝光灯对莲藕潜叶摇蚊的诱集量较高, 调查期间累计诱集量分别为 1 932 头和 1 673 头。如图 1 所示, 莲藕潜叶摇蚊在 6 月下旬、7 月下旬和 8 月中旬分别出现发生高峰。390-400 nm 和 380-390 nm 紫外线灯对甜菜白带野螟诱集效果最好, 累计诱集量分别为 1 412 头和 1 379 头, 其次是 410-420 nm 紫光灯, 累计诱

表 2 不同波长 LED 诱虫灯对菜地害虫的诱集数量

Table 2 The number of insect pests trapped by different wavelengths of LED lamps in vegetable field

昆虫种类 Insect species	诱集数量 (头) Number of insects trapped (ind.)												
	365-370 nm	380-390 nm	390-400 nm	410-420 nm	440-445 nm	450-460 nm	460-470 nm	515-535 nm	585-595 nm	600-610 nm	620-630 nm	730 nm	320-400 nm
莲藕潜叶摇蚊 <i>Stenochironomus nelumbus</i>	257	165	294	603	1 932	915	1 673	476	128	96	119	38	250
甜菜白带野螟 <i>Hymenia recurvalis</i>	232	1 379	1 412	1 015	447	300	293	219	85	47	42	20	422
斜纹夜蛾 <i>Spodoptera litura</i>	41	170	232	166	16	32	19	19	13	3	7	21	42
八点广翅蜡蝉 <i>Ricania speculum</i>	5	24	68	38	67	241	212	31	17	11	9	2	13
稻绿蝽 <i>Nezara viridula</i>	9	82	144	142	134	39	70	22	8	13	11	13	46
黑条灰灯蛾 <i>Cretonotus gangis</i>	67	120	75	127	72	71	25	39	12	4	12	0	65
东方蝼蛄 <i>Gryllotalpa orientalis</i>	4	34	73	86	6	6	9	5	1	2	1	0	5
稻缘蝽 <i>Leptocoris</i> sp.	2	17	11	17	34	13	20	21	1	19	3	2	5
瓜实蝇 <i>Bactrocera cucurbitae</i>	18	3	5	22	18	4	10	3	2	17	2	0	15
合计 Total	635	1 994	2 314	2 216	2 726	1 621	2 331	835	267	212	206	96	863

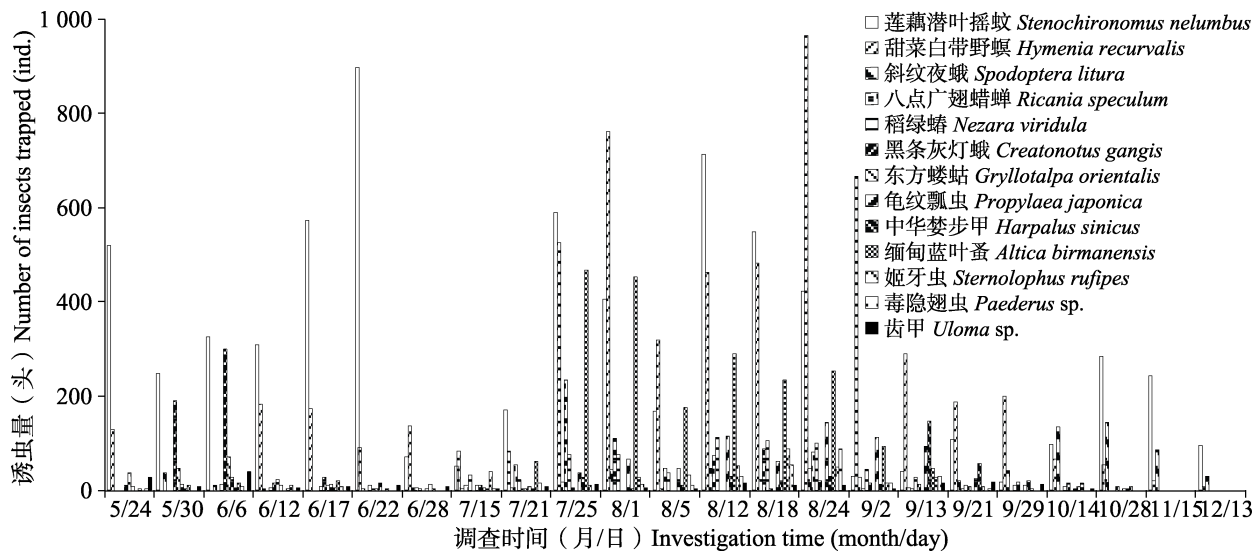


图 1 不同时段诱虫灯对菜地优势种和常见种昆虫的诱集动态

Fig. 1 Dynamics of dominant and common insect species trapped by LED lamps in different time periods in vegetable field

集量为 1 015 头。甜菜白带野螟在 7 月下旬至 8 月上旬、8 月下旬分别出现发生高峰。390-400 nm 紫外线灯对斜纹夜蛾的诱集效果最好, 累计诱集量为 232 头, 其次是 380-390 nm 紫外线灯和 410-420 nm 紫光灯, 累计诱集量分别为 170 头和 166 头。斜纹夜蛾发生高峰期在 10 月中下旬。450-460 nm 和 460-470 nm 蓝光灯对八点广翅蜡蝉的诱集量较高, 累计诱集量分别为 241 头和 212 头。八点广翅蜡蝉在 7 月下旬出现发生高峰。390-400 nm 紫外线灯和 410-420 nm 紫光灯对稻绿蝽的诱集量较高, 累计诱集量分别为 144 头和 142 头, 其次是 440-445 nm 蓝光灯, 累计诱集量为 134 头。稻绿蝽发生高峰期在 7 月下旬至 8 月上旬和 8 月中下旬。410-420 nm 紫光灯和 380-390 nm 紫外线灯对黑条灰灯蛾的诱集量较高, 累计诱集量分别为 127 和 120 头。黑条灰灯蛾发生高峰期在 6 月上旬。410-420 nm 紫光灯和 390-400 nm 紫外线灯对东方蝼蛄的诱集数量最多, 累计诱集量分别为 86 和 73 头。东方蝼蛄在 6 月上旬出现发生高峰。440-445 nm 蓝光灯对稻绿蝽的诱集数量最多, 累计诱集量为 34 头, 其次是 515-535 nm 绿光灯和 460-470 nm 蓝光灯, 累计诱集量分别为 21 和 20 头。稻绿蝽在 8 月下旬出现发生高峰。410-420 nm 紫光灯对瓜实蝇的诱集数量最多, 累计诱集量为 22 头。瓜实

蝇在 7 月下旬至 8 月上旬、8 月中下旬出现发生高峰。

2.3 不同波长诱虫灯对菜地天敌昆虫的诱集效果

如表 3 所示, 460-470 nm 蓝光灯诱集的龟纹瓢虫数量最多, 累计诱集量为 120 头, 其次是 515-535 nm 绿光灯, 累计诱集量为 103 头。龟纹瓢虫诱集量在 8 月下旬达到峰值 (图 1)。390-400 nm 紫外线灯诱集的中华婪步甲数量最多, 累计诱集量为 71 头, 其次是 450-460 nm 蓝光灯, 累计诱集量为 58 头。中华婪步甲诱集量在 9 月中旬达到峰值。410-420 nm 紫光灯诱集的黄足猎蝽数量最多, 累计诱集量为 34 头, 其次是 380-390 nm 紫外线灯, 累计诱集量为 28 头。黄足猎蝽诱集量在 8 月中旬达到峰值。

2.4 不同波长诱虫灯对菜地中性昆虫的诱集效果

如表 4 所示, 440-445 nm 蓝光灯对缅甸蓝叶蚤的诱集量最高, 累计诱集量为 491 头, 其次是 320-400 nm 长波紫外线灯, 累计诱集量为 302 头。缅甸蓝叶蚤诱集量在 7 月下旬至 8 月上旬达到峰值 (图 1)。410-420 nm 紫光灯对姬牙虫的诱集量最高, 累计诱集量为 141 头, 其次是 390-400 nm 和 380-390 nm 紫外线灯, 累计诱集量分别为 131 头和 104 头。姬牙虫诱集量在 8 月

表 3 不同波长 LED 诱虫灯对菜地天敌昆虫的诱集数量

Table 3 The number of natural enemy insects trapped by different wavelengths of LED lamps in vegetable field

昆虫种类 Insect species	诱集数量 (头) Number of insects trapped (ind.)												
	365- 370 nm	380- 390 nm	390- 400 nm	410- 420 nm	440- 445 nm	450- 460 nm	460- 470 nm	515- 535 nm	585- 595 nm	600- 610 nm	620- 630 nm	730 nm	320- 400 nm
龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i>	44	52	75	83	75	65	120	103	80	42	63	26	40
中华婪步甲 <i>Harpalus sinicus</i>	12	47	71	37	34	58	31	31	9	48	13	2	41
黄足猎蝽 <i>Sirthena flavipes</i>	2	28	25	34	19	17	7	9	3	4	2	2	25
合计 Total	58	127	171	154	128	140	158	143	92	94	78	30	106

表 4 不同波长 LED 诱虫灯对菜地中性昆虫的诱集数量

Table 4 The number of neutral insects trapped by different wavelengths of LED lamps in vegetable field

昆虫种类 Insect species	诱集数量 (头) Number of insects trapped (ind.)												
	365- 370 nm	380- 390 nm	390- 400 nm	410- 420 nm	440- 445 nm	450- 460 nm	460- 470 nm	515- 535 nm	585- 595 nm	600- 610 nm	620- 630 nm	730 nm	320- 400 nm
缅甸蓝叶蚤 <i>Altica birmanensis</i>	39	271	263	223	491	260	241	72	9	6	15	3	302
姬牙虫 <i>Sternolophus rufipes</i>	1	104	131	141	11	3	7	0	0	1	0	0	14
毒隐翅虫 <i>Paederus</i> sp.	3	40	33	94	35	8	20	6	1	1	0	0	33
齿甲 <i>Uloma</i> sp.	18	27	37	33	24	17	26	16	3	4	7	1	19
合计 Total	61	442	464	491	561	288	294	94	13	12	22	4	368

中旬达到峰值。410-420 nm 紫光灯对毒隐翅虫的诱集量最多, 累计诱集量为 94 头, 其次是 380-390 nm 紫外线灯, 累计诱集量为 40 头。毒隐翅虫诱集量在 8 月下旬达到峰值。390-400 nm 紫外线灯对齿甲的诱集量最多, 累计诱集量为 37 头, 其次是 410-420 nm 紫光灯, 累计诱集量为 33 头。齿甲诱集量在 6 月上旬达到峰值。

3 结论与讨论

本试验以市售长波紫外线太阳能 LED 诱虫灯为对照, 比较了 12 个窄波段光谱诱虫灯对露地种植模式下菜地昆虫的诱集效果。结果表明, 对菜地昆虫诱集量最多的为 440-445 nm 蓝光灯, 其次是 460-470、390-400、410-420、380-390 和 450-460 nm 的诱虫灯。诱集到的害虫为莲藕潜叶摇蚊、甜菜白带野螟、斜纹夜蛾、八点广翅蜡蝉、

稻绿蝽、黑条灰灯蛾、东方蝼蛄、稻缘蝽和瓜实蝇; 天敌昆虫为龟纹瓢虫、中华婪步甲和黄足猎蝽; 中性昆虫为缅甸蓝叶蚤、姬牙虫、毒隐翅虫和齿甲。其中, 莲藕潜叶摇蚊、甜菜白带野螟和缅甸蓝叶蚤为灯下昆虫优势种, 瓜实蝇、稻缘蝽和黄足猎蝽为少见种, 其余为常见种。并且, 各类害虫发生动态 (即诱集高峰期) 与其寄主生育期吻合。其中, 莲藕潜叶摇蚊主要为害莲藕和菱角 *Trapa bispinosa* Roxb. 等水生蔬菜, 试验基地周边藕田较多, 田间水渠及雨季积水是导致该虫发生量较高的原因, 以春季莲藕生长期和夏季诱集量较高; 甜菜白带野螟主要为害叶类蔬菜, 以秋冬季十字花科 Brassicaceae 蔬菜苗定植后至生长期发生量较高, 也为害夏菠菜和秋菠菜; 斜纹夜蛾为害十字花科、茄科 Solanaceae、葫芦科 Cucurbitaceae 等多种蔬菜, 幼虫暴食性, 是重要

的蔬菜害虫种类之一,该试验地以秋冬甘蓝受害较重;八点广翅蜡蝉是重要的果树害虫,本试验发现该虫还受害夏季豆科 Leguminosae 和葫芦科蔬菜,与吴钜文和陈红印(2013)报道相同;稻绿蝽为害夏季豆科、葫芦科、茄科等多种蔬菜,亦是重要的蔬菜害虫种类之一;黑条灰灯蛾主要为害豆科和十字花科蔬菜幼苗和嫩叶;东方蝼蛄主要为害定植后至生长期的蔬菜根茎部;稻缘蝽是重要的水稻 *Oryza sativa* L. 害虫,本试验发现该虫也为害夏季豆科蔬菜,与报道相同(吴钜文和陈红印,2013);瓜实蝇是重要的夏季葫芦科蔬菜害虫。此外,值得注意的是,虽然八点广翅蜡蝉和稻缘蝽的主要寄主不是蔬菜,但蔬菜作物很可能是重要的过渡寄主或是在缺少最适寄主时首选的为害对象,也应及时防治。龟纹瓢虫、中华婪步甲和黄足猎蝽可捕食鳞翅目害虫幼虫和卵、蚜虫及叶螨等小型害虫,以夏季菜地害虫发生高峰期诱集量较多。缅甸蓝叶蚤寄主为蓼科 Polygonaceae 火炭母 *Persicaria chinensis*,而非蔬菜;田间未见姬牙虫、毒隐翅虫和齿甲为害。

如前所述,因为试验条件、环境、测试装置等差异,所得到的昆虫响应最佳波长范围也会不同(丁岩钦等,1974;魏国树等,2000;靖湘峰和雷朝亮,2004)。研究表明,双翅目摇蚊科昆虫对 470 nm 蓝光和 580 nm 黄光表现较强趋性(吴昊等,2012;王珊等,2013),而本试验诱集到的莲藕潜叶摇蚊仅对蓝光表现明显趋性,对黄光趋性相对较弱。对鳞翅目螟蛾科昆虫的研究表明,大多数螟虫对紫外线灯、紫光灯和蓝光灯响应明显(杨智勇等,1998;石萍丽,2012;严雳等,2018),本试验结果也表明,甜菜白带野螟对紫外线灯和紫光灯表现较强趋性,其次是蓝光灯。此外,紫外线灯对鳞翅目夜蛾科昆虫的诱集效果最好,该结果与已有研究结果一致(丁岩钦等,1974;靖湘峰和雷朝亮,2004;郭虹等,2012)。王林聪等(2016)研究表明,八点广翅蜡蝉对紫外线灯趋性最强,而本试验中蓝光灯诱集到的八点广翅蜡蝉数量较多。严雳等(2018)研究表明,405 nm 和 403 nm 诱虫灯对半翅目蝽科昆虫诱集效果最好,本试验结果表明稻绿蝽对

390-400 nm 紫外线灯和 410-420 nm 紫光灯趋性较强,其次是蓝光灯。郭虹等(2012)研究发现,紫外线灯对灯蛾诱集效果最好,本研究结果表明紫光灯诱集的黑条灰灯蛾数量最多,其次是紫外线灯。石萍丽(2012)研究表明,蝼蛄科等直翅目昆虫对紫光灯趋性较强,缘蝽科等半翅目昆虫对蓝光灯趋性较强,本试验结果亦表明紫光灯诱集的东方蝼蛄数量最多,蓝光灯诱集的稻缘蝽数量最多。其次,目前对瓜实蝇常用的防治措施是使用性信息素结合粘虫装置进行诱杀,或利用瓜实蝇的趋化性进行诱杀(马镭等,2010),相比其他防治方法,灯光诱集瓜实蝇不具明显优势。本试验灯诱瓜实蝇数量最少,410-420 nm 紫光灯诱集数量最多也仅有 22 头。

综合上述灯诱条件下的调查结果,以及本试验露地种植模式下菜地趋光性昆虫的发生动态,提出适合该调查地的最佳灯光诱虫模式:5月下旬至6月中旬,采用 410-420 nm 紫光灯防治东方蝼蛄和黑条灰灯蛾;6月中旬至9月中旬,换用 440-445 nm 蓝光灯灯管防治莲藕潜叶摇蚊、稻绿蝽和稻缘蝽,其间7月中下旬至9月中旬增加 390-400 nm 紫外线灯防治稻绿蝽和甜菜白带野螟,7月下旬至8月下旬增加 450-460 nm 蓝光灯防治八点广翅蜡蝉;9月中旬至10月上旬,关闭所有诱虫灯以保护中华婪步甲和龟纹瓢虫等天敌昆虫;10月中旬至11月中旬,采用 390-400 nm 紫外线灯防治斜纹夜蛾。本试验结果不仅为露地种植模式下菜地害虫的预测预报和物理防控提供了参考,还为规范诱虫灯的使用,以及进一步开发高效智能 LED 诱虫灯奠定了基础。此外,为提升 LED 诱虫灯的实用性和可操作性,本团队依据该研究结果已着手研发更方便、智能、高效的 LED 诱虫灯。

参考文献 (References)

- Cai X, 2014. Study on the phototaxis of several tea pests. Master dissertation. Hangzhou: China Jiliang University. [蔡侠, 2014. 几种茶树害虫的趋光性研究. 硕士学位论文. 杭州: 中国计量学院.]
- Chen B, Li TJ, He ZB, 2010. Insects in Chongqing Municipality. Beijing: Science Press. 27-285. [陈斌, 李廷景, 何正波, 2010.

- 重庆市昆虫. 北京: 科学出版社. 27–285.]
- Cheng J, 2015. The trapping effect of LED on *Sogatella furcifera* and the recognition mechanism of compound eyes to LED. Master dissertation. Yangzhou: Yangzhou University. [程静, 2015. LED 对白背飞虱的田间诱集效果及复眼识别 LED 光波的机制. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学.]
- Chen YX, 1999. Fauna Sinica: Insecta volume 16. Lepidoptera Noctuidae. Beijing: Science Press. 739–742. [陈一心, 1999. 中国动物志: 昆虫纲第十六卷鳞翅目夜蛾科. 北京: 科学出版社. 739–742.]
- Chu CC, Jackson CG, Alexander PJ, Karut K, Henneberry TJ, 2003. Plastic cup traps equipped with light-emitting diodes for monitoring adult *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology*, 96(3): 543–546.
- Ding YQ, Gao WZ, Li DM, 1974. Study on the phototactic behaviour of nocturnal moths: The response of *Heliothis armigera* (Hübner) and *Heliothis assulta* Guenée to different monochromatic light. *Acta Entomologica Sinica*, 17(3): 307–317. [丁岩钦, 高慰曾, 李典漠, 1974. 夜蛾趋光特性的研究: 棉铃虫和烟青虫成虫对单色光的反应. 昆虫学报, 17(3): 307–317.]
- Fang CL, 2000. Fauna Sinica: Insecta volume 19. Lepidoptera Arctiidae. Beijing: Science Press. 297–589. [方承莱, 2000. 中国动物志: 昆虫纲第十九卷鳞翅目灯蛾科. 北京: 科学出版社. 297–589.]
- Guo H, Han XH, Xu ZC, 2012. Effect comparison of different wavelengths insecticidal lamps in lepidopteran pests trapping. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 40(2): 146–149. [郭虹, 韩献华, 许志春, 2012. 不同波长杀虫灯对鳞翅目害虫的诱杀效果. 山西农业科学, 40(2): 146–149.]
- Jiang YL, 2014. Sensitivity and behavioral response mechanism of *Anomala corpulenta* motschulsky to light signal. Doctoral dissertation. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University. [蒋月丽, 2014. 铜绿丽金龟对光信号的感受和行为响应机制研究. 博士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Jing XF, Lei CL, 2004. Advances in research on phototaxis of insects and the mechanism. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41(3): 198–203. [靖湘峰, 雷朝亮, 2004. 昆虫趋光性及其机理的研究进展. 昆虫知识, 41(3): 198–203.]
- Liu CH, Wang HW, Chen LZ, Wang XP, Lei CL, 2013. Composing components of the main pests and natural enemy insects under forecast lamp in ramie field. *Journal of Environmental Entomology*, 35(4): 422–427. [刘超华, 汪红武, 陈利珍, 王小平, 雷朝亮, 2013. 苧麻田灯下主要害虫及天敌成分分析. 环境昆虫学报, 35(4): 422–427.]
- Li XY, Li L, Shi YX, Chai AL, Xie XW, Li BJ, 2020. Screening, identification and control effects of antagonistic bacteria against cucumber *Corynespora* leaf spot. *Journal of Plant Protection*, 47(3): 620–627. [李新宇, 李磊, 石延霞, 柴阿丽, 谢学文, 李宝聚, 2020. 黄瓜棒孢叶斑病拮抗细菌的筛选、鉴定及防治效果. 植物保护学报, 47(3): 620–627.]
- Ma K, Zhang RP, Chen YH, Luo S, Zeng XN, 2010. Reviews in biology characteristic and integrated control of melon fly. *Guangdong Agricultural Sciences*, 37(8): 131–135. [马镭, 张瑞萍, 陈耀华, 罗诗, 曾鑫年, 2010. 瓜实蝇的生物学特性及综合防治研究概况. 广东农业科学, 37(8): 131–135.]
- Peng P, Wang XQ, Li PW, Lei L, Wang ZJ, Lin Q, Huang SJ, 2011. Diversity of pest insect and natural enemy communities in tea gardens of different varieties. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 33(6): 30–34. [彭萍, 王晓庆, 李品武, 雷蕾, 王之劲, 林强, 黄尚俊, 2011. 不同品种茶园害虫及天敌群落多样性研究. 西南大学学报: 自然科学版, 33(6): 30–34.]
- 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, 郭圣濠, 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.]
- Schmid RB, Snyder D, Cohnstaedt LW, McCornack BP, 2017. Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae) attraction to different wavelengths and intensities of light-emitting diodes in the laboratory. *Environmental Entomology*, 46(4): 895–900.
- Shen L, Xu J, Chen SL, Li XW, Meng XX, 2018. Research in disease and pest control techniques of pollution-free Chinese medicinal materials. *Modern Chinese Medicine*, 20(9): 1039–1048. [沈亮, 徐江, 陈士林, 李西文, 孟祥霄, 2018. 无公害中药材病虫害防治技术探讨. 中国现代中药, 20(9): 1039–1048.]
- Shi PL, 2012. The effect evaluation of five kinds of light resource for pests trapping in the vegetable field. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [石萍丽, 2012. 蔬菜地五种光源诱捕害虫的效果评价. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]
- Shi XY, Wang HG, Wang WZ, Zhang HH, Chen AQ, Liu FM, Chen HH, Cao SQ, Gao J, 2020. Determination of residues from 15 pesticides in wheat and soil from spring wheat fields in Northwest China. *Plant Protection*, 46(5): 53–59, 76. [史雪岩, 王海光, 王文卓, 张慧慧, 陈安琪, 刘丰茂, 陈宏灏, 曹世勤, 高金, 2020. 西北春小麦和麦田土壤中 15 种常用农药残留的检测. 植物保护, 46(5): 53–59, 76.]
- Tu XY, Chen YS, Zhi Y, 2014. Effects of light-emitting diode illumination on insect behavior and biological characters. *Plant Protection*, 40(2): 11–15. [涂小云, 陈元生, 支忆, 2014. LED

- 光源对昆虫行为学和生物学特性的影响. 植物保护, 40(2): 11–15.]
- Wang BY, 2018. Research on evaluation and countermeasures of agricultural ecological development in China. Doctoral dissertation. Taian: Shandong Agricultural University. [王宝义, 2018. 中国农业生态化发展的评价分析与对策选择. 博士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]
- Wang LC, Li ZG, Li J, Han SC, 2016. Trapping effect of the trap lamp with different wavelengths on the pest in mangrove forest. *Journal of Environmental Entomology*, 38(5): 1028–1031. [王林聪, 李志刚, 李军, 韩诗畴, 2016. 不同波长诱虫灯对红树林主要害虫的诱集作用. 环境昆虫学报, 38(5): 1028–1031.]
- Wang PY, 1980. Economic Insect Fauna of China: Fasc. 21. Lepidoptera Pyralidae. Beijing: Science Press. 115–119. [王平远, 1980. 中国经济昆虫志: 第二十一册鳞翅目螟蛾科. 北京: 科学出版社. 115–119.]
- Wang S, Zhang KF, Li M, Liu Q, Kong XR, 2013. Contamination and prevention technology of chironomid larvae in drinking water treatment. *Water Technology*, 7(1): 22–26. [王珊, 张克峰, 李梅, 刘麒, 孔祥瑞, 2013. 饮用水处理系统中摇蚊幼虫的污染及防治技术研究. 供水技术, 7(1): 22–26.]
- Wei GS, Zhang QW, Zhou MZ, Wu WG, 2000. Studies on the phototaxis of *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Acta Biophysica Sinica*, 16(1): 89–95. [魏国树, 张青文, 周明群, 吴卫国, 2000. 不同光波及光强度下棉铃虫 (*Helicoverpa armigera*) 成虫的行为反应. 生物物理学报, 16(1): 89–95.]
- Wu H, Han QW, Wang F, Jia YH, 2012. Research development of *Chironomus* control. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides and Equipments*, 18(5): 444–448. [吴昊, 韩庆文, 汪峰, 贾永华, 2012. 摇蚊防治的研究进展. 中华卫生杀虫药械, 18(5): 444–448.]
- Wu JW, Chen HY, 2013. Catalog of Insect Pests and their Natural Enemies of Vegetable Crops. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 1–738. [吴钜文, 陈红印, 2013. 蔬菜害虫及其天敌昆虫名录. 北京: 中国农业科学技术出版社. 1–738.]
- Wu S, Liu JF, Wang ZJ, Liu YY, Guo X, Zhang YM, 2018. Researches of the diversity of insects in vegetable fields with the long-wave ultraviolet insect-trapping lamp. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 40(10): 25–32. [吴霜, 刘剑飞, 王之劲, 刘玉英, 郭萧, 张谊模, 2018. 菜地长波紫外线杀虫灯下昆虫多样性研究. 西南大学学报: 自然科学版, 40(10): 25–32.]
- Yang ZY, Wu WG, Feng HP, Wu W, Guo BQ, 1998. The comparison of response characteristics to light stimulation between the compound eyes of cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*) and corn borer (*Ostrinia furnacalis*). *Acta Biophysica Sinica*, 14(4): 129–134. [杨智勇, 吴卫国, 冯汉平, 吴炜, 郭炳群, 1998. 棉铃虫和玉米螟成虫复眼光反应特性的比较研究. 生物物理学报, 14(4): 129–134.]
- Yan L, He HY, Chen HB, Gong GS, Yong TW, Yue YL, Yang WY, Chang XL, 2018. Effectiveness of single-wavelength LED lamps for trapping insect pests in maize-soybean intercropped fields. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(5): 904–911. [严雳, 何海洋, 陈华保, 龚国淑, 雍太文, 岳艳丽, 杨文钰, 常小丽, 2018. 不同 LED 单波长杀虫灯对玉米-大豆带状套作模式内主要害虫的诱杀效果. 应用昆虫学报, 55(5): 904–911.]
- Yu PY, Wang SY, Yang XK, 1996. Economic Insect Fauna of China: Fasc. 54. Coleoptera Chrysomeloidea (II). Beijing: Science Press. 294–297. [虞佩玉, 王书永, 杨星科, 1996. 中国经济昆虫志: 第五十四册鞘翅目叶甲总科 (二). 北京: 科学出版社. 294–297.]
- Zhang GX, Zheng G, Li XJ, Bu J, 2004. Discussion of using frequency trembler grid lamps from angle of protecting biodiversity. *Entomological Knowledge*, 41(6): 532–535. [张广学, 郑国, 李学军, 卜军, 2004. 从保护生物多样性角度谈频振式杀虫灯的应用. 昆虫知识, 41(6): 532–535.]
- Zhang WW, Li YS, 2011. Chinese Insects Illustrated. Chongqing: Chongqing University Press. 117–483. [张巍巍, 李元胜, 2011. 中国昆虫生态大图鉴. 重庆: 重庆大学出版社. 117–483.]
- Zhao ZM, Liu YH, Zhang CL, 1994. Studies on the insect community structures in vegetable fields adopting different cropping systems in the suburb of Chongqing city. *Acta Phytophylacica Sinica*, 21(1): 39–45. [赵志模, 刘映红, 张昌伦, 1994. 重庆市郊不同种植制度菜地昆虫群落结构研究. 植物保护学报, 21(1): 39–45.]
- Zheng LX, Zheng Y, Wu WJ, Fu YG, 2014. Field evaluation of different wavelengths light-emitting diodes as attractants for adult *Aleurodicus dispersus* Russell (Hemiptera: Aleyrodidae). *Neotropical Entomology*, 43(5): 409–414.
- Zuo XL, Liu P, Qi K, Ma L, Wang X, Han AY, 2020. Assessment of pesticide residues and chronic dietary exposure in vegetables in Shijiazhuang city in 2018. *Journal of Food Safety and Quality*, 11(18): 6562–6567. [左晓磊, 刘培, 齐琨, 马丽, 王雪, 韩爱云, 2020. 2018 年石家庄市蔬菜中农药残留及慢性膳食暴露评估. 食品安全质量检测学报, 11(18): 6562–6567.]