

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*

严 雳^{1**} 何海洋² 陈华保¹ 龚国淑¹ 雍太文^{1,3}
岳艳丽¹ 杨文钰^{1,3} 常小丽^{1,3***}

(1. 四川农业大学农学院, 成都 611130; 2. 四川瑞进特科技有限公司, 成都 611130;
3. 四川省作物带状复合种植工程技术研究中心, 成都 611130)

摘 要 【目的】针对害虫对不同波长光的趋性, 筛选适合诱杀玉米-大豆带状田主要害虫的 LED 单波长杀虫灯, 并探寻其应用模式, 提高防虫效果, 减少对天敌昆虫的影响。【方法】以复合波长 LED 杀虫灯为对照, 调查 13 个单波长 LED 杀虫灯在玉米-大豆带状套作全生育期内诱杀的害虫种类和数量, 并监测害虫发生动态。【结果】筛选获得 385、389、395、403、407 nm 5 个单波长 LED 杀虫灯, 对套作田内桃蛀螟 *Dichocrocis punctiferalis* Guenée、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius、暗黑鳃金龟 *Holotrichia parallela* Motschulsky、小黄鳃金龟 *Metabolus flavescens* Brenske 和蝽科 Pentatomidae 害虫的诱杀效果较好, 且与复合波长 LED 杀虫灯相比对天敌昆虫和中性昆虫的影响小。【结论】套作栽培下主要害虫的防治需结合害虫发生动态, 适时使用 5 种杀虫灯, 从而达到最大防控效果, 这为合理利用 LED 单波长杀虫灯监测和防控玉米-大豆带状套作栽培主要害虫提供了重要参考。

关键词 玉米-大豆带状套作, LED 单波长杀虫灯, 害虫, 诱杀效果

Effectiveness of single-wavelength LED lamps for trapping insect pests in maize-soybean intercropped fields

YAN Li^{1**} HE Hai-Yang² CHEN Hua-Bao¹ GONG Guo-Shu¹ YONG Tai-Wen^{1,2}
YUE Yan-Li¹ YANG Wen-Yu^{1,3} CHANG Xiao-Li^{1,3***}

(1. College of agriculture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2. Sichuan RUIJINTE Technology CO., LTD, Chengdu 611130, China; 3. Sichuan Engineering Research Center for Strip Intercropping System, Chengdu 611130, China)

Abstract [Objectives] To improve the efficiency of pest control and reduce bycatch of the natural enemies of pest insects. [Methods] The species and number of insects captured by 13 single-wavelength LED lamps during an entire growing season in maize-soybean intercropped fields was recorded and compared to those captured using a single LED mixed-wavelength lamp (control). [Results] Five single-wavelength LED lamps with wavelengths of 385, 389, 395, 403 and 407 nm, effectively trapped *Dichocrocis punctiferalis*, *Spodoptera litura* Fabricius, *Holotrichia parallela*, *Metabolus flavescens* Brenske, and pests in the Pentatomidae family, and captured relatively few natural enemies of these pests and neutral insects compared to the mixed-wavelength LED lamp control. [Conclusion] The five single-wavelength LED lamps tested can effectively control the main insect pests in maize-soybean intercropped fields, and reduce the bycatch of their natural enemies and neutral insects, when deployed according to the trapping dynamics of the main pest species. These results provide a useful reference for the application of LED single-wavelength insecticidal lamps for pest control in maize-soybean intercropped fields.

Key words maize-soybean relay strip intercropping pattern, LED single wavelength insecticidal lamp, pest, trapping effect

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2018YFD0201000); 四川省科技厅项目 (2015NZ0040)

**第一作者 First author, E-mail: 1027902845@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: xl_changkkit@126.com

收稿日期 Received: 2018-02-07, 接受日期 Accepted: 2018-06-04

化学农药是当前防治农业害虫的重要手段之一, 但单纯使用化学杀虫剂, 不仅容易引起“3R”问题, 影响农田生物群落多样性, 破坏农业生态系统平衡, 而且农药残留影响农产品质量, 危及人畜健康(杨军, 2015)。近年来, 采用紫外灯、黑光灯和频振式杀虫灯等物理诱杀害虫的方法, 可减少化学农药的用量, 已被广泛应用于各个领域(王文龙等, 2017)。Chong 等(2015)采用紫外灯诱杀结合飞行拦捕装置辅助, 有效控制了北卡罗来纳州高尔夫球场的金龟类害虫。Nielsen 等(2013)使用黑光灯对新泽西州 2004-2011 年间的茶翅蛾 *Halyomorpha picus* Fabricius 种群动态进行了监测。陆信仁等(2009)研究表明频振式杀虫灯能够有效减少蔬菜田蚜螨的发生与危害。

然而, 传统杀虫灯通常具有广谱的杀虫作用, 在诱杀害虫的同时, 也会伤害许多天敌和中性昆虫, 影响田间昆虫的群落多样性和稳定性(张孝羲, 2002; Bianchi *et al.*, 2006)。邓菲等(2014a)针对不同时期麦蚜种群变化使用合适的杀虫措施, 取得了良好的控虫效果, 且对昆虫群落稳定性的影响较小(邓菲等, 2014b)。单波长杀虫灯能够针对害虫对光源特定波段的趋性, 专一有效防控害虫, 且 LED 光源对昆虫生态影响更小, 应用潜力较大(边磊等, 2012; Wakefield *et al.*, 2016)。刘晓英等(2009)研究了果蝇对单波长杀虫灯的趋光性, 结果表明其对 560 nm 波长的趋光性明显。Sun 等(2014)研究发现梨小食心虫 *Grapholitha molesta* Busck 对 405 nm 波长的趋光性最强, 其次为 540 nm 光源。郑月等(2010)筛选适合诱杀螺旋粉虱的单波长杀虫灯, 发现波长为 405 nm 的 LED 杀虫灯对螺旋粉虱的诱杀效果最好。Zheng 等(2014)研究表明采用 405 nm 单波长 LED 杀虫灯对番石榴园内螺旋粉虱的防效较好。Yoshiaki 等(2016)研究发现日本追寄蝇复眼对 340 nm 光源最为敏感, 但其对 405 nm 光源趋性最强。徐翔等(2017)研究发现 405 nm 波长 LED 杀虫灯对茶园害虫具有较好的防治效果。目前国内外对昆虫趋光性的研究多为理论研究, 针对特定害虫筛选特定波长杀虫

灯的研究尚较少, 在实际生产上的应用亦少见。

本文以 1 个复合波长 LED 杀虫灯为对照, 调查了 13 个波长 LED 杀虫灯对玉米-大豆带状套作全生育期内害虫的诱杀效果, 分析不同波长 LED 杀虫灯诱杀害虫的种类和数量的差异, 并监测害虫发生动态, 为 LED 单波长杀虫灯在玉米-大豆带状套作栽培田主要害虫的绿色防控提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地点及材料

试验于 2017 年在四川省仁寿县珠嘉乡踏水村(30°20'45.91"N, 104°21'45.57"N, 海拔 389.4 m)四川现代粮食产业(仁寿)示范基地进行。试验区内采用玉米-大豆带状套作种植, 种植玉米品种为成单 30, 大豆品种为南豆 25。玉米于 3 月底进行宽窄行播种, 宽行 180 cm, 窄行 40 cm, 株距 16.7 cm。大豆于 6 月中旬播种于玉米宽行内, 种植 3 行, 豆-豆行距 30 cm, 玉-豆行距 60 cm。玉米播种前 1 个月左右使用旋耕机翻地, 玉米和大豆的播种和收获均为机械化操作, 人工间苗补苗。玉米施两次复合肥, 底肥 600 kg/km²、攻苞肥 1 500 kg/km², 大豆不施肥。玉米心叶末期施用 5%甲维盐可溶粒剂 75 g/km² 一次防治玉米螟; 大豆开花期至成熟期, 分别使用 5%甲维盐可溶粒剂 75 g/km²、2.5%高效氯氟氰菊酯水乳剂 300 mL/km² 和 20%氯虫苯甲酰胺悬浮剂 300 mL/km² 共施药 3 次防治斜纹夜蛾。其栽培方式、管理水平基本一致, 且能代表当地平均水平。

选用 13 种 LED 单波长杀虫灯, 波长分别为 350、375、378、385、389、393、395、397、403、401、405、407、411 nm, 以 1 个复合波长 LED 杀虫灯作对照, 各杀虫灯功率均为 15 W, 由四川瑞进特科技有限公司研发并提供。

1.2 试验设计

试验田面积大约 34 hm², 各波长杀虫灯随机放置在试验地的不同位置, 为防止相邻杀虫灯之

间产生光干扰,灯间距至少为 100 m,每个波长 1 盏灯,放置高度接近玉米冠层(约 2 m)。试验期从套作玉米苗期(4 月 24 日,大豆播种后 15 d)开始持续到大豆收获期(11 月 3 日),期间降雨天不收集昆虫。试验期间于每天 19:00 至次日 6:00 开灯。

1.3 昆虫收集及统计

逐日收集各杀虫灯诱杀的昆虫,并进行分类鉴定,记录每日各灯诱杀的昆虫种类和数量,筛选出适合于玉米-大豆带状套作田应用的 LED 单波长杀虫灯。分析各杀虫灯在全生育期内对不同害虫的诱集量,分析害虫发生动态。

2 结果与分析

2.1 不同杀虫灯对玉米-大豆带状套作模式内昆虫的诱杀情况

由表 1 可见,在玉米-大豆带状套作栽培全生育期(排除雨天共 140 d),不同波长 LED 杀虫灯诱杀的害虫主要包括桃蛀螟 *Dichocrocis punctiferalis* Guenée、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius、小黄鳃金龟 *Metabolus flavescens* Brenske、暗黑鳃金龟 *Holotrichia parallela* 和蝽

科的害虫;诱杀的天敌昆虫主要为瓢虫科 Coccinellidae 和步甲科 Carabidae;诱杀的中性昆虫包括蠼螋 *Labidura riparia*,蝉科 Cicadidae,负蝽科 Belostomatidae,粪金龟科 Geotrupidae,龙虱科 Dytiscidae,埋葬甲科 Silphidae 和水龟甲科 Hydrophilidae。结合往年田间调查结果,斜纹夜蛾、桃蛀螟、金龟类和蝽科害虫是此地区玉米-大豆带状套作田中的重要害虫。

2.2 不同杀虫灯对鳞翅目害虫的诱杀效果

本试验表明,不同波长 LED 杀虫灯诱集到玉米-大豆带状套作田的鳞翅目害虫主要为桃蛀螟和斜纹夜蛾,其中 385、393、401、375 nm 单波长杀虫灯对桃蛀螟诱杀效果较好,分别为 3.91、3.00、2.95、2.89 头/日(表 1)。将各杀虫灯对桃蛀螟的诱杀量逐日汇总,以此来反映桃蛀螟的发生动态。如图 1 所示,发生动态没有明显规律,此地区桃蛀螟有严重的世代重叠情况,全生育期内桃蛀螟仅在 8 月中旬有一个较为集中的发蛾高峰。选取对桃蛀螟诱杀效果好,且对天敌影响最小的 385 nm 和 375 nm 两个波长杀虫灯,分别绘制其对桃蛀螟的诱杀动态,结果表明,两种单波长杀虫灯的诱杀动态与桃蛀螟的发生动态趋势相似。

表 1 不同波长 LED 杀虫灯对不同昆虫的诱杀量
Table 1 Amount of different insects trapped by different LED single wavelength insecticidal lamps

昆虫种类 Insects	诱虫数量 (头/日) Amount of insects trapped (head/day)													
	401 nm	397 nm	405 nm	407 nm	393 nm	411 nm	395 nm	375 nm	350 nm	385 nm	378 nm	389 nm	403 nm	复合 UV
桃蛀螟 <i>Dichocrocis punctiferalis</i> Guenée	2.95	2.58	2.55	1.16	3.00	1.79	2.34	2.89	2.87	3.91	2.04	2.46	2.21	2.68
斜纹夜蛾 <i>Spodoptera litura</i> Fabricius	2.16	3.34	3.04	2.25	3.67	1.67	6.41	2.64	3.07	2.48	2.83	3.84	1.20	2.88
小黄鳃金龟 <i>Metabolus flavescens</i> Brenske	1.98	4.53	3.63	2.14	2.30	2.53	2.19	1.52	2.85	1.58	2.84	2.41	5.19	3.52
暗黑鳃金龟 <i>Holotrichia parallela</i> Motschulsky	3.95	3.28	7.88	14.8	3.67	3.11	8.60	1.63	1.67	1.00	1.40	1.19	2.57	2.42
蝽 Pentatomidae	1.50	2.39	4.18	2.05	1.78	2.41	1.85	1.17	1.29	1.54	1.09	1.52	3.62	3.65
步甲 Carabidae	2.85	3.30	4.58	3.44	3.02	3.32	3.99	1.84	3.33	2.36	2.18	2.68	3.60	3.44
瓢虫(天敌) Coccinellidae (enemy)	1.44	1.97	2.42	1.00	1.59	1.58	2.47	1.41	1.20	1.56	1.41	1.96	1.36	3.02
中性昆虫 Neutral insects	7.93	6.16	6.23	5.07	5.71	5.58	5.88	2.92	2.34	3.02	2.81	3.93	10.61	30.44

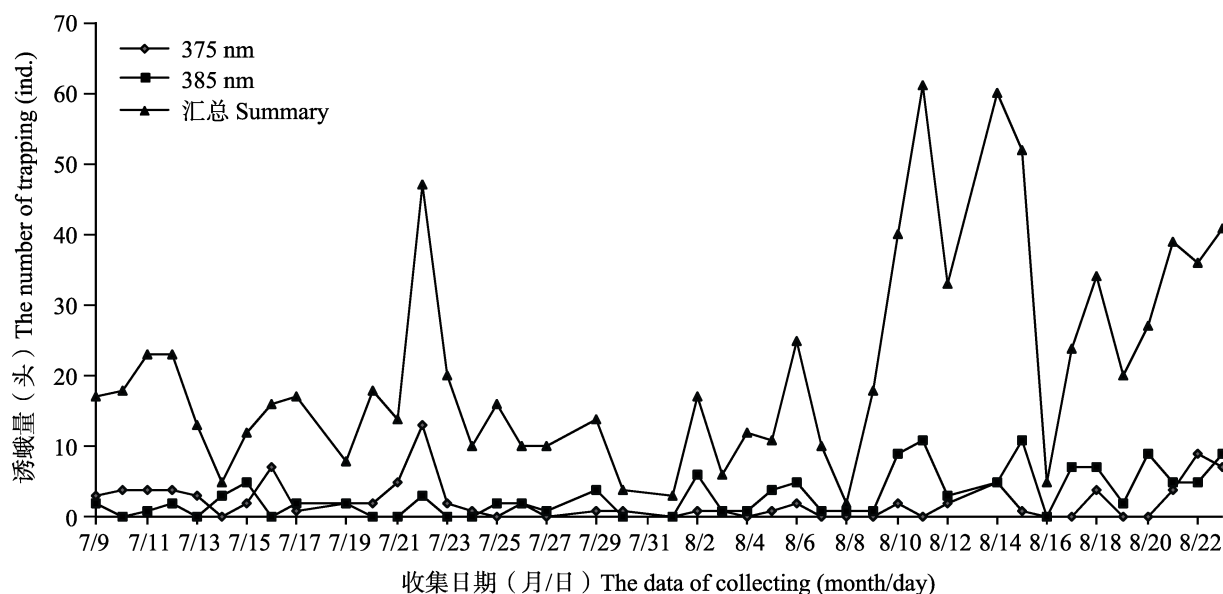


图 1 不同波长 LED 杀虫灯对桃蛀螟的诱杀动态

Fig. 1 Dynamic of *Dichrocrocis punctiferalis* trapped by different LED single wavelength insecticidal lamps

分析不同杀虫灯对斜纹夜蛾的诱杀效果, 表明 395 nm 和 389 nm 波长杀虫灯对斜纹夜蛾的诱杀效果最好 (表 1)。以与桃蛀螟同样的方法获得斜纹夜蛾的发生动态, 并分析两个波长杀虫灯对斜纹夜蛾的诱杀动态, 由图 2 可见, 斜纹夜蛾在 8 月中旬和 9 月中旬出现发蛾高峰, 且两种波长杀虫灯对斜纹夜蛾的诱杀动态与斜纹夜蛾的发生动态趋势相似。

2.3 不同杀虫灯对鞘翅目害虫的诱杀效果

由表 1 可知, 不同波长 LED 杀虫灯诱集到玉米-大豆带状套作田的鞘翅目害虫主要为小黄鳃金龟和暗黑鳃金龟。其中, 403 nm 和 397 nm 单波长杀虫灯对小黄鳃金龟的诱杀效果最好, 分别为 5.19 头/日和 4.53 头/日; 407 nm 单波长杀虫灯对暗黑鳃金龟诱杀效果最好, 其次为 395 nm, 分别为 14.8 头/日和 8.6 头/日。

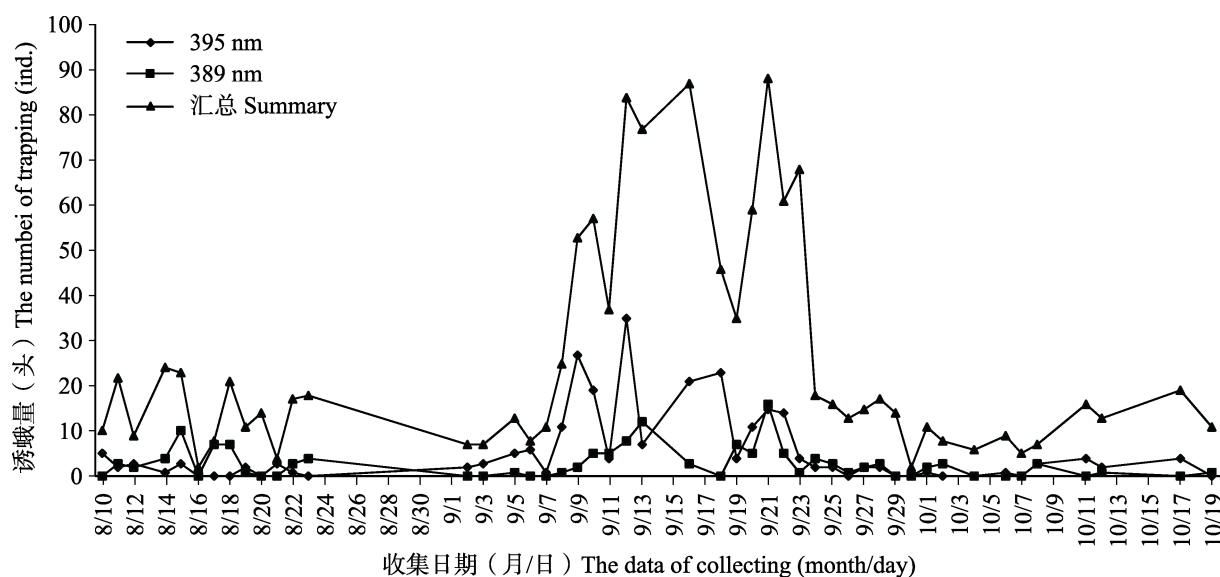


图 2 不同波长 LED 杀虫灯对斜纹夜蛾的诱杀动态

Fig. 2 Dynamic of *Spodoptera litura* trapped by different LED single wavelength insecticidal lamps

将各杀虫灯对小黄鳃金龟和暗黑鳃金龟的诱杀量逐日汇总,得到小黄鳃金龟和暗黑鳃金龟的诱集动态。由图 3 可见,套作栽培下小黄鳃金龟羽化高峰在 6 月中下旬,此外诱虫量在 7 月下旬和 8 月上旬各有一个小高峰。由图 4 可见,暗黑鳃金龟的羽化高峰在 5 月中旬,随后诱集到成虫的数量持续减少。

2.4 不同杀虫灯对害虫的诱杀效果

本试验表明不同波长 LED 杀虫灯在玉米-大豆带状套作田诱杀获得的半翅目害虫主要为蝽科害虫。由表 1 可知,405 nm、403 nm 单波长

杀虫灯和复合波长杀虫灯对蝽科害虫的诱杀效果最好,分别为 4.18 头/日、3.62 头/日和 3.66 头/日。将各杀虫灯对蝽科害虫的诱杀量逐日汇总,得到蝽科害虫在玉米-大豆带状套作全生育期内的诱杀动态,以此来反应蝽科害虫的发生动态。由图 5 可见,套作栽培下蝽科害虫活动时间跨度较广,以 7 月底至 8 月底为危害高峰期。

2.5 不同杀虫灯对天敌昆虫及中性昆虫的影响

由表 1 可知,不同波长 LED 杀虫灯诱集玉米-大豆带状套作田的天敌昆虫主要为步甲和瓢虫。与复合波长杀虫灯相比,试验所用各单波长

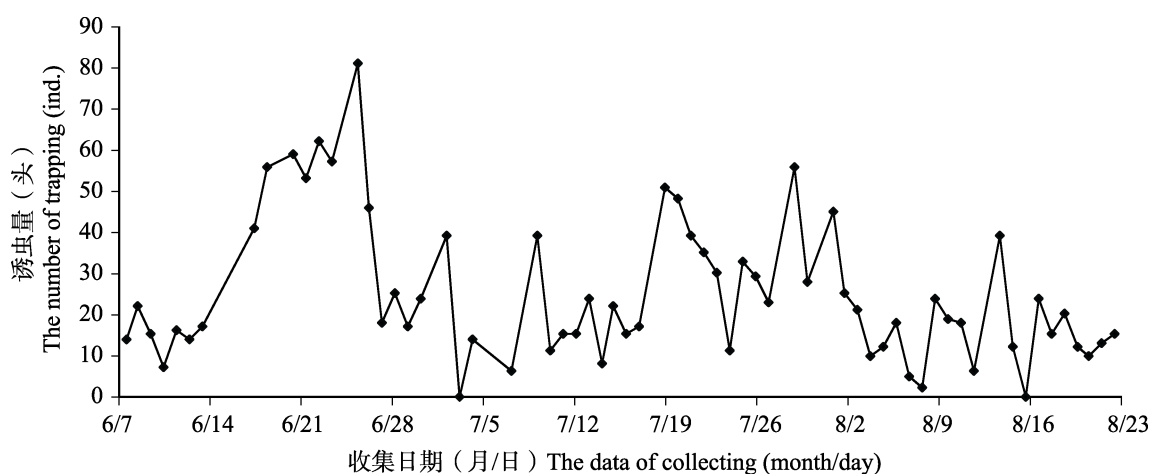


图 3 不同波长 LED 杀虫灯对小黄鳃金龟的诱杀动态

Fig. 3 Dynamic of *Metabolus flavescens* trapped by different LED single wavelength insecticidal lamps

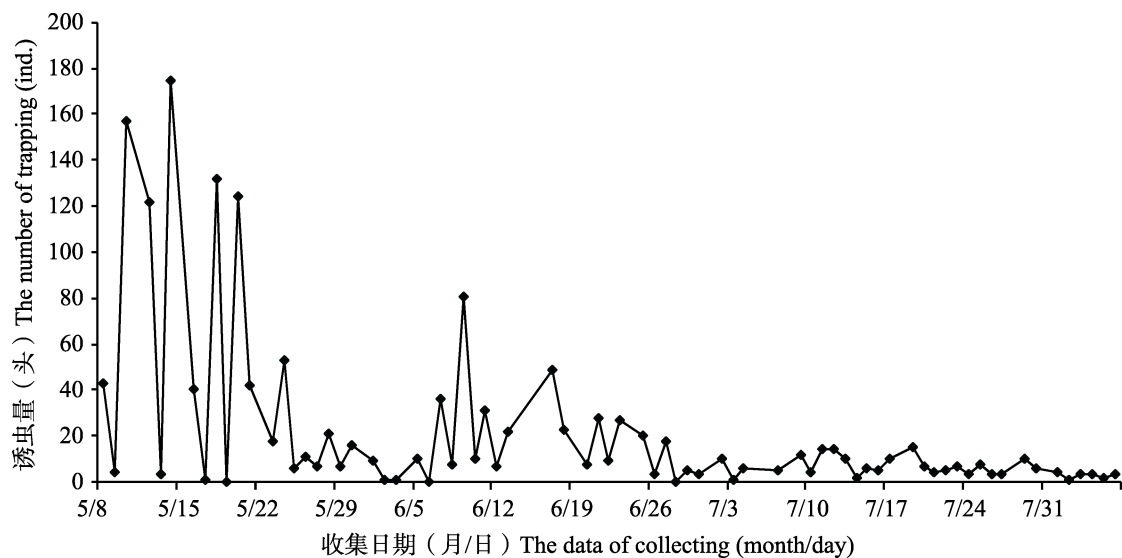


图 4 暗黑鳃金龟的有效诱杀动态

Fig. 4 Dynamic of *Holotrichia parallela* trapped

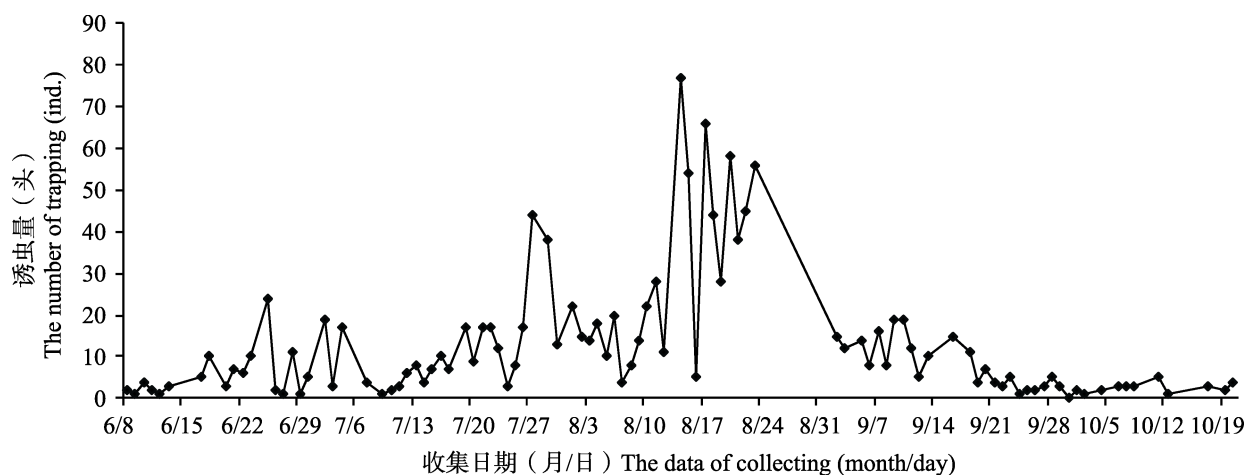


图 5 LED 单波长杀虫灯对蝽科的诱杀动态

Fig. 5 Dynamic of stinkbug trapped by all LED single wavelength insecticidal lamps

杀虫灯诱杀瓢虫的数量均低于复合波长诱虫量 3.02 头/日, 其中以 405 nm 和 395 nm 单波长杀虫灯对瓢虫的诱虫量最高, 分别为 2.42 头/日和 2.47 头/日, 表明单波长 LED 杀虫灯对瓢虫的影响较小。对步甲的诱杀效果分析可见, 405 nm、395 nm 和 407 nm 波长杀虫灯对步甲的诱杀量分别为 4.58 头/日、3.99 头/日和 3.6 头/日, 均高于复合波长杀虫灯的 3.44 头/日, 其余波长杀虫灯对步甲的诱杀量都低于复合波长杀虫灯, 表明部分单波长杀虫灯对步甲的影响较大。试验对全生育期步甲的诱集动态分析如图 6 所示, 单波长杀虫灯从 4 月下旬到 10 月份均可诱杀到步甲, 且以 8 月中下旬诱集量最大, 表明此时间段为步甲的活动高峰期。

此外, 本试验还诱集获得了与玉米和大豆无关的中性昆虫, 主要包括蠅蛾等 7 类。由表 1 可知, 复合波长杀虫灯对中性昆虫的影响远大于单波长杀虫灯, 为 30.44 头/日, 而单波长杀虫灯中诱集中性昆虫最多的 403 nm 单波长杀虫灯, 为 10.61 头/日, 仅约为复合波长杀虫灯的 1/3。

3 结论与讨论

杀虫灯是农作物害虫物理防治的重要手段之一, LED 单波长杀虫灯因可专一性防控特定害虫, 对田间天敌昆虫及昆虫生态影响较小, 具有广泛应用前景。本试验以普通 LED 复合波长杀虫灯为对照, 调查了 13 种不同单波长 LED 杀虫灯对玉米-大豆带状套作田主要害虫的诱杀效

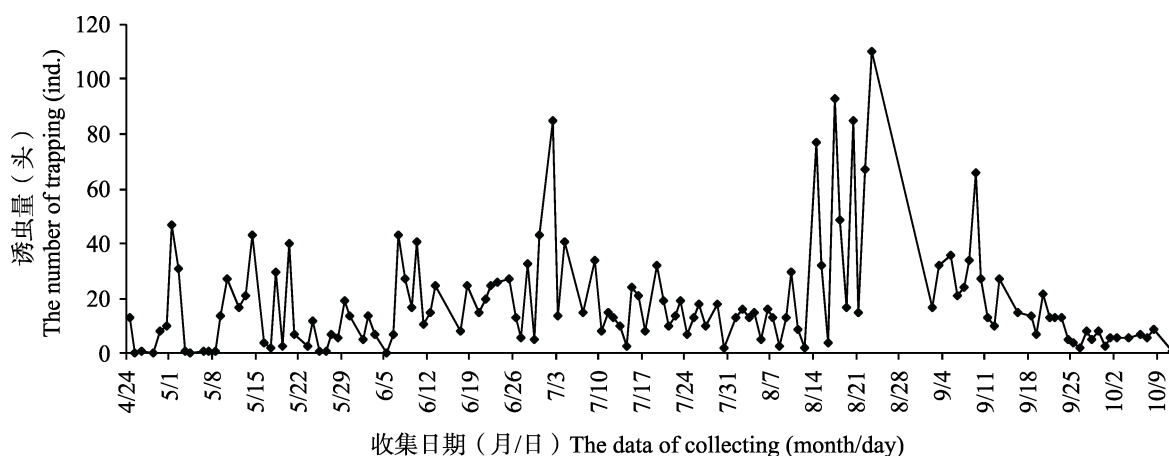


图 6 LED 单波长杀虫灯对步甲的诱杀动态

Fig. 6 Dynamic of Carabidae trapped by all LED single wavelength insecticidal lamps

果, 筛选获得了 385、389、395、403、407 nm 5 个单波长 LED 杀虫灯对带状套作田内鳞翅目桃蛀螟和斜纹夜蛾、鞘翅目金龟科以及半翅目蝽科害虫的诱杀效果较好, 且对天敌和其他昆虫生态影响较小, 具有在玉米-大豆带状套作种植系统内推广应用的潜力。

本试验以对不同昆虫的日均诱杀量为分析比较对象, 以消除由降雨、人为破坏和自然损坏等导致不同杀虫灯开灯时间不同而带来的差异; 由不同杀虫灯之间相互比较, 筛选出对不同昆虫诱杀效果最优的杀虫灯; 逐日汇总所有杀虫灯每天对特定昆虫的诱杀量, 来反应桃蛀螟、斜纹夜蛾、小黄鳃金龟、暗黑鳃金龟、蝽科害虫及天敌步甲的田间动态, 以消除不同杀虫灯和安置位置不同带来的差异, 为最接近田间某特定昆虫实际情况的动态。

鳞翅目害虫通常只有幼虫为害, 且一年发生多代, 杀虫灯可诱杀鳞翅目害虫成虫, 减少产卵。通过杀虫灯诱杀成虫, 可获得鳞翅目害虫的田间发蛾动态, 进而计算它们的发蛾始盛期(高峰期、盛末期), 结合害虫的产卵前期和卵期, 即可预测下一代幼虫的孵化始盛期(高峰期、盛末期), 指导防治(洪晓月和丁锦华, 2007)。从桃蛀螟的发蛾动态来看, 玉米-大豆带状套作田中桃蛀螟存在世代重叠现象, 仅在 8 月中旬出现一个发蛾高峰, 此时玉米早已进入成熟期, 到下一代幼虫孵化时玉米已经收获, 故此地区玉米-大豆带状套作田中没有用杀虫灯诱集动态预测桃蛀螟为害时间的意义。田间调查发现, 套作大豆田中斜纹夜蛾可多代危害, 严重影响大豆产量。本试验筛选获得了 395 nm 和 389 nm 单波长杀虫灯对斜纹夜蛾的诱杀效果最好。通过分析斜纹夜蛾发蛾动态, 斜纹夜蛾有两个集中发蛾高峰, 适合做短期预测。本文结果为玉米-大豆带状套作田斜纹夜蛾的预测与防控提供了重要支撑。

鳃金龟科的害虫一般一年只发生一代, 不适合做短期预测, 故只做出汇总的诱集动态来反应其田间大致动态。暗黑鳃金龟的羽化高峰期在 5 月中旬, 随后诱集量逐渐减少, 与肖筠等(2006)的研究结果一致。小黄鳃金龟在 6 月中下旬有较

为集中的羽化高峰, 与山西省的情况类似(杨福田, 1991), 但在那之后还有多个诱集小高峰。笔者认为两种鳃金龟动态与前人研究的相似性和差异性与鳃金龟羽化后等待出土环境适宜的潜伏期有关。可能小黄鳃金龟体型更小, 潜伏期受降雨影响更大, 而暗黑鳃金龟体型较大, 受影响较小, 故呈现出暗黑鳃金龟的诱集高峰较为集中, 而小黄鳃金龟有多个诱集高峰。

本试验对蝽科害虫诱集动态研究发现, 蝽科害虫的为害高峰期可覆盖大豆开花和结荚期, 这与前期田间调查结果一致, 可造成大豆落花落荚。前人研究表明, 稻绿蝽 *Halyomorpha halys* 为害可影响大豆充实, 甚至造成干荚(杨齐云等, 1976)。同时, 试验过程中也考虑了杀虫灯对天敌昆虫和中性昆虫的影响, 并以此作为杀虫灯的生态风险指标。本试验结果表明, 筛选获得的单波长 LED 杀虫灯对天敌昆虫和中性昆虫的影响均较小, 对昆虫群落及生态造成较大破坏的风险较低。

针对玉米-大豆带状套作模式, 本试验通过筛选获得对各特定害虫诱杀效果最好的 LED 单波长杀虫灯, 结合各害虫的发生动态, 总结提出适合玉米-大豆带状套作模式的单波长杀虫灯应用模式为: 5 月中上旬, 为暗黑鳃金龟羽化高峰, 使用对其诱杀效果最好的 407 nm 单波长杀虫灯; 6 月中下旬, 为小黄鳃金龟羽化高峰, 而田间暗黑鳃金龟成虫已较少, 将 407 nm 单波长杀虫灯更换为对小黄鳃金龟诱杀效果最好的 403 nm 单波长杀虫灯; 7 月中下旬, 桃蛀螟开始出现, 增加使用对其诱杀效果最好的 385 nm 单波长杀虫灯; 8 月中旬, 为斜纹夜蛾的第一个发蛾高峰, 而此时田间小黄鳃金龟成虫已较少, 将 403 nm 单波长杀虫灯替换为对斜纹夜蛾诱杀效果较好而对步甲、瓢虫及中性昆虫影响很小的 389 nm 单波长杀虫灯; 9 月中上旬, 桃蛀螟 8 月中上旬发蛾高峰的下一代若不是作为老熟幼虫准备越冬则早已羽化, 停止使用 385 nm 单波长杀虫灯, 同时此时为斜纹夜蛾的第 2 个发蛾高峰, 此时视情况而定, 可增加使用对步甲和瓢虫有一定影响, 但对斜纹夜蛾诱杀效果最好的 395 nm 单波

长杀虫灯。本文结果也对其他地区玉米-大豆带状套作或者玉米和大豆的其他种植模式的害虫控制有一定的参考价值。由于人力物力财力的限制, 本文没有做处理重复试验, 所以无法进行方差分析, 没有统计学上的差异。在今后的试验中, 将增设试验点, 对本试验结果开展进一步试验验证, 以期对玉米-大豆带状复合种植模式的推广奠定基础。

参考文献 (References)

- Bian L, Sun XL, Gao Y, Luo ZX, Jin S, Zhang ZQ, Chen ZM, 2012. Research on the light tropism of insects and the progress in application. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1677–1686. [边磊, 孙晓玲, 高宇, 罗总秀, 金珊, 张正群, 陈宗懋, 2012. 昆虫趋光性机理及其应用进展. 应用昆虫学报, 49(6): 1677–1686.]
- Bianchi FJJA, Booij CJH, Tscharntke T, 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society. B*, 273(1595): 1715–1727.
- Chong JH, Hinson KR, 2015. A comparison of trap types for assessing diversity of scarabaeoidea on South Carolina golf courses. *Journal of Economic Entomology*, 108(5): 2383–2396.
- Deng F, Li Z, Yin CY, Li HL, Liu XX, Zhao ZW, 2014a. Effects of different control methods on wheat aphid population dynamics. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(2): 360–368. [邓菲, 栗治, 尹春燕, 李辉利, 刘小侠, 赵章武, 2014. 田间不同防治方法对麦蚜种群动态的影响. 应用昆虫学报, 51(2): 360–368.]
- Deng F, Li Z, Yin CY, Li HL, Liu XX, Zhao ZW, 2014b. Effects of different wheat aphid control methods on the arthropod community in wheat fields. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(2): 369–374. [邓菲, 栗治, 尹春燕, 李辉利, 刘小侠, 赵章武, 2014. 麦蚜的不同防治方法对麦田节肢动物功能团的影响. 应用昆虫学报, 51(2): 369–374.]
- Hong XY, Ding JH, 2007. *Agricultural Entomology*. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press. 12–14. [洪晓月, 丁锦华, 2007. 农业昆虫学. 第2版. 北京: 中国农业出版社. 12–14.]
- Liu XY, Jiao XL, Guo SR, Xu ZG, 2009. Experiment of light emitting diode catching insect lamp on phototaxis of *Drosophila*. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 40(10): 178–180, 187. [刘晓英, 焦学磊, 郭世荣, 徐志刚, 2009. 基于 LED 诱虫灯的果蝇趋光性试验. 农业机械学报, 40(10): 178–180, 187.]
- Lu XR, Qiu Y, Ma RF, Huang M, Wang SZ, He HY, 2009. Occurrence of the scarab and its control in Chongming. *Plant Protection*, 35(6): 176–178. [陆信仁, 邱源, 马荣飞, 黄淼, 王世忠, 何欢宇, 2009. 崇明地区金龟子发生规律与防治技术. 植物保护, 35(6): 176–178.]
- Nielsen AL, Holmstrom K, Hamilton GC, Cambridge J, Ingerson-Mahar J, 2013. Use of black light traps to monitor the abundance, spread, and flight behavior of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Economic Entomology*, 106(3): 1495–1502.
- Sun YX, Tian A, Zhang XB, Zhao XB, Zhao ZG, Zhang ZW, Ma RY, 2014. Phototaxis of *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Olethreutidae) to different light sources. *Journal of Economic Entomology*, 107(5): 1792–1799.
- Wakefield A, Broyles M, Stone EL, Jones G, Harris S, 2016. Experimentally comparing the attractiveness of domestic lights to insects: Do LEDs attract fewer insects than conventional light types?. *Ecology and Evolution*, 6(22): 8028–8036.
- Wang WL, Ren LL, Zhang LS, Ma YB, Luo YQ, 2017. Evaluation of trapping *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai et Liu using different wavelength LED lights. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(6): 955–960. [王文龙, 任利利, 张连生, 马云波, 骆有庆, 2017. 不同波长 LED 灯对油松毛虫的诱捕效果与评价. 应用昆虫学报, 54(6): 955–960.]
- Xiao J, Liu X, Li JR, Liu GF, 2006. Studies on peanut tumblebug larva species and biology characteristics in Sichuan. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 19(2): 235–238. [肖筠, 刘旭, 李建荣, 柳光富, 2006. 四川花生蛱蝶种类调查及优势种群生物学特性研究. 西南农业学报, 19(2): 235–238.]
- Xu X, Ma L, Yue ZL, Chen HB, 2017. Trapping effect of LED single wavelength insecticidal lamp against tea insect pests. *China Plant Protection*, 37(12): 53–56. [徐翔, 马利, 岳泽霖, 陈华保, 2017. LED 单波长光源杀虫灯对茶园害虫的诱杀效果. 中国植保导刊, 37(12): 53–56.]
- Yang J, 2015. Reducing the amount of chemical fertilizer and pesticide is an important guarantee for the protection and restoration of the agricultural ecological environment. *Liaoning Agricultural Sciences*, (5): 66–68. [杨军, 2015. 减少化肥农药用量是保护恢复农业生态环境的重要保证. 辽宁农业科学, (5): 66–68.]
- Yang QY, Liu XL, 1976. Observation on four kinds of crops caused by *Niphe elongate*. *Entomological Knowledge*, 13(2): 45. [杨齐云, 刘兴荔, 1976. 稻绿蝽为害四种农作物的观察. 昆虫知识, 13(2): 45.]
- Yang TF, 1991. The biological characteristics and control of *Metabolus flavescens* Brenske. *Entomological Knowledge*, 28(5): 285–286. [杨田福, 1991. 小黄鳃金龟的生物学特性及防治. 昆虫知识, 28(5): 285–286.]
- Yoshiaki T, Takuya U, Terumi Y, Kentaro A, Yooichi K, Masami S, 2016. Broadband photoreceptors are involved in violet light preference in the parasitoid fly *Exorista Japonica*. *PLoS ONE*, 11(8): e0160441.
- Zhang XX, 2002. *Insect Ecology and Forecast*. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press. 101–102, 144, 155. [张孝羲, 2002. 昆虫生态及预测预报. 第3版. 北京: 中国农业出版社. 101–102, 144, 155.]
- 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.
- Zheng Y, Wu WJ, Fu YG, 2010. Laboratory evaluation of light-emitting diodes as an attractant for the spiralling whitefly *Aleurodicus dispersus* Russell. *Journal of Environmental Entomology*, 32(3): 423–426. [郑月, 吴伟坚, 符悦冠, 2010. 螺旋粉虱对不同波长发光二极管的趋光反应. 环境昆虫学报, 32(3): 423–426.]