

太阳能光陷阱捕虫器对花生田昆虫的诱捕效果



王 昊¹ 闫 科¹ 刘田谷¹ 匡 超¹ 蔡夫业² 王小平¹
雷朝亮¹ 黄求应^{1*}

(1. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070; 2. 湖南本业绿色防控科技股份有限公司, 怀化 418000)

摘要: 为建立绿色高效的花生田害虫灯光诱控技术, 于2019年在湖北省孝感市大悟县河口镇群建村进行试验, 测定光源A(波长365 nm)和光源B(波长390 nm)太阳能光陷阱捕虫器诱捕到的花生田地下害虫、天敌昆虫和中性昆虫的类群和数量, 并分析不同光源和天气对太阳能光陷阱捕虫器诱捕效果的影响。结果表明, 2种光源太阳能光陷阱捕虫器共诱捕昆虫106 899头, 其中地下害虫以丽金龟科和鳃金龟科昆虫居多, 分别为53 338头和22 993头; 诱捕的天敌昆虫和中性昆虫中分别以步甲科昆虫和水龟虫科昆虫居多, 分别为1 495头和4 866头。光源A诱捕的金龟甲总科害虫、叩甲科害虫、天敌昆虫和中性昆虫数量与光源B的诱捕量均差异不显著, 但光源A诱捕的蝼蛄科害虫数量显著高于光源B; 晴天诱捕的金龟甲总科害虫、叩甲科害虫、天敌昆虫和中性昆虫数量与在阴天的诱捕量差异不显著, 但晴天诱捕的蝼蛄科害虫数量显著高于阴天的诱捕量。表明太阳能光陷阱捕虫器对花生田害虫的诱捕效果好, 对天敌昆虫和中性昆虫杀伤力小, 可作为一种绿色防控手段防治花生田害虫。

关键词: 太阳能; 光陷阱捕虫器; 花生; 害虫; 天敌; 波长; 光源; 天气; 诱捕效果

Trapping effects of solar light traps on insects in peanut fields

Wang Hao¹ Yan Ke¹ Liu Tiangu¹ Kuang Chao¹ Cai Fuye² Wang Xiaoping¹
Lei Chaoliang¹ Huang Qiuying^{1*}

(1. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei Province, China;
2. Hunan Benye Green Prevention and Control Technology Co., Ltd., Huaihua 418000, Hunan Province, China)

Abstract: In order to establish a green and efficient light trapping and control technology for insect pests in peanut fields, a field test in Qunjian Village, Hekou Town, Dawu County, Xiaogan City, Hubei Province was conducted in 2019 to determine the groups and numbers of underground pests, natural enemy insects and neutral insects trapped by solar light traps (Light source A with 365 nm wave length and Light source B with 390 nm wave length) in peanut fields. The effects of different light sources and the weather on the trapping efficiency of solar light traps were analyzed. The results showed that 106 899 insects were trapped by the two light sources. The majority of the underground insect pests belonged to Rutelidae (53 338) and Melolonthidae (22 993), and the majority of trapped natural enemy insects and neutral insects belonged to Carabidae (1 495) and Hydrophilidae (4 866), respectively. The numbers of Scarabaeoidae pests, Elateridae pests, natural enemy insects and neutral insects trapped by Light source A were not significantly different from those trapped by Light source B. However, the number of Gryllotalpidae pests trapped by Light source A was significantly higher than that trapped by Light source B. In

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0201009, 2017YFD0200906)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: qyhuang2006@mail.hzau.edu.cn

收稿日期: 2021-05-18

addition, there were no significant differences in the trapping numbers of Scarabaeoidae pests, Elateridae pests, natural enemy insects and neutral insects between sunny and cloudy days, although the trapping number of Gryllotalpidae in sunny days was significantly higher than that in cloudy days. In conclusion, solar insect light traps had perfect trapping effect against peanut insect pests with only minimal negative effect on natural enemy insects and neutral insects, and thus can be use as a green control method against peanut insect pests.

Key words: solar power; light trap; peanut; insect pest; natural enemy; wave length; light source; weather; trapping effect

花生是我国重要的油料作物,而花生田中的害虫是制约我国花生产业发展的重要因素。花生田中的害虫种类多达80余种,以地下害虫居多(闫冉冉等,2014;何发林等,2019),主要包括蛴螬、地老虎、蝼蛄和金针虫等(Hemerik et al., 2003;李耀发等,2014),对花生发芽、坐果以及结荚等各生长发育过程均可受害。目前化学防治仍是许多地区控制花生害虫的重要手段,如在花生苗期采用60%吡虫啉悬浮种衣剂、30%毒死蜱微囊悬浮剂和3%辛硫磷颗粒剂等对花生种子进行包衣(管磊等,2015;钟涛等,2016)。但是化学防治不仅会污染土壤和水体,还会误杀天敌昆虫和中性昆虫,影响生态系统的生物多样性,并通过食物链在高营养级生物中产生毒素累积效应,给生态系统的健康和稳定造成影响;化学防治还会诱发害虫的抗药性,使害虫防治工作陷入抗药性增强、农药施用量增加、抗药性再增强的恶性循环;同时化学防治带来的农产品农药残留不仅会影响农产品的质量,对人体健康也存在着潜在风险。因此,开发花生害虫绿色防控技术对于花生产业发展至关重要。

夜行性昆虫通过飞行或爬行不自觉地向人工光源靠近的习性称为昆虫的趋光性(Park & Lee, 2017;桑文等,2019)。昆虫的趋光性与昆虫复眼的结构有关,昆虫复眼由3种不同类型的感光细胞组成,分别对50~390 nm波长的紫外光、400~470 nm波长的蓝光及505~575 nm波长的绿光敏感(Briscoe & Chittka, 2001;Johansen et al., 2011)。灯光诱控技术就是利用昆虫的趋光性来诱杀趋光害虫的(Gao et al., 2017;Lima-Neto et al., 2017;Kim et al., 2019)。该技术作为一种绿色防控技术,已被广泛用于农林害虫防治中,并在害虫预测预报中发挥着重要作用(Allsopp, 2010;Zhang et al., 2011;张凯雄等, 2014)。光源的波长、光强、趋光昆虫性别、诱虫灯间距和天气条件等因素均会影响诱虫灯对目标昆虫的诱捕效果,如棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 的趋光率

会随着羽化日龄的变化近似呈现抛物线变化,高龄棉铃虫成虫的趋光率最低(张艳红等,2009);在夜间昆虫的上灯活动呈现一定的节律,每种昆虫都有其相对固定的上灯高峰期,在上灯高峰期诱虫灯对该种昆虫的诱集量显著高于其他时段(桑文等,2019);杀虫灯间距影响其对玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 的控制效果,且对不同趋光的害虫,其起控制作用的杀虫灯间距也不同(韩海亮等,2020);昆虫性别对昆虫的趋光性也有一定影响,雄性二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 对波长483 nm蓝光的趋光率显著高于雌性二点委夜蛾(杨心月等,2015);在茶小绿叶蝉 *Empoasca pirusuga* 虫口高峰期,波长为385 nm的LED风吸式杀虫灯灯距25 m内对茶小绿叶蝉的诱捕量仅为灯距120 m诱捕量的49.5%~64.4%(边磊等,2019);此外,晴天、高温、低湿、低气压和少雨天气有利于提高农田灯光的诱虫效果(陈坤等,2013;刘超华等, 2016)。目前市场上的诱虫灯主要有黑光灯和频振式诱虫灯等(桑文等,2018),然而这些诱虫灯存在光源相对单一和对天敌昆虫杀伤力较大等不足,不利于诱虫灯的大面积推广应用。华中农业大学和湖南本业绿色防控科技股份有限公司合作研制了太阳能光陷阱捕虫器,该捕虫器采用挡板加风力吸虫替代电击杀虫,不设高压电网,避免了对非靶标害虫的诱杀,能够高效诱杀靶标害虫,降低对天敌昆虫和中性昆虫的杀伤力。

为明确太阳能光陷阱捕虫器对花生田害虫的诱捕效果以及对花生田天敌昆虫和中性昆虫的影响,本研究于2019年在湖北省孝感市大悟县河口镇群建村花生田内进行试验,测定光源A和B两种太阳能光陷阱捕虫器诱捕的地下害虫、天敌昆虫和中性昆虫的类群和数量,明确其上灯高峰期,并分析不同光源和天气对太阳能光陷阱捕虫器诱捕效果的影响,以期建立绿色高效的花生田害虫灯光诱控技术提供理论依据,为减少花生田农药使用量和提升花生品质提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物:天府 11 号花生种子购于市场。
仪器:3BCT-15 型太阳能光陷阱捕虫器,湖南本业绿色防控科技股份有限公司;DC 12V-12W 诱虫光源,湖南本业绿色防控科技股份有限公司。

1.2 方法

于 2019 年 5 月—8 月末在湖北省孝感市大悟县河口镇群建村花生田内进行试验。试验分 2 组,每组田块面积为 53 360 m²左右,每组试验设 3 台太阳能光陷阱捕虫器,一组试验采用光源 A(波长 365 nm),另一组试验采用光源 B(波长 390 nm)。安装时,挖 30~40 cm 深的沟槽,用水泥浇筑底座,太阳能光陷阱捕虫器主体与底座用防盗螺丝固定,光源距地面 1.5 m 高,每台太阳能光陷阱捕虫器间距约为 100 m,且每组的 3 台太阳能光陷阱捕虫器呈三角形布置。试验期间每天 19: 00 开灯,次日 06: 00 关灯,将集虫袋带回室内进行昆虫鉴定和数量统计,遇雷雨天不开灯。试验田花生株距约为 20 cm,行距约为 25 cm,种植日期为 2019 年 4 月 17 日,收获日期为 2019 年 8 月 30 日,花生品种为天府 11 号,试验期间未施化学农药。将每种光源太阳能光陷阱捕虫器每日诱捕到的昆虫进行目、科分类汇总,统计每种光源太阳能光陷阱捕虫器对花生田主要害虫、天敌昆虫和中性昆虫的诱捕量,并进行差异分析,统计晴天(日间有太阳照射)和阴天(日间无太阳照射且无雨)2 种天气下每种光源太阳能光陷阱捕虫器对花生田主要害虫、天敌昆虫和中性昆虫的日诱捕量,并进行差异分析。

1.3 数据分析

采用 SPSS 20.0 软件对试验数据进行统计分析,使用独立样本 *t* 检验法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 花生田捕虫器灯诱昆虫的类群

试验期间 2 种光源太阳能光陷阱捕虫器共诱捕昆虫 106 899 头,其中鞘翅目昆虫最多,达 94 442 头,所占比例为 88.34%,其次是鳞翅目昆虫,为 10 367 头,所占比例为 9.70%(表 1)。

表 1 太阳能光陷阱捕虫器对花生田昆虫的诱捕量及比例
Table 1 Numbers and proportions of insects trapped by solar light traps in peanut fields

目 Order	诱捕量 No. of insects trapped	所占比例 Proportion/%
鞘翅目 Coleoptera	94 442	88.34
鳞翅目 Lepidoptera	10 367	9.70
直翅目 Orthoptera	895	0.84
脉翅目 Neuroptera	126	0.12
半翅目 Hemiptera	959	0.90
蜻蜓目 Odonata	61	0.06
双翅目 Diptera	49	0.04
合计 Total	106 899	100.00

2 种光源太阳能光陷阱捕虫器诱捕的地下害虫主要为丽金龟科、鳃金龟科、花金龟科、金龟子科和蝼蛄科,分别为 53 338、22 993、2 695、1 925 和 818 头,分别占所诱地下害虫总数的 65.23%、28.12%、3.30%、2.35% 和 1.00%;诱捕的天敌昆虫主要有步甲科、虎甲科和猎蝽科,分别为 1 495、760 和 211 头;诱捕的中性昆虫主要有水龟虫科、蛱螂科和龙虱科,分别为 4 866、2 244 和 1 701 头(表 2)。

表 2 太阳能光陷阱捕虫器诱捕的花生田主要地下害虫、天敌昆虫和中性昆虫的数量及比例

Table 2 Numbers and proportions of main underground insect pests, natural enemy insects and neutral insects trapped by solar light traps in peanut fields

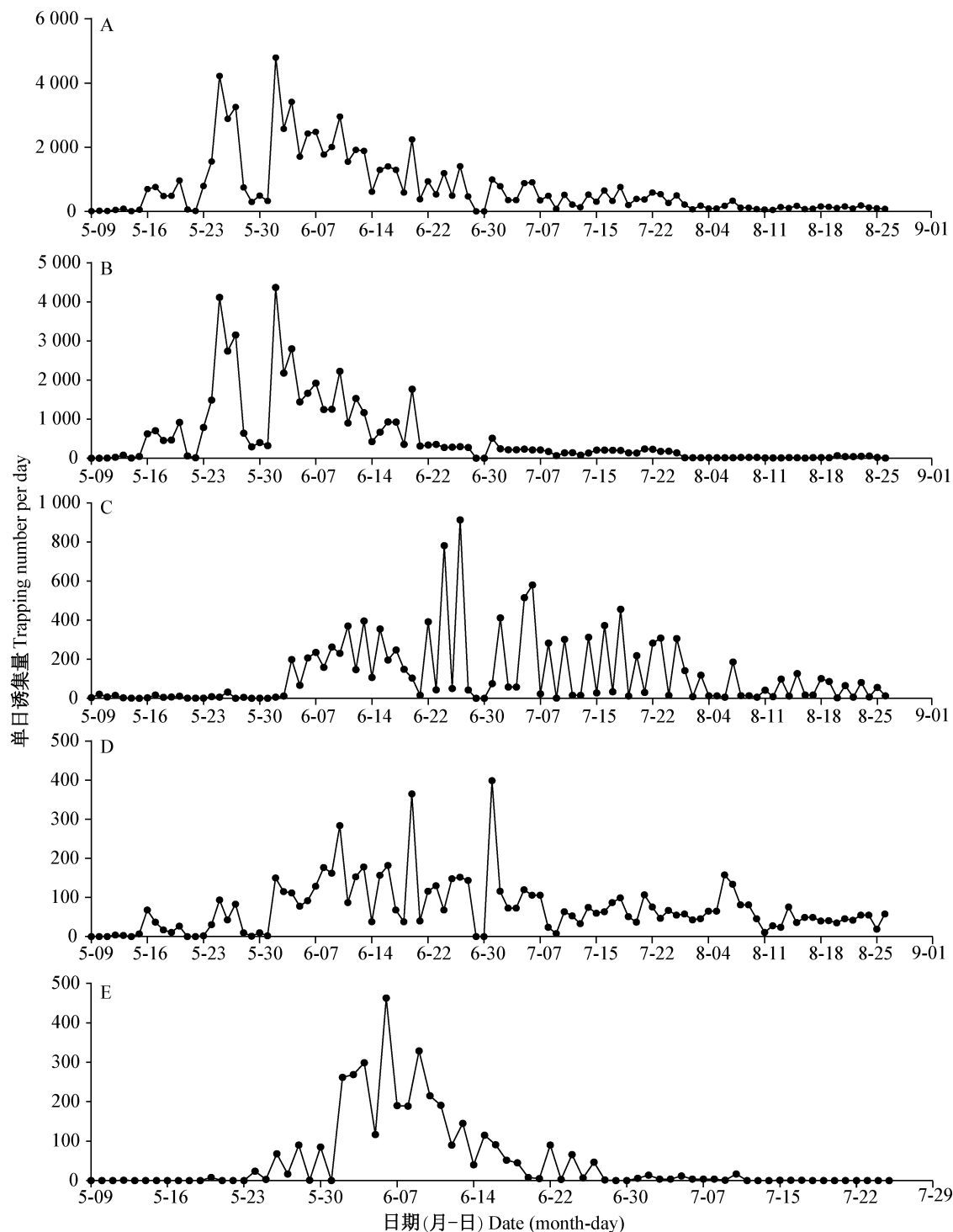
昆虫类型 Insect group	科 Family	诱捕量 No. of insects trapped	所占比例 Proportion/%
地下害虫 Underground insect pests	丽金龟科 Rutelidae	53 338	65.23
	鳃金龟科 Melolonthidae	22 993	28.12
	花金龟科 Cetoniidae	2 695	3.30
	金龟子科 Scarabaeidae	1 925	2.35
	蝼蛄科 Gryllotalpidae	818	1.00
天敌昆虫 Natural enemy insects	虎甲科 Cicindelidae	760	30.82
	步甲科 Carabidae	1 495	60.62
	猎蝽科 Reduviidae	211	8.56
中性昆虫 Neutral insects	蛱螂科 Geotrupidae	2 244	25.47
	龙虱科 Dytiscidae	1 701	19.31
	水龟虫科 Hydrophilidae	4 866	55.22

2.2 花生田捕虫器灯诱昆虫的种群消长动态

2.2.1 主要地下害虫的种群消长动态

整个试验期间太阳能光陷阱捕虫器单日诱捕的金龟甲总科害虫数量呈波动变化,诱捕高峰期为5月16日—7月26日,此期间总共诱集到71 082头,约占

整个试验期间金龟甲总科害虫总诱捕量的94%;5月25日和6月1日单日诱捕量较高,7月7日后,单日诱捕量保持在较低水平,8月后,金龟甲总科害虫单日诱捕量保持在100头以下(图1-A)。



A: 金龟甲总科; B: 铜绿丽金龟; C: 暗黑鳃金龟; D: 阔胫玛绢金龟; E: 华胸突鳃金龟。A: Scarabaeidae; B: *Anomala corpulenta*; C: *Holotrichia parallela*; D: *Maladera verticalis*; E: *Hoplosternus sinensis*.

图1 太阳能光陷阱捕虫器诱捕花生田金龟甲总科害虫数量的变化

Fig. 1 Variation of total numbers of Scarabaeidae pests trapped by solar light traps in peanut fields

整个试验期间太阳能光陷阱捕虫器共诱捕铜绿丽金龟 *Anomala corpulenta* 52 603 头, 诱捕高峰期为 5 月 16 日—6 月 20 日, 此期间共诱捕 45 016 头, 占整个试验期间铜绿丽金龟总诱捕量的 86%(图 1-B)。

整个试验期间太阳能光陷阱捕虫器共诱捕暗黑鳃金龟 *Holotrichia parallela* 11 819 头, 诱捕高峰期为 6 月 3 日—8 月 3 日, 此期间共诱捕 10 658 头, 占整个试验期间暗黑鳃金龟总诱捕量的 90%(图 1-C)。

整个试验期间太阳能光陷阱捕虫器共诱捕阔翅玛绢金龟 *Maladera verticalis* 7 254 头, 6 月 19 日和 7 月 1 日单日诱捕量最高(图 1-D)。整个试验期间太阳能光陷阱捕虫器共诱捕华胸突鳃金龟 *Hoplosternus sinensis* 3 700 头, 诱捕高峰期为 6 月 1 日—6 月 18 日,

此期间共诱捕 3 102 头, 占整个试验期间华胸突鳃金龟总诱捕量的 84%(图 1-E)。

整个试验期间太阳能光陷阱捕虫器共诱捕蝼蛄科害虫 818 头, 诱捕高峰期为 5 月 15 日—7 月 25 日, 此期间共诱捕 785 头, 占整个试验期间蝼蛄科总诱捕量的 96%, 其中 6 月 1 日、6 月 9 日、6 月 15 日和 7 月 1 日单日诱捕量较高, 7 月 7 日后蝼蛄科诱捕量保持在较低水平, 但在 7 月 20 日—7 月 23 日又出现了 1 个小高峰, 7 月 25 日后基本诱捕不到蝼蛄科害虫(图 2-A)。整个试验期间太阳能光陷阱捕虫器共诱捕叩甲科害虫 139 头, 从 5 月 15 日起开始诱捕叩甲科害虫, 单日诱捕量较小且呈波动变化趋势, 单日诱捕量均低于 10 头(图 2-B)。

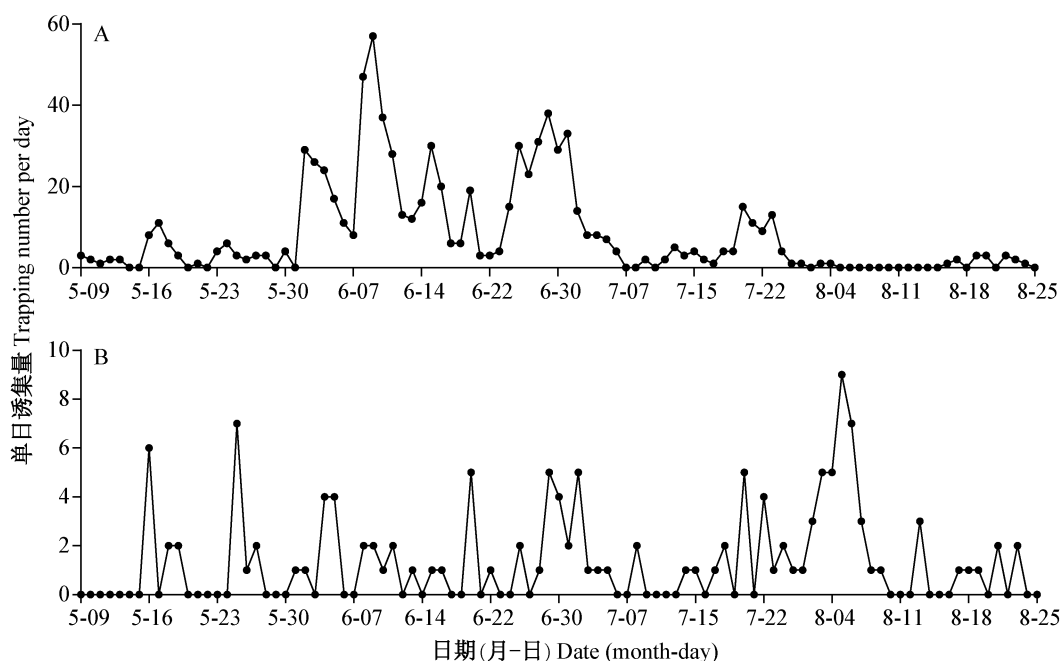


图2 太阳能光陷阱捕虫器诱捕花生田蝼蛄科(A)和叩甲科(B)害虫数量的变化

Fig. 2 Variation of total numbers of Gryllotalpidae (A) and Elateridae (B) pests trapped by solar light traps in peanut fields

2.2.2 天敌昆虫的种群消长动态

整个试验期间太阳能光陷阱捕虫器共诱捕虎甲科天敌昆虫 760 头, 有 2 个诱捕高峰期, 第 1 个诱集高峰期为 5 月 11 日—5 月 27 日, 此期间共诱捕 137 头, 占整个试验期间虎甲科天敌昆虫总诱捕量的 18%; 第 2 个诱集高峰期为 6 月 1 日—7 月 4 日, 此期间共诱捕 467 头, 占整个试验期间虎甲科天敌昆虫总诱捕量的 61%(图 3-A)。整个试验期间太阳能光陷阱捕虫器共诱捕步甲科天敌昆虫 1 495 头, 诱捕高峰期为 5 月 17 日—6 月 19 日, 此期间共诱捕 1 025 头, 占整个试验期间步甲科天敌昆虫总诱捕量的 69%, 5 月 25 日单日诱捕量最高(图 3-B)。整个试验期间太阳

能光陷阱捕虫器共诱捕猎蝽科昆虫 211 头, 6 月 10 日单日诱捕量最高, 为 16 头(图 3-C)。

2.2.3 中性昆虫的种群消长动态

整个试验期间太阳能光陷阱捕虫器共诱捕龙虱科昆虫 1 701 头, 7 月 11 日单日诱捕量最高, 为 67 头(图 4-A)。整个试验期间太阳能光陷阱捕虫器共诱捕水龟虫科昆虫 4 866 头, 诱捕高峰期分别为 6 月 1 日—6 月 11 日、6 月 19 日—7 月 4 日和 7 月 11 日—8 月 6 日, 此期间共诱捕 3 864 头, 占整个试验期间水龟虫科昆虫总诱捕量的 79%(图 4-B)。整个试验期间太阳能光陷阱捕虫器共诱捕蜉蝣科昆虫 2 244 头, 有 2 个诱捕高峰期, 第 1 个诱捕高峰期为 5 月 16 日—6 月

30日,此期间共诱捕1722头,占整个试验期间蛱蝶科昆虫总诱捕量的77%,第2个诱捕高峰期为8月3日—8月16日,此期间共诱捕271头,占整个试验期间蛱蝶科昆虫总诱捕量的12%(图4-C)。

2.3 2种光源捕虫器对花生田昆虫的诱捕效果

2.3.1 对主要害虫的诱捕效果

光源A和B太阳能光陷阱捕虫器对金龟甲总科害虫诱捕量分别为11882头和11701头,两者之间差异不显著;其中对铜绿丽金龟的诱捕量分别为8797头和8455头,对暗黑鳃金龟的诱捕量分别为1676头和1939头,对阔胫玛绢金龟的诱捕量分别为701头和824头,对叩甲科害虫的诱捕量分别为22头和25头,2种光源之间均差异不显著;对蝼蛄科害虫的诱捕量分别为195头和47头,前者显著高于后者($P<0.05$,表3)。

2.3.2 对天敌昆虫和中性昆虫的诱捕效果

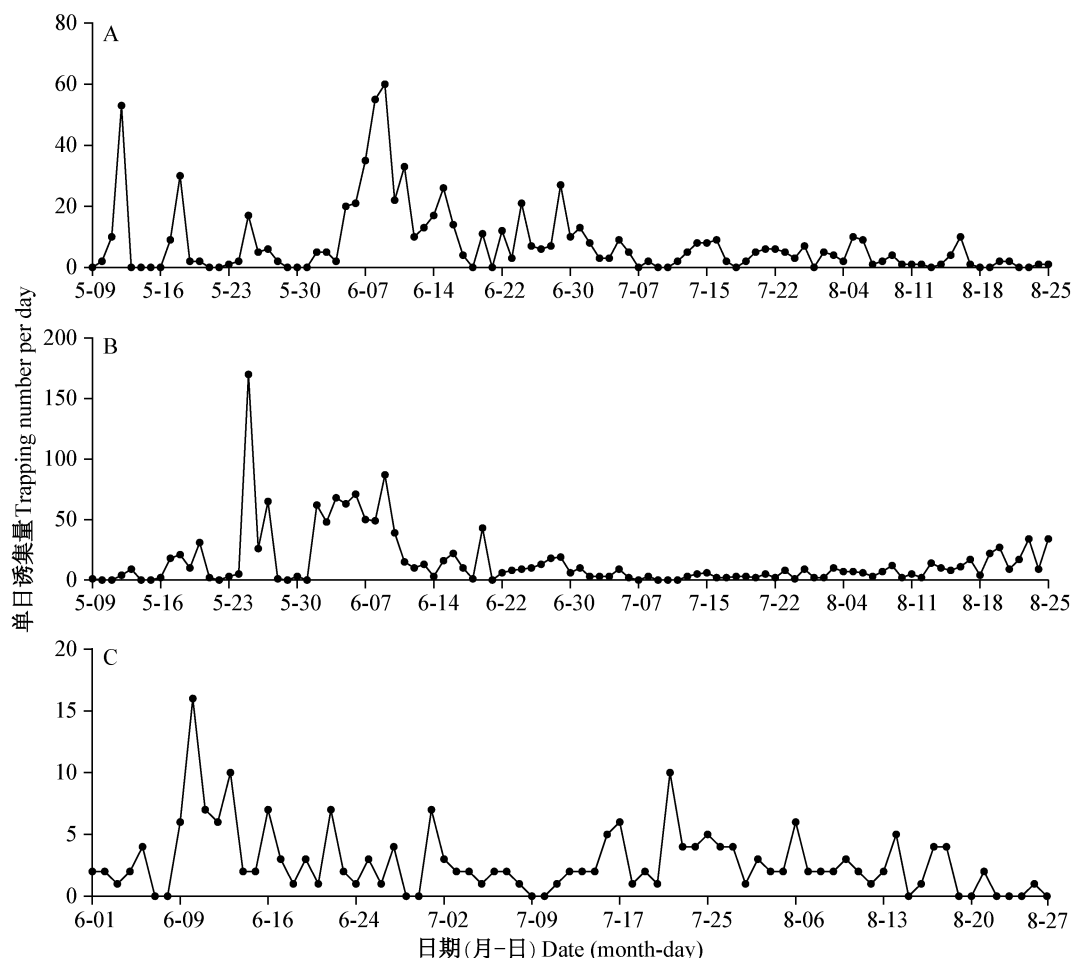
光源A和B太阳能光陷阱捕虫器对虎甲科昆虫的诱捕量分别为142头和90头,对步甲科昆虫的诱

捕量分别为219头和209头,对猎蝽科昆虫的诱捕量分别为46头和27头,对龙虱科昆虫的诱捕量分别为222头和262头,对水龟虫科昆虫的诱捕量分别为693头和777头,对蛱蝶科昆虫的诱捕量分别为405头和281头,2种光源之间均差异不显著(表3)。

2.4 天气对花生田昆虫诱捕效果的影响

2.4.1 对主要害虫诱捕效果的影响

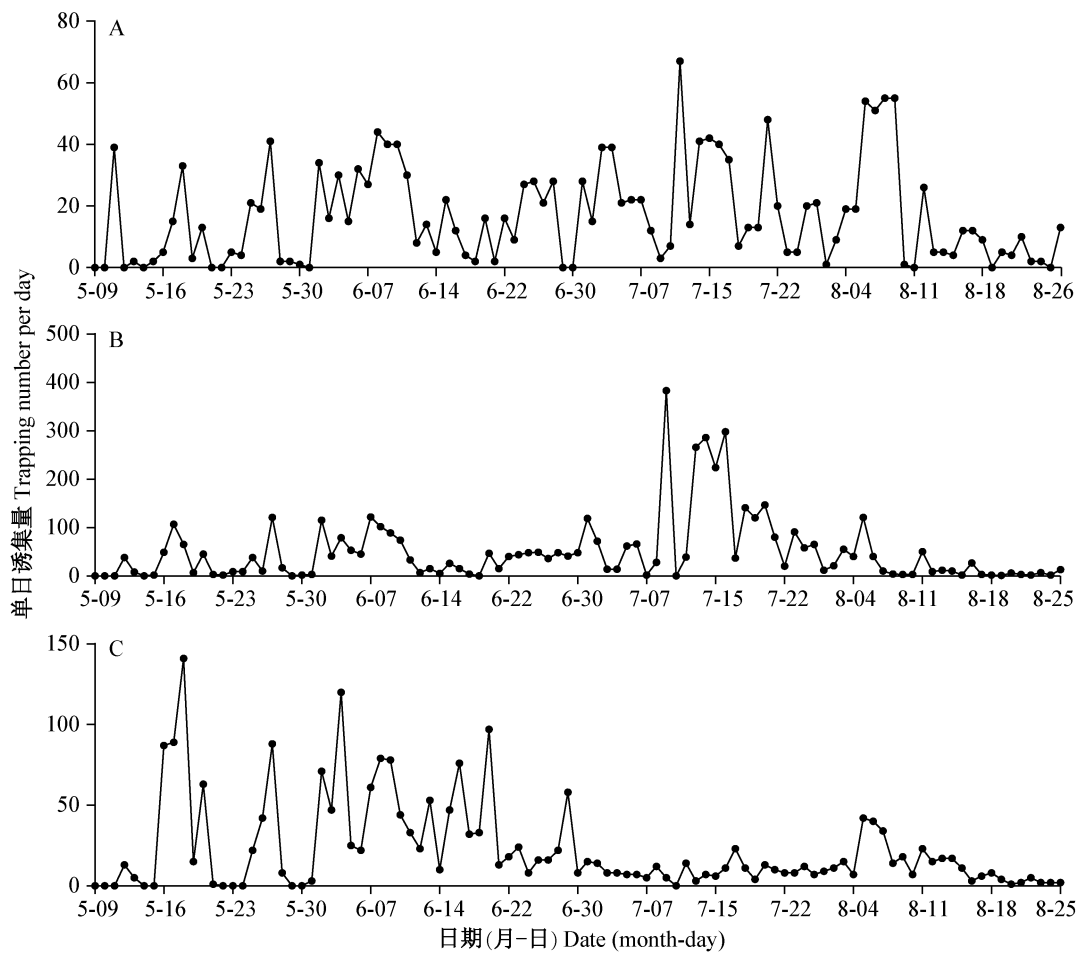
在晴天和阴天条件下太阳能光陷阱捕虫器对金龟甲总科害虫的日诱捕量分别为754头和1171头,两者之间差异不显著,其中对铜绿丽金龟的日诱捕量分别为484头和949头,对暗黑鳃金龟的日诱捕量分别为143头和105头,对阔胫玛绢金龟的日诱捕量分别为84头和63头,对叩甲科害虫的日诱捕量分别为2头和1头,阴天和晴天之间均差异不显著(表4)。在晴天和阴天条件下太阳能光陷阱捕虫器对蝼蛄科害虫的日诱捕量分别为9头和1头,前者显著高于后者($P<0.05$,表4)。



A: 虎甲科; B: 步甲科; C: 猎蝽科。A: Cicindelidae; B: Carabidae; C: Reduviidae.

图3 太阳能光陷阱捕虫器诱捕花生田天敌昆虫数量的变化

Fig. 3 Variation of total numbers of natural enemy insects trapped by solar light traps in peanut fields



A: 龙虱科; B: 水龟虫科; C: 蜣螂科。A: Dytiscidae; B: Hydrophilidae; C: Geotrupidae.

图4 太阳能光陷阱捕虫器诱捕花生田中性昆虫数量的变化

Fig. 4 Variation of total numbers of neutral insects trapped by solar light traps in peanut fields

表3 不同光源太阳能光陷阱捕虫器对花生田昆虫的诱捕效果

Table 3 Trapping effect of solar light traps with different light sources on insects in peanut fields

昆虫类型 Insect group	科 Family	种 Species	光源A Light source A	光源B Light source B
主要害虫 Main insect pest	金龟甲总科 Scarabaeidae		11 882±1 832 a	11 701±1 344 a
		铜绿丽金龟 <i>Anomala corpulenta</i>	8 797±1 236 a	8 455±834 a
		暗黑鳃金龟 <i>Holotrichia parallela</i>	1 676±489 a	1 939±359 a
		阔胫玛绢金龟 <i>Maladera verticalis</i>	701±106 a	824±119 a
天敌昆虫 Natural enemy insect	蝼蛄科 Gryllotalpidae		195±46 a	47±15 b
	叩甲科 Elateridae		22±3 a	25±3 a
	虎甲科 Cicindelidae		142±27 a	90±6 a
	步甲科 Carabidae		219±40 a	209±15 a
中性昆虫 Neutral insect	猎蝽科 Reduviidae		46±10 a	27±3 a
	龙虱科 Dytiscidae		222±37 a	262±32 a
	水龟虫科 Hydrophilidae		693±62 a	777±224 a
	蜣螂科 Geotrupidae		405±38 a	281±49 a

表中数据为平均数±标准误。同行不同小写字母表示经独立样本 *t* 检验法检验差异显著 ($P<0.05$)。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference by independent sample *t* test ($P<0.05$).

表4 天气对花生田太阳能光陷阱捕虫器诱捕效果的影响
Table 4 Effects of weather on the trapping effect of solar light trap in peanut fields

昆虫类型 Insect group	科 Family	种 Species	晴天 Sunny day	阴天 Cloudy day
主要害虫 Main insect pest	金龟甲总科 Scarabaeidae		754±125 a	1 171±445 a
		铜绿丽金龟 <i>Anomala corpulenta</i>	484±107 a	949±412 a
		暗黑鳃金龟 <i>Holotrichia parallela</i>	143±24 a	105±54 a
		阔胫玛绢金龟 <i>Maladera verticalis</i>	84±10 a	63±15 a
天敌昆虫 Natural enemy insect	蝼蛄科 Gryllotalpidae		9±1 a	1±1 b
	叩甲科 Elateridae		2±0 a	1±1 a
	虎甲科 Cicindelidae		8±2 a	10±5 a
	步甲科 Carabidae		14±3 a	24±9 a
中性昆虫 Neutral insect	猎蝽科 Reduviidae		3±0 a	3±1 a
	龙虱科 Dytiscidae		18±2 a	17±5 a
	水龟虫科 Hydrophilidae		55±10 a	60±32 a
	蜣螂科 Geotrupidae		22±3 a	23±8 a

表中数据为平均数±标准误。同行不同小写字母表示经独立样本 *t* 检验法检验差异显著 ($P<0.05$)。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference by independent sample *t* test ($P<0.05$).

2.4.2 对天敌昆虫和中性昆虫诱捕效果的影响

在晴天和阴天条件下太阳能光陷阱捕虫器对虎甲科昆虫的日诱捕量分别为8头和10头,对步甲科昆虫的日诱捕量分别为14头和24头,对猎蝽科的日诱捕量均为3头和3头,对龙虱科昆虫的日诱捕量分别为18头和17头,对水龟虫科昆虫的日诱捕量分别为55头和60头,对蜣螂科昆虫的日诱捕量分别为22头和23头,阴天和晴天之间均差异不显著(表4)。

3 讨论

不同趋光昆虫的上灯高峰期存在显著差异,如丁山峰(2018)研究结果发现杧果园中杧果叶瘿蚊 *Erosomyia mangiferae*、扁缘叶蝉 *Idioscopus incertus* 和切叶象甲 *Deporaus marginatus* 三种害虫的上灯高峰期分别为9—11月、9—10月和10—11月,前者的高峰期长于后两者;李慧杰(2010)研究结果发现,铜绿异丽金龟和黄褐异丽金龟 *A. exoleta* 的上灯高峰期分别为6—8月和6—7月,前者的上灯高峰期长于后者。本研究结果发现金龟甲总科害虫的上灯高峰期为5月16日—7月26日,步甲科昆虫的上灯高峰期为5月17日—6月19日,水龟虫科昆虫的上灯高峰期为6月1日—6月11日、6月19日—7月4日和7月11日—8月6日,表明花生田害虫、天敌昆虫和中性昆虫的上灯高峰期开始时间和持续时间均有明显差异。因此,精确掌握不同趋光昆虫的上灯高峰期可以为物联网远程控制诱虫灯开灯时间提供理论依据。

不同波长光源的诱虫灯对诱捕效果有显著影响,如林明江等(2020)研究结果发现甘蔗条螟 *Chilo sacchariphagus* 对340、460和498 nm波长的趋光率最高,分别为23.10%、18.20%和18.10%,表明甘蔗条螟对340 nm波长更敏感;黄彤彤等(2019)研究发现在365~630 nm波长范围内,龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* 对365 nm紫外光的趋光率为27.90%,对625~630 nm红光的趋光率为6.50%,表明其对365 nm波长的敏感度更高;不同波长光源的LED灯对小菜蛾 *Plutella xylostella* 的诱捕效果也存在显著差异,400~405 nm波长的LED灯对小菜蛾的平均诱捕率为15.70%,420~425 nm和495~500 nm波长的LED灯对小菜蛾的平均诱捕率分别为14.70%和12.30%,表明小菜蛾对400~405 nm波长的LED灯更敏感(陈延望,2018)。本研究结果表明光源A(波长为365 nm)诱捕的蝼蛄科昆虫数量为195头,显著高于光源B(波长为390 nm)诱捕的47头,说明蝼蛄科害虫对365 nm波长光源更敏感;但这2种光源太阳能光陷阱捕虫器对花生田金龟甲总科、步甲科和水龟虫科等害虫、天敌昆虫和中性昆虫的诱捕量之间均无显著差异,究其原因可能是这2种波长差异小,都属于紫外光,下一步考虑增加供试波长的范围,筛选靶标害虫更敏感的波长。

天气条件也显著影响昆虫对诱虫灯的趋性,如陈坤等(2013)研究结果发现气象因子显著影响诱虫灯对烟田和蔬菜地昆虫的诱捕量,高温、低湿、低气

压和少雨天气下农田诱虫灯的诱捕效果明显提高;刘超华等(2016)研究报道频振式杀虫灯对苾麻田昆虫的诱捕量也受天气条件的影响,在晴天频振式杀虫灯对苾麻田鞘翅目和鳞翅目昆虫的诱捕量明显大于阴雨和大风天气;王秀君(2008)研究发现,晴朗无风天气下频振式杀虫灯对苹果园昆虫的诱捕量高于有风且降雨天气。本研究结果表明,太阳能光陷阱捕虫器对花生田昆虫的诱捕效果也受天气条件的影响,在晴天太阳能光陷阱捕虫器对蝼蛄科害虫的诱捕量显著高于其在阴天的诱捕量。因此,在田间应用诱虫灯时应当充分考虑当地气候条件,以获得理想的防治效果。

害虫灯光诱控技术是绿色防控的重要措施,但目前仍存在昆虫趋光机理不清楚、诱虫光源波长单一、对天敌杀伤力大和智能化和精准化水平低等关键问题,这严重限制了我国害虫灯光诱控技术的应用和发展(桑文等,2019)。基于靶标害虫和天敌昆虫体态特征和趋光行为特点研制拥有专用诱虫光源、天敌逃生装置和物联网远程控制系统等新技术的节能高效智能化专用诱虫灯将具有更广阔的应用前景(Kim et al., 2019),也将为促进农药减量、农业增效、农民增收提供更有力的科技支撑。

参 考 文 献 (References)

- Allsopp PG. 2010. Integrated management of sugarcane whitegrubs in Australia: an evolving success. *Annual Review of Entomology*, 55: 329–349
- Bian L, Cai XM, Chen ZM. 2019. Effects of light-emitting diode light traps with a suction fan on the population dynamics of the tea leafhopper *Empoasca onukii* (Hemiptera: Cicadellidae) within the effective distance. *Journal of Plant Protection*, 46(4): 902–909 (in Chinese) [边磊, 蔡晓明, 陈宗懋. 2019. LED风吸式杀虫灯对有效范围内茶小绿叶蝉虫口动态的影响. *植物保护学报*, 46(4): 902–909]
- Briscoe AD, Chittka L. 2001. The evolution of color vision in insects. *Annual Review of Entomology*, 46: 471–510
- Chen K, Wen LZ, Gong BY, Yang HZ, Li XY, Xu H. 2013. Influence of the major weather factor on the efficiency of the light trap in farmland. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 29(4): 44–50 (in Chinese) [陈坤, 文礼章, 龚碧涯, 杨洪璋, 李小一, 许浩. 2013. 重要气象因子对农田灯光诱虫效率的影响. *中国农学通报*, 29(4): 44–50]
- Chen YW. 2018. Capture effect of different wavelengths and intensities of LED light on *Plutella xylostella* and capture device development. Master thesis. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University (in Chinese) [陈延望. 2018. 不同波段和光强的LED灯光对小菜蛾的捕获效果及诱捕装置的研发. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学]
- Ding SF. 2018. Evaluation of three kinds of lamp traps on monitoring and control of main insect pests in mango orchard. Master thesis. Haikou: Hainan University (in Chinese) [丁山峰. 2018. 诱虫灯对芒果园主要害虫的监测与防治效果评价. 硕士学位论文. 海口: 海南大学]
- Gao Y, Li GH, Li KB, Lei CL, Huang QY. 2017. Comparison of the trapping effect and antioxidant enzymatic activities using three different light sources in cockchafers. *Environmental Science and Pollution Research International*, 24(36): 27855–27861
- Guan L, Ren YP, Wang XK, Qi HL, Liu F. 2015. Control effects and safety assessment of peanut seed-coating treatment of four new neonicotinoid insecticides on *Holotrichi aparallela*. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 37(3): 344–348 (in Chinese) [管磊, 任玉鹏, 王晓坤, 齐浩亮, 刘峰. 2015. 四种新烟碱类杀虫剂种子包衣对花生安全性及防治蛱蝶效果评价. *中国油料作物学报*, 37(3): 344–348]
- Han HL, Zhang JM, Liu M, Zhao FC, Wang GY, Lü YB. 2020. The application of fan suction solar energy insecticidal lamp in fresh corn fields and its effect on the biodiversity of arthropods. *Journal of Plant Protection*, 47(6): 1234–1243 (in Chinese) [韩海亮, 章金明, 刘敏, 赵福成, 王桂跃, 吕要斌. 2020. 扇吸式太阳能杀虫灯在鲜食玉米田的应用效果及对节肢动物生物多样性的影响. *植物保护学报*, 47(6): 1234–1243]
- He FL, Jiang XY, Shang DL, Yao CT, Li XD, Zhang JW. 2019. Control effects of overground and underground insect pests of peanut by seed dressing with chlorantraniliprole. *Journal of Plant Protection*, 46(1): 239–248 (in Chinese) [何发林, 姜兴印, 尚佃龙, 姚晨涛, 李向东, 张吉旺. 2019. 氯虫苯甲酰胺种子处理对花生地上及地下害虫的防治效果. *植物保护学报*, 46(1): 239–248]
- Hemerik L, Gort G, Brussaard L. 2003. Food preference of wireworms analyzed with multinomial logit models. *Journal of Insect Behavior*, 16(5): 647–665
- Huang TT, Li MY, Yang XF, Fan F, Yuan ST, Wei GS. 2019. Effects of wavelength, duration of light stimulation and gender structure on the phototaxis of ladybird beetle *Propylea japonica* (Thunberg). *Journal of Plant Protection*, 46(6): 1270–1276 (in Chinese) [黄彤彤, 李梦瑶, 杨小凡, 范凡, 苑士涛, 魏国树. 2019. 光波长、刺激时长和性别结构对龟纹瓢虫趋光性的影响. *植物保护学报*, 46(6): 1270–1276]
- Johansen NS, Vänninen I, Pinto DM, Nissinen AI, Shipp L. 2011. In the light of new greenhouse technologies 2: direct effects of artificial lighting on arthropods and integrated pest management in greenhouse crops. *Annals of Applied Biology*, 159(1): 1–27
- Kim KN, Huang QY, Lei CL. 2019. Advances in insect phototaxis and application to pest management: a review. *Pest Management Science*, 75(12): 3135–3143
- Li HJ. 2010. Dynamic study on forest pests trapped in Zhengzhou areas by the use of light. Master thesis. Zhengzhou: Henan Agricultural University (in Chinese) [李慧杰. 2010. 郑州地区主要林业害虫灯光诱测动态研究. 硕士学位论文. 郑州: 河南农业大学]

- Li YF, Dang ZH, Gao ZL, Pan XH, Pan WL. 2014. A bioassay suitable for screening pesticides to control the wireworm *Agriotes* spp. Chinese Journal of Applied Entomology, 51(5): 1356–1361 (in Chinese) [李耀发, 党志红, 高占林, 潘小花, 潘文亮. 2014. 金针虫室内毒力测定方法筛选. 应用昆虫学报, 51(5): 1356–1361]
- Lima-Neto AR, Costa-Neta BM, da Silva AA, Brito JM, Aguiar JVC, Ponte IS, Silva FS. 2017. The effect of luminous intensity on the attraction of phlebotomine sand flies to light traps. Journal of Medical Entomology, 55(3): 731–734
- Lin MJ, Xu HL, Guan CX, Li JH, Mao YL, Mao YK, Zeng XN. 2020. Research on the phototaxis of sugarcane borers. Journal of Environmental Entomology, 42(5): 1235–1241 (in Chinese) [林明江, 许汉亮, 管楚雄, 李继虎, 毛玉玲, 毛永凯, 曾鑫年. 2020. 甘蔗螟虫趋光性研究. 环境昆虫学报, 42(5): 1235–1241]
- Liu CH, Zhou P, Gao Y, Ma WH. 2016. The influence of different types of weather and different levels of field management on the trapping number of the insecticidal lamp. Hubei Plant Protection, (5): 36–37, 35 (in Chinese) [刘超华, 周鹏, 高燕, 马伟华. 2016. 不同天气和田间管理水平对杀虫灯诱虫量的影响. 湖北植保, (5): 36–37, 35]
- Park JH, Lee HS. 2017. Phototactic behavioral response of agricultural insects and stored-product insects to light-emitting diodes (LEDs). Applied Biological Chemistry, 60(2): 137–144
- Sang W, Cai FY, Wang XP, Zhang S, Huang QY, Zhu F, Guo SH, Lei CL. 2018. Application status and prospects of insect trapping lamp in fields. China Plant Protection, 38(10): 26–30, 68 (in Chinese) [桑文, 蔡夫业, 王小平, 张舒, 黄求应, 朱芬, 郭墅濠, 雷朝亮. 2018. 农用诱虫灯田间应用现状与展望. 中国植保导刊, 38(10): 26–30, 68]
- 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 (in Chinese) [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 XJ. 2008. The application of Jiaduo vibration-type insecticidal lamp in monitoring and controlling of the fruiter insect pests. Shanxi Fruits, (2): 9–10 (in Chinese) [王秀君. 2008. 佳多频振式杀虫灯在防治果树害虫中的应用. 山西果树, (2): 9–10]
- Yan RR, Qu C, Xue M, Ye BH, Yang SL, Li CX. 2014. Study on root irrigation with neonicotinoids to control the larvae of *Holotrichia parallela* in the peanut field. China Plant Protection, 34(1): 60–63 (in Chinese) [闫冉冉, 渠成, 薛明, 叶保华, 杨士玲, 李朝霞. 2014. 新烟碱类药剂灌根防治花生田暗黑鳃金龟幼虫研究. 中国植保导刊, 34(1): 60–63]
- Yang XY, Fan F, Chen J, Liu TH, He YZ. 2015. Effects of spectral sensitivity on the phototaxis of *Athetis lepigone* adults. Journal of Plant Protection, 42(6): 1009–1013 (in Chinese) [杨心月, 范凡, 陈洁, 刘廷辉, 何运转. 2015. 光谱对二点委夜蛾成虫趋光行为的影响. 植物保护学报, 42(6): 1009–1013]
- Zhang KX, Wang XP, Lei CL, Peng CH. 2014. The role of light trapping technology in the comprehensive control of crops. Hubei Plant Protection, (5): 23–25 (in Chinese) [张凯雄, 王小平, 雷朝亮, 彭传华. 2014. 灯光诱杀技术在农作物综合防治中的作用. 湖北植保, (5): 23–25]
- Zhang QH, Ma JH, Yang QQ, Byers JA, Klein MG, Zhao FY, Luo YQ. 2011. Olfactory and visual responses of the longlegged chafer *Hoplia spectabilis* Medvedev (Coleoptera: Scarabaeidae) in Qinghai Province, China. Pest Management Science, 67(2): 162–169
- Zhang YH, Liu XX, Zhang QW, Wei GS. 2009. Effects of different light source on phototaxis rate of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner). Journal of Agricultural University of Hebei, 32(5): 69–72 (in Chinese) [张艳红, 刘小侠, 张青文, 魏国树. 2009. 不同光源对棉铃虫蛾趋光率的影响. 河北农业大学学报, 32(5): 69–72]
- Zhong T, Xu GQ, Xu L, Zhao TH, Wang Z. 2016. Damage and economic threshold of *Holotrichia diomphalia* larvae in seedling stage of peanut field in Shenyang. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 38(5): 640–643 (in Chinese) [钟涛, 许国庆, 徐蕾, 赵彤华, 王哲. 2016. 沈阳地区花生田苗期蛱螋危害损失及防治指标. 中国油料作物学报, 38(5): 640–643]

(责任编辑:张俊芳)