

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

韩海亮¹ 章金明² 刘 敏² 赵福成¹ 王桂跃^{1*} 吕要斌^{2*}

(1. 浙江省东阳玉米研究所, 东阳 322100; 2. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 杭州 310000)

摘要: 为明确扇吸式杀虫灯在鲜食玉米田间的应用效果及对节肢动物生物多样性的影响, 采用抽样鉴定方法调查扇吸式杀虫灯的诱虫谱, 通过田间试验调查其对主要害虫亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 的控制范围和防控效果, 并采用黄板、糖醋酒液和陷阱法取样调查其对玉米田间节肢动物生物多样性的影响。结果表明, 扇吸式杀虫灯在鲜食玉米田可诱集 9 目 40 科的昆虫, 对亚洲玉米螟的有效控制距离在 60 m 左右, 单灯控制面积约 1.1 hm²。在大喇叭口期, 灯光防控处理对亚洲玉米螟的株防效为 25.83%, 显著低于化学防控处理的 76.74%; 在乳熟期, 化学防控处理的虫孔减退率为 75.29%, 显著高于灯光防控处理的 21.18%, 灯光防控处理、化学防控处理和对照的茎秆活虫数、虫孔隧道长度和雌穗防效差异均不显著。距灯 80 m 范围内不同距离的主要害虫与天敌种群数量基本一致, 玉米不同生育期节肢动物群落多样性指数、均匀性指数、优势集中性指数和相似系数变化较大, 但在同一生育期不同距离间均无显著差异, 说明田间节肢动物群落主要受玉米生育期的影响, 扇吸式杀虫灯对田间主要害虫和天敌种群无显著影响。表明扇吸式杀虫灯对亚洲玉米螟的防治效果有限, 对田间节肢动物多样性无显著影响, 可作为鲜食玉米田防治亚洲玉米螟的辅助手段, 但无法替代化学防治。

关键词: 扇吸式太阳能杀虫灯; 鲜食玉米; 亚洲玉米螟; 防治效果; 节肢动物; 生物多样性

The application of fan suction solar energy insecticidal lamp in fresh corn fields and its effect on the biodiversity of arthropods

HAN Hailiang¹ ZHANG Jinming² LIU Min² ZHAO Fucheng¹ WANG Guiyue^{1*} LÜ YaoBin^{2*}

(1. Zhejiang Dongyang Maize Research Institute, Dongyang 322100, Zhejiang Province, China; 2. Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310000, Zhejiang Province, China)

Abstract: In order to clarify the application effect of fan suction solar energy insecticidal lamp in fresh corn fields and its influence on the biodiversity of major arthropods, the induction spectrum was investigated by sampling and identification, and the field experiment was conducted to investigate the control range and control effect of the lamp on Asian corn borer *Ostrinia furnacalis*, the main insect pest of fresh corn; the effects of insecticidal lamps on the arthropod biodiversity in corn fields were investigated by using yellow boards, sugar vinegar and trap methods. The results showed that the lamp could trap 40 families of insects in nine orders in the field; the effective control distance to *O. furnacalis* was about 60 m, and the control area of single lamp was about 1.1 hm². In trumpet stage, the control effect of lamp treatment on *O. furnacalis* was 25.83%, which was significantly lower than that of the chemical treatment (76.74%). The rate of wormhole reduction in chemical control area was 75.29%, which was signif-

icantly higher than that in lamp area (21.18%), and the number of live worms, tunnel length and control efficiency of ears were not significantly different between the lamp, chemical and control area in the milk stage. The population numbers of main pests and natural enemies in different sampling points within 80 m from the lamp were almost the same. The diversity index, evenness index, dominant concentration index and community similarity coefficient of arthropods varied greatly in different growth periods, and there was no significant difference between different distances in the same growth period, suggesting that the arthropod community in the field was mainly affected by the growth period of corn, and the insecticidal lamp had no significant influence on the population of main pests and natural enemies in the field. Generally, the control effect of fan suction solar energy insecticidal lamp on *O. furnacalis* was below expectation. In addition, it had no significant impact on the biodiversity of arthropods in the field. It may be used as a supplementary means to control *O. furnacalis* in fresh corn, but cannot replace the chemical control.

Key words: fan suction solar energy insecticidal lamp; fresh maize; *Ostrinia furnacalis*; control effect; arthropod; biodiversity

玉米是我国第一大粮食作物,种植面积和产量均居第1位,是重要的粮用、饲用和工业加工原料。虫害是我国玉米产业发展的重要制约因素,主要以亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*、黏虫 *Mythimna separata*、棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* 和蚜虫为主,几乎全国范围内均有发生(王振营和王晓鸣,2019),而部分区域有其独特的为害种类,如黄淮海区域发生的二点委夜蛾 *Proxenus lepigone*(王振营等,2012)。化学防治一直是控制玉米虫害的主要手段,在保障玉米产量及稳定玉米品种方面起着重要作用。但是化学防治会带来较高的农残超标风险,造成农业面源污染,影响生态环境安全,导致害虫抗性上升、生物多样性降低等问题,因此急需开发绿色无污染的害虫防控技术。

利用昆虫的趋光行为消灭害虫是重要的物理防控手段,如灯光诱控技术,该技术安全、环保、无残留、不产生抗药性,已开发出黑光灯、频振式杀虫灯、扇(风)吸式杀虫灯(桑文等,2018;2019)和LED灯(边磊等,2018;2019)等。目前,频振式杀虫灯在水稻(董阳辉等,2011;何超等,2013;胡秀霞等,2013)、蔬菜(叶文娣,2008)、果园(杨莹,2019)和牧草(杨伟光等,2016)等害虫防控中应用广泛,对夜蛾、飞虱、螟虫、金龟子和蓟马等具有较好的防效,能显著降低害虫种群基数,降低田间农药使用次数。张广学等(2004)研究显示,频振式杀虫灯在诱杀害虫的同时对天敌和其它昆虫也具有较强的杀伤能力。扇吸式杀虫灯是一种新型灯具,采用风吸式,进虫口向下的设计有效解决了“灯下黑”的缺点,较传统杀虫灯增大了诱捕范围,较频振式杀虫灯对害虫的诱杀效率

有较大提高,且对天敌相对安全(何超等,2013;张诗春和邵思标,2015;杨莹,2019)。有报道显示频振式杀虫灯在玉米田可诱杀亚洲玉米螟(阎惠等,2005;可欣等,2010;刘芳慧,2017),而扇吸式杀虫灯对玉米田害虫的诱杀效果尚未见报道。

鲜食玉米主要包括甜玉米和糯(加甜)玉米,是一类以乳熟期鲜穗作为食用部位的特用玉米,其营养丰富,经济价值较高。浙江省种植的玉米种类以鲜食玉米为主,主要害虫有亚洲玉米螟,次要害虫有桃蛀螟、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 和小地老虎 *Agrotis ipsilon* 等(韩海亮等,2016)。鲜食玉米对果穗外观的要求决定了生产中必须进行害虫防治,鲜食玉米生育期短,化学防治容易引起农药残留超标,且如果防治不及时会造成果穗受害,影响经济效益。在鲜食玉米生产中推广使用扇吸式杀虫灯,对于减少农药使用,提高产品安全性有重要意义。本研究于2018—2019年在浙江省东阳市开展扇吸式太阳能杀虫灯对鲜食玉米田间害虫防控效果的调查,评估扇吸式太阳能杀虫灯在鲜食玉米田的诱捕范围和对主要害虫亚洲玉米螟的诱杀效果,及对田间节肢动物群落多样性的影响,以期扇吸式太阳能杀虫灯在鲜食玉米生产中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试玉米:试验点设在浙江省东阳市城东街道玉米研究所基地,基地长350 m,宽300 m,属亚热带季风气候,海拔79 m,玉米种植模式为春秋两季种植,春玉米在3月下旬—4月中旬播种,6月下旬—7月

中旬收获,秋玉米在7月下旬—8月上旬播种,10月中旬—11月上旬收获。2018年试验玉米品种为浙甜11,于3月25日播种;2019年试验品种为浙糯玉14,于4月8日播种;玉米品种均由浙江省东阳玉米研究所选育制种,种植密度5.25万株/hm²。除2019年化学防控区施用杀虫剂外,其它试验区玉米整个生育期均不使用杀虫剂。

供试药剂及仪器:20%氯虫苯甲酰胺(chlorantraniliprole)悬浮剂,上海杜邦农化有限公司;糖醋酒液,使用红糖、米醋、白酒和水按质量体积比1:4:1:16配制。3BCT28型扇吸式太阳能杀虫灯,灯管功率13 W,主波长365 nm,风扇功率30 W,以太阳能板和蓄电池提供电力,光感自动开灯,湖南本业绿色防控科技有限公司;黄板,规格为15 cm×20 cm,双面粘胶,杭州科凌虫控科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 扇吸式杀虫灯的诱虫谱调查

扇吸式太阳能杀虫灯于2018年4月25日安装于玉米研究所基地内,共3台,间距150 m以上,直线排列,当日开灯,设专人维护,保持正常工作,每天开灯时间约19:00,灭灯时间约23:00。分别在玉米苗期、大喇叭口期、抽雄期和乳熟期,选择晴朗天气各取样1次,取样前1天先清理集虫器内所有昆虫,第2天把前1天晚上诱集昆虫收集作为1个样品带回实验室分类鉴定。每年每个生育期3台灯各取1个样品,共取12个样品。取样时间集中在2018年和2019年的5月上旬到7月上旬。

1.2.2 扇吸式杀虫灯控制范围的测定

在3台杀虫灯中选取位于试验基地最北侧1台灯进行试验,试验区面积约2 hm²。以杀虫灯为中心,距灯20、40、60、80 m处,在东南、西南、西北和东北4个方向共设16个样点,参照文丽萍等(1992)调查方法,在乳熟期剖秆调查茎秆蛀孔和雌穗被害情况,每个样点随机选择30株,调查茎秆虫孔数、活虫数和虫孔隧道长度,并计算雌穗被害率。2018年春季进行试验,调查日期为7月3日。

1.2.3 扇吸式杀虫灯对亚洲玉米螟防控效果的测定

在1.2.2试验结果的基础上,2019年春季在试验点设置灯光防控区、化学防控区和对照区,小区大小均为30 m×67 m。灯光防控区为距杀虫灯50 m半径范围内田块,全生育期不使用杀虫剂;化学防控区为距杀虫灯120 m外田块,心叶期使用20%氯虫苯甲酰胺悬浮剂以150 mL/hm²施用量喷雾1次;对照区为距杀虫灯180 m外田块,全生育期不使用杀虫

剂。3个处理区以灯为中心呈辐射状排列,化学防控区用药10 d后调查各处理区玉米被害株率和百株卵块数,每个处理区5点取样,每点随机选择200株,叶片有亚洲玉米螟造成孔洞者为被害株,调查所有叶片背面的亚洲玉米螟卵块数量。于乳熟期剖秆调查各处理区玉米茎秆蛀孔和雌穗被害情况,方法同1.2.2。株防效=(对照被害株率-处理被害株率)/对照被害株率×100%,虫孔减退率=(对照百株虫孔数-处理百株虫孔数)/对照百株虫孔数×100%,雌穗防效=(对照雌穗被害率-处理雌穗被害率)/对照雌穗被害率×100%。

1.2.4 扇吸式杀虫灯对节肢动物生物多样性影响的测定

参考郭井菲等(2014)和郝立武等(2012)方法,采用黄板、陷阱和糖醋酒液法采集田间节肢动物。以杀虫灯为中心,距灯20、40、60、80 m处,在东南、西南、西北和东北4个方向共设16个样点,每个样点设置1块黄板、1个陷阱和1个糖醋酒液杯,3种取样材料相互间隔2 m,呈三角形排列。黄板使用竹竿悬挂于高出玉米顶部10 cm处。糖醋酒液装于直径9 cm、高15 cm的塑料杯中,每杯装约1/3。陷阱采用直径12 cm、高18 cm的塑料桶,桶中放1/3容积的5%洗衣粉水,桶埋入地下,桶口与地面齐平,桶壁与地面无间隙。3种取样装置田间放置72 h后回收,将糖醋酒液和陷阱收集的节肢动物分别装入含70%酒精的玻璃瓶中,黄板使用保鲜膜双面覆盖,标记后带回实验室鉴定昆虫种类并统计数量。取样时间为2018年5月9日、5月26日、6月13日和6月29日。

采用多样性指数、均匀性指数、优势集中性指数和群落相似系数4个指标分析比较距杀虫灯不同距离田间节肢动物群落的动态,以此研究杀虫灯对田间节肢动物多样性的影响。其中,多样性指数 H 计算公式为 $H = -\sum P_i \ln P_i$,式中 $P_i = N_i/N$, N_i 为第 i 个物种的个体数, N 为总个体数。均匀性指数 J 计算公式为 $J = H/\ln S$,式中 S 为物种数。优势集中性指数 C 计算公式为 $C = \sum (N_i/N)^2$ 。统计玉米田节肢动物群落物种组成的目、科及个体数,利用群落相似性系数 C' 比较距杀虫灯不同距离田间节肢动物群落的相似性,数值越接近1,群落间相似性越高,计算公式为 $C' = 2w/(a+b)$,式中, w 为2个群落样本中共有物种个体数量相对低值的总和, a 、 b 分别为 A 、 B 群落样本中所有物种个体数的总和。

1.3 数据分析

所有数据经Excel 2019整理后,使用SAS 8.1软件AVOVA程序对处理间不同指标进行方差分析,采用最小显著差数(LSD)法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 扇吸式杀虫灯在鲜食玉米田的诱虫谱

对扇吸式太阳能杀虫灯诱集样品进行分类鉴定,共鉴定出9目40科昆虫。玉米田主要害虫有亚洲玉米螟、桃蛀螟、银纹夜蛾 *Argyrogramma agnata*、斜纹夜蛾、小地老虎、黏虫和蚜虫等(表1)。2018年12个样品共有昆虫38 162头,其中双翅目昆虫占昆虫总

数的78.97%;其次是半翅目昆虫,占昆虫总数的14.93%;鞘翅目昆虫占昆虫总数的4.67%;鳞翅目所占比例为1.23%,以夜蛾科和天蛾科较多,共诱到亚洲玉米螟79头,平均每台灯每天诱杀6.58头亚洲玉米螟。2019年12个样品共有昆虫35 872头,其中双翅目占比为80.13%,半翅目占比为15.27%,鞘翅目占比为3.24%,鳞翅目占比为1.25%,共诱到亚洲玉米螟18头,平均每台灯每天诱杀1.5头亚洲玉米螟。

表1 扇吸式太阳能杀虫灯在鲜食玉米田间诱集的昆虫种类及数量

Table 1 The varieties and amounts of insects trapped by fun suction solar lamp in fresh corn fields

目 Order	科 Family	2018	2019	常见属种 Common species
		数量(占比/%) Amount(ratio/%)	数量(占比/%) Amount(ratio/%)	
鳞翅目 Lepidoptera	螟蛾科 Pyralidae	79(0.21)	74(0.21)	亚洲玉米螟、桃蛀螟、大螟、二化螟、稻纵卷叶螟 <i>O. furnacalis</i> , <i>C. punctiferalis</i> , <i>Sesamia inferens</i> , <i>Chilo suppressalis</i> , <i>Cnaphalocrocis medinalis</i>
	夜蛾科 Noctuidae	285(0.74)	273(0.76)	斜纹夜蛾、甜菜夜蛾、银纹夜蛾、小地老虎、黏虫 <i>P. litura</i> , <i>S. exigua</i> , <i>A. agnata</i> , <i>A. ipsilon</i> , <i>Mythimna separata</i>
	灯蛾科 Arctiidae	20(0.05)	19(0.05)	粉蝶灯蛾、红缘灯蛾 <i>Nyctemera plagifera</i> , <i>Amsacta lactinea</i>
	天蛾科 Sphingidae	18(0.05)	19(0.05)	甘薯天蛾、雀纹天蛾 <i>Agrius convolvuli</i> , <i>Teretra japonica</i>
	毒蛾科 Lymantriidae	3(0.01)	5(0.01)	柳毒蛾 <i>Leucoma candida</i>
	天蚕蛾科 Saturniidae	2(0.01)	4(0.01)	绿翅大蚕蛾 <i>Actias ningpoana</i>
	鹿蛾科 Amantidae	34(0.09)	32(0.09)	广鹿蛾 <i>Amata emma</i>
	舟蛾科 Notodontidae	5(0.01)	7(0.02)	苹掌舟蛾、黄掌舟蛾 <i>Phalera flavescens</i> , <i>P. fuscescens</i>
	刺蛾科 Limacodidae	12(0.03)	7(0.02)	扁刺蛾 <i>Thosea sinensis</i>
	尺蛾科 Geometridae	4(0.01)	6(0.02)	柿星尺蛾 <i>Percinia griaffata</i>
小计 Subtotal	枯叶蛾科 Lasiocampidae	8(0.02)	2(0.01)	枯叶夜蛾 <i>Adris tyrannus</i>
		470(1.23)	448(1.25)	
鞘翅目 Coleoptera	叶甲科 Chrysomelidae	1 012(2.65)	645(1.80)	黄足黄守瓜、黄曲条跳甲 <i>Aulacophora femoralis</i> , <i>Phyllotrera striolata</i>
	步甲科 Carabidae	8(0.02)	8(0.02)	绒毛曲斑步甲、青步甲属 <i>Chlaenius micans</i> , <i>Epomis</i> sp.
	虎甲科 Cicindelidae	4(0.01)	2(0.01)	曲纹虎甲 <i>Cicindela elisae</i>
	隐翅甲科 Staphylinidae	576(1.51)	409(1.14)	红胸隐翅虫 <i>Paederus fuscipes</i>
	叩头甲科 Elateridae	11(0.03)	6(0.02)	沟金针虫 <i>Pleonomus canaliculatus</i>
	鳃金龟科 Melolonthidae	14(0.04)	7(0.02)	暗黑鳃金龟、黑绒金龟 <i>Holotrichia parallela</i> , <i>Maladera orientalis</i>
	丽金龟科 Rutelidae	62(0.16)	30(0.08)	铜绿丽金龟 <i>Anomala corpulenta</i>
	花金龟科 Cetoniidae	2(0.01)	2(0.01)	白星花金龟 <i>Postosia brevitarsis</i>
	瓢甲科 Coccinellidae	1(0.00)	15(0.04)	异色瓢虫、龟纹瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i> , <i>Propylea japonica</i>
	天牛科 Cerambycidae	1(0.00)	9(0.02)	星天牛 <i>Anoplophora chinensis</i>
小计 Subtotal	龙虱科 Dytiscidae	91(0.24)	28(0.08)	金边龙虱 <i>Cybister cimbatus</i>
		1 782(4.67)	1 161(3.24)	
双翅目 Diptera	摇蚊科 Chironomidae	38(0.10)	51(0.14)	未鉴定到种 Unidentified species
	瘿蚊科 Cecidomyiidae	30 100(78.87)	28 692(79.99)	稻瘿蚊 <i>Orseolia oryzae</i>
小计 Subtotal		30 138(78.97)	28 743(80.13)	
	蝼蛄科 Gryllotalpidae	11(0.03)	10(0.03)	东方蝼蛄 <i>Gryllotalpa orientalis</i>
	螽斯科 Tettigoniidae	2(0.01)	2(0.01)	中华螽斯 <i>Tettigonia chinensis</i>
	蟋蟀科 Gryllidae	10(0.02)	5(0.01)	油葫芦 <i>Teleogryllus mitratus</i>
	蝗科 Acrididae	4(0.01)	0(0.00)	短额负蝗 <i>Atractomorpha sinensis</i>
小计 Subtotal		27(0.07)	17(0.05)	

续表 1 Continued

目 Orde	科 Family	2018	2019	常见属种 Common species
		数量(占比/%) Amount(ratio/%)	数量(占比/%) Amount(ratio/%)	
膜翅目 Hymenoptera	蚁科 Formicidae	6(0.01)	0(0.00)	未鉴定到种 Unidentified species
半翅目 Hemiptera	蚜科 Aphididae	197(0.52)	137(0.38)	玉米蚜、禾谷缢管蚜 <i>Rhopalosiphum maidis</i> , <i>Rhopalosiphum padi</i>
	叶蝉科 Cicadellidae	4 906(12.86)	4 419(12.32)	大青叶蝉、小绿叶蝉 <i>Cicadella viridis</i> , <i>Empoasca flavescens</i>
	飞虱科 Delphacidae	532(1.39)	822(2.29)	褐飞虱、白背飞虱 <i>Nilaparvata lugens</i> , <i>Sogatella furcifera</i>
	长蝽科 Lygaeidae	14(0.04)	7(0.02)	红脊长蝽 <i>Tropidothorax elegans</i>
	盲蝽科 Miridae	12(0.03)	19(0.05)	绿盲蝽 <i>Apolygus lucorum</i>
	猎蝽科 Reduviidae	5(0.01)	3(0.01)	黄足猎蝽 <i>Sirthena flavipes</i>
	花蝽科 Anthoridae	28(0.07)	69(0.19)	小花蝽 <i>Orius similis</i>
	负蝽科 Belostomatidae	3(0.01)	5(0.01)	田鳖 <i>Kirkaldyia deyrollei</i>
	小计 Subtotal	5 697(14.93)	5 481(15.27)	
脉翅目 Lepidoptera	草蛉科 Chrysopidae	2(0.01)	8(0.02)	中华草蛉 <i>Chrysoperla sinica</i>
缨翅目 Thysanoptera	蓟马科 Thripidae	37(0.10)	9(0.03)	未鉴定到种 Unidentified species
螳螂目 Mantodea	螳螂科 Mantidae	3(0.01)	5(0.01)	未鉴定到种 Unidentified species
总计 Total		38 162(100.00)	35 872(100.00)	

2.2 扇吸式杀虫灯控制范围

比较距杀虫灯 80 m 内不同距离玉米上的总活虫数、茎秆虫孔数和雌穗被害率,均以在灯下(0 m)和 80 m 处样点较高,但在各距离样点间差异不显著;在灯下(0 m)样点玉米上亚洲玉米螟造成的虫孔隧道长度最长,显著长于其它样点玉米上的虫孔隧道长度(表 2),说明杀虫灯对田间亚洲玉米螟有聚

集效应。杀虫灯周围玉米的被害情况要高于全田玉米的平均被害情况,距离杀虫灯 80 m 样点玉米上的总活虫数、茎秆虫孔数和虫孔隧道长度均大于距离杀虫灯 60 m 以内样点玉米上的,表明扇吸式杀虫灯对亚洲玉米螟的有效控制距离在 60 m 左右,随着距离的增加,防控作用下降,单灯有效控制面积约为 1.1 hm²。

表 2 在玉米乳熟期对距扇吸式杀虫灯不同距离样点的调查结果

Table 2 The investigation results of different distances from the lamp at milk stage

指标 Index	0 m	20 m	40 m	60 m	80 m
总活虫数 No. of live worms	11.00±0.58 a	4.67±2.19 a	6.67±5.17 a	5.00±1.53 a	8.67±5.36 a
茎秆虫孔数 No. of wormholes in stem	11.00±0.88 ab	5.00±1.15 b	8.67±3.84 ab	6.67±1.67 ab	14.33±4.91 a
虫孔隧道长度 Tunnel length of wormhole/cm	115.00±4.51 a	28.00±13.11 b	28.33±25.34 b	20.67±3.18 b	55.67±12.67 b
雌穗被害率 Damage rate of ear/%	38.33±1.67 a	15.00±5.00 a	18.35±15.89 a	21.67±9.28 a	23.33±15.89 a

表中数据为平均数±标准误。同行数据后不同小写字母表示经 LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$ level by LSD test.

2.3 扇吸式杀虫灯对亚洲玉米螟的防控效果

通过在玉米大喇叭口期和乳熟期 2 个关键时期的调查发现,在大喇叭口期,玉米被害株率在灯光防控区与对照区无显著差异,但两者均显著高于化学防控区;对亚洲玉米螟的株防效在灯光防控区为 25.83%,在化学防控区达到 76.74%;灯光防控区和对照区的亚洲玉米螟百株卵块数高于化学防控区,

但差异不显著。在乳熟期,3 个处理区的玉米茎秆活虫数差异不显著,但茎秆虫孔数差异显著,其中以对照区最多,其次为灯光防控区,化学防控区最少;虫孔减退率在化学防控区为 75.29%,在灯光防控区为 21.18%;3 个处理区玉米上的虫孔隧道长度和雌穗被害率均无显著差异,灯光防控区和化学防控区雌穗防效均较低(表 3)。

2.4 扇吸式杀虫灯对鲜食玉米田间节肢动物的影响

2.4.1 田间节肢动物类群及功能群

在玉米4个生育期调查中共捕获12目40科节肢动物,其中双翅目昆虫个体数最多,主要为蝇、蚊等;膜翅目昆虫次之,主要为寄生蜂类;再次为半翅目昆虫,主要为蚜虫和叶蝉等(表4)。

玉米田间主要害虫有蚜虫、叶蝉、叶甲,捕食性天敌主要有蜘蛛、瓢虫,寄生性天敌主要有寄生蜂。比较主要害虫与天敌数量总和发现,距灯20、40、60和80 m处的蚜虫、叶蝉、叶甲、瓢虫、蜘蛛和寄生蜂的数量在不同距离间均无显著差异,在整个生育期

主要害虫与天敌的数量变化趋势基本相同(表5)。蚜虫在苗期较多,生长中期迅速减少,进入后期数量再次增加(图1-A);随着玉米生长,叶蝉数量呈增加趋势,在灌浆期数量趋于稳定(图1-B);叶甲数量整体呈减少趋势(图1-C);瓢虫在玉米拔节前数量较少,进入抽雄期数量上升较快,而进入灌浆期则呈下降趋势(图1-D);蜘蛛(图1-E)和寄生蜂(图1-F)均在玉米前期和中期数量较多,乳熟期数量下降较快。在同一生育期,不同距离取样点的害虫与天敌数量基本一致,表明杀虫灯对田间主要害虫和天敌种群无显著影响。

表3 扇吸式太阳能杀虫灯对亚洲玉米螟的防控效果

Table 3 Control efficacies of fun suction solar lamps against Asian corn borer

处理 Treatment	大喇叭口期 Trumpet stage			乳熟期 Milk stage					
	被害株率 Plant damage rate/%	百株卵块数 No. of egg masses per hundred plants	株防效 Plant control efficacy/%	活虫数 No. of live worms	茎秆虫孔数 No. of wormholes in stem	虫孔减退率 Wormhole reduction rate/%	虫孔隧道长度 Tunnel length of wormhole/cm	雌穗被害率 Damage rate of ear/%	雌穗防效 Control efficiency of ears/%
灯光防控区 Solar lamp control	12.66±1.44 a	0.92±0.20 a	25.83±3.95 a	8.00±3.89 a	13.40±4.87 ab	21.18±5.92 b	42.40±5.04 a	27.33±4.99 a	8.90±3.30 a
化学防控区 Chemical control	3.97±0.75 b	0.46±0.22 a	76.74±22.82 a	2.60±0.68 a	4.20±1.24 b	75.29±7.58 a	15.80±5.17 a	28.67±3.74 a	4.43±2.63 a
对照区 Non-treated control	17.07±2.22 a	0.97±0.19 a	/	7.60±2.89 a	17.00±4.43 a	/	48.60±12.31 a	30.00±1.05 a	/

表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同小写字母表示经LSD法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by LSD test.

表4 鲜食玉米田中节肢动物群落的目、科分布

Table 4 Distribution of orders and families of arthropod community in fresh corn field

目 Order	科数 No. of families	个体数 Individual number	科数所占比例/% Percentage of families	个体数所占比例/% Percentage of individuals
鞘翅目 Coleoptera	5	216	12.5	3.01
鳞翅目 Lepidoptera	3	54	7.5	0.75
膜翅目 Hymenoptera	4	2 154	10.0	30.04
双翅目 Diptera	7	2 508	17.5	34.98
半翅目 Homoptera	6	1 811	15.0	25.26
直翅目 Orthoptera	3	10	7.5	0.14
革翅目 Dermaptera	1	49	2.5	0.68
蜻蜓目 Odonata	2	5	5.0	0.07
螳螂目 Mantodea	2	8	5.0	0.11
脉翅目 Neuroptera	1	3	2.5	0.04
缨翅目 Thysanoptera	1	122	2.5	1.70
蜘蛛目 Araneida	5	230	12.5	3.21

2.4.2 节肢动物群落多样性指数

比较距灯不同距离样点田间节肢动物群落的多样性指数,发现随着玉米植株的生长,节肢动物群落多样性指数整体呈增加趋势。在同一取样时间,不

同距离样点间田间节肢动物群落的多样性指数差异不显著(表6),说明杀虫灯对80 m调查范围内节肢动物群落的多样性无显著影响。

表5 整个生育期距扇吸式杀虫灯不同距离玉米田间主要节肢动物功能群各物种平均数量
Table 5 Average numbers of species in the main arthropod's functional groups with different distances from the lamp
in the whole developmental stage

功能群类别 Functional group		每个样点功能群中个体数量 Individual quantity in functional groups per sample location			
		20 m	40 m	60 m	80 m
主要害虫 Main pests	蚜虫 Aphis	18.38±9.38 a	18.56±9.14 a	20.81±10.38 a	16.74±9.44 a
	叶蝉 Leafhopper	6.25±1.61 a	9.63±4.18 a	10.81±4.50 a	7.47±3.98 a
	叶甲 Leaf beetle	1.37±0.26 a	1.93±0.72 a	1.18±0.44 a	0.89±0.23 a
捕食性天敌 Predatory enemy	瓢虫 Ladybug	1.06±0.44 a	0.94±0.53 a	1.63±0.41 a	1.65±0.33 a
	蜘蛛 Spider	3.38±0.16 a	3.94±0.89 a	3.18±0.59 a	3.54±0.95 a
寄生性天敌 Parasitic enemy	寄生蜂 Parasitic wasp	16.45±6.13 a	15.81±4.19 a	12.44±2.85 a	20.60±4.00 a

表中数据为平均数±标准误。同行数据后相同小写字母表示用LSD法检验在0.05水平差异不显著。Data in the table are mean±SE. The same lowercase letters in the same row indicate no significant difference at 0.05 level by LSD test.

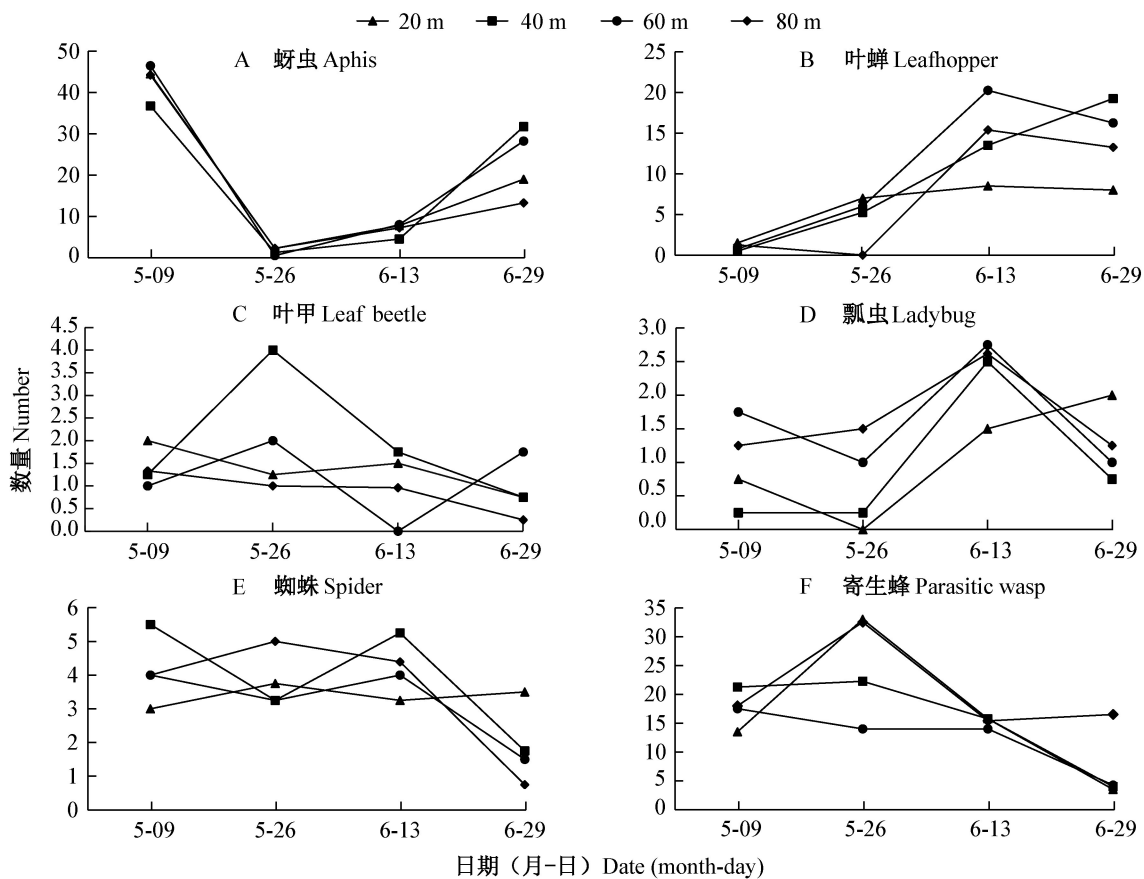


图1 在玉米田间距扇吸式杀虫灯不同距离处主要害虫与天敌的数量变化趋势
Fig. 1 Change trends of main pests and natural enemies with different distances from the lamp

2.4.3 节肢动物群落优势集中性指数

玉米田间4个距离取样点的节肢动物优势集中性指数均随着玉米的生长呈下降趋势(表6),在苗期,田间节肢动物群落的物种组成集中在蚜虫、瘿蚊和寄生蜂等几种节肢动物上,进入拔节期以后,蚜虫数量明显下降,其它节肢动物种类上升,集中性指数不断下降。在相同生育期,4个距离取样点田间节

肢动物群落的集中性指数无显著差异。

2.4.4 节肢动物群落均匀性指数

在玉米苗期、拔节期、抽雄期和乳熟期,4个距离取样点田间节肢动物群落均匀性指数均随生育期变化有缓慢增加的趋势,但同一生育期不同距离间的田间节肢动物群落均匀性指数均无显著差异(表6)。

表6 距杀虫灯不同距离田间节肢动物多样性指数、优势集中性指数和均匀性指数

Table 6 Diversity index, dominance concentration index and species evenness index in the field with different sample distances from the lamp

日期 Date	指数 Index	取样距离 Sample distance			
		20 m	40 m	60 m	80 m
5-09	多样性指数 Diversity index	1.44±0.16 a	1.57±0.10 a	1.54±0.20 a	1.59±0.10 a
	均匀性指数 Species evenness index	0.40±0.04 a	0.44±0.03 a	0.43±0.06 a	0.44±0.03 a
	优势集中性指数 Dominance concentration index	0.33±0.05 a	0.27±0.03 a	0.29±0.04 a	0.28±0.03 a
5-26	多样性指数 Diversity index	1.54±0.16 a	1.55±0.08 a	1.77±0.23 a	1.62±0.10 a
	均匀性指数 Species evenness index	0.43±0.05 a	0.43±0.22 a	0.49±0.06 a	0.45±0.03 a
	优势集中性指数 Dominance concentration index	0.30±0.04 a	0.30±0.03 a	0.27±0.09 a	0.31±0.04 a
6-13	多样性指数 Diversity index	1.65±0.12 a	1.62±0.21 a	1.79±0.05 a	1.77±0.12 a
	均匀性指数 Species evenness index	0.46±0.03 a	0.45±0.01 a	0.50±0.01 a	0.49±0.03 a
	优势集中性指数 Dominance concentration index	0.28±0.03 a	0.32±0.09 a	0.22±0.02 a	0.27±0.04 a
6-29	多样性指数 Diversity index	1.88±0.08 a	1.59±0.10 a	1.63±0.08 a	1.83±0.13 a
	均匀性指数 Species evenness index	0.52±0.02 a	0.44±0.03 a	0.45±0.02 a	0.50±0.04 a
	优势集中性指数 Dominance concentration index	0.21±0.02 a	0.27±0.04 a	0.25±0.02 a	0.19±0.02 a

表中数据为平均数±标准误。同行数据后相同小写字母表示用LSD法检验在0.05水平差异不显著。Data in the table are mean±SE. The same lowercase letters in the same row indicate no significant difference at 0.05 level by LSD test.

2.4.5 节肢动物群落相似性系数

在第1次和第3次取样时,不同距离取样点田间节肢动物群落的相似性系数差异较小,说明不同距离样点内节肢动物群落基本一致。第2次和第4次取样时,部分样点间田间节肢动物群落的相似性系数有较大差异。随着玉米生长,20 m处取样点与其它3个距离取样点的群落相似性系数呈现高-低-高的趋势,40、60和80 m取样点相互间的群落相似性系数呈现低-高-低趋势(图2)。说明田间节肢动物群落变化主要受玉米生育期的影响,但杀虫灯会影响田间节肢动物群落在空间上的分布。

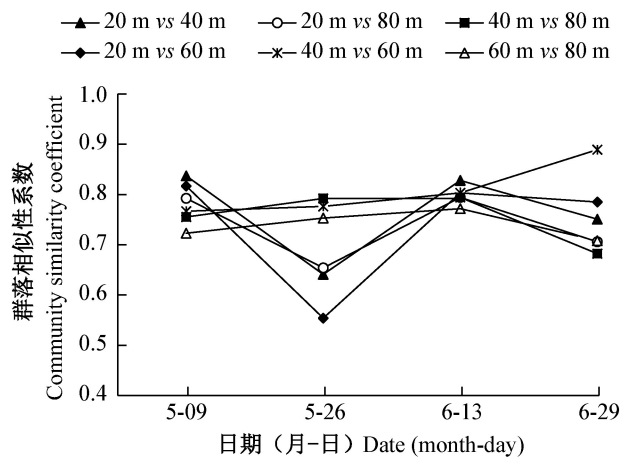


图2 鲜食玉米田间节肢动物群落相似性系数

Fig. 2 Similarity coefficients of arthropod community in the fresh corn field

3 讨论

扇吸式太阳能杀虫灯在鲜食玉米田可诱到9目

40科昆虫,在以往报道中,使用频振式杀虫灯在水稻(董辉等,2011;何超等,2013;胡秀霞等,2013)、蔬菜(叶文娣,2008)和牧草(杨伟光等,2016)中也能得到各不相同的诱虫谱,与本试验结果有重叠也有不同,说明杀虫灯的诱虫谱与作物环境有密切联系。在本试验所诱捕的昆虫中,近80%以上为双翅目,原因之一可能与杀虫灯的设计有关,扇吸式杀虫灯进虫口向下,由风扇提供吸力将昆虫由下向上吸入集虫器,个体小的双翅目昆虫比个体大的鳞翅目或鞘翅目昆虫更易被吸入,此外,鲜食玉米田周边有水稻田,大量滋生摇蚊,容易被杀虫灯捕获。

本试验中扇吸式太阳能杀虫灯可以诱捕到鲜食玉米主要害虫亚洲玉米螟,但在田间对亚洲玉米螟的整体防控效果较差。杨桂华和王蕴生(1995)研究结果显示,亚洲玉米螟对430 nm和375 nm波长的光趋性较强。本试验中扇吸式太阳能杀虫灯灯管的光谱区间为340~370 nm,主波长365 nm,与亚洲玉米螟对光的最佳趋性波长存在差异,可能造成亚洲玉米螟成虫趋性降低。因此可在专用灯管方面进行改进,开发出亚洲玉米螟专用灯管,增加扇吸式太阳能杀虫灯在玉米田间的防控效果。阎惠等(2005)在吉林省农安县160 hm²玉米田中安装40台杀虫灯,可使虫孔减退率达到94.84%,说明大面积使用杀虫灯会提高防治效果。本试验在10 hm²玉米田中安装3台杀虫灯,由于面积较小,杀虫灯数量偏少,总体防控效果较差;另外也可能是亚洲玉米螟在浙江省田间世代重叠严重,成虫峰值不明显,不利于集中诱

杀,而在吉林省农安县,亚洲玉米螟1年仅发生1代半或2代,在7月10日左右进入第1代亚洲玉米螟羽化高峰,便于集中诱杀,从而降低虫孔数。赵秀梅等(2014)研究结果表明杀虫灯与赤眼蜂和性诱剂结合使用可显著提高防效。因此,针对本研究防效较差的问题,后续可以考虑多种措施协同使用,提高扇吸式杀虫灯对鲜食玉米田亚洲玉米螟的防控效果。

本研究以杀虫灯为中心,设置不同半径取样点,通过调查不同取样点亚洲玉米螟为害差异的方法来研究扇吸式太阳能杀虫灯的控制范围,发现距灯60 m的距离内对亚洲玉米螟有一定的控制作用,而季香云等(2011)在蔬菜田通过标记回收得到灯控甜菜夜蛾和斜纹夜蛾的可控距离均为110 m左右。由于甜菜夜蛾(江幸福等,2002)和斜纹夜蛾(涂业苟等,2008)的趋光性和飞行能力均强于亚洲玉米螟(徐艳玲等,2011),可能是造成杀虫灯对两者的控制距离较长的原因。

杀虫灯作为一种物理防控手段,一般认为其可以诱杀害虫,降低害虫基数(桑文等,2019),但杀虫灯对天敌及田间节肢动物群落影响的研究还很少。本研究结果表明,扇吸式太阳能杀虫灯诱集昆虫中鳞翅目害虫占比仅0.3%左右,大量其它昆虫被诱杀。有报道显示,杀虫灯对天敌的捕捉量较小,但均缺乏详细数据及分析(何超等,2013;张诗春和邵思标,2015;杨莹,2019)。本研究从田间节肢动物的角度来分析杀虫灯对天敌和节肢动物群落的影响,发现扇吸式太阳能杀虫灯对田间节肢动物群落无显著影响,扇吸式杀虫灯对天敌和其它昆虫的诱捕有限,可能与集虫器上逃逸孔的设计有关,部分天敌会从逃逸孔中逃出,重新回到田间生态系统中,不会造成田间天敌显著减少和生态系统失衡(张敏和雷朝亮,2018)。

对杀虫灯防控效果科学评价的一个难点在于无法确定田间害虫总量,不能准确得出杀虫灯诱杀百分率,此外由于昆虫的趋光性,杀虫灯会对田间昆虫造成聚集效用,可能导致田间节肢动物群落结构发生变化。因此在评价杀虫灯的防控效果时应从被诱杀害虫和田间剩余害虫(或防控效果)2个角度进行评价,对天敌和其它节肢动物的影响也要从诱杀数量和田间数量2个角度进行评价,以达到科学评价杀虫灯防控效果的目的,但杀虫灯作用范围大,田间节肢动物种类复杂,分类困难,易受环境因素影响,难以准确评价杀虫灯的应用效果。

参考文献 (References)

- 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]
- BIAN L, SU L, CAI DX. 2018. Application technology of natural enemy friendly LED insecticidal lamp. *China Tea*, 40(2): 5–8 (in Chinese) [边磊, 苏亮, 蔡顶晓. 2018. 天敌友好型LED杀虫灯应用技术. *中国茶叶*, 40(2): 5–8]
- DONG YH, ZHANG XY, CHEN BZ, XU PJ, QIAN JR, HE TH, WANG YP, ZHU CL, WANG HX, ZHANG JP. 2011. Prevention effect evaluation of “Jia Duo” frequency trembler grid lamp on farming and forestry pests. *Zhejiang Agricultural Sciences*, (3): 636–640 (in Chinese) [董阳辉, 张信岳, 陈宝忠, 徐佩娟, 钱剑锐, 何铁海, 王艺平, 朱朝磊, 王洪兴, 张建萍. 2011. 佳多频振式杀虫灯对农林害虫的防治效果. *浙江农业科学*, (3): 636–640]
- GUO JF, ZHANG C, YUAN ZH, HE KL, WANG ZY. 2014. Impacts of transgenic corn with *cryIIe* gene on arthropod biodiversity in the fields. *Journal of Plant Protection*, 41(4): 482–489 (in Chinese) [郭井菲, 张聪, 袁志华, 何康来, 王振营. 2014. 转 *CryIIe* 基因抗虫转基因玉米对田间节肢动物群落多样性的影响. *植物保护学报*, 41(4): 482–489]
- HAN HL, TAN HP, ZHAO FC, BAO F, WANG GY. 2016. Main diseases and pests of sweet and waxy corn in Zhejiang Province and their comprehensive control. *Zhejiang Agricultural Sciences*, 57(12): 1970–1973 (in Chinese) [韩海亮, 谭和平, 赵福成, 包斐, 王桂跃. 2016. 浙江省鲜食甜糯玉米主要病虫害及综合防治. *浙江农业科学*, 57(12): 1970–1973]
- HAO LW, MU HY, LIU BS, LI XD, ZHENG FQ. 2012. Trapping effect of different colored sticky cards on attracting *Laodelphax striatellus* in spring corn fields. *Shandong Agricultural Sciences*, 44(11): 99–102 (in Chinese) [郝立武, 穆鸿雁, 刘保申, 李向东, 郑方强. 2012. 不同颜色色板对春玉米田灰飞虱的诱集效果. *山东农业科学*, 44(11): 99–102]
- HE C, FANG BH, ZHANG YZ, QING XG. 2013. Comparison of pest-controlling effect in rice fields between fan-inhaling lamps and frequency trembler grid lamps. *Hybrid Rice*, 28(3): 58–63 (in Chinese) [何超, 方宝华, 张玉烛, 青先国. 2013. 扇吸式诱虫灯与频振式杀虫灯对稻田防虫效果比较. *杂交水稻*, 28(3): 58–63]
- HU XX, GONG L, TU HH. 2013. Effect of solar insecticidal lamp on late rice. *Journal of Beihua University (Natural Science)*, 14(5): 601–603 (in Chinese) [胡秀霞, 龚磊, 涂海华. 2013. 太阳能杀虫灯对晚稻的除虫效果. *北华大学学报(自然科学版)*, 14(5): 601–603]
- JI XY, WAN NF, JIANG JX. 2011. Ecological parameters and effective distance of insecticidal lights. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 669–674 (in Chinese) [季香云, 万年峰, 蒋杰贤. 2011. 杀虫灯诱杀昆虫的有效距离及生态学参数. *应用生态学*

- 报, 48(3): 669-674]
- JIANG XF, LUO LZ, LI KB, CAO YZ, HU Y, LIU YQ. 2002. Influence of temperature on flight capacity of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Acta Entomologica Sinica*, 45(2): 275-278 (in Chinese) [江幸福, 罗礼智, 李克斌, 曹雅忠, 胡毅, 刘悦秋. 2002. 温度对甜菜夜蛾飞行能力的影响. *昆虫学报*, 45(2): 275-278]
- KE X, WANG XY, LI X, ZHANG XL, GUO YG, JIANG P. 2010. Study on the control effect of frequency-vibrancy pest-killing lamp on corn borer. *Modern Agricultural Science and Technology*, (5): 135, 137 (in Chinese) [可欣, 王秀英, 李新, 张秀玲, 郭亚光, 姜平. 2010. 频振式杀虫灯防治玉米螟效果研究. *现代农业科技*, (5): 135, 137]
- LIU FH. 2017. Study on occurrence regularity and green control techniques of *Ostrinia furnacalis* in multiple cropping maize in Kashgar Area. Master Thesis. Alaer: Tarim University (in Chinese) [刘芳慧. 2017. 喀什地区复播玉米区亚洲玉米螟发生规律及绿色防控技术研究. 硕士学位论文. 阿拉尔: 塔里木大学]
- 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]
- TU YG, WU KM, XUE FS, GUO YY. 2008. Influence of host plants on larval development, adult fecundity and flight ability of the common cutworm, *Spodoptera litura*. *Cotton Science*, 20(2): 105-109 (in Chinese) [涂业荷, 吴孔明, 薛芳森, 郭予元. 2008. 不同寄主植物对斜纹夜蛾生长发育、繁殖及飞行的影响. *棉花学报*, 20(2): 105-109]
- WANG ZY, SHI J, DONG JG. 2012. Reason analysis on *Proxenus lepi-gone* outbreak of summer corn region in the Yellow River, Huai and Hai Rivers Plain and the countermeasures suggested. *Journal of Maize Science*, 20(1): 132-134 (in Chinese) [王振营, 石洁, 董金皋. 2012. 黄淮海夏玉米区二点委夜蛾暴发危害原因及防治对策. *玉米科学*, 20(1): 132-134]
- WANG ZY, WANG XM. 2019. Current status and management strategies for corn pests and disease in China. *Plant Protection*, 45(1): 1-11 (in Chinese) [王振营, 王晓鸣. 2019. 我国玉米病虫害发生现状、趋势和防控对策. *植物保护*, 45(1): 1-11]
- WEN LP, WANG ZY, YE ZH, WANG ZY, HE KL, SONG YY. 1992. Yield loss and economic threshold of Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) on corn. *Scientia Agricultura Sinica*, 25(1): 44-49 (in Chinese) [文丽萍, 王振营, 叶志华, 王仲跃, 何康来, 宋彦英. 1992. 亚洲玉米螟对玉米的为害损失估计及经济阈值研究. *中国农业科学*, 25(1): 44-49]
- XU YL, YU YM, ZHANG XX, CUI JX. 2011. Flight capacities of early adult of *Ostrinia furnacalis*. *Journal of Henan Institute of Science and Technology (Natural Sciences Edition)*, 39(4): 36-41 (in Chinese) [徐艳玲, 于艳敏, 张晓霞, 崔建新. 2011. 亚洲玉米螟成虫羽化早期飞行能力研究. *河南科技学院学报(自然科学版)*, 39(4): 36-41]
- YAN H, YU FL, LI ZF, BAI HY. 2005. A report on effect of frequency changing lamp on killing corn borer. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 30(3): 29-30 (in Chinese) [阎惠, 于凤兰, 李兆芬, 白洪玉. 2005. 频振式杀虫灯诱杀玉米螟的控害效果报告. *吉林农业科学*, 30(3): 29-30]
- YANG GH, WANG YS. 1995. Phototaxis of adult of Asian corn borer male and female to different wavelength light. *Maize Science*, (S): 70-71 (in Chinese) [杨桂华, 王蕴生. 1995. 亚洲玉米螟雌雄蛾对不同光波的趋性. *玉米科学*, (S): 70-71]
- YANG WG, CHAI H, YANG Z, LI H. 2016. Preliminary study on using solar-insecticide-lamp to control insects in alfalfa production. *Acta Agrestia Sinica*, 24(4): 886-891 (in Chinese) [杨伟光, 柴华, 杨翌, 李红. 2016. 太阳能杀虫灯防控技术在苜蓿生产中应用初报. *草地学报*, 24(4): 886-891]
- YANG Y. 2019. Application of wind suction lamp and frequency vibration lamp in citrus pest control. *Zhejiang Agricultural Sciences*, 60(7): 1161-1162 (in Chinese) [杨莹. 2019. 风吸式杀虫灯和频振式杀虫灯在柑橘害虫防治中的应用. *浙江农业科学*, 60(7): 1161-1162]
- YE WD. 2008. Study on the application technique of frequoscillation pest-killing lamp in vegetables. Master Thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University (in Chinese) [叶文娣. 2008. 频振式杀虫灯控害技术在蔬菜上的应用. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学]
- 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 (in Chinese) [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 M, LEI CL. 2018. The principle and application of fan suction insect catcher. *Hubei Plant Protection*, (4): 60-62 (in Chinese) [张敏, 雷朝亮. 2018. 扇吸式捕虫器的诱虫原理与应用效果. *湖北植保*, (4): 60-62]
- ZHANG SC, SHAO SB. 2015. Effect of fan-inhaling multifunctional lamps on rice pests. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 21(20): 71, 88 (in Chinese) [张诗春, 邵思标. 2015. 扇吸式多功能捕虫器诱捕水稻害虫效果试验. *安徽农学通报*, 21(20): 71, 88]
- ZHAO XM, WANG ZY, ZHANG SQ, WANG LX, WANG LD, WU LL, LI QC, LIU Y. 2014. Evaluation of different integrated, multiple, green, control techniques to control the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(3): 680-688 (in Chinese) [赵秀梅, 王振营, 张树权, 王连霞, 王立达, 武琳琳, 李青超, 刘洋. 2014. 亚洲玉米螟绿色防控技术组装集成田间防效测定与评价. *应用昆虫学报*, 51(3): 680-688]