光源数量和熏蒸处理对高空灯诱捕效果的影响*

郭 森[1, 2**] 李丽莉[1] 崔洪莹[1] 郭文秀[1] 宋莹莹[1] 吕素洪[1]
颜 越[3] 朱 晨[3] 尹淑艳[2] 门兴元[1***] 于 毅[1***]

（1. 山东省农业科学院植物保护研究所，济南 250100；2. 山东农业大学植物保护学院，泰安 271018；3 山东省农业生态与资源保护总站，济南 250100）

摘 要 【**目的**】为研究提升高空灯对迁飞性害虫的诱捕效率。【**方法**】比较研究了不同光源数量的 4 种高空灯诱捕昆虫的数量、种类及群落结构，测定了熏蒸处理对防止诱集昆虫逃逸作用的影响。【**结果**】4 种高空灯诱集的昆虫 234 650 头，发现光源数量 *X* 与诱捕虫量 *Y* 符合线性方程 *Y*=13 398.91+16 459.49*X*，5 种光源高空灯诱捕量是单光源的 3.44 倍，在 4 个发生高峰期，高空灯诱集数量也呈现出随光源数量增加的趋势；4 种高空灯诱集昆虫种类为 71-95 种，鳞翅目和夜蛾科种类为优势类群，4 种高空灯诱捕的昆虫的群落相似性处于中等不相似和中等相似之间，在 4 个高峰期 4 种高空灯诱捕的昆虫的群落相似性为中等不相似和极不相似；对诱集的昆虫进行熏蒸处理，诱捕数量比对照增加了 22.94%，高峰期诱捕数量比对照增加了 89.17%。【**结论**】增加光源数量可显著增加高空灯诱捕迁飞性害虫的数量，对诱集的昆虫群落结构也会产生影响；在高空灯增加药剂熏蒸措施可有效减少害虫逃逸，提高诱捕效果。

关键词 高空灯；迁飞性昆虫；光源数量；熏蒸处理；诱捕数量；群落相似性

Effect of the number of light sources and fumigation on the effectiveness of searchlight traps

GUO Sen[1, 2**] LI Li-Li[1] CUI Hong -Ying[1] GUO Wen-Xiu[1] SONG Ying-Ying[1]
LÜ Su-Hong[1] YAN Yue[3] ZHU Chen[3] YIN Shu-Yan[2] MEN Xing-Yuan[1***] YU Yi[1***]

(1. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China;
2. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;
3. Shandong Agroecology and Resource Conservation Station, Jinan 250100, China)

Abstract **[Objectives]** To improve the efficiency of searchlight trapping for migratory pests. **[Methods]** The number, species and community structure of insects trapped using four kinds of searchlight were compared, and the effect of fumigation on preventing the escape of trapped insects was determined. **[Results]** A total of 234 650 insects were trapped using the four kinds of searchlight. The relationship between the number of insects trapped (*Y*) and the number of light sources (*X*) conformed to the linear equation *Y* = 13 398.91 + 16 459.49 *X*. The number of insects trapped using all 5 light sources was 3.44 times that of a single light source. During the four peak trapping periods, the number of insects trapped also increased with the number of light sources. 71 to 95 species of insect were trapped by the four kinds of searchlight. The Lepidoptera and Noctuidae were the dominant taxa. The community similarity of the insects trapped by each of the four searchlights was between medium dissimilarity and medium similarity. The community similarity of the insects trapped by each kind of searchlight during the four peak periods was medium dissimilarity and extreme dissimilarity. The number of trapped insects was 22.94% higher than the control, and increased by 89.17% during the peak period. **[Conclusion]** Increasing the number

*资助项目 Supported projects：山东省重点研发计划（重大科技创新工程项目）（2020CⅩGC010802）

**第一作者 First author，E-mail：1460639383@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：menxy2000@hotmail.com; robertyuyi@163.com

收稿日期 Received：2023-02-14；接受日期 Accepted：2023-09-16

of light sources can both significantly increase the number of migratory pests trapped using searchlights and affect the community structure of trapped insects. Adding fumigation to searchlight traps can effectively reduce the escape of trapped insects.

Key words searchlight; migratory insects; number of light sources; fumigation; number of traps; community similarrity

昆虫的迁飞对于昆虫本身的繁衍具有重要意义（Couzin，2018），昆虫迁飞是昆虫大规模的从一个栖息地长距离迁移到另一个栖息地的过程，用来躲避不良环境，更好的繁衍种群（吴孔明，2018）。同时，数量庞大的昆虫大规模迁飞也对农作物生产安全造成了严重的威胁，迁飞性害虫以其突发性、暴发性和毁灭性的危害特点常常给农业生产带来巨大损失。我国地跨热带、亚热带、暖温带、中温带和寒温带等多个季风气候带，为迁飞害虫提供了适宜的季节性生长发育空间尺度，也造成了害虫在我国呈现季节性南北往返迁飞危害（张智，2013；江幸福等，2016）。同时，我国的地理位置、地形地貌、气候特点、植被和作物种植制度为迁飞性害虫提供了优越的适生条件，因此，迁飞性害虫为害更加突出，是我国农作物生长威胁最大的有害生物（姜玉英等，2021）。蝗虫（涂雄兵等，2022）、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*（闫冉，2021）、粘虫 *Mythimna separata*（钟涛等，2020）和草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*（陈辉等，2020）等重大农业害虫均具有迁飞习性。2023 年 03 月 07 日，中华人民共和国农业农村部公告（第 654 号）（中华人民共和国农业农村部，2023），公布了 10 种（类）一类农作物虫害名录，其中草地贪夜蛾、粘虫等 7 种均为迁飞性害虫。基于我国对迁飞害虫生物学和迁飞规律的认识，我国科学家提出了以控制迁飞成虫为重点的全区域防控策略，而利用投射式诱虫灯（简称高空灯）阻截消灭迁移过程中的成虫是关键防控措施之一（周燕等，2020）。

目前，利用迁飞性害虫趋光性，使用高空灯诱捕是监测迁飞性害虫的重要措施（张云慧等，2009）。2015 年以来，我国各地将 1 000 W 高空灯用于迁飞性害虫区域性监测，对迁飞性害虫监测有较好的应用效果（姜玉英等，2021）。灯光诱捕器光源的波长与光照强度，是影响灯光诱虫效果的两个重要因素，我国进行了大量关于灯光诱捕器的光源筛选工作，研发出了一系列防治周期长、高效节能、防治效果优良的地面灯光诱捕器（杨洪璋等，2014），然而这些研究主要集中在光源功率低的地面灯诱捕器。高空灯将光柱投射到空中诱捕百米高空的害虫，光强将随着投射距离而衰减，因此高空灯的光源必须是大功率且光强高，而关于高空灯光源与诱捕效率的关系还缺乏深入的研究。增加光源数量可以增强光强，但是光源间的干涉也可能造成光波变化，也可能影响诱捕的昆虫总类。为了探明光源数量对高空灯诱捕效果的影响，本研究利用不同光源数量特制高空灯，比较了不同光源数量诱捕到昆虫的种类和数量，以期为研发出诱捕效率高的高空灯提供依据。

1 材料与方法

1.1 4 种不同组合高空灯

高空灯主体采用不锈钢材料，箱体为长方体，中间放置上海亚明公司生产的功率为 1 000 W 的 GT75 型探照卤素大灯为光源，内部集虫通道为漏斗形，下为抽屉式的集虫箱，集虫口直径为 5 cm，接一个 60 目集虫网袋（0.5 m×0.5 m×0.5 m），用以收集被灯光诱集的昆虫。设计 4 种高空灯，分别为 1 组光源（简称 L1）、2 组光源（简称 L2）、3 组光源（简称 L3）、5 组光源（简称 L5），光源在灯具内部以一字排列，光源上口间距位 5 cm，垂直向上照射。不同设计的高空灯箱体宽度和高度不变，其长度根据光源的长度进行调整。由于光源的功率均较大，为了保证光源可以正常满功率运行且互不干扰，每个光源都

具有独立供电系统和镇流器。

1.2　农药熏蒸

昆虫受高空灯灯光吸引，会撞击箱体而落入集虫通道，大部分会进入集虫网袋，还有一部分会上爬逃逸。为了验证农药熏蒸是否能够减少逃逸、增加诱捕效果，本研究在 3 组光源（L3）高空灯的集虫箱内放置毒瓶（该处理简称 L3D），毒瓶为 100 mL PC 瓶，瓶中内置海绵，将 80% 敌敌畏乳油用水稀释 10 倍后，倒入毒瓶，在开灯时打开瓶口进行熏蒸，关灯时拧紧瓶口。调查记录诱捕到的昆虫种类和数量。以没加毒瓶的 3 组光源（L3）高空灯为对照。

1.3　昆虫收集与种类鉴定

于 2021 年 7 月上旬至 8 月下旬，在临沂市莒南县（35.149 896°N，118.788 983°E）的花生种植基地中设置高空灯诱集昆虫，不同处理的高空灯距离超过 500 m。在灯的附近无高大建筑、树木遮挡，500 m 范围内无其他强光源，高空灯之间相互无干扰，所处农田环境一致。每天 18:00 开灯，次日的 8:00 关灯。关灯后将集虫网袋取回实验室，放置在 - 20 ℃的冰柜内将诱集到的昆虫冻死，然后进行分类和计数。根据《北京蛾类图谱》（虞国跃，2015）、《中国园林害虫》（徐公天和杨志华，2007）、《北京灯下蛾类图谱》（丁建云和张建华，2016）、《高黎贡山蛾类图鉴》（杨平之，2016）等鉴定诱集的昆虫种类，并记录各种昆虫的数量。

1.4　灯诱数据处理及统计分析

类群 i 的相对丰盛度（P_i），i 类群数量所占所有诱捕昆虫总数的比例：

$$P_i = N_i / N ;$$

公式中，N 表示为群落内各类群 i 的总和；N_i 表示为第 i 个类群数量（丁岩钦，1994；李竹等，2007）。

群落相似性系数（I）采用 Jaccard 的相似性系数（Jaccard's similarity coefficient）计算:

$$I_{ab} = c / (a + b - c)$$

公式中，c 为 A、B 两生境共有的物种数，a 为 A 生境物种数，b 为 B 生境物种数。根据 Jaccard 的相似性系数原理，当 $0 \leqslant I \leqslant 0.25$ 时，为极不相似；$0.25 < I \leqslant 0.50$ 时，为中等不相似；$0.50 < I \leqslant 0.75$ 时，为中等相似；$0.75 < I \leqslant 1.00$ 时，为极相似（Niwattanakul *et al.*，2013）。

采用 Excel 2021 对采集的数据进行计算分析、绘制夜蛾类害虫的种群动态曲线图，使用 SPSS 22.0 软件对种群数量进行方差分析、t 检验和回归分析。

2　结果与分析

2.1　4 种不同组合高空灯诱集的昆虫群落结构及种群数量

4 种高空灯共诱集到 9 目 44 科 159 种（表 1）。L1 为 7 目 27 科 90 种，鳞翅目有 9 科 55 种，物种数占 61.11%，相对丰盛度为 57.58%，夜蛾科有 27 种，相对丰盛度为 50.96%，为优势类群（表 1），其中传粉昆虫、天敌昆虫等有益昆虫诱集 5 目 9 科 12 种，物种数占 13.33%，相对丰盛度为 1.10%；L2 为 5 目 26 科 71 种，鳞翅目有 7 科 36 种，物种数占 51.43%，相对丰盛度为 20.16%，其中夜蛾科有 19 种，相对丰盛度为 18.69%，为优势类群，其中传粉昆虫、天敌昆虫等有益昆虫诱集 4 目 6 科 12 种，物种数占 16.90%，相对丰盛度为 1.11%；L3 为 9 目 34 科 95 种，鳞翅目有 8 科 46 种，占物种数 48.94%，相对丰盛度为 54.05%，其中夜蛾科有 25 种，相对丰盛度为 50.59%，为优势类群，其中传粉昆虫、天敌昆虫等有益昆虫诱集 6 目 10 科 20 种，物种数占 21.05%，相对丰盛度为 2.41%；L5 为 7 目 27 科 76 种，鳞翅目有 7 科 36 种，物种数占 46.75%，相对丰盛度为 26.18%，其中夜蛾科有 20 种，相对丰盛度为 25.41%，为优势类群，其中传粉昆虫、天敌昆虫等有益昆虫诱集 4 目 6 科 12 种，物种数占 15.79%，相对丰盛度为 0.61%。诱捕到其他类群还有灯蛾科、毒蛾科、枯叶蛾科、虎甲科、龙虱科、叩甲科、隐翅虫科、葬甲科、猎蝽科、盲蝽科、黾蝽科、负子蝽科及螽斯科等。对 4 种高空灯诱捕的昆虫的群落相似性分析，相似性系数分布在 0.357 7-0.546 0 之间，处于中等不

表 1　4 种高空灯诱集昆虫群落物种结构

Table 1　Species structure of insect community of the four searchlight treatments

目 Order / 科 Family	物种数（相对丰盛度，%）Species number（Relative abundance，%）																			
	整个诱捕期 The whole trapping period				第 1 高峰期 The first peak period				第 2 高峰期 The second peak period				第 3 高峰期 The third peak period				第 4 高峰期 The fourth peak period			
	L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5
鳞翅目 Lepidopter																				
夜蛾科 Noctuidae	27 (50.96)	19 (18.69)	25 (50.59)	20 (25.41)	17 (50.17)	9 (17.15)	9 (40.56)	12 (23.41)	6 (1.87)	10 (17.51)	20 (9.60)	13 (13.66)	15 (16.56)	14 (11.17)	15 (10.37)	8 (12.18)	12 (7.11)	14 (22.92)	14 (22.28)	11 (12.28)
螟蛾科 Pyralidae	11 (3.09)	4 (0.47)	6 (1.18)	5 (0.15)	5 (1.15)	2 (0.39)	1 (0.32)	1 (0.04)	0 (0.00)	1 (0.07)	2 (0.15)	3 (0.12)	5 (0.30)	2 (0.22	3 (0.06)	1 (0.04)	2 (1.86)	3 (0.64)	0 (0.00)	3 (1.31)
天蛾科 Sphingidae	6 (0.50)	7 (0.49)	5 (1.37)	5 (0.25)	5 (0.25)	6 (0.22)	5 (0.53)	5 (0.20)	9 (3.78)	3 (0.77)	4 (0.15)	3 (0.14)	10 (0.74)	2 (0.02)	6 (0.60)	5 (0.23)	7 (1.04)	5 (0.55)	5 (0.33)	5 (0.23)
舟蛾科 Notodontidae	3 (2.22)	3 (0.49)	2 (0.77)	2 (0.30)	1 (2.70)	2 (0.43)	1 (0.65)	1 (0.22)	1 (5.23)	1 (0.96)	2 (0.12)	2 (0.11)	1 (8.24)	2 (0.22)	1 (0.77)	1 (0.53)	2 (0.35)	3 (0.55)	2 (0.30)	3 (0.32)
灯蛾科 Arctiidae	1 (0.02)	1 (0.01)	4 (0.05)	0 (0.00)	1 (0.03)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.21)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	2 (0.07)	1 (0.01)	1 (0.01)	1 (0.01)	3 (2.89)	0 (0.00)	1 (0.01)	1 (0.44)
尺蛾科 Geometridae	3 (0.48)	1 (0.01)	1 (0.01)	0 (0.00)	3 (2.36)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.04)	0 (0.00)	1 (0.04)	0 (0.00)	2 (0.16)	1 (0.05)	2 (0.03)	0 (0.00)	1 (0.22)	2 (0.03)	1 (0.05)	1 (0.01)
刺蛾科 Limacodidae	1 (0.02)	1 (0.01)	0 (0.00)	2 (0.05)	1 (0.06)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.04)	2 (0.95)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.05)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	1 (0.03)	1 (0.18)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.14)
卷蛾科 Tortricidae	1 (0.23)	0 (0.00)	2 (0.04)	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.03)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.03)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.03)
毒蛾科 Lymantriidae	2 (0.06)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.04)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.20)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (2.22)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
枯叶蛾科 Lasiocampidae	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.41)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	1 (0.03)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
粉蝶科 Pierida	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.04)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.08)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.05)	0 (0.00)
鞘翅目 Coleoptera																				
金龟甲总科 Scarabaeoidea	6 (7.73)	6 (3.95)	6 (7.22)	4 (3.40)	5 (8.07)	5 (4.61)	6 (7.30)	4 (3.19)	5 (2.20)	5 (1.47)	3 (2.12)	3 (1.18)	3 (0.59)	6 (2.24)	5 (1.66)	5 (1.07)	1 (0.02)	6 (5.62)	7 (4.98)	3 (1.26)

续表 1 (Table 1 continued)

目 Order / 科 Family	物种数（相对丰盛度，%）Species number（Relative abundance，%）																			
	整个诱捕期 The whole trapping period				第 1 高峰期 The first peak period				第 2 高峰期 The second peak period				第 3 高峰期 The third peak period				第 4 高峰期 The fourth peak period			
	L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5
步甲科 Carabidae	3 (0.46)	6 (0.90)	8 (1.51)	5 (0.42)	3 (0.31)	5 (1.00)	5 (1.95)	5 (0.54)	4 (1.66)	3 (0.33)	3 (0.05)	3 (0.07)	4 (0.39)	4 (0.45)	5 (0.57)	4 (0.37)	3 (0.50)	4 (0.84)	3 (0.26)	5 (0.23)
天牛科 Cerambycidae	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.03)	6 (0.17)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	6 (0.19)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	1 (0.03)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	3 (0.13)	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
虎甲科 Cicindelidae	2 (0.04)	0 (0.00)	2 (0.05)	2 (0.09)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.02)	1 (0.02)	0 (0.00)	1 (0.01)	1 (0.07)	1 (0.18)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)
龙虱科 Dytiscidae	2 (0.06)	0 (0.00)	2 (0.23)	2 (0.05)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.49)	1 (0.04)	1 (0.41)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.02)	1 (0.14)	0 (0.00)	1 (0.05)	0 (0.00)	1 (0.07)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
牙甲科 Hydrophilidae	2 (0.54)	1 (0.26)	1 (0.71)	1 (0.77)	1 (0.28)	1 (0.10)	1 (1.06)	1 (0.77)	1 (0.66)	1 (0.50)	1 (0.06)	1 (0.10)	1 (0.33)	1 (0.07)	1 (0.31)	1 (0.32)	1 (0.07)	1 (0.05)	1 (0.15)	1 (0.03)
瓢甲科 Coccinellidae	1 (0.08)	1 (0.06)	2 (0.20)	1 (0.07)	1 (0.12)	1 (0.06)	1 (0.16)	1 (0.04)	1 (0.08)	1 (0.02)	1 (0.02)	1 (0.05)	0 (0.00)	1 (0.04)	1 (0.15)	1 (0.04)	2 (0.12)	1 (0.05)	2 (0.14)	1 (0.09)
象甲科 Curculionidae	1 (0.61)	2 (0.12)	2 (0.32)	2 (0.07)	1 (0.90)	2 (0.16)	1 (0.04)	1 (0.04)	0 (0.00)	1 (0.03)	1 (0.04)	1 (0.03)	0 (0.00)	2 (0.03)	2 (0.08)	1 (0.04)	0 (0.00)	2 (0.22)	1 (0.08)	2 (0.17)
叩甲科 Elateridae	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.08)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (16.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00	1 (0.10)	0 (0.00)
隐翅虫科 Staphylinidae	1 (0.06)	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.03)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
葬甲科 Silphidae	1 (0.02)	1 (0.01)	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.03)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
半翅目 Hemiptera																				
蝽科 Pentatomidae	2 (0.58)	2 (0.20)	1 (0.61)	2 (0.15)	2 (0.37)	2 (0.13)	0 (0.00)	3 (0.59)	1 (9.09)	0 (0.00)	1 (0.05)	2 (0.14)	2 (1.13)	2 (0.16)	1 (0.26)	1 (0.77)	2 (1.09)	2 (0.24)	1 (0.08)	2 (0.23)
蝉科 Cicadidae	2 (0.19)	3 (0.10)	3 (0.85)	3 (0.55)	2 (0.20)	3 (0.13)	3 (1.70)	3 (0.54)	1 (0.08)	1 (0.02)	1 (0.01)	3 (0.08)	1 (0.05)	1 (0.05)	1 (0.36)	3 (0.17)	1 (0.07)	2 (0.07)	1 (0.05)	3 (0.24)
猎蝽科 Reduria	1 (0.02)	0 (0.00)	1 (0.04)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.03)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.05)	0 (0.00)

续表 1 (Table 1 continued)

目 Order	科 Family	物种数（相对丰盛度，%）Species number（Relative abundance，%）																			
		整个诱捕期 The whole trapping period				第 1 高峰期 The first peak period				第 2 高峰期 The second peak period				第 3 高峰期 The third peak period				第 4 高峰期 The fourth peak period			
		L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5
	盲蝽科 Miridae	3 (0.12)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
	黾蝽科 Gerridae	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.10)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.16)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	2 (0.49)	1 (0.05)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
	土蝽科 Cydnidae	2 (2.34)	2 (1.01)	2 (3.20)	2 (1.71)	1 (1.01)	1 (0.74)	1 (2.84)	1 (0.94)	2 (2.95)	2 (1.47)	2 (0.40)	2 (0.68)	1 (2.51)	0 (0.00)	2 (0.84)	1 (0.51)	1 (2.91)	2 (0.72)	2 (0.82)	2 (0.72)
	负子蝽科 Belostomatidae	1 (0.02)	0 (0.00)	1 (0.01)	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.02)	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.03)	0 (0.00)	1 (0.01)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
直翅目 Orthoptera																					
	蝗科 Acrididae	0 (0.00)	1 (0.03)	2 (0.16)	2 (0.09)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.07)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.10)	1 (0.11)	0 (0.00)	1 (0.03)	0 (0.00)	2 (0.07)	1 (0.17)	1 (0.01)	2 (0.20)	2 (0.19)
	蝼蛄科 Gryllotalpidae	1 (0.06)	1 (0.04)	1 (0.15)	1 (0.07)	1 (0.08)	2 (0.10)	1 (0.08)	1 (0.04)	1 (0.21)	0 (0.00)	1 (0.03)	1 (0.34)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.06)	1 (0.04)	1 (0.55)	1 (0.10)	1 (0.05)	1 (0.09)
	蟋蟀科 Gryllidae	0 (0.00)	1 (0.02)	1 (0.18)	1 (0.02)	0 (0.00)	1 (0.03)	1 (0.16)	0 (0.00)	1 (0.37)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.02)	1 (0.59)	1 (0.03)	1 (0.05)	1 (0.09)	1 (4.42)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.90)
	螽斯科 Tettgoniidae	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.09)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.16)	0 (0.00)	1 (0.04)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.02)	0 (0.00)	1 (0.05)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
双翅目 Diptera																					
	食蚜蝇科 Syrphidae	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.000	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
	食虫虻科 Asilidae	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)
	虻科 Asilidae	1 (0.12)	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.11)	1 (0.03)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.02)	0 (0.00)	1 (0.03)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.02)
	大蚊科 Tipulidae	0 (0.00)	1 (0.04)	1 (0.04)	1 (0.01)	0 (0.00)	1 (0.06)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.03)	1 (0.01)	0 (0.00)	1 (0.05)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.04)

续表 1 (Table 1 continued)

目 Order	科 Family	物种数（相对丰盛度，%）Species number（Relative abundance，%）																			
		整个诱捕期 The whole trapping period				第 1 高峰期 The first peak period				第 2 高峰期 The second peak period				第 3 高峰期 The third peak period				第 4 高峰期 The fourth peak period			
		L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5	L1	L2	L3	L5
膜翅目 Hymenoptera																					
	蜜蜂科 Apidae	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.13)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.03)	1 (0.03	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.05)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.02)
	姬蜂科 Ichneumonidae	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
脉翅目 Neuroptera																					
	草蛉科 Chrysopidae	1 (0.21)	2 (0.08)	2 (0.39)	2 (0.00)	1 (0.22)	2 (0.11)	2 (0.81)	1 (0.01)	1 (0.83)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00	1 (0.07)	2 (0.09)	2 (0.26)	0 (0.00)	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.03)
蜻蜓目 Odonata																					
	蜻科 Libellulidae	0 (0.00)	1 (0.05)	1 (0.04)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	1 (0.08)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.09)	0 (0.00)	0 (0.00	1 (0.01)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.05)	0 (0.00)
革翅目 Dermaptera																					
	蠼螋科 Labiduridae	1 (0.25)	0 (0.00)	1 (0.02)	0 (0.00)	1 (0.37)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.91)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.12)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.02)

L1: 一组光源；L2：两组光源；L3：三组光源；L5：五组光源。下图和下表同。

L1: A set of light source; L2: Two sets of light source; L3: Three sets of light source; L5: Five sets of light source. The same for the following figures and tables.

相似和中等相似之间，L1 与 L2、L3、L5 为中等不相似，L2 和 L3、L5 为中等相似，L5 和 L3 为中等不相似（表 2）。

表 2 不同灯类型诱集昆虫群落的相似性
Table 2 Similarity of insect community trapped by different lamp types

灯类型 Lamp type	L1	L2	L3	L5
L1	1	0.415 9	0.404 6	0.357 7
L2		1	0.546 0	0.515 5
L3			1	0.425 0
L5				1

4 种高空灯共诱集到 234 650 头昆虫，其中 L1、L2、L3、L5 分别诱集到 28 182、52 306、57 148 和 97 014 头，诱集数量随着光源数量的增加而增加（图 1），后三者是单光源的诱捕量的 1.86、2.03 和 3.44 倍，光源数量 X 与诱捕虫量 Y 符合线性方程 Y=13 398.91+16 459.49X（R^2= 0.970, F=65.76, P=0.015)。

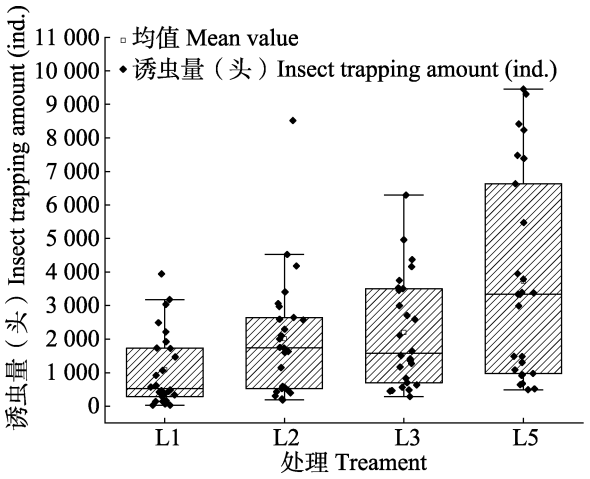

图 1 不同高空灯诱捕的昆虫数量
Fig. 1 Comparison of insect numbers under different lights

在诱捕期间 4 种高空灯诱捕昆虫数量呈现相似的动态，均有 4 个明显的诱捕高峰，分别在 7 月中旬、7 月底 8 月初、8 月上中旬及 8 月中下旬（图 2）。各高峰期中，鳞翅目夜蛾科为优势类群（表 1）。在第 1 个高峰期，4 种高空灯诱捕的昆虫的群落相似性系数分布在 0.278 5-0.477 6 之间（表 3），各灯之间均表现为中等不相似，L5 的诱捕量显著高于 L1 和 L3，L5 的诱捕量是 L1 的 4.66 倍，L1、L2、L3 间没有显著性差异（P > 0.05）（表 4）；在第 2 个高峰期，4 种高空灯诱捕的昆虫的群落相似性系数分布在 0.231 7-0.387 1 之间（表 3），L1 和其他灯之间表现为极不相似，其余处理之间表现为中等不相似，L5 的诱捕量显著高于 L1，前者是后者的 6.37 倍，L1、L2、L3 间没有显著性差异（P > 0.05）（表 4）；在第 3 个高峰期，4 种高空灯诱捕的昆虫的群落相似性系数分布在 0.216 5-0.439 0 之间（表 3），L1 和 L2、L3 之间极不相似，L2 和 L5 之间表现为极不相似，其余处理之间表现为中等不相似，其中 4 种高空灯的诱捕量之间没有显著性差异（P > 0.05）（表 4）；在第 4 个高峰期，4 种高空灯诱捕的昆虫的群落相似性系数分布在 0.195 7-0.414 6 之间（表 3），L1 和 L2、L3 之间表现为极不相似，L3 和 L5 之间表现为极不相似，其余处理之间表现为中等不相似，L5 的诱捕量显著高于 L1、L2、L3，具有显著性差异（P < 0.05），后三者间没有显著性差异（P > 0.05），L5 的诱捕量是 L1 的 2.28 倍（表 4）。

2.2 农药熏蒸处理下高空灯诱集的昆虫群落结构与种群数量

L3 诱集 9 目 34 科 95 种昆虫，鳞翅目有 8 科 46 种，占物种数 48.94%，相对丰盛度为 54.05%，其中夜蛾科有 25 种，相对丰盛度为 50.59%，为优势类群（表 5），其中传粉昆虫、天敌昆虫等有益昆虫诱集 6 目 10 科 20 种，物种数占 21.05%，相对丰盛度为 2.41%；L3D 共诱集 8 目 27 科 99 种，鳞翅目有 9 科 63 种昆虫，占物种数 65.63%，相对丰盛度为 53.32%，其中夜蛾科有 33 种，相对丰盛度为 47.83%，为优势类群（表 5），其中传粉昆虫、天敌昆虫等有益昆虫诱集 5 目 6 科 11 种，物种数占 11.11%，相对丰盛度为 0.63%。L3 和 L3D 的相似性系数为 0.642 1（表 6），两者为中等相似。L3 和 L3D 分别诱集昆虫 57 148 头和 70 258 头，后者比前者多了 22.94%，但两者差异不显著（t=0.834，P=0.408）（图 3）。

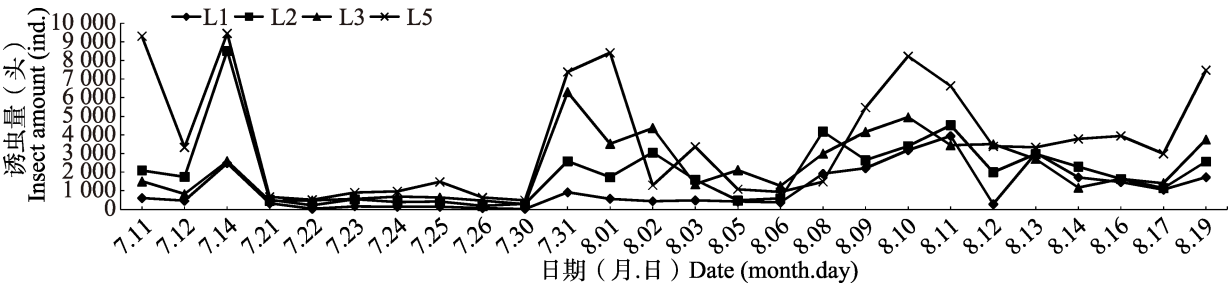

图 2　4 种高空灯灯光数昆虫诱捕量

Fig. 2　Number of insects caught by four kinds of searchlight

表 3　在 4 个高峰期不同灯类型诱集昆虫群落的相似性

Table 3　Similarity of insect community trapped by different lamp types at four peak periods

高峰期 Peak period	灯类型 Lamp type	L1	L2	L3	L5
第 1 高峰期 The first peak period	L1	1	0.391 9	0.278 5	0.325 0
	L2		1	0.297 3	0.346 7
	L3			1	0.477 6
	L5				1
第 2 高峰期 The second peak period	L1	1	0.246 2	0.231 7	0.246 9
	L2		1	0.365 1	0.387 1
	L3			1	0.376 6
	L5				1
第 3 高峰期 The third peak period	L1	1	0.216 5	0.219 0	0.317 6
	L2		1	0.439 0	0.243 9
	L3			1	0.272 7
	L5				1
第 4 高峰期 The fourth peak period	L1	1	0.211 1	0.208 8	0.414 6
	L2		1	0.375 0	0.379 7
	L3			1	0.195 7
	L5				1

表 4　在 4 个高峰期不同高空灯诱集的昆虫数量

Table 4　Insect abundance trapped by different lamp types at four peak periods

高峰期 Peak period	日平均诱虫量（头/日）Average daily trapping amount (ind./d)			
	L1	L2	L3	L5
第 1 高峰期 The first peak period	1 186.00±651.77 b	3 091.25±2 200.88 ab	1 232.00±514.58 b	5 525.50±2 017.13 a
第 2 高峰期 The second peak period	803.33±107.71 b	2 244.00±348.74 ab	3 885.75±1 023.82 ab	5 119.50±1 674.67 a
第 3 高峰期 The third peak period	3 750.33±462.45 a	3 687.00±419.40 a	3 890.75±428.69 a	5 306.25±1 438.98 a
第 4 高峰期 The fourth peak period	1 992.67±157.35 b	1 909.00±321.86 b	1 992.50±594.33 b	4 550.50±998.18 a

表中数据为平均值±标准误，同行数据后标有不同小写字母表示显著性差异（P<0.05，One-way ANOVA，LSD 检验）。表 7 同。

Data in the table are the mean ± SE, and followed by the differences lowercase letters in the same line indicate significant differences tested by one-way ANOVA (P<0.05, LSD test). The same for Fig. 7.

表 5 农药处理高空灯诱集昆虫群落物种结构

Table 5 Species structure of insect community induced by searchlight under pesticide treatment

目 Order / 科 Family	物种数（相对丰盛度，%）Species number（Relative abundance，%）									
	整个诱捕期 The whole trapping period		用药第 1 高峰期 The first peak period of medication		用药第 2 高峰期 The second peak period of medication		用药第 3 高峰期 The third peak period of medication		用药第 4 高峰期 The fourth peak period of medication	
	L3	L3D	L3	L3D	L3	L3D	L3	L3D	L3	L3D
鳞翅目 Lepidoptera										
夜蛾科 Noctuidae	25 (50.59)	33 (47.83)	9 (40.56)	22 (33.06)	20 (9.60)	21 (33.27)	15 (10.37)	20 (24.66)	14 (22.28)	14 (36.47)
螟蛾科 Pyralidae	6 (1.18)	14 (2.54)	1 (0.32)	5 (1.89)	2 (0.15)	9 (2.15)	3 (0.06)	9 (1.77)	0 (0.00)	5 (0.44)
天蛾科 Sphingidae	5 (1.37)	5 (0.61)	5 (0.53)	6 (0.95)	4 (0.15)	3 (0.99)	6 (0.60)	5 (0.41)	5 (0.33)	5 (0.30)
舟蛾科 Notodontidae	2 (0.77)	4 (1.77)	1 (0.65)	2 (2.12)	2 (0.12)	3 (1.07)	1 (0.77)	4 (0.49)	2 (0.30)	4 (0.50)
灯蛾科 Arctiidae	4 (0.05)	2 (0.13)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	1 (0.01)	1 (0.06)	1 (0.01)	1 (0.01)
尺蛾科 Geometridae	1 (0.01)	1 (0.26)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.04)	2 (0.18)	2 (0.03)	1 (0.05)	1 (0.05)	1 (0.07)
刺蛾科 Limacodidae	0 (0.00)	2 (0.07)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.11)	0 (0.00)	1 (0.12)	0 (0.00)	2 (0.03)
卷蛾科 Tortricidae	2 (0.04)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.03)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
枯叶蛾科 Lasiocampidae	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.08)	0 (0.00)	1 (0.02)
粉蝶科 Pierida	1 (0.04)	1 (0.09)	1 (0.08)	1 (0.14)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.04)	1 (0.00)	1 (0.05)	1 (0.03)
鞘翅目 Coleoptera										
金龟甲总科 Scarabaeoidea	6 (7.22)	3 (4.17)	6 (7.30)	3 (3.85)	3 (2.12)	3 (1.98)	5 (1.66)	2 (0.74)	7 (4.98)	6 (4.09)
步甲科 Carabidae	8 (1.51)	6 (0.45)	5 (1.95)	3 (0.36)	3 (0.05)	4 (0.15)	5 (0.57)	4 (0.13)	3 (0.26)	5 (0.38)
天牛科 Cerambycidae	2 (0.03)	3 (0.04)	0 (0.00)	3 (0.04)	1 (0.01)	0 (0.00)	1 (0.01)	2 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)
虎甲科 Cicindelidae	2 (0.05)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)
龙虱科 Dytiscidae	2 (0.23)	2 (0.14)	2 (0.49)	1 (0.09)	0 (0.00)	2 (0.06)	1 (0.05)	1 (0.03)	0 (0.00)	1 (0.05)
牙甲科 Hydrophilidae	1 (0.71)	1 (0.77)	1 (1.06)	1 (0.79)	1 (0.06)	1 (0.02)	1 (0.31)	1 (0.22)	1 (0.15)	1 (0.37)
瓢甲科 Coccinellidae	2 (0.20)	1 (0.06)	1 (0.16)	0 (0.00)	1 (0.02)	1 (0.25)	1 (0.15)	1 (0.01)	2 (0.14)	2 (0.12)
象甲科 Curculionidae	2 (0.32)	2 (0.07)	1 (0.04)	1 (0.09)	1 (0.04)	1 (0.02)	2 (0.08)	1 (0.01)	1 (0.08)	1 (0.05)
叩甲科 Elateridae	1 (0.08)	0 (0.00)	1 (16.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.10)	1 (0.06)

续表 5 (Table 5 continued)

目 Order / 科 Family	物种数（相对丰盛度，%）Species number（Relative abundance，%）									
	整个诱捕期 The whole trapping period		用药第 1 高峰期 The first peak period of medication		用药第 2 高峰期 The second peak period of medication		用药第 3 高峰期 The third peak period of medication		用药第 4 高峰期 The fourth peak period of medication	
	L3	L3D	L3	L3D	L3	L3D	L3	L3D	L3	L3D
葬甲科 Silphidae	1 (0.02)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
半翅目 Hemiptera										
蝽科 Pentatomidae	1 (0.61)	1 (0.14)	0 (0.00)	1 (0.09)	1 (0.05)	1 (0.16)	1 (0.26)	1 (0.03)	1 (0.08)	1 (0.19)
蝉科 Cicadidae	3 (0.85)	3 (0.30)	3 (1.70)	2 (0.33)	1 (0.01)	2 (0.07)	1 (0.36)	2 (0.10)	1 (0.05)	3 (0.10)
猎蝽科 Reduria	1 (0.04)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.03)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.05)	1 (0.03)
黾蝽科 Gerridae	1 (0.10)	0 (0.00)	1 (0.16)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.05)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
土蝽科 Cydnidae	2 (3.20)	2 (5.10)	1 (2.84)	2 (2.36)	2 (0.40)	0 (0.00)	2 (0.84)	2 (1.14)	2 (0.82)	2 (2.82)
负子蝽科 Belostomatidae	1 (0.01)	1 (0.07)	1 (0.02)	1 (0.02)	0 (0.00)	1 (0.05)	1 (0.01)	1 (0.01)	0 (0.00)	1 (0.01)
直翅目 Orthoptera										
蝗科 Acrididae	2 (0.16)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.10)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.20)	2 (0.13)
蝼蛄科 Gryllotalpidae	1 (0.15)	1 (0.28)	1 (0.08)	1 (0.35)	1 (0.03)	0 (0.00)	1 (0.06)	1 (0.12)	1 (0.05)	1 (0.08)
蟋蟀科 Gryllidae	1 (0.18)	1 (0.01)	1 (0.16)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.05)	1 (0.01)	0 (0.00	1 (0.02)
螽斯科 Tettgoniidae	1 (0.09)	1 (0.04)	1 (0.16)	1 (0.05)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.05)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)
双翅目 Diptera										
食虫虻科 Asilidae	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	1 (0.01)
虻科 Asilidae	0 (0.00)	1 (0.07)	0 (0.00)	1 (0.09)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
大蚊科 Tipulidae	1 (0.04)	1 (0.23)	0 (0.00)	1 (0.35)	1 (0.03)	0 (0.00)	1 (0.01)	1 (0.03)	0 (0.00)	0 (0.00)
膜翅目 Hymenoptera										
蜜蜂科 Apidae	1 (0.13)	1 (0.03)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.03)	1 (0.05)	1 (0.05)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)
脉翅目 Neuroptera										
草蛉科 Chrysopidae	2 (0.39)	1 (0.01)	2 (0.81)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	2 (0.26)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
蜻蜓目 Odonata										
蜻科 Libellulidae	1 (0.04)	0 (0.00)	1 (0.08)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.05)	1 (0.03)

续表 5 (Table 5 continued)

目 Order	科 Family	物种数（相对丰盛度，%）Species number（Relative abundance，%）									
		整个诱捕期 The whole trapping period		用药第 1 高峰期 The first peak period of medication		用药第 2 高峰期 The second peak period of medication		用药第 3 高峰期 The third peak period of medication		用药第 4 高峰期 The fourth peak period of medication	
		L3	L3D	L3	L3D	L3	L3D	L3	L3D	L3	L3D
革翅目 Dermaptera											
	蠼螋科 Labiduridae	1 (0.02)	1 (0.01)	0 (0.00)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.01)	1 (0.01)	0 (0.00)	0 (0.00)

L3D：三组光源添加农药。下表同。L3D: Three groups of light sources add pesticides. The same below.

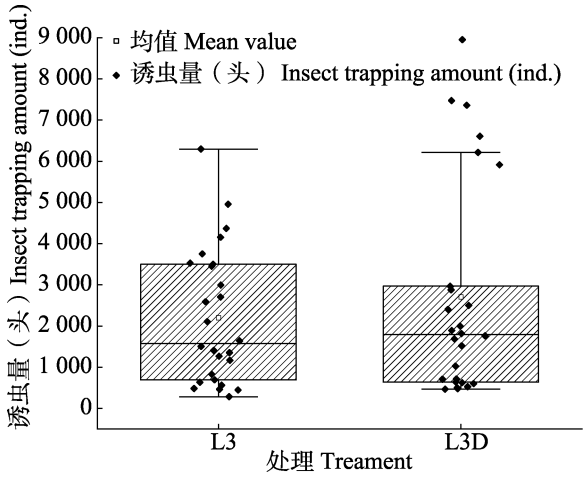

图 3 农药熏蒸处理高空灯与对照高空灯诱捕昆虫数量比较

Fig. 3 Comparison of the number of trapped insects between pesticides treatment and without pesticides treatment

L3D：三组光源添加农药。下图同。
L3D: Three groups of light sources add pesticides. The same below.

L3 和 L3D 诱捕昆虫数量动态相似，均有 4 个明显的诱捕高峰期（图 4），在各高峰期中鳞翅目夜蛾科为优势类群（表 3）。在用药第 1 个高峰期，两种处理诱捕的昆虫的群落相似性系数为 0.371 8（表 6），表现为中等不相似，两种处理的诱捕虫量间不存在显著性差异（F=0.693, P=0.452）（表 7）；在用药第 2 个高峰期，两种处理诱捕的昆虫的群落相似性系数为 0.348 8（表 6），表现为中等不相似，两种处理诱捕虫量间不存在显著性差异（F=2.510, P=0.164）（表 7）；在用药第 3 个高峰期，也是诱捕数量多的一个高峰期，两种处理诱捕的昆虫的群落相似性系数为 0.431 6（表 6），表现为中等不相似，两种处理诱捕虫量间存在显著性差异（F=35.242, P=0.001），其中 L3D 比 L3 多 89.17%（表 7）；在用药第 4 个高峰期，两种处理诱捕的昆虫的群落相似性系数为 0.635 1（表 6），表现为中等相似，两种处理诱捕虫量间不存在显著性差异（F=0.729, P=0.426）（表 7）。

3 讨论

害虫迁飞是大规模从一个栖息地长距离迁移到另一个栖息地的过程（吴孔明，2018）。害

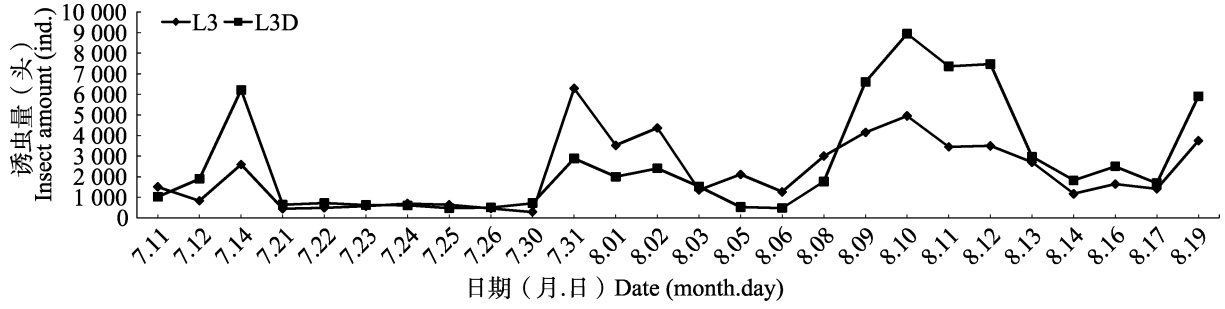

图 4 相同光源数量下农药处理昆虫诱捕量

Fig. 4 Insect trapping amount of pesticide treatment under the same number of light sources

表 6　在 4 个高峰期 L3 和 L3D 诱集昆虫群落的相似性

Table 6　Similarity index of insect community trapped by L3 and L3D at four peak periods

高峰期 Peak period	相似性系数 Similarity index
整个诱捕期 The whole trapping period	0.642 1
用药第 1 高峰期 The first peak period of medication	0.371 8
用药第 2 高峰期 The second peak period of medication	0.348 8
用药第 3 高峰期 The third peak period of medication	0.431 6
用药第 4 高峰期 The fourth peak period of medication	0.635 1

表 7　在 4 个高峰期 L3 和 L3D 诱集的昆虫数量

Table 7　Insect abundance trapped by different lamp types at four peak periods

高峰期 Peak period	日平均诱虫量（头/日） Average daily trapping amount (ind./d)	
	L3	L3D
用药第 1 高峰期 The first peak period of medication	1 642.67±514.58 a	3 045.33±1 603.94 a
用药第 2 高峰期 The second peak period of medication	3 885.75±1 023.82 a	2 200.00±289.46 a
用药第 3 高峰期 The third peak period of medication	4 017.25±352.47 b	7 599.25±489.73 a
用药第 4 高峰期 The fourth peak period of medication	1 992.50±567.64 a	2 981.00±993.78 a

虫迁飞过程可分为起飞、巡航、降落三个阶段，一旦规模庞大的成虫降落、产卵、定殖和扩散，其危害往往难以避免。利用高空灯在害虫迁飞路径上诱杀阻截成虫，是非常高效、绿色的防控措施。目前，高空灯均是由 GT182 型探照灯改进而来（张智等，2021）。2015 年以来，我国选用高空灯（金属卤化物灯，灯泡光源波长为 500-600 nm，功率为 1 000 W）用于迁飞性害虫区域性监测，对草地螟 *Loxostege sticticalis*、粘虫、稻飞虱（褐飞虱：*Nilaparvata lugens* Stal、白背飞虱：*Sogatella furcifera*、灰飞虱：*Laodelphax striatellus* Fallén）、草地贪夜蛾、稻纵卷叶螟等迁飞性害虫均有较强的诱捕效果（姜玉英等，2021）。我国创新性提出以迁飞成虫为重点的全区域防控策略，研发出诱捕效果更好的高空灯及诱捕技术是实现成虫阻控策略的关键。本研究首次探索了特制多光源数量高空灯对迁飞性昆虫诱捕效果，4 种高空灯诱集的昆虫多达 234 650 头，发现光源数量与诱捕虫量符合正相关的线性关系，高空灯诱集数量随着光源数量增加而提高，尤其是 5 种光源高空灯是单光源的 3.44 倍。在 4 个高峰期，高空灯诱集数量也呈现出随光源数量增加的趋势，除了第 3 个高峰期，5 光源高空灯诱集量均显著高于单光源，前者是后者的 2.28-6.37 倍。这些结果表明，增加光源数量能够显著增加高空灯诱捕迁飞性害虫的数量，尤其是在害虫迁飞高峰期效果显著。

高空灯将灯光投射向空中，光波在空气中传播时，受空气和气溶胶的吸收和散射，会发生光束能量衰减及光波特性改变，增加光源数量会同时改变不同高度的光束的光强和光波特性，从而可能影响诱集昆虫的种类及数量。付晓伟（2015）利用高空灯研究了跨渤海湾地区季节性迁飞昆虫的种类，2003-2019 年共监测到昆虫 120 余种，鳞翅目种类最多，棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、粘虫、小地老虎 *Agrotis ypsilon* 等夜蛾科害虫为优势物种。本研究 4 种不同光源诱集昆虫种类为 71-95 种，也均是鳞翅目种类和数量最多，夜蛾科为优势类群，益虫诱集种类约占 10%-20%之间，相对丰盛度最高不超过 2.5%，多为 1%左右。说明增加光源数量没有改变诱捕的主要类群，均对农业生产有重大危害的夜蛾科有很好的诱集作用，对益虫影响不大。而 4 种高空灯诱捕的昆虫的群落相似性处于中等不相似和中等相似之

间，在 4 个高峰期 4 种高空灯诱捕的昆虫的群落相似性为中等不相似和极不相似，物种差异主要存在于鳞翅目和鞘翅目，差异昆虫数量占比甚小，但显著增加了其物种丰富度，这说明增加光源显著改变了诱捕昆虫种类构成和群落结构。考虑到增加光源数量会导致成本增加以及昆虫鉴定计数工作的大幅度增加，但是可以有效增加昆虫种类，根据目前的研究结果，推荐 1 组光源或 3 组光源的使用。

昆虫受到高空灯的光柱吸引落入集虫网袋中，部分个体会从集虫网袋爬出逃逸。本研究发现，在集虫箱内放置毒瓶进行熏蒸，发现诱捕到昆虫种类增加了 4 种，诱捕的数量比对照增加了 22.94%，尤其是高峰期诱捕数量比对照增加了 89.17%，同时益虫诱集物种数、相对丰盛度均减小。其中 7 月 21 日-7 月 30 日期间，L3 与 L3D 捕获虫量几乎无差别，是由于昆虫数量较少，相对活动空间较大，所以逃逸现象减少。在用药第 2 高峰期时，L3 虫量高于 L3D，其中 L3 诱集可识别昆虫物种数量为 51 种，未知物种约占 87.00%；L3D 诱集可识别昆虫物种数量为 59 种，未知物种约占 56.68%。未知物种主要为无法识别微型昆虫，可能此阶段处于爆发状态，同时对农药具有驱避效应，具体情况需要进一步探索。表明这一处理能够显著减少逃逸，同时减少对益虫的影响，提升高空灯的诱捕效果。

总之，增加光源数量可显著增加高空灯诱捕迁飞性害虫的数量，对诱集的昆虫群落结构也会产生影响；在高空灯诱集箱增加药剂熏蒸措施可有效减少害虫逃逸，提高诱捕效果。

参考文献 (References)

Announcement of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China No. 654, 2023. Announcement of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202303/t20230314_6422981.htm [中华人民共和国农业农村部公告第 654 号，2023. 中华人民共和国农业农村部公报. www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202303/t20230314_6422981.htm]

Chen H, Yang XL, Chen AD, Li YC, Wang DH, Liu J, Hu G, 2020. Immigration timing and origin of the first fall armyworms (Spodoptera frugiperda) detected in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(6): 1270–1278. [陈辉, 杨学礼, 谌爱东, 李永川, 王德海, 刘杰, 胡高, 2020. 我国最早发现为害地草地贪夜蛾的入侵时间及其虫源分布. 应用昆虫学报, 57(6): 1270–1278.]

Couzin ID, 2018. Collective animal migration. *Current Biology*, 28(17): R976–R980.

Ding JY, Zhang JH, 2016. Atlas of Moths Under Beijing Lamps. Beijing: China Agriculture Press. 17–224. [丁建云, 张建华, 2016. 北京灯下蛾类图谱. 北京: 中国农业出版社. 17–224.]

Ding YQ, 1994. Insect Mathematical Ecology. Beijing: Science Press. 22–131, 437–442. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 22–131, 437–442.]

Fu XW, 2015. Study on the community structure and population dynamics of migratory insects across the Bohai strait. Doctroal dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [付晓伟, 2015. “渤海湾”迁飞性昆虫群落结构既种群动态研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]

Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, Luo LZ, 2016. Research advances and perspectives on migration-induced mechanisms promoting outbreaks of major Lepidopteran insect pests in China. *Journal of Scientia Sinica Vitae*, 46(5): 565–572. [江幸福, 张蕾, 程云霞, 罗礼智, 2016. 中国主要鳞翅目农业害虫迁飞致灾机制研究与展望. 中国科学: 生命科学, 46(5): 565–572.]

Jiang YY, Liu J, Zeng J, Huang C, Zhang T, 2021. Occurrence of, and damage caused by, major migratory pests and techniques for monitoring and forecasting these in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(3): 542–551. [姜玉英, 刘杰, 曾娟, 黄冲, 张涛, 2021. 我国农作物重大迁飞性害虫发生为害及监测预报技术. 应用昆虫学报, 58(3): 542–551.]

Li Z, Yuan F, Qin XC, Huang H, Chang LX, 2007. Species diversity of phototactic insects around the National Stadium in Beijing. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(3): 423–427. [李竹, 袁峰, 覃晓春, 黄浩, 常凌小, 2007. 北京国家体育场周边趋光性昆虫物种多样性及优势度分析. 昆虫知识, 44(3): 423–427.]

Niwattanakul S, Singthongchai J, Naenudorn E, Wanapu S, 2013. Using of Jaccard coefficient for keywords similarity. Iaeng International Conference on Internet Computing & Web Services. Hong Kong: March 13–15.

Tu XB, Du GL, Chai SQ, Zhu JQ, Zhang ZH, 2022. Migration dynamics of important locust species in China and adjacent countries. *Journal of Plant Protection*, 49(1): 125–130. [涂雄兵,

杜桂林, 柴守权, 朱景全, 张泽华, 2022. 我国及毗邻国家重要蝗虫迁飞规律. 植物保护学报, 49(1): 125–130.]

Wu KM, 2018. Monitoring and control of migration of major crop pest populations. Proceedings of 2018 Annual Conference of the Crop Science Society of China, Yangzhou: October 14. [吴孔明, 2018. 作物重大害虫种群迁飞的监测与控制. 中国作物学会. 2018 中国作物学会学术年会论文摘要集. 中国作物学会. 扬州: 10 月 14 日.]

Xu GT, Yang ZH, 2007. Chinese Garden Pests. Beijing: China Forestry Publishing House. 36–348. [徐公天, 杨志华, 2007. 中国园林害虫. 北京：中国林业出版社. 36–348.]

Yan R, 2021. Study on monitoring methods of population migration in *Cnaphalocrocis Medinalis* （Lepidoptera: Pyrididae）Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [闫冉, 2021, 稻纵卷叶螟种群迁飞监测方法研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]

Yang HZ, Wen LZ, Yi Q, Xu H, 2014. Effects of light on the phototaxis of several important agricultural pests. *Chinese Agricultural Science Bulletin*. 30(25): 279–285. [杨洪璋, 文礼章, 易倩, 许浩, 2014. 光波和光强对几种重要农业害虫趋光性的影响. 中国农学通报, 30(25): 279–285.]

Yang PZ, 2016. Gaoligong Mountain Moth Illustrated Book. Beijing: Science Press. 23–578. [杨平之, 2016.高黎贡山蛾类图鉴. 北京：科学出版社. 23–578.]

Yu GY, 2015. Moths in Beijing. Beijing: Science Press. 25–426. [虞国跃, 2015. 北京蛾类图谱. 北京: 科学出版社. 25–426.]

Zhang YH, Yang JH, Jin XH, Cheng DF, Tian Z, Li YL, 2009. Aerial band barrier formed by vertica-l pointing searchlight-traps against the migrating *Loxostege sticticalis*. *Plant Protection*, 35(6): 104–107. [张云慧, 杨建国, 金晓华, 程登发, 田喆, 李云龙, 2009. 探照灯诱虫带对迁飞草地螟的空中阻截作用. 植物保护, 35(6): 104–107.]

Zhang Z, Qi JF, Zhang Y, Lin PJ, Zhang YH, 2021. Development of monitoring and forecasting technologies for migratory insect pests and suggestions for their future application. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(3): 530–541. [张智, 祁俊锋, 张瑜, 林培炯, 张云慧, 2021. 迁飞性害虫监测预警技术发展概况与应用展望. 应用昆虫学报, 58(3): 530–541.]

Zhang Z, Zhang YH, Jiang YY, Xie AT, Wei SJ, Cheng DF, Jiang JW, Zhang FM, Peng H, 2013. Monitoring of the population dynamics of *Proxenus lepigone* (Lepidoptera: Noctuidae) in north China and analysis of the source of its populations in northern Beijing. *Acta Entomologica Sinica*, 56(10): 1189–1202. [张智, 张云慧, 姜玉英, 谢爱婷, 魏书军, 程登发, 蒋金炜, 张方梅, 彭赫, 2013. 华北二点委夜蛾种群动态监测及北京北部地区虫源性质分析. 昆虫学报, 56(10): 1189–1202.]

Zhong T, Fan WY, Xu GQ, Zhao TH, 2020. The study of occurrence dynamics of the migratory population of oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker) in Liaoning. *Journal of Environmental Entomology*, 42(1): 111–120. [钟涛, 范唯艳, 许国庆, 赵彤华, 2020. 辽宁地区迁飞黏虫种群动态与发生规律研究. 环境昆虫学报, 42(1): 111–120.]

Zhou Y, Zhang HW, Wu KM, 2020. Frequency of migration of agricultural pests across the Bohai Sea in northern China and a control strategy for these species. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(2): 233–243. [周燕, 张浩文, 吴孔明, 2020. 农业害虫跨越渤海的迁飞规律与控制策略. 应用昆虫学报, 57(2): 233–243.]