

分类号:

密 级: 公开

学 号: 20212112046

单位代码: 10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 双斑长跗萤叶甲诱捕装置的筛选 与效果评价

学 位 申 请 人	张伟伟
指 导 教 师	陈静 教授 冯丽凯 助理研究员
申 请 学 位 类 别	专业学位
专 业 名 称	农业硕士
研 究 领 域	资源利用与植物保护
所 在 学 院	农学院

中国·新疆·石河子  
2025年6月

分类号:

密 级: 公开

学 号: 20212112046

单位代码: 10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 双斑长跗萤叶甲诱捕装置的筛选 与效果评价

学 位 申 请 人	张伟伟
指 导 教 师	陈静 教授
	冯丽凯 助理研究员
申 请 学 位 类 别	专业学位
专 业 名 称	农业硕士
研 究 领 域	资源利用与植物保护
所 在 学 院	农学院

中国·新疆·石河子  
2025年6月

**Screening and Efficacy Evaluation of Attractant Traps  
for *Monolepta signata***

A Dissertation Submitted to

**Shihezi University**

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

**Master of Agriculture**

By

**Zhang wei-wei**

**(Resource utilization and plant protection)**

Dissertation Supervisor: Prof. Chen jing

Research associate Feng likai

June, 2025

## 石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

### 学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：张伟伟

时间：2025年5月20日

### 使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：张伟伟

时间：2025年5月20日

导师签名：陈静

时间：2025年5月20日

## 摘 要

双斑长跗萤叶甲 *Monolepta signata* 是玉米、棉花、大豆等作物的主要害虫，以成虫取食叶片和花丝，给玉米、棉花和大豆等作物生产造成巨大损失。寻找绿色环保、安全有效的防治方法，是双斑长跗萤叶甲防治中迫切需要解决的问题。前期研究中已获得双斑长跗萤叶甲植物挥发物和聚集信息素协同作用的引诱剂最优配方。为了更好的发挥引诱剂的引诱效果，亟需筛选最优缓释载体类型、诱捕器类型及最优诱捕组合装置。本研究在前期研究基础上，从引诱剂配方、不同波长单色光、缓释装置和诱捕器四个方面筛选出了斑长跗萤叶甲最优诱捕组合装置，以期发挥引诱剂的最强引诱效果。主要结果如下：

### 1、双斑长跗萤叶甲引诱剂配方的筛选

根据“趋避率-趋向率”四维指标评估了雌、雄成虫对引诱剂二元配方、三元配方、四元配方、五元配方及全组分配方的行为反应。结果表明：四元配方 C10 对该叶甲成虫引诱效果最优，其趋向率（强）达  $0.37\pm 0.12$ ，显著高于其他引诱剂多元配方（ $P<0.01$ ）。

### 2、缓释载体与诱捕器田间筛选试验

对比了 5 种缓释载体（硅橡胶、PE 缓释袋、聚乙烯缓释瓶、离心管和自制 U 形管）和 3 种诱捕器（平面直板、瓶型、十字型）的适配性。结果表明：注入引诱剂配方 C10 的硅橡胶缓释载体持效期可达 14 天，其在玉米田和大豆田日均诱集量分别为  $12.25\pm 2.76$  头和  $10.87\pm 4.29$  头，显著优于其他载体（ $P<0.05$ ）；平面直板诱捕器因广域可视性优势，诱集量较瓶型诱捕器、十字型诱捕器提高了 2.3 倍。

### 3、双斑长跗萤叶甲趋光性研究

通过室内趋光行为试验，采用 430-580nm 单色光梯度、50-250lux 光强梯度及昼夜节律分段（9:00-23:00），利用自制趋光测试装置分析该叶甲趋光性行为。结果表明：该叶甲雌、雄成虫均对 580nm 黄光与 460nm 蓝紫光趋性最强；580nm 黄光在 150Lux、460nm 蓝紫光在 100Lux 时趋光响应达峰值；趋光活性在 17:00-19:00 显著增强，趋向位移较其他时段提高 1.8 倍（ $P<0.05$ ）。

### 4、诱捕组合装置对双斑长跗萤叶甲田间诱集效果评价

将 580nm 黄色粘板+引诱剂配方 C10+硅橡胶缓释载体+平面直板诱捕器形成双斑长跗萤叶甲最优诱捕组合装置，田间验证该诱捕组合装置的诱捕效果。结果表明：最优诱捕组合装置在虫口高峰

期（7月下旬）单日最大诱集量达  $21.52 \pm 2.82$  头；最优诱捕组合装置距地 1m 时，田内无杂草区诱集效率较田缘提高 42% ( $P < 0.05$ )。

综上所述，本研究从引诱剂配方、不同波长单色光、缓释载体和诱捕器类型多方面筛选出双斑长跗萤叶甲成虫最优诱捕组合装置，且田间诱捕效果良好，利于延长引诱剂的持效性，研究结果对双斑长跗萤叶甲引诱剂的推广应用具有实践意义。

**关键词：**双斑长跗萤叶甲；趋光性；引诱剂配方；缓释载体；诱捕器

## Abstract

*Monolepta signata* is a major pest of crops such as corn, cotton, and soybeans. It feeds on leaves and filaments as adults, causing significant losses to crop production. Finding green, environmentally friendly, safe and effective prevention and control methods is an urgent problem that needs to be solved in the prevention and control of the beetle. The optimal formula for the synergistic effect of volatile compounds and aggregation pheromones in the beetle plant has been obtained in previous research. In order to better exert the attraction effect of attractants, it is urgent to screen the optimal types of sustained-release carriers, traps, etc. On the basis of previous research, this study screened the optimal trapping combination device for the beetle from three aspects: different wavelengths of monochromatic light, slow-release devices, and traps, in order to exert the strongest attraction effect of the attractant. The main results are as follows:

### 1. Screening of the formula for attractants of *Monolepta signata*

The behavioral responses of female and male adult insects to binary, ternary, quaternary, quaternary, quaternary, and all component formulations of attractants were evaluated based on the four-dimensional index of "avoidance tendency rate". The results showed that the quaternary formula C10 had the best attraction effect on the adult leaf beetle, with a tendency rate (strong) of  $0.37 \pm 0.12$ , significantly higher than other attractant multicomponent formulas ( $P < 0.01$ ).

### 2. Field screening experiment of slow-release carriers and traps

We compared the compatibility of 5 types of sustained-release carriers (silicone rubber, PE sustained-release bag, polyethylene sustained-release bottle, centrifuge tube, and self-made U-shaped tube) and 3 types of traps (flat straight plate, bottle type, cross type). The results showed that the silicone rubber slow-release carrier injected with the attractant formula C10 had a shelf life of up to 14 days, with an average daily lure amount of  $12.25 \pm 2.76$  heads and  $10.87 \pm 4.29$  heads in corn and soybean fields, respectively, which was significantly better than other carriers ( $P < 0.05$ ); Due to its wide area visibility advantage, the flat straight trap can attract 2.3 times more people than bottle traps and cross traps.

### 3. Study on the phototaxis of *Monolepta signata*

Through indoor phototaxis behavior experiments, using a 430-580nm monochromatic light gradient, a 50-250lux light intensity gradient, and segmented circadian rhythms (9:00-23:00), the phototaxis behavior of the leaf beetle was analyzed using a self-made phototaxis testing device. The results showed that both female and male adults of the leaf beetle showed the strongest preference for 580nm yellow light and 460nm blue purple light; The peak phototaxis response of 580nm yellow light at 150Lux and 460nm blue purple

light at 100Lux; The phototactic activity significantly increased from 17:00-19:00, with a trend shift 1.8 times higher than other time periods ( $P<0.05$ ).

#### 4. Evaluation of the field trapping effect of the trapping combination device on *Monolepta signata*

The optimal trapping combination of 580nm yellow sticky plate, attractant formula C10, silicone rubber slow-release carrier, and flat straight plate trap was formed for the double spotted long tarsal leaf beetle, and the trapping effect of the trapping combination device was verified in the field. The results showed that the optimal trapping combination device had a maximum daily trapping capacity of  $21.52 \pm 2.82$  heads during the peak period of insect population (late July); When the optimal trapping combination device is 1m above the ground, the trapping efficiency in the weed free area of the field is 42% higher than that at the edge of the field ( $P<0.05$ ).

In summary, this study screened the optimal trapping combination device for the adult of the double spotted long tarsal firefly leaf beetle from multiple aspects such as attractant formula, different wavelengths of monochromatic light, slow-release carrier, and trap type. The field trapping effect was good, which is conducive to prolonging the effectiveness of the attractant. The research results have practical significance for the promotion and application of *M. signata* leaf beetle attractant.

**Key words:** *Monolepta signata*; Phototaxis; Attractant formulation; Slow-release carrier; Trap

# 目录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	III
第 1 章 文献综述.....	1
1.1 双斑长跗萤叶甲研究概况.....	1
1.1.1 寄主植物及危害症状.....	1
1.1.2 生活史及习性.....	1
1.1.3 发生规律.....	2
1.1.4 防治方法.....	2
1.2 植物挥发性物质对植食性昆虫行为的调控机制.....	3
1.2.1 植物源气味分子对昆虫行为的调控功能.....	3
1.2.2 虫害诱导挥发物的生态功能.....	4
1.2.3 植物挥发物与昆虫信息素的协同效应.....	4
1.3 昆虫趋光性.....	4
1.3.1 波长对昆虫趋光性的影响.....	5
1.3.2 光强对昆虫趋光性的影响.....	5
1.3.3 趋光性在昆虫防治中的应用.....	5
1.4 诱捕装置对诱集昆虫的影响.....	5
1.4.1 缓释载体类型对昆虫诱集的影响.....	6
1.4.2 诱捕器类型对昆虫行为的影响.....	6
1.5 诱捕组合装置的优势与实施策略.....	6
1.6 研究目的、内容与技术路线.....	7
1.6.1 研究目的.....	7
1.6.2 研究内容.....	7
1.6.3 技术路线.....	8
第 2 章 双斑长跗萤叶甲引诱剂配方的筛选.....	9
2.1 材料与方法.....	9
2.1.1 供试虫源.....	9
2.1.2 引诱剂配方.....	9
2.1.3 行为反应.....	12
2.1.4 数据分析.....	13

2.2	结果分析.....	13
2.2.1	双斑长跗萤叶甲雄虫对二元配方引诱剂的行为反应.....	13
2.2.2	双斑长跗萤叶甲雌虫对二元配方引诱剂的行为反应.....	14
2.2.3	双斑长跗萤叶甲雄虫对三元配方引诱剂的行为反应.....	16
2.2.4	双斑长跗萤叶甲雌虫对三元配方引诱剂的行为反应.....	17
2.2.5	双斑长跗萤叶甲雄虫对四元配方、五元配方及全组分配方引诱剂对的行为反应.....	19
2.2.6	双斑长跗萤叶甲雌虫对四元配方、五元配方及全组分配方引诱剂的行为反应.....	21
2.3	结论与讨论.....	22
第3章	缓释载体与诱捕器田间筛选试验.....	24
3.1	材料与方法.....	24
3.1.1	测试装置及材料.....	24
3.1.2	试验方法.....	25
3.2	结果分析.....	26
3.2.1	复播玉米田中不同缓释载体对双斑长跗萤叶甲的引诱效果.....	26
3.2.2	正播大豆田中不同缓释载体对双斑长跗萤叶甲成虫的引诱效果.....	27
3.2.3	复播玉米田中不同诱捕器对双斑长跗萤叶甲成虫的引诱效果.....	27
3.2.4	正播大豆田中不同诱捕器对双斑长跗萤叶甲成虫的引诱效果.....	28
3.3	结论与讨论.....	29
第4章	双斑长跗萤叶甲趋光性研究.....	30
4.1	材料与方法.....	30
4.1.1	供试虫源.....	30
4.1.2	测试装置及材料.....	30
4.1.3	试验方法.....	31
4.1.4	数据分析.....	32
4.2	结果与分析.....	32
4.2.1	双斑长跗萤叶甲雄虫对不同单色光及波长室内趋光位移的测定.....	32
4.2.2	双斑长跗萤叶甲雌虫对不同单色光及波长室内趋光位移的测定.....	33
4.2.3	双斑长跗萤叶甲雄虫对同种单色光不同光强室内趋光位移的测定.....	34
4.2.4	双斑长跗萤叶甲雌虫对同种单色光不同光强室内趋光位移的测定.....	35
4.2.5	双斑长跗萤叶甲雄虫对趋光节律组合不同单色光室内趋光位移的测定.....	37
4.2.6	双斑长跗萤叶甲雌虫对趋光节律组合不同单色光室内趋光位移的测定.....	38
4.3	结论与讨论.....	38
第5章	双斑长跗萤叶甲诱捕装置组合田间诱集效果评价.....	40
5.1	材料与方法.....	40

5.1.1 试验材料.....	40
5.1.2 试验方法.....	42
5.1.3 数据分析.....	42
5.2 结果分析.....	43
5.2.1 双斑长跗萤叶甲最适诱捕组合装置的田间引诱效果.....	43
5.2.2 最适诱捕组合装置摆放位置对诱集双斑长跗萤叶甲的影响.....	43
5.3 结论与讨论.....	47
第6章 结论与展望.....	49
6.1 总结.....	49
6.1.1 双斑长跗萤叶甲引诱剂配方的筛选.....	49
6.1.2 缓释载体与诱捕器田间筛选试验.....	49
6.1.3 双斑长跗萤叶甲趋光性研究.....	49
6.1.4 诱捕装置组合对双斑长跗萤叶甲田间诱集效果评价.....	49
6.2 展望.....	49
参考文献.....	51
致谢.....	55
作者简介.....	56

## 第1章 文献综述

### 1.1 双斑长跗萤叶甲研究概况

又称双斑萤叶甲 *Monolepta Signata*，属于鞘翅目（Coleoptera），叶甲科（Chrysomelidae），萤叶甲亚科（Galerucinae），长跗萤叶甲属（*Monolepta Chevrolat*）（虞佩玉等，1996），分布较广、严重危害玉米、棉花、大豆、高粱等多种植物的多食性害虫。国外分布于俄罗斯（西伯利亚地区）、朝鲜、日本、越南、印度、新加坡、菲律宾、马来西亚、印度尼西亚等国家。中国主要分布于新疆、甘肃、宁夏、黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、山西和陕西等地。

#### 1.1.1 寄主植物及危害症状

该叶甲寄主范围广，包括玉米、棉花、高粱、丝瓜、甘薯、水稻、落花生、青麻、马铃薯、酸模叶蓼、狗尾草、青菜、芥菜、毛樱桃、重瓣玫瑰、秋子梨、卫矛、沙枣、蚕豆、树锦鸡儿、粗毛甘草、刺儿菜、新疆杨、垂柳、西伯利亚杏、榆叶梅、白榆、欧洲大叶榆、灰藜、甜菜、油菜、平车前、大麻、向日葵、芍药、黄刺玫、马齿苋、月季、天竺葵、芍药、新疆野百合、番茄等多种植物（陈光辉等，2016）。

该虫成虫主要危害棉花上部叶片，初危害时，取食上表皮及叶肉，形成凹陷，随后凹陷由绿色变成黄褐色，形成花叶；后期，被害部位变为枯斑，甚至为网状叶脉，严重影响叶片的光合作用，导致棉花叶片生长发育受阻，形成弱苗。也可危害玉米的叶片和新鲜雌穗、马铃薯茎叶，以及豆类、花卉、蔬菜、杂草、乔木、灌木等植物的根、叶片、花和果穗等部位。幼虫主要取食玉米、棉花、大豆、杂草的根系。

#### 1.1.2 生活史及习性

该叶甲在我国大部分地区1年发生1~2代，以卵在距土表2~5 cm土中越冬。卵期较长，70天左右。幼虫共3龄，30天左右，均生活在土中。蛹期8天左右。雌雄成虫寿命存在明显差异，雄虫平均寿命41.3天，雌虫66.9天。完成1个世代需要127.4天。产卵前，雌虫腹部变粗膨大，腹部长度明显超过鞘翅。产卵时，雌虫喜将卵产在湿度大的土壤中，腹部末端插入植物根系附近的土中缝隙，偶尔也将卵产在棉花叶片上。卵散产或粘在一起，每雌产卵量为22~207粒，平均产卵量为93.8粒。孵化后，幼虫以植物根系为食，待幼虫老熟时在土中以土室化蛹。成虫有群集性，自上而下取食，飞翔力弱，

一般只能飞 2~5 m, 早晚气温较低时或风雨天喜躲藏在植物根部或枯叶下。随温度升高会越来越活跃, 但日光强烈时, 常隐蔽在下部叶背或花穗中。一般羽化 2 周后开始交尾, 交尾大部分集中在白天, 持续 30~50 分钟。

### 1.1.3 发生规律

在新疆北部地区, 双斑长跗萤叶甲成虫 5 月中旬在棉田出现, 6 月下旬或 7 月上旬达到高峰期, 7 月中旬(棉田花铃期阶段)虫口开始减退, 并陆续进入越冬场所。在山西长治地区和陕西岐山县, 7 月上旬始见成虫, 8 月下旬至 9 月上旬达到高峰期。

伊犁玉米田双斑长跗萤叶甲成虫种群动态曲线为单峰型。6 月上旬双斑长跗萤叶甲成虫种群在玉米田开始出现; 6 月下旬开始增长迅速; 并于 7 月中下旬玉米花粒期种群达到高峰, 此后开始逐渐呈下降趋势, 一直持续到 9 月中旬。双斑长跗萤叶甲成虫在新疆玉米田总体呈聚集分布。聚集原因主要是由该害虫自身的聚集习性和环境因素综合作用的结果(邹宁, 2024)。

采用田间系统调查和小区罩网接虫方法, 研究了不同虫口密度下大豆产量性状的变化规律。结果表明, 在长春地区, 双斑萤叶甲成虫在大豆田间发生危害的高峰期为 7 月 26 日到 8 月 22 日, 共 40d, 随着该害虫虫口密度上升, 大豆植株有效结荚数降低, 瘪荚率上升, 百粒重下降, 同时大豆的产量显著降低。大豆生产中使用有效药剂 2.5% 高效氯氟氰菊酯 EC(135mL/hm<sup>2</sup>) 和 90% 灭多威 DP(180g/hm<sup>2</sup>) 防治双斑萤叶甲时, 其经济危害允许水平分别为 2.81%、2.91%, 经济阈值分别为 193.63 头/百株和 199.47 头/百株(史树森等, 2017)。

哈尔滨地区大豆田双斑长跗萤叶甲田间始发期为 7 月初开始在大豆田出现, 盛发期为 7 月下旬到 8 月中旬, 8 月初到中旬达到高峰期(王宇等, 2023)。

齐齐哈尔市玉米田双斑长跗萤叶甲成虫羽化出土始见期在 7 月上中旬, 7 月下旬-8 月上旬为成虫羽化出土高峰期, 到 8 月下旬-9 月上旬只有少量的成虫羽化出土, 10 月上旬田间成虫消失(赵秀梅等, 2021)。

2012 年和 2013 年黑龙江 3 个地区双斑长跗萤叶甲发生趋势一致, 表现为 6 月底、7 月初成虫开始为害, 8 月中下旬种群数量达到高峰期, 危害株率达 80%, 百株虫量达 625 头, 9 月中上旬开始消退(邵天玉等, 2014)。

### 1.1.4 防治方法

防治双斑长跗萤叶甲应根据虫情和农田环境, 采取农业防治、生物防治、物理防治和化学防治等综合防控措施。

#### 1.1.4.1 农业防治

9月下旬~10月中旬进行灌溉,增加土壤湿度,改变双斑长跗萤叶甲越冬卵的生存环境,压低越冬基数。棉花收割后,封冻前1个月深翻,能破坏双斑长跗萤叶甲卵生存的越冬环境,减少次年虫口密度。加强肥水的管理,促健苗、壮苗,同时增强棉花自身的抗虫能力。春季及时清除地边杂草,减少双斑长跗萤叶甲的早期寄主,减轻其在棉田中的危害。通过合理调整作物布局和品种搭配,减轻双斑长跗萤叶甲为害程度。

#### 1.1.4.2 物理防治

农田种植时,可在棉田周围种植一些双斑长跗萤叶甲喜食的花生、车轴草、丝瓜、玉米等作为诱集带,诱杀双斑长跗萤叶甲成虫。由于成虫有一定迁飞性,通过人工网捕,可降低了虫口数量。

#### 1.1.4.3 生物防治

双斑长跗萤叶甲的天敌主要有蠋敌、瓢虫、食蚜蝇、小蜂、蜘蛛、寄蝇、胡蜂、草蛉、螳螂等。其中蠋敌若虫、成虫均取食双斑长跗萤叶甲成虫,蠋敌成虫平均每天可取食双斑长跗萤叶甲成虫20头左右(陈静等,2007),应加以保护和利用该天敌。

#### 1.1.4.4 化学防治

杀虫剂可选用5%氟虫腈 SC 225.0 g/hm<sup>2</sup>、25%噻虫嗪 WG 225.0 g/hm<sup>2</sup>,兑水喷雾,或者4.5%高效氯氰菊酯悬浮剂1000倍或1.8%阿维菌素2500倍喷洒于叶面,对该叶甲均有较好的防治效果。

### 1.2 植物挥发性物质对植食性昆虫行为的调控机制

在长期进化过程中,食草昆虫与植物形成了特定的营养关系。植物组织不仅为昆虫提供生长所需的营养源,更成为其信息素合成前体的重要来源(钦俊德和王琛柱,2001)。不同昆虫对寄主植物表现出特异的取食偏好,这种选择行为主要依赖于植物释放的挥发性化学信号(陆宴辉等,2008)。值得注意的是,植物在释放引诱物质的同时,也会产生防御性次生代谢物以驱避昆虫取食(李欣和白素芬,2003)。解析这种化学对话机制,不仅能揭示植-虫互作本质,更为开发害虫行为调控剂提供理论支撑。

#### 1.2.1 植物源气味分子对昆虫行为的调控功能

植物自然释放的气味分子在昆虫生命活动中扮演多重角色。从寄主定位、求偶交配

到产卵选择, 这些挥发性信号构成昆虫行为决策的化学基础。如马铃薯甲虫通过叶片特征气味完成寄主识别(李鹏, 2012), 烟草甲虫则依赖特定挥发物进行空间定位(Mahroof and Phillips, 2007)。在繁殖阶段, 番石榴挥发物显著提升南美按实蝇雄虫求偶成功率(Bachmann et al., 2015), 而松墨天牛则利用萜烯类化合物协调交配行为(Fan and Sun, 2006)。产卵选择方面, 柑橘挥发物既能促进达摩凤蝶产卵(张庆贺和姬兰柱, 1994), 其幼叶气味又能引导潜叶蛾精准定位(曾鑫年等, 2003)。植物通过动态调节挥发物组成, 形成时空差异化的防御策略(桂连友等, 2004)。

### 1.2.2 虫害诱导挥发物的生态功能

植物受虫害胁迫后, 其挥发物组成发生显著改变, 形成特异性化学指纹。这种诱导型挥发物具有双重生态效应: 既可增强同种昆虫的聚集反应(Heath et al., 2002), 也能产生驱避信号。例如受损落叶松释放的化合物能有效驱离松毛虫(严善春等, 2007), 而水稻受害后产生的(E)-2-己烯醛和芳樟醇对褐飞虱具显著拒避作用(周强等, 2003)。更值得注意的是, 这类挥发物能作为“学求救信号”, 吸引天敌形成三级营养级互作。虫害诱导植物挥发物可吸引捕食性和寄生性天敌, 作为互利素, 对植食性昆虫天敌具有导向作用(莫圣书等, 2006; 蔡晓明等, 2008)。研究表明, 7种植物源挥发物可显著增强玉米田天敌聚集(苏建伟等, 2020), 而潜蝇茧蜂能精准识别受害南瓜植株(麻旭东, 2009)。

### 1.2.3 植物挥发物与昆虫信息素的协同效应

植物挥发物与昆虫信息素构成的化学生态网络, 调控着种间与种内通讯。二者协同作用可产生显著增效: 马铃薯叶甲聚集信息素与寄主挥发物联用显著提升诱捕效率(Dickens, 2006); 特定配比的芳樟醇复合物使雄虫引诱率提升至81.67%(李源等, 2010)。桉柳条叶甲信息素与绿叶气味协同后诱集效果提升4-6倍(Cossé et al., 2006)。在橘小实蝇防控中, 甲基丁香酚与氨气联用成功实现性别比例调控(Shelly et al., 2014)。这些发现为开发多靶点行为调控技术提供了新思路。

## 1.3 昆虫趋光性

昆虫趋光性是指昆虫对光源表现出定向移动行为的现象, 这一特性在进化中与昆虫的导航、觅食和繁殖密切相关。然而, 人工光源的广泛使用改变了昆虫的自然行为模式, 甚至影响生态系统平衡。近年来, 基于趋光性的害虫防治技术因其环保性受到关注。本文将从趋光性的波长与光强依赖性出发, 探讨其在昆虫防治中的应用。

### 1.3.1 波长对昆虫趋光性的影响

昆虫的复眼结构使其对不同波长的光敏感度差异显著，其中紫外光（UV）和短波可见光是主要趋性波段。

多数夜行性昆虫（如鳞翅目蛾类）对紫外光敏感。例如，棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 365 nm 紫外线趋性最强，黑光灯（波长 320-400 nm）因此被广泛用于农业诱捕(Ceng et al., 2017)鞘翅目昆虫如金龟子对 520 nm 绿光表现出高趋性，而双翅目的蚊虫则易被 460 nm 蓝光吸引(Shimoda & Honda, 2013)。LED 技术的进步使得特定波长光源可针对目标害虫进行精准诱杀。红光（>600 nm）对多数昆虫吸引力较弱，可能与昆虫光感受器的敏感范围有关(Van Langevelde et al., 2011)。

### 1.3.2 光强对昆虫趋光性的影响

光强是决定趋光行为的关键因素，其效应呈非线性关系，且存在种间差异。

夜行性昆虫通常在低光强（0.1-10 lux）下活动，例如蛾类在月光条件下（约 0.1 lux）趋光性增强。人工光源的光强过高（如>100 lux）可能导致昆虫逃避反应(Nowinszky, 2003)。光源的有效诱捕距离与其光强正相关，但过强的光会缩小有效作用范围。例如，频振式杀虫灯通过动态调节光强（如 5-15 lux）提升诱捕效率(Barghini & de Medeiros, 2012)。

### 1.3.3 趋光性在昆虫防治中的应用

基于趋光性的防治工具已从传统黑光灯发展为智能化设备，但其应用需权衡效果与生态影响。

针对目标害虫选择特定波长。如日本采用 365 nm UV-LED 结合性信息素诱杀亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*，减少化学农药使用(Shimoda & Honda, 2013)。在稻田中，光强设为 10-30 lux 的 LED 灯可有效吸引二化螟 *Chilo suppressalis*，同时避免干扰天敌昆虫(Cheng et al., 2017)。非目标昆虫（如传粉者）可能被误杀。研究表明，将灯光调整为 520 nm 绿光可选择性诱杀金龟子，而对蜜蜂影响较小(Brennan, 2016)。利用光敏传感器和定时系统，仅在害虫活动高峰期（如黄昏）开启光源，并结合气象数据动态调节参数，进一步提升防治效率。

昆虫趋光性研究为绿色防治提供了重要依据。未来需结合昆虫视觉生理学与生态学，开发波长-光强自适应光源，并评估长期应用的生态风险，以实现可持续农业管理。

## 1.4 诱捕装置对诱集昆虫的影响