葡萄花翅小卷蛾对不同波长单色光的选择性测定*

阿不都拉·艾克拜尔[1,2**] 阿地力·沙塔尔[1***]

(1. 新疆农业大学林学与风景园林学院，乌鲁木齐 830052；2. 新疆林业科学院森林生态研究所，乌鲁木齐 830092)

摘 要 【**目的**】为制定葡萄花翅小卷蛾 *Lobesia botrana* 灯光诱杀技术提供科学依据。【**方法**】从蛾类昆虫趋光性研究入手进行试验，对不同波段的单色光进行筛选，选出了葡萄花翅小卷蛾敏感波段。【**结果**】葡萄花翅小卷蛾对 390 nm 的单色光最敏感。从初次和二次筛选结果来看，390 nm 的单色光对葡萄花翅小卷蛾的诱捕量最大，420 nm 次之（P>0.05）。由诱虫灯和性信息素效果对比来看，灯光诱捕量显著大于性信息素诱捕量。390 nm 诱虫灯诱捕量最大，为 801 头，平均诱捕量为 12.14 头，其次为 420 nm，两者间无显著差异（P>0.05）。性引诱剂的诱捕总量为 573 头，平均诱捕量为 12.14 头，与上述两种诱虫灯均存在显著差异（P<0.05）。【**结论**】葡萄花翅小卷蛾对 390 nm 的单色光敏感性最强。

关键词 葡萄花翅小卷蛾；单色光；性信息素；选择性测定

Ttractiveness of monochromatic light of different wavelengths to *Lobesia botrana*

Abdulla·Ekber[1,2**] Adil·Sattar[1***]

(1. Institute of Forest Ecology of Xinjiang Forestry Sciences Academy, Urumqi 830052, China;
2. Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830092, China)

Abstract **[Aim]** To provide a scientific basis for improving light-trapping technology for *Lobesia botrana*. **[Methods]** Monochromatic lights of different wavelengths were screened, and the wavelength to which *Spodoptera litura* were most sensitive was selected. **[Results]** *L. botrana* was most sensitive to 390 nm monochromatic light. The highest total number of insects (801 ind.), and highest average number (12.14 ind.), were trapped using 390 nm monochromatic light traps, followed by 420 nm traps, but the difference between these wavelengths was not significant (P>0.05). In comparison, the total number trapped using pheromone traps was 573 (average 12.14 ind.), which was significantly less than were trapped using the above two kinds of monochromatic light (P < 0.05). **[Conclusion]** Monochromatic light of 390 nm are effective for trapping *L. botrana*.

Key words *Lobesia botrana* ; monochromatic light; sex pheromone; selective determination

昆虫的趋光性是多种昆虫常见的基本生理特性，具有该特性的昆虫对特定波长、强度的光线具有敏感性，原因是昆虫的复眼或单眼内含有对特定范围光谱敏感的视觉细胞，视觉细胞膜上存在跨膜视蛋白和载色体，二者共同构成感光色素，感光色素的光谱吸收性很大程度上决定了感光细胞的光谱敏感性（李耀发等，2011）。

侯无危等（1994）用 333、350、375、383 和 405 nm 的 5 种单色光，测定了桃小食心虫 *Carposina niponensis* 对它们的趋性，结果发现桃小食心虫对 350 nm 的单色光趋性最强。2010 年，王明明（2010）用白、红、黄、绿、蓝 5 种光波的 LED 对小菜蛾进行了趋光行为测试实验，结果显示小菜蛾对蓝光的趋光率达到最大值，为

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划项目“新发/重大入侵物种智能精准监测与应急灭除技术”（2022YFC2601401）
**第一作者 First author，E-mail：abdl1208@126.com
***通讯作者 Corresponding author，E-mail：adl1968@126.com
收稿日期 Received：2022-11-08；接受日期 Accepted：2023-06-01

31.2%。蒋攀（2017）研究不同波长的单波杀虫灯对作物害虫诱杀效果，对准确高效诱杀作物害虫保护天敌具有重要意义。

葡萄花翅小卷蛾 *Lobesia botrana* 属于鳞翅目（Lepidoptera），卷蛾科（Tortricidae）。葡萄花翅小卷蛾 *Lobesia botrana*（Denis and Schiffermüller，1775）是葡萄产区重要害虫，其原产地为意大利，现在该害虫已经传到整个欧洲、非洲北部和西部、中东地区、中亚、美国部分地区以及南美洲的阿根廷及智利。2014 年 6 月重大检疫性外来有害生物葡萄花翅小卷蛾在我国吐鲁番首次被发现，以幼虫取食葡萄浆果，以引发葡萄果实大面积腐烂的方式，给当地的葡萄产业带来了巨大的危害。据当地林业局数据显示，仅 2016 年，对吐鲁番市的葡萄产业造成的经济损失达 4 480 万元，葡萄花翅小卷蛾发生区域葡萄产量损失 20%-50%，严重区域甚至绝收。葡萄花翅小卷蛾的发生严重影响着吐鲁番市葡萄产业的发展，如果对其不加以严格防控任由其继续扩散蔓延，将对全疆乃至全国的葡萄产业造成潜在的威胁。

由国内外研究者对鳞翅目昆虫趋光性研究来看，大多数鳞翅目害虫对紫外光区和紫光区比较敏感，即对 330-400 nm 波段的光波较敏感。可是目前，国内外尚未报道有关葡萄花翅小卷蛾灯光诱集方面的研究。灯光诱杀是一种高效环保的害虫防治方法，具有延缓害虫抗药性、降低防治成本和对环境污染小等特点。对于鳞翅目害虫的诱杀而言，性引诱剂只能诱捕雄虫，而杀虫灯还能够诱杀雌虫，直接降低田间落卵量（郭虹等，2012）。

本试验在大田中利用太阳能诱虫灯对葡萄花翅小卷蛾的单色光波长进行了两次筛选，并将太阳能诱虫灯与性引诱剂对葡萄花翅小卷蛾的引诱效果进行了对比，为有效监测和防控葡萄花翅小卷蛾提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地 1：试验样地位于高昌区葡萄镇巴格日社区（42.96°E，89.21°N），海拔高度为 54 m。葡萄果园相对独立，种植模式为小棚架式，棚架高度为 2 m，株行距为 1.5 m×4.5 m，面积为 10 hm^2，种植年限为 10 年左右，主要品种为无核白。管理粗放，园中杂草丛生，棚架密不透风，属于葡萄花翅小卷蛾中度发生区。

试验地 2：试验样地位于高昌区恰特克勒乡拜什巴拉村（42.88°E，89.28°N），海拔高度为 - 55 m。其他环境条件与试验地 1 基本一致，属于葡萄花翅小卷蛾重度发生区。

1.2 试验材料

仪器设备：水盆式灯架（深圳市富巍盛科技有限公司）、太阳能便携式灯架（深圳市富巍盛科技有限公司）、水盆、6 W 的 LED 灯泡（深圳市富巍盛科技有限公司）(波长为：365、390、405、420、430、565、585 和 655 nm、LED 白光灯)、三角型诱捕器（北京市中捷四方生物科技有限公司）、葡萄花翅小卷蛾性诱芯（北京市中捷四方生物科技有限公司）、粘虫板（北京市中捷四方生物科技有限公司）。

1.3 试验方法

1.3.1 葡萄花翅小卷蛾敏感波长初次筛选 选取 3 块样地，将每块试验样地均匀的分为 3 块，将 9 种不同波长的灯随机放置在葡萄园内，灯泡距地面高度为 1.5 m，各灯相隔 200 m 左右，每晚 8:30 左右自动开灯，早晨自动关灯。波长分别为 365、390、405、420、430、565、585 和 655 nm 以及白炽灯共 27 盏诱虫灯，重复 3 次，连续观察 21 d，统计引诱到的成虫数量。

1.3.2 葡萄花翅小卷蛾敏感波长二次筛选 针对波长初次筛选中对葡萄花翅小卷蛾诱集效果较好的几种波长进行二次筛选。将每块试验样地均匀的分为 3 块，将 5 种不同波长的灯随机放置在葡萄园内，灯泡距地面高度为 1.5 m，各灯相隔 200 m 左右，每晚 8:30 左右自动开灯，早晨自动关灯。波长分别为 390、405、420 和 430 nm 和白炽灯共 15 盏诱虫灯，其他试验操作与 1.3.1 相同，连续观察 23 d，统计引诱到的成虫数量。

1.3.3 诱虫灯与性引诱剂对葡萄花翅小卷蛾的

引诱效果对比　选取一块相对独立的葡萄园作为试验地，将试验地均匀的划分成 3 块样地，将 390 和 420 nm 两种波长的诱虫灯与诱捕器悬挂（或安置）在样地中，灯泡距地面高度为 1.5 m，各灯相隔 200 m 左右，每晚 8:30 左右自动开灯，早晨自动关灯；诱捕器的悬挂高度为 1.5 m，诱捕器之间的距离为 15 m。重复 3 次，连续观察 9 d，统计引诱到的成虫数量。

1.4　数据分析

数据收集与整理以及图表的绘制均采用 Microsoft Office Excel 2010 办公软件完成，数据分析借助 SPASS 17.0 分析工具进行描述性统计分析及方差分析。

2　结果与分析

2.1　葡萄花翅小卷蛾敏感波长初次筛选

如表 1 所示，单因素方差分析表明 7 种波长的诱虫灯对葡萄花翅小卷蛾的引诱效果差异不显著（P>0.05），从诱捕数量来看，430 和 405 nm 的单色光波长对葡萄花翅小卷蛾的引诱效果较好，平均诱捕量分别为 0.48 和 0.45 头/台，单日最高诱捕量分别为 5 和 2 头/台，诱捕总量分别为 20 和 19 头。其次为白炽灯，平均诱捕量为 0.28 头/只，单日最高诱捕量为 3 头/台，诱捕总量 12 头。其它单色光波长的诱虫灯引诱效果较差。由此可见，葡萄花翅小卷蛾对 405- 430 nm 的单色光波长较敏感，是其他单色光引诱数量的 4.75-20 倍，是复合光波长的 1.6 倍，说明葡萄花翅小卷蛾对单色光的趋性更强，且更趋向于蓝紫色光。为了分析其它波段的灯与 LED 白色光诱捕量之间的关系，通过 T 检验进行分析。如表 2 所示，白色光的诱捕量与 365、565、585 和 655 nm 的诱虫灯存在显著差异（P<0.05），与 405 和 430 nm 差异不显著（P>0.05）。

2.2　葡萄花翅小卷蛾敏感波长二次筛选

根据表 1 和表 2 结果，将波长进一步细化为 390、405、420、430 nm 和 LED 白光灯。如表 2 所示，分别在两个时间段内选取两个地点进行不同波长的单色光灯对葡萄花翅小卷蛾引诱效果的对比试验。5 月份在一号试验地波长为 390 nm 的诱虫灯对葡萄花翅小卷蛾的引诱效果较好，平均诱捕量为 3.67 头/台，单日最高诱捕量为 2 头/台，诱捕总量为 11 头。波长为 420 nm 的诱虫灯的引诱效果次之，405 和 430 nm 的单色光以及白炽灯的复合光的引诱效果较差，由此可见，葡萄花翅小卷蛾对 390 nm 的单色光更敏感，其对葡萄花翅小卷蛾的引诱数量是 405 和 430 nm 单色光的 5.5-11 倍，是复合光的 2.75 倍。7 月二号样地波长为 390 和 420 nm 的单色光诱虫灯对葡萄花翅小卷蛾的引诱效果相同，两者之间无显著差异（P>0.05），平均诱捕量为 7.67 头/台，单日最高诱捕量分别为 3 和 4 头/台，诱捕总量为 23 头，但两者与其他波长的单色光差异显著

表 1　葡萄花翅小卷蛾敏感波长初次筛选

Table 1　First screening of *Lobesia botrana* sensitive wavelength

波长 Wave length	平均诱捕量（头/台） Average trapping (ind./light)	单日最高诱捕量（头/台） Maximum daily trapping (ind./light)	单日平均诱捕量（头/台） Average daily trapping (ind./light)	诱捕总量（头） Total trapping amout (ind.)
365 nm	0.075±0.02	2	0.12	5
405 nm	0.355±0.14	2	0.45	19
430 nm	0.450±0.18	5	0.48	20
565 nm	0.025±0.00	1	0.02	1
585 nm	0.095±0.05	1	0.10	4
665 nm	0.075±0.01	1	0.07	3
LED 白光灯 LED white light	0.285±0.19	3	0.28	12

表 2 LED 白光灯分别与其他单色光的诱捕量对比

Table 2 The respective contrast between LED white light and other wavelength

LED 白光灯波长（nm） LED white light (nm)	平均诱捕量（头/台） Average trapping (ind./light)	*T* 值 *T*-value	*P* 值 *P*-value
365	0.285±0.19 a	2.122	0.031
	0.075±0.02 b		
405	0.285±0.19 a	1.273	0.250
	0.355±0.14 a		
430	0.285±0.19 a	1.611	0.125
	0.450±0.18 a		
565	0.285±0.19 a	2.244	0.028
	0.025±0.00 b		
585	0.285±0.19 a	2.024	0.050
	0.095±0.05 b		
655	0.285±0.19 a	2.122	0.031
	0.075±0.01 b		

数据后标有不同字母表示各波长光源各自分别跟 LED 白光的差异显著（$P<0.05$，*T* 检验）。

Data followed by different letters indicate significant difference between other lights and LED white light ($P<0.05$，*T*-test).

表 3 不同波长的单色光灯对葡萄花翅小卷蛾引诱效果对比

Table 3 Wavelength screening and comparison of solar insecticidal lamps at different time and sites

波长 Wave length	一号样地（5 月） Sample site 1 (May)			二号样地（7 月） Sample site 2 (July)		
	平均诱捕量（头/台） Average rapping (ind./light)	单日最高诱捕量（头/台） Maximum daily trapping (ind./light)	诱捕总量（头） Total trap (ind.)	平均诱捕量（头/台） Average trapping (amount/ light) (ind./light)	单日最高诱捕量（头/台） Maximum daily trapping (amount/light) (ind./light)	诱捕总量（头） Total trapping (ind.)
390 nm	3.67±0.07 a	2	11	7. 67±1.54 a	3	23
405 nm	0.67±0.05 a	1	2	2. 67±0.22 b	2	8
420 nm	3.33±0.08 a	2	10	7. 67±0.38 ab	4	23
430 nm	0.00±0.00 a	0	0	2. 67±0.26 b	3	8
LED 白光灯 LED white light	1.33±0.05 a	4	4	1. 67±0.25 b	3	5

（$P<0.05$）。从两次试验结果来看，波长为 390 和 420 nm 的单色光诱虫灯对葡萄花翅小卷蛾的引诱效果较好。本次试验中，两个时间段内引诱到的成虫数量存在很大差异，这与两个时间段内的葡萄花翅小卷蛾虫口密度有关。由于有关部门在越冬代对葡萄花翅小卷蛾进行了严格防治，导致 5 月第 1 代成虫期虫口数量很低。7 月随着葡萄果实成熟防治力度降低，导致第 3 代虫口数量反弹，虫口密度增加。

2.3 诱虫灯与性引诱剂对葡萄花翅小卷蛾的引诱效果对比

选取葡萄花翅小卷蛾最敏感的两种单色光波长 390 和 420 nm 的诱虫灯安装在恰乡拜什巴拉村的葡萄园，同时悬挂葡萄花翅小卷蛾三角型诱捕器（配合葡萄花翅小卷蛾性诱芯使用），二者通过对葡萄花翅小卷蛾的诱集数量进行对比。结果由表 3 所示，波长为 390 nm 的单色光诱虫

灯对葡萄花翅小卷蛾的引诱效果较好，平均诱捕量为 267 头/只，单日最高诱捕量分别为 64 头/台，诱捕总量为 801 头；而性引诱剂的平均诱捕量为 95.5 头/台，单日最高诱捕量分别为 25 头/台，诱捕总量为 573 头，二者之间存在显著性差异（$P<0.05$）。可见，390 nm 的单色光诱虫灯对葡萄花翅小卷蛾的诱捕总量、平均诱捕量是性引诱剂的 1.4 倍。诱虫灯受到外界的影响因素较少，可持续使用；而性引诱剂则会受到温度、挥发速度、载体等多种因素的影响，导致引诱效果下降。至于此时诱虫灯的诱捕量远高于前期的诱捕量，这很有可能跟寄主、虫口密度有关系。此阶段的试验在八月份开展。葡萄花翅小卷蛾第 3 代成虫发生期为 7 月底至 8 月中旬，8 月份吐鲁番葡萄大部分采摘完，寄主的减少和防治力度的减弱导致诱虫灯诱捕量增加。

表 4　诱虫灯与性引诱剂对葡萄花翅小卷蛾的引诱效果对比

Table 4　The effect of insecticidal lamp and sex attractant on the attraction of *Lobesia botrana*

两种诱捕方法对比 Comparison between diferent trappings	平均诱捕量（头/台） Average trapping (ind./light)	单日最高诱捕量（头/台） Maximum daily trapping (ind./light)	单日平均诱捕量（头/台） Average daily trapping (ind./light)	诱捕总量（头） Total trapping (ind.)
390 nm	267.1±5.03 a	64	12.14	801
420 nm	249.7±3.11 a	40	11.35	749
性引诱剂 Sex attractant	95.5±0.77 b	25	4.34	573

同列数据后不同字母表示差异显著（$P<0.05$，单因素方差分析）。

Data followed by different letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$, one-way ANOVA).

3　讨论

研究昆虫对不同波长及光强度的单色光的反应可以筛选出对昆虫敏感的波长的单色光而昆虫的趋光性与对光的敏感度有关（靖湘峰和雷朝亮，2004）。杀虫灯的波长一般为 330-380 nm，中心峰值约 360 nm，大多数农林害虫对此波长具有较高的敏感性，实际生产中多使用波长为 365 nm 的杀虫灯（郭虹等，2012）。众多研究证实，相隔很近的波长对一些昆虫的吸引也有差异。丁岩钦和高慰曾（1974）对棉铃虫和烟青虫进行了 13 种单色光的行为选择实验。在紫外光谱内反应率较高的波长为 333 和 383 nm，而在可见光范围内对 405 nm 的单色光反应率较高，但对 405 nm 的反应率低于各紫外光。魏国树等（2000）的研究则表明在 340-605 nm 波谱范围内棉铃虫光反应的峰值从大到小依次为 483、340、400 和 538 nm，并且反应强度随光强度的增强而增强。陈惠祥等（1999）研究表明棉铃虫的确对短光波趋性较强，与本试验结果一致。

昆虫的视觉器官是昆虫产生趋光性的主要原因，国内外学者根据这一原理，对农林业生产中的重要害虫不同波长的趋光行为进行了深入细致的研究，并从试验中筛选出了吸引害虫的高效专一光波。本研究确定了两种葡萄花翅小卷蛾专一性强的单色光波长。根据表 4 已知，390 nm 的太阳能诱虫灯对葡萄花翅小卷蛾的引诱效果最好，在虫口密度较高时，对葡萄花翅小卷蛾的平均诱捕量为 12.14 头/台，单日最高诱捕量为 64 头/台，诱捕总量为 801 头，较表 1 中 390 nm 的太阳能诱虫灯的诱蛾量之间存在很大差异，经分析发现，表 4 中同种波长的太阳能诱虫灯由于所处试验选择的试验地不同，虫口密度不同，导致引诱数量之间存在差异。

郭峰等（2020）研究橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 发生规律、趋光行为、不同诱集方法包括杀虫灯,引诱剂及杀虫灯与引诱剂组合使用对橘小实蝇成虫的诱捕效果，结果表明性引诱剂的诱捕量大于杀虫的的诱捕量。刘玉峰（2014）从梨小食心虫最佳监测措施筛选的角度出发，对比了性引诱剂、糖醋液、黑光灯对梨小食心虫的监测效果，结果表明性引诱剂对梨小食心虫的监测

效果最好，其次为糖醋液，黑光灯的效果最差。这与本研究的结果存在一定差异，本研究中 390 和 420 nm 两种波长的诱虫灯对葡萄花翅小卷蛾的引诱效果远远高于性引诱剂且与之存在显著性差异。这有可能是因为黑光灯的光谱较广，专一性不强的原因有关，本研究中使用的是单色光诱虫灯，专一性强，同时不同昆虫可能对光和性引诱剂存在不同的反应，因此出现试验结果上的差异，这有待于继续研究。刘寿明等（2022）研究表明，对于甜菜夜蛾而言灯光诱杀效果较性信息素好，该结果与本试验结果吻合。

参考文献 (References)

Chen HX, Zhou JR, Chen XB, Gu GH, 1999. Study on phototactic response of *Helicoverpa armigera* to light sources with different wavelengths. *Jiangxi Cottons*, 21(5): 16–18. [陈惠祥, 周建荣, 陈小波, 顾国华, 1999. 棉铃虫对不同波长光源趋光反应的研究. 江西棉花, 21(5): 16–18.]

Denis M, Schi-ermüller, 1775. Ankündung eines Systematischen Werkes von den Schmetterlingen der Wienergegend. Wien: Augustin Bernardi. 323.

Ding YQ, Gao WZ, 1974. Study on the phototactic behaviour of nocturnal moths the response of *Hiliothis armigera* (H ü bner) and *Heliothis assulta* Guenee to different monochromatic light. *Acta Entomology Sinica*, 17(3): 307–317. [丁岩钦，高慰曾. 1974. 夜蛾趋光特性的研究: 棉铃虫和烟青虫成虫对单色光的反应. 昆虫学报, 17(3): 307–316.]

Guo F, Zhao RN, Yao MY, 2020. The trapping effect of combined using insecticidal lamp and attractant against *Actinidia chinens* is *Bactrocera dorsalis*. *China Plant Protection*, 40(10): 56–59. [郭峰, 赵如娜, 姚明勇, 2020. 杀虫灯与引诱剂组合使用对猕猴桃橘小实蝇的诱捕效果. 中国植保导刊, 40(10): 56–59.]

Guo H, Han XH, Xu ZC, 2012. Effect comparison of different wavelengths insecticidal lamps in lepidopteran pests trapping. *Shanxi Agricultural Science*, 40(2): 146–149. [郭虹, 韩献华, 许志春, 2012. 不同波长杀虫灯对鳞翅目害虫的诱杀效果. 山西农业科学, 40(2): 146–149.]

Hou WW, Ma YF, Gao WZ, Li SW, Yang ZJ, 1994. A study on the phototaxis of the peach fruit moth. *Acta Entomology Sinica*, 37(2): 165–170. [侯无危, 马幼飞, 高慰曾, 李世文, 杨自军. 1994. 桃小食心虫蛾的趋光性. 昆虫学报, 37(2): 165– 170.]

Jiang P, 2017. Research on effectiveness of insect-trap by LED single wave trap lamp and effect of seed coating on soil insects control in maize field. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Normal University. [蒋攀, 2017. LED 单波杀虫灯诱杀效果及种衣剂对玉米地下害虫的防治效果研究. 硕士学位论文. 福州: 福建师范大学.]

Jing XF, Lei CL, 2004. Advances in research on phototaxis of insects and the mechanism. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41(3): 198–203. [靖湘峰, 雷朝亮, 2004. 昆虫趋光性及其机理的研究进展. 昆虫知识, 41(3): 198–203.]

Liu TM, Tan FJ, Zhou CA, 2022. Effect of sex pheromone on trapping adults of *Spodoptera exigua* by light. *Hunan Agricultural Sciences*, 2022(3): 64–66, 75. [刘寿明, 谭放军, 周程爱, 2022. 性信息素对灯光诱捕甜菜夜蛾效果的影响. 湖南农业科学, 2022(3): 64–66, 75.]

Liu YF, 2014. Comparison of the effect of monitoring measures for the adult population of *Grapholita molesta* busck and research oil the monitoring mechanism of sex pheromone. Master dissertation. Baoding: Hebei Agricultural University. [刘玉峰. 2014. 梨小食心虫成虫种群监测措施效果比较及其性性信息素监测机制的研究. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.]

Li YF, Gao ZL, Dang ZH, Wang JQ, Yang JK, Pan WL, 2011. Determination of sensitive band ranges of *Apolygus lucorum* Meyer-d ü r. *Hebei Agricultural Science*, 15(5): 57–60. [李耀发, 高占林, 党志红, 王吉强, 杨继坤, 潘文亮, 2011. 绿盲蝽对不同波段光谱选择性的初步测定. 河北农业科学, 15(5): 57–60.]

Wang MM, 2010. Effects of magnetic field and LED (light emitting diode) illumination on biological characters of the diamondback moth, *Plutella xylosetella* L. Master dissertation. Yangzhou: Yangzhou University. [王明明, 2010. 磁场和 LED 光照对小菜蛾生物学特性的影响. 硕士学位论文. 扬州大学.]

Wei GS, Zhang QW, Zhou MZ, Wu WG, 2000. Studies on the phototaxis of *Helicoverpa armigera* (H ü bner). *Acta Biophysica Sinica*, 16(1): 89–95. [魏国树, 张青文, 周明牂, 吴卫国, 2000. 不同光波及光强度下棉铃虫成虫的行为反应. 生物物理学报, 16(1): 89–95.]