

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.01.015

苹小吉丁对不同单色光及波长的趋性研究

卡德艳·卡德尔¹, 彭彬¹, 马志龙¹, 阿地力·沙塔尔^{1*},
赵文霞²

(1. 新疆农业大学林学与园艺学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;

2. 中国林科院森林生态与保护研究所, 国家林业局森林保护学重点实验室, 北京 100091)

摘要: [目的] 为有效地监测苹小吉丁林间发生动态, 寻找无公害防治的新途径。[方法] 本研究首先在室内利用 5 种波长单色光对苹小吉丁进行了敏感波长的选择性试验, 然后在野外苹果园内悬挂 9 种波长粘虫板对苹小吉丁进行了诱集对比试验。[结果] 室内试验结果表明, 苹小吉丁对 5 种波长单色光具有不同程度的趋性, 依次为: 530 nm>590 nm>450 nm>380 nm>650 nm, 雌虫的趋光反应率显著高于雄虫。从光强度试验结果来看, 苹小吉丁对 5 种单色光的趋性随着光强的增强而增高。从林间诱集试验结果来看, 9 种波长粘虫板对苹小吉丁诱集效果有一定的差异, 其中绿色 (550 nm) 和蛋黄色 (580 nm) 粘虫板对苹小吉丁的诱集效果最好, 3 d 最大诱捕量分别达到 7 头·张⁻¹、6 头·张⁻¹, 单位时间平均诱捕数量分别为 2.86 头·张⁻¹、2.70 头·张⁻¹; 对紫色和红色粘虫板趋性最弱。[结论] 苹小吉丁对 530~590 nm 范围内的波长比较敏感。波长为 550~590 nm 粘虫板可作为苹小吉丁林间种群动态观测十分有效的手段。

关键词: 苹小吉丁; 单色光; 趋光反应率; 粘虫板; 引诱效果

中图分类号: S763.306

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2020)01-0113-10

塞威氏苹果 (*Malus sieversii* (Ldb.) Roem.) 属第三纪孑遗植物, 是林果产业可持续发展的重要天然种质资源, 同时也是世界野苹果基因库的重要组成部分^[1]。伊犁天山野果林是中亚天山野果林的重要组成部分, 也是伊犁河谷最具特色的重要组成部分, 已被列入中国优先保护生态系统名录^[2]。在伊犁天山野果林中, 塞威氏苹果群落是其最主要的群落类型, 是中国濒危二级重点保护植物^[3], 具有重要的科研价值。

苹小吉丁 (*Agrilus mali* Mastumura) 于 1993 年在新疆西天山野果林中首次发现以来, 不断蔓延, 致使天山野果林面临毁灭性的灾难^[4]。为有效控制苹小吉丁危害, 我国诸多学者已开展了苹小吉丁生活史^[5-6]及防治^[7-10]等方面的研究。然而, 目前针

对苹小吉丁的防治措施仍然局限于人工修枝、伐除枯死木等营林措施和树干注药、成虫期喷洒化学药剂等, 局部地区在一定程度上降低了防治区的虫口密度, 但是由于野果林受害面积大, 地形复杂, 并且苹小吉丁以幼虫在树皮皮下蛀食危害, 现有的防治方法在野果林中很难大面积实施。因此, 苹小吉丁危害逐渐加重的趋势仍未能得到有效遏制。

及时、准确地掌握害虫在林间的发生动态, 做好监测, 在控制害虫中具有十分重要的作用。利用害虫的趋性是做好这项工作非常有效的手段之一。昆虫趋光性 (Phototaxis) 是指昆虫对特定的光源作出的趋向反应, 是众多昆虫最为普遍和重要的趋性之一, 也是其在自然选择和适应进化过程中形成的主要生物学特性之一。昆虫趋光性对昆虫定向导

收稿日期: 2019-03-21 修回日期: 2019-04-08

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0501503)

* 通讯作者: 阿地力·沙塔尔, 教授, E-mail: adl1968@126.com

航、寻找寄主和食物、扩散、交配及躲避天敌等具有重要作用和意义^[11-17],利用昆虫趋光性进行害虫监测和诱杀^[14],是害虫测报及行为调控技术的重要组成部分。昆虫对颜色的趋性是昆虫的主要趋性之一,利用昆虫对色彩的趋性防控害虫一直是人们研究的热门领域^[15-16],并且利用色差仪来测色板的L*、a*、b*值,准确的表示出一个颜色的点。迄今为止,国内已有专家开展了苹小吉丁的趋光性、趋色性方面的探索。刘爱华^[11]在野果林悬挂杀虫灯以及白炽灯、紫光灯,但未诱集到苹小吉丁。托肯^[18]在野果林中离地面2 m处悬挂频振式杀虫灯诱集到了包括苹小吉丁在内的多种鞘翅目昆虫。王智勇^[13]设计了10种颜色粘虫板对苹小吉丁的引诱试验,结果表明黄色和白色粘虫板的诱集效果显著高于其它8种颜色粘虫板。

为进一步明确苹小吉丁敏感波长,提高诱集效率,探索林间应用,本研究结合室内敏感波长选择性试验和林间诱集测试,筛选诱集苹小吉丁的最适波长和最佳色板,旨在为苹小吉丁虫田间种群发生动态监测和防治提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

在新疆伊犁哈萨克自治州巩留县境内综合农场、库尔德宁镇等地分别选择立地条件和管理方式不同的3块野苹果林作为试验地。试验地具体情况如下:

1号试验地:库尔德宁镇吉尔格朗河河滩天然野苹果林(43°8'53"N, 82°30'49"E,海拔为1192 m)。面积为2 hm²,树龄为20~40年生,河滩野苹果林呈野生混交状态,林分内除野苹果外,还自然分布有野杏、榆树、欧洲山杨等乔木。通过当年调查发现,此块地苹小吉丁虫口密度为2.98头·m⁻¹。

2号试验地:巩留县综合农场人工栽培苹果园(43°16'6"N, 82°5'36"E,海拔为786 m)。面积为2 hm²,株行距为3 m×5 m,树龄为8~10年生,果园种植模式为苹果树套种苜蓿,未对苹果园进行任何管理措施,通过当年调查发现,此块地苹小吉丁虫口密度为3.02头·m⁻¹。

3号试验地:库尔德宁萨哈山区天然野苹果林纯林(43°15'43.76"N, 82°51'12.69"E,海拔为

1306 m)。面积为4 hm²,树龄为50~60年生,通过当年调查发现,苹小吉丁虫口密度为2.26头·m⁻¹。

1.2 试验仪器与材料

1.2.1 室内供试材料 试虫于2018年7月采自巩留县综合农场人工栽培苹果园。采用昆虫波长选择器^[19],该波长选择器由5个能放射出不同波段光谱的“角”组成,该仪器可同时测定5种不同波长光谱对苹小吉丁的引诱或驱避作用。黑色避光布、温湿度计。滤光片(北京波维特科技有限公司生产),滤光片(详见表1)。

表1 滤光片光学性质
Table 1 Filter optical properties

光源 Light	波长 Wavelength/ nm	中心波长 Central wavelength/nm	半高宽 Half- width/mm	透射率 Transmittance/%
紫色 Purple	380	378	28	94.67
蓝色 Blue	450	450	26	93.80
绿色 Green	530	531	27	92.72
黄色 Yellow	590	589	31	87.21
红色 Red	650	649	26	93.76

1.2.2 野外试验供试材料 色板(彩色PVC板),规格为26 cm×26 cm,颜色分别为紫色、绿色、金黄色、麦黄色、蛋黄色、橘黄色、橙黄色、橙红色、红色(均由北京中捷四方生物技术股份有限公司生产)。

1.3 试验方法

1.3.1 不同颜色粘虫板波长测定 在中粮屯河昌吉番茄制品有限公司采用Lab Scan XE色差仪,在普通白光条件下对各种颜色粘虫板的波长和L*(明亮度)、a*(红绿色)、b*(黄蓝色)进行测定。

1.3.2 苹小吉丁敏感光谱室内测试 首先利用黑色避光布将昆虫波长选择器内部封闭,避免外界光进入内部。分别选取380 nm、450 nm、530 nm、590 nm、650 nm等5种滤光片置于昆虫波长选择器中(长50 cm×宽12 cm×高12 cm),将各个光源强度调至0.58 lux。选择日龄相近的苹果小吉丁成虫50头,放置于饲养盒中,使试虫暗条件下适应60 min,在暗条件下,将试虫置于供试的昆虫波长选择器中,盖上盖子同时将试验光源打开,光照时长为20 min,并利用温湿度计测试该时间段的环境温湿度(T为29℃左右,RH为36%)。每次试验完毕分别统计雌雄虫引诱数量。每组试验用虫

50头(25头雌虫、25头雄虫)重复5次, 总共用虫为250头。

1.3.3 不同光强下苹小吉丁对5种单色光趋性测试

取苹小吉丁成虫50头置于昆虫波长选择器中, 以紫色(380 nm)、蓝色(450 nm)、绿色(530 nm)、黄色(590 nm)、红色(650 nm)等5种单色光作为光源, 分别测定苹小吉丁对不同光照强度的趋光反应率(光强度分别为0.58 lux、1.53 lux、2.38 lux)。每次照射时长为20 min, 并分别统计苹小吉丁虫引诱数量。每组试验用虫50头(25头雌虫、25头雄虫), 重复5次, 总共用虫为750头。

1.3.4 不同时间段苹小吉丁趋光节律测试 从光强度试验发现, 2.38 lux光强度下苹小吉丁趋光反应率较高, 因此光强度调至为2.38 lux。取苹小吉丁50头置于昆虫波长选择器中, 以紫色(380 nm)、蓝色(450 nm)、绿色(530 nm)、黄色(590 nm)、红色(650 nm)等5种单色光作为光源, 由于实验条件的限制, 一天中设置9个时间段, 即分别为10:00、12:00、14:00、16:00、18:00、20:00、22:00、24:00、2:00, 光照时长为20 min, 统计苹小吉丁引诱数量, 并记录每一个时间段的温度与相对湿度。每个时间段供试虫数为50头(25头雌虫、25头雄虫), 重复3次, 总共用虫为1350头。

1.3.5 苹小吉丁敏感色板林间测试 于2018年7月中旬开始在3块试验地内共设紫色、绿色、金黄色、麦黄色、蛋黄色、橘黄色、橙黄色、橙红色、红色等9种颜色的粘虫板处理, 每个处理设7个重复, 处理间距5 m, 不同重复间距10 m, 色板方向均朝南背北, 随机平行排列方式悬挂于离地面1.5~1.7 m苹果树枝条上, 悬挂完毕后每隔3 d统计一次, (每次统计完苹小吉丁数量后把它取下来避免影响下一次统计, 粘虫板无粘性再更换)连续调查21天, 分别统计粘虫板诱集到的苹小吉丁雌雄数量和总数量。

1.4 数据分析

采用公式(1)计算雌、雄虫趋光反应率以及总的趋光反应率(文中列出的值均为平均值)。

$$\text{趋光反应率}/\% = \frac{\text{趋光虫数}}{\text{投虫总数}} \times 100 \quad (1)$$

利用SPSS21.0统计软件对试验数据进行分析, 方差分析显著性水平为 $\alpha=0.05$ 。成虫在不同单

色光 and 不同光强处理下的趋光率显著性差异分别进行单因素方差分析(ANOVA, LSD), 在进行方差分析之前, 对每组数据进行方差齐性、正态分布检验和处理, 已确定该组数据满足方差分析的需求, 配对T检验分析雌雄引诱量数据, 作图借助Microsoft office Excel 2013完成。不同颜色粘虫板引诱成虫的试验数据利用单因素方差分析, 然后采用Duncan's LSD法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同颜色粘虫板波长及L*、a*、b*值

在普通白光条件下, 以色差仪来测定不同颜色粘虫板的波长及L*、a*、b*值。结果如表2。

表2 不同颜色粘虫板的波长
Table 2 The wavelengths of the sticky traps

粘虫板 Sticky traps	波长范围 Wavelength range/nm	中心波长 Central wavelength/ nm	L*, a*, b*值 (L*, a*, b* Valus)		
			L*	a*	b*
紫色 Purple	390~410	400	53.74	45.32	-50.28
绿色 Green	540~560	550	56.74	-55.53	39.18
金黄色 Golden	550~570	560	83.53	10.29	53.14
麦黄色 Wheat yellow	560~580	570	70.22	1.25	43.81
蛋黄色 Yolk yellow	570~590	580	72.23	11.44	44.91
橘黄色 Orange	575~595	585	66.47	35.71	36.46
橙黄色 Yellow-orange	580~600	590	58.41	44.82	35.43
橙红色 Red-orange	590~610	600	54.02	53.36	35.92
红色 Red	620~640	630	50.56	57.48	37.03

2.2 苹小吉丁敏感波长室内测定

2.2.1 苹小吉丁对不同单色光的趋光反应率 试验结果表明, 苹小吉丁对5种单色光有不同程度的趋性, 差异显著($F=5.23$, $P=0.005$) (表3)。经单因素方差分析可知, 在5种单色光中, 趋光行为表现强弱顺序依次为: 530 nm>590 nm>450 nm>380 nm>650 nm, 其中苹小吉丁对绿色光(530 nm)最为敏感, 趋光反应率为9.2%±1.0%, 黄色光次之, 趋光反应率为7.6%±1.6%, 趋光行为最弱的两种单色光依次为380 nm紫色光和650 nm红色光, 趋光反应率分别为4.8%±2.2%、4%±1.4%, 绿色光与黄色光之间无显著差异($P>0.05$), 与其他波长单色光之间存在显著差异($P<0.05$)。

表 3 苹小吉丁对不同波长单色光的趋光反应率

Table 3 Phototaxis rate of *Agrilus mali* to monochromatic light of different wavelengths

光源 Light	波长 Wavelength/nm	趋光反应率 Reaction rat/%
紫色 Purple	380	4.8±2.2bc
蓝色 Blue	450	5.2±3.3bc
绿色 Green	530	9.2±1.0a
黄色 Yellow	590	7.6±1.6ab
红色 Red	650	4.0±1.4c

注: 数据=平均值±SD, 同列不同字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著。
Note: Data=Average±SD, different letters of the same column indicated that the significant difference at $P=0.05$.

由此可见, 苹小吉丁对不同波长单色光均有趋性行为反应, 但是敏感性程度不同, 趋光率之间存在显著差异, 其中 530 nm 的趋性较高, 其次为 590 nm, 说明 530 nm 和 590 nm 为苹小吉丁敏感波长范围。

2.2.2 苹小吉丁成虫雌雄对不同单色光趋光行为反应 试验结果表明 (表 4), 供试的 380 nm、450 nm、530 nm、590 nm、650 nm 等 5 种单色光中, 不管是哪一种波长的单色光, 引诱到的雌虫数量明显高于雄虫数量。苹果小吉丁雌虫对 380 nm、450 nm、530 nm、590 nm、650 nm 的趋光反应率分别为雄虫趋光反应率的 3.0 倍、1.6 倍、2.3 倍、2.2 倍和 2.3 倍。其中雌虫在绿色光中趋光反应率较高, 其趋光反应率为 $12.8\% \pm 1.5\%$, 590 nm 次之, 其趋光反应率 $10.4\% \pm 1.6\%$, 对 380 nm 和 650 nm 的趋性较弱, 其趋光反应率分别为 $7.2\% \pm 1.5\%$ 、 $5.6\% \pm 0.9\%$ 。经方差分析绿色光与黄色光之间无显著差异, 但和其它单色光之间存在显著差异。雄虫对各单色光的趋光反应率之间无显著差异, 但是对 530 nm 的趋光反应率较高, 其趋光反应率为 $5.6\% \pm 0.9\%$ 。经配对 T 检验发现, 苹小吉丁雌、雄虫对 5 种单色光趋光反应率中对 530 nm 光配对 T 检验检验概率为 0.01, 存在着显著差异 ($P < 0.05$), 其他单色光之间无显著差异, 说明除 530 nm 之外, 苹小吉丁对其他单色光趋光行为反应在两性之间没有差异。

可见, 苹小吉丁雌虫趋光反应率高于雄虫趋光反应率, 这有可能是因为雌虫比雄虫更加活跃, 或是雌虫趋性比雄虫趋性强。

2.2.3 不同光强对苹小吉丁趋光行为的影响 不同光照强度下各单色光均能引发苹小吉丁趋光行为反

表 4 苹小吉丁雌雄虫对不同波长单色光趋光行为反应

Table 4 Phototaxis behavior rate of female and male adults of *Agrilus mali* to monochromatic light of different wavelengths

波长 Wavelength/nm	趋光反应率/%		
	雌虫±SE Female±SE	雄虫±SE Male±SE	配对T检验 T-test
紫色380	7.2±1.5b	2.4±0.9a	0.03
蓝色450	6.4±2.0b	4.0±1.2a	0.21
绿色530	12.8±1.5a	5.6±0.9a	0.03
黄色590	10.4±1.6ab	4.8±1.9a	0.16
红色650	5.6±0.9b	2.4±0.9a	0.09

注: 数据=平均值±SE, 同列不同字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著。
Note: Data=Average±SE, different letters of the same column indicated that the significant difference at $P=0.05$.

应 (表 5), 即苹小吉丁雌虫在相同光强度下对不同波长单色光的趋光反应率间差异显著, 而雄虫对不同波长的趋光反应率不存在差异。苹小吉丁趋光行为反应率在一定光强度范围内 (0.58 lux、1.53 lux、2.38 lux) 随光强度的增强而皆增大, 如当光照强度为 0.58 lux 时, 苹小吉丁雌虫对 530 nm 光的趋光反应率为 $12.8\% \pm 1.5\%$, 590 nm 光次之, 趋光反应率为 $10.4\% \pm 1.6\%$ 。当光照强度为 2.38 lux 时, 530nm 最高, 其趋光反应率为 $28.8\% \pm 4.0\%$, 590 nm 次之, 趋光反应率为 $18.4\% \pm 2.0\%$; 苹小吉丁趋光行为反应率在一定光强度范围内, 显示了随着光强增强苹小吉丁的趋光率会逐渐增强, 由此可知, 光照强度的强弱直接影响其趋光行为表现。

2.2.4 不同时间段内苹小吉丁趋光性监测 由图 1 可见, 苹小吉丁趋光性在一天中不同时间段内存在差异, 在 10:00 时 (T 为 9 °C, RH 为 62%), 苹小吉丁静止状态, 没有趋光行为反应。在 14:00 和 16:00 两个时间段内对各单色光的趋光行为反应最高, 此时间段的平均温湿度分别为 33 °C、24%, 32 °C、21%, 并且此时间段是新疆正中午最热的时刻。在 14:00 时, 对各单色光的趋光行为反应顺序依次为 530 nm ($18.0\% \pm 8.0\%$) > 380 nm ($11.0\% \pm 5.0\%$) > 590 nm ($10.6\% \pm 4.0\%$) > 450 nm ($9.0\% \pm 3.0\%$) > 650 nm ($6.0\% \pm 4.0\%$), 可见对绿色光的趋性最强, 绿色光与红色光之间存在显著差异 ($P < 0.05$), 与其他单色光之间无显著差异 ($P > 0.05$)。在 16:00 时, 对各单色光的趋光行为反应顺序依次为 530 nm ($15.0\% \pm 5.0\%$) > 590 nm ($12.0\% \pm 2.0\%$) > 450 nm ($9.0\% \pm 2.3\%$) > 650 nm

表 5 不同光照强度下苹小吉丁趋光行为反应率

Table 5 Phototaxis response rate of *Agrilus mali* under different light intensities

%

波长 Wavelength/nm	0.58 lux		1.53 lux		2.38 lux	
	雌虫±SE Female±SE	雄虫±SE Male±SE	雌虫±SE Female±SE	雄虫±SE Male±SE	雌虫±SE Female±SE	雄虫±SE Male±SE
紫色380	7.2±1.5b	2.4±0.9a	4.0±1.2c	4.0±2.1a	9.6±2.0c	5.6±0.98a
蓝色450	6.4±2.0b	4.0±1.2a	10.4±0.98ab	6.4±0.98a	16.0±1.7bc	7.2±1.4a
绿色530	12.8±1.5a	5.6±0.9a	14.4±2.0a	8.0±1.7a	28.8±4.0a	13.6±6.7a
黄色590	10.4±1.6ab	4.8±1.9a	13.6±2.0a	6.4±1.6a	18.4±2.0b	6.4±0.98a
红色650	5.6±0.9b	2.4±0.9a	6.4±0.98bc	3.2±0.8a	8.8±1.4c	4.8±0.8a

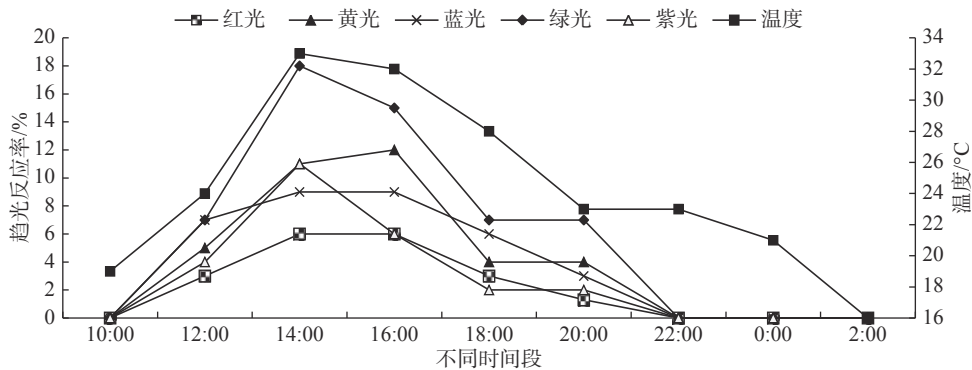
注: 数据=平均值±SE, 同列不同字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著。Note: Data=Average±SE, different letters of the same column indicated that the significant difference at $P=0.05$ 

图 1 不同时间段内苹果小吉丁趋光性行为反应

Fig. 1 Phototaxis response of *Agrilus mali* in different time periods

($6.0\% \pm 2.0\%$)、380nm ($6.0\% \pm 2.0\%$), 其中对530nm 光的趋性最强, 530 nm 光与 650 nm 光和 380 nm 光之间存在显著差异 ($P < 0.05$), 与其它单色光之间无显著差异 ($P > 0.05$)。至 20:00 (T 为 23 °C, RH 为 66%) 随着温度下降空气相对湿度的增加苹小吉丁趋光反应率呈现出下降趋势, 趋向性减弱, 22:00 (T 为 23 °C, RH 为 66%) 开始苹小吉丁成虫不活动, 没有趋光反应, 这可能与此时间段温湿度有关。从以上结果来看, 温度与空气相对湿度对苹小吉丁的趋性行为影响显著, 苹小吉丁具有喜热喜光习性, 当温度降低到一定范围时其活跃程度明显降低。

2.3 不同波长粘虫板对苹小吉丁林间诱集效果

2.3.1 不同波长粘虫板对苹小吉丁林间总体诱集效果 经方差分析可知, 在不同立地条件的 3 块试验地悬挂的 9 种不同颜色的粘虫板对苹小吉丁在田间的诱捕效果存在差异, (河滩试验地: $F=43.31$, $P=0.00$; 综合农场试验地: $F=41.65$, $P=0.00$; 萨哈试验地 $F=7.15$, $P=0.00$)。其中绿色和蛋黄色

粘虫板对苹小吉丁诱捕率较好。在河滩试验地绿色和蛋黄色粘虫板总诱捕数量分别为 193 头、164 头, 每隔 3 d 平均诱捕量分别为 2.12 头·张⁻¹、1.80 头·张⁻¹, 最高诱捕量分别达到 7 头·张⁻¹、6 头·张⁻¹ (表 6);

在综合农场所用的绿色和蛋黄色粘虫板总诱捕数量分别为 200 头、189 头, 每隔 3 d 平均引诱量分别为 2.86 头·张⁻¹、2.70 头·张⁻¹, 最高诱捕量分别为 7 头·张⁻¹、6 头·张⁻¹ (表 7)。

在萨哈试验地所用的绿色和蛋黄色粘虫板总诱捕数量为 45 头、36 头, 3 d 最高诱捕量分别达到 2 头·张⁻¹、3 头·张⁻¹, 平均诱捕量分别为 0.54 头·张⁻¹、0.43 头·张⁻¹ (表 8)。而紫色和红色粘虫板不管是哪块地诱捕到数量很少或几乎没有。

通过 3 块试验地悬挂的 9 种波长粘虫板中, 绿色和蛋黄色粘虫板对苹小吉丁表现出较好的诱集效果, 并且绿色粘虫板诱虫数量最高, 可能是因为绿色粘虫板与作物嫩叶的颜色接近, 导致绿色粘虫板的诱集数量明显高于其他颜色粘虫板。

表 6 不同波长色板对苹小吉丁诱集效果

Table 6 Trapping numbers of *Agrius mali* by different wavelength sticky traps

试验地 Experiment site	粘虫板颜色 Colour of the sticky traps	粘虫板数量/张 Number of the sticky traps	总诱捕量/头 Total trapping capacity	3 d内平均诱捕量/(头·张 ⁻¹) Average trapping capacity in 3 d	3 d内最多诱捕量/(头·张 ⁻¹) Maximum trapping capacity in 3 d
河滩地 Beach land	紫色 Purple	3	7	0.08±0.04e	1
	绿色 Green	3	193	2.12±0.48a	7
	金黄色 Golden-yellow	3	131	1.44±0.25b	6
	麦黄色 Wheat-yellow	3	42	0.46±0.25d	2
	蛋黄色 Egg-yellow	3	164	1.80±0.63a	6
	橘黄色 Orange	3	87	0.96±0.18c	3
	橙黄色 Orange-yellow	3	47	0.52±0.22d	2
	橙红色 Orange-red	3	31	0.34±0.14de	2
	红色 Red	3	1	0.01±0.03e	0

注:表中数据(平均值±标准差),同列不同字母表示组间差异显著 $P<0.05$

Note: Data=Average±SD, different letters of the same column indicated that the significant difference at $P=0.05$.

表 7 不同波长色板对苹小吉丁诱集效果

Table 7 Trapping numbers of *Agrius mali* by different wavelength sticky traps

试验地 Experiment site	粘虫板颜色 Colour of the sticky traps	粘虫板数量/张 Number of the sticky traps	总诱捕量/头 Total trapping capacity	3 d内平均诱捕量/(头·张 ⁻¹) Average trapping capacity in 3 d	3 d内最多诱捕量/(头·张 ⁻¹) Maximum trapping capacity in 3 d
综合农场 Comprehensive farm	紫色 Purple	3	8	0.11±0.17de	2
	绿色 Green	3	200	2.86±0.55a	7
	金黄色 Golden-yellow	3	144	2.06±0.63b	5
	麦黄色 Wheat-yellow	3	57	0.81±0.50c	3
	蛋黄色 Egg-yellow	3	189	2.70±0.64a	6
	橘黄色 Orange	3	125	1.79±0.50b	4
	橙黄色 Orange-yellow	3	48	0.69±0.26c	2
	橙红色 Orange-red	3	39	0.56±0.23cd	2
	红色 Red	3	2	0.03±0.08e	1

注:表中数据=平均值±标准差,同列不同字母表示组间差异显著 $P<0.05$

Note: Data=Average±SD, different letters of the same column indicated that the significant difference at $P=0.05$.

表 8 不同波长色板对苹小吉丁诱集效果

Table 8 Trapping numbers of *Agrius mali* by different wavelength sticky traps

试验地 Experiment site	粘虫板颜色 Colour of the sticky traps	粘虫板数量/张 Number of the sticky traps	总诱捕量/头 Total trapping capacity	3 d内平均诱捕量/(头·张 ⁻¹) Average trapping capacity in 3 d	3 d内最多诱捕量/(头·张 ⁻¹) Maximum trapping capacity in 3 d
萨哈 Saha	紫色 Purple	3	3	0.03±0.04b	1
	绿色 Green	3	45	0.54±0.36a	2
	金黄色 Golden-yellow	3	19	0.23±0.21b	2
	麦黄色 Wheat-yellow	3	6	0.07±0.10b	1
	蛋黄色 Egg-yellow	3	36	0.43±0.34a	3
	橘黄色 Orange	3	7	0.09±0.07b	1
	橙黄色 Orange-yellow	3	6	0.07±0.06b	1
	橙红色 Orange-red	3	4	0.05±0.09b	1
	红色 Red	3	1	0.01±0.03b	1

注:表中数据(平均值±标准差),同列不同字母表示组间差异显著($P<0.05$)

Note: Data=Average±SD, different letters of the same column indicated that the significant difference at $P=0.05$.

2.3.2 不同波长粘虫板对苹小吉丁雌、雄虫的诱捕效果 经方差分析可知(表9、10、11), 在不同立地条件的3块试验地中, 不同颜色粘虫板对苹小吉丁雌雄虫诱集效果之间存在着一定的差异(河滩试验地 雌虫: $F=28.69$, $P=0.00$; 雄虫: $F=26.65$, $P=0.00$), (综合农场雌虫: $F=33.54$, $P=0.00$; 雄虫: $F=25.58$, $P=0.00$), (萨哈试验地雌虫: $F=4.7$, $P=0.00$; 雄虫: $F=6.38$, $P=0.00$)。

可见, 在3块试验地中, 不同波长、颜色粘虫板诱集到苹小吉丁雌虫数量明显高于雄虫数量。该田间诱集试验中7月中下旬开始, 各波长粘虫板诱集到的苹小吉丁数量较高, 此时间段正是苹小吉丁雌虫产卵期, 雌虫在繁殖后代过程中需要大量取食补充营养, 并且本实验所选用的绿色粘虫板与苹果

叶的颜色接近。除此之外, 有可能苹小吉丁雌雄飞行能力, 以及雌雄成虫对环境刺激的敏感性不同等原因导致雌雄引诱率之间的差异。

3 讨论

本研究在室内测试苹小吉丁对不同波长单色光的趋光反应率, 发现对530 nm较为敏感, 趋光反应率为9.2%。同种昆虫不同性别对同种光源的敏感性不同, 诱集的雌性成虫数量存在较大差异^[20], 雌雄成虫复眼有着明显的差异, 可能导致雌雄成虫在相同光源条件下有着不同的敏感性^[21]。本研究发现苹小吉丁雌虫趋光反应率明显高于雄虫。

光强度影响昆虫行为反应的重要因素。在一定光强度下, 雌雄成虫对光的敏感度不一样, 对光做

表9 不同波长粘虫板对苹小吉丁雌、雄成虫的诱捕效果比较

Table 9 Comparison of the effects of different wavelength sticky traps on the female and male adults of *A.mali*

试验地 Experiment site	粘虫板颜色 Colour of the sticky traps	波长 wavelength/nm	粘虫板数量/张 Numbers of the sticky traps	雌虫±标准差 Female±SD	雄虫±标准差 Male±SD	T检验 T-test
河滩地 Beach land	紫色 Purple	400	3	0.07±0.05de	0.01±0.03e	0.09
	绿色 Green	550	3	1.49±0.38a	0.63±0.11a	0.00
	金黄色 Golden-yellow	560	3	1.0±0.23b	0.44±0.12b	0.02
	麦黄色 Wheat-yellow	570	3	0.28±0.15de	0.18±0.18cd	0.25
	蛋黄色 Egg-yellow	580	3	1.29±0.59ab	0.52±0.15ab	0.01
	橘黄色 Orange	585	3	0.66±0.15c	0.30±0.08c	0.00
	橙黄色 Orange-yellow	590	3	0.36±0.22d	0.15±0.09d	0.08
	橙红色 Orange-red	600	3	0.22±0.07de	0.12±0.14de	0.18
	红色 Red	630	3	0.01±0.03e	0.00±0.00e	0.36

注: 表中数据(平均值±标准差), 同列不同字母表示组间差异显著($P<0.05$)

Note: Data=Average±SD, different letters of the same column indicated that the significant difference at $P=0.05$.

表10 不同波长粘虫板对苹小吉丁雌、雄成虫的诱捕效果比较

Table 10 Comparison of the effects of different wavelength sticky traps on the female and male adults of *A.mali*

试验地 Experiment site	粘虫板颜色 Colour of the sticky traps	波长 Wavelength/nm	粘虫板数量/张 Numbers of the sticky traps	雌虫±标准差 Female±SD	雄虫±标准差 Male±SD	T检验 T-test
综合农场 Comprehensive farm	紫色 Purple	400	3	0.09±0.12d	0.03±0.07e	0.23
	绿色 Green	550	3	2.11±0.43a	0.74±0.14a	0.00
	金黄色 Golden-yellow	560	3	1.49±0.45b	0.57±0.26bc	0.00
	麦黄色 Wheat-yellow	570	3	0.64±0.44c	0.17±0.13de	0.02
	蛋黄色 Egg-yellow	580	3	2.00±0.64a	0.7±0.14ab	0.00
	橘黄色 Orange	585	3	1.33±0.34b	0.46±0.21c	0.00
	橙黄色 Orange-yellow	590	3	0.56±0.21c	0.13±0.09de	0.00
	橙红色 Orange-red	600	3	0.31±0.19cd	0.24±0.14d	0.48
	红色 Red	630	3	0.03±0.08d	0.00±0.00e	0.36

注: 数据=平均值±SD, 同列不同字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著

Note: Data=Average±SD, different letters of the same column indicated that the significant difference at $P=0.05$.

表 11 不同波长粘虫板对苹小吉丁雌、雄成虫的诱捕效果比较

Table 11 Comparison of the effects of different wavelength sticky traps on the female and male adults of *A.mali*

试验地 Experiment site	粘虫板颜色 Colour of the sticky traps	波长 wavelength/nm	粘虫板数量/张 Numbers of the sticky traps	雌虫±标均差 Female±SD	雄虫±标均差 Male±SD	T检验 T-test
萨哈 Saha	紫色 Purple	400	3	0.04±0.07b	0.00±0.00c	0.20
	绿色 Green	550	3	0.31±0.23a	0.23±0.19a	0.36
	金黄色 Golden-yellow	560	3	0.18±0.20ab	0.05±0.07bc	0.07
	麦黄色 Wheat-yellow	570	3	0.06±0.10b	0.01±0.03c	0.31
	蛋黄色 Egg-yellow	580	3	0.31±0.23a	0.12±0.11b	0.01
	橘黄色 Orange	585	3	0.08±0.08b	0.00±0.00c	0.04
	橙黄色 Orange-yellow	590	3	0.05±0.07b	0.02±0.06c	0.59
	橙红色 Orange-red	600	3	0.05±0.09b	0.00±0.00c	0.23
	红色 Red	630	3	0.01±0.03b	0.00±0.00c	0.36

注: 数据=平均值±SD, 同列不同字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著

Note: Data=Average±SD, different letters of the same column indicated that the significant difference at $P=0.05$.

出的行为反应不同, 最终表现出趋光率的差异^[21]。本研究发现, 苹小吉丁趋光行为反应率在一定的光强度范围内, 显示了随着光强度增加趋光率逐渐增强的特点, 苹小吉丁雌虫趋光反应率高于雄虫趋光反应率。由于试验条件限制, 本文仅研究了现有3种不同光强度对苹小吉丁趋光行为的影响, 对于光强的细化则有待于进一步研究。同时, 在不同时间段内苹小吉丁趋光性监测中发现, 苹小吉丁趋光行为反应可能与环境温度有关, 在14:00和16:00两个时间段内环境温度达30℃以上时, 对各单色光的趋光行为反应最高, 随着温度下降苹小吉丁趋光反应率呈现出下降趋势, 趋向性减弱, 甚至没有趋光反应。目前, 在国内其他研究者报道苹小吉丁在早晨、傍晚或遇阴雨天气蛰伏在枝条或叶片上静止不动, 在天气晴朗、温度稍高的时候喜欢绕树冠飞行^[22]。在天山野果林调查发现, 苹小吉丁危害部位主要分布在枝条的向光面, 比例达93.5%, 在枝条的背光面危害很少, 仅有6.5%^[23]。由此可见, 苹小吉丁具有很强的喜热喜光习性。

值得注意的是, 本研究结果显示绿色(550 nm)粘虫板和蛋黄色(580 nm)对苹小吉丁的诱集效果较好。目前, 国内关于苹小吉丁趋色性方面的研究有些报道。王智勇^[13]设计10种不同颜色粘虫板对苹果小吉丁虫进行引诱试验发现, 黄色板的诱集效果最好, 这与本研究结果一致, 然而王智勇^[13]发现绿色粘虫板的诱捕数量较低, 这与本试验中绿色粘虫板的诱捕数量最高存在一定的差异, 这可能与林间实验时间、粘虫板田间布置方

式和试验地虫口密度等有关。此外, 在国外也有其他研究者对吉丁类害虫趋性方面进行了相关研究。Kim等^[24]利用各种形状的粘性诱捕器, 对甘蔗红颈吉丁虫(*Agrilus ruficollis*)诱捕进行了评估, 结果表明甘蔗红颈吉丁虫对绿色(波长为540~560 nm)诱捕器最为敏感; Crook等^[25]曾利用ERG进行监测发现白蜡窄吉丁虫(*Agrilus planipennis*)对绿色(540~560 nm)光较敏感这与本研究结果基本一致。Frances等^[26]研究发现, 紫色和绿色粘虫板对白蜡窄吉丁虫引诱效果最好。本研究发现绿色粘虫板(550 nm)对苹小吉丁诱集效果最好, 但紫色粘虫板对苹小吉丁诱集效果不理想。不同昆虫种类对光的敏感度不同, 林间诱集效果亦不同。

另外, 本研究在林间诱集试验中, 7月中下旬开始各波长粘虫板诱集到的苹小吉丁数量较高, 此时间段正是苹小吉丁雌虫产卵期, 雌虫在繁殖后代过程中需要取食补充营养, 并且本试验所选用的绿色粘虫板与苹果叶片的颜色接近等原因是否导致雌雄引诱率之间的差异待进一步验证。

4 结论

通过敏感光谱室内测试发现, 苹小吉丁对530 nm光最为敏感, 590 nm光次之。对530 nm光的趋光反应率分别为590 nm、450 nm、380 nm和650 nm光的1.2倍、1.76倍、1.91倍、1.3倍。雌虫趋光反应率高于雄虫。同时发现, 苹小吉丁趋光行为反应与环境温度变化趋势一致, 随着温度下降苹小

吉丁趋光反应率呈现出下降趋势, 趋向性减弱, 甚至没有趋光反应。在野外诱集试验发现, 绿色(550 nm)粘虫板和蛋黄色(580 nm)粘虫板对苹小吉丁诱集效果最好。综上所述, 530~590 nm 苹小吉丁敏感波长范围。本研究仅研究了5种单色光和9种波长粘虫板对苹小吉丁成虫的引诱效果, 对于粘虫板林间的有效引诱距离、高度、方向则有待于进一步研究。苹小吉丁是一类钻蛀性害虫, 防治十分困难。因此, 深入研究苹小吉丁趋性, 对有效防止苹小吉丁的种群密度具有重要的科学意义。

参考文献:

- [1] Christopher M R, Gayle M V, Ann A R, *et al.* Genetic diversity and population structure in *Malus sieversii*, a Wild progenitor, species of domestic-cated apple[J]. *Tree Genetics & Genomes*, 2009, 5(2): 339-347.
- [2] 陈灵芝. 中国的生物多样性现状及其保护对策[M]. 北京: 科学出版社, 1993, 194-197.
- [3] 傅立国. 中国植物红皮书[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [4] 王春晓, 赵健桐, 隋建中. 新疆发生苹果小吉丁虫[J]. *新疆农业科学*, 1995, 32(5): 225-226.
- [5] 刘爱华, 阿里木, 徐毅, 等. 新疆野果林苹果小吉丁幼虫空间分布型研究[J]. *西北林学院学报*, 2007, 22(6): 92-94.
- [6] 王智勇, 张彦龙, 杨忠岐, 等. 苹小吉丁(鞘翅目: 吉丁甲科)幼虫龄数的测定[J]. *林业科学研究*, 2013, 26(6): 786-789.
- [7] 刘爱华, 王玉兰, 阿里木. 两种药剂防治苹果小吉丁虫试验[J]. *新疆农业科学*, 2005(S1): 101-102.
- [8] 刘爱华, 王登元, 张新平, 等. 新疆苹果小吉丁优势天敌控害效果初探[J]. *新疆农业科学*, 2010, 47(8): 1522-1525.
- [9] 刘爱华, 张新平, 王登元, 等. 苹果小吉丁刻柄茧蜂幼虫空间分布型和抽样技术研究[J]. *新疆农业科学*, 2011, 48(7): 1292-1295.
- [10] 王智勇, 杨忠岐, 张彦龙, 等. 利用4种肿腿蜂(膜翅目: 肿腿蜂科)防治危害新疆野果林的苹小吉丁(鞘翅目: 吉丁甲科)[J]. *林业科学*, 2014, 50(8): 97-101.
- [11] 辛星, 马子龙, 覃伟权. 椰心叶甲啮小蜂复眼的扫描电镜观察[J]. *中国生物防治*, 2010, 26(3): 365-368.
- [12] Leonard J, Cordoba-aguiar A. The Evolution of Primary Sexual Characters in Animals[M]. Oxford: Oxford university press, 2010.
- [13] Ruxton G D, Sherratt T N, Speed M P. Avoiding Attack: The Evolutionary Ecology of Crypsis, Warning Signals and Mimicry[M]. Oxford University Press, 2004.
- [14] 肖艳, 李国武, 李平, 等. 佳多频振式杀虫灯在森林害虫测报、防治中的应用[J]. *中国森林病虫*, 2001, (3): 24-26.
- [15] 刘平, 刘新云, 冯兴龙, 等. 粘虫板在枣树虫害防治中的应用研究[J]. *河北林果研究*, 2007, 3(22): 294-298.
- [16] 李传仁, 齐力. 3种颜色诱盆在棉田的诱虫效果初步观察[J]. *昆虫知识*, 2005, 42(2): 190-192.
- [17] 刘爱华. 新疆野果林苹果小吉丁与优势天敌生物学、生态学研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2010.
- [18] 托肯, 周英. 苹果小吉丁虫在天山野果林的发生及防治[J]. *农村科技*, 2012(2): 38-39.
- [19] 李耀发, 高占林, 党志红, 等. 绿盲蝽对不同波段光谱选择性的初步测定[J]. *河北农业科学*, 2011, 15(5): 57-60.
- [20] 陈晓霞, 闫海燕, 魏玮, 等. 光谱敏感性与光强响应对龟纹瓢虫趋光性的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(5): 2349-2355.
- [21] 程文杰, 郑霞林, 王攀, 等. 昆虫趋光的性别差异及其影响因素[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(12): 3351-3357.
- [22] 崔晓宁, 刘德广, 刘爱华. 苹果小吉丁虫综合防控研究进展[J]. *植物保护*, 2015, 41(2): 16-23.
- [23] 彭彬, 马志龙, 卡德艳·卡德尔, 等. 伊犁地区苹小吉丁在野苹果树上危害特性研究[J]. *新疆农业大学学报*, 2018, 41(2): 121-127.
- [24] Kim S H A, Trammel C E, Lewis B. A, *et al.* Comparison of color attractiveness for *Agrilus ruficollis* (Coleoptera: Buprestidae): Potential for a Simple Trap[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2016, 109(4): 1799-1806.
- [25] Francese J A, Mastro V C, Oliver J B, *et al.* Evaluation of colors for trapping *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae)[J]. *Journal of Entomol Science*, 2005, 40: 93-95.
- [26] Crook D. J, Francese J. A, Zylstra K E, *et al.* Laboratory and field response of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis*(Coleoptera: Buprestidae), to selected regions of the electromagnetic spectrum[J]. *Econ. Entomol*, 2009,(102): 2160-2169.

Study on Attractiveness of the Different Light Phototaxis and Different Light on *Agrilus mali* Masumura

KADERYA Kader¹, PENG Bin¹, MA Zhi-long¹, ADIL Sattar¹, ZHAO Wen-xia²

(1. Xinjiang Agricultural University Forestry and Horticulture College, Urumqi 830052, China; 2. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Forest Protection State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: [Objective] In recent years, *Agrilus mali* Masumura has caused devastating damage to wild fruit forests in Tianshan Mountains, Xinjiang, and has shown a trend of spreading to cultivated orchards in plain areas. In order to monitor the dynamics of *Agrilus mali* Masumura effectively in the forest and find a new way of pollution-free control. [Method] firstly, sensitive wavelength selectivity of *Agrilus mali* Masumura was tested in the laboratory using five wavelengths. Then, different sticky boards with nine level wavelengths were used to compared in the fields. [Result] The results of laboratory experiments indicated that the *Agrilus mali* Masumura has different tendency to five kinds of wavelength monochrome light. In turn: 530nm>590nm> 450nm>380nm >650nm, and the phototaxis response rate of females was significantly higher than that of males. From the light intensity test results, the tendency to the monochrome light increased along with the light intensity enlarged. According to the results of fields trapping experiment, there were some differences in attracting effect of sticky boards with nine wavelength on *Agrilus Mali* Masumura. Among them, green (550 nm) and egg yellow (580 nm) sticky boards had the best trapping effect. the highest catches number is 7 per card per three days, with the average 2.86 per card per day. the weakest of the purple and red sticky boards. [Conclusion] It can be seen that, *Agrilus mali* Masumura is sensitive to wavelength in the range of 530~590 nm. The sticky boards with the wavelength of 550~590 nm can be used as a dynamic monitoring method for the occurrence of *A. mali* in the fields. The conclusion of this study provides a very important scientific and technological support for the early warning and monitoring of *Agrilus mali* Masumura, and lays a solid foundation for effective prevention and control strategies in further.

Keywords: *Agrilus mali*; Monochromatic light; Phototaxis response rate; Sticky board; Attractive effect

(责任编辑: 崔 贝)