

光谱和光强度对龟纹瓢虫成虫趋光行为的影响

陈晓霞^{1,2}, 闫海燕³, 魏 玮^{1,2}, 乔玮娜¹, 魏国树^{1,2,*}

(1. 河北农业大学植保学院, 河北保定 071001; 2. 河北省农作物病虫害生防工程中心, 河北保定 071001;

3. 河北北方学院, 河北张家口 075000)

摘要: 利用行为学方法研究了光谱、光强对龟纹瓢虫 *Propylea japonica* (Thunberg) 成虫的趋、避光行为的影响。结果显示: (1) 在 340 ~ 605nm 波谱内其光谱趋光行为反应为多峰型, 峰间主次不明显, 紫外 340nm 处峰最高, 趋光反应率达 21%, 其它各峰依大小次序分别位于绿光 524nm、蓝光 400 ~ 440nm 和 483nm 处; (2) 随光强增强其趋光反应率增大, 白光和 483nm 刺激时其光谱趋光行为反应呈一倒“L”型式样, 524nm 时呈一阶梯型, 340nm 时为一较平直的线型; 光强最弱时仍均有一定趋光率, 最强时均未出现高端平台; (3) 性别对其光谱和光强度行为反应均有一定影响, 但影响不大; (4) 龟纹瓢虫无明显的避光反应, 其避光行为可能是趋光行为衍生或其随机活动造成。结果表明: 光谱对其趋光行为有一定影响, 光强度的影响较大且其影响大小与波长因素有关; 其复眼可感受的光强范围更宽。

关键词: 龟纹瓢虫; 趋光; 避光; 行为

文章编号: 1000-0933(2009)05-2349-07 中图分类号: Q142, Q968 文献标识码: A

Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of *Propylea japonica* (Thunberg)

CHEN Xiao-Xia^{1,2}, YAN Hai-Yan³, WEI Wei^{1,2}, QIAO Wei-Na¹, WEI Guo-Shu^{1,2,*}

1 Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China

2 Biological Control Center of Plant Pests of Hebei Province, Baoding, Hebei 071001, China

3 Hebei North University, Zhangjiakou, Hebei 075000, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2349 ~ 2355.

Abstract: The phototaxis behavior of *Propylea japonica* (Thunberg) response to spectral sensitivity and light intensity were investigated. The results were as follows: (1) The spectral sensitivity response at 14 monochromatic light selected through 340nm to 605nm occurred in curve with multiple peaks, the primary peak in 340nm (ultra-violet) is the highest response rate of phototaxis (21%), the secondary in 524nm (green), and the rest in 400 — 440nm and 483nm in order; (2) The response rate of phototaxis is increasing as the relative intensity of light, it is showed as curves with inverse “L” shape in white light and the monochromatic light of 483nm, as an upward ladder at 524nm and a near straight line at 340nm. However, the response rate could be detected at the lowest intensity and not arrived to the summit at the strongest yet; (3) The effect of sex to response to the spectral sensitivity and intensity is not significant; (4) There was not significant photophobism response to light for the ladybird, the behavior probably derived from phototaxis or partly due to random movements. It can be concluded that both the spectrum and intensity of light stimulus gave rise to the phototaxis of *P. japonica*, it seemed to play a more important role that the light intensity than spectrum, but the effect level was also involved with wavelengths. Moreover, a broader range of light intensity could be perceived by the ladybird compound eye.

Key Words: *Propylea japonica*; phototaxis; photophobism; behavior

基金项目: 河北省博士基金资助项目; 河北省自然科学基金资助项目 (C2004000341, C2008000272); 河北省强势特色学科资助项目

收稿日期: 2008-10-15; 修订日期: 2009-02-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: weiguoshu03@yahoo.com.cn

瓢虫喜趋向黑光灯,在灯下杀伤的天敌中其数量比例较高,如何减小或避免对瓢虫类等优势天敌类群的杀伤是长期困扰害虫测报和诱杀用灯的关键问题之一^[1~4]。龟纹瓢虫 *Propylea japonica* (Thunberg) 是我国干旱、半干旱地区农林果蔬生产中重要的捕食性天敌之一^[5~7],其趋光性的成因和关键影响因素迄今尚不清楚。本文运用光行为学方法,研究了波长和光强度因素对龟纹瓢虫成虫趋光行为的影响,试图揭示光源特征与其趋光性间的内在联系和趋光性的成因,为研发靶功能团选择性强、诱集效率高的新一代害虫测报和防治用光源或光活性物质提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试虫及处理

1.1.1 试虫

龟纹瓢虫成虫采于河北农业大学西校区标本园,室内饲以新鲜白杨毛蚜 *Chaitophorus populeti* (Panzer)。产卵后,将卵置于保湿的白瓷盘中。幼虫孵化后,单独饲养至化蛹、羽化。雌雄成虫混合饲养,记载羽化日龄。饲养室温 27~28℃,相对湿度 75%~80%。

1.1.2 试虫处理

选健壮的 20 日龄雌雄成虫,依性别分组置于行为反应箱的栖息活动室内(图 1,1)。为使复眼适应状态一致,每次光照刺激前,先将其在光照度 22000lx 的人工气候箱(RXZ-300C)中明适应 1h,再置于暗室暗适应 2h。

1.2 试验装置及方法

1.2.1 光源、光路系统及光刺激:见魏国树等^[8]。

1.2.2 行为反应装置

依龟纹瓢虫的行为特性并参考有关文献,自行设计并制作了趋光行为装置。其主体分 3 个部分,即:趋光室和避光室(30cm×10.5cm×9cm),两室中间由挡光板在光路上隔开(图 1,b);栖息活动室(16.5cm×5cm×13cm),位于挡光板的侧面,等面积与趋光室、避光室相接,相接处设有推拉挡板(图 1,a),以保证光照处理时,试虫可自由选择进入趋光室或避光室(图 1)。

1.3 试验方法

试验在暗室中进行,自 8:00 开始。室内温度 27~28℃,相对湿度 75%~80%。

每次照光时长为 20min,各处理间隔时长 5min。为减小试验误差,单色光各波长依序随机选取。各波长或光强处理后,红光灯下分别统计趋光室和避光室的试虫个体数,计算其趋、避光行为反应率。对照为黑暗 20min。

每组试验用虫 10 头,重复 10 次。所得数据用新复极差法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 光谱行为反应曲线的测定

在 340~605nm 波谱内的单色光刺激下,龟纹瓢虫的光谱趋、避光行为反应见图 2、3。

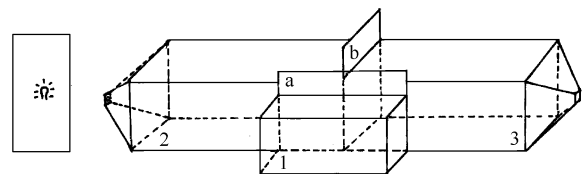


图 1 趋光行为反应装置

Fig. 1 The sketch map of light-path in *P. japonica*'s phototaxis behavior experiment

1: 栖息活动室 Roosting room; 2: 趋光反应室 Phototaxis room; 3: 避光反应室 Photophobia room

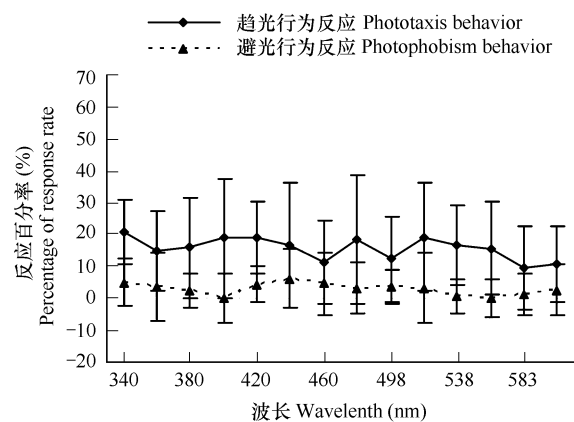


图 2 龟纹瓢虫趋、避光的光谱反应曲线

Fig. 2 Spectral response curves of *Propylea japonica* (Thunberg) phototaxis and photophobia behavior

表 1 14 种单色光刺激下龟纹瓢虫成虫的趋、避光率显著性比较

Table 1 Spectral response rate of the phototaxis and photophobism behavior of <i>Propylea japonica</i> (Thunberg) at 14 monochromatic lights					
单色光 (nm) Monochromatic light	趋光率值 (%) Phototactic rate (mean ± S. D.)	避光率值 (%) Photophobic rate (mean ± S. D.)	自由度 DF	F	P
340	20.86 ± 10.29a	5.05 ± 7.42ab	1	32.626	0 **
360	14.76 ± 12.50ab	3.81 ± 10.71ab	1	9.297	0.0041 **
380	16.10 ± 15.69ab	2.62 ± 5.35ab	1	13.876	0.0006 **
400	19.05 ± 18.68ab	0 ± 7.75b	1	18.626	0.0001 **
420	19.05 ± 11.36ab	4.43 ± 5.69ab	1	27.806	0 **
440	16.67 ± 19.58ab	6.19 ± 9.21a	1	4.924	0.0322 *
460	11.48 ± 13.17ab	4.67 ± 9.84ab	1	3.604	0.0649
483	18.33 ± 20.21ab	3.33 ± 7.96ab	1	10.018	0.003 **
498	12.38 ± 13.38ab	3.71 ± 5.59ab	1	7.502	0.0092 *
524	19.19 ± 16.93ab	3.33 ± 11.11ab	1	12.876	0.0009 **
538	16.57 ± 12.50ab	0.57 ± 5.26b	1	29.215	0 **
562	15.71 ± 14.34ab	0.38 ± 5.92b	1	20.507	0.0001 **
583	9.52 ± 12.84b	1.43 ± 6.55ab	1	6.628	0.0138 *
605	10.95 ± 11.79ab	2.76 ± 7.76ab	1	7.071	0.0112 *

* 注:不同字母表示同行数据的检验结果显著($P < 0.05$) Denote significant difference of the results of data in same row, different letter means significant difference ($P < 0.05$)

2.1.1 光谱行为反应

从表 1 和图 2 可以看出,340 ~ 605nm 波谱内的单色光均能引发该瓢虫的趋光反应,且趋光率值均大于避光率值,趋光和避光率间差异极显著(表 1)。其光谱趋光行为曲线为多峰型,各峰间主次不明显,各波长间趋光率差异不显著。紫外区 340nm 略高,趋光率为 21%,绿光区 524nm 次之(19%),蓝光区 400 ~ 440nm 有一较宽峰(19% ~ 17%),483nm 处亦有一峰(18%)。结果显示:波长因素对其趋光行为有一定影响,该多峰型的光谱行为反应与七星瓢虫复眼感光的电生理结果十分近似,暗示其光感受器类型可能亦包括绿光、紫外和蓝光 3 种^[9]。

上述波谱内,其光谱避光反应率均较低(9% 以下),未表现随光谱变化的明显规律(图 2),表明光谱对其避光行为影响不大,其避光行为可能是趋光行为衍生或其随机活动造成。

2.1.2 性别对光谱行为反应的影响

在 340 ~ 420nm 波段,其雌虫趋光率略高(360nm 除外),尤其在 380nm 处最明显,高达 25% (此时雄虫仅为 8%);440 ~ 605nm(483、538nm 除外)波段内雄虫趋光率较高(图 3)。表明性别对光谱趋光行为有一定影响,雌虫对紫外和近紫外短波略敏感,雄虫对长波略敏感,但雌雄成虫间光谱趋光行为反应率的方差分析显示,性别对趋光率影响差异不显著。

在 340 ~ 605nm 波谱内,其雌、雄虫的避光反应率均较低(9% 以下,图 3),360、524、562nm 时雌虫明显高于雄虫。表明性别对光谱避光行为略有影响,并再次暗示其避光行为可能是其趋光行为反应衍生或其随机活动造成。

2.3 光强度行为反应曲线的测定

选取光谱趋光行为时趋光率较高的单色光(340、483、524nm)和白光刺激,分别用不同光强度水平对其进行照光处理。结果显示:光强度对其趋光行为反应率影响较大(图 4 ~ 图 11)。

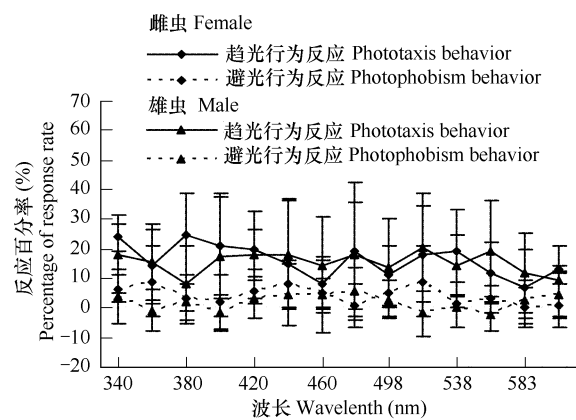


图 3 不同性别龟纹瓢虫趋、避光的光谱行为反应曲线
Fig. 3 Spectral response curves of phototaxis and photophobism behavior of *Propylea japonica* (Thunberg) in different sex

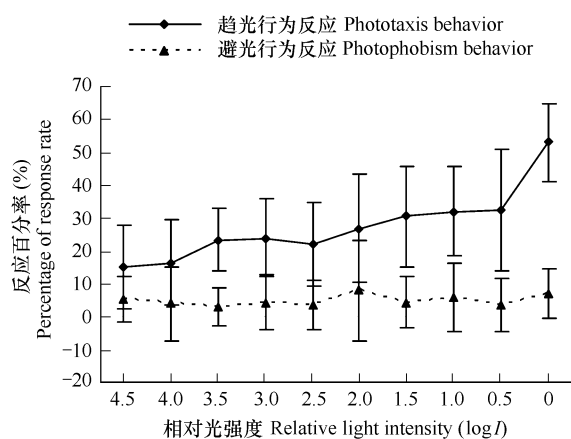


图4 白光刺激下龟纹瓢虫的趋、避光行为反应

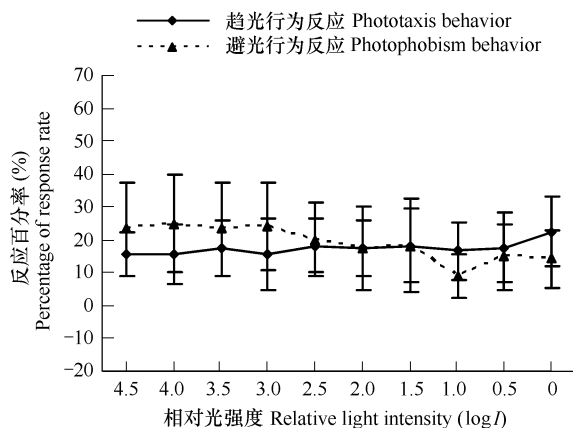
Fig. 4 Behavior response intensity curves of *Propylea japonica* (Thunberg) on white light

图6 340nm 光刺激下, 龟纹瓢虫的趋、避光行为反应

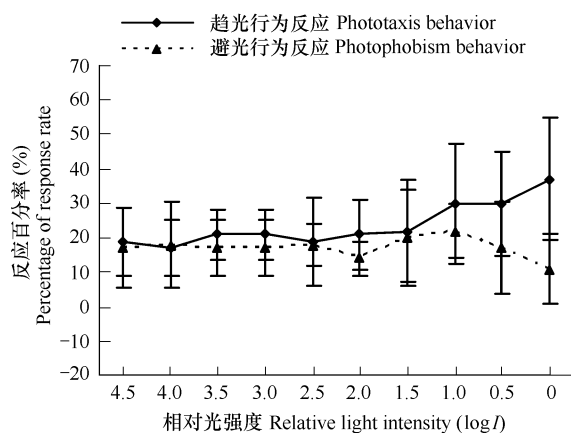
Fig. 6 Behavior response intensity curves of *Propylea japonica* (Thunberg) on the monochromatic light of 340nm

图8 483nm 光刺激下, 龟纹瓢虫的趋、避光行为反应

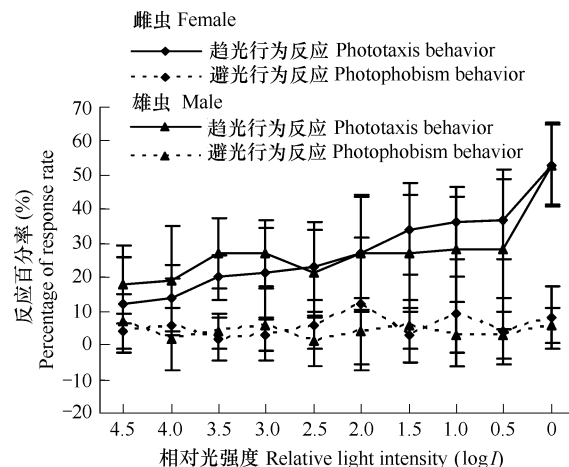
Fig. 8 Behavior response intensity curves of *Propylea japonica* (Thunberg) on the monochromatic light of 483nm

图5 白光刺激下, 不同性别龟纹瓢虫的趋、避光行为反应

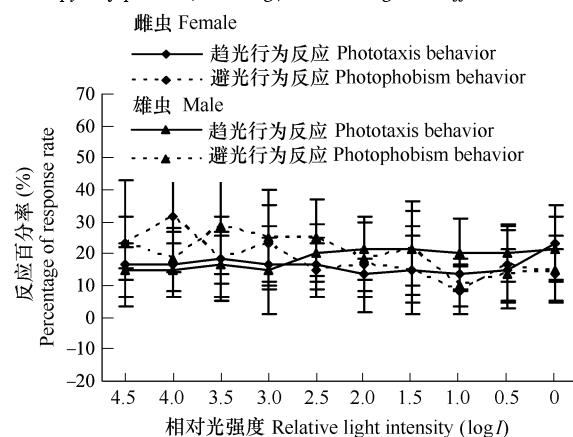
Fig. 5 Phototaxis and photophobia behavior response intensity curves of *Propylea japonica* (Thunberg) on white light in different sex

图7 340nm 光刺激下, 不同性别龟纹瓢虫的趋、避光行为反应

Fig. 7 Phototaxis and photophobia behavior response intensity curves of different sex on the monochromatic light of 340nm

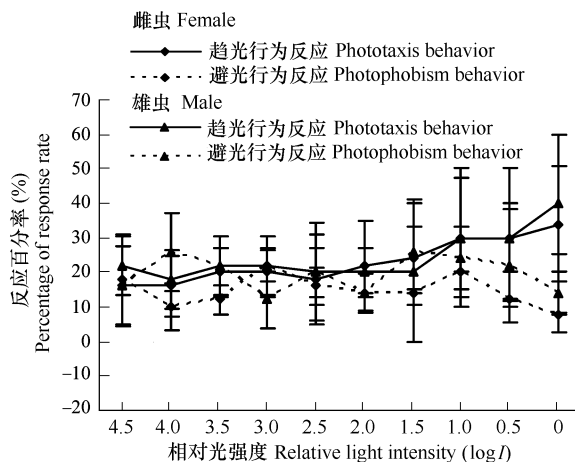


图9 483nm 光刺激下, 不同性别龟纹瓢虫的趋、避光行为反应

Fig. 9 Phototaxis and photophobia behavior response intensity curves of different sex on the monochromatic light of 483nm

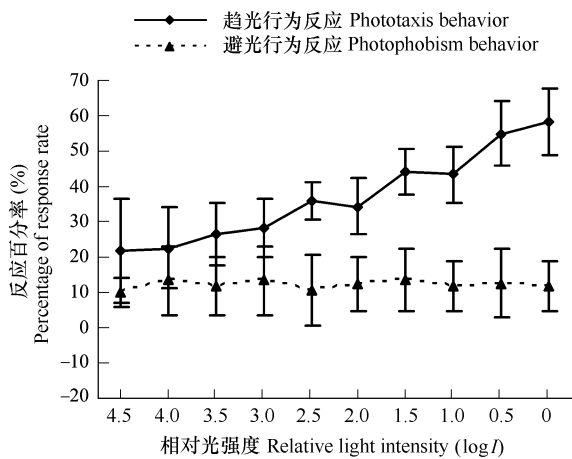


图 10 524nm 光刺激下,龟纹瓢虫的趋、避光行为反应
Fig. 10 Behavior response intensity curves of *Propylea japonica* (Thunberg) on the monochromatic light of 524nm

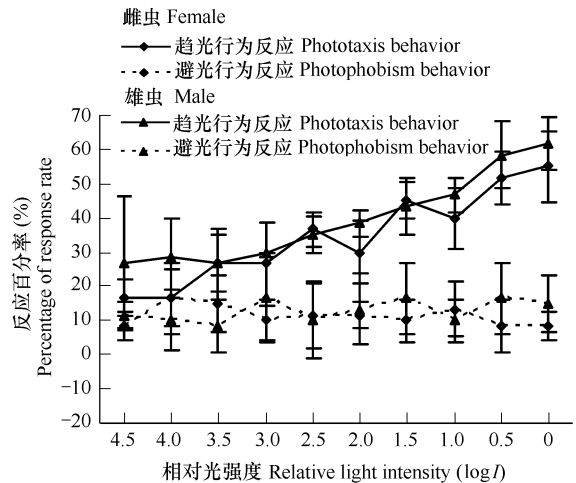


图 11 524nm 光刺激下,不同性别龟纹瓢虫的趋、避光行为反应
Fig. 11 Phototaxis and photophobism behavior response intensity curves of different sex on the monochromatic light of 524nm

2.3.1 光强度行为反应

不同强度白光和单色光均能引发该瓢虫的光行为反应,各强度水平下,白光、524nm 刺激时,该瓢虫的趋光率值与避光率值差异显著;而 340nm 和 483nm 单色光刺激下,除光强度不衰减下有一定差异,其余光强度下,趋光与避光率值之间差异不显著(表 2)。

表 2 不同强度的白光和单色光刺激下龟纹瓢虫成虫趋、避光率显著性比较(P 值表)

Table 2 Intensity response rate of the phototaxis and photophobism behavior of *Propylea japonica* (Thunberg) at white and several monochromatic lights

相对光强度 (log I) Relative light intensity (log I)	白光 White light	单色光 Monochromatic light (nm)		
		340	483	524
4.5	0.0057 **	0.1151	0.6837	0.0148 *
4.0	0.0026 **	0.0842	0.8332	0.0465 *
3.5	0 **	0.2409	0.2675	0.0003 **
3.0	0 **	0.1038	0.2675	0.0006 **
2.5	0 **	0.6848	0.8279	0 **
2.0	0.0005 **	1	0.0637	0 **
1.5	0 **	1	0.7606	0 **
1.0	0 **	0.0289 *	0.2069	0 **
0.5	0 **	0.5575	0.0549	0 **
0.0	0 **	0.0493 *	0.0007 **	0 **

** 在 5% 水平上差异极显著 the difference was extremely significant in 5%, * 在 5% 水平上差异显著 a little difference in 5%

白光和 483nm 单色光下龟纹瓢虫趋光行为反应相近,即随光强度增强趋光率增大,前期(白光:log 4.5 ~ 0.5;483nm:log 4.5 ~ 1.5)增大缓慢,后期(白光:log 0.5 ~ 0.0;483nm:Log 1.5 ~ 0.0)迅速增大,在最强时均达到最大(白光为 53%,483nm 为 37%),其曲线呈一倒“L”型;524nm 光刺激时则呈斜率近似的线型,340nm 时受光强度影响最小,为一较平直的线型(图 4、图 6、图 8、图 10)。无论白光还是单色光,光强最弱时均仍有一定趋光率,光强最高时亦未出现常见的高端平台。方差分析显示:所选 4 种光刺激之间进行比较,趋光率值有高度显著性差异。不同光强度水平,白光和 524nm 单色光刺激下,该瓢虫在各光强度水平的趋光反应率值具有高度显著性差异;483nm 单色光刺激下,具有显著性差异;340nm 单色光刺激下,无显著性差异(表 3)。表明光强度对其趋光行为反应影响较大,其影响大小视波长而定,另一方面也显示其复眼可感受更弱和更强

的光强环境,具有相当强的光强度自调节能力。

表 3 不同强度白光和单色光刺激下龟纹瓢虫趋、避光率值的方差分析

Table 3 Variance analysis of the phototactic and photophobic rate of *Propylea japonica* (Thunberg) at white and several monochromatic lights

光源 Light type	处理 Treatments	平方和 Sum of the squares	自由度 DF	均方 Mean square	F	P
白光 White light	趋光率 Phototactic rate	2.0808	9	0.2312	12.189	0**
	避光率 Photophobic rate	0.0485	9	0.0054	0.627	0.7732
	雌、雄虫间趋光率比较 Phototactic rate in male or female	0.242	1	0.242	29.31	0**
	雌、雄虫间避光率比较 Photophobic rate in male or female	0.0011	1	0.0011	1.611	0.2205
340nm	趋光率 Phototactic rate	0.0424	9	0.0047	0.49	0.8785
	避光率 Photophobic rate	0.288	9	0.032	2.2	0.0272*
	雌、雄虫间趋光率比较 Phototactic rate in male or female	0.0007	1	0.0007	0.317	0.5804
	雌、雄虫间避光率比较 Photophobic rate in male or female	0.0014	1	0.0014	0.363	0.5544
483nm	趋光率 Phototactic rate	0.3701	9	0.0411	2.565	0.0113*
	避光率 Photophobic rate	0.0809	9	0.009	0.875	0.5509
	雌、雄虫间趋光率比较 Phototactic rate in male or female	0.001	1	0.001	0.225	0.641
	雌、雄虫间避光率比较 Photophobic rate in male or female	0.0125	1	0.0125	5.322	0.0332*
524nm	趋光率 Phototactic rate	1.8087	9	0.201	23.434	0**
	避光率 Photophobic rate	0.0138	9	0.0015	0.214	0.9919
	雌、雄虫间趋光率比较 Phototactic rate in male or female	0.0125	1	0.0125	0.721	0.4069
	雌、雄虫间避光率比较 Photophobic rate in male or female	0.0011	1	0.0011	1.182	0.2913

** 在 5% 水平上差异极显著 the difference was extremely significant in 5%, * 在 5% 水平上差异显著 A little difference in 5%

白光各强度水平下,该瓢虫的避光率均较低(8% 以下),340、483 和 524nm 单色光各光强水平时避光率略高(9% 以上),但其避光反应曲线均较平直,未呈现与光强度变化一致的规律性(图 4、图 6、图 8、图 10)。方差分析显示,各强度水平的 340nm 单色光刺激下,该瓢虫避光反应率值具有显著性差异,483、524nm 和白光刺激下,该瓢虫避光率值均无显著性差异。表明光强度对其避光行为影响不大,亦暗示其避光行为可能是趋光行为衍生或其随机活动造成。

2.3.2 性别对光强度行为反应的影响

白光和单色光各强度水平下,不同性别试虫的趋光率值与避光率值之间除 340nm 光刺激下差异不显著,其它光刺激下均具有高度显著性差异。

白光刺激下,弱光时(log 4.5 ~ 3.0)龟纹瓢虫雄虫的趋光率稍高,强光时(log 1.5 ~ 0.5)雌虫略高,中间强度和最强时两性间则基本相近(图 5)。单色光刺激下,雄虫在 340nm 较强光(log 2.5 ~ 0.5)、483nm 和 524nm 最弱(log 4.5)和最强(log 0.0)时的趋光率较高,其余强度时两性则基本一致(图 7、图 9、图 11)。雌雄虫间光强趋光行为反应率的方差分析显示,单色光刺激时,不同性别的趋光率值之间无显著差异。表明性别对其趋光强度行为反应影响不大。

白光和单色光各强度水平下,其雌、雄虫的避光率均较低,避光反应曲线较平直,未表现与光强度变化一致的规律(图 5、图 7、图 9、图 11),雌雄虫间光强避光行为反应率的方差分析显示,除 483 nm 具有显著性差异外,白光和 340nm、524nm 光刺激时,不同性别的避光率值之间无显著差异,表明性别对其光强度避光行为影响较小。值得提及的是,在紫外 340nm 和蓝光 483nm 尤其是较低强度时其雌、雄虫的避光率与趋光率相当(图 9)甚至略高(图 7),表明其对低强度紫外、蓝光较敏感,避光反应可能为其趋光行为衍生或其随机活动

造成。

3 结论与讨论

(1) 在 340~605nm 波谱内,光谱对龟纹瓢虫趋光行为有一定影响,其光谱行为反应为多峰型,各峰依次位于 340、483、524nm 处。该 340、483nm 峰与棉铃虫蛾敏感的 333nm^[10]、483nm^[8] 相近甚至一致,这可能是目前生产上所用黑光灯类对夜蛾科害虫和瓢虫类天敌选择性不强的根本原因之一。Edward B. M^[11] 等报道异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 成虫对黄色和绿色食物具有一定的辨别能力,龟纹瓢虫 524nm 绿色峰可能具有类似的生物学意义,与其发现、辨识绿色食物或栖境有关,值得进一步探索。

(2) 白光和单色光的光强度对龟纹瓢虫趋光行为反应率影响较大,对单色光而言其影响大小与波长因素有关。特别值得提出的是,(1) 白光、单色光最弱光强时其仍均有一定趋光率,光最强时亦均未出现高端平台;(2) 光强度低的 524nm(3.6 lx) 比高其近 40 倍的白光(130 lx) 趋光率更高。表明光强度是决定其趋光行为的重要因素之一,其复眼光强度感受性敏感且较宽,具有较强的光强度自调节及适应机制;其对绿色光更敏感,暗示这可能至少与目前含绿色波峰的黑光灯类杀伤龟纹瓢虫较多有关,甚至是其关键原因之一。

(3) 性别对龟纹瓢虫的光谱和光强度行为反应均有一定影响,但影响不大。Agee^[12] 报道,在 350~700nm 波谱内雌雄七星瓢虫均对 365、500nm 波长较敏感,且雌虫较雄虫更敏感,但差异不显著,这与雌雄龟纹瓢虫光谱尤其是紫外光区的行为类似,但绿光区时恰相反,该异同是否与其种类、感、趋光生理过程等有关,有待进一步研究。

(4) 龟纹瓢虫无明显的避光反应,其避光行为可能是趋光行为衍生或其随机活动造成。

References:

- [1] Honek A, Kocourek F. The flight of aphid predators to a light trap: possible interpretations, In: Hodek, I. Ecology of Aphidophaga. Pragua: Academia and Dordrecht: Dr. W. Junk, 1986. 333—338.
- [2] Honek A. Annual variation in the complex of aphid predators: investigation by light trap. Acta Entomol. Bohemoslov, 1997, 74: 345—348.
- [3] Henda Nabli, Wayne C. Bailey, and Semi Necibi, Beneficial insect attraction to light traps with different wavelengths. Biological Control, 1999, 16: 185—188.
- [4] Zhang G X, Zheng G, Li X J, Bu J. Discussion of using frequency trembler grid lamps from angle of protecting biodiversity. Entomological Knowledge, 2004, 41 (6): 532—535.
- [5] Song H Y, Wu L Y, Chen G F, Wang Z C, Song Q M. Biological characters of lady-bee, *Propylaea Japonica* (Thunberg). Natural Enemies of Insects, 1988, 10 (1): 22—23.
- [6] Zhang C L, Yue F R, Functional responses of *Propylaea Japonica* (Thunberg) to three fruit tree pests. Journal of Shandong Agricultural University, 1996, 27 (4): 425—430.
- [7] Zhang S Z, Wu J X, Zhang Q, Jiang J X, Xu X L, Chen J A. Research advances of *Propylaea japonica* (Thunberg) in biology, ecology and utilization. Agricultural Research In The Arid Areas, 2004, 22 (4): 206—210.
- [8] Wei G S, Zhang Q W, Zhou M Z, Wu W G. Study on the phototaxis of *Helicoverpa armigera* (Hübner). Acta Biophysica Sinica, 2000, 16 (1): 89—95.
- [9] Lin J T, Identification of photoreceptor locations in the compound eye of *Coccinella septempunctata* Linnaeus (Coleoptera, Coccinellidae). Insect Physiol., 1993, 39 (7): 555—562.
- [10] Ding Y Q, Gao W Z, Li D M. Study on the phototactic behavior of nocturnal moths; the response of *Helicoverpa armigera* (Hübner) and *Heliothis assulta* Guenée to different monochromatic light. Acta Entomologica Sinica, 1974, 17 (3): 307—317.
- [11] Edward B. Mondor, Jessie L. Warren, Unconditioned and conditioned responses to color in the predatory coccinellid, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). Eur. Entomol., 2000, 97: 463—467.
- [12] Agee H G, Mitchell E R, Flanders R V. Spectral sensitivity of the compound eye of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) Annals of the Entomological Society of America, 1990, 83 (4): 817—819.

参考文献:

- [4] 张广学, 郑国, 李学军, 卜军. 从保护生物多样性角度谈频振式杀虫灯的应用. 昆虫知识, 2004, 41 (6): 532~535.
- [5] 宋慧英, 吴力游, 陈国发, 汪泽春, 宋庆明. 龟纹瓢虫生物学特性的研究. 昆虫天敌, 1988, 10 (1): 22~23.
- [6] 张春玲, 岳凤荣. 龟纹瓢虫对 3 种果树害虫的捕食作用研究. 山东农业大学学报, 1996, 27 (4): 425~430.
- [7] 张世泽, 仵均祥, 张强, 姜军侠, 许向利, 陈继安. 龟纹瓢虫生物生态学特性及饲养利用研究进展. 干旱地区农业研究, 2004, 22 (4): 206~210.
- [8] 魏国树, 张青文, 周明群, 吴卫国. 不同光波及光强度的棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 成虫行为反应. 生物物理学报, 2000, 16 (1): 89~95.
- [10] 丁岩钦, 高慰曾, 李典谟. 夜蛾趋光性的研究: 棉铃虫和烟青虫成虫对单色光的反应. 昆虫学报, 1974, 17 (3): 307~317.