

蝗虫对蓝光偏振光和非偏振光的定向响应对比*

刘启航 周 强

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 为给蝗虫灾害光电诱导捕集治理技术中蝗虫诱导光场性质的确定及不同光场的筛选组合提供理论支持,利用 LED 光谱色非偏振光、蓝光偏振光和行为反应试验装置,进行了不同光照特性的蓝光偏振光场和光谱色非偏振光场对蝗虫定向选择的对比试验,探讨了不同光场对蝗虫定向选择行为影响的机理。结果表明:蓝光偏振光条件下,蝗虫对光谱色非偏振光的趋光定向响应以紫光最优;蝗虫对偏振光和紫光的趋光定向响应对比中,蝗虫对线偏振光和紫光选择的对比率差别最小;蝗虫对偏振光的趋光定向响应取决于偏振光的光照强度,对非偏振光的趋光定向响应取决于光谱色和光照强度;蝗虫敏感光谱色光照强度和蓝光偏振光光照强度对蝗虫趋光响应敏感临界点的差别程度是影响其趋光定向响应选择差异的原因,但就光场光照性质而言,蝗虫敏感光谱色及其光照强度是提高蝗虫诱导率的关键因素。

关键词: 蝗虫 蓝光偏振光 非偏振光 趋光响应

中图分类号: S433.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)12-0116-05

Comparison of Locust's Phototactic Response to Polarized Blue Light and Unpolarized Light

Liu Qihang Zhou Qiang

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

To provide theoretical reference for confirming light properties of locust's directive selection and screening combination the different light field in locust capturing machine by photoelectric equipment, the discrepant comparison that locust's directional response to polarized blue light with different illumination and unpolarized light with different spectrum was investigated through the comparative test by means of LED unpolarized light, polarized blue light and phototaxis behavior trial equipment, and the principle of the locust's directive selection influenced by polarized blue light and unpolarized light was discussed. Under the same illumination of light source, photoelectric simulation generated by polarized blue light and unpolarized light could inspire locust's bio-photoelectric effect, while the sensitive degree of locust on spectrum and polarized blue light's illumination determined the difference of locust's directional response to polarized blue light and spectral light. When the illumination of polarized blue light did change, locust's directional response to linear polarized light was the best. Comparing the different illumination of polarized blue light with locust's sensitive spectrum, locust's phototactic response to violet light was the best. Relative to linear polarized light, the alternating illumination of polarized blue light did not enhance locust's phototactic response. Considering about light properties of the effect on locusts induced, locust's sensitive spectral illumination on improving locust's phototactic inductive rate was a key factor.

Key words Locusts, Polarized blue light, Unpolarized light, Phototactic response

收稿日期: 2010-12-26 修回日期: 2011-01-26

* 高等学校博士点专项科研基金资助项目(20060019012)和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(KYCX2011069)

作者简介: 刘启航, 博士生, 主要从事光机电一体化物理捕蝗技术研究, E-mail: bjluiqihang@163.com

通讯作者: 周强, 教授, 博士生导师, 主要从事光机电一体化技术研究, E-mail: zq@cau.edu.cn

引言

蝗灾严重威胁人类农林牧业的生产。化学农药治理蝗灾,在削弱自然环境调控能力的同时,也妨碍蝗虫生物蛋白资源的利用。基于生态农业与物理农业的考虑,蝗虫群体性趋光行为的光电诱导蝗虫物理捕集治理技术已被提出^[1-2]。在此项技术中,针对蝗虫对不同光场光照特性的趋光响应,结合蝗虫的生物属性,确定出影响蝗虫趋光响应的光照特性因素,查找不同光场对蝗虫趋光增益程度是研发高效光电治蝗设备的基础。国内外学者研究指出:蝗虫对偏振光的响应敏感性要比对非偏振光的响应敏感性至少高两个 lg 单位数量级,而对非偏振光的响应取决于光刺激复眼的部位和光波长,当外界环境以及亮度降低时,偏振光对蝗虫趋光响应起着决定作用^[3-4]。但蝗虫对光谱色和偏振光趋光响应的差别以及蝗虫对光谱色光照光场和偏振光场定向响应的原因,鲜见报道。因此,本文依据蝗虫对蓝光偏振光和非偏振光的敏感程度,采用对比试验法,测试蝗虫对不同光场的选择行为,并分析原因,以期对蝗虫诱导光场特性的确定提供技术支撑和理论参考。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验虫种为北京延庆地区人工饲养的东亚飞蝗。选择羽化一周内的健壮成虫作为试验材料。

1.2 试验装置及方法

试验在 20:00 点后饲养棚外的野地进行,野外温度为 27~30℃,自然月色光照度为 0.1 lx。

1.2.1 试验装置

试验光源为自制圆形 LED 灯板,发光颜色为白、紫、绿、蓝、蓝绿、蓝紫、绿紫、绿紫蓝^[5-6]。LED 采用 12 V 开关直流电源供电,串并联方式连接,灯板直径为 ϕ8 cm,单面发光。光照强度由光照度计测量,可变电阻设定 LED 照射光强。YO25-PL 型偏振片两块,以形成偏振光。

自行设计的蝗虫趋光行为反应试验装置由蓝光光源、偏振片 1、偏振片 2、对照光源、偏振光行为通道(3.1 m×0.4 m×0.4 m)、对照行为通道(3.1 m×0.4 m×0.4 m)、蝗虫栖息活动室(0.6 m×0.6 m×0.6 m)和通道闸门等组成(图 1),其中序号 4、6、7 的内壁、序号 5 的内外表面都贴上黑纸,避免光反射影响通道内的光照,试验装置上方均用透明玻璃板覆盖,在自然光与光源光耦合状态下观察。

1.2.2 试验方法

试验虫种采自现场纱窗饲养棚,各组试验均在

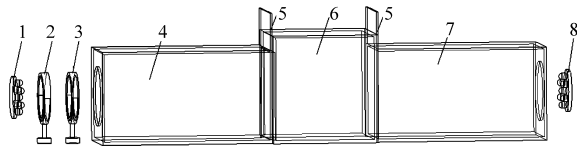


图 1 蝗虫趋光行为反应试验装置
Fig. 1 Sketch map of light-map of locusts' phototaxis behavior

1. 蓝光光源 2. 偏振片 1 3. 偏振片 2 4. 蝗虫偏振光行为通道
5. 通道闸门 6. 蝗虫栖息活动室 7. 对照行为通道 8. 对照光源

同一时间段内(20:00~22:00)进行。根据蝗虫在一定密度范围内有聚群的现象(15~35 只/m²)及反映通道内蝗虫对光响应的群体行为,并为避免虫数对试验结果的误差影响,每次虫数为 40 只/次,重复 3 次取平均值(3 次试验结果平均值的标准误差为 ±2.5%)。光照度计标定通道内光梯度为 10²~10³ lx,由于蝗虫趋光响应的速度性及避免光照时间过长引起蝗虫光适应影响试验效果,在本试验通道长度条件下,光照时间 5 min,处理间隔 20 min。

首先进行蝗虫对蓝光透过单块偏振片所形成的线偏振光场和非偏振光场的选择对比试验;在此基础上,调整偏振片 2 相对于偏振片 1 的摆放角度(0°、30°、45°、60°、90°),进行蝗虫对蓝光透过两块偏振片所形成的偏振光场与对照光场的选择对比试验;最后,固定偏振片 1,旋转偏振片 2(3.14 rad/s),进行蝗虫对蓝光透过偏振片所形成的变化偏振光场与非偏振光场的选择对比试验。试验时,同时开启光源 1、8 和闸门 5 进行试验;每次试验结束后,关上闸门统计虫数。

1.2.3 试验数据处理

以蓝光偏振光响应率 R_1 、非偏振光响应率 R_2 表示蝗虫对偏振光场和不同非偏振光场的选择响应,以对比率 C 反映蝗虫对二者选择差异,即

$$R_1 = \frac{n_1}{n_s} \times 100\% \tag{1}$$

$$R_2 = \frac{n_2}{n_s} \times 100\% \tag{2}$$

$$C = \frac{n_1 - n_2}{n_s} \times 100\% \tag{3}$$

式中 n_1 ——偏振光行为通道中虫数
 n_2 ——对照行为通道中虫数
 n_s ——总虫数, $n_s = 40$ 只

2 结果分析

2.1 蝗虫对不同偏振光和非偏振光趋光定向响应的选择对比

2.1.1 蓝光线偏振光和非偏振光
对比结果如表 1 所示。

表 1 蝗虫对线偏振光和非偏振光的趋光定向响应选择对比
Tab.1 Phototaxis response and comparison of locusts on linear polarized blue light and unpolarized light %

光谱色	R_1	R_2	C
白	45.0	17.5	27.5
紫	15.0	52.5	-37.5
绿	40.0	25.0	15.0
蓝	37.5	20.0	17.5
蓝绿	35.0	25.0	10.0
蓝紫	20.0	40.0	-20.0
绿紫	15.0	45.0	-30.0
绿紫蓝	17.5	50.0	-32.5

表 1 表明,光源光照度相同时,蝗虫对蓝光线偏振光响应率高于对白、绿、蓝及蓝绿光响应率,而低于对紫、蓝紫、绿紫及绿蓝紫光响应率。同时,对比率表明,蝗虫对蓝光线偏振光和非偏振光响应对比率以白光最高,蓝光次之,而以紫光最低,绿紫蓝光次低。

因此,蝗虫对紫光的响应率相对于偏振光最优,绿蓝紫次之,蓝紫光最低,且蝗虫对线偏振光的响应率相对于白光最优,绿光次之,蓝绿光最低。

2.1.2 蓝光偏振光和非偏振光

光源光照度相同时,蝗虫对蓝光偏振光和非偏振光趋光定向响应的选择对比结果如表 2 所示。

表 2 蝗虫对非偏振光和偏振光的选择响应对比率
Tab.2 Comparative rate of locust's directive response to unpolarized light and polarized light %

光谱色	夹角/(°)				
	0	30	45	60	90
白	-30.0	-17.5	-15.0	-10.0	45.0
紫	40.0	45.0	52.5	57.5	75.0
绿	-12.5	10.0	20.0	25.0	55.0
蓝	-15.0	5.0	12.5	20.0	50.0
蓝绿	-10.0	20.0	30.0	35.0	57.5
蓝紫	17.5	25.0	37.5	40.0	62.5
绿紫	27.5	32.5	42.5	50.0	67.5
绿紫蓝	35.0	40.0	47.5	52.5	70.0

注:夹角为偏振片 1 相对于偏振片 2 透振方向的夹角。

由表 2 可知,当两块偏振片透振方向夹角为 0° 时,蝗虫对偏振光和非偏振光趋光定向响应的选择对比率和蝗虫对线偏振光和非偏振光趋光定向响应的选择对比率的差异对比不显著,即此时蓝光偏振光对蝗虫趋光定向响应的作用效果与线偏振光对蝗虫趋光定向响应的作用效果类同;当两块偏振片透

振方向夹角为 90°,即此时通道内蓝光偏振光光照强度为零时,蝗虫对紫光的响应率最高,绿紫蓝光次之,白光最低;当两块偏振片夹角为 30°、45°、60° 时,随着角度增加,蝗虫对偏振光的响应率相对于非偏振光逐渐增大,其中在夹角为 60° 时,对紫光的响应率相对于偏振光最佳,绿紫蓝次之,蓝光最低,而对白光的响应率均低于对偏振光的响应率,在夹角为 60° 时,蝗虫对二者的选择响应率差别最小。

2.1.3 旋转偏振光和非偏振光

光源光照度相同时,蝗虫对旋转偏振光和非偏振光趋光定向响应的选择对比结果如表 3 所示。

表 3 蝗虫对旋转偏振光和非偏振光的趋光定向响应对比
Tab.3 Directive response and comparation of locusts on roating polarized light and unpolarized light %

光谱色	R_1	R_2	C
白	60.0	20.0	40.0
紫	12.5	55.0	-42.5
绿	32.5	20.0	12.5
蓝	35.0	20.0	15.0
蓝绿	22.5	30.0	7.50
蓝紫	20.0	40.0	-20.0
绿紫	15.0	42.5	-27.5
绿紫蓝	15.0	50.0	-35

由表 2 可知,当偏振片 1 固定,偏振片 2 以 3.14 rad/s 速度旋转时,旋转偏振光对蝗虫的趋光定向作用强于白、绿、蓝非偏振光,其中蝗虫对旋转偏振光和白光的响应率最高,对绿光的响应率最低;旋转偏振光对蝗虫的趋光定向作用弱于蓝绿、蓝紫、绿紫、绿紫蓝及紫光,其中蝗虫对旋转偏振光和紫光的响应率最弱,对绿紫蓝光的响应率次之。把表 2 试验结果与表 1、2 的试验结果相比较,可看出旋转偏振光对蝗虫的趋光定向作用相对于白光呈增效作用,相对于蝗虫敏感光谱色则呈现为减小了蝗虫对旋转偏振光的响应率。

2.2 蝗虫对偏振光和非偏振光趋光响应选择差异的原因分析

蓝光光源发出的光为自然光,通过偏振片后,由马吕斯定律可知,从偏振片 2 出射光光强变化规律为

$$I_2(\theta) = \frac{I_1 \cos^2 \theta}{2}$$

(4)

式中 I_2 ——偏振片 2 出射光光照强度
 I_1 ——蓝光光源光照强度
 θ ——偏振片 1 和偏振片 2 透振方向夹角
依据蝗虫对偏振光和非偏振光的对比率,如

图 2 所示,参照式(4),可分析蝗虫对偏振光和非偏振光趋光响应选择差异的原因。

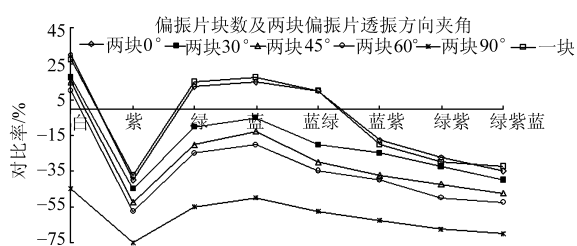


图 2 不同夹角时蝗虫对偏振光和非偏振光的选择对比率
Fig. 2 Comparative rate of locusts on polarized light and unpolarized light of different included angles

相对于同一非偏振光,当 θ 为 0° 时,蝗虫对偏振光和非偏振光的对比率大致相当(二者差异率低于 2.5%)。由式(4)可知,此时蓝光偏振光的光照强度均为 $I_1/2$,其性质为线偏振光。同时,蝗虫对这二者的响应率均高于对其他 θ 情况下的偏振光。蝗虫对非偏振光的响应取决于光刺激复眼的部位和光的波长,而蝗虫对偏振光响应取决于偏振光的光照强度。

另外,蝗虫视觉神经系统中存在 TuTu1 和 LoTu1 神经,这两种神经既对蓝光偏振光敏感也对非偏振光敏感,其中蓝色光对两种神经产生抑制作用,紫外光对 LoTu1 产生兴奋抑制作用,对 TuTu1 产生兴奋引起作用;绿色光对 LoTu1 产生兴奋引起作用,对 TuTu1 产生兴奋抑制作用,并且 LoTu1 对偏振光的响应敏感性要比对非偏振光的响应敏感性至少提高两个 lg 单位数量级^[7]。同时,蝗虫复眼内存在多种光谱感受器,其不同的神经反应通道对敏感光谱组合光刺激产生的神经反应具有相应的叠加增效作用^[8~10]。因此,光谱色光照、偏振光照对蝗虫视神经的兴奋抑制、兴奋引起和兴奋增效作用,导致了蝗虫趋光响应敏感点的差异,引起了蝗虫对不同非偏振光和偏振光的选择差别。

当 θ 分别为 0° 、 30° 、 45° 、 60° 、 90° 时,由式(4)可知,偏振光光照度按 $\cos^2 \theta$ 规律递减,与此相对应,由图 2 可知,蝗虫对偏振光和相同非偏振光的选择响应率对比率均递减,其中,蝗虫对紫光的选择相对于偏振光最优,其次是绿紫蓝光,白光最差。同时,图 2 表明,偏振光光照度的变化,会引起蝗虫对偏振光和非偏振光的选择差别。由此可知:当偏振光蓝光光源光照度和非偏振光紫、蓝紫、绿紫以及绿紫蓝光的光照度相同时,蝗虫对偏振光的趋光定向响应敏感性优势将被非偏振光紫、蓝紫、绿紫以及绿紫蓝光照刺激所引起蝗虫的神经兴奋所取代,表现出蝗虫对紫、蓝紫、绿紫以及绿紫蓝光的响应率高于对偏振光的响应率;因偏振光光照度的不同,白、蓝、绿及

蓝绿非偏振光光照度与偏振光光照度决定了蝗虫的趋光选择性。可见,蝗虫对非偏振光的响应取决于光谱色光照强度,而对蓝光偏振光的响应取决于偏振光的光照强度,且蝗虫对线偏振光的定向选择相对于非线偏振光最佳;蝗虫对光谱光照和偏振光光照均存在趋光响应敏感临界点,趋光响应敏感临界点决定了蝗虫趋光响应的优先性。

因此,由上述分析可知:蝗虫趋光响应敏感临界点引起了蝗虫对偏振光和恒定光照光谱色的响应敏感对比,并因光谱色和偏振光光照度的不同导致了蝗虫对偏振光和恒定光照光谱色的响应敏感的差别;蝗虫对偏振光的行为定向敏感性和偏振光光照度相关,并且,在外界环境亮度降低时,蝗虫对偏振光的趋光定向响应相对于蝗虫不敏感的光谱色强;蝗虫对偏振光行为响应敏感性的光照度要求是蝗虫对其敏感蓝、绿及蓝绿光光照度要求的 0.9 个 lg 数量级,然而,当蓝、绿及蓝绿光光照度大于偏振光光照度 0.2 个 lg 数量级左右时,蝗虫对偏振光行为响应敏感性低于蝗虫对蓝、绿及蓝绿光的行为响应敏感性;在偏振光蓝光光源光照度和非偏振紫光及紫与蓝、绿的组合光光源光照度相同条件下,偏振光对蝗虫的定向优势被光谱光照刺激的敏感性所代替,光谱色及光刺激蝗虫复眼的部位决定了蝗虫对光谱光照响应敏感的大小。

2.3 结果分析

基于蓝光偏振光与不同光谱色非偏振光对蝗虫趋光定向影响的分析和探讨,采用对比试验法发现,光源光照度相同条件下,蝗虫对偏振光和光谱色的响应敏感性对比差异取决于偏振光光照强度和蝗虫对光谱色的敏感程度,并且,蝗虫对紫、蓝紫、绿紫以及绿紫蓝光谱色非偏振光的选择优于蓝光偏振光,并随偏振光光照强度的减弱,蝗虫对二者的选择对比差距增大,其中,蝗虫对紫光的选择相对于相同光照度的偏振光最优,绿紫蓝光次之;蝗虫对线偏振光的选择优于对白、蓝、绿以及蓝绿光的选择,且当蓝、绿及蓝绿光光照度大于偏振光光照度 0.2 个 lg 数量级时,蝗虫对蓝、绿以及蓝绿光谱色的选择优于对偏振光的选择;旋转偏振光特性于蝗虫的定向选择相对于线偏振光并未得到增强。

3 结束语

在蝗虫对蓝光偏振光和非偏振光选择对比的试验基础上,通过试验数据的对比分析,确定了蓝光偏振光和非偏振光对蝗虫趋光定向选择的优劣,分析了蝗虫对蓝光偏振光与不同光谱色非偏振光选择反应不同的原因。本文的试验结果和分析

表明:蝗虫对光谱色光照和偏振光光照的趋光响应敏感临界点决定了蝗虫对光谱光照和偏振光光照趋光响应的优先性和响应程度;蓝光偏振光光照强度决定了蝗虫对偏振光场趋光定向响应的敏感性,非偏振光光谱色和其光照强度对蝗虫的光刺激程度决定了蝗虫对非偏振光趋光响应率;光源光照度相同条件下,蓝光偏振光光照强弱、蝗虫对光谱光照的敏

感程度决定了蝗虫对蓝光偏振光和光谱光照的趋光响应敏感性及响应率,结果显示,蝗虫对紫光光照的趋光响应相对于蓝光偏振光最优,绿紫蓝光次之,而白光最差。利用本文的试验结果,可以有效的在LED诱导灯源研制时进行诱导光照特性因子的确定以及诱导光场的筛选。

参 考 文 献

1 周强,徐瑞清,程小桐. 昆虫的生物光电效应与虫害治理应用[J]. 现代生物医学进展,2006,6(4):70~72.
Zhou Qiang, Xu Ruiqing, Cheng Xiaotong. Bio-photo-electro effect of insects and its application in pest control[J]. Progress in Modern Biomedicine, 2006, 6(4): 70~72. (in Chinese)

2 Farrow R A. A modified light-trap for obtaining large samples of night-flying locusts and grasshoppers[J]. Australian Journal of Entomology, 1974,13(4):357~360.

3 Michiyo K, Keram P, Uwe H. Spectral properties of identified polarized-light sensitive interneurons in the brain of the desert locust *Schistocerca gregaria*[J]. The Journal of Experimental Biology,2007,210(8):1 350~1 361.

4 Uwe H. Surgical lesion of the anterior optic tract abolishes polarotaxis in tethered flying locusts, *Schistocerca gregaria*[J]. Journal of Comparative Physiology A, 2007,193(1):43~50.

5 Vishnevskaya T M, Cherkasov A D. Spectral sensitivity of photoreceptors in the compound eye of the locust [J]. Neurophysiology, 1986,18(1):54~60.

6 Bailey E V, Harris M O. Visual behavior of the migratory grasshopper, *Melanoplus sanguinipes* F. [J]. Journal of Insect Behavior,1991,4(6):707~726.

7 Uwe H, Stefan W. Movement-sensitive, polarization-sensitive, and light-sensitive neurons of the medulla and accessory medulla of the locust, *Schistocerca gregaria*[J]. The Journal of Comparative Neurology,1997, 386(3):329~346.

8 Jander, Barry. The phototactic push-pull-coupling between dorsal ocelli and compound eyes in the phototropotaxis of locusts and crickets[J]. Zeitschrift für Vergleichende Physiologie, 1968, 57(4): 432~458.

9 Mappes M, Homberg U. Behavioral analysis of polarization vision in tethered flying locusts[J]. Journal of Comparative Physiology A, 2004,190(1): 61~68.

10 刘启航,周强. 诱导光源光照梯度对蝗虫趋光响应的影响[J]. 农业机械学报,2011,42(10):105~109,140.
Liu Qihang, Zhou Qiang. Influence of trapping light source illuminance gradient on locusts' phototactic effect [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(10):105~109,140. (in Chinese)

(上接第 110 页)

10 辛天国,李研. 感应充电气力式静电喷头的分析探讨[J]. 农业机械,2010(7):102~104.

11 Maskia D, Durairaj D. Effects of electrode voltage, liquid flow rate, and liquid properties on spray chargeability of an air-assisted electrostatic-induction spray-charging system[J]. Journal of Electrostatics,2010,68(2):152~158.

12 茹煜,郑加强,周宏平,等. 航空双喷嘴静电喷头的设计与试验[J]. 农业机械学报,2007,38(12):58~61.
Ru Yu, Zheng Jiaqiang, Zhou Hongping, et al. Design and experiment of double-nozzle of aerial electrostatic sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(12):58~61. (in Chinese)

13 Law S E, Bowen H D. Effects of liquid conductivity upon gaseous discharge of droplets[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1989,25(6):1 073~1 080.

14 杨超珍,吴春笃,陈翠英,等. 静电喷雾突变特性的分析和试验[J]. 农业机械学报,2007, 38(1):72~75.
Yang Chaozhen, Wu Chundu, Chen Cuiying, et al. Analysis and experiment of drastic characteristics in electrostatic spraying[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(1):72~75. (in Chinese)

15 刘春景,郑加强,王科元. 静电喷头雾化特性预测模型[J]. 农业机械学报,2009,40(4):63~68.
Liu Chunjing, Zheng Jiaqiang, Wang Keyuan. Prediction model for atomization performance of electrostatic spraying nozzle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(4):63~68. (in Chinese)