

光谱光照调控组合性光源激发蝗虫趋光效果试验*

刘启航¹ 周强²

(1. 河南机电高等专科学校, 新乡 453003; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 针对蝗虫趋光选择性、蝗虫趋光辨识敏感性、频闪交变光照对蝗虫趋光增益特点, 利用所研制的阵列条纹调控光照光源, 对比优选了蝗虫趋光良好的光谱光照调控组合模式, 进行了蝗虫趋光诱导试验, 探讨了蝗虫趋光效应激发的机理。结果表明: 阵列条纹光谱光照调控组合具有强化蝗虫趋光视觉增益、调控蝗虫趋光视动增效、激发蝗虫趋光聚集效应、削弱蝗虫趋光惰性的功效; 蝗虫趋光响应激发效果由阵列条纹光谱光照能量及其调控光照组合方式决定; 蝗虫对发光间隔为 30 ms 的阵列频闪紫光与发光周期为 640 ms 的竖条纹交变绿紫光组合光照的趋光响应相对最优。调控光照光源激发饲养棚内蝗虫趋光效果结果表明: 20:00 ~ 23:00, 其调控激发蝗虫趋光效果好, 光照至 24:00, 蝗虫趋光总响应率及聚集率分布达到了 $80\% \pm 5\%$ 和 $50\% \pm 5\%$, 然而, 蝗虫的生物习性及其智慧性、蝗虫夜间活力降低的趋光惰性、环境因素、LED 光源调控性光照强度增强的限制等制约蝗虫的趋光效应。

关键词: 蝗虫 阵列条纹光源 调控光照 趋光效应 趋光响应

中图分类号: S433.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)09-0243-07

Effect of Locust's Phototactic Response to Regulatory Illuminance of LED Light Source

Liu Qihang¹ Zhou Qiang²

(1. Henan Mechanical and Electrical Engineering College, Xinxiang 453003, China

2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: According to the phototactic choice, sensitive recognition and phototactic gain stimulated by flashing and alternating light of locust, the regulatory illumination of array stripe light source was used to conduct regulatory illuminance experiment. The different spectral illumination combinations were compared. The mechanism of locust's phototactic effect was discussed. The results suggested that combined mode of spectral illumination of array stripe and regulatory illumination could enhance locust's phototactic visual gain, regulate locust's phototactic optokinetic effect, stimulate locust's phototactic aggregation effect, and increase locust's phototactic activity. Locust's phototactic effect was decided by spectral illumination energy and regulatory illuminance mode of array stripe. The optimum stimulation mode was consisted of 30 ms luminous interval of frequency violet light array and 640 ms luminous cycle of alternating green-violet-blue vertical stripe light array. The results of locusts stimulated by regulatory illumination of light source in the breeding shed showed that locusts' phototactic effect was better at 20:00 ~ 23:00. When it continue to 24:00, the total response and aggregation rate were $80\% \pm 5\%$ and $50\% \pm 5\%$, respectively. The locust's biological habits and alertness, locust's phototactic inertia, environmental factors and LED restriction restricted locust's phototactic effect.

Key words: Locusts Array stripe of light source Regulatory illuminance Phototactic effect
Phototactic response

收稿日期: 2012-09-18 修回日期: 2012-10-17

* 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(KYCX2011069)和2012年公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201203025)

作者简介: 刘启航, 讲师, 博士, 主要从事光机电一体化技术研究, E-mail: bjliuqihang@163.com

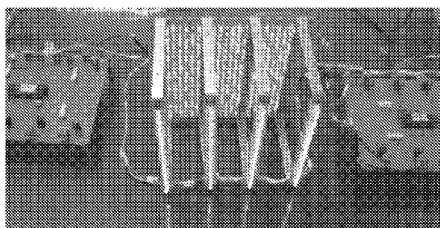
通讯作者: 周强, 教授, 博士生导师, 主要从事光机电一体化物理捕蝗技术研究, E-mail: zq@cau.edu.cn

引言

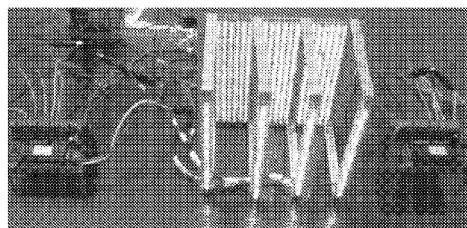
蝗灾严重危及农林牧畜业的健康发展,目前化学农药治理蝗灾,损害益生物种,威胁人类健康,破坏生态环境,妨碍蝗虫生物蛋白利用^[1]。因此,蝗虫趋光诱导聚集光场技术的开发和蝗虫趋光增益调控技术的实现,对于蝗灾防治和蝗虫资源的生态化捕集应用,具有重要意义。

国内外研究表明:蝗虫对不同光谱光及组合光谱光的趋光敏感响应存在差异,蝗虫的趋光响应具有光谱光照强度要求^[2],并对敏感光谱光照强度存在容限范围,蝗虫敏感光谱调控性(频闪、交变等)光照特性能够激发和促进蝗虫的趋光响应^[3-5]。同时,蝗虫敏锐的视觉特性,引起了蝗虫对背景光照中横竖条纹光的识别,导致了蝗虫趋光响应对光场要求的特定性^[6-7]。但是,蝗虫敏感的调控组合光场对蝗虫趋光的叠加效应和趋光激发的影响,以及蝗虫趋光响应最大化的驱动因子的探讨,鲜见报道。

本文以调控性光照特性激发蝗虫趋光的生物光电效应理论为基础,针对光源光照特性调控组合性,采用对比试验,测试蝗虫对该光源的趋光效应,分析并探讨蝗虫趋光响应差异的机理性原因。



(a)



(b)

图1 光照特性调控性LED光源

Fig.1 Regulatory illuminance of LED light source

(a) 绿紫蓝阵列紫光条纹 (b) 紫光阵列绿紫蓝条纹

1.2 试验装置

蝗虫行为反应试验装置如图2所示^[11-12]。蝗虫趋光响应行为反应通道3和蝗虫趋光响应对照行为反应通道5的尺寸为3.1 m×0.6 m×0.6 m(长×宽×高),以对比蝗虫对光源1和对照光源6不同调控光照特性的趋光选择行为差异,在此基础上,通道3加长至5 m,从通道3最左端至左端闸门8处依次划分为0~1 m、1~2 m、2~3 m、3~4 m、4~5 m,以进行单一光源1激发下蝗虫的趋光选择效果试验;蝗虫活动室4的尺寸为1.0 m×1.0 m×0.8 m(长×宽×高),以利调控光照激发蝗虫的行为活动;控制系统2、7实现光源1和光源6的光照调控模式;通道闸门8实现开闭功能。装置上方敞空,以利观察。

1.3 试验方法

试验在20:00~22:00进行。考虑到蝗虫趋光

1 材料与方方法

试验虫种为北京市延庆县人工饲养的东亚飞蝗健壮成虫。试验前蝗虫搁置在阳台上的透明饲养箱内进行自然适应,试验时采集,试验于20:00后在实验室内进行^[2],室内温度为27~30℃。

1.1 试验用光源

利用蝗虫趋光敏感的紫和绿紫蓝光谱色,以及蝗虫趋光激发良好的频闪光间隔和交变光光周期^[8],并根据蝗虫对背景光照中光谱条纹的敏感识别趋向性,研制出试验用阵列条纹光照组合调控性LED光源^[9-10](图1),其中,阵列条纹光谱组合特征为紫光阵列绿紫蓝条纹及绿紫蓝阵列紫光条纹,阵列条纹调控光照特征为由单片机编程实现的阵列频闪条纹交变及阵列交变条纹频闪光照(频闪光发光间隔为30 ms,下文中30 ms即表示频闪光发光间隔为30 ms;交变光发光周期为640 ms,下文中640 ms即表示交变光发光周期为640 ms),频闪、交变光持续时间为0.25 ms。在此基础上,研制出试验用频闪、交变紫光阵列调控性光照(图1b中条纹调控光照去掉即可)。光源及单片机控制系统均由12 V直流电压供电。

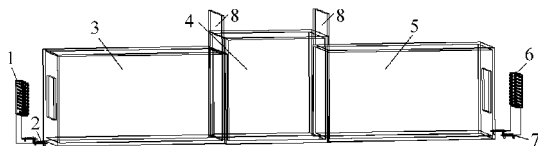


图2 蝗虫行为反应试验装置

Fig.2 Sketch map of light-map of locust's phototaxis behavior

1. 调控性光源 2. 光源控制系统 3. 蝗虫趋光响应行为反应通道 4. 蝗虫活动室 5. 蝗虫趋光响应对照行为反应通道 6. 对照调控性光源 7. 对照光源控制系统 8. 通道闸门

响应的群体行为,每次试验蝗虫40只,重复3次取平均值,标准误差见图3~5。光照5 min,处理间隔20 min,光度计标定光源光照强度为1 000 lx。

(1)开启1、2、6、7、8,进行蝗虫对阵列竖条纹调控光照(光源1光照)和紫光阵列调控光照(对照光

源6光照)的趋光响应对比试验(对比试验组:①绿紫蓝阵列紫光竖条纹调控组合光照和紫光阵列调控光照。②紫光阵列绿紫蓝竖条纹调控组合光照和紫光阵列调控光照,对照组标号如表1所示)。

表1 阵列条纹和对照阵列的调控参数对照组标号

Tab.1 Contrast regulatory illuminance parameters of spectral array stripe and contrastive spectral array

对照 标号	阵列条纹调控组合光照		紫光阵列调控光照
	阵列调控参数/ms	条纹调控参数/ms	调控参数/ms
1	640	30	640
2	640	30	30
3	30	30	640
4	640	640	30
5	30	640	640
6	30	640	30

(2)在以上试验的基础上,进行蝗虫对紫光阵列绿紫蓝竖条纹调控组合光照(光源1光照)和绿紫蓝阵列紫光竖条纹调控组合光照(对照光源6光照)的趋光响应对比试验(对照组标号如表2所示)。

表2 不同光谱色阵列条纹的调控参数对照组标号

Tab.2 Contrast regulatory illuminance parameters of different spectral array stripes

对照 标号	紫光阵列绿紫蓝竖 条纹调控组合光照		绿紫蓝阵列紫光竖 条纹调控组合光照	
	阵列调控 参数/ms	条纹调控 参数/ms	阵列调控 参数/ms	条纹调控 参数/ms
	1	640	30	640
2	640	30	30	640
3	30	640	30	640
4	30	640	640	30
5	640	30	30	30
6	640	30	640	640
7	30	640	30	30
8	30	640	640	640

(3)关闭对照调控性光源6,进行蝗虫对光源1(阵列横竖条纹调控及恒定光照,图1光源横置即可实现横条纹光照)的趋光响应试验(光照模式见表3)。试验后统计虫数。

表3 光源1光照模式

Tab.3 Regulatory illuminance mode of light source No. 1

调控模式标号	阵列光照/ms	条纹光照/ms
1	恒定	恒定
2	恒定	640
3	恒定	30
4	640	恒定
5	30	恒定
6	640	30
7	30	640

1.4 试验数据处理

利用蝗虫趋光响应选择对比率 R_1 来反映蝗虫对不同光源调控光照特性趋光响应的差异程度,公式为

$$R_1 = \frac{|n_1 - n_2|}{n} \times 100\%$$

式中 n_1 ——通道3内虫数

n_2 ——通道5内虫数

n ——试验蝗虫数,取40

利用蝗虫趋光响应选择率 R_2 来反映蝗虫对不同调控光照特性趋光响应的大小

$$R_2 = \frac{n_3}{n} \times 100\%$$

式中 n_3 ——单通道3内蝗虫总虫数

利用分布率 R_3 来反映紫光阵列绿紫蓝条纹调控光照激发蝗虫趋光的敏感程度

$$R_3 = \frac{n_4}{n} \times 100\%$$

式中 n_4 ——单通道3划分区域内蝗虫分布的虫数

2 结果分析与讨论

2.1 试验结果

2.1.1 不同调控光照对照模式下蝗虫的趋光响应对比

统计计算蝗虫对阵列竖条纹调控光照和对照紫光阵列调控光照趋光响应对比结果见图3。

图3对比结果表明:蝗虫对阵列条纹调控组合光照的趋光响应均优于对照调控性紫光阵列光照。

对图3的试验结果进行 F 显著性检验,表明:各个相同的调控参数对照组条件下,阵列条纹光谱光照组合与紫光的对比差异性极度显著(0.05水平上);相同阵列条纹和对照紫光条件下,阵列条纹调控参数与紫光调控参数的对比差异性也极度显著(0.05水平上)。

由上可知,阵列条纹的光谱组合光照与紫光的对照(二者光照度相同)下,二者均引起了蝗虫的趋光效应,且阵列条纹的耦合刺激效应,引起了大部分蝗虫的视觉感应定向。在此作用下,阵列条纹调控光照的交互刺激作用,大于单一紫光的调控性光照刺激,并且,阵列条纹的组合光谱与其调控组合光照特性的耦合交互刺激效应,进一步强化了蝗虫的趋光选择敏感性。

图3对比结果进一步表明,相同调控参数对照组中,紫光阵列绿紫蓝条纹均优于绿紫蓝阵列紫光条纹,调控参数对照组不同,这二者的差异也显著不同,因此,阵列条纹的光谱组合性对蝗虫的趋光定向

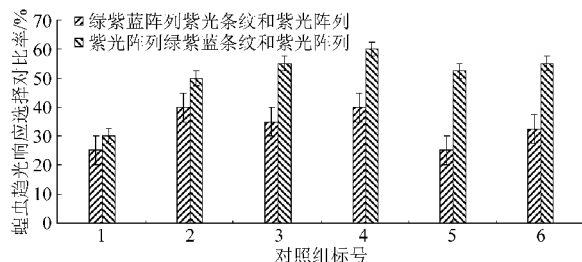


图3 蝗虫对阵列条纹和对照阵列调控性光照趋光响应对比

Fig. 3 Comparison of locust's phototactic response to regulatory illumination of array stripe and contrastive array

敏感性起决定作用,而阵列条纹的调控组合参数对蝗虫趋光视觉效应起激发作用。经对比分析,紫光阵列绿紫蓝条纹的调控组合光照相对最优。

2.1.2 阵列条纹不同光谱组合及调控模式下蝗虫的趋光响应对比

不同调控光照模式(见表2)下,蝗虫对不同光谱阵列竖条纹趋光响应的对比结果见图4。

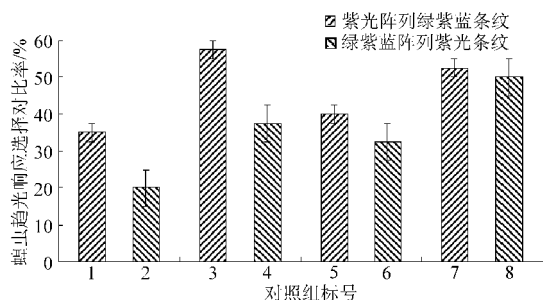


图4 不同调控模式下蝗虫对不同光谱阵列条纹趋光响应的对比

Fig. 4 Comparison of locust's phototactic response to different spectral array stripes under different regulatory illuminations

图4表明:表2中各对照调控参数下的调控组合光照中,紫光阵列绿紫蓝条纹均优于绿紫蓝阵列紫光条纹,且调控模式2下的对照调控参数下,这二者的对比差异最小,为20%,而调控模式标识号3下的对照调控参数下,这二者的对比差异最大,达到57.5%。

由以上分析可知,在阵列条纹的光谱光照引起蝗虫趋光视觉感应和趋光敏感定向基础上,阵列条纹的调控参数组合方式决定了蝗虫趋光选择强度和激发增效程度。同时,据试验观察,调控光照对照的试验环境中,调控性光照较易激发蝗虫对光源的探测敏感性和辨识敏锐性,能够增强蝗虫对光源的趋光选择行为,且趋光的蝗虫未出现趋光停滞现象,蝗虫总体表现为向光行为。表明阵列条纹的调控光照模式能够强化蝗虫趋光选择行为,调控蝗虫趋光视觉适应性,激发蝗虫趋光活性效应。对图4结果进行对比分析可知,试验条件下,30 ms 频闪紫光阵列

与640 ms 交变绿紫蓝条纹光的调控组合光照的调控激发效果相对最优。

但是,蝗虫视觉系统辨识目标物的生理选择性,导致阵列中条纹放置方式影响蝗虫趋光效果^[13]。因此,需在紫光阵列绿紫蓝条纹调控组合光照激发蝗虫趋光良好的基础上,合理筛选紫光阵列绿紫蓝条纹中条纹的放置方式,以及其相应的调控模式,来增强蝗虫的趋光响应选择程度。

2.1.3 不同调控模式下蝗虫对紫光阵列绿紫蓝横竖条纹的趋光响应及趋光分布

5 m 单通道试验中,不同调控光照模式下,紫光阵列绿紫蓝横竖条纹激发蝗虫趋光响应及趋光分布的效果分别如图5和表4所示。

图5结果表明:同一调控光照模式下,紫光阵列绿紫蓝竖条纹的光照激发效果优于紫光阵列绿紫蓝横条纹或相当。 F 显著性检验表明:0.025 水平上,调控光照模式1、2、7下,紫光阵列绿紫蓝横竖条纹的激发效果差异性显著,而调控光照模式3下,二者的差异性不显著;0.05 水平上,调控光照模式4、6下,紫光阵列绿紫蓝横竖条纹的差异性极度显著,而调控光照模式5下,二者的差异性显著。

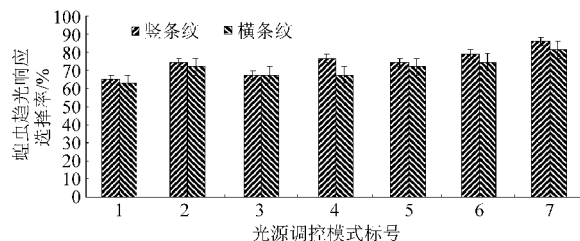


图5 不同调控光照模式和单通道条件下蝗虫对紫光阵列绿紫蓝横竖条纹的趋光响应

Fig. 5 Locust's phototactic response to violet with horizontal and vertical stripe under regulatory illuminations

结合表3中光源的光照模式,进行分析可知:阵列恒定光照下,阵列光照与横竖条纹光照(恒定或调控)的交互作用激发蝗虫趋光总响应的效果差别不明显,而相同条纹间,其效果差异十分显著,从而,阵列光照中条纹的交变调控效果显著;阵列调控光照下,相同条纹之间,阵列光照与条纹恒定光照的耦合激发效应中,阵列交变光照的调控效果较强,而阵列光照与条纹调控光照的交互性耦合激发效应显著增强,阵列频闪光照的激发效应突显,条纹交变调控效果显著,且不同条纹间,竖条纹调控光照显著优于横条纹。

因此,相同光照能量下,频闪紫光光照对蝗虫趋光的激发效应、绿紫蓝条纹交变光照对蝗虫趋光视觉的调控效应,较易开启蝗虫视觉系统对光照光子吸收反应的生理阈限,引发蝗虫趋光响应效应,而二

者的交互耦合性调控激发作用中,阵列频闪激发为主,条纹交变调控为辅,并表明阵列频闪激发光照中竖条纹交变光照较易引起和调控趋光响应激发状态下蝗虫的视觉敏锐性和敏感响应性。

表4 不同调控模式下蝗虫在通道区域内对紫光阵列绿紫蓝条纹光的趋光分布

Tab.4 Locust's phototactic distribution under different regulatory illuminations of array stripe in channel

紫光阵列绿紫蓝条纹			蝗虫在通道各区域内的分布率/%				
阵列光照/ms	条纹光照/ms	条纹放置方式	0~1 m	1~2 m	2~3 m	3~4 m	4~5 m
恒定	恒定	竖条纹	20.0	30.0	15.0	5.00	0
		横条纹	15.0	30.0	15.0	2.50	5.00
恒定	640	竖条纹	25.0	30.0	15.0	7.50	2.50
		横条纹	30.0	25.0	12.5	5.00	5.00
恒定	30	竖条纹	22.5	15.0	20.0	12.5	2.50
		横条纹	20.0	17.5	17.5	10.0	7.50
640	恒定	竖条纹	25.0	22.5	17.5	15.0	2.50
		横条纹	22.5	25.0	17.5	5.00	2.50
30	恒定	竖条纹	27.5	22.5	27.5	2.50	0
		横条纹	17.5	25.0	25.0	5.00	2.50
640	30	竖条纹	37.5	22.5	20.0	2.50	2.50
		横条纹	30.0	27.5	12.50	5.00	0
30	640	竖条纹	57.5	27.5	5.00	0	0
		横条纹	42.5	35.0	7.50	2.50	0

对表4分析可知:阵列条纹均恒定光照下,条纹放置方式对0~1 m处蝗虫趋光敏感选择的影响极其显著,而3~5 m内对趋光分布的影响极度显著,则相同光照能量刺激下,阵列光照中条纹光照放置激发蝗虫趋光性视觉生物光电效应的响应程度不同,导致其对近处(1 m以内)和远处(3 m以外)蝗虫趋光视觉敏感效应的作用不同,即其对近处蝗虫趋光视觉的敏感辨识捕捉选择性、远处蝗虫趋光视觉激发及辨识响应的程度不同,其中,竖条纹相对较优;阵列光照恒定、条纹光照交变,或阵列交变光照、条纹光照恒定下,0~2 m处条纹放置方式对蝗虫趋光分布无显著影响,而阵列光照采用交变光照,3 m外蝗虫趋光分布差异极度显著($F, 0.05$),则光照能量越强(LED阵列光照叠加所致),交变光对远处蝗虫的趋光视觉调控效应越显著,而条纹光放置方式对2 m内蝗虫视觉系统的敏感激发及辨识选择的作用不显著;阵列光照恒定、条纹频闪光照下,0~2 m处条纹放置方式对蝗虫趋光分布无影响,而阵列频闪光照、条纹光照恒定下,0~1 m处条纹放置方式对蝗虫趋光分布差异极度显著($F, 0.05$),则光照能量强,频闪光对蝗虫趋光视觉生物光电效应的激发效果显著,且竖条纹激发蝗虫趋光视觉的辨识选择敏感性的效果突显;阵列交变光照、条纹频闪

光照,或阵列频闪光照、条纹交变光照下,0~1 m处条纹放置的激发或调控方式对蝗虫趋光选择分布的影响差异性极度显著($F, 0.05$),且阵列频闪光照、竖条纹交变光照对3 m外蝗虫的调控激发效应较强,则蝗虫敏感光谱光照能量的频闪激发、竖条纹交变调控对蝗虫趋光视觉激发的耦合交互作用,能够较好地引起蝗虫趋光敏感响应,且频闪阵列光照中的交变竖条纹光照能够较好地诱使蝗虫的趋光视觉辨识选择性、阵列频闪竖条纹交变光照的耦合叠加效应也能够调控激发3 m外蝗虫的趋光定向响应。

由上述分析可知,为了较远处蝗虫的趋光调控激发、近处蝗虫的趋光选择捕捉,发挥光谱光照能量、频闪光照、交变光照对蝗虫趋光视觉生物光电效应的交互性调控激发效应,结合图5和表4的试验结果,经对比测定分析,蝗虫诱导光源应采用紫光阵列绿紫蓝竖条纹形式,相应调控光照模式为:紫光阵列频闪光间隔30 ms,条纹交变发光周期640 ms。

2.2 光照特性调控性LED光源对蝗虫诱导效果的试验验证

依据上述试验结果,研制了紫光阵列绿紫蓝竖条纹调控光源(图6a示光源,阵列:30 ms频闪光照,条纹:640 ms交变光照,二者由单片机微控系统编程实现,单颗LED功率1 W),以7月下旬在北京市延庆县某蝗虫养殖基地棚内饲养的东亚飞蝗成虫(密度为10~15只/m²,饲养棚尺寸为30 m×3 m)为对象,试验光源光照强度标定为1 000 lx,20:00~24:00进行试验,以检验光源对蝗虫趋光诱导的功效。

试验过程中,棚内蝗虫在光源的引诱下,逐渐爬行至诱导光源后未光照处,并向角落里聚集后,再从纱窗上迂回性地逼近光源,摄像记录整个试验过程。试验过程中,饲养棚内趋光聚集的蝗虫如图6所示。

定义蝗虫总趋光率为具有趋光行为的蝗虫数与棚内蝗虫总数的比值,趋光聚集率为趋光聚集的蝗虫数与棚内蝗虫总数的比值,诱导试验完成后,估算棚内蝗虫总趋光率和趋光聚集率分别为80%±5%和50%±5%。并且,趋光的蝗虫中,具有定向趋光行为的蝗虫为40%±5%,逐步向光行为的蝗虫大致为20%±5%,趋光中在灯源3~5 m处有中途停滞的蝗虫为10%±5%,而从纱窗侧壁上逐步向光源逼近的蝗虫为30%±5%,即蝗虫从纱窗上迂回性地逼近光源。该结果表明,光照特性调控性LED光源能够有效调控激发蝗虫的趋光响应,在一定程度上实现了蝗虫的趋光聚集。

但是,根据试验过程观察,距灯源25 m后,调控光照对蝗虫的光诱效果不大。同时,趋光的蝗虫未

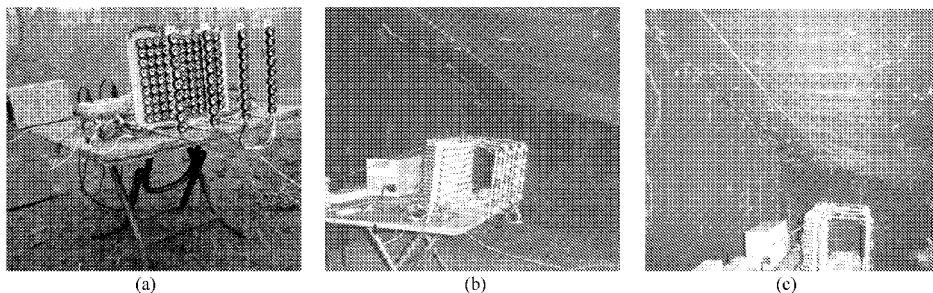


图6 蝗虫对调控性光源的趋光效果

Fig. 6 Phototactic effect of locusts on regulatory light source

(a) 傍晚未开灯时光源处无蝗虫 (b) 20:00~21:00 时近光源处光诱效果 (c) 22:00~24:00 时近光源处诱导效果

表现出激烈的跳跃飞翔性的直接上灯现象,而是逐渐向灯源靠近的敏锐性捕捉,并且,调控光照下蝗虫的诱导行为表现出了光诱聚集效应,随光照时间的推移,近光源处聚集的蝗虫越来越多,并多向偏离光源光照的角落里集中,从而又逐渐对光源光照进行迂回性探测捕捉,并且,光源光照在 24:00 以后对蝗虫的调控激发几乎毫无效果。在 20:00~24:00 时间段内,随光照时间递增,光源的趋光调控激发效果逐渐减缓,且良好激发效果集中在 20:00~23:00。24:00 后,增强调控激发的光照强度,其效果也并未十分显著。

结合试验过程,参照蝗虫趋光效果,根据环境条件,对蝗虫趋光响应效果进行分析可知:夜间环境温度湿度影响蝗虫的趋光活性;蝗虫夜间活动力降低的作息规律、蝗虫个体趋光的差异性制约了调控光照光源对蝗虫的诱集效果;蝗虫趋光行为的迂回渐进性表明调控光照强度尚未达到激发蝗虫趋光眩晕的效果;蝗虫趋光惰性、光谱光照的传播衰减性等因素削弱了调控光照对蝗虫趋光的调控激发效果。因此,需采取一定的措施来实现蝗虫趋光集聚的最大化,来实现蝗虫的趋光聚集捕捉。

2.3 讨论

为了探讨阵列条纹调控光源对蝗虫趋光激发机理,光源调控激发蝗虫趋光响应的效应简化为图 7 所示示意图。

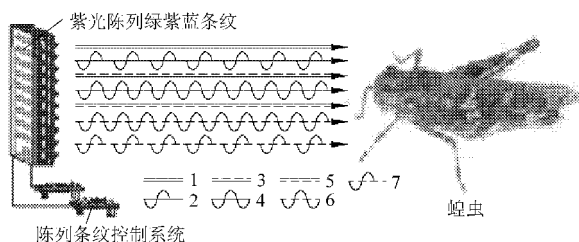


图7 阵列条纹光源调控激发蝗虫趋光效应示意图

Fig. 7 Locust's phototactic response effects stimulated by regulatory light source

依据图 7,结合图 5、6 及表 4 的试验结果及试验现象,分析可知,阵列条纹光谱光照耦合的光照能

量刺激蝗虫视觉系统,引起了蝗虫对阵列条纹光照的初始聚焦定向,蝗虫视觉系统对光的吸收和转化,导致蝗虫视觉系统产生生物光电效应,产生视神经电生理活动,激发蝗虫趋光性生理兴奋,从而导致蝗虫对阵列条纹光源光照目标的趋光定向行为。

由于阵列条纹调控组合光照调控激发蝗虫趋光视觉效应的作用差异^[14~15],以及其交互性耦合刺激致使蝗虫视觉生物光电效应反应的大小,引起蝗虫视觉生理感应及趋光响应的不同,从而,会导致阵列条纹调控组合光照调控激发蝗虫趋光效果的差别(表 4),进而影响蝗虫的趋光聚集性捕捉。

因此,阵列条纹调控光照中,光谱光照能量主导蝗虫趋光效果,调控耦合方式增效蝗虫趋光激发效果,在此基础上,竖条纹有效地引起了趋光活性已激发的蝗虫对光目标敏感选择,而就蝗虫趋光机理而言,阵列条纹的耦合调控性光照能量,有效地调控激发了蝗虫趋光视觉反应阈限,增强了蝗虫趋光兴奋性视觉生物光电效应反应的程度,则其微观上导致了蝗虫内在神经活动下的趋光生理兴奋性,其微观反应则体现在趋光强度及趋光选择程度上(表 4 中阵列频闪光照竖条纹交替光照最优,总响应 95%,0~1 m 内分布率 57.5%)。但光照能量强度的高低,将影响蝗虫的趋光聚集捕捉效果(图 6 所示试验中趋光聚集率仅为 50%±5%)。

综上,需根据阵列竖条纹调控光照方式调控激发蝗虫趋光活性、强化蝗虫趋光响应选择性、避免蝗虫趋光惰性的有效性,依据灯源控制方式,在标定实现 20:00~24:00 蝗虫趋光良好的光照强度阈值^[12]的基础上,标定实现 24:00 以后蝗虫趋光最高光照强度,以此增强蝗虫的调控光照能量激发效应,及增益蝗虫趋光视觉的锐化朝向选择性,并需探讨蝗虫趋光增益的物理激发措施(温度、音频、振动等)与光耦合的增效效应,以提高蝗虫趋光诱集的效果。

3 结束语

为获得蝗虫光电诱导良好的调控激发效果,利

用光场耦合调控激发性 LED 光源,于室内功效测试确定了紫光阵列频闪发光间隔 30 ms 与绿紫蓝竖条纹交变发光周期 640 ms 调控组合的耦合激发方式作为蝗虫诱导聚集的光场机制调控模式。棚内蝗虫种群趋光聚集调控激发的结果表明,光源能够在 25 m 范围内,调控激发 $80\% \pm 5\%$ 的蝗虫进行趋光反应,并引起蝗虫种群的趋光聚集效应,其趋光聚集率达到 $50\% \pm 5\%$,其中,频闪交变光谱光照能量交

互刺激激发了蝗虫趋光视觉定向及诱导,光照模式调控了蝗虫趋光视觉行为及强化蝗虫趋光响应程度。然而,蝗虫的生物习性、蝗虫内在生理机制及环境因素、蝗虫趋光惰性等,制约了光源调控激发效果,导致光源良好调控激发效果时间段为 20:00 ~ 23:00,故需寻求有效驱动蝗虫趋光的其他物理刺激因子来提高蝗虫的趋光诱集效应。

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 刘启航,周强.蝗虫对蓝光偏振光和非偏振光定向响应的对比研究[J].农业机械学报,2011,42(12):135~139.
Liu Qihang, Zhou Qiang. The study on locusts orienting and responding to blue-polarized and unpolarized light[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(12):135~139. (in Chinese)
- 3 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.
- 4 Pecea E C, French A S. Sublinear summation of responses in locust photoreceptors [J]. Journal of Comparative Physiology A, 1992,170(6):729~738.
- 5 Homberg U, Agnes P. Ultrastructure and orientation of ommatidia in the dorsal rim area of the locust compound eye[J]. Arthropod Structure & Development,2002,30(4):271~280.
- 6 Thomas A M, Rava A S, Sandra S, et al. Approach sensitivity in the retina processed by a multifunctional neural circuit[J]. Nature Neuroscience,2009,12(10):1308~1316.
- 7 Homberg U, Stefan W R. Movement-sensitive, polarization-sensitive, and light-sensitive neurons of the medulla and accessory medulla of the locust, *schistocerca gregaria*[J]. Journal of Comparative Neurology,1997,386(3):329~346.
- 8 刘启航,周强.频闪脉冲光源与交变光源对蝗虫趋光响应的试验研究[J].江苏大学学报:自然科学版,2011,32(3):260~265.
Liu Qihang, Zhou Qiang. Experimental study of flashing and alternating light on locusts phototactic response[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2011,32(3):260~265. (in Chinese)
- 9 William T C. The effect of target orientation on the visual acuity and the spatial frequency response of the locust eye[J]. Journal of Insect Physiology, 1999, 45(4):191~200.
- 10 Vishnevskaya T M, Cherkasov A D, Shura-Bura T M. Spectral sensitivity of photoreceptors in the compound eye of the locust[J]. Neurophysiology, 1986,18(1):54~60.
- 11 Petrosian A M, Poghosyan L A, Haroutounian J E. Study of taurine and tauret content in the compound eye of locust with light and dark adaptation[J]. Amino Acids,2006,30(3):273~278.
- 12 刘启航,周强.诱导光源光照梯度对蝗虫趋光效应的影响[J].农业机械学报,2011,42(10):118~123.
Liu Qihang, Zhou Qiang. Influence of trapping light source's illuminance gradient on locusts' phototactic effect[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(10):118~123. (in Chinese)
- 13 Field L H, Carsten D. Responses of efferent octopaminergic thoracic unpaired median neurons in the locust to visual and mechanosensory signals[J]. Journal of Insect Physiology,2008,54(1):240~254.
- 14 Lillywhite P G. Coupling between locust photoreceptors revealed by a study of quantum bumps [J]. Journal of Comparative Physiology A,1978,125(1):13~27.
- 15 Rind F C. Non-directional, movement sensitive neurons of the locust optic lobe[J]. Journal of Comparative Physiology A, 1987, 161(3):477~494.