

DOI: 10.13241/j.cnki.pmb.2014.01.013

音频刺激与光耦合激发蝗虫趋光响应的效应*

刘启航¹ 姚秋凤¹ 周 强^{2△} 刘永勋¹ 王鹏飞¹

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

摘要 目的: 研究光声耦合和对照光激发蝗虫趋光响应试验, 为蝗虫的光电诱导捕集治理及趋光增益调控激发技术提供理论基础。**方法:** 依据蝗虫趋光机理和声频刺激激发蝗虫的响应特性, 利用 LED 光源、声频播放设备和蝗虫行为试验装置, 进行了蝗虫对光声耦合和光谱光照趋光响应的对比测定, 并探讨了光声耦合对蝗虫趋光效果影响的机理。**结果:** (1) 蝗虫光声感受器对光能和声能接受和神经处理方式的不同, 光谱光照和声频耦合刺激激发蝗虫生物活性和趋光响应的双重叠加效应, 增强了蝗虫的趋光活性, 强化了蝗虫的趋光行为, 提高了蝗虫的趋光响应, 达到了推拉驱动蝗虫趋光响应的效应; (2) 在光声耦合激发蝗虫趋光响应峰值上, 蝗虫对不同声刺激的敏感性参数不同; (3) 蝗虫对声刺激敏感参数接受的容限性, 导致光谱光照在蝗虫诱导响应行为中起主导作用, 而声刺激则起驱动激发蝗虫趋光响应的增益效应。**结论:** 光谱光照和声刺激的合理布置和组合, 能够有效提高蝗虫的趋光诱导响应效果。

关键词: 蝗虫; 音频刺激; 光声耦合; 趋光响应; 趋光活性

中图分类号: S433.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6273(2014)01-62-06

Effect of Locust's Phototactic Response Stimulated by Sound and Light Coupling*

LIU Qi-hang¹, YAO Qiu-feng¹, ZHOU Qiang^{2△}, LIU Yong-xun¹, WANG Peng-fei¹

(1 Henan Mechanical and Electronic Engineering College, Xinxiang, Henan, 453003, China;

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

ABSTRACT Objective: To provide theoretical foundation for locusts induced by light and regulative stimulation technology, the experiment of locust's phototactic response stimulated by sound-light coupling and contrasted light was investigated. **Methods:** Based on locust's phototactic mechanism and locust's response stimulated by audio frequency, utilizing LED light source, audio equipment, and locust's behavioral experimental equipment, the comparative test of locust's phototactic response to light-sound coupling and spectral illumination was carried out, and the reason that light and sound coupling influence on locust's phototactic effect was discussed. **Results:** (1) Different of locust's photoreceptor and phonoreceptor receiving light energy and sound energy, the dual additive effect of locust's biological activity and phototactic response stimulated by sound and light coupling, enhanced locust's phototactic activity, strengthened locust's phototactic behavior, increased locust's phototactic response, and attained the aim of locust's phototactic response pushed and pulled by light and sound; (2) On the peak value of locust's phototactic response stimulated by sound and light coupling, the sensitive parameter of locust stimulated by sound stimulation was different; (3) Because of the tolerance scope of locust receiving the sensitive parameter of sound stimulation, in the induced behavior of locust, spectral illumination play the major role, while sound stimulation play the gain effect. **Conclusion:** Arranging and combining spectral illumination and sound stimulation reasonably, locust's phototactic effect could be increased effectively.

Key words: Locusts; Sound stimulation; Light and sound coupling; Phototactic response; Phototactic activity

Chinese Library Classification(CLC): S433.2 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2014)01-62-06

前言

基于生态物理农业的考虑, 利用蝗虫的趋光效应, 蝗虫光电诱集和蝗虫光诱增益调控性物理捕集技术是一项新型的植

保机械技术^[1]。在此项技术中, 激发和增强蝗虫的趋光生物活性是提高蝗虫光电诱集率的关键。因此, 在蝗虫趋光响应研究基础^[2]上, 根据蝗虫对敏感刺激信号的感受机理和神经调控机制, 针对蝗虫感受器对物理刺激信号趋避性的内在机理, 研究和探

* 基金项目: 2011 年产量大省扶持农业科研项目(豫财农[2012]39 号);

中央高校基本科研业务费专项资金(KYCX2011069)

作者简介: 刘启航, 讲师, 博士, 主要研究方向: 从事光机电一体化技术研究,

E-mail: bjliuqihang@163.com, 电话: 15937353060

△通讯作者: 周 强, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 光机电一体化物理捕蝗技术研究,

E-mail: zq@cau.edu.cn

(收稿日期: 2013-06-08 接受日期: 2013-06-30)

讨光与物理刺激源耦合对蝗虫趋光生物活性激发效应对蝗虫趋光效应的增益程度,对形成和实现蝗灾可持续治理的技术体系具有重要意义。

国内外研究指出:蝗虫对不同的敏感光谱光照存在趋光响应差异,蝗虫趋光程度和蝗虫趋光诱集效果受蝗虫夜间活动力和诱导光场传播特性的制约^[3];外界场景的变化和外界物理刺激易造成蝗虫的惊吓生物行为,从而影响蝗虫对光谱光照的定向响应^[4]。同时,蝗虫利用鸣声进行信息联络,对种属内的鸣声存在趋声和报警作用,而且,蝗虫敏感光谱强光照激发蝗虫在近光源处的拍翅行为,且在趋光过程中易聚集在非光源处,从而影响了蝗虫诱导捕集效果^[5]。另外,蝗虫飞行过程中翅膀开闭存在共振频率,共振频率易激发蝗虫行为和飞行中的下落行为等^[6]。因此,声、光、频均具有激发蝗虫生物行为的功效,但声、频刺激信号与光耦合激发蝗虫多种感受器的叠加效应对蝗虫趋光定向行为和诱集效应的影响,鲜见报道。

本文着重研究蝗虫敏感光谱光照与声、频耦合对蝗虫趋光诱集增益效果和趋光激发的影响程度,采用对比试验,分析蝗虫在声、频驱动激发下对光的敏感趋向效应,并探讨物理刺激源对蝗虫趋光增益的影响机理和成因,以期对蝗虫光电诱导技

术中蝗虫趋光增益物理刺激源的确定提供技术支撑。

1 材料与方法

试验虫种为北京延庆人工饲养的东亚飞蝗。选成年处女蝗和羽化一周内的健壮成虫作试验材料。试验前蝗虫搁置在阳台上的透明饲养箱内自然光适应,试验在 20:00 点后实验室内进行,室内温度为 27~30℃。

1.1 试验器材

试验光源采用自制的圆形 LED 灯板,灯板颜色选为紫、绿、紫蓝,采用 12 V 开关电源供电。LED 灯采用串并方式连接,灯板尺寸为 $\Phi 8\text{cm}$,单面发光。光照强度由光照度计标定。选用蝗虫鸣声、鞭炮声作为蝗虫声频刺激源,蝗虫鸣声用 T19 数字声音录音笔录制蝗虫雄虫发声诱雌虫和发声报警联络的声音,并录制鞭炮声,声音强度以声压级 (Lp) 表示,0 dB 等于 $2 \times 10^{-5} \text{N/m}^2$;Adobe Audition 音频软件进行录制音频处理(蝗虫鸣声发声参数见表 1),通过计算机由 Adobe Audition 控制声控频率参数,声控设备进行蝗虫声音刺激,声强度计标定声强;LabWindows 编程实现频振频率刺激^[7,8]。

1.2 试验装置

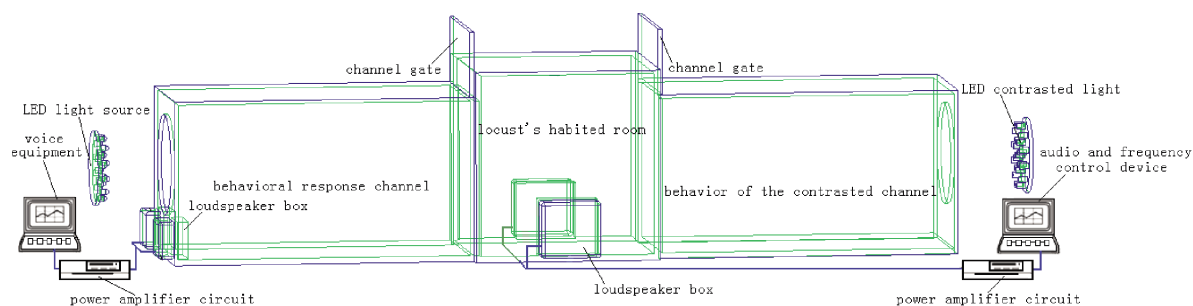


图 1 蝗虫行为反应试验装置

Fig.1 The sketch map of light-map of the locusts' phototaxis behavior

蝗虫趋光响应对比行为反应试验装置组成如图 1 所示,其中声控设备进行蝗虫求偶声的播放,声频控制设备进行蝗虫报警声、鞭炮声的播放和频率的控制,声刺激在声控设备控制下,经功率放大电路(调节声强)、音箱对蝗虫进行声刺激。另外,行为反应通道和对照行为通道的长×宽×高为 2 m×0.6 m×0.6 m,蝗虫活动室的长×宽×高为 1 m×1 m×1 m。试验装置上方敞空,以利观察。

1.3 试验方法

各组试验均在 20:00~22:00 同一时间段内进行。根据蝗虫在一定密度范围内有聚群的现象(15~35 头/m²)以及考虑到反应通道内蝗虫趋光响应的群体性,每次试验虫数为 40 头/次(健壮成年雌蝗和羽化一周内的健壮成虫各 20 只),重复三次,取其平均值,标差见图示结果。光照 5 分钟,处理间隔 20 分钟。

首先,进行光声(不同声强)耦合和同种光色的对照试验,试验时,开启 1、2、5、8 进行该试验,试验声光对比组为:紫光+蝗虫求偶声,紫光;绿紫蓝光+蝗虫求偶声,绿紫蓝光;其次,关闭行为反应通道 3 通道闸门,开启 5、6 进行声源(不同声强和不同频率)、频振源(不同频振持续时间和不同频振频率)激发蝗虫趋光试验,然后关闭 6,进行蝗虫趋光反应试验,以此进行

二者的对比,考查声源激发蝗虫趋光行为的程度,试验对比组为:紫光+蝗虫报警声(鞭炮声、频振声),紫光;绿紫蓝光+蝗虫报警声(鞭炮声、频振声),绿紫蓝光;试验后,进行虫数统计。

试验中,在光与求偶声和对照光对蝗虫趋光影响效应测定中,根据需要,光照度计标定光源的光照强度为 100 和 1000 lx。声源声强设定为 25、30、35、40、45、50、55 dB,声源频率设定为 3、6、9、12、15、18、21 KHz(声强测定中保持音频不变);频振频率设定为 40、45、50、55、60、65 Hz,频振持续时间设定为 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1 s。

1.4 试验数据处理

利用蝗虫声激发趋光响应率(R_1 、 R_2 %)、蝗虫趋光响应率(R_3 、 R_4 %)来分别反映蝗虫对光声耦合刺激效应对光谱光趋光响应的大小,利用蝗虫声激发趋光对比率(R_5 、 R_6 %)来反映声源对蝗虫趋光的激发效果,以及蝗虫对光声耦合刺激效应对光谱光趋光响应的差异程度,相应公式如下。

$$R_1 = (n_1/n) \times 100\%, R_2 = (n_2/n) \times 100\%, R_3 = (n_3/n) \times 100\%, \\ R_4 = (n_4/n) \times 100\%, R_5 = (n_1 - n_3)/n \times 100\%, R_6 = (n_2 - n_4)/n \times 100\%.$$

式中: n_1 为蝗虫求偶声和光耦合刺激蝗虫趋光响应在通道 3 中的虫数,只; n_2 为蝗虫报警声、鞭炮声、频振声刺激蝗虫趋

光响应在通道 4 中的虫数,只; n_3 为蝗虫求偶声和光耦合刺激蝗虫趋光响应在通道 4 中的虫数,只; n_4 为无音频刺激条件下蝗虫趋光响应在通道 4 中的虫数,只; n 为蝗虫总虫数,40 只。

2 结果分析与讨论

2.1 蝗虫对求偶声与光耦合和对照光谱色的趋光对比

统计计算蝗虫对求偶声与光耦合和对照光谱色的趋光响应和趋光响应对比分别如图 2 和图 3 所示。

由图 2 可知,蝗虫对光声耦合效应的趋光响应优于对照光,且,蝗虫对光声耦合和对照光的响应不同(蝗虫对 35 和 45dB 声强与光耦合的响应均达到了 50%以上表明雌蝗占多数),从而,光谱光照和蝗虫求偶声声强引起了蝗虫对声光耦合和对照光趋光对比率的差异(图 3),且能有效引起雌性蝗虫的趋光响应。

蝗虫声激发趋光对比率(图 3)的 F 检验显著性分析表明:光照相同条件下,0.05 水平上,不同声强之间的差异性极度显著;声强相同条件下,0.025 水平上,声强为 25、45、50 dB 时,差异性显著,而 0.05 水平上,声强为 35、40 dB 时差异性极度显著,声强为 30 dB 时差异性十分显著。

据试验观察,光声耦合的试验通道内雌蝗的趋光响应行为速度快于对照通道内的蝗虫,且雌蝗均趋向于光声耦合源处,但对照通道内蝗虫的趋光分布较分散。

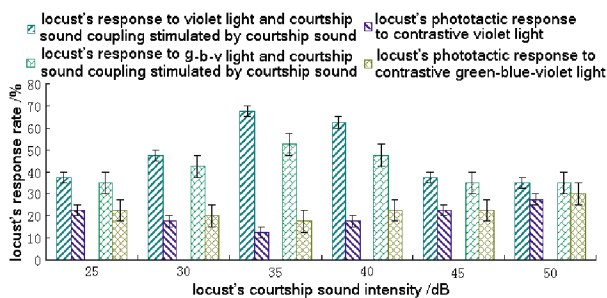


图 2 蝗虫对求偶声与光耦合效应对对照光的趋光响应

Fig.2 Locust's phototactic response to courtship sound-light coupling and contrastive light

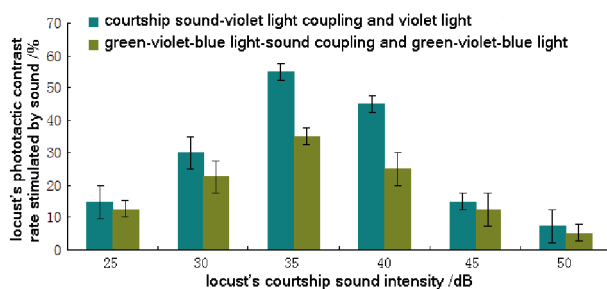


图 3 蝗虫对光与不同声强求偶声耦合和对照光的趋光对比

Fig.3 Comparison of locust's phototactic response to courtship sound-light coupling and contrastive light

则声光共同刺激下,求偶声刺激雌蝗探测感应环境的趋光敏锐定向性得到增强,且求偶声激发不同性别蝗虫生物生理效应的不同,听觉神经元对求偶声声通信方位检测的灵敏性,蝗虫对不同光谱相当量级光子所致趋光兴奋性差异^[9],导致了光色耦合刺激蝗虫种群趋光的敏感声强范围(35-40 dB)及光声

激发最佳组合(紫光与其求偶声 35dB 声强的激发组合最佳)。

2.2 声源声强激发和同种光谱色激发蝗虫的趋光响应及对比

试验后,计算所记录的试验数据,声源声强激发蝗虫趋光响应和蝗虫对同种光谱色的趋光响应的对比结果见图 4 和图 5,声源声强激发蝗虫趋光响应结果见图 6。

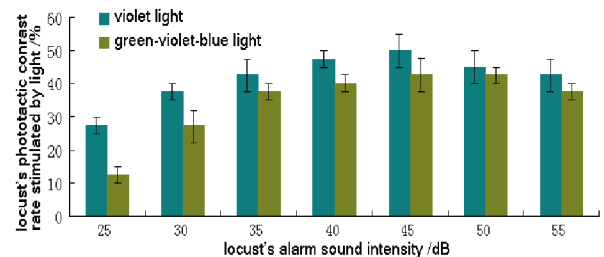


图 4 蝗虫报警声不同声强和无报警声下蝗虫的趋光对比

Fig.4 Comparison of locust's phototactic response with intensity of firecrackers and without firecrackers sound

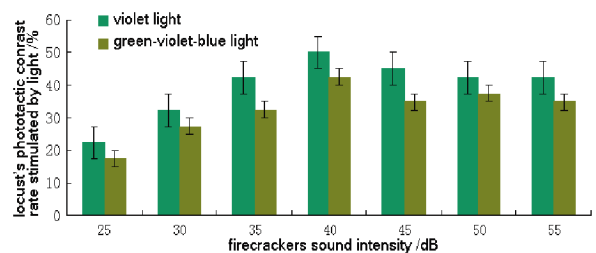


图 5 鞭炮声不同声强和无鞭炮声下蝗虫的趋光对比

Fig.5 Comparison of locust's phototactic response with intensity of locust's alarm sound and without sound

100 lx 光照下,图 4 和图 5 表明:蝗虫报警声和鞭炮声均具有惊吓和激发蝗虫趋光选择的功效,声激发蝗虫的趋光响应优于无声下的趋光响应,且蝗虫趋光的报警声声强敏感响应峰值为 45 dB 左右,鞭炮声声强敏感响应峰值为 40 dB 左右,并且,敏感响应峰值之前,声强强度的加大,蝗虫趋光程度递增,而敏感响应峰值之后,声强强度的加大,蝗虫趋光效果的差异性不显著。

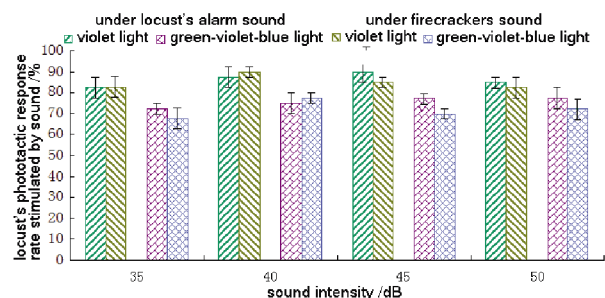


图 6 报警声和鞭炮声不同声强下蝗虫的趋光响应

Fig.6 Locust's phototactic response under locust's alarm sound and firecrackers sound

1000 lx 光照下,由图 6 分析可知:相同声强下,相同声强激发蝗虫对不同光趋光的差异性极度显著($F, 0.025$),而不同声强激发蝗虫对相同光趋光的差异性显著性不同;不同声强下,相同声强激发蝗虫对相同光趋光的差异性十分显著($F, 0.025$),而不同声强激发蝗虫对不同光趋光的差异性极度显著,且报警声和鞭

炮声与光耦合各自敏感声强(45 dB 和 40 dB)下,相同和不同声强激发蝗虫对相同光的趋光差异性均显著,而且,报警声敏感声强(45 dB)和鞭炮声敏感声强(40 dB)相比,激发蝗虫对相同光的趋光差异性不显著。

并且,试验中,蝗虫对其报警声存在声识别延迟反应的声逃避现象,对鞭炮声表现出直接的惊吓逃避,在此基础上,蝗虫完成趋光定向行为,且有的蝗虫有声无声下趋光行为相当,表明蝗虫个体趋光存在差异。

2.3 声源频率激发蝗虫趋光响应和蝗虫对同种光谱色的趋光响应对比

试验中记录蝗虫趋光响应虫数,计算声源频率激发蝗虫趋光选择和蝗虫对同种光谱色的趋光响应的对比结果见图 7 和图 8,计算声源频率激发蝗虫趋光响应结果见图 9。

100 lx 光照下,图 7 和图 8 表明,蝗虫报警声和鞭炮声激发蝗虫趋光敏感声强峰值下,不同声频刺激蝗虫的趋光感应响应优于无声,光声耦合叠加激发蝗虫对不同光与声耦合的趋光差异性显著,而对于相同光,不同频率声激发蝗虫趋光差异显著性不同,并出现了声频激发蝗虫趋光敏感频率下对比峰值(15KHz)。

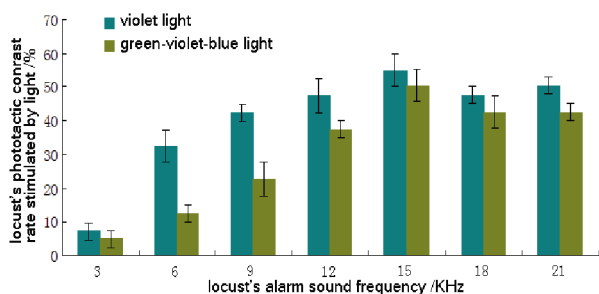


图 7 蝗虫报警声不同主能峰频率和无声下蝗虫的趋光对比

Fig.7 Comparison of locust's phototactic response with different frequency of alarm sound and without sound

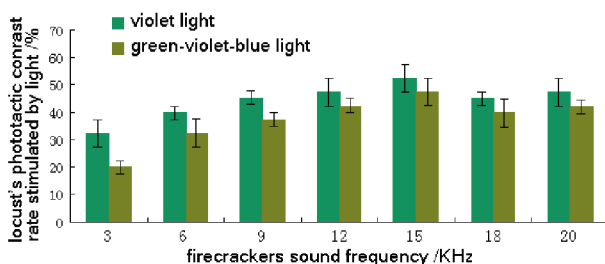


图 8 鞭炮声不同主能峰频率和无声下蝗虫的趋光对比

Fig.8 Comparison of locust's phototactic response with different frequency of firecrackers sound and without sound

1000 lx 光照下,由图 9 可知:相同声频激发蝗虫对不同光趋光响应不同,而不同声激发蝗虫对相同光趋光差异性显著不同;相同光照光谱下,相同声的不同声频激发蝗虫趋光效果不同,并且,15 KHz 声频激发蝗虫趋光效果最佳,随声频递增,蝗虫报警声激发蝗虫的趋光效果由低于鞭炮声而逐渐高于鞭炮声。

试验中,光谱光照下,声频刺激激发了蝗虫逃避声源的生物活性,易化和强化了蝗虫的趋光感应行为。并且,音频刺激驱动强化蝗虫的趋光响应随声频的增加而增强,而达到一定程度

后,驱动激发效果降低并维持在一定水平上。另外,蝗虫报警声和鞭炮声与光耦合激发蝗虫趋光感应强度不同,12 KHz 以下,鞭炮声优于蝗虫报警声,而其上,低于蝗虫报警声,且蝗虫对 18 KHz 以上频率的报警声存在声识别。

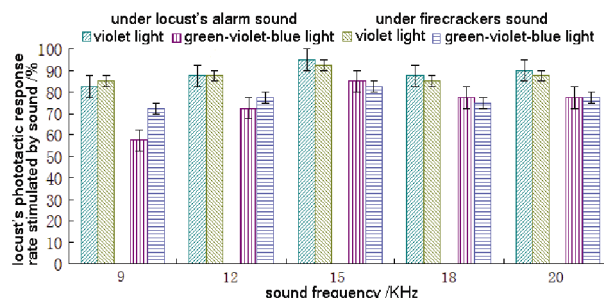


图 9 报警声和鞭炮声不同主能峰频率条件下蝗虫的趋光响应

Fig.9 Locust's phototactic response under different frequency of alarm sound and firecrackers sound

2.4 频振声激发蝗虫对光谱色和蝗虫对光谱色的趋光响应及对比

统计计算 1000 lx 光照下,频振声激发蝗虫对光谱色的趋光响应及对比结果见图 10 和图 11。

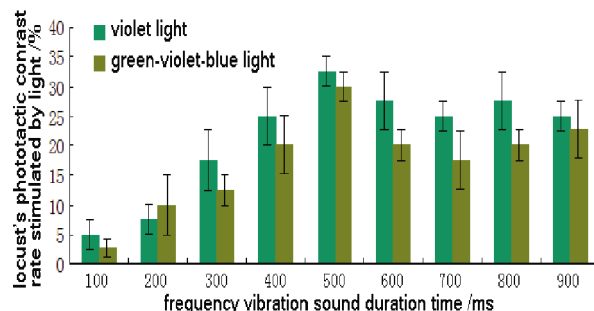


图 10 频振声不同持续时间和无下蝗虫的趋光对比

Fig.10 Comparison of locust's phototactic response with different duration of vibration sound and without sound

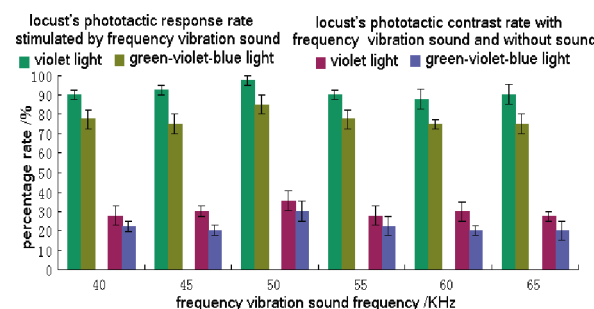


图 11 频振声不同频率和无声下蝗虫的趋光响应及对比

Fig.11 Locust's phototactic response and comparison with different frequency of vibration sound and without sound

由图 10 分析可知,在不同持续时间频振声(相同频率)刺激下,频振声激发蝗虫的趋光响应优于无频振声,且 500ms 之前(包括 500ms),频振时间引起蝗虫对相同光的趋光对比差异性极度显著($F, 0.05$),500ms 之后,趋光对比差异性不显著($F, 0.05$),并在 500ms 时,出现了蝗虫趋光对比峰值。

由图 11 可知,在不同频率频振声(频振持续时间为 500ms)的刺激下,蝗虫的趋光响应优于无频振的趋光响应,而

且,在 50Hz 频振频率处,出现了蝗虫趋光响应和相应趋光对比峰值。

据试验观察,频振声连续刺激下,蝗虫拍翅兴奋性得到抑制,蝗虫具有较好的生物行为,并在此情况下,光谱光照较易引起蝗虫的趋光定向响应和趋光行为激发。则频振声对蝗虫趋

光诱捕和激发起增益效应。

3 讨论

为了探讨光声耦合效应对蝗虫趋光响应的影响,光声耦合激发蝗虫趋光响应的效应简化为图 12。

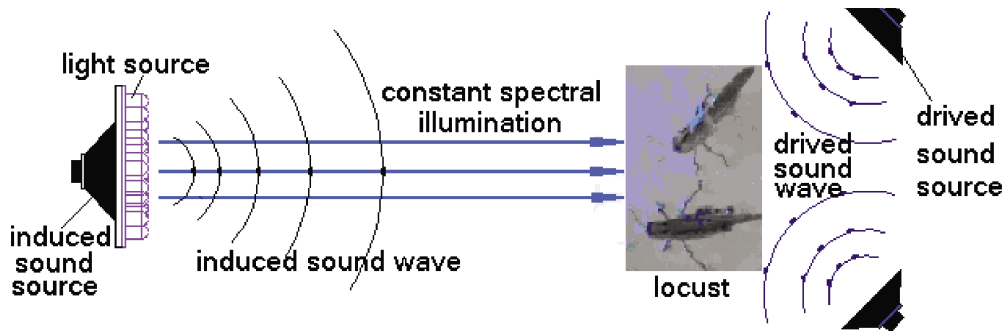


图 12 光声耦合刺激激发蝗虫趋光响应的效应图

Fig.12 The figure of locust's phototactic response stimulated by light and sound coupling

根据图 12 示意和本试验过程,进行分析可知:声波能量振动蝗虫听觉系统,声能转化为神经元信号,声刺激的传导输入引起听觉感受器毛细胞兴奋,毛细胞把声音刺激变成神经冲动,经听神经传入脑的听觉中枢完成声音的感知^[10]。而且,基底膜的机械谐振性和电谐振性特性决定了与其识别模式相匹配的声频选择敏感范围,声频与声强(声音能量)相对应,决定了引起蝗虫生理感受响应的强度。

从而,蝗虫听觉神经元对声频、声强及音频刺激方式的声刺激的敏感选择性和调谐性,蝗虫实现了声源方位的检测和声通信过程中声音频段的辨识接受和隔离处理,导致雌蝗对其求偶声的行为方向总是朝向声源,而对惊吓干扰作用性声刺激的行为方向总是背离音频发生器。同时,光谱光照激发蝗虫神经兴奋生物效应下,光声耦合刺激强化了蝗虫对有利环境的趋向和对不利刺激的逃避。

这样,声波能量刺激蝗虫声感受器能够有效激发蝗虫生理感应,引起蝗虫对光谱光照的敏感定向,易化和增强蝗虫的趋光响应及行为,则光声耦合的双重叠加效应对蝗虫趋光响应激发起到了推拉强化作用。

根据声频激发蝗虫趋光响应下蝗虫对音频敏感峰值,103 lx 光照下蝗虫趋光响应如表 2 所示。

对表 1 分析可知,蝗虫对光声耦合的响应均高出无声刺激下蝗虫趋光响应约 $20\pm 5\%$,则不同音频刺激在引起蝗虫产生不同生理感应和行为响应的基础上,对蝗虫趋光响应起到了激发作用,且不同属性的音频激发蝗虫趋光选择的行为及生理效应性不同,不同属性的音频刺激对蝗虫种群的趋光诱集效应相应起到了增益增效作用,并能够削弱蝗虫趋光惰性和提高蝗虫趋光效果。经对比分析,光谱光照对蝗虫的诱导行为起主导作用,蝗虫求偶声有效增益了雌性蝗虫的趋光响应(光声耦合下雌性蝗虫趋光占 75%),蝗虫报警声、频振声、鞭炮声有效激发了蝗虫趋光效应,并增效了蝗虫的趋光响应行为。则音频刺激在光声耦合激发蝗虫趋光响应中将会增强蝗虫的趋光性生理效应。

因此,音频刺激激发蝗虫生理感应下的行为具有选择差异性,光声耦合的叠加效果能够有效增益增效蝗虫的趋光效应,光声合理组合能够对蝗虫趋光诱集形成推拉性激发效应,并可相应抵消蝗虫趋光惰性,增强蝗虫趋光性生理感应。同时,考虑到光波和声波传播衰减性,依据蝗虫趋光敏感光谱上下限光照强度中的趋光强度,在蝗虫趋光敏感光谱上限光照值处布置蝗虫求偶声或频振声,而在下限光照值分布处布置机械刺激声,可有效激发蝗虫的趋光活性和提高蝗虫的趋光程度。

表 1 1000 lx 光照下蝗虫对声刺激和无声刺激的趋光响应

Table 1 Locust's phototactic response with and without sound stimulating under 1000 lx of spectral illumination

Audio stimulation mode			Locust's phototactic rate stimulated		Locust's phototactic rate without	
			by sound /%		sound /%	
			Violet	Green-blue-violet	Violet	Green-blue-violet
Locust's alarm sound	Sound intensity /dB	45	95.0± 2.5	85.0± 5	70.0± 5	65.0± 2.5
	frequency /KHz	15				
Firecrackers sound	Sound intensity /dB	40	92.5± 2.5	82.5± 5		
	frequency /KHz	15				
Llocust's courtship sound	Sound intensity /dB	35	90.0± 2.5	80.0± 5		
	frequency /KHz	15				
Frequency vibration sound	Duration time /ms	500	97.5± 2.5	85.0± 5		
	frequency /Hz	50				

综上所述,并结合本文试验结果,得出以下结论:光声耦合具有激发蝗虫趋光活性和提高蝗虫趋光响应的双重叠加效应,能够有效增强蝗虫对刺激模态和外界环境探测感应的敏锐性,削弱蝗虫趋光惰性,且声光耦合激发蝗虫种群趋光响应峰值下蝗虫对不同声刺激的敏感参数(蝗虫求偶声声强:35dB;蝗虫报警声:声强--45dB,频率--15KHz;鞭炮声:声强--40dB,频率--15KHz;频振声:频振持续时间—500ms,频率--50Hz)及声刺激蝗虫种群的作用不同,其中,光谱光照在蝗虫诱导响应行为中起主导作用,而声刺激则起驱动激发蝗虫种群趋光响应的增益增效效应,从而,依据音频刺激增强蝗虫趋光性生理效应,光声耦合对蝗虫趋光诱集的推拉性激发效应,进行光谱光照和声刺激的合理组合,以及在蝗虫敏感光谱光照环境中声刺激源的合理布置,可有效提高蝗虫的趋光诱集行为。

参考文献(References)

- [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 Rui-qing, Cheng Xiao-tong. Bio-photo-electro effect of insects and its application in pest control [J]. Progress in Modern Biomedicine, 2006, 6(4): 70-72
- [2] Bailey E V, Harris M O. The visual behavior of adult *Melanoplus sanguinipes* F [J]. Journal of Insect behavior, 1991, 4(6): 707-726
- [3] Wolfram Kutsch. The development of the flight pattern in the desert locust, *Schistocerca gregaria* [J]. Z vergl Physiologie, 1971, 74: 156-168
- [4] Keram P, Homberg U. Coding of Azimuthal Directions via Time-Compensated Combination of Celestial Compass Cues [J]. Current Biology, 2007, 11(17): 960-965
- [5] Schmeling F, Stange G, Homberg U. Synchronization of wing beat cycle of the desert locust, *Schistocerca gregaria*, by periodic light flashes [J]. J Comp Physiol A Neuroethol Sens Neural Behav Physiol, 2010, 196(3): 199-211
- [6] Hill K G. The physiology of locust auditory receptors I. Discrete depolarizations of receptor cells [J]. J Comp Physiol, 1983, 152: 475-482
- [7] 芦荣胜,石福明,杨培林.两种米纹蝗雄性鸣声的比较研究(直翅目,蝗总科) [J]. 动物分类学报, 2003, 28(3): 411-415
Lu Rong-sheng, Shi Fu-ming, Yang Pei-lin. A comparative study on the male songs structures of two species of the genus *Nototaurus* (Orthoptera, Acridoidea) [J]. Acta zootaxonomica sinica, 2003, 28 (3): 411-415
- [8] Dawson J W, Kutsch W, Robertson R M. Auditory-evoked evasive manoeuvres in free-flying locusts and moths [J]. Journal of comparative physiology, 2004, 190(1): 69-84
- [9] Homberg U. Evolution of the central complex in the arthropod brain with respect to the visual system [J]. Arthropod Structure & Development, 2008, 37(5): 347-362
- [10] Joachim S, Manfred S, Homberg U. Organization and evolutionary trends of primary olfactory brain centers in Tetraconata [J]. Crustacean+Hexapoda, 2005, 3(34): 257-299
- [11] Shirasaka T, Shimamoto Y, Ohshimo H, et al. Development of a novel form of an oral 5-fluorouracil derivative (S-1) directed to the potentiation of the tumor selective cytotoxicity of 5-fluorouracil by two biochemical modulators [J]. Anticancer Drugs, 1996, 7: 548-557
- [12] 唐金钱.替吉奥治疗38例晚期胃癌临床分析[J].吉林医学,2011,32(3):485-485
Tang Jin-qian. Tegafur capsules therapy for 38 cases of advanced gastric cancer clinical analysis [J]. Jilin medical, 2011, 32(3): 485-485
- [13] 刘江华,戚苏明,陈国俊.替吉奥胶囊临床研究进展[J].中国现代医生,2008,46(30):62-63
Liu Jiang-hua, Qi Su-ming, Chen Guo-jun. The progress of tegafur capsules in clinical research [J]. China modern doctor, 2008, 46(30): 62-63
- [14] Fukushima M, Satake H, Uchida J, et al. Preclinical antitumor efficacy of S-1: a new oral formulation of 5-fluorouracil on human tumor xenografts [J]. Int J Oncol, 1998, 13: 693
- [15] 白坂哲彦,佃守犬山,夫他新规.经口抗癌剂 TS-1 (S-1) [J]. 癌化学疗法, 2001, 28(6): 855-864
Bai Banzheyan, Dian Shouquanshan, Fu Taxingui. Oral TS-1 (S-1) [J]. Cancer arts chemical therapy, 2001, 28(6): 855-864
- [16] Aral W, Hosoya Y, Hyodo M, et al. Doxifluridine combined with weekly paclitaxel for second-line treatment in patients with gastric cancer resistant to TS-1 [J]. Int J Clin Oncol, 2007, 12(2): 146-149
- [17] Kawamurs S, Kataoka Y, Kimura H, et al. A case of TS-1 resistant recurrent gastric cancer with lung metastasis responding to TS-1 and irinotecan combination therapy [J]. Gan To Kagaku Ryoho, 2007, 34(4): 615-617
- [18] 张宏宇.大肠癌中口服化疗的作用(文献综述) [J]. 国外医学:外科学分册, 2002, 29(6): 349-352
Zhang Hong-yu. The role of oral chemotherapy in colorectal cancer (review of the literature) [J]. Foreign Medical Sciences: surgery, 2002, 29(6): 349-352
- [19] Shirao K, Ohtsu A, Takada H, et al. Phase II study of oral S-1 for treatment of metastatic colorectal carcinoma [J]. Cancer, 2004, 100(11): 2355-2361
- [20] 徐瑞华,邱妙珍.晚期结直肠癌化疗的研究进展 [J]. 癌症, 2008, 27(6): 661-665
Xu Rui-hua, Qiu Miao-zhen. Palliative chemotherapy for advanced colorectal cancer progression [J]. Cancer, 2008, 27(6): 661-665

(上接第103页)