

光温耦合调控对蝗虫趋光增益效应的试验研究

刘启航 周强*

(中国农业大学 工学院 北京 100083)

摘要 利用 LED 光源、温控加热装置和行为反应试验装置,采用对比试验法进行蝗虫趋光增益性热源温度的优选,探讨光温耦合效应与环境温度作用对蝗虫趋光增益行为影响的机理。结果显示:热源温度、光谱色光照、环境温度及蝗虫昼行夜伏性活动规律影响夜间蝗虫对光温耦合效应的选择,热源温度于蝗虫的趋光响应具有增益效应,其中以 65 ℃ 热源温度于蝗虫的趋光增益作用最佳;同一时间段内,蝗虫对紫光与 65 ℃ 热源温度耦合效应的选择最优;热源温度对蝗虫的光温诱导起增益群集作用,光谱色光照对蝗虫诱导起主要作用。

关键词 蝗虫; 蝗虫诱导; 光温耦合; 趋光增益; 光谱色光照

中图分类号 S 433.2; TP 391.9

文章编号 1007-4333(2011)04-0052-07

文献标志码 A

Effects of light and temperature coupling on phototaxis of locusts

LIU Qi-hang, ZHOU Qiang*

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

Abstract To provide theoretical reference for getting the heating temperature parameters of locusts' phototactic gain and implementing the regulative coupling effect of light and temperature effectively in a locust capturing machine, by photoelectric equipment, and by utilizing LED light source, heating-temperature controlled device and homemade phototaxis behaviour trial equipment, through adopting the contrast experiment method, we did the optimal heating temperature on locusts' phototactic gain, and discussed coupling effect of light and temperature interacting with environmental temperature influenced on the principle of the locusts' phototaxis gain. The results suggest that heating temperature, spectral illumination, environmental temperature and activity rhythm of locusts, activating in the day and resting in the night, influence on the selection of coupling effect of light and temperature, heat temperature on locusts phototactic cluster has gain effect, which the temperature of 65 ℃ is the best. Locusts selecting the coupling effect of violet and heat temperature of 65 ℃ are the best in the same time, heating temperature on locusts' light and temperature induced plays a role on gain clustering, the illumination of spectral color play a major role on locust capturing.

Key words locusts; locusts' induction; coupling effect of light and heating temperature; phototactic gain; spectral illumination

利用蝗虫视觉光导作用进行蝗灾防治的光电诱导物理捕集治理技术,是一项既能避免化学农药污染,又能捕集害虫作为饲料利用的新型植保机械技术^[1]。探讨影响蝗虫趋光诱导的关键因素,增强蝗虫趋光诱导的物理刺激措施,对蝗虫的物理诱集治理和蝗虫生物蛋白资源利用,实现蝗灾无害化光电

诱导捕集治理具有重要意义。

国内外研究表明,在诱导光源光照刺激作用下进行趋光行为选择^[2-4]的蝗虫,有些由于光适应^[5]和视觉系统对光反应^[6]的不同,表现出对光谱光敏感程度的差异^[7],明显降低了诱导光源对蝗虫的诱导捕集效果。另外,蝗虫昼行夜伏的生物活动规律,野

收稿日期: 2010-12-17

基金项目: 教育部高校博士点基金(20060019012)

第一作者: 刘启航, 博士研究生, 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的研究, E-mail: zq@cau.edu.cn

外自然环境因素和夜间光场传播特性等也制约了野外蝗虫光电诱导作业的开展。国内外学者用视网膜电图法(ERG)测试了蝗虫视觉系统光谱敏感曲线峰值为 520~546 nm^[8-10]；蝗虫对温度存在适宜范围且热源温度具有提高蝗虫生物活性的功效^[11]。但是,野外自然环境因素下,蝗虫敏感的光谱光照与热源温度耦合对蝗虫趋光诱导增效的程度,以及热源温度和蝗虫敏感光谱光照在蝗虫诱集效果中所起的作用,鲜见报道。

本研究旨在依据蝗虫的趋光感温特性,在自然环境条件下,利用 LED 光源、温控加热装置和自制的试验装置,在不同时间段内通过对比试验,研究光温耦合对蝗虫趋光增益的影响,以期为蝗虫光电诱导技术中蝗虫趋光增益温度参数的确定提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验虫源

试验虫为北京延庆地区人工饲养的东亚飞蝗。选羽化 1 周内的健壮成虫为试验材料。

1.2 试验装置及方法

试验在饲养棚外的野地进行,时间为 20:00 至次日 6:00,自然月光照度为 0.1 lx。

1.2.1 试验器材及装置

1)器材。试验光源采用自制的圆形 LED 灯板(Φ 8 cm),灯板颜色选为紫、绿紫蓝和白^[12],12 V 开关电源供电。LED 灯串并方式连接,单面发光。可调电阻设定 LED 的照射光照强度,光照度计标定。利用聚酯加热板、限流器、交流开关和 XMTD 型温控装置实现温度的调控,220 V 交流电压供电。

2)装置。自行设计的蝗虫行为反应试验装置由 LED 光源 1、LED 对照光源 5、温控加热板及温控装置 2、行为反应通道 3(1.0 m \times 0.4 m \times 0.4 m,通道内从通道闸门起划分为 0~250、250~500、500~750、750~1 000 mm 4 个区域,内壁贴上黑色塑纸,以免反光)、对照行为通道 4(1.0 m \times 0.4 m \times 0.4 m,通道内从通道闸门起划分为 0~250、250~500、500~750、750~1 000 mm 4 个区域,内壁贴上黑色塑纸,以免反光)、蝗虫活动室 6(1 m \times 1 m \times 1 m)、通道闸门 7(试验时开启,试验后关闭)等几部分组

成(图 1),其中 3、4、6 上方敞开,以利自然环境因素与光温融合。

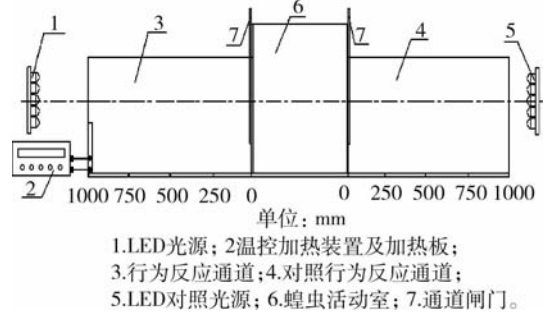


图 1 蝗虫行为反应试验装置

Fig. 1 Sketch map of light-map of locusts' phototaxis behavior

1.2.2 试验方法

试验虫现场随机采自纱窗饲养棚内。根据环境温度随夜间时间的变化特性(表 1)、试验效果的可对比性要求以及每次试验后蝗虫充足的自然光适应时间,在自然环境因素与诱导光源光照耦合条件下,在 2 h 时间段内进行同一批次的试验。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行为,试验虫数为 40 头/次,重复 3 次,取其平均值(3 次试验结果平均值的标准误差为 $\pm 2.5\%$),光照时间为 5 min,每次间隔 20 min。由于野外环境温度低于蝗虫适宜的生理温度(35~40 $^{\circ}$ C),考虑到热源温度与环境温度耦合温度在试验通道中分布的梯度性,以及分析光温耦合影响蝗虫诱导的效果,温控装置加热温度设定为 45、55、65、75 和 85 $^{\circ}$ C,光照度计标定反应通道内(3、4)近灯源端的光照度为 1 000 lx。

行为反应通道 3 外端放置诱导光源和温控加热装置,对照行为通道 4 外端放置对照光源。蝗虫趋光选择对比试验组为:热源温度+紫光,紫光;热源温度+绿紫蓝光,绿紫蓝光;热源温度+紫光,白光;热源温度+绿紫蓝光,白光;热源温度+绿紫蓝光,紫光。试验时,同时开启光源 1 和 5、闸门 7 以及温控开关进行试验,为了避免加热温度影响蝗虫的选择行为,同系列试验中温度采取由低到高的方式进行调节;每次试验结束后,关上闸门统计虫数。

1.2.3 数据处理

以光温选择率、对照光选择率反映蝗虫对光温

及对对照光选择的程度:

光温选择率=(行为反应通道3中的
蝗虫数/总虫数) $\times 100\%$

对照光选择率=(对照行为反应通道4中
的蝗虫数/总虫数) $\times 100\%$

以对比率反映蝗虫对光温和光谱光选择的差异:

对比率=((行为反应通道3中的虫数—
对照行为通道4中的虫数)/总虫数) $\times 100\%$

以蝗虫分布率反映热源温度对蝗虫的群集效应:

蝗虫分布率=(区域内蝗虫的虫数/
总虫数) $\times 100\%$

2 结果与分析

2.1 试验结果

2.1.1 蝗虫对光温耦合效应和对照相同光谱色的选择对比

蝗虫对光温耦合效应和对照相同光谱色的选择对比结果见图2。

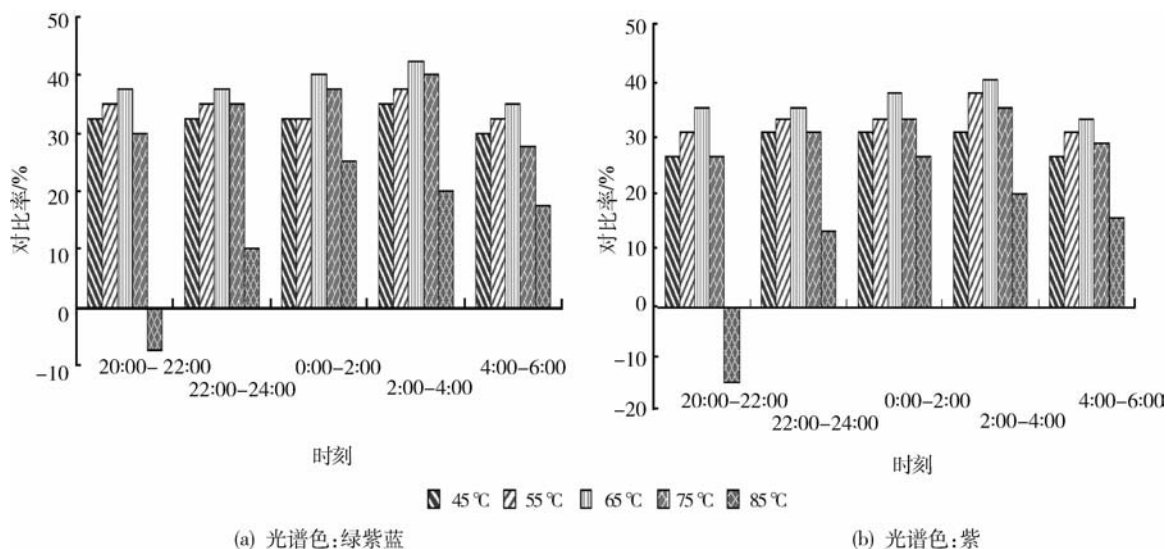


图2 蝗虫对光温耦合和同种光谱色选择的对比率

Fig. 2 Comparative rate of locusts selecting coupling heating temperature with light and homogeneous spectral light

相同温度下:22:00—6:00,蝗虫对光温耦合效应的选择均高于对对照相同光谱色的选择;20:00—22:00,蝗虫对85℃和紫、绿紫蓝光照耦合效应的选择低于对照光谱色的选择,其余的均高于对照。

不同温度下:相同时间段内,蝗虫对65℃的光温耦合效应相对同种光谱色的选择最高,对85℃的光温耦合效应选择最低;不同时间段内,热源温度对蝗虫的趋光增益效应在0:00—4:00最佳,其中65℃对蝗虫的趋光增益效应最优,但85℃对蝗虫的趋光增益作用0:00—2:00最优,45~75℃在4:00—6:00对蝗虫的趋光增益效应均低于其他时间段,而85℃在4:00—6:00对蝗虫的趋光增益效应高于20:00—24:00。

分析表明,夜间环境温度随时间降低,且在20:00—22:00最高,4:00—6:00最低。蝗虫在试验中的生物行为随时间也逐渐降低,可见,外界环境温

度和蝗虫的生物活动规律制约了热源温度对蝗虫的趋光增益效果,导致热源温度对蝗虫的趋光增益增效作用受到了制约。

2.1.2 蝗虫对光温耦合效应和白光的选择对比

蝗虫对光温耦合效应与白光的选择反应率结果和对比结果分别见图3和图4。由图3可知,不同热源温度条件下:蝗虫对65℃光温耦合效应的选择最高,对55℃光温耦合效应的选择次之,而85℃的最低;不同时间段内:热源温度对蝗虫的趋光增效作用在0:00—2:00最大,22:00—24:00次之,4:00—6:00最低,其中85℃对蝗虫趋向紫光的增益效应在20:00—22:00低于4:00—6:00,因此,热源温度和环境温度耦合于蝗虫的趋光增益存在最适温度范围,试验中以65℃热源温度最优。由图4可知,相同时间段和相同温度条件下,蝗虫对紫光和温度耦合效应的选择高于绿紫蓝光和温度的耦合效应。

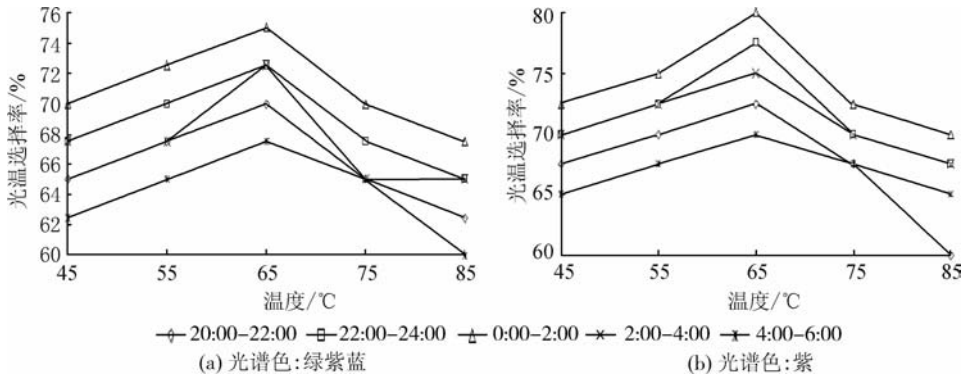


图 3 白光对照条件下蝗虫的光温选择率

Fig. 3 Rate of locusts selecting temperature-light under comparative condition of white light

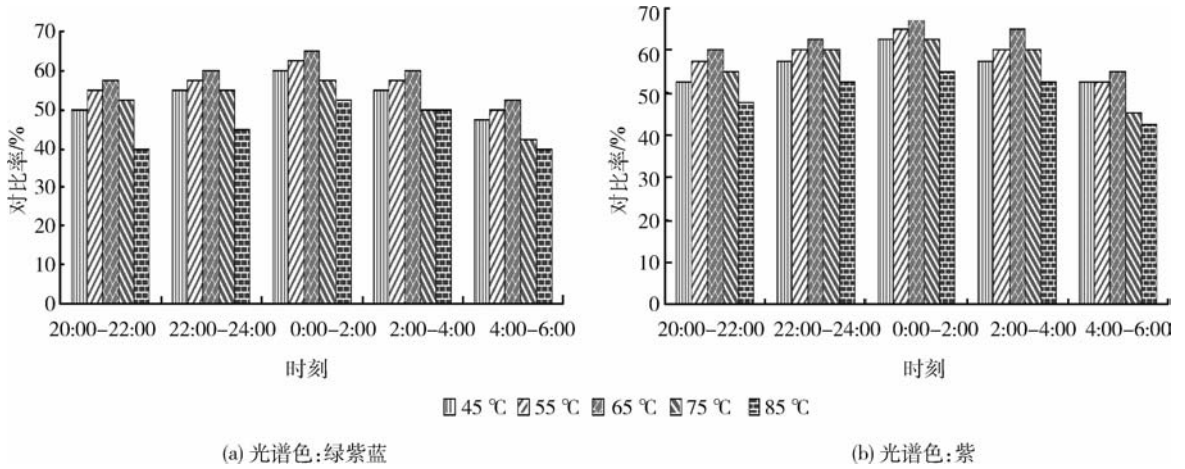


图 4 蝗虫对光温耦合效应和白光的选择对比率

Fig. 4 Comparative rate of locusts selecting coupling heating temperature with light and white light

对选择对比率在 0.05 水平上进行 *t* 检验显著性分析。光色和温度相同条件下：相邻时间段内，热源温度对蝗虫的趋光增益效应差异显著；不相邻时间段内，0:00—2:00 和 4:00—6:00 差异极度显著，0:00—2:00 和 20:00—22:00 差异极显著，其余差异显著。在光色和时间段相同条件下：相邻热源温度之间的差异显著，其中 65 °C 热源温度与不相邻热源温度的差异极显著，且与 85 °C 的差异极度显著，其余热源温度与 85 °C 的差异极显著。在温度和时间相同条件下，蝗虫对紫光的选择和对绿紫蓝光的选择存在差异。

因此，热源温度对蝗虫趋光响应的增益效应 0:00—2:00 最佳，65 °C 热源温度对蝗虫的趋光增益效应在相同时间段内最优，而 85 °C 最差；热源温度和不同光谱色耦合对蝗虫夜间不同时间段内的趋

光响应影响程度不同，其中在相同时间段内，蝗虫对 65 °C 热源温度和紫光耦合的趋光反应最佳，对 65 °C 热源温度和绿紫蓝光的反应次之，而对 85 °C 热源温度和绿紫蓝光的反应最差。

2.1.3 蝗虫对绿紫蓝光温耦合效应和紫光的选择对比

蝗虫对 65 °C 热源温度和绿紫蓝光耦合效应的选择 22:00—6:00 优于相同光照度单一紫光的选择，而在 20:00—22:00 对二者的选择相当。蝗虫对其余热源温度和绿紫蓝光耦合效应的选择均小于对紫光的选择(图 5)。由于热源温度于蝗虫趋光响应的激发并不是建立在提高视觉刺激强度的基础上，因此，依据蝗虫敏感光谱于视觉系统刺激的光照阈值，进行 65 °C 热源温度与绿紫蓝、紫光的有效组合，可提高夜间蝗虫诱导作业效率和作业诱导范围

面积。

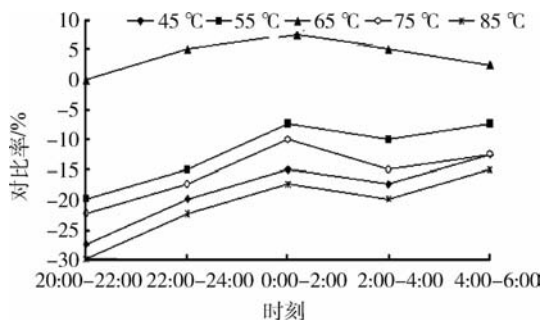


图5 蝗虫对绿紫蓝与温度耦合效应和紫光的选择对比率

Fig. 5 Comparative rate of locusts selecting coupling heating temperature with green-violet-blue light and violet light

2.2 讨论

为了模拟加热温度对蝗虫趋光响应的作用范围,利用空气瞬态热传导原理进行温度分布的ANSYS传热分析。依据加热板高度(0.4 m)和行为通道长度,选择平面模型大小为 $x \times y = 1.0 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}$ 。根据试验地区夜间外界环境温度参数(表1),边界温度设定为21、22、24、26、28℃。所采用的热源温度为蝗虫对光温耦合效应选择最佳的65℃和最差的85℃,传热时间定为2 h(同批次试验时间为2 h),结果见图6。

由图6可知:21℃环境温度下(4:00—6:00),65、85℃热源温度在空气中传热形成的最低温度分别为31.00和35.54℃,分别低于和高于蝗虫生理上最适温度35℃。

表1 试验地区的环境温度和相对湿度

Table 1 Changes of daily temperature and humidity in area of experiment

时刻	温度/℃	相对湿度/%	时刻	温度/℃	相对湿度/%
0:00—2:00	22	90	12:00—14:00	33	78
2:00—4:00	21	92	14:00—16:00	39	72
4:00—6:00	24	95	16:00—18:00	38	74
6:00—8:00	26	93	18:00—20:00	35	81
8:00—10:00	27	89	20:00—22:00	31	84
10:00—12:00	29	86	22:00—24:00	28	89

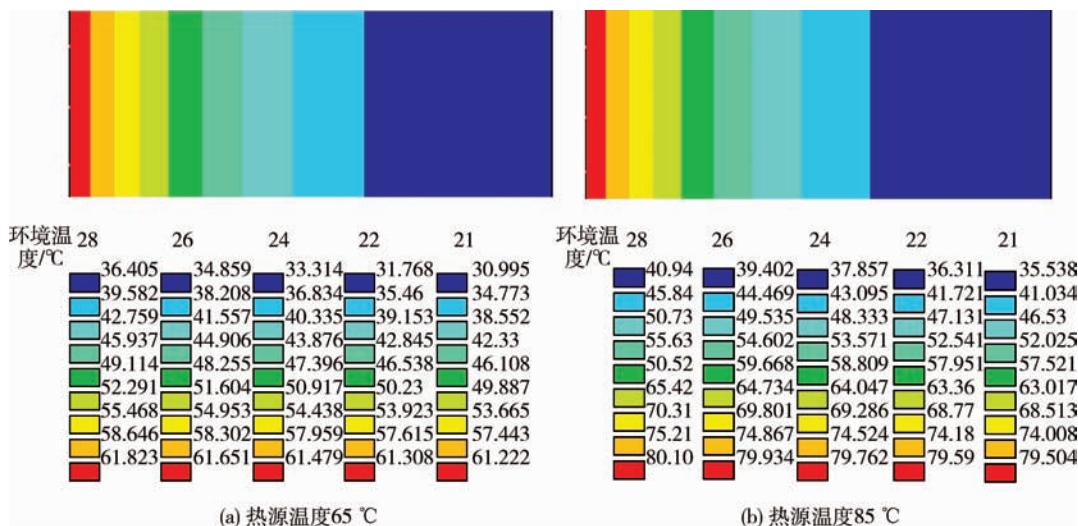


图6 热源温度与夜间环境温度耦合作用下反应通道3内的温度分布

Fig. 6 Coupling effect of heating temperature and environmental temperature distributed in channel 3 of locust responding

在蝗虫对光温耦合效应和对照相同光谱色的选择对比试验中,得到了不同时间段反应通道3内蝗虫分布率(表2)。蝗虫分布率显著性分析表明,0.05水平上:在环境温度最低(21℃)的4:00—6:00,蝗虫在35.54℃温度范围的分布和在31.00℃温度范围的分布差异不显著;在环境温度最高(28

℃)的20:00—22:00,蝗虫在65和85℃区域内分布差异极度显著。另外,蝗虫对65℃热源与光照的选择主要集中在近热源附近,而对85℃热源与光照的选择随环境温度的降低而集中在热源附近。由此可知,热源温度并不是影响蝗虫对光温耦合的选择的主要因素,而是起增益增效作用。

表2 不同时间段反应通道3内的蝗虫分布率
Table 2 Rate of locusts distributed in area of channel

热源温度/ ℃	通道区域/ mm ^①	光照光谱色	时刻				
			20:00—22:00	22:00—24:00	0:00—2:00	2:00—4:00	4:00—6:00
65	1 000~750	绿紫蓝	45.0	52.5	55.0	50.0	50.0
		紫光	57.5	60.0	62.5	57.5	52.5
	750~500	绿紫蓝	7.50	5.00	5.00	5.00	7.50
		紫光	7.50	2.50	0.00	2.50	2.50
	500~250	绿紫蓝	7.50	2.50	0.00	5.00	5.00
		紫光	2.50	2.50	2.50	0.00	2.50
	250~0	绿紫蓝	2.50	0.00	2.50	0.00	2.50
		紫光	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	1 000~750	绿紫蓝	20.0	42.5	52.5	47.5	45.0
		紫光	15.0	40.0	52.5	52.5	50.0
	750~500	绿紫蓝	15.0	2.50	2.50	2.50	5.00
		紫光	7.50	0.00	5.00	0.00	2.50
	500~250	绿紫蓝	0.00	2.50	0.00	2.50	0.00
		紫光	7.50	5.00	0.00	2.50	2.50
	250~0	绿紫蓝	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
		紫光	2.50	2.50	0.00	0.00	0.00

注:①反应通道3内,从通道闸门起划分为0~250、250~500、500~750和750~1 000 mm 4个区域。

环境温度最高(28℃)的20:00—22:00,蝗虫对85℃光温耦合效应的选择小于相同光谱,对65℃光温耦合效应的选择高于相同光谱,且28和26℃环境温度下,85℃热源温度在空气中传热形成的最低温度高出了蝗虫生理上最适温度,65℃热源温度在空气中传热形成的最低温度与蝗虫最适宜的温度大致相当,而蝗虫在85℃温度与紫光耦合区域的分布高于在65℃与绿紫蓝耦合区域的分布。由此可知,蝗虫生理最适温度和热源温度并不影响蝗虫对较敏感的光谱光的选择。

通过测定反应通道光照度分布,温度分布最低处光照度略低于10³ lx,但均高出了蝗虫视觉系统

趋光最低灵敏光照阈值。因此,热源温度对蝗虫的趋光行为存在增益和群集效应,但热源温度因外界温度和蝗虫温度感受器反应谱范围对提高蝗虫响应存在局限性,而光谱光照对蝗虫的光温耦合诱导起决定作用。

另外,由于空气的导热为非稳态导热,所加热的空气为半无限大物体,一旦与加热板接触的空气发生热扰动,在距热源温度较远的地方(x 很大),总能快速传到^[13]。由于蝗虫温度感受器对空气热扰动的敏感性以及温度具有提高蝗虫生物活性的作用^[14-15],因此,热源温度激发了蝗虫温度感受器对热源区的探测和定向。在此基础上,光谱色光照和热

源温度耦合激发了蝗虫的多重感受器,引发了蝗虫双重神经冲动,从而在蝗虫感受器反应谱范围内强化了蝗虫对光温耦合区的趋向。

3 结 论

1)不同热源温度和蝗虫敏感光谱光照耦合对夜间蝗虫诱导效果存在差别。相同时间段内,以65℃热源温度和紫光耦合对蝗虫的诱导效应最优,65℃热源温度和绿紫蓝耦合对蝗虫的诱导效应次之,且优于紫光,而85℃和绿紫蓝光耦合对蝗虫的诱导群集增益效应最差。

2)夜间环境温度和蝗虫昼行夜伏生物规律影响热源温度对蝗虫的趋光增益及增效作用。试验中,65℃热源温度对蝗虫的增益作用、85℃热源温度对蝗虫的增效作用在夜间环境温度最低的0:00—2:00最优,65℃热源温度对蝗虫的增益作用在其生物活性最低的4:00—6:00(环境温度为26℃)最低,85℃热源温度于蝗虫的增益作用在其生物活性最高的20:00—22:00(环境温度为28℃)最低。

3)热源温度对蝗虫的趋光诱导响应起增益群集作用,而蝗虫敏感的光谱色和其光照强度决定蝗虫的诱导效果,其中以65℃热源温度对蝗虫的趋光响应在相同时间段内的增益作用最佳,而85℃最差。

4)热源温度和蝗虫敏感光谱光照的合理组合可进行诱导区域内蝗虫趋光效果的增益调控。依据试验结果中蝗虫趋光增益最佳的65℃热源温度,在确定蝗虫趋光敏感光谱光照耐光阈值大小的基础上,可进行夜间蝗虫诱导的调控实施,以达到提高蝗虫趋光诱导的效果。

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
- [2] 牛虎力,周强.光电诱导作用下蝗虫光谱选择行为的研究.现代生物医学进展,2009,9(3):170-178
- [3] Bayramoglu E S. The accelerating effect of mechanical vibrations on the positive phototaxis of *Locusta migratoria* [J]. Zeitschrift für Vergleichende Physiologie, 1969, 64 (3): 351-354
- [4] Bailey E V, Harris M O. The visual behavior of adult *Melanoplus sanguinipes* F. (Orthoptera: Acrididae) [J]. Journal of Insect Behavior, 1991, 4 (6): 707-726
- [5] 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
- [6] Benjamin K, Wachtmeister C A. Spots and stripes: the evolution of repetition in visual signal form [J]. Journal of Theoretical Biology, 2004, 230: 407-419
- [7] 江景良. 蝗虫复眼光谱敏感性的比较研究. 生理学报, 1983, 35 (1): 9-5
- [8] 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: 191-200
- [9] Vishnevskaya T M, Cherkasov A D. Spectral sensitivity of photoreceptors in the compound eyes of the locust compound eyes [J]. The Journal of Comparative Neurology, 1983, 35 (1): 9-15
- [10] Keram P, Michiyo K, Uwe H. Polarization-sensitive and light-sensitive neurons in two parallel pathways passing through the anterior optic tubercle in the locust brain [J]. J Neurophysiol, 2005, 94: 3903-3915
- [11] 郭郭,陈永林,卢宝廉. 中国飞蝗生物学 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1991: 450-451
- [12] 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: 329-346
- [13] 杨世铭,陶文铨. 传热学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006, 350-450
- [14] 王荫长. 昆虫生理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1991: 440-441
- [15] 勾贺明. 蝗虫机械捕集与利用 [N]. 天津日报, 2008-06-(4)

(责任编辑:刘迎春)