

刘启航,周 强. 蝗虫趋光效应下光振气吸滑移捕集效应[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):182-186.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.050

蝗虫趋光效应下光振气吸滑移捕集效应

刘启航¹,周 强²

(1. 河南科技学院,河南新乡 453003;2. 中国农业大学工学院,北京 100083)

摘要:为研制蝗虫趋光捕集装置,确定捕集实施的调控措施,利用蝗虫光振气吸滑移捕集试验装置,进行蝗虫趋光激振气吸捕集测试,分析光振气吸对蝗虫趋光捕集的影响,探讨蝗虫趋光捕集效应。结果表明:蝗虫趋光视觉效应及趋光视觉敏感行为的激发程度,影响蝗虫对光目标捕捉的趋光行为强度及捕集进入程度,且光照刺激蝗虫视觉系统,引起粪便排泄、附着黏液等新陈代谢增强的外在表现形式,表明体内生理活动的强度,并反映蝗虫趋光视觉生理响应程度;30°倾斜捕集环境中,蝗虫重力作用调控摩擦力和接触牵引力控制行为的弱化程度,是滑移实现的主要原因,蝗虫敏感响应捕集环境的趋光附着爬行行为调控,对趋光捕集行为实现具有重要作用;负压风力的气吸牵引对趋光捕集行为实现的增效、光振激发措施的调控增益,强化蝗虫敏感响应捕集环境的程度;振动、风机噪声、入虫口处负压风等不良刺激,影响光照诱导、气吸吸捕蝗虫捕集进入效果,其以上层捕集入口和吸虫口风速组合为(6.9 m/s)时,光振气吸耦合调控效果最好,且蝗虫趋光捕集率达到90%,可满足不同趋光特征蝗虫的捕集,然而野外蝗虫趋光捕集效果的验证须进一步研究。

关键词:蝗虫;趋光效应;激振;气吸;滑移捕集

中图分类号:S433.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)07-0182-05

蝗虫光电诱导捕集治理的光机电一体化装备技术^[1],利用蝗虫种群趋光特性的光电效应特征,集成电子杀虫技术和机械化吸捕技术的特征,把蝗虫趋光诱导和机械滑移捕集相

结合,以实现蝗虫诱导捕集治理。在此项技术中,优化蝗虫光电诱导滑移摩擦的调控因素,整合增效蝗虫趋光捕集实施措施,构建蝗虫光电诱导滑落捕集调控激发的技术原理,对设计适于蝗虫滑落捕集的光电诱导捕获机构具有重要意义。

研究指出,光电刺激蝗虫视觉的生物光电效应,使得聚集蝗虫的活动行为表现出异常的爬行、跳跃和飞翔,这对聚集蝗虫的机械收集造成不利影响^[2],并且光电诱导作用下跌落于捕集滑板的蝗虫,因蝗虫脚掌与滑板表面存在柔性平面和机械锁合的双重接触方式,而易找到支撑点,难以有效实现蝗虫的滑移捕集^[3]。蝗虫附着系统与材料表面的接触机理研究

收稿日期:2015-06-09

基金项目:国家自然科学基金(编号:50775214);公益性行业(农业)科研专项(编号:201203025)。

作者简介:刘启航(1978—),男,河南周口人,讲师,主要从事光机电一体化物理捕蝗技术研究。E-mail:bjliuqihang@163.com。

通信作者: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。

菜品种-汉油8号(低抗)、汉油9号(低抗-中抗)、汉油6号(感病)的抗性鉴定,验证了该鉴定方法的准确性。试验筛选出高抗恢复系材料2份(750R、CH1FR),高抗保持系材料1份(CH20B);明确了汉中市主要油菜亲本资源圃材料的菌核病抗耐性,试验准确反映了材料自身的抗菌核病能力,为油菜抗性育种中组合的配置提供理论依据,同时促进了抗性材料的推广应用。

参考文献:

- [1]何昆燕,易 斌,傅廷栋,等. 甘蓝型油菜菌核病抗性的遗传分析[J]. 作物学报,2005,31(11):1495-1499.
- [2]左叶信,秦虎强,聂峰杰,等. 陕西省油菜菌核病调查初报[J]. 植物保护,2011,37(2):116-119.
- [3]李方求,官春云. 油菜菌核病抗性鉴定、抗性机理及抗性育种遗传机理[J]. 作物研究,2001(3):85-92.
- [4]姜伟丽. 油菜抗菌核病品种的筛选和抗性机理分析[D]. 南京:南京农业大学,2008:11-13.
- [5]冉 毅,文成敬,牛应泽. 油菜菌核病抗性鉴定方法的比较及抗

- 源的筛选[J]. 植物保护学报,2007,34(6):601-606.
- [6]周必文. 油菜菌核病评价方法[J]. 中国油料,1994(2):88-94.
- [7]黄永菊,陈 军,李云昌. 甘蓝型油菜菌核病抗(耐)性的遗传研究 I. 抗性遗传属性与配合力分析[J]. 中国油料作物学报,2000,22(4):1-5.
- [8]袁德奎,杨政水. 贵州省杂交油菜新品种对菌核病的抗性鉴定与利用[J]. 种子,2004,23(7):73-74.
- [9]张志元,官春云. 无菌苗法在鉴定油菜菌核病抗(耐)性上的应用[J]. 湖北农业科学,2005(2):50-53.
- [10]李强生,胡宝成,McCartney H A,等. 油菜菌核病抗性鉴定方法——花期牙签接种方法的探讨[J]. 安徽农业科学,2001,29(1):72-73.
- [11]云晓鹏,白全江,杜 磊,等. 向日葵品种抗向日葵螟鉴定及抗性评价方法[J]. 中国油料作物学报,2014,36(3):380-384.
- [12]王大刚,李华伟,智海剑,等. 安徽省 SMV 株系的鉴定及其抗源筛选[J]. 中国油料作物学报,2014,36(3):374-379.
- [13]黄小琴,刘 勇,张 蕾,等. 四川盆地主栽油菜品种菌核病抗性评价及稳定性分析[J]. 中国油料作物学报,2012,34(5):514-517.

指出^[4],滑板材料与蝗虫驱动足掌垫间分子作用影响蝗虫滑移摩擦行为,产生的滑移调控效应受到材料表面特性和滑板倾角的影响。这些从蝗虫生物摩擦学角度仅着重研究蝗虫足掌在硬表面上的接触和运动过程中的变形、应力应变、生理响应等方面,蝗虫生物活性体对滑移捕集调控环境的响应调整和摩擦控制捕集行为的过程,并未受到人们的关注。

蝗虫趋光捕集研究指出,蝗虫敏感光谱频闪交变光照能够激发其形成良好的趋光视觉行为,加速趋光滑移捕集的实现,且蝗虫响应滑移通道组合捕集环境刺激的调控行为,能够增益滑移捕集效果^[5]。同时,蝗虫敏感激振刺激,能够快速激发蝗虫敏锐响应光照诱导捕集环境的摩擦控制调控行为,益于趋光捕集活性行为的激发^[6]。另外,气吸式捕蝗设备在草原蝗虫的物理防治中获得良好运用,但吸捕机音影振动及气流刺激干扰下蝗虫反应特性制约了吸捕效果^[7]。因而,针对蝗虫生物摩擦控制的趋光滑移效应,利用激振措施激发蝗虫摩擦控制调控行为的良好实现,结合蝗虫气吸捕集效应,查明光振气吸调控激发蝗虫捕集行为的增益程度及光振气吸作

用环境的影响,优化光振气吸实施措施,研究蝗虫趋光捕集行为为调控效应弱化摩擦控制、增效捕集效果的非适宜因素,可更好地设计蝗虫捕集机的光电系统和机械机构。

本试验利用蝗虫趋光激振气吸滑移捕集试验台,研究光振气吸措施对蝗虫机械捕集的调控效应,探讨蝗虫趋光滑移捕集效应,获得光振气吸调控实施措施,以期对蝗虫捕集机设计及调控措施实施提供技术支持。

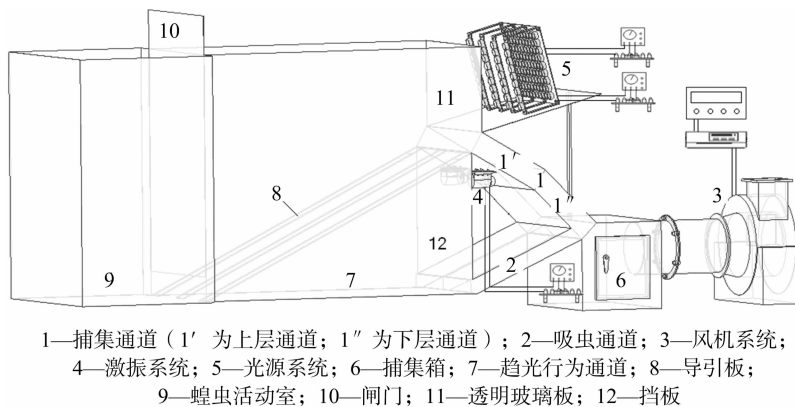
1 材料与方法

1.1 试验虫源

选用河北邯郸蝗虫养殖基地棚内饲养的东亚飞蝗健壮成虫,平均体质量(1.31 ± 0.17) g,体长(41.82 ± 1.98) mm,试验前蝗虫搁置在阳台上的透明玻璃饲养箱内自然适应,试验时采集,试验室内进行,室温 $27 \sim 30$ °C。

1.2 试验装置

蝗虫趋光激振气吸滑移捕集效应测试试验装置如图 1 所示。



1—捕集通道(1'为上层通道;1''为下层通道);2—吸虫通道;3—风机系统;
4—激振系统;5—光源系统;6—捕集箱;7—趋光行为通道;8—导引板;
9—蝗虫活动室;10—闸门;11—透明玻璃板;12—挡板
图1 蝗虫趋光激振气吸捕集效应测试试验装置

机械捕集装置:水平呈 30° 上层通道 1' 和水平呈 45° 下层通道 1'' 组成捕集通道 1,经下层通道落口,与长 \times 宽 \times 高为 $0.2 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$ 的捕集箱 6(其上设置箱门,便于收集捕集的蝗虫)连接,且水平呈 20° 吸虫通道 2 的宽 \times 高为 $0.4 \text{ m} \times 0.045 \text{ m}$,与箱体 6 和下层通道光滑过渡连接于箱体上。其中:上下层通道形成的滑移板由 1 mm 厚不锈钢板一次折弯制成,由一侧不锈钢板、一侧透明玻璃板(以便观察)组合,且上、下层通道上板分别由透明玻璃板(实现光照激发蝗虫行为调控的阻挡作用)胶合覆盖、不锈钢板点焊覆盖,并形成长 \times 宽 \times 高为 $200 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$ 和 $180 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$ 的捕集通道空间;捕集通道透明玻璃板同侧,吸虫通道侧板为透明玻璃板(以便观察),其余由不锈钢板组成,内设风速调节板,以调整风速实现趋光爬行蝗虫的气吸捕集。捕集装置密封良好,以避免气吸漏风,影响试验效果。

风机系统:由变频柜(型号 CIMR2G5A4011,功率 3.7 kW)、1.5 kW 电动机和 CF-11 离心风机等组成,其中,变频柜调频控制电动机以实现离心风机不同的抽风速度、220 V 交流电供电。风机经连接与捕集箱相连,连接处由法兰螺栓固定密封,避免气吸漏风。

激振系统:2 个直流振动电机(50 Hz 振动频率,1.28 kN 单激振力,12 V 供电源)作为振动源,安装于 2 个电机支撑板

上,其焊接于上层通道下滑移板水平中心线下方 $1/4$ 处,与竖直中心线对称放置(水平距离 200 mm);89C51 微控制器控制,TIP-122 驱动实现振动时间为 0.4 s、振动间歇时间为 1 s 的振动激发功能。

光源系统:紫光阵列与绿紫蓝条纹光组合成调控性光源系统 5,放置于一端铰接于捕集通道 1 入口处、一端由支撑调节形成水平呈 15° 倾角的有机透明玻璃支撑板上,并距透明玻璃板 8 的水平放置距离为 150 mm。其中,紫光光照为 11×9 的 LED (1 W/颗) 阵列,绿紫蓝光照为 4 个 1×9 的 LED (1 W/颗) 阵列,凸出紫光 80 mm,相隔间距 88 mm;紫光和绿紫蓝光照度均为 1 000 lx,分别由 27、12 V 直流电源供电,单片机微控制器控制,编程实现光间隔 30 ms 频闪紫光与光周期 640 ms 交变绿紫蓝光组合的调控光照,及恒定光照,TIP-122 驱动 LED。

蝗虫光电诱导响应装置:由行为通道 7(长 \times 宽 \times 高: $1.0 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 0.7 \text{ m}$)、蝗虫活动室 9(长 \times 宽 \times 高: $0.4 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 0.7 \text{ m}$)、导引板 8(3 个宽为 50 mm 木板制成,一侧沿捕集入口中心及左右两侧固连于其下连接板上,另一侧延至活动室入口,与水平面呈 20° 倾角,实现蝗虫光电诱导捕集进入导引功能)、闸门 10(启闭功能)、透明玻璃板 11(阻止光照透光激发下飞逸及弹跳蝗虫逃逸功能)、挡板 11(防止趋光蝗

虫逃逸)等组成。

1.3 试验方法

20:00—22:00 进行试验。对于同一次试验,试虫备 3 组,每组 40 只,依次测试,取平均值,标准误差为 2.5% ~ 5%,不影响结果分析。每次试验 30 min 前,蝗虫放置于活动室内进行适应。试验光照 15 min,处理间隔 20 min,光源光照度标定为 1 000 lx。上层通道入口处 6 m/s 负压风速时,风速仪标定吸虫通道入口处(7、8、9、10 m/s 风速利用风速调节板调整实现)负压风速,设定变频仪控制频率。

试验时开启诱导光源、闸门,首先进行恒定、调控光照激发下蝗虫趋光捕集效果的测定,在此基础上开启振动电机,进行光振条件下蝗虫趋光捕集效果的测定,以确定光振激发蝗虫趋光捕集效应的差异。然后,开启变频柜,上层通道入口处 6 m/s 风速时,设定吸虫通道入口处不同风速的控制频率,待风机运转稳定后,开启诱导光源、阀门、振动电机,进行上层通道与吸虫通道入口处不同负压风速组合、调控光照、激振条件下蝗虫趋光捕集效果的测定,以确定气吸最佳增效蝗虫趋光捕集效果的模式。在气吸风速最佳组合确定的基础上,开启光振气吸控制系统及阀门,进行不同光照(恒定、调控)条件下光振气吸蝗虫趋光捕集效果试验,以验证激发模式的增效性。试验中,观察蝗虫激发捕集试验现象;试验后,统计虫数。

1.4 试验数据处理

试验结果中,滑移捕集率(3 次试验直接滑移虫数均值占 40 头虫数的比例)反映光照(恒定或调控)、光振、光振气吸激发下蝗虫直接滑移捕集的效果;碰撞滑移捕集率(3 次试验碰撞滑移虫数均值占 40 头虫数的比例)反映光照(恒定或调控)、光振、光振气吸激发下上层通道内蝗虫弹跳碰撞后在下层通道内的直接滑移捕集效果;蝗虫滞留率(3 次试验上层通道内附着不动及掉头爬行虫数均值占 40 头虫数的比例)反映光照(恒定或调控)、光振、光振气吸激发下上层通道内蝗虫附着不动及掉头爬行的大小;爬行捕集率(3 次试验趋光爬行蝗虫沿吸虫通道爬行捕集虫数均值占 40 头虫数的比例)、气吸捕集率(3 次试验气吸趋光爬行蝗虫所捕集虫数均值占 40 头虫数的比例)分别反映光源(恒定或调控光照)激发下通过吸虫通道爬行捕集蝗虫效果、光振气吸激发下通过吸虫通道气吸趋光爬行蝗虫捕集的效果;趋光总捕集率(3 次试验光照、光振、光振气吸激发下蝗虫趋光捕集各自总虫数均值占 40 头虫数的比例)反映蝗虫在光照(恒定或调控)、光振、光振气吸激发下的趋光捕集总效果。

2 结果与分析

2.1 光照、光振激发对蝗虫趋光捕集效应的影响

恒定光照、调控光照及分别与振动耦合激发下蝗虫趋光捕集效应测试结果如图 2 所示。

由图 2 可知,无振条件下,恒定光照和调控光照相比,上层滞留率、滑移捕集率差异显著($P < 0.025$),而碰撞滑移捕集率差异显著以及爬行捕集率差异极显著($P < 0.05$)。从而,调控光照激发趋光蝗虫的捕集效果及爬行捕集效果优于恒定光照。振动条件下,恒定光照和调控光照相比,上层滞留率差异显著,且滑移捕集率无差异($P < 0.025$),而碰撞滑移捕集率差异性显著以及爬行捕集率差异性显著($P < 0.05$),

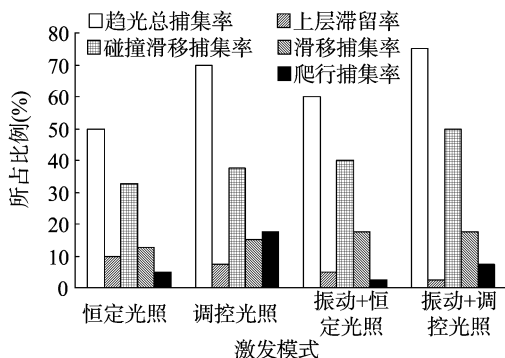


图2 光照、光振激发下蝗虫趋光捕集效应测试结果

经对比,调控光照激发蝗虫趋光进入及捕集总效果分别高于恒定光照 7.5%、15%。因而,调控光照激发蝗虫趋光视觉敏感响应较强的基础上,蝗虫生理敏感振动模式提高了趋光捕集调控效果。

无振和振动条件相比,在 $\alpha = 0.05$ 水平检验结果表明,上层滞留率差异显著,碰撞滑移捕集率差异极显著,恒定光照(调控光照)的滑移捕集率、调控光照(恒定光照)的爬行捕集率差异极显著。蝗虫上层通道内趋光捕集及吸虫通道内捕集差异表明蝗虫敏感行为的调控激发程度影响其响应捕集环境的敏锐性。

试验中,趋光蝗虫产生直飞、沿导虫板爬行、爬行弹跳进入上层通道内以及趋光爬入吸虫通道内的捕集进入试验现象,未进入蝗虫分布于上层通道入口的导引板上,或散落于吸虫通道入口处,且吸虫通道内,蝗虫产生了爬行捕集行为。振动条件下,吸虫通道入口处蝗虫较多,进入上层通道内蝗虫爬行后出现了趋光捕集行为(弹跳碰撞或滑移),调控光照、振动加速了该行为的实现,且振动对蝗虫进入具有抑制作用。

综上可知,调控光照对蝗虫趋光捕集行为调控程度优于恒定光照,且振动对调控光照激发蝗虫较强敏感响应的叠加刺激,强化蝗虫响应光照刺激的行为调控强度,促使增益性趋光捕集调控行为快速实现。

2.2 风速吸捕效应对蝗虫趋光捕集的影响

上层通道及吸虫通道不同风速组合条件下,蝗虫趋光气吸捕集效应测试结果如图 3 所示。

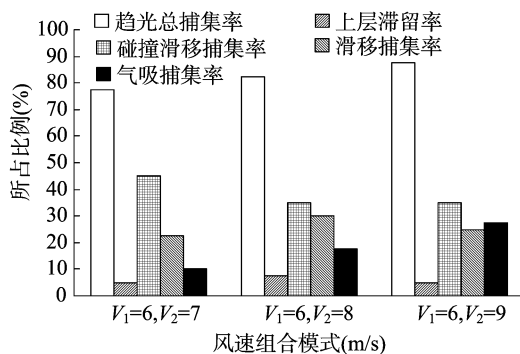


图3 不同风速组合下蝗虫趋光捕集效应测试结果

由图 3 可知,在 $\alpha = 0.025$ 水平检验表明,调控光照和上层捕集入口风速为 6 m/s 条件下,吸虫通道入口不同风速之间,蝗虫滞留率差异不显著,经上下层通道的趋光气吸蝗虫捕集效果差异显著,其差异性致使气吸捕集率差异极显著,并导致蝗虫趋光气吸捕集总效果差异显著,且吸虫通道入口处风

速增大到一定值后,相应降低了蝗虫趋光捕集效果,减弱了趋光捕集行为实现的增效程度。

据试验观察,调控光照激发了蝗虫敏感响应光源的不同趋光调整行为,捕集入口附近负压风速的气吸作用易化了趋光至捕集入口处蝗虫的捕集进入,且距捕集入口 0~80 mm 范围内,在气吸作用显现的基础上,负压风速弱化了蝗虫趋光敏感行为,而 80 mm 以外光照完全主导蝗虫行为状态。趋光进入上层通道内 20% 蝗虫完全呈直接滑移状态,而光吸耦合刺激强化部分蝗虫产生了趋光弹跳碰撞行为。捕集箱内蝗虫无激烈的活动行为表明负压风力抑制了蝗虫行为活性,当吸虫通道入口风速增至 10 m/s 时,蝗虫悬浮吸入,而风速增大,蝗虫抵制气吸作用的调控行为增强,且风机噪声影响蝗虫的趋光行为活性。

因此,上下层趋光捕集通道与吸虫通道组合,能够满足不同趋光激发特征蝗虫的捕集,捕集入口处负压风速相应气吸牵引增效了入口处趋光蝗虫的进入,并提高了趋光捕集效果,而风机噪声、入虫口处负压风分布、负压风刺激蝗虫的趋光行为的抑制,制约了增大风速增效蝗虫趋光捕集的效果,并以上层捕集入口风速和吸虫口风速组合为 (6,9 m/s) 时,蝗虫趋光捕集效果相对较好。

2.3 光振气吸激发蝗虫趋光捕集效应的测试

风速最佳组合 (6,9 m/s) 模式下,光振激发蝗虫趋光捕集效应测试结果如图 4 所示。

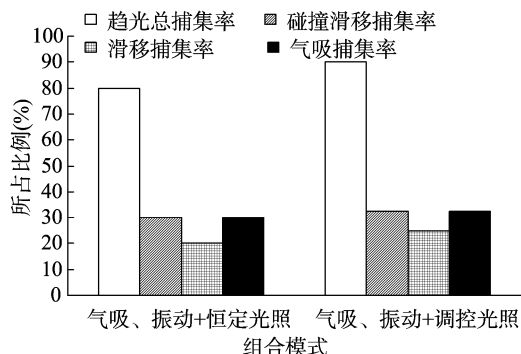


图4 光振气吸激发蝗虫趋光捕集效应测试结果

由图 4 可知,光振气吸下,光照特性不同,蝗虫趋光捕集总效果具有明显差异,在 $\alpha=0.025$ 水平检验表明,碰撞滑移率、气吸捕集率差异显著,碰撞滑移捕集率差异极显著,则光照激发蝗虫的趋光程度影响捕集效果,且振动气吸措施,明显降低了蝗虫滞留率(为 0)。结果表明,调控光照的趋光捕集总效果优于恒定光照 10%。据试验观察,气吸作用抑制了光振激发上层通道内蝗虫的趋光弹跳碰撞行为,增强了滑移效果,且振动及风机噪声对趋光爬行至吸虫通道入口处蝗虫具有驱使作用,而负压风力气吸增效了捕集入口处蝗虫进入。

因此,光振气吸效应下,蝗虫趋光捕集进入的光照激发是有效实现趋光捕集的关键,气吸效应与振动的综合作用弥补了制约蝗虫趋光捕集实现的不利因素,增益蝗虫趋光诱导捕集中的滑移行为及捕集效果。

2.4 讨论

为探讨光振气吸对蝗虫滑移捕集的作用及蝗虫趋光捕集效应,蝗虫光振气吸捕集效应图如图 5 所示。

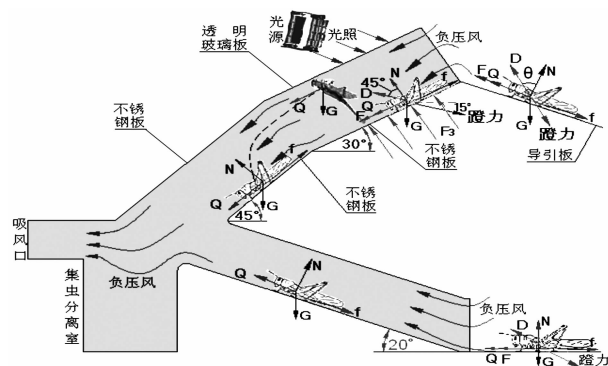


图5 蝗虫趋光气吸激振捕集效应

依据图 5,结合试验结果和试验过程进行分析可知,蝗虫敏感光谱光照能量干扰刺激蝗虫视觉系统,引起蝗虫视色素调节的明暗适应过渡过程,致使吸收敏感光子数的作用增强^[8],从而光电效应导致的视神经兴奋性及生理生化反应,有效激发蝗虫趋光视觉效应。在光照激发蝗虫趋光定向响应的前提下,光照目标引起了趋光运动蝗虫视觉探测响应光源光照的敏感性,且光照激发的视觉敏锐行为导致趋光蝗虫产生警觉性辨识光照目标的行为调节,而光源光照度相同条件下,阵列条纹恒定光照及频闪交变调控光照激发蝗虫趋光捕集进入的行为强度表明,光照刺激强度调控激发蝗虫视觉响应的程度差异,导致不同的趋光状态。因而,蝗虫趋光视觉效应的激发及蝗虫趋光视觉敏感行为的形成,具有蝗虫趋光视觉生理容限内光照能量的调控激发强度要求。试验中,调控光照激发蝗虫粪便排泄频繁,附着黏液及气味分泌多于恒定光照,从而光源光照对蝗虫趋光视觉的激发程度具有外在的生理表现形式,并影响蝗虫趋光捕集进入效果。

试验现象表明,趋光弹跳飞跃蝗虫^[9],在视觉捕捉光源光照过程中,利用趋光运动视差感应光源距离的探测效应,确定合适的着落点以辨识和接受光照刺激^[10],导致蝗虫趋光进入或与有机透明玻璃板碰撞后“跌落”进入上层通道内,而沿导引板趋光爬行蝗虫,由于木板的粗糙度,致使

$$F + D \sin \theta - G \sin \theta - f > 0. \quad (1)$$

式中: F 为蝗虫足掌趾垫接触变形和黏液分泌及前跗节爪叉锁合的接触牵引力; D 为蝗虫行走调节下后肢蹬力的反作用力; f 为接触摩擦力。

在此作用下,蝗虫爬行敏感响应光源光照,而蝗虫趋光视觉接受光照的视觉生理感应程度及视觉功效敏锐性的差异^[11],导致蝗虫趋光弹跳、爬行进入或滞留于上层捕集入口附近,且调控光照效果较好,则蝗虫视觉敏感辨识接受光照刺激能量的响应阈值强度^[12],影响趋光捕集进入效果。

同时,0.01 lx 吸虫通道内,调控光照下,蝗虫产生较好的爬行捕集现象表明,调控光照对蝗虫趋光视觉的激发效应较强,在此作用下,蝗虫具有视神经兴奋激发下探测响应环境的行为活性,而蝗虫趋光视觉激发程度差异及趋光爬行中的生理调节差异,导致蝗虫分布于距吸虫通道入口处 0~80 mm 范围内(光照度为 2~4 lx)。

进入上层通道内爬行调节蝗虫,蝗虫附着受力状态为

$$F + G \sin 30^\circ + D \sin 45^\circ - f > 0. \quad (2)$$

由式(2)可知:蝗虫依靠足掌趾垫接触变形和黏液分泌及前

跗节爪叉锁合接触方式,调整接触附着方式增强摩擦控制效应,以响应接触环境的变化^[13],且通道内的光照刺激,强化了蝗虫视觉功效下的行为调节,其趋光性足肢附着接触调整方式,有效降低了蝗虫足肢与倾斜面的接触面积,弱化了摩擦控制效应,而且蝗虫对激振刺激的敏感生理响应,加速了蝗虫趋光滑移捕集行为调节。蝗虫趋光捕集行为良好实现的试验结果表明,弱化蝗虫趋光附着摩擦控制能力,激发其趋光滑移调节的敏感行为,可提高蝗虫趋光捕集效果。

依据图5,结合试验结果和试验过程进行分析可知,负压气吸措施的实施,致使入口处0~100 mm范围内具有负压风力(Q)分布,其对趋光至入口处蝗虫体产生不良的刺激反应^[14],而吸虫通道内蝗虫良好的气吸捕集率表明,蝗虫抑制负压风力的调控行为,易化了气吸牵引入口处蝗虫捕集进入实现,且上层通道入口处0~50 mm范围内的气吸作用,有效激发了蝗虫敏感响应光照的趋光附着调控,益于捕集进入。

然而,负压风在入口外空间内的扩散减弱,且趋光捕集环境的作用差异,影响气吸趋光爬行蝗虫的捕集效果,试验结果表明,上层通道入口处负压风速增效强化了蝗虫趋光捕集进入,吸虫通道入口风速起气吸牵引作用,且风速组合为(6、9 m/s)时,效果良好。同时,上层通道内7.2 m/s负压风速作用下,捕集进入蝗虫行为调节的趋光附着受力状态为

$$Q + F + G\sin 30^\circ + D\sin 45^\circ - f > 0。 \quad (3)$$

对比式(2)和式(3)可知,负压风力 Q 的叠加,弱化了蝗虫趋光附着支撑调控能力,从而气吸效应抑制了蝗虫行为调控强度,致使气吸牵引作用增强了滑移捕集效果。因而,倾斜滑移面上,蝗虫依靠摩擦力 f 和接触牵引力 F 的接触控制,利用蹬力的反作用力 D 及接触牵引力 F 进行爬行运动,是重力 $G\sin 30^\circ$ 作用滑移捕集实现的主要因素,而蹬力的反作用力 D 调控蝗虫的行为效应、负压风力 Q 的作用,强化了蝗虫生理敏感响应,增效了趋光捕集行为的实现。光振气吸作用下,捕集箱内蝗虫粪便、上层通道入口附近粪便及黏液分泌多于光振20%,且捕集效果最佳,而光振多于调控光照,弹跳碰撞捕集率最高,对照式(3)可知,光照、振动在激发蝗虫生理敏感响应捕集环境、行为调控作用下弱化摩擦控制方面起主要作用,从而光振激发措施是蝗虫趋光捕集行为的调控增益因素。

另外,试验中,跌落于45°倾斜下层通道滑板上的蝗虫实现了直接滑移,吸虫通道入口处9 m/s的负压风力 Q ,有效抑制了趋光至吸虫通道入口处蝗虫行为调节的逃逸反应^[15],气吸进入吸虫通道,并呈气吸悬浮状态进入捕集箱。因而,上下层通道内光振气吸调控蝗虫趋光捕集行为的增效性、吸虫通道气吸作用、捕集入口处负压风场增益蝗虫趋光捕集进入的效应,能够实现不同趋光特征蝗虫的捕集,且光照激发其趋光上灯是关键。

然而,振动气吸具有影响蝗虫趋光捕集的不利因素,且野外蝗虫栖息环境对趋光捕集的影响程度,尚未验证,则需进行光振气吸野外蝗虫趋光捕集试验。

3 结论

本研究针对蝗虫不同的趋光特征,研制了激振气吸蝗虫趋光捕集试验装置,通过研究光振激发和吸捕效应下蝗虫趋

光捕集效应发现,蝗虫趋光视觉效应及其敏感行为的激发程度影响蝗虫对光目标捕捉的趋光行为强度及捕集进入程度,且蝗虫趋光视觉生理激发程度,具有粪便排泄、附着黏液及气味分泌等外在表现形式。30°倾斜捕集环境中,蝗虫重力作用调控摩擦力和接触牵引力控制行为的弱化程度,是滑移实现的主要原因,蝗虫敏感响应捕集环境的趋光附着爬行行为调控,对调控趋光捕集行为实现具有重要作用,而负压风力的气吸牵引是趋光捕集行为实现的增效因素,光振激发措施是调控增益因素。结果表明,上层捕集入口和吸虫口风速组合为(6、9 m/s)时,光振调控效果最佳,且光照诱导、气吸吸捕蝗虫捕集进入前提下,光振气吸耦合调控蝗虫趋光捕集率达到90%,满足不同趋光特征蝗虫的捕集,然而野外蝗虫趋光捕集效果的验证须进一步研究。

参考文献:

- [1]徐瑞清,周强,王书茂. 蝗虫灾害的机械化捕集治理技术发展[J]. 农业机械学报,2005,36(11):165-167,180.
- [2]周强,牛虎力. 滑板材料因素与蝗虫滑移摩擦行为的关系研究[J]. 哈尔滨工业大学学报,2006(38):81-83.
- [3]Jiao Y, Gorb S, Scherge M. Adhesion measured on the attachment pads of *Tettigonia viridissima* (Orthoptera, insecta)[J]. The Journal of Experimental Biology, 2000, 203 (Pt 12):1887-1895.
- [4]王立新,周强,程小桐. 蝗虫在滑板表面滑移效应的测试[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2009,30(3):232-235.
- [5]刘启航,周强. 光谱光照调控组合性光源激发蝗虫趋光效果试验[J]. 农业机械学报,2013,44(9):243-249.
- [6]刘启航,吴迪,周强. 光振耦合对蝗虫趋光响应驱动增效效应的影响及测定[J]. 农业工程学报,2012,28(18):169-176.
- [7]杜文亮,刘建民,赵卫东. 草地蝗虫吸捕机吹吸式吸嘴的试验研究[J]. 农机化研究,2006(3):137-140.
- [8]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.
- [9]Catton W T. 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(2):191-200.
- [10]Field L H, Duch C, Pflüger H J. 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.
- [11]Michael H D, Claire T F, Robert J F, et al. How animals move: an interpretive view[J]. Science, 2000, 288(7):100-106.
- [12]Sobel E C. The locust's use of motion parallax to measure distance[J]. Journal of Comparative Physiology A, 1990, 167(5):579-588.
- [13]Gray J R, Blinow E, Robertson R M. A pair of motion-sensitive neurons in the locust encode approaches of a looming object[J]. Journal of Comparative Physiology A, 2010, 196(12):927-938.
- [14]Vötsch W, Nicholson G, Müller R, et al. Chemical composition of the attachment pad secretion of the locust *Locusta migratoria*[J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2002, 32(12):1605-1613.
- [15]Hassenstein B, Huestert R. Hiding responses of locusts to approaching objects[J]. Journal of Experimental Biology, 1999, 202(12):1701-1710.