

共振声波技术防治柑桔大实蝇的可行性试验研究

陈小强¹ 刘元坤¹ 刘京诚¹ 王宗庆² 严凡婷¹

(1. 重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400044;

2. 西南大学 植物保护学院, 重庆 400715)

摘要 运用大型模拟仿真软件 ANSYS 计算出柑桔大实蝇的固有频率约为 55 Hz, 对比研究共振声波对柑桔大实蝇行为效应和寿命影响, 探讨共振声波技术防治柑桔大实蝇的可行性。1) 采用声强 120 dB, 频率分别为 55、100、180 和 300 Hz 的声波分别辐照 30 min, 记录柑桔大实蝇的行为反应。结果表明: 经低频声波辐照, 柑桔大实蝇会产生不适反应, 如头部不停摇晃, 双翅快速摆动, 并伴有肢体不停摩擦头部和尾部, 趋向于活动在声强低的区域等。共振声波辐照下, 柑桔大实蝇具有显著的趋避反应, 有效趋避率达 36.48%。2) 采用频率 55 Hz, 声强分别为 120、110、100、90 和 80 dB 的声波分别辐照 30 min, 记录柑桔大实蝇的行为反应。结果表明: 声强越大, 柑桔大实蝇的趋避反应越明显, 但声强低于 80 dB 时, 无显著趋避反应。3) 采用频率 55 Hz, 声强为 120 dB 的声波每次辐照 4 h, 连续辐照直到全部死亡为止, 记录柑桔大实蝇的死亡情况。结果表明: 高强度共振声波对柑桔大实蝇的寿命具有显著的影响, 辐照 5 d 后实验组全部死亡, 与对照组比较, 最终死亡率提升 42.80%。

关键词 柑桔大实蝇; 共振; 声波; 行为效应; 固有频率; 寿命

中图分类号 S 435

文章编号 1007-4333(2013)01-0159-06

文献标志码 A

Experimental study on feasibility of prevention of *Tetradacus citri* Chen through resonating acoustic technique

CHEN Xiao-qiang¹, LIU Yuan-kun¹, LIU Jing-cheng¹, WANG Zong-qing², YAN Fan-ting¹

(1. Key Lab of Optoelectronic Technology & Systems Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract A reasonable value of 55 Hz for the natural frequency of *Tetradacus citri* Chen was obtained by using ANSYS, a large simulation software. A comparative study on the effects of resonating acoustic wave on behavior and lifespan of *Tetradacus citri* Chen was conducted in this paper, in order to verify the feasibility of prevention of *Tetradacus citri* Chen through resonating acoustic technique. The response of *Tetradacus citri* Chen were recorded and tested when they were exposed to a sound field with sound intensity of 120 dB and frequencies of 55, 100, 180 and 300 Hz for 30 minutes. The results showed that under low frequency acoustic conditions, the *Tetradacus citri* Chen performed discomfort reactions, such as head shaking, wings flapping, head and tail rubbing by their limbs, and moving to the areas of low sound intensity in the flask; while, under the resonating acoustic wave, *Tetradacus citri* Chen had a strong response of avoidance, and the effectively escaping rate was up to 36.48%. When *Tetradacus citri* Chen was exposed to a sound field with frequency of 55 Hz and sound intensities of 120, 110, 100, 90 and 80 dB for 30 minutes, it found that the higher the sound intensity was, the more significant the avoidance; while, if the sound intensity was lower than 80 dB, there was no significant avoidance. The death statuses of *Tetradacus citri* Chen were investigated with exposure to a sound field of 55 Hz and 120 dB for 4 hours every day until all were killed. The results showed that resonating acoustic

收稿日期: 2012-05-29

基金项目: 中央高校基本科研业务费资助(CDJXS11121145)

第一作者: 陈小强, 高级工程师, 主要从事精密仪器及机械研究, E-mail: xqc1130@126.com

wave of high intensity have a significant impact on the lifespan of *Tetradacus citri* Chen and all the insects used in the experiments were killed after 5 days, comparing with the controls the final mortality increased by 42.80%.

Key words *Tetradacus citri* Chen; resonate; acoustic wave; behavior effect; natural frequency; lifespan

近几年,由于柑桔种植面积的增加和果实频繁调运等原因,柑桔大实蝇疫情的危害程度和发生面积迅速扩大。20世纪50年代,湖南省怀化市全市有12个县市(区)有10个县15个乡136个村发生柑桔大实蝇疫情,并很快扩大到12个县60个乡200个村。柑桔一般受害损失率为20%~30%,严重的高达80%,甚至绝收,柑桔大实蝇疫情造成的损失相当严重^[1]。针对一种或某一类虫害,为了达到更好的防治效果,降低健康成本^[2],人们往往倾向于选择几种防治手段结合使用,但随着物理和计算机技术的不断发展,物理机械防治手段以其安全性更高,负面影响更小,与其他防治手段兼容性高等优点日益得到人们的重视,并取得了较快发展。目前国内外,主要的物理机械防治手段有:诱捕灭杀技术、微波治理技术、射线防治技术和激光治理技术。这些方法往往存在时效慢或受环境影响大等缺点。

一定条件的声波作用于生物体能产生多种生物学效应。当声波作为一种刺激源,引起机体非特异性生理综合症,叫做刺激反应^[3],这种反应在声波共振时得到放大。因此,研究声波共振现象对生物体及器官组织的影响日益得到临床医学、预防医学及军事医学等多个领域的重视^[4-5],但主要集中在人和其他哺乳动物。受次声波武器的启发,本研究将声波共振技术引入到植物保护领域,以害虫柑桔大实蝇为试验对象,从不同条件的声波对其行为和寿命的影响方面验证声波防治柑桔大实蝇的可行性,以期声波共振技术在我国柑桔大实蝇虫源控制乃至在农林业虫鸟危害防治的应用提供一定的试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新羽化柑桔大实蝇,西南大学植物保护学院提供。

1.2 试验装置

智能声波发生装置(自行研制):该装置基于ARM嵌入式技术,主要由智能信号发生器、功率放

大器、传感器和声波发生器组成,所产生的中低频声波频率范围为20~10 kHz,失真小于0.1%。该装置还可实时显示温度、湿度等环境参数^[6]。

声级计:型号HS5660A,声强测量范围32~138 dB(A),40~135 dB(C),40~135 dB(线性);频率测量范围10 Hz~20 kHz。

1.3 试验方法

1.3.1 柑桔大实蝇固有频率仿真计算

模态分析是用于研究结构动力特性的一种近代方法,是系统辨别方法在工程振动领域中的应用。使用有限元法进行模态分析可用于确定结构的震动特性(即固有频率和振形)^[7]。本研究运用大型通用有限元分析软件ANSYS 12.1对柑桔大实蝇进行模态分析,探讨声波辐照试验中声波频率水平的最佳设置。

模拟仿真计算时,假设柑桔大实蝇停留在某一物体上,按照此时的柑桔大实蝇的状态设置相应参数,仿真结果显示柑桔大实蝇的一阶固有频率约为55 Hz。模态仿真结果见图1。

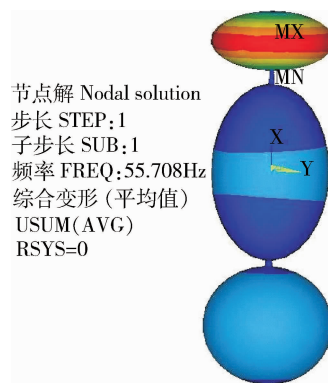


图1 柑桔大实蝇模态仿真结果

Fig. 1 Modality simulation results of *Tetradacus citri* Chen

1.3.2 培养瓶中的声场分析

培养瓶中的声场直接作用于柑桔大实蝇,是影响本次试验的关键因素。由于培养瓶与实验箱相比要小得多且不易直接测量,因此,在运用ANSYS仿真软件分析培养瓶内声场分布时,培养瓶处理成外

部边缘声场均匀的模型,并且,为将问题简单化,对于介质和声波的传播过程做以下基本假设^[8]:1)介质为理想流体,声波在其中传播时无能量消耗,且介质是均匀、各向同性的。2)声波传播过程是绝热过程,与外界不存在热交换。3)声压 P 远小于介质静压强 P_0 ;质点速度 V 远小于声速 C 。质点位移远小于声波波长 λ ;质点密度增量 $\Delta\rho$ 远小于静态密度 ρ 。不同频率的声波辐照下,培养瓶中的声场分布情况如表 1。

表 1 培养瓶中的声场分布情况

Table 1 Distribution of acoustic field in culture bottle

声波频率/Hz	声场分布情况
Frequency of acoustic	Distribution of acoustic field
55	上高下低 Above high, below low
100	上高下低 Above high, below low
180	上高下低 Above high, below low
300	上低下高 Above low, below high

在靠近培养瓶壁外沿声场参数为 55 Hz, 120 dB 时,培养瓶中声场分布仿真结果如图 2 所示。

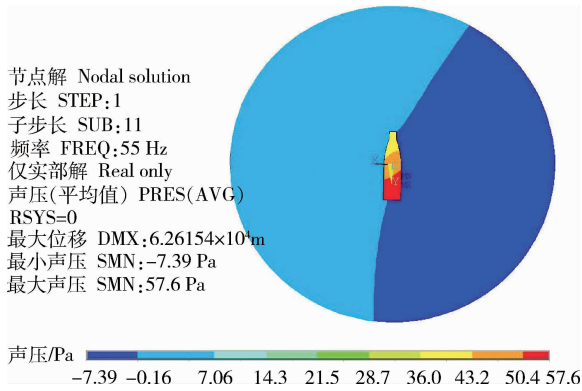


图 2 55 Hz 时培养瓶中声场分布模拟结果

Fig. 2 Simulation results of acoustic field distribution in culture bottle with frequency of 55 Hz

1.3.3 声波辐照处理方法

1)不同频率声波辐照试验。收集 10 h 内新羽化柑桔大实蝇 500 只,随机分组试验,经声强为 120 dB,频率为 55(55 Hz 试验组)、100(100 Hz 试验组)、180(180 Hz 试验组)、300 Hz(300 Hz 试验组)和不经声波辐照(对照组),共 5 组,每组 10 管,每管 10 只。为降低柑桔大实蝇觅食行为带来的影响,以

取得更佳的试验效果,喂食 4 h 后,试验 30 min,每隔 1 min 观察并记录各组培养瓶中柑桔大实蝇的行为反应。

2)不同声强声波辐照试验。另收集 10 h 内新羽化柑桔大实蝇 600 只,随机分组试验,经频率为 55 Hz,声强为 120(120 dB 试验组)、110(110 dB 试验组)、100(100 dB 试验组)、90(90 dB 试验组)、80 dB(80 dB 试验组)和不经声波辐照(对照组),共 6 组,每组 10 管,每管 10 只。为降低柑桔大实蝇觅食行为带来的影响,以取得更佳的试验效果,喂食 4 h 后,试验 30 min,每隔 1 min 观察并记录各组培养瓶中柑桔大实蝇的行为反应。

3)共振声波对柑桔大实蝇寿命影响试验。收集 10 h 内新羽化柑桔大实蝇 200 只,每组 10 管,每管 10 只。随机分组,一组用 120 dB,55 Hz 的声波每天定时辐照 4 h 和不经声波辐照为对照组,共 2 组。每天试验结束后,观察并统计柑桔大实蝇死亡率,直到各试验组全部死亡为止。以每组全部柑桔大实蝇死亡率的平均值为该组死亡率,以每组全部柑桔大实蝇最高死亡率的平均值减去每组全部柑桔大实蝇初始死亡率的平均值为该组最终死亡率。

1.4 统计学处理

试验所得数据经统计学处理,结果均以平均值±标准差($\bar{X} \pm SD$)表示。各组平均值间的差异显著性采用 t 检验^[9-10]。

2 结果与分析

2.1 不同频率声波辐照对柑桔大实蝇行为的影响

一定条件的声波辐照下,柑桔大实蝇会产生不适反应,如,头部不停摇晃,双翅快速摆动,并伴有肢体不停摩擦头部和尾部,趋向于活动在声强低的区域等异常行为。由于最终趋向于活动在培养瓶声强低的区域柑桔大实蝇的比率(简称趋避率)存在差异并且易于量化,本次试验选取试验最后 10 min 趋避率的平均值(简称最终趋避率)作为衡量声波对柑桔大实蝇行为影响强弱的标准。试验结果见表 2。

表 2 表明:1)55 Hz 组和 100 Hz 组与对照组之间差异极显著($P < 0.025$),180 Hz 组和 300 Hz 组与对照组之间差异显著($P < 0.05$)。2)柑桔大实蝇对不同频率的中低频强声均有明显的趋避反应,平

表2 不同频率声波辐照下柑桔大实蝇的最终趋避率
Table 2 Ultimate aversion rate of *Tetradacus citri* Chen under acoustic irradiation of different frequencies

组别 Group number	最终趋避率/% Ultimate aversion rate
对照组 Control groups	2.917±2.013
55 Hz 试验组 Experimental group with 55 Hz	39.394±2.376**
100 Hz 试验组 Experimental group with 100 Hz	35.267±1.670**
180 Hz 试验组 Experimental group with 180 Hz	20.606±2.196*
300 Hz 试验组 Experimental group with 300 Hz	16.667±1.882*

注:数据以平均值±标准差($\bar{X}\pm SD$)表示,样本数 $n=2$ 。*,与对照组比较,差异显著, $P<0.05$;**,与对照组比较,差异极显著, $P<0.025$ 。下同。

Notes: All the data were presented in the form of $\bar{X}\pm SD$, sample number n is 2.

* significant($P<0.05$), ** significant($P<0.025$). The same below.

均趋避率 16.667%~39.394%。其中,经接近柑桔大实蝇固有频率的声波辐照,其最终趋避率最高,达到 39.394%。

对不同声波频率所对应的最终趋避率进行拟合,得到关系曲线见图 3。可见,柑桔大实蝇的固有

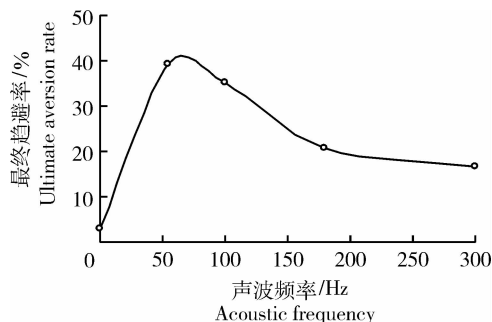


图3 声波频率与柑桔大实蝇最终趋避率的关系

Fig. 3 Relationship between acoustic frequency and the ultimate aversion rate

频率在 50~65 Hz 之间,与之前的仿真得到的 55 Hz 相契合。同时图 3 表明:1) 经 120 dB 的声波辐照,若声波频率与柑桔大实蝇的频率相接近,最终趋避率的最大值可达到 41.5%。2) 声压级固定时,声波频率成为主要因素,声波频率与柑桔大实蝇固有频率差别越大,最终趋避率越低。

2.2 不同声强的声波辐照对柑桔大实蝇行为的影响

表 3 示出不同声强声波辐照下柑桔大实蝇的最终趋避率。可见,120 dB 组与对照组之间差异极显著($P<0.025$),90 dB 组、100 dB 组和 110 dB 组与对照组之间差异显著($P<0.05$),80 dB 组与对照组之间差异不显著,即声压级的阈值是 80 dB。对不同声强所对应的最终趋避率进行拟合,得到的关系曲线见图 4。表明:1) 声波频率固定时,声压级成为主要因素。最终趋避率随着声强的升高而增大。2) 声压级在 90~120 dB,最终趋避率上升最快。因此,

表3 不同声强声波辐照下柑桔大实蝇的最终趋避率

Table 3 Ultimate aversion rate of *Tetradacus citri* Chen under sonic irradiation of different sound intensities

组别 Group number	最终趋避率/% Ultimate aversion rate
对照组 Control group	1.917±1.013
80 dB 试验组 Experimental group with 80 dB	16.471±3.720
90 dB 试验组 Experimental group with 90 dB	24.293±3.437*
100 dB 试验组 Experimental group with 100 dB	27.059±3.038*
110 dB 试验组 Experimental group with 110 dB	31.818±4.791*
120 dB 试验组 Experimental group with 120 dB	39.394±2.376**

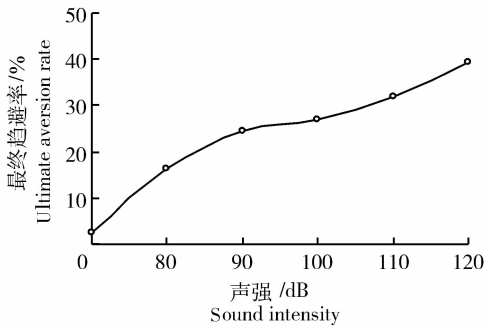


图 4 声强与柑桔大实蝇最终趋避率的关系
Fig. 4 Relationship between sound intensity and the ultimate aversion rate of *Tetradacus citri* Chen

为了能够获得更好的最终趋避率,声压级应尽量高一些。

2.3 强共振声波对柑桔大实蝇寿命的影响

与对照组比较,强共振声波每日辐照 4 h 能够显著影响柑桔大实蝇的寿命。试验结束时,试验组的最终死亡率显著提高 ($P < 0.05$),高达 77.652% (表 4)。

图 5 示出共振声波辐照与柑桔大实蝇平均死亡率的关系。可见,试验组培养瓶中的受试柑桔大实蝇,随着时间的推移,死亡数目逐渐增多。最终到达第 5 天时,全部死亡。而对照组中的柑桔大实蝇的死亡数目在经历一段上升之后趋于稳定,试验结束

表 4 共振声波对柑桔大实蝇寿命的影响

Table 4 Influence of *Tetradacus citri* Chen's lifetime under resonance acoustic wave

组别 Group number	初始死亡率/% Initial mortality	最终死亡率/% Ultimate mortality
试验组 Experimental group	22.348±1.133	77.652±4.142*
对照组 Control group	21.212±1.008	34.849±2.546

时,死亡数目没有明显提高。对比图 5 中两条曲线可明显看出,试验组的死亡速率要高于对照组。综上,可初步得出结论,强共振声波通过加速柑桔大实蝇的死亡提高了柑桔大实蝇的最终死亡率。

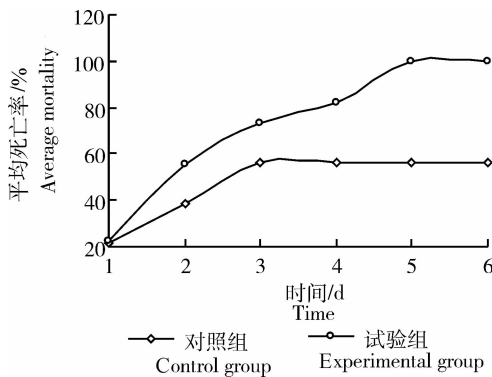


图 5 共振声波辐照与柑桔大实蝇平均死亡率的关系
Fig. 5 Relationship between resonance acoustic irradiation and the average mortality of *Tetradacus citri* Chen

3 讨论

在低频声波作用下(55~300 Hz 可听声段、声

强高于 90 dB),受试生物柑桔大实蝇均表现出一定程度的行为异常现象,其中柑桔大实蝇的典型反应是趋向于活动在培养瓶中声强低的区域;而当声波频率在 55 Hz 左右时,即接近柑桔大实蝇的固有频率时,柑桔大实蝇还出现了头部不停摇晃,双翅快速摆动,并伴有肢体不停摩擦头部和尾部等剧烈的异常行为反应。结合 ANSYS 模拟仿真柑桔大实蝇固有频率的结果,可以认为,对于暴露在低频声场中的柑桔大实蝇,其敏感频率(固有频率)在 55 Hz 左右。

从不同声强的共振声波辐照试验结果看,选定最终趋避率作为试验判定标准,则柑桔大实蝇在 55 Hz 的声波辐照下,声压级阈值为 80 dB,且最终趋避率随着声压级的增大而增大。

从强共振声波对柑桔大实蝇寿命影响的试验结果看,强共振声波辐照能够缩短柑桔大实蝇的寿命。经 120 dB,55 Hz 声波每日持续辐照 4 h,连续试验 6 d,柑桔大实蝇的最终死亡率高达 77.652%。

声波对生物体作用广泛而复杂,涉及到器官、组织、细胞及分子等多个层次^[11-12],而声波频率、声压级和辐照时间是影响声波对生物体作用效果的 3 个

关键因素。本研究在前期试验以及模拟仿真试验的基础上,设置了试验要考察的声波频率和声压级水平,验证了共振声波技术防治柑桔大实蝇的可行性,并最终得出声波引起柑桔大实蝇不适反应的敏感频率、声强阈值及其寿命影响情况。但声波对柑桔大实蝇其他阶段的行为效应的影响效果尚不清楚,有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 孙太安. 柑桔大实蝇发生规律及综合防治研究初报[J]. 植物检疫, 2004, 18(2): 108-109
- [2] 韩洪云, 蔡书凯. 农药施用健康成本及其影响因素研究: 基于粮食主产区农户调研数据[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(5): 163-170
- [3] 赵乃坤, 杜维霞, 刘秀敏, 等. 次声对动物生物效应的研究[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 1993, 11(6): 338-340
- [4] 龚昌超, 曾新吾. 低频强声对动物及其行为效应的研究[J]. 中国应用生理学杂志, 2008, 24(4): 492-493
- [5] Frost H. The utah paradigm of skeletal physiology: an overview of its insights for bone cartilage and collagenous tissue organs[J]. *Bon Min Merab*, 2000, 18: 305
- [6] 刘元坤, 陈小强, 刘京诚, 等. 不同条件的声波对柑桔大实蝇行为影响的实验研究[J]. 应用声学, 2012, 31(4): 287-293
- [7] 丁毓峰. ANSYS 12.0 有限元分析完全手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011
- [8] 杨敏, 仲兆平, 严青, 等. 220 kV 城市户内变电站声场模拟与分析[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2010, 40(6): 1226-1231
- [9] 杨虎, 刘琼荪, 钟波. 数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004
- [10] 潘丽军, 陈锦权. 实验设计与数据处理[M]. 南京: 东南大学出版社, 2008
- [11] 杨俊峰, 范建中, 陈景藻. 次声对人体损伤之防护的研究进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2004, 26(3): 1912-1921
- [12] 陆晓军, 王登峰, 李俊明, 等. 次声试验系统及次声对人体生理功能影响的试验方法[J]. 声学学报, 2002, 27(1): 27-32

责任编辑: 刘迎春