

2种储粮害虫活动声信号的检测及其功率谱分析

秦 昕 郭 敏

陕西师范大学计算机科学学院, 西安 710062

摘要 分别采集米象 *Sitophilus oryzae* (L.) 成虫、玉米象 *Sitophilus zeamais* (Motschnlsky) 成虫和米象幼虫在小麦、玉米、薏米中的活动声信号, 并对其功率谱特征进行分析。结果表明: 27 ℃ 时, 小麦中米象成虫活动声功率谱谱峰所处频率分别为 172.3、409.1、1 077.0 Hz, 小麦中玉米象成虫活动声功率谱谱峰所处频率分别为 193.8、430.7、990.5 Hz, 玉米中玉米象成虫活动声功率谱谱峰所处频率分别为 236.9 Hz 和 1 012.0 Hz, 薏米中米象幼虫活动声功率谱谱峰所处频率分别为 344.5 Hz 和 990.5 Hz。通过分析不同温度下储粮害虫活动声信号的特征, 发现不同害虫和粮食种类都会影响储粮害虫的活动声信号, 且其活动声功率谱谱峰所处的频段存在差异。

关键词 米象; 玉米象; 声信号; 功率谱; 检测

中图分类号 S 433.5; TP 23 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2012)05-0656-05

粮食在储藏过程中, 常因害虫的侵害而造成损失。中国作为世界上粮食生产、储藏和消费大国, 因虫害造成的储粮损失更是数目惊人。快速并准确地检测出储粮害虫的种类和数量对害虫的科学防治有重要意义。

在多种储粮害虫的检测方法中, 声信号检测法具有轻便、简单、快速和灵活等优点。1987 年 Litzkow 等^[1]设计了一种检测谷物钻蛀幼虫的声检测系统, 将谷物置于振动膜上检测并放大声音。随后 Webb 等^[2]对 Litzkow 设计的装置进行改进, 用密封管声耦合法检测储粮害虫, 并估计害虫的侵害程度, 通过幼虫吃食时间和频率得到其活动信息和不同谷物中钻蛀幼虫的生长率。1988 年 Vick 等^[3]在实验室条件下分别检测到玉米、大米和小麦样品中米象等幼虫的吃食与爬行声信号, 得出 3 种样品中害虫吃食声的最高频率。1990 年 Litzkow 等^[4]又设计出储粮害虫检测压电装置, 通过监测谷物样本中的振动情况, 估计害虫密度。1998 年 Coggins 等^[5]使用人工神经网络进行储粮害虫声信号识别, 根据声信号时域特征区分成虫和幼虫。2005 年耿森林等^[6-7]对赤拟谷盗、米象和黑菌虫分别在谷物中的爬行声进行功率谱估计, 利用声信号的频域特征

进行害虫种类的鉴别, 结果表明害虫声频域特征比时域特征对鉴别害虫种类更可靠。2006 年郭敏等^[8]研究了储粮害虫在橡胶膜上爬行声的时域和频域特征, 发现不同种类害虫的爬行声差异显著。2006 年 Fleurat-Lessard 等^[9]发明了一种使用储粮害虫活动声声谱自动识别虫龄的分类方法, 将传感器获取的声信号与数据库中的标准声谱进行对照, 识别害虫的主要种类及其侵害等级。2010 年韩安太等^[10]利用无线传感器网络和压缩感知技术, 设计了一个基于无线传感器网络的粮虫声信号采集系统, 既可实现储粮害虫声信号的密集采集, 又可实现较大流量声信号测量数据的实时、远程、可靠传输。

笔者在前人研究工作的基础上, 设计了储粮害虫活动声信号采集装置, 利用专业声卡采集不同温度下 2 种储粮害虫的活动声信号, 并对其功率谱特征进行分析, 旨在为建立储粮害虫声特征数据库和实现储粮害虫的自动化检测提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试粮食为小麦、玉米、薏米, 害虫为米象 *Sitophilus oryzae* (L.) 幼虫和成虫、玉米象 *Sitophilus*

收稿日期: 2012-03-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(10974130)和陕西省教育厅科研计划项目(11JK0519)

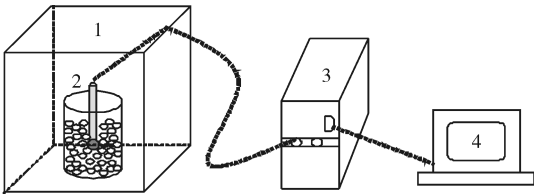
秦 昕, 硕士研究生, 研究方向: 数字信号处理与应用。E-mail: qinxin@stu. snnu. edu. cn

通讯作者: 郭 敏, 博士, 教授, 研究方向: 数字信号处理与模式识别。E-mail: guomin@snnu. edu. cn

zeamais (Motschnlsky) 成虫。粮食样品从陕西省西安市大居安村农村储粮点同批次购买,害虫成虫从陕西省西安市大居安村农村储粮点统一收集,米象幼虫由米象成虫孵化产生,所有害虫样品均经陕西师范大学生命科学学院鉴定后待用。

1.2 主要设备

储粮害虫活动声信号采集装置如图 1 所示,采集装置仅将麦克风、害虫和粮桶放在隔音箱内,其他设备置于远离声源的地方,以便最大限度地消除仪器等机械噪声的影响。因粮食中的害虫活动声信号较弱,测试时采用自制双层木质隔音箱,在隔音箱中进行声信号的采集与检测。测试隔音箱的长、宽、高均为 60 cm,所用的圆柱形粮桶高为 20 cm、直径为 10 cm。

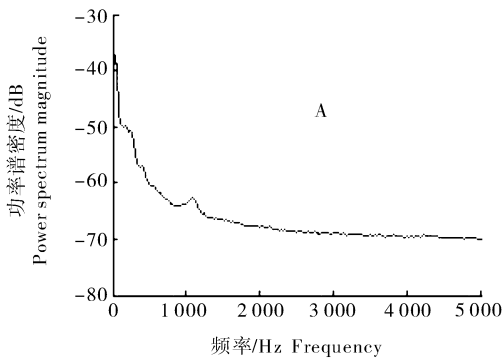


1. 隔音箱 Soundproof box; 2. 麦克风 Microphone; 3. 主机箱 Host; 4. 显示器 Monitor.

图 1 储粮害虫活动声信号的采集装置

Fig.1 Apparatus of activity sound sampling of insect in stored grain

为减少信号采集装置造成的声信号衰减,较好地反映原始信号的特征,选用美国舒尔公司的舒尔 BG 4.1 专业麦克风和韩国 ESI 公司的 MAYA 44 专业录音声卡。该麦克风灵敏度高而噪声低,在整个频率范围内保持心形拾音响应图形,保证在反馈发生前就获得高增益,并最大程度地隔离杂音源。



在麦克风 0.04~18 kHz 的频响范围内,包含一般害虫活动声的频率范围,故能满足信号采集要求。专业录音声卡的频响范围为 0.02~20 kHz,采样频率最大值为 48 kHz,模数转换为 18 bits。

1.3 声信号的采集

将麦克风插入粮堆录制害虫活动声信号,并传送至装有声卡的计算机中,计算机获取数据,保存为 wav 格式后进行处理。信号的采样频率为 11 025 Hz。测试过程中,要求整个实验室内安静无噪声,以保证所采集信号的有效性。

在不同温度下对米象和玉米象成虫分别在小麦中的活动声、玉米象成虫在玉米中的活动声以及米象幼虫在薏米中的活动声进行采集,其中米象幼虫活动声为在粮粒内的吃食声,米象成虫和玉米象成虫的活动声为在粮粒外的爬行和吃食声。每种成虫取 30 头,每类信号至少重复采集 40 个,每个信号持续时长 1 min。因害虫爬行的随机性,分析功率谱特征时,从每类信号样本中挑选出出现次数最多的信号作为本类的特征信号。

2 结果与分析

2.1 相同温度下害虫活动声功率谱分析

1)米象和玉米象在小麦中的活动声功率谱。相同条件和温度(27℃)下,米象和玉米象成虫在小麦中的活动声功率谱均有 3 个谱峰,且谱峰所处位置均不相同(图 2)。米象活动声功率谱谱峰所处频率分别为 172.3、409.1、1 077.0 Hz,玉米象活动声功率谱谱峰所处频率分别为 193.8、430.7、990.5 Hz。分析结果表明,2 种害虫功率谱图的差异主要表现为玉米象活动声功率谱的谱峰幅度高于处在同

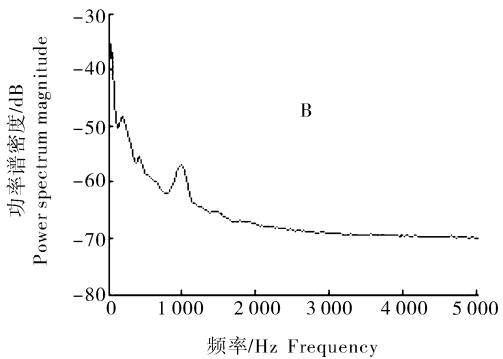


图 2 米象(A)和玉米象(B)成虫在小麦中的活动声功率谱

Fig.2 The power spectrum of activity sound of rice weevil (A) and maize weevil (B) adults in wheat

一频段的米象活动声功率谱谱峰幅度。导致差异的原因主要是虫种的不同,玉米象体型较米象大,其活动声能量较大,反映在声信号功率谱上即为谱峰幅度较高。

2) 玉米象在小麦和玉米中的活动声功率谱。相同条件和温度(27 ℃)下,玉米象成虫在小麦、玉米中的活动声功率谱差异明显(图 3)。小麦中玉米象

活动声功率谱谱峰多为 3 个,所处频率分别为 193.8、430.7、990.5 Hz。玉米中玉米象活动声功率谱谱峰多为 2 个,所处频率分别为 236.9 Hz 和 1 012.0 Hz。导致 2 种害虫功率谱图差异的原因是粮种的不同,小麦和玉米的颗粒大小与质地不同,从而影响害虫活动声的传播,反映在功率谱上是谱峰个数和幅度高低不同。

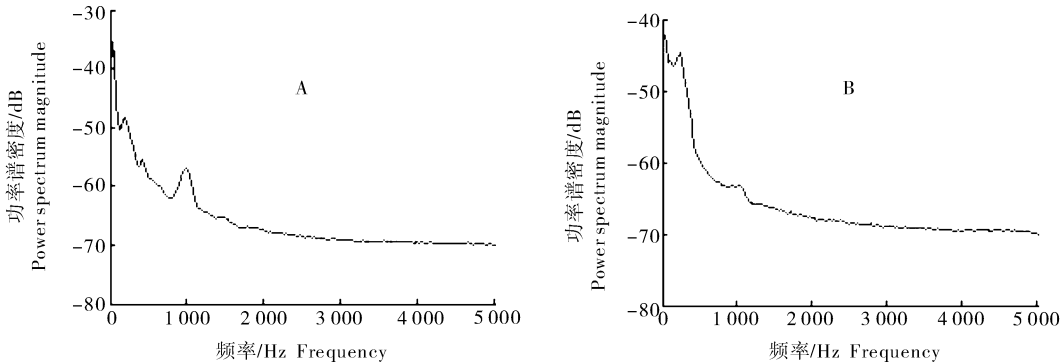


图 3 玉米象成虫在小麦(A)和玉米(B)中的活动声功率谱

Fig. 3 The power spectrum of activity sound of maize weevil adults in wheat (A) and corn (B)

2.2 不同温度下害虫活动声功率谱分析

1) 米象幼虫在薏米中的活动声功率谱。由图 4 可知,28 ℃时米象幼虫在薏米中的活动声功率谱谱峰所处频率分别为 301.5 Hz 和 753.7 Hz。由于米象幼虫钻蛀于米粒中,故其活动声实为吃食声。

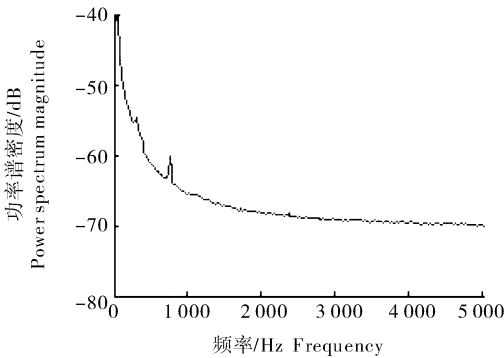


图 4 米象幼虫在薏米中的活动声功率谱

Fig. 4 The power spectrum of activity sound of rice weevil larvae in coix seed

在不同温度下,米象幼虫在薏米中的活动声功率谱谱峰频率如表 1 所示。试验结果表明,以 25 ℃为界,温度大于 25 ℃时功率谱多为 2~3 个谱峰,小于 25 ℃时基本为 1 个谱峰。活动声信号功率谱第一谱峰频率约为 200 Hz,第二、三谱峰频率分别为 300~350 Hz、750~1 000 Hz 之间。

表 1 不同温度下米象幼虫在薏米中的活动声功率谱谱峰频率¹⁾

Table 1 Frequencies of activity sound power spectrum peaks of rice weevil larvae in coix seed in different temperatures				
$t/^\circ\text{C}$	I	II	III	谱峰个数 No. of spectrum peaks
23		323.0		1
24		344.5		1
25	193.8	323.0	775.2	3
26		301.5	947.5	2
27		344.5	990.5	2
28		301.5	753.7	2
29		344.5	753.7	2
31	193.8	301.5	818.3	3

1) I: 第一谱峰频率/Hz First frequency of spectrum peak;
II: 第二谱峰频率/Hz Second frequency of spectrum peak;
III: 第三谱峰频率/Hz Third frequency of spectrum peak (下表同 the same as following tables).

2) 米象成虫在小麦中的活动声功率谱。不同温度下米象成虫在小麦中的活动声功率谱谱峰频率如表 2 所示。试验结果表明,温度小于 24 ℃或大于 30 ℃时粮虫活动受到影响,活跃度逐渐降低,信号较难采集;在 24~30 ℃时粮虫状态稳定,活跃度较高。不同温度下,信号特征较为一致。米象成虫在小麦中活动声功率谱 3 个谱峰的频率分别为 170~220、300~410、900~1 100 Hz。

表 2 不同温度下米象成虫在小麦中的
活动声功率谱谱峰频率

Table 2 Frequencies of activity sound power spectrum peaks of
rice weevil adults in wheat in different temperatures

<i>t</i> /℃	I	Ⅱ	Ⅲ	谱峰个数 No. of spectrum peaks
20	172.3	387.6	1 055.0	3
21	172.3	366.1	1 034.0	3
22			990.5	1
23	172.3	366.1	1 077.0	3
24	172.3		1 055.0	2
25	193.8	409.1	1 034.0	3
26	215.3		947.5	2
27	172.3	409.1	1 077.0	3
28	215.3	409.1	1 012.0	3
29	193.8	775.2	1 034.0	3
31	193.8	301.5	947.5	3

3)玉米象成虫在小麦中的活动声功率谱。不同温度下玉米象成虫在小麦中的活动声功率谱谱峰频率如表 3 所示。试验结果表明,根据功率谱特征信号可分 2 类:23~24 ℃时,玉米象成虫在小麦中活动声功率谱的谱峰幅度较小;25~28 ℃时,功率谱谱峰明显,整体幅度较大。玉米象成虫在小麦中活动声功率谱的 4 个谱峰频率(Ⅰ~Ⅳ)分别约为 170~300、350~450、600、920~1 050 Hz。

表 3 不同温度下玉米象成虫在小麦中的
活动声功率谱谱峰频率

Table 3 Frequencies of activity sound power spectrum peaks of
maize weevil adults in wheat in different temperatures

<i>t</i> /℃	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	谱峰个数 No. of spectrum peaks
23	172.3	366.1	602.9	990.5	4
24	301.5			1 012.0	2
25	215.3		581.4	947.5	3
26	172.3	409.1		1 034.0	3
27	193.8	430.7		990.5	3
28	150.7	387.6	624.5	925.9	4
29	215.3	387.6		1 012.0	3

4)玉米象成虫在玉米中的活动声功率谱。不同温度下玉米象成虫在玉米中的活动声功率谱谱峰频率如表 4 所示。由表 4 可知,玉米象成虫在玉米中活动声功率谱的第一谱峰频率为 190~300 Hz,第三谱峰频率为 950~1 200 Hz,第二谱峰只在 29 ℃时存在。试验结果表明,在一定温度范围内,温度升高会使玉米象的活跃度增强。

表 4 不同温度下玉米象成虫在玉米中的
活动声功率谱谱峰频率

Table 4 Frequencies of activity sound power spectrum peaks of
maize weevil adults in corn in different temperatures

<i>t</i> /℃	I	Ⅱ	Ⅲ	谱峰个数 No. of spectrum peaks
24	193.8		1 034.0	2
25	301.5		1 141.0	2
26			1 055.0	1
27	236.9		1 012.0	2
28	236.9		947.5	2
29	236.9	775.2	990.5	3

3 讨 论

本试验采集了 2 种储粮害虫米象和玉米象的活动声信号,并对声信号的功率谱特征进行分析结果表明:所设计的储粮害虫声信号检测装置是合理和可靠的,并且可降低储粮害虫的检测成本;害虫在不同粮食中活动声功率谱具有不同的特征,不同害虫在同种粮食中的活动声功率谱也存在差异,说明储粮害虫活动声功率谱特征不仅受害虫种类影响,而且与粮食种类有关,主要是因为害虫体型体质不同和粮粒大小质地存在差异;不同粮食中的各类害虫其活动声功率谱特征随温度的变化有所不同,粮虫活跃度也发生变化,据此可通过调节温度达到控制储粮害虫的目的。本试验结果可为储粮害虫声特征数据库提供信息,使其更加丰富和完善,更好地应用于储粮害虫的早期区分和鉴别。

本试验在前人的研究基础上,进一步证明了声信号在储粮害虫检测方面的有效性,并对害虫在不同温度下的活动声信号功率谱特征进行了较系统的分析,得到了不同温度间信号功率谱特征的差异和特点。本试验在信号采集时将每种成虫数量固定为 30 头,以后的研究可从储粮害虫数量对信号功率谱特征的影响这一角度进行探索,找出不同数量害虫条件下功率谱特征的差异,并通过提取功率谱特征进行神经网络识别,从而进一步提高检测的准确度和可靠性。

参 考 文 献

[1] LITZKOW C A,WEBB J C,MASUDA S. Acoustical detection of hidden insects;USA,4671114[P]. 1987.
[2] WEBB J C,LITZKOW C A,SLAUGHTER D C. A computerized acoustical larval detection system [J]. Applied Engineer-

ing in Agriculture,1988,4(3):268-274.

[3] VICK K M,WEBB J C,WEABER B A,et al. Sound detection of stored-product insects that feed inside kernels of grain [J]. Journal of Economic Entomology,1988,81(5):1489-1493.

[4] LITZKOW C A,WEBB J C,VICK K W. Piezoelectric apparatus and process for detection of insect infestation in an agricultural commodity:USA,4937555[P]. 1990.

[5] COGGINS K M,PRICIPE J. Detection and classification of insect sounds in a grain silo using a neural network [C]. Washington: International Joint Conference on Neural Networks (USA),1998,3:1760-1765.

[6] 耿森林,尚志远. 基于害虫声频域特征的储粮害虫种类鉴别研究[J]. 农业系统科学与综合研究,2005,21(4):241-243.

[7] 耿森林,尚志远. 仓储粮食中害虫活动声的提取与频谱分析[J]. 西南师范大学学报,2005,30(6):1057-1060.

[8] 郭敏,尚志远,白雅. 储粮害虫微弱声信号特征提取与分析[J]. 云南大学学报,2006,28(6):497-503.

[9] FLEURAT-LESSARD F,TOMASINI B,KOSTINE L,et al. Acoustic detection and automatic identification of insect stages activity in grain bulks by noise spectra processing through classification algorithms [C]. Brazil: 9th International Working Conference on Stored Product Protection,2006:476-486.

[10] 韩安太,何勇,李剑锋,等. 基于无线传感器网络的粮虫声信号采集系统设计[J]. 农业工程学报,2010,26(6):181-187.

Detection of activity sound from two species stored grain insects and analysis of its power spectrum

QIN Xin GUO Min

College of Computer Science ,Shaanxi Normal University ,Xi'an 710062,China

Abstract The activity sounds of rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.) adults, maize weevil *Sitophilus zeamais* (Motschnlsky) adults and rice weevil larvae in wheat,corn and coix seeds were respectively sampled. The power spectrum characteristics were analyzed and their differences in different temperatures were studied. The result shows that at 27 ℃ , the frequencies of activity sound power spectrum peaks of rice weevil adults in wheat are 172. 3 Hz, 409. 1 Hz and 1 077. 0 Hz. The frequencies of activity sound power spectrum peaks of maize weevil adults in wheat are 193. 8 Hz, 430. 7 Hz and 990. 5 Hz. The frequencies of activity sound power spectrum peaks of maize weevil adults in corn are 236. 9 Hz and 1 012. 0 Hz. The frequencies of activity sound power spectrum peaks of rice weevil larvae in coix seed are 344. 5 Hz and 990. 5 Hz. On the other hand, the study result also shows that both the insect species and grain species affect the activity sound characteristics of grain insects, and the frequency ranges of activity sound power spectrum peaks in different temperatures are different. The experiment results provide data for the establishment of sound characteristic database of stored grain insects and the establishment of insect automatic detection.

Key words rice weevil; maize weevil; activity sound; power spectrum; detection

(责任编辑:陈红叶)