

储粮害虫活动声特征

检测与分析

● 耿森林 编著 ●

CHULIANGHAICHONG
HUODONGSHENGTEZHENG
JIANCEYUFENXI

陕西科学技术出版社

储粮害虫活动声特征检测与分析

耿森林 编著

陕西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

储粮害虫活动声特征检测与分析/耿森林编著. —西安:
陕西科学技术出版社, 2006. 8
ISBN 7 - 5369 - 4102 - 1

I. 储... II. 耿... III. 粮油贮藏—仓库害虫—研
究 IV. S379.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 059863 号

出版者 陕西科学技术出版社
西安北大街 131 号 邮编 710003
电话(029)87211894 传真(029)87218236
<http://www.snstp.com>

发 行 者 陕西科学技术出版社
电话(029)87212206 87260001

印 刷 西安永惠印务有限公司

规 格 850mm × 1168mm 32 开本

印 张 5.75

字 数 140 千字

版 次 2006 年 8 月第 1 版
2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价 12.00 元

版权所有 翻印必究

序

声音这个词是广为人知的,在生活的海洋里,处处都有。但对声音的产生、传播及其应用研究鲜为人知,因为声学专业是物理学科中的一个小学科。然而,声学又是一个技术性很强的学科,它具有很强的外在性,也就是说声学可以和其他许多学科结合形成一些新的边沿性学科,例如:它和医学结合形成医学声学;和生物学结合形成生物声学等等。所以,研究声学不仅具有学术价值,而且具有广泛的实际意义。

大多数人所知道的声音是可听声,还有听不到的声音。按听觉范围的频率来分,从 $20 \sim 20000\text{Hz}$ 为可听声,也就是通常所说的音频声学,低于下限 20Hz 的声音叫次声,而高于上限 20000Hz 的声音叫超声。耿森林博士所编著的《储粮害虫活动声特征的检测与分析》一书正是在音频范围内研究粮食中各种害虫爬行和吃食声音的特征,以便于分类杀灭。

我国是一个粮食生产、储藏和消费的大国之一。据联合国粮农组织调查,全世界因储粮害虫所造成的粮食损失为总储藏量的 $4\% \sim 8\%$,有些国家甚至高达 30% ,这对粮食的储藏构成严重威胁。为了有效地杀灭害虫,必先搞清害虫种类。声学检测分类已被证明是一种很有前途的方法。耿森林博士从硕士阶段就接触声学,为声学研究奠定了基础。

该书的内容是在他的博士论文基础上写成和出版的。全书共分7章:第1章梗概介绍了国内外对储粮害虫的监测和防治技术的研究。第2章介绍了与本专业有关的数字信号处理的基本理论。从第3章到第7章是作者多年来研究的成果,例如:声波在粮

食介质中的传播特性,害虫的弱声信号的提取及特征分析等都是比较新颖的内容。

我相信本书的问世一定会对从事本专业及相关专业的教师和学生以及科研工作者起到一定的作用。故做序鼓励之。

尚志远

2006年6月6日

前 言

粮食在储藏过程中常常遭受虫、霉、鼠等有害生物的危害造成质和量的损失,而其主要危害来自于储粮害虫。据联合国粮农组织调查,全世界每年因储粮害虫造成的损失为总储存量的4%~8%,有些国家甚至高达30%。一些发展中国家以及地处热带、亚热带的国家由于粮食储藏不当,损失更是惊人。我国是世界上粮食生产、储藏及消费大国之一,在科学保粮方面,已经做了很多工作,但因害虫危害而造成储粮的损失仍然是很大的。防治害虫危害已成为世界各国粮食储藏工作中面临的一个严峻的问题。目前,储粮害虫防治的最有效的方法是化学药剂法。然而,由此而引起的农药残留和耐药性又是不可忽视的一个严重问题。在储粮害虫更有效的防治方法未出现之前,既要达到对储粮害虫进行有效地防治又能够尽可能地降低农药的残留,早期测报或实时检测储粮害虫则是科学储粮的关键。声检测技术已被证明是一个有前途的储粮害虫检测方法。在这一方面,国外已经做了许多工作,但主要涉及储粮害虫的数目估计,很少涉及害虫种类的鉴别。储粮害虫的多食性以及昆虫分类技术的发展,使得同一种粮食内可能存在不同种类或类群的害虫。基于能够用储粮害虫活动声频率特征鉴别害虫以达到准确用药降低其危害的考虑。

本书从粮食介质的颗粒性出发,利用均匀化方法(homogenization method)对粮食中声传播的特性进行了理论研究。针对大颗粒和小颗粒两种情况,分别给出了粮食介质中的声波方程和速度,并进行了讨论。研究发现用均匀化方法得到的结果与用形象学方法得出的结果基本吻合。

害虫在粮食中的活动声属于弱信号,由于噪声干扰,因而很难直接在粮仓中提取其信号。本书利用胶合板作双层墙壁材料,通过填充吸声材料,组成准双重穿孔吸声结构,设计了一种用于储粮害虫声检测的隔声室,并对隔声效果进行了测量。研究发现,此隔声室具有体积小、经济、低频隔声效果好的优点,能满足储粮害虫爬行声检测的要求。

书中建立了储粮害虫活动的声发射理论模型和无规声源模型,并对粮食中害虫活动声进行了提取。储粮害虫声发射理论模型是指将害虫和粮食颗粒看成一个整体,害虫活动发声看成一种声发射现象;储粮害虫的无规声源模型指的是把同一生长阶段同种类的多个害虫活动发声看成是相位随机变化但频率相同的声源。这为通过害虫声特征了解害虫活动特性从而了解对粮食的为害程度以及用多个害虫一起活动发声代替害虫声提供了理论依据;对五种害虫在粮食中的爬行声进行了采集,综合利用滤波器和小波消噪提取了储粮害虫在粮食中爬行声信号。对害虫在粮食中爬行声的功率谱进行了估计,并与相同发声机理(摩擦)的储粮害虫在塑料膜和植物叶上的爬行声,以及与蟋蟀、蝗虫鸣叫声功率谱进行了比较。发现害虫在粮食中功率谱具有离散性,主频较低,大约在 400Hz 以下,摩擦介质不同所产生的声的功率谱差别较大。

利用最新的 PowerBuilder 工具和目前广泛使用 SQL Server 关系数据库管理系统,设计了界面友好的储粮害虫数据库管理应用软件,并根据储粮害虫声特征数据库的结构特点,建立了储粮害虫活动声特征数据库。

本书是在本人博士学位论文的基础上经过删减、充实修改而成的,在撰写和成书的过程中得到了我的导师尚志远教授的精心指导和关心,其中凝聚了尚先生的大量心血,在此表示衷心的感谢!同时感谢林书玉教授和吴胜举老师的热情指导和帮助。

本书的出版得到了渭南师范学院博士科研启动基金的资助,同时得到了陕西科学技术出版社的大力支持,没有他们的帮助和

支持本书是不可能按时出版的。对于从事无损检测和储粮害虫检测研究的同志来说,本书不敢期望有很大的帮助,如果能起到抛砖引玉的话,我就感到十分欣慰了。

由于本人水平有限,书中错误在所难免,敬请各位读者批评指正。

耿森林

2006年5月于渭南师范学院

Detection and Analysis of Stored Grain Insect Sound Characteristic

Abstract: The stored grain usually subject to infraction from baleful biology such as insect, mildew and mouse, et al in the course of storing, but insects is the main jeopardy to provision – storage. According to FAO investigation, provision loss, due to insect, account to 4% ~ 8% in provision – storage gross, and even high up to 30% in some countries. Simultaneously, the bad storage method would make provision loss more seriously in some developing countries. China is one of the largest countries on provision produce, storage and consumption, and has done a number of works in protecting provisions, but provision loss is also huge due to insects. In provision – storage, prevention and cure of insect pests have become an austere problem to every country. Now, the most efficient method of preventing and curing insect pests is by chemical medicament, however, pesticide – leftover and anti – drug could not have been neglected. Before the efficient method appears, forecasting or real – timely detecting insects is the best method to effectively prevent insects and decrease pesticide – leftover. At present, sound detection has been proven a potential method of insect storage detection. Foreign studies mainly place the number estimation of insect but seldom discriminate the insect species. The insect polyphagous character along with the development of insect classification technology makes it possible for different kinds of insects to live in the single grain. The elementary study shows that insect spe-

cies can be accurately distinguished through the sound-frequency characteristics of insect activity in grain. Our main aim is to deeply study the mechanism of sound – frequency characteristics of insect and its application.

The sound propagation characteristics in grain are theoretically studied by using homogenization method. The sound wave equation and velocity in grain medium are presented and discussed, on the big and small granule, respectively. The study shows that the results tally with ones from phenomenology.

Insect activity sound in grain belongs to weak signal and ones from the barn are hard to be detected to noise. The insulation chamber based on the stored grain insect sound detection is designed and the effect is evaluated experimentally by using a quasi – double layer perforated structure formed with veneer as walls and sound absorption material filled in it. It is shown experimentally that the isolation booth is small in volume, economical in material and good in sound insulating effect and that may meet the need to detect the stored grain insects creeping sound.

The sound emission theoretical model and random sound – house model are based and the creeping sounds of insects are detected for the first time. The former is formed on view of whole of insects and grain granules, and the latter is that when homochronous insects creep in grain, the sound has the same frequency but random phase. This theoretically presents the reason to learn insects creeping and infraction by use of sound characteristics and to replace single insect sound with more ones. The creeping sounds of 5 kinds stored grain insects in grain are sampled and detected by filter with Wavelet de – noise.

The power spectrums of creeping sound of insects in grain are estimated, and compared with power spectrums of insects moving on

plastic film and the songbirds of cricket and locust, which have same phonation mechanism, or grating. The study proves that the power spectrums of creeping sound of insects in grain show disperse characteristics and the main frequency is very low, about less than 400Hz, and different friction mediums have the power spectrums of creeping sound produce very big contrast.

Senlin Geng

2006.5

目 录

第 1 章 国内外储粮害虫防治及检测技术研究概况

- 1.1 储粮害虫危害损失的调查 (1)
- 1.2 储粮害虫防治技术概况 (3)
 - 1.2.1 单一防治方法 (3)
 - 1.2.2 综合防治方法 (10)
- 1.3 储粮害虫检测最新进展 (15)
 - 1.3.1 储粮害虫检测器 (16)
 - 1.3.2 储粮害虫诱捕器 (17)
 - 1.3.3 机器视觉实时检测 (17)
- 1.4 储粮害虫声测报技术 (18)
 - 1.4.1 储粮害虫声检测研究背景 (18)
 - 1.4.2 储粮害虫声检测研究发展状况 (19)
- 1.5 本课题的意义及研究内容 (21)
 - 1.5.1 目的和意义 (21)
 - 1.5.2 研究内容安排 (22)

第 2 章 数字信号处理的理论方法简介

- 2.1 数字滤波器的基本知识 (23)
 - 2.1.1 用数字滤波器进行信号处理 (23)
 - 2.1.2 数字滤波器的频率特性 (26)
 - 2.1.3 数字滤波器的时间响应 (27)
- 2.2 离散小波变换及其对信号的处理 (30)
 - 2.2.1 离散小波变换及其频带特性 (30)
 - 2.2.2 小波分析用于信号滤波 (31)

2.2.3	小波分析用于时频受限信号检测	(33)
第3章	粮食介质中声波传播特性研究	
3.1	颗粒物质的一些基本性质	(35)
3.2	粮食介质中的声传播模型	(37)
3.2.1	粮食介质描述	(37)
3.2.2	粮食介质中的运动方程	(39)
3.2.3	用无量纲数表示运动方程	(40)
3.2.4	均匀化过程	(43)
3.2.5	粮食中声波的传播速度	(45)
3.3	附加的热效应	(46)
3.3.1	热传递方程	(46)
3.3.2	媒质中声波的宏观性质	(48)
3.4	小 结	(50)
第4章	用于储粮害虫声检测的隔声室的设计	
4.1	隔声的基本理论	(51)
4.1.1	质量定律	(51)
4.1.2	柔顺材料吸声的一些理论结果	(53)
4.1.3	单独的共振器和穿孔薄板	(57)
4.2	隔声室的设计	(61)
4.2.1	储粮害虫活动声的一般特征	(61)
4.2.2	空气声和固体声	(62)
4.2.3	隔声室设计思路	(63)
4.2.4	隔声效果测量	(66)
4.3	小 结	(67)
第5章	储粮害虫活动声信号的提取	
5.1	储粮害虫活动声的模型	(68)
5.1.1	害虫活动的声发射模型	(68)
5.1.2	害虫活动的无规声源模型	(69)
5.2	害虫活动声的实验采集装置和方法	(71)

5.2.1	五种储粮害虫成虫的形态及习性特点	(71)
5.2.2	储粮害虫爬行声采集装置和方法	(74)
5.2.3	储粮害虫爬行声数字信号处理框图	(77)
5.3	基于 Matlab 的储粮害虫爬行声信号提取	(79)
5.3.1	储粮害虫爬行声原始信号再现	(79)
5.3.2	信号消噪	(82)
5.4	小 结	(88)
第 6 章	储粮害虫声功率谱的特征研究	
6.1	储粮害虫爬行声的功率谱估计	(90)
6.1.1	功率谱估计理论	(90)
6.1.2	储粮害虫爬行声的功率谱估计	(91)
6.2	农作物害虫摩擦发声功率谱特征的比较	(94)
6.2.1	同种害虫在不同粮食中爬行声的功率谱比较	(94)
6.2.2	不同害虫在同种粮食中爬行声的功率谱比较	(98)
6.2.3	复合虫种爬行声与单一虫种爬行声功率谱比较	(98)
6.2.4	粮食中爬行声与膜上爬行声功率谱比较	(101)
6.2.5	粮食中害虫爬行声与其他摩擦声特征比较	(103)
6.3	小 结	(114)
第 7 章	储粮害虫声特征数据库建立	
7.1	数据库概论	(118)
7.1.1	信息与数据	(118)
7.1.2	数据处理	(119)
7.1.3	数据库	(120)

7.2	数据模型	(121)
7.2.1	数据抽象	(121)
7.2.2	实体模型	(122)
7.2.3	数据模型	(125)
7.3	数据库系统	(128)
7.3.1	数据库系统组成	(128)
7.3.2	数据库系统结构	(130)
7.3.3	数据库系统设计	(132)
7.3.4	数据库管理系统的功能	(136)
7.4	储粮害虫声特征数据库的设计	(138)
7.4.1	储粮害虫声特征数据库结构	(138)
7.4.2	储粮害虫声特征数据库的建立	(139)
7.5	小 结	(150)
	参考文献	(151)
	附录	(162)

第1章 国内外储粮害虫防治及检测技术研究概况

粮食是人类生活所必需的基本物质,是备战、备荒的必备物资,是保持市场稳定的必不可少的商品。粮食生产的季节性与长年需求的矛盾,要求社会必须有一定的粮食储备量。然而,粮食在储藏过程中常常遭受虫、霉、鼠等有害生物的伤害,造成质和量的损失,而其主要损失来自储粮害虫。为了减小储粮害虫对粮食产生的危害,除不断改进防治方法外,重要的是提高粮虫检测手段。储粮害虫声检测被证明是最有前途、最实用的一种测报手段。

1.1 储粮害虫危害损失的调查

据联合国粮农组织调查,全世界每年因储粮害虫造成的损失为总储存量的4%~8%,有些国家甚至高达30%。粮食在储藏期间的损失各国差异很大,一般发达国家和地处寒温带的一些国家储粮损失较低,如美国大约每年被害虫损害的储粮约有10%,折合10亿美元;澳大利亚储粮损失平均为0.14%~0.68%;而一些发展中国家以及地处热带、亚热带的国家由于粮食储藏不当,因虫、霉、鼠、雀造成的经济损失是非常惊人的。据报道印度储粮损失平均达15%;非洲、拉丁美洲一些国家高达30%,仅尼日利亚一个地方,每年由豇豆蛾虫损失的粮食价值就达近5000万美元^[1-4]。

我国是世界上粮食生产、储藏及消费大国之一,改革开放以

来,我国的粮食生产取得了举世瞩目的成就。1979—1984 年农业生产全面高速增长,粮食生产大幅度增加,由年粮食总产量 3.03 亿 t 上升为 4.03 亿 t,增长 32.5%,人均粮食占有量上升为 397kg,创历史最高水平。1985—1994 年粮食由 4.03 亿 t 增加到 4.45 亿 t,增长 9.1%,人均粮食占有量为 368kg。1995—1997 年又实现了连续三年的农业丰收,其中 1995 年粮食总产量达 4.7 亿 t,人均粮食 395kg。到 2000 年我国粮食生产已相对稳定,达到 5 亿 t 的水平。国内不少学者和粮食问题研究人员对 21 世纪我国粮食总产量做出了预测。2010 年我国粮食总产量将达 5.7403 亿 t。2030 年最低生产量为 4.0 亿 ~ 4.8 亿 t,最低口粮消费为 3.0 亿 t,最高为 3.48 亿 t,粮食专项储备的最小规模应为 4000 万 t 左右,总的粮食储备最少为 1.0 亿 t 左右^[5,6,7]。粮食的安全储备工作不仅是一项艰巨的工作,而且是一项长期的任务。

中国的粮食产量最多、仓库最多、储备粮的数量最多,而且品种最多。我国在粮食储藏方面,虽然有着悠久的历史,但目前形势也是严峻的,尽管库粮食损失约为 0.5%,处于世界储粮低损失之列,而储粮中的大多数仍然分散在许多城镇和农村储粮点的简易建仓内保管,存在库存量大,分布面广,设备简陋,保管费用投入少,人员素质较差,技术力量不强等问题。根据一些典型材料估算,我国农村储粮损失约为 5% ~ 10%,个别地区高达约 30%,目前我国粮食约有 30 亿 t 以上储于民间农户手中,长年保管量大约 1.5 亿 t,若按 7% 的储粮损失计算,每年农村储粮损失就达 10^7 kg,造成巨额损失。

因此,粮食储藏安全问题已成为一个世界性问题。加强粮食害虫防治已势在必行。为此,联合国粮农组织在第七次特别会议上曾作出决议:“在发展中国家,进一步降低收获后粮食的损失应列为优先考虑的问题。”为了减少储粮损失,各国科学家尽力所及,防治和控制各种储粮害虫。