

# 仓储害虫检测技术的研究现状及展望

高 华,祝玉华,甄 彤

(河南工业大学,河南 郑州 450000)

**摘 要:**分析了国内外几种主要检测技术的研究结果,比较了近红外线光谱、X射线、微波雷达、电导等检测技术的优缺点,力求探索储粮害虫检测技术的创新点,为仓储害虫检测提供更好的技术支持。

**关键词:**害虫检测;仓储害虫;检测技术

**中图分类号:**S 379.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2016)02-0093-04

## Present situation and prospects of detection technology of stored - grain insects

GAO Hua, ZHU Yu - hua, ZHEN Tong

(Henan University of Technology, Zhengzhou Henan 450000)

**Abstract:** The present situation of development of detection technology of stored - grain insects at home and abroad was summarized. The advantages and disadvantages of the near infrared spectra, X - ray, microwave radar and conductance detection technology were compared. The innovation of stored - grain insects detection technology was explored in order to provide better technical support for storage pest detection.

**Key words:** pest detection; stored - grain insects; detection technology

全世界贮藏的粮食每年约 10% 损失于虫害,即每年被仓虫损害的谷物可供 2 亿人一年的食用<sup>[1]</sup>。有的国家和地区有时高达 30% ~ 40%。如营养成分的损失;被害虫的排泄物、脱皮、尸体及活虫污染;发热霉变。所以如何高效地检测粮仓中的害虫种类和数量已经成为保障安全储粮的一项重要任务。

早在 1972 年,联合国粮农组织就提出建立在生态学基础上的综合防治(Integrated Pests Management, IPM)策略。害虫的实时检测是进行综合防治的一种手段,也是 IPM 体系的重要组成部分。只有准确的检测,才能做到有目的的防治,把害虫种群控制在经济损害水平以下,既不会因害虫造成损失,也不会因盲目防治造成浪费、加重粮食和环境的污染<sup>[1]</sup>。

为此,专家们提出了多种粮虫检测的方法,分别基于感官检测、取样检测、仪器检测三个方面,本文重点介绍了声检测、取样检测、图像识别、生物光子等检测技术。对比分析了近红外线光谱、X 射线、微波雷达、电导等检测技术的优缺点,并对粮食害虫检测技术的发展做出展望。

## 1 储粮害虫检测技术

### 1.1 声检测技术

储粮害虫声检测技术是指通过检测和分析粮堆生态系统中害虫活动的声信息以掌握害虫数量、种类、发展阶段,进而评价其对粮食危害程度等的一门综合技术。该方法的原理是把声音变成电讯号,通过电子过滤器把昆虫发声的频率与环境声音的频率分开,然后进行信号放大处理,根据音程的百分比和音程数量的多少可以分辨出昆虫的种类和数量。声检测技术也经历了初期到成熟期的发展,表 1 是声检测技术的发展历程。

声检测技术主要依赖信号的接收与分析处理,然后得出害虫活动轨迹,并根据特征值分析结果。由于在检测过程中,声音讯号常常受到外界噪声,传感器噪声等方面的干扰,无法准确地分辨出多数量害虫的声音信息,只适合在小规模的试验范围内使用,同时也无法检测粮仓中死虫的情况,所以声检测技术有待于进一步研究。

### 1.2 取样检测技术

取样检测法是一种侧重于人工检测的方法。首先按区分层定点扦取一定数量的储粮样品,经过人工过筛之后鉴别样品中害虫的种类和密度,从而推断整个储粮中害虫发生状况的方法。该方法是

收稿日期:2015-09-09

基金项目:863 计划(2012AA101608);国家“十二五”科技支撑计划(2013BAD17B04)

作者简介:高华,1990 年出生,女,硕士研究生。

较准确和客观的一种检测方法,受环境因素影响较小。在取样过程中,害虫完全处于被动状态,无论哪一种害虫、哪一个虫期或其是否处于运动状态,都会连同粮样被取出<sup>[10]</sup>。取样检查包括外部害虫的检查和隐蔽性害虫的检查。对于扦取的粮食样品,一般采用筛选法检查粮粒外部的害虫;隐蔽性

害虫的检查方法有刨粒法、染色发、比重法、透视法、茛三酮法等<sup>[11]</sup>。常见的取样装置选筛有粮食取样管、倾斜筛、真空探管等。取样检测法是一种传统的检测方法,它是我国粮储行业常规使用的方法,但是该方法工作量大,效率较低,难以适应现代化粮储的需求。

表1 声检测技术的主要发展历程

发展阶段	时间	发明者	主要设备	主要检测因子	分析结果
初期	1987	Litzkow <sup>[2]</sup>	单个传感器	声音振动	信号处理、特征分析
	1988	Webb <sup>[3]</sup>	放入消音室	幼虫的吃食时间和频率	生长率分析
	1990	Litzkow	压电装置	谷物样本的振动及害虫密度	对比声音
成熟期	1993	Shuman <sup>[4]</sup>	多个压电换能器实现害虫定位	储粮害虫的数量	声音传播时间与距离成正比
	1997	Hickling <sup>[5]</sup>	传感器阵列	声音振动	信号处理、特征分析
	1998	Coggins <sup>[6]</sup>	时延人工神经网络	振幅、频谱以及声音持续时间	区分幼虫、成虫、谷物的声音以及外部噪声
新发展时期	2005	Rodriguez - Gobernado	声波、密度检测装置	声波和害虫密度的检测	比较平均频率与每个窗口的总能量得到害虫密度分布
	2006	Fleurat - Lessard F <sup>[7]</sup>	传感器、金属圆柱探测器、电子系统	声谱分类	不同生长阶段的声谱
	2007	Pearson <sup>[8]</sup>	分拣小麦无损粒与虫害粒的碰撞声发射系统	声信号、灵敏度	分析时域、短时窗内信号的麦粒、虫害粒的准确率以及频谱幅度

1.3 图像识别检测技术

图像识别检测技术就是利用计算机技术、机器视觉、图像处理与模式识别技术相结合实现储粮害虫检测。它的原理是用光学照相机、数码照相机、X射线摄像、红外摄像和CCDD(Charge Coupled Devices, 电荷耦合器件)摄像机等采集图像,并用图像识别的方法进行在线处理,快速判断是否存在害虫<sup>[12]</sup>。图像识别检测一般包括图像预处理、图像特征分割、特征提取和自动分类器设计四个过程。

图像预处理是图像识别检测技术的难点之一,一方面图像预处理可以提高识别多种类、形态小、结构复杂的粮虫的准确率;另一方面图像预处理可以通过简化表征或压缩粮虫图像特征等方法来达到快速识别的目的。图像处理的核心是特征提取,特征的代表性能直接决定了识别分类的效率和精度。以下是各研究学者对特征提取的研究结果,见表2。

表2 特征提取研究成果

时间	研究者	研究成果
2001	沈佐锐 <sup>[13]</sup> 等	用虫体面积、周长等11项数学形态特征对40种昆虫实现自动识别,得出了各项数学特征的权重
2003	邱道尹 <sup>[14]</sup> 等	提出利用害虫颜色和纹理等特征进行种类识别
2005	范艳峰 <sup>[15]</sup> 等 张红梅 <sup>[16]</sup> 等	采用全局阈值方法对增强后的谷物害虫图像进行区域分割,提取出R、G、B三种分量灰度图像的一阶灰度值统计量特征提取静态储粮害虫图像的数理统计特征、纹理特征

续表

时间	研究者	研究成果
2006	廉飞宇 <sup>[17]</sup> 等	使用小波变换对储粮害虫的高维图像矢量进行压缩,图像的高频部分对应于图像的边缘和轮廓
2007	Zhao <sup>[18]</sup> 等	基于Gabor的纹理特征提取方法
2010	黄世国 <sup>[19]</sup> 等	与角度无关的Gabor-SVM方法
2012	张红涛 <sup>[20]</sup> 等	基于核Fisher判别分析的粮虫特征压缩方法,有效降低特征维数,提高了类别之间的可分性

经过初步地研究与探索,目前检测系统已经能够在线的检测出害虫与杂质,并可以离线识别出四种主要储粮害虫(玉米象、谷蠹、大谷盗和绿豆象),根据成虫背面特征的识别率可达90%,而残缺粮粒、草籽、害虫的姿态等因素对检测结果有较大的影响<sup>[11]</sup>。因此,图像识别害虫检测技术仍有待进一步完善。

1.4 生物光子检测技术

基于生物光子(Biophoton Analytical Technology, BPAT)检测技术结合了人工智能技术,对储粮害虫检测的隐蔽性进行了基础的理论研究,是一种新型的小麦隐蔽性害虫检测模型,生物光子学的研究表明超微弱发光是活体生物的一种普遍生物物理现象,是生命活动状况的一种反应,并且对声明体内部的细微变化非常敏感。生命体处于逆境时,如病变、虫害或者受伤等,其生物光子辐射都会发生显著的变化。该实验以小麦籽粒和玉米象为研究

对象,分别测量正常和含虫小麦的自然发光光子数,并提取小麦自发光特性位置特征、散布特征和形态特征等九个参数构成小麦分类的特征向量,利用BP神经网络设计分类模型,对特征向量进行训练和测试,实验结果表明模型可以正确区分粮粒内有虫的小麦和正常小麦<sup>[21-23]</sup>。该方法操作简单,有助于从新的视角检测仓储过程中害虫的活动状态。但是对

于玉米象虫的卵期、幼虫期无法进行区别,需要我们进一步的探索。

### 1.5 其他检测技术

除了以上几种害虫检测技术之外,还有近红外光谱、X射线、微波雷达、电导法等多种方法同样可以用于储粮害虫的检测,表3是这些方法的对比分析结果。

表3 几种检测技术对比分析

害虫检测方法	主要原理	优点	缺点	亟待解决的问题
近红外光谱检测	基于对近红外光的吸收与反射的差异,将感染有害虫的麦粒与无虫麦粒区分开来 <sup>[10]</sup>	快速、无损性、时间短,可以直接进行检测	不易检测虫害程度较轻的粮食,对粮食样本的湿度较敏感,	针对不同成虫或幼虫反差较小的检测
X射线检测	从X射线形成的图像出发,一旦谷物受到虫害感染后,谷物籽粒密度下降从而使成像发生变化,能有效检测出谷物中虫害的规律 <sup>[24]</sup>	非破坏性,准确快速,可检测内部活虫和死虫	不能检测包含虫卵的粮食样本,设备价格较高,速度较慢	低能量X射线的屏蔽问题
微波雷达检测	基于多普勒效应,微波信号遇到移动物体反射后会产生多普勒效应,粮虫的运动可由发射和反射雷达频率区分 <sup>[25]</sup>	可大规模取样,无损性,可检测内部活虫和死虫	只能检测运动害虫而不能检测粮食中的死虫	害虫活动的声信号相对于背景噪声弱时,解决屏蔽背景噪声处理问题
电导检测	粮粒起到单电阻器和单个粮粒特性描述系统电路分压器的作用,通过测定粮粒两端的电压来测得电导率根据信号变化,将虫染的粮粒和好的粮粒区分开 <sup>[26]</sup>	花费少,零误识率	检测效率不高,检测不出内部有死虫的粮粒	单颗样品输入问题

近红外线光谱检测技术在90年代初曾是研究热点,该法对完好粮粒和虫蚀粮粒的鉴别效果较好,而对不同成虫或不同幼虫,这种反差较小情形的种类鉴别达不到满意的效果,且都是在实验室进行的<sup>[27]</sup>。X射线检测技术具有非破坏性,准确快速,可以检测到内部的活虫和死虫。对于微波雷达检测技术而言,当微波信号遇到转移物体反射后会产生多普勒效应,当害虫向接受器方向运动时,雷达反射的频率略高于发射频率,反之反射频率低于发射频率,因此,可以根据发射和反射雷达的频率来区分仓储害虫的运动。与X射线检测技术和近红外光谱检测技术相比,电导检测技术的最大优点就是它具有零误识率,自动、快速又经济的检测技术。通过单谷粒物特性测定仪检测虫染麦粒的电压和电导率,通过对电导信号的处理,根据信号特征区分虫蚀粮粒和完好粮粒<sup>[25]</sup>。

## 2 展望

仓储害虫的可视化、同粮库现有的计算机管理系统相连接等问题一直是近几年粮虫检测领域的研究热点,声检测技术可以确定害虫程度,检测轻便快速,灵敏度高,但是它受传感器及环境噪声的

影响较大;而取样检测技术受环境因素影响较小,但是其工作量大效率低,难以适应现代发展的需要;相比之下图像识别检测技术采用图像处理等技术能自动识别仓储活虫,但是它不能检测钻蛀害虫,在检测害虫的假死性和幼虫方面存在缺陷;生物光子检测技术可以正确区分粮粒内有虫的小麦和正常小麦,是仓储害虫检测技术的发展新趋势。

以上综述了仓储害虫检测技术的研究成果,上述一系列方法,在某些场合对于仓储害虫的检测具有一定的效果,但是在在线检测储粮害虫种类、密度等特征值的精确度上或多或少的存在一些问题亟待我们解决,但是这些研究成果为我国能够更加高效地检测粮仓害虫奠定了良好的基础,通过各个方法之间的取长补短,多种检测技术的结合是粮虫检测的必然趋势,因此害虫检测技术还有很大的提升空间,需要我们不断研究和创新,为害虫的综合防治提供可靠的、科学的决策依据。

### 参考文献:

- [1] Vick K W, Webb J C, Weaver 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.
- [2] Litzkow C A, Webb J C, Vick K W. Piezoelectric apparatus and

- process for detection of insect infestation in an agriculture - al commodity [P]. USA: 4937555, 1990 - 06 - 26.
- [3] Webb. J. C. A computerized acoustical larval detection system, 1988, 4, 268 - 274.
- [4] Shuman, D, Quantitative acoustical detection of larvae feeding inside kernels of grain, 1993, 86, 933 - 938.
- [5] Hicking R, Wei W, Hagstrum D W. Studies of sound transmission in various types of stored grain for acoustic detection [J]. Appl Acoust, 1996, 50(4): 263 - 278.
- [6] Coggins K M, Principe J. Detection and classification of insect sounds in a grain silo using a neural network [J]. IEEE Int Conf Neural Networks Conf Proc, IEEE Piscataway N J, USA, 1998, 3: 1760 - 1765.
- [7] 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]. 9th International Working Conference on Stored Product Protection, Campinas; 2006.
- [8] Pearson T C, Brabec D L, Schwartz C R. Automated detection of internal insect infestations in whole wheat kernels using a Perten SKCS4100 [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2003 (1): 727 - 733.
- [9] 耿森林, 尚志远. 用于储粮害虫声检测的隔声室的设计 [C]. 北京大学 2004 年全国博士生学术论坛交流论文, 2004: 8.
- [10] 沈兆鹏. 隐蔽性和非隐蔽储粮害虫检测技术进展 [J]. 粮食储藏, 1995, 24(5): 96 - 100.
- [11] 徐昉, 白旭光, 邱道尹, 等. 国内外储粮害虫检测方法 [J]. 粮油仓储科技讯, 2001(5): 41 - 43.
- [12] 徐昉. 基于图像识别储粮害虫检测系统的研究. [D], 河南: 郑州大学, 2001.
- [13] 沈佐锐, 于新文. 几种图像分割算法在棉铃虫图像处理中的应用 [J]. 中国农业大学学报, 2001, 6(5): 69 - 75.
- [14] 邱道尹, 张成花等. 神经网络在储粮害虫识别中的应用. 农业工程学报, 2003, 19(1), 142 - 144
- [15] 范艳峰, 甄彤. 谷物害虫检测与分类识别技术的研究及应用.
- [16] 张红梅, 范艳峰等. 基于数字图像处理技术的储粮害虫分类识别研究. 河南工业大学学报, 2005, 26(1), 19 - 22
- [17] 廉飞宇, 张元. 基于小波变换压缩和支持向量机组的储粮害虫图像识别. 河南工业大学学报, 2006, 27(1), 21 - 24
- [18] Zhao J, Chen X P. Field pest identification by an improved gabor texture segmentation scheme [J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2007, 50: 719 - 723.
- [19] 黄世国, 周明全, 耿国华. 一种角度无关的 Gabor - SVM 昆虫识别 [J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(1): 143 - 146.
- [20] 张红涛, 毛罕平, 韩绿化. 基于核 Fisher 判别分析的粮虫特征压缩方法 [J]. 江苏大学学报, 2012, 33(1), 16 - 20.
- [21] 陈胜, 黄楚云, 李黯然. 生物超微波发光及其应用 [J]. 黄石理工学院学报, 2006, 22(4): 82 - 84.
- [22] Costabzo E, Gulino M, Lanzano L, et al. Single seed viability checked by delayed luminescence [J]. European Biophysics Journal, 2008, 37(2): 238 - 238.
- [23] 郭建军. 大豆种子光诱导延迟发光特性研究 [D]. 天津: 南开大学, 2008.
- [24] 祝玉华, 李苗等. 储粮害虫检测识别技术研究现状与展望 [J]. 河南工业大学学报, 2015, 36(2), 102 - 106.
- [25] 胡丽华等. 储粮害虫检测新技术及应用现状 [J]. 农业工程学报, 2007, 11(36), 286 - 290.
- [26] 王海修. 储粮害虫检测与识别技术研究进展 [J]. 粮油仓储科技通讯, 2011(6), 33 - 39.
- [27] B. Subramanyam, et al. Alternatives to pesticides in stored - production IPM [M]. Kluwer Academic Publisher, 2000.
- [28] 郭敏, 张明真. 基于 GMM 和聚类方法的储粮害虫声信号识别研究. 南京农业大学学报, 2012, 35(6), 44 - 48
- [29] 黄霄凌, 周龙. 小波分析在储粮害虫图像去噪中的应用研究. 武汉工业学院学报, 2008, 27(1): 39 - 42.
- [30] Mankin R W. Microwave radar detection of stored - product insects [J]. Journal of Entomology, 2004, 97(3): 1168 - 1173.
- [31] 梁永生. 美国粮食储藏技术研究技术近况. 粮食储藏, 1994, 23(1): 31 - 40
- [32] 王贵财, 张德贤, 李保利, 等. 粮虫视觉检测技术的现状与展望 [J]. 中国粮油学报, 2011, 26(12): 124 - 128.
- [33] Han W J, Sum N L A novel fast face recognition method of two - dimensional principal component analysis based on BP neural networks [C] // Pacific - Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application, 2008: 44 - 48.
- [34] 毕昆, 姜盼, 唐崇伟, 等. 基于麦穗特征的小麦品种 BP 分类器设计 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(6): 464 - 468.
- [35] 何胜美, 李仲来, 何中虎. 基于图像识别的小麦品种分类研究 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(9): 1869 - 1875.
- [36] Zayas, I. Y., & Flinn, P. W. (1998). Detection of insects in bulk wheat samples with machine vision. Transactions of the ASAE, 41, 883 - 888
- [37] Mankin R W. Increase in acoustic detectability of Plodla interpunctella (Lepidoptera: pyralidae) larvae in stored products after electrical stimulation [J]. Florida Entomol, 2001, 85(3): 524 - 526.
- [38] Roces F, Manrique G. Different stridulatory vibrations during sexual behavior and disturbance in the bloodsucking bug Triatoma infestans (Hemiptera: Reduviidae) [J]. J Insect Physiol, 2002, 42: 231 - 238. ㊟