

禽蛋品质无损检测的研究现状及其展望

张超, 卢伟*, 丁天华, 杜健健, 丁为民, 罗慧

(南京农业大学工学院, 江苏省现代设施农业技术与装备工程实验室, 江苏南京 210031)

摘要:近年来,国内外已有不少学者对禽蛋品质的无损检测进行了研究,其中禽蛋蛋壳强度检测、禽蛋裂纹检测及禽蛋新鲜度检测为研究热点,而禽蛋微小裂纹、散黄蛋和双黄蛋的快速无损检测则是研究难点。本文通过论述机器视觉技术、光谱检测技术、声学技术、电子鼻技术以及称重-测距法等无损检测方法,依次分析国内外对禽蛋外观品质、禽蛋蛋壳强度、禽蛋裂纹和禽蛋新鲜度的研究现状,并对禽蛋品质无损检测的发展趋势进行了展望,以期今后禽蛋品质无损检测的深入研究提供参考。

关键词:禽蛋,品质,无损检测

Research status and prospect of the nondestructive detection of eggs quality

ZHANG Chao, LU Wei*, DING Tian-hua, DU Jian-jian, DING Wei-min, LUO Hui

(College of Engineering, Jiangsu Province Engineering Lab for Modern Facility Agriculture Technology & Equipment, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract: In recent years, non-destructive detection of eggs quality had been studied by many scholars domestically and internationally. Among them, the detection of egg shell strength, cracked eggs and egg freshness were hot research topics, but the quick and nondestructive detection of tiny cracks appearance of eggs, scattered eggs and double-yolked eggs were difficult topics. This review discussed the technology of machine vision, spectrum detection technology, acoustic technology, electronic nose technology and weighing-ranging method of nondestructive testing methods, following by analysis of progress for egg quality, egg shell strength, cracks appearance of eggs and egg freshness, and prospecting the development trend of nondestructive testing of egg quality to provide a reference for further studying nondestructive testing of egg quality.

Key words: egg; quality; non-destructive detection

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)18-0381-04

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.18.069

禽蛋产业不仅是中国农业的支柱产业,而且是关系国计民生和社会稳定的重要产业^[1]。自1984年以来,中国禽蛋产量就一直位居世界首位^[2]。但是,国内通过农贸市场所销售的禽蛋大多未经初加工分级处理,表面都会不同程度存在鸡血、污渍、裂纹和对人体有害的微生物^[3]。所以,中国禽蛋在国际贸易市场上,因药物残留和微生物指标检测不合格等因素,只能以较低的价格出口到香港和阿拉伯等地区和国家^[4]。因此,禽蛋的保鲜、分级、包装成为中国禽类饲养者、蛋品加工贮藏者及研究者普遍关注的问题,也是关系到禽类饲养业、蛋品加工业能否快速发展的重要问题之一^[5]。目前,国内外的蛋品企业主要依靠人体感官来挑选禽蛋,不仅劳动强度大,生产效率

低,而且检测精度受工人注意力、挑选经验和工作态度影响而难以保证^[6]。因此,对禽蛋品质无损检测的研究,具有重要的现实意义^[7]。

本文从国内外对禽蛋外观品质检测、蛋壳强度检测、蛋壳裂纹检测及禽蛋新鲜度检测等方面的已有研究进行综合分析,以期今后禽蛋品质无损检测的深入研究提供参考。

1 禽蛋外观品质无损检测研究现状

禽蛋外观品质主要包括禽蛋的大小、形状、颜色及表面洁净度,虽不影响禽蛋的食用价值,但对禽蛋的运输、储藏及消费者购买欲产生影响^[8]。

目前,国内外对禽蛋外观品质研究较少,检测方法多为机器视觉检测法^[8-14],如Garcia等^[9]为缩短污斑

收稿日期: 2014-12-03

作者简介: 张超(1993-),男,本科,主要从事农产品无损检测技术方面的研究, E-mail: zhangchaonjau@126.com。

* 通讯作者: 卢伟(1978-),男,博士,副教授,主要从事农产品无损检测与机器人传感与控制技术方面的研究, E-mail: njurobot@njau.edu.cn。

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(61401215);江苏省自然科学基金项目(BK20130696);中央高校基本科研业务费专项资金项目(KYZ201427)。

蛋分类时间过长的弊端,对鸡蛋的红绿蓝(RGB)图像进行数字图像处理,来对鸡蛋的形状和表面缺陷进行检测与分类,最终分类处理时间缩短为100 ms,分类准确率在82%~92%之间。另外,饶秀勤等^[12]为研究能满足鸡蛋分级生产要求的鸡蛋重量检测,采用色调(H)、饱和度(I)和强度(S)颜色模型的H分量作为鸡蛋图像的阈值分割指标,实验表明,鸡蛋重量检测的绝对误差在 ± 3 g以内,可用于鸡蛋分级生产。而Dehrouyeh等^[14]则在饶秀勤^[12]的基础上,进一步区分检测蛋壳表面的血斑与污斑,研究基于图像处理的HIS颜色空间算法,实验结果表明,洁净表面被误认为血斑表面的错误率为8.67%,洁净表面被误认为污斑表面的错误率为14%。

通过上述研究可见,虽然采用机器视觉检测法对禽蛋外观品质进行检测是可行的,但经分析总结后可知,其具有一定的局限性,即易受禽蛋壳颜色影响,且较难快速、动态检测禽蛋外观品质,不利于批量流水线式的禽蛋外观品质检测。

2 禽蛋蛋壳强度无损检测研究现状

蛋壳强度高与禽蛋裂纹及新鲜度密切相关,是禽蛋品质的重要特征。目前,国内外对禽蛋蛋壳强度的无损检测主要利用声学特性^[15-19]和近红外光谱技术^[20]。

针对声学特性方面,研究者主要是通过小锤敲击禽蛋后对声音采集分析和处理,并取得一系列的研究成果。如Coucke等^[15]发现蛋壳强度是由鸡蛋形状与鸡蛋质量的共振频率共同决定的,且共振频率约为4300 Hz;Wang等^[16]则在Coucke的基础上进一步研究表明共振频率与鸡蛋质量、鸡蛋密度、蛋壳强度和蛋壳裂纹这四个物理性质之间的回归系数为0.62~0.68。

而在近红外光谱技术方面,熊欢^[20]采用近红外光谱技术结合化学计量学分析方法及物理指标分析研究禽蛋蛋壳强度等物理指标之间的关系。发现蛋壳厚度、蛋壳百分比和蛋比重与蛋壳强度的相关性较大,其相关系数分别为0.79、0.76和0.62。

以上研究表明,采用声学特性和近红外光谱技术检测禽蛋蛋壳强度是可行的,但经对所引文献内容分析后可知,以上两种方法均有其弊端,其中,声学特性易受周围环境噪声干扰,而近红外光谱技术则易受温度、检测部位及环境的影响。

3 禽蛋蛋壳裂纹无损检测研究现状

禽蛋在包装、加工、运输环节中容易产生裂纹,而使微生物进入禽蛋内部,导致新鲜度降低,及时将裂纹蛋挑拣出来以避免流入市场至关重要。目前,国内外对禽蛋蛋壳裂纹的无损检测方法主要有声学特性^[21-31]和机器视觉技术^[32-34]。

在研究较多的声学特性方面,与蛋壳强度研究方法类似,仍是采用小锤敲击鸡蛋的方式进行研究,并取得很多成果。如Wang等^[23]在禽蛋蛋壳上分别进行了单点敲击单点响应和单点敲击多点响应,经敲击激励后用传感器获取时域特性信号,并进行信号频域分析,结果表明:无损蛋的频域特征存在一个较

明显的主频率值,峰值突出;裂纹蛋频域特征没有明显的主频率值,峰值较紊乱。Lin等^[27]则研究基于声共振的禽蛋裂纹检测,搭建实验装置如图1所示,分析敲击鸡蛋后的频率响应,根据频率响应信号提取出五个特征值,采用3种分类算法(K-近邻、人工神经网络、支持向量机)分别构建分类模型进行分类,通过比较得知,支持向量机分类效果最佳,准确率达到97.1%;之后,其^[28]为解决分类训练样本数量不平衡的问题,通过自适应滤波器滤除1000~8000 Hz频段外的频率,采用支持向量数据描述(SVDD)算法构建分类模型,识别准确率达到90%。

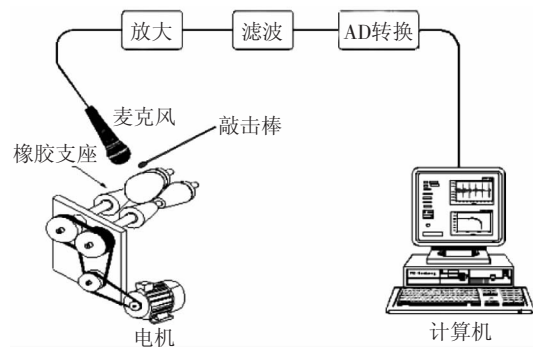


图1 声共振禽蛋裂纹检测系统^[27]

Fig.1 Acoustic resonance egg cracks detection system^[27]

卢伟等^[21]在已有声学特性研究成果基础上,最新研究采用扫频振动和支持向量机结合的方法检测鸡蛋裂纹,来增强无损蛋与裂纹蛋的振动信号的差异,通过交叉验证的方式进行模型参数优化,识别准确率达到98%,并解决以往通过声学特性较难检测蛋壳微小裂纹的难题。

而在机器视觉方面,贺静等^[32]提出基于数字信号处理(DSP)实时图像采集处理的鸡蛋蛋壳破损检测方法,实验结果表明:此算法对于蛋壳裂缝长度大于8 mm的鸡蛋识别率达到96%。杨冬风等^[33]则通过使用空气压力调节来适度增大微小裂纹,以解决当下微小裂纹难以识别的问题,根据无损蛋和裂纹蛋图像的特点,使用分形维数对图像进行分析,用4个方向剖面分割灰度图像曲面,得到具有分形规律的曲线,计算曲线的维数与图像整体盒维数,作为神经网络的特征向量,识别率为98.36%。

上述论述表明,当前国内外对禽蛋裂纹检测的研究较多,并取得了较大成果,同时证明了利用声学特性和机器视觉技术无损检测禽蛋裂纹的可行性与高精度性。

4 禽蛋新鲜度无损检测研究现状

新鲜度是禽蛋品质中最重要的特征之一,直接关系到禽蛋的商品等级、市场竞争力、经济效益和人们的饮食健康,因此对禽蛋新鲜度的无损检测研究十分重要。目前,国内外对禽蛋新鲜度的无损检测方法主要有称重-测距法^[35]、电子鼻技术^[36-37]、声学特性^[38-39]、机器视觉技术^[40-44]和光谱检测技术^[45-49],其中,采用机器视觉技术和光谱检测技术检测禽蛋新鲜度的研究较多。

如机器视觉技术方面,王巧华等^[40]利用机器视觉装置获取鸡蛋颜色参数来研究分析鸡蛋内部颜色信息(H、I、S)与鸡蛋新鲜度的相关关系,据此搭建实验装置,如图2所示,通过实验获得鸡蛋的新鲜度大小(哈夫值),用测得的哈夫值作为样本数据建立BP神经网络模型,经检验表明系统正确识别率为90.8%。王巧华等^[41]为进一步研究鸡蛋图像形态特征与新鲜度的相关关系,选取蛋黄与整蛋面积比值、气室高度与整蛋长轴长度比值作为形态特征参数,建立两特征值与新鲜度的关系模型来快速无损检测鸡蛋新鲜度,经检验,通过两特征模型判别鸡蛋新鲜度的正确率分别为91%和93%。

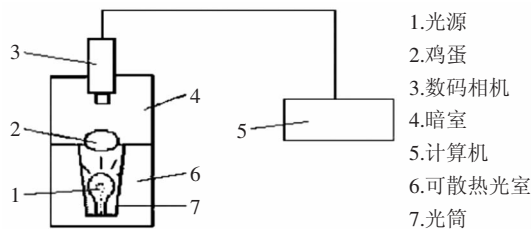


图2 禽蛋新鲜度检测装置^[40]

Fig.2 Egg freshness detection device structures^[40]

郑丽敏等^[42]则采用机器视觉技术提取鸡蛋蛋黄指数和气室指数这两个图像特征,建立鸡蛋新鲜度与蛋黄指数、贮藏时间与鸡蛋新鲜度、贮藏时间与蛋黄指数和气室指数的关系模型,经检验,实测值与预测值的平均相对误差为6%。刘鹏等^[44]为提高判断鸡蛋新鲜度方面的稳定性和模型适应性,通过证据理论和BP神经网络将电子鼻和机器视觉两种传感器在特征层进行融合,构建鸡蛋新鲜度的融合模型,判别鸡蛋新鲜度准确率平均值达到92.6%。

在光谱检测技术方面,Yande等^[45]为研究鸡蛋内部品质与透射特性的相关关系,研究波长在200~600 nm范围内鸡蛋新鲜度的光特性,发现在波长463 nm处鸡蛋的新鲜度具有良好的分辨性。而Alessandro等^[47]在Yande的基础上进一步研究透射光谱与鸡蛋新鲜度的关系,利用光谱仪和光纤探针装置对贮藏温度在20℃条件下的鸡蛋进行检测,采集833~2500 nm光谱波长并与新鲜度参数进行对应,通过主成分分析(PCA)、偏最小二乘回归(PLS)和偏最小二乘法判别分析(PLS-DA),建立根据光谱信息来预测鸡蛋新鲜度参数并将鸡蛋分类的模型。Lin等^[49]则研究利用近红外光谱法结合一类支持向量机来确定鸡蛋新鲜度,通过结合遗传算法的人工神经网络(GA-ANN)来校准回归模型,根据均方根误差(RMSEP)和预测集中的相关系数(r)来评估模型性能,研究发现:RMSEP=2.443和 $r=0.879$ 时模型达到最优。

上述论述表明,当前国内外对禽蛋的新鲜度研究较多,研究方法也呈现多样性,且提出了关于禽蛋内部HIS与禽蛋新鲜度存在的关系、贮藏时间与禽蛋新鲜度的对应关系及最佳分辨新鲜度的光谱波长等问题的有效解决办法。

5 展望

随着人们生活水平的提高,人们对食品安全也提出了更高的要求,希望得到安全、放心的食品。而禽蛋作为人们日常生活中的必需品,其品质问题也必然成为了一个不容忽视的问题。此外,提高禽蛋产品质量和安全性,能提升禽蛋产品的商品等级,从而提高其市场竞争力,并带来可观的经济效益,因此如何快速无损地检测禽蛋品质,尤其是适宜流水线在线、快速、准确度高的无损检测方法更是禽蛋检测的迫切需求。

目前禽蛋的无损检测方法主要以形态学测量尺寸、机器视觉、敲击法声学特征分析、电子鼻气味分析以及光谱分析等为主,而现有方法均存在不足之处,如形态学测量尺寸较难适应快速流水线式的检测要求,机器视觉技术容易受禽蛋蛋壳颜色和蛋壳强度影响,敲击法声学特性在环境噪声的干扰下检测精度不高等,因此亟需将其他领域的先进检测方法和检测手段借鉴到禽蛋品质无损检测中来。

禽蛋检测的信号处理方法也需要丰富,还需要对信号特征提取和模式识别算法以及多传感器的信息融合技术进行深入研究,可以将脑电信号(EEG)、肌电信号(EMG)、先进的电路故障诊断方法和振动信号特征提取方法以及模式识别方法等借鉴到禽蛋品质检测的信号处理中,以进一步提高禽蛋品质无损检测的速度和准确性。

此外,禽蛋无损检测的内涵亟需丰富,前文综述表明,对禽蛋蛋壳强度、蛋壳裂纹和禽蛋新鲜度等的无损检测方法均为近年来的研究热点,而禽蛋微小裂纹、散黄蛋和双黄蛋、旺鸡蛋等的快速无损检测则是难点,甚至是目前研究的空白。这些都是将来禽蛋无损检测亟需解决的问题,今后有待进一步研究。

参考文献

- [1] 马美湖. 我国禽蛋产业发展现状及需解决的重大科技问题[J]. 华中农业大学学报:社会科学版,2010(5):12-18.
- [2] 张冰. 我国禽蛋生产,贸易及国际竞争力研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2005.
- [3] 孙力. 禽蛋品质在线智能化检测关键技术研究[D]. 镇江:江苏大学,2013.
- [4] 司伟达,韩兆鹏,刘旭明. 鲜禽蛋分级和质量控制技术现状[J]. 中国家禽,2013,35(8):44-48.
- [5] 马美湖. 禽蛋制品生产技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,2003.
- [6] 陈红,王巧华,文友先. 无损检测技术在禽蛋破损自动检测中的应用[J]. 食品与机械,2003(5):9-10.
- [7] 屠康,赵立,潘嘉庆. 鸡蛋品质检测的研究现状[J]. 中国家禽,2005,26(23):48-50.
- [8] Patel V C, McClendon R W, Goodrum J W. Color computer vision and artificial neural networks for the detection of defects in poultry eggs[M]. Netherland:Artificial Intelligence for Biology and Agriculture,1998:163-176.
- [9] Garcia, Ribeiro, Guinea D, et al. Eggshell defects detection based on color processing[C]. Electronic Imaging. International

Society for Optics and Photonics, 2000:280-287.

- [10] Mertens K, De Ketelaere B, Kamers B, et al. Dirt detection on brown eggs by means of color computer vision[J]. Poultry science, 2005, 84(10):1653-1659.
- [11] 邓海霞, 刘友明, 文友先, 等. 基于机器视觉群体鸡蛋尺寸的检测方法[J]. 华中农业大学学报, 2006, 25(4):452-454.
- [12] 饶秀勤, 岑益科, 应义斌. 基于外形几何特征的鸡蛋重量检测模型[J]. 中国家禽, 2008(5):18-20.
- [13] 冯俊青. 基于SVM的鸡蛋外观品质检测方法研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2008.
- [14] Dehrouyeh M H, Omid M, Ahmadi H, et al. Grading and quality inspection of defected eggs using machine vision [J]. International Journal of Advanced Science and Technology, 2010, 17:23-31.
- [15] Coucke P. Assessment of some physical quality parameters of eggs based on vibration analysis[J]. Dissertations de Agricultura, 1998, 21(3):15-18.
- [16] J Wang, R S Jiang, Y Yu. Relationship between dynamic resonance frequency and egg physical properties[J]. Food research international, 2004, 37(1):45-50.
- [17] Altuntaş E, Şekeroğlu A. Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 85(4):606-612.
- [18] 周平, 蔡健荣, 林颢. 基于声学特性的鸡蛋蛋壳强度检测的研究[J]. 食品科技, 2010(2):237-240.
- [19] Lin, Zhao J, Sun L, et al. Stiffness measurement of eggshell by acoustic resonance and PLS models[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 103(4):351-356.
- [20] 熊欢. 蛋壳强度和厚度的近红外光谱检测分析[D]. 杭州:浙江大学, 2013.
- [21] Cho H K, Choi W K, Paek J H. Detection of surface cracks in shell eggs by acoustic impulse method[J]. Transactions of the ASAE, 2000, 43(6):1921-1926.
- [22] De Ketelaere B, Coucke P, De Baerdemaeker J. Eggshell crack detection based on acoustic resonance frequency analysis [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2000, 76(2):157-163.
- [23] Wang, Jiang. Egg shell crack detection by dynamic frequency analysis[J]. European Food Research and Technology, 2005, 221(1-2):214-220.
- [24] 潘磊庆, 屠康, 赵立, 等. 敲击振动检测鸡蛋裂纹的初步研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4):11-15.
- [25] 王巧华, 邓小炎, 文友先. 鸡蛋敲击响应的奇异性特征与蛋壳裂纹多层检测[J]. 农业机械学报, 2009, 39(12):127-131.
- [26] 何丽红, 刘金刚, 文友先. 基于粗糙集与支持向量机的禽蛋蛋壳无损检测[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3):167-171.
- [27] Lin H, Zhao J W, Chen Q S, et al. Eggshell crack detection based on acoustic impulse response and supervised pattern recognition[J]. Czech J Food Sci, 2009, 27(6):393-402.
- [28] Lin H, Zhao J, Chen Q, et al. Eggshell crack detection based on acoustic response and support vector data description algorithm [J]. European Food Research and Technology, 2009, 230(1):95-100.
- [29] Deng X, Wang Q, Chen H, et al. Eggshell crack detection using a wavelet-based support vector machine[J]. Computers and electronics in agriculture, 2010, 70(1):135-143.
- [30] 孙力, 蔡健荣, 林颢, 等. 基于声学特性的禽蛋裂纹实时在线检测系统[J]. 农业机械学报, 2011, 42(5):183-186.
- [31] 卢伟, 张超, 丁天华, 等. 一种基于磁致伸缩技术的禽蛋品质无损检测装置及其方法[P]. 中国, 201410485660.3. 2014-09-23.
- [32] 贺静, 王树才. 基于DSP实时图像分割算法的鸡蛋蛋壳破损检测[J]. 湖南科技学院学报, 2010, 31(4):55-58.
- [33] 杨冬凤, 马秀莲. 基于分形纹理分析的蛋壳裂纹识别[J]. 吉林大学学报(工学版), 2011, 41(1):348-352.
- [34] 李竞. 基于机器视觉的鸭蛋蛋壳检测系统[D]. 长沙:中南大学, 2013.
- [35] 熊利荣, 丁幼春, 刘俭英. 鸡蛋新鲜度随贮藏时间变化规律的研究[J]. 湖北农业科学, 2004(4):118-120.
- [36] Dutta, Hines, Gardner J W, et al. Non-destructive egg freshness determination: an electronic nose based approach [J]. Measurement Science and Technology, 2003, 14(2):190-191.
- [37] 刘明, 潘磊庆, 屠康, 等. 电子鼻检测鸡蛋货架期新鲜度变化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4):317-321.
- [38] 王树才, 魏小彪. 鸡蛋敲击响应特性与其新鲜度的相关性[J]. 华中农业大学学报, 2009, 28(3):373-376.
- [39] 龙翔, 李运斌, 罗霞. 鸡蛋新鲜度无损检测系统的研究与设计[J]. 计算机与数字工程, 2010, 38(5):155-158.
- [40] 王巧华, 熊利荣, 丁幼春, 等. 鸡蛋新鲜度神经网络检测系统的研究[J]. 华中农业大学学报, 2005, 24(6):630-632.
- [41] 王巧华, 文友先, 林雪冬, 等. 鸡蛋透射光图像形态特征与其新鲜度的相关关系[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3):179-183.
- [42] 郑丽敏, 杨旭, 徐桂云, 等. 基于计算机视觉的鸡蛋新鲜度无损检测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊2):335-339.
- [43] 魏小彪, 王树才. 鸡蛋新鲜度综合无损检测模型及实验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3):242-247.
- [44] 刘鹏, 屠康, 潘磊庆, 等. 基于D-S证据理论的鸡蛋新鲜度多传感器融合识别[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8):122-127.
- [45] Yande L, Yibin Y. Study on optical nondestructive inspection of chicken-egg freshness[J]. Proceeding of JICAST, 2002, 31(4):25-29.
- [46] Kemps B J, Bamelis F R, De Ketelaere B, et al. Visible transmission spectroscopy for the assessment of egg freshness[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86(9):1399-1406.
- [47] Giunchi A, Berardinelli A, Ragni L, et al. Non-destructive freshness assessment of shell eggs using FT-NIR spectroscopy[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 89(2):142-148.
- [48] 林颢, 赵文杰, 陈全胜, 等. 近红外光谱结合一类支持向量机算法检测鸡蛋的新鲜度[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(4):929-932.
- [49] Lin H, Zhao J, Sun, et al. Freshness measurement of eggs using near infrared (NIR) spectroscopy and multivariate data analysis[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2011, 12(2):182-186.