

禽蛋品质智能传感技术与装备研究进展

李 斌 刘力熔 贾 楠 张煜轩 曹瑶瑶
郎冲冲 王海峰 朱 君 赵文文

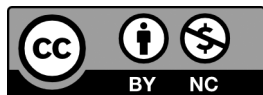
北京市农林科学院智能装备技术研究中心, 北京

摘 要 | 禽蛋品质的优劣直接影响其食用价值和商品价值, 因此对蛋品质检测尤为重要。传统的检测方式主要以人工观察和化学分析为主, 在检测过程中成本高、效率低、损耗大, 不适合工业化生产需求。本文综述了智能传感技术在禽蛋内外品质检测中的研究现状, 涉及的主要技术包括声学特性检测技术、机器视觉技术、力学特性技术、光谱技术、介电特性以及电子鼻技术, 并分析了各检测技术的优缺点, 为后期智能传感技术应用于禽蛋品质检测提供参考依据。

关键词 | 禽蛋; 蛋品质; 智能传感

Copyright © 2022 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 引言

禽蛋是重要的家禽产品之一, 内含丰富的维生素和蛋白质等营养物质, 随

基金项目: 北京市农林科学院博士后科研基金项目 (No.2021-ZZ-031); 国家科技创新 2030-“新一代人工智能”重大项目课题 (No.2021ZD0113804); 北京农业智能装备技术研究中心开放课题 (No.KFZN2020W011); 北京市农林科学院改革与发展项目。

通讯作者: 贾楠, 北京市农林科学院智能装备技术研究中心, 博士后。

文章引用: 李斌, 刘力熔, 贾楠, 等. 禽蛋品质智能传感技术与装备研究进展 [J]. 农业科学进展, 2022, 4 (2): 1-23.

<https://doi.org/10.35534/aas.0402001>

着生活水平的提高,人们对高品质禽蛋的需求也越来越高。禽蛋品质可以划分为外部品质和内部品质,外部品质的好坏会直接影响禽蛋的外观、贮藏时间和运输方式,内部品质则决定了其营养价值的高低。另外,禽蛋品质的优劣可以间接反映出家禽的饲养环境状况和条件^[1]。因此,发展快速、高效的蛋品质检测手段能够促进禽蛋品质自动分级,不仅提高产品商经济效益,而且为消费者带来便利。

禽蛋品质的检测方法可分为传统的破坏性检测与基于智能传感的非破坏性检测两种。前者一般需要打破禽蛋外壳,通过人工观察或者物理、化学方法来检测禽蛋的内部成分,人工观察的方法需要工作人员经验丰富且人为主观性影响较大,在实际生产中检测的速度慢,效率低下;物理和化学方法检测精度高,但检测过程繁琐,实验周期长,不符合禽蛋工业现代化、产业化发展的要求。智能传感检测手段如机器视觉、声学、光学等已经被证明可应用于禽蛋的品质检测。与传统方法相比,智能传感技术能够保证检测样本的完整性,且检测周期短,自动化水平高,节省人力资源,更符合禽蛋产业发展的要求。

本文围绕禽蛋内外部典型品质指标,首先概述了禽蛋品质的典型指标及检测方式,然后,结合国内外研究现状,综述了新型检测方法原理以及在禽蛋品质检测方面的研究进展,最后指出目前禽蛋品质检测存在的问题并作出展望,为后续禽蛋品质的智能传感检测提供参考。

2 禽蛋品质参数

禽蛋品质分为外部品质和内部品质两个方面^[2]。外部品质主要包括蛋壳品质(蛋壳强度、厚度以及完整度)和蛋形指数等;内部品质主要包括气室高度、蛋白高度、蛋白 pH 值、新鲜度、蛋黄指数以及内部缺陷等。

2.1 外部品质

2.1.1 蛋壳品质

蛋壳品质主要包括蛋壳强度、厚度和颜色。蛋壳强度与蛋壳厚度、蛋壳静态和动态刚度、蛋壳的矿物质含量和蛋白质基质等参数有关。蛋壳强度能

够反映禽蛋抗破损率,是评价蛋壳品质最直观最重要的参数指标。据测定,蛋在竖放时承受6~8磅(1磅=0.454 kg)压力,破蛋率不超过1%^[3]。蛋壳强度检测方法主要有准静态压缩技术、机械动力学方法、声学特性法、光谱分析法和蛋壳强度测定仪等,其中,准静态压缩技术和蛋壳强度测定仪虽检测精度高,但操作过程会损伤蛋壳,容易使内容物受到细菌感染,降低其品质。

蛋壳厚度是最早用于评价蛋壳品质的指标。壳厚均匀度可作为禽蛋的一个属性,据统计,壳厚在0.38~0.40 mm区间时,蛋破损率为2.00%~3.00%;壳厚在0.31~0.33 mm区间时,蛋破损率为10%,壳厚在0.25 mm以下时,蛋破损率高达85%^[4]。检测蛋壳厚度的方法主要有蛋壳厚度测定仪、机械动力学方法和光谱技术等,其中蛋壳厚度测定仪分析精度最高,但会破坏蛋壳,不适用于实际生产。

蛋壳颜色也是影响禽蛋经济效益的重要指标。蛋壳颜色受遗传因素影响,其形成主要由蛋壳色素沉积引起,且颜色深浅与鸡的周龄呈负相关。一般采用禽蛋蛋壳颜色评分的标准比色扇(1~17种颜色)来进行评定,此方法操作简单、方便。为了使结果更加精准,可运用蛋壳颜色反射计数率来表示,测定时间快且准确,是现代实验室测定蛋壳颜色的常用选择。

2.1.2 裂纹与清洁度

蛋壳是禽蛋的重要组成部分,对于刚产下的蛋,完好的蛋壳可以防止水分丢失和细菌渗入。但是禽蛋在从生产到销售的周转过程中,普遍存在破损问题,其危害不仅是破损禽蛋失去其食用价值,同时还会污染其他禽蛋,引起交叉污染。因此,禽蛋蛋壳的完整性检测十分重要。目前检测蛋壳破损的方法主要是声学技术和机器视觉技术,其中,机器视觉技术虽操作简便、速度快,但识别准确率依赖于图像质量和处理算法,对硬件设备要求较高。

蛋壳清洁度是根据蛋壳上有无脏污和脏污面积大小来判断,蛋壳脏污对禽蛋内外品质有严重影响。根据国家标准文件GB/T 39438-2020规定,特级和一级禽蛋蛋壳外表需无肉眼可见的污渍,二级禽蛋蛋壳外表存在肉眼可见的污渍,单个不洁物面积应低于4 mm²,不洁物总面积应低于8 mm²。检查蛋壳清洁度的

方法主要是人眼观察法和计算机视觉技术检测法。

2.1.3 蛋重与蛋形指数

蛋重是评价产蛋性能的重要指标,同时也是直接影响消费者选择的重要因素,常用失重率来表示禽蛋贮藏过程的质量变化,由公式(1)计算。研究发现,蛋鸡的正常蛋重的变化范围为 50 ~ 65 g,过大可能是双黄蛋,过小则多为头水蛋或无黄蛋^[5]。

$$\text{失重率} = (\text{第 1 次称重} - \text{第 n 次称重}) / \text{第 1 次称重} \times 100\% \quad (1)$$

蛋形指数用来描述禽蛋形状,合理的蛋形指数可减少破蛋和裂纹蛋,蛋形指数的标准范围为 72% ~ 76%^[3],指数高于 80% 或低于 70% 时,蛋壳破损率明显增加。目前常用的蛋形指数检测方法有游标卡尺测量和蛋形指数测定仪测量。

2.2 内部品质

2.2.1 新鲜度

禽蛋新鲜度是衡量禽蛋品质的一个重要经济指标,也是影响禽蛋销售的主要因素之一。在评价禽蛋新鲜度时,可以考虑蛋白品质、蛋黄品质、气室高度以及挥发气味等。

蛋白品质主要包括蛋白高度和蛋白 pH。随着贮藏时间增加,禽蛋蛋白会发生稀化,导致蛋白高度不断降低,同时禽蛋呼吸作用增强,自身二氧化碳由气孔向外扩散,导致 pH 值逐渐上升^[6],贮藏 21 天后,禽蛋呼吸作用减弱,呼出的二氧化碳基本不变,因此,贮藏后期禽蛋 pH 值小幅度下降后保持稳定。新鲜蛋蛋白高度较高, pH 值较低,陈蛋蛋白高度较低, pH 值较高。实验室常用游标卡尺测量蛋白高度,用 pH 计测量蛋白 pH,还可用光谱技术、介电特性、电子鼻和蛋品质分析仪同时测定两种指标。其中,蛋品质分析仪虽然集成度高,检测效率高,但抽检时需打破禽蛋,不适用于大规模的禽蛋品质检测。另外,哈夫单位是国际上广泛使用的评价鸡蛋新鲜度的指标,新鲜鸡蛋的哈夫值较高,陈鸡蛋的哈夫值较低^[6]。哈夫单位检测方法主要有物理测量、光谱技术、机器视觉、介电特性测量和电子鼻技术等,其值由公式(2)计算得出。

$$HU=100 \times \lg (H-1.7 \times W^{0.37}+7.57) \quad (2)$$

式中, H 代表浓蛋白高度, W 代表蛋重。

蛋黄品质常用蛋黄指数表示, 蛋黄指数能够反映蛋黄的含水量和渗透压。随着贮藏时间增加, 蛋白的水分不断向蛋黄渗透, 蛋黄的盐类向蛋白扩散, 导致蛋黄体积不断增大, 蛋黄膜弹性减弱, 直至破裂, 形成散黄蛋, 因此, 蛋黄品质是表征禽蛋品质的重要指标之一。新鲜蛋的蛋黄系数较高, 陈蛋蛋黄系数较低。目前常用的检测方法包括物理测量、光谱技术和介电特性法。

气室是由禽蛋内容物冷却收缩导致内外壳膜分离而形成的。一般采用气室高度描述气室大小。根据 NY/T 1758-2009 鲜蛋等级规格可知, 特级、一级、二级和三级禽蛋的气室高度应分别小于 4 mm、6 mm、8 mm 和 9.5 mm。新鲜蛋气室高度较小, 陈蛋气室高度较大。常用物理测量和光谱技术来测定气室高度。

2.1.3 内部异物

禽蛋内部异物主要指禽蛋中的血斑和肉斑。血斑的表现形式是蛋黄或蛋清中的红色斑点或条纹^[7], 主要原因是缺乏维生素、疾病或遗传, 美国农业部的禽蛋分级标准规定 AA 级和 A 级禽蛋的血斑直径不能超过 1/8 英寸 (约 3.2 mm)。肉斑是呈褐色到白色不等的内含物, 常见于蛋白中, 血斑常见于蛋黄中^[8]。血斑和肉斑的存在会严重影响蛋品质, 检测方法除打破禽蛋人为观察外, 光谱技术和机器视觉技术已经被证明能够用于检测血斑蛋和肉斑蛋。

2.1.3 营养品质

禽蛋不仅营养素含量丰富, 而且在人体消化吸收率很高^[9]。每 100 g 禽蛋中, 包含 12.7 g 蛋白质和 11.6 g 脂肪^[10]。蛋清和蛋黄中的多种蛋白质不仅为人类提供丰富的氮源, 还具有抗细菌、免疫调节、抗肿瘤等多种生物活性。脂肪呈乳融状, 主要集中于蛋黄内, 特别容易消化, 含有对人体具有多种重要功能的不饱和脂肪酸。目前对禽蛋蛋白质含量的智能传感检测方法主要是通过氮元素的含量来测定整个蛋清中蛋白质的含量, 脂肪含量使用脂肪测定仪检测。

以上提到的多种内外品质指标在各国国家标准文件中都有相关规定, 其中哈夫单位、蛋黄指数、内外缺陷和完整度等被公认为是反映禽蛋品质的重要参考指标。表 1 总结了禽蛋各品质指标的检测方法。

表 1 禽蛋各品质指标检测方法

Table 1 Test methods for each quality index of poultry eggs

检测指标	检测方法
蛋壳强度	蛋壳强度测定仪、声学特性、动力学特性、光谱技术
蛋壳厚度	游标卡尺、蛋壳厚度测定仪、光谱技术、动力学特性
蛋壳清洁度	人眼观察、机器视觉
蛋壳完整度	声学特性、机器视觉
蛋壳指数	物理测量、蛋形指数测定仪、声学特性
气室高度	游标卡尺、光谱技术、机器视觉、介电特性
蛋白高度	游标卡尺、光谱技术、介电特性、电子鼻
蛋白 pH	化学测量、光谱技术
新鲜度	物理测量、光谱技术、机器视觉、介电特性、电子鼻
蛋黄指数	光谱技术、机器视觉、介电特性
内部异物	光谱技术、机器视觉
营养品质	化学测量、光谱技术

2 基于声学特性的禽蛋品质智能传感检测法

2.1 原理

声学特性检测技术是一种农产品品质的重要检测手段。不同品质的农产品在与敲击响应或外部声源相互作用时会反映出不同的声学特性，利用这一规律可以建立禽蛋声学特性与其品质之间的相互关系，实现禽蛋品质的判定^[11-14]。

2.2 外部品质检测研究进展

声学特性检测方法多被用于蛋壳裂纹的检测。Bain 等^[15]构建了一种声学检测装置，通过对鸡蛋动态刚度的测量来预测现场条件下鸡蛋开裂的概率，研究证实该方法不仅能有效预测裂纹发生的概率，还可以纳入模型育种计划，改善蛋壳质量和减少裂蛋发生率。潘磊庆等^[16]通过在鸡蛋不同部位施加机械冲击，分析裂纹蛋和完好蛋的声信号响应频率差异，并根据特征响应频率变异系数建立了初步分级算法，分级准确率达到 87%。郭小军等^[17]结合鸡蛋壳的声学特性和 LabView 虚拟仪器平台，设计并开发了一个鸡蛋声音信号采集分析处理系统，分析完好蛋和裂纹蛋受到敲击时声学响应信号的差异，以 1000Hz 为阈值创建了

一个可视化的裂纹蛋识别模型,实际检测准确率超过96%,但该模型难以识别微小裂纹,此外,一些研究综合分析了声音和振动信号,识别裂纹蛋^[18-20]。Lin等^[19]提出了将声共振系统与有监督模式识别算法相结合的裂纹蛋识别方法,采用自适应滤波器提高声脉冲响应的信噪比,分析对比了K最近邻近(knearest neighbors, KNN)、人工神经网络(artificial neural network, ANN)和支持向量机(support vector machines, SVM)三种分类判别模型。结果表明,SVM模型性能最好,预测集裂纹蛋识别率达到97.1%。

3 基于计算机视觉技术的鸡蛋品质智能传感检测法

3.1 原理

计算机视觉技术(computer vision, CV),是指通过计算机模拟人类的视觉过程,综合了图像处理、人工智能和模式识别等技术,对获取的图像信息进行数字化处理与特征性处理并加以理解,实现对鸡蛋外部尺寸、表面破损等信息的综合评价。

3.2 外部品质检测研究进展

计算机视觉技术在鸡蛋外部品质检测领域已有广泛应用,主要包括蛋壳尺寸^[21, 22]、表面缺陷^[23-25]和污斑检测等。段宇飞等^[22]设计了一套在线基于机器视觉的鸡蛋尺寸形状高通量检测装置,在传送装置上动态获取群体鸡蛋图像,并利用凸包算法检测鸡蛋的边缘轮廓,同时提取鸡蛋的长短轴和蛋形指数分别衡量尺寸大小和扁圆程度。经验证,分级准确率分别为90.5%(尺寸)和89.3%(圆度),且每个鸡蛋的处理时间小于0.1s。Omid等^[26]设计并开发了一套基于模糊逻辑和机器视觉的智能系统,能够利用鸡蛋的大小、表面裂纹和破损对鸡蛋分级,其中鸡蛋大小通过计算蛋壳的非零像素数分为大、中、小三个等级,结果显示,系统根据鸡蛋大小的分级准确率为95%,裂纹蛋和破损蛋的检测精度分别达到94.5%和98%,噪声和不同的蛋壳状况如蛋壳厚度等是分类误差的主要原因。屠康等^[27]利用机器视觉获取鸡蛋表面图像,经过图像分析和处理提取

污斑区域面积和污斑总面积等特征参数,建立污斑检测和分级算法,进而对污斑鸡蛋和干净鸡蛋分级,分级准确率达到 90% 以上,其中对污斑蛋的检测率达到 92.7%。芦茜等^[28]利用机器视觉技术对表面脏污的产地鸭蛋进行分级以及对清洗后的产地鸭蛋进行裂纹检测,确定了鸭蛋边缘的拟合算法和裂纹提取算法,结果表明鸭蛋扁平程度分级模型准确率达到 95%,裂纹检出率达到 96.67%。

在测量鸡蛋颜色方面,国内外已开发出便携式的蛋壳颜色测定仪。该仪器采用蛋壳颜色反射计数率进行准确测量,如图 1 所示。通过白色(75% ~ 85%)和黑色(0%)的百分比计数率为标准,再结合各国蛋壳颜色的实际差异,通过调整、校正后测定蛋壳表面两头和中间三个位置的蛋壳颜色,取其平均值,测得蛋壳颜色反射计数率数据^[29]。



图 1 蛋壳颜色测定仪(DP-NR, 中国)

Figure 1 Egg shell color measuring instrument (DP-NR, China)

3.3 内部品质检测研究进展

由于蛋壳具备一定的透光性,因此,可以利用鸡蛋透射光图像检测内容物状态,获得气室大小、蛋黄形状、血斑^[30, 31]等信息,建立新鲜度分析模型^[32-35]。郑丽敏等^[32-35]基于背向照明方式获取鸡蛋的数字图像,利用改进的区域增长算法提取鸡蛋的蛋黄指数(蛋黄面积与鸡蛋表面积之比)和气室指数(气室面积与鸡蛋面积之比),结果表明鸡蛋新鲜度与蛋黄指数的关系模型平均相对误差为 6%;贮藏时间与鸡蛋新鲜度以及贮藏时间与蛋黄指数和气室指数的关系模型实际值与预测值误差不超过 2 d,且每个鸡蛋的平均检测速度为 0.83 s,

证明基于计算机视觉技术预测鸡蛋新鲜度和贮藏时间是可行的。Arivazhagan 等^[30]提出一种鸡蛋血点检测算法,对采集到的血斑蛋彩色图像进行图像增强和滤波,从中计算标记为血点的像素数量。结果显示,基于图像处理技术可以检测血斑蛋,通过改进图像采集过程,可以提高系统功能性和灵活性。王彩云等^[36]利用机器视觉搭建了鸭蛋表面脏污和新鲜度的图像采集系统,选择最优的图像预处理方法,建立了鸭蛋表面脏污程度及新鲜度分级模型,其中脏污程度分级模型准确率达到 95% 以上,新鲜度分级准确率达到 93.85%。

4 基于光谱分析的鸡蛋品质智能传感检测法

光谱技术是禽蛋品质检测中应用最广泛的技术之一,通过获取禽蛋对光束的反射、漫反射、吸收和折射等特性的光谱信息,对禽蛋外部品质、内容物状态及内部异物等进行判别,从而达到无损检测的目的。光谱分析方法主要有可见光谱、近红外光谱、可见/近红外光谱和高光谱成像检测技术等。

4.1 可见/近红外光谱技术

4.1.1 原理

可见光谱 (visible spectrum, VIS) 是电磁波谱中人眼可以感知的部分,波长范围 380 ~ 780 nm。近红外光谱 (near infrared spectrum, NIR) 是第一个被发现的非可见光区,波长范围在 780 ~ 2526 nm。利用 VIS/NIR 的禽蛋品质检测的相关研究较多,通过扫描禽蛋获取光谱信息,结合化学计量法和理化测定结果进行建模,可应用于禽蛋蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋白品质和新鲜度等品质参数的检测,且可以同时对上述多个指标进行预测。

4.1.2 外部品质检测研究进展

VIS/NIR 光谱技术可以通过检测蛋壳强度和蛋壳厚度等参数实现对禽蛋外部品质的测定^[37, 38]。Narushin 等^[39]比较了 NIR 漫反射光谱和鸡蛋大小参数对蛋壳强度的评估准确度,结果表明两种方式都无法对蛋壳质量进行高质量预测,但红外光谱测量速度快,能同时预测多个参数。Dong 等^[40]利用 VIS/NIR 透射光谱结合偏最小二乘回归模型,对比分析了 Savitzky-Golay (SG) 平滑、多元散

射校正 (multiplicative scatter correction, MSC)、标准正态变换 (standard normal variate transform, SNV) 数据预处理方法, 实现了对鸡蛋蛋壳厚度的无损评估, 预测集 R^2 达到 0.84, 并指出进一步的建模方法可以得到更高的预测精度。

4.1.3 内部品质检测研究进展

已有学者在 VIS^[41]、VIS/NIR 光谱^[42-45] 等波段对鸡蛋气室高度、蛋白高度、哈夫单位、内部异物等品质指标开展研究。Mohammad 等^[42-45] 利用 VIS/NIR 透射光谱建立了光谱数据与气室高度、哈夫单位的径向基函数 (radial basis function, RBF) 神经网络模型, 证实了哈夫单位和气室高度值的光谱数据和实测数据之间的良好相关性, 相关系数分别为 0.76 (哈夫单位) 和 0.844 (气室高度)。侯卓成等^[47] 利用 NIR 反射光谱结合无偏最小二乘模型在国内首次建立了鸡蛋蛋白高度的近红外检测模型, 首次建立了鸡蛋气室高度和气室直径的 NIR 测定模型。由于鸡蛋某些成分如血红蛋白在固定波段存在吸收带, 因此光谱技术可以检测鸡蛋内部缺陷如血斑蛋^[48-50], 祝志慧等利用微型光纤光谱仪采集鸡蛋透射数据, 在单分类器基础上, 通过多分类器融合对血斑蛋和肉斑蛋进行检测, 试验结果表明多分类器融合模型优于单一分类器模型。

在鸡蛋营养品质研究方面, 已有研究证明鸡蛋内蛋白质和脂肪含量与其 NIR 光谱信号之间存在良好的线性关系^[51-53], 孙艳文等^[51] 选取鸡蛋赤道部位两个点和锐端到赤道 1/2 处两个点进行傅里叶近红外漫反射扫描, 对比平滑、最小——最大归一化等多种数据预处理方法并建立 PLS 预测模型, 经杠杆校正验证, 模型训练集和预测集相关系数相对都较高, 且均方根误差都较小, 证明运用 NIR 光谱快速、无损检测鸡蛋脂肪含量是可行的。高佩佩等^[52] 将 NIR 光谱与偏最小二乘法相结合检测鸡蛋蛋白质含量, 结果显示, 校正模型 R^2 达到 0.97 以上, 表明傅里叶近红外光谱 (fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR) 能够有效检测鸡蛋蛋白质含量。

4.2 高光谱成像技术

4.2.1 原理

高光谱成像技术是一种融合图像与光谱的多维度信息获取技术, 通过关系

模型建立多种信息与待测物品质之间的关系,既可用于品质指标的定性判别^[54],也可用于定量分析。

4.2.2 内部品质检测研究进展

高光谱成像技术已被用于鸡蛋新鲜度分级研究^[55-57]。付丹丹等^[56]结合高光谱成像技术和理化测定方法,对褐壳蛋的新鲜度、pH值和黏度三个品质参数进行研究,筛选涵盖鸡蛋品质信息的最优波长组合,建立的多元线性回归(multivariable linear regression, MLR)模型验证集对上述三个指标的相关系数分别为0.94, 0.95, 0.95。王巧华等^[58]首次建立了基于高光谱成像技术和化学计量法的白壳蛋新鲜和不新鲜判别模型,对模型输入数据进行微分校正、小波去噪、平滑等预处理,采用竞争性自适应重加权采样法(competitive adaptive reweighted sampling, CARS)对数据进行降维处理,对比分析了偏最小二乘(partial least squares, PLS)模型和多元回归模型性能,结果表明,两种模型的判别效率分别达到100%和88%。

5 基于动力学特性的鸡蛋品质智能传感检测法

5.1 原理

利用动力学响应特性检测禽蛋品质,其原理是建立禽蛋品质与其激励响应特性之间的相互关系,以实现用冲击振动幅值、共振频率、阻尼比以及弹性模量等物理参数来表征禽蛋品质的目的。当冲击施加在蛋壳表面,会产生振动波,在振动波扩散过程中,不仅传播了激振源信息,而且能够反映出壳介质的品质信息。

5.2 在鸡蛋外部品质检测中的应用

通过分析不同品质鸡蛋蛋壳在外界冲击激励作用下的动力学响应信号特征,可以对鸡蛋蛋壳强度、蛋壳裂纹等品质指标进行定性分析。Ketelaere等^[59]测量了描述蛋壳强度的4个参数,分别是蛋壳厚度、静态刚度、破断力和动态刚度,结果显示,除动态刚度外,其余参数值均随时间延长有所变化,证明动态刚度

是评估蛋壳强度的最佳指标。姜瑞涉等^[60]对敲击鸡蛋获得的时域信号进行频谱分析,分析有裂纹蛋和无裂纹蛋频域特征曲线,提取主频率值、功率谱平均值、归一化功率谱平均幅值等检测鸡蛋裂纹的主要参数,发现无裂纹蛋和有裂纹蛋的频域特征曲线分别表现出规律性和无规律性,且采用主频率值和归一化功率谱平均幅值检测裂纹时精度较高,检测准确率分别在 96% 和 94% 以上。

由比利时 OCTINION 公司研发的 Columbus 高通量蛋品智能传感检测仪(如图 2 所示),可以无损测量鸡蛋多个参数:蛋壳强度、自动裂缝检测、蛋重、蛋体积、形状和颜色。在蛋壳强度和裂纹检测方面,利用弹性锤振动激发方式,通过分析鸡蛋震动时震动频谱估计不同震动模式的共振频率,从而计算蛋壳强度参数。同时,该仪器可基于计算机视觉技术,对鸡蛋体积、形状和颜色进行测量。



图 2 COLUMBUS 高通量蛋品智能传感检测仪 (OCTINION, 比利时)

Figure 2 COLUMBUS high-throughput intelligent sensing detector for egg quality
(OCTINION, Belgium)

6 基于介电特性的鸡蛋品质智能传感检测法

6.1 原理

介电特性技术是利用样品的电磁特性对其内部品质进行评价。根据不同物质的内在成分和结构不同,所对应的介电特性参数也不同。基于介电特性技术

的禽蛋品质检测是通过评估介电特性参数的差异,分析禽蛋内部品质信息如新鲜度^[26, 61, 62]。

6.2 在鸡蛋内部品质检测中的应用

介电特性测量灵敏度高且设备简单,能够有效地对鸡蛋新鲜度、蛋白 pH 和蛋黄品质等品质指标进行智能传感检测。李海峰等^[63]采用 LCR 测试仪对常温下不同贮藏时间的鸡蛋介电参数进行检测,同时对鸡蛋的哈夫单位、失重率、蛋清 pH 值和蛋黄指数进行破坏性测量,通过二次曲线拟合发现,鸡蛋的介电参数 R_p 与贮藏时间相关性显著,与蛋清 pH 值之间具有负相关性,与其他鸡蛋品质参考值均无相关性。孙俊等^[64]利用平行极板法建立鸡蛋介电特性与蛋黄指数之间的关系模型,分析了鸡蛋介电特性随测量信号频率和蛋黄指数的曲线变化。结果表明,介电参数随频率及蛋黄指数的增大而减小,蛋黄指数预测模型 R^2 较高,达到 0.9115,但鸡蛋介电特性受温度、湿度等众多环境因素影响,故文章提出的基于介电特性预测蛋黄指数的模型存在一定局限性。

7 基于电子鼻的鸡蛋品质智能传感检测法

7.1 原理

电子鼻是一种智能感官仪器,通过模仿生物嗅觉的功能,利用气体传感器识别待测物的挥发性气体并进行特征提取,具有准确、快速、重复性好及不损伤样品的特点,多被用于禽蛋新鲜度的检测。

7.2 在鸡蛋内部品质检测中的应用

鸡蛋在贮藏过程中,微生物分解禽蛋内部营养物质而产生 NH_3 、 H_2S 、 CH_4 等特殊气体,并由蛋壳上的气孔向外扩散,电子鼻技术可识别这些气体从而实现对鸡蛋新鲜度的检测。Liu 等^[65]首次利用电子鼻技术检测鸡蛋挥发性盐基氮(TVB-N)含量鸡蛋新鲜度。结合支持向量回归(support vector regression, SVR)模型以较高精度预测了鸡蛋中的 TVB-N 含量,利用载荷图分析识别对模型性能影响较大的传

感器数据作为模型输入变量,又结合 PCA 分析实现了不同贮藏期的鸡蛋分类。刘明等^[66]在温度为 20℃和相对湿度为 70% 的条件下,利用 PEN3 型电子鼻对不同货架期的罗曼鸡蛋进行了氨氧化物、烷烃和醇类等恶化气体的检测,结合 PCA、LDA 等多元统计方法对不同货架期和不同等级的鸡蛋进行分类,实验证明 LDA 判别方法对不同货架期和不同等级的鸡蛋区分效果都较好。

以上七种主要的指标获取技术,根据不同的检测原理可以获取不同的品质指标,声学特性和动力学特性检测技术研究较早,虽然在一定程度上实现了蛋壳品质的智能传感检测,但检测精度较低,对微小裂纹等细小缺陷不易识别,且对蛋壳的外部冲击容易造成蛋壳损伤。机器视觉和光谱技术是发展较快的新兴技术,都可以获取大量数据,同时检测多个蛋壳品质如裂纹、污斑、蛋壳厚度和蛋壳强度等,在预测精度和稳定性等方面都优于声学 and 动力学检测技术。

表 2 对禽蛋内外品质指标分析模型的效果及优缺点进行了整理。

表 2 禽蛋内外品质指标分析模型

Table 2 Analysis model of internal and external quality indicators of poultry eggs

指标	数据处理	模型	检测精度	模型效果		参考文献
				优势	不足	
蛋壳强度	PCA	蛋壳承受应力模型	$R^2=0.71$	实现了蛋壳强度的动态检测	环境噪音对敲击响应信号有一定影响	[12]
	MSC、SNV、一阶微分、二阶微分	PLS	$R^2=0.86$	证明光谱技术检测机理与蛋壳超微结构有关	预测精度需要提高	[67]
蛋壳厚度	SNV、MSC、一阶导数、二阶导数	PLS	$R^2=0.84$	创新性强	预测精度提高	[40]
	背景去除、灰度转化、中值滤波、阈值分割、区域标记、特征提取	BP 神经网络	裂纹蛋识别率 92.9% 以上	具有较好的泛化功能和鲁棒性	不易识别到圆形裂纹和微裂纹	[23]
外部品质指标	蛋壳完整度 灰度化、最大边界选取法	融合梯度幅值和置信度的边缘检测算法	—	克服了固定阈值适应性较差的缺陷	只对算法性能进行了定性评价,缺少定量评估	[13]
	对响应信号进行放大和捕获、排序算法	基于声共振频率的蛋壳裂纹检测系统	裂纹识别率 90%	能检测到多种形状的裂纹区域	未能检测到细小裂纹	[18]
	提取信号的五种激励共振频率特征	声共振测量系统与快速信号处理结合	裂纹识别率 96.1%	检测速度快	垂直于蛋壳赤道方向的微裂纹难以检测到	[20]
	蛋形指数 放大声信号、FFT	数学质量—弹簧模型	预测集 $R^2=0.51$	测量速度快	预测精度需要提高	[14]
	特征算法	一元线性回归模型	体积 $R^2=0.965$ 表面积 $R^2=0.971$	检测速度快、效率高	算法可靠性有待提高	[21]

续表

指标	数据处理	模型	模型效果			参考文献
			检测精度	优势	不足	
气室高度	SG、MSC、SNV、一阶导数	PLS	预测集 $R^2=0.85$	预测精度较好	泛化能力弱	[37]
	CFS 算法	MSP 树	$R^2=0.906$ RMSEP=1.043	检测速度快, 误差小	预测精度劣于 RBFSVM 模型	[26]
蛋白高度	SG、MSC	BPNN	预测集 $R^2=0.83$	可投入市场使用	预测精度有待提高	[26]
蛋白 pH	MSC、MAXR	PLS	预测集 $R^2=0.90$	预测精度较好	RPD 值高达 4.92	[68]
	平滑、MSC、导数处理、BiPLS、MC-UVE	PLS	预测集 $R^2=0.833$	变量少, 训练速度快, 鲁棒性好	—	[69]
新鲜度	SG、MSC、SNV	PLS	$R^2=0.8203$ RMSEP=3.2762	模型复杂度低, 检测速度快	对除粉壳蛋以外其他他色鸡蛋的预测效果有待验证	[55]
内部品质指标	PCA	OC-SVM	分类准确率 100%	解决样本数量不平衡问题	预测能力受到所选目标类的影响	[70]
	分别计算图像特征参数和声音信号特征参数	MLR	准确率 92%	综合了图像信息和声信号信息	检测误差较大	[35]
	PCA、SOM、FCM	RBF	准确率 95%	泛化能力强	长期可靠性有待评估	[71]
蛋黄指数	SG、一阶微分	SI-PLS	预测集 $R^2=0.9081$	预测精度较高, 运算速度较快	特征区间的选择较繁琐	[44]
	SPA、PCA	SVC	准确率 96.3%	图像信息有助于识别分散的蛋黄	准确性和鲁棒性有待提高	[54]
内部异物	K/S 算法、PCA	LS-SVM	血斑蛋检出率 91.7% 正常蛋检出率 90.0%	融合了蛋壳颜色信息, 提高了模型性能	对真正血斑蛋检测效果需进一步验证	[49]
	求平均光谱	BLR	准确率 96.9%	能够检测真实血斑蛋	未提取特征变量, 模型运行速度较慢	[7]
营养品质	SG、一阶微分、MSC、SNV、UVE、逐步回归算法	MLR	罗曼粉壳鸡蛋 $R^2=0.8119$ 海蓝褐壳鸡蛋 $R^2=0.9116$	模型适用性广	需要对特征波段进行二次筛选	[7]

8 总结与展望

禽蛋品质检测是禽蛋生产、加工和流通过程中重要一环, 利用多种智能传感手段进行快速、无损和准确地禽蛋品质检测是目前重要研究方向之一。本文从禽蛋内外品质指标出发, 综述了声学检测、动力学特性、机器视觉、光谱分析、介电特性和电子鼻等智能传感检测技术在禽蛋品质检测领域的分析原理和研究成果。针对现有禽蛋品质检测存在的局限性, 总结了该领域未来发展方向:

(1) 提高设备可靠性。目前, 多种智能传感检测装置稳定性较差, 如声学仪器检测结果易受外界环境、鸡蛋外形、裂纹位置、敲击角度等因素影响; 电子鼻技术对传感器灵敏度要求较高, 机器视觉法采集样品图片的角度存在局限

性,以及光谱分析法产生的结果准确性易受到仪器分辨率、积分次数等影响。在未来的研究中,应加强对仪器的精密选型,同时改进检测算法,尽可能减小因设备稳定性带来的检测误差。

(2) 加强品质指标检测全面性。禽蛋品质检测还存在检测指标不全面、针对不同品种禽蛋适应性差、检出率低等问题。外部品质如蛋壳裂纹、强度、厚度的检测主要利用声学 and 机械动力学检测,内部品质的研究主要集中在光谱分析、机器视觉和电子鼻等技术。针对这些问题,可以在后续研究中着重提高检测模型的泛化性和鲁棒性,使其同时适用于内外品质指标检测。

(3) 融合多智能传感检测技术。禽蛋品质检测应注重多检测技术集成应用,同时降低数据处理过程和建模过程中算法选择对结果的影响程度,不仅可以同时检测鸡蛋的多种品质指标与缺陷,提高检测分级设备的效率,还可提高结果一致性,稳定检测准确率,降低检测误差,推动智能传感检测技术和装备在禽蛋产业生产中的应用。

参考文献

- [1] 周福娴. 基层蛋鸡养殖存在的问题及对策[J]. 中国畜禽种业, 2015, 11(8): 149-150.
- [2] 段宇飞. 鸡蛋多品质高通量在线快速无损检测研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [3] 梁欣, 于晓丽. 鸡蛋品质评定的指标及测定方法[J]. 山东畜牧兽医, 2012, 33(5): 23-24.
- [4] 周勤宣, 陈宽维, 张建华, 等. 提高棕壳蛋鸡蛋壳厚度的研究[J]. 江苏农业科学, 1988(9): 40-41+15.
- [5] 皮特·西蒙斯. 鸡蛋的信号[M]. 郑江霞, 译. 北京: 科学技术文献出版社, 2020.
- [6] 付丹丹. 贮期鸡蛋蛋白质含量品质的光谱无损检测方法及其装置研发[D]. 武汉, 华中农业大学, 2020.

- [7] Chen M, Zhang L, Xu H. On-line detection of blood spot introduced into brown-shell eggs using visible absorbance spectroscopy [J]. Biosystems Engineering, 2015, 131: 95-101.
- [8] 陈子召. 蛋的血斑和肉斑内含物 [J]. 养禽与禽病防治, 1986 (1): 43.
- [9] 陈冬梅. 关于鸡蛋食用价值的探讨 [J]. 中国酿造, 2013, 32 (6): 12-15.
- [10] 徐有均. 鸡蛋的营养价值 [J]. 畜牧与饲料科学, 2012, 9 (33): 116-117.
- [11] 吴雪. 鸡蛋裂纹损伤检测的声振分析方法研究 [J]. 食品与机械, 2014, 30 (6): 10-13.
- [12] 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, 35 (2): 237-240.
- [13] 吴兰兰, 王巧华, 祝志慧, 等. 融合梯度幅值和置信度的鸡蛋裂纹图像检测 [J]. 华中农业大学学报, 2016, 35 (6): 6.
- [14] P, COUCKE, E, et al. Measuring the mechanical stiffness of an eggshell using resonant frequency analysis [J]. British Poultry Science, 1999, 40 (2): 227-32.
- [15] Bain M M, Dunn I C, Wilson P W, et al. Probability of an egg cracking during packing can be predicted using a simple non-destructive acoustic test [J]. British Poultry Science, 2006, 47 (4): 462-469.
- [16] 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.
- [17] 郭小军, 张海东, 王孟, 等. 基于声学特性和 Labview 的鸡蛋裂纹检测研究 [J]. 湖北农业科学, 2017, 56 (21): 4131-4136.
- [18] Ketelaere B D, Coucke P, Baer De Maeker J D. Eggshell Crack Detection based on Acoustic Resonance Frequency Analysis [J]. Journal of Agricultural

- Engineering Research, 2000, 76 (2) : 157–163.
- [19] Lin H, Zhao J W, Chen Q S, et al. Eggshell crack detection based on acoustic impulse response and supervised pattern recognition [J] . Czech Journal of Food Sciences, 2009, 27 (6) : 393–402.
- [20] Sun L, Bi X K, Lin H, et al. On-line detection of eggshell crack based on acoustic resonance analysis [J] . Journal of Food Engineering, 2013, 116 (1) : 240–245.
- [21] 周平, 赵春江, 王纪华, 等. 基于机器视觉的鸡蛋体积与表面积计算方法 [J] . 农业机械学报, 2010, (5) : 5.
- [22] 段宇飞, 王巧华, 李小明, 等. 基于凸包算法的鸡蛋尺寸形状在线视觉高通量检测方法 [J] . 农业工程学报, 2016, 32 (15) : 7.
- [23] 潘磊庆, 屠康, 苏子鹏, 等. 基于计算机视觉和神经网络检测鸡蛋裂纹的研究 [J] . 农业工程学报, 2007, 23 (5) : 154–158.
- [24] 彭辉, 文友先, 王巧华, 等. 基于小波变换和 BP 神经网络的蛋壳破损检测 [J] . 农业机械学报, 2009, 40 (2) : 170–174.
- [25] Li Y, Dhakal S, Peng Y. A machine vision system for identification of micro-crack in egg shell [J] . Journal of Food Engineering, 2012, 109 (1) : 127–134.
- [26] Omid M, Soltani M, Dehrouyeh M H, et al. An expert egg grading system based on machine vision and artificial intelligence techniques [J] . Journal of Food Engineering, 2013, 118 (1) : 70–77.
- [27] 屠康, 潘磊庆, 杨佳丽, 等. 基于计算机视觉的鸡蛋污斑检测 [J] . 江苏大学学报 (自然科学版), 2007, 28 (3) : 4.
- [28] 芦茜. 基于机器视觉的产地鸭蛋外形及裂纹检测方法研究 [D] . 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [29] 季广健. 不同蛋壳颜色鸡蛋品质的比较研究 [J] . 甘肃畜牧兽医, 2009, 39 (6) : 14–16.

- [30] Arivazhagan S, Shebiah R N, Sudharsan H, et al. External and Internal Defect Detection of Egg using Machine Vision [J] . Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences, 2013, 10 (S1-3) : 75-89.
- [31] Nakano K, Usui Y, Motonaga Y, et al. Development of Non-Destructive Detector for Abnormal Eggs [J] . IFAC Proceedings Volumes, 2001.
- [32] 李新成, 赵登鲁, 石红蕾, 等. 基于机器视觉的鸡蛋品质无损检测方法 [J] . 食品安全质量检测学报, 2019, 10 (2) : 489-493.
- [33] 王巧华, 华细金, 干能强, 等. 基于机器视觉的鸡蛋品质无损检测研究 [J] . 中国家禽, 2007 (18) : 21-23.
- [34] 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 (S2) : 335-339.
- [35] 魏小彪, 王树才. 鸡蛋新鲜度综合无损检测模型及试验 [J] . 农业工程学报, 2009, 25 (3) : 242-247.
- [36] 王彩云. 鸭蛋表面脏污及新鲜度无损检测 [D] . 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [37] Dong X, Tang X, Dong J, et al. Nondestructive egg freshness assessment of air chamber diameter by VIS-NIR spectroscopy [C] // 2018 Detroit, Michigan July 29-August 1, 2018.
- [38] 刘燕德, 周延睿, 彭彦颖. 基于近红外漫反射光谱检测鸡蛋品质 [J] . 光学精密工程, 2013, 21 (1) : 40-45.
- [39] Narushin V G, Kempen T A V, Wineland M J, et al. Comparing Infrared Spectroscopy and Egg Size Measurements for predicting Eggshell Quality [J] . Biosystems Engineering, 2004, 87 (3) : 367-373.
- [40] Dong X, Tang X, Peng Y, et al. Nondestructive assessment of eggshell thickness by VIS/NIR spectroscopy [C] // 2017 Spokane, Washington July 16-July 19, 2017.

- [41] Bart, J, Kemps, 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.
- [42] 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.
- [43] Mehdizadeh S A, Minaei S, Hancock N H, et al. An intelligent system for egg quality classification based on visible-infrared transmittance spectroscopy [J] . Information Processing in Agriculture, 2014, 1 (2) : 105–114.
- [44] 赵杰文, 毕夏坤, 林颢, 等. 鸡蛋新鲜度的可见—近红外透射光谱快速识别 [J] . 激光与光电子学进展, 2013, 50 (5) : 8.
- [45] Dhakal S, Wu J, Chen J, et al. Prediction of Egg's Freshness Using Backward Propagation Neural Network [J] . Applied engineering in agriculture, 2011, 27 (2) : 279–285.
- [46] Aboonajmi M, Saberi A, Abbasian Najafabadi T, et al. Quality assessment of poultry egg based on Vis-NIR Spectroscopy and RBF networks [J] . International Journal of Food Properties, 2015 (19) : 1163–1172.
- [47] 侯卓成, 杨宁, 李俊英, 等. 傅里叶变换近红外反射用于鸡蛋品质的研究 [J] . 光谱学与光谱分析, 2009, 29 (8) : 2063–2066.
- [48] 祝志慧, 谢德君, 李婉清, 等. 基于光谱技术和多分类器融合的异物蛋检测 [J] . 农业工程学报, 2015, 31 (2) : 312–318.
- [49] 徐惠荣, 徐文豪, 陈华瑞, 等. 基于光谱技术的褐壳血斑蛋鉴别方法研究 [J] . 农业机械学报, 2014, 45 (2) : 194–198.
- [50] Usui Y, Nakano K, Motonaga Y. A study of the development of non-destructive detection system for abnormal eggs [C] // 2003 Debrecen, Hungary July 5–July 9, 2003.
- [51] 孙艳文, 尹程程, 李志成, 等. 鸡蛋脂肪含量近红外光谱无损检测技术

- 研究[J]. 食品工业, 2016, 37(9): 177-180.
- [52] 高佩佩, 李志成, 师博, 等. 鸡蛋蛋白质含量无损检测技术研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(11): 261-264.
- [53] 付丹丹, 王巧华, 高升, 等. 不同品种鸡蛋贮期S-卵白蛋白含量分析及其可见/近红外光谱无损检测模型研究[J]. 分析化学, 2020, 48(2): 289-297.
- [54] Sicong, Kang, Zhan, et al. Non-destructive internal quality assessment of eggs using a synthesis of hyperspectral imaging and multivariate analysis[J]. Journal of Food Engineering, 2015, 157: 41-48.
- [55] 房盟盟, 丁佳兴, 崔腾飞, 等. 基于高光谱成像技术的鸡蛋哈氏单位快速无损检测[J]. 食品工业科技, 2018, 39(2): 245-249.
- [56] 付丹丹, 王巧华. 鸡蛋新鲜度、pH值及黏度的高光谱检测模型[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 173-179.
- [57] 杨晓玉, 丁佳兴, 房盟盟, 等. 基于可见/近红外高光谱成像技术的鸡蛋新鲜度无损检测[J]. 食品与机械, 2017, 33(11): 131-136.
- [58] 王巧华, 周凯, 吴兰兰, 等. 基于高光谱的鸡蛋新鲜度检测[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(8): 2596-2600.
- [59] F R Bamelis, K Tona, J G De Baerdemaeker, et al. Measuring the eggshell strength of 6 different genetic strains of laying hens: Techniques and comparisons[J]. British poultry science, 2002, 43(2): 238-244.
- [60] 姜瑞涉, 王俊陆, 秋君, 等. 鸡蛋敲击响应特性与蛋壳裂纹检测[J]. 农业机械学报, 2005(3): 75-78.
- [61] Ragni L, Cevoli C, Berardinelli A, et al. A waveguide technique for non-destructive determination of egg quality parameters[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 99(2): 343-348.
- [62] Lau S K, Subbiah J. An automatic system for measuring dielectric properties of foods: Albumen, yolk, and shell of fresh eggs[J]. Journal of Food

- Engineering, 2017, 223: 79–90.
- [63] 李海峰, 贺晓光, 张海红, 等. 鸡蛋贮藏过程中的介电特性和新鲜品质变化 [J] . 江苏农业科学, 2016, 12 (44) : 341–343.
- [64] 孙俊, 刘彬, 毛罕平, 等. 基于介电特性与蛋黄指数回归模型的鸡蛋新鲜度无损检测 [J] . 农业工程学报, 2016, 32 (21) : 290–295.
- [65] Peng L, Tu K. Prediction of TVB–N content in eggs based on electronic nose [J] . Food Control, 2012, 23 (1) : 177–183.
- [66] 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.
- [67] 熊欢, 徐惠荣, 周万怀, 等. 蛋壳品质的近红外光谱检测分析 [J] . 农业工程学报, 2013, 29 (S1) : 264–269.
- [68] Abdel–Nour N, Ngadi M, Prasher S, et al. Prediction of Egg Freshness and Albumen Quality Using Visible/Near Infrared Spectroscopy [J] . Food and Bioprocess Technology, 2011, 4 (5) : 731–736.
- [69] 刘燕德, 彭彦颖, 孙旭东. 鸡蛋蛋白 pH 可见 / 近红外光谱在线检测信息变量提取研究 [J] . 江西农业大学学报, 2010, 32 (5) : 1075–1080.
- [70] 林颢, 赵杰文, 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.
- [71] Dutta R, Hines E L, Gardner J W, et al. Non–destructive egg freshness determination: an electronic nose based approach [J] . Measurement science & technology, 2003, 14 (2) : 190–198.

Research Progress of Intelligent Sensing Technology and Equipment for Quality Detection of Poultry Egg

Li Bin Liu Lirong Jia Nan Zhang Yuxuan Cao Yaoyao
Lang Chongchong Wang Haifeng Zhu Jun Zhao Wenwen

*Intelligent Equipment Research Center, Beijing Academy of Agriculture and
Forestry Sciences, Beijing*

Abstract: The quality of poultry eggs can directly affect the edible value and commercial value, so egg quality detection is particularly important in poultry industry. Traditional quality detection methods are mainly based on manual observation and chemical analysis, which are costly and inefficient for industrial production. This paper reviewed the current research of intelligent sensing technology in detection of internal and external quality inspection of poultry eggs. The main techniques include acoustic sensing, machine vision, mechanical properties, spectroscopic technology, dielectric properties, and electronic nose technology. The merits and drawbacks of each technique were introduced and analyzed. This review aims at providing a reference basis for the application of intelligent sensing technology in quality detection of poultry egg.

Key words: Poultry Eggs; Egg Quality; Intelligent Sensing