

我国粮食质量标准与检测技术研究进展

魏孟辉, 袁建*

(南京财经大学食品科学与工程学院, 南京 210023)

摘要: 随着粮食生产及加工业的发展, 粮食的质量品质越来越受到粮食部门及相关企业的重视。本文就粮食质量标准现状进行综述, 重点介绍了稻谷、小麦、玉米、大豆、油菜籽的质量分级标准。在此基础上, 从粮食物理品质和成分品质对粮食分级检测技术的研究现状进行综述, 以期能充分利用国内外的研究进展情况推动粮食检测技术的研究步伐。

关键词: 粮食; 质量标准; 检测技术

Research progress of China's grain quality standards and detection technology

WEI Meng-Hui, YUAN Jian*

(College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing 210023, China)

ABSTRACT: With the development of food production and processing industry, the quality of grain has drawn more and more attention by the grain sector and related enterprises. In this paper, the current situation of grain quality standards was reviewed, focusing on the quality of rice, wheat, corn, soybeans and rapeseed. On this basis, the physical and ingredients quality of grain were reviewed, the grading and detecting technology were also summarized for promoting the development of research of grain detection technology.

KEY WORDS: grain; quality standards; detection technology

1 引言

我国是世界上最大的粮食生产国和消费国, 粮食的质量与安全事关国家农业的可持续发展和国民健康, 而粮食收购和销售价格与国计民生密切相关^[1], 因此, 粮食的品质分级在粮食产业中有着举足轻重的作用。然而, 目前我国粮食品质检验大多还是采用简单低效的设备和主观的感官方法, 已不能适应检测技术仪器化、标准化、快速化的需求。另一方面, 现代粮食品质检测技术得到迅速发展, 产生了许多有关粮食品质检测的新方法。如果能够将现代检测方法应用到粮食品质检验当中, 势必可以降低检测成本又可提高检测准确性, 也将大力促进我国粮食质量检测

技术水平。本文就目前我国粮食质量标准和国内外检测技术研究现状进行综述, 介绍了粮食质量和安全的检测技术和装备水平, 并对现代检测方法应用到粮食品质检验当中进行一些展望, 以期推动我国粮食品质检测的研究步伐。

2 我国现行主要粮食标准

20世纪90年代以来, 我国粮油标准工作迅速发展, 全面制修订了小麦、玉米、稻谷、杂粮及食用植物油等主要原粮和产品标准。2006年以后, 相继发布了油菜籽、稻谷、小麦、玉米、大豆等新的国家标准, 修改了质量检测项目, 进一步完善了粮油标准体系。在这些标准中, 油菜籽以含油率定等, 稻谷以出糙率定等, 小麦、玉米以容重

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAD17B00)

Fund: Supported by National Key Technology R & D Program (2013BAD17B00)

*通讯作者: 袁建, 教授, 主要研究方向为食品质量安全评价与控制、粮油深加工。E-mail: yjian_nj@163.com

*Corresponding author: YUAN Jian, Professor, College of Food Science and Engineering, No. 3, Weiyuan Road, Qixia District, Nanjing 210023, China. E-mail: yjian_nj@163.com

定等,大豆以完整粒率定等。水分、蛋白质、脂肪是粮食的重要组成成分,也是人类的重要营养物质,各种粮食中化学组成不同,含量差异较大,这些化学指标也在标准中有所体现。

2.1 稻谷标准

我国稻米标准主要以外观特性、加工特性、食用品质特性等指标对稻米的品质进行评价。2009年,我国发布了《稻谷》(GB 1350-2009)标准,与《稻谷》(GB 1350-1999)相比,将整精米率由定等指标改为非定等指标,并对指标值进行修改,增加了等外级、判定规则和有关标签标示的规定^[2,3]。根据我国稻谷生产、加工和消费特点,我国已建立了普通稻谷、优质稻谷、富硒稻谷等系列标准,形成了出糙率、整精米率、谷外糙米、垩白粒率、垩白度等相应的质量评价指标和相应检测方法。

2.2 玉米标准

2009年我国发布了GB 1353-2009《玉米》,2009年9月1日起开始实施。历次标准版本的替代,反映了标准的延续性。《玉米》新标准仍以容重进行定等,并将原有的3个等级调整为5个等级,并增加等外级,调整了不完善粒,并对应等级设定指标^[4,5],同时研究完善了玉米容重测定方法,调整了高水分玉米容重测定规则。也建立了饲料用玉米、高油玉米等相应的国家标准,以及爆裂玉米、糯玉米、优质蛋白玉米、高淀粉玉米、高油玉米、甜玉米等相应的行业标准,形成了针对玉米专用特性的爆花率、膨化倍数、蒸煮品质等相应的质量评价指标和检测方法。

2.3 小麦标准

我国小麦是以容重进行定等,并规定了不完善粒、杂质、水分等质量指标。与GB 1351-1999相比,GB 1351-2008《小麦》标准修改了杂质等定义及不完善粒指标,以硬度指数取代角质率、粉质率作为小麦软、硬的表征指标,开发出具有自主知识产权的硬度指数测试仪,制订了小麦硬度指数的标准测定方法,增加了检验规则及有关标签标识的规定^[6,7]。并制定了小麦硬度指数的测定的标准方法^[7],近年采用皮色、粒质(硬度指数)等物理特性来划分小麦类型,引入了蛋白质、面筋含量、稳定时间等内在品质指标。

2.4 大豆标准

大豆品质评价主要是依据其外观特性、营养品质特性等指标。与《大豆》(GB 1350-1986)相比,GB 1352-2009《大豆》标准,调整了普通大豆定等指标,新标准使用完整粒率代替纯粮率进行定等,质量等级仍为5级,同时增加等外级以及规定了完整粒、损伤粒、热损伤粒的检验方法。除了普通大豆以外,还增加了高油大豆和高蛋白大豆的质量要求^[8,9]。

2.5 油菜籽标准

油菜籽是重要的油料作物,主要采用含油量定等。与GB/T 11762-1989相比,GB 11762-1989《油菜籽》标准,()相比,增加了未熟粒、热损伤粒、生芽粒等限制性指标,将原来的“霉变粒”改为“生霉粒”。同时增加了双低油菜籽的质量标准,增加了芥酸、硫苷含量的限制性指标,如果2项有1项达不到要求,不能作为双低油菜籽^[10,11]。

3 国内外粮食质量检测技术的研究进展

粮食物理特性和成分检验是粮食质量分级的基础,不断研究开发新技术、新方法,统一规范相应的检测设备,对粮食质量检测技术的发展起着重要作用,国内外学者在这两方面做了大量研究。在粮食物理特性检测技术方面,尤其是基于图像的粮食检测方法已有很多极具实用性的研究成果,部分已应用到实际操作中,使工作效率成倍提高^[12]。在粮食成分检测方面,我国已建立了水分、粗蛋白质含量等化学指标相应的近红外检测方法标准,在国家标准的基础上,不断尝试新技术,改善实验方法,改进仪器检测设备。

3.1 粮食物理特性指标检测

粮食物理特性指标检测是粮食品质评价的重要组成部分,检测指标一般包括品种分类、不完善粒、霉变粒、整精米率、出糙率以及容重等。

3.1.1 粮食品种识别与分类

粮食品种的识别是粮食质量检测的关键。由于粮食形态特征对外部生长环境非常敏感,近年来,依据粮食籽粒外观形态和颜色的各种特征,结合神经网络和模式识别等技术来实现粮食的识别与分类一直是研究热点。2011年,Zapotoczny^[13]采用非破坏性方法对谷粒品种进行评估,实验调查了11个品种不同质量等级的春小麦和冬小麦。从平板扫描仪接口到个人计算机获取的图像进行分析,对11个小麦基于纹理的品种分类识别精度达到100%。最终分类质量没有受到栽培,水分或品种年份的影响。2015年,Kurtulmus等^[14]也提出一种基于计算机视觉的方法对7种油菜籽品种进行分类。研究不同类型的功能集,功能模型和机器学习分类方法,来获得最佳的预测模型,并用验证集合来验证预测模型。结果表明,所开发的计算机视觉系统的最佳预测模型,区分油菜品种的总准确率达到99.24%。由于可见光图像检测法高额的成本,并且检测过程较为复杂,使它的实时应用受到限制,但在未来的发展应用中具有巨大的潜力。

许多研究者在粮食籽粒宏观性状与内部微观结构关系的研究上也在不断深入,并且也取得了一定成果。潘艺等^[15]提出了一种以显微图像为基础的小麦分类识别方法,通过电镜扫描对不同品种的小麦籽粒的微观组织结构进行观察。不同品种小麦具有不同的显微纹理结构,该方法对

不同小麦品种综合识别率达到 90% 以上, 为小麦品种识别与分类研究提供了新思路。刘振宁等^[16]通过扫描电子显微镜对来源不同生境的野生大豆的种皮、种脐、脐冠等微观形态特征进行比较观察, 结果表明野生大豆的形态、结构特征受品种所处环境条件的影响。谷玉娟等^[17]将扫描电子显微镜应用于分析彩色小麦的特性研究上, 结果证明, 彩色小麦与普通小麦在胚乳形态特征上有很大差异。通过研究小麦微观形态来区分小麦品种具有重要的意义。扫描电镜检测技术目前还只是处于实验室研究阶段, 与实际应用还有一定的差距, 但是随着扫描电镜和图像处理技术的发展和不断成熟, 其应用前景将十分广阔。

3.1.2 籽粒外部形态特征检测

图像检测法能对粮食进行直接测量, 且比较稳定, 能够节约大量时间, 降低成本, 在粮食外部形态特征检测方面具有明显优势, 使得图像处理技术在粮食行业得到普遍关注, 图像检测法在粮食物理指标评价方面有很大发展^[12]。目前, 国内外基于图像的粮食检测方法已有不少极具实用性的研究成果, 有的已应用到实际操作中, 使工作效率成倍提高^[18], 并将逐步在粮食质量特性检测方面得以应用。

2009 年, Igathinathane^[19]等用 Java 开发的机器视觉 Image J 插件来从数字图像中确定单一化颗粒的垂直长度和宽度。该插件应用于测量 8 种粮食正交尺寸, 具有整体精度大于 96.6% 的准确率, (254±125) 粒/s 的运算速度, 可以处理所有颗粒的形状和取向, 具有可重复性和经济性, 该方法为籽粒外观形态特征的检验提供了依据。2011 年, Walker^[20]等也使用 2-D 数字图像对单个大麦颗粒的尺寸、重量、体积和密度进行测定, 用图像形态学测量进行校准, 并使用一系列散装大麦样品进行验证。相比物理测量方法, 图像法测量粒径和粒重算法的相关性分别为 0.93 和 0.97, 标准误差分别为 0.09 mm 和 1.37 mg。以上 2 种鉴别籽粒外部形态特征的方法都运用图像特征进行识别, 但两者获取数据的方法和建模方法不同, 故检测效果存在差异。2013 年, 张浩等^[21]利用计算机图像处理技术来获取及分析小麦籽粒图像, 来描述小麦的形态特征。该系统测定方法取得了良好的结果, 其中短轴、长轴、投影面积与手工测定值的相关系数分别达到了 0.993、0.991 和 0.985, 用图像技术对粮食外部特征进行描述具有非常大的发展潜力。

3.1.3 不完善籽粒与分级定等检测

我国粮食质量标准中分级定等通常采用粮食容重及不完善粒等指标, 因此粮食质量检测包括对粮食容重、不完善粒、杂质、出糙率以及整精米、裂纹米、黄粒米品质指标的测定。采用近红外国外对粮食品质进行检测, 国外研究较早, 研究重点集中在近红外光成像波段的选择以及图像特征提取方法上。2009 年, Singha 等^[22]通过近红外光谱成像检测昆虫损伤的麦粒进行了研究, 检测了由 4 种不同昆虫引起的明显受损的麦粒。6 个统计图像特征值(最

大值、最小值、平均值、中位数、标准偏差和方差)和在图像 1101.69 和 1305.05 nm 处提取的 10 直方图, 输入到统计判别分类器(线性, 二次, 和马氏)上进行分类。线性判别分析和二次判别分析结果表明, 近红外装置能够正确分类 85%~100% 的健康和昆虫破坏的麦粒。2012 年, Agelet 等^[23]也利用近红外光谱技术鉴别单个种子正常与非正常颗粒的可行性进行测试, 表明鉴别热损伤粒的准确性, 并提出未来用近红外光谱分析检测种子损伤阈值的观点, 为近红外发展应用上提供支持。

采用可见光技术对粮食品质进行检测与分级也是近年来的研究重点。可见光图像检测技术将计算机视觉, 图像处理与模识别技术相结合, 能够准确的将粮食不完善粒识别检测。2015 年, Liu 等^[24]通过图像获取与智能相机相结合来识别虫害及霉变的大豆种子, 建立了一个神经网络分类模型, 平均识别准确率为 97.25%。并对 1000 粒不同受损种子大豆进行识别, 正常粒、霉变粒、虫蛀粒、皮表破损粒、断裂粒及部分有缺陷的颗粒平均准确率分别达到了 99.24%、98.2%、96.4%、85.6%、92.4% 和 85.2%。该实验对于精确选择大豆或其他农作物种子的发展具有重要意义, 也进一步肯定了可见光技术在粮食品质检测中的应用。

此外, 2014 年, 陈赛赛等^[25]建立了小麦不完善粒、杂质、不同容重小麦完整籽粒的识别和检测模型, 该模型对完善粒、破损粒、病斑粒和虫蚀粒的判别正确率分别为 93%、98%、100% 和 90%, 整体判别正确率达到 93%, 完整籽粒图像的小麦容重整体识别率也在 95% 以上。该研究将小麦多种品质指标相结合, 为粮食品质分级提供又一个研究方向。2015 年, Suresh 等^[26]通过微 X 射线计算机断层扫描(CT)对生芽和虫害麦粒的籽粒特征进行探究, 进行三维可视化和定量分析, 并使用微 X 射线 CT 图像重建和图像处理算法进行处理。结果表明, 对于生物体如单个小麦颗粒的无损检测和显微组织结构, X 射线显微 CT 也是一种强大的工具。

3.1.4 霉变籽粒的识别

粮食霉变不仅降低粮食的营养和商品价值, 更重要的是影响粮食及其制品的可食性和安全性, 并且有些霉菌还能产生具有毒性的二级代谢产物, 严重影响粮食的品质安全, 因此, 将其作为粮食品质检测中的重要指标^[27]。

电子鼻技术在粮食霉变识别检测方面得到了广泛的研究^[28]。2011 年, 崔丽静等^[29]建立了电子鼻对霉变玉米和正常样品的识别模型, 并对传感器组合进行优化。优化后 Correlation 和 DFA 法的判别率都比优化前提高, 其中 Correlation 法达到 90.63%, 该模型对霉变样品的判别率远高于正常样品。但是由于电子鼻气敏传感器阵列部分大多数使用的是半导体氧化物, 高的工作温度也限制了其在粮食检测方面的应用。但是随着现代科技的发展, 新的技术的应用, 以及信号处理技术和模式识别方法的改进, 电子鼻将会在粮食品质检测中有一个更加广阔的前景。

2015年, Siripatrawan等^[30]开发了基于高光谱成像(HIS)的快速无损检测方法监测存储糙米腐败真菌的生长。对糙米中接种米曲霉的非致病性菌株,利用可行的菌落数米曲霉对水稻生长进行监测,使用扫描电子显微镜的真菌发育进行观察,并使用HSI系统获取图像信息。该研究提供了快速、非破坏性,并且有效的真菌检测系统的米粒科学信息。2015年, Kandpal等^[31]使用短波红外(SWIR)高光谱成像技术检测黄曲霉毒素污染的玉米粒。对玉米样品接种4种不同浓度的黄曲霉毒素 B_1 (AFB₁)浓度(10、100、500和1000 $\mu\text{g}/\text{kg}$),并对感染和对照样品用短波红外光谱系统进行扫描,观察到接种的样品AFB₁浓度增加的频谱的偏差。研究结果表明,短波红外光谱成像是一种快速、准确、非破坏性的检测技术。综上所述,在粮食霉变识别上,图像检测技术可以有效检测识别霉变籽粒,并且可以有效检测粮食籽粒的霉变程度,随着图像检测技术的发展,粮食霉变籽粒的识别会更加智能化。

3.2 粮食化学性指标检测

粮食成分检测是粮食分级的主要部分,水分、蛋白质、脂肪等是粮食的重要组成成分,也是人类的重要营养物质。粮食种类不同,化学组成及含量均不同,检测这些化学性指标是粮食质量评价的重要工作。

3.2.1 水分检测

常规检测水分方法主要还是采用恒重法和高温定时烘干法。2011年,周洲等^[32]探讨了用ASAE法、自定110、115和120 $^{\circ}\text{C}$ 恒重法和国标法来测定不同水分含量的大豆样品。综合得出,大豆完整籽粒可采用110 $^{\circ}\text{C}$ 恒重法测定其水分,且数据结果准确可靠。在油脂水分及挥发物的测定上,2007年,丁耀魁等^[33]应用卡尔费休法对油脂水分含量进行测定。结果表明,卡尔费休法测定油脂水分与国标法测定结果相近,且操作简便,重现性好,可以推广应用。

2010年我国颁布了小麦、稻谷、玉米的水分近红外标准测定方法,另外微波法、高频测水法也受到研究。2011年,曹玉华^[34]等利用微波法测定3种油料中水分、脂肪的含量。实验结果表明,油料种类不同,微波法测定水分的加热时间也不同。微波法测定油菜籽、花生、大豆的最佳条件为:功率为720 W,样品量为2.0 g左右,加热时间分别为9、8、7 min。测定结果与国标法相比相对误差在0.13%~4.24%之间。

基于电阻、电容等快速水分测定方法也得到研究及应用。2012年,Wang等^[35]依据单片机和电容传感器的原理来测量谷物水分含量,并对系统的信号处理电路进行详细的描述。实验结果表明,该系统具有较高的测量精度和良好的控制能力。2013年,刘哲等^[36]依据粮食水分与其电阻之间的相关性,开发了一套电阻式粮食水分在线检测仪。2014年,孙耀强等^[37]依据水分与电容式传感器之间的相关

性,开发了一套电容式粮食水分在线检测系统。两者均能够实现均能够对水分的精确测定。有些学者利用容重与水分之间的关系,实现容重与水分测定相结合。2014年,李洪莉等^[38]开发了一套基于容重的玉米水分在线检测装置,结果表明,容重检测误差在 ± 3 g以内,可以用于容重的测定;通过水分预测模型得到的水分的绝对误差最大2.5%,最小误差为0.1%。在检测精度要求较低时,该装置可作为干燥机出口处水分在线检测装置。

3.2.2 蛋白质含量的检测

蛋白质的测定主要采用凯氏定氮法,通过凯氏定氮仪、杜马斯燃烧定氮仪、氨基酸分析仪等已实现了仪器的自动化、半自动化测定。田培等^[39]通过优化的杜马斯燃烧法和凯氏定氮法来测定油料样品的粗蛋白含量,并比较了两者的测定结果。结果表明,杜马斯燃烧法的测定结果准确、并且重现性好,适用于油料样品粗蛋白含量检测。近红外光谱分析技术在蛋白质测定上已得到普遍关注,2010年我国颁布了5项粮食粗蛋白近红外测定方法。

近红外检测粮食成分含量的方法,已从实验室研究进化为生产和生活中进行定性和定量分析的主要工具。2009年,Tallada^[40]发明了一种能够快速检测粮食品质的单籽粒近红外设备,该设备与PLSR相结合使用,也可不同程度地检测出玉米中天然蛋白质、某些氨基酸和油等成分含量。2012年,王旭等^[41]采用了国产便携式近红外谷物分析仪快速测定小麦中蛋白质含量,建立了小麦蛋白质含量的近红外分析模型。结果表明该方法与国标法测定值之间并无显著性差异,可应用于优质小麦收购过程中蛋白质含量的快速测定。

2014年,李琳琳等^[42]采用近红外光谱分析技术建立了大豆蛋白质含量的近红外检测模型,并对最佳模型进行内部验证和外部验证。结果表明:所建立的大豆蛋白质含量的内部交叉验证相关系数分别为0.9471,外部验证相关系数为0.962,说明所建立的大豆蛋白质含量的近红外检测模型,可用于大豆成分的无损检测。随后,Lin等^[43]研究了大麦籽粒蛋白质含量和漫反射光谱之间的关系。结果表明,成功开发的GPC的大麦的校准模型可以适用于麦芽产业的品质控制,饲料加工和种子选育。Bagchi等^[44]通过优化近红外光谱技术,采用偏最小二乘(mPLSs)模型对粮食质量参数进行预测,通过对参考值和预测值进行 t 检验和相关回归分析证明了该试验中校正与预测模型的高精度性。可见,近红外在粮食蛋白质检测中一直是研究热点,主要集中于波段的选择,模型的建立优化等。随着近红外光谱技术的成熟,其在粮食育种及品质检测上可以成为一种有效的工具。

3.2.3 脂肪含量的检测

脂肪的测定主要采用经典索氏抽提法,现在自动索氏提取仪也普遍得到应用。2010年,林凯等^[45]探讨了采用酸水解-自动索氏提取仪测定食品脂肪含量的方法。样品在

酸水解仪中经盐酸水解后, 置于索氏提取仪中用有机试剂提取脂肪, 提取完毕后取出干燥称重即可获得结果。与国标法相比较, 2 种方法未见显著性差异。得出应用酸水解-自动索氏提取仪检测食品中脂肪的自动化程度高, 适用范围广、操作简便、并且准确、环保。2012 年, 方敏等^[46]通过原索氏抽提装置上加装恒温冷凝水系统, 对索氏抽提法进行改良。结果表明, 改良的索氏抽提法对油料种子含油量的测定具有更高的准确度和精确度。

核磁共振是基于原子核磁性的一种波谱技术, 是一种鉴定有机化合物结构和研究化学动力学等的现代仪器分析方法, 核磁共振快速测定方法用于油料、油粕中脂肪含量的测定^[47-49]。2006 年, 宋丹阳等^[50]建立核磁共振法测定大豆含油量的标准曲线, 并对 408 份大豆的含油量进行了分析。结果表明, 用脉冲核磁共振仪测定的含油量与索氏抽提法相比, 更加快速准确。因此, 该方法在大豆产业油脂含量测定上具有广阔的应用前景。

国家标准已经颁布脂肪含量的近红外测定方法, 将满足了生产、加工及流通等环节快速脂肪含量测定的需要。2014 年, 徐飞等^[51]通过热分析法建立了一种能够快速准确测定粮食中粗脂肪和粗蛋白含量的新方法。通过对玉米中粗脂肪和玉米样品的热分析图谱解析, 找出玉米粗脂肪分解的特征温度区间, 并用红外光谱进行验证。通过测定小麦、玉米或大豆的在特征温度区间的峰面积, 即可得到粗蛋白或粗脂肪的准确含量, 该方法准确、快速, 并具有较好的实用性。

4 总结与展望

统一规范的粮食质量检验方法和技术是保证数据准确及各质量标准顺利实施的基础。美国等发达国家一般采用官方认证、官方指定、统一采购、定期校正等手段, 规范粮油检验仪器设备。加拿大则通过标准样品和统一检验仪器设备为质量标准的实施提供保障。我国还尚未制定粮油检验专用仪器设备的认证制度, 仪器缺乏统一的技术标准, 导致不同仪器检验结果存在较大差异。在粮食物理特性指标的检测上, 用仪器代替人工检测一直是研究热点, 但在实际应用方面还是还在探索阶段。随着多种技术如高光谱、拉曼光谱、核磁共振、电子鼻和机器视觉技术等多种技术的发展与融合, 必将能够进一步提高对粮食物理特性指标的检测速度与精度^[52]。在成分检测上, 传统的检测方法与技术已经不能满足现代社会发展的需要, 国内外学者也在不断尝试新技术, 改善实验方法以及实验条件, 深入研究化学指标检测方法, 进一步加强加快化学成分检测技术的研究与应用。

我国粮食质量检验技术的基础研究和自主创新能力还很薄弱, 还处在跟踪学习发达国家先进技术阶段。目前粮食检测技术正朝着快速、高效、高准确性的方向快速发

展, 未来粮食检测的发展趋势是尽量以更多的仪器检测代替感官评价, 使感官指标仪器化、标准化、智能化。随着粮食检测与识别技术的完善与成熟, 我国粮食质量分级标准将会更加规范, 从而满足人们对粮食质量分级提出的越来越高的要求。

参考文献

- [1] 矫健. 中国粮食市场调控政策研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
Jiao J. Study on the regulation policy of Chinese grain market [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.
- [2] GB/T 1350-2009 稻谷[S].
GB/T 1350-2009 Paddy [S].
- [3] GB/T 1350-1999 稻谷[S].
GB/T 1350-1999 Paddy [S].
- [4] GB/T 1353-2009 玉米[S].
GB/T 1353-2009 Corn [S].
- [5] GB/T 1353-1999 玉米[S].
GB/T 1353-1999 Corn [S].
- [6] GB/T 1351-2008 小麦[S].
GB/T 1351-2008 Wheat [S].
- [7] GB/T 1351-1999 小麦[S].
GB/T 1351-1999 Wheat [S].
- [8] GB/T 1352-2009 大豆[S].
GB/T 1352-2009 Soybean [S].
- [9] GB/T 1352-1999 大豆[S].
GB/T 1352-1999 Soybean [S].
- [10] GB/T 11762-2006 油菜籽[S].
GB/T 11762-2006 Rapeseed [S].
- [11] GB/T 11762-1989 油菜籽[S].
GB/T 11762-1989 Rapeseed [S].
- [12] 郭敏, 秦昕, 马苗. 基于图像处理的谷物检测与识别方法研究进展[J]. 中国粮油学报, 2012, 04: 123-128.
Guo M, Qin X, Ma M. Development of cereals detection and identification based on image processing [J]. J Chin Cereal Oil Assoc, 2012, 04: 123-128.
- [13] Zapotoczny P. Discrimination of wheat grain varieties using image analysis and neural networks. Part I. Single kernel texture [J]. J Cereal Sci, 2011, 54: 60-68.
- [14] Kurtulmus F, Ünal H. Discriminating rapeseed varieties using computer vision and machine learning [J]. Expert Syst Appl, 2015, 42: 1880-1891.
- [15] 潘艺. 小麦显微图像处理方法的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2011.
Pan Y. Study on processing method of wheat microscopic image [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2011.
- [16] 刘振宁, 张瑞静, 李登来. 不同生境野生大豆种子形态扫描电镜观察[J]. 农业与技术, 2015, 04: 24.
Liu ZN, Zhang RJ, Li DL. Electron microscopy scanning of wild soybean seeds morphological in different habitats [J]. Agric Technol, 2015, 04: 24.
- [17] 谷玉娟, 陈志成, 苏东民. 彩色小麦的理化特性及麸皮粉的品质评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 06: 2262-2268.
Gu YJ, Chen ZC, Su DM. The quality evaluation of the physicochemical properties and bran powder for color wheat [J]. J Food Saf Qual, 2015, 06:

- 2262-2268.
- [18] 胡桂仙, 王建军, 王小骊, 等. 粮油品质检测评价新技术的研究进展及展望[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(3): 110-113.
Hu GX, Wang JJ, Wang XL, *et al.* Research progress and prospect of measuring and evaluating new technology for the quality of oil [J]. J Chin Cereal Oil Assoc, 2011, 26(3): 110-113.
- [19] Igathinathane C, Pordesimo LO, Batchelor WD. Major orthogonal dimensions measurement of food grains by machine vision using image [J]. Food Res Int, 2009, 42: 76-84.
- [20] Cassandra K, Walkera B, Joseph F, *et al.* Measuring volume and density of a barley grain using ellipsoid approximation from a 2-D digital image [J]. J Cereal Sci, 2012, 55(1): 61-68.
- [21] 张浩, 李和平, 叶娟. 小麦籽粒外观形态特征测定技术研究[J]. 粮食与饲料工业, 2013, 03: 7-9.
Zhang H, Li HP, Ye J. Study on the characteristics of the wheat kernel appearance [J]. Food Feed Ind, 2013, 03: 7-9.
- [22] Singha CB, Jayasa DS, Paliwala J, *et al.* Detection of insect-damaged wheat kernels using near-infrared hyperspectral imaging [J]. J Stored Prod Res, 2009, 45(3): 151-158.
- [23] Ageleta LE, David D, Duvick S, *et al.* Feasibility of near infrared spectroscopy for analyzing corn kernel damage and viability of soybean and corn kernels [J]. J Cereal Sci, 2012, 55(2): 160-165.
- [24] Liu DJ, Ning XF. Discriminating and elimination of damaged soybean seeds based on image characteristics [J]. J Stored Prod Res, 2015, 60: 67-74.
- [25] 陈赛赛. 小麦质量指标机器视觉技术研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014.
Chen SS. Research on machine vision technology of wheat quality index [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2014.
- [26] Suresh A, Neethirajan S. Real-time 3D visualization and quantitative analysis of internal structure of wheat kernels [J]. J Cereal Sci, 2015, 63: 81-87.
- [27] 郭卫. 粮食霉变过程品质变化及毒素识别初探[D]. 郑州: 河南工业大学, 2011.
Guo W. Study on grain quality changes and recognition of mildew toxin for grain molding process [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2011.
- [28] 吴莉莉, 林爱英, 郑宝周, 等. 电子鼻检测技术在粮食霉变识别中的应用研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 21: 10133-10135.
Wu LL, Lin AY, Zheng BZ, *et al.* Application of electronic nose detection in the identification of grain mildew [J]. Anhui Agric Sci, 2009, 21: 10133-10135.
- [29] 崔丽静, 周显青, 林家永, 等. 电子鼻快速判别玉米霉变技术研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 10: 103-107.
Cui LJ, Zhou XQ, Lin JY, *et al.* Study on the rapid identification technology of corn mildew by the electronic nose [J]. J Chin Cereal Oil Assoc, 2011, 10: 103-107.
- [30] Siripatrawan U, Makinob Y. Monitoring fungal growth on brown rice grains using rapid and non-destructive hyperspectral imaging [J]. Int J Food Microbiol, 2015, 199: 93-100.
- [31] Kandpal LM, Lee S, Moon S, *et al.* Short wave infrared (SWIR) hyperspectral imaging technique for examination of aflatoxin B₁ (AFB₁) on corn kernels [J]. Food Control, 2015, 51: 171-176.
- [32] 周洲, 李红, 何海艳. 大豆水分含量测定方法的改进探讨[J]. 安徽农业科学, 2011, 31: 19594, 19663.
Zhou Z, Li H, HE HY. Improvement of determination method of moisture content in soybean [J]. Anhui Agric Sci, 2011, 31: 19594, 19663.
- [33] 丁耀魁, 杜海波. 卡尔费休法在油脂水分测定中的应用[J]. 粮油食品科技, 2007, 02: 29-30.
Ding YK, Du HB. Application of Carle's method in the determination of oil and moisture content [J]. Oil Food Technol, 2007, 02: 29-30.
- [34] 曹玉华, 杨慧萍, 王永向. 微波法测定油料水分和脂肪含量的研究[J]. 粮食储藏, 2011, 02: 41-43.
Cao YH, Yang HP, Wang YX. Study on the determination of water and fat content of oil by microwave method [J]. Grain Stor, 2011, 02: 41-43.
- [35] Wanga WC, Wang L. Design of moisture content detection system [J]. Phys Procedia, 2012, 33: 1408-1411.
- [36] 刘哲. 粮食水分在线检测仪的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2013.
Liu Z. Study on the on-line measurement of grain moisture content [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2013.
- [37] 孙耀强. 电容式粮食水分在线检测仪的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2014.
Sun YQ. Study on the on-line measuring instrument of capacitive grain moisture [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2013.
- [38] 李洪莉. 基于容重的玉米水分在线检测装置的研制[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
Li HL. Development of on-line detection device for corn moisture based on bulk density [D]. Changchun: Jilin University, 2014.
- [39] 田培, 马飞, 姜俊等. 杜马斯燃烧法测定油料粗蛋白含量[J]. 中国油料作物学 报, 2012, 06: 650-654.
Tian P, Ma F, Jiang J *et al.* Determination of crude protein content of oil by Dumas [J]. J Chin Oil Crops, 2012, 06: 650-654.
- [40] Tallada JG, Palacios-Rojas N, Armstrong PR. Prediction of maize seed attributes using a rapid single kernel near infrared instrument [J]. J Cereal Sci, 2009, 50(3): 381-387.
- [41] 王旭, 张凤清, 林家永, 等. 便携式近红外谷物分析仪快速测定小麦蛋白质的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2012, 01: 13-17.
Wang X, Zhang FQ, Lin JY, *et al.* Rapid determination of wheat protein by portable near infrared grain analyzer [J]. Food Feed Ind, 2012, 01: 13-17.
- [42] 李琳琳, 金华丽, 崔彬彬, 等. 基于近红外透射光谱的大豆蛋白质和粗脂肪含量快速检测[J]. 粮食与油脂, 2014, 12: 57-60.
Li LL, Jin HL, Cui BB, *et al.* Fast detection of soybean protein and crude fat content based on near infrared transmission spectroscopy [J]. Grain Oil, 2014, 12: 57-60.
- [43] Chen L, Xue C, Lei J, *et al.* Determination of grain protein content by near-infrared spectrometry and multivariate calibration in barley [J]. Food Chem, 2014, 162: 10-15.
- [44] Bagchia TB, Sharma S, Chattopadhyay K. Development of NIRS models to predict protein and amylose content of brown rice and proximate compositions of rice bran [J]. Food Chem, 2016, 191: 21-27.
- [45] 林凯, 陈裕华, 陈卫, 等. 食品中总脂肪的酸水解-自动索氏提取仪测定方法研究[J]. 现代预防医学, 2010, 15: 2885-2886, 2893.
Lin K, Chen YH, Chen W, *et al.* Study on determination method of total fat in food by acid hydrolysis and automatic extraction [J]. Mod Prev Med, 2010, 15: 2885-2886, 2893.
- [46] 方敏, 丁小霞, 李培武, 等. 索氏抽提测定含油量的方法改良及其应用

- [J]. 中国油料作物学报, 2012, 02: 210–214.
- Fang M, Ding XX, Li PW, *et al.* Improvement of the method and application for determining oil content by cable extraction [J]. *J Chin Oil Crops*, 2012, 02: 210–214.
- [47] 齐银霞, 成坚, 王琴. 核磁共振技术在食品检测方面的应用[J]. *食品与机械*, 2008, 06: 117–120.
- Qi YX, Cheng J, Wang Q. Application of nuclear magnetic resonance technique in food detection [J]. *Food Mach*, 2008, 06: 117–120.
- [48] Massimo F, Wang SN, Albabish W, *et al.* Diverse food-based applications of nuclear magnetic resonance (NMR) technology [J]. *Food Res Int*, 2013, 51(2): 729–747.
- [49] Chelladurraia V, Karuppiaha K, Jayasa DS, *et al.* Detection of *Callosobruchus maculatus* (F.) infestation in soybean using soft X-ray and NIR hyperspectral imaging techniques [J]. *J Stor Prod Res*, 2014, 57: 43–48.
- [50] 宋丹阳, 李培武. 脉冲核磁共振仪在大豆含油量测定中的应用[J]. *中国油料作物学报*, 2006, 02: 199–202.
- Song DY, Li PW. Application of pulsed NMR spectrometer for determination of oil content in soybean [J]. *J Chin Oil Crops*, 2006, 02: 199–202.
- [51] 徐飞. 热分析法测定粮食粗蛋白和粗脂肪含量的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014.
- Xu F. Study on the content of grain crude protein and fat by the thermal analysis method [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2014.
- [52] 韩东海. 无损检测技术在食品质量安全检测中的典型应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2012, 05: 400–413.
- Han DH. The typical application of nondestructive testing technology in food quality and safety testing [J]. *J Food Saf Qual*, 2012, 05: 400–413.

(责任编辑: 金延秋)

作者简介



魏孟辉, 硕士研究生, 主要研究方向为食品安全。

E-mail: wmhyw_mh@163.com



袁建, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为食品质量安全评价与控制、粮油深加工。

E-mail: yjian_nj@163.com