

种子净度分析检验新技术研究进展

——基于声学、机器视觉与光学技术的多学科交叉应用

刘亚洁 韩云华

(兰州大学草地农业科技学院 / 农业农村部牧草与草坪草种子质量检验检测中心(兰州) /
草业科学国家级实验教学示范中心,甘肃兰州 730020)

摘要:净度指种子干净整洁的程度,是种子质量分级和综合评定的一项重要指标。对种子进行净度检验的工作称为净度分析。目前种子净度分析仍以人工操作为主,导致检验结果主观性较强,且费时费力,亟需利用新技术和新方法提高净度分析检验工作的效率、精确度和准确性。从声学特性检测、机器视觉以及光学特性检测技术方面梳理了国内外学者在种子净度分析检验领域的研究成果,以期对相关技术研究提供参考。

关键词:净度分析;种子检验;声学特性检测;机器视觉技术;光学特性检测

Research Progress on New Technologies for Seed Purity Analysis and Testing: Multidisciplinary Integration based on Acoustic, Machine Vision and Optical Technologies

LIU Yajie, HAN Yunhua

(College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University/Official Herbage and Turfgrass Seed Testing Center (Lanzhou), Ministry of Agriculture and Rural Affairs/National Demonstration Center for Experimental Grassland Science Education, Lanzhou 730020)

净度是指从供检种子样品中去除其他植物种子和杂质后,净种子占供检样品的重量百分率,该指标反映了种子干净整洁程度,可用于评价供检样品所代表种批的播种适用性。在生产、销售和使用中,净度指标连同发芽率、含水量等用于对种子质量进行分级及综合评定。净度分析指可借助于相关器具,对种子净度进行规范化、标准化检验的流程,并通过检测结果得到净种子、其他植物种子和杂质 3 种成分的重量百分率,同时对分离出的其他植物种子进

行鉴定判断其所在种属,并写明杂质种类。通过净度分析可以推断供检样品所属种批的组成情况,根据得到的净种子重量百分率,可以推测该种子批中可用于播种或其他用途种子的真实占比,为客观评估其种用价值提供数据支撑,并连同其他指标确定实际播种量。其次,有毒有害杂草混在种子中,人畜食用后会发生中毒现象,特别是检疫性杂草种子如菟丝子属、列当属、毒麦和假高粱等危害更大,因此基于检测出的其他植物种子种类和含量,可评估该种子批的潜在危害,并判断是否适于播种。杂质会导致种子发热,影响种子的贮藏安全和流动性,降低了其生活力和成苗率,明确种子批中杂质种类和含量,能为后续清选加工种子提供关键依据与处理

基金项目:2024 年甘肃省高等教育教学成果培育项目;兰州大学教育教学改革重点研究项目(202315);兰州大学教育教学改革研究项目(CYJYXM-2023-1);兰州大学实验教学内容更新计划—草类植物种子学实验

建议^[1-2]。

目前,种子净度分析通常采用检验员借助放大镜等相关器具人工将供检样品分成各组成部分,检验员对净种子、其他植物种子和杂质的分类及鉴别很大程度上取决于个人工作经验,导致检验结果具有较强的主观性,有时甚至作出错误判断,并且费时费力,效率低下,可重复性差。随着种子检验检测技术的快速发展,一些高新技术开始应用于种子净度分析检验中,并逐渐显现出直接快速、省时省力、可客观真实评估种子质量的优势,这对于种业发展及种子研究具有重要意义和实际价值。本文梳理了国内外学者在种子净度分析检验领域的研究成果,分别对声学、机器视觉以及光学技术在种子净度分析检验中的研究现状进行总结,以期对相关技术研究提供理论支持和参考依据。

1 声学特性检测技术

声学特性检测技术是基于声音信号的相关特性,综合应用计算机科学、声学等多门学科对产品品质等进行检测的新技术,该技术无需破坏样品、检测响应速度快、无需复杂的工艺操作、全程无需化学试剂,同时具备高灵敏度的识别能力,已成功应用于坚果、小麦等农产品的品级鉴定和分级^[3]。

1.1 碰撞声检测技术 玉米种子在贮藏过程中经常出现虫蚀和霉变现象,严重影响其品质,梅亚敏等^[4]提取玉米种子完好粒、虫蚀粒和霉变粒降落到碰撞板时每个碰撞声信号的9类统计特征,包括方差、平均值、求和、中值等,以此为基础构造决策树,进而设计模糊推理系统的隶属函数和规则,构建好的分型系统可对玉米种子的上述3种颗粒进行识别,平均准确率达到了95.6%。可见决策树和模糊推理系统相结合的技术可用于筛选玉米虫蚀和霉变颗粒以提高种子净度,减少玉米霉变对人类和牲畜健康造成的危害。

1.2 空气耦合超声波检测技术 超声波是频率大于20000Hz的声波,具有在弹性介质中传播的特性,可以穿透种子样品对其内部结构情况进行无损评估检测。由于超声波频率高、波长短,具有穿透能力强、方向性好、容易集中收集的优势,且环境适应性强,除特殊领域外对操作人员无资质要求。空气耦合超声波除了具有上述同超声波一样的优势外,由于其耦合介质是空气,可以从根本上避免液体耦

合剂(如水或甘油)以及固体耦合剂对种子样本的潜在影响及损伤。基于空气耦合超声波检测技术,研究发现通过特定频率的超声波能够采集玉米种子完好粒、虫蚀粒和霉变粒的超声信号,经信号去噪、有效特征提取与识别模型建立,实现了对玉米种子中虫蚀和霉变颗粒的有效识别,准确率达到80%以上,并且安全可靠不损伤种子^[5]。在此基础上研制出了用于玉米种子净度分析的检测装置,该装置以空气耦合超声波信号采集设备为硬件,搭载基于识别模型构建的软件检测系统,实验结果显示该软件检测系统对不同类别及品种的玉米颗粒识别率均在80%以上,且稳定性良好,检测装置能够基本满足实际工作需求。

2 机器视觉技术

机器视觉技术是一门涉及人工智能、计算机科学、图像处理、模式识别等诸多领域的交叉学科,该技术主要通过计算机模拟人的视觉功能,利用采集设备如工业相机、摄像机等获取目标图像,再利用图像识别和分析技术等从中提取信息进行处理并加以理解,最终用于实际的检验检测、测量和控制等工作中。机器视觉技术可以减少或消除由感官差异造成的分析结果不一致现象,还可以感知人类生理器官不能识别的信息^[2]。作为一种多领域新型交叉学科,机器视觉技术近年来发展迅速,应用领域广泛。该技术可以从种子图像中获取颜色、大小、形态和纹理等参数信息,结合图像处理算法对上述参数进行分析并构建模型,具有计算能力强、快速、无损和便捷等优势,目前已逐步应用于种子净度分析^[6]。

从20世纪80年代开始,国外学者就率先将机器视觉技术应用于种子净度分析检验中,通过机器和人工测量黑麦草和高羊茅种子长、宽和厚,并对结果进行比较分析,发现机器识别速度是人工的3倍^[7]。Zayas等^[8]通过将图像分析技术与小麦硬度物理测量相融合,实现了对批量小麦样品的快速检测,对其中混杂的多米尼克虫、多种草籽及杂质的检出率均高于90%。康凯等^[9]通过自制的采集装置分别获取小麦、燕麦、大麦种子,以及混杂在小麦样本中的麦壳等杂质的图像,通过软件选取13个形态相关特征,如长度、面积、矩形度、最大直径等,并基于皮尔逊相关性分析从特征数据中筛选出有效指标,分别采用支持向量机(SVM)算法以及支持向量

数据描述(SVDD)算法对小麦净度分析建模,并进行试验验证。结果表明:基于SVDD算法的小麦净度检测方法可以快速对小麦及其混合的多种其他植物种子和杂质进行分类,提高了小麦种子净度分析的速度和效率。

此外,还可以使用机器视觉技术在净度分析中对破损种子进行检测和筛选。Zayas等^[10]运用该技术筛选出种子形状和大小特征作为机器视觉判别的可靠指标,基于上述指标可区分小麦种子中的完整粒和破损粒,有效率达到94%。Luo等^[11]对加拿大西部红粒春小麦的健康籽粒和6类损伤籽粒进行机器视觉分析,研究证明通过颜色特征可以对健康籽粒和损伤籽粒进行有效识别,再综合运用形态特征可提高识别准确度和精确度,基于此研发了一套可依据颜色和形态特征对健康籽粒和破损籽粒进行识别的软件。应用该技术,根据种子大小、形状特征差异还可以对棉花种子中破损种子进行识别,识别率达94%^[12]。通过采集玉米种子完整粒、霉变粒及破损粒的RGB图像,从中提取颜色特征参数,以及周长、面积等形状特征参数,筛选有效参数作为输入项,并采用多种机器学习方法训练分类器,最终选取性能最优的分类器用于实验验证,实现了对玉米种子的快速检测,以及对正常、霉变和破损粒的自动分选^[13]。

除了农作物种子,该技术也逐步应用于药用植物种子净度分析中。以黄芩、桔梗、黄芪、紫苏和柴胡5种中药材种子为研究对象,利用扫描仪和种子自动化分析系统扫描并提取每粒净种子、其他植物种子和杂质的物理指标,包括颜色、尺寸及纹理共计54个。基于相关性分析和主成分分析剔除无效变量,利用有效变量构建了用于样品3种成分的分类模型,实现了对上述中药材种子的快速净度检测^[14]。

3 光学特性检测技术

光学特性检测技术是基于不同种类种子在不同波长的光辐射(如反射、折射、散射或吸收)下,产生响应差异,用于鉴别种子,并测定其化学组成及其各组分相对含量^[15]的检测方法。

3.1 近红外光谱技术 近红外光谱介于可见光和中红外光之间,属于非可见光区域,波长范围在780~2560nm,是一种主要由于非谐振性使分子从基

态向高能级跃迁时产生的振动光谱,具有较强的穿透能力。近红外光谱技术通过研究近红外光对含氢基团振动的倍频和合频吸收,从而分析有机物的组成和分子结构信息,并确定组分含量,该技术既可用于定量分析也可用于定性分析。在种子净度分析中,通过图像处理技术提取种子的轮廓特征,进而结合该技术对样本波谱信息的系统分析,构建近红外光谱识别模型数据库,最终实现对种子的准确分类与鉴别^[16]。Ravikanth等^[17]使用该技术对混有大麦、玉米及谷壳等多种其他植物种子和杂质的小麦样本进行检测,并通过建立分类模型对小麦进行净度分析。

3.2 高光谱成像技术 高光谱成像技术通过在紫外、可见、近红外以及波长大于2560nm的波段范围内获得成百上千张连续单波段灰度图像,对这些图像进行叠加合并为高光谱图像,其包含的图像信息和光谱信息从外观和内部可以分别反映出被测样品的形态学特征、物理结构和化学成分,进而综合评价被测样品的内外部特性^[18]。目前高光谱成像技术已广泛应用于农产品无损检测领域,在种子净度分析中,主要是利用不同种类种子及杂质间的光谱特征差异,通过该技术实现目标种子与非目标成分的准确识别与区分。利用高光谱成像系统,能够有效分辨小麦、大麦、玉米这些谷物中混杂的如谷壳和稻草等杂质,并在400~900nm波长范围内筛选出5个特征波段,用来实现对这些混杂物的识别及检测^[19]。Ravikanth等^[20]利用高光谱成像技术对小麦及其中混杂的其他植物种子(如大麦、玉米、亚麻籽、燕麦、黑麦和大豆等)以及杂质(如谷壳、石头、破损种子等)进行分辨,精确度最高可达95%以上。夏超^[21]采用SVDD算法并结合高光谱图像对小麦构建分类模型,从而实现了对小麦不完整粒的筛选。玉米种子在加工过程中机器会造成种子破损,降低净度,针对该问题,赵懿滢^[22]通过采集玉米多个品种的完整种子、损伤种子的高光谱图像,采用连续投影算法提取光谱特征,并结合灰度共生矩阵提取纹理特征。将光谱和纹理特征融合后,建立了基于融合特征的卷积神经网络-双向长短期记忆模型,试验结果表明基于高光谱成像技术的该玉米种子无损识别模型可以有效识别、剔除玉米种子批中的损伤种子。

3.3 多光谱成像技术 多光谱成像技术的原理是利用特定的光学系统和成像设备,提取研究对象在多个光谱波段的图像,再通过建模对这些图像进行处理以获得研究对象的形态学信息和空间分布数据。目前,用于种子学的多光谱成像设备主要为 Videometer 多光谱表型成像系统,该设备有多种型号规格,其内部采用涂覆白色钛涂层的空心积分球结构,能实现均匀散射光场、高效扩散效果以及最小镜面反射率。积分球体内部赤道位置安装有若干个波长非均匀分布的单色 LED 二极管阵列,光谱范围覆盖紫外到近红外。在获取多光谱图像前系统会使用附带的白板和黑板进行校准。在工作过程中,LED 二极管按照顺序间歇闪烁,仪器顶部安装的 CCD 相机同步采集对应波长下的样品单幅单色图像,待所有 LED 二极管依次完成照射和图像采集后,系统将获取的多幅图像叠加合成为一个包含多波段信息的光谱数据立方体。从整个光谱中提取与样品特征相关的波长波段建立多光谱成像系统的合适候选波段,分析提取的图像数据并建模,构建分类器,通过校正集对模型进行评价^[15,23]。

Wilkes 等^[24]通过在硬质小麦中分别掺杂不同比例的其他小麦品种,利用多光谱成像系统进行分析检测,结果表明图像分类识别结果与预设掺杂值高度吻合,说明该技术可用于对硬质小麦与掺杂的其他品种小麦进行区分,适用于样品掺杂的定量检测分析。此外,多光谱成像技术还可以用于净度分析中对破损种子的识别及分类。具体而言,收获后的甜菜种子需经标准化处理确保其形状和大小的均一性,但机械加工过程易造成种子损伤,导致其活力下降、萌发率降低及田间产量损失等,因此对损伤种子进行精准识别和剔除具有重要实践意义。试验表明通过多光谱成像技术构建甜菜种子 5 种损伤类型的分类模型,利用模型对 200 粒种子样本进行分类,经统计平均准确率达到 82%,这一结果证实,该技术可有效实现甜菜种子机械损伤的定性识别与定量分析,在种子质量评估领域有良好的应用前景^[25]。

4 结语

随着科学技术的快速发展,在国家高度重视种业发展与种子质量检验检测技术的驱动下,种子净度分析检验已从传统单一的人工操作模式,逐步发

展为融合声学、计算机科学、光学等多学科交叉,涵盖多领域、全方位、综合性的现代化研究方法体系。不同方法存在各自优缺点,声学特性检测技术无损快速、操作简单,但识别准确率不高;机器视觉技术可以很好地获取种子特征,但会受到背景、噪声等因素的干扰;光学特性检测技术方便直观,但对仪器精度要求较高,且由于使用的仪器设备价格昂贵,严重影响该技术的应用推广。因此,未来种子净度分析检验应主要围绕解决相关技术难题、开发实用的检测系统、从实验室走向实际应用等方面展开,以提高种子检验检测效率、精确度、准确性和稳定性,为促进我国种业繁荣发展奠定基础。

参考文献

- [1] 毛培胜. 牧草种子学. 北京:中国农业大学出版社,2021
- [2] 胡晋. 种子检验学. 北京:科学出版社,2015
- [3] 梅亚敏,郭敏. 基于碰撞声信号的农产品品级检测技术综述. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(4):213-219
- [4] 梅亚敏,郭敏. 基于决策树和模糊逻辑的玉米颗粒分类研究. 华中师范大学学报:自然科学版,2013,47(4):496-500
- [5] 晋艳云. 玉米种子净度超声波检测方法及其装置研究. 北京:中国农业大学,2016
- [6] 孙群,王庆,薛卫青,马哈煦,孙宝启,谢宗铭. 无损检测技术在种子质量检验上的应用研究进展. 中国农业大学学报,2012,17(3):1-6
- [7] Churchill D B, Bilsland D M, Cooper T M. Comparison of machine vision with human measurement of seed dimensions. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1992, 35(1):61-64
- [8] Zayas I Y, Flinn P W. Detection of insects in bulk wheat samples with machine vision. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1998, 41(3):883-888
- [9] 康凯,张晗,刘长斌,王成,罗斌. 基于 SVDD 的小麦净度检测方法研究. 中国粮油学报,2023,38(7):191-198
- [10] Zayas I Y, Martin C R, Steele J L, Dempster R E. Image texture analysis of crushed wheat kernels. Proceedings of the International Society for Optical Engineering, 1992, 1615:203-215
- [11] Luo X, Jayas D S, Symons S J. Identification of damaged kernels in wheat using a colour machine vision system. Journal of Cereal Science, 1999, 30(1):49-59
- [12] 李伟,于振东,陈涛,荀一. 基于形态学的棉花种子破损检测. 农业机械学报,2009,40(4):169-172
- [13] 王超鹏. 基于机器视觉与光谱成像技术的玉米种子品质检测与分选. 杨凌:西北农林科技大学,2017
- [14] 程堂,许亚男,侯浩楠,宁翠玲,杨成民,董学会,曹海禄,孙群. 基于机器视觉技术的小粒中药材种子净度快速检测. 中国农业大学学报,2022,27(5):114-122

DOI:10.19462/j.cnki.zgzy.20250831001

黄淮麦区水地广适小麦品种主要特征特性分析

李西臣¹ 邓跟望¹ 苏永杰² 王向杰² 曹廷杰³¹河南华冠种业有限公司,鹿邑 477200;²河南省鹿邑县农业农村局,鹿邑 477200;³河南省农业科学院,郑州 455000)

摘要:黄淮麦区作为我国小麦核心主产区,近年来审定品种数量大幅增加,但品种间推广面积差异显著。基于该区域生态特征与品种利用现状,系统分析水地广适小麦品种特征特性,明确其需通过多环境检验,重点需具备较好抗倒性、一定耐旱性、适宜成熟期、合理产量结构及特殊区域适应性五大关键特性。同时指出,配套栽培技术是推动品种大面积应用的重要保障,而改良茎秆质量与优化根系发育是未来育种的核心方向。

关键词:黄淮麦区;水地小麦;广适品种;品种特性;育种方向;栽培技术

Analysis of Major Characteristics and Traits of Widely Adapted Wheat Varieties for Irrigated Conditions in the Huang-Huai Wheat Region

LI Xichen¹, DENG Genwang¹, SU Yongjie², WANG Xiangjie², CAO Tingjie³¹Henan Huaguan Seed Industry Co., Ltd., Luyi 477200, Henan; ²Luyi County Agriculture and Rural Bureau, Luyi 477200, Henan;³Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 455000)

黄淮麦区是我国小麦生产的核心区域,常年种植面积约 1333 万 hm^2 ,其生产水平直接关乎国家粮食安全。该区域生态条件特殊,整体水资源匮乏且

季节分布不均,小麦生长季与自然降水匹配度低,尤以春季降水不足问题突出。随着农业生产模式转型与劳动力成本上升,生产对小麦品种提出了广适性与高效性的双重要求,即在适应区域生态差异的同时,实现节本增效。

通信作者:曹廷杰

- [15] 杨凌杰. 基于多光谱成像的草种质量检测. 兰州: 兰州大学, 2021
- [16] 吕巨智, 石达金, 唐国荣, 覃永媛, 李发桥, 钟昌松, 邓锡肖. 近红外光谱技术在玉米种子质量检验上的应用研究进展. 种子科技, 2020, 38 (13): 12-13
- [17] Ravikanth L, Singh C B, Jayas D S, White N D G. Performance evaluation of a model for the classification of contaminants from wheat using near-infrared hyperspectral imaging. Biosystems Engineering, 2016, 147: 248-258
- [18] 张伏, 张朝臣, 陈自均, 滕帅, 徐锐良. 光谱检测技术在种子质量检测中的应用. 中国农机化学报, 2021, 42 (2): 109-114
- [19] Wallays C, Missotten B, Baerdemaeker J D, Saeys W. Hyperspectral waveband selection for on-line measurement of grain cleanness. Biosystems Engineering, 2009, 104 (1): 1-7
- [20] Ravikanth L, Singh C B, Jayas D S, White N D G. Classification of contaminants from wheat using near-infrared hyperspectral imaging.

- Biosystems Engineering, 2015, 135: 73-86
- [21] 夏超. 种子纯度的高光谱图像无损检测方法研究. 无锡: 江南大学, 2021
- [22] 赵懿滢. 基于高光谱成像技术的作物种子质量无损检测方法研究. 杭州: 浙江大学, 2021
- [23] 岳佳铭, 丛晓翔, 李曼莉. 多光谱成像技术在种子质量检测研究中的应用. 种子, 2021, 40 (10): 129-135
- [24] Wilkes T, Nixon G, Bushell C, Waltho A, Alroichdi A, Burns M. Feasibility study for applying spectral imaging for wheat grain authenticity testing in Pasta. Food and Nutrition Sciences, 2016, 7 (5): 355-361
- [25] Salimi Z, Boelt B. Classification of processing damage in sugar beet (*Beta vulgaris*) seeds by multispectral image analysis. Sensors, 2019, 19 (10): 2360

(收稿日期: 2025-09-08)