

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.06.015

张越, 路雪蕊, 李树朋, 等. 小麦不完善粒快速检测仪器研究[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(6): 124-129.

ZHANG Y, LU X R, LI S P, et al. Research on the instrument for rapid detection of unsound wheat kernels[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(6): 124-129.

小麦不完善粒快速检测仪器研究

张越¹, 路雪蕊¹, 李树朋², 孙媛媛¹, 付倩慧¹, 胡传良¹, 申志雄¹, 高岩¹✉

(1. 北京东孚久恒仪器技术有限公司, 北京 102629;

2. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮油质量检验检测中心, 北京 100037)

摘要: 采用图像分析技术与自动控制技术, 将人工智能技术应用于小麦不完善粒检测, 研究开发了小麦不完善粒指标的自动快速无损检测仪器。通过验证该仪器检测小麦不完善粒的准确性、重复性、稳定性、台间差等相关性能参数, 结果表明: 该仪器检测性能稳定, 准确性、重复性、稳定性、台间差均符合行业标准要求, 操作简单, 检测速度快, 克服了人工检测主观性强、重复性差、不同人员间检验一致性较差等问题, 可实现小麦不完善粒的自动快速无损检测, 能够满足粮食收储企业、加工企业和检测机构的检测需要。

关键词: 小麦不完善粒检测仪; 小麦不完善粒; 准确性; 重复性; 稳定性; 台间差

中图分类号: TS210.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2022)06-0124-06

网络首发时间: 2022-11-07 10:16:39

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20221104.1628.006.html>

Research on the Instrument for Rapid Detection of Unsound Wheat Kernels

ZHANG Yue¹, LU Xue-rui¹, LI Shu-peng², SUN Yuan-yuan¹, FU Qian-hui¹,
HU Chuan-liang¹, SHEN Zhi-xiong¹, GAO Yan¹✉

(1. Beijing Dongfu Jiuhe Instrument Technology Co., Ltd., Beijing 102629, China;

2. Quality Inspection and Analysis Center of Grain and Oil, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 10037, China)

Abstract: By using image analysis technology and automatic control technology, the artificial intelligence technology was applied to the detection of unsound wheat kernels. The automatic, rapid and nondestructive detection instrument for unsound wheat kernels was developed. Through the verification of accuracy, repeatability, stability, difference between two instruments and other related performance parameters, the results showed that the instrument had stable performance. The accuracy, repeatability, stability and difference between two instruments met the requirements of industry standards. The operation was simple, and the detection speed was fast. It can overcome the problems of strong subjectivity, poor repeatability and poor inspection consistency among different personnel with manual checking, achieving the automatic and rapid nondestructive testing of unsound wheat kernels, and meeting the testing demand of grain collection

收稿日期: 2022-06-20

基金项目: 中央级公益性基本科研业务费专项 (JY2006)

Supported by: Fundamental Research Funds of non-profit Central Institutes (No. JY2006)

作者简介: 张越, 女, 1989年出生, 硕士, 工程师, 研究方向为粮油品质检测仪器应用研发。E-mail: ZY1034464977@163.com.

通讯作者: 高岩, 男, 1984年出生, 双学位学士, 工程师, 研究方向为粮油质量安全检测仪器应用研发。E-mail: nameyan88@163.com.

and storage enterprises, processing enterprises and inspection agencies.

Key words: unsound wheat kernels detector; unsound kernels of wheat; accuracy; repeatability; stability; difference between two instruments

小麦作为我国第二大农作物,是我国人民最重要的口粮之一,其质量安全关乎国家发展的稳定大局。而小麦不完善粒含量是其收储环节质量检验、定等分级的重要指标之一。目前国内普遍采用国标 GB/T 5494—2019《粮油检验 粮食、油料的杂质、不完善粒检验》^[1]进行人工挑选检验,耗时费力,检验人员靠经验来评判,一定程度上存在主观性强,重复性差,不同人员间检验一致性较差等问题,不能很好地满足粮食普查、收购现场等大量样本的快速检测需求。

上世纪90年代,基于图像分析技术的小麦不完善粒识别在国外率先起步,前期的研究是长、宽、面积等形态特征的识别,随后是纹理、颜色特征的机器视觉识别技术,近年来,利用神经网络的人工智能图像识别研究成为了研究热点。国内在近十年也开展了小麦不完善粒图像识别的诸多研究,2012年,陈丰农^[2]根据小麦的形态、颜色、纹理特征,使用主成分分析+支持向量机算法进行不完善粒的分类识别,开发了一台小麦不完善粒自动检测样机。2015年,陈赛赛^[3]在 Matlab 软件平台的基础上,开发了小麦不完善粒图像分析系统,实现小麦籽粒机器视觉的质量检测。2017年,曹婷翠^[4]通过设计小麦双面识别方案,有效降低了小麦不完善粒识别的错误率,准确率达到了90%。2021年,朱俊松^[5]构建BP神经网络模型,对小麦外观品质进行分类识别,准确率高达97%。以上学者的研究大多处于实验室的可行性探究阶段,没有形成可应用的标准方法和仪器。

目前,国内外也有基于图像识别和神经网络建模的小麦不完善粒检测仪器在推广,国外仪器对于国内小麦不完善粒检测的适用性不强且价格昂贵,国内仪器的检测性能指标大都还不能满足国内行业对于小麦不完善粒的检测精度和准确度要求,难以获得市场认可,所以一直未大量应用。

本文针对小麦不完善粒快速检测需求研发了一款快速检测小麦不完善粒专用仪器,采用人工智能图像识别技术,实现了小麦不完善粒指标的

自动快速无损检测,并通过了完整的性能测试,操作简便,轻便小巧,性能良好,准确度高,可用于小麦育种单位、收储企业、面粉加工厂、检测单位、粮食流通企业、食品加工企业和科研高校等的检测。

1 小麦不完善粒检测仪研制

1.1 工作原理

小麦不完善粒检测仪采用图像分析技术与自动控制技术,将人工智能技术应用于小麦不完善粒检测。仪器通过自动化操作进出料,定量平铺小麦籽粒到图像采集区域,搭配均匀的照明系统,采集双面小麦颗粒图像,经过图像分析系统、人工智能技术识别计算,得到样品的不完善粒类别及含量。

1.2 仪器结构

小麦不完善粒检测仪主要由定量进料装置、接料装置、双面漫反射照明装置、自动铺料装置、双面图像采集装置、图像处理分析软件系统和电路控制系统等组成。

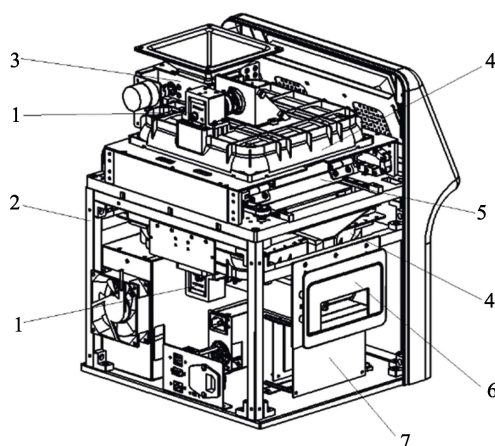


图1 小麦不完善粒检测仪结构示意图

Fig.1 The inside structure schematic drawing of unsound wheat kernels detector

1-双面图像采集装置; 2-架体; 3-定量进料装置; 4-双面漫散射照明装置; 5-自动铺料装置; 6-接料装置; 7-电路控制系统;
 1-two-sided image acquisition device; 2-frame body; 3-quantitative feeding device; 4-two-sided diffusion lighting device; 5-automatic spreading device; 6-collecting device; 7-electronic control systems;



图 2 小麦不完善粒检测仪
Fig.2 Unsound wheat kernels detector



图 3 小麦不完善粒检测界面
Fig.3 The interface of unsound wheat kernels detector

1.3 检测方法

小麦样品经过筛选去除杂质，混匀分样后取无异物的待测样品 150 g，直接放入进料口进行测试，仪器经自动分批铺料、双面图像采集、人工智能图像识别、图像分析后输出检测结果，从进料到结果显示仅需 8 min 即可得到小麦样品不完善粒的含量。

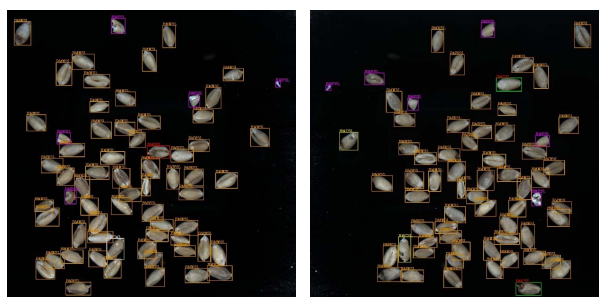


图 4 小麦籽粒的双面图像分析结果
Fig.4 The image analysis results of both side of wheat kernels

2 仪器性能测试

仪器的性能测试包含仪器的准确性、重复性、

台间差和稳定性测试等。

2.1 材料与方法

2.1.1 实验材料

小麦样品：共 30 个小麦样品，其中白麦样品 26 个，红麦样品 3 个，红麦和白麦互混小麦样品 1 个，不完善粒含量在 0%~20%。

2.1.2 仪器设备

小麦不完善粒检测仪 2 台套，JLWT150 型：北京东孚久恒仪器技术有限公司。

2.1.3 实验方法

(1) 人工定值方法：依据 GB1351—2008《小麦》^[6]和 GB/T 5494—2019《粮油检验 粮食、油料的杂质、不完善粒检验》^[1]对小麦样品进行不完善粒人工检验定值。

(2) 准确性、重复性、台间差和稳定性验证方法：依据 LS/T 6402—2017《粮油检验设备和方法标准适用性验证及结果评价一般原则》^[7]和 GB/T 6379.6—2009《测量方法与结果的准确度（正确度与精密度）第 6 部分：准确度值的实际应用》^[8]进行评价，检验是否符合标准中规定的要求。

①准确性：30 份试样在两台小麦不完善粒检测仪上分别重复测定 2 次，结果取均值，采用配对 t 检验法与人工检验值进行显著性差异分析。

②重复性：随机选用一台仪器，选用不完善粒含量高、中、低三个水平的白麦样品各 1 份，同一份试样重复测定 6 次。

③台间差：两台仪器分别对 30 份小麦样品进行双实验检测，采用配对 t 检验法比较两台仪器的小麦不完善粒含量检测结果是否存在显著性差异。

④稳定性：随机挑选一台仪器，选取不完善粒含量中等水平的白麦样品 1 个，连续重复测定 12 h，每小时测定 1 次。

2.2 结果与分析

2.2.1 准确性

采用粮食不完善粒检测仪和人工检验两种方法检测小麦不完善粒，共测定 30 个样品，考察仪器检验与人工检测定值结果之间是否存在显著性差异，检测结果见表 1 和表 2。

表1 仪器1准确性评价测试结果

Table 1 The accuracy test results of instrument 1

样品 编号	人工 定值	仪器1 测定值	差值 d_i	均值 \bar{d}	差值的标 准偏差 s_d	t_d	$T_{(0.05,29)}$
1	4.24	3.69	-0.55				
2	7.84	7.62	-0.22				
3	8.33	7.95	-0.37				
4	10.27	9.63	-0.64				
5	5.92	5.86	-0.06				
6	6.98	6.39	-0.59				
7	8.42	8.05	-0.38				
8	9.37	9.52	0.15				
9	6.57	6.15	-0.42				
10	11.34	9.93	-1.42				
11	12.71	10.58	-2.13				
12	10.65	9.66	-0.99				
13	5.91	6.30	0.39				
14	13.29	10.68	-2.61				
15	10.54	9.85	-0.69	0.05	1.30	0.22	2.045
16	7.86	6.94	-0.92				
17	7.30	10.20	2.90				
18	8.47	10.37	1.90				
19	9.10	11.71	2.61				
20	5.66	7.15	1.49				
21	1.45	2.36	0.91				
22	5.40	5.74	0.34				
23	3.60	3.93	0.34				
24	4.61	6.66	2.05				
25	18.78	17.34	-1.44				
26	9.27	10.75	1.47				
27	7.10	6.97	-0.12				
28	5.93	6.09	0.16				
29	6.64	6.05	-0.59				
30	4.32	5.36	1.04				

由表1和表2可知,仪器1的 $t_d=0.22$,仪器2的 $t_d=0.07$,查t分布表可知, $t_{(0.05,29)}=2.045$,仪器1和仪器2的 t_d 均小于 $t_{(0.05,29)}$,说明仪器1和仪器2的测定结果与国家标准方法(GB/T 5494—2019)^[1]的人工测定结果之间无显著性差异,仪器检测准确、可靠。

2.2.2 重复性

选用不完善粒含量低、中、高水平的样品各1个,每个样品重复测定6次,以评价仪器的检测重复性,实验结果见表3。

由表3可知,根据GB/T 5494—2019^[1]规定:

表2 仪器2准确性评价方法结果

Table 2 The accuracy test results of instrument 2

样品 编号	人工 定值	仪器2 测定值	差值 d_i	均值 \bar{d}	差值的标 准偏差 s_d	t_d	$T_{(0.05,29)}$
1	4.24	3.68	-0.56				
2	7.84	7.57	-0.26				
3	8.33	8.04	-0.28				
4	10.27	8.95	-1.32				
5	5.92	5.57	-0.35				
6	6.98	6.34	-0.64				
7	8.42	7.57	-0.85				
8	9.37	9.29	-0.08				
9	6.57	6.19	-0.38				
10	11.34	10.67	-0.67				
11	12.71	11.32	-1.39				
12	10.65	10.05	-0.60				
13	5.91	6.46	0.54				
14	13.29	11.80	-1.49				
15	10.54	9.57	-0.98	0.01	1.13	0.07	2.045
16	7.86	6.90	-0.96				
17	7.30	9.93	2.63				
18	8.47	10.18	1.70				
19	9.10	11.45	2.35				
20	5.66	6.79	1.13				
21	1.45	1.81	0.36				
22	5.40	6.26	0.86				
23	3.60	4.22	0.62				
24	4.61	6.22	1.61				
25	18.78	16.67	-2.11				
26	9.27	10.39	1.12				
27	7.10	7.48	0.39				
28	5.93	5.86	-0.07				
29	6.64	6.52	-0.12				
30	4.32	4.58	0.26				

在重复性条件下得到的两次独立测定结果的绝对差值不大于0.5%,即重复性限 $r \leq 0.5\%$,通过比较发现:三水平不完善粒含量的小麦样品极差值均 $<0.5\% < CrR_{95}(6) = 0.71\%$, X^2 值均 $< X^2_{0.95}(5) = 11.07$,说明该仪器测定的重复性极差、标准差和 X^2 值均未超过标准中规定的重复性要求,仪器重复性良好。

2.2.3 台间差

使用两台仪器分别对30个小麦样品进行检测,实验结果见表4。

由表4可知,两台仪器检测结果差值的 $t_d=0.45 < t_{(0.05,29)}=2.045$,说明两台仪器之间无显著性差异,台间差符合标准中的规定要求。

表 3 仪器重复性测试结果
Table 3 Repeatability test results

样品编号	测定次数	不完善粒/%	平均值	标准偏差 s	X^2	$X^2_{0.95}(5)$	极差
低	1	6.60	6.47	0.13	2.68	11.07	0.35
	2	6.43					
	3	6.29					
	4	6.47					
	5	6.64					
	6	6.41					
中	1	10.21	10.32	0.17	4.38	11.07	0.48
	2	10.58					
	3	10.31					
	4	10.43					
	5	10.10					
	6	10.31					
高	1	16.62	16.65	0.11	1.79	11.07	0.27
	2	16.72					
	3	16.60					
	4	16.74					
	5	16.74					
	6	16.47					

表 4 台间差测试结果

Table 4 Test results of the difference between two instruments

样品编号	设备 1	设备 2	差值 d_i	均值 d	差值的标准偏差 s_d	t_d	$T_{(0.05,29)}$
1	2.36	1.81	0.54	0.04	0.46	0.45	2.045
2	3.93	4.22	-0.29				
3	3.69	3.68	0.01				
4	5.36	4.58	0.78				
5	6.66	6.22	0.44				
6	5.74	6.26	-0.52				
7	7.15	6.79	0.36				
8	6.30	6.46	-0.15				
9	5.86	5.57	0.29				
10	6.09	5.86	0.23				
11	6.15	6.19	-0.04				
12	6.05	6.52	-0.47				
13	6.39	6.34	0.05				
14	6.97	7.48	-0.51				
15	10.20	9.93	0.27				
16	7.62	7.57	0.04				
17	6.94	6.90	0.04				
18	7.95	8.04	-0.09				
19	8.05	7.57	0.48				
20	10.37	10.18	0.19				
21	11.71	11.45	0.26				
22	10.75	10.39	0.35				
23	9.52	9.29	0.23				
24	9.63	8.95	0.68				
25	9.85	9.57	0.28				
26	9.66	10.05	-0.39				
27	9.93	10.67	-0.74				
28	10.58	11.32	-0.74				
29	10.68	11.80	-1.12				
30	17.34	16.67	0.67				

2.2.4 稳定性

选用不完善粒含量中水平的样品 1 个, 在 1 台仪器上连续 12 h 进行稳定性测试, 实验结果见表 5。

表 5 仪器稳定性测试结果
Table 5 Stability test results

测定次数	不完善粒含量/%	平均值	标准偏差 s	X^2	$X^2_{0.95}(12)$	极差
1	9.38	9.35	0.18	10.96	21.03	0.49
2	9.53					
3	9.25					
4	9.48					
5	9.34					
6	9.49					
7	9.13					
8	9.58					
9	9.54					
10	9.09					
11	9.11					
12	9.26					
13	9.29					

由表 5 可知, 小麦不完善粒稳定性测试的 $X^2=10.96 < X^2_{0.95}(12)=21.03$, 极差 $< CrR_{95}(13)=0.84\%$, 说明仪器检测结果的极差、标准差和 X^2 值均符合标准中规定的重复性要求, 仪器性能稳定。

3 结论

针对人工检验小麦不完善粒存在的耗时费力、人员专业要求高、检验结果一致性难以保证等问题, 研发的小麦不完善粒检测仪能够全自动进样、检测、计算, 检测过程无需人工干预, 操作简便快捷, 8 min 内完成 150 g 小麦样品检测, 有效节约时间和人力成本; 经验证仪器性能稳定, 重复性、稳定性、台间差性能优异, 符合 LS/T 6402 标准要求; 采用人工智能技术模型检测准确度高, 检验结果准确可靠, 与专业质检员水平无显著性差异。

总之, 采用仪器替代人工, 具有操作简便、识别精准可靠、检测快速等优点, 能够客观准确地检测小麦不完善粒的总含量, 满足行业小麦不完善粒快速检测需求。该仪器可广泛适用于收储单位、加工企业及质量检测机构对小麦的质量检

验和品质控制, 为小麦的分级定等提供高效的技术支撑, 保障小麦收购的质量安全, 具有良好的推广应用前景。

参考文献:

- [1] 粮油检验粮食、油料的杂质、不完善粒检验: GB/T 5494—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
Inspection of grain and oils-Determination of foreign matter and unsound kernels of grain and oilseeds: GB/T 5494—2019[S]. Beijing: China Standard Press, 2019.
- [2] 陈丰农. 基于机器视觉的小麦并肩杂与不完善粒动态实时检测研究[D]. 浙江大学, 2012.
CHEN F N. Real-time detection of kernel-like impurity and unsound kernel in wheat using machine vision[D]. Zhe jiang University, 2012.
- [3] 陈赛赛. 小麦质量指标机器视觉技术研究[D]. 河南工业大学, 2014.
CHEN S S. The research to discriminate wheat quality indicators using Machine Vision Technology[D]. Henan University of Technology, 2014.
- [4] 曹婷翠, 何小海, 董德良, 等. 基于 CNN 深度模型的小麦不完善粒识别[J]. 现代计算机(专版), 2017(36): 9-14.

- CAO T C, HE X H, DONG C L, et al. Identification of unsound kernels in wheat based on CNN deep model[J]. Modern Computer (special edition), 2017(36): 9-14.
- [5] 朱俊松. 基于机器视觉的小麦外观品质检测技术研究[D]. 江苏大学, 2021.
ZHU J S. Study on wheat appearance quality inspection based on machine vision[D]. Jiangsu University, 2021.
- [6] 小麦: GB 1351—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
Wheat: GB 1351—2008[S]. Beijing: China Standard Press, 2008.
- [7] 粮油检验设备和方法标准适用性验证及结果评价一般原则: LS/T 6402—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
Inspection of grain and oils-The general principle of standard adaptability verification and evaluation results for equipments and testing methods: LS/T 6402—2017[S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [8] 测量方法与结果的准确度(正确度与精密度)第 6 部分: 准确度值的实际应用: GB/T 6379.6—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results-Part 6 : Use in practice of accuracy values: GB/T 6379.6—2009[S]. Beijing: China Standard Press, 2009. 完

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。

· 公益宣传 ·

《粮食加工》2023 年征订启事

《粮食加工》杂志创刊于 1976 年, 1992 年为中文核心期刊, 被《中国知网》、超星数据、万方数据及维普信息网等数据库长年收录, 并以其学术性与实用性结合、内容详实、信息量丰富、发行面广、印刷精美, 在全国粮食行业具有很大的影响力。刊物主要栏目有论坛·粮食·加工、食品·研究、机械·设备、经济·产业·综合、仓储·物流、检测·分析等。

《粮食加工》为国内外公开发行, 双月刊(逢双月 1 日出版), 8 元/期, 全年定价: 48 元。国际标准 A4 开本, 全国各地

邮局均可订阅。CN61-1422/TS, 邮发代号: 52-202, 海外发行代号: BM2990。请直接搜索、添加粮食加工微信公众号。

地 址: 西安劳动路 138 号《粮食加工》杂志社
电 话: 029-88648175 传 真: 029-88631191
邮 编: 710082

E-mail: xibu98@sina.com lsjg2004@126.com

微信公众号: 粮食加工 杂志

网 址: [Http://www.lsjg.cn](http://www.lsjg.cn)