

不同扦样方案对储粮品质检验指标的影响

赵锦琦, 李梦瑶, 徐嵩月, 吴琼, 张玉荣*, 张咚咚*

(粮食储藏与安全教育部工程研究中心, 河南工业大学粮油品质检验与控制工程研究中心,
河南工业大学粮食和物资储备学院, 郑州 450001)

摘要: 目的 研究不同扦样方案对粮食品质检验工作的影响, 制定适合于当前我国储粮形式的扦样方案。**方法** 本研究以吉林、河南、辽宁、安徽等省份的小麦和玉米储备仓为实验仓, 采用不同的粮食扦样器、扦样方案进行扦样, 随后对所扦样品进行质量指标、储藏品质指标以及卫生指标的测定, 其中仓型涉及浅圆仓、房式仓以及立筒仓。**结果** 研究结果显示所使用电动吸入式扦样器杂质含量略高于套管式扦样器, 但数据差异性并不显著($P>0.05$)。所制定扦样方案中的分区设置检验单位、不同扦样顺序、点样比例对粮食品质指标的检验也没有显著性差异($P>0.05$)。**结论** 通过对不同省份、不同储备粮种、多种仓型的实仓扦样实验, 结果表明所采用的现代化扦样工具、优化的扦样方案并不会影响扦样样品的检验结果, 所获得的扦样数据有望为未来制定更加适合我国粮仓的扦样方案提供支撑。

关键词: 扦样方案; 粮食; 品质指标; 检验与分析

Effects of different sampling programs on grain storage quality inspection

ZHAO Jin-Qi, LI Meng-Yao, XU Song-Yue, WU Qiong, ZHANG Yu-Rong*, ZHANG Dong-Dong*

(Engineering Research Center of Grain Storage and Security of Ministry of Education, Engineering Research Center of Grain and Oil-seeds Quality Inspection and Control of Henan University of Technology, School of Food and Strategic Reserves, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

ABSTRACT: Objective To study the impact of different sampling programs on grain quality inspection, and formulate a sampling program suitable for the current form of grain storage in China. **Methods** In this study, rice, wheat and maize reserve storages in Jilin, Henan, Liaoning and Anhui Provinces were used as experimental storages. The grain reserve storages involved shallow-circular storehouse, horizontal warehouses and vertical silos, and different grain samplers and sampling protocols were used to take the samples, followed by the determination of quality inspection, storage quality and health indexes of the taken samples. **Results** The results of the study showed that the impurity content in grain collected by electric suction was marginally higher than the casing grain sampler,

基金项目: 国家自然科学基金项目(32001745)、中国科协第五届青年人才托举工程项目(2019QNRC001)、河南省级科技研发计划联合基金(科技攻关类)项目(222103810081)、国家现代农业产业技术体系岗位科学家(小麦贮藏)项目(CARS-03)

Fund: Supported by the Natural Science Foundation of China (32001745), the Young Elite Scientists Sponsorship Program by CAST (2019QNRC001), the Joint Funds of Science & Technology Research and Development Program of Henan (222103810081), and the China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-03)

*通信作者: 张玉荣, 硕士, 教授, 主要研究方向为粮油品质检验与控制。E-mail: yurongzh@163.com

张咚咚, 博士, 副教授, 主要研究方向为粮食储藏、储粮生态因子互作关系。E-mail: medong@126.com

*Corresponding author: ZHANG Yu-Rong, Master, Professor, School of Food and Strategic Reserves, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China. E-mail: yurongzh@163.com

ZHANG Dong-Dong, Ph.D, Associate Professor, School of Food and Strategic Reserves, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China. E-mail: medong@126.com

however, the data variability was not significant ($P>0.05$). There was also no significant difference ($P>0.05$) in the test of grain quality indexes between the developed sampling program of setting up inspection units in the reserve storages, different sampling order, and different ratio of point sample. **Conclusion** Through the experiments on different provinces, different reserve grain species, a variety of storage type of storage sampling, the results shows that the modern sampling tools used, the optimization of the sampling programs do not affect the test results of the taken samples, and the sampling data collected is expected to provide support for the future development of more suitable for China's grain storage of the sampling program.

KEY WORDS: sampling program; grain; index of quality; testing and analysis

0 引言

近年来,我国粮食产量和储藏规模不断加大^[1],伴随着国家粮食重点基础设施的建设,储粮仓房的面积和高度不断扩大,库容量大幅增加,粮食扦样及品质检测的难度也随之增大。扦样工作作为粮食品质检验的第一个步骤,其重要程度不言而喻,扦样是否具有代表性,直接关系到整仓粮食品质的判定^[2-3]。

扦样得到的待测样本与所使用的扦样器,扦样方案和扦样点布置都息息相关。在现行国家标准 GB/T 5491—1985《粮食、油料检验 扦样、分样法》中,散装粮扦样器主要分为 3 种:细套管扦样器、粗套管扦样器和电动吸式扦样器,3 种不同的扦样器则各有优缺点^[4-6]。而对扦样方案和扦样点布置,已有的国家标准尚不能包括新形态下的粮食储存实际^[7-9],一些规范尚不能满足粮食扦样的实际需求^[10]。针对扦样中的一些不足,不断有针对扦样设备和扦样方案的优化研究^[11],也有学者提出了一种结合双目视觉与图像分割技术的散装粮随机扦样方法^[12],但不能解决扦样均匀性和代表性的问题,因此加强能够有效准确反映整仓粮食品质的扦样方案研究是十分必要的。

本研究在 GB/T 5491—1985 的基础上,结合 ISO/FDIS 24333:2009、国粮发〔2010〕190 号文件《中央储备粮油质量抽查扦样检验管理办法》、SNT 0800.1—2016《进出口粮油、饲料检验抽样和制样方法》等所述方法,设计了相关扦样方案,分别在江苏省、安徽省、辽宁省、河南省、山东省、吉林省选取装有玉米、小麦和稻谷的不同仓型进行实仓扦样实验,并对实验样品进行品质检验,以分析不同扦样器、不同扦样方案以及不同扦样比例对整仓粮食品质结果评价的影响,以期探寻出最适用于粮食实仓品质检验的扦样方案,合理有效地反映整仓粮食的品质状况,为扦样方案的制订以及保证品质检验结果的准确性提供参考。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

选取江苏省、安徽省、辽宁省、河南省、山东省、吉林省 6 个省份的粮仓;仓型涉及立筒仓、房式仓、浅圆仓;

研究对象为稻谷、小麦、玉米 3 大粮种。

1.2 仪器与设备

BQY 电动吸式扦样器(台州沃粮粮用器材有限公司); DSX 新国标型电动筛选器(杭州麦哲仪器有限公司); JA2003 电子天平(精度 0.0001 g,上海上平仪器有限公司); HGT-1000A 型容量重器(上海东方衡器有限公司); BLH-3250 实验砬谷机(浙江伯利恒仪器设备有限公司); BLH-300 精米机(浙江伯利恒仪器设备有限公司); LDO-101-1 电热恒温鼓风干燥箱(上海龙跃仪器设备有限公司); TDW-4000 大容量低温连续锤式旋风磨(北京同信天博科技发展有限公司); LC-16 高效液相色谱仪(日本岛津株式会社); BLH-2952 谷物脂肪酸专用振荡器(浙江伯利恒仪器设备有限公司); JMG-III 面筋测定仪(杭州其伟光电科技有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 两种扦样器对粮食杂质检验的影响

按照 GB/T 5491—1985 对实验仓进行分区分点,在选取的 5 个采样点中,每个点分别用套管式扦样器和电动吸式扦样器进行布点扦样,每个点分别在 0.2、1.5、3.0、4.5 和 5.8 m 扦样深度进行样本的采集,每个样本扦取量尽量保持相同,不少于 2 kg,扦得样本混合均匀后按 GB/T 5491—1985 中分样器法进行分样得到实验样本。

1.3.2 分区设置检验单位对粮食品质检验的影响

采用两种不同的扦样方案进行对比研究。方案一:一个检验批可以有一个或多个检验单位,以不超过 2000 t 为一个检验单位,分区扦样,每增加 2000 t 增加一个检验单位。在进行整仓或整货位评价时,以不超过 8000 t 形成一份实验室样品;超过 8000 t 的检验批,增加实验室样品,以不超过 5000 t 为一个实验室样品。方案二:按照 GB/T 5491—1985 进行整仓扦取样本。所获得的样本混合均匀后按国家标准规范分样得到实验样本。

1.3.3 扦样顺序对粮食品质检验的影响

第一种扦样顺序依据 GB/T 5491—1985 中规定扦样:按区按点,先上后下逐层扦样。第二种扦样顺序依据国粮发〔2010〕190 号文件《中央储备粮油质量抽查扦样检验管理办法》附录规定“按区、按层、按点,先下后上逐层扦样”,对稻谷、玉米、小麦 3 个品种分别进行扦样,然后对

质量指标和储藏品质指标进行测定。

1.3.4 点样比例对粮食品质检验的影响

原则上选取仓容 4000 t 以上的仓房。第一种扦样方案是在对房式仓中心点和四周边获取的点样, 从 5 个点取得的样本按等质量比例组成一个混合样本, 浅圆仓中心点、内圆点、外圆点的点样按等质量比例组成一个混合样本; 第二种扦样方案在房式仓中心点与四周边所取得的点样, 按中心点点样与四周边点样等质量组成一个混合样本(标准扦样), 在浅圆仓内圆点、外圆点取得的点样按 2:1 (*m:m*) 组成一个混合样本。取得样本混合均匀后按国家标准分样得到实验样本。

1.3.5 指标的测定

依据粮食储藏过程中影响粮食安全储藏的因素和粮食品质检验的需要, 主要选取以下几个指标: 容重: 判别小麦和玉米等级的重要指标^[13-14], 按 GB/T 5498—2013《粮油检验 容重测定》中的规范测定。出糙率、整精米率和黄粒米率: 判定稻谷等级与质量的重要指标, 出糙率检测按照 GB/T 5495—2008《粮油检验 稻谷出糙率检验》中的规范进行; 整精米率检测按照 GB/T 21719—2008《稻谷整精米率检验法》中的规范进行; 黄粒米检测按照 GB/T 5496—1985《粮食、油料检验 黄粒米及裂纹粒检验法》中的规范进行。水分: 影响粮食籽粒呼吸代谢产生, 粮食水分含量较高时, 粮堆容易出现发热霉变^[15], 籽粒水分按照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的规范进行。真菌毒素: 在储藏过程, 产毒真菌在条件适宜时极易产生真菌毒素, 这些毒素会对人和动物体中产生多种急性和慢性毒性效应^[16], 粮食中常见真菌毒素有黄曲霉毒素^[17-18]、脱氧雪腐镰刀菌烯醇(vomitoxin, DON)^[19-21]和玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)^[22], 黄曲霉毒素检验按照 GB 5009.22—2016《食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素 B 族和 G 族的测定》中

的规范进行; DON 检验按照 GB 5009.111—2016《食品安全国家标准 食品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇及其乙酰化衍生物的测定》中的规范进行; ZEN 检验按照 GB 5009.209—2016 中的规范进行《食品安全国家标准 食品中玉米赤霉烯酮的测定》。脂肪酸值: 反映玉米与稻谷是否为宜存状态, 按照 GB/T 5510—2011《粮油检验 粮食、油料脂肪酸值测定》中的规范进行。面筋吸水率: 反映小麦是否宜存, 按照 GB/T 5506.3—2008《小麦和小麦粉 面筋含量 第 3 部分: 烘箱干燥法测定干面筋》中的规范进行。同时, 脂肪酸值和面筋吸水率为粮食储藏过程中的敏感指标^[23-26]。镉含量: 随着环境中镉暴露风险增加, 大米中镉含量超标时有发生^[27], 稻谷中镉含量按照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中的规范进行。

1.4 数据统计与分析

实验结果通过 Excel 2019 汇总整理, 使用 SPSS 26.0 进行数据分析和处理, 当 $P < 0.05$ 时, 代表数据之间差异性显著, 当 $P < 0.01$ 时, 代表数据之间差异性极显著。

2 结果与分析

2.1 不同扦样器对粮食杂质检测的影响

在选取的 5 个扦样点分别使用电动吸式扦样器和套管式扦样器分层取样进行杂质的检验, 测得的结果使用 SPSS 进行配对样本 *t* 检验^[28-29], 比较不同扦样器对粮食杂质检验的影响。在粮堆深度为 0.2、1.5、3.0 以及 4.5 m 时, 所采用的两种扦样器对杂质检验结果并没有显著性差异, 但在粮堆深度为 5.8 m 时差异性显著(表 1)。此前有学者通过对使用电动吸式扦样器和套管扦样器分别扦取粮食样品杂质进行检验和分析, 发现当杂质含量较高时, 使用电动吸式扦样器的结果要明显高于使用套管扦样器^[30-31]。在本

表 1 电动吸式扦样器和套管扦样器对样品杂质的影响
Table 1 Effects of electric suction grain sampler and casing grain sampler on sample impurities

扦样深度/m	扦样器类型	杂质含量/%					<i>P</i>
		扦样点 1	扦样点 2	扦样点 3	扦样点 4	扦样点 5	
0.2	电动吸式扦样器	0.65	0.38	0.37	0.53	0.61	0.14
	套管扦样器	0.55	0.46	0.24	0.45	0.44	
1.5	电动吸式扦样器	0.61	0.30	0.45	0.59	0.41	0.52
	套管扦样器	0.64	0.29	0.22	0.65	0.38	
3.0	电动吸式扦样器	0.42	0.39	0.36	0.55	0.54	0.68
	套管扦样器	0.33	0.46	0.46	0.60	0.49	
4.5	电动吸式扦样器	0.55	0.70	0.95	0.55	0.37	0.09
	套管扦样器	0.40	0.36	0.71	0.41	0.46	
5.8	电动吸式扦样器	0.52	0.45	0.37	0.48	0.26	0.03
	套管扦样器	0.33	0.38	0.27	0.15	0.16	

研究中,所扦取的样品杂质含量均小于 1%,使用电动吸式扦样器扦取样品的杂质质量部分高于使用套管扦样器扦取的样品,从多组统计数据上来看,两种扦样器所获取的杂质数据差异性不显著,可以认为是等效的。对于粮堆的深层扦样,可能是由于粮层较深,电动吸式扦样器所需要的真空度较高,吸力难以控制,气流在吸取粮食的同时,同时也吸入了周围粮堆环境中微小的杂质,使得扦出的样品的杂质含量被放大了,两组数据之间呈现显著性差异,但差异性并非极显著,在日常扦样过程中,可以作为参考。同时,也表明电动吸式扦样器的设计与制造有必要进一步的改进。

2.2 分区设置检验单位对粮食品质检验的影响

针对稻谷,分别选择了吉林省、河南省、安徽省的房式仓和辽宁省的立筒仓共计两种仓型的 4 个粮仓进行扦样

检测实验,对获得稻谷样品的质量指标、储藏品质指标、卫生指标进行测定,结果显示稻谷的出糙率、整精米率、杂质、水分、黄粒米、脂肪酸值、镉含量以及黄曲霉毒素 B₁ 含量等数据指标在使用两种扦样方案时均无显著性差异(表 2),表明所采用的两种扦样方式并没有显著影响样品的结果,都可以采用。

对小麦而言,选取了来自辽宁省、河南省、安徽省和江苏省的共计 6 个粮食储备仓,有立筒仓、房式仓两种仓型,仓容有 2000、4000、6000 和 8000 t 几种。检验结果显示小麦的容重、不完善粒、杂质、水分、DON 以及 ZEN 的含量分别通过两种扦样方案获得的数据 *P* 均大于 0.05(表 3),即差异性不显著,表明两种不同的扦样方案在对储备的小麦检验中没有显著差异,都可以采用。

表 2 稻谷分区设置检验单位对检验结果的影响
Table 2 Effects of setting up inspection units in the rice reserve storages on the test results

检测指标	省份	仓型	代表数量/t	扦样方案 1				扦样方案 2	<i>P</i>
				检测单位 1	检测单位 2	检测单位 3	平均值		
出糙率/%	吉林	房式仓	2974	79.6	79.3	/	79.5	79.9	0.51
	辽宁	立筒仓	2485	80.6	80.6	/	80.6	80.0	
	河南	房式仓	5594	79.2	79.3	79.0	79.2	79.3	
	安徽	房式仓	6092	79.6	79.7	79.9	79.7	79.0	
整精米率/%	吉林	房式仓	2974	62.7	64.3	/	63.5	67.3	0.56
	辽宁	立筒仓	2485	62.8	64.8	/	63.8	63.4	
	河南	房式仓	5594	60.1	60.4	60.5	60.3	60.6	
	安徽	房式仓	6092	58.5	58.7	58.7	58.6	57.6	
杂质/%	吉林	房式仓	2974	0.4	0.6	/	0.5	0.7	0.60
	辽宁	立筒仓	2485	0.9	0.8	/	0.9	0.7	
	河南	房式仓	5594	0.9	0.8	1.1	0.9	1.0	
	安徽	房式仓	6092	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	
水分/%	吉林	房式仓	2974	13.5	13.6	/	13.6	13.5	0.06
	辽宁	立筒仓	2485	14.6	14.4	/	14.5	14.4	
	河南	房式仓	5594	13.8	13.9	14.2	14.0	14.0	
	安徽	房式仓	6092	13.0	13.0	13.0	13.0	12.9	
黄粒米/%	吉林	房式仓	2974	0	0	/	0	0	/
	辽宁	立筒仓	2485	0	0	/	0	0	
	河南	房式仓	5594	0	0	0	0	0	
	安徽	房式仓	6092	0	0	0	0	0	
脂肪酸值/(mg/100 g)	吉林	房式仓	2974	16.5	16.4	/	16.5	17.5	0.19
	辽宁	立筒仓	2485	17.2	15.6	/	16.4	16.4	
	河南	房式仓	5594	21.5	23.8	23.1	22.8	25.1	
	安徽	房式仓	6092	15.7	17.0	15.4	16.0	16.2	
镉/(mg/kg)	吉林	房式仓	2974	0	0	/	0	0	0.55
	辽宁	立筒仓	2485	0	0	/	0	0	
	河南	房式仓	5594	0.04	0	0	0.01	0.05	
	安徽	房式仓	6092	0.18	0.11	0.16	0.15	0.14	
黄曲霉毒素 B ₁ /(μg/kg)	吉林	房式仓	2974	0	0	/	0	0	0.39
	辽宁	立筒仓	2485	2	1	/	2	2	
	河南	房式仓	5594	0	1	1	1	0	
	安徽	房式仓	6092	0	0	0	0	0	

注: /表示该粮仓的仓容不需要增加此检验单位,下同。

表 3 小麦分区设置检验单位对检验结果的影响
Table 3 Effects of setting up inspection units in the wheat reserve storages on the test results

检测指标	省份	仓型	代表数量/t	扦样方案 1					扦样方案 2	P
				检测单位 1	检测单位 2	检测单位 3	检测单位 4	平均值		
容重/(g/L)	辽宁	立筒仓	2035	818	813	/	/	816	817	0.29
	辽宁	立筒仓	6462	808	811	812	816	812	815	
	河南	房式仓	4700	796	794	793	/	794	796	
	江苏	房式仓	6500	810	806	802	/	806	804	
	辽宁	房式仓	7002	789	791	789	792	790	791	
	安徽	房式仓	7000	797	794	797	790	795	795	
不完善粒/%	辽宁	立筒仓	2035	2.9	2.9	/	/	2.9	2.9	0.89
	辽宁	立筒仓	6462	3.5	3.4	3.4	3	3.3	3.5	
	河南	房式仓	4700	4.9	4.4	5.4	/	4.9	4.4	
	江苏	房式仓	6500	4.3	5.4	6.1	/	5.3	5.2	
	辽宁	房式仓	7002	3.4	5.2	5.7	3.8	4.5	5.3	
	安徽	房式仓	7000	1.8	2.1	1.3	2.3	1.9	1.7	
杂质/%	辽宁	立筒仓	2035	0.6	0.7	/	/	0.7	0.6	0.42
	辽宁	立筒仓	6462	0.4	0.6	0.4	0.5	0.5	0.4	
	河南	房式仓	4700	0.5	0.3	0.7	/	0.5	0.3	
	江苏	房式仓	6500	0.6	0.3	0.4	/	0.4	0.6	
	辽宁	房式仓	7002	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	
	安徽	房式仓	7000	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	
水分/%	辽宁	立筒仓	2035	11.1	11.1	/	/	11.1	10.9	0.77
	辽宁	立筒仓	6462	11.2	11.2	11	10.8	11.1	11.1	
	河南	房式仓	4700	11.5	11.6	11.5	/	11.5	11.7	
	江苏	房式仓	6500	12.3	11.6	11.5	/	11.8	11.8	
	辽宁	房式仓	7002	11.8	11.9	11.7	11.8	11.8	11.8	
	安徽	房式仓	7000	11.7	11.8	11.7	11.8	11.8	11.7	
DON/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	辽宁	立筒仓	2035	250	200	/	/	225	250	0.27
	辽宁	立筒仓	6462	150	200	150	150	163	150	
	河南	房式仓	4700	250	250	300	/	267	250	
	江苏	房式仓	6500	150	50	100	/	100	50	
	辽宁	房式仓	7002							
	安徽	房式仓	7000	802	388	506	547	561	342	
ZEN/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	辽宁	立筒仓	2035	3	3	/	/	3	4	0.55
	辽宁	立筒仓	6462	2	0	3	2	2	1	
	河南	房式仓	4700	8	4	6	/	6	14	
	江苏	房式仓	6500	2	5	5	/	4	5	
	辽宁	房式仓	7002							
	安徽	房式仓	7000	20	20	20	21	20	17	

针对玉米检验, 使用两种扦样方案分别对吉林省的浅圆仓、房式仓, 河南省、江苏省、辽宁省和安徽省的房式仓内所储备的玉米进行扦样研究, 分别检测了玉米的容重、不完善粒、杂质、水分、霉变粒、脂肪酸值、DON 含量、ZEN 含量和黄曲霉毒素 B₁, 结果显示各指标的 P 均大于 0.05(表 4), 即不同扦样方式间的差异性不显著, 表明不

同的扦样方案对储备玉米的品质指标检验没有影响, 都可以采用。

通过对不同仓型的 3 大粮种分别采用两种扦样方案进行实验与分析, 所得各指标的数据在 95%置信区间内进行分析, P 均大于 0.05, 差异性不显著, 表明该步骤中所采用的两种扦样方案均可行, 且无明显差异。

表 4 玉米分区设置检验单位对各指标检验结果的影响
Table 4 Effects of setting up inspection units in the maize reserve storages on the test results

检测指标	省份	仓型	代表数量/t	扦样方案 1				平均值	扦样方案 2	P
				检测单位 1	检测单位 2	检测单位 3	检测单位 4			
容重/(g/L)	吉林	浅圆仓	3940	713	711	/	/	712	711	0.22
	河南	房式仓	4250	718	718	/	/	718	714	
	吉林	房式仓	4271	710	712	/	/	711	712	
	江苏	房式仓	5390	745	742	746	/	744	743	
	辽宁	房式仓	5480	726	731	739	751	737	738	
	安徽	房式仓	6828	736	736	738	/	737	734	
不完善粒/%	吉林	浅圆仓	3940	5.0	4.9	/	/	5.0	5.5	0.57
	河南	房式仓	4250	7.6	7.2	/	/	7.4	7.2	
	吉林	房式仓	4271	5.4	4.8	/	/	5.1	4.0	
	江苏	房式仓	5390	5.1	5.0	5.8	/	5.3	5.2	
	辽宁	房式仓	5480	7.3	5.4	5.8	5.2	5.9	6.5	
	安徽	房式仓	6828	9.5	10.1	7.9	/	9.2	10.9	
杂质/%	吉林	浅圆仓	3940	1.0	0.7	/	/	0.9	0.8	0.86
	河南	房式仓	4250	0.2	0.3	/	/	0.3	0.3	
	吉林	房式仓	4271	0.4	0.3	/	/	0.4	0.2	
	江苏	房式仓	5390	0.5	0.6	0.4	/	0.5	0.4	
	辽宁	房式仓	5480	1.0	0.6	0.3	0.3	0.6	0.5	
	安徽	房式仓	6828	1.2	1.3	0.5	/	1.0	1.4	
水分/%	吉林	浅圆仓	3940	13.6	13.8	/	/	13.7	13.6	0.71
	河南	房式仓	4250	12.6	12.7	/	/	12.7	12.3	
	吉林	房式仓	4271	14.0	14.2	/	/	14.1	14.1	
	江苏	房式仓	5390	13.6	13.3	13.4	/	13.4	13.5	
	辽宁	房式仓	5480	14.3	14.0	13.7	13.9	14.0	14.0	
	安徽	房式仓	6828	13.4	13.5	13.5	/	13.5	13.7	
霉变粒/%	吉林	浅圆仓	3940	0.2	0.3	/	/	0.3	0.1	0.39
	河南	房式仓	4250	0.6	0.4	/	/	0.5	0.7	
	吉林	房式仓	4271	0.1	0.4	/	/	0.3	0.2	
	江苏	房式仓	5390	0.6	0.4	0.5	/	0.5	0.7	
	辽宁	房式仓	5480	0.8	1.6	1.1	1.3	1.2	1.4	
	安徽	房式仓	6828	0.7	0.0	0.3	/	0.3	0.4	
脂肪酸值/(mg/100 g)	吉林	浅圆仓	3940	42.0	39.7	/	/	40.9	41.0	0.64
	河南	房式仓	4250	63.2	63.3	/	/	63.3	64.4	
	吉林	房式仓	4271	34.4	33.8	/	/	34.1	33.1	
	江苏	房式仓	5390	38.8	39.7	39.5	/	39.3	39.4	
	辽宁	房式仓	5480	42.3	37.6	34.6	35.7	37.6	37.8	
	安徽	房式仓	6828	59.9	60.1	59.6	/	59.9	58.2	
DON/(μg/kg)	吉林	浅圆仓	3940	500	600	/	/	550	610	0.96
	河南	房式仓	4250	200	250	/	/	225	450	
	吉林	房式仓	4271	600	650	/	/	625	555	
	江苏	房式仓	5390	0	0	0	/	0	0	
	辽宁	房式仓	5480	250	550	450	400	413	300	
	安徽	房式仓	6828	526	859	170	/	518	397	
ZEN/(μg/kg)	吉林	浅圆仓	3940	17	25	/	/	21	20	0.86
	河南	房式仓	4250	7	31	/	/	19	14	
	吉林	房式仓	4271	20	17	/	/	19	17	
	江苏	房式仓	5390	3	8	1	/	4	1	
	辽宁	房式仓	5480	7	6	7	25	11	29	
	安徽	房式仓	6828	16	27	13	/	19	16	
黄曲霉毒素 B ₁ /(μg/kg)	吉林	浅圆仓	3940	0	0	/	/	0	0	0.68
	河南	房式仓	4250	0	0	/	/	0	1	
	吉林	房式仓	4271	0	0	/	/	0	0	
	江苏	房式仓	5390	16	2	1	/	6	2	
	辽宁	房式仓	5480	0	0	0	0	0	1	
	安徽	房式仓	6828	0	0	0	/	0	0	

2.3 扦样顺序对粮食品质检验的影响

在对 3 个粮种的储备仓房使用电动吸式扦样器分别采用先上下后逐层扦样和先下后上逐层扦样两种扦样顺序扦样, 对获得样品的质量指标和储存品质指标进行检测。样品中水分、杂质和稻谷出糙率通过两种不同扦样方案所得检验结果的差值均小于国家标准中精密度对两次测定结果的绝对差值的要求(表 5~7)。在 2 个储备库 4 个粮食储备仓房两个粮种的容重检验结果中, 有两个超过双实验差, 超过了 1 g/L, 但远小于等级差, 且差异性不显著(表 6、7)。对于不完善粒的检测, 2 个储备库 4 个粮食储备仓房的两个粮种中, 仅有 1 个检验结果超过双实验差, 超 0.2%, 且差

异性不显著(表 6、7)。在稻谷整精米率的检测中, 有 1 个仓的样品超过双实验差 0.3%, 也未超过等级差, 且差异性不显著(表 5)。对储存品质指标稻谷和玉米脂肪酸值的检验中, 3 个储备库的 4 个粮食储备仓的检验结果中有两个样品超过双实验差, 超过 1 mg/100 g, 且差异性不显著(表 5)。小麦的面筋吸水率检验结果在两个样品中的检验结果值与平均值相差 3.6%和 3.7%, 且差异性不显著(表 6)。综合来看, 采用电动扦样器按照先上下后逐层进行扦样和先下后上逐层两种扦样顺序所获得的样品, 在 3 大粮种的质量指标和储藏品质指标检验时, 所获得的检验结果没有明显区别, 结果的差异性不显著, 表明两种扦样顺序都可以采用。

表 5 扦样顺序对稻谷各指标检验结果的影响
Table 5 Effects of sample order on the test results of each index of rice

被测指标	被检单位	代表数量/t	自上而下	自下而上	差值	P
水分/%	信阳	5594	12.4	12.5	0.1	0.21
	信阳	5000	12.5	12.7	0.2	
杂质/%	信阳	5594	0.5	0.7	0.2	0.16
	信阳	5000	0.7	0.5	0.2	
脂肪酸值/ (mg/100 g)	信阳	5594	20.8	19.3	1.5	0.98
	信阳	5000	17.9	19.5	1.6	
出糙率/%	信阳	5594	78.2	77.8	0.4	0.50
	信阳	5000	78.3	78.3	0.0	
整精米率/%	信阳	5594	57.8	59.6	1.8	0.08
	信阳	5000	52.6	54.0	1.4	

表 6 扦样顺序对小麦各指标检验结果的影响
Table 6 Effects of sample order on the test results of each index of wheat

被测指标	被检单位	代表数量/t	自上而下	自下而上	差值	P
容重/(g/L)	开封	3325	796	799	3	0.09
	平顶山	7305	794	798	4	
水分/%	开封	3325	10.8	11.1	0.3	0.30
	平顶山	7305	12.0	12.1	0.1	
杂质/%	开封	3325	0.7	0.5	0.2	0.50
	平顶山	7305	0.7	0.7	0.0	
不完善粒/%	开封	3325	8.0	7.3	0.7	0.59
	平顶山	7305	7.5	7.6	0.1	
面筋吸水率/%	开封	3325	226	218	8	0.96
	平顶山	7305	186	193	7	

表 7 扦样顺序对玉米各指标检验结果的影响
Table 7 Effects of sample order on the test results of each index of maize

被测指标	被检单位	代表数量/t	自上而下	自下而上	差值	P
容重/(g/L)	开封	2479	714	714	0	0.50
	平顶山	3969	732	728	4	
水分/%	开封	2479	14.6	14.6	0	/
	平顶山	3969	14.5	14.5	0	
杂质/%	开封	2479	0.5	0.5	0	/
	平顶山	3969	0.4	0.4	0	
不完善粒/%	开封	2479	5.6	6.2	0.6	0.95
	平顶山	3969	6.8	6.1	0.7	
脂肪酸值/ (mg/100 g)	开封	2479	44	41	3	1.00
	平顶山	3969	36	39	3	

2.4 点样比例对粮食品质检验结果的影响

在对江苏、安徽、辽宁、河南、山东、吉林 6 个省所储的稻谷、玉米、小麦 3 个粮种, 选择不同仓型进行扦样检验。对稻谷储备仓的扦样检测结果显示, 都没有黄粒米检出。其中, 安徽省内浅圆仓的稻谷出糙率、辽宁省内两个立筒仓稻谷的整精米率以及河南省内房式仓稻谷的脂肪酸值使用两种扦样方案得到的样品检测结果有一定的偏差, 其他数据均在正常波动范围内, 组间差异性不显著 ($P>0.05$)(表 8)。在不同仓型中采用两种扦样方案所得稻谷

样品的各指标数据在 95% 置信区间内的显著性分析结果显示, 各指标的 P 皆大于 0.05, 表明两种扦样方案所获得稻谷样本的检验结果差异性不显著。

在对小麦的扦样检验中, 采用第一种扦样方案所获得的样品杂质比第二种方案所获得的样品结果高 20%, 而 DON 的含量则低出 27%, 其他指标间则差别不大(表 9)。通过对不同仓型两种扦样方案所获小麦样品的各指标数据在 95% 置信区间内分析, 得到各指标的 P 均大于 0.05, 表明采用两种扦样方案对小麦品质的检验没有显著性差异。

表 8 点样比例对稻谷品质检验结果的影响
Table 8 Effects of spot sample ratio on the results of rice quality inspection

检测指标	省份	仓型	代表数量/t	扦样方案 1	扦样方案 2	P
出糙率/%	吉林	浅圆仓	2974	80.3	79.9	0.32
	吉林	浅圆仓	3527	82.0	82.3	
	安徽	浅圆仓	6314	58.6	61.6	
	辽宁	立筒仓	1499	80.5	80.6	
	辽宁	立筒仓	1485	80.2	80.0	
	河南	房式仓	5594	79.0	79.3	
整精米率/%	安徽	房式仓	6092	79.6	79.8	0.24
	吉林	浅圆仓	2974	67.9	67.3	
	吉林	浅圆仓	3527	69.7	69.5	
	安徽	浅圆仓	6314	80.2	80.2	
	辽宁	立筒仓	1499	59.9	64.1	
	辽宁	立筒仓	1485	61.6	63.4	
杂质/%	河南	房式仓	5594	60.3	60.6	0.41
	安徽	房式仓	6092	58.6	58.9	
	吉林	浅圆仓	2974	0.8	0.7	
	吉林	浅圆仓	3527	0.9	0.7	
	安徽	浅圆仓	6314	0.7	0.8	
	辽宁	立筒仓	1499	1.0	0.8	
水分/%	辽宁	立筒仓	1485	0.7	0.7	0.16
	河南	房式仓	5594	0.9	1.0	
	安徽	房式仓	6092	0.7	0.7	
	吉林	浅圆仓	2974	13.7	13.5	
	吉林	浅圆仓	3527	14.2	14.0	
	安徽	浅圆仓	6314	13.0	13.1	
黄粒米/%	辽宁	立筒仓	1499	14.3	14.4	/
	辽宁	立筒仓	1485	14.8	14.5	
	河南	房式仓	5594	14.2	14.0	
	安徽	房式仓	6092	13.0	13.0	
	吉林	浅圆仓	2974	0	0	
	吉林	浅圆仓	3527	0	0	
	安徽	浅圆仓	6314	0	0	
	辽宁	立筒仓	1499	0	0	
	辽宁	立筒仓	1485	0	0	
	河南	房式仓	5594	0	0	
	安徽	房式仓	6092	0	0	

表 8(续)

检测指标	省份	仓型	代表数量/t	扦样方案 1	扦样方案 2	P
脂肪酸值/ (mg/100 g)	吉林	浅圆仓	2974	18.0	17.5	0.32
	吉林	浅圆仓	3527	16.9	16.2	
	安徽	浅圆仓	6314	15.8	16.4	
	辽宁	立筒仓	1499	15.2	15.8	
	辽宁	立筒仓	1485	15.9	16.4	
	河南	房式仓	5594	22.6	25.1	
	安徽	房式仓	6092	16.8	16.8	
黄曲霉毒素 B ₁ / (μg/kg)	吉林	浅圆仓	2974	0	0	0.17
	吉林	浅圆仓	3527	0	0	
	安徽	浅圆仓	6314	0	0	
	辽宁	立筒仓	1499	1	2	
	辽宁	立筒仓	1485	1	2	
	河南	房式仓	5594	0	0	
	安徽	房式仓	6092	0	0	
镉/(mg/kg)	吉林	浅圆仓	2974	0.00	0.00	0.49
	吉林	浅圆仓	3527	0.00	0.00	
	安徽	浅圆仓	6314	0.12	0.12	
	辽宁	立筒仓	1499	0.04	0.00	
	辽宁	立筒仓	1485	0.06	0.00	
	河南	房式仓	5594	0.04	0.05	
	安徽	房式仓	6092	0.10	0.13	

表 9 点样比例对小麦品质检验结果的影响

Table 9 Effects of spot sample ratio on the results of wheat quality inspection

检测指标	省份	仓型	代表数量/t	扦样方案 1	扦样方案 2	P
杂质/%	辽宁	立筒仓	2035	0.4	0.6	0.37
	辽宁	立筒仓	6462	0.5	0.4	
	河南	房式仓	4700	0.4	0.3	
	安徽	房式仓	7002	0.4	0.1	
	安徽	房式仓	7000	0.3	0.2	
水分/%	辽宁	立筒仓	2035	11.0	10.9	0.23
	辽宁	立筒仓	6462	10.8	11.1	
	河南	房式仓	4700	11.5	11.7	
	安徽	房式仓	7002	11.6	11.7	
	安徽	房式仓	7000	11.7	11.7	
容重/(g/L)	辽宁	立筒仓	2035	815	817	0.19
	辽宁	立筒仓	6462	813	815	
	河南	房式仓	4700	796	796	
	安徽	房式仓	7002	789	788	
	安徽	房式仓	7000	795	797	
不完善粒/%	辽宁	立筒仓	2035	2.3	2.9	0.33
	辽宁	立筒仓	6462	3.8	3.5	
	河南	房式仓	4700	4.3	4.4	
	安徽	房式仓	7002	4.2	5.9	
	安徽	房式仓	7000	2.3	2.2	
DON/(μg/kg)	辽宁	立筒仓	2035	200	250	0.28
	辽宁	立筒仓	6462	250	150	
	河南	房式仓	4700	300	250	
	安徽	房式仓	7002	0	0	
	安徽	房式仓	7000	375	309	
ZEN/(μg/kg)	辽宁	立筒仓	2035	2	4	0.31
	辽宁	立筒仓	6462	4	1	
	河南	房式仓	4700	9	14	
	安徽	房式仓	7002	0	0	
	安徽	房式仓	7000	18	23	

在对玉米的扦样检验中, 仅有霉变粒这一指标两组样本间有差值, 采用第一种扦样方案获得的样品中霉变粒指标值要比第二种扦样方案的高 20%(表 10)。通过对不同

仓型两种扦样方案所得玉米样品的数据分析显示, 在 95% 置信区间内, 各指标的 P 均大于 0.05, 表明两种扦样方案下所获得的样品品质指标并没有显著性差异。

表 10 点样比例对玉米品质检验结果的影响
Table 10 Effects of spot sample ratio on the results of maize quality inspection

检测指标	省份	仓型	代表数量/t	扦样方案 1	扦样方案 2	P
杂质/%	吉林	浅圆仓	3940	0.7	0.8	0.84
	辽宁	浅圆仓	10000	0.8	1.0	
	吉林	房式仓	4271	0.4	0.2	
	辽宁	房式仓	5480	0.8	0.5	
	安徽	房式仓	6171	0.6	0.6	
	安徽	房式仓	6828	1.5	1.6	
容重/(g/L)	吉林	浅圆仓	3940	714	711	0.71
	辽宁	浅圆仓	10000	708	710	
	吉林	房式仓	4271	715	712	
	辽宁	房式仓	5480	733	738	
	安徽	房式仓	6171	742	744	
	安徽	房式仓	6828	742	742	
水分/%	吉林	浅圆仓	3940	13.4	13.6	0.11
	辽宁	浅圆仓	10000	12.6	12.8	
	吉林	房式仓	4271	13.9	14.1	
	辽宁	房式仓	5480	14.0	14.0	
	安徽	房式仓	6171	13.5	13.4	
	安徽	房式仓	6828	13.0	13.5	
不完善粒/%	吉林	浅圆仓	3940	5.9	5.5	0.27
	辽宁	浅圆仓	10000	8.0	7.2	
	吉林	房式仓	4271	4.5	4.0	
	辽宁	房式仓	5480	5.4	6.5	
	安徽	房式仓	6171	9.8	9.4	
	安徽	房式仓	6828	9.8	7.6	
霉变粒/%	吉林	浅圆仓	3940	0.4	0.1	0.46
	辽宁	浅圆仓	10000	0.5	0.7	
	吉林	房式仓	4271	0.6	0.2	
	辽宁	房式仓	5480	1.0	1.4	
	安徽	房式仓	6171	0.4	0.3	
	安徽	房式仓	6828	0.6	0.1	
脂肪酸值/ (mg/100 g)	吉林	浅圆仓	3940	41.6	41.0	0.45
	辽宁	浅圆仓	10000	59.9	61.0	
	吉林	房式仓	4271	33.9	33.1	
	辽宁	房式仓	5480	37.8	37.8	
	安徽	房式仓	6171	59.5	61.3	
	安徽	房式仓	6828	61.0	61.5	
DON/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	吉林	浅圆仓	3940	590	610	0.99
	辽宁	浅圆仓	10000	450	300	
	吉林	房式仓	4271	680	555	
	辽宁	房式仓	5480	350	300	
	安徽	房式仓	6171	339	632	
	安徽	房式仓	6828	195	211	

表 10(续)

检测指标	省份	仓型	代表数量/t	扦样方案 1	扦样方案 2	P
ZEN/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	吉林	浅圆仓	3940	28	20	0.73
	辽宁	浅圆仓	10000	15	29	
	吉林	房式仓	4271	23	17	
	辽宁	房式仓	5480	18	29	
	安徽	房式仓	6171	34	20	
	安徽	房式仓	6828	21	14	
黄曲霉毒素 B ₁ / ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	吉林	浅圆仓	3940	0	0	0.18
	辽宁	浅圆仓	10000	0	1	
	吉林	房式仓	4271	0	0	
	辽宁	房式仓	5480	1	1	
	安徽	房式仓	6171	0	1	
	安徽	房式仓	6828	0	0	

通过对不同省份多种仓型中的 3 个粮种采用不同的点样比例进行粮食品质指标的检测, 扦样数据显示, 两种不同的点样比例在一些粮库的部分指标上有一定的偏差, 但统计分析结果的差异性并不显著, 因此两种点样比例不会对样品的检测指标产生显著的影响, 均可使用。

3 讨论与结论

在对 GB/T 5491 国家标准的研究过程中, 针对几种不同的扦样方案, 通过多省份、多仓型、多粮种实仓扦样实验, 在配对样本 t 检验分析的基础上, 研究结果表明使用电动吸入式扦样器获得的样本, 粮食杂质含量略高于套管式扦样器获得的样本, 但是差异性并不显著, 且使用过程中使用便捷、扦样效率高, 可用于粮食杂质的检验。分区设置检验单位、先下后上和先上后下的扦样顺序、点样比例的不同对后续粮食品质指标的检验工作并没有显著的影响, 在粮食实仓扦样检验中皆可采用。

该研究选取了多个省份, 储存稻谷、小麦、玉米 3 大粮种的多种仓型的储备粮仓作为实验对象, 涉及地域、粮种、仓型众多, 能够反映我国储粮现状, 为不同扦样方式对粮食品质检验的影响提供了数据支撑, 以期未来用于制定更加适合我国粮仓的扦样方案。同时, 随着互联网以及人工智能的发展, 打造智慧型粮库是粮食智能化储备的必经之路, 在自动化出入仓、智能烘干系统、智能粮情系统等逐步使用的基础上, 期望扦检一体化系统、智慧扦样系统、扦检管控智慧系统等能够被更多开发和应用, 保障粮食储备工作更加便捷化和智慧化。

参考文献

- [1] 宋莉莉, 张瑞涛. 我国粮食生产变化趋势及风险研判[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(2): 1-9.
SONG LL, ZHANG RT. Research on change trend and risk of China's food production [J]. J Agric Sci Technol, 2023, 25(2): 1-9.
- [2] WANG RL, LIU LL, GUO YP, *et al.* Effects of deterioration and mildewing on the quality of wheat seeds with different moisture contents

during storage [J]. Rsc Adv, 2020, 10(25): 14581-14594.

- [3] 沙丽娜, 杨光勇, 张明玥. 粮食检验的必要性及影响因素分析[J]. 粮食科技与经济, 2020, 45(9): 67-68.
SHA LN, YANG GY, ZHANG MY. Analysis of the necessity and influencing factors of grain inspection [J]. Food Sci Technol Econ, 2020, 45(9): 67-68.
- [4] 王晓玲, 王凤成, 张强涛, 等. 双流路探头卡车自动扦样机与手动套管扦样器扦取的小麦样品质量指标的比较[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2014, 35(4): 73-77.
WANG XL, WANG FC, ZHANG QT, *et al.* Comparison of quality indicators of wheat samples sampled by twin-walled probe automatic sampler and manual bushing sampler [J]. Henan Univ Technol (Nat Sci Ed), 2014, 35(4): 73-77.
- [5] 黄演. 不同扦样器对粮食杂质和不完善粒测定结果差异的研究[J]. 现代食品, 2018, (19): 88-90, 4.
HUANG Y. Study on the difference of determination results between grain impurities and imperfect grains by different samplers [J]. Mod Food, 2018, (19): 88-90, 4.
- [6] QUIRINO JR, RESENDE O, FONSECA NN, *et al.* Comparison of equipment for grain sampling [J]. Rev Bras Eng Agric Amb, 2019, 23(3): 209-214.
- [7] 韩佳静, 董永强. 储粮扦样环节中扦样点数分析研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(5): 122-129.
HAN JJ, DONG YQ. Analysis and study on the number of sample points in the sampling process of grain storage [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(5): 122-129.
- [8] 张玉荣, 董永强, 吴琼, 等. 储粮扦样环节中分区面积状况的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(10): 3206-3213.
ZHANG YR, DONG YQ, WU Q, *et al.* Study on the partition area of cutting sample in grain storage [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(10): 3206-3213.
- [9] 张玉荣, 董永强, 郑佳俊, 等. 储粮扦样环节中的深度分层方法研究[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(7): 150-154, 158.
ZHANG YR, DONG YQ, ZHENG JJ, *et al.* Study on deep stratification in the sample process of grain storage [J]. Cereals Oils, 2023, 36(7): 150-154, 158.
- [10] BELETSKIY SL, GURYEVA KB, HABA NA. Methodological aspects of introspective study by X-ray analysis of internal defects of food grain during storage; proceedings of the 7th International Conference on X-Ray,

- Electrovacuum and Biomedical Technique, F, 2021 [Z].
- [11] 杨敬君, 张贺松, 刘跃华, 等. 大型粮仓深层粮食扦样器设计与使用[J]. 粮食与饲料工业, 2021, (1): 13–16.
YANG JJ, ZHANG HS, LIU YH, *et al.* Design, development and use of deep grain sampler for large granary [J]. Cereal Feed Ind, 2021, (1): 13–16.
- [12] 李智, 但乃禹, 李磊, 等. 基于机器视觉的散装粮随机扦样方法研究[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(2): 130–137.
LI Z, DAN NY, LI L, *et al.* Research on random sampling method of bulk grain based on machine vision [J]. Chin J Cereal Oils Ass, 2023, 38(2): 130–137.
- [13] 魏孟辉, 袁建. 我国粮食质量标准与检测技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4677–4683.
WEI MH, YUAN J. Research progress of China's grain quality standards and detection technology [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(11): 4677–4683.
- [14] MARINCIU CM, SERBAN G, MANDEA V, *et al.* Cultivar and crop management effects on test weight in winter wheat (*Triticum aestivum*) [J]. Rom Agric Res, 2021, 38: 133–139.
- [15] DU J, LIN Y X, GAO Y, *et al.* Nutritional changes and early warning of moldy rice under different relative humidity and storage temperature [J]. Foods, 2022, 11(2): 185.
- [16] 王瑞虎, 李萌萌, 关二旗, 等. 小麦储藏过程中真菌毒素变化趋势及预警技术研究进展[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(11): 1–8.
WANG RH, LI MM, GUAN ERQ, *et al.* Research progresses of mycotoxins variation trend and early warning technology during wheat storage [J]. Chin J Cereal Oils Assoc, 2022, 37(11): 1–8.
- [17] 刘冬梅, 曹成, 姐建英, 等. 不同贮藏条件下花生中黄曲霉毒素变化趋势[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(5): 1920–1923.
LIU DM, CAO C, ZU JY, *et al.* variation trend of aflatoxins cotent in reanut under different storage condition [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(5): 1920–1923.
- [18] 李科静, 徐艳阳, 关欢欢. 大米中黄曲霉的微波杀菌工艺优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(9): 3684–3691.
LI KJ, XU YY, GUAN HH. Optimization of microwave sterilization process on *Aspergillus flavus* from rice [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(9): 3684–3691.
- [19] SMAOUI S, AGRIPOULOU S, D'AMORE T, *et al.* The control of *Fusarium* growth and decontamination of produced mycotoxins by lactic acid bacteria [J]. Crit Rev Food Sci, 2022. DOI: 10.1080/10408398.2022.2087594
- [20] GONZALEZ-JARTIN JM, FERREIROA V, RODRIGUEZ-CANAS I, *et al.* Occurrence of mycotoxins and mycotoxigenic fungi in silage from the north of Portugal at feed-out [J]. Int J Food Microbiol, 2022, 365: 109556.
- [21] 段鸿渐, 李汶霞, 郝得隆, 等. 2020 年我国粮食及其产品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇毒素污染情况与分布特征[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(22): 8948–8953.
DUAN HJ, LI WX, HAO DL, *et al.* Pollution situation and distribution characteristics of deoxynivalenol toxin in grains and their products in China in 2020 [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(22): 8948–8953.
- [22] WANG JJ, XIA MK, WEI J, *et al.* Dual-signal amplified cathodic electrochemiluminescence aptasensor based on a europium-porphyrin coordination polymer for the ultrasensitive detection of zearalenone in maize [J]. SensActuators B-chem, 2023, 382: 133532.
- [23] PARK CE, KIM YS, PARK KJ, *et al.* Changes in, physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures [J]. J Stored Prod Res, 2012, 48: 25–29.
- [24] ZHU DW, SHAO YF, FANG CY, *et al.* Effect of storage time on chemical compositions, physiological and cooking quality characteristics of different rice types [J]. J Sci Food Agric, 2023, 103(4): 2077–2087.
- [25] WU Q, TIAN QS, ZHANG DD, *et al.* Effect of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) infestation on the protein physicochemical and structural properties of wheat grain [J]. J Econ Entomol, 2022, 115(6): 2092–2104.
- [26] HU H, QIU MM, QIU ZZ, *et al.* Variation in wheat quality and starch structure under granary conditions during long-term storage [J]. Foods, 2023, 12(9): 1886.
- [27] 张玉荣, 曹仁杰, 靳馥嘉, 等. 稻谷中降镉工艺优化研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(8): 41–50.
ZHANG YR, CAO RJ, JIN FJ, *et al.* Optimization of cadmium-reduction process of rice [J]. China Food Addit, 2023, 34(8): 41–50.
- [28] XU M, FRALICK D, ZHENG JZ, *et al.* The differences and similarities between two-sample T-test and paired T-test [J]. Shanghai Arch Psychiatr, 2017, 29(3): 184–188.
- [29] GRABCHAK M. How do we perform a paired T-test when we don't know how to pair? [J]. Am Stat, 2023, 77(2): 127–133.
- [30] 张颖, 杨刚, 叶森. 手动扦样与电动扦样法检测玉米杂质的对比[J]. 粮食科技与经济, 2018, 43(6): 73–74.
ZHANG Y, YANG G, YE S. Comparison of manual cuttings and electric cuttings method for detecting corn impurities [J]. Food Sci Technol Econ, 2018, 43(6): 73–74.
- [31] 方英杰. 两种粮食扦样方式下探究其不完善粒及杂质的检测[J]. 食品界, 2016, 33(4): 101–102.
FANG YJ. Exploring the detection of imperfections and impurities in two types of grain cuttings [J]. Food Ind, 2016, 33(4): 101–102.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

作者简介



赵锦琦, 硕士研究生, 主要研究方向为粮油品质检验与控制。

E-mail: zhaojq0814@126.com



张玉荣, 硕士, 教授, 主要研究方向为粮油品质检验与控制。

E-mail: yurongzh@163.com



张咚咚, 博士, 副教授, 主要研究方向为粮食储藏、储粮生态因子互作关系。

E-mail: medong@126.com