

# 河南省小麦种质资源品质特性多样性分析

咎香存, 常莹莹, 董海滨, 张煜, 陈弯, 齐学礼

(河南省农业科学院河南省作物分子育种研究院/河南省小麦种质资源与遗传改良重点实验室, 郑州 450002)

**摘要:** 为了提高我国小麦种质资源的利用效率, 拓宽小麦种质资源的遗传基础及筛选优异育种亲本资源, 进一步改良小麦品质并提供优异资源, 本研究以 607 份小麦种质为材料, 采用变异系数、相关性分析、聚类分析等方法, 对供试小麦种质的 13 个品质性状指标进行综合评价, 分析不同年代来源种质的品质特征。结果显示, 不同小麦种质资源的 13 个品质性状存在丰富的变异, 变异系数在 2.28%~79.56%, 其中面团稳定时间的变异系数最高, 糊化特性指标峰值时间的变异系数最低, 且 2000 年以后的品种在多个性状指标间的变异系数较大。不同年代来源种质的品质比较结果表明, 从地方品种(1949 年以前)到 1949-2000 年的品种再到 2000 年以后的品种, 随着年代的推移, 面粉的蛋白质含量、湿面筋含量呈明显降低趋势, 而反映面筋强度的面筋指数、形成时间和稳定时间等指标则呈明显升高的趋势, 峰值粘度和衰减值的变化趋势为 1949-2000 年的品种>地方品种>2000 年以后的品种, 且三者之间差异显著。相关性分析表明, 13 个品质指标间存在不同程度的相关性, 蛋白质含量、湿面筋含量及峰值粘度与其他多个指标具有相关性, 可作为小麦品种选育的指导目标性状。系统聚类分析将小麦种质分为 6 类, 不同类群间品质性状存在一定差异, 其中第 III 类群具有面粉吸水率低、面筋指数低等特征; 第 IV 类具有蛋白质含量高、湿面筋含量高和峰值粘度高的特征。同时, 还鉴定到蛋白质含量、湿面筋含量、吸水率及稳定时间 4 个指标同时达到强筋标准的种质 4 份, 同时达到弱筋标准的种质 1 份。本研究结果为我国小麦种质资源的利用及优质品种选育提供重要参考及理论基础。

**关键词:** 小麦; 品质性状; 多样性; 综合评价

## Quality Characteristics Diversity of Wheat Germplasm Resources in Henan Province

ZAN Xiangcun, CHANG Yingying, DONG Haibin, ZHANG Yu, CHEN Wang, QI Xueli

(Institute of Crop Molecular Breeding, Henan Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Wheat Germplasm Resources and Genetic Improvement in Henan Province, Zhengzhou 450002)

**Abstract:** To enhance the utilization efficiency of wheat germplasm resources in China, broaden the genetic diversity of these resources, and identify superior parental lines for breeding to improve wheat quality, a study was conducted using 607 wheat germplasm samples from different time periods to comprehensively analyze the quality traits. Thirteen quality traits were evaluated using coefficient of variation, correlation analysis, and cluster analysis to access the quality characteristics of germplasm from different released periods. The results revealed significant variation in the 13 quality traits, with coefficient of variation ranging from 2.28% to 79.65%. Dough stability time exhibited the highest coefficient of variation, while viscosity peak time displayed the lowest dispersion, with greater dispersion observed among various trait indices of the germplasm resources from the periods after 2000. Comparative analysis of quality traits across different time periods showed a decreasing trend in protein content and wet gluten content of flour from local

收稿日期: 2024-03-18 网络出版日期: 2024-10-28

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240318001>

第一作者研究方向为小麦品质评价与遗传育种, E-mail: zanxiangcun1974@163.com

通信作者: 齐学礼, 研究方向为小麦遗传育种, E-mail: xueliqi888@163.com

基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项(CARS-03); 国家重点研发计划课题(2023YFD1201004)

**Foundation projects:** National Modern Agriculture Industry Technology System Project(CARS-03); National Key Research and Development Plan (2023YFD1201004)

varieties (before 1949) to varieties from 1949 to 2000, and to varieties after 2000. Conversely, traits such as gluten index, developing time, and stability time, indicative of gluten strength, displayed an increasing trend over the years. Peak viscosity and breakdown exhibited a trend of varieties from 1949 to 2000 > local varieties > varieties from years after 2000, with significant differences observed among the three. Correlation analysis indicated varying degrees of correlation among the 13 quality indicators, with protein content, wet gluten content, and peak viscosity showing correlations with multiple other indicators, suggesting their potential as target traits for wheat breeding. The systemic cluster analysis categorized wheat germplasm into 6 groups, each displaying unique quality traits which are different from the quality traits of other groups. Group III was characterized by low flour water absorption and low gluten index, while group IV exhibited high protein content, high wet gluten content, and high peak viscosity. Additionally, four germplasms meeting the strong gluten standard based on protein content, wet gluten content, and stability time, and one germplasm meeting the weak gluten standard were identified. The findings of this study offer valuable insights and a theoretical foundation for the utilization of wheat germplasm resources and the breeding of high-quality wheat varieties in China.

**Key words:** wheat; quality traits; diversity; comprehensive assessment

种质资源是种业创新的物质基础,是保障国家粮食安全的战略资源<sup>[1]</sup>。种质资源是基因的载体,是培育突破性品种的基础材料<sup>[2]</sup>。知名小麦品种郑麦9023、矮抗58、郑麦366等,均是利用优异的小麦种质资源培育而成,优质、抗逆和抗病等优异基因的聚合赋予了这些小麦品种优质特性和广泛适应性,使得它们成为黄淮麦区小麦生产中的主导品种<sup>[3-5]</sup>。刘爱峰等<sup>[6]</sup>对698份山东小麦种质资源进行品质鉴定评价,筛选出一批具有较高峰值粘度和沉淀值的地方品种,可作为改良淀粉品质和面筋强度的优异亲本材料。吕国锋等<sup>[7]</sup>依据蛋白质含量和沉降值从中国小麦微核心种质中筛选出一批优质弱筋种质,为弱筋小麦育种提供优质亲本材料。许娜丽等<sup>[8]</sup>通过对251份宁夏麦区小麦种质资源材料的主要农艺与品质性状进行多样性分析,鉴定出17份优异种质材料,为宁夏小麦的遗传改良提供基础材料。这些小麦种质资源方面的研究结果为小麦品质育种工作奠定了基础,加快了优异种质资源的利用,对优质小麦育种产生了重要影响<sup>[9]</sup>。但随着小麦育种目标和需求的改变,育种工作对小麦种质资源的利用率增大,尤其是优质小麦育种工作的广泛开展,对种质资源特征特性信息量的需求也随之增强,因此需要对种质资源进行更为广度和深度的研究。

我国小麦地方品种和选育品种存在较广泛的遗传多样性和优异基因,是小麦育种的重要种质资源。开展小麦种质资源鉴定、优异基因发掘及创新利用研究,是持续提高小麦遗传改良研究水平的重

要技术途径<sup>[5]</sup>。本研究以607份河南小麦种质为材料,测定其蛋白质含量、面团的流变性和淀粉的糊化特性等指标,分析品质性状多样性,深入了解各品质性状间的相关性并进行聚类分析,探讨地方品种(1949年以前)、1949-2000年间品种及2000年以后品种的品质特性,为高效合理利用优质种质资源及调整育种策略提供参考,拓宽小麦育种的遗传基础,同时针对小麦品质育种现状提出新的开发利用方向,加快小麦品质育种进程。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试材料共607份,包括1949年以前的河南省地方品种358份,新中国成立70年来河南省主要的大面积推广品种、骨干亲本及目前的苗头品种249份(其中1949-2000年的种质108份,2000年以后的种质141份)。所有供试材料均由河南省作物分子育种研究院分子团队提供。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 田间种植** 于2020-2021年度种植在河南省农业科学院试验基地(原阳),随机区组设计,3个重复,每个重复每份种质材料种植2行,行长2.00 m,行距25 cm,株距7 cm。试验地肥力均匀,田间管理按当地试要求进行,收获籽粒用于品质测定。

**1.2.2 品质特性测定** 参照行业标准NY/T 1094.1-2006《小麦实验制粉 第1部分:设备、样品制备和润麦》(<https://hbba.sacinfo.org.cn/attachment/>

onlineRead/90f8d4841021ce48c76e7ce718dfb634c72c43a6683cf40678b3d1cc973f8017),把收获的3个重复等比混合成1.8 kg小麦籽粒样品,根据籽粒水分含量和硬度计算润麦加水量,硬麦籽粒水分含量调整至15%,软麦调整至14%。采用无锡布勒MLU-202实验制粉机制粉,出粉率控制在60%~70%之间。将所得面粉装入保鲜袋,放置两周后进行品质测定。

参照国家标准GB/T 24899-2010《粮油检验 小麦粗蛋白质含量测定 近红外法》(<https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=71F772D7D2F9D3A7E05397BE0A0AB82A>),采用瑞典Perten IM9500型多功能谷物近红外分析仪测定面粉蛋白质含量(干基)。参照国家标准GB/T 5506.2-2008《小麦和小麦粉:面筋含量 第2部分:仪器法测定湿面筋》(<https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=71F772D7F938D3A7E05397BE0A0AB82A>),采用瑞典Perten公司的Glutomatic 2200面筋自动分析仪测定湿面筋含量和面筋指数;参照国家标准GB/T 14614-2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试粉质仪法》(<https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=88F4E6DA63574198E05397BE0A0ADE2D>),采用德国Brabender公司的粉质仪测定吸水率、形成时间、稳定时间3个粉质参数。参照国家标准GB/T 24853-2010《小麦、黑麦及其粉类和淀粉糊化特性测定 快速粘度仪法》(<https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=71F772D7F77FD3A7E05397BE0A0AB82A>),采用瑞典Perten快速黏度仪测峰值粘度、最低粘度、最终粘度、峰值时间、峰值温度、回生值和衰减值7个糊化特性参数。所有测试均为混合样品平行测定2次,取平均。

**1.2.3 小麦品种分类标准** 参照国家标准GB/T 17320-2013《小麦品种品质分类》(<https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=71F772D7FF89D3A7E05397BE0A0AB82A>),根据蛋白质含量、湿面筋含量、吸水量、稳定时间对小麦种质材料进行分类:蛋白质含量 $\geq 14.0\%$ 、湿面筋含量 $\geq 30\%$ 、吸水率 $\geq 60\%$ 、稳定时间 $\geq 8.0$  min为强筋小麦;蛋白质含量 $\geq 13.0\%$ 、湿面筋含量 $\geq 28\%$ 、吸水率 $\geq 58\%$ 、稳定时间 $\geq 6.0$  min为中强筋小麦;蛋白质含量 $\geq 12.5\%$ 、湿面筋含量 $\geq 26\%$ 、吸水率 $\geq 56\%$ 、稳定时间 $\geq 3.0$  min

为中筋小麦;蛋白质含量 $< 12.5\%$ 、湿面筋含量 $< 26\%$ 、吸水率 $< 56\%$ 、稳定时间 $< 3.0$  min为弱筋小麦。

### 1.3 数据分析

利用Excel 2007和SPSS 20软件对数据进行方差分析和描述性统计,计算13个性状指标的最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数。利用在线工具OmicShare (<https://www.omicshare.com/tools/>)工具绘制热图,进行相关性分析。运用Origin 2021软件,采用瓦尔德(Wald)法对种质材料进行聚类分析,并绘制环形聚类图和箱线图,进一步使用SPSS对不同类群品质性状进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦种质品质性状多样性分析

由表1可知,607份材料的13个品质指标的离散程度存在较大差异,变异系数范围为2.28%~79.56%,其中面团稳定时间的变异系数最高,糊化特性指标峰值时间的变异系数最低,表明各性状指标差异较大,表型多样性丰富。与地方品种和1949-2000年的品种相比,2000年以后小麦品种的吸水率、形成时间、稳定时间、最低粘度、衰减值及峰值时间等性状的变异系数均最大。地方品种的蛋白质含量及湿面筋含量的平均值显著高于1949-2000年的品种和2000年以后品种,其中蛋白质含量 $\geq 18\%$ 且湿面筋含量 $\geq 48\%$ 的材料有白疙瘩头、白火麦和大传条麦。此外,地方品种早洋麦具有优异的淀粉糊化特性,其蛋白质含量为14.9%,吸水率为65.6%,峰值粘度为4062 cP,最终粘度为4572 cP,糊化温度为69.4 $^{\circ}\text{C}$ ;而白螭芒的吸水率高达84.0%,峰值粘度为936 cP,最低粘度为408 cP,最终粘度为1256 cP,糊化温度为88.0 $^{\circ}\text{C}$ ,其高吸水率、低峰值粘度、高糊化温度的特性说明该品种可能具有高直链淀粉含量或高抗性淀粉含量,其面粉颗粒度大,导致糊化时峰值粘度较低,糊化温度较高。由此可见,地方品种是小麦优质育种的重要材料基础,既有可用于改良营养品质的高蛋白质含量、高抗性淀粉含量优质资源,又有丰富的可用于改良加工品质的高面筋强度和高峰值粘度优质资源。

表 1 607 份小麦种质 13 个品质性状变异

Table 1 Variation of 13 quality traits in 607 wheat germplasm

品质性状 Quality traits	类型 Type	平均值 Mean	标准差 SD	极小值 Mix.	极大值 Max.	变异系数(%) CV
蛋白质含量(干基,%)PC	地方品种	15.70a	0.90	12.50	20.00	5.71
	1949-2000年的品种	13.27b	1.32	10.90	17.30	9.93
	2000年以后的品种	12.54c	0.92	10.90	15.30	7.31
	全部	14.53	1.73	10.90	20.00	11.91
湿面筋含量(%)WGC	地方品种	40.04a	3.77	28.41	64.38	9.43
	1949-2000年的品种	31.73b	4.05	23.74	43.24	12.75
	2000年以后的品种	29.05c	2.82	23.94	38.03	9.71
	全部	36.01	6.10	23.74	64.38	16.95
面筋指数(%)GI	地方品种	49.35b	18.57	0	97.50	37.64
	1949-2000年的品种	52.32b	25.24	0	100	48.23
	2000年以后的品种	66.07a	26.09	0	100	39.49
	全部	53.76	22.81	0	100	42.42
吸水率(%)WA	地方品种	68.82a	4.03	59.20	84.00	5.85
	1949-2000年的品种	61.85b	3.73	55.20	71.40	6.02
	2000年以后的品种	69.01a	5.66	56.00	81.50	8.21
	全部	67.63	5.16	55.20	84.00	7.63
形成时间(min)DT	地方品种	3.18b	0.67	1.80	7.20	21.13
	1949-2000年的品种	3.30ab	1.40	1.20	7.70	42.45
	2000年以后的品种	3.54a	1.96	1.40	13.70	55.36
	全部	3.28	1.23	1.20	13.70	37.57
稳定时间(min)ST	地方品种	2.16c	1.23	0.80	13.00	56.97
	1949-2000年的品种	4.19b	2.29	1.30	15.80	54.82
	2000年以后的品种	5.02a	3.62	1.00	19.20	71.97
	全部	3.19	2.53	0.80	19.20	79.56
峰值粘度(cP)PV	地方品种	2488.48b	288.16	936.00	3335.00	11.58
	1949-2000年的品种	2576.73a	379.44	1384.00	4062.00	14.73
	2000年以后的品种	2393.55c	340.81	1744.00	3402.00	14.24
	全部	2482.13	323.45	936.00	4062.00	13.03
最低粘度(cP)TV	地方品种	1584.36a	225.93	408.00	2354.00	14.26
	1949-2000年的品种	1541.35a	318.62	574.00	2517.00	20.67
	2000年以后的品种	1524.50a	374.02	904.00	2540.00	24.53
	全部	1562.80	284.62	408.00	2540.00	18.21
衰减值(cP)BD	地方品种	904.12b	131.38	528.00	1298.00	14.53
	1949-2000年的品种	1035.38a	125.57	674.00	1545.00	12.13
	2000年以后的品种	869.06c	187.61	287.00	1436.00	21.59
	全部	919.33	155.59	287.00	1545.00	16.92

表 1 (续)

品质性状 Quality traits	类型 Type	平均值 Mean	标准差 SD	极小值 Mix.	极大值 Max.	变异系数(%) CV
最终粘度(cP)FV	地方品种	3050.60a	294.64	1256.00	3995.00	9.66
	1949-2000年的品种	3028.84a	461.89	1476.00	4572.00	15.25
	2000年以后的品种	3010.14a	389.57	2095.00	4075.00	12.94
	全部	3037.33	352.37	1256.00	4572.00	11.60
回生值(cP)SB	地方品种	1466.24a	103.39	848.00	1759.00	7.05
	1949-2000年的品种	1487.49a	160.68	902.00	2055.00	10.80
	2000年以后的品种	1485.65a	139.03	957.00	1804.00	9.36
	全部	1474.53	124.18	848.00	2055.00	8.42
峰值时间(min)PT	地方品种	6.00a	0.05	5.00	6.00	0.88
	1949-2000年的品种	5.99a	0.10	5.00	6.00	1.61
	2000年以后的品种	5.97a	0.26	4.00	7.00	4.29
	全部	5.99	0.14	4.00	7.00	2.28
糊化温度(°C)PST	地方品种	73.54c	8.44	67.00	90.00	11.47
	1949-2000年的品种	79.94a	9.07	68.00	89.00	11.34
	2000年以后的品种	77.41b	9.16	68.00	90.00	11.84
	全部	75.58	9.08	67.00	90.00	12.02

不同小写字母表示不同类型之间差异显著( $P<0.05$ )

Different lowercase letters indicate significant differences between different type ( $P<0.05$ ); PC: Protein content; WGC: Wet gluten content; GI: Gluten index; WA: Water absorb; DT: Development time; ST: Stability time; PV: Peaking time; TV: Trough viscosity; BD: Breakdown; FV: Final viscosity; SB: Setback; PT: Peaking time; PST: Pasting temperature; The same as below

## 2.2 不同年代来源种质的品质性状表现

分析不同年代类型种质的品质性状表现(表1),结果表明,除最低粘度、最终粘度、回生值和峰值时间外,其他品质性状在不同年代类型的种质资源间均存在显著差异。随着年代的推移,面粉的蛋白质含量和湿面筋含量呈明显降低的趋势,地方品种(蛋白质含量 15.7%,湿面筋含量 40.04%)>1949-2000年的品种(蛋白质含量 13.27%,湿面筋含量 31.73%)>2000年以后的品种(蛋白质含量 12.54%,湿面筋含量 29.05%)。而反映面筋强度的面筋指数、形成时间和稳定时间等指标则随着年代的推迟呈明显升高的趋势,地方品种(面筋指数、形成时间和稳定时间分别为 49.35%、3.18 min、2.16 min)<1949-2000年的品种(面筋指数、形成时间和稳定时间分别为 52.32%、3.30 min、4.19 min)<2000年以后的品种(面筋指数、形成时间和稳定时间分别为 66.07%、3.54 min、5.02 min)。在不同年代的种质间,1949-2000年的品种的峰值粘度和衰减值均最高,分别是 2576.73 cP、1035.38 cP,地方品种次之,分别是 2488.48 cP、904.12 cP,2000年以后品种均最

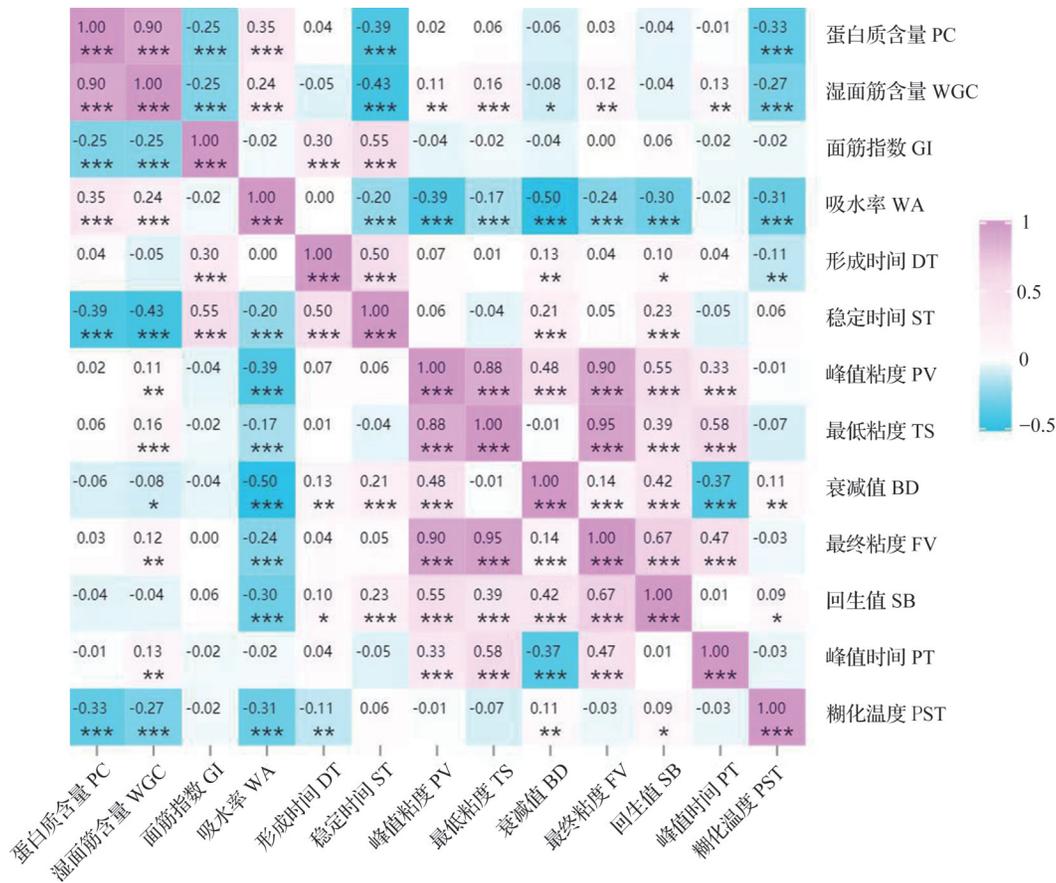
低,分别是 2393.55 cP、869.06 cP;糊化温度的变化趋势为 1949-2000年的品种(79.94°C)>2000年以后的品种(77.41°C)>地方品种(73.54°C)。

## 2.3 品质性状相关性分析

对小麦种质主要品质性状之间的相关性进行分析(图1),结果表明参试种质的13个品质性状之间存在不同程度的相关性。蛋白质含量与湿面筋含量、吸水率均呈极显著正相关,与面筋指数、稳定时间及糊化温度均呈极显著负相关。湿面筋含量与吸水率、峰值粘度、最低粘度、最终粘度及峰值时间均呈极显著正相关,与面筋指数、稳定时间、糊化温度均呈极显著负相关。面筋指数与形成时间、稳定时间均呈极显著正相关。吸水率与稳定时间以及除峰值时间以外的糊化指标均呈极显著负相关。形成时间与稳定时间、衰减值及回生值均呈极显著或显著正相关,而与糊化温度呈极显著负相关。稳定时间与衰减值、回生值均呈极显著正相关。峰值粘度与最低粘度、衰减值、最终粘度、回生值及峰值时间均呈极显著正相关。最低粘度与最终粘度、峰值时间、回生值均呈极显

显著正相关。最终粘度与回生值、峰值时间均呈极显著正相关。其中,最低粘度与最终粘度之间的

正相关系数最大,为0.95,吸水率与衰减值之间的负相关系数最小,为-0.50。



\*, \*\*和\*\*\*分别表示在0.05、0.01、0.001水平显著相关

\*, \*\*and \*\*\* indicated significant correlation at 0.05, 0.01, and 0.001 level, respectively

图1 小麦种质品质性状的相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis among quality traits of wheat germplasm resources

## 2.4 聚类分析

利用13个品质性状对参试小麦种质进行聚类分析并对各类群进行特征描述(图2、表2、图3),结果表明607份小麦品种被聚为6类,其中第I类包含103份种质资源,其中2000年以后的品种占55.34%,地方品种占32.04%;该类群的主要特征为峰值粘度低(2136 cP)、面筋指数值较高(59.68%)、峰值时间短(6 min)。第II类包含209份种质资源,其中地方品种占63.64%,1949-2000年的品种占25.36%;该类群的主要特征为回生值高(1497 cP)、形成时间短(3.27 min)。第III类包含30份种质资源,其中1949-2000年的品种占66.67%;该类群的主要特征为吸水率低(62.7%)、回生值低(1381 cP)、衰减值高(1149 cP)、形成时间长(4.02 min)、面筋指数低(47.83%)、峰值时间短(6 min)。第IV类包含47份种质资源,其中地方品种占74.47%;该类群的主要特征为蛋白质含量高(15.6%)、湿面筋含量高

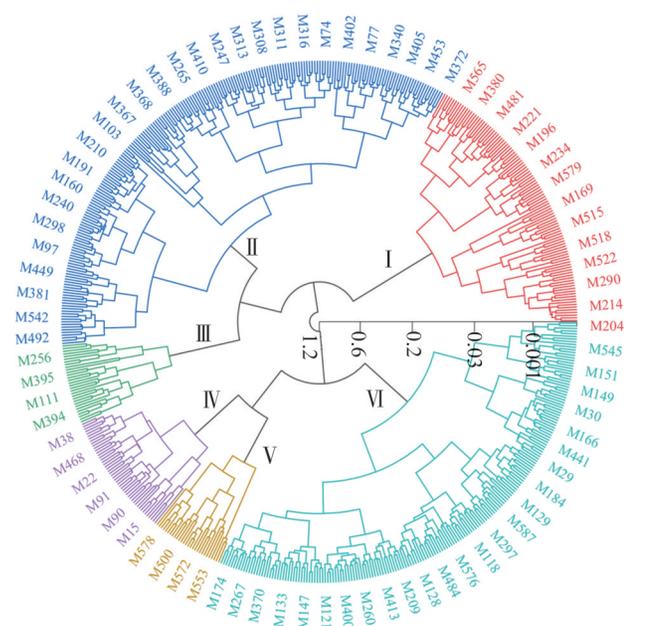


图2 基于13个性状指标的小麦种质聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of wheat germplasm based on 13 traits

(41.55%)、峰值粘度高(2722 cP)。第V类包含 28 份种质资源, 其中 2000 年以后品种 26 份(92.86%); 该类群蛋白质含量低(12.2%)、湿面筋含量低(28.46%)、面筋指数高(70.72%)、峰值粘度高(2710 cP)。第VI类包含 190 份种质资源, 其中地

方品种占 77.37%; 该类群的主要特征稳定时间短(1.9 min)、蛋白质含量较高(15.1%)。除了 1949-2000 年的品种在第V类中没有分布外, 3 种不同年代类型的种质资源在 6 个类群中基本均有分布, 但所占比例不同。

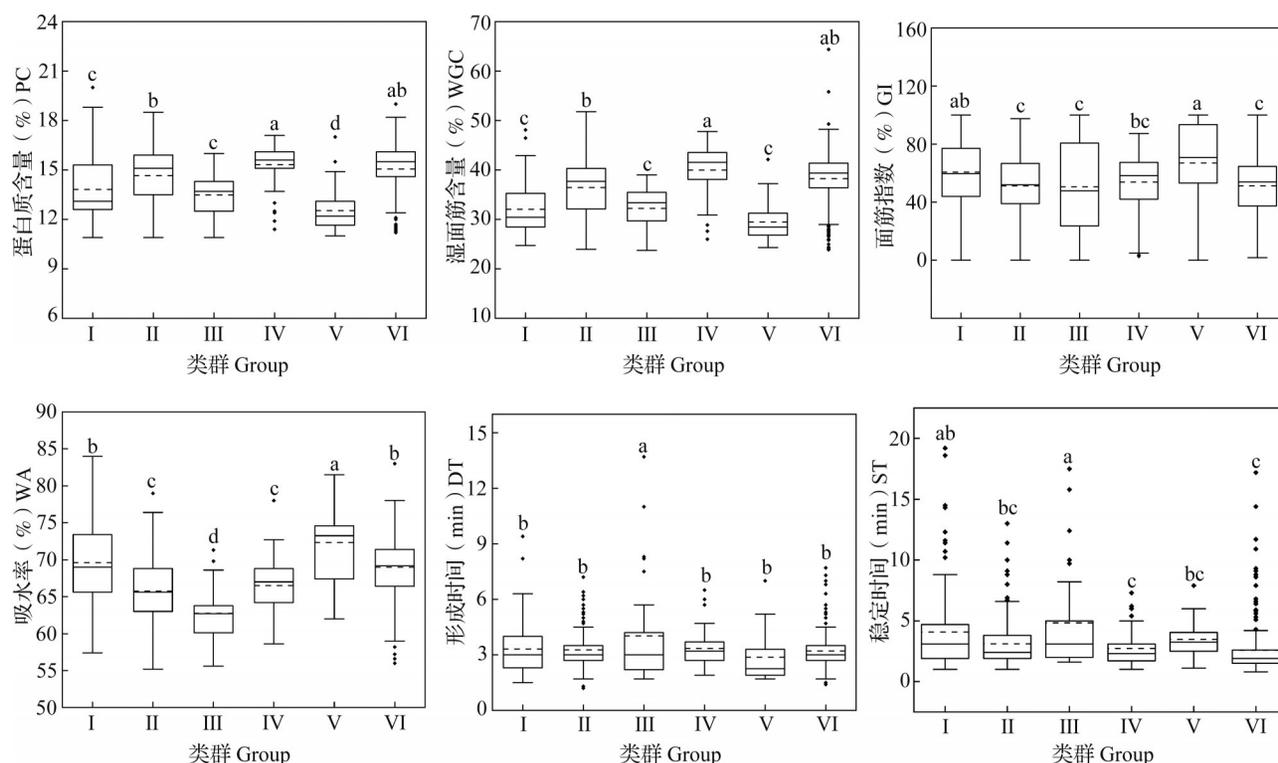
表 2 小麦种质不同类群的分布情况

Table 2 Distribution of different wheat germplasm groups

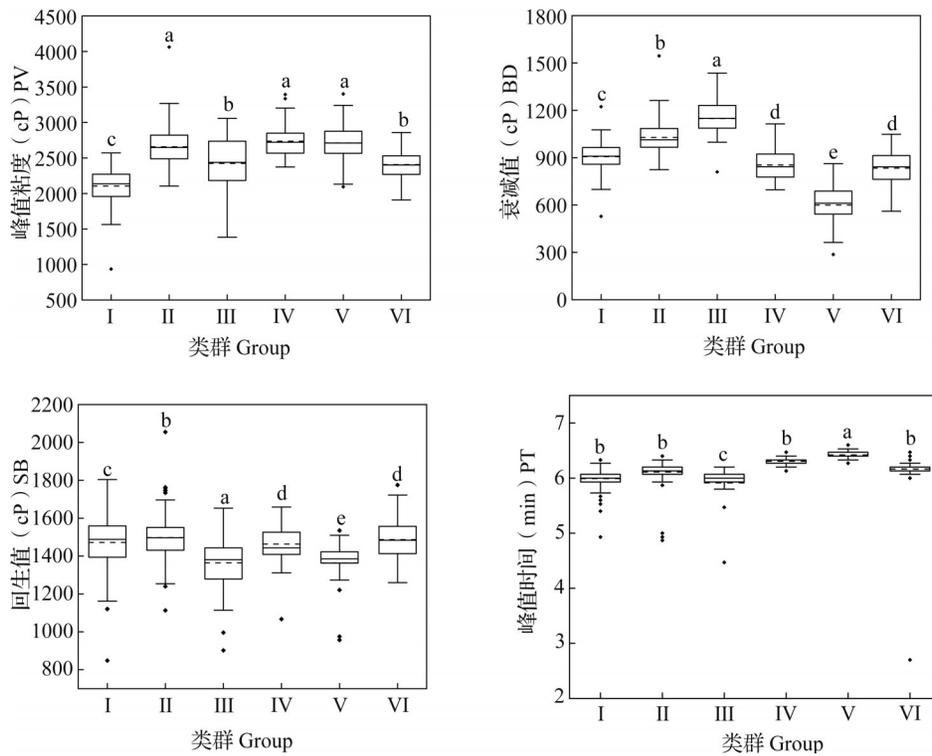
类群 Group	数量 Number	地方品种 Local variety			1949-2000年的品种 Varieties from 1949 to 2000			2000年以后的品种 Varieties after 2000		
		数量 Number	类群占比 (%) CP	来源占比 (%) SP	数量 Number	类群占比 (%) CP	来源占比 (%) SP	数量 Number	类群占比 (%) CP	来源占比 (%) SP
I	103	33	32.04	9.22	13	12.62	12.15	57	55.34	40.43
II	209	133	63.64	37.15	53	25.36	49.53	23	11.00	16.31
III	30	5	16.67	1.40	20	66.67	18.69	5	16.67	3.55
IV	47	35	74.47	9.78	5	10.64	4.67	4	8.51	2.84
V	28	2	7.14	0.56	0	0	0	26	92.86	18.44
VI	190	147	77.37	41.06	17	8.95	15.89	26	13.68	18.44

表中地方品种 358 份、1949-2000 年间的品种 108 份、2000 年以后的品种 141 份

There are 358 local varieties, 107 varieties from 1949 to 2000, and 141 varieties after 2000 in the table; CP: Cluster proportion; SP: Source proportion



(图 3)



箱盒两端表示性状的极值范围;不同字母表示差异显著性( $P < 0.05$ );中间虚线:平均线;中间直线:中位线;◆:个别极值

Both ends of boxplot indicate the extreme range of traits; Different letters mean significant difference ( $P < 0.05$ ); Middle dotted line: Average line;

Intermediate line: The median line; ◆: Individual extremum

图3 小麦种质6个类群的10个主要品质性状的箱线图

Fig. 3 Boxplots of ten main quality traits of wheat germplasm in 6 groups

## 2.5 种质资源的综合评价

根据中华人民共和国国家标准 GB/T 17320—2013《小麦种质品质分类》,将不同小麦品种的主要品质指标按照强筋、中强筋、中筋、弱筋标准统计,由表3可知,蛋白质含量达到强筋和弱筋标准的种质分别有394份和99份;湿面筋含量达到强筋和弱筋标准种质分别有474份和22份;吸水率达到强筋

和弱筋标准种质分别有503份和2份;稳定时间达到强筋和弱筋标准种质分别有30份和389份。4项均达强筋麦标准的种质有4份,分别为白火麦、拳芒麦、郑麦366、豫麦69;15份种质达中强筋标准;123份种质达中筋小麦标准;1份种质达弱筋小麦标准,即太空6号。进一步分析发现2份强筋小麦种质为地方品种,1份弱筋种质为2000年以后的品种。

表3 小麦种质主要品质性状达标情况

Table 3 The compliance situation of main quality traits of wheat germplasm

类型 Type	达标种质个数 Number of germplasm reaching the standard				4项均达标 Meet all four indices
	蛋白质含量 PC	湿面筋含量 WGC	吸水率 WA	稳定时间 ST	
强筋 Strong gluten	394(≥14%)	474(≥30%)	503(≥60%)	30(≥8min)	4
中强筋 Middle-strong gluten	64(≥13%)	55(≥28%)	62(≥58%)	32(≥6min)	15
中筋 Middle gluten	50(≥12.5%)	56(≥26%)	40(≥56%)	156(≥3min)	123
弱筋 Weak gluten	99(<12.5%)	22(<26%)	2(<56%)	389(<3min)	1

括号中数字为国家标准 GB/T 17320-2013 中规定的不同类型小麦品种的品质指标

The figures in brackets are quality indices for the different types of wheat varieties specified in the national standard GB/T 17320-2013

### 3 讨论

#### 3.1 小麦种质品质性状多样性分析

小麦种质资源的性状多样性分析是进行小麦优质高产育种的工作基础,直接影响小麦的育种进程,对小麦品种改良及优异亲本选择具有重要指导意义。作物表型性状的变异系数越大,其离散程度就越大<sup>[10]</sup>。当某一性状变异系数大于10%时,表明样本间差异显著且性状变异丰度较大<sup>[11]</sup>。本研究对607份来源不同的小麦种质进行品质多样性分析,发现各品质性状指标的变异系数范围为2.28%~79.56%,与蔡金华等<sup>[12]</sup>研究相比,品质性状间的变异系数差异较大,主要是因为本研究的种质数量和性状数量均较多,表现出更大的差异性。除峰值时间、吸水率及回生值的变异系数小于10%外,其他指标的变异系数均大于10%,说明参试种质品质性状变异程度丰富。本研究中,与其他品质性状相比,面团稳定时间的变异系数最高,与黄淮麦区105份小麦新品种<sup>[13]</sup>及河南省729个区试小麦品种<sup>[14]</sup>的结果相一致;而峰值时间的变异系数最低,表明13个性状指标中,峰值时间的改良空间最小。参试种质资源中个别种质的蛋白质含量最高达20%,湿面筋含量最高达64.38%,稳定时间最大达19.2 min,峰值粘度最高4062 cP,糊化温度最高达90 ℃,这些表现优异的极端种质材料为小麦单个品质性状的改良提供很好的基础。

#### 3.2 不同年代来源种质的品质性状比较

本研究中,与地方品种相比,1949-2000年品种和2000年以后的品种随着年代的推移,面粉的蛋白质含量、湿面筋含量呈明显降低趋势,这与李望鸿等<sup>[15]</sup>、曹颖妮等<sup>[16]</sup>、宋健民等<sup>[17]</sup>的研究结果一致。淀粉含量与籽粒产量呈正相关<sup>[18]</sup>,我国近几十年小麦产量是大幅度提升;郭骞欢等<sup>[19]</sup>研究结果表明,与籽粒产量的变化一致,小麦品种籽粒总淀粉含量随着育成时间的推移表现明显的上升趋势,本研究中蛋白质含量和湿面筋含量明显降低的趋势可能是因为随着年代的向后推移,小麦品种的产量逐步增加,籽粒淀粉含量呈同步增加趋势,从而导致蛋白质和湿面筋相对含量下降。而反映面筋强度的面筋指数、形成时间和稳定时间等指标则随着年代的推移呈明显升高的趋势(地方品种<1949-2000年品种<2000年后品种),这与曹颖妮等<sup>[16]</sup>研究认为随着年份推移稳定时间升高趋势一致;尽管本研究所用材料年代跨度较大,而曹颖妮等<sup>[16]</sup>所用材料为

2006-2016年区试材料,但相似的趋势表明在品质遗传改良方面,育种家多年来致力于蛋白质质量(面筋强度)改良。

峰值粘度和衰减值都是衡量淀粉糊化特性的重要指标<sup>[20]</sup>,二者与面条的加工品质密切相关,不仅影响面条外观,而且影响面条质地和口感<sup>[21]</sup>。本研究结果表明,峰值粘度和衰减值随着年代推移,其变化趋势为1949-2000年的品种>地方品种>2000年后的品种,这说明2000年以后河南生产中应用的小麦品种在淀粉品质改良方面进展不大,今后应加强淀粉品质的改良,可采用Wx基因分子标记技术对早代材料进行筛选,以提高优质面条小麦的育种准确性和育种效率,从而满足大宗面制品面条对优质小麦品质的需求。

#### 3.3 小麦种质资源主要品质性状之间的相关性分析

国内外对于小麦主要品质性状的相关性研究已有很多,但结果不尽相同。小麦品质性状较为复杂,是多种因素相互作用的综合结果。随着小麦品质性状测试技术和方法的丰富,小麦品质指标也随之增多<sup>[22-23]</sup>。不同品质指标之间彼此关联,多项品质数据反映的品质特性在一定程度上有重叠<sup>[24-26]</sup>。本研究中,蛋白质含量与湿面筋含量间、稳定时间与形成时间均呈极显著正相关,湿面筋含量与面筋指数呈负相关,与江伟等<sup>[27]</sup>结果一致,但蛋白质含量与稳定时间、面筋指数与稳定时间的相关性有差异。面筋指数衡量小麦粉中面筋蛋白的质量,与面筋筋力强度有关,是小麦粉食品品质的主要影响指标。本研究中,面筋指数与稳定时间呈极显著正相关,这与宋昱等<sup>[28]</sup>的研究结果一致,面筋指数的测定所需要的种子量小,简单易行,可以作为改良面筋质量的主要参考指标。峰值粘度与最终粘度、最低粘度、峰值时间、衰减值、回生值等大部分糊化特性指标呈极显著正相关,与闫俊等<sup>[29]</sup>、李淦等<sup>[30]</sup>的研究结果一致,因此可以将峰值黏度作为淀粉糊化特性的最主要参考指标。本研究还发现稳定时间、形成时间与衰减值、回生值之间存在一定的相关性,推测面粉的粉质特性和面粉的糊化特性之间可能存在一定关系。

#### 3.4 607份小麦种质资源的聚类分析和综合评价

聚类分析是研究作物种质资源亲缘关系及起源的常用手段,可以直观体现种质个体间相关性的分类。聚类分析已被广泛应用于小麦种质资源遗传多样性研究<sup>[31]</sup>,是评价具有优异性状育种群体的

有效方法<sup>[32]</sup>。本研究利用13个品质性状指标对607份小麦种质进行聚类分析,将其分为6大类群,每个类群具有独特的特征,品质性状指标在部分类群间存在显著差异。其中,第Ⅲ类群具有面粉吸水率低、面筋指数低等特征,其中蛋白质含量低、吸水率低、面筋指数低的材料可作为选育制作饼干、糕点的小麦品种的亲本种质;第Ⅳ类群具有蛋白质含量高、湿面筋含量高和峰值粘度高的特征,其中蛋白质含量高、湿面筋含量高、面筋指数高和峰值粘度高的材料适合作为选育高筋小麦品种的亲本;第Ⅴ类群具有蛋白质含量低、湿面筋含量低、面筋指数高、峰值粘度高的特征,该类群中蛋白质含量在12.5%~13.5%、面筋指数高、峰值粘度高的材料比较适合作为选育优质面条和馒头品种的亲本。聚类分析能直观地了解不同种质之间的相似特征性状,为杂交亲本的选配提供直接依据。

通过对607份小麦种质分类发现,蛋白质含量、湿面筋含量、吸水率和稳定时间均达强筋和弱筋小麦的材料共有5份,应在以后的育种工作中加强应用。种质资源综合评价分析还发现,考虑单个指标时,小麦强筋和弱筋材料占比较高;同时满足多个指标时,发现中强筋和中筋材料较多,这与李爱国等<sup>[33]</sup>、胡学旭等<sup>[34]</sup>、朱保磊等<sup>[35]</sup>的研究结果一致。从不同类型种质资源的品质比较结果看,2000年以后的品种蛋白质质量得到明显改善,但达到强筋小麦标准的品种较少,如新麦26、师栾02-1等品种主要是因为试验年度其湿面筋含量偏低。蛋白质含量和湿面筋含量受生产环境和栽培措施的影响较大,因此,强筋优质小麦的田间管理措施在保证高产的前提下,应注意加大蛋白质含量和湿面筋含量栽培措施的推广。

## 4 结论

13个品质性状在小麦种质资源间存在丰富的变异,其中蛋白质含量、湿面筋含量、峰值粘度、糊化温度等指标表现优异的极端种质材料为小麦单个品质性状的改良提供很好的基础。不同类型种质资源的品质比较结果表明,从地方品种到1949-2000年的品种再到2000年以后的品种,随着年代的推移,面粉的蛋白质含量、湿面筋含量呈明显降低趋势,而面筋指数、形成时间和稳定时间等指标则呈明显升高的趋势;峰值粘度和衰减值变化趋势为1949-2000年的品种>地方品种>2000年以后的品种。系统聚类分析将小麦种质分为6类,不同类群

间品质性状存在一定差异,各类群均具有其独特的特征。同时,还鉴定到蛋白质含量、湿面筋含量、吸水率及稳定时间4个指标同时达到强筋标准的种质4份,同时达到弱筋标准的种质1份。相关结果为我国小麦种质资源的利用及优质品种选育提供重要参考及理论基础。

## 参考文献

- [1] 刘旭,黎裕,李立会,贾继增.作物种质资源学理论框架与发展战略.植物遗传资源学报,2023,24(1):1-10  
Liu X, Li Y, Li L H, Jia J Z. Theoretical framework and development strategy for the science of crop germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(1): 1-10
- [2] 胡琳,许为钢,张磊,董海滨,王根松,咎香存,张建周,李正玲,齐学礼,李春鑫,赵明忠.小麦种质资源鉴定、优异基因发掘及创新利用研究概述.河南农业科学,2009(9):22-25  
Hu L, Xu W G, Zhang L, Dong H B, Wang G S, Zan X C, Zhang J Z, Li Z L, Qi X L, Li C X, Zhao M Z. Identification, exploration, innovation and utilization of elite germplasm and gene resources in wheat. *Henan Agricultural Science*, 2009(9):22-25
- [3] 许为钢,胡琳,王根松,张磊,董海滨,李艳,张建周,咎香存,齐学礼,李春鑫,赵明忠.小麦品种郑麦9023的选育策略及对小麦产量育种的思考.河南农业科学,2009(9):14-18  
Xu W G, Hu L, Wang G S, Zhang L, Dong H B, Li Y, Zhang J Z, Zan X C, Qi X L, Li C X, Zhao M Z. Breeding strategies of high quality and wide regional adaptability wheat variety Zhengmai 9023 and relevant thoughts on wheat high yield breeding. *Henan Agricultural Science*, 2009(9):14-18
- [4] 徐鑫,张德华,李小军,李君,侯千禧,吴俊奎,师玉菲.小麦品种'矮抗58'主要农艺性状相关基因位点解析.河北农业大学学报,2020,43(6):1-4  
Xu X, Zhang D H, Li X J, Li J, Hou Q X, Wu J K, Shi Y F. Detection of genetic loci associated with main agronomic characters of wheat cultivar 'Aikang 58'. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2020, 43(6):1-4
- [5] 王美芳,雷振生,吴政卿,杨会民,林作楫,杨攀,何宁,徐福新,何盛莲,李巍.面包面条兼用型强筋小麦品种郑麦366品质评价.中国粮油学报,2012,27(8):1-4,10  
Wang M F, Lei Z S, Wu Z Q, Yang H M, Lin Z J, Yang P, He N, Xu F X, He S L, Li W. Quality evaluation of Zhengmai 366 strong gluten wheat variety for bread and noodles. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2012, 27(8): 1-4, 10
- [6] 刘爱峰,段友臣,程敦公,李豪圣,曹新有,宋健民,楚秀生,刘建军.山东小麦种质资源品质特性多样性研究及利用.植物遗传资源学报,2012,13(4):515-528  
Liu A F, Duan Y C, Cheng D G, Li H S, Cao X Y, Song J M, Chu X S, Liu J J. Quality characteristics diversity of wheat germplasm in Shandong and its utilization in wheat breeding.

- Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(4):515-528
- [7] 吕国锋,张伯桥,张晓祥,程顺和.中国小麦微核心种质中弱筋种质的鉴定筛选.中国农学通报, 2008, 24(10):260-263  
Lv G F, Zhang B Q, Zhang X X, Cheng S H. Screening for weak gluten resources from Chinese mini-core collections germplasms. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(10):260-263
- [8] 许娜丽,王新华,马冬花,杨杰,李清峰,刘凤楼,刘彩霞,刘根红,张晓岗,王掌军. 251份小麦种质资源的主要农艺与品质性状遗传多样性分析.南方农业学报, 2021, 52(9):2404-2416  
Xu N L, Wang X H, Ma D H, Yang J, Li Q F, Liu F L, Liu C X, Liu G H, Zhang X G, Wang Z J. Genetic diversity analysis of main agronomic and quality traits of 251 wheat germplasm resources. Journal of Southern Agriculture, 2021, 52(9):2404-2416
- [9] 魏益民,张波,关二旗,张国权,张影全,宋哲民.中国冬小麦品质改良研究进展.中国农业科学, 2013, 46(20):4189-4196  
Wei Y M, Zhang B, Guan E Q, Zhang G Q, Zhang Y Q, Song Z M. Advances in study of quality property improvement of winter wheat in China. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(20):4189-4196
- [10] 周瑜,李泽碧,黄娟,吴毓,张亚勤,张志良,张晓春.高粱种质资源表型性状的遗传多样性分析.植物遗传资源学报, 2021, 22(3):654-664  
Zhou Y, Li Z B, Huang J, Wu Y, Zhang Y Q, Zhang Z L, Zhang X C. Genetic diversity of sorghum germplasms based on phenotypic traits. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(3):654-664
- [11] 吕伟,任果香,韩俊梅,文飞,王若鹏,刘文萍.干旱胁迫对芝麻幼苗生理生化指标的影响.作物杂志, 2021(5):172-175  
Lv W, Ren G X, Han J M, Wen F, Wang R P, Liu W P. Effects of drought stress on physiological and biochemical indexes of sesame seedlings. Crops, 2021(5):172-175
- [12] 蔡金华,杨阳,单延博,张利伟,卢济康,李东升,温明星,曲朝喜. 35份小麦种质资源品质性状的主成分和聚类分析.浙江农业科学, 2017, 58(5):758-760  
Cai J H, Yang Y, Shan Y B, Zhang L W, Lu J K, Li D S, Wen M X, Qu C X. Principal component and cluster analysis of quality traits of 35 wheat germplasm resources. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2017, 58(5):758-760
- [13] 张婷,袁凯,史晓芳,张伟,杨斌,逯腊虎.黄淮海区105份冬小麦农艺及品质性状的分析与评价.陕西农业科学, 2023, 69(5):85-92  
Zhang T, Yuan K, Shi X F, Zhang W, Yang B, Lu L H. Analysis and evaluation of agronomic and quality traits of 105 wheat varieties in Huang-huai wheat region. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2023, 69(5):85-92
- [14] 辛玉杰,刘继红,冯丹,赵光华,裴金花,尹海燕,王允,王红旗,刘冬梅,曹成,王俊艳,郑嘉,曹颖妮. 2017-2021年河南省小麦区域试验品种(系)的品质性状分析.河南农业科  
学, 2023, 52(2):31-37  
Xin Y J, Liu J H, Feng D, Zhao G H, Pei J H, Yin H Y, Wang Y, Wang H Q, Liu D M, Cao C, Wang J Y, Zheng J, Cao Y N. Quality character analysis of wheat varieties (lines) in Henan regional tests from 2017 to 2021. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(2):31-37
- [15] 李望鸿,李玉芳,张环,董熨,杨文雄,张国宏.甘肃育成小麦品种与地方品种品质性状的比较分析.麦类作物学报, 2008, 28(6):977-982  
Li W H, Li Y F, Zhang H, Dong J, Yang W X, Zhang G H. Comparison analysis of quality characters between wheat cultivars bred and wheat landraces in Gansu. Journal of Triticeae Crops, 2008, 28(6):977-982
- [16] 曹颖妮,余大杰,赵光华,郝学飞,胡卫国,汪红,裴金花,张可可,胡京枝. 2006-2016年河南省小麦区域试验品种(系)的品质性状分析.麦类作物学报, 2018, 38(8):893-899  
Cao Y N, Yu D J, Zhao G H, Hao X F, Hu W G, Wang H, Pei J H, Zhang K K, Hu J Z. Quality character analysis of wheat varieties (lines) in Henan regional tests from 2006 to 2016. Journal of Triticeae Crops, 2018, 38(8):893-899
- [17] 宋健民,戴双,李豪圣,程敦公,刘爱峰,曹新有,刘建军,赵振东.山东省近年来审定小麦品种农艺和品质性状演变分析.中国农业科学, 2013, 46(6):1114-1126  
Song J M, Dai S, Li H S, Cheng D G, Liu A F, Cao X Y, Liu J J, Zhao Z D. Evolution of agronomic and quality traits of wheat cultivars released in Shandong province recently. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(6):1114-1126
- [18] Hucl P, Chibbar R N. Variation for starch concentration in spring wheat and its repeatability relative to protein concentration. Cereal Chemistry, 1996, 73(6):756-758
- [19] 郭骞欢,谢彦庆,程敦公,周连杰,戴双,李豪圣,赵世杰,宋健民.山东省不同时期主推小麦品种的籽粒淀粉合成比较.植物生理学报, 2013, 49(9):949-958  
Guo Q H, Xie Y Q, Cheng D G, Zhou L J, Dai S, Li H S, Zhao S J, Song J M. Comparison in grain starch biosynthesis of the leading wheat cultivars of different eras released in Shandong province. Plant Physiology Journal, 2013, 49(9):949-958
- [20] 张勇,何中虎.我国春播小麦淀粉糊化特性研究.中国农业科学, 2002, 35(5):471-475  
Zhang Y, He Z H. Investigation on pasting property of spring-sown Chinese wheats. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(5):471-475
- [21] 刘建军,何中虎,杨金,徐兆华,刘爱峰,赵振东.小麦品种淀粉特性变异及其与面条品质关系的研究.中国农业科学, 2003, 36(1):7-12  
Liu J J, He Z H, Yang J, Xu Z H, Liu A F, Zhao Z D. Variation of starch properties in wheat cultivars and their relationship with dry white Chinese noodle quality. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(1):7-12
- [22] Campbell W, Wrigley C, Cressey P, Slack C. Statistical correlations between quality attributes and grain protein

- composition for 71 hexaploid wheat used as breeding parents. *Cereal Chemistry*, 1987, 64: 293-299
- [23] Autio K, Flander L. Bread quality relationship with rheological measurements of wheat flour dough. *Cereal Chemistry*, 2001, 78 (6):654-657
- [24] 胡琳, 盖钧镒, 许为钢, 赵新西, 张磊, 王根松. 小麦品质特性的分类及相对重要性分析. *麦类作物学报*, 2006, 26 (5): 60-64
- Hu L, Gai J Y, Xu W G, Zhao X X, Zhang L, Wang G S. Study on the classification and relative importance of quality properties in wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2006, 26 (5): 60-64
- [25] 路辉丽, 王亚平, 尹成华, 张红云, 王玉红, 胡纪鹏, 张威. 小麦品质指标与面团流变学特性的多元回归分析. *粮油食品科技*, 2013, 21 (1):62-66
- Lu H L, Wang Y P, Yin C H, Zhang H Y, Wang Y H, Hu J P, Zhang W. Multiple regression analysis of wheat quality indexes and dough rheological properties. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2013, 21 (1):62-66
- [26] 要燕杰, 高翔, 李晓燕, 吴丹, 陈其皎, 董剑, 赵万春, 陈良国, 石引刚, 李学军. 小麦品质指标与面团流变学特性的相关和多元回归分析. *华北农学报*, 2013, 28(S1):147-154
- Yao Y J, Gao X, Li X Y, Wu D, Chen Q J, Dong J, Zhao W C, Chen L G, Shi Y G, Li X J. Correlation and multiple regression analysis of wheat quality indexes and dough rheological properties. *Acta Agriculture Bureau-Sinica*, 2013, 28(S1):147-154
- [27] 江伟, 张晓, 刘大同, 高德荣, 张勇, 李曼, 寿路路, 陆成彬. 小麦品质性状相关性及其主成分分析. *江苏农业科学*, 2023, 51 (16):43-48
- Jiang W, Zhang X, Liu D T, Gao D R, Zhang Y, Li M, Shou L L, Lu C B. Correlation and principal component analysis of wheat quality characters. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2023, 51 (16):43-48
- [28] 宋昱, 谢三刚, 于章龙, 谢飒英, 任文斌, 宋虹. 全麦面粉筋指数法在小麦育种中应用条件的研究. *安徽农业科学*, 2015, 43 (8):248-251
- Song Y, Xie S G, Yu Z L, Xie S Y, Ren W B, Song H. The application conditions of whole wheat flour gluten index in wheat breeding. *Journal of Anhui Agriculture*, 2015, 43 (8): 248-251
- [29] 阎俊, 张勇, 何中虎. 小麦品种糊化特性研究. *中国农业科学*, 2001, 34 (1): 1-4
- Yan J, Zhang Y, He Z H. Investigation on paste property of Chinese wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, 34(1): 1-4
- [30] 李淦, 姜小苓, 吴晓军, 李小军, 茹振钢, 王跃东, 张双. 171份小麦种质面粉糊化特性及其与品质性状的相关性分析. *麦类作物学报*, 2019, 39 (8):973-978
- Li G, Jiang X L, Wu X J, Li X J, Ru Z G, Wang Y D, Zhang S. Flour pasting characteristics of 171 wheat germplasm and the relationship with quality properties. *Journal of Triticeae Crops*, 2019, 39 (8):973-978
- [31] 张会芳, 齐红志, 孙岩, 冯晓, 杨翠苹, 卓文飞, 燕照玲, 齐学礼. 黄淮冬麦区不同来源地新育成小麦品种性状多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2023, 24 (3):719-731
- Zhang H F, Qi H Z, Sun Y, Feng X, Yang C P, Zhuo W F, Yan Z L, Qi X L. Character diversity analysis of new wheat varieties from different origins in Huang-Huai winter wheat region. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24 (3): 719-731
- [32] Iannucci A, Codianni P. Phenotypic parent selection within a Khorasan wheat collection and genetic variation in advanced breeding lines derived by hybridization with durum wheat. *Frontiers in Plant Science*, 2019, 10:1460
- [33] 李爱国, 宋晓霞, 张文斐, 王改革. 2001-2020年河南省审定小麦品种育种特点及表型性状演变分析. *麦类作物学报*, 2021, 41 (8):947-959
- Li A G, Song X X, Zhang W F, Wang G G. Breeding characteristics and phenotypic traits evolution of wheat varieties approved in Henan province during 2001-2020. *Journal of Triticeae crops*, 2021, 41 (8):947-959
- [34] 胡学旭, 孙丽娟, 周桂英, 吴丽娜, 陆伟, 李为喜, 王爽, 杨秀兰, 宋敬可, 王步军. 2000-2015年北部、黄淮冬麦区国家区试品种的品质特征. *中国农业科学*, 2017, 43(4):501-509
- Hu X X, Sun L J, Zhou G Y, Wu L N, Lu W, Li W X, Wang S, Yang X L, Song J K, Wang B J. Quality characteristics of winter wheat varieties tested in National Trials in Northern Region and Yellow-Huai River Valley Winter Wheat Zone from 2000 to 2015. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 43 (4): 501-509
- [35] 朱保磊, 谢科军, 薛辉, 孙家柱, 刘冬成, 张爱民, 詹克慧. 河南省小麦品种(系)的品质状况及演变规律. *麦类作物学报*, 2017, 37 (5):623-631
- Zhu B L, Xie K J, Xue H, Sun J Z, Liu D C, Zhang A M, Zhan K H. Development trends of wheat quality of varieties in Henan province. *Journal of Triticeae Crops*, 2017, 37 (5): 623-631