

网络出版时间: 2025-12-03

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/61.1359.S.20251202.1318.006>

近 20 年中国弱筋小麦品种产量和品质变化趋势分析

王 强, 吴柳格, 张 鑫, 邓艾兴, 宋振伟, 张卫建, 郑成岩

(中国农业科学院作物科学研究所/农业农村部作物生理生态重点实验室, 北京 100081)

摘 要: 为了解近 20 年中国弱筋小麦品种产量和品质变化趋势及性状之间的相关性, 明确弱筋小麦品种更替过程中产量与品质的演变规律, 系统收集了 2000—2024 年中国弱筋小麦主要生产省份和直辖市审定的 174 个弱筋小麦品种的产量和品质数据, 基于冬小麦生产区划将上述品种分为长江中下游冬麦区和西南冬麦区的弱筋小麦, 对其产量、产量构成因素和品质指标进行了分析。结果表明, 近 20 年中国弱筋小麦品种审定数量变化呈现波动上升趋势, 长江中下游冬麦区和西南冬麦区分别审定弱筋小麦品种 71 个和 103 个, 平均每年分别审定 3.55 个和 5.15 个。产量和品质演变呈现区域异质性, 长江中下游冬麦区产量均值较高, 但呈降低趋势; 西南冬麦区产量呈逐年增加趋势, 年增长幅度为 $0.01 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。长江中下游冬麦区弱筋小麦品种蛋白质和湿面筋含量随时间呈下降趋势, 每年分别显著降低 0.06% 和 0.20%; 西南冬麦区弱筋小麦蛋白质和湿面筋含量呈上升趋势, 每年分别提高 0.05% 和 0.06%。经相关性分析, 长江中下游冬麦区和西南冬麦区弱筋小麦穗数和千粒重与产量呈显著正相关; 弱筋小麦蛋白质与湿面筋含量呈极显著正相关。穗数是长江中下游冬麦区弱筋小麦高产的重要基础, 但是要通过育种和栽培技术措施提高穗粒数和千粒重以进一步提升产量; 西南冬麦区重点在于增加穗数, 同时优化栽培管理措施提高小麦加工品质, 可实现产量和品质的协同提升。

关键词: 弱筋小麦; 审定品种; 产量; 品质; 相关分析

中图分类号: S512.1; S330

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2026)02-0208-08

Changes in Yield and Quality Traits of the Approved Weak Gluten Wheat Cultivars in China over Last Twenty Years

WANG Qiang, WU Liuge, ZHANG Xin, DENG Aixing, SONG Zhenwei, ZHANG Weijian, ZHENG Chengyan

(Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology,

Ministry of Agriculture and Rural Affairs of People's Republic of China, Beijing 100081, China)

Abstract: This study analyzed the changes in yield and quality of the approved weak gluten wheat varieties in China over the past two decades, along with the correlations among key agronomic and quality traits, to clarify the trend of yield and quality during variety replacement. The findings provide references for breeding high yield and high quality weak gluten wheat and innovating cultivation practices. Data on yield and quality were systematically collected from 174 released weak gluten wheat varieties across China's major wheat-producing provinces and municipalities from 2000 to 2024. Based on the winter wheat production zoning, these varieties were classified into those from the Yangtze River winter wheat area and the Southwest winter wheat area. The yield, yield components, and quality traits were evaluated. Results showed that the number of approved weak gluten wheat varieties exhibited a fluctuating upward trend, with 71 and 103 varieties approved in the Yangtze River winter wheat area and Southwest winter wheat area, respectively, averaging 3.55 and 5.15 varieties per year. Yield and

收稿日期: 2025-06-30

修回日期: 2025-10-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2300801-02); 国家自然科学基金项目(32272218); 中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ZDRW202407, 01-ICS-20)

第一作者 E-mail: 18631607281@163.com(王 强)

通讯作者 E-mail: zhengchengyan@caas.cn(郑成岩)

quality traits demonstrated areal differences. The varieties in Yangtze River winter wheat area had a higher average yield, though it showed a declining trend over time. In contrast, the varieties in Southwest winter wheat area displayed a consistent annual increase in yield, with an average rise of $0.01 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ each year. In terms of quality, the Yangtze River winter wheat area experienced significant annual reductions in both protein content and wet gluten content, with average decrease rates of 0.06% and 0.20% , respectively. The Southwest winter wheat area showed annual increases of 0.05% and 0.06% in these two indicators. Correlation analysis revealed a significant positive relationship between spike number, thousand-grain weight and yield in both areas. The protein content of weak gluten wheat is significantly positively correlated with the wet gluten content. In the Yangtze River winter wheat area, spike number was identified as a key determinant of high yield. Enhancing the number of grains per spike and thousand-grain weight through breeding and agronomic measures could further increase yield. In the Southwest winter wheat area, efforts should focus on increasing spike number while optimizing crop management practices to improve processing quality, thereby achieving simultaneous improvements in both yield and quality.

Keywords: Weak gluten wheat; Approved varieties; Yield; Quality; Correlation analysis

近年来,随着人民生活水平的提升和食品消费结构的多元化发展,饼干、蛋糕等食品的消费量持续增长^[1]。饼干制品对酥脆性的要求较高^[2],弱筋小麦面粉颗粒细软,淀粉破损少,粉质率较高,蛋白质和湿面筋含量较低,面筋强度弱,是加工优质饼干的主要原料^[3-5]。中国优质弱筋小麦相关研究工作起步较晚,生产上缺少优质品种以及配套栽培技术^[5-7],导致产量和品质难以协调,存在“优质弱筋小麦自给不足、品质不稳”等问题,需要从国外大量进口来满足国内市场需求^[8-9]。因此,解析弱筋小麦品种更替过程中产量和品质的变化趋势,深入探究性状之间的相关性,有助于理解其产量和品质的演变规律,可以为弱筋小麦适宜品种选择、栽培技术优化等提供指导。

目前,已有学者对不同小麦主产区小麦品种产量和品质性状变化规律和趋势进行了研究。郝天佳等^[10]研究表明,1991—2018年中国国审小麦品种产量和产量构成因素呈显著上升趋势,产量增加主要是穗数贡献的结果。进一步研究2006—2015年中国小麦生产区的主要推广品种,发现不同类型品种的品质指标变异系数存在差异,其中弱筋小麦籽粒蛋白质含量和沉淀指数年变化幅度最大^[11]。Tian等^[12]研究得出,1950—2000年间,长江流域冬小麦产量的提升主要是穗粒数和千粒重增加贡献的结果。而罗江陶等^[13]对2001—2016年四川省审定的小麦品种进行分析,认为穗数是产量潜力提升的主要因素。前人研究发现,南方弱筋麦区蛋白质含量呈上升趋势,导致部分

弱筋小麦品种蛋白质含量、湿面筋含量和稳定时间均不符合国家标准,出现了因片面追求高产而影响弱筋小麦整体品质的问题^[14-16]。

近20年来长江中下游冬麦区和西南冬麦区两大产区的弱筋小麦品种产量和品质性状变化趋势及区域差异的研究还未见报道。本研究分析了2000—2024年中国弱筋小麦两大主要生产区审定的弱筋小麦品种产量和品质性状,揭示其性状演变规律,以期为培育高产优质弱筋小麦品种和研发产量品质协同提升的栽培技术提供参考。

1 研究区域与研究方法

1.1 数据来源

本研究收集整理的审定小麦品种名录和数据主要来源于《全国农作物审定品种名录》、中国种业商务网 (<http://www.chinaseed114.com/seed/sspz/>)、中国种业信息网 (<http://www.seedchina.com.cn>)等权威种业网站发布的信息。所有数据均截至2024年12月31日公开或发布,涵盖2000—2024年期间的品种信息。

1.2 研究区概况

长江中下游冬麦区包括浙江、江西、湖北、湖南及上海市全部,河南省信阳地区以及江苏、安徽两省淮河以南的地区;西南冬麦区包括贵州、重庆全部,四川(除阿坝、甘孜州南部部分县以外)、云南大部(云南省泸西、新平至保山以北,迪庆、怒州以东)、陕西南部(商洛、安康、汉中)和甘肃陇南地

区^[17]。本研究将针对长江中下游冬麦区和西南冬麦区所包含的省份以及直辖市审定的弱筋小麦品种产量和品质性状进行分析。

1.3 统计指标

数据资料包括审定弱筋小麦品种的生育期天数、株高、产量和产量构成因素,以及蛋白质含量、湿面筋含量、吸水率、稳定时间和容重等品质指标。对于提供了2年试验结果的指标取其平均值进行分析,产量为区域试验和生产试验的平均值;若数据不全,则按数据缺失处理。本研究弱筋小麦筛选标准参考 GB/T17320-2013^[18]。

1.4 数据处理

使用 Excel 2016 计算平均值和变异系数,用 Origin 2022 进行线性回归、相关性分析和作图。

2 结果与分析

2.1 弱筋小麦品种的审定数量变化

2000—2024 年间,两个弱筋小麦生产区审定通过的小麦品种共 174 个(图 1)。其中,长江中下游冬麦区共审定 71 个,占比 40.80%;西南冬麦区审定 103 个,占比 59.20%。近二十多年,两大主产区 2021 年审定通过的弱筋小麦品种数量最多,达到 15 个。长江中下游冬麦区 2002 年审

定的品种数量达到峰值,为 7 个;西南冬麦区审定品种的数量于 2015 和 2021 年达到峰值,每年通过审定的弱筋小麦品种达到 10 个。

2.2 弱筋小麦农艺性状及产量的特点

长江中下游冬麦区的弱筋小麦品种生育期较长,平均为 202.15 d,变异系数为 5.13%,表现出较强的稳定性;西南冬麦区弱筋小麦品种的生育期较短,平均为 189.29 d,变异系数 15.17%(表 1)。在株高方面,西南冬麦区的弱筋小麦品种平均株高(86.05 cm)高于长江中下游冬麦区的弱筋小麦品种(83.52 cm),且两个区域的株高变异系数均较低,说明两个区域审定的弱筋小麦品种株高差异较小。

从产量及其构成因素看,长江中下游冬麦区小麦品种的穗数较多,平均为 $476.87 \times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$;而西南冬麦区穗粒数和千粒重较高,平均值分别为 43.23 粒和 45.88 g。长江中下游冬麦区千粒重的变异系数较低,为 4.51%;西南冬麦区的穗数和穗粒数变异系数均较低,分别为 8.17% 和 6.97%。长江中下游冬麦区的弱筋小麦品种产量较高,均值为 $6.23 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,高于西南冬麦区品种的均值($5.27 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$);两个区域产量变异系数分别为 10.40% 和 13.79%。

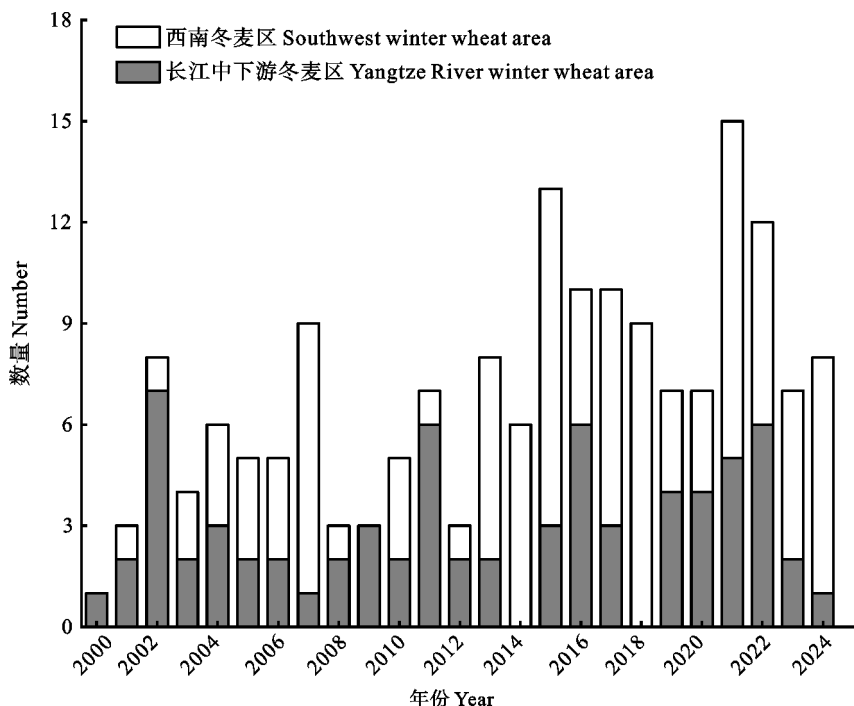


图 1 2000—2024 年长江中下游冬麦区和西南冬麦区通过审定的弱筋小麦品种数量

Fig. 1 Number of weak gluten wheat varieties approved in the Yangtze River winter wheat area and Southwest winter wheat area from 2000 to 2024

表 1 2000—2024 年长江中下游冬麦区和西南冬麦区审定弱筋小麦品种农艺性状特征

Table 1 Agronomic characteristics of the approved weak gluten wheat varieties in the Yangtze River winter wheat area and Southwest winter wheat area from 2000 to 2024

区域 Region	参数 Parameter	生育期 Growth period/d	株高 Plant height/cm	穗数 Spike number/ (10 ⁴ · hm ⁻²)	穗粒数 Grain number per spike	千粒重 1 000-grain weight/g	产量 Yield/ (t · hm ⁻²)
长江中下游冬麦区 Yangtze River winter wheat area	均值 Mean	202.15	83.52	476.87	37.03	41.25	6.23
	变异系数 CV/%	5.13	4.52	11.00	7.83	4.51	10.40
西南冬麦区 Southwest winter wheat area	均值 Mean	189.29	86.05	330.26	43.23	45.88	5.27
	变异系数 CV/%	15.17	5.57	8.17	6.97	8.51	13.79

2.3 弱筋小麦品质相关指标

由表 2 可知,长江中下游冬麦区的弱筋小麦品种蛋白质含量、湿面筋含量、稳定时间和容重的平均值高于西南冬麦区,其中稳定时间高出 64.80%。从变异程度来看,长江中下游冬麦区的蛋白质含量、吸水率和稳定时间的变异系数高于西南冬麦区。

总体上,两个麦区的品质指标变异系数呈现出相同的特征,表现为稳定时间变异系数较高,其次为湿面筋含量、蛋白质含量和吸水率,容重变异系数最小。这说明两个区域不同弱筋小麦品种的稳定时间和湿面筋含量差异较大,而容重是较为稳定的性状。

表 2 2000—2024 年长江中下游冬麦区和西南冬麦区审定弱筋小麦品种品质特征

Table 2 Quality characteristics of the approved weak gluten wheat varieties in the Yangtze River winter wheat area and Southwest winter wheat area from 2000 to 2024

区域 Region	参数 Parameter	蛋白质含量 Protein content/%	湿面筋含量 Wet gluten content/%	吸水率 Water absorption/%	稳定时间 Stability time/min	容重 Test weight/ (g · L ⁻¹)
长江中下游冬麦区 Yangtze River winter wheat area	均值 Mean	12.80	25.83	56.04	2.95	791.85
	变异系数 CV/%	7.97	10.58	5.39	39.41	1.69
西南冬麦区 Southwest winter wheat area	均值 Mean	11.73	22.97	56.21	1.79	780.15
	变异系数 CV/%	7.62	11.56	4.37	25.17	2.42

2.4 弱筋小麦农艺性状及产量的变化趋势

长江中下游冬麦区弱筋小麦品种生育期天数呈下降趋势,年均减少 0.66 d($P<0.05$);而西南冬麦区呈现出增加趋势,年均增加 0.21 d(图 2)。株高方面,长江中下游冬麦区呈下降趋势,每年减少 0.66 cm;而西南冬麦区呈现出上升趋势,每年增加 0.10 cm。产量和产量构成因素中,长江中下游冬麦区产量呈现降低的趋势,平均每年减少 0.01 t · hm⁻²,而西南冬麦区产量呈现增加趋势,平均每年提高 0.01 t · hm⁻²;长江中下游冬麦区和西南冬麦区的穗数和穗粒数均呈现出增长趋势,穗数年均分别增加 1.07×10⁴ · hm⁻² 和 1.21×10⁴ · hm⁻²,穗粒数年均分别增加 0.02 粒和 0.06 粒;长江中下游冬麦区的千粒重随年份推移呈提高趋势,而西南冬麦区呈现降低趋势。

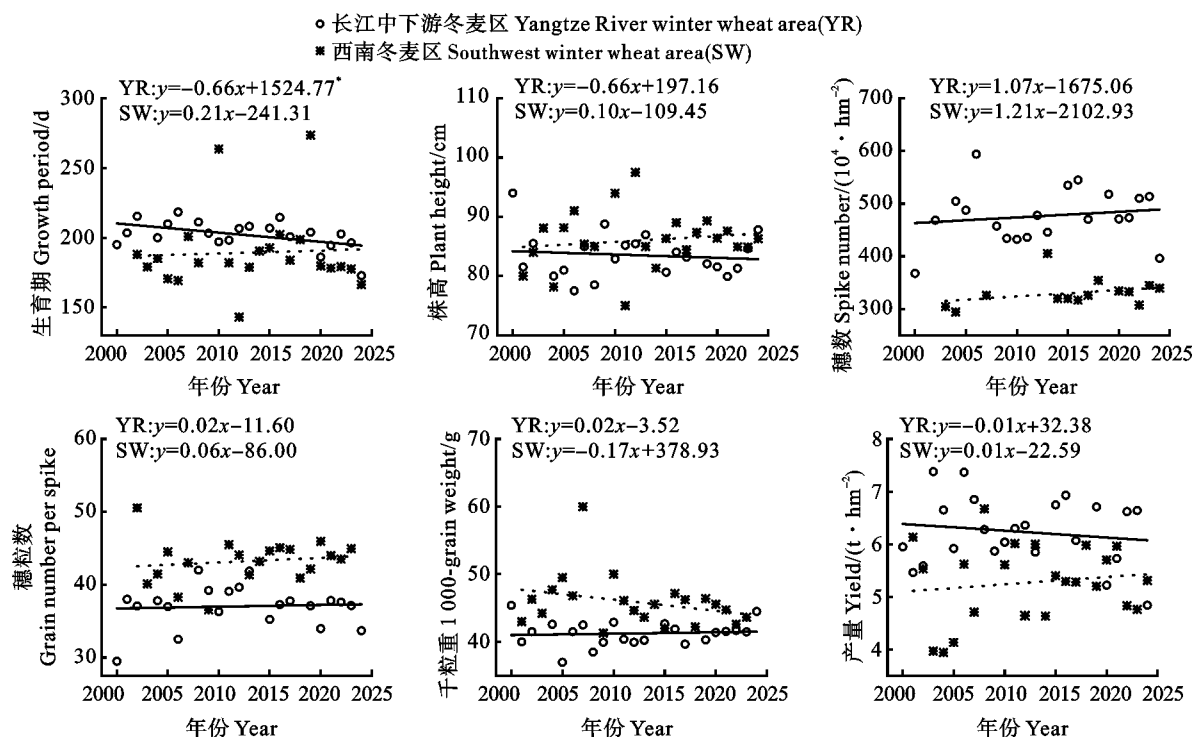
2.5 弱筋小麦品质指标变化趋势

长江中下游冬麦区的弱筋小麦品种蛋白质和湿面筋含量均呈逐年下降趋势,年均显著降

低 0.06%和 0.20%;而西南冬麦区则呈逐年增加趋势,年均增加 0.05%和 0.06%(图 3)。长江中下游冬麦区和西南冬麦区的弱筋小麦品种的吸水率和稳定时间呈相同的年变化趋势,其中吸水率均呈降低趋势,年均分别减少 0.19%和 0.06%;稳定时间呈上升趋势,年均增加 0.006 min 和 0.010 min。容重方面,长江中下游冬麦区的品种呈下降趋势,年均减少 0.58 g · L⁻¹;西南冬麦区呈上升趋势,年均增加 0.36 g · L⁻¹。

2.6 弱筋小麦农艺性状与产量的相关性

相关性分析结果(表 3)显示,长江中下游冬麦区的弱筋小麦品种生育期、株高、穗数和千粒重与产量均呈正相关,其中生育期和穗数与产量均极显著正相关;穗粒数与穗数和千粒重均极显著负相关。西南冬麦区的弱筋小麦品种株高、穗数、穗粒数和千粒重均与产量呈正相关,其中穗数和千粒重与产量呈极显著正相关;生育期与株高呈显著正相关,与穗粒数和千粒重均显著负相关。



各性状以年平均值进行线性拟合; * : $P < 0.05$ 。下同。

Traits were linearly fitted using annual average values; * : $P < 0.05$. The same in figure 3.

图2 2000—2024年长江中下游冬麦区和西南冬麦区弱筋小麦审定品种农艺性状变化趋势

Fig. 2 Trends in agronomic traits of the approved weak gluten wheat varieties in the Yangtze River winter wheat area and Southwest winter wheat area from 2000 to 2024

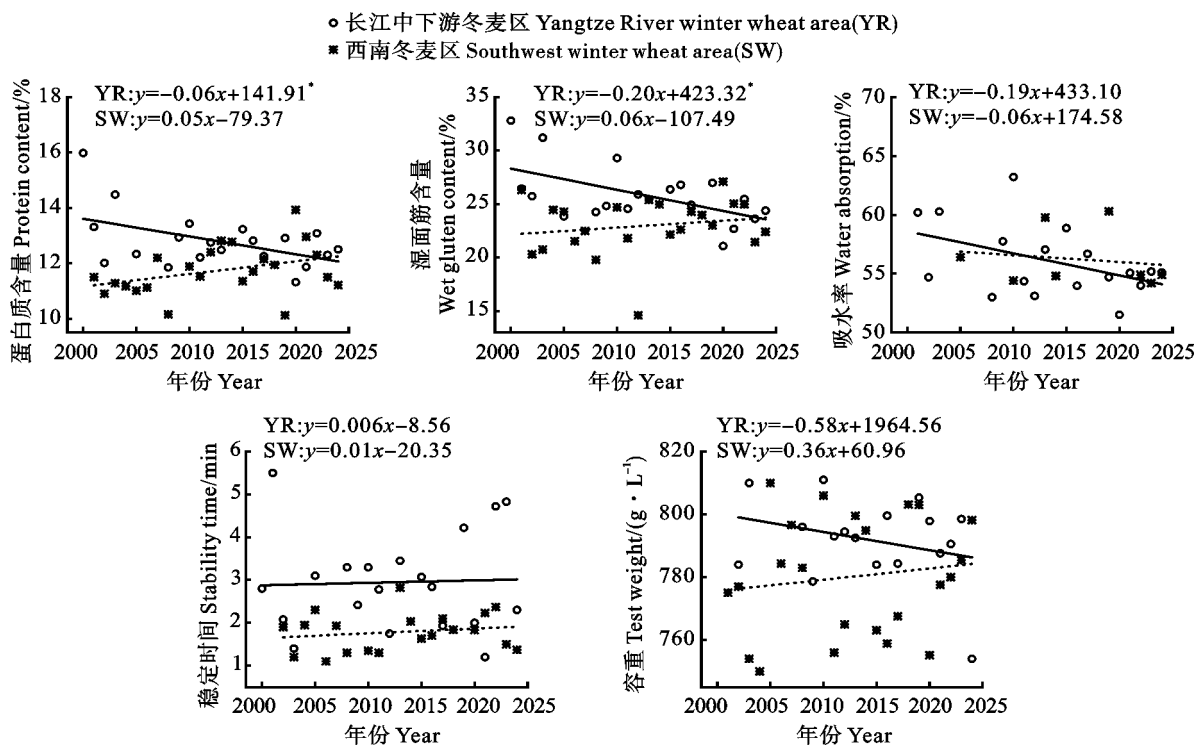


图3 2000—2024年长江中下游冬麦区和西南冬麦区弱筋小麦审定品种品质变化趋势

Fig. 3 Quality change trend of the weak gluten wheat varieties in the Yangtze River winter wheat area and Southwest winter wheat area from 2000 to 2024

表 3 2000—2024 年长江中下游冬麦区(YR)和西南冬麦区(SW)审定弱筋小麦品种农艺性状与产量的相关性

Table 3 Correlation between agronomic traits and yield of the approved weak gluten wheat varieties in the Yangtze River winter wheat area(YR) and Southwest winter wheat area(SW) from 2000 to 2024

性状 Trait	生育期 GP		株高 PH		穗数 SN		穗粒数 GNS		千粒重 TGW	
	YR	SW	YR	SW	YR	SW	YR	SW	YR	SW
株高 PH	−0.02	0.22 *								
穗数 SN	0.68 * *	0.01	−0.20	−0.16						
穗粒数 GNS	0.06	−0.43 * *	0.17	0.09	−0.34 * *	−0.10				
千粒重 TGW	0.11	−0.23 *	0.05	0.07	0.24	0.09	−0.58 * *	0.06		
产量 Y	0.75 * *	−0.04	0.04	0.10	0.76 * *	0.57 * *	−0.02	0.21 *	0.28 *	0.36 * *

GP: Growth period; PH: Plant height; SN: Spike number; GNS: Grain number per spike; TGW: Thousand-grain weight; Y: Yield.
* *: $P<0.01$, *: $P<0.05$.

2.7 弱筋小麦品质性状间的相关性

由表 4 可知,长江中下游冬麦区的弱筋小麦品种湿面筋含量、吸水率、稳定时间和容重与蛋白质含量均呈正相关关系,其中,湿面筋、吸水率和稳定时间与蛋白质含量均极显著正相关;湿面筋含量与吸水率呈极显著正相关;稳定时间和容重呈极显著正相关。西南冬麦区的弱筋

小麦品种各品质指标间均正相关,其中,蛋白质含量与湿面筋含量和稳定时间互相呈极显著正相关。这说明在长江中下游冬麦区和西南冬麦区,通过选育蛋白质含量低的弱筋小麦品种或栽培措施降低籽粒蛋白质含量,有助于优化面粉湿面筋含量、吸水率和稳定时间等指标,提升弱筋小麦的加工品质。

表 4 2000—2024 年长江中下游冬麦区(YR)和西南冬麦区(SW)审定弱筋小麦品种品质指标相关性

Table 4 Correlation between quality indicators of the approved weak gluten wheat varieties in the Yangtze River winter wheat area(YR) and Southwest winter wheat area(SW) from 2000 to 2024

性状 Trait	蛋白质含量 PC		湿面筋含量 WGC		吸水率 WA		稳定时间 ST	
	YR	SW	YR	SW	YR	SW	YR	SW
湿面筋含量 WGC	0.87 * *	0.69 * *						
吸水率 WA	0.39 * *	0.16	0.41 * *	0.19				
稳定时间 ST	0.43 * *	0.37 * *	0.23	0.34 * *	−0.08	0.40		
容重 TW	0.23	0.02	0.24	0.18	−0.06	0.44	0.39 * *	0.17

PC: Protein content; WGC: Wet gluten content; WA: Water absorption; ST: Stability time; TW: Test weight. * *: $P<0.01$, *: $P<0.05$.

3 讨论

前人研究表明,不同区域产量构成因素的变异系数差异显著。温明星等^[19]和葛昌斌等^[20]研究认为长江中下游麦区小麦产量构成因素变异系数表现为千粒重>穗粒数>穗数;而蒋进等^[21]研究表明,2008—2018 年四川省审定小麦品种产量构成因素变异系数表现为穗粒数>穗数>千粒重。本研究长江中下游冬麦区弱筋小麦产量构成因素中穗数的变异系数较高,不同于前人的研究结果^[22],说明长江中下游冬麦区弱筋小麦穗数的遗传基础丰富,具有较大的改良空间,而西南冬麦区重点在于改良千粒重和穗数。进一步分析发现产量构成因素不仅受品种遗传特性的影响,同

时还是生态气候条件、栽培管理措施等多种因素综合作用的结果^[23-25]。长江中下游冬麦区和西南冬麦区弱筋小麦品质的变异系数均表现为稳定时间高于蛋白质含量、湿面筋含量和吸水率,与前人研究结果一致^[10,16,21]。本研究中长江中下游冬麦区弱筋小麦湿面筋含量、稳定时间和容重均值高于西南冬麦区,从相关性分析可知,这种差异可能与该区域弱筋小麦较高的蛋白质含量密切相关。郝天佳等^[10]研究表明,1991—2018 年中国国审小麦产量年均增长 $0.08 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。Chen 等^[26]研究 1978—2018 年安徽省、江苏省和湖北省冬小麦品种更替时发现,冬小麦产量均呈增加趋势,年增长幅度分别为 0.04 、 0.02 和 $0.08 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。本研究通过整合近 20 年中国弱筋小麦品种数据发

现,西南冬麦区弱筋小麦产量呈增加趋势,年均增长 $0.01 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$;而长江中下游冬麦区产量呈降低趋势,年均降低 $0.01 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。研究表明,在品种遗传改良过程中产量表现增长趋势,而产量构成因素对产量的贡献存在差异。Qin 等^[27]研究发现,1950—2010 年南方冬麦区的产量提升主要是穗粒数和千粒重贡献的结果。高艳梅等^[28]研究认为,近 20 年中国长江冬麦区小麦产量上升主要得益于穗数的增加;黄淮冬麦区产量的增加归因于穗数和千粒重的提高。这种差异可能与品种遗传特性、气候和土壤条件以及种植管理方式差异密切相关^[29]。本研究中,长江中下游冬麦区和西南冬麦区产量构成因素中穗数对产量的贡献最大,这与张华崇等^[30]对湖北省近 20 年审定小麦品种的研究结果相似。本研究中,长江中下游冬麦区穗粒数与穗数和千粒重呈极显著负相关。因此,长江中下游冬麦区提升产量应注重协调三因素间的关系,特别是穗粒数和千粒重的优化;西南冬麦区产量的提升要关注穗数的增加,可以通过培育分蘖能力强的品种、优化种植密度等构建合理的小麦群体来实现。

近年来,许多学者对不同年份和主产区小麦品种品质性状变化趋势进行了研究,发现 1991—2018 年国审小麦品种蛋白质含量呈显著增加趋势,每年升高 0.034% ^[10];近 20 年长江冬麦区小麦蛋白质含量、湿面筋含量和吸水率呈下降趋势,稳定时间和容重呈上升趋势^[28]。这说明在更长时间跨度和不同区域的小麦品种中,各品质性状的变化趋势存在差异。本研究表明,长江中下游冬麦区弱筋小麦品种蛋白质含量、湿面筋含量、吸水率和容重均表现为逐年下降趋势,西南冬麦区弱筋小麦蛋白质、湿面筋含量和稳定时间均呈增长趋势,这些变化趋势的差异可能是弱筋小麦品质易受到遗传特征、生态环境和管理措施的影响^[31-32]。小麦品质性状之间具有明显的相关性,蛋白质和湿面筋含量相关性较高^[28,33]。本研究表明,长江中下游冬麦区蛋白质含量与湿面筋含量、吸水率、稳定时间呈极显著正相关。西南冬麦区弱筋小麦各品质指标间均呈正相关关系,其中,蛋白质含量与湿面筋含量和稳定时间互呈极显著正相关关系。

4 结论

长江中下游冬麦区弱筋小麦千粒重和穗粒数

遗传改良潜力较大,西南冬麦区的重点在于提升穗数,有利于进一步提高弱筋小麦两大主产区的产量。在长江中下游和西南冬麦区,通过选育蛋白质含量低的弱筋小麦品种,或采用合适的栽培措施,降低籽粒蛋白质含量,有助于优化面粉湿面筋含量、吸水率和稳定时间等指标,改善弱筋小麦的加工品质。

参考文献:

- [1] 刘丰,蒋佳丽,周琴,等. 美国软麦籽粒品质变化趋势及对我国弱筋小麦标准达标度分析[J]. 中国农业科学, 2022, 55(19): 3724.
LIU F, JIANG J L, ZHOU Q, et al. Analysis of American soft wheat grain quality and its suitability evaluation according to Chinese weak gluten wheat standard [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(19): 3724.
- [2] 夏树凤,王凡,王龙俊,等. 江苏省小麦籽粒蛋白质达标弱筋小麦的适生性分析与评价[J]. 中国农业科学, 2020, 53(24): 4993.
XIA S F, WANG F, WANG L J, et al. Study on the adaptability of wheat reaching the protein content standard of soft wheat in Jiangsu Province [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(24): 4993.
- [3] KAUR A, SINGH N, KAUR S, et al. Relationships of flour solvent retention capacity, secondary structure and rheological properties with the cookie making characteristics of wheat cultivars [J]. *Food Chemistry*, 2014, 158: 49.
- [4] 刘健,张晓,李曼,等. 扬麦系列小麦品种的饼干品质分析[J]. 麦类作物学报, 2021, 41(1): 51.
LIU J, ZHANG X, LI M, et al. Quality analysis of Yangmai series wheat varieties for biscuit-making [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, 41(1): 51.
- [5] 张晓,张勇,高德荣,等. 中国弱筋小麦育种进展及生产现状[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(1): 185.
ZHANG X, ZHANG Y, GAO D R, et al. The development of weak-gluten wheat breeding and present situation of its production [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2012, 32(1): 185.
- [6] 魏益民,张波,关二旗,等. 中国冬小麦品质改良研究进展[J]. 中国农业科学, 2013, 46(20): 4192.
WEI Y M, ZHANG B, GUAN E Q, et al. Advances in study of quality property improvement of winter wheat in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(20): 4192.
- [7] 周杨,李枫,彭少兵,等. 我国弱筋小麦产业现状及发展对策[J]. 华中农业大学学报, 2025, 44(2): 151.
ZHOU Y, LI F, PENG S B, et al. Situation and development strategies of weak gluten wheat industry in China [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2025, 44(2): 151.
- [8] 刘录祥. 我国小麦产业科技创新发展现状与展望[J]. 寒旱农业科学, 2024(6): 492.
LIU L X. The current situation and prospect of scientific and technological innovation and development of wheat industry in China [J]. *Journal of Cold-Arid Agricultural Sciences*, 2024(6): 492.
- [9] 郭雪宁,李逸波. 中国小麦进口市场集中度和依赖度分析[J]. 现代农业, 2023(5): 36.
GUO X N, LI Y B. Analysis on the concentration and dependence of China's wheat import market [J]. *Modern Agriculture*, 2023(5): 36.

- [10]郝天佳,曲文凯,赵金科,等. 1991—2018年中国国审小麦品种产量与品质相关性状的变化趋势分析[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(8): 91.
HAO T J, QU W K, ZHAO J K, *et al.* Trends of yield and quality related traits of wheat varieties released in China from 1991 to 2018 [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2023, 38(8): 91.
- [11]胡学旭,孙丽娟,周桂英,等. 2006—2015年中国小麦质量年度变化[J]. 中国农业科学, 2016, 49(16): 3067.
HU X X, SUN L J, ZHOU G Y, *et al.* Variations of wheat quality in China from 2006 to 2015 [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(16): 3067.
- [12]TIAN Z W, JING Q, DAI T B, *et al.* Effects of genetic improvements on grain yield and agronomic traits of winter wheat in the Yangtze River Basin of China [J]. *Field Crops Research*, 2011, 124(3): 417.
- [13]罗江陶,郑建敏,邓清燕,等. 2000—2020年四川小麦育成品种产量增益分析[J]. 中国农业科学, 2024, 57(20): 3945.
LUO J T, ZHENG J M, DENG Q Y, *et al.* Yield gain analysis of wheat varieties in Sichuan from 2000 to 2020 [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2024, 57(20): 3945.
- [14]齐琳娟,胡学旭,周桂英,等. 2004—2011年中国主产省小麦蛋白质品质分析[J]. 中国农业科学, 2012, 45(20): 4242.
QI L J, HU X X, ZHOU G Y, *et al.* Analysis of wheat protein quality in main wheat producing areas of China from 2004 to 2011 [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(20): 4242.
- [15]张平平,姚金保,王化敦,等. 江苏省优质软麦品种品质特性与饼干加工品质的关系[J]. 作物学报, 2020, 46(4): 499.
ZHANG P P, YAO J B, WANG H D, *et al.* Soft wheat quality traits in Jiangsu Province and their relationship with cookie making quality [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2020, 46(4): 499.
- [16]MA M M, LI Y C, XUE C, *et al.* Current situation and key parameters for improving wheat quality in China [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 638525.
- [17]赵广才. 中国小麦种植区划研究(一)[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(5): 892.
ZHAO G C. Study on Chinese wheat planting regionalization (I) [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2010, 30(5): 892.
- [18]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中华人民共和国国家标准: GB/T 17320-2013 小麦品种品质分类[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013: 2.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. National Standard of the People's Republic of China: GB/T 17320-2013 quality classification of wheat varieties [S]. Beijing: Standards Press of China, 2013: 2.
- [19]温明星,李东升,陈琛,等. 长江中下游近10年冬小麦区试主要农艺性状演变分析[J]. 中国农学通报, 2022, 38(20): 3.
WEN M X, LI D S, CHEN C, *et al.* Main agronomic traits of winter wheat in regional trials of the middle and lower reaches of the Yangtze River valley: Evolution in the past decade [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38(20): 3.
- [20]葛昌斌,秦素乔,乔冀良,等. 2001—2021年豫南和江苏淮河以南审定小麦品种农艺、品质性状和病害演变对比分析[J]. 作物杂志, 2023(5): 53.
GE C B, QIN S Y, QIAO J L, *et al.* Comparative analysis of agronomic traits, quality and disease evolution of approved wheat varieties in southern Henan and southern Huai River in Jiangsu from 2001 to 2021 [J]. *Crops*, 2023(5): 53.
- [21]蒋进,蒋云,王淑荣. 四川省近年育成小麦品种农艺性状和品质性状分析[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(6): 683.
JIANG J, JIANG Y, WANG S R. Agronomic and quality traits of wheat varieties bred in Sichuan in recent years [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2019, 39(6): 683.
- [22]李楠楠,杜晓宇,韩玉林,等. 中国四大冬小麦主产区品种农艺性状的综合性分析[J]. 种子, 2021, 40(12): 97.
LI N N, DU X Y, HAN Y L, *et al.* Comprehensive analysis of agronomic traits of four main winter wheat producing areas in China [J]. *Seed*, 2021, 40(12): 97.
- [23]陈松,朱娟,吕超,等. 栽培模式及生态条件对弱筋小麦籽粒品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2025, 45(1): 80.
CHEN S, ZHU J, LÜ C, *et al.* Effect of cultivation mode and ecological conditions on grain quality of weak gluten wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2025, 45(1): 80.
- [24]ZHENG C Y, ZHANG J, CHEN J, *et al.* Nighttime warming increases winter-sown wheat yield across major Chinese cropping regions [J]. *Field Crops Research*, 2017, 214: 209.
- [25]KATAMADZE A, VERGARA-DÍAZ O, UBEREGUI E, *et al.* Evolution of wheat architecture, physiology, and metabolism during domestication and further cultivation: Lessons for crop improvement [J]. *The Crop Journal*, 2023, 11(4): 1080.
- [26]CHEN W, ZHANG J J, DENG X P. Winter wheat yield improvement by genetic gain across different provinces in China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2024, 23(2): 471.
- [27]QIN X L, ZHANG F X, LIU C, *et al.* Wheat yield improvements in China: Past trends and future directions [J]. *Field Crops Research*, 2015, 177: 117.
- [28]高艳梅,景茂雅,陈薇薇,等. 近20年来中国小麦品种产量和品质性状变化分析[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(9): 1159.
GAO Y M, JING M Y, CHEN W W, *et al.* Analysis of yield and quality traits of wheat cultivars over the past 20 years in China [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44(9): 1159.
- [29]YANG W J, LIU W J, LI Y L, *et al.* Increasing rainfed wheat yield by optimizing agronomic practices to consume more subsoil water in the Loess Plateau [J]. *The Crop Journal*, 2021, 9(6): 1426.
- [30]张华崇,赵树琪,闫振华,等. 湖北省近20年审定小麦品种的产量、品质性状及抗病性分析[J]. 麦类作物学报, 2021, 41(11): 1356.
ZHANG H C, ZHAO S Q, YAN Z H, *et al.* Analysis of yield, quality and disease resistance traits of wheat varieties approved in Hubei Province in the last two decades [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, 41(11): 1356.
- [31]程顺和,吕国锋,张伯桥,等. 农业结构调整中的南方小麦育种[J]. 核农学报, 2003, 17(2): 155.
CHENG S H, LÜ G F, ZHANG B Q, *et al.* The wheat breeding in south of China under the adjustment of agriculture structure [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2003, 17(2): 155.
- [32]李曼,张晓,刘大同,等. 弱筋小麦品质评价指标研究[J]. 核农学报, 2021, 35(9): 1984.
LI M, ZHANG X, LIU D T, *et al.* Research on quality evaluation indices of weak gluten wheat [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, 35(9): 1984.
- [33]吴柳格,陈坚,张鑫,等. 近二十年国审冬小麦品种的产量与品质性状变化趋势研究[J]. 作物学报, 2025, 51(7): 1823.
WU L G, CHEN J, ZHANG X, *et al.* Changes in yield and quality traits of nationally approved winter wheat varieties in China over last twenty years [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2025, 51(7): 1823.