

网络出版时间:2026-05-06

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.S.20260505.1343.002

强筋小麦轮选 49 在黄淮冬麦区北片的品质稳定性分析

羊辰^{1,2}, 吴海彬³, 常柳³, 张宏军², 周阳², 王多霞², 李琼¹, 肖永贵², 王春平¹

(1. 河南科技大学农学院, 河南洛阳 471000; 2. 作物基因资源与育种全国重点实验室, 中国农业科学院作

物科学研究所, 北京 100081; 3. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037)

摘要:小麦品质影响其加工性能和应用价值。为评估优质强筋小麦新品种轮选 49 在多个环境下的品质表现及其稳定性, 综合分析了轮选 49 在黄淮海冬麦区北片 18 个地点的品质指标, 并对其稳定性进行了分析。结果表明, 轮选 49 绝大部分品质性状在 18 个点的平均值超过强筋小麦国家标准, 平均籽粒硬度 70.54 HI, 容重 828.78 g·L⁻¹, 蛋白质含量 14.41%, 湿面筋含量 30.75%, 形成时间 3.36 min, 稳定时间 16.92 min, 吸水率 59.50%, 拉伸面积 154 cm², 最大拉伸阻力 710 BU; 除形成时间、稳定时间、拉伸面积、拉伸阻力和最大拉伸阻力外, 其余品质性状的变异系数均小于 10%; 轮选 49 混合样面包综合评分为 85 分, 与澳洲混合麦相当, 但部分质构特性表现优异, 如回复性 46.4%, 弹性 97.68。轮选 49 对土壤有效磷、pH 和电导率较为敏感, 但整体稳定性良好, 适于在黄淮冬麦区北片的冀鲁豫地区推广种植。

关键词:小麦品质; 轮选 49; 品质稳定性; 制粉品质; 终端应用品质

中图分类号: S512.1; S330

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2026)06-0744-10

Analysis of Quality Stability of the Strong Gluten Wheat Variety Lunxuan 49 in the Northern Part of Huang-Huai Winter Wheat Region

YANG Chen^{1,2}, WU Haibin³, CHANG Liu³, ZHANG Hongjun², ZHOU Yang², WANG Duoxia²,

LI Qiong¹, XIAO Yonggui², WANG Chunping¹

(1. College of Agronomy, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China;

2. State Key Laboratory of Crop Gene Resources and Breeding, Institute of Crop Sciences, National Wheat Improvement Centre, Chinese Academy of Agricultural Sciences(CAAS), Beijing, 100081, China;

3. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

Abstract: The stability and variability of wheat quality influence its processing performance and end-use property. This study evaluated the quality performance and its stability of Lunxuan 49, a new high-quality strong-gluten variety, under diverse environments. Through field trials conducted at 18 locations in the Northern Part of Huang-Huai Winter Wheat Region, including Hebei, Shandong, and Henan Provinces, comprehensive analyses were performed on its milling quality, end-use quality, and the effects of soil physicochemical properties on quality. The results showed that averaged grain hardness, test weight, grain protein content, wet gluten content, dough development time, stability time, flour water absorption, tensile area and maximum resistance were 70.54 HI, 828.78 g·L⁻¹, 14.41%, 30.75%, 3.36 min, 16.92 min, 59.50%, 154 cm², and 710 BU, respectively. Most quality traits exceeded the strong-gluten wheat standards. The coefficients of variation(CV) for all traits were below 10%, except for development time, stability time, stretch area, tensile resistance and maximum tensile resistance. Baking quality analysis revealed that Lunxuan 49(blended flour from 18

收稿日期: 2025-07-25

修回日期: 2025-09-25

基金项目: 国家重点研发计划(2023ZD04076); 河南省重大科技专项(251100110200); 中国农业科学院科技创新工程(ZHJGCGX202503)

第一作者 E-mail: yangc725@163.com(羊辰)

通讯作者 E-mail: chunpingw@haust.edu.cn(王春平)

sowing sites) achieved a comprehensive score of 85, comparable to Australian mixed wheat, with superior texture properties(resilience: 46.4%, springiness: 97.68). Environmental interaction analysis revealed that Lunxuan 49 was sensitive to soil available phosphorus, pH, and electrical conductivity, while maintaining overall stability across diverse soil conditions. This study lays a theoretical basis for identifying optimal planting regions for Lunxuan 49. The high stability and broad adaptability of Lunxuan 49 play a critical role in accelerating the industrialization of strong-gluten wheat in Hebei, Shandong, and Henan Provinces.

Keywords: Wheat quality; Lunxuan 49; Quality stability; Milling quality; End-use quality

小麦(*Triticum aestivum* L.)是全球重要的口粮作物之一,品种的品质性状直接决定其加工性能和终端产品的市场价值。近年来,随着居民消费水平的提高和面制食品产业的升级,高品质强筋小麦的需求量日益增长,培育并推广既具优质加工特性又能稳定适应多样化环境的新品种已成为小麦育种与产业发展的关键问题^[1-2]。黄淮冬麦区是中国最大的小麦产区,涵盖冀鲁豫等主要生产区域。其生态条件复杂,土壤类型多样,对小麦品质的影响显著^[3]。这使得同一品种在不同地点的品质性状表现差异较大,尤其是蛋白质含量、湿面筋质量以及面团流变学特性等关键指标,常常受到土壤养分供给^[4-5]、气温变化^[6]和水分条件^[7]的影响。目前,该区域推广的强筋小麦品种在不同环境下的品质稳定性存在较大差异,成为制约优质小麦产业化发展的重要因素^[8]。

已有研究对多个小麦品种在黄淮冬麦区北片的冀鲁豫多地点下的品质稳定性进行了系统分析。如Liu等^[9]通过分析郑麦379在河南省8个地区2年的品质表现及稳定性,发现除形成时间、稳定时间等指标外,大部分品质指标在河南不同年份间表现稳定;Yu等^[10]通过分析济麦44在山东省44县区296组样品,揭示了其在山东的品质空间分布特征及其气象影响因素。然而,目前尚缺乏小麦品种在冀鲁豫区域多点的系统品质评价,尤其是对籽粒品质、面粉加工品质及其稳定性的综合分析。轮选49是中国农业科学院作物科学与石家庄市农林科学院赵县实验基地合作育成的小麦新品种,先后通过黄淮北片(2021年)、河南省(2021年)和冀中北(2025年)审定,具有优质、强筋、高产、广适和综合抗性好的特点。本研究对轮选49在黄淮冬麦区18个不同地点的品质性状及其在不同地点间稳定性及其与部分土壤因子的关系进行分析,为优质强筋小麦的合理化布局和配套栽培技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试小麦材料为优质强筋品种轮选49。古船面粉厂生产的商用汉堡粉和国际贸易中常用的澳洲混合麦为烘焙品质对照。

1.2 试验概况

轮选49于2023—2024年小麦生长季分别在河南省、河北省、山东省共18个地点(表1)种植。播种方式为机播,播种面积在0.333~10 hm²之间。播种时间、施肥、浇水、病虫害防治、除草等田间管理均按当地大田操作。采取定点取样方式,取样包括轮选49收获后的籽粒;在小麦灌浆末期(即蜡熟期),选择20 m×20 m长势均匀地块采用五点法采集0~20 cm的土壤样品。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 籽粒品质分析

籽粒风干存放1个月后,在各地点收获的籽粒中抽样3次,每次1.5 kg,分别进行籽粒品质分析。使用Foss Infratec Nova型近红外谷物分析仪测定籽粒含水量、蛋白质含量;使用Chopin Aqua TR型容重测量仪测定容重;参考GB/T 21304-2007使用Buhler小麦硬度指数测定仪测定硬度。

1.3.2 面粉品质分析

参照AACC 26-20方法,采用Buhler Experimental Mill实验磨对1.3.1中抽取的样品制粉。湿面筋含量及面筋指数参照GB/T 5506.2-2008,利用瑞典Perten GM2200型面筋仪测定;粉质特性(吸水率、形成时间、稳定时间等)参考GB/T 14614-2019方法,采用Farinograph-TS型粉质仪测定;拉伸特性(拉伸面积、拉伸阻力、延伸度和最大拉伸阻力等)参考GB/T 14615-2019方法,使用Extensograph-E型拉伸仪测定。

表 1 2023 年轮选 49 种植地点
Table 1 Sowing locations of Lunxuan 49 in 2023

编号 Code	地点 Location	省 Province	经纬度 Coordinates	土壤类型 Soil type
ZQ	章丘 Zhangqiu	山东 Shandong	117°22′ E, 36°47′ N	壤土 Loam
ZP	邹平 Zouping		117°38′ E, 36°54′ N	壤土 Loam
HT	桓台 Huantai		118°01′ E, 37°04′ N	黏土 Clay
JY	济阳 Jiyang		117°09′ E, 37°08′ N	黏土 Clay
WQ	吴桥 Wuqiao		116°20′ E, 37°50′ N	砂土 Sandy
GQ	高青 Gaoqing		118°13′ E, 37°07′ N	黏土 Clay
DG	东光 Dongguang		116°32′ E, 37°58′ N	黏土 Clay
ZX	赵县 Zhaoxian	河北 Hebei	114°53′ E, 37°45′ N	黏土 Clay
JZ	冀州 Jizhou		115°34′ E, 37°32′ N	壤土 Loam
YS	盐山 Yanshan		117°13′ E, 38°02′ N	黏土 Clay
NJ	宁晋 Ningjin		114°54′ E, 37°43′ N	砂土 Sandy
LY	隆尧 Longyao		114°48′ E, 37°14′ N	黏土 Clay
AP	安平 Anping		115°19′ E, 38°14′ N	黏土 Clay
WY	舞阳 Wuyang	河南 Henan	114°09′ E, 33°49′ N	砂土 Sandy
YJ	延津 Yanjin		113°58′ E, 35°20′ N	壤土 Loam
HX	辉县 Huixian		113°47′ E, 35°35′ N	黏土 Clay
QY	沁阳 Qinyang		113°06′ E, 35°25′ N	黏土 Clay
TY	汤阴 Tangyin		114°28′ E, 35°47′ N	砂土 Sandy

1.3.3 烘焙品质分析

面包烤制和感官评价(外观形状、芯色泽、芯质地、芯纹理、体积)参考 GB/T 35869-2018 方法;面包体积采用油菜籽置换法,使用 JMTY 型面包体积测定仪进行测定;面包质构特性(硬度、弹性、内聚性、咀嚼性、回复性)使用 TA.XT Plus 质构仪(TPA)测定。面包微结构特性(切片亮度、气孔数量、气孔直径、平均气孔延长度)使用 Calibre C-Cell 孔隙成像分析仪测定。

1.3.4 土壤理化性质分析

土壤采集完成后采用四分法取样送至中国农业科学院土壤实验室进行有机质、全氮、有效磷、速效钾、pH 值和电导率的测定。将各指标数值从大到小排列,6 个地点为一组,每个指标分为 3 组(表 2)。使用土壤养分指标(碱解氮、有效磷、速效钾)与盐碱指标(pH、EC)分别进行聚类分析,按聚类结果各分为 3 组。其中,按养分聚类的 3 类分别为:Ⅰ类包括 ZP、QY、AP、NJ、JZ、TY 和 YJ;Ⅱ类包括 DG、GQ、HX、LY 和 HT;Ⅲ类包括 JY、WY、WQ、YS、ZQ 和 ZX。按盐碱指标聚类的 3 类分别为:Ⅰ类包括 TY、ZX、WQ、HX、JZ、LY、NJ、QY、YJ、AP、ZQ 和 YS;Ⅱ类包括 HT、JY、DG 和 GQ;Ⅲ类仅包含 WY。

1.4 数据处理

用 Excel 2024 整理数据,采用 SPSS 27 进行 *t* 检验、相关性分析与 *H* 检验。

2 结果与分析

2.1 轮选 49 籽粒品质性状分析

由表 3 可知,18 个地点中,轮选 49 籽粒硬度均高于硬质小麦国家标准(GB/T 21304—2007,硬度≥60 HI),容重均达到国家一级小麦容重标准(GB/T 1351—2008,容重≥790 g·L⁻¹);籽粒蛋白质含量除 YJ(12.93%)、TY(13.88%)和 WQ(13.19%)外,其余地点均达到优质强筋小麦标准(GB/T 17892—1999,蛋白质含量≥14.0%)。不同地点间轮选 49 籽粒被测品质性状的变异系数均低于 5%,表明该品种的籽粒品质对地点较稳定。其中,硬度(1.85%)和容重(1.55%)的变异系数低于蛋白质含量(4.78%)和出粉率(2.48%)的变异系数。

2.2 轮选 49 面粉品质性状分析

2.2.1 湿面筋及粉质特性

18 个地点中,轮选 49 的湿面筋含量均值高于国家强筋小麦标准(GB/T 17892—1999,≥30.5%),变化范围为 26.83%~34.62%;面筋指数为 95.34~98.81,均高于行业优质强筋小麦标准(≥85);吸水

表 2 取样地点土壤理化性质及分组

Table 2 Physicochemical properties and grouping of different locations

组别 Group	有机质 Organic matter/ (g · kg ⁻¹)	碱解氮 Available N/ (mg · kg ⁻¹)	有效磷 Available P/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾 Available K/ (mg · kg ⁻¹)	电 导 率 Electrical conductivity/ (μS · cm ⁻¹)	pH
组 1 Group 1	ZX 30.9	ZX 223.0	JY 65.9	HT 244	JY 801	YJ 8.71
	QY 27.3	WY 157.2	WY 62.2	DG 213.1	GQ 738.4	GQ 8.52
	WY 27.2	AP 151.2	WQ 51.1	ZX 212.8	HT 718.2	AP 8.23
	HT 26.5	YS 136.8	ZQ 42.5	HX 191.7	DG 614.9	JZ 8.19
	HX 24.4	WQ 127.4	ZX 39.5	LY 189.9	YS 607.0	LY 8.18
	ZP 23.3	HX 119.4	YS 38.5	WY 167.4	ZQ 431.9	ZP 8.17
组 2 Group 2	NJ 22.5	ZP 116.2	TY 34.9	GQ 160.3	NJ 313.2	YS 8.16
	YS 22.0	NJ 112.4	HX 33.9	JY 154.8	WQ 308.7	QY 8.12
	WQ 21.6	LY112.1	HT 29.3	ZP 153.4	LY 302.4	NJ 8.12
	JY 21.6	HT 107.6	NJ 26.5	AP 146.2	ZX 299.2	ZQ 8.05
	GQ 20.6	QY 103.2	ZP 22.0	QY 139.2	TY 298.3	ZX 7.97
	ZQ 18.2	JZ 102.5	DG 20.9	ZQ 117.9	HX 295.7	WQ 7.97
组 3 Group 3	AP 18.1	JY 102.1	LY 19.8	YS 107.3	ZP 291.2	TY 7.95
	JZ 17.3	DG 77.8	AP 19.4	JZ 102.3	AP 269.1	HX 7.92
	DG 17.1	ZQ 72.0	YJ 18.1	NJ 97.1	JZ 242.7	HT 7.87
	LY 17.1	TY 69.5	GQ 15.7	WQ 84.9	QY 230.8	JY 7.80
	TY 16.0	GQ 61.3	JZ 15.5	TY 55.7	YJ 194.0	DG 7.18
	YJ 12.0	YJ 50.1	QY 13.3	YJ 50.9	WY 155.9	WY 5.88

表 3 轮选 49 的籽粒品质

Table 3 Grain quality parameters of Lunxuan 49

地点 Location	硬度 Hardness/HI	容重 Test weight/(g · L ⁻¹)	蛋白质含量 Protein content/%	出粉率 Flour extraction rate/%
ZQ	71.1	796	14.59	69.73
HT	69.4	835	15.66	66.88
JY	70.5	819	14.75	72.39
ZP	70.3	827	15.01	66.49
DG	71.2	821	14.41	68.66
GQ	70.9	814	14.57	65.37
QY	71.9	836	14.14	69.06
WY	71.5	810	15.63	68.38
TY	70.5	838	13.88	68.04
HX	70.6	843	14.02	68.35
YJ	71.0	842	12.93	67.89
NJ	70.7	848	14.35	68.71
AP	70.9	835	14.41	67.54
ZX	73.1	832	14.15	71.17
JZ	67.4	826	14.23	71.07
WQ	71.0	832	13.19	67.91
LY	68.0	833	14.66	69.07
YS	69.8	831	14.79	68.98
范围 Range	67.4~73.1	796~848	12.93~15.66	65.37~72.39
平均值±标准差 Mean±SD	70.5±1.3	829±13	14.41±0.69	68.65±1.70
变异系数 CV/%	1.85	1.55	4.78	2.48

SD: Standard deviation; CV: Coefficient of variation. The same in tables 5 and 6.

表 4 轮选 49 的湿面筋含量及粉质特性
Table 4 Wet gluten content and farinograph parameters of Lunxuan 49

地点 Location	湿面筋含量 Wet gluten content/%	面筋指数 Gluten index	吸水率 Water absorption/%	形成时间 Development time/min	稳定时间 Stability time/min
ZQ	32.32	96.58	59.5	5.38	28.40
HT	34.62	96.34	62.4	6.90	20.83
JY	31.01	97.81	62.4	2.55	19.62
ZP	31.93	98.81	62.2	4.40	26.87
DG	30.57	97.43	61.4	2.52	16.10
GQ	31.44	98.16	61.9	7.65	19.90
QY	30.71	97.02	61.2	1.93	10.77
WY	33.38	97.91	62.2	3.77	31.10
TY	28.44	98.66	61.3	1.97	12.80
HX	30.91	95.34	61.6	1.75	12.32
YJ	28.16	97.83	61.6	1.97	8.07
NJ	30.23	97.83	62.2	2.40	19.77
AP	29.01	98.34	61.5	2.08	13.45
ZX	28.53	98.69	61.0	1.87	14.50
JZ	30.30	95.43	62.1	5.35	10.45
WQ	26.83	98.61	60.8	1.93	12.83
LY	32.51	96.11	60.5	3.83	12.23
YS	32.61	97.29	60.8	2.18	14.55
范围 Range	26.83~34.62	95.34~98.81	59.5~62.4	1.75~7.65	8.07~31.10
平均值±标准差 Mean±SD	30.75±2.01	97.45±1.10	61.5±0.8	3.36±1.86	16.92±6.56
变异系数 CV%	6.54	1.13	1.25	55.27	38.74

率除 ZQ 外所有样本均高于强筋标准($\geq 60.0\%$);形成时间(1.75~7.65 min)与稳定时间(8.07~31.10 min)变化范围较大,除 YJ 外各地点稳定时间均达到一级强筋标准(≥ 10.0 min)(表 4)。湿面筋含量(6.54%)、面筋指数(1.13%)和吸水率(1.25%)的变异系数较低,表明不同地点间轮选 49 的面筋质量和吸水率较稳定。形成时间(55.27%)和稳定时间(38.74%)变异系数较大,说明其受地点影响较大。

2.2.2 面团拉伸特性

轮选 49 的拉伸面积在不同地点间具有一定差异(表 5),但均显著高于国家强筋小麦标准(≥ 100 cm²),其中最大值出现在 NJ(179 cm²),JZ(103 cm²)最低;拉伸阻力除 JZ 外均超过优质强筋小麦审定标准(≥ 400 BU),在不同地点间差异较大;面团延伸度变异系数较小(5.40%),在拉伸特性中稳定性最佳;不同地点的最大拉伸阻力均高于国家优质强筋标准(≥ 400 BU),以 ZQ(866 BU)最高,JZ(443 BU)最低,但变异系数较大,为 13.79%,说明受栽培地点影响较大。

2.2.3 烘焙品质

面包体积在地点间差异较小(表 6),JZ 点(880 mL)最大;ZP、GQ、YJ、LY 点的面包外观形状评分均达 4.5 分,但此指标变异系数较大,达 17.50%,说明受地点影响较大;芯质地、芯纹理与综合评分变异系数均小于 7%,说明在不同地点间较为稳定。其中 GQ(88.3 分)与 WY(88.1 分)点由于体积评分、芯纹理评分较高而综合评分表现较好,而 WQ(74.0 分)与 JY(74.8 分)点因体积和芯纹理评分偏低而综合评分表现较差。

为评估轮选 49 的商业化应用潜力,以古船面粉厂生产的市售商用汉堡粉和澳洲混合麦(强筋对照)面粉为对照,对 2024 年 18 个试验点轮选 49 面粉的混合样品(18 个地点等比例混合)进行面包品质分析。结果(表 7)显示,轮选 49 的面包体积为 852.5 mL,与澳洲混合麦相同,但较市售商用汉堡粉降低 15.8%;外观形状评分低于澳洲混合麦和汉堡粉;芯色泽评分与澳洲混合麦和汉堡粉相同;芯质地评分与澳洲混合麦相同,但低于汉堡粉;综合评分受外观形状和芯纹理评分影响,略低于澳洲混合麦。

表 5 轮选 49 面团拉伸特性分析

Table 5 Analysis of extensograph parameters of Lunxuan 49

地点 Location	拉伸面积 Stretch area/cm ²	拉伸阻力 Tensile resistance/BU	延伸度 Extensibility/mm	最大拉伸阻力 Maximum tensile resistance/BU
ZQ	179	587	162	866
HT	159	416	186	645
JY	136	432	163	651
ZP	165	442	183	701
DG	149	463	167	689
GQ	177	534	169	824
QY	143	490	159	699
WY	170	546	164	817
TY	147	440	175	645
HX	144	459	167	666
YJ	150	451	169	694
NJ	178	541	172	807
AP	144	477	159	701
ZX	164	539	160	807
JZ	103	318	170	443
WQ	154	549	155	789
LY	155	416	182	659
YS	158	433	180	687
范围 Range	103~179	318~587	155~186	443~866
平均值±标准差 Mean±SD	154±18	474±66	169±9	710±98
变异系数 CV/%	11.69	13.92	5.40	13.79

表 6 轮选 49 的面包感官评价

Table 6 Bread sensory evaluation of Lunxuan 49

地点 Location	面包体积 Bread volume/mL	体积评分 Volume score(45)	外观形状评分 Appearance score(5)	芯色泽评分 Bread core color score(5)	芯质地评分 Delicate bread crumb score(10)	芯纹理评分 Bread crumb texture score(35)	综合评分 Comprehensive score(100)
ZQ	805.0	37.1	3.0	4.0	8.0	30.0	82.1
HT	870.0	42.5	4.0	4.0	7.0	25.0	82.5
JY	790.0	35.8	3.0	4.0	7.0	25.0	74.8
ZP	847.5	40.6	4.5	5.0	7.0	27.0	84.1
DG	777.5	34.8	3.0	4.0	7.0	28.0	76.8
GQ	850.0	40.8	4.5	5.0	8.0	30.0	88.3
QY	825.0	38.8	4.0	5.0	8.0	30.0	85.8
WY	865.0	42.1	4.0	4.0	8.0	30.0	88.1
TY	790.0	35.8	4.0	4.0	8.0	28.0	79.8
HX	827.5	39.0	4.0	4.0	7.0	25.0	79.0
YJ	830.0	39.2	4.5	5.0	8.0	27.0	83.7
NJ	780.0	35.0	3.0	4.0	8.0	29.0	79.0
AP	812.5	37.7	3.0	4.0	8.0	29.0	81.7
ZX	797.5	36.5	3.0	4.0	8.0	28.0	79.5
JZ	880.0	43.3	4.0	3.0	7.0	26.0	83.3
WQ	780.0	35.0	3.0	4.0	7.0	25.0	74.0
LY	840.0	40.0	4.5	5.0	8.0	30.0	87.5
YS	795.0	36.3	3.0	4.0	8.0	27.0	78.3
范围 Range	777.5~880.0	34.8~43.3	3.0~4.5	3.0~5.0	7.0~8.0	25.0~30.0	74.0~88.3
平均值± 标准差 Mean±SD	820.1±33.1	38.3±2.8	3.7±0.6	4.2±0.6	7.6±0.5	27.7±1.9	81.6±4.3
变异系数 CV/%	4.03	7.18	17.50	12.99	6.59	6.98	5.26

括号内数据为该指标总分。
The data in parentheses are the total score of this indicator.

表 7 轮选 49 与对照的面包感官评价比较

Table 7 Comparison of bread sensory evaluation of Lunxuan 49 with control

样品 Sample	面包体积 Bread volume/mL	体积评分 Volume score(45)	外观形状评分 Appearance score(5)	芯色泽评分 Bread core color score(5)	芯质地评分 Delicatebreadcrumb score(10)	芯纹理评分 Breadcrumb texture score(35)	综合评分 Comprehensive score(100)
古船 Guchuan	1 012.5	45	5	5	9	33	97
轮选 49 Lunxuan 49	852.5	41	3	5	8	28	85
澳洲混合麦 Australian mixed wheat	852.5	41	4	5	8	28	86

面包质构仪检测结果(表 8)显示,轮选 49 的硬度略高于澳洲混合麦,较古船汉堡粉高 15.3%;回复性与澳洲混合麦相近,但较古船汉堡粉高 13.7%;内聚性与另外两个样品几乎一致;弹性与古船汉堡粉相近,并高于澳洲混合麦;咀嚼性则明显高于古船汉堡粉和澳洲混合麦。

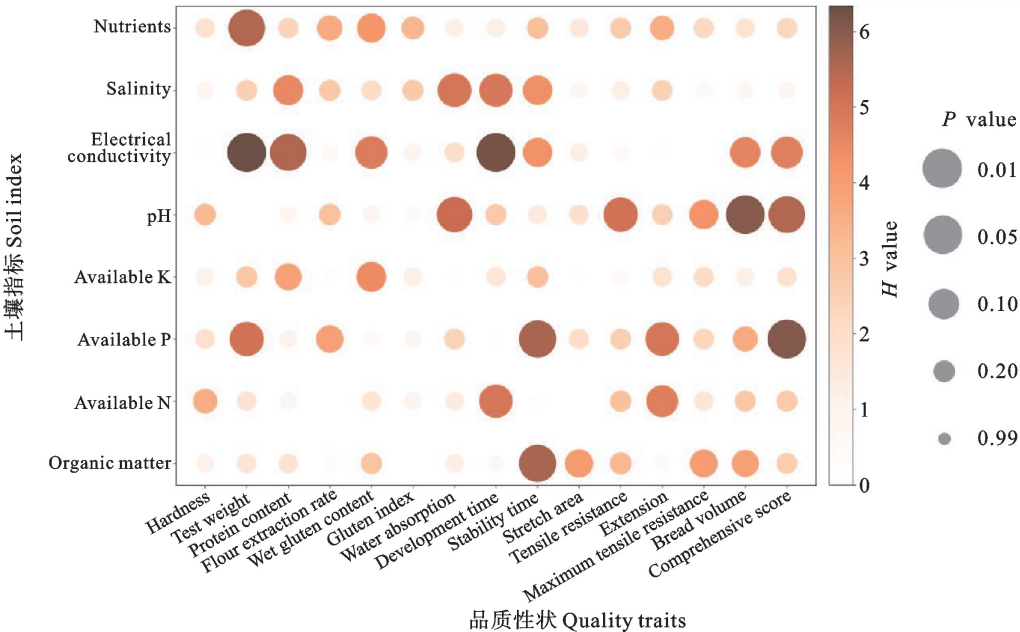
2.3 轮选 49 品质性状稳定性评价

基于 H 检验分析轮选 49 品质性状与不同土壤指标分组间的差异发现(图 1),面包评分在土壤有效磷分组中存在显著差异($H=6.04, P<0.05$);面包体积在土壤 pH 值分组中存在显著差异($H=6.01, P<0.05$);容重($H=6.34, P<0.05$)和形成

表 8 轮选 49 与对照的面包质构特性比较

Table 8 Comparison of bread texture properties of Lunxuan 49 with control

样品 Sample	硬度 Hardness/g	回复性 Resilience/%	内聚性 Cohesiveness	弹性 Springiness	咀嚼性 Chewiness/g
古船 Guchuan	272.9	40.8	0.80	98.13	212.9
轮选 49 Lunxuan 49	314.6	46.4	0.81	97.68	247.9
澳洲混合麦 Australian mixed wheat	292.7	47.4	0.81	85.78	205.3



Nutrients;养分;Salinity;盐分;Electrical conductivity;电导率;pH;酸碱度;Available K;速效钾;Available P;有效磷;Available N;碱解氮;Organic matter;有机质;Hardness;硬度;Test weight;容重;Protein content;蛋白质含量;Flour extraction rate;出粉率;Wet gluten content;湿面筋含量;Gluten index;面筋指数;Water absorption;吸水率;Development time;形成时间;Stability time;稳定时间;Stretch area;拉伸面积;Tensile resistance;拉伸阻力;Extensibility;延伸度;Maximum tensile resistance;最大拉伸阻力;Bread volume;面包体积;Comprehensive score;综合评分。图 3 同。The same in Fig. 3.

图 1 轮选 49 在不同土壤指标分组下品质性状的 H 检验结果

Fig. 1 H -test results of quality traits of Lunxuan 49 under different soil indicator groups

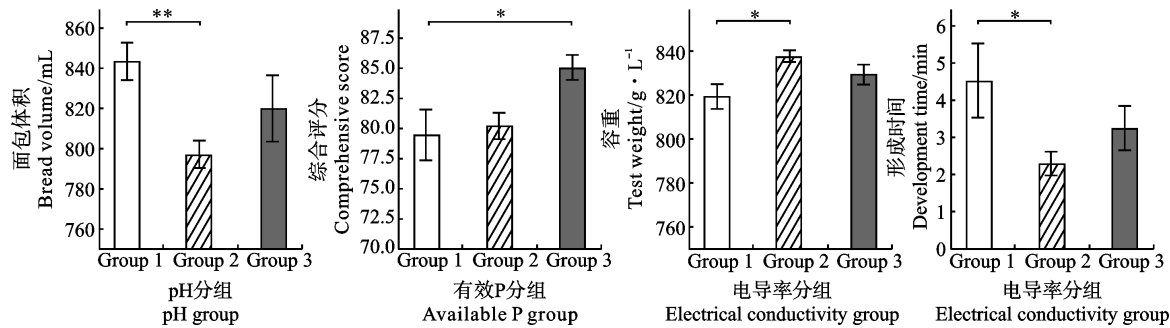
时间($H=6.20, P<0.05$)在土壤电导率分组中存在显著差异,其他品质性状在土壤有机质、碱解氮、速效钾含量等指标的不同分组间均差异不显著,表明轮选 49 在上述土壤指标不同的条件下具有较好的品质稳定性。

基于 H 检验结果(图 1)对存在显著差异的品质指标进行分析,结果(图 2)显示,在弱碱性土壤环境下,轮选 49 的面包体积显著高于中性土壤环境($P<0.05$);面包评分在土壤低有效磷含量环境下显著高于高磷环境;籽粒容重和面粉形成时间在中等含盐量的土壤中分别更高和更低。

2.4 轮选 49 品质性状与环境因子的相关性

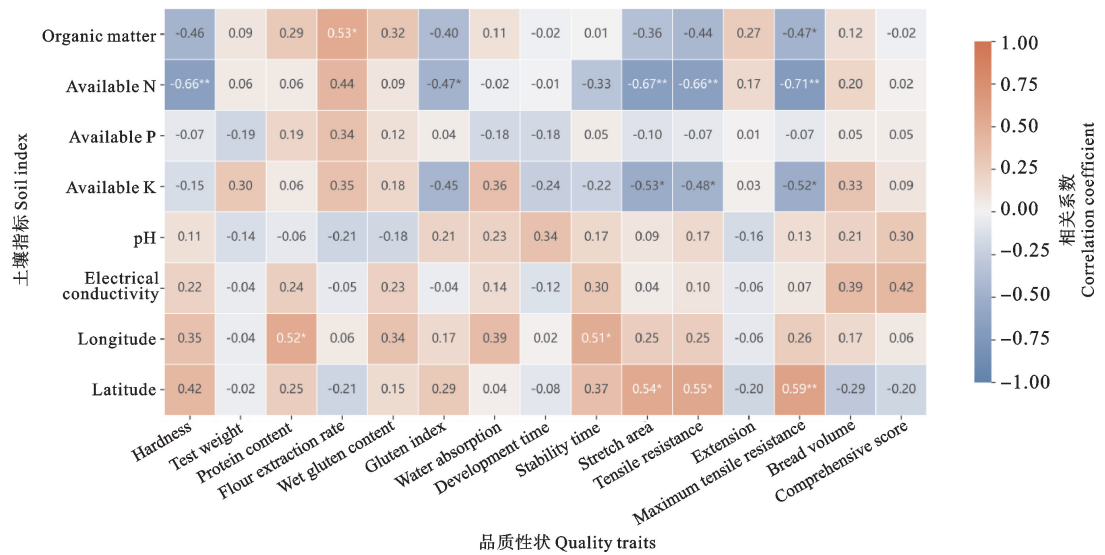
为探讨土壤条件对轮选 49 品质性状的影响,对主要土壤因子与品质性状进行了相关分析,结果(图 3)表明,籽粒硬度与土壤碱解氮含量呈显著负相关($r=-0.66, P<0.01$),说明轮选 49 籽

粒硬度在碱解氮含量较高地区可能较低;蛋白质含量与经度呈显著正相关($r=0.52, P<0.05$),说明东部地区轮选 49 蛋白质含量可能较高;出粉率与土壤有机质含量呈显著正相关($r=0.53, P<0.05$),说明有机质含量较高地区轮选 49 出粉率可能较高。面筋指数与土壤碱解氮含量呈显著负相关($r=-0.47, P<0.05$);稳定时间与经度呈显著正相关($r=0.51, P<0.05$);拉伸面积与碱解氮($r=-0.67, P<0.01$)、速效钾($r=-0.53, P<0.05$)含量均呈显著负相关;拉伸阻力与碱解氮($r=-0.66, P<0.01$)、速效钾($r=-0.48, P<0.05$)含量呈显著负相关,而与纬度呈显著正相关($r=0.55, P<0.05$);最大拉伸阻力与碱解氮($r=-0.71, P<0.01$)、速效钾($r=-0.52, P<0.05$)和有机质($r=-0.47, P<0.05$)含量呈显著负相关,而与纬度呈极显著正相关($r=0.59, P<0.01$)。



、 * 分别表示组别间差异在 0.05、0.01 水平显著。
* and * * mean significant difference between groups at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

图 2 基于 H 检验结果的显著差异品质指标的分组比较
Fig. 2 Group comparisons of significantly different quality traits based on the H test



Longitude: 经度; Latitude: 纬度。* : $P<0.05$; * * : $P<0.01$ 。
图 3 品质性状与土壤及地理因子的相关分析
Fig. 3 Correlation analysis between quality traits, soil factors and geographic factors

3 讨论

小麦籽粒的硬度、容重和蛋白质含量是评价品种加工适应性的重要理化指标,其中硬度和容重相对稳定,蛋白质含量则易受氮肥水平和环境条件影响^[11-12]。在黄淮冬麦区,不同土壤养分和气候因子往往导致相同品种的品质表现差异较大^[13]。本研究中,轮选49在不同地点下的品质性状整体差异较小,且均符合国家优质强筋标准。其籽粒硬度和容重的变异系数均低于2%,稳定性显著优于蛋白质含量和出粉率,表明其胚乳结构与籽粒填充过程具有较强的遗传稳定性^[14]。其在延津、汤阴等地点蛋白质含量偏低,可能与土壤氮、磷供应不足有关,这与“小麦籽粒蛋白质含量与土壤氮素含量呈显著正相关”的研究结果一致^[15];各地点最低蛋白质含量接近13%,这可能与耐低磷的遗传背景有关^[16],使其在低磷环境中维持谷蛋白稳定合成,但需通过更多试验或基因表达分析进一步验证。出粉率的变异系数较低,表明轮选49在加工适应性上表现稳定,具有规模化生产潜力。

前人研究表明,小麦蛋白质含量,尤其是谷蛋白含量直接影响面团强度和稳定时间^[17]。面团形成时间和稳定时间对小麦加工性能影响显著,且受环境影响较大。抽穗—灌浆期的积温和降水量会影响蛋白质的含量,高温和干旱会加速谷蛋白亚基的降解,从而降低面团的耐揉性^[18],醇溶蛋白和谷蛋白含量比例则会影响其加工性能与口感^[19]。轮选49的面筋质量整体稳定性较高,但形成时间和稳定时间的变异系数较高,这与Knapp等^[20]的研究结果一致。延津点的稳定时间未达到一级强筋标准,可能与小麦主要生育时期当地平均温度较高有关^[21],具体机制需结合蛋白质组学深入验证。轮选49面包的硬度略高于对照,表明其内部结构更为致密,可能有利于延长货架期。其回复性处于较高水平,提示其气室壁厚较为均匀,同时弹性较好,说明面包结构稳定。较高的咀嚼性可能与其较高的面筋指数有关,表明其二次加工的适应性较好,体现出在商品化应用中的潜在优势。各品质指标间的相关性分析结果表明,轮选49的面包评分与面包体积($r=0.763, P<0.01$)、面包硬度($r=-0.690, P<0.05$)和咀嚼性显著相关($r=-0.647, P<0.05$),这与其面包评分偏低的主要原因相同^[22]。

轮选49的多数品质指标在18个地点间表现稳定,但有部分指标受土壤条件影响。氮素、磷素和有机质含量是影响蛋白质积累和面团特性的关键因素^[23]。也有研究表明,高磷有利于品质性状提升,轮选49在低磷环境下反而获得更高面包评分,可能因其在高磷环境下淀粉、面筋含量不平衡或遗传背景下的碳分配特性^[24-26]。适中的土壤电导率有助于增加小麦籽粒容重和稳定面粉的形成时间,可能与“适度盐分可增强谷蛋白聚合,过量盐分可能导致胚乳细胞程序性死亡”相关^[27-28]。此外,轮选49的被测品质性状在养分和盐碱分组间无显著差异,表明其适应性较强,适合在多样化土壤条件下推广种植。相关性分析结果反映了轮选49的部分品质性状受经纬度、碱解氮和有机质含量影响,但由于样本量较小,该结论还需进一步研究验证。通过科学的区域布局与精准栽培技术,该品种有望成为黄淮冬麦区主推的优质强筋小麦品种,为提升中国小麦产业竞争力提供重要支撑。

4 结论

轮选49在多数区域各品质指标均超过国家强筋小麦品种标准,其籽粒硬度、容重和面筋指数表现高度稳定,蛋白质、湿面筋含量和面包评分等品质性状也较为稳定,是具备优异制粉品质和终端应用品质的优质强筋小麦品种。该品种对土壤有效磷、pH和电导率的变化可能比较敏感,但在多地点下仍保持较好的稳定性,适于推广种植。

参考文献:

- [1] SHEWRY P R, HEY S J. The contribution of wheat to human diet and health [J]. *Food and Energy Security*, 2015, 4(3): 178.
- [2] 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.
- [3] YANG L, WANG L H, CHU J C, et al. Improving soil quality and wheat yield through diversified crop rotations in the North China Plain [J]. *Soil and Tillage Research*, 2024, 244: 106231.
- [4] WANG Y Q, PENG Y, LIN J Q, et al. Optimal nitrogen management to achieve high wheat grain yield, grain protein content, and water productivity: A meta-analysis [J]. *Agricultural Water Management*, 2023, 290.
- [5] AN H Y, HAN J J, HE Q N, et al. Influence of nitrogen application rate on wheat grain protein content and composition in China: A meta-analysis [J]. *Agronomy*, 2024, 14(6): 1164.

- [6] HAN P, WANG Y, SUN H. Impact of temperature stresses on wheat quality: A focus on starch and protein composition [J]. *Foods*, 2025, 14(13): 2178.
- [7] REKOWSKI A, WIMMER M A, TAHMASEBI S, *et al.* Drought stress during anthesis alters grain protein composition and improves bread quality in field-grown Iranian and German wheat genotypes [J]. *Applied Sciences*, 2021, 11(21): 9782.
- [8] 郭天财, 马冬云, 朱云集, 等. 冬播小麦品种主要品质性状的基因型与环境及其互作效应分析[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 948.
- GUO T C, MA D Y, ZHU Y J, *et al.* Genotype, environment and their interactive effects on main quality traits of winter-sown wheat variety [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 948.
- [9] 刘艳喜, 秦毛毛, 周正富, 等. 优质强筋小麦品种郑麦 379 的品质及其稳定性分析[J]. 河南农业科学, 2019, 48(12): 30.
- LIU Y X, QIN M M, ZHOU Z F, *et al.* Quality and its stability of strong gluten wheat variety Zhengmai 379 [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2019, 48(12): 30.
- [10] 余维宝, 李楠, 寇一泓, 等. 山东省强筋小麦品质评价及与气象因子关系分析[J]. 中国农业科学, 2022, 55(22): 4383.
- YU W B, LI N, KOU Y H, *et al.* Study on the quality parameters of strong gluten wheat and analysis of its relationship with meteorological factors in Shandong Province [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(22): 4383.
- [11] GHIMIRE D, DAS S, MUELLER N D, *et al.* Effects of cultivars and nitrogen management on wheat grain yield and protein [J]. *Agronomy Journal*, 2021, 113(5): 4348.
- [12] EAGLES H A, HOLLAMBY G J, EASTWOOD R F. Genetic and environmental variation for grain quality traits routinely evaluated in southern Australian wheat breeding programs [J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2002, 53(9): 1047.
- [13] 胡学旭, 孙丽娟, 周桂英, 等. 2000—2015 年国家黄淮和北部冬麦区域试验品种品质分析[J]. 中国农业科学, 2016, 49(24): 4677.
- HU X X, SUN L J, ZHOU G Y, *et al.* Quality variation of national tested varieties in northern winter wheat region and Huang-Huai river valley winter wheat region from 2000 to 2015 [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(24): 4677.
- [14] MORRIS C F. Puroindolines: The molecular genetic basis of wheat grain hardness [J]. *Plant Molecular Biology*, 2002, 48(5): 633.
- [15] YU Z T, ISLAM S, SHE M Y, *et al.* Wheat grain protein accumulation and polymerization mechanisms driven by nitrogen fertilization [J]. *The Plant Journal*, 2018, 96(6): 1160.
- [16] WANG P F, LI G Z, LI G W, *et al.* TaPHT1;9-4B and its transcriptional regulator TaMYB4-7D contribute to phosphate uptake and plant growth in bread wheat [J]. *New Phytologist*, 2021, 231(5): 1968.
- [17] GUPTA R B, KHAN K, MACRITCHIE F. Biochemical basis of flour properties in bread wheats. I. effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein [J]. *Journal of Cereal Science*, 1993, 18(1): 23.
- [18] KOGA S, BÖCKER U, MOLDESTAD A, *et al.* Influence of temperature on the composition and polymerization of gluten proteins during grain filling in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 65: 1.
- [19] BARAK S, MUDGIL D, KHATKAR B S. Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2013, 51(1): 211.
- [20] KNAPP S, BRABANT C, OBERFORSTER M, *et al.* Quality traits in winter wheat: Comparison of stability parameters and correlations between traits regarding their stability [J]. *Journal of Cereal Science*, 2017, 77: 186.
- [21] MOLDESTAD A, FERGESTAD E M, HOEL B, *et al.* Effect of temperature variation during grain filling on wheat gluten resistance [J]. *Journal of Cereal Science*, 2011, 53(3): 347.
- [22] 杨金, 张艳, 何中虎, 等. 小麦品质性状与面包和面条品质关系分析[J]. 作物学报, 2004, 30(8): 739.
- YANG J, ZHANG Y, HE Z H, *et al.* Association between wheat quality traits and performance of pan bread and dry white Chinese noodle [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(8): 739.
- [23] 金欣欣, 姚艳荣, 贾秀领, 等. 基因型和环境对小麦产量、品质和氮素效率的影响[J]. 作物学报, 2019, 45(4): 635.
- JIN X X, YAO Y R, JIA X L, *et al.* Effects of genotype and environment on wheat yield, quality, and nitrogen use efficiency [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2019, 45(4): 635.
- [24] ZHANG L L, ZHANG Y B, LI J L, *et al.* Quality differences between NILs of wheat variety Long 97-586 possessing HMW-GS 7+8 and 7 [J]. *Science China. Life Sciences*, 2010, 53(2): 286.
- [25] ZHANG R Q, LI C, FU K Y, *et al.* Phosphorus alters starch morphology and gene expression related to starch biosynthesis and degradation in wheat grain [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 2252.
- [26] GAIRE R, HUANG M, SNELLER C, *et al.* Association analysis of baking and milling quality traits in an elite soft red winter wheat population [J]. *Crop Science*, 2019, 59(3): 1085.
- [27] ZHANG X X, SHI Z Q, TIAN Y J, *et al.* Salt stress increases content and size of glutenin macropolymers in wheat grain [J]. *Food Chemistry*, 2016, 197: 516.
- [28] YUE J Y, WANG Y J, JIAO J L, *et al.* Silencing of ATG2 and ATG7 promotes programmed cell death in wheat *via* inhibition of autophagy under salt stress [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 225: 112761.