

瞿金爽,李四方,汪芳芳,等. 安徽麦区软质小麦主要品质性状的基因型-环境互作分析[J]. 江苏农业学报,2024,40(7): 1161-1169.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2024.07.002

# 安徽麦区软质小麦主要品质性状的基因型-环境互作分析

瞿金爽<sup>1</sup>, 李四方<sup>1</sup>, 汪芳芳<sup>1</sup>, 郑文寅<sup>1,2</sup>

(1.安徽农业大学农学院/农业农村部黄淮南部小麦生物学与遗传育种重点实验室,安徽 合肥 230036; 2.扬州大学/江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心,江苏 扬州 225009)

**摘要:** 为了深入研究安徽麦区软质小麦主要品质性状的基因型效应与不同种植区域环境效应的互作关系及稳定性,本研究利用 AMMI 双标图对种植于 7 个生态试点的 12 个软质小麦品种的蛋白质含量、湿面筋含量、面团稳定时间及吸水率 4 个品质指标进行综合评价。AMMI 双标图分析结果表明,濉溪和新马桥生态试点能够较好地分辨品种湿面筋含量,区分品种面团稳定时间的最佳地点是太和生态试点,阜阳生态试点能够很好地区分不同品种的吸水率,能较好地区分蛋白质含量的生态试点是新马桥。吸水率和面团稳定时间表现好的品种是瑞华麦 516、天益科麦 5 号;湿面筋含量中较稳定的品种是华成 863 和瑞华麦 516;天益科麦 5 号是蛋白质含量平均值较高且较稳定的品种。相对而言,天益科麦 5 号具有广适、稳定且品质性状优良的基因型。

**关键词:** 软质小麦; AMMI 模型; 主要品质性状; 基因型-环境互作分析; 稳定性

中图分类号: S512.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2024)07-1161-09

## Genotype-environment interaction analysis of the main quality traits of soft wheat in wheat area of Anhui province

ZI Jinshuang<sup>1</sup>, LI Sifang<sup>1</sup>, WANG Fangfang<sup>1</sup>, ZHENG Wenyin<sup>1,2</sup>

(1.College of Agronomy, Anhui Agricultural University/Key Laboratory of Wheat Biology and Genetic Breeding in Southern Huanghuai, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Hefei 230036, China; 2.Yangzhou University/Jiangsu Collaborative Innovation Center for Modern Industrial Technology of Grain Crops, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** To deeply study the interactive relationship between genotypic effects of the main quality traits and the environmental effects of different planting regions and the relationship stability of soft wheat in wheat-growing areas of Anhui province, AMMI biplot was used to comprehensively evaluate four quality indicators such as protein content, wet gluten content, dough stabilization time and water absorption rate, of 12 soft wheat varieties planted in seven ecological pilot sites in this study. The analysis results of the AMMI biplot indicated that, ecological test sites of Suixi and Xinmaqiao could distinguish the wet gluten content of different varieties well. The best location for distinguishing dough stabilization time of varieties

was Taihe ecological test site. Fuyang ecological pilot site could distinguish the water absorption rate of different varieties well, and the appropriate ecological site for distinguishing protein content was Xinmaqiao. The varieties that performed well in water absorption rate and dough stabilization time were Ruihuamai 516 and Tianyikemai 5. The most stable varieties in terms of wet gluten content were Huacheng 863 and Ruihuamai 516. Tianyikemai 5

收稿日期:2023-12-12

基金项目:安徽省科技重大专项(202204c06020061);安徽省农业农村厅小麦良种联合攻关项目(2021-2025);安徽省小麦现代产业技术体系项目(2021-2025)

作者简介:瞿金爽(1999-),男,安徽宿州人,硕士研究生,研究方向为作物遗传育种。(E-mail)zjs17681016813@163.com

通讯作者:郑文寅,(E-mail)zhengwenyin\_75@163.com

had a relatively high and stable average protein content. In comparison, Tianyikemai 5 has a widely adapted, stable and high-quality genotype.

**Key words:** soft wheat; AMMI model; main quality traits; genotype-environment interaction analysis; stability

小麦为禾本科一年生自花授粉作物,在世界各地广泛种植,其颖果是人类的三大主食之一,是重要的粮食作物,小麦的种植面积位居各种作物之首,在中国具有非常重要的地位。国际上普通小麦分为硬质小麦和软质小麦两大类。在美国、加拿大和澳大利亚等国,籽粒软且能用于制作饼干、蛋糕和日本面条等软性食品的一类小麦,称为软质小麦。但目前在中国,软质小麦主要基于籽粒胚乳质地的软硬程度进行评判,即利用谷物硬度仪测定的籽粒硬度来进行区分。根据 GB 1351-2023《小麦》,籽粒硬度如 $\leq 45$ 就属于软质小麦。与美国等发达国家相比,中国对软质小麦的研究起步较晚,对其加工品质性状的报道较少<sup>[1]</sup>。

小麦品质是一个综合性概念,通常可用籽粒蛋白质含量、湿面筋含量和粉质参数中的吸水率、面团稳定时间等关键指标来反映小麦的品质类型<sup>[1]</sup>。蛋白质是小麦籽粒中的重要营养成分,其在籽粒和面粉中的含量与面粉流变学特性以及面制品加工品质关系密切<sup>[2]</sup>。湿面筋含量是反映小麦粉面筋强度的一个重要指标,GB/T 17320-2013《小麦品种品质分类》中提到,强筋小麦的湿面筋含量应不低于 30%,弱筋小麦的湿面筋含量应低于 26%,湿面筋含量影响面条、馒头等制品品质<sup>[3]</sup>。粉质参数常用于反映小麦面团流变学特性,其中吸水率与面制品成品的产出比例有关,而面团稳定时间则表征面团强度指标<sup>[4]</sup>,面团吸水率和稳定时间更能综合反映小麦粉加工品质的优劣<sup>[5]</sup>。

研究结果表明,基因型、环境及其互作是影响小麦品质性状的重要因素<sup>[6-8]</sup>,前人研究发现,作物品质性状受基因型和环境条件控制,部分品质性状则表现出显著的基因型-环境互作效应<sup>[9-10]</sup>。如李朝苏等<sup>[11]</sup>认为小麦的蛋白质含量、湿面筋含量的环境效应较大,其次是基因型效应;面团的形成时间和稳定时间的环境效应和互作效应较大。乔玉强等<sup>[12]</sup>认为蛋白质含量、湿面筋含量等性状主要受环境因素的影响。研究者们将品质指标的特性应用于弱筋小麦品种的选育和改良,已有研究结果表明,小麦品种间品质指标具有较大的遗传差异,基于这些差异

筛选到了部分优质种质资源,明确了小麦品质的地理差异并建立了一批优质小麦生产基地,对小麦品种进行大批量的品质检测<sup>[13-17]</sup>。

安徽麦区地处长江、淮河下游地区,气候复杂多样。安徽江淮麦区在原农业部《全国优势农产品区域布局规划》中属于长江中下游优质软麦和弱筋小麦核心产区<sup>[18-19]</sup>,是用于制作优质饼干、糕点类的优质软麦的适宜产区<sup>[20]</sup>。但目前关于安徽江淮软质小麦品质性状的相关研究较少<sup>[1,21]</sup>,也未见该区软质小麦主要品质性状与基因型-环境互作效应方面的报道。AMMI 模型可以鉴别出对一些环境条件具有特殊适应性的基因型,为针对特殊环境条件下的生态育种提供有价值的信息,还可以应用于品种稳定性评价或对多环境试验中的品种进行相似性聚类<sup>[22-23]</sup>。因此本研究拟利用 AMMI 双标图,分析种植于 7 个生态试点的 12 个软质小麦推广品种的基因型、环境以及基因型 $\times$ 环境互作效应对其蛋白质含量、湿面筋含量、面团吸水率和稳定时间等品质性状的影响,为该区软质小麦的育种和加工品质提升提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试的 12 个材料,包括泛麦 5 号(G1)、华成 1688(G2)、华成 863(G3)、淮麦 22(G4)、徽研 912(G5)、龙科 0901(G6)、龙科 1109(G7)、荃麦 725(G8)、瑞华麦 516(G9)、淮 1216(G10)、天益科麦 5 号(G11)和渦麦 99(G12),于 2018-2019 年种植在安徽的太和(E1)、宿州(E2)、濉溪(E3)、凤台(E4)、新马桥(E5)、阜阳(E6)、龙亢(E7)等 7 个生态试点。除了濉溪的淮麦 22、渦麦 99,新马桥的华成 863,其他所选材料的籽粒硬度指数均小于 45,属于软质小麦品种(表 1)。试验采取随机区组排列,4 行区,行长 2 m,统一进行田间管理,并全部在成熟期收获,经脱粒和清理后,在室温下储存,用于后续试验。

### 1.2 试验方法

经过清理的小麦籽粒参照 AACC55-31《单粒

小麦籽粒硬度测定法》<sup>[24]</sup>的方法测定籽粒硬度;利用 FOSS 1241 型近红外分析仪测定小麦籽粒蛋白质含量;参照 NY/T 1094.1-2006《小麦实验制粉 第 1 部分:设备、样品制备和润麦》<sup>[25]</sup>中的方法进行润麦,按 AACC26-50《布拉本德实验制粉法》<sup>[24]</sup>中的方法进行制粉,出粉率控制为 62%~68%,用密封袋保存,置于室温下 14 d 至面粉熟化后用于测定湿面筋含量和粉质参数等,其中湿面

筋含量的测定参照 AACC-38-12.02《湿面筋、干面筋、水结合能力和面筋指数测定法》<sup>[24]</sup>的方法,粉质参数的测定参照 AACC54-21.01《粉质仪法》<sup>[24]</sup>的方法。

1.3 数据分析

采用 Excel 进行数据统计,采用 DPS 7.05 软件进行回归分析、方差分析、AMMI 模型图的绘制。

表 1 供试材料的硬度指数  
Table 1 Hardness indices of tested materials

品种	不同生态点的硬度指数						
	太和	宿州	濉溪	凤台	新马桥	阜阳	龙亢
泛麦 5 号	32	13	18	37	27	26	31
华成 1688	31	5	12	36	28	26	26
华成 863	27	3	9	38	56	28	26
淮麦 22	28	19	48	34	12	39	19
徽研 912	28	6	9	33	36	28	22
龙科 0901	38	13	19	33	31	32	31
龙科 1109	39	19	22	33	30	27	25
荃麦 725	23	13	9	29	29	33	20
瑞华麦 516	33	10	18	32	31	38	29
濉 1216	30	19	24	37	24	29	23
天益科麦 5 号	29	10	17	31	27	40	23
涡麦 99	30	7	46	35	17	24	19

2 结果与分析

2.1 不同生态点、不同品种的主要品质指标

各品种关键品质指标的平均值、变化范围及变异系数见表 2。从湿面筋含量来看,G8 的湿面筋含量的变异系数最小,为 18.44%;G6 的湿面筋含量的变异系数最大,为 60.66%。从吸水率来看,G3 的吸水率变异系数最小,为 1.83%;G1 的吸水率变异系数最大,为 8.05%。从稳定时间来看,G7 的稳定时间变异系数最小,为 14.08%;G1 的稳定时间变异系数最大,分别为 86.44%。根据 G8 的吸水率和稳定时间,可以看出该品种在所测的品种中具有最好的面团流动性。从蛋白质含量来看,G11 的蛋白质含量变异系数最小,为 3.96%;G8 的蛋白质含量变异系数最大,为 9.67%。

不同生态点软质小麦的关键品质指标的平均

值、变化范围及变异系数见表 3。从湿面筋含量来看,E2 的湿面筋含量平均值最高,为 69.9%,但也具有最大的变化范围和变异系数;E5 具有最低的湿面筋含量平均值,较小的变化范围和变异系数,分别为 27.4%、8.0%和 9.12%。从面团吸水率来看,E4 的平均值最高,为 59.0%,且具有最小的变异系数,为 1.71%;E3 的面团吸水率变异系数最高,为 3.57%。从稳定时间来看,E1 的稳定时间平均值最高,为 12.5 min,同时具有较大的变化范围和变异系数,分别为 27.8 min 和 83.84%,变异系数较大的为 E5,为 101.40%;E6 的稳定时间平均值最低,为 4.4 min,且也具有较小的变化范围和变异系数,分别为 5.4 min 和 35.68%,而变异系数最小的是 E4,为 33.27%。从蛋白质含量来看,E2 具有较高的平均值和最高的变异系数,分别为 14.2%和 20.81%。

表 2 不同品种关键品质指标的平均值、极差及变异系数

Table 2 Average values, extreme differences and coefficients of variation for key quality indicators of different varieties

品种	湿面筋含量			吸水率			稳定时间			蛋白质含量		
	平均值 (%)	极差 (%)	变异系 数(%)	平均值 (%)	极差 (%)	变异系 数(%)	平均值 (min)	极差 (min)	变异系 数(%)	平均值 (%)	极差 (%)	变异系 数(%)
G1	34.3	47.9	49.10	57.2	11.1	8.05	13.6	28.6	86.44	12.7	2.8	9.14
G2	35.0	56.6	57.40	56.4	11.5	6.87	18.2	25.4	57.02	13.3	2.4	7.47
G3	37.1	46.2	45.55	58.4	1.9	1.83	3.0	0.5	16.91	13.3	2.2	6.77
G4	36.5	59.4	56.55	56.8	6.5	3.96	4.6	7.1	57.16	12.9	2.9	8.67
G5	36.8	48.7	50.10	57.4	5.9	3.81	11.1	5.6	71.21	13.1	2.0	5.39
G6	35.4	58.4	60.66	56.7	5.5	3.69	13.1	23.3	75.76	12.8	2.4	7.51
G7	34.5	42.5	42.69	55.9	4.8	3.01	3.8	0.9	14.08	13.4	3.0	8.52
G8	36.1	18.4	18.44	56.4	4.9	2.95	3.0	1.3	14.36	14.6	4.2	9.67
G9	36.6	43.0	42.05	57.7	4.8	3.42	6.9	11.9	59.02	13.6	3.0	7.02
G10	32.8	18.9	18.60	56.3	3.7	2.96	10.1	18.8	74.39	14.0	3.5	8.40
G11	39.3	49.5	50.38	58.1	3.9	2.67	7.1	8.7	44.93	14.4	1.6	3.96
G12	30.6	27.8	31.37	56.5	5.6	3.88	5.0	2.4	20.86	12.9	2.0	6.11

G1: 泛麦 5 号; G2: 华成 1688; G3: 华成 863; G4: 淮麦 22; G5: 徽研 912; G6: 龙科 0901; G7: 龙科 1109; G8: 荃麦 725; G9: 瑞华麦 516; G10: 淮 1216; G11: 天益科麦 5 号; G12: 涡麦 99。

表 3 不同生态点关键品质指标的平均值、极差及变异系数

Table 3 Average values, extreme differences and coefficients of variation for key quality indicators at different ecological points

品种	湿面筋含量 (%)			面团吸水率 (%)			面团稳定时间			蛋白质含量		
	平均值 (%)	极差 (%)	变异系 数(%)	平均值 (%)	极差 (%)	变异系 数(%)	平均值 (min)	极差 (min)	变异系 数(%)	平均值 (%)	极差 (%)	变异系 数(%)
E1	30.5	10.0	9.71	55.9	5.4	2.94	12.5	27.8	83.84	13.8	11.8	9.71
E2	69.9	31.9	20.81	55.7	2.4	1.83	8.9	27.1	99.65	14.2	39.7	20.81
E3	31.0	16.1	14.01	55.3	3.9	3.57	11.1	22.5	83.51	14.3	16.1	14.01
E4	28.6	7.8	10.30	59.0	3.0	1.71	5.1	5.2	33.27	12.9	7.4	13.00
E5	27.4	8.0	9.12	55.0	6.2	3.53	9.2	26.0	101.40	12.5	9.0	9.12
E6	31.2	9.3	9.24	58.9	5.5	3.34	4.4	5.4	35.68	13.6	7.0	9.25
E7	39.4	5.1	6.47	58.9	3.2	3.08	6.8	12.9	57.65	12.5	6.5	6.47

E1: 太和; E2: 宿州; E3: 濉溪; E4: 凤台; E5: 新马桥; E6: 阜阳; E7: 龙亢。

2.2 主要品质指标的联合方差分析

对 12 个品种的 4 个关键品质指标作联合分析的结果(表 4)显示,蛋白质含量、湿面筋含量、吸水率、稳定时间的基因型、不同生态点(环境)间均存在极显著影响,基因-环境互作效应也均达到了极显著水平( $P<0.01$ )。从各因素平方和占比来看,蛋白质含量和吸水率的环境平方和占比接近 50.00%,基因型及基因型与环境互作效应平方和占比之和也在 50.00%左右,由此可见安徽麦区软质小麦的蛋白质含量和面团吸水率既受基因型影响也受环境影

响,而环境是影响蛋白质含量和面团吸水率的主要因素。稳定时间的基因型和环境平方和占比分别达到了 38.37% 和 13.52%,二者之和约为 50.00%,面团稳定时间则主要受基因型的影响,基因型与环境互作效应平方和占比也将近 50.00%。在湿面筋含量中可以看到基因型、环境和基因与环境互作效应平方和占比分别为 44.72%、15.62%、35.50%。各品质指标均受到基因型与环境互作效应不同程度的影响,因此有必要利用 AMMI 模型来进一步分析基因型与环境互作效应。

表 4 12 个品种 4 个关键品质指标的联合方差分析结果  
Table 4 Joint analysis of variance of four key quality indicators for 12 varieties

品质指标	变异来源	自由度	平方和	平方和占比 (%)	均方	F 检验值	P 值
蛋白质含量	总变异	167	207.265		1.241		
	处理	83	204.126		2.459	65.807	0.000 1
	基因型	11	59.202	28.56	5.382	144.012	0.000 1
	环境	6	84.571	40.80	14.095	377.158	0.000 1
	交互作用	66	60.353	29.12	0.914	24.468	0.000 1
	误差	84	3.139	1.51	0.037		
湿面筋含量	总变异	167	1 833.948		10.982		
	处理	83	1 757.782		21.178	23.356	0.000 1
	基因型	11	820.211	44.72	74.565	82.233	0.000 1
	环境	6	286.464	15.62	47.744	52.655	0.000 1
	交互作用	66	651.106	35.50	9.865	10.880	0.000 1
	误差	84	76.166	4.15	0.907		
吸水率	总变异	167	948.974		5.682		
	处理	83	945.254		11.389	257.162	0.000 1
	基因型	11	91.537	9.65	8.321	187.906	0.000 1
	环境	6	511.907	53.94	85.318	1 926.533	0.000 1
	交互作用	66	341.810	36.02	5.179	116.944	0.000 1
	误差	84	3.720	00.39	0.044		
面团稳定时间	总变异	167	9 643.200		57.744		
	处理	83	9 637.820		116.118	1 812.999	0.000 1
	基因型	11	3 700.171	38.37	336.379	5 252.018	0.000 1
	环境	6	1 304.214	13.52	217.369	3 393.866	0.000 1
	交互作用	66	4 633.434	48.05	70.204	1 096.115	0.000 1
	误差	84	5.380	0.06	0.064		

2.3 线性回归和 AMMI 模型分析

各品质指标的线性回归和 AMMI 分析结果见表 5~表 8。从表中可知,4 个品质指标的联合回归、基因回归和环境回归的平方和占比分别仅解释了交互作用平方和的 46.77%、50.36%、36.69%、34.48%,每个指标的残差仍较大,其平方和占比分别为 53.22%、49.63%、63.31%、65.52%,线性回归拟合结果较差。因此,使用 AMMI 模型对基因型与环境的互作情况进行分解,表 5~表 8 中的第 1 主成分和第 2 主成分均达到极显著水平,吸水率、湿面筋含量、稳定时间和蛋白质含量中的 3 项基因-环境互作

效应主成分(IPCA)之和也分别达到了 85.81%、88.47%、92.22%、88.63%;将剩余的不显著的基因-环境互作效应主成分合并成残差,分别占交互作用平方和的 14.18%、11.54%、7.79%、11.37%。由此说明 AMMI 模型能够清楚地分析基因型与环境间的互作效应。

2.4 品种稳定性分析

图 1~图 4 是以参试品种品质指标平均值(分别为吸水率平均值、稳定时间平均值、湿面筋含量平均值、蛋白质含量平均值)为横轴,以第 1 主成分(IPCA1)值为纵轴所作的 AMMI 双标图。横坐标越



表 5 面团吸水率的线性回归和 AMMI 模型分析结果

Table 5 Linear regression of dough water absorption rate and AMMI model analysis results

类别	变异来源	自由度	平方和	平方和占比(%)	均方	<i>F</i> 检验值	<i>P</i> 值
线性回归	联合回归	1	1.621	0.47	1.621	36.605	0.000 1
	基因回归	10	145.689	42.62	14.569	328.975	0.000 1
	环境回归	5	12.583	3.68	2.517	56.828	0.000 1
	残差	50	181.916	53.22	3.638	82.156	0.000 1
AMMI 模型	第 1 主成分	16	178.082	52.10	11.130	5.510	0.000 1
	第 2 主成分	14	78.659	23.01	5.618	2.781	0.001 9
	第 3 主成分	12	36.659	10.70	3.049	1.509	0.136 9
	残差	24	48.481	14.18	2.020		

表 6 湿面筋含量的线性回归和 AMMI 模型分析结果

Table 6 Linear regression and AMMI model analysis results of wet gluten content

类别	变异来源	自由度	平方和	平方和占比(%)	均方	<i>F</i> 检验值	<i>P</i> 值
线性回归	联合回归	1	135.134	20.75	135.134	149.032	0.000 1
	基因回归	10	144.248	22.15	14.425	15.908	0.000 1
	环境回归	5	48.587	7.46	9.717	10.717	0.000 1
	残差	50	323.137	49.63	6.463	7.127	0.000 1
AMMI 模型	第 1 主成分	16	341.488	52.45	21.343	6.817	0.000 1
	第 2 主成分	14	151.289	23.24	10.806	3.451	0.000 2
	第 3 主成分	12	83.187	12.78	6.932	2.214	0.017 9
	残差	24	75.143	11.54	3.131		

表 7 面团稳定时间的线性回归和 AMMI 模型分析结果

Table 7 Linear regression and AMMI model analysis results of dough stabilization time

类别	变异来源	自由度	平方和	平方和占比(%)	均方	<i>F</i> 检验值	<i>P</i> 值
线性回归	联合回归	1	1 405.579	30.34	1 405.579	21 945.850	0.000 1
	基因回归	10	189.649	4.09	18.965	296.107	0.000 1
	环境回归	5	104.601	2.26	20.920	326.635	0.000 1
	残差	50	2 933.604	63.31	58.672	916.070	0.000 1
AMMI 模型	第 1 主成分	16	1 791.701	38.67	111.981	7.450	0.000 1
	第 2 主成分	14	1 430.809	30.88	102.201	6.800	0.000 1
	第 3 主成分	12	1 050.199	22.67	87.517	5.823	0.000 1
	残差	24	360.726	7.79	15.030		

大,说明该品种产量越高,丰产性越好;纵坐标 IP-CA1 绝对值越小,说明该品种稳定性越好,适应性越好<sup>[26-27]</sup>。从图 1~图 4 可以看出,仅吸水率的各生态点在水平方向上的分布比品种分散,说明吸水率

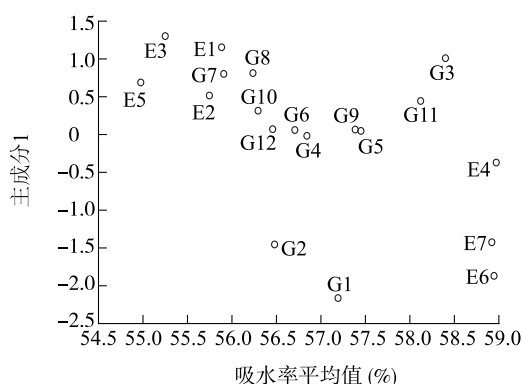
受环境间变异的影响大于品种间变异的影响。在 AMMI 双标图中地点位置离横轴越近,表明地点对该品质的分辨力越弱,离横轴越远,表明地点对该品质的分辨力越强<sup>[28]</sup>。

表 8 蛋白质含量的线性回归和 AMMI 模型分析结果

Table 8 Linear regression and AMMI model analysis results of protein content

类别	变异来源	自由度	平方和	平方和占比 (%)	均方	F 检验值	P 值
线性回归	联合回归	1	0.036	0.06	0.036	0.960	0.330 0
	基因回归	10	7.546	12.50	0.755	20.193	0.000 1
	环境回归	5	13.229	21.92	2.646	70.794	0.000 1
	残差	50	39.541	65.52	0.791	21.161	0.000 1
AMMI 模型	第 1 主成分	16	26.899	44.57	1.681	5.880	0.000 1
	第 2 主成分	14	19.810	32.82	1.415	4.949	0.000 1
	第 3 主成分	12	6.781	11.24	0.565	1.976	0.036 5
	残差	24	6.862	11.37	0.286		

图 1 显示,G3、G5、G11、G9 吸水率平均值较高;G4、G5、G6、G9、G10、G11、G12 的吸水率稳定性较好;横坐标偏右且靠近  $IPCA1=0$  水平线的品种为高产稳产的品种<sup>[21]</sup>。从图 1 还可以看出 G5、G11、G9 为高产稳产品种,G2、G7、G8 表现较差。在 AMMI 双标图中,品种与  $IPCA1=0$  水平线同侧的试验地点间有正的互作效应,与另一侧的试验地点间为负互作效应<sup>[27]</sup>。由此可知,G3、G5、G6、G7、G8、G9、G10、G11、G12 在试点 E1、E2、E3、E4、E5 有特殊适应性,G1、G2 在试验点 E6、E7 有较好的适应性。E6 对所测品种吸水率的分辨力最强;E2、E4 这 2 个地点对所测品种吸水率的分辨力较弱。



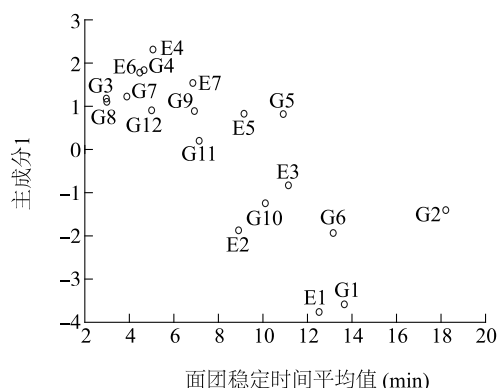
G1: 泛麦 5 号;G2: 华成 1688;G3: 华成 863;G4: 淮麦 22;G5: 徽研 912;G6: 龙科 0901;G7: 龙科 1109;G8: 荃麦 725;G9: 瑞华麦 516;G10: 淮 1216;G11: 天益科麦 5 号;G12: 涡麦 99。E1: 太和;E2: 宿州;E3: 濉溪;E4: 凤台;E5: 新马桥;E6: 阜阳;E7: 龙亢。

图 1 面团吸水率的 AMMI 双标图

Fig.1 AMMI biplot of dough water absorption rate

图 2 显示,G2 的稳定时间平均值最高,G11 的品种稳定性最好,面团稳定时间不易受环境影响。总体而言,G2 的表现较好,G1、G2 稳定时间较长,但 G1 的

面团稳定时间易受环境影响。G3、G4、G5、G7、G8、G9、G11、G12 在试验地点 E4、E5、E6、E7 有较好的适应性,品种 G1、G2、G6、G10 在地点 E1、E2、E3 有较好的适应性。E1 对稳定时间的分辨力最强;E3 和 E5 这 2 个地点对面团稳定时间的分辨力较弱。



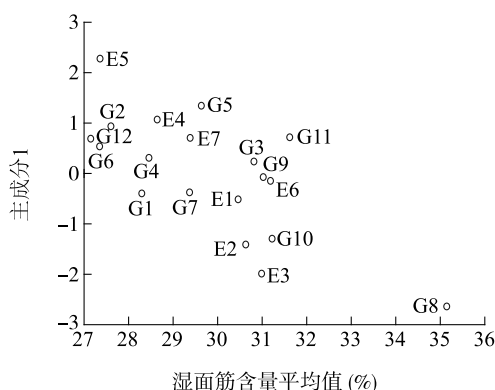
G1: 泛麦 5 号;G2: 华成 1688;G3: 华成 863;G4: 淮麦 22;G5: 徽研 912;G6: 龙科 0901;G7: 龙科 1109;G8: 荃麦 725;G9: 瑞华麦 516;G10: 淮 1216;G11: 天益科麦 5 号;G12: 涡麦 99。E1: 太和;E2: 宿州;E3: 濉溪;E4: 凤台;E5: 新马桥;E6: 阜阳;E7: 龙亢。

图 2 面团稳定时间的 AMMI 双标图

Fig.2 AMMI biplot of dough stabilization time

由图 3 可知,G8 的湿面筋含量平均值最高,但也容易受到环境影响。G11、G9 和 G3 的湿面筋含量较好的稳定性;G2、G3、G4、G5、G6、G11、G12 在试点 E4、E5、E7 有较好的适应性,G1、G7、G8、G9、G10 在试点 E1、E2、E3、E6 具有较好的适应性。E3 和 E5 这 2 个地点对湿面筋含量的分辨力较强;E6 地点对湿面筋含量的分辨力最弱。

由图 4 可知,G8、G10、G11 的蛋白质含量平均值较高,G1、G6、G7、G11 的蛋白质含量稳定性较高,不易受环境影响;G11 则属于高产稳产品种;G1、

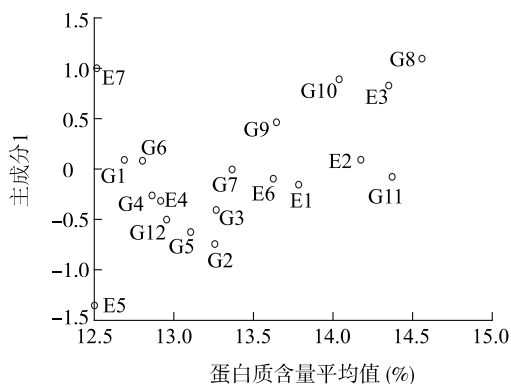


G1: 泛麦 5 号; G2: 华成 1688; G3: 华成 863; G4: 淮麦 22; G5: 徽研 912; G6: 龙科 0901; G7: 龙科 1109; G8: 荃麦 725; G9: 瑞华麦 516; G10: 滁 1216; G11: 天益科麦 5 号; G12: 涡麦 99。E1: 太和; E2: 宿州; E3: 濉溪; E4: 凤台; E5: 新马桥; E6: 阜阳; E7: 龙亢。

图 3 湿面筋含量的 AMMI 双标图

Fig.3 AMMI biplot of wet gluten content

G6、G7、G8、G9、G10 在 E2、E3、E7 地点有较好的适应性,且 G8 离 E3 最近,G8 最适合种植在 E3。G2、G3、G4、G5、G11、G12 种植在 E4、E5、E6 等地点有较好的适应性。E5 对蛋白质含量的分辨力最强;E2 和 E6 对蛋白质含量的分辨力较弱。



G1: 泛麦 5 号; G2: 华成 1688; G3: 华成 863; G4: 淮麦 22; G5: 徽研 912; G6: 龙科 0901; G7: 龙科 1109; G8: 荃麦 725; G9: 瑞华麦 516; G10: 滁 1216; G11: 天益科麦 5 号; G12: 涡麦 99。E1: 太和; E2: 宿州; E3: 濉溪; E4: 凤台; E5: 新马桥; E6: 阜阳; E7: 龙亢。

图 4 蛋白质含量的 AMMI 是双标图

Fig.4 AMMI biplot of protein content

### 3 讨论

研究结果表明,基因型、环境及其互作是影响小麦品质性状的重要因素<sup>[6-8]</sup>。在本研究中,对 12 个小麦品种的 4 个关键品质指标在 7 个生态点的联合

方差分析结果表明,供试小麦的蛋白质含量受基因型、环境和基因型与环境互作效应的影响,且环境效应大于其他效应;稳定时间主要受基因型与环境互作效应的影响;吸水率的环境效应则大于其他效应,这与已有的研究结果<sup>[29-31]</sup>基本一致。辛培尧<sup>[32]</sup>在对春小麦品质性状及产量影响的研究中发现,湿面筋含量主要受基因型和基因型与环境互作效应的影响,且基因型效应大于其他效应,与本研究结果相一致;比较本研究结果与前人的研究结果,可以初步认为,安徽麦区软质小麦中蛋白质含量、吸水率易受环境效应影响,须经多年、多点试验分析其区域适应性和表现。湿面筋含量主要受基因型影响,可以再进行早代选育,而稳定时间易受交互作用的影响,可通过遗传育种和改善栽培条件提高产量和品质。

通过分析 4 个品质指标的 AMMI 双标图,发现 E3、E5 能够较好地地区分品种湿面筋含量,但却不是选育面团稳定时间的有效试验点,如果需要区分品种面团稳定时间,最合适的地点是 E1。E6 能够很好地区分不同品种的吸水率,但是不能有效区分品种的湿面筋含量和蛋白质含量。E2 和 E4 不仅区分力不强且代表性较差,不能有效区分这 4 种性状。E5 能够很容易地区分品种蛋白质含量。上述结果主要与安徽麦区地处江淮分水岭,气候条件复杂多变有关,同时也受到不同区域栽培种植习惯的影响<sup>[33]</sup>。因此,软质小麦在安徽麦区的生产和推广,还须经多年、多点试验分析以确定其区域适应性和表现。

基于 AMMI 双标图的 4 种品质性状的稳定性分析结果表明,吸水率表现较稳定的品种是 G4、G5、G6、G9、G10、G11、G12;稳定时间的稳定性表现最好的是 G11;湿面筋含量表现较稳定的品种是 G11、G3 和 G9;蛋白质含量中 G11 的平均值较高且较稳定。结合生态适应性可认为 G8、G11 在 7 个环境中都表现出优良的适应性,具有广适优良品质性状的基因型,G11 属于性状稳定型,可以根据需要作为主要的选育材料和后续对软质小麦品质性状研究中进行区域种植的理想材料。

### 4 结论

供试软质小麦的 4 个品质性状的变异系数均较大,都有着复杂的基因型-环境互作效应。濉溪和新马桥生态点的代表性较强且能较好地地区分不同品种的湿面筋含量,能较好地地区分面团稳定时间且具



有强代表性的是太和生态点,阜阳生态点最容易区分不同品种的吸水率,新马桥是区分蛋白质含量的最佳地点。瑞华麦 516、天益科麦 5 号的吸水率性状和面团稳定时间性状的表现较好,华成 863 和瑞华麦 516 的湿面筋含量性状表现较稳定,天益科麦 5 号的蛋白质含量性状表现最稳定。相对而言,天益科麦 5 号属于广适、稳定且品质性状优良的品种。

## 参考文献:

- [1] 郑文寅,胡泽林,程颖,等. 安徽麦区软质小麦籽粒品质和终端制品品质评价[J]. 麦类作物学报,2023,43(2):182-189.
- [2] 董一帆,任毅,程宇坤,等. 冬小麦籽粒主要品质性状的全基因组关联分析[J]. 中国农业科学,2023,56(11):2047-2063.
- [3] 曹颖妮,赵光华,辛玉杰,等. 低筋小麦配粉及其对加工品质的影响[J]. 麦类作物学报,2022,42(2):178-187.
- [4] 吴海彬,孙辉,洪宇,等. 2022 年我国小麦品质分析[J]. 粮油食品科技,2024,32(2):92-99.
- [5] 李保云,梁容奇,张义荣,等. 小麦面食品加工理论与实践[M]. 北京:中国农业大学出版社,2023:60-62.
- [6] SOUZA E J, MARTIM J M, GUTTIERI M J, et al. Influence of genotype, environment, and nitrogen management on spring wheat quality[J]. Crop Science,2005,45:425-432.
- [7] BRESEGHELLO F, PATRICK L F, GAINES C, et al. Genetic loci related to kernel quality differences between a soft and a hard wheat cultivar[J]. Crop Science,2005,45:1685-1695.
- [8] JOHN D, BERZONSKY W A. Evaluation of spring wheat quality traits and genotypes for production of cantonese asian noodles[J]. Crop Science,2003,43:1313-1319.
- [9] 刘茜茜. 四川不同小麦品种的生物活性物质及抗氧化特性的基因型及其环境互作效应分析[D]. 雅安:四川农业大学,2016.
- [10] 姚金保,张鹏,余桂红,等. 江苏省小麦品种(系)籽粒产量基因型与环境互作分析[J]. 麦类作物学报,2021,41(2):191-202.
- [11] 李朝苏,吴晓丽,汤永禄,等. 四川近十年来小麦主栽品种的品质状况[J]. 作物学报,2016,42(6):803-812.
- [12] 乔玉强,马传喜,司红起,等. 基因型和环境及其互作效应对小麦品质的影响及品质稳定性分析[J]. 激光生物学报,2008,17(6):768-774.
- [13] 孙宪印,米勇,王超,等. 基因型和环境及其互作效应对旱地小麦产量性状的影响[J]. 分子植物育种,2021,19(17):5899-5908.
- [14] 臧贺藏,曹廷杰,张杰,等. 不同生态条件下小麦新品种产量的基因型与环境互作分析[J]. 华北农学报,2021,36(6):88-95.
- [15] 黄松,张天海,黄岩,等. 不同小麦品种蛋白质含量与面团稳定时间的相关回归分析[J]. 分子植物育种,2023,21(21):7135-7141.
- [16] 温建,孙成金,汪松玉,等. 中国小麦主产区重要品质性状演变分析[J]. 江苏农业科学,2023,51(19):75-80.
- [17] 董一帆,任毅,程宇坤,等. 冬小麦籽粒主要品质性状的全基因组关联分析[J]. 中国农业科学,2023,56(11):2047-2063.
- [18] 黄晓荣,甘斌杰,夏孝群,等. 安徽省春性小麦区系主要品质性状分析[J]. 麦类作物学报,2023,43(5):582-590.
- [19] 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):23-34.
- [20] EDWARD J S, MARY J. Basis for soft wheat for end-use quality[J]. Crop Science,2012,52:21.
- [21] 常成,马传喜. 品种和种植环境对软质小麦品质性状的影响[J]. 安徽农业大学学报,2003,30(3):265-268.
- [22] ANNICCHIARICO P. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis of genotype-location interaction in variety trials repeated over years[J]. Theoretical and Applied Genetics,1997,94(8):1072-1077.
- [23] 崔顺利,何美敬,侯名语,等. 利用 GGE 双标图分析花生品质性状的基因型——环境互作[J]. 中国油料作物学报,2021,43(4):617-626.
- [24] Cereals & Grains Association. AACC approved methods of analysis,11th ed. Method 38-12.02[S/OL]. [2023-12-01]. <https://www.cerealsgrains.org/resources/Methods/Pages/38Gluten.aspx>.
- [25] 中华人民共和国农业部. 小麦实验制粉第 1 部分:设备、样品制备和润麦:NY/T 1094.1-2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [26] 李伟琦,支小刚,赵建华,等. 基于 AMMI 模型和 GGE 双标图的玉米区域实验分析[J]. 寒旱农业科学,2023,2(7):607-610.
- [27] 王淑君,王阔,刘金荣,等. AMMI 模型分析夏谷品种适应性[J]. 中国种业,2014(10):48-50.
- [28] 刘卫星,贺群玲,张枫叶,等. 大粒花生品种区域试验的 AMMI 模型分析[J]. 作物杂志,2020(2):60-64.
- [29] TADEUSZ A, ZOFIA B, ZYGMUNT K. Effect of genotype, environment and their interaction on quality parameters of wheat breeding lines of diverse grain Hardness[J]. Plant Production Science,2012,15(3):192-203.
- [30] MA M M, LI Y C. Current situation and key parameters for improving wheat quality in china[J]. Frontiers in Plant Science,2021,12:1-13.
- [31] JING Q, JIANG D, DAI T B. Effects of genotype and environment on wheat grain quality and protein components[J]. Acta Pedologica Sinica,2003,14(10):1649-1653.
- [32] 辛培尧. 基因型、环境及其互作对河西走廊春小麦品质性状及产量影响的研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2002.
- [33] 胡承霖. 安徽麦作学[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,2009:215-224.

(责任编辑:陈海霞)