

栽培环境对不同基因型小麦品质的影响

高 扬¹, 逢 蕾^{2,3,4}, 尚旭民^{2,3,4,5}, 杨 楠^{2,3,4}, 史海军^{2,3,4,6}, 周彦莉^{2,3,4,7},

胡礼文¹, 安忠平¹, 史 静¹, 雷军龙¹, 袁瑞军¹, 高子斌⁴, 路建龙^{2,4,8}

(1. 中国水利水电第四工程局有限公司, 青海 西宁 810007; 2. 干旱生境作物学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃白银玉米科技小院, 甘肃 白银 730900; 5. 玛纳斯县农牧业技术推广中心, 新疆 玛纳斯 832200; 6. 定西市安定区老年养护院, 甘肃 定西 743000; 7. 兰州海关技术中心, 甘肃 兰州 730010; 8. 甘肃农业大学水利水电工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为研究甘肃雨养和灌溉农业区对不同基因型小麦品质的影响, 分别在雨养和灌溉环境下布设试验, 种植栽培鄂麦 580(EM580)、定丰 19(DF19)和高原 814(GY814)3 种不同基因型小麦, 成熟后测定小麦灰分含量、容重、硬度、蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值、淀粉含量、降落数值和弱化度等 9 个指标。结果表明, 在雨养环境下, 灰分含量、容重、沉降值和弱化度在 EM580、GY814 和 DF19 3 个品种之间均未表现出显著差异, EM580 的硬度较 GY814、DF19 分别高 12.40%、5.87%; DF19 的蛋白质含量、湿面筋含量分别较 EM580 高 14.94%、10.02%, 较 GY814 高 10.85%、7.44%, 淀粉含量分别较 EM580、GY814 低 5.36%、4.45%, 降落数值较 GY814 高 48.33%。在灌溉环境下, DF19 的蛋白质含量、湿面筋含量分别较 EM580 高 8.49%、5.76%, 较 GY814 高 36.31%、38.72%; EM580 的沉降值较 DF19、GY814 分别高 37.96%、543.53%, 降落数值分别提高 17.16%、122.86%, 硬度分别提高 39.55%、56.67%, 容重分别提高 4.44%、6.75%; GY814 的淀粉含量较 EM580、DF19 分别提高 2.45%、4.68%, 弱化度分别提高 20.39%、8.05%, 灰分含量较 EM580、DF19 分别降低 4.08%、12.24%。同时, 小麦灰分含量、容重、硬度、降落数值、蛋白质含量、湿面筋含量和沉降值在灌溉环境下的变异系数均高于雨养环境。通过品质综合评价, 雨养环境下 DF19 综合得分第一, 说明雨养环境下更能提高 DF19 该小麦的品质。

关键词: 雨养环境; 灌溉环境; 基因型; 小麦; 品质

中图分类号: S512.1

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)10-0932-06

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2025.10.009

Effects of Cultivation Environment on the Quality of Different Wheat Genotypes

GAO Yang¹, PANG Lei^{2,3,4}, SHANG Xumin^{2,3,4,5}, YANG Nan^{2,3,4}, SHI Haijun^{2,3,4,6}, ZHOU Yanli^{2,3,4,7},

HU Liwen¹, AN Zhongping¹, SHI Jing¹, LEI Junlong¹, YUAN Ruijun¹, GAO Zibin⁴, LU Jianlong^{2,4,8}

(1. Sinohydro Engineering Bureau No. 4 Co., Ltd., Xining Qinghai 810007, China; 2. State Key Laboratory of Aridland Crop Science, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China; 4. Gansu Baiyin Maize Science and Technology Backyard, Baiyin Gansu 730900, China; 5. Agricultural and Animal Husbandry Technology Extension Centre in Manas County, Manas Xinjiang 832200, China; 6. Anding District Elderly Nursing Home in Dingxi City, Dingxi Gansu 743000, China; 7. Technical Centre of Lanzhou Customs, Lanzhou Gansu 730010, China; 8. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: In order to analyze whether the rain-fed and irrigated agricultural areas in Gansu Province have an impact on the quality of different genotypes of wheat, experiments were carried out under rain-fed and irrigated environments. 3 different genotypes

收稿日期: 2024-12-12; 修订日期: 2025-07-18

基金项目: 永登县庄浪河(柳树镇-红城镇)段土地整治和生态修复综合治理项目(GSAU-JSYF-2024-22); 国家自然科学基金(32160525)。

作者简介: 高 扬(1988—), 男, 甘肃兰州人, 高级工程师, 主要从事水利水电工程和高标准农田建设方面的研究工作。Email: 396492577@qq.com。

通信作者: 逢 蕾(1979—), 女, 山东诸城人, 副教授, 博士, 主要从事作物栽培与生态生理方面的研究工作。Email: 125530457@qq.com。

of wheat, Emai 580 (EM580), Dingfeng 19 (DF19) and Plateau 814 (GY814), were planted and cultivated. After maturity, the ash content, bulk density, hardness, protein content, wet gluten content, sedimentation value, starch content, falling value and weakening degree of wheat were measured. Results showed that no significant differences were detected in ash content, bulk density, sedimentation value and weakening degree among the 3 varieties of EM580, GY814 and DF19 in the rain-fed environment. However, EM580 had 12.40% and 5.87% higher hardness than GY814 and DF19, respectively. DF19 exhibited higher protein and wet gluten contents than EM580 by 14.94% and 10.02%, and higher than GY814 by 10.85% and 7.44%, while its starch content was 5.36% and 4.45% lower, and its falling value was 48.33% higher than GY814. Under the irrigated environment, DF19 had 8.49% and 5.76% higher protein and wet gluten contents than EM580, and 36.31% and 38.72% higher than GY814. EM580 showed 37.96% and 543.53% higher sedimentation values than DF19 and GY814, and 17.16% and 122.86% higher falling numbers, with hardness increased by 39.55% and 56.67%, and bulk density by 4.44% and 6.75%, respectively. GY814 had 2.45% and 4.68% higher starch contents than EM580 and DF19, 20.39% and 8.05% higher weakening degrees, and 4.08% and 12.24% lower ash contents. In addition, coefficients of variation for ash content, bulk density, hardness, falling number, protein content, wet gluten content, and sedimentation value were all higher under irrigation than under rain-fed conditions. Based on comprehensive quality evaluation, DF19 achieved the highest overall score under rainfed conditions, indicating that rain-fed cultivation was more favorable for improving the quality of this wheat genotype.

Key words: Rain-fed environment; Irrigation environment; Genotype; Wheat; Quality

小麦 (*Triticum aestivum* L.) 是我国主要粮食作物, 发展优质小麦已成为小麦生产的必然趋势^[1-2]。小麦品质性状表现是基因型和环境综合作用的结果, 不同品种和栽培措施对小麦的品质和产量均具有重要影响^[3-4]。研究发现, 基因型、环境及其互作 ($G \times E$) 对小麦蛋白质含量、湿面筋含量、籽粒硬度、沉降值和淀粉含量均有显著影响^[5]。小麦蛋白质含量、湿面筋含量和容重受环境的影响最大, 其次是 $G \times E$, 受基因型的影响最小^[6]。硬度和弱化度主要受环境的影响^[7], 沉降值主要受基因型的影响^[8-9], 但也有研究认为沉降值受环境的影响大于基因型^[10]。遗传因素对小麦硬度、耐揉指数、出粉率、断裂时间的影响较大, 而环境因素对灰分、容重、沉淀值有显著影响^[11]。栽培环境也能够较大程度地提升或降低小麦的品质^[12]。研究发现, 高肥力的栽培环境会降低小麦的体积质量, 水地栽培环境中面筋含量最低, 灌水会稀释粗蛋白质量分数^[13]。

甘肃地域辽阔, 生态环境复杂, 优质小麦品种在不同生态区域品质变化较大^[14]。小麦品质易受环境影响, 不同小麦品种要充分发挥其潜力, 需考虑土壤质地和栽培措施的管理, 以实现生产价值的最大化。为此, 我们选择雨养农业区和灌溉农业区, 研究基因型、环境对小麦品质的影响, 对于推进小麦品质的遗传改良、优质育种、优质栽培以及确定小麦品质种植区划、制定合理的育种方案, 以期充分发挥各地自然资源和品种的遗传潜力, 为实现优质小麦的高效生产提供理论依

据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

雨养栽培环境 (Rain-E) 试验地设在甘肃省定西市临洮县新添大坪试验基地 (35° 53' N、103° 89' E, 海拔 2 100 m), 年日照时数 2 437.9 h, 年平均气温 7 °C, 无霜期 173 d, 平均年降水量 538 mm, 集中在 7—9 月, 属温带大陆性气候, 为典型的旱地雨养农业区, 土壤类型为黄绵土。灌溉栽培环境 (Irr-E) 试验地选择甘肃省白银市白银区水川镇甘肃白银玉米科技小院 (36° 36' N、104° 29' E, 海拔 1 518 m), 年日照时数 2 537.2 h, 年平均气温 8.5 °C, 无霜期 183.8 d, 平均年降水量 204.3 mm, 集中在 7—9 月, 属于温带大陆性干旱半荒漠气候, 为典型的沿黄灌溉农业区, 土壤类型为灌淤土。

1.2 试验材料

供试小麦品种为鄂麦 580 (EM580)、定丰 19 (DF19) 和高原 814 (GY814), 均由甘肃白银玉米科技小院提供。供试肥料为尿素 (含 N 46%, 济南维尔斯化工有限公司生产)、磷酸二氢铵 (含 N 18%、 P_2O_5 46%, 河南誉恒化工有限公司生产)。

1.3 试验设计

试验设雨养和灌溉 2 种栽培环境 (E), 分别种植 3 个小麦品种 (G), 随机区组排列, 3 次重复, 小区面积 60 m² (10 m × 6 m)。播前结合整地一次性施入尿素 150 kg/hm²、磷酸二氢铵 180 kg/hm², 后期不追肥。试验均于 2021 年 3 月 26 日播种,

播种量 120 kg/hm², 自然成熟时收获。灌溉栽培环境小麦播前大水漫灌 1 次, 开花期大水漫灌 1 次, 其他管理措施同当地大田。

1.4 测定项目及方法

小麦播种前和收获后分别用多功能品质分析仪(NIRS-DS2500, FOSS)测定小麦籽粒灰分含量、容重、硬度、蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值、淀粉含量、降落数值和弱化度 9 个指标, 各处理的样品混匀后测定, 3 次重复。

1.5 数据分析

用 Excel 2019 进行数据整理和制表, 用 SPSS 26.0 对数据进行方差分析、相关性分析、多重比较和主成分分析, 使用 Origin 2019 作图。

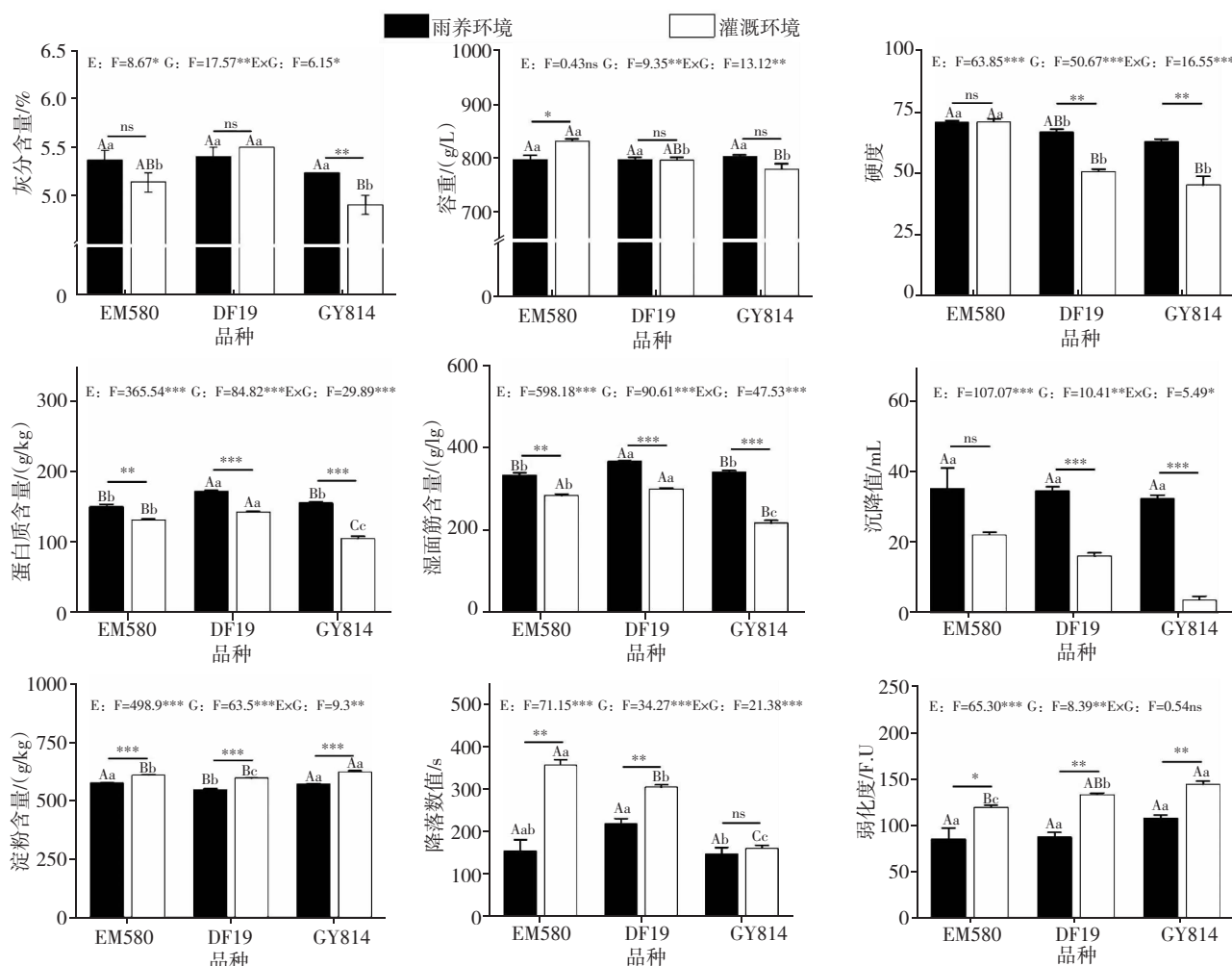
2 结果与分析

2.1 栽培环境对不同小麦品种品质的影响

从图 1 可以看出, 栽培环境对不同小麦品质

影响各异, 灰分含量、容重、硬度、蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值、淀粉含量、降落数值等品质性状的品种与环境互作效应均达到显著水平。在不同栽培环境下, EM580 小麦籽粒容重、蛋白质含量、湿面筋含量、淀粉含量、降落数值和弱化度差异显著; DF19 硬度、蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值、淀粉含量、降落数值和弱化度差异显著; GY814 灰分含量、硬度、蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值、淀粉含量和弱化度差异显著。

在雨养栽培下, 灰分含量、容重、沉降值、弱化度在 3 个品种间均无显著性差异。硬度在 EM580、GY814、DF19 之间均有显著性差异, 且 EM580 较 GY814 显著提高 12.40% ($P < 0.01$), 较 DF19 显著提高 5.87% ($P < 0.05$)。DF19 蛋白质含量、湿面筋含量和淀粉含量与 EM580 和 DF19 均



图中不同大写、小写字母分别表示相同栽培环境中不同基因型小麦在 $P < 0.01$ 、 $P < 0.05$ 水平上差异显著; **、*、* 分别表示不同栽培环境中相同基因型小麦在 $P < 0.001$ 、 $P < 0.01$ 、 $P < 0.05$ 水平上差异显著, ns 表示无显著性差异。

图 1 栽培环境对不同品种小麦品质的影响

差异极显著($P<0.01$), GY814 和 EM580 之间差异不显著; DF19 蛋白质含量较 EM580、GY814 分别提高 14.94%、10.85%, 湿面筋含量提高 10.02%、7.44%, 淀粉含量降低 5.36%、4.45%。降落数值 DF19 较 GY814 显著提高 48.33%($P<0.05$)。

在灌溉环境下, 蛋白质含量、沉降值和降落数值在 EM580、DF19、GY814 之间均差异极显著($P<0.01$), 其中, DF19 较 EM580、GY814 蛋白质含量分别提高 8.49%、36.31%; EM580 较 DF19、GY814 沉降值分别提高 37.96%、543.53%, 降落数值分别提高 17.16%、122.86%。湿面筋含量、淀粉含量和弱化度在 EM580、DF19 和 GY814 之间均存在显著差异($P<0.05$), 其中, DF19 湿面筋含量较 EM580、GY814 分别提高 5.76%、38.72%; GY814 淀粉含量较 EM580、DF19 分别提高 2.45%、4.68%, 弱化度分别提高 20.39%、8.05%。GY814 灰分含量较 EM580、DF19 分别极显著降低 4.08%、12.24%($P<0.01$), DF19 较 EM580 显著提高 7.84%($P<0.05$)。容重以 EM580 最高,

较 DF19 显著提高 4.44%($P<0.05$), 较 GY814 极显著提高 6.75%($P<0.01$)。硬度以 EM580 最高, 分别较 DE19、GY814 极显著提高 39.55%、56.67%($P<0.01$), DE19、GY814 之间差异不显著。

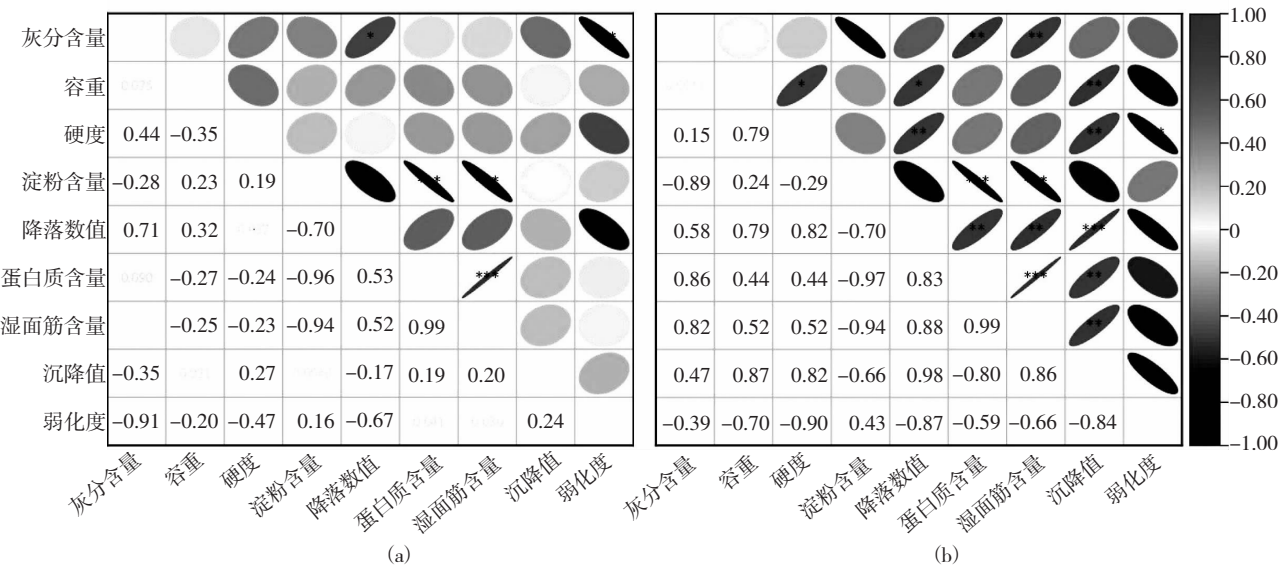
2.2 小麦品质相关性状在不同栽培环境和品种间变异分析

由表 1 可知, 不同栽培环境下, 小麦灰分含量、容重、硬度、降落数值、蛋白质含量、湿面筋含量和沉降值的变异系数均表现为灌溉环境>雨养环境, 淀粉和弱化度的变异系数均表现为灌溉环境<雨养环境。小麦各品质的变异系数在不同品种之间的变化表现为, 灰分含量 GY814>EM580>DF19, 容重 EM580>GY814>DF19, 硬度、淀粉含量、蛋白质含量、湿面筋含量和沉降值均为 GY814>DF19>EM580, 降落数值 EM580>DF19>GY814, 弱化度 DF19>EM580>GY814。

2.3 不同栽培环境下小麦品质相关性状的相关性分析

相关性分析结果表明, 在雨养环境下(图 2 a),

表 1 不同栽培环境下小麦品质相关性状的变异系数									%
品种/栽培环境	灰分含量	容重	硬度指数	淀粉含量	降落数值	蛋白质含量	湿面筋含量	沉降值	弱化度
EM580	3.56	2.53	2.22	3.05	45.19	7.77	9.17	33.65	22.53
DF19	1.54	0.86	15.19	4.76	19.00	10.43	11.07	40.99	23.34
GY814	4.44	2.22	19.35	4.90	12.84	21.66	24.83	89.15	16.29
Rain-E	2.30	0.94	5.53	2.48	25.47	6.68	4.58	15.46	17.08
Irr-E	5.61	3.18	21.82	2.08	32.58	13.61	14.66	60.50	8.61



a 为雨养环境, b 为灌溉环境; **、* 和 * 分别表示不同栽培环境中小麦品质在 $P<0.001$ 、 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 下差异显著。

图 2 不同栽培环境下小麦籽粒品质相关性状的相关性分析

降落数值与灰分含量呈显著正相关,与淀粉含量呈显著负相关;蛋白质含量与淀粉含量呈极显著负相关;湿面筋含量与淀粉含量呈极显著负相关,与蛋白质含量呈极显著正相关;弱化度与灰分含量呈极显著负相关。

在灌溉环境下(图2b),容重与硬度、降落数值呈显著正相关,与沉降值呈极显著正相关,与弱化度呈显著负相关;灰分含量与淀粉含量呈极显著负相关,与蛋白质含量、湿面筋含量呈极显著正相关;硬度与降落数值、沉降值呈极显著正相关,与弱化度呈极显著负相关;淀粉含量与蛋白质含量、湿面筋含量呈极显著负相关,与降落数值呈显著负相关;降落数值与蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值呈极显著正相关,与弱化度呈极显著负相关;蛋白质含量与湿面筋含量、沉降值呈极显著正相关;湿面筋含量与沉降值呈极显著正相关;沉降值与弱化度呈极显著负相关。

2.4 不同栽培环境下小麦品质综合评价

根据线性组合系数矩阵,得到主成分F由标准化变量X表示线性组合的主成分得分函数,以主成分因子为基础,再以每个主成分的方差解释率为权数进行线性加权平均,最后得到一个综合得分。得分越高,排名越前,说明该环境下此小麦品种的品质越好。分析得出,雨养栽培环境的小麦品质较好,同时DF19品种在该环境下品质最佳;灌溉环境下综合得分较低(表2)。

表2 栽培环境对小麦内在品质综合评价

栽培环境	品种	主成分因子得分/分			综合得分	排序
		F ₁	F ₂	F ₃		
雨养	DF19	1.19	0.24	-0.13	0.56	1
	EM580	0.13	1.28	-0.38	0.43	2
	GY814	0.17	0.57	-0.30	0.21	3
灌溉	EM580	-0.78	0.09	1.87	0.11	4
	DF19	0.80	-1.63	0.05	-0.23	5
	GY814	-1.51	-0.55	-1.11	-1.08	6

3 讨论与结论

小麦品质性状受基因型和环境共同影响^[15]。研究表明,雨养和灌溉环境显著调控了小麦品质性状的表达,且不同品种对环境响应存在差异性^[16],同时品质性状的生态差异大于品种间的差异^[17]。本研究结果表明,雨养栽培环境下小麦的品质指标表现出更高的稳定性,灰分含量、容重、沉降

值和弱化度在鄂麦580、定丰19、高原8143个品种间均无显著性差异,其余指标存在显著差异,推测可能是因为水分亏缺所造成^[18]。其中,EM580显著提高了小麦硬度,分别较GY814、DF19高12.40%、5.87%;DF19提高了蛋白质含量和湿面筋含量,蛋白质含量、湿面筋含量分别较EM580高14.94%、10.02%,较GY814高10.85%、7.44%,而淀粉含量显著降低,分别较EM580、GY814低5.36%、4.45%,DF19的降落数值较GY814高48.33%,提示水分限制加剧了碳氮代谢的竞争,促进蛋白质积累而抑制淀粉合成^[19]。蛋白质含量与淀粉含量、湿面筋含量与淀粉含量均呈极显著负相关,这与潘秋晓等^[20]研究结果一致;而蛋白质与湿面筋极显著正相关,这与江伟等^[21]研究结果一致。

相比之下,灌溉环境放大了品种间的品质分化。充足的水分不仅显著提高了小麦各品质指标的变异系数,更凸显品种的遗传特性。即EM580显著提高了沉降值、降落数值、硬度和容重,沉降值较DF19、GY814分别高37.96%、543.53%,降落数值分别提高17.16%、122.86%,硬度分别提高39.55%、56.67%,容重分别提高4.44%、6.75%,有利于小麦加工品质。DF19显著提高蛋白质含量、湿面筋含量等相关性状,蛋白质、湿面筋含量分别较EM580高8.49%、5.76%,较GY814高36.31%、38.72%。而GY814呈现出高淀粉、高弱化度与低灰分特性,其淀粉含量较EM580、DF19分别提高2.45%、4.68%,弱化度分别提高20.39%、8.05%,灰分含量分别降低4.08%、12.24%。同时,在灌溉环境下,容重与沉降值极显著正相关,与弱化度负相关,说明加工品质性状协同性增强。此外,小麦灰分含量、容重、硬度、降落数值、蛋白质含量、湿面筋含量和沉降值在灌溉环境下的变异系数均高于雨养环境。

通过综合评价,在雨养环境下,DF19因显著提升的蛋白质和湿面筋含量及淀粉负调控作用,为综合品质最优品种;而灌溉环境下,EM580因硬度和沉降值的提升更适用于灌溉体系。因此,小麦品质的优化应根据栽培环境进行品种适配。

参考文献:

[1] 韩一军,韩亭辉.“十四五”时期我国小麦增产潜力分

- 析与实现路径[J]. 农业经济问题, 2021, 499(7): 38–46.
- [2] 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, 3(6): 491–494.
- [3] MA M, LI Y, XUE C, et al. Current situation and key parameters for improving wheat quality in China[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 638525.
- [4] 李旭华, 牟丽明, 令 鹏. 149 份春小麦种质资源遗传多样性分析[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(6): 531–537.
- [5] 李元清, 吴晓华, 崔国惠, 等. 基因型、地点及其互作对内蒙古小麦主要品质性状的影响[J]. 作物学报, 2008(1): 47–53.
- [6] 刘鹏鹏, 桑 伟, 徐红军, 等. 基因型、环境对新疆冬小麦品种蛋白质品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(1): 45–54.
- [7] 李 冬, 张新忠, 芦 静, 等. 基因型和环境对新疆冬小麦主要品质性状的影响[J]. 新疆农业科学, 2009, 46(1): 112–117.
- [8] 赵广才, 万富世, 常旭虹, 等. 不同试点氮肥水平对强筋小麦加工品质性状及其稳定性的影响[J]. 作物学报, 2006(10): 1498–1502.
- [9] 乔玉强, 马传喜, 黄正来, 等. 小麦品质性状的基因型和环境及其互作效应分析[J]. 核农学报, 2008(5): 706–711.
- [10] 张学林, 梅四伟, 郭天财, 等. 遗传和环境因素对不同冬小麦品种品质性状的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(2): 249–253.
- [11] 孙彩玲, 田纪春, 彭 波. 不同基因型和环境影响小麦主要品质的研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(3): 6–10.
- [12] 顾克军, 杨四军, 张恒敢, 等. 小麦品质影响因素分析及专用小麦优质栽培途径的探讨[J]. 安徽农业科学, 2001(6): 725–728.
- [13] 张媛菲, 田文仲, 吕树作, 等. 豫西不同栽培环境对优质小麦品系品质性状的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(8): 1219–1225.
- [14] 朱 倩, 孟自力, 倪雪峰, 等. 施氮量对不同筋型小麦光合特性、品质及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(3): 131–137.
- [15] 邓志英, 田纪春, 胡瑞波, 等. 基因型和环境对小麦主要品质性状参数的影响[J]. 生态学报, 2006(8): 2757–2763.
- [16] AHMADA, IQBALMN, ANJUM M M, et al. Genetic attributes and correlation studies for important traits in wheat under irrigated and rainfed conditions[J]. *Gesunde Pflanzen*, 2023, 75: 2387–2400.
- [17] 王格格, 张国权, 欧阳昭晖, 等. 优质小麦品种对栽培环境的品质适应性分析[J]. 麦类作物学报, 2006(2): 77–81.
- [18] 王变银, 闫 美, 杨在东, 等. 基因型和水分管理对强筋小麦品质的影响[J]. 分子植物育种, 2023, 21(22): 7480–7485.
- [19] 王旭一, 魏克礼, 徐婷婷. 水分对小麦生理生化特性、产量及品质的影响研究进展[J]. 园艺与种苗, 2011(3): 124–126.
- [20] 潘秋晓, 彭 莉, 陈建省, 等. 小麦高代育种品系的蛋白质含量和淀粉组分与面粉糊化特性相关性分析[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(2): 34–40.
- [21] 江 伟, 张 晓, 刘大同, 等. 小麦品质性状相关性主成分分析[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(16): 43–48.