

安徽半冬性小麦品种(系)产量、品质及其稳定性分析

丁永刚¹, 乔玉强¹, 李玮¹, 尚云秋¹, 张向前¹, 陈欢¹,
赵竹¹, 王冠军², 曹承富¹, 杜世州¹

(1. 安徽省农业科学院作物研究所, 安徽合肥 230001; 2. 颍上县农业绿色发展推进中心, 安徽颍上 236200)

摘要:为明确目前安徽省丰产潜力较大的半冬性小麦品种(系)丰产性、稳产性和品质稳定性,于2022—2023年度采用随机区组试验设计,在安徽太和、泗县、濉溪、涡阳、颍上和颍州,对2018—2022年安徽省区域和生产试验中较对照品种显著增产的品种(系)的产量及其构成、品质进行分析。结果表明,地点、品种(系)及其互作显著影响产量及其构成因素(穗数除外)、品质指标,且地点及其与品种互作的效应是产量及其构成因素变异的主要来源。太和点的小麦产量和穗数显著高于其他地点,分别达到 $10\ 210\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 7.74×10^6 穗 $\cdot\text{hm}^{-2}$,颍州点穗重最高,达 $1.52\ \text{g}$ 。供试材料中,安农188、安科1803丰产性较好,平均产量达到 $9\ 572\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $9\ 407\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;安科1803、皖科1838稳产性较高,安农188适应范围最广。产量低于 $10\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,产量与穗数、穗重呈显著正相关,产量继续增加,则主要来源于穗数的增加,小麦稳产性主要取决于单穗产量的稳定性。地点是品质变异的主要因素,颍上点小麦品质显著高于其他地点,泗县点最低;皖宿21品质最优,安科1803品质稳定性最好。综上,目前安徽半冬性小麦品种(系)丰产、稳产和优质的协同性较低,未来应根据各地生态条件制定针对性的栽培技术,以实现小麦产量和品质及其稳定性的协同提升。

关键词: 半冬性小麦;品种(系);丰产性;稳产性;品质

中图分类号:S512.1;S330

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2025)07-0870-11

Analysis of Yield, Quality and Stability of Semi-Winter Cultivars(Lines) in Anhui Province

DING Yonggang¹, QIAO Yuqiang¹, LI Wei¹, SHANG Yunqiu¹, ZHANG Xiangqian¹,
CHEN Huan¹, ZHAO Zhu¹, WANG Guanjun², CAO Chengfu¹, DU Shizhou¹

(1. Crop Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230031, China;

2. Yingshang Agricultural Green Development Promotion Center, Yingshang, Anhui, 236200, China)

Abstract: In order to clarify the high and stable capacity of yield, and quality stability of semi-winter wheat varieties(lines) with high yield potential in Anhui Province, a randomized block design was adopted in this study from 2022 to 2023 in six test sites: Taihe, Sixian, Suixi, Wuyang, Yingshang, and Yingzhou. The test materials were the varieties(lines) with significantly higher yield than the control varieties in the regional and production experiments in Anhui Province from 2018 to 2022, and the yield, yield components, and quality of the tested materials were analyzed. The results showed that location, variety(line) and their interaction effects had a significant impact on yield, yield components(except spike number) and quality, the location and its interaction effect with varieties were the main sources of variation of yield and yield components. The yield and spike in Taihe were significantly higher than those in other sites, reaching $10\ 210\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ and 7.74×10^6 per hm^2 , respectively,

收稿日期:2024-05-21 修回日期:2024-07-03

基金项目:安徽小麦良种联合攻关项目;国家重点研发计划项目(2023YFD1900204);国家自然科学基金项目(32301447)

第一作者 E-mail:dygwheat@163.com(丁永刚)

通讯作者 E-mail:dsz315@sina.com(杜世州)

and the spike weight in Yingzhou was the highest(1.52 g). Among the tested materials, Anong 188 and Anke 1803 had high yield, with average yield of 9 572 kg · hm⁻² and 9 407 kg · hm⁻². Anke 1803 and Wanke 1838 exhibited higher yield stability, and Anong 188 had the widest adaptation range. When the yield was lower than 10 500 kg · hm⁻², it was significantly positively correlated with the number of spikes and spike weight, as yield increased further, the higher yield was mainly attributed to the increase of spike number. The stable yield of wheat mainly depended on the stability of panicle grains. Location was a major factor for quality variation. The quality of wheat in Yingshang was significantly higher than that in other locations, and the lowest in Sixian. Wansu 21 showed the best quality, and Anke 1803 showed the best quality stability. In summary, the synergy of high yield, stable yield and high quality of semi-winter wheat varieties(lines) in Anhui Province was weak, and targeted cultivation technologies should be formulated according to local ecological conditions in the future to achieve the synergistic improvement of wheat yield, quality and stability.

Keywords: Semi-winter wheat; Cultivars(lines); High yield; Stability; Quality

小麦是中国三大粮食作物之一,其高产稳产对维护国家粮食安全至关重要。从 20 世纪 50 年代至 21 世纪初,中国大约经历了 8~9 次小麦品种更替,每次更替都提升了小麦产量、抗病性和品质^[1]。黄淮海麦区小麦品种的产量每年提升约 1.09%,高产主要源于穗粒数和千粒重的提高;长江中下游麦区小麦品种产量每年提升约 1.26%,品种的穗粒数和千粒重较高,但穗数呈减少趋势^[2-3]。随着产量的提升,小麦对逆境的适应能力减弱,加之极端天气出现频率增加,小麦稳产性也越来越受到关注^[4]。

基因和生态环境均影响小麦的品质及其稳定性。一方面小麦品种携带的某些特定等位基因决定籽粒的加工品质,例如高分子量谷蛋白亚基(HMW-GSs)含量仅占麦谷蛋白的 7%~15%,却解释其面包品质 45%~70%的变异^[5];另一方面,籽粒灌浆过程中某些氨基酸合成酶的基因表达量也影响籽粒品质,如籽粒中 *TaGSI*、*TaGS2*、*TaAlaAT* 表达量上调,谷氨酰胺合成酶、谷丙转氨酶活性增强,有助于籽粒蛋白质含量提升^[6-7]。此外,在小麦开花期至成熟期,适当提高温度和土壤养分含量,减少供水量,有利于小麦籽粒蛋白质含量提高^[8-10]。因此,依据品种特性,并结合当地生态条件,制定相应的栽培技术是小麦高产、优质协同发展的重要条件。

安徽是中国小麦主产省份之一,地处南北气候过渡地带,各区域生态条件差异较大,近五年该省审定的小麦品种数达 173 个,其中半冬性品种占 92%^[11]。众多产量和品质各异的品种及多变

的生态条件限制了农户和育种家对高产、优质小麦品种的选择及针对性栽培措施的制定。因此,本研究选择近年来丰产性较好的 8 个品种(系),探索这些品种(系)在安徽不同生态条件下的产量、品质及其稳定性表现,以期为该区丰产性、稳产性高且品质优良的新品种选育以及高产、优质小麦栽培技术制定提供科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

试验材料为 8 个品种(系),这些品种(系)在 2018—2022 年安徽省区域和生产试验中产量均超 8 290 kg · hm⁻²,且较对照显著增产(2.5%~9.70%),具有良好的丰产潜力。品种(系)名、编号及产量表现见表 1。

1.2 试验设计

试验于 2022—2023 年度采用随机区组设计,试点分别在安徽太和、泗县、濉溪、涡阳、颍上和颍州,分布于 115.61°~117.91°E,32.62°~33.92°N 范围内,海拔为 25~50 m。月平均温度和降水量详见图 1,播前基础地力见表 2。播种量均为 187.5 kg · hm⁻²,施氮量为 270 kg · hm⁻²,基追比为 6:4,其中基肥于播种前施用,追肥于拔节期施用。磷(P₂O₅)、钾肥(K₂O)一次性基施,均为 135 kg · hm⁻²。小区面积为 5 m × 40 m(200 m²),重复 3 次。其他田间管理措施按当地高产田进行。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 产量及其构成因素测定

于小麦成熟期,选取长势均匀一致,且未经取

表 1 参试品种(系)名称、编号及产量表现

Table 1 Name, code and yield of the tested varieties (lines)

品种(系) Variety(line)	编号 Code	区域试验产量 Regional test yield/ (kg · hm ⁻²)		较对照增产幅度 Yield increase rate compared with control/%		生产试验产量 Production test yield/(kg · hm ⁻²)	较对照增产幅度 Yield increaserate compared with control/%
		第一年 First year	第二年 Second year	第一年 First year	第二年 Second year		
		谷神麦 19 Gushenmai 19	G1	8 499	8 445		
安农 188 Annong 188	G2	8 341	8 589	5.74	8.35	9 823	8.95
新世纪 156 Xinchiji 156	G3	8 512	9 627	6.66	2.50	10 147	5.32
安科 1803 Anke 1803	G4	8 347	8 455	5.80	7.10	8 617	8.10
华成 5157 Huacheng 5157	G5	8 908	8 608	5.61	4.19	8 668	6.17
皖科 1838 Wanke 1838	G6	8 626	8 290	9.70	5.15	10 182	7.17
阜农 727 Funong 727	G7	8 562	8 482	7.67	8.39	10 008	5.82
皖宿 21 Wansu 21	G8	8 494	9 960	7.03	5.41	10 117	5.54

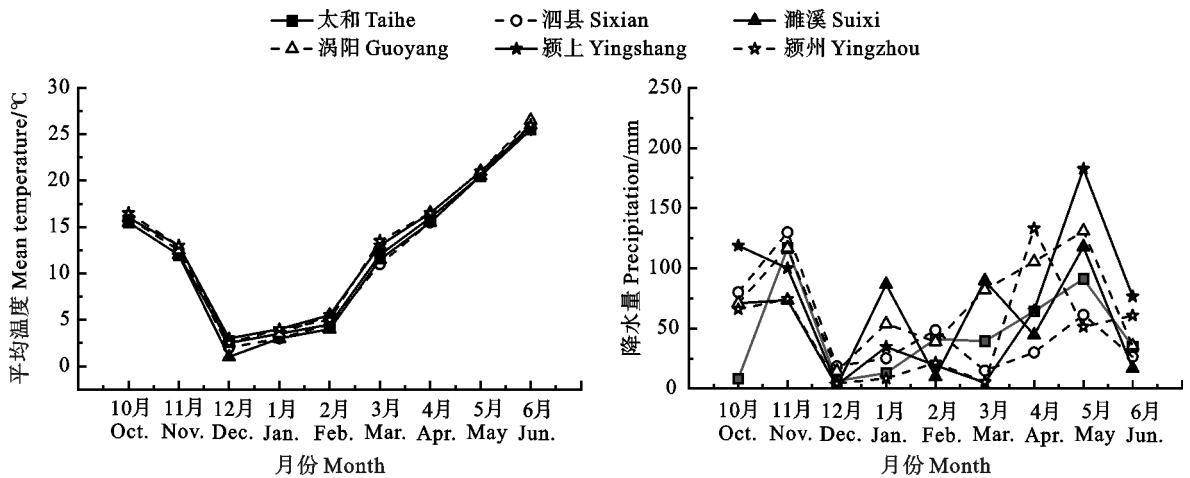


图 1 小麦生育期月平均温度和降水量

Fig. 1 Monthly mean temperature and precipitation of wheat growth periods

表 2 参试地点基础地力

Table 2 Fertility of the tested sites

地点 Site	编号 Code	全氮 Total nitrogen/ (g · kg ⁻¹)	有机质含量 Organic matter/ (g · kg ⁻¹)	碱解氮含量 Alkaline hydrolysable nitrogen/(mg · kg ⁻¹)	速效磷含量 Available phosphorus/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾含量 Available potassium/ (mg · kg ⁻¹)
太和 Taihe	E1	12.7	36.95	100.60	36.92	130.2
泗县 Sixian	E2	10.5	24.06	72.52	35.58	120.07
濉溪 Suixi	E3	11.4	23.83	93.44	24.99	118.46
涡阳 Guoyang	E4	18.5	36.08	118.48	55.75	134.82
颍上 Yingshang	E5	15.7	28.19	107.38	32.81	130.67
颍州 Yinzhou	E6	11.2	17.79	83.40	25.31	89.09

样的 1 m² 样方,记录穗数;连续取 50 个麦穗,调查穗粒数。在未取样的区域人工割取 1 m²,脱粒、晾干后称重,并测定千粒重;采用近红外品质分析仪测定籽粒含水率,折算为 13% 含水率的千粒重。计算籽粒产量和穗重(穗粒数×千粒重/1 000)。

1.3.2 籽粒品质性状测定

采用 FOSS 1241 型近红外分析仪测定小麦蛋白质含量、湿面筋含量和沉降值;采用 Farinograph-E 电子型粉质仪,参照 AACCS-21 标准测定面团稳定时间。

1.4 数据处理

数据采用 R 语言中的 GGE Biplot GUI 软件包绘制 GGE 双标图,分析品种的稳产性及适应性;用 LSD 法进行差异显著性分析;采用 Origin 2021 作图。

2 结果与分析

2.1 不同品种(系)在各地的产量表现

由表 3 可知,地点、品种(系)及其互作均显著影响产量,三者对产量的变异平方和占总平方和的比例分别为 35.17%、9.16%、38.23%,说明地点、地点与品种(系)互作的效应是产量变异的主要来源。参试品种(系)中,安农 188 的平均产量最高,达到 $9\ 572\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,变化范围为 $8\ 842 \sim 11\ 374\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其次为安科 1803,皖宿 21 产量最低。在地点间,太和点的产量显著高于其他地点,颍上点最低(表 4)。

2.2 不同品种(系)的稳产性和适应性分析

由图 2 可知,主成分 1 和主成分 2 分别解释

了 39.64% 的品种(系)效应和 36.18% 品种(系)与环境的互作效应。在 8 个地点间稳产性较好的品种是 G4(安科 1803),其次为 G6(皖科 1838)。综合而言,既丰产又稳产性品种为 G4。相比于其他品种,G7(阜农 727)在 E4(涡阳)环境下适应性最强,G4(安科 1803)在 E1(太和)环境下适应性最强,G2(安农 188)在 E2(泗县)、E3(濉溪)、E5(颍上)、E6(颍州)环境下适应性最强(图 2 右)。

2.3 不同品种(系)的产量构成因素分析

由表 3 可知,在穗数上地点、品种(系)及其互作的平方和占总平方和比例分别为 26.35%、8.00% 和 20.51% 单穗产量上分别为 36.36%、7.20% 和 25.76%,说明地点、地点与品种(系)互作的效应是穗数和单穗产量变异的主要来源;地点和品种(系)显著影响小麦穗数和单穗产量,地点与品种(系)的互作显著影响单穗产量。太和点小麦穗数与涡阳点差异不显著,显著高于其他地区,颍州点最低。不同品种(系)比较,G2(安农 188)穗数最高,平均达到 $7.55 \times 10^6 \cdot \text{hm}^{-2}$,与 G4

表 3 参试品种(系)产量及其构成的方差分析

Table 3 Analysis of variance of yield and its components among the test varieties (lines)

变异来源 Variance source	自由度 df	平方和 Sum of squares	均方 Mean square	占总变异的比例 Proportion of total variation/%	F 值 F value
产量 Yield					
区组间 Block	2	2 621 659.19	1 310 829.59		
地点 Site (S)	5	88 486 846.40	17 697 369.28	35.17	40.34**
品种(系) Variety (line) (V)	7	23 072 593.08	3 296 085.73	9.16	7.51**
地点×品种(系) S×V	35	96 198 198.96	2 748 520.94	38.23	6.27**
误差 Error	94	41 237 271.24	438 694.37		
总共 Total	143	251 616 567.88			
穗数 Spike number					
区组间 Block	2	10 126.19	5 063.09		
地点 Site (S)	5	293 225.97	58 645.19	26.35	11.20**
品种(系) Variety (line) (V)	7	88 906.90	12 700.98	8.00	2.42*
地点×品种(系) S×V	35	228 225.93	6 520.74	20.51	1.24
误差 Error	94	491 987.88	5 233.91		
总共 Total	143	1 112 472.89			
单穗产量 Single spike yield					
区组间 Block	2	0.78	0.77		
地点 Site (S)	5	0.96	0.19	36.36	332.96**
品种(系) Variety (line) (V)	7	0.19	0.03	7.20	46.52**
地点×品种(系) S×V	35	0.68	0.02	25.76	33.35**
误差 Error	94	0.03	0.01		
总共 Total	143	2.64			

*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$ 。下同。

*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$ 。The same in tables 4—8.

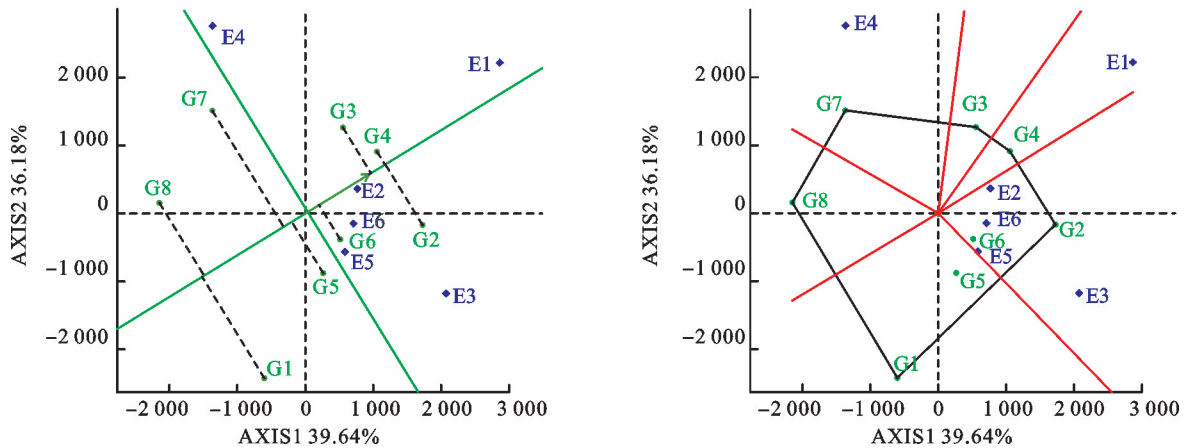
表 4 参试品种(系)在不同地点的产量
Table 4 Yield of the eight varieties(lines) in different sites

kg · hm⁻²

品种(系) Variety(line)	试点 Site						平均值 Average
	太和 Taihe	泗县 Sixian	濉溪 Suixi	涡阳 Guoyang	颍上 Yingshang	颍州区 Yingzhou	
G1	8 340	9 256	8 625	7 766	7 708	9 542	8 540d
G2	11 374	9 325	9 841	8 842	9 096	8 950	9 572a
G3	11 289	9 528	8 646	9 608	6 473	10 104	9 275ab
G4	12 249	10 768	7 762	8 829	7 895	8 935	9 407ab
G5	9 713	9 643	9 030	8 162	9 375	9 530	9 242ab
G6	10 242	9 253	8 945	8 778	7 140	10 073	9 072bc
G7	9 869	9 250	6 747	10 432	6 583	9 073	8 659cd
G8	8 603	8 862	7 043	9 888	8 073	8 099	8 428d
平均值 Average	10 210a	9 486b	8 330d	9 038c	7 793e	9 288bc	

同行或同列数据后不同字母表示差异显著(P<0.05)。下同。

Different lowercase letters following data in same row or column indicate significant differences(P<0.05). The same in tables 5-8.



G: 品种(系); E: 环境; 横坐标和纵坐标分别表示主成分 1 和主成分 2。左图中, 带有箭头的直线代表总的平均产量, 品种(系)到直线的垂线代表稳产性, 垂线越短, 稳产性越好。右图中, 将同方向距离最远的品种连接起来, 形成封闭的多边形, 从原点作各边垂线(红色), 形成品种(系)在不同环境下的适应性功能图。位于多边形顶点的品种(系)为该生态点下最适品种(系)。

G: Variety(line); E: Environment; The horizontal and vertical coordinates indicate principal component 1 and principal component 2, respectively. The line with the arrow represents overall average yield, while the vertical line extended from the varieties(lines) to the line represents yield stability. The shorter vertical line, the better yield stability in the left figure. A closed polygon was formed by connecting the varieties(lines) with the greatest distance in the same direction in the right figure, while the varieties(lines) were drawn from origin to each side to depict an adaptability map in different environments. The varieties(lines) located at the apex of polygon were those with highest ecological adaptability.

图 2 参试品种(系)稳产性(左)和适应性(右)分析

Fig. 2 Analysis of the stable yield(left) and adaptability(right) among varieties (lines)

(安科 1803)、G5(华成 5157)间差异不显著, 显著高于其他品种(系), G8(皖宿 21)穗数最低, 为 $6.61 \times 10^6 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。单穗产量以颍州点最高, 达 1.52 g, 其次为泗县点, 颍上点最低, 为 1.18 g; 不同品种(系)间比较, 皖科 1838 最高, 达到 1.43 g, 与新世纪 156 差异不显著, 显著高于其他品种(系)(表 5、表 6)。

2.4 产量与产量构成因素的相关性及稳定性

由图 3 可知, 产量与穗数呈显著线性正相关关系, 与单穗产量呈显著抛物线关系; 产量低于 $10\ 500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 产量提升源于穗数和单穗产量协同提升; 进一步增加穗数, 产量持续提升, 单穗产量呈降低趋势。产量变异系数与单穗产量变异系数呈显著正相关性(图 3)。综上, 实现小麦高产稳产在保持

表 5 参试品种(系)在不同地点的穗数

Table 5 Spike number of varieties(lines) in different sites

× 10⁶ · hm⁻²

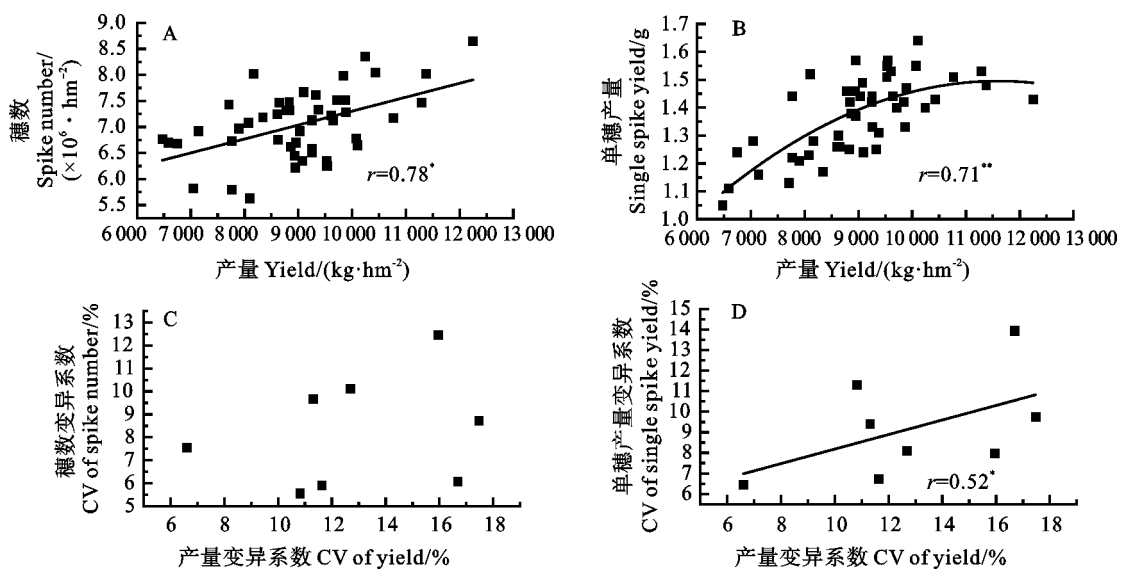
品种(系) Variety (line)	试点 Site						平均值 Average
	太和 Taihe	泗县 Sixian	濉溪 Suixi	涡阳 Guoyang	颍上 Yingshang	颍州区 Yingzhou	
G1	7.18	7.13	6.75	6.73	7.43	6.25	6.91bc
G2	8.02	7.61	7.98	7.32	7.67	6.70	7.55a
G3	7.47	6.35	7.47	7.22	6.77	6.65	6.99bc
G4	8.65	7.17	5.80	7.48	6.97	6.45	7.09abc
G5	7.52	7.13	6.92	8.02	7.33	6.25	7.19ab
G6	8.35	6.58	6.22	7.32	6.92	6.78	7.03bc
G7	7.52	6.51	6.68	8.05	6.70	6.35	6.97bc
G8	7.25	6.62	5.82	7.28	7.08	5.63	6.61c
平均值 Average	7.74a	6.87c	6.70cd	7.43ab	7.11bc	6.38d	

表 6 参试品种(系)在不同地点的单穗产量

Table 6 Single spike yield of varieties(lines) in different sites

g

品种(系) Variety (line)	试点 Site						平均值 Average
	太和 Taihe	泗县 Sixian	濉溪 Suixi	涡阳 Guoyang	颍上 Yingshang	颍州区 Yingzhou	
G1	1.17	1.33	1.30	1.22	1.13	1.57	1.29f
G2	1.48	1.25	1.42	1.42	1.24	1.37	1.36d
G3	1.53	1.51	1.26	1.53	1.05	1.64	1.42ab
G4	1.43	1.51	1.44	1.25	1.21	1.46	1.38c
G5	1.40	1.44	1.44	1.28	1.31	1.55	1.40b
G6	1.40	1.44	1.57	1.46	1.16	1.55	1.43a
G7	1.33	1.42	1.24	1.43	1.11	1.49	1.34e
G8	1.26	1.38	1.28	1.47	1.23	1.52	1.36d
平均值 Average	1.38c	1.41b	1.37c	1.38c	1.18d	1.52a	



* : $P < 0.05$; * * : $P < 0.01$; CV: Coefficient of variation.

图 3 产量与穗数(A)、单穗产量(B)以及产量变异系数与穗数和单穗产量变异系数(C、D)的相关性

Fig. 3 Correlation between yield with spike number(A), single spike yield(B), and CV of yield with CV of spike number(C) and single spike yield(D)

足够穗数的基础上,提高单穗产量及其稳定性。

2.5 品质及其稳定性分析

由表 7 可知,地点、品种(系)及其交互显著影响参试品种(系)蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值和稳定时间,4 个指标地点的变异平方和占总平方和的比例分别为 64.34%、72.10%、67.87%、84.42%,是品质变异主要来源;品种(系)、品种(系)与地点互作的效应平方和占总平方和的比例为 5.61%~17.94%,为品质变异次要来源。

颖上点小麦蛋白质含量、湿面筋含量和稳定时间均为最高,分别为 15.87%、33.57%和 10.72 min,显著高于其他地区,其次为涡阳点;沉降值以太和点最高,达 41.12 mL,其次为颍州点;泗县

点小麦各项品质在参试地区间均为最低。不同品种(系)间比较,G8(皖宿 21)蛋白质含量、湿面筋含量和沉降值显著高于其他品种(系),分别达 15.32%、32.28%、37.06 mL,其次为 G1(谷神麦 19);稳定时间以 G7(阜农 727)最高,达 8.85 min,其次为 G2 和 G8(安农 188 和皖宿 21)。对品质稳定性而言,G4(安科 1803)蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值和稳定时间的变异系数均最低,分别为 4.81%、6.31%、12.81%和 11.16%,品质稳定性最优;G1(谷神麦 1 号)和 G8(皖宿 21)蛋白质含量、湿面筋含量和稳定时间的稳定性较低,沉降值以 G5(华成 5157)稳定性最低(表 8)。综上所述,参试品种(系)的品质及其稳定性较低。

表 7 参试品种(系)品质的方差分析
Table 7 Analysis of variance of quality among the test varieties(lines)

变异来源 Variance source	自由度 d_f	平方和 SS	均方 Mean square	占总变异的比例 Proportion of total variation/%	F 值 F value
蛋白质含量 Protein content					
区组间 Block	2	0.04	0.02		
地点 Site (S)	5	173.09	34.62	64.34	27.47**
品种(系) Variety (line) (V)	7	48.26	6.89	17.94	5.47**
地点×品种(系) S×V	35	44.11	1.26	16.40	33.93**
误差 Error	94	3.49	0.04		
总共 Total	143	269.01			
湿面筋含量 Wet gluten content					
区组间 Block	2	0.61	0.30		
地点 Site (S)	5	1 096.42	219.28	72.10	37.24**
品种(系) Variety (line) (V)	7	194.07	27.72	12.76	4.71**
地点×品种(系) S×V	35	206.11	5.89	13.55	23.62**
误差 Error	94	23.43	0.25		
总共 Total	143	1 520.66			
沉降值 Sedimentation value					
区组间 Block	2	1.52	0.76		
地点 Site (S)	5	4 198.18	839.64	67.87	29.40**
品种(系) Variety (line) (V)	7	873.56	124.79	14.12	4.37**
地点×品种(系) S×V	35	999.54	28.56	16.16	23.92**
误差 Error	94	112.23	1.19		
总共 Total	143	6 185.03			
稳定时间 Stability time					
区组间 Block	2	0.34	0.17		
地点 Site (S)	5	550.23	110.05	84.42	73.15**
品种(系) Variety (line) (V)	7	36.62	5.23	5.61	3.48**
地点×品种(系) S×V	35	52.65	1.50	8.09	11.93**
误差 Error	94	11.84	0.13		
总共 Total	143	651.71			

表 8 各地参试品种(系)品质表现

Table 8 Quality of the tested varieties(lines)

指标 Index	品种(系) Variety(line)	太和 Taihe	泗县 Sixian	濉溪 Suixi	涡阳 Guoyang	颍上 Yingshang	颍州 Yingzhou	平均值 Average	变异系数 CV/%
蛋白质含量 Protein content/%	G1	15.18	12.07	14.70	16.91	17.13	15.13	15.19b	10.17
	G2	13.24	12.03	13.49	14.17	16.35	14.47	13.96e	8.77
	G3	13.24	11.58	12.64	13.86	15.19	14.65	13.53f	8.28
	G4	13.46	13.82	13.97	15.55	14.92	13.76	14.25d	4.81
	G5	13.85	12.78	13.72	14.74	15.53	15.03	14.28d	5.97
	G6	14.40	12.86	13.74	15.81	15.31	14.54	14.44c	6.20
	G7	14.23	11.66	14.24	14.33	15.49	13.61	13.93e	7.69
	G8	15.09	12.46	15.40	17.08	17.02	14.88	15.32a	9.37
	平均值 Average	14.09d	12.41e	13.99d	15.31b	15.87a	14.51c		
湿面筋含量 Wet gluten content/%	G1	31.12	24.35	30.68	35.37	36.22	31.77	31.58b	11.30
	G2	27.75	25.09	28.80	31.01	35.09	31.31	29.84c	9.74
	G3	27.22	23.40	26.68	30.03	32.34	30.91	28.43d	9.75
	G4	27.26	28.68	28.49	33.18	31.72	29.39	29.79c	6.31
	G5	28.81	26.23	28.83	31.53	32.70	31.62	29.96c	6.82
	G6	28.57	25.78	28.28	33.19	31.66	30.18	29.61c	7.53
	G7	29.83	23.07	29.64	31.27	32.75	29.36	29.32cd	9.56
	G8	31.48	25.17	32.31	36.99	36.09	31.65	32.28a	11.01
	平均值 Average	29.01d	25.22e	29.21d	32.82b	33.57a	30.77c		
沉降值 Sedimentation value/mL	G1	46.47	20.63	35.30	37.43	32.20	35.93	34.66b	21.55
	G2	37.87	21.17	31.07	29.30	32.80	34.93	31.19d	27.28
	G3	37.83	21.00	24.63	28.23	28.33	33.60	28.94f	25.67
	G4	37.90	28.33	38.37	32.70	28.67	31.87	32.97c	12.81
	G5	40.97	27.00	29.50	31.90	32.73	38.23	33.39c	28.56
	G6	39.70	22.07	25.83	32.57	26.53	32.00	29.78e	22.59
	G7	40.03	20.67	32.93	30.40	33.70	33.90	31.94d	17.48
	G8	48.17	21.00	40.23	39.47	37.43	36.03	37.06a	24.60
	平均值 Average	41.12a	22.73e	32.23c	32.75c	31.55d	34.56b		
稳定时间 Stability time/min	G1	5.83	4.33	7.57	8.23	9.40	8.23	7.27e	20.46
	G2	7.20	3.77	8.77	9.60	11.30	10.73	8.56b	15.58
	G3	5.80	4.27	7.20	9.03	10.03	9.80	7.69d	17.68
	G4	6.97	5.77	8.33	8.60	8.87	7.97	7.75d	11.16
	G5	5.63	4.53	8.17	9.93	11.33	11.07	8.44b	13.37
	G6	7.17	4.50	7.33	9.60	10.00	9.83	8.07c	17.80
	G7	7.17	6.10	9.07	10.30	10.67	9.80	8.85a	16.86
	G8	7.33	4.13	8.60	10.47	10.53	10.00	8.51b	20.36
	平均值 Average	6.64d	4.68e	8.13c	9.47b	10.27a	9.68b		

3 讨论

3.1 小麦丰产性因素分析

随着小麦新品种选育,产量潜力呈不断上升趋势,平均每年增产约 1%,这些新品种遗传背景不同,其氮素吸收和利用、光合能力和物质合成能力等存在差异,自身产量表现各不相同^[3,12]。本

研究中,8 个半冬性小麦品种(系)间的产量存在差异显著,其中安农 188 产量最高,平均达 9 572 kg·hm⁻²,其次为安科 1803。除遗传因素,生态环境是影响品种(系)产量的另一重要因素。柏军兵等^[13]认为,黄淮海南片麦区小麦产量受抽穗期水分和温度正向调控,与施德云等^[14]对浙江省不同生态区小麦的研究结果相似。但过多的降水抑

制小麦光合作用,减少籽粒淀粉和干物质积累量,导致产量降低^[15]。本研究表明,参试品种(系)产量变异主要来源于地点和品种(系)与地点互作的效应(表 3 和表 4);太和点小麦产量显著高于其他参试地点,其次为泗县点和颍州点,颖上点最低。推测主要原因是五月份颖上点降雨量达 183 mm,导致小麦灌浆期光合能力降低,而太和点、泗县点和颍州点降水量均在 75 mm 以下,有利于小麦花后灌浆(图 1 和表 4)。土壤地力是影响小麦产量的另一因素,孙梦^[10]、张晶晶等^[16]研究认为,高肥力田块小麦产量高于低肥力地块。本研究中,太和点产量高于泗县点和颍州点,可能是由于土壤地力较高的因素(表 2)。综上,影响安徽半冬性小麦品种(系)产量的环境因素主要有五月份降水量和土壤肥力。

品种(系)间产量构成对产量贡献存在差异。王建伟等^[17]认为,黄淮北片高产小麦品种(系)产量较高的主要原因是较多的穗数。全锦等^[18]认为,烟农 999 超高产的原因在于较高的穗数和穗粒数,而山农 29 则因为较高的千粒重。本研究认为,品种(系)产量低于 $10\ 500\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,产量增加源于穗数和单穗产量协同提升,产量继续增加,则主要来自穗数的增加。小麦生育期内异常气候严重威胁小麦产量,例如冻害、渍水、干旱等^[19-21]。但不同小麦生长阶段的异常气候对小麦产量的影响存在差异。黄淮海麦区小麦穗数主要受拔节至抽穗期日照时数正向调控,单穗产量受抽穗期至灌浆中期水分正向调控,受温度负向调控^[13];由于品种遗传背景差异,适宜生长条件不同,Subira 等^[22]认为,携带 *Rht-B1b* 基因的品种适合花后水分充足的环境,而携带 *Rht-B1a* 基因品种需要花前保持高蒸发量,花后需要较少的水分。此外,较高的土壤肥力有利于增加单位面积穗数和千粒重,进而提高产量^[10,16,19]。本研究表,太和点小麦穗数最多,颍州点小麦穗数最少,二者相差约 $1.40 \times 10^6 \cdot \text{hm}^{-2}$,主要是颍州点 12 月至次年 3 月降水量最少,仅为 39.5 mm,且土壤地力较低,影响分蘖发育和有效穗数形成(图 1 和表 5)。地点间比较,单穗产量以颍州最高,颖上最低,主要是由于五月份较少的降水,有利于花后小麦籽粒灌浆;品种(系)间比较,以皖科 1838 和新世纪 156 单穗产量高于其他品种(系)。

3.2 小麦稳产性因素分析

小麦稳产性和适应性是评价小麦品种综合表

现的主要指标。小麦的稳产性和适应性与品种(系)和环境均存在显著相关性^[23-25]。前人分析表明,多地小麦品种(系)的稳产性和适应性不协同,如在甘肃省,西片区域陇春 39 稳产性最好,甘育 4 号适应性最强^[25];河南省参试品种(系)中,百农 207 具有良好的稳产性,农科大 888 具有较好的适应性^[26]。本研究表明,安徽省半冬性小麦品种(系)中,G4(安农 188)和 G6(皖科 1838)稳产性较好,G4(安农 188)的适应性最好(图 2)。目前安徽半冬性小麦品种(系)的稳产性和适应性也尚未实现协同。Ding 等^[27]认为,小麦产量稳定首先需维持穗数稳定,同时提高单穗产量对地点的适应性。本研究表明,提高参试安徽半冬性小麦品种(系)的产量稳定性在于增强单穗产量稳定性(图 3C、D)。

3.3 小麦的品质及其稳定性分析

小麦品质受品种和地点共同影响。蛋白质含量、湿面筋含量和面团稳定时间受因素独立影响大于互作效应,并且地点对蛋白质含量的影响大于基因型^[28]。本研究表明,参试品种(系)的蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值和面团稳定时间受地点影响大于基因型和二者互作效应,基因型和互作对品质的影响程度相近。环境因素中,蛋白质主要受开花后日照时数正向调控^[13],而花后过高的温度,则不利于蛋白质含量提高。也有研究表明,蛋白质与花后降水量有关^[29]。此外,蛋白质含量、湿面筋和沉降值与土壤地力呈正相关^[10]。本研究表明,颖上点蛋白质含量、湿面筋含量和面团稳定时间均显著高于其他地区,其次为涡阳点,主要原因可能是灌浆期(五月份)降水过多,叶片光合作用减弱,籽粒淀粉合成减少,进而提升蛋白质含量^[29]。不同品种(系)间比较,皖宿 21 蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值显著高于其他品种(系),稳定时间以阜农 727 最高,其次为皖宿 21。不同小麦品种的品质稳定性存在显著差异,高德荣等^[30]发现,扬麦 13 对施氮量和施氮模式响应钝感,因此对蛋白质含量、湿面筋含量、面团稳定时间等品质性状无显著影响。但郭军等^[31]认为,济南 17、师栾 02-1 和济麦 22 间蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值等品质性状在不同地点存在显著差异。本研究发现,供试品种(系)间的品质稳定性存在显著差异,以 G4(安科 1803)品质稳定性最佳,其次为华成 5157。

4 结论

地点、地点与品种(系)互作的效应是产量、有效穗数和单穗产量变异的主要来源。太和点小麦产量和有效穗数显著高于其他地区;不同品种(系)间安科 1803 具有较高的丰产性和稳产性,安农 188 丰产性最好、适应范围最广;产量在 10 500 kg·hm⁻² 内,提高产量在于增加有效穗数和单穗产量,产量继续增加,产量稳定性取决于单穗产量的稳定。地点是小麦品质变化的主要来源,颍上点参试小麦品质显著高于其他地区,泗县点小麦品质最低;皖宿 21 的蛋白质含量、湿面筋含量和沉降值显著高于其他品种(系);安科 1803 品质变异系数低于其他品种(系)。综上,安徽丰产潜力大的品种(系)应实现丰产、稳产、优质协同需关注气候和土壤地力的影响。

参考文献:

- [1]何中虎,庄巧生,程顺和,等. 中国小麦产业发展与科技进步[J]. 农学学报,2018,8(1):99.
HE Z H,ZHUANG Q S,CHENG S H,*et al.* Wheat production and technology improvement in China [J]. *Journal of Agriculture*,2018,8(1):99.
- [2]ZHANG Y,XU W G,WANG H W,*et al.* Progress in genetic improvement of grain yield and related physiological traits of Chinese wheat in Henan Province [J]. *Field Crops Research*,2016,199:117.
- [3]TIAN Z W,LI Y,LIANG Z,*et al.* Genetic improvement of nitrogen uptake and utilization of winter wheat in the Yangtze River Basin of China [J]. *Field Crops Research*,2016,196:251.
- [4]SUN Y Y,WANG X L,WANG N,*et al.* Changes in the yield and associated photosynthetic traits of dry-land winter wheat (*Triticum aestivum* L.) from the 1940s to the 2010s in Shaanxi Province of China [J]. *Field Crops Research*,2014,167:1.
- [5]ZHANG Y J,HU M Y,LIU Q,*et al.* Deletion of high-molecular-weight glutenin subunits in wheat significantly reduced dough strength and bread-baking quality [J]. *BMC Plant Biology*,2018,18(1):319.
- [6]Lyu X K,Liu Y,Li N,*et al.* Foliar applications of various nitrogen (N) forms to winter wheat affect grain protein accumulation and quality via N metabolism and remobilization [J]. *The Crop Journal*,2022,10 (4):1173.
- [7]ZHANG M W,MA D Y,MA G,*et al.* Responses of glutamine synthetase activity and gene expression to nitrogen levels in winter wheat cultivars with different grain protein content [J]. *Journal of Cereal Science*,2017,74:187.
- [8]姜雪,刘凤莲,刘云国,等. 小麦籽粒品质形成的影响因素及其生理机制[J]. 分子植物育种,2023,21(1):284.
JIANG X,LIU F L,LIU Y G,*et al.* Influencing factors and physiological mechanism of wheat grain quality formation (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Molecular Plant Breeding*,2023,21(1):284.
- [9]张刁亮,杨昭,胡发龙,等. 复种绿肥在不同灌水水平下对小麦籽粒品质和产量的影响[J]. 作物学报,2023,49(9):2572.
ZHANG D L,YANG Z,HU F L,*et al.* Effects of multiple cropping green manure on grain quality and yield of wheat with different irrigation levels [J]. *Acta Agronomica Sinica*,2023,49(9):2572.
- [10]孙梦,冯昊翔,张晓燕,等. 不同土壤肥力下施氮量对小麦产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报,2022,42(7):826.
SUN M,FENG H X,ZHANG X Y,*et al.* Effects of nitrogen rates on wheat yield and quality under different soil fertility regimes [J]. *Journal of Triticeae Crops*,2022,42(7):826.
- [11]中国种业大数据平台. <http://202.127.42.47:6010/SDSite/Home/Index>.
ChinaSeed Industry DataBase. <http://202.127.42.47:6010/SDSite/Home/Index>.
- [12]王茂莹,贺明荣,李玉,等. 施氮量对不同小麦品种产量及氮素吸收利用的影响[J]. 水土保持学报,2020,34(4):241.
WANG M Y,HE M R,LI Y,*et al.* Effects of nitrogen application rate on yield and nitrogen uptake and utilization of different wheat varieties [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*,2020,34(4):241.
- [13]柏军兵,常旭虹,王德梅,等. 黄淮冬麦区南片气象因子对不同品种小麦籽粒特性的影响[J]. 中国农业气象,2022,43(6):474.
BAI J B,CHANG X H,WANG D M,*et al.* Effects of meteorological factors on grain characteristics in different wheat varieties in the southern of Huang-Huai planting [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*,2022,43(6):474.
- [14]施德云,徐波,王其飞,等. 浙江省不同生态条件对小麦产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报,2023,43(6):775.
SHI D Y,XU B,WANG Q F,*et al.* Influence of different ecological conditions on wheat yield and quality in Zhejiang Province,China [J]. *Journal of Triticeae Crops*,2023,43(6):775.
- [15]汪敏,王邵宇,吴佳佳,等. 花后阴雨对小麦籽粒淀粉合成和干物质积累的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文),2020,28(1):76.
WANG M,WANG S Y,WU J J,*et al.* Effects of shading and waterlogging following anthesis on starch synthesis and dry matter accumulation in wheat grain [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*,2020,28(1):76.
- [16]张晶晶,石玉,于振文,等. 不同土壤肥力麦田小麦干物质生产和产量的差异[J]. 麦类作物学报,2021,41(12):1541.
ZHANG J J,SHI Y,YU Z W,*et al.* Differences in dry matter production and yield of wheat in wheat fields with different soil fertility [J]. *Journal of Triticeae Crops*,2021,41(12):1541.

- [17] 王建伟, 李东晓, 王千一, 等. 黄淮北部不同冬小麦品种(系)产量和氮素利用效率差异[J]. 华北农学报, 2024, 39(2): 143.
WANG J W, LI X D, WANG Q Y, *et al.* Differences in yield and nitrogen use efficiency of different winter wheat varieties (lines) in the north of HuangHuai region [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2024, 39(2): 143.
- [18] 仝锦, 孙敏, 任爱霞, 等. 高产小麦品种植株干物质积累运转、土壤耗水与产量的关系[J]. 中国农业科学, 2020, 53(17): 3467.
TONG J, SUN M, REN A X, *et al.* Relationship between plant dry matter accumulation, translocation, soil water consumption and yield of high-yielding wheat cultivars [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(17): 3467.
- [19] 王春乙, 娄秀荣, 王建林. 中国农业气象灾害对作物产量的影响[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(5): 37.
WANG C Y, LOU X R, WANG J L. Influence of agricultural meteorological disasters on output of crop in China [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2007, 16(5): 37.
- [20] 刘杨, 石春林, 刘晓宇, 等. 渍害胁迫时期和持续时间对冬小麦产量及其构成因素的影响[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(2): 239.
LIU Y, SHI C L, LIU X Y, *et al.* Effect of waterlogging stress duration at different growth stages on yield and its components of winter wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2018, 38(2): 239.
- [21] 黄明, 姜沛沛, 张振旺, 等. 干旱和品种对小麦灌浆期旗叶下午光合速率、关键酶活性和产量的影响[J]. 华北农学报, 2024, 39(2): 90.
HUANG M, JIANG P P, ZHANG Z W, *et al.* Effects of drought and cultivars on net photosynthetic rate, key photosynthetic enzymes activities in flag leaves in the afternoon during grain filling stage and grain yield of wheat [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2024, 39(2): 90.
- [22] SUBIRA J, ÁLVARO F, GARCÍA DEL MORAL L F, *et al.* Breeding effects on the cultivar \times environment interaction of durum wheat yield [J]. *European Journal of Agronomy*, 2015, 68: 78.
- [23] 毛文博, 苏成付, 毛瑞喜, 等. 应用 GGE 双标图分析山东省玉米区域试验品种基因型与环境互作效应[J]. 山东农业科学, 2020, 52(12): 7.
MAO W B, SU C F, MAO R X, *et al.* Genotype and environment interaction effect on maize varieties in Shandong Provincial regional trial by GGE double plot [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2020, 52(12): 7.
- [24] 肖继兵, 刘志, 孔凡信, 等. 基于 GGE 双标图的高粱品种农艺性状和稳产性分析[J]. 作物杂志, 2023(2): 36.
XIAO J B, LIU Z, KONG F X, *et al.* Analysis of agronomic traits and yield stability of *Sorghum* varieties based on GGE biplot [J]. *Crops*, 2023(2): 36.
- [25] 崔同霞, 张保军, 姚友旭, 等. 基于 GGE 双标图法的甘肃省西片区域春小麦新品种的丰产性及适应性评价[J]. 甘肃农业大学学报, 2022, 57(3): 58.
CUI T X, ZHANG B J, YAO Y X, *et al.* Evaluation of fertility and adaptability of new spring wheat varieties in western Gansu Province using GGE biplot [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2022, 57(3): 58.
- [26] 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.
ZANG H C, CAO T J, ZHANG J, *et al.* Genotype and environment interaction effect on yield of new wheat cultivars under different ecological conditions [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2021, 36(6): 88.
- [27] DING Y G, TANG X Q, ZHANG X B, *et al.* Effects of weak and semi-winter cultivars of wheat on grain yield and agronomic traits by breaking through traditional area planting [J]. *Agronomy*, 2022, 12(1): 196.
- [28] 赵春, 宁堂原, 焦念元, 等. 基因型与环境对小麦籽粒蛋白质和淀粉品质的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1257.
ZHAO C, NING T Y, JIAO N Y, *et al.* Effects of genotype and environment on protein and starch quality of wheat grain [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(7): 1257.
- [29] 刘迎霞, 娄运生, 高安妮, 等. 施肥对不同时期遮阴小麦光合、产量和品质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2024, 43(3): 496.
LIU Y X, LOU Y S, GAO A N, *et al.* Effects of fertilization on photosynthetic characteristics, yield and quality in winter wheat under different shading periods [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2024, 43(3): 496.
- [30] 高德荣, 宋归华, 张晓, 等. 弱筋小麦扬麦 13 品质对氮肥响应的稳定性分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(21): 4100.
GAO D R, SONG G H, ZHANG X, *et al.* Quality consistency of soft wheat Yangmai 13 under different nitrogen application [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(21): 4100.
- [31] 郭军, 李豪圣, 刘建军, 等. 三个优质小麦品种品质稳定性分析[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(6): 12.
GUO J, LI H S, LIU J J, *et al.* Quality stability analysis of three elite wheat cultivars with good end-use quality [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2019, 34(6): 12.