

灌溉对14个小麦新品种(系)产量和农艺性状适应性的GGE分析

孙宪印,牟秋焕,米勇,吕广德,亓晓蕾,孙盈盈,陈永军,
王超,王瑞霞,吴科,钱兆国

(泰安市农业科学院,山东泰安271000)

摘要:于2018—2019年在山东省泰安市马庄试验田采用随机区组设计,包含品种、灌溉两因素,选用14个小麦新品种(系),水分处理分别为出苗后不浇水(E1)、浇拔节水(E2)和浇拔节+开花水(E3),3次重复,共126个小区。分别考察不同处理的小区产量、株高、单穗粒重、单穗粒数、单穗小穗数、单穗不孕小穗数等6个性状的变化情况,应用方差分析法和R语言的GGE双标图方法分析性状的基因型效应、环境效应、基因型与环境的互作效应。结果表明,节水型小麦新品种系均存在基因型效应(G)、环境效应(E)和基因型×环境互作效应(GE)且均表现出极显著差异($P<0.05$),基因型效应(G)的变异范围为1.07%~60.17%,环境效应(E)的变异范围为14.42%~86.97%,基因型×环境互作效应(GE)的变异范围为4.33%~47.88%。不同品种(系)的群体产量性状和个体农艺性状在不同环境下的适应性不同,表现为在不同灌水条件下,不同品种(系)处于不同多边形的顶角位置不同;小麦新品种(系)不同个体性状在不同浇水环境下表达程度不同。E1环境有利于单穗不孕小穗数的表达,E2有利于单穗粒重的表达,E3有利于株高的表达;不同环境对群体产量性状和个体农艺性状的鉴别力和代表性不同,E1环境比E2、E3环境具有更好的鉴别力和代表性。综上,在黄淮海区,本研究所选用的14个节水型小麦新品种(系)农艺性状基因型效应及其与环境互作效应差异显著,E1环境有利于小麦节水新品种(系)群体产量和个体农艺性状的选择。

关键词:灌溉;小麦新品种(系);农艺性状;产量;GGE分析;黄淮海区

中图分类号:S512.1;S275;S32 **文献标志码:**A

GGE analysis on adaptability of yield and agronomic characters of 14 new wheat varieties (lines) under different irrigation conditions

SUN Xianyin, MU Qiuhan, MI Yong, LV Guangde, QI Xiaolei, SUN Yingying,
CHEN Yongjun, WANG Chao, WANG Ruixia, WU Ke, QIAN Zhaoguo
(Tai'an Academy of Agricultural Science, Taian, Shandong 271000, China)

Abstract: From 2018 to 2019, a random block design was used in the Mazhuang experimental field, Tai'an City, Shandong Province. The experiment included two factors: 14 new wheat varieties (lines) and 3 different irrigation conditions. The irrigation treatments consisted of no watering after emergence (E1), jointing water (E2), and jointing + flowering water (E3), repeating 3 times for each wheat variety (line) and ending up with a total of 126 plots. The changes of 6 traits including yield, plant height, grain weight per spike, number of grains per spike, number of spikelets per spike, and infertile spikelets per spike under different treatments were investigated respectively. The genotype effect, environment effect, and interaction effect of genotype and environment were analyzed by ANOVA and GGE biplot method of R language. The results showed that there were genotype effects (G), environmental effects (E) and genotype × environment interaction effects (GE) in the new water-saving wheat lines, all having extremely significant differences ($P<0.05$). The variation range of G was 1.07%~60.17%, the variation

收稿日期:2021-12-13

修回日期:2022-07-04

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-3-2-21);山东省现代农业产业技术体系小麦创新团队“遗传育种岗位”项目(SDAIT-04-021-12);山东省重点研发计划项目(2018GNC2302)

作者简介:孙宪印(1969-),男,山东泰安人,正高级农艺师,主要从事节水小麦新品种选育与推广研究。E-mail:sunxianyin2005@sina.com
通信作者:钱兆国(1971-),男,山东肥城人,研究员,主要从事小麦育种与推广研究。E-mail:qianzhaoguo@126.com

range of environmental effect (E) was 14.42%~86.97%, and the variation range of genotype \times environmental interaction effect (GE) was 4.33%~47.88%. The adaptability of population yield traits and individual agronomic traits of different varieties (lines) to different environments was different, meaning that under different irrigation conditions, different varieties (lines) were in different vertex positions of different polygons. Different individual traits of new wheat varieties (lines) were expressed differently in different watering environments. E1 was favorable for the expression of infertile spikelets per spike, E2 was favorable for the expression of grain weight per spike, and E3 was favorable for the expression of plant height. E1 was more discriminative and representative than E2 and E3. To sum up, in the Huanghuai wheat area, the 14 new water-saving wheat varieties (lines) selected in this study had significant differences in the genotype effects of agronomic traits and their interaction effects with the environment. E1 was beneficial to the new water-saving wheat varieties (lines) selection of population yield and individual agronomic traits.

Keywords: irrigation; new wheat varieties (lines); agronomic characters; yield; GGE analysis; Huanghuai wheat area

在小麦主产区黄淮麦区,干旱缺水等自然灾害会导致小麦产量年度间变幅较大^[1]。小麦抗旱节水育种是应对干旱的根本措施和最有效途径^[2]。许多学者从株高、根系、旗叶性状、根冠比、生物量、光合特性等方面进行了分析,形成了有关节水新品系选择的规律性、经验性认知^[3-5]。GGE 双标图法是以图解的方式分析多因素互作的方法^[6],常见于利用其分析基因型效应及其与环境的互作效应研究^[7-9]。作物的丰产性和广适性一直是作物新品种审定的重要依据,不同作物品种区试材料的分析中,常利用该方法分析不同作物品种如燕麦^[10-11]、春小麦^[12-13]、玉米^[14]、油菜^[15]、棉花^[16]、大豆^[17-18]等的丰产稳产性和试验点的鉴别力和代表性。另外,该方法也应用于作物的生态区划^[19]及作物抗病性研究^[20-21]。

目前,利用 GGE 方法分析不同处理条件下各种指标因素相互关系的研究还不多。陈四龙等^[22]用该方法分析种植密度对高油花生生长和产量的影响,孙小妹等^[23]基于 GGE 双标图法对西瓜抗旱性

进行鉴定评价,叶夕苗等^[24]研究了马铃薯产量组分的基因型与环境互作及稳定性,崔顺立等^[25]利用 GGE 双标图分析花生品质性状的基因型-环境互作,但未见该方法在节水型小麦育种中的报道。小麦产量的群体性状是由个体性状组成的,本研究设计不同灌溉次数试验,旨在了解不同品种(系)丰产性和广适性的同时,探究不同品种(系)个体农艺性状如株高、单穗粒重、单穗穗粒数、单穗小穗数及单穗不孕小穗数在不同灌溉环境下的变化规律,以期为提高节水、广适型小麦新品种的选择效率提供理论支撑和育种技术借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料来自于育种田已通过小品比、大品比试验,产量、农艺性状表现相对较好的 10 个品系及新品种泰科麦 30、泰科麦 32、国家旱肥地对照品种洛旱 7 号以及山东省旱地对照品种鲁麦 21(表 1)。

表 1 参试小麦新品种(系)

Table 1 The new tested wheat varieties (lines)

编号 Number	品种(系)名称 Variety (line)	品种(系)来源 Pedigree	编号 Number	品种(系)名称 Variety (line)	品种(系)来源 Pedigree
V1	泰科麦 30 TKM30	淮阴 9908 \times 漯麦 9424 HY9908 \times LM9424	V8	HX26-5167336	鲁麦 21 \times 良星 66 LM21 \times LX66
V2	泰科麦 32 TKM32	洛旱 3 号 \times 莱州 3279 LH3 \times LZH3279	V9	HX3-51641254	LS5539 \times SN0963
V3	洛旱 7 号 LH7	豫麦 49 \times 山农 45 YM49 \times SHN45	V10	HX9-51641347	LS4379 \times LS4387
V4	鲁麦 21 LM21	鲁麦 13 \times 宝丰 7228 LM13 \times BF7228	V11	HX14-51640174	济麦 22 \times 泰农 9236 JM22 \times TN9236
V5	泰科麦 35 TKM35	087236 \times 邯 6172 087236 \times H6172	V12	X16-165241	LS4628 \times LS5526
V6	HX33-51640835	良星 99 \times KY088 LX99 \times KY088	V13	HX17-51640273	济麦 22 \times 泰山 28 JM22 \times TSH28
V7	HX19-5167049	鲁麦 21 \times 济麦 22 LM21 \times JM22	V14	HX27-5167322	淮麦 25 \times 郑麦 366 HM25 \times ZHM366

1.2 试验环境与试验设计

试验于 2018—2019 年在泰安市农业科学研究院马庄试验田进行(36°18'N, 117°04'E), 冬小麦生育期降水量较常年偏少, 总降水 135.8 mm, 常年降水量 257.5 mm, 只有 2018 年 11 月和 2019 年 4 月降水量比常年高, 整体属于偏干旱年份, 但光温适合, 尤其后期有利于小麦灌浆, 小麦生产仍表现为丰产年份。小麦生长季每月降水量见图 1。参试小麦品系均未倒伏。土壤为砂浆黑土, 前茬为玉米, 小麦播种前 0~20 cm 土层土壤含有机质 $15.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮 $0.94 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效氮 $75.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $38.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $126.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。不同浇水情况下, 小麦肥料均为一次性基施复合肥和氮肥, 复合肥含量(氮:磷:钾)为 14:15:16, 氮肥为尿素, 使用量分别为 $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。小麦生育期不进行追肥, 4 月 8 日浇拔节水, 5 月 4 日浇开花水。

试验采用单因素随机区组设计, 3 个水分处理分别为: 出苗后不浇水(E1); 拔节水(E2); 拔节水+开花水(E3), 每次灌水 90 mm。每个水分处理设 3 次重复, 小区面积 12 m^2 ($1.5 \text{ m} \times 8 \text{ m}$), 走道宽 1 m, 试验地四周设置保护行。3 个水分处理环境下共 126 个小区($3 \times 14 \times 3$), 每小区播 6 行, 平均行距 23.6 cm, 基本苗数均为 $225 \times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。其他管理措施与当地大田相同。

1.3 测定项目与方法

小麦成熟期利用小区收割机收获整个小区计产, 产量按照水分 13% 折算。各个品系 20 cm 行长的小麦植株用于取样, 其平均值用于表示株高、单穗粒重、单穗穗粒数、单穗小穗数、单穗不孕小穗数等性状。

1.4 数据处理

采用 DPS7.05 统计分析软件进行数据分析和差异显著性检验(LSD 法); 数据经 EXCEL 整理后, 利

用 R 语言(版本号 3.6.2)的 GGEbiplot GUI 程序对数据进行基因和基因与环境互作的双标图分析。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉环境下小麦产量和个体农艺性状的方差分析

14 个节水型小麦新品种(系)群体产量性状及个体农艺性状如株高、单穗籽粒产量、单穗粒数、单穗小穗数及单穗不孕小穗数均存在基因型效应(G)、环境效应(E)和基因型×环境互作效应(GE), 并均表现极显著差异(表 2)。不同性状下三者的效应值不同, 基因型效应(G)的变异范围为 1.07%~60.17%; 环境效应(E)的变异范围为 14.42%~86.97%; 基因型×环境互作效应(GE)的变异范围为 4.33%~47.88%。其中小区群体产量基因型效应(G)、环境效应(E)和基因型×环境互作效应(GE)的平方和占总平方和的比例分别为 7.41%、86.97%和 4.33%, 个体株高分别为 60.17%、14.42%和 9.00%; 单穗籽粒产量为 31.62%、18.85%和 45.08%; 单穗粒数为 13.14%、34.75%和 41.36%; 单穗小穗数为 2.87%、34.39%和 47.88%; 单穗不孕小穗数为 1.07%、64.32%和 33.57%。不同灌溉处理下的群体产量性状及个体农艺性状如株高、单穗籽粒产量、单穗粒数和单穗小穗数均存在差异, 处理间的差异达到显著水平, 不孕小穗数在 E1 和 E3 间差异不显著, 这可能与小麦群体自动调节功能有关(表 3)。参试品种(系)的平均产量在不同水分处理情况下增产率不同, E2 处理比 E1 显著增产 20.71%, E3 处理比 E2 处理显著增产 11.14%。

2.2 不同品系产量性状适应性分析

GGE 双标图的多边形图根据基因型与环境的互作效应对环境试点进行分组, 不同基因型的不同性状在不同环境中表现不同。多边形图是由各个方

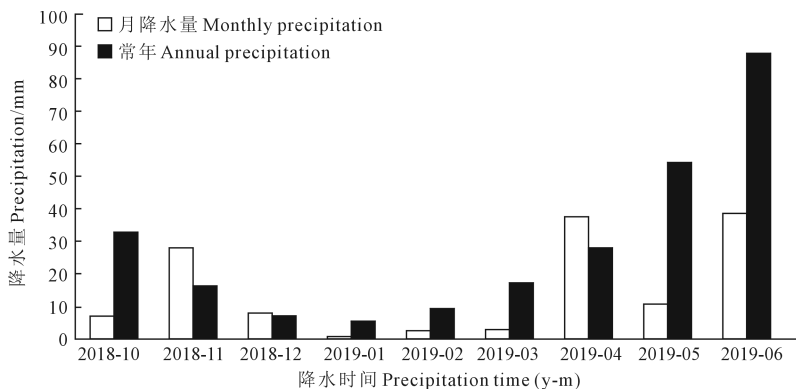


图 1 2018—2019 年小麦生长季月降水量与常年降水量

Fig.1 Monthly and annual precipitation of wheat growing season in 2018-2019

向上距离中心最远的点用直线连接起来形成,通过中心对每条边做垂线,将双标图分为几个扇区,品种在扇区分布。GGE 多边形图中 14 个不同基因型节水新品系群体产量性状及个体农艺性状如小区产量、株高、单穗粒重、单穗穗粒数、单穗小穗数和单穗不孕小穗数的 G+GE 占比分别为 89.48%、92.37%、89.14%、85.28%、92.54%和 89.31%(图 2 A~F)。不同浇水次数形成的不同环境所在区域

中,“角顶”基因型是各自性状值最高的基因型。小区群体产量 GGE 双标图中,V1、V5、V10、V9 和 V14 连接成多边形,5 条射线将多边形分为两个扇区,第一个扇区包含 E1 和 E3 两个环境,V2 产量最高;第二个扇区包含环境 E2,V5 产量最高。无试点的扇区中,“角顶”基因型在所有 3 个环境中表现不佳。没有环境落于以基因型 V10、V9 和 V14 为角顶的区内,这 3 个基因型在所有试点中小区产量表现不佳

表 2 不同灌溉环境下小麦产量和个体农艺性状的方差分析

Table 2 Combined variance analysis of wheat yield and individual agronomic traits under different irrigation environments

性状 Trait	变异来源 Source of variation	自由度 Df	平方和 SS	均方 MS	F 检验 F test	显著性 Significance	占总平方和 Proportion to SS/%
小区产量 Plot yield	G	13	15.6003	1.2000	39.1922	0.0001	7.41
	E	2	183.0572	91.5286	2989.2872	0.0001	86.97
	G×E	26	9.1234	0.3509	11.4602	0.0001	4.33
	残差 Residual	78	2.3883	0.0306			
	总变异 Total variation	125	210.4917				
株高 Plant height	G	13	3061.8571	1530.9286	93928.3306	0.0001	60.17
	E	2	733.7143	56.4396	3462.7832	0.0001	14.42
	G×E	26	458.1429	17.6209	1081.1084	0.0001	9.00
	残差 Residual	78	1.2713	0.0163			
	总变异 Total variation	125	5088.9719				
单穗粒重 Grain weight per spike	G	13	4.2558	2.1279	11565.6381	0.0001	31.62
	E	2	2.5364	0.1951	1060.4653	0.0001	18.85
	G×E	26	6.0664	0.2333	1268.1633	0.0001	45.08
	残差 Residual	78	0.0144	0.0002			
	总变异 Total variation	125	13.4576				
单穗穗粒数 Kernel number per spike	G	13	301.7302	150.8651	6314.7983	0.0001	13.14
	E	2	798.1905	61.3993	2570.0049	0.0001	34.75
	G×E	26	950.0476	36.5403	1529.4764	0.0001	41.36
	残差 Residual	78	1.8635	0.0239			
	总变异 Total variation	125	2296.9604				
单穗小穗数 Spikelets number per spike	G	13	8.4444	4.2222	1265.2994	0.0001	2.87
	E	2	101.0238	7.7711	2328.8022	0.0001	34.39
	G×E	26	140.6667	5.4103	1621.3249	0.0001	47.88
	残差 Residual	78	0.2603	0.0033			
	总变异 Total variation	125	293.7918				
单穗不孕小穗数 Sterile spikelets number per spike	G	13	0.3968	0.1984	388.2915	0.0001	1.07
	E	2	23.9365	1.8413	3603.3453	0.0001	64.32
	G×E	26	12.4921	0.4805	940.2628	0.0001	33.57
	残差 Residual	78	0.0399	0.0005			
	总变异 Total variation	125	37.2127				

表 3 灌溉次数对小麦农艺性状的影响

Table 3 Effects of irrigation times on wheat agronomic traits

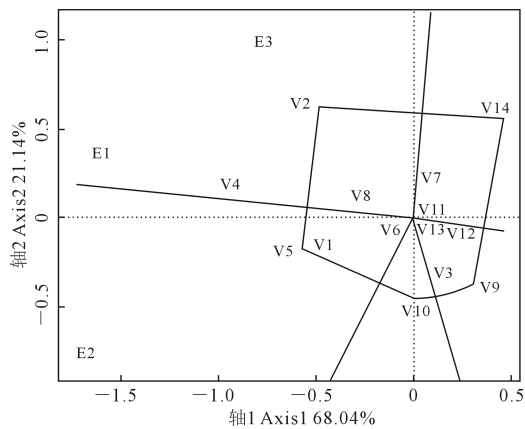
灌溉环境 Irrigation environment	小区产量 Plot yield (kg · hm ⁻²)	株高 Plant height/cm	单穗粒重 Grain weight per spike/g	单穗穗粒数 Kernel number per spike	单穗小穗数 Spikelets number per spike	单穗不孕小穗数 Sterile spikelets number per spike
E1	7147.58±369.88c	72.50±3.58c	1.40±0.17c	40.55±2.90c	17.60±1.30c	1.64±0.54a
E2	8627.75±428.10b	78.80±2.30b	1.81±0.29a	44.17±3.85a	18.12±1.29b	1.52±0.47b
E3	9588.96±298.39a	84.57±3.20a	1.77±0.30b	43.34±4.29b	18.17±1.55c	1.64±0.60a

注: E1、E2、E3 分别表示出苗后不浇水(E1);只浇拔节水(E2);浇 2 水,即拔节水+开花水(E3)。同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

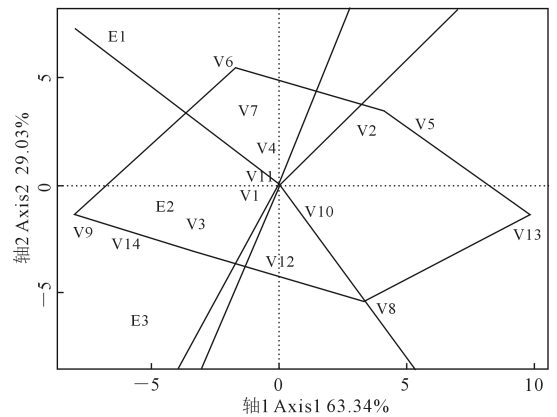
Note: E1, E2, and E3 respectively indicate no watering after emergence (E1); watering only in the jointing stage (E2); watering twice, namely jointing water + flowering water (E3). Different lowercase letters after the data indicate significant differences ($P < 0.05$).

(图 2A)。“角顶”基因型不同,连接成的多边形不同,个体农艺性状株高、单穗粒重、单穗穗粒数、单穗小穗数和单穗不孕小穗数性状双标图被分成不同的扇区,相同浇水环境中优势基因型不同(图 2B~F)。不同基因型品种(系)的株高 GGE 双标图中,V9、V12、V8、V13、V5、V6 和 G16 连接成的多边形, E1、E2、E3 几乎位于同一个扇区,其中 V9 在 3 种灌溉条件下株高最高,其他角顶品系 V12、V8、V13、V5 和 V6 株高相对较低(图 2B);单穗籽粒产量 GGE 双标图中 V9、V10、V14、V1、V2 和 V13 连接成的多边形分为两个扇区,环境 E1、E3 所在扇区中 V9 单穗粒重最高,其次为 V7, V14 在 E2 所在扇区

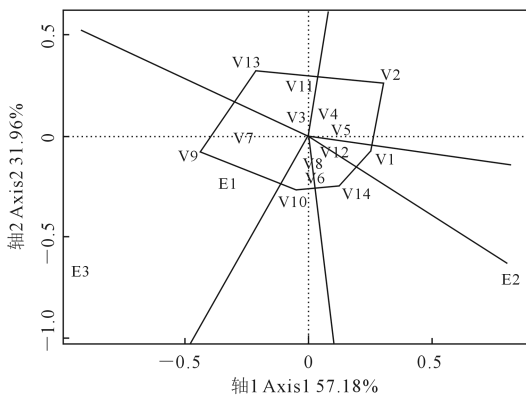
中单穗粒重最高,其他品系不在扇区范围内,单穗粒重相对较低(图 2C);单穗穗粒数 GGE 双标图中 V8、V6、V4、V10 连接成的多边形分为两个扇区,环境 E1、E2 组成的扇区中 V10 单穗穗粒数最多,环境 E3 中 V8 单穗穗粒数最多(图 2D);单穗小穗数 GGE 双标图中 V1、V3、V4、V6 和 V8 连接成的多边形分为两个扇区,环境 E1、E2 所在的扇区中 V3 单穗小穗数最多,环境 E3 所在的扇区中 V8 单穗小穗数最多,其他不在扇区环境的品系单穗穗粒数相对较少(图 2E);单穗不孕小穗数 GGE 双标图中 V1、V10、V9、V13 连接成的多边形分为不同扇区,环境 E1、E2、E3 同处于 1 个扇区,其中 V5 单穗不孕小穗数最多(图 2F)。



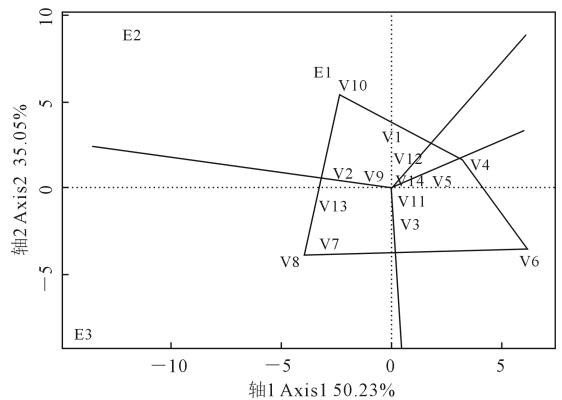
(A) 小区产量 Plot yield



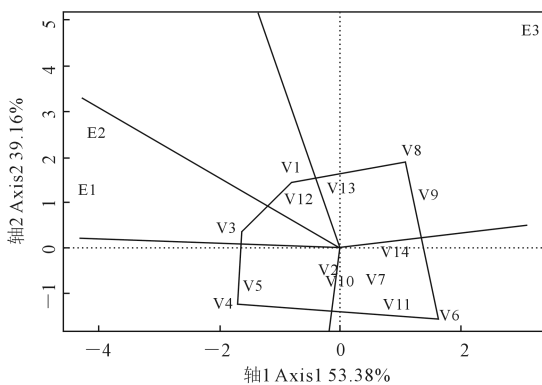
(B) 株高 Plant height



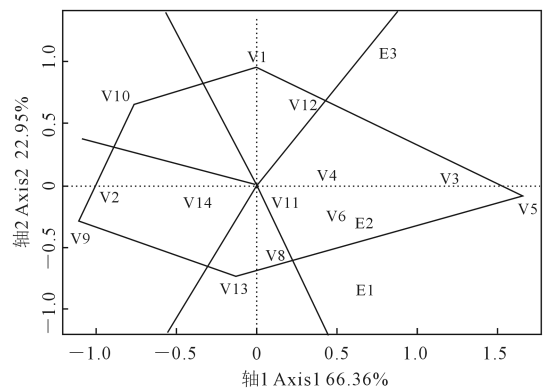
(C) 单穗粒重 Grain weight per spike



(D) 单穗穗粒数 Kernel number per spike



(E) 单穗小穗数 Spikelets number per spike



(F) 单穗不孕小穗数 Sterile spikelets number per spike

图 2 14 个小麦品种(系)群体产量和个体农艺性状适应性的 GGE 分析

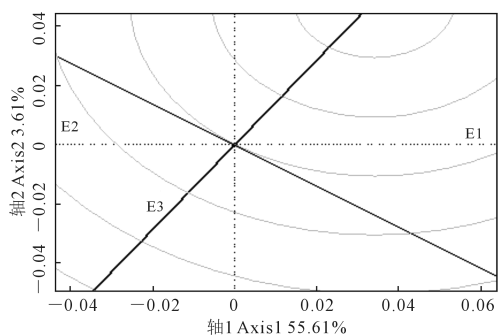
Fig.2 GGE analysis of population yield and individual agronomic traits adaptability of 14 wheat varieties (lines)

2.3 不同灌溉环境对个体农艺性状的代表性和鉴别力

GGE 分析方法可用于分析不同因素效应,在区域试验中,常用于综合评价试验点对品种选择的效率。本试验中不同灌溉次数形成不同环境条件,利用 GGE 分析方法的 Ranking environment 功能,对不同灌溉次数形成的环境鉴别力和代表性做出合理评价。以平均环境点为圆心画圆,得到的图形可综合考虑环境的区分力和代表性,越靠近中心圆的环境其区分力和代表性越好,由(图 3 左)可以看出,GGE 双标图上展示了试验真实信息的 59.22%。在不浇水的环境下(E1) 区分力和代表性最好,E3 和 E2 环境次之。

2.4 个体农艺性状在不同灌溉环境下的表现

对采用的各指标数据进行标准化处理后,可以



注:PH:株高;GWPS:单穗粒重;KNPS:单穗穗粒数;SNPS:单穗小穗数;SPNPS:单穗不孕小穗数。
Note: PH: Plant height; GWPS: Grain weight per spike; KNPS: Kernel number per spike; SNPS: Spikelets number per spike; SPNPS: Sterile spikelets number per spike

图 3 不同灌溉环境对小麦个体农艺性状的鉴别力、代表性(左)和适应性表现(右)

Fig. 3 Discriminating ability and representativeness (left) and adaptability of wheat individual agronomic traits (right) under different irrigation environments

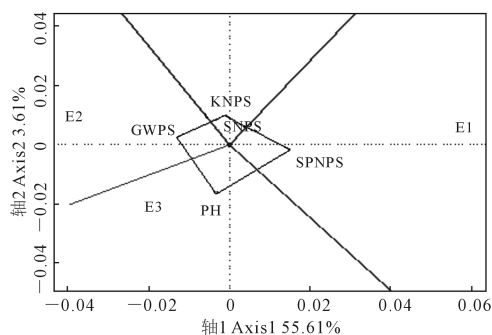
3 讨论

3.1 不同灌溉次数对小麦不同品种(系)农艺性状选择的影响

许多品种试验数据分析都是基于产量、品质或抗性单个性状的数据,育种实践中经常需要同时考虑多个相关联性状。基于单一性状及其关联性状分析得出的结论往往比单一性状分析的结论更合理^[26-27]。不同浇水环境按照小麦单一产量性状分析,仅能够得出品系群体产量数据,不能从群体产量中获得株高、单穗粒重、单穗穗粒数、单穗小穗数及单穗不孕小穗数等个体性状数据和影响这些数据的主要原因。

对小麦在 3 种不同灌溉环境下不同品种(系)群体产量性状和个体农艺性状的分析发现,其基因型、环境、基因型与环境互作差异均达到了极显著水平,表明以上 3 个因素均需要进一步分析。3 个因素的效应值不同,表明性状遗传变异的大小、环

认为这些指标在各个处理中具有同等重要的作用。把性状顶点用直线连接起来,形成一个包含个体农艺性状如株高、单穗粒重、单穗穗粒数、单穗小穗数及单穗不孕小穗数等 6 个性状的多边形,从原点(0, 0)起作各边的垂线,把整个双标图分为若干个扇区,不同的指标落于不同环境分区,每个浇水环境分区的顶角处理即为该扇区所代表环境下表现值最大的性状。(图 3 右)中显示,第 1 主成分的效应为 $PC1 = 55.61\%$,第 2 主成分的效应为 $PC2 = 3.61\%$,GGE 双标图上展示了试验真实信息的 59.22%。不同性状最大值表现的分区不同,单穗不孕小穗数(SPNPS)落于 E1 环境分区;株高(PH)落于 E3 环境扇形分区,单穗粒重(GWPS)落于 E2 扇形分区,单穗小穗数(KNPS)和单穗穗粒数(KNPS)落于环境 E1 和 E2 分区之间的扇形分区。



境影响程度及二者的互作效应不同,这些信息均有利于新品种选育。基因型效应(G)的变异范围为 1.07%~60.17%,其中株高基因型效应(G)表现最大值为 60.17%,这与育种实践也是一致的,株高值较大的品种(系)在不同环境下总是表现相对较高。单穗不孕小穗数基因型效应(G)最小值为 1.07%,其环境效应和互作效应值较大,因此,育种选择时可以适当放宽选择标准。环境效应(E)的变异范围为 14.42%~86.97%,表明环境效应对小麦农艺性状的影响一般是比较高的,其中产量环境效应(E)最大值为 86.97%,表明产量性状受到环境影响较大,广适性品种选择难度大。株高性状环境效应(E)最小为 14.42%。基因型×环境互作效应(GE)的变异范围为 4.33%~47.88%,其中单穗小穗数互作效应最大值为 47.88%,群体产量互作效应值最小为 4.33%,这也表明在不同环境下明确不同品种性状互作效应的必要性。

小麦不同品种(系)群体产量性状及个体农艺性状如株高、单穗粒重、单穗穗粒数、单穗小穗数及单穗不孕小穗数在不同环境下表现不同,小麦新品种的选育需选出高产、稳产同时具有较好农艺性状的基因型。因基因型、环境、基因型与环境互作对各产量组分决定程度有差异,反映在产量适应性的双标图中,多边形有相似和不同。依照 GGE 产量适应性对参试品系的分析,V2、V8 在环境 E1、E3 产量较高,V5、V1、V6 在环境表现较高,其他品种产量相对较低。V9、V14 的株高性状在 E1、E2、E3 环境下较高,其他品种较低。单穗粒重 V9、V7 在环境 E1、E3 中表现较好,品种 V10、V14、V1、V5、V6、V8 在环境 E2 中表现较好。单穗粒数值 V10、V1、V12 在环境 E1、E2 中较大,V8、V7、V13 在环境 E3 中表现较高。V8、V9、V13 在环境 E3 中单穗小穗数值较大,V3、V5、V4 在环境 E1、E2 中单穗小穗数值较大。V3、V5 在不同灌溉环境下单穗不孕小穗数值均加大。本试验节水小麦新品种(系)的选育是选择产量在 3 种灌溉环境中均表现较好的高产稳产品种(系),产量群体性状是由个体农艺性状组成,最优选择品种(系)当然是株高适中、单穗粒重、单穗穗粒数及单穗小穗数较大,同时单穗不孕小穗数较少的品种(系)。前期研究得到理想品种(系)的顺序为 V5>V1>V8>V6>V2^[28],但其只研究了产量适应性,没有研究小麦其他农艺性状。可见,选育生产中综合性状优良的小麦新品种(系),不仅要分析产量性状,还要分析个体农艺性状,才能更全面地对小麦新品种(系)做出评价。

3.2 不同灌溉次数对小麦环境评价能力和性状表达程度的影响

GGE 双标图方法常用于理想试点的评价,理想的试验地点应当具备两个条件,即对参试品种有较强的鉴别力和对目标生态区有较强的代表性。本研究中把小麦个体性状如株高、单穗粒重、单穗穗粒数、单穗小穗数及单穗不孕小穗数与不同灌溉环境结合起来分析(图 3),可以发现 E1 环境对个体性状有较强的鉴别力和代表性,更有利于性状的选择和评价。本试验已发现环境 E1 更有利于对品种丰产性和稳产性的评判^[28]。由此推断,在不同灌溉环境下,适当干旱胁迫不仅有利于产量性状选择,也有利于个体农艺性状评价。当前,有关旱地节水品种选择,多采用水-旱交替选择的方法,也有的育种者提出“旱地品种水地选”的观点,即把水地中丰产性较好、抗倒伏性相对较差的品种推荐到旱地参加试验。本文从理论上证明适度干旱更有利于抗旱节水品种的选择,

在旱地中选择抗旱节水高产品种应为大概率事件。

小麦新品种(系)不同个体性状在不同灌溉环境下表达程度不同。本文以灌溉环境与小麦个体农艺性状构建了二维双标图,结合常用的联合方差分析法,初步探讨了小麦节水育种农艺性状选择的理论基础。GGE 双标图可全面地显示二向数据的信息,将灌溉环境处理与不同基因型性状变量之间的互作直观地展现出来,并对原始数据提供了更多的解释。由图 3 可以看出 E1 环境有利于单穗不孕小穗数的表达,E2 有利于单穗粒重的表达,E3 有利于株高的表达。结果表明在不同灌溉条件下,不同性状表达程度不同,在兼顾性状平衡的基础上,于不同环境条件下选择不同侧重点的性状,可以更有利于提高选择效率。

4 结 论

本研究表明,在不同灌溉环境下,节水型小麦新品种(系)均存在基因型效应(G)、环境效应(E)和基因型×环境互作效应(GE)且均表现为极显著差异($P < 0.05$),基因型效应(G)的变异范围为 1.07%~60.17%,环境效应(E)的变异范围为 14.42%~86.97%,基因型×环境互作效应(GE)的变异范围为 4.33%~47.88%;小麦新品种(系)不同个体性状在不同灌溉环境下表达程度不同,E1 环境有利于单穗不孕小穗数的表达,E2 有利于单穗粒重的表达,E3 有利于株高的表达;不同环境对群体产量性状和个体农艺性状的鉴别力和代表性不同,E1 环境比 E2、E3 环境更有利于性状的选择和评价。

参 考 文 献:

- [1] 刘莉,裴磊,卫云宗.抗旱节水小麦分子遗传育种研究进展[J].分子植物育种,2020,18(1):282-295.
LIU L, PEI L, WEI Y Z. Research advances in molecular breeding of drought resistance and water saving in wheat[J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(1): 282-295.
- [2] 李学军,王辉,闵东红,等.西北地区高产节水小麦品种选育方法的探讨[J].干旱地区农业研究,2002,20(1):128-131.
LI X J, WANG H, MIN D H, et al. Study on selection methods of high-yielding and water-saving wheat varieties in Northwest areas[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2002, 20(1): 128-131.
- [3] 吴永成,周顺利,张永平,等.节水高产小麦理想全株型探讨[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):126-129.
WU Y C, ZHOU S L, ZHANG Y P, et al. Discussion of plant shapes of high-yield and water-saving wheat[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(2): 126-129.
- [4] 张永平,王志敏,张英华,等.节水栽培条件下不同粒叶比小麦的光合性能研究[J].麦类作物学报,2009,29(5):859-866.
ZHANG Y P, WANG Z M, ZHANG Y H, et al. Photosynthetic performance of wheat varieties with different grain-leaf ratio under limited irrigation[J]. Journal of Triticeae Crops, 2009, 29(5): 859-866.

- [5] 张雅倩,林琪,刘家斌,等.干旱胁迫对不同肥水类型小麦旗叶光合特性及产量的影响[J].麦类作物学报,2011,31(4):724-730.
ZHANG Y Q, LIN Q, LIU J B, et al. Effects of drought stress on photosynthetic characteristics and yield of different fertilizer and water types of wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2011, 31(4): 724-730.
- [6] YAN W K, HUNT L A, SHENG Q L, et al. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot[J]. Crop Science, 2000, 40(3): 597-605.
- [7] YAN W K, FRÉGEAU-REID J, PAGEAU D, et al. Geno-type-by-environment interaction and trait associations in two genetic populations of oat [J]. Crop Science, 2016, 56(3): 1136-1145.
- [8] VAN EEUWIJK F A, MALOSETTI M, YIN X Y, et al. Statistical models for genotype by environment data: from conventional ANOVA models to eco-physiological QTL models[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 2005, 56(9): 883-894.
- [9] DELACY I H, REDDEN R J, BUTLER D G, et al. Analysis of line x environment interactions for yield in navy beans. 3.Patter analysis of environments over years [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 2000, 51(5): 619-628.
- [10] 张志芬,付晓峰,刘俊青,等.用GGE双标图分析燕麦区域试验品系产量稳定性及试点代表性[J].作物学报,2010,36(8):1377-1385.
ZHANG Z F, FU X F, LIU J Q, et al. Yield stability and testing-site representativeness in national regional trials for oat lines based on GGE-Biplot analysis[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(8): 1377-1385.
- [11] 柴继宽,慕平,赵桂琴.8个燕麦品种在甘肃的产量稳定性及试点代表性研究[J].草地学报,2016,24(5):1100-1107.
CHAI J K, MU P, ZHAO G Q. Study on yield stability and test site representativeness of eight oat varieties in Gansu Province[J]. Acta Agrestia Sinica, 2016, 24(5): 1100-1107.
- [12] 柳娜,曹东,王世红,等.基于GGE双标图的甘肃春小麦区试品系稳产性和试点代表性分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(4):39-48.
LIU N, CAO D, WANG S H, et al. Yield stability and testing-site representativeness of regional trials for spring wheat lines in Gansu based on GGE-biplot[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2018, 46(4): 39-48.
- [13] 常磊,柴守玺.GGE双标图在我国旱地春小麦稳产性分析中的应用[J].中国生态农业学报,2010,18(5):988-994.
CHANG L, CHAI S X. Application of GGE biplot in spring wheat yield stability analysis in rainfed areas of China[J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2010, 18(5): 988-994.
- [14] 孟令聪,路明,王敏,等.GGE双标图模型在玉米新品种测试中的应用[J].玉米科学,2019,27(3):30-34.
MENG L C, LU M, WANG M, et al. Application of GGE-biplot in joint testing of new maize cultivars[J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(3): 30-34.
- [15] 张毅.我国冬油菜区域试验品种的高产稳产和适应性分析[J].中国油料作物学报,2018,40(3):359-366.
ZHANG Y. Evaluation of yield stability and adaptability of varieties in national winter rapeseed regional trials in the lower reaches of Yangtze River Valley[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(3): 359-366.
- [16] 许乃银,荣义华,李健,等.GGE双标图在陆地棉高产稳产和适应性分析中的应用--以长江流域棉区国审棉花新品种鄂杂棉30为例[J].中国生态农业学报,2017,25(6):884-892.
XU N Y, RONG Y H, LI J, et al. Evaluation of upland cotton yield stability and adaptability using GGE-biplot analysis: a case study of Ezmanian 30 cotton cultivar in Yangtze River Valley[J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2017, 25(6): 884-892.
- [17] 周长军.双标图法对大豆品系和试点的评价及各农艺性状相关性的分析[J].黑龙江农业科学,2012,(1):7-10.
ZHOU C J. GGE-biplot evaluation on soybean lines adaptability and testing-site representativeness and the correlation analysis between main agronomic traits[J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2012,(1): 7-10.
- [18] 周长军,田中艳,李建英,等.双标图法分析大豆多点试验中品系产量稳定性及试点代表性[J].大豆科学,2011,30(2):318-321.
ZHOU C J, TIAN Z Y, LI J Y, et al. GGE-biplot analysis on yield stability and testing-site representativeness of soybean lines in multi-environment trials[J]. Soybean Science, 2011, 30(2): 318-321.
- [19] 张志芬,任长忠,杨海顺,等.基于SD-GGE双标图进行饲草燕麦品种归类和区域划分[J].中国农业大学学报,2021,26(5):10-21.
ZHANG Z F, REN C Z, YANG H S, et al. Variety classification and region division of forage oat varieties based on SD-GGE Biplot[J]. Journal of China Agricultural University, 2021, 26(5): 10-21.
- [20] TOLLO J A, OJWANG P P O, KARIMI R, et al. Genotype-by-environment interaction and stability of resistance in mungbean landraces against common bacterial blight across semi-arid environments [J]. Euphytica, 2020, 216(11): 175.
- [21] DAS A, GUPTA S, PARIHAR A K, et al. Delineating genotype × environment interactions towards durable resistance in mungbean against cercospora leaf spot (*Cercospora canescens*) using GGE biplot[J]. Plant Breeding, 2020, 139(3): 639-650.
- [22] 陈四龙,李玉荣,程增书,等.用GGE双标图分析种植密度对高油花生生长和产量的影响[J].作物学报,2009,35(7):1328-1335.
CHEN S L, LI Y R, CHENG Z S, et al. GGE biplot analysis of effects of planting density on growth and yield components of high oil peanut [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(7): 1328-1335.
- [23] 孙小妹,陈菁菁,陈年来.基于GGE双标图法的西瓜抗旱性鉴定评价方法[J].干旱地区农业研究,2017,35(1):233-239.
SUN X M, CHEN J J, CHEN N L. Evaluation methods on watermelon drought resistance on the basis of GGE biplot[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(1): 233-239.
- [24] 叶夕苗,程鑫,安聪颖,等.马铃薯产量组分的基因型与环境互作及稳定性[J].作物学报,2020,46(3):354-364.
YE X M, CHENG X, AN C C, et al. Genotype × environment interaction and stability of yield components for potato lines [J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(3): 354-364.
- [25] 崔顺立,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.
CUI S L, HE M J, HOU M Y, et al. Genotype × environment interactions for the quality traits of peanut varieties based on GGE biplot analysis[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2021, 43(4): 617-626.
- [26] 严威凯.农作物品种试验数据管理与分析[M].许乃银,金石桥,译.北京:中国农业科学技术出版社,2015:23-28.
YAN W K. Crop variety trials data management and analysis [M]. XU N Y, JIN S Q, translate. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2015: 23-28.
- [27] DIA M, WEHNER T C, HASSSELL R, et al. Genotype×environment interaction and stability analysis for watermelon fruit yield in the United States[J]. Crop Science, 2016, 56(4): 1645-1661.
- [28] 孙宪印,吕广德,闫晓蕾,等.不同节水型小麦新品系籽粒产量对浇水因子相应的综合评判[J].干旱区资源与环境,2021,35(1):128-134.
SUN X Y, LV G D, QI X L, et al. Comprehensive evaluation on the response of different water-saving wheat new strains' grain yield to watering factors[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2021, 35(1): 128-134.