

谷子产量与农艺性状的相关分析及 GGE 双标图分析

牛银亭¹, 鞠乐¹, 曹双¹, 秦家范², 杨阳¹, 李君霞³

(1. 南阳市科学院 河南 南阳 473000; 2. 洛阳市农林科学院, 河南 洛阳 471000; 3. 河南省农业科学院, 河南 郑州 450000)

摘要: 本研究通过 2023 年河南省谷子联合体试验产量与农艺性状的相关性分析及参试品种与试验点环境间的互作关系, 科学评价了参试品种与试点, 为品种审定及试点遴选提供理论依据。结果表明: 谷子产量与单穗重、穗粒重呈显著的正相关, 对参试品种进行聚类分析, 当欧式距离为 9.5 时, 可分成四类, 第一类群包括 10 个品种, 这类品种植株高大、穗长、出谷率和千粒重高, 第二类群包含 4 个品种, 这类品种出米率高, 第三类群包含 8 个品种, 这类品种产量高、单穗码粒数多、单穗重和穗粒重大, 第四类群仅有 1 个品种, 穗短穗粗、抗旱性好、抗谷瘟病。用 GGE 双标图对参试品种的高产稳产性、品种与试验点环境间的关系、各试点的代表性进行了分析, 筛选出的理想品种为 G2、G5、G21 等, 能有效地选择高产稳产品种的试点是南阳市科学院、林州市农业科学研究所、安阳市农业科学院、河南省农业科学院、洛阳市农林科学院宜阳试点。

关键词: 谷子; 农艺性状; GGE 双标图; 分析

中图分类号: S515 文献标识码: A 文章编号: 0488-5368(2026)02-0024-06

Correlation Analysis Between Yield and Agronomic Traits in Foxtail Millet and GGE Biplot Analysis

NIU Yinting¹, JU Le¹, CAO Shuang¹, QIN Jiafan², YANG Yang¹, LI Juxia³

(1. Nanyang Academy of Sciences, Nanyang, Henan 473000, China; 2. Luoyang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Luoyang, Henan 471000, China; 3. Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450000, China)

Abstract: Yield - trait correlations were analyzed using data from a 2023 multi-location foxtail millet trial in Henan Province, and the genotype \times environment (G \times E) interaction between tested varieties and trial locations was evaluated. The scientific evaluation of varieties and trial locations provides a theoretical basis for variety approval and site selection. The results showed that foxtail millet yield was significantly and positively correlated with single-panicle weight and grain weight per panicle. Cluster analysis of the tested varieties indicated that the accessions could be classified into four groups at an Euclidean distance threshold of 9.5. The first group included 10 varieties characterized by tall plants, long panicles, high yield, and high thousand-grain weight. The second group included four varieties with a high milling recovery (grain recovery) rate. The third group included eight varieties with high yield, high grain number per panicle, high single-panicle weight, and high grain weight per panicle. The fourth group contained only one variety, characterized by short and thick panicles, good drought tolerance, and resistance to blast. The high and stable yield performance of the tested varieties, their relationships with trial environments, and the representativeness of each trial location were further assessed using GGE biplot analysis. The ideal varieties identified included G2, G5, and G21. The trial locations that effectively discriminated high-yield and stable varieties included Nanyang Academy of Sciences, Linzhou Agricultural Science

收稿日期: 2025-02-05 修回日期: 2025-04-21

基金项目: 河南省重点研发专项(231111110300); 财政部/农业农村部国家现代农业产业技术体系专项资金项目(nycyt-CARS-06); 河南省农科院科技创新团队项目(2022KJCHXTD33); 河南省农业良种攻关项目(2022010401)。

第一作者简介: 牛银亭(1975-), 男, 副研究员, 主要从事谷子新品种选育及栽培研究。

通信作者: 李君霞。

Research Institute, Anyang Academy of Agricultural Sciences, Henan Academy of Agricultural Sciences, and Luoyang Academy of Agricultural and Forestry Sciences (Yiyang).

Key words: Foxtail millet; Agronomic traits; GGE biplot; Analysis

河南省谷子以籽粒饱满、色泽金黄、口感香甜著称,是优质的粮食作物之一,在食品、饲料、酿造等领域具有广泛的应用。河南省谷子品种联合鉴定试验能客观反映参试谷子品种的丰产性、区域适应性、抗逆性、一致性、主要植物学特征及生物学特性,为河南省谷子品种登记、引种、示范推广和改进谷子育种提供参考。品种的稳产性和适应性受基因型与环境互作的影响较大,国内外的许多学者对此问题进行了广泛的研究并相继提出了多种分析方法,其中比较著名的模型有 AMMI(主效可加互作可乘)模型和 GGE-biplot 分析。AMMI 模型虽然在近些年得到了很多应用,但该模型仅仅分析了基因型与环境互作效应,没有考虑基因型效应,GGE-biplot 同时考虑了基因型和基因型与环境互作效应^[1]。自严威凯等^[2]提出将 GGE-biplot 用于区域试验数据分析之后,目前已在甘蔗^[3]、棉花^[4]、玉米^[5,6]、水稻^[7]、燕麦^[8]、烟草^[9]、马铃薯^[10]、向日葵^[11]、甜荞^[12]、冬大麦^[13]、小豆^[14]等农作物品种试验数据分析中得到了应用。本研究采用 Genstat 分析软件中 GGE-biplot 模块和 SPSS20 对 2023 年河南省谷子联合体试验进行了分析与评价,旨在探索谷子试验新的分析方法,为科学评价品种提供依据,对促进河南省谷子生产的发展和增加农民收入具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地点和试验品种(系)

2023 年河南省谷子联合鉴定试验试点共 6 个,分别是河南省农业科学院、安阳市农业科学院、南阳市科学院、林州市农业科学研究所、洛阳市农林科学院宜阳和伊川,代码分别用 zz、ay、ny、lz、ly 和 yc 表示;参试谷子品种(系)23 个代码用 G1、G2…G23 表示。

1.2 试验设计

试验采用随机区组排列,3 次重复,6~8 行区,行距 0.4m,小区面积不少于 20 m²,重复间设 1 m 观察道。收获时去掉边行,实收面积 13.34 m²。

1.3 数据处理

用 Microsoft Exce2007 进行数据处理,用 SPSS20 进行数据分析,用 Genstat 做双标图(北京维斯恩思软件有限责任公司提供试用)。

2 结果与分析

2.1 参试品种(系)的农艺性状及产量性状表现

2023 年各参试品种(系)在试验点表现差异较大,参试品种生育期在 85.3~91.0 d 之间,G17 最长;株高在 97.1~134.7 cm 之间,G17 最低,G23 最高;穗长幅度在 18.2~21.0 cm 之间,G11 的穗子最长,G10 穗子最短;穗粗在 2.02~2.49 cm 之间,G14 穗子最粗,G5 穗子最细;单穗码粒数在 74.40~119.63 粒之间,G20 的单穗码粒数最多,G14 的单穗码粒数最少;单穗重在 13.87~17.15 g 之间,G7 的单穗重最大,G17 单穗重最小;穗粒重在 10.92~13.52 g 之间,G7 的穗粒重最大,G17 穗粒重最小;千粒重幅度在 2.48~3.04g 之间,G5 和 G7 千粒重最大,G15 千粒重最小;出谷率在 76.83%~82.76%之间,G4 的出谷率最高,G16 出谷率最低;出米率在 70.70%~78.40%之间,G8 出米率最高,G23 出米率最低;小区产量在 6.32~8.51kg,G16 产量最高,G23 产量最低。将产量与农艺性状平均后详见表 1,其中抗旱性和谷瘟病都不是取平均值,抗旱性为 3 个重复中最差的,谷瘟病为 3 个重复中最重的。

2.2 谷子产量与主要农艺性状的相关性分析

用 SPSS20 对表 1 的数据进行相关性分析,结果如表 2 所示。从表 2 可以看出:谷子产量与穗长、株高、穗粗、单穗码粒数、单穗重、穗粒重、出谷率、千粒重、抗旱性呈正相关,其中谷子产量与单穗重、穗粒重呈显著的正相关,与单穗码粒数相关系数较高;谷子的产量与生育期、出米率、谷瘟病呈负相关,且与出米率、谷瘟病相关系数较高。

2.3 聚类分析

对参试品种(系)的农艺性状和产量进行系统聚类分析,分析结果如图 1 所示。各类群性状平均值统计如表 3 所示,当欧式距离为 9.5 时,可分成四类,第一类群包括 10 个品种,分别为 G1、G2、G4、G5、G7、G8、G9、G19、G21、G23,它们大部分产量较高、植株高大、生育期长、穗长、出谷率高、千粒重高、单穗重和穗粒重较大;第二类群包含 4 个品种,为 G3、G10、G14、G22,这类品种大部分植株较高、单穗码粒数少、出米率高、产量较低;第三类群包含 8 个品种,分别为 G6、G11、G12、G13、G15、

G16、G18、G20,这类品种大部分产量高、单穗码粒数多、单穗重和穗粒重大、谷瘟病重;第四类群仅有

1 个品种,为 G17,生育期短、植株低、产量低、穗短穗粗、单穗重和穗粒重小、抗旱性好和抗谷瘟病。

表 1 参试品种(系)的农艺性状和产量

参试品种	生育期 /d	穗长 /cm	株高 /cm	穗粗 /cm	单穗码粒数	单穗重 /g	穗粒重 /g	出谷率 /%	出米率 /%	千粒重 /g	抗旱性 /级	谷瘟病 /级	小区产量/kg
G1	88.8	20.5	133.3	2.32	94.01	14.92	11.87	80.67	73.80	2.84	2	4	7.25
G2	89.2	19.5	123.1	2.36	96.06	15.57	12.73	81.72	73.65	2.80	2	1	7.95
G3	86.7	20.8	112.6	2.33	88.69	14.82	11.57	78.10	77.40	2.90	4	1	7.13
G4	90.3	19.6	124.6	2.24	94.89	15.55	12.80	82.76	74.90	2.80	4	4	7.10
G5	88.9	19.6	126.3	2.02	84.97	15.29	12.49	81.40	70.90	3.04	2	1	7.91
G6	87.2	19.5	113.8	2.37	115.91	14.66	11.77	80.05	75.00	2.65	2	4	7.01
G7	88.8	20.6	126.5	2.24	101.64	17.15	13.52	79.20	77.10	3.04	2	3	7.30
G8	89.0	19.8	127.3	2.23	90.38	16.20	13.05	80.67	78.40	2.90	3	1	7.09
G9	89.9	20.6	127.0	2.23	89.94	14.21	11.10	78.42	73.80	2.68	4	1	7.22
G10	88.2	18.2	124.2	2.14	76.20	14.17	11.72	82.58	77.40	2.78	3	4	6.51
G11	88.6	21.0	117.9	2.25	105.40	15.16	12.53	82.22	74.05	2.86	2	4	7.20
G12	88.0	19.3	119.0	2.34	115.28	15.39	12.28	80.1	74.45	2.63	4	4	7.38
G13	88.5	19.7	121.7	2.19	107.62	16.16	13.27	82.42	72.35	2.71	2	2	7.59
G14	90.0	20.1	125.5	2.49	74.40	13.96	10.93	78.4	75.70	2.91	2	2	6.50
G15	87.6	18.7	121.1	2.19	118.16	15.91	12.86	80.98	72.15	2.48	3	2	7.69
G16	88.7	20.8	122.3	2.44	112.23	16.16	12.31	76.83	73.50	2.86	4	1	8.51
G17	85.3	18.9	97.1	2.34	97.42	13.87	10.92	79.00	73.60	2.72	1	1	6.49
G18	88.7	20.2	121.9	2.26	110.43	16.69	13.14	79.17	73.20	2.88	2	4	6.89
G19	89.5	19.2	122.8	2.20	93.28	15.01	11.78	78.58	76.25	2.86	3	1	6.67
G20	88.2	20.8	108.3	2.27	119.63	16.62	12.88	77.57	75.60	2.68	2	3	7.30
G21	88.7	20.3	118.9	2.43	97.48	14.60	11.84	81.01	71.85	2.91	3	3	7.63
G22	90.0	19.8	115.4	2.12	82.79	15.67	12.55	79.89	72.90	2.63	2	3	7.38
G23	91.0	20.8	134.7	2.18	88.94	15.34	11.97	78.59	70.70	2.67	3	4	6.32

表 2 参试品种(系)产量与农艺性状的相关性分析

	生育期	穗长	株高	穗粗	单穗码粒数	单穗重	穗粒重	出谷率	出米率	千粒重	抗旱性	谷瘟病	产量
生育期	1												
穗长	0.294	1											
株高	0.752**	0.179	1										
穗粗	-0.222	0.262	-0.223	1									
单穗码粒数	-0.388	0.101	-0.328	0.208	1								
单穗重	0.166	0.273	0.158	-0.235	0.518*	1							
穗粒重	0.169	0.082	0.192	-0.369	0.447*	0.925**	1						
出谷率	0.053	-0.460*	0.190	-0.358	-0.109	-0.055	0.323	1					
出米率	-0.181	-0.071	-0.096	0.168	-0.166	0.009	-0.032	-0.124	1				
千粒重	0.128	0.327	0.260	0.081	-0.377	0.088	0.079	-0.013	0.274	1			
抗旱性	0.232	0.095	0.296	0.074	-0.008	-0.037	-0.098	-0.132	0.170	-0.100	1		
谷瘟病	0.164	0.063	0.156	-0.036	0.195	0.095	0.184	0.307	-0.075	-0.199	-0.072	1	
产量	-0.025	0.172	0.046	0.067	0.399	0.427*	0.441*	0.088	-0.316	0.075	0.178	-0.306	1

注: * 表示在 0.05 水平显著相关, ** 表示在 0.01 水平极显著相关。

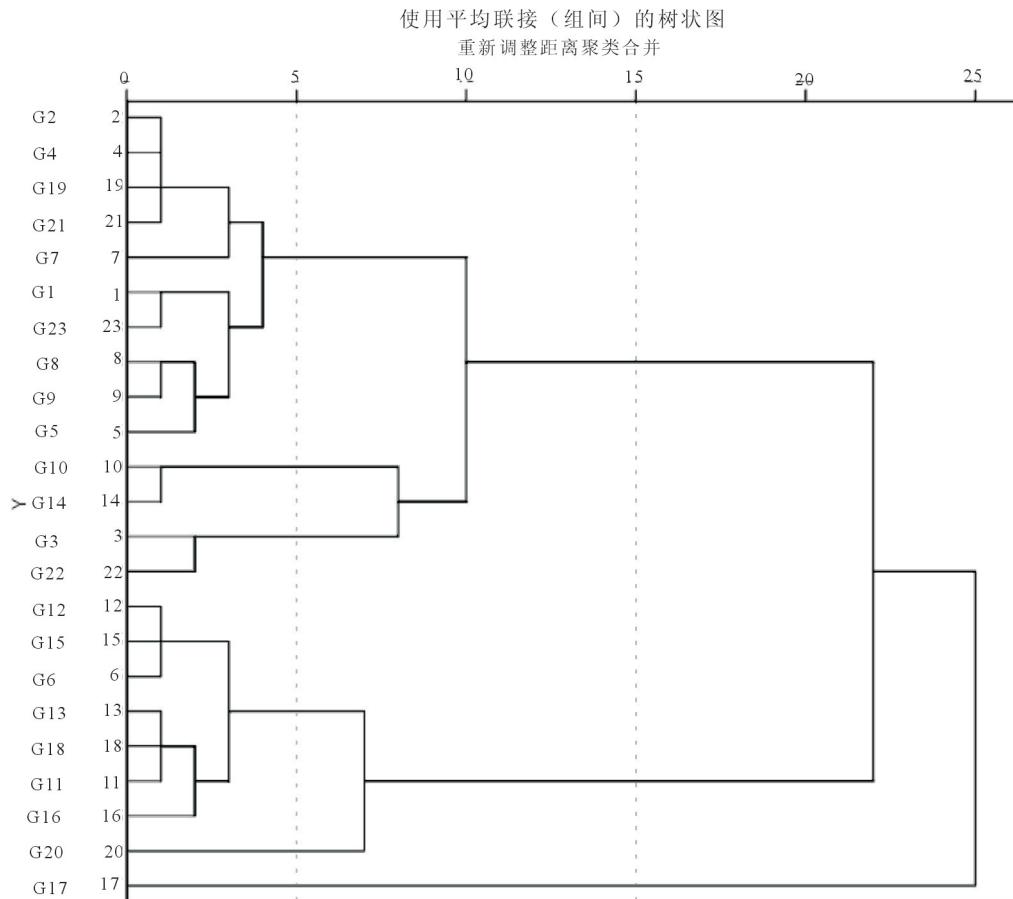


表 3 参试品种性状分类平均值

类群	生育期 /d	穗长 /cm	株高 /cm	穗粗 /cm	单穗码 粒数	单穗重 /g	穗粒重 /g	出谷率 /%	出米率 /%	千粒重 /g	抗旱性 /级	谷瘟病 /级	产量 /kg
第一类	89.4	20.1	126.5	2.25	93.16	15.38	12.32	80.30	74.14	2.85	2.8	2.3	7.24
第二类	88.7	19.7	119.4	2.27	80.52	14.66	11.69	79.74	75.85	2.81	2.8	2.5	6.88
第三类	88.2	20.0	118.3	2.29	113.08	15.84	12.63	79.92	73.79	2.72	2.6	3.0	7.45
第四类	85.3	18.9	97.10	2.34	97.42	13.87	10.92	79.00	73.6	2.72	1.0	1.0	6.49
平均值	88.69	19.9	121.1	2.27	98.08	15.35	12.26	80.01	74.29	2.79	2.7	2.5	7.22

2.4 GGE 双标图的应用分析

用 Genstat 分析软件中 GGE-biplot 模块,将参试 23 个品种和 6 个试点的产量做不同类型双标图进行分析。

2.4.1 参试谷子品种适宜种植区域分析 在图 2 中,扇区内的品种即为该扇区的适宜种植品种,该扇区即为这些品种的最适宜种植区域^[15]。图 2 表明,G4、G5、G13、G15、G16 和 G21 等品种适宜在河南省农科院、安阳市农业科学院、南阳市科学院、林州市农业科学研究所、洛阳市农林科学院宜阳所在

的地区种植;G7、G8、G11、G12 和 G22 等品种适宜在洛阳市农林科学院伊川种植;G2 位于两个扇区的交叉处,所以 G2 适宜所有参试地区种植。

2.4.2 参试试点区分力与代表性分析 在图 3 中,各试验点向量的长度代表了其区分能力的大小。试验点向量与平均环境向量间的角度度量了其目标环境的代表性,角度越小,表明该试点的代表性越强,角度越大,其代表性越弱。如果一个试验点与平均环境向量的夹角大于 90°,表明它不合作为试验点^[2]。图 3 表明,各试点区分力和代

表性有较大差异,南阳市科学院试验点有最强的品种区分能力,林州市农业科学研究所区分能力较强,洛阳市农林科学院伊川试验点的区分能力差。河南省农业科学院的代表性最好,其次是南阳市科学院、洛阳市农林科学院宜阳和安阳市农业科学院较好,洛阳市农林科学院伊川试验点代表性最差。所有参加试验的 6 个点与平均环境向量的夹角都小于 90°,说明所选的 6 个试验点都符合试验要求,适合做试验点。

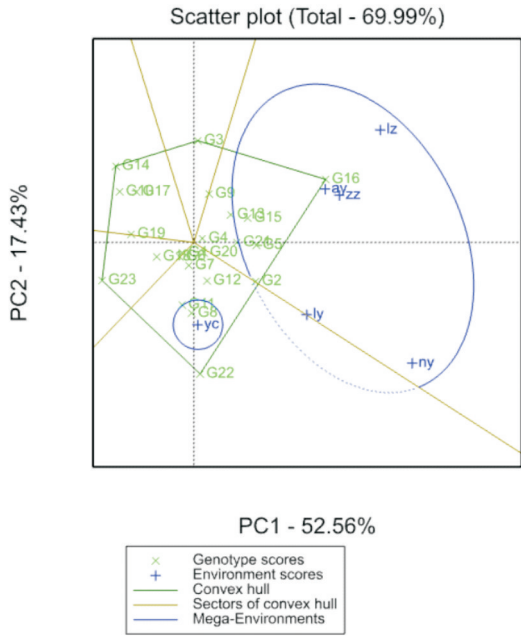


图 2 基于产量的参试品种适宜种植区域分析

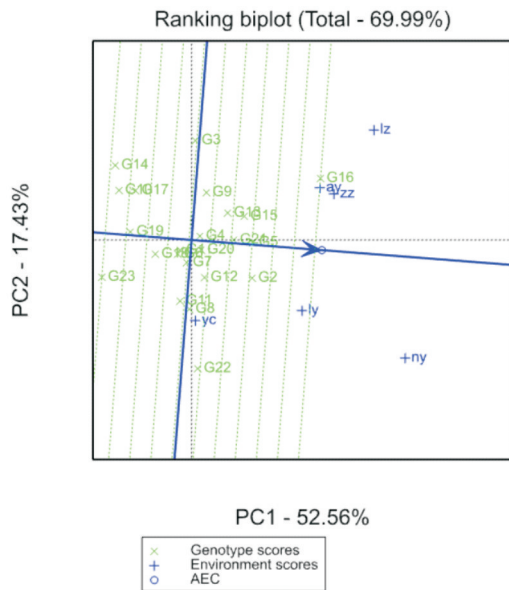


图 3 基于产量的参试试点区分力与代表性分析
有区分能力但代表性差的试验点可用于淘汰

不稳定的品种,但不利于选择优良品种,如洛阳市农林科学院伊川试验点。既有区分力又有代表性的试验点可用来有效地选择高产稳产品种,如南阳市科学院、林州市农业科学研究所、河南省农业科学院、洛阳市农林科学院宜阳、安阳市农业科学院等试点。

2.4.3 参试品种的丰产性和稳产性分析 在特定的生态区内,理想的品种应当为既高产又稳产的品种^[2]。在图 4 中也需要环境平均轴(带箭头的直线)和平均环境值(直线上圆圈表示),还有一条通过中心与环境平均轴垂直的直线。将品种点和平均环境轴做一条垂线。

环境平均轴所指的方向是品种在所有环境下的近似平均产量的走向。由图 4 可知,G16 产量最高,其次是 G2、G5、15、G21;产量最低的是 G23,其次是 G14、G10、G19、G17。G3、G7 和 G8 的产量都接近试验总产量的平均值。

通过中心(原点)与平均轴垂直的线代表个品种与各环境相互左右的倾向性。品种与平均环境之间的垂线越长,表示品种越不稳定。由图 4 可知,G22 最不稳定,距平均环境轴最远,其次是 G3、G14、G8、G16。比较稳定的是 G19、G4、G5、G21 等品种距平均环境轴最近,产量稳定。

综合品种产量和稳定的指标,可以看出 G5、G21 是一个比较高产稳产的品种,安 G16 也高产,但是不太稳产。虽然 G19 很稳产(它几乎就在平均环境轴上面),但是产量低。

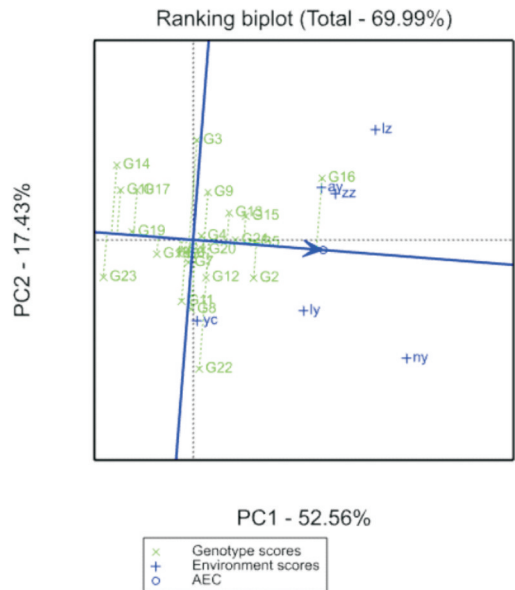


图 4 基于产量的参试品种丰产性和稳产性分析

3 结论与讨论

谷子产量与单穗重、穗粒重呈显著的正相关,这与刘婷婷、赵云^[16,17]等研究相同。对参试品种进行聚类分析,当欧式距离为 9.5 时,可分成四类,第一类群包括 10 个品种,这类品种植株高大、生育期长、产量较高、穗长、出谷率高、千粒重高;第二类群包含 4 个品种,这类品种大部分植株较高、单穗码粒数少、出米率高、产量较低;第三类群包含 8 个品种,这类品种大部分产量高、单穗码粒数多、单穗重和穗粒重大、谷瘟病重;第四类群仅有 1 个品种,植株低,产量较低、穗短穗粗、单穗重和穗粒重较小、抗旱性好和抗谷瘟病。

GGE 双标图直观地展示了河南省 2023 年河南省谷子联合体试验中各品种丰产性、稳产性的表现及各试验点的区分力和代表性;筛选出理想品种为 G2、G5、G21 等,并划分出各品种最适宜种植的区域,同时筛选南阳市科学院、林州市农业科学研究所、河南省农业科学院、安阳市农业科学院、洛阳市农林科学院宜阳 5 个试点可用来有效地选择高产稳产品种。大田试验受气候和环境因素影响较大,且存在年度间差异^[18,19],试验仅用一年数据对参试品种和试点进行评价,结论有待验证;要实现河南省谷子联合体试验的试点区分力和代表性的准确评价尚需进一步研究。

参 考 文 献:

[1] 李武,谢德意,赵付安,等. GGE 双标图对短季棉新品系和试点的评价及产量相关性状分析[J]. 浙江农业科学,2014(8):1 157-1 159.

[2] 严威凯. 双标图分析在农作物品种多点试验中的应用[J]. 作物学报,2010,36(11):1 805-1 819.

[3] 罗俊,许莉萍,邱军,等. 基于 HA-GGE 双标图的甘蔗试验环境评价及品种生态区划分[J]. 作物学报,2015,41(2):214-227.

[4] 吴晓东,李海燕,王天硕,等. GGE 双标图法评价辽棉 50 的丰产性稳产性及适应性[J]. 中国棉花,2024,51(7):33-37.

[5] 黄佳亮,姜龙,宁夕琳,等. 基于 GGE 双标图对吉科糯 20 的丰产稳产性及适应性分析[J]. 种子,2024,

43(12):115-122+127.

[6] 唐义,刘建新,李清超,等. 基于 GGE 双标图的玉米丰产稳产及适应性研究[J]. 中国农学通报,2024,40(18):9-13.

[7] 姜秀英,马作斌,王庆新,等. 基于 R 语言的 GGE 双标图在水稻品种区域试验中的应用[J]. 中国稻米,2024,30(2):57-60+67.

[8] 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):1 377-1 385.

[9] 陈志厚. GGE 双标图对抗寒烤烟品种区域试验的分析[J]. 中国农学通报,2013,29(16):139-142.

[10] 石强,李亚杰,范士杰,等. 贵州省马铃薯区试品种产量与农艺性状的 GGE 双标图分析[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(2):5-15.

[11] 王启杰,姜艳,王鹏,等. 基于 GGE 双标图对向日葵品种丰产性和稳定性的综合评价[J]. 干旱区资源与环境,2023,37(1):127-135.

[12] 李琴琴,高乙萍,张志芬,等. 甜荞品种稳定性和试验地点相似性的 GGE 双标图[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(1):67-70.

[13] 赵锋,潘永东,包奇军,等. GGE 双标图在甘肃省啤酒大麦区域试验分析中的应用[J]. 甘肃农业科技,2021,52(9):8-12.

[14] 张春明,赵雪英. 用 GGE 双标图分析区域试验中小豆品系的高产稳产性及适应性[J]. 农学学报,2013,3(1):6-9.

[15] 何叔军,王宇清,陈浩东. GGE 双标图在湖南省棉花品种区域试验中的应用[J]. 中国农学通报,2015,31(12):273-278.

[16] 刘婷婷,郝曦煜,王辉,等. 吉林西部半干旱地区不同谷子品种产量与农艺性状的分析[J]. 中国农业科技导报(中英文),2025,27(1):50-60.

[17] 赵云,冯国郡,胡相伟,等. 复播谷子品种主要农艺性状及产量分析[J]. 新疆农业科学,2023,60(10):2 453-2 460.

[18] 曹元元,丁逸帆,左示敏,等. 基于 GGE 双标图和 AMMI 模型对江苏省水稻区试品种的丰产性和稳定性分析[J]. 种子,2021,40(6):38-43.

[19] 吴晓东,李海燕,王天硕,等. GGE 双标图法评价辽棉 50 的丰产性稳产性及适应性[J]. 中国棉花,2024,51(7):33-37.