

基于 AMMI 模型和 GGE 双标图的西北春玉米品种的稳定性和适应性分析

陈茂功¹, 焦钰舰², 张乾昌², 刘兴军², 孟丹丹², 赵向田³

(1. 北京中地种业研究院有限公司, 北京 100000; 2. 张掖市易农农业科技有限公司, 甘肃 张掖 734000; 3. 张掖市农业科学研究院, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 评价西北春玉米区各品种的丰产性、适应性和稳定性以及不同地区的鉴别力和代表性, 为西北春玉米区选择适宜品种提供参考。通过 AMMI 模型和 GGE 双标图线性统计模型 2 种分析方法, 对玉米新品种 ZD2008、ZD2139、ZD2141、ZD2230 和对照品种先玉 335 在 2021—2022 年开展的西北春玉米区绿色通道试验中白银市景泰县、临夏州临夏县、平凉市崆峒区、庆阳市庆城县、武威市凉州区、张掖市甘州区、银川市永宁县、中卫市中宁县、延安市黄陵县、榆林市靖边县等 10 个试点的试验数据进行适应性和稳定性综合分析。结果表明, 试验各品种间、各试点间的差异均达到了显著水平, 且参试玉米品种与试点间的互作效应也达到了显著水平, 其中试验地点以张掖市甘州区的稳定性最好, 参试玉米品种以 ZD2141 的稳定性最好。GGE 双标图线性统计模型反映出玉米品种 ZD2141 在白银市景泰县、银川市永宁县、中卫市中宁县、延安市黄陵县、榆林市靖边县等试点的表现较好; 玉米品种 ZD2139 在平凉市崆峒区、庆阳市庆城县、武威市凉州区、张掖市甘州区等试点的表现较好, 说明这 2 个品种具有较广泛的适应性, 建议加以推广。

关键词: 西北春玉米; 品种; AMMI 模型; GGE 双标图; 稳定性; 适应性

中图分类号: S513

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)02-0148-06

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2025.02.009

Analysis of Stability and Adaptability of Spring Maize Varieties in Northwest China Based on AMMI Model and GGE Biplot

CHEN Maogong¹, JIAO Yujian², ZHANG Qianchang², LIU Xingjun², MENG Dandan², ZHAO Xiangtian³

(1. Beijing Zhongdi Seed Industry Research Institute Co., Ltd., Beijing 100000, China; 2. Zhangye Yinong Agricultural Science and Technology Co., Ltd., Zhangye Gansu 734000, China; 3. Zhangye Academy of Agricultural sciences, Zhangye Gansu 734000, China)

Abstract: This study evaluated the yield potential, adaptability, and stability of maize varieties in the Northwestern Spring Maize region, as well as the discriminative power and representativeness of different regions, providing a reference for selecting suitable varieties for this region. Using two analysis methods, i.e., the AMMI model and the GGE biplot linear statistical model, this study conducted a comprehensive analysis of the adaptability and stability in maize new varieties ZD2008, ZD2139, ZD2141, ZD2230, and the control variety Xianyu 335. The analysis was based on experimental data from 10 sites in the Northwestern Spring Maize Green Channel Experiment conducted from 2021 to 2022 with Jingtai County of Baiyin City, Linxia County of Linxia Prefecture, Kongtong District of Pingliang City, Qingcheng County of Qingyang City, Liangzhou District of Wuwei City, Ganzhou District of Zhangye City, Yongning County of Yinchuan City, Zhongning County of Zhongwei City, Huangling County of Yan'an City and Jingbian County of Yulin City included. Results showed that the differences between experimental varieties and experimental sites were significant, and the interaction effects between the maize varieties and experimental sites were also significant. Among the experimental sites, Ganzhou District of Zhangye City showed the best stability, while among the maize varieties, ZD2141 demonstrated the best stability. The GGE biplot linear statistical model revealed that the maize variety ZD2141 performed well in experimental sites such as Jingtai County of Baiyin City, Yongning County of Yinchuan City, Zhongning County of Zhongwei City, Huangling County of Yan'an City, and Jingbian County of Yulin City. The variety ZD2139 performed well in experimental sites such as Kongtong District of Pingliang City, Qingcheng County of Qingyang City, Liangzhou District of Wuwei City, and Ganzhou District of Zhangye City, indicating that these two varieties have broad adaptability and are recommended for promotion.

Key words: Northwest spring maize; Variety; AMMI model; GGE biplot; Stability; Adaptability

收稿日期: 2024-02-26; 修订日期: 2024-12-05

基金项目: 甘肃省科技计划项目(23CXGG0060); 甘州区科技计划项目(区科发[2023]27号); 张掖市市级科技计划项目(ZY2023RC08)。

作者简介: 陈茂功(1982—), 男, 河北廊坊人, 农艺师, 硕士, 主要从事玉米育种与栽培工作。Email: 441958121@qq.com。

玉米是主要粮食作物也是重要的工业原料, 西北地区处于干旱半干旱地区, 光热资源较为丰富, 温差较大, 玉米生产具有较大增产潜力, 对国家粮食安全保障有重要意义。近年来随着高标准农田建设灌溉区基本完成水肥一体化改造, 西北地区成为我国玉米高产高效种植的典型区域。但西北地区属典型的雨养旱作区, 降水量少, 而且降水分布差别很大, 无效降水频率高, 尽管有良好的光热条件, 玉米产量仍然偏低。玉米生产因自然环境、水肥条件的差异而表现出较大的产量和适宜性差异, 因此筛选和推广丰产性、稳定性较好的西北春玉米品种尤为重要^[1-3]。在鉴定和筛选新品种的过程中需要经过多年多点试验来确定适宜玉米品种和最佳种植区域, 而 AMMI 模型和 GGE 双标图分析可以更科学准确地分析多年多点鉴定试验数据, 为优良品种的科学布局提供参考^[4-9]。

邵立刚等^[10]以 2004 年国家春小麦晚熟区域 12 个试点的 16 个参试品种的区域试验为依据, 采用方差分析对其丰产性、稳定性参数进行分析, 并对各参试品种在不同试点的丰产性、稳定性及适应性做出了综合评价; 俞世蓉^[11]采用稳定性、适应性参数对作物品种的稳定性和适应性进行评价; 李文仓等^[12]根据 2004—2005 年国家黄淮小麦区域试验的结果, 应用方差分析、变异系数、标准差及丰产性稳定性参数综合评价了各参试品种的丰产性、稳定性和适应性。上述方法均能够客观评价品种的产能性、稳定性和适应性, 为品种试验推广提供分析方法和依据。但以 AMMI 模型和 GGE 双标图分析在品种试验分析的适用性最广泛^[13-17], 其中 AMMI 模型分析通过从加性模型的残差中分离模型误差与干扰可以提高估计的准确性, 并且借助于偶图可以直观地描绘和分析基因型与环境交互作用的模式, 在由 AMMI 模型中显著的互作主成分轴构成的欧氏空间中, 地点和品种到原点的欧氏距离可以作为反映地点鉴别力和品种稳定性的指标^[6]; GGE 双标图线性统计模型则是利用 GGE biplot explorer 软件对品种、区试点进行全面的综合分析, 将基因型主效(G)与基因型与环境互作效应相结合, 形成基因型主效加基因型与环境互作效应模型(GGE), 并与双标图技术相互耦合形成的^[4]。因此, 在进行玉米品种分析

时主要使用 AMMI 模型和 GGE 双标图线性统计模型来分析玉米品种丰产性、适应性和稳定性, 以提高品种效应分析与评价的准确性。本研究选取中地种业集团自主选育的 4 个玉米新品种为参试品种, 以玉米品种先玉 335 为对照, 采用中地种业集团 2021—2022 年开展的西北春玉米区绿色通道试验数据对参试各玉米品种的稳定性和适应性进行综合分析评价, 利用 4 个参试玉米品种在不同地点的产量表现, 并且基于 AMMI 模型和 GGE 双标图分析得出参试品种在不同地点的适应性和稳定性参数, 为西北春玉米区选择适宜品种及最佳推广种植区域提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用中地种业集团自主选育的玉米新品种 ZD2008、ZD2139、ZD2141、ZD2230 为试验材料, 以甘肃省敦煌种业集团股份有限公司玉米品种先玉 335 为对照。

1.2 试验方法

试验时间为 2021—2022 年, 试验地点为西北春玉米区的 10 个试验点, 分别为白银市景泰县、临夏州临夏县、平凉市崆峒区、庆阳市庆城县、武威市凉州区、张掖市甘州区、银川市永宁县、中卫市中宁县、延安市黄陵县、榆林市靖边县, 分别用 E1、E2、E3、E4、E5、E6、E7、E8、E9、E10 来表示; 玉米品种 ZD2008、ZD2139、ZD2141、ZD2230、先玉 335 分别用 G1、G2、G3、G4、G5 表示。试验采用随机排列设计, 3 次重复, 小区面积为 20.01 m², 每小区的行长为 6.67 m, 行距 0.60 m, 5 行区。种植密度均为 82 500 株/hm²。收获时间均为不同试点对照品种先玉 335 成熟 2 d 后。

1.3 产量测定

收获时, 每个小区收中间 3 行(实收测产面积为 12.00 m²) 并记录收获穗数, 称取所有收获穗重进行测产, 按籽粒水分含量 140 g/kg 最终记录小区产量。

1.4 数据统计与分析

产量数据统一按照 140 g/kg 的水分折算进行分析。分析前使用 Excel 软件对试验数据进行整理, 运用 DPS 数据处理系统进行区域试验产量数据的方差分析、AMMI 模型分析和 GGE 双标图线

性统计模型分析，具体计算公式如下。

1.4.1 AMMI 模型

$$y_{ge} = \mu + \alpha g + \beta e + \theta_{ge} + \varepsilon_{ger} + \sum_{n=1}^N \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{en}$$

式中， y_{ge} 是在环境 e 中基因型 g 的产量； μ 为总体平均值； α 是基因型平均偏差； βe 是环境的平均偏差； θ_{ge} 为残差， ε_{ger} 为试验总体误差； λ_n 为第 n 个交互效应主成分分析轴； γ_{gn} 是第 n 个主成分的基因型主成分得分； δ_{en} 是第 n 个主成分的环境主成分得分(简称 PCA)； N 是主成分轴的总个数 [13-15]。

1.4.2 GGE 双标图线性统计模型

$$Y_{ger} = \mu + \beta e + \rho_{ge} + \varepsilon_{ger} + \sum \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{ge}$$

式中， Y_{ger} 为基因型 g 在环境 e 中第 r 个重复的产量值； μ 为总体的平均值； βe 为环境 e 的主效； ρ_{ge} 为基因型 g 在环境 e 的残差； ε_{ger} 为总体误差； λ_n 为第 n 个主成分的奇异值； γ_{gn} 为基因型 g 的第 n 个特征向量得分； δ_{ge} 为环境 e 的第 n 个特征向量得分；参数 $\lambda_n \gamma_{gn}$ 和 $\gamma_{gn} \delta_{en}$ 被分别定义为品种 g 和环境 e 的第 n 个 GGE 主成分得分(简称 IPCA) [13, 16-17]。

2 结果与分析

2.1 丰产性和稳定性分析

采用 AMMI 模型对 2021—2022 年各参试品种的稳定性进行分析，由表 1 可知，2021 年参试地点中小区平均产量 E7 试点最高，其余试点由高到低依次为 E6、E1、E2、E5、E4、E3、E10、E8、E9。2022 年参试地点中小区平均产量 E6 试点最

高，其余试点由高到低依次为 E1、E7、E8、E10、E9、E4、E3、E2、E5。变异系数越小，说明试点稳定性越好，根据 2021—2022 年各试点的变异系数显示，2 a 试验中以 E6 试点(张掖市甘州区试点)的稳定性最好；E8 试点(中卫市中宁县试点)、E9 试点(延安市黄陵县试点)的稳定性较好；E2 试点(临夏州临夏县试点)、E3 试点(平凉市崆峒区试点)的稳定性较差。

2.2 品种与试点互作效应分析

使用 DPS 数据处理系统对参试玉米品种进行 AMMI 模型互作效应分析，分析了品种和试点间的互作效应。由表 2 可知，2021 年品种间、试点间的差异均达到了显著水平，基因、环境的平方和分别占总变异平方和的 3.01%、86.28%，基因与环境互作效应的平方和占总变异平方和的 7.56%，说明在试验中环境因素对产量的影响较大。利用线性回归对互作效应进行分析可知，联合回归、基因回归和环境回归共解释了交互作用的 33.33%。利用 AMMI 模型对互作效应进行分析，得到 PCA1、PCA2、PCA3 等 3 个互作主成分，可解释互作效应的 79.48%，其中 PCA1 和 PCA2 分别解释了互作效应的 30.77%、28.20%，且均达到显著水平；PCA3 解释了互作效应的 20.51%，但未达到显著水平。2022 年参试玉米品种间、试点间的差异也均达到了显著水平，基因、环境的平方和分别占总变异平方和的 10.64%、83.76%，基因与环境互作效应的平方和占总变异平方和的 8.14%，同样说明在试验中环境因素对产量的影响较大；

表 1 2021—2022 年参试玉米品种各试点产量^①

试验地点	2021年		2022年	
	小区平均产量 /(kg/12.00 m ²)	变异系数 /%	小区平均产量 /(kg/12.00 m ²)	变异系数 /%
E1(白银市景泰县)	19.2	0.04	19.2	0.03
E2(临夏州临夏县)	16.6	0.06	15.9	0.07
E3(平凉市崆峒区)	14.2	0.05	16.2	0.11
E4(庆阳市庆城县)	15.1	0.04	16.5	0.05
E5(武威市凉州区)	16.0	0.04	15.5	0.06
E6(张掖市甘州区)	20.0	0.03	20.1	0.02
E7(银川市永宁县)	20.5	0.07	18.0	0.02
E8(中卫市中宁县)	13.8	0.04	17.5	0.02
E9(延安市黄陵县)	12.4	0.04	16.7	0.02
E10(榆林市靖边县)	13.9	0.04	17.2	0.04

①小区平均产量为该试点不同参试玉米品种的平均产量。

表 2 2021—2022 年参试玉米品种 AMMI 模型分析^①

方法	变异来源	自由度		平方和		均方		F 值	
		2021年	2022年	2021年	2022年	2021年	2022年	2021年	2022年
方差分析	总变异	53	52	378.45	128.43	7.720	2.713		
	基因	4	4	11.40	13.66	2.780	3.520	14.240 0*	10.926 0*
	环境	10	10	326.51	107.58	38.260	12.030	178.370 0*	33.759 3*
	交互作用	39	38	28.62	10.46	0.800	0.292	3.970 0*	0.829 5*
	误差	6	6	1.29	2.20	0.210	0.355		
线性回归分析	联合回归	1	1	0.083 0	0.026 4	0.086 8	0.026 4	0.122 5	0.092 9
	基因回归	3	3	0.284 8	0.426 2	0.094 9	0.134 7	0.134 8	0.465 9
	环境回归	9	8	9.720 4	2.401 2	1.204 5	0.322 9	1.807 5	1.023 9
	误差	26	25	18.130 9	7.538 1	0.758 3	0.312 9		
AMMI分析	PCA1	12	12	14.94	5.09	1.27	0.44	6.270 0*	1.323 1*
	PCA2	11	10	7.04	0.47	0.67	0.05	3.490 0*	1.139 0*
	PCA3	8	8	4.73	2.44	0.58	0.33	2.920 0	0.938 2

①* 表示在 0.05 水平下显著。

利用线性回归对互作效应进行分析可知, 联合回归、基因回归和环境回归共同解释了交互作用的 31.58%; 利用 AMMI 模型对互作效应进行分析, 得到 PCA1、PCA2、PCA3 等 3 个互作主成分, 可解释互作效应的 78.95%, 其中 PCA1 和 PCA2 分别解释了互作效应的 31.58%、26.32%, 且均达到显著水平, PCA3 解释了互作效应的 21.05%, 但未达到显著水平。通过以上结果进行综合分析认为, 参试玉米品种与试点间的互作效应均达到了显著水平。

2.3 区域适应性分析

使用 GGE 双标图对试验数据进行分析, 在图 1、图 2 中的纵坐标和横坐标分别解释了品种效应、品种与环境的互作效应分别为 71.11%、18.64%, 将参试品种连接起来, 形成一个多边形, 由原点作出各边的垂线, 从而将多边形分成 5 个区域, 10 个试点分别处于其中 2 个区域内, 每个区域内连接多边形顶点的品种是当前区域中适应性最好的品种; 试点 E1、E2、E7、E8、E9、E10 处于同一个区域内, 当前区域内表现最好的品种是 G3 (ZD2141), 说明该品种适应性较强。试点 E3、E4、E5、E6 处于同一区域, 其中表现最好的品种是 G2 (ZD2139), 属于广泛适应的品种。其余 3 个品种 G1 (ZD2008)、G5 (先玉335, CK)、G4 (ZD2230) 都不在参试试点所在区域内, 说明其在参试试点内表现都不好。

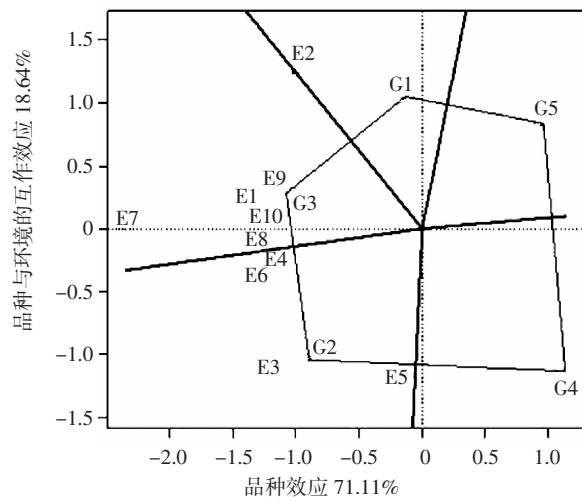


图 1 2021 年各参试玉米品种适应性分析

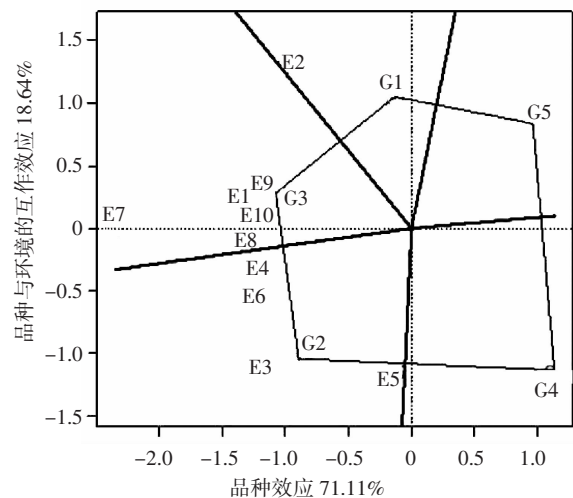


图 2 2022 年各参试玉米品种适应性分析

2.4 品种稳定性分析

在 GGE 双标图分析中, IPCA 值反映的是品种与试点间的互作效应, 在垂直方向, 以 $IP-CA1=0$ 作一条水平线, 品种越靠近水平线和坐标原点, 说明其稳定性越好; 在图 3 中, 最靠近水平线的品种是 G3 (ZD2141), 说明该品种是 2021 年稳定性最高的品种; G2 (ZD2139) 离水平线最远, 表现最不稳定。从图 4 可以看出, 在 2022 年最靠近水平线的品种是 G3 (ZD2141), 其在 2022 年稳定性最好。

参试试点离坐标原点和水平线的距离越远, 说明该试点的鉴别力越大, 其对品种的鉴别力越强, 可以有效提高试验的准确性。2021 年以试点 E3、E2、E8 鉴别力较强, 试点 E7 鉴别力较弱。2022 年以试点 E7、E5 鉴别力较强, 试点 E6、E10 鉴别力较弱。

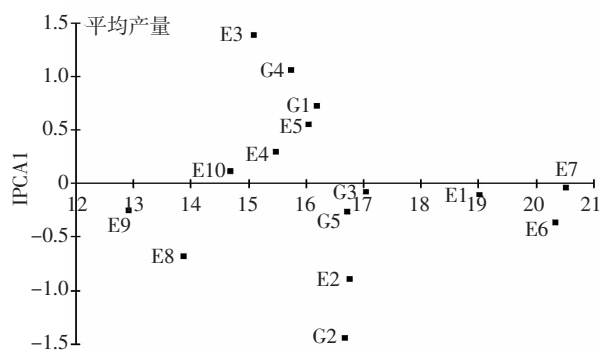


图 3 2021 年参试玉米品种的双标图分析

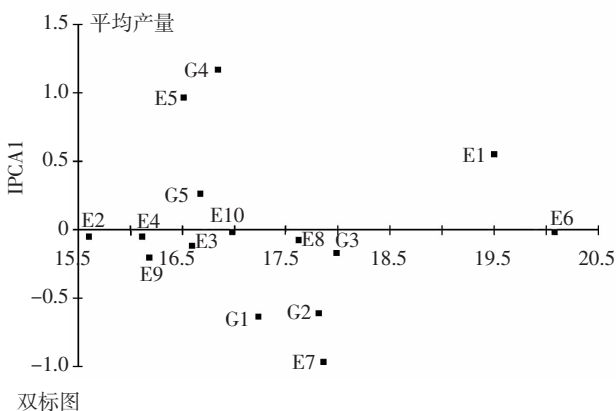


图 4 2022 年参试玉米品种的双标图分析

3 讨论与结论

区域试验试点位置的选择对品种的适应性、稳定性和品种的筛选具有重要意义。在选择品种

的过程中, 需要经过多年多点试验分析品种的综合表现。不同品种的适应性和稳定性相差较大, 并且不同年份的差异较为明显^[7], 采用多年多点的试验数据就是为了能够更加客观地分析新品种的稳定性和适应性。在选择玉米种植区域时, 要充分考虑环境因素的影响, 重视品种与环境的互作效应, 选择出对当地环境适应性更强的品种^[9], 适宜推广应用的优良玉米品种应具有高产、稳产、适应性广的特性^[4]。

多年多点试验中互作效应是一个复杂的现象, 要清楚其中的规律比较困难。所以在研究过程中为解决这一问题, 产生了许多方法。目前的分析方法有高稳系数法、秩次分析法、灰色关联分析、AMMI 模型和 GGE 双标图线性统计模型分析等。其中高稳系数法与秩次分析法都能够对作物区域试验品种的高产性与稳定性进行评价, 二者在品种高产性评价结果具有较好的一致性, 但在稳定性评价结果具有较大的差异。各种方差混合模型对玉米试验数据分析的效果不同。方差分析模型在玉米试验数据拟合的效果较差, AMMI 模型和 GGE 双标图线性统计模型这 2 种结构模型在分析过程中放宽了对方差协方差的约束条件, 且模型参数相对较少, 因此在区试分析的适用性最广泛。虽然其他几种结构模型也适用于我国玉米区试分析, 但适用性不如 AMMI 模型和 GGE 双标图线性统计模型, 这些结构模型在品种效应估计和测验方面存在明显的不同。而 AMMI 模型成功地将方差分析和主成分分析结合在一起, 为研究品种的互作效应及品种稳定性差异提供了一种有效的方法; GGE 双标图线性统计模型不仅可以鉴别品种的适应性、稳定性和丰产性, 而且对了解品种和试点互作、明确试点间的相互关系。因此, 在进行玉米品种分析时主要使用 AMMI 模型和 GGE 双标图来线性统计模型综合分析玉米品种丰产性、适应性和稳定性, 以提高品种效应分析与评价的准确性。

本研究通过 DPS 数据处理系统, 运用了 AMMI 模型与 GGE 双标图线性统计模型 2 种分析方法, 分析了不同玉米品种和不同试点环境之间的互作效应, 对 2021—2022 年进行的西北春玉米区绿色通道试验中的参试玉米品种丰产性和适应性

进行综合分析结果表明, 各品种间、各试点间的差异均达到了显著水平, 且参试玉米品种与试点间的互作效应也达到了显著水平。其中试验地点以张掖市甘州区的稳定性最好, 而参试玉米品种以 ZD2141 的稳定性最好。而 GGE 双标图线性统计模型可以直观反映参试品种的最适种植区域, 参试玉米品种 ZD2141 在白银市景泰县、银川市永宁县、中卫市中宁县、延安市黄陵县、榆林市靖边县等试点的表现较好; 参试玉米品种 ZD2139 在平凉市崆峒区、庆阳市庆城县、武威市凉州区、张掖市甘州区等试点的表现较好, 说明这 2 个品种的适应性好。而临夏州临夏县、平凉市崆峒区、庆阳市庆城县这 3 个试点的参试玉米品种的折合产量均较低, 说明各参试玉米品种在以上这些区域的适应性相对较弱, 此结果与前人的研究结果相似^[13, 18]。

参考文献:

- [1] 连晓荣, 李永生, 何海军, 等. 高产高抗宜机收玉米新品种陇单 639 的选育及栽培[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(9): 814-818.
- [2] 张巧霞, 郑富国, 白光庭, 等. 早熟玉米新品种亚盛 12 号选育报告[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(5): 422-424.
- [3] 王文奎, 张海强, 焦智辉, 等. 黄土高原丘陵沟壑区玉米新品种引种比较综合评价[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(5): 429-433.
- [4] 苏义臣, 苏桂华, 金明华, 等. GGE 双标图在玉米区域试验中的应用[J]. 东北农业科学, 2015, 40(3): 4-7.
- [5] 姚海梅, 王芳, 方永丰, 等. 甘肃省玉米区域试验品系产量稳定性及试点代表性分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2016, 51(6): 17-23.
- [6] 杨锦忠, 郝建平, 姚宏亮, 等. 基于 AMMI 模型的玉米区域试验地点鉴别力的重演性研究[J]. 玉米科学, 2011, 19(4): 145-148.
- [7] 杨美丽, 程建梅, 苏玉杰, 等. 优良夏玉米品种稳定性和适应性评价[J]. 中国种业, 2021(5): 65-69.
- [8] 吴庆丽, 宋成孝, 李辉, 等. 运用 AMMI 模型分析西南鲜食甜玉米区试品种的稳定性及适应性[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(S2): 126-128.
- [9] 叶美金, 卜俊周, 魏建伟, 等. 河北省夏玉米品种基因型与环境互作综合分析[J]. 玉米科学, 2020, 28(1): 72-78.
- [10] 邵立刚, 王岩, 李长辉. 东北春小麦晚熟品种(系)产量稳定性分析[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2006, 34(2): 16-18.
- [11] 俞世蓉. 作物的品种适应性和产量稳定性[J]. 作物杂志, 1991(1): 36-37.
- [12] 李文仓, 牛本永, 沈跃鹏. 开麦 18 丰产性、稳定性及适应性分析[J]. 中国种业, 2006(4): 23-24.
- [13] 李伟琦, 支小刚, 赵建华, 等. 基于 AMMI 模型和 GGE 双标图的玉米区域试验分析[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(7): 607-610.
- [14] 魏鹏程, 陈杜, 罗英舰, 等. 基于 AMMI 和 GGE 双标图的贵州不同生态区春玉米丰产性稳产性和试点辨别力评价[J]. 玉米科学, 2023, 31(1): 22-31.
- [15] YAN W K, KANG M S, MA B L, et al. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data [J]. Crop Science, 2007, 47(2): 643-653.
- [16] 曾旭辉, 彭宏, 蒋厚良, 等. 利用 R 语言 GGE 双标图评价玉米区域试验——以 2018 年江苏淮北玉米区域试验为例[J]. 玉米科学, 2020, 28(5): 60-66.
- [17] 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): 1805-1819.
- [18] 黄泽栋, 谢和霞, 覃兰秋, 等. 应用 AMMI 模型分析广西普通玉米区试品种的稳定性[J]. 广西农业科学, 2010, 41(9): 877-881.