

基于 AMMI 模型和 GGE 双标图的水稻区域试验综合分析

智琳然 孙菊英 柯 璿 王雪刚 王小虎 马 刚 唐乐尧 陈天晔 黄天琪

(江苏省常熟市农业科学研究所/江苏省杂交晚粳工程技术研究中心/国家杂交水稻工程技术研究中心常熟分中心,常熟 215500)

摘要:为合理评价水稻区域试验中各参试品种的丰产性、稳产性、区域适应性,为后续新品种推广提供参考依据,在参照生育期及其他农艺性状表现的前提下,重点采用 AMMI 模型和 GGE 双标图对 2023 年浙江大学科企水稻联合体长江中下游单季晚粳组水稻区域试验中的 10 个品种在 10 个试验点的产量数据进行了综合分析。结果表明,基因型效应和环境效应以及基因型与环境的互作效应对参试品种产量产生了显著或极显著影响;品种丰产性、稳产性方面,高产的品种有嘉科优 207、常优 20-16、华糯优 205、浙大粳优 6 号、嘉两优 8538,稳产性好的品种有常优 20-16、嘉两优 8538 和华糯优 205;品种广适性方面,常优 20-16 和华糯优 205 适宜种植的地点相对较多,广适性更好。以上结果可为后续新审定品种的推广应用提供一定的参考依据。

关键词:水稻;区域试验;AMMI 模型;GGE 双标图;丰产性;稳产性;广适性

Comprehensive Analysis of Rice Regional Trial Based on AMMI Model and GGE Biplot

ZHI Linran, SUN Juying, KE Ai, WANG Xuegang, WANG Xiaohu,
MA Gang, TANG Leyao, CHEN Tianye, HUANG Tianqi

(Changshu Institute of Agricultural Sciences/Jiangsu Engineering Technology Research Center for Late Japonica Hybrid Rice/
Changshu Branch of National Hybrid Rice Engineering Technology Research Center, Changshu 215500, Jiangsu)

种子是农业的“芯片”,我国种业发展势头良好,“十三五”期间,种子市值年均 1200 亿元左右,稳定保持世界第二大种子市场地位^[1]。在保证耕地红线的基础上,持续选育高质量品种,提高单产水平,可为稳定我国种子市场地位和国家粮食安全提供有力保障。目前,区域试验是对高质量品种审定和推广最有效的方法^[2-3]。区域试验可以较直观地呈现出品种在不同环境作用下的表现(GE, Genotype environment),GE 效应直接影响品种稳定性表现,即效应值越大,该品种稳定性越差^[4-5]。要想获得适应性强、推广性好的新品种,育种家除了要

选育出优良的品种(基因型)外,还须对选育出的品种做适应性考验,即基因型在不同环境的影响下,是否依然能有优良的表现。

目前,分析区域试验中 GE 互作效应较为常用的模型有 AMMI 模型和 GGE 双标图。AMMI 模型是一种主效应可加互作可乘模型,可从加性模型的残差中分离模型误差和干扰来提高估计的准确度。GGE 双标图则是将原始数据地点中心化,再对其进行奇异值分解,一般保留前两项乘积项,由此得到的双标图就是 GGE 双标图^[6]。两种模型各有优缺点,AMMI 模型使用最早,准确性也较好,GGE 双标图表现更直观,且可直接呈现出不同品种在不同种植区域的表现。两种模型结合使用,可提高区域试验分析的科学性和准确性,有效挖掘潜力品种^[7-8]。

基金项目:苏州市农业科技创新项目(SNG2021008);2021 年姑苏乡土人才资助项目(农业专业类-兴农科研英才);苏州市农业科技创新重点项目(SNG2022001);常熟市科技发展计划项目(CN202303,CN202402)

本研究以 2023 年浙江大学科企水稻联合体长江中下游单季晚粳组水稻区域试验中的 10 个水稻品种性状数据为基础,在品种稳定性评价时利用两种模型结果较一致的部分,在品种适应性及生态区划分方面采用更为直观的 GGE 功能图进行品种综合分析,以期筛选出稳产广适的新品种进行大面积推广利用。

1 材料与方法

1.1 数据来源 本试验所用原始数据来源于 2023 年浙江大学科企水稻联合体长江中下游单季晚粳组水稻区域试验(以下简称 2023 年长江中下游单季晚粳组水稻区域试验)汇总报告。参试品种共 10 个,包含对照嘉优 5 号(表 1)。试验点共 10 个,分布在湖北、安徽、江苏、浙江、上海 5 个省(区、市)(表 2)。

表 1 2023 年长江中下游单季晚粳组水稻区域试验参试品种

编号	品种	选育单位
g1	浙新香 1 号	浙江大学,嘉兴农作物高新技术育种中心
g2	普济糯 1541	铜陵市普济种子有限公司,无锡哈勃生物种业技术研究院有限公司
g3	浙新香 2 号	浙江大学,嘉兴农作物高新技术育种中心
g4	哈糯 1524	无锡哈勃生物种业技术研究院有限公司,浙江大学
g5	嘉优 5 号(CK)	浙江省嘉兴市农业科学研究院
g6	嘉两优 8538	嘉兴农作物高新技术育种中心,浙江大学
g7	浙大梗优 6 号	浙江大学
g8	嘉科优 207	浙江绿巨人生物技术有限公司
g9	华糯优 205	浙江省金华市农业科学研究院
g10	常优 20-16	江苏省常熟市种业有限公司,江苏省常熟市农业科学研究所

表 2 2023 年长江中下游单季晚粳组水稻区域试验试验点

编号	试验点
e1	浙江大学(浙江省嘉兴市农业科学研究院试验点)
e2	浙江之虹种业有限责任公司
e3	上海师范大学
e4	安徽农业大学
e5	安徽省铜陵市普济圩农场
e6	江苏省无锡市太湖水稻示范园
e7	江苏省常熟市农业科学研究所试验基地
e8	湖北省宜昌市农业科学研究院
e9	湖北省农业科学研究院粮食作物研究所(孝感试验点)
e10	湖北省荆州市长江大学实验农场

1.2 试验设计 各试验点按照《2023 年国家长江中下游单季晚粳组联合体试验实施方案-浙江大学科企水稻联合体》及 NY/T 1300—2007《农作物品种区域试验技术规范 水稻》开展试验及采收。

本次区域试验采用完全随机区组设计,3 次重复,每个重复小区面积 13.33m²,试验田四周设置 4 行以上保护行,种植对应小区品种。同一组试验所有品种同期播种、移栽,施肥水平中等偏上,其他栽培管理同当地大田管理。生育期内考察参试品种的全生育期、株高、穗长、有效穗数、每穗粒数、结实率、千粒重等性状,成熟后割除四周保护行记录实收小区稻谷产量。

1.3 分析方法 利用 Excel 对 2023 年长江中下游单季晚粳组水稻区域试验品种数据进行整理,产量数据的方差分析和 AMMI 模型分析利用 DPS 数据处理系统进行,GGE 双标图绘制通过 R 语言中的“GGEBiplot GUI”软件包实现。

2 结果与分析

2.1 参试水稻品种农艺性状分析 由表 3 可知,参试品种生育期在 143.1~158.7d 之间,嘉科优 207 生育期最长,哈糯 1524 最短,嘉科优 207、浙新香 2 号、华糯优 205 生育期长于对照,其余品种均短于对照。株高在 95.2~139.4cm 之间,华糯优 205 最高,浙新香 1 号最低,嘉两优 8538、浙大梗优 6 号、常优 20-16、嘉科优 207、华糯优 205 株高较对照高 9.7~26.7cm,其余品种较对照低 8.8~17.5cm。穗长在 16.2~23.7cm 之间,嘉科优 207 穗长最长,普济糯 1541 最短,嘉两优 8538、华糯优 205、浙大梗优 6 号、常优 20-16、嘉科优 207 较对照长 1.5~3.9cm,其余品种穗长短于对照。

参试品种有效穗数在 15.0 万~20.4 万穗/667m²之间,普济糯 1541 最高,常优 20-16 最低,浙新香 1 号、哈糯 1524、浙新香 2 号、普济糯 1541 较对照高 0.3 万~2.4 万穗/667m²。每穗总粒数在 146.1~281.7 粒之间,嘉科优 207 最多,浙新香 2 号最少;每穗实粒数在 131.5~238.8 粒之间,华糯优 205 最多,浙新香 2 号最少;结实率在 80.8%~90.0% 之间,浙新香 2 号最高,嘉两优 8538 最低,所有参试品种的结实率均大于 80.0%,表现较好。千粒重在 24.3~28.6g 之间,嘉优 5 号(CK)最高,华糯优 205 最低,9 个品种均较

对照低 0.5~4.3g。每 667m² 产量在 608.5~745.9kg 之间,嘉科优 207 最高,浙新香 2 号最低;嘉两优 8538、浙大梗优 6 号、华糯优 205、常优 20-16、嘉科优 207 高于对照,较对照增幅为 9.0%~11.6%,增产点率为 80.0%~90.0%,其余品种产量较对照下降 3.9%~8.9%,增产点率在 20.0%~50.0% 之间。

2.2 参试水稻品种产量性状的方差分析和 AMMI 分析 由表 4 可知,基因型(G, Genotype)效应和环境(E, Environment)效应对水稻产量有极显著影响($P<0.01$),基因型与环境的交互作用($G \times E$)对水稻产量有显著影响($P<0.05$)。基因型效应占总变异的 26.21%,环境效应占总变异的 53.18%,交互作用占总变异的 20.61%。互作效应主成分轴达到显著水平以上的有 3 个,分别为 IPCA1、IPCA2 和 IPCA3,分别占互作平方和的 36.92%、

21.15%、18.34%,3 个主成分轴合计解释了 76.41% 的互作平方和。3 个主成分轴之外 IPCA 轴的变异合并为残差,这些主成分轴较好地解释了互作效应。

2.3 基于 AMMI 模型的品种稳定性分析 参照吴为人^[9]关于品种稳定性 Di 的计算方法,通过计算 AMMI 模型主成分分析中达到显著水平以上的主成分轴到原点的空间距离来分析参试品种的稳定性。如表 5 所示,具有丰产性的品种有嘉科优 207、常优 20-16、华糯优 205、浙大梗优 6 号、嘉两优 8538,产量位次均在对照之上。根据 Di 值排序,丰产的品种中稳定性优于参照品种的是常优 20-16、嘉两优 8538 和华糯优 205。综上所述,AMMI 模型分析得到的丰产稳产的理想品种是常优 20-16、嘉两优 8538 和华糯优 205。

表 3 2023 年长江中下游单季晚粳组水稻区域试验品种主要性状

品种	生育期 (d)	株高 (cm)	穗长 (cm)	有效穗数 (万穗/667m ²)	每穗总 粒数	每穗实 粒数	结实率 (%)	千粒重 (g)	产量 (kg/667m ²)	比 CK ± (%)	增产点率 (%)
浙新香 1 号	153.4	95.2	18.7	18.3	149.3	132.3	88.6	28.1	618.5	-7.4	30.0
普济糯 1541	145.1	97.9	16.2	20.4	148.4	132.9	89.5	25.4	642.4	-3.9	40.0
浙新香 2 号	154.8	103.9	17.4	19.1	146.1	131.5	90.0	26.2	608.5	-8.9	20.0
哈糯 1524	143.1	101.7	17.5	19.0	173.3	154.3	89.0	24.4	638.7	-4.4	50.0
嘉优 5 号(CK)	154.1	112.7	19.8	18.0	172.1	153.8	89.4	28.6	668.2	-	-
嘉两优 8538	153.1	122.4	21.3	17.7	234.8	189.7	80.8	25.0	728.6	9.0	80.0
浙大梗优 6 号	148.6	126.0	22.6	18.0	229.7	186.4	81.2	25.5	729.9	9.2	90.0
嘉科优 207	158.7	133.8	23.7	17.0	281.7	231.9	82.3	25.3	745.9	11.6	90.0
华糯优 205	154.3	139.4	22.3	16.3	273.4	238.8	87.3	24.3	736.5	10.2	90.0
常优 20-16	150.3	131.3	22.8	15.0	255.5	219.4	85.9	25.3	736.8	10.3	90.0

表 4 2023 年长江中下游单季晚粳组水稻区域试验品种产量方差分析和 AMMI 分析

变异来源	自由度	平方和(SS)	均方(MS)	占总变异比例(%)	F 测验
总计	99	1048557.30	10591.49		
基因型(G)	9	274815.38	30535.04	26.21	21.56**
环境(E)	9	557634.98	61959.44	53.18	43.76**
交互作用(G×E)	81	216106.94	2667.99	20.61	1.89*
IPCA1	17	79821.88	4695.40	7.61	3.32*
IPCA2	15	45683.33	3045.56	4.36	2.15*
IPCA3	13	39626.68	3048.21	3.78	2.15*
残差	36	50975.05	1415.97		

*、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上存在显著、极显著差异

表 5 2023 年长江中下游单季晚粳组水稻区域试验品种在显著交互主成分轴上的得分及稳定性参数

品种	产量 (kg/667m ²)	交互主成分			稳定性参数	Di 位次	产量位次
		PCA1	PCA2	PCA3			
浙新香 1 号	618.5	6.16	2.44	-6.92	5.61	8	9
普济糯 1541	642.4	5.87	-7.26	2.38	5.71	9	7
浙新香 2 号	608.5	5.49	3.86	-0.80	4.34	3	10
哈糯 1524	638.7	5.32	1.91	-1.32	3.89	1	8
嘉优 5 号(CK)	668.2	2.02	-0.32	9.33	4.78	6	6
嘉两优 8538	728.6	-2.53	7.52	1.81	4.42	4	5
浙大粳优 6 号	729.9	-6.93	2.92	4.11	5.44	7	4
嘉科优 207	745.9	-7.97	0.57	-4.31	5.94	10	1
华糯优 205	736.5	-4.72	-4.50	-4.18	4.53	5	3
常优 20-16	736.8	-2.71	-7.13	-0.11	4.20	2	2

2.4 基于 GGE 双标图的品种丰产性、稳产性及适应性分析

2.4.1 参试水稻品种丰产性和稳产性分析 作物产量是基因型与环境因素共同作用的结果。为确保作物推广与生产的顺利进行,深入探究品种的丰产性、稳定性及适宜种植地区对进一步发掘品种增产潜力具有重要意义^[10-11]。GGE 双标图分析可将品种的丰产性和稳产性在图中直观地显示出来。如图 1 所示,横坐标为第一主成分(PC1),纵坐标为第二主成分(PC2),两个成分轴分别解释了 71.30% 和 9.45% 的数据变异。水平方向带箭头的直线可看做平均环境轴,

代表总体平均产量,箭头指向为丰产方向,各品种位点到平均环境轴的垂直距离代表品种的稳产性,距离越短,稳产性越好。品种产量最高的是 g8,其次是 g9、g10、g7 和 g6。稳产性较好的品种是 g8,其次是 g9 和 g7。综合丰产性、稳产性结果,GGE 双标图分析得到的丰产性和稳产性较好的品种是 g8、g7 和 g9。

2.4.2 参试水稻品种生态适应性分析 同一水稻品种种植于不同区域内其产量及农艺性状都可能呈现出不同表现,这反映出水稻品种对于种植区域的适应性。GGE 双标图的适应性分析功能图中,由 3 个以上距离原点最远的品种位点连接所围成的凸多边

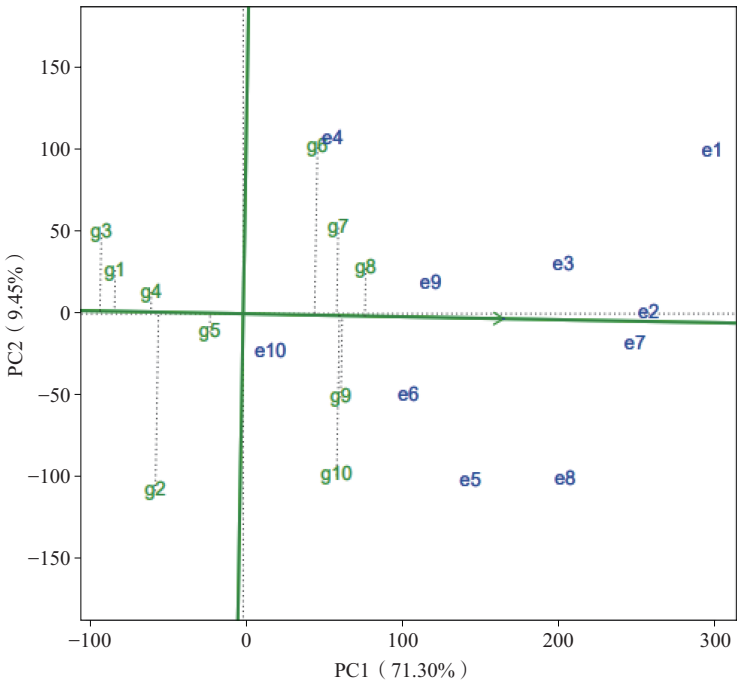


图 1 GGE 双标图的丰产性、稳产性分析

形及原点 to 各边的垂线所划分的多个区域视为参试品种的适应性生态区,坐落于多边形顶点的品种可视为所在生态区表现最佳的品种。由图2可知,10个试验点分布在3个扇形区,e4单独位于1个生态区,g6是该环境中表现最优的品种。e1、e2、e3、e7、e9位于同一生态区,该环境未筛选出最优品种,但是g8表现接近该环境条件,建议继续在该环境种植。e5、e6、e8、e10位于同一生态区,g10是该环境

中表现最优的品种。

2.4.3 参试水稻品种的综合表现 为了更直观了解参试水稻品种的综合表现,并判断理想品种,构建GGE双标图的理想品种功能图。该图以水平轴上的箭头所在位置为圆心作同心圆,各参试水稻品种散布于同心圆之中,参试水稻品种所在的同心圆到圆心的距离代表该品种的理想指数,即距离越近理想指数越高。由图3可知,g8离圆心距离最近,是

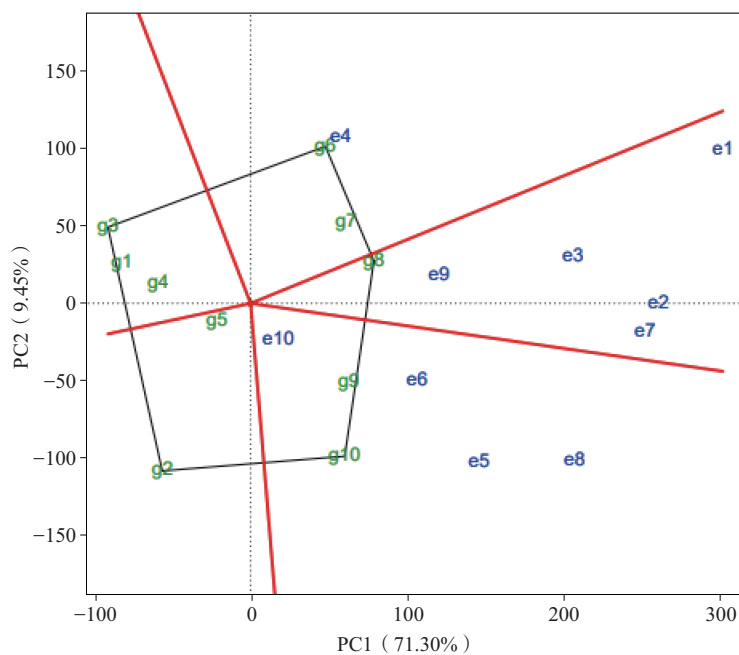


图2 GGE双标图的生态适应性分析

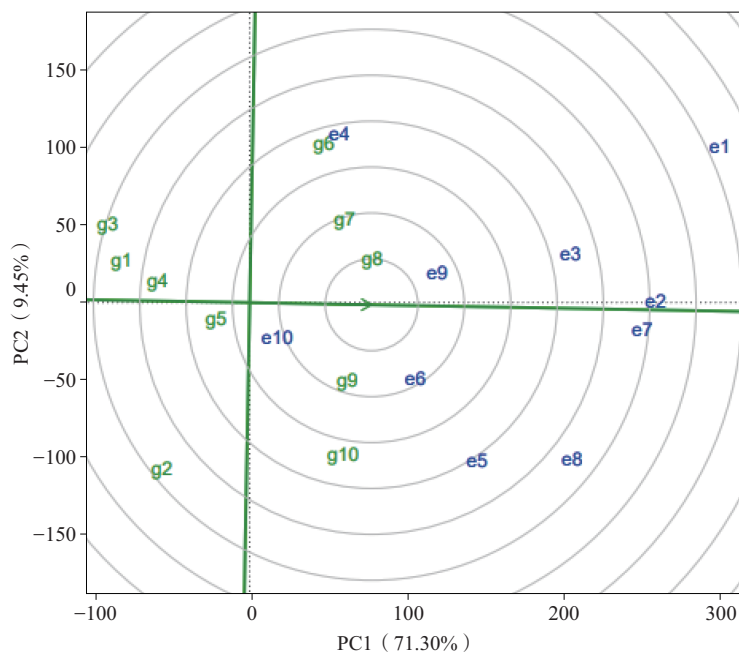


图3 GGE双标图的理想品种分析

最符合条件的理想品种,其次是 g7 和 g9,以上 3 个品种的理想指数优于对照品种。g10 和 g6 与对照品种位于同一位次圆环中,故 g8、g7、g9、g10、g6 皆认为是优于(或不逊色于)对照的理想品种。

3 讨论与结论

本研究结合 AMMI 模型和 GGE 双标图对 2023 年浙江大学企水水稻联合体长江中下游单季晚粳组水稻区域试验产量数据进行了综合分析。在丰产性上,两者结论基本一致。在稳产性上,两种分析方法结论存在较明显差异。以对照品种为参照,两种模型各自选取出参照品种之上(包含)的理想品种,可以发现两种模型的交集品种,即丰产稳产的理想品种,包括常优 20-16 (g10)、嘉两优 8538 (g6) 和华糯优 205 (g9)。理想品种常优 20-16 (g10) 和华糯优 205 (g9) 广适性更好,且两者适宜种植的区域较一致,适宜在安徽省铜陵市、江苏省无锡市、湖北省宜昌市和荆州市附近区域种植。本研究利用 AMMI 模型 Di 值计算时,采用了改进后的显著主成分轴加权算法,理论上对于品种稳定性评价更为准确可靠。同时,结合了 GGE 双标图各功能图的直观性展现,综合判断出本试验的理想品种,并分析了各参试品种适宜种植的区域及理论上该生态区最适宜种植的品种。以上结论将为后期挖掘固定生态区存在推广潜力的品种,及新品种的精准推广提供客观科学的理论依据。

(上接第 88 页)

- M. A comprehensive dataset of flax (*Linum uytatissimum* L.) phenotypes. Data in Brief, 2021, 37: 1-6
- [11] 叶剑秋. 国际流行花卉系列 组合盆栽花材系列 蓝亚麻. 园林, 2007, 24 (6): 25-25
- [12] 陈英. 胡麻种质资源数量性状的多元统计分析. 中国油料作物学报, 2016, 38 (6): 730-736
- [13] 伊六喜, 高风云, 周宇, 贾霄云, 张辉, 王树彦, 侯建华, 斯钦巴特尔. 胡麻种质资源表型性状的鉴定与分析. 中国油料作物学报, 2020, 42 (3): 411-419
- [14] 王玉富, 栗建光. 亚麻种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006
- [15] 康庆华, 姚丹丹, 宋喜霞, 姜卫东, 孙中义, 陈晓艳, 邱财生, 朱炫, 陈洪生, 刘继忠. 亚麻新品种华亚 6 号及其栽培观赏应用. 中国种业, 2023 (8): 115-116, 119
- [16] 李祥栋, 潘虹, 陆秀娟, 魏心元, 陆平, 石明, 练启仙. 薏苡属种质资源的主要表型性状多样性研究. 植物遗传资源学报, 2019, 20 (1):

参考文献

- [1] 邓伟, 张新明. 中国水稻种业发展历程研究, 中国种业, 2022 (11): 1-10
- [2] 许乃银, 荣义华, 李健, 付永红, 梅汉成. 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. 中国生态农业学报, 2017, 25 (6): 884-892
- [3] 严威凯, 盛庆来, 胡跃高, Hunt L A. GGE 叠图法—分析品种 × 环境互作模式的理想方法. 作物学报, 2001, 27 (1): 21-28
- [4] 岳海旺, 韩轩, 魏建伟, 郑书宏, 谢俊良, 陈淑萍, 彭海成, 卜俊周. 基于 GYT 双标图分析对黄淮海夏玉米区域试验品种综合评价. 作物学报, 2023, 49 (5): 1231-1248
- [5] Yue H W, Jiang X W, Wei J W, Xie J L, Chen S P, Peng H C, Bu J Z. A study on genotype × environment interactions for the multiple traits of maize hybrids in China. Agronomy Journal, 2021, 113 (6): 4889-4899
- [6] 王磊, 程本义, 鄂志国. 基于 GGE 双标图的水稻区试品种丰产性、稳产性和适应性评价. 中国水稻科学, 2015, 29 (4): 408-416
- [7] 汪洲涛, 苏炜华, 阙友雄, 许莉萍, 张华, 罗俊. 应用 AMMI 和 HA-GGE 双标图分析甘蔗品种产量稳定性和试点代表性. 中国生态农业学报, 2016, 24 (6): 790-800
- [8] Agyeman A, Parkes E, Peprah B B. AMMI and GGE biplot analysis of root yield performance of cassava genotypes in the forest and coastal ecologies. International Journal of Agricultural Policy & Research, 2015, 3 (3): 222-232
- [9] 吴为人. 对基于 AMMI 模型的品种稳定性分析方法的一点改进. 遗传, 2000, 22 (1): 31-32
- [10] 赵长延, 段维, 朱志锋, 马宗兴, 柳延涛, 刘胜利, 万素梅. 基于 AMMI 模型和 GGE 双标图对油用向日葵多点试验稳定性和适应性分析. 干旱区资源与环境, 2023, 37 (11): 123-131
- [11] 王丹, 程星, 许国震, 谢文芳, 李华, 岳云霞, 戴妙飞, 苏丽娜, 郝晓昭. 国审小麦品种濮麦 116 产量特性分析. 中国种业, 2024 (6): 146-152 (收稿日期: 2024-11-15)

- 229-238
- [17] 李炜, 毕影东, 刘森, 王玲, 邱树峰, 刘建新, 樊超, 杨光, 梁文卫, 来永才. 寒地野生大豆表型性状的评价和聚类分析. 中国种业, 2021 (12): 73-79
- [18] 周生坛, 陆艳鹏, 郭瑞军, 杨涛, 刘荣, 李冠, 王栋, 季一山, 王晨瑜, 黄宇宁, 宗绪晓. 鹰嘴豆种子表型性状多样性评价. 中国种业, 2019 (1): 54-59
- [19] 王莉, 冯贝贝, 张龔, 张正, 陈晓露, 谢丽琼. 新疆地方种亚麻农艺性状多元统计分析. 分子植物育种, 2021, 19 (2): 640-646
- [20] 潘慧云. 亚麻表型性状与 SSR 标记的关联分析. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2019
- [21] 陈庆堂. 园林工程中花境植物配置及栽植要点研究. 福建建材, 2021 (11): 68-70
- [22] 李向, 朱娟, 杜军, 普春红, 贵红霞. 浅析花坛的应用与设计. 现代园艺, 2018 (17): 131-132 (收稿日期: 2024-11-20)