

贵州省马铃薯区试品种产量与农艺性状的 GGE 双标图分析

石 强^{1,3}, 李亚杰^{1,3}, 范士杰^{1,2}, 张俊莲^{1,3}, 白江平^{1,3}, 王 蒂^{1,3}

(1. 甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 2. 贵州省马铃薯研究所, 贵州 贵阳 550006;
3. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 采用 GGE 双标图对 2010—2011 年贵州省马铃薯区域试验中 11 个马铃薯参试品种在 5 个试点的产量和农艺性状进行分析, 内容包括株高, 单株块茎数, 单株主茎数, 单株块茎重量。结果表明, 在参加马铃薯区试的 11 个品种中, 品种(系)的丰产性表现较好的是 G9(威薯 001)、G2(宣薯 2 号)、G4(2005-1)、G6(0402-7)、G7(0402-2)、G5(W04-36), 丰产性表现较差的是 G8(盘薯 1 号)、G10(黑美人)。品种(系)稳定性方面, G6(0402-7)、G8(盘薯 1 号)、G5(W04-36)的稳定性较好, G11(米拉)稳定性最差。总之, 品种 G5(W04-36)、G6(0402-7)稳定性、适应性与丰产性表现良好。参加区试的 5 个试点中, 区分力较强的试点为 E2(毕节), E1(安顺), E3(凤冈), 区分力较弱的试点为 E4(六盘水), E5(威宁)。在代表性方面, 试点 E1(安顺), E4(六盘水)具有较强的代表性, 试点 E3(凤冈)的代表性最弱。所以, 既具有强区分力又具有代表性的试点为 E1(安顺)。

关键词: GGE 双标图; 马铃薯; 产量; 农艺性状; 稳定性分析

中图分类号: S331 **文献标志码:** A

Application of GGE – biplot analysis in evaluating potato yield and agronomy traits in Guizhou Province

SHI Qiang^{1,3}, LI Ya-jie^{1,3}, FAN Shi-jie^{1,2}, ZHANG Jun-lian^{1,3},
BAI Jiang-ping^{1,3}, WANG Di^{1,3}

(1. Gansu Provincial Key Lab of Aridland Crop Science – Gansu Key Lab of Crop Improvement & Germplasm Enhancement, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. Guizhou Potato Research Institute, Guiyang, Guizhou 550006, China;
3. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: A GGE-biplot analysis was employed in this research to examine the agronomic traits including stem height, tuber quantity per plant, stem quantity per plant, and tuber fresh weight per plant of 11 potato varieties in regional trials of Guizhou province during 2010—2011. G1 – G11 were designated for representations of these eleven cultivars and E1 – E5 were used for the five testing sites, respectively. The yield data of eleven potato cultivars from five testing sites were analyzed. The results indicated that the yield performances of G9 (Weishu 001), G2 (Xuanshu # 2), G4 (2005-1), G6 (0402-7), G7 (0402-2), and G5 (W04-36) were higher than others. Whereas, cultivars G8 (Panshu # 1) and G10 (Heimeiren) had the lowest yield performance. The cultivars G6 (0402-7), G8 (Panshu # 1), G5 (W04-36) were more stable than others and G11 (Mira) had lowest stability among all cultivars. Taken together, the cultivars G5 (W04-36) and G6 (0402-7) were better in stability, adaptability and yield performance. Among the five test sites, E2 (Bijie), E1 (Anshun), and E3 (Fenggang) had better differentiations than others. E4 (Liupanshui) and E1 (Anshun) were typical representations of the overall testing sites but E3 (Fenggang) had the lowest representativeness. E1 (Anshun) had the best differentiation and representativeness among five testing sites. In summary, GGE – biplot was one of the reliable methods that breeders could use for analyzing and evaluating the potato yield performance

收稿日期:2013-12-19

基金项目:国家科技支撑计划(2012BAD06B03); 甘肃省重大专项项目(1102NKDA025); 甘肃省干旱生境作物学重点实验室开放基金(GSCS201016)

作者简介:石 强(1989—),男,甘肃临夏人,硕士,研究方向为马铃薯育种。E-mail: nongdasq@126.com。

通信作者:白江平,男,甘肃天水人,副教授,硕士生导师,研究方向为作物遗传育种。E-mail: baijp@gsau.edu.cn。

王 蒂,男,陕西延安人,教授,博士生导师,研究方向为作物遗传育种。E-mail: wangd@gsau.edu.cn。

and agronomic traits in regional trials.

Keywords: GGE – biplot; potato; yield; agronomic traits; stability analysis

作物产量及农艺性状是基因(G),环境(E),基因×环境互作(G×E)三因素的综合表现。试点及年份的变化体现了基因与环境的互作效应,当不同品种应对不同环境条件时,互作效应才能发生,互作效应可使环境对品种产生较大影响,使基因型在不同环境中出现了变化^[1-2]。并且互作效应可对遗传力产生不同作用能帮助筛选优势基因型^[3],因此,了解互作效应的结构和本质对决定是否继续推广种植或选育适应特定区域环境的品种是非常有用的。为此,方差分析(ANOVA)、线性回归(Linear regression)、主成分分析(PCA)、AMMI 模型^[4]、GGE 双标图法等已应用于分析互作效应的区域试验中^[5]。Zobel^[6-7]等比较了 GGE 双标图与其他的分析方法发现:其他的分析方法都有一定的使用局限^[8]。Yan 与 Kang^[9]认为品种在每个环境中的产量能够用基因、环境、基因与环境互作来解释。Kang 与 Gorman^[10]认为基因与环境互作效应需得到更精细的研究。所以,合理应用一种方法来解释基因、环境及其互作是十分必要的。双标图概念首次由 Gabriel^[11]提出,随后 Yan^[12-13]等提出一种能够分析区域试验(METs)的图形方法:GGE 双标图。GGE 双标图由基因型(G)和基因与环境互作效应(GEI)作单值分解后形成的第 1 主成分轴(PC1)和第 2 主成分轴(PC2)组成^[14-15],GGE 双标图解法较其他分析方法更能直观清晰地标识出品种的稳产性、区域适应性及试验环境对品种的分辨能力,为筛选理想品种、理想试点及各品种利用价值和种植布局提供依据。

贵州省是我国主要马铃薯种植地区之一,其优越的地理气候环境使马铃薯成为当地的主要粮食兼经济作物。块茎类作物马铃薯产量的形成不仅受复杂遗传背景的影响,而且受制于种植地区的自然气候条件。贵州复杂的地形条件使当地形成了多种生态气候类型,从而造成马铃薯种植区间(布局)差异

较大的现象,即局部地区只能种植某些特定品种,很难实现某一品种在全省的种植栽培。因此,在今后贵州马铃薯育种推广工作中,考虑品种与环境间的交互作用十分重要。本文主要以 GGE 双标图法分析贵州省 2010—2011 两年的春播马铃薯区域试验数据,对参试品种的丰产性、稳定性、种植区的适应性及试点的区分力进行研究,同时对产量及相关性状进行分析,探讨马铃薯品种(系)在贵州的合理种植栽培布局。为特定品种选择最佳种植地点提供参考,同时为马铃薯育种工作提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2010—2011 年参加贵州省马铃薯区域试验的 11 个品种(系):B01-41-4(G1)、宣薯 2 号(G2)、丽薯 200202(G3)、2005-1(G4)、W04-36(G5)、0402-7(G6)、0402-2(G7)、盘薯 1 号(G8)、威薯 001 号(G9)、黑美人(G10)、米拉(G11),其中米拉为对照品种(CK),如表 2,表 3 所示。

区域试点 5 个:安顺(E1)、毕节(E2)、凤冈(E3)、六盘水(E4)、威宁(E5),试点间海拔、年降水量、环境平均温度均有差异,如表 1 所示。毕节、六盘水属黔西,地处云贵高原屋脊,年平均气温在 15.0℃左右。六盘水年降水量在 1 200 mm 左右,毕节、威宁(毕节市辖县,黔西北高原台地区)年降水量在 800 mm 左右。安顺属黔中山原丘陵地带,年平均气温在 14℃左右,年降水量在 1 400 mm 左右。凤冈属黔东云贵高原湘、桂丘陵盆地过渡的斜坡地带,年平均气温 13.5℃,年降水量在 1 300 mm 左右。

考察项目包括小区产量与产量组成性状,即单株主茎数、单株块茎数、单株块茎质量、主茎数,两年的平均情况如表 3 所示。

表 1 区域试验地点基本情况

Table 1 Basic information of the testing sites

试验地点 Sites	代码 Codes	经度 E Longitude E	纬度 N Latitude N	海拔 Altitude /m	年均温 Annual average temperature/℃	年降雨量 Annual rainfall /mm
安顺 Anshun	E1	105°55'	26°15'	1395	14.3	1360
毕节 Bijie	E2	105°14'	27°18'	1470	15.0	848
凤冈 Fenggang	E3	107°48'	28°27'	957	13.5	1331
六盘水 Liupanshui	E4	104°20'	26°36'	1860	14.6	1211
威宁 Weining	E5	104°17'	26°52'	2560	14.0	739

表 2 区域试验品种基本情况

Table 2 Basic information about different cultivars

品种(系) Cultivar/line	代码 Codes	供种单位 Supplying institutes	种植年份 Years
B01-41-4	G1	贵州省马铃薯研究所,威宁县农业科学研究所,云南省农科院经作所 Potato institute of Guizhou province; agricultural science research institute of Weining county; commercial crop research institution of agricultural science research institute of Yunnan province	2010—2011
宣薯 2 号 Xuanshu2	G2	贵州省马铃薯研究所 Potato institute of Guizhou province	2010—2011
丽薯 200202 Lishu 00202	G3	贵州省马铃薯研究所 Potato institute of Guizhou province	2010—2011
2005-1	G4	威宁县农业科学研究所,贵州省马铃薯研究所,云南省农科院经作所 Agricultural science research institute of Weining county; potato institute of Guizhou province; commercial crop research institution of agricultural science research institute of Yunnan province	2010—2011
W04-36	G5	威宁县农业科学研究所,贵州省马铃薯研究所,云南省农科院经作所 Agricultural science research institute of Weining county; potato institute of Guizhou province; commercial crop research institution of agricultural science research institute of Yunnan province	2010—2011
0402-7	G6	毕节地区农科所 Agricultural science research institute of Bijie	2010—2011
0402-2	G7	毕节地区农科所 Agricultural science research institute of Bijie	2010—2011
盘薯 1 号 Panshu1	G8	盘县农技站 Agriculture extensionstation of Pan county	2010—2011
威薯 001 Weishu 001	G9	威宁县种子站 Seed station of Weining county	2010—2011
黑美人 Heimeiren	G10	贵州省马铃薯研究所 Potato institute of Guizhou province	2010—2011
米拉 Mira	G11	威宁县农业科学研究所 Agricultural science research institute of Weining county	2010—2011

1.2 试验设计

区域试验采用随机区组排列,重复 3 次,每小区 5 行,播种 80 株。小区长 4.5 m,宽 3 m,面积为 13.5 m²。株距、行距分别为 28 cm 和 60 cm。小区间不留走道,四周及重复间走道宽 0.5 m,试验地四周设保护行。

1.3 GGE 双标图

GGE 双标图理论由双标图与 GGE^[14,16] 构成,双标图属于一种 2 维矩阵图,区域试验数据集是一个品种环境互作矩阵,包括区试的年份、品种数量、试点数量,其双向表可近似为一个 2 维矩阵。所以,可用双标图来进行特征值分解(Singular Value Decomposition, SVD),表示含有品种和环境的 2 维矩阵,对区试数据集进行主成分分析,解释变异最多的主成分叫第一主成分(PC1),第二多的叫第二主成分(PC2)。

GGE 双标图是一种在进行品种评价的同时考虑品种总体效应(G)和品种×环境互作(GE)的方法,多品种多环境试验产量(数学模型)一般可分解为:

$$Y_{ij} - \bar{Y}_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2} + \epsilon_{ij}$$

式中: Y_{ij} 为基因型 i 在环境 j 中的产量; \bar{Y}_j 为所有基因型在环境 j 中的产量表现; ξ_{i1} 与 ξ_{i2} 表示基因型 i 在 PC1 与 PC2 的得分, η_{j1} 与 η_{j2} 表示环境 j 在 PC1 与

PC2 的得分; ϵ_{ij} 为模型中的残差。

为了将 PC1 和 PC2 显示在双标图中,GGE 双标图数学模型可重新表示为:

$$Y_{ij} - \bar{Y}_j = \xi_{i1} \eta_{j1} + \xi_{i2} \eta_{j2} + \epsilon_{ij}, \xi_{in} = \lambda \frac{1}{n} \xi_{in},$$

$$\eta_{jn} = \lambda \frac{1}{n} \eta_{jn}, n = 1, 2$$

GGE 双标图由 ξ_{i1} , η_{j1} 与 ξ_{i2} , η_{j2} 组成,为了使 GGE 双标图更容易、更全面地显示两向数据表中的信息结果。GGE 双标图采用平均环境坐标(Average environment coordinate, AEC)法,AEC 的 PC1 和 PC2 得分分别等于所有指标的 PC1 和 PC2 的平均得分,过原点和 AEC(即带小圆圈表示环境的平均值)构成 AEC 的横轴(Average - environment axis, AEA),通过原点垂直于 AEA 的直线就是 AEC 的纵轴。AEA 代表了品种的平均产量,各基因型在 AEA 正方向(箭头方向)上的投影点越靠右,其产量越高。纵轴代表了基因型的互作效应(即品种的稳定性),各基因型在 AEA 上的垂线越短,表其稳定性越好。

1.4 数据处理

试验数据应用 Excel 进行统计编辑,联合方差分析(ANOVA)、DPS 7.05 软件、GGE - biplot 对数据进行分析,并根据以下原则作双标图:(1) 品种适应性分析,即哪些品种适合于哪些地区;(2) 根据平均产量及稳定性表现对品种进行排序;(3) 试点的鉴

别力与代表性分析;(4) 理想品种与理想试点的选择与比较。了解 GGE - Biplot 双标图数学与统计学原理请参阅文献[17 - 18]。

2 结果与分析

2.1 方差和相关性分析

对 2010—2011 年春播马铃薯在贵州省不同地区的产量表现进行方差分析(表 4)。从中知环境、

基因、环境 × 基因互作的差异性都达到极显著水平, 环境间出现极显著差异性表明试点的选择对产量有一定的意义; 基因型之间出现的极显著差异表明品种选择影响产量; 环境与基因互作效应达到极显著差异表明品种的稳定性受到环境的影响。分析原因是由试点分布广泛、种植环境差异及外界条件的改变引起的。

表 3 2010—2011 年马铃薯品种区域试验参试品种在各试点的平均产量以及农艺性状

Table 3 Average yield and agronomic traits at different locations during 2010—2011

项目 Item	试点 Location	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11
产量 Yield (kg·13.5m ⁻²)	E1	22.78	42.52	21.70	37.79	34.91	42.25	42.13	24.01	45.55	19.23	39.57
	E2	43.90	40.25	36.48	32.68	42.68	45.90	43.87	26.27	50.65	15.07	41.50
	E3	21.73	23.45	22.05	26.75	22.15	23.58	23.38	21.67	22.97	22.98	21.72
	E4	29.03	39.12	28.53	34.90	34.33	35.68	35.82	27.43	34.97	14.78	32.62
	E5	38.62	32.77	31.93	41.80	30.66	30.31	31.54	27.48	34.81	28.05	27.65
单株块茎数 Tuber number per plant	E1	13.10	9.12	5.23	12.78	11.85	12.87	13.67	7.20	11.00	7.50	7.40
	E2	8.75	14.25	7.02	10.70	13.48	13.62	11.52	7.30	13.77	4.93	10.65
	E3	9.22	14.50	9.13	9.87	9.20	11.03	10.07	7.22	9.28	7.50	12.17
	E4	6.67	10.93	8.70	10.45	7.73	10.95	11.43	10.42	12.67	5.87	8.15
	E5	11.57	15.05	9.35	13.88	12.68	8.92	11.88	10.35	13.48	8.05	10.25
单株块茎质量 Tuber fresh weight per plant /g	E1	479.83	650.37	467.03	470.60	521.24	491.97	498.38	493.07	545.90	408.07	518.83
	E2	543.63	606.07	342.32	360.25	427.63	479.80	473.97	424.63	513.00	497.77	444.86
	E3	272.30	303.05	272.50	334.97	279.18	293.63	272.65	282.97	308.97	283.88	252.47
	E4	602.17	765.17	643.00	748.50	508.00	689.67	783.83	459.77	685.13	349.88	611.57
	E5	510.33	770.27	394.27	667.33	637.97	618.57	639.73	577.5	634.45	418.67	480.05
主茎数 Stem number per plant	E1	4.22	4.13	5.07	4.18	7.03	3.70	6.40	3.22	3.93	2.65	3.80
	E2	4.97	5.70	4.60	4.92	5.20	5.67	4.33	2.25	4.32	1.88	5.98
	E3	2.53	2.85	3.17	2.67	2.83	3.03	2.90	2.70	3.23	2.47	2.57
	E4	2.18	2.98	2.53	2.93	3.32	2.73	2.37	2.45	2.82	1.28	2.88
	E5	2.68	3.80	2.50	3.38	3.93	3.53	3.10	2.90	3.31	2.23	1.98
株高 Stem height /cm	E1	69.10	79.22	73.79	70.67	83.09	90.87	82.27	74.18	89.32	53.13	77.20
	E2	89.01	95.75	84.26	94.57	82.67	81.56	68.38	89.45	81.22	44.21	78.71
	E3	87.40	83.13	98.81	86.28	92.17	86.85	85.38	92.65	93.42	92.32	95.22
	E4	72.65	61.40	65.75	73.18	74.38	70.55	72.68	83.12	78.95	49.53	70.83
	E5	41.03	47.07	28.73	51.48	53.80	53.82	54.75	37.93	51.95	37.82	55.93

注: G1: B01 - 41 - 4; G2: 宣薯 2 号; G3: 丽薯 200202; G4: 2005 - 1; G5: W04 - 36; G6: 0402 - 7; G7: 0402 - 2; G8: 盘薯 1 号; G9: 威薯 001; G10: 黑美人; G11: 米拉; E1: 安顺; E2: 毕节; E3: 凤冈; E4: 六盘水; E5: 威宁

Note: G1: B01 - 41 - 4; G2: Xuanshu2; G3: Lishu00202; G4: 2005 - 1; G5: W04 - 36; G6: 0402 - 7; G7: 0402 - 2; G8: Panshu1; G9: Weishu 001; G10: Heimeiren; G11: Mira; E1: Anshun; E2: Bijie; E3: Fenggang; E4: Liupanshui; E5: Weining

表 4 产量方差分析

Table 4 ANOVA analysis of the yield

变异来源 Source of variation	自由度 DF	平方和 Sum of squares	均方 Mean squares	F 检验 F - test	P
环境 Environment	4	8103.619426	2025.904857	23.35**	< 0.0001
基因型 Genotype	10	8452.127299	845.212730	9.74**	< 0.0001
环境 × 基因 Environment × Genotype	40	7584.974107	189.624353	2.19**	< 0.0001

注: * 表示达到 5% 显著水平; ** 表示达到 1% 极显著水平。

Note: * significant at $P < 5\%$ probability; ** significant at $P < 1\%$ probability.

对组成马铃薯产量的农艺性状作相关性和方差分析(表 5),结果表明:株高与产量呈负相关,相关系数为 -0.09451 (不显著);单株主茎数,单株块茎数,单株块茎质量与产量呈正相关;单株块茎数,单株块茎质量与产量相关系数达到 $0.33435, 0.54512$ (极显著);主茎数与产量呈正相关,相关系数为 0.19416 (显著),其中,单株块茎质量与产量的相关系数最高,表明单株块茎质量表现是影响马铃薯产

量的最主要因子。同理,不同性状之间具有一定的相关性,株高与单株块茎数、单株主茎数呈正相关,达到极显著水平;株高与单株块茎质量呈负相关;单株块茎数与主茎数呈正相关,达到极显著水平。单株主茎数、块茎数、块茎质量 F 检验(环境,基因及二者互作)均达到极显著水平(表 6),表明区域试验中环境、基因(品种)及二者互作对马铃薯育种栽培工作有重要作用。

表 5 马铃薯产量与农艺性状相关性

Table 5 The correlation of yield and agronomic traits

项目 Items	株高 Plant height	单株块茎数 Tuber number per plant	单株主茎数 Stem quantity per plant	单株块茎质量 Tuber fresh weight per plant	产量 Yield
株高 Plant height	1.00000	0.54677** <0.0001	0.25429** 0.0073	-0.31718 0.0007	-0.09451 0.3260
单株块茎数 Tuber quantity per plant	0.54677** <0.0001	1.00000	0.44800** <0.0001	0.09930 0.3020	0.33435** 0.0004
单株主茎数 Stem quantity per plant	0.25429** 0.0073	0.44800** <0.0001	1.00000	0.06043 0.5306	0.19416* 0.0421
单株块茎质量 Tuber fresh weight per plant	-0.31718 0.0007	0.09930 0.3020	0.06043 0.5306	1.00000	0.48512** <0.0001
产量 Yield	-0.09451 0.3260	0.33435** 0.0004	0.19416* 0.0421	0.54512** <0.0001	1.00000

表 6 马铃薯主要农艺性状方差分析

Table 6 ANOVA analysis of agronomic traits

项目 Item	变异来源 Source of variation	自由度 DF	平方和 Sum of square	均方 Mean squares	F 检验 F test	P
单株主茎数 Stem number per plant	环境 ENV	4	0.2212641	0.00553160	77.62**	<0.0001
	基因 GEN	10	0.01158733	0.00115873	16.26**	<0.0001
	环境×基因 ENV×GEN	40	0.01377806	0.00034445	4.83**	<0.0001
单株块茎数 Tuber number per plant	环境 ENV	4	0.01423980	0.00355995	4.428**	0.0018
	基因 GEN	10	0.10868615	0.01086862	13.48**	<0.0001
	环境×基因 ENV×GEN	40	0.08679133	0.00216978	2.69**	<0.0001
单株块茎质量 Tuber fresh weight per plant	环境 ENV	4	4.43436361	1.10859090	122.67**	<0.0001
	基因 GEN	10	1.17161061	0.11716106	12.96**	<0.0001
	环境×基因 ENV×GEN	40	1.32754721	0.03318868	3.67**	<0.0001

2.2 参试品种的产量

图 1 是根据品种-环境的相互关系对试验点分组并揭示各组内最高产品种的双标图。产量性状的第 1 主成分(PC1)解释了 56.4%的 G + GE,第 2 主成分(PC2)解释了 27.7%的 G + GE,这样就解释了 G 与 GE 互作信息的 84.1%(PC1 + PC2)。GGE 双标图的重要功能就是品种-环境的相互关系对试验点进行分组,并展示各组内最高产的品种,能直观鉴别在不同环境中哪个品种表现最好^[13]。图 1A 中,将同一方向上距离原点最远的品种连接起来形成一个多边形,其余所有品种均位于多边形内部,由原点

发出的射线对多边形各边作垂线,这些垂线将整个双标图分成 5 个区,由此将试验点分成不同的组。各区内位于多边形顶角上的品种恰好是各环境下最高产的品种。而位于多边形内部的、靠近原点的品种是接近平均产量且对环境变化不敏感的品种。由原点出发的垂线又称为两个品种的平等线(equality line),可以用来区分两个品种在不同环境的表现。在第一、三和五扇区中,均没有落下试点,说明品种 G1(B01-41-4)、G3(丽薯 200202)、G5(W04-36)、G8(盘薯 1 号)、G11(米拉)和 G10(黑美人)的产量在所有试点表现不好。所有试点可以被划分为 2 个大

生态区,品种 G4(2005-1)在试验点 E3(凤冈)和 E5(威宁)的产量最高,而品种 G9(威薯 001)在试验点 E1(安顺)、E2(毕节)和 E4(六盘水)最高产。在图 1B 中,品种 G2(宣薯 2 号)、G4(2005-1)、G6(0402-7)、G7(0402-2)、G9(威薯 001)接近于同心圆中心,产量高,稳定性强,为理想品种。图 1C 是指特定品种生态区内,理想的品种应当既高产又稳产。图中的小圆圈代表“平均环境”。带单箭头的直线是平均环境轴。它所指的方向是品种在所有环境下的近似平均产量。G4(2005-1)平均产量最高,接着是 G9(威薯 001)、G2(宣薯 2 号)、G7(0402-2)、G6(0402-

7)依此类推。产量最低的是 G10(黑美人),次低者依次是 G8(盘薯 1 号)、G3(丽薯 200202)、G11(米拉)、G1(B01-41-4)等。品种 G4(2005-1)的平均产量接近试验总平均。与平均环境轴垂直并通过原点的、带有双箭头的直线代表各品种与各环境相互作用的倾向性;箭头向外指向较大的不稳定性。越偏离平均环境轴越不稳定。所以,图 1C 中最不稳定的品种是 G4(2005-1)。而 G1(B01-41-4)、G2(宣薯 2 号)、G3(丽薯 200202)、G8(盘薯 1 号)等则较稳定。其中,G2(宣薯 2 号)可算作一个既高产又稳产的品种。

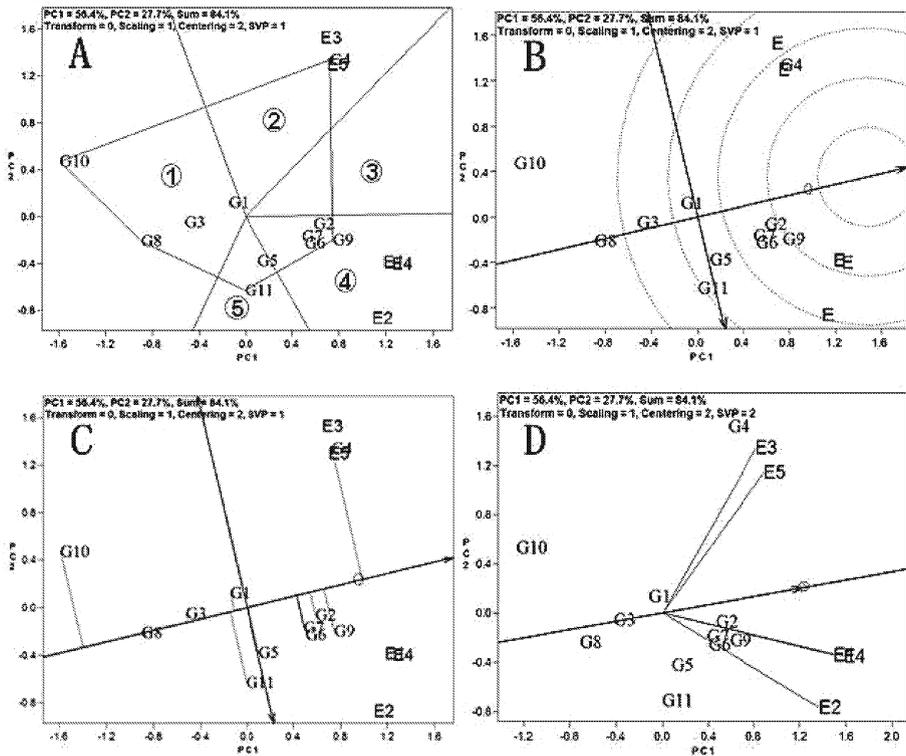


图 1 基于 GGE-biplot 双标图分析马铃薯参试品种平均产量

Fig.1 GGE-biplot analysis of average yield

A:生态适应性; B:理想品种的选择; C:GGE 双标图分析品种的丰产性与稳定性; D:GGE 双标图分析试验点的区分力与代表性(下同)

A: Adaptability of potato cultivars; B: Ranking of genotypes relative to an ideal genotype; C: Mean yield performance and stability of potato cultivars based on GGE-biplot analysis; D: Discrimination and representativeness of test sites based on GGE-biplot analysis. (Similarly hereinafter; the same below)

在图 1D 中,该功能图直观评价试验点的“区分力和代表性”。它在图 1D 的基础上加了一个“平均环境轴”。图中的小圆圈代表“平均环境”。它的位置取决于各试验环境坐标的平均值。这个平均环境代表目标环境。带箭头的直线通过双标图的原点和平均环境,称为平均环境轴 AEA。各试验点向量的长度是其区分能力的度量,试验点向量与平均环境向量的角度是其对目标环境的代表性的度量。角度越小,代表性越强。角度越大,代表性越弱。AEA 箭头所指方向是对试验点区分力和代表性两方面的

综合评价。就区分能力而言,E1(安顺)、E2(毕节)、E3(凤冈)、E4(六盘水)较好;就代表性而言,E1(安顺)、E4(六盘水)较好。综合起来,E1(安顺)和 E4(六盘水)最好。

2.3 单株块茎数

同理,单株块茎数性状的 PC1 解释了 57.5%的 G+GE,PC2 解释了 17.8%的 G+GE,GGE 双标图可以解释 G 与 GE 交互信息的 75.3%(图 2A-D)。对单株块茎数而言,试点同样可以被分为两个主要生态区,第 3 区中,品种 G7(0402-2)在试点 E1(安顺)

表现最优,第 5 区中,G2(宣薯 2 号)在试点 E2(毕节)、E3(凤冈)、E4(六盘水)和 E5(威宁)均表现最好(图 2A)。品种 G2(宣薯 2 号)、G4(2005 - 1)、G5(W04 - 36)、G7(0402 - 2)、G9(威薯 001)接近于同心圆中心,因此其单株块茎数要接近理想品种(图 2B)。单株块茎数最低的是 G10,次低者依次是 G3(200202)、G8(盘薯 1 号)、G1(B01 - 41 - 4)、G11(米拉)等,品种 G9(宣薯 2 号)单株块茎数接近环境平

均同时稳定性较好,而 G2(宣薯 2 号)平均单株块茎数最高但稳定性相对较差,G4(2005 - 1)、G5(W04 - 36)、G6(0402 - 7)、G7(0402 - 2)等的单株块茎数均高于平均但稳定性一般(图 2C),因此,这些品种的推广潜力可在今后的区试中进行进一步评价。就区试点的区分能力而言,E1(安顺),E2(毕节)和 E3(凤冈)较好(图 2D),;就代表性而言,E2(毕节)、E4(六盘水)、E5(威宁)较好。综合起来,E2(毕节)最好。

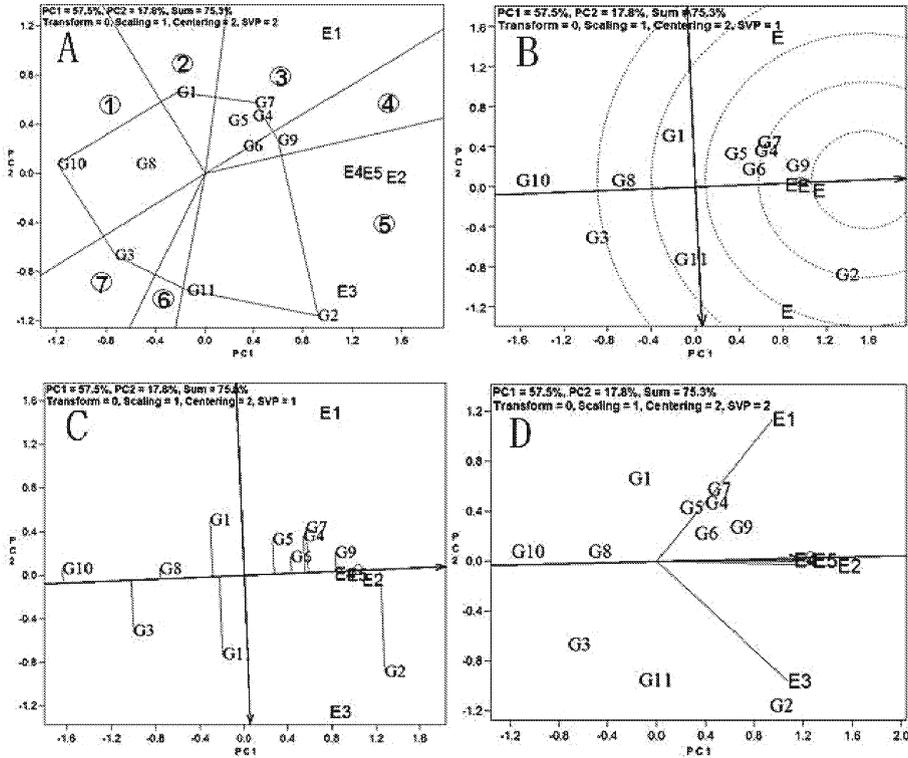


图 2 基于 GGE - biplot 双标图分析马铃薯参试品种单株块茎数

Fig.2 GGE - biplot analysis of tuber per plant

2.4 单株块茎质量

同理,单株块茎质量性状的 PC1 解释了 53.8% 的 G + GE, PC2 解释了 23.2% 的 G + GE, GGE 双标图可解释 G 与 GE 交互信息的 77%(图 3A - D)。对单株块茎质量而言,在第 3 区中,品种 G4(2005 - 1)为试点 E3(凤冈)的最优表现品种,在第 4 扇区中包含品种 G2(宣薯 2 号)、G6(0402 - 7)、G7(0402 - 2)、G9(威薯 001)、G5(W04 - 36),而品种 G2(宣薯 2 号)为试点 E1(安顺)、E2(毕节)、E4(六盘水)、E5(威宁)的最优表现品种(图 3A)。品种 G5(W04 - 36)、G6(0402 - 7)、G7(0402 - 2)、G9(威薯 001)接近于同心圆中心,因此其单株块茎数接近理想品种(图 3B)。单株块茎质量最低的是 G10(黑美人),次低者依次是 G3(丽薯 200202)、G8(盘薯 1 号)、G11(米拉)、G1(B01 - 41 - 4)等。品种 G2(宣薯 2 号)、G9(威薯

001)的单株块茎质量接近试验总平均,G5(W04 - 36)、G6(0402 - 7)、G7(0402 - 2)、G8(盘薯 1 号)、G9(威薯 001)等则较稳定。其中,品种 G9(威薯 001)可算作一个单株块茎数多又稳定的品种(G2(宣薯 2 号)稳定性较差)。就试点区分能力而言,E1(安顺)、E2(毕节)、E3(凤冈)、E5(威宁)较好。就代表性而言,E4(六盘水)、E5(威宁)较好。综合起来,E5(威宁)最好(图 3D)。

2.5 单株主茎数

同理,单株主茎数性状的 PC1 解释了 55.9% 的 G + GE, PC2 解释了 16.5% 的 G + GE, GGE 双标图可以解释 G 与 GE 交互信息的 72.4%(图 4A - D)。对主茎数而言,品种 G5(W04 - 36)为试点 E1(安顺)、E2(毕节)、E4(六盘水)和 E5(威宁)的最优表现品种,品种 G9(威薯 001)为试点 E3(凤冈)的最优表

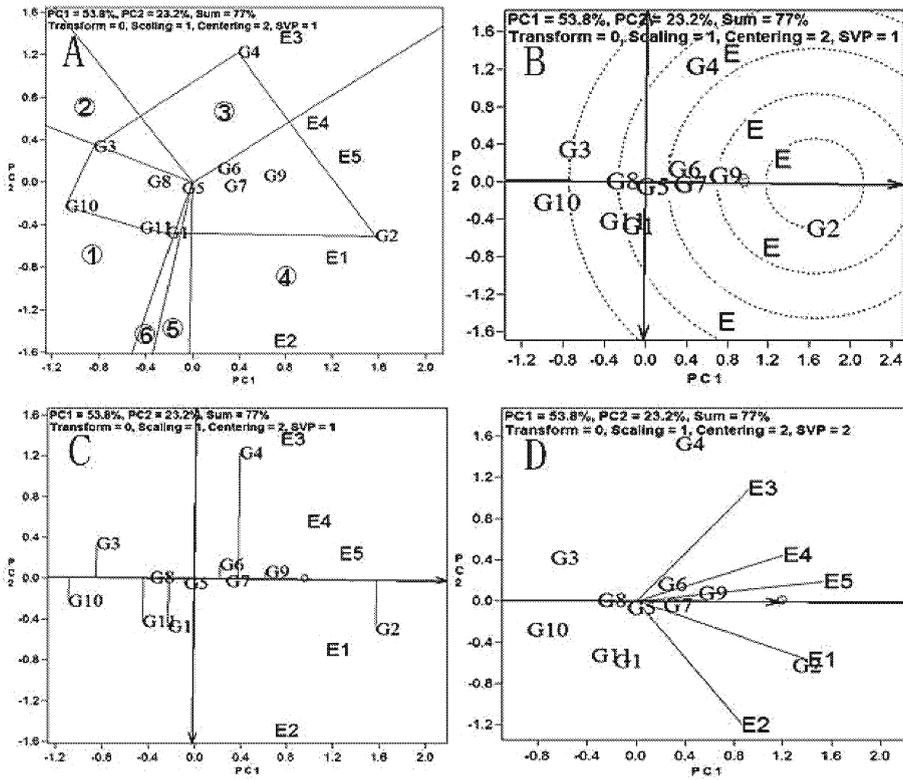


图 3 基于 GGE - biplot 双标图分析马铃薯参试品种单株块茎质量

Fig.3 GGE - biplot analysis of tuber weight per plant

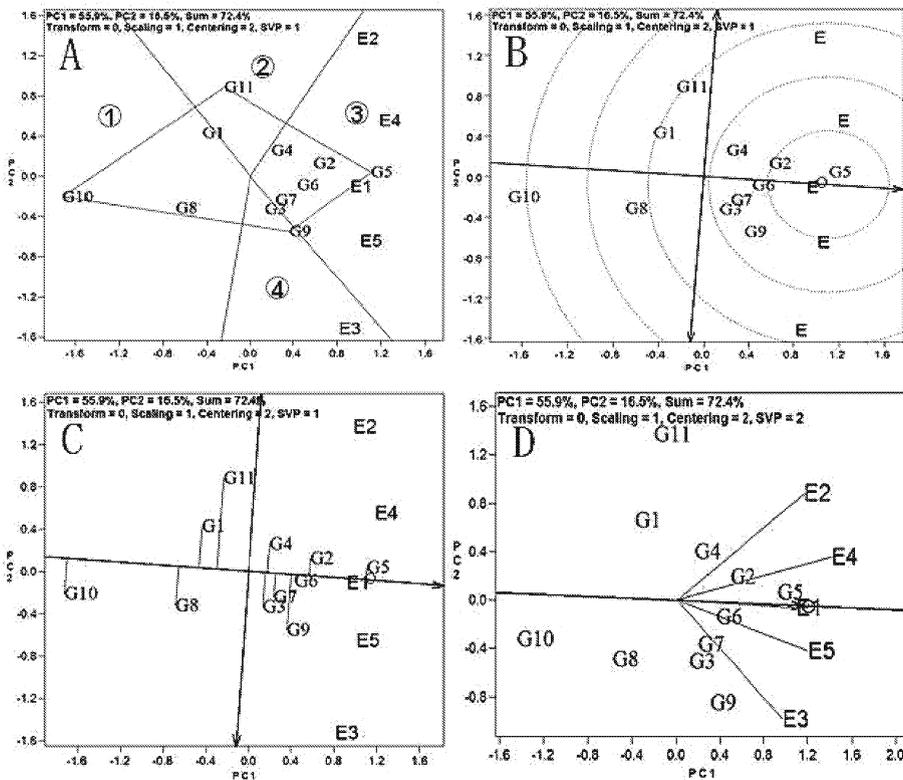


图 4 基于 GGE - biplot 双标图分析马铃薯参试品种主茎数

Fig.4 GGE - biplot analysis of main stem numbers

现品种(图 4A)。品种 G2(宣薯 2 号)和 G5(W04-36)最接近于同心圆中心,其中 G5(W04-36)的单株主茎数表现最好(图 4B)。主茎数最低的是 G10(黑美人),品种 G2(宣薯 2 号)、G5(W04-36)、G6(0402-7)、G9(威薯 001)的平均主茎数接近试验总平均。最不稳定的品种是 G11(米拉),而 G2(宣薯 2 号)、G5(W04-36)、G6(0402-7)等则较稳定(图 4C)。其中,品种 G9(威薯 001)可算作一个性状较稳定的品种(较 G11)。就区分能力而言,E2(毕节)、E4(六盘水)、E3(凤冈)较好。就代表性而言,E1(安顺)、E4(六盘水)、E5(威宁)较好。综合起来,试点 E4(六盘水)具有较好的区分力和代表性(图 4D)。

综合可知,对产量而言,品种(系)的丰产性表现情况为 G4(2005-1) > G9(威薯 001) > G2(宣薯 2 号) > G7(0402-2) > G6(0402-7) > G5(W04-36) > G1(B01-41-4) > G11(米拉) > G3(丽薯 200202) > G8(盘薯 1 号) > G10(黑美人);对块茎数而言,单株块茎数量为:G2(宣薯 2 号) > G9(威薯 001) > G4(2005-1) > G7(0402-2) > G6(0402-7) > G5(W04-36) > G11(米拉) > G1(B01-41-4) > G8(盘薯 1 号) > G3(丽薯 200202) > G10(黑美人);对块茎质量而言,单株块茎质量大小为:G9(威薯 001) > G7(0402-2) > G4(2005-1) > G6(0402-7) > G2(宣薯 2 号) > G5(W04-36) > G1(B01-41-4) > G8(盘薯 1 号) > G11(米拉) > G3(丽薯 200202) > G10(黑美人);对主茎数而言,单株主茎数:G5(W04-36) > G2(宣薯 2 号) > G6(0402-7) > G9(威薯 001) > G7(0402-2) > G4(2005-1) > G3(丽薯 200202) > G11(米拉) > G1(B01-41-4) > G8(盘薯 1 号) > G10(黑美人)。综合各品种的产量及各农艺性状情况,可得知品种(系)的丰产性表现较好的是 G9(威薯 001)、G2(宣薯 2 号)、G4(2005-1)、G6(0402-7)、G7(0402-2)、G5(W04-36),其中,G9(威薯 001)总体表现最优。

在稳定性方面,对产量而言,品种稳定性大小为:G8(盘薯 1 号) > G3(丽薯 200202) > G1(B01-41-4) > G2(宣薯 2 号) > G6(0402-7) > G7(0402-2) > G9(威薯 001) > G5(W04-36) > G11(米拉) > G10(黑美人) > G4(2005-1);对单株块茎数而言,稳定性大小顺序为:G8(盘薯 1 号) > G10(黑美人) > G6(0402-7) > G9(威薯 001) > G4(2005-1) > G5(W04-36) > G7(0402-2) > G3(丽薯 200202) > G1(B01-41-4) > G11(米拉) > G2(宣薯 2 号);在块茎质量方面,稳定性大小顺序为:G5(W04-36) > G6(0402-7) > G7(0402-2) > G8(盘薯 1 号) > G9(威薯

001) > G10(黑美人) > G3(丽薯 200202) > G2(宣薯 2 号) > G1(B01-41-4) > G11(米拉) > G4(2005-1);对主茎数而言,品种稳定性大小为:G6(0402-7) > G5(W04-36) > G2(宣薯 2 号) > G7(0402-2) > G4(2005-1) > G3(丽薯 200202) > G8(盘薯 1 号) > G10(黑美人) > G1(B01-41-4) > G9(威薯 001) > G11(米拉)。综合可知,在品种(系)的稳定性方面,品种 G6(0402-7)、G8(盘薯 1 号)、G5(W04-36)具有良好的稳定性。

在试点区分力方面,对产量而言,试点区分能力: E1(安顺) > E2(毕节) > E3(凤冈) > E4(六盘水) > E5(威宁);对块茎数而言,试点区分能力: E1(安顺) > E2(毕节) > E3(凤冈) > E4(六盘水) > E5(威宁);单株块茎质量方面: E1(安顺) > E2(毕节) > E3(凤冈) > E5(威宁) > E4(六盘水);对主茎数而言,试点区分能力: E2(毕节) > E3(凤冈) > E4(六盘水) > E1(安顺) > E5(威宁)。综合得出区分力较强的试点为 E2(毕节)、E1(安顺)、E3(凤冈)。

在试点代表性方面,对产量而言,试点代表性大小为: E1(安顺) > E4(六盘水) > E2(毕节) > E5(威宁) > E3(凤冈);对块茎数而言,试点代表性顺序为 E2(毕节) > E4(六盘水) > E5(威宁) > E1(安顺) > E3(凤冈);对单株块茎质量而言,试点代表性: E5(威宁) > E4(六盘水) > E1(安顺) > E3(凤冈) > E2(毕节);对主茎数而言,试点代表性: E1(安顺) > E4(六盘水) > E5(威宁) > E2(毕节) > E3(凤冈)。所以,试点 E1(安顺)、E4(六盘水)具有较强代表性。

3 讨论

本研究利用 GGE 双标图法首次对贵州马铃薯产量及农艺性状进行了综合分析,比较了品种的丰稳产性,筛选出了比较理想的马铃薯品种及区域试点,还对马铃薯产量与农艺性状进行相关性分析,在相关性分析中,单株块茎质量与产量呈正相关,相关系数最高(0.54512,极显著),说明单株块茎质量是影响产量的最主要因子,株高与马铃薯产量呈负相关性,株高与马铃薯的早晚熟型性状有关,晚熟的品种植株比较高,早熟的品种植株比较矮小,在进行区试结果分析之前应将各个参试品种按照其生育期长短进行归类,然后进行优势品种的选择。由于本试验对各个品种的生育期数据记录有缺失,为防止数据分析时出现误差,在试验中不考虑生育期长短因素。在今后的研究中将进一步进行细化分析。

区试地点的代表性和区分力是马铃薯区域试验中的重要指标。造成试验点区分力低的因素包括人

为因素和环境因素,如果所有品种在某个试验点产量低下而且没有差异,可能是受人为原因或自然灾害因素的影响^[19]。通常在品种(系)的评价过程中,由于各试点具有不同的海拔高度、年降水量、年平均气温等,形成了几种特定的品种生态区,且试点的区分能力与代表性也不是固定的,具有可变性,受环境条件影响较大,所以,分析品种(系)高产性和稳产性时,应在所有试点处于同一生态区时使用,因此,如果要鉴别一个试点代表性和区分力的好坏,需要有长时间的资料积累,同时应加强对试验点的实地考察,与马铃薯品种的生育期长短一样,根据多年的气象数据对区试环境按照生态类型进行归类,再利用品种在区试地点的表现情况进行区域试点环境的评价。

参加区试的 5 个试点中,就区分力方面而言,试点 E2(毕节)、E1(安顺)、E3(凤冈)对特殊适应性品种具有较强选择性;试点 E1(安顺),E4(六盘水)具有较强的代表性,综合可知,既具有强区分力又有代表性的试点为 E1(安顺),即安顺地区(年均气温在 14℃左右,年降水量在 1 400 mm 左右,低温湿润的环境)对不耐旱但高产稳产的马铃薯品种具有较高的选育效率。

稳定性和适应性是决定马铃薯品种推广应用的重要因素,理想的马铃薯品种应具有高产、稳产、广泛适应性的特点,在不同环境条件或生态区域中,品种的稳产性(稳定性)只有与其高产性相结合时才有意义,高产且稳产的马铃薯品种(系)是主要的推广目标品种,而对于低产品种,即使其稳定性再好,也不适宜广泛种植。在本研究中,品种(系)的丰产性表现较好的是 G9(威薯 001)、G2(宣薯 2 号)、G4(2005-1)、G6(0402-7)、G7(0402-2)、G5(W04-36);稳定性好的是品种 G6(0402-7)、G8(盘薯 1 号)、G5(W04-36),所以,品种 G5(W04-36)、G6(0402-7)可作为主要推广目标品种。同时,对于那些在多变环境中稳定性较差,但在某个特定区域丰产性突出的马铃薯品种(具有特殊适应性)可在局部特定地区推广。由此可见,分析各品种的最佳适应区域,做到品种的合理栽培布局,充分发挥各品种的产量潜力,对增加产量和经济效益有重大意义。

GGE 双标图法的应用不应局限于对品种与试点环境的互作分析,也可以应用到田间管理措施方面,如灌溉^[20]、栽培方式^[21-23]、密度^[24]等,同时也应该把马铃薯的淀粉含量作为区试考虑的因素(淀粉含量高低决定块茎加工型品质等),因此,今后将马铃薯的考种与淀粉含量指标一并加入到区试评价环节中,对筛选理想加工型品种会有积极作用。

4 结 论

利用 GGE 双标图法分析了 2010—2011 年贵州省马铃薯区域试验,参加区试的 11 个品种中,丰产性表现较好的是 G9(威薯 001)、G2(宣薯 2 号)、G4(2005-1)、G6(0402-7)、G7(0402-2)、G5(W04-36),其中 G9(威薯 001)丰产性最高,而丰产性表现最差的是 G8(盘薯 1 号)、G10(黑美人);品种(系)稳定性较好的是 G6(0402-7)、G8(盘薯 1 号)、G5(W04-36),稳定性最差的为 G11(米拉)。所以,品种 G5(W04-36)、G6(0402-7)较适合在贵州省马铃薯种植区推广。

参加区试的 5 个试点中,区分力较强的试点为 E2(毕节),E1(安顺),E3(凤冈),这些试点对品种具有较强的选择性,所以适合部分特定品种的局部区域种植(如 G4(2005-1)种植在 E3(凤冈)和 E5(威宁));区分力弱的试点为 E4(六盘水),E5(威宁),说明其对品种选择性弱,适合多品种种植。在代表性方面,试点 E1(安顺),E4(六盘水)具有较强的代表性,试点 E3(凤冈)代表性最弱,试点代表性的强弱可为区域试验的地点选择及种植计划提供参考和依据。综合可知,既具有强区分力又具有代表性的试点为 E1(安顺),即在 E1(安顺)地区可得到较理想的马铃薯区域试验结果。

参 考 文 献:

- [1] Crossa J. Statistical analyses of multilocation trials[J]. *Adv. Agron.*, 1997,44:55-85.
- [2] Yang R, Blade SF, Crossa J. Identifying isoyield environments for field pea production[J]. *Crop Science*, 2005,45:106-113.
- [3] Yan W, Racjan I. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario[J]. *Crop Science*, 2002,42:11-20.
- [4] 李辛村,杨天育,张恩和.基因型和环境及其互作对糜子主要农艺性状的影响[J].*草业学报*,2012,21(4):16-24.
- [5] Sabaghnia N, Dehghani H, Alizadeh B, et al. Yield analysis of rapeseed (*Brassica napus* L.) under water-stress conditions using GGE biplot methodology[J]. *Journal of Crop Improvement*, 2011,25(1):26-45.
- [6] Zobel R W, Wright M J, Gauch H G. Statistical analysis of a yield trial[J]. *Agronomy J*, 1988,80:388-393.
- [7] Sterling Brooks Blanche, Gerald O Myersb, Manjit S Kangb. GGE biplots and traditional stability measures for interpreting genotype by environment interactions[J]. *Journal of Crop Improvement*, 2007,20(1-2):123-135.
- [8] Samonte SOP B, Wilson L T, McClung A M, et al. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis[J]. *Crop Science*, 2005,45:2414-2424.
- [9] Yan W, Kang M S. GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 2003.

- [10] Kang M S, Gorman D P. Genotype \times environment interaction in maize[J]. *Agronomy J*, 1989, 81:662-664.
- [11] Gabriel K R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis[J]. *Biometrika*, 1971, 58:453-467.
- [12] Yan W. GGE Biplot: A windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data[J]. *Agronomy Journal*, 2001, 93:1111-1118.
- [13] Yan W. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data[J]. *Agronomy J*, 2002, 94:990-996.
- [14] Yan W, Hunt L A, Sheng Q, et al. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot[J]. *Crop Science*, 2000, 40:597-605.
- [15] Laffont J L, Hanafi M. Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGEbiplots[J]. *Crop Sci*, 2007, 47:990-997.
- [16] 严威凯, 盛庆来, 胡跃高, 等. GGE 叠图法 - 分析品种 \times 环境互作模式的理想方法[J]. *作物学报*, 2001, 27(1):21-28.
- [17] Weikai Yan, Nicholas A Tinker. Biplot analysis of multi - environment trial data: principles and applications[J]. *Canada Journal of Plant Science*, 2006, 86:623-645.
- [18] 严威凯. 双标图分析在农作物品种多点实验中的应用[J]. *作物学报*, 2010, 36(11):1805-1819.
- [19] Baxevanos D, Goulas C, Rossi J. Separation of cotton cultivar testing sites based on representativeness and discriminating ability using GGE biplots[J]. *Agronomy Journal*, 2008, 100(5):1230-1236.
- [20] 柴守玺, 常 磊, 杨蕊菊, 等. 小黑麦基因型与环境互作效应及产量稳定性分析[J]. *核农学报*, 2011, 25(1):155-161.
- [21] 王 瑾, 周立杰, 李玉荣, 等. 不同栽培方式对芝麻农艺性状及产量的影响[J]. *华北农学报*, 2011, 26:253-256.
- [22] 范士杰, 王 蒂, 张俊莲, 等. 不同栽培方式对马铃薯土壤水分状况和产量的影响[J]. *草业学报*, 2012, 21(2):271-279.
- [23] 蔺海明, 周建军, 王 蒂, 等. 大整薯稀播对马铃薯农艺性状和产量的影响[J]. *草业学报*, 2011, 20(3):304-308.
- [24] 陈四龙, 李玉荣, 程增书. 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.

(上接第 4 页)

- [4] 温晓霞, 韩思明. 旱作小麦地膜覆盖生态效应研究[J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11(2):92-95.
- [5] 王 俊, 李凤民, 宋秋华, 等. 地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(2):205-210.
- [6] Xie Z K, Wang Y J, Li F M. Effect of plastic mulching on soil water use and spring wheat yield in arid region of northwest China[J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 75(1):71-83.
- [7] 高应平. 覆膜方式对马铃薯产量的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2009, (9):29-31.
- [8] 杨来胜, 席正英, 李玲樊, 等. 马铃薯高垄膜上覆土自然破膜出苗栽培技术[J]. *中国蔬菜*, 2010, (11):47-48.
- [9] 王连喜, 钱 蕊, 曹 宁, 等. 地膜覆盖对粉用马铃薯生长发育及产量的影响[J]. *作物杂志*, 2011, (5):68-73.
- [10] 宿俊吉, 邓福军, 林 海, 等. 揭膜对陆地棉根际温度、各器官干物质积累和产量、品质的影响[J]. *棉花学报*, 2011, 23(2):172-177.
- [11] Li F M, Wang J, Xu J Z, et al. Productivity and soil response to plastic film mulching durations for spring wheat on entisols in the semiarid Loess Plateau of China[J]. *Soil & Tillage Researcher*, 2004, 78(1):9-20.
- [12] 孙本普, 李秀云, 张保名. 小麦适时揭膜的增产效果[J]. *麦类作物*, 1992, 5(9):45-47.
- [13] 毕继业, 王秀芬, 朱道林. 地膜覆盖对农作物产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(11):172-175.
- [14] 赵世杰, 刘华山, 董心纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [15] 扶胜兰, 高致明, 张红瑞, 等. 不同揭膜方式对丹参产量与品质的影响[J]. *河南农业科学*, 2011, 40(2):128-130.
- [16] 周思瑾, 杨虹琦, 林雷通, 等. 不同揭膜培土方式对烤烟产质量的影响[J]. *湖南农业科学*, 2010, (9):35-38.
- [17] 何淑玲, 马令法, 刘伯渠, 等. 不同揭膜时间对麻花苳生长和品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2011, 39(6):421-422.
- [18] 葛 珍, 张 斌. 揭膜对覆膜马铃薯生长发育的影响[J]. *中国马铃薯*, 2003, 17(4):244-246.