

# 西北旱作区马铃薯基因型与环境互作分析

刘 鹏<sup>1,2</sup>, 冯 梅<sup>1,2</sup>, 文殷花<sup>1,2</sup>, 罗 磊<sup>1,2</sup>, 李德明<sup>1,2</sup>, 李亚杰<sup>1,2</sup>

(1. 定西市农业科学研究院, 甘肃 定西 743000; 2. 甘肃省马铃薯工程技术研究中心, 甘肃 定西 743000)

**摘要:** GGE 双标图法是研究基因型(G)及基因型与环境互作(GE)的统计分析工具。采用 GGE 双标图对 2017—2018 年马铃薯多点试验中 17 个马铃薯参试高代品系在 7 个试点的产量进行分析。结果表明, 在供试的 17 个品种(系)中, 产量以 0732-12 最高, 稳定性以 0812-34、0732-12、0732-15 较高, 0708-12 较差。7 个试点中, 渭源县会川镇试点的区分力最强。代表性以渭源县会川镇、通渭县华家岭、安定区青岚乡等试点表现较强, 临洮县连儿湾、通渭县石川乡、岷县禾驮镇等试点较弱。

**关键词:** 马铃薯; GGE 双标图; 产量

**中图分类号:** S532 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2021)04-0067-06

[doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2021.04.017](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2021.04.017)

## Interaction Analysis for Potato Genotype and Environment in Arid Region Northwest

LIU Kun<sup>1,2</sup>, FENG Mei<sup>1,2</sup>, WEN Yinhua<sup>1,2</sup>, LUO Lei<sup>1,2</sup>, LI Deming<sup>1,2</sup>, LI Yajie<sup>1,2</sup>

(1. Dingxi Academy of Agricultural Science, Dingxi Gansu 743000, China; 2. Gansu Potato Engineering Technology Research Center, Dingxi Gansu 743000, China)

**Abstract:** GGE-biplot is a new statistical analysis tool in the research of genes (G) and interaction of genes

**收稿日期:** 2021-01-11

**基金项目:** 国家现代农业产业技术体系(CARS-09)。

**作者简介:** 刘 鹏(1987—), 男, 甘肃定西人, 经济师, 主要从事作物栽培技术研究。Email: 443468500@qq.com。

**通信作者:** 李亚杰(1986—), 男, 甘肃庆阳人, 副研究员, 主要从事马铃薯遗传育种及栽培技术研究。Email: liyajie\_2008@163.com。

GSQ-9 生育期、抗倒伏性、农艺性状较对照品种表现较好, 但经济性状表现一般, 且产量位居第 3, 为 3 212.42 kg/hm<sup>2</sup>, 较对照陇藜 1 号表现减产、较陇藜 4 号表现增产, 应继续试验观察。其余品种的生育期、抗倒伏性、农艺性状、经济性状及产量表现相对较差, 可进一步试验观察。

### 参考文献:

- [1] 杨富位, 王守明, 吴思荣, 等. 静宁县高海拔山旱地马铃薯引种试验初报[J]. 甘肃农业科技, 2012(5): 15-17.
- [2] 杨发荣, 刘文瑜, 黄 杰, 等. 河西地区 2 个藜麦品种引种试验研究[J]. 草地学报,

2018, 26(5): 1273-1276.

- [3] 杨发荣, 刘文瑜, 黄 杰, 等. 藜麦新品种陇藜 4 号选育报告[J]. 甘肃农业科技, 2020(8): 1-5.
- [4] 董立盛, 孙小娟, 赵生香. 有机无机肥料配施对藜麦产量及土壤肥力的影响[J]. 中国农技推广, 2019, 35(2): 52-54.
- [5] 杨 蛟, 戴红燕, 廖映秀, 等. 西昌市藜麦引种试验初报[J]. 甘肃农业科技, 2020(11): 7-11.
- [6] 李 想, 朱丽丽, 张业猛, 等. 青海高原藜麦资源农艺性状评价及产量相关分析[J]. 东北农业大学学报, 2020, 51(10): 20-27.

(本文责编: 杨 杰)

and environment (GE). In 2017–2018, GGE-biplot was used for yield analysis in 17 potato varieties at 7 testing-sites in Gansu Province. The results showed that the genotype of 0732–12 has the highest yielding in the 17 varieties (lines), 0812–34, 0732–12 and 0732–15 have higher stability in lines while the genotype G1 has poor stability performance. In the 7 test sites, the site of Huichuan town has the strongest discrimination ability. In terms of representativeness, Huichuan Town site of Weiyuan County, Huajialing site of Tongwei County, Qinglan Township site of Anding District and other site performance are strong, Lian'er Wan site of Lintao County, Shichuan Township site of Tongwei County, Hetuo Town site of Minxian County are weak.

**Key words:** Potato; GGE-biplot; Yield

品种区域试验的主要目的为评价参试品系的丰产性、稳定性、抗逆性以及各区域试验点的区分力, 为新品种的选育、审定和推广提供依据。在作物品种区域试验分析中, 继 Finlay 和 Wilkinson 的联合回归<sup>[1]</sup>分析以及 Gauch 和 Zobel 等创立的 AMMI 模型<sup>[2]</sup>之后, Gabriel<sup>[3]</sup>首次提出 GGE 双标图法。GGE 双标图分析法以其独特的分析原理利用二维图方式标识出品种对环境的适应性、稳产性及环境的代表性和区分力, 从而帮助育种工作人员评价与选育出适应性较广、高产稳产的理想品种及具有较强代表性的理想环境, 可有效节省成本, 提高选择效率, 并对后期试验进行合理布局, 已有小麦<sup>[4]</sup>、高粱<sup>[5]</sup>、大豆<sup>[6]</sup>、绿豆<sup>[7]</sup>、燕麦<sup>[8]</sup>、油菜<sup>[9]</sup>、花生<sup>[10]</sup>等不同作物的区域试验数据分析得到应用, 在马铃薯<sup>[11]</sup>中的应用逐年增加。GGE 双标图为客观评价马铃薯参试品种的丰产性和稳定性提供了直观、有效的手段, 为新品种的鉴定与推广提供了科学依据。

马铃薯作为西北旱作区主要粮食作物和经济作物, 其优良新品种的选育对于当地的

农业经济发展起到非常重要的促进作用。但是由于干旱少雨, 地理环境复杂, 气候特点差异较大, 马铃薯对水肥敏感性高, 在区域试验中很难系统掌握马铃薯品种在各试点的特点及环境的表现能力。我们根据 2017—2018 年的多点试验数据, 利用 GGE 双标图法对参试的 17 个马铃薯高代品系的丰产性、适应性以及不同试点的鉴别力和代表性进行了分析, 以期筛选出优良的马铃薯品系和理想的区域试验地点。

## 1 材料与方法

### 1.1 试点及试验材料

试点和品种情况见表 1、2。

### 1.2 试验方法

试验随机区组排列, 3 次重复, 小区面积 20 m<sup>2</sup>, 小区长 6.67 m, 宽 3.0 m。每小区种植 5 行, 行距 70 cm, 株距 28 cm, 每行 20 株, 共 100 株。试验按照农作物品种区域试验技术规程进行。

### 1.3 模型应用

GGE 双标图由品种(G)效应和品种 × 环境互作(GE)效应组成, 试验产量可分解为:

表 1 2017—2018 年马铃薯多点试验的 7 个试点基本情况

代码	试点	经度	纬度	年均温 /°C	年降水量 /mm	海拔 /m
E1	渭源县会川镇	104°02'E~104°49'E	33°26'N~35°07'N	6.8	500	2 080
E2	通渭县华家岭	105°54'E~106°35'E	34°44'N~35°11'N	3.5	600	2 200
E3	安定区香泉镇	102°41'E~103°40'E	34°57'N~36°12'N	5.8	400	2 000
E4	安定区青岚乡	104°12'E~105°01'E	35°17'N~36°02'N	6.3	400	1 898
E5	临洮县连儿湾	105°20'E~106°05'E	35°01'N~35°45'N	7.1	450	1 800
E6	通渭县石川乡	103°27'E~104°21'E	36°16'N~36°53'N	5.9	300	1 900
E7	岷县禾驮镇	104°13'E~34°27'E	33°46'N~34°23'N	4.5	750	2 500

$$Y_{ij} - \bar{Y}_j = \xi_{i1}\eta_{j1} + \xi_{i2}\eta_{j2} + \varepsilon_{ij}, \quad \xi_{in} = \lambda_n \frac{1}{2} \xi_{in},$$

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

i 为基因型, j 为环境,  $\xi_{i1}$  与  $\xi_{i2}$  分别表示基因型 i 在 PC1(主成分轴 1)与 PC2(主成分轴 2)的得分,  $\eta_{j1}$  与  $\eta_{j2}$  表示环境 j 在 PC1 与 PC2 的得分,  $Y_{ij}$  为基因型 i 在环境 j 中的产量,  $\bar{Y}_j$  为所有基因型 i 在环境 j 中的产量表现,  $\varepsilon_{ij}$  为模型中的残差。

#### 1.4 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 进行统计整理, 然后利用 GGE 双标图分析软件

(GGE-biplot 7.7) 进行图解分析, 联合方差分析采用 DPS 7.05 软件进行<sup>[12]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 联合回归分析

对 2017—2018 年多点试验结果进行联合回归分析结果(表 3)可知, 联合回归分析仅解释了多点试验产量总变异的 0.8%, 未达到显著水平( $P > 0.05$ ), 说明线性回归分析对总变异的解释仍然不够; 基因与环境交互作用(GE)及基因(G)分别解释产量总变异的 21.6%和 73.2%, 且达到显著水平( $P < 0.05$ )。

表 2 参加 2017—2018 年多点试验 17 个高代品种(系)基本情况

品种(系)	品种(系)代码	育种单位	年份	植株特征			
				花冠色	顶小叶形状	叶色	株型
0708-12	G1	定西市农业科学研究院	2017—2018	淡红	椭圆形	绿	直立
0812-34	G2	定西市农业科学研究院	2017—2018	红	椭圆形	绿	半直立
0932-33	G3	定西市农业科学研究院	2017—2018	红	椭圆形	绿	直立
定薯 4 号(CK)	G4	定西市农业科学研究院	2017—2018	白	椭圆形	绿	直立
0912-34	G5	定西市农业科学研究院	2017—2018	红	椭圆形	绿	直立
0732-12	G6	定西市农业科学研究院	2017—2018	红	椭圆形	绿	直立
0732-15	G7	定西市农业科学研究院	2017—2018	白	椭圆形	绿	直立
0904-42	G8	定西市农业科学研究院	2017—2018	淡红	椭圆形	绿	直立
0904-12	G9	定西市农业科学研究院	2017—2018	红	椭圆形	绿	直立
0732-33	G10	定西市农业科学研究院	2017—2018	红	椭圆形	绿	直立
1003-4	G11	定西市农业科学研究院	2017—2018	红	卵形	绿	半直立
0732-45	G12	定西市农业科学研究院	2017—2018	白	椭圆形	绿	直立
1003-33	G13	定西市农业科学研究院	2017—2018	红	卵形	绿	直立
0904-5	G14	定西市农业科学研究院	2017—2018	白	椭圆形	绿	直立
0732-12	G15	定西市农业科学研究院	2017—2018	红	椭圆形	绿	直立
0903-34	G16	定西市农业科学研究院	2017—2018	红	椭圆形	绿	半直立
0704-08	G17	定西市农业科学研究院	2017—2018	红	宽形	绿	直立

表 3 多点试验产量的联合回归分析

	变异来源	DF	SS	占交互作用百分比		MS	P
					/%		
联合回归分析	总的	122	22 100 414.596 5			187 291.6491	
	基因	17	16 180 223.024 0	73.2		1 037 543.126 0	0.000 0
	环境	6	1 331 474.875 5	6.0		223 197.695 6	0.000 4
Regression analysis	交互作用	99	4 770 082.142 6	21.6		49 402.240 3	0.042 5
	联合回归	1	181 551.891 4	0.8		181 551.891 4	0.052 7

### 2.2 基于 GGE 双标图的产量分析

由图 1 可知,采用聚焦环境的特征值分配方法(SVP=2)。产量性状的第1主成分(PC1)解释了 78.8%的 G+GE,第 2 主成分(PC2)解释了 9.1%的 G+GE,GGE 双标图可以解释 G 与 GE 互作信息的 87.9%,拟合度属于偏好水平。在图中展示的关系或规律是接近真实的。

图中连接 4 个基因型围成一个多边形,所有品种包含在多边形内,通过原点的各边垂线把整个双标图分成多个扇形区,并由此把试验点分为不同的区域,各区域内位于多边形顶角上的品种(系)恰好是各环境下表现最好的品种(系)。

图 1 中包含 5 个扇形区,在第 1 扇区中包含品种(系)G3、G5、G14,试点 E3、E4、E7,其中 G3 表现最好;在第 2 扇区中,品种(系)G15 在试验点 E3 和 E5 最高产,第 3 扇区中没有出现试点与品种;在第 4 扇区中,品种(系)G1 表现最高产,但无最佳适应区;第 5 扇区中存在品种(系)G2、G6、G7,试点 E5, E6,且 G6 在试验点中表现最好。

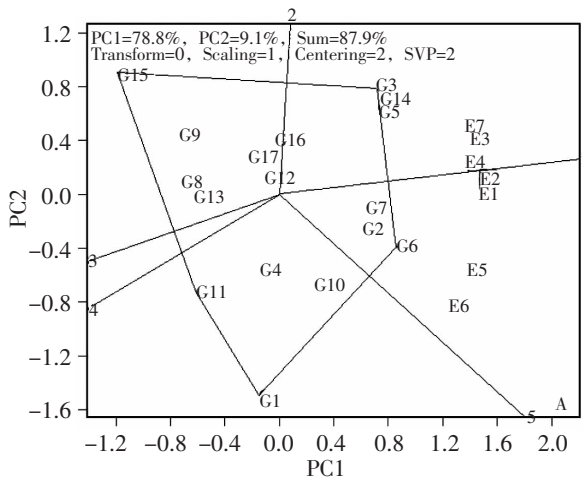


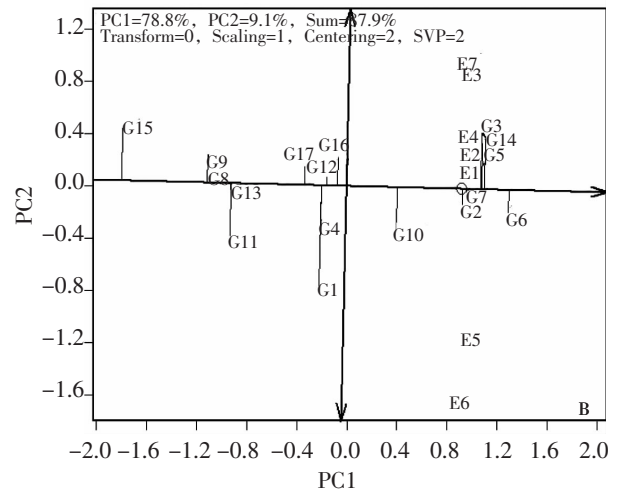
图 1 参试品种(系)的适应性

### 2.3 品种(系)的丰产性与稳定性

由图 2 可知,平均产量以 G6 最高,其次是 G3、G5、G14、G7, G15 最低。AEA 横轴将试点分为 2 个区域,横轴上部包括 E1、E2、E3、E4、E7,横轴下面包括 E5 和

E6。

所以,图 2 中最不稳定的品种(系)是 G1,而 G2、G7、G8、G12、G13 等则较稳定。其中 G2、G6、G7 可算作既高产又稳产。



带单箭头的横轴 AEA (Average environment axis)代表品种在所有环境下的近似平均产量,轴上的小圆圈代表“平均环境”,小圆圈以右平均产量越高。纵轴 (Average environment coordinate, AEC)代表各品种与各环境相互作用的倾向性,品种越偏离平均环境轴越不稳定。

图 2 参试品种(系)的丰产性与稳定性

### 2.4 试点的代表性和区分力

图 3 中显示区试环境的“区分力和代表性”。试验点向量与平均环境轴的角度是其对目标环境代表性的度量,代表性与角度呈负相关,随角度变小而变强,随角度变大而变弱。向量的长度代表其区分力,向量长度越长,表明试点对各个品种(系)的表

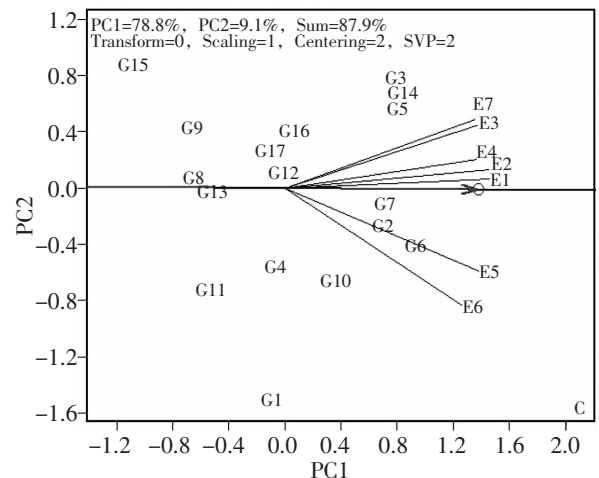


图 3 GGE 双标图分析试点的代表性和区分力

现具有较强的区分能力。在图 3 中, 试点 E1 和 E2 与平均环境轴的夹角较小而且向量长度较长, 对品种(系)差异的区分力和对目标环境的代表性都较好; 试点 E5, E6 具有相同的向量长度, 表明对参试品种(系)具有相同的区分力; E3, E7 与平均环境轴的夹角近似相等, 表明对试点的代表性相同。综合分析各试验点区分能力与代表性, E1 和 E2 表现较好。

### 2.5 理想品种(系)的选择

采用聚焦品种的特征值分配方法(SVP=1)。理想品种为平均产量最高、稳定性最好的品种, 理想环境为区分力和代表性最强的环境。以理想品种为圆心做多层同心圆, 根据与理想品种的接近程度, GGE 双标图对供试品种优劣进行排序。越靠近同心圆中心, 则表示该品种越理想, 反之亦然。

从图 4 可见, G6 靠近最小同心圆, 说明其高产、稳产, 为综合表现最好的品种(系); G14、G5、G3、G2、G7 表现相对较好, G9、G8、G13、G11 表现相对较差。G15 距离同心圆最远, 为稳定性、丰产性最差的品种(系)。

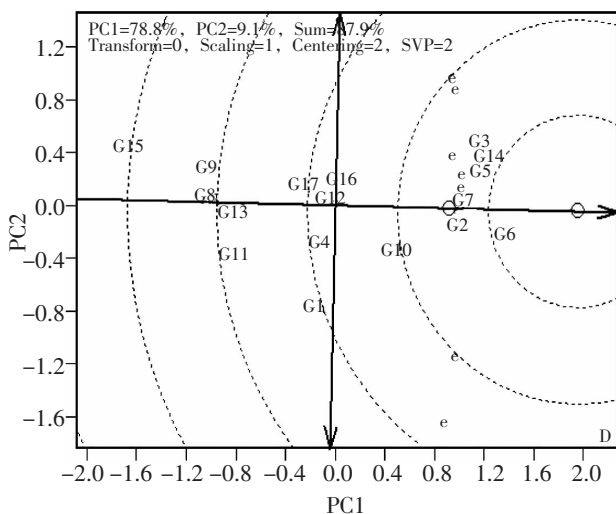


图 4 理想品种(系)的选择

### 3 结论与讨论

在参加多点试验的 17 个马铃薯品种(系)中, 0932-33、0912-34、0732-12、0732-15

的丰产性表现较好, 其中 0732-12 丰产性最好。在品种(系)的稳定性方面, 0732-12、0904-42、0732-45, 1003-33 的稳定性较高, 0732-12 的稳定性表现较差。总之, 0732-12 在稳定性, 适应性与丰产性表现最好。7 个试点中, 在区分力方面渭源县会川镇试点为最强, 区分力弱的试点为安定区青岚乡、临洮县连儿湾, 对品种选择性弱; 在代表性方面渭源县会川镇, 通渭县华家岭试点具有较强代表性, 安定区香泉镇试点的代表性最弱。综合分析, 既具有强区分力又具有代表性的为渭源县会川镇试点。

GGE 双标图目前在国内外各个地区的作物区域试验中广泛应用<sup>[13]</sup>。西北地区干旱少雨, 尤其甘肃省中部地区, 年降雨量少, 蒸发量大, 昼夜温差较大, 抗旱、丰产性好、稳定性高是马铃薯品种选育的主要指标。区域试验是新品种选育审定定名的关键步骤, 能够在多环境中评价一个品种的适应性和稳定性, GGE 双标图可为旱作区马铃薯新品种多年多点区域试验数据分析提供准确可靠的依据。

本研究利用 GGE 双标图法初步筛选出了比较理想的品种以及试点。但试点的代表性受多个因素影响, 有些因素如降水量、温度、湿度等动态因子在年份间波动很大。一个优良的品种必定是综合性状表现好的品种, 在众多研究报告中, 已经出现对作物产量结合农艺性状、环境因子、品质检测、抗病虫害的综合性分析<sup>[4; 14-16]</sup>。但我们仅根据马铃薯品种产量变化进行优势品种和试点的选择, 未考虑产量组成性状与环境因子之间的相关性。理想品种的选择还需要农艺性状、环境因子、品质检测、抗病虫害作为评价指标。

采用 GGE 双标图分析品种的丰产性与稳定性时, 由于每个试验地点的气候特点差异性从而形成几种特定的生态区域。AEA

横轴将试点分为 2 个区域,横轴上部包括渭源县会川镇、通渭县华家岭、安定区香泉镇、安定区青岚乡、岷县禾驮镇等试点,横轴下面包括临洮县连儿湾试点和通渭县石川乡试点,形成两种环境。其中安定区香泉镇试点与岷县禾驮镇试点距离较近,渭源县会川镇、通渭县华家岭、安定区青岚乡试点距离较近,临洮县连儿湾试点与通渭县石川乡试点之间距离较远。紧密正相关的两环境意味着具有相同的生态环境条件,由于两地的年均温度与降水量差异小,试验点的设置可能有重复。

在马铃薯品种推广应用中,丰产性和稳定性作为主要的参考因素。在本研究中,通过 GGE 双标图的分析得知丰产性表现较好的品种(系)为 0932-33、0912-34、0732-12、0732-15、0732-12、0904-42、0732-45、1003-33 的稳定性较高,其中品种 0732-12 的稳定性、适应性与丰产性均表现良好,适合作为主推品种(系)。同时,对于那些稳定性较差却在某个特定区域丰产性突出的具有特殊适应性的马铃薯品种(系),可以在特定地区局部推广。

#### 参考文献:

- [1] FINLAY K W, WILKINSON G N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1963, 14(6): 742-754.
- [2] HGJR G, PIEPHO H P, ANNICCHIARICO P. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: further considerations[J]. Crop Science, 2008, 48(3): 866-889.
- [3] GABRIEL K R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis [J]. Biometrika, 1971, 58(3): 453-467.
- [4] 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.
- [5] SUJAY RAKSHIT, GANAPATHY K N, GOMASHE S S, et al. GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data[J]. Euphytica, 2012, 185(3): 465-479.
- [6] YAN W, RAJCAN I. Biplot analysis of test sites and trait relation of soybean in Ontario[J]. Crop Science, 2002, 42(1): 11-20.
- [7] 范保杰,刘长友,曹志敏. 应用 GGE 叠图法分析种植密度对冀绿 7 号生长和产量的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(3): 82-86.
- [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): 1377-1385.
- [9] 尚国霞,王瑞,李加纳,等. 甘蓝型油菜油酸配合力的双标图分析[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(5): 566-572.
- [10] 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.
- [11] 李亚杰,李德明,范士杰,等. GGE 双标图在马铃薯品种适应性及产量稳定性分析中的应用评价[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2016, 52(5): 1-6.
- [12] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其计算机处理平台[M]. 北京:科学出版社, 2007.
- [13] 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.
- [14] 罗俊,张华,邓祖湖,等. 应用 GGE 双标图分析甘蔗品种的产量和品质性状[J]. 作物学报, 2013, 39(1): 142-152.
- [15] 李建武,巩迎春. 马铃薯叶片基因组 DNA 提取方法比较研究[J]. 甘肃农业科技, 2015 (8): 25-28.
- [16] 张荣,李高峰,文国宏,等. 马铃薯重点杂交组合 F 群体组培高效育种技术研究[J]. 甘肃农业科技, 2017(3): 4-9.

(本文责编:杨杰)