文章编号:1000-7601(2020)05-0218-08 **doi**:10.7606/j.issn.1000-7601.2020.05.31

西北旱作区马铃薯多点试验中高代品系稳定性分析

李亚杰[1,2],李德明[1,2],李丰先[1,2],范　奕[1,2],王　娟[1,2],
姚彦红[1,2],董爱云[1,2],刘惠霞[1,2],牛彩萍[1,2],罗　磊[1,2]

(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:本文借助于 GenStat 的 GGE 双标图对 2016—2018 年马铃薯多点试验中的 7 个马铃薯参试高代品系在 5 个试点的产量及稳定性进行分析。结果表明,在参加多点试验的 7 个品系中,在丰产性与稳定性方面表现较好的是品系 0773-2(G5)与 1003-2(G2)。0904-134(G1)与 0911-27(G6)既不高产,也不稳产。综合 3 年试验分析结果,参加多点试验的 5 个试点中,试点陇西(E3)的代表性与区分力综合表现好,其次为试点安定(E1),试点临洮(E2)与通渭(E5)的区分力与代表性相似,试点会宁(E4)的区分力与代表性较差, GGE 双标图能够为马铃薯的新品种选育、产量稳定性评价提供快速准确的分析方法。

关键词:马铃薯;多点试验;产量;稳定性;GGE 双标图;西北旱作区

中图分类号:S532;S32　　**文献标志码**:A

Stability analysis of high-generation line in multi-location tests of potato in Northwest Arid Region

Li Yajie[1,2], Li Deming[1,2], Li Fengxian[1,2], Fan Yi[1,2], Wang Juan[1,2],
Yao Yanhong[1,2], Dong Aiyun[1,2], Liu Huixia[1,2], Niu Caiping[1,2], Luo Lei[1,2]

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

Abstract: The Biplot has been increasingly applied to intuitive analysis of genotype-by-environment data in crop variety. In this research, the yield and stability of 7 high-generation of potato lines in 5 multipoint trials from 2016-2018 were analyzed using GGE Biplot with Genstat software. Through the analysis of the tested lines year by year, the results showed that 0773-2 (G5) and 1003-2 (G2) had better performance in terms of yield and stability among the 7 potato lines studied in this multipoint test. The 0904-134 (G1) and 0911-27(G6) had poor stability and yield among 7 potato lines. The GGE-Biplot explained the representativeness and discrimination of the test location, and divided the ecological area of the testing sites to make clearly the functional similarity of the testing sites. Based on the analysis results of the 3-years experiment, among the 5 testing sites in the multi-point experiment, the representativeness and discrimination of testing sites Longxi (E3) were good, the second one was Anding (E1), the discrimination and representativeness of Lintao (E2) and Tongwei (E5) were similar, while that of testing sites Huining (E4) was worse than others. The GGE Biplot can scientifically and systematically evaluate the stability and yielding ability of high generation lines and provide a fast and accurate analysis method for the selection and breeding of new varieties of potato.

Keyords: potato; mega-environment delineation; yield; stability; GGE biplot; northwest arid region

收稿日期:2019-12-31　　**修回日期**:2020-08-03

基金项目:国家马铃薯产业技术体系(CARS-09);联合国世界粮食计划署甘肃富锌马铃薯小农户试点项目子项目Ⅰ(WFPGSPP-1);甘肃省现代农业马铃薯产业技术体系项目(CARS-03-P1);甘肃省重点研发计划项目(GNK-1)“抗病优质高效系列专用马铃薯品种创新与示范推广”。

作者简介:李亚杰(1986-),男,甘肃庆阳人,助理研究员,主要从事马铃薯遗传育种及栽培技术研究。E-mail: liyajie_2008@163.com

通信作者:罗磊(1977-),男,甘肃榆中人,副研究员,主要从事马铃薯遗传育种及栽培技术研究。E-mail: dxluolei56998@163.com

高代品系的丰产性、稳定性、抗逆性试验以及试点的代表性和区分力对于品种的推广至关重要,能够为新品种的选育、审定和推广提供重要依据。品系特性掌握不到位、不够精确,往往会造成育种年限延长、优良品系被淘汰等问题。目前,大部分地区的新品种选育还停留于常规育种技术,常规育种主要依靠在外界环境下亲本杂交后代的自然分离,通过人工田间观察进行优良株系筛选与评价,而且产量的高低容易受到自然环境条件的影响,所以,通过气候条件选育的品种往往会出现不稳定及适应性差等问题。因此,分析和确定品种(基因型)的稳定性及适应性,解释品种与环境的互作关系,成为了育种者感兴趣的研究方向。

早期研究通过产量的变异系数、方差分析[1]、线性回归[2]、AMMI 模型[3]等确定品种的稳定性及适应性,均具有一定局限性,难以分析环境效应和互作效应的关系。GGE 双标图首次由 Gabriel[4]提出,用来图解主成分分析(PCA)或特征值分解(SVD)两向数据表所得出的结果。将环境中心化后的基因型(G)和基因型与环境互作(GE)联合效应的 GGE 模型综合考虑 G 和 GE 效应,可以同时对基因型和环境进行评价[5]。GGE 分析法通过图解方式清晰地标识出品种的稳产性、适应性及试验环境对品种的分辨能力,从而筛选出高产稳产、适应性较广的理想品种及环境分辨力和代表性较强的试点,并对各品种利用价值和合理布局作出评价。GGE 双标图法在不同作物的区域试验数据分析中得到应用[6-12]。

本文主要利用 GGE 双标图法,依据双标图的独特"内积原理",根据 2016—2018 年的马铃薯高代品系多点试验数据,对参试的 7 个马铃薯品系的丰产性、稳定性、试点的代表性和生态区域划分进行分析。

1　材料与方法

1.1　试验材料

2016—2018 年参加马铃薯多点试验为 7 个品系,分别为 0904-134(G1)、1003-2(G2)、0904-17(G3)、0904-51(G4)、0773-2(G5)、0911-27(G6)、陇薯 6 号(G7),其中陇薯 6 号为对照品种(CK),如表 1 所示。

试点 5 个,即安定(E1)、会宁(E2)、陇西(E3)、通渭(E4)、临洮(E5),各试点分别分布于定西市的马铃薯主要产区内,各试点海拔高度、环境平均温度、年平均降雨量具有差异,具有不同的生态区域环境,通过在不同生态环境下的马铃薯生长差异,辨别与评价高代品系的适应性及试点的区分力。各试点具体情况如表 2 所示。

1.2　试验设计

本试验采用随机区组排列,3 次重复。小区面积 20 m^2,小区长 6.67 m,宽 3.0 m。每小区种植 5 行,行距 60 cm,株距 30 cm,每行 20 株,共 100 株。

1.3　模型应用

GGE 双标图的数学模型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可分解为:

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

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

表 1　参加 2016—2018 年多点试验的 7 个马铃薯品系基本信息

Table 1　Description of 7 potato genotypes evaluated in 5 environments during the 2016-2018 cropping season

编号 Genotype No.	名称 Genotype	代码 Entry code	类型 Type of genotype	亲本 Pedigree
1	0904-134	G1	Hybrid	定薯 1 号×新大坪 Dingshu1×Xindaping
2	1003-2	G2	Hybrid	E62×庄薯 3 号 E62×Zhuangshu 3
3	0904-17	G3	Hybrid	定薯 1 号×新大坪 Dingshu1×Xindaping
4	0904-51	G4	Hybrid	定薯 1 号×新大坪 Dingshu1×Xindaping
5	0773-2	G5	Hybrid	青薯 7 号×Er-1 Qingshu 7×Er-1
6	0911-27	G6	Hybrid	定薯 1 号×T20 Dingshu1×T20
7	Longshu6	G7	Hybrid	武薯 86-6-14×陇薯 4 号 Wushu 86-6-14×Longshu 4

表 2　参加 2016—2018 年多点试验的 5 个试点基本信息

Table 2　Description of the 5 locations used for evaluation of 7 potato genotypes during the 2016-2018 cropping season in China

编号 Number	地点 Location	地理位置信息 Geographical position		海拔/m Altitude	平均降雨量/mm Average rainfall	平均气温/℃ Average temperature
		纬度 Latitude	经度 Longitude			
E1	安定 Anding	34°57′~36°12′	102°41′~103°40′	1900	430	6.3
E2	临洮 Lintao	35.39~36°02′	103°88′~104°88′	1730	550	7.9
E3	陇西 Longxi	34°98′~36°04′	104°61′~105°46′	1850	445	7.7
E4	会宁 Huining	35°72′~36°68′	105°08′~106°23′	2025	330	5.6
E5	通渭 Tongwei	34°55′~35°29′	104°57′~105°38′	2450	420	3.4

主成分 PC1 与 PC2 的得分；η_{j1} 与 η_{j2} 表示环境 j 在主成分 PC1 与 PC2 的得分；ε_{ij} 为模型中的随机残差。

1.4 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 进行统计编辑，基因－基因环境互作分析通过 Genstat 软件的 GGE biplot 进行。

2 结果与分析

在表 3 中，对 2016—2018 年马铃薯区域试验参试品种的块茎产量进行联合方差分析。产量变异由试点、环境、年份及其之间的相互作用构成，通过表 3 中数据可看到试点占产量总变异的 58.7%，达到显著水平（$P<0.05$），环境效应对产量变异的影响约为品种与环境效应的 15.8 倍，试点与年份的交互作用占总变异的 21.2%，达到了极显著水平（$P<0.001$），环境与年份效应对产量变异的影响约为品种与环境效应的 5.7 倍，试点×品种×年份之间的交互作用占总变异的 7.2%，其余部分总和占总变异的 10.7%，年份占总变异的成分最小，为 0.2%，但影响力达到极显著水平（$P<0.001$）。

在图 1（a）中，参试品系中位于多边形角顶的品系分别为 G1、G2、G3、G5、G6，多边形被分成 5 个扇形区，5 个试点分布在其中的 3 个扇形区内，即 5 个试点被分为 3 个类型区。E2、E3、E5 位于第 1 个扇形区，E4 位于第 2 个扇形区，E1 位于第 3 个扇形区。在第 1 个扇形区域内，表现最好的品种分别为 G2 和 G5。品系 G4 落入第 2 个扇形区域内。在第 3 个扇形区域内，G7、G1 落入试点 E1 区域内，其中表现最好的品系为 G1。图 1（b）主要是分析各试验点之间在品种评价上的相似性，两环境线段之间的夹角余弦值是它们的相关系数，夹角小于 90°表示正相关，说明两环境的品种排序相似，大于 90°表示负相关，表示两环境对品种排序相反，等于 90°说明两环境不相关。夹角较小说明试验点是重复设置的，去掉一个不影响对品种的评价。从图 1（b）可以知道，环境 E2、E3、E5 之间夹角最小，说明环境之间相关性强，具有相同的地域环境条件，对品种的排序很相似。E1 与 E2、E3、E5 的夹角较大，它们之间相关性弱，环境之间具有不同的气候条件，对品种的排序能力强。图 1（c）分析试点对适宜品种的区分力及试点的代表性。从中心到各个环境做一条线段，环境线段的长度是试验点对品种的区分能力，线段越长，区分能力越强。其中，E3 的箭头线段最长，对品种的区分力最强。各试点试验点线段和平均环境轴的角度是其对目标环境代表性的度量，角度越小，代表性越强，其中，试点 E3 与平均环境的夹角最小，试点 E3 代表性最好，E1 与 E4 与平均环境的夹角相对较大，代表性较差。图 1（d）中，与平均环境轴垂直的线段长短代表品种的稳定性，距离环境轴越近，稳产性越好。与平均环境轴垂直的轴点越靠近正方向，丰产性越好。环境平均轴所指的方向是品种在所有环境下近似平均产量的走向。可知 G2 平均产量最高，后面依次是 G5、G4、G7、G1、G6、G3，产量最低的是 G3。通过中心（原点）与平均轴垂直的线代表各品种与各环境相互作用的倾向性。品种与平均环境轴之间的垂线越长，表示品种越不稳定。可知 G5（线段最长）最不稳定，其次是 G1。比较稳产的是 G2、G7、G4（与平均环境轴的垂线较短）。综合品种产量和稳定的指标，可以看出 G2 是一个比较高产、稳产的品种，G5 高产但不稳定，G1 既不高产，也不稳产。在图 1（e）中，以平均环境轴上的箭头为圆心画圆，越靠近中心圆的试点区分力和代表性越好。试点的综合表现排序为 E3>E2>E5>E1>E4。在图 1（f）中，试点被分为 3 种类型区域，E3、E2、E5 划分为一个生态区域，E1 和 E4 各为一个生态区域。

表 3 甘肃半干旱区 5 个试点的马铃薯产量联合方差分析

Table 3 Analysis of variation for potato yield across 5 environments in the semi-arid regions of Gansu Province

变异来源 Source of variation	平方和 *SS*	自由度 *df*	均方 *MS*	*F* 检验 *F*	概率 Probability	占总变异比例/% Explained variation
区组 Block	0.0861	30	0.0029			
年份 Year	0.1436	2	0.0718	12.8574***	0.0000	0.2
试点 Site（E）	34.8418	4	8.7105	5.5444*	0.0195	58.7
试点×年份 Site×Year	12.5684	8	1.5710	281.3804***	0.0000	21.2
基因型 Genotype（G）	2.7545	6	0.4591	3.8581*	0.0223	4.6
基因型×年份 Genotype×Year	1.4279	12	0.1190	21.3119***	0.0000	2.4
试点×基因型 Site(E)×Genotype	2.1819	24	0.0909	4.0177*	0.0446	3.7
试点×基因型×年份 Site×Genotype×Year	4.2878	48	0.0893	15.9993***	0.0000	7.2
误差 Error	1.0050	180	0.0056			
总变异 Total	59.2969	314				

注：* 表示显著差异（$P\leq0.05$）；* * * 表示极显著差异（$P\leq0.001$）。 Note：*：Significant at $P\leq0.05$；* * *：Significant at $P\leq0.001$.

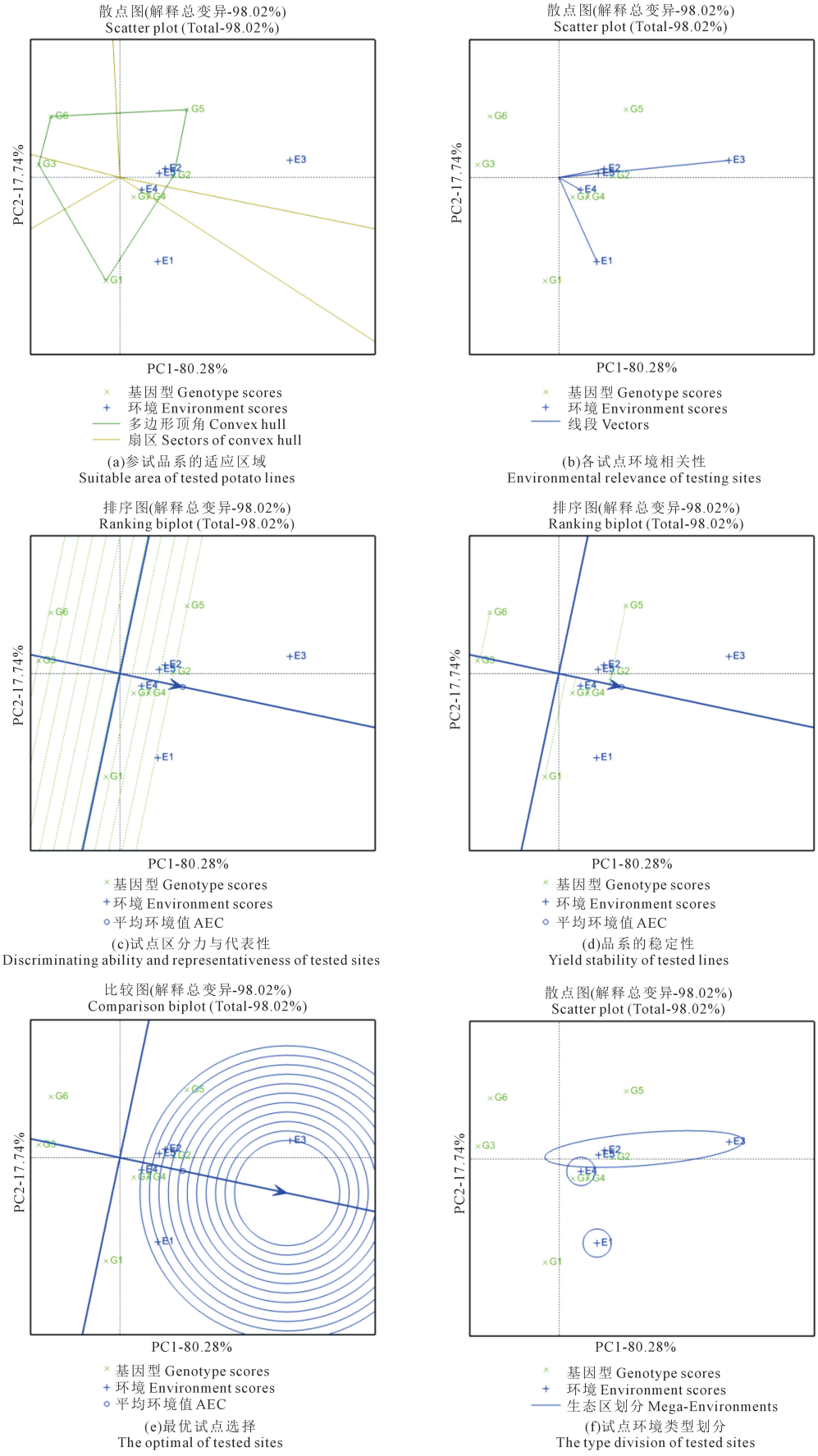

图 1　基于 GGE-biplot 分析马铃薯高代品系的稳定性及试点的区分力(2016 年)

Fig.1　Analysis of the stability of high generation strain of potato based on GGE-Biplot and the differentiation force of pilot experiment

在图 2(a)中,多边形被分成 4 个扇形区,5 个试点分布在其中的 3 个扇形区内。E1、E2、E3 位于第 1 个扇形区,E4 位于第 2 个扇形区,E5 位于第 3 个扇形区。在第 1 个扇形区域内,表现最好的品种为 G5,在第 2 个扇形区域内,品系 G2、G3、G4 落入该区域内,但是该区域内无相对应的试点,在第 3 个扇形区域内,品系 G6 位于多边形顶点处,在该区域内表现最好,第 4 个扇形区域内,G7 位于顶点,表现最优。图 2(b)中,环境 E2、E3、E5 之间夹角最小,环境之间相关性强,具有相同的地域环境条件,对品种的排序很相似。E1 与 E2、E3、E5 的夹角较大,相关性弱,环境之间具有不同的气候条件,对品种的排序能力强。在图 2(c)中,试点 E1 的箭头线段最长,对品种的区分力最强,E4 的箭头线段最短,对品种的区分力最弱,试点 E1、E2、E3 与平均环境轴的夹角较小,其中 E1 与平均环境轴夹角最小,代表性最好,试点 E4、E5 的代表性较差。在图 2(d)中,可知 G5 平均产量最高,后面依次是 G7、G2、G3、G4、G1、G6,产量最低的是 G6。G7 位置仅次于 G5,但是 G7 线段长,稳定性较差,比较稳产的是 G2、G5(与平均环境轴的垂线较短)。综合品种产量和稳定的指标,可以看出 G5 与 G2 是比较高产稳产的品种,G6 既不高产,也不稳产。在图 2(e)中,以平均环境轴上的箭头为圆心画圆,越靠近中心圆的试点区分力和代表性越好。试点的综合表现排序为 E2>E3>E1>E5>E4。在图 2(f)中,试点被分为 3 种类型区域,E3、E2、E1 划分为一个生态区域,E5 和 E4 各为一个生态区域。

在图 3(a)中,多边形被分成 5 个扇形区,5 个试点分布在其中的 3 个扇形区内。E2、E3、E5 位于第 1 个扇形区,E1 位于第 2 个扇形区,E4 位于第 4 个扇形区。在第 1 个扇形区域内,表现最好的品种为 G4 与 G5;没有品种落在扇形 2 区域内;在扇形 3 区域内,表现最好的品种为 G6;扇形 4 区域内,表现最好的品种为 G3;G1 与 G7 位于扇形 5 区域内,其中 G1 为顶点品系,但该区域内无所对应的试点。图 3(b)中,环境 E2 与 E3 之间夹角最小,环境之间相关性强,具有相同的地域环境条件,对品种的排序很相似。E4 与 E2、E3、E5 的夹角较大,相关性弱,环境之间具有不同的气候条件,对品种的排序能力强。在图 3(c)中,试点 E1 与 E5 的箭头线段最长,对品种的区分力最强。试点 E1 与 E5 与平均环境的夹角较小,代表性最好,试点 E2、E3、E4 与平均环境的夹角较大,其中试点 E4 的代表性最差。在图 3(d)中,可知 G5 平均产量最高,后面依次是 G4、G6、G2、G3、G7、G1,产量最低的是 G1。G4 位置仅次于 G5,但是 G4 线段长,稳定性较差,比较稳产的是 G7(与平均环境轴的垂线较短),但平均产量较低,综合品种产量和稳定的指标,可以看出 G5 与 G2 是比较高产稳产的品种,G1 既不高产,也不稳产。在图 3(e)中,以平均环境轴上的箭头为圆心画圆,越靠近中心圆的试点区分力和代表性越好,试点的综合表现排序为 E5>E1>E3>E2>E4。在图 3(f)中,试点被划分为 3 种类型区域,E3、E2、E5 划分为一个生态区域,E1 和 E4 各为一个生态区域。

3 讨 论

在多年多点试验数据处理中,许多学者提出了多种图解分析方法,Finlay 和 Wilkinson[2] 的联合回归分析,Gauch 和 Zobel 等[13] 创立的 AMMI(主效相加互作相乘)模型,严威凯等[14] 创立的 GGE 双标图分析。Finlay 和 Wilkinson 联合回归分析主要采用线性回归模型,利用回归系数来判断品种在环境中的稳定性,它的假定是基因与环境互作与加性环境指数呈线性关系,但是它仅能解释一部分变异,并且当自变量和因变量彼此不独立,模型就无法成立,具有一定局限性。双标图的概念由 Gabriel[4] 提出,用来图解主成分分析(PCA)或特征值分解(SVD)两向数据表所得出的结果。双标图依据其独特的“内积原理”,使双向表中的每一个数值都可从图上直观得出。在实践中,只有 G 和 GE 与品种评价有关,评价品种时必须对 G 和 GE 同时考虑,目前常用的双标图为环境中心化的双标图,这种双标图只含与品种评价有关的 G 和 GE,而不含与品种评价无关的其他效应。AMMI 分析中,AMMI 的有用性体现在主成分轴得分所能解释的可重复互作变异的大小,在有些试验中,第一主成分(PC1)只可以解释 10%~30%的互作变异,利用 AMMI 分析不一定会得到很好的结果。AMMI 模型利用方差分析计算基因型和环境的加性主效应,再利用主成分分析互作部分,对基因型与环境互作分析比较透彻,但对不同年际间分析具有局限性,同时,AMMI 模型去除基因型和环境主效,只能得知其偏离平均表现的差异,而 GGE 模型则只去除环境主效,通过基因型在某环境向量上的投影方向和长度即可直观得出基因型在某环境中的真实表现。严威凯[15] 提出对双标图的解释中,双标图的拟合度能够决定该图是否可以充分接近所代表的两向表数据。如果拟合度高,则双标图能较好地接近实际数据。在图 1~3 中,双标图的拟合度分别为 98.2%、85.29%、87.07%,属于中上水平。因此,从图 1~3 中所看到的关系或规律应当是接近真实的。Yan 和 Tinker[16]

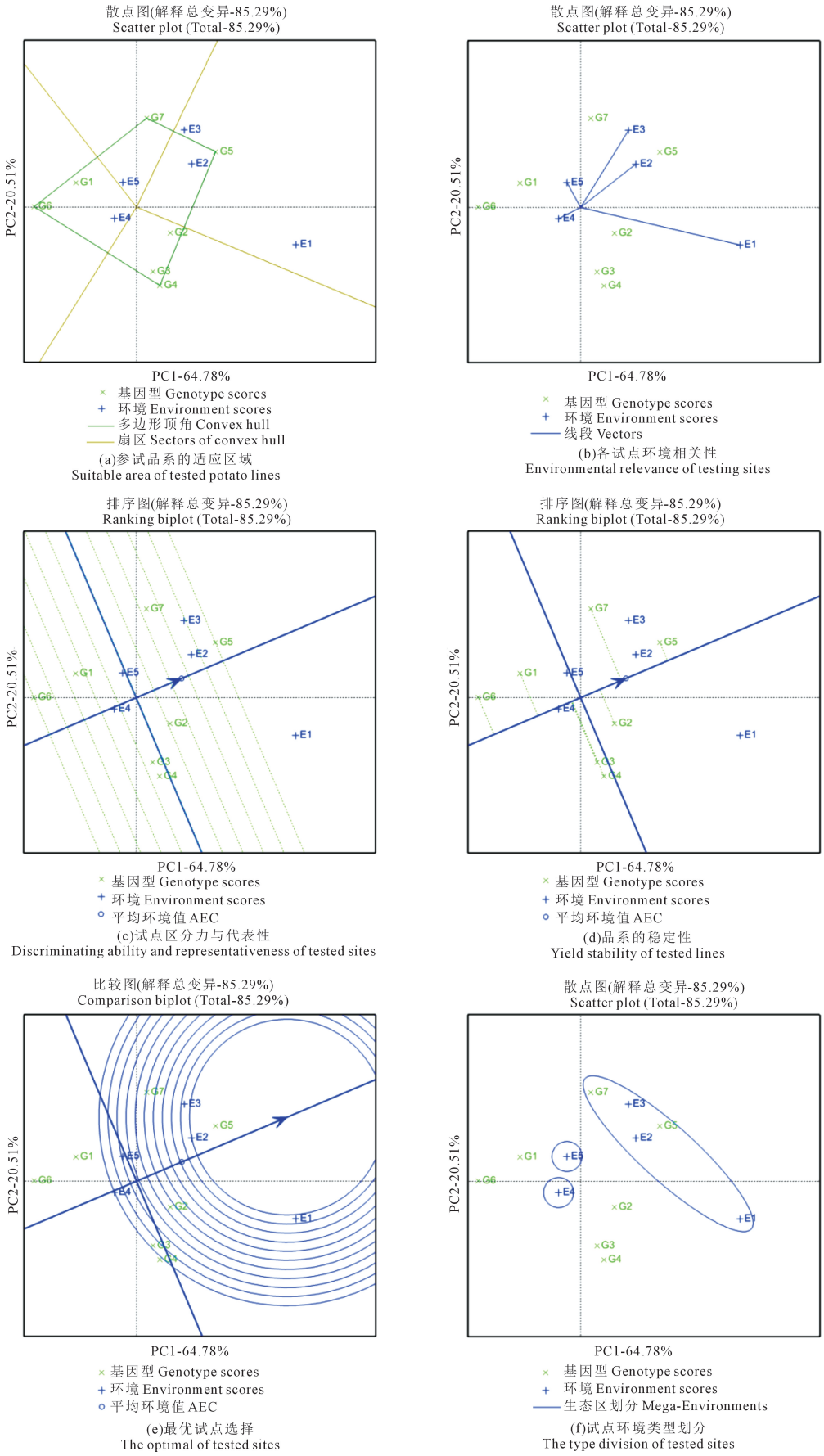

图 2　基于 GGE-biplot 分析马铃薯高代品系的稳定性及试点的区分力(2017 年)

Fig.2　Analysis of the stability of high generation strain of potato based on GGE-Biplot and the differentiation force of pilot experiment

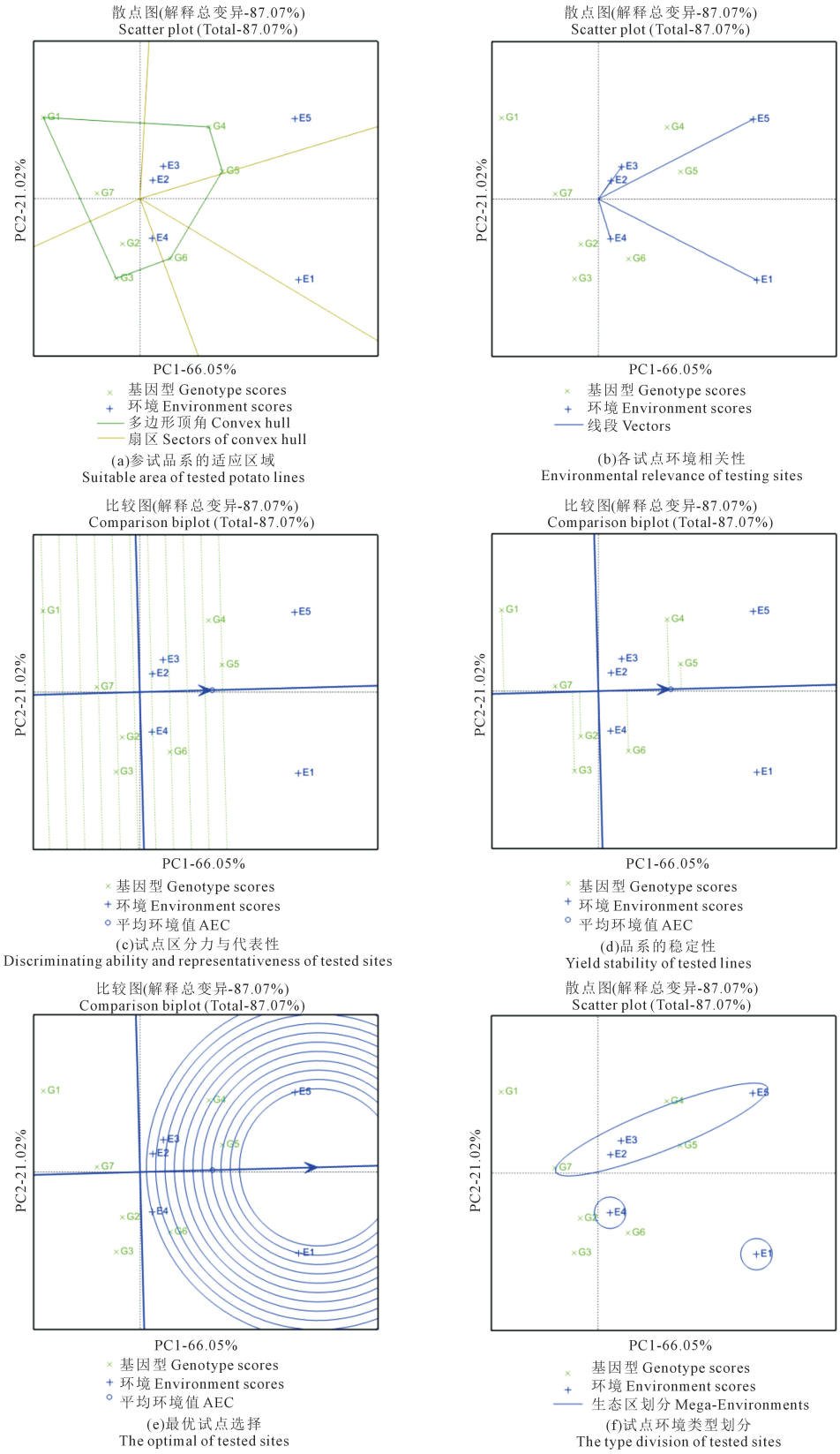

图 3 基于 GGE-biplot 分析马铃薯高代品系的稳定性及试点的区分力(2018 年)

Fig.3 Analysis of the stability of high generation strain of potato based on GGE-Biplot and the differentiation force of pilot experiment

提出“信息比”(*IR*)的概念并对其功能进行解释,对于一个主成分,*IR*>1 表示含有规律性信息,*IR*=1 表示含有独立性信息,*IR*<1 则表示不含任何规律或重要信息。在一组数据中,有几个主成分具有 *IR*≥1,就需要几个主成分来充分近似之。在图 1 中,第一主成分(PC1)与第二主成分(PC2)的信息比(*IR*)分

别为 4.014 与 0.887,其中第二主成分(PC2)的信息比(*IR*)<1,表示不含重要信息,该图的信息可以考虑利用其他方式进行表达。在图 2 中,PC1 与 PC2 的信息比分别为 3.239 与 1.026,含有规律性信息;在图 3 中,PC1 与 PC2 的信息比分别为 3.3025 与 1.051,含有规律性信息。

在马铃薯产量联合方差分析中,试点及试点与年份的交互作用占产量总变异比例较高,均达到了显著水平以上,其中年份占总变异的比例最小,但对产量的影响达到极显著水平,说明年份间的变化对于区域试验的结果存在一定影响,这主要表现在温度、降雨量等气候条件的变化。在叶夕苗等[17]的研究结果中,也提到环境因素为决定马铃薯产量的首要因素。在今后的多年多点区域试验环节中,区域环境因素也应该被列入最终试验结果的分析中,在考虑气候变化的基础上,分析品种自身基因及试点交互作用的综合影响,才能最终确定综合性状优良、能达到推广应用水平的新品种。

多年多点试点的精准选择对于品系的评价至关重要,决定了该品系是否具有适应性,能否真正成为一个适应性广、具有利用价值、能够推广的品种。生态区域划分中,在 2016 与 2018 年,试点被分为 3 个类型区域,E2(临洮)、E3(陇西)、E5(通渭)划分为一个生态区域,E1(安定)与 E4(会宁)各为一个区域。在 2017 年,试点被分为 3 种类型区域,E3(陇西)、E2(临洮)、E1(安定)划分为一个生态区域,E5(通渭)和 E4(会宁)各为一个生态区域。试点 E2(临洮)与 E3(陇西)的生态环境相似,环境之间相关性强,具有相同的地域环境条件,对品种的排序很相似。E2(临洮)与 E3(陇西)之间可以删掉一个,节省试验成本。

通过对参试高代品系的丰产性及稳定性进行逐年分析,不同品系的产量表现在年际间差异较大,在不同试点的产量表现出现差异,波动幅度较大,这也与时间及环境在联合方差分析中表现的极显著性及较大所占比例相吻合。品系 G5(0773-2)在 2016 年的产量最高,但是稳定性较低,在 2017—2018 年间,品系 G5(0773-2)表现的稳定性及丰产性最好,在 2016—2017 年间,品系 G6(0911-27)的产量最低,但是在 2018 年的产量表现处于第 3 位置,出现产量排名上升。

在不同环境下,表现既高产又稳产,具有广泛适应性的品种当然是最理想品种,但实际上高产稳产兼备的广适性品种很少,优良品种是相对区域环境而定的[18]。在本研究中,品种(系)的丰产性表现较好的是 G5(0773-2)、G2(1003-2)、G4(0904-51)、G6(0911-27)、G3(0904-17)、G7(陇薯 6 号)、G1(0904-134),产量最低的是 G1(0904-134)。品系 G5(0773-2)的稳定性最高。总之,品系 G5(0773-2)在稳定性、适应性与丰产性方面表现良好,适合作为主要推广品种,可以将其继续进行生产试验。同时,对于那些在多变环境下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,可以在特定地区局部推广。由此可见,分析各品种的最佳适应区域,做到品种的合理化区域布局,可充分发挥新品种的产量潜力,从而增加产量。

参 考 文 献:

[1] 明道绪.田间试验与统计分析[M]. 北京:科学出版社,2008:102-118.

[2] 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.

[3] Gauch H G, Zobel R W. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1988, 76(1):1-10.

[4] Gabriel K R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis [J]. Biometrika, 1971, 58(3):453-467.

[5] Bradu D, Gabriel K R. The biplot as a diagnostic tool for models of two-way tables [J]. Technometrics, 1978, 20(1):47-68.

[6] 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.

[7] Rakshit S, Ganapathy K N, Gomashe S S. GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data [J]. Euphytica, 2012, 185:465-479.

[8] Yan W, Rajcan I. Biplot analysis of test sites and trait relation of soybean in Ontario [J]. Crop Science, 2002, 42(1):11-20.

[9] 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.

[10] 张志芬,付晓峰,刘俊青. 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.

[11] 尚国霞,王瑞,李加纳. 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.

[12] 李建武,李高峰,文国宏. 基于 Genstat GGE 双标图评价甘肃省马铃薯区域试验的参试品种和试点[J]. 西北农业学报, 2018, 27(8): 74-79.

[13] Gauch H G, Zobel R W. Identifying mega-environments and targeting genotypes [J]. Crop Science, 1997, 37:311-326.

[14] 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.

[15] Yan W K. GGEbiplot-A windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data [J]. Agronomy Journal, 2001, 93(5):1111-1118.

[16] Yan W K, Tinker N A. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications [J]. Canadian Journal of Plant Science, 2006, 86(3):623-645.

[17] 叶夕苗,程鑫,安聪聪,等. 马铃薯产量组分的基因型与环境互作及稳定性[J]. 作物学报, 2019, 1(3): 1-14.

[18] Yan W K, Kang M S, Ma B L, et al. GGE biplot versus AMMI analysis of genotype-by-environment data [J]. Crop Science, 2007, 47(2): 641-653.