

甘肃省马铃薯区试产量数据的 AMMI 模型分析

李亚杰^{1,2}, 白江平^{1,2}, 张俊莲^{1,2}, 王 蒂^{1,2}

(1. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室 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. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 研究利用 AMMI 模型对 2007—2008 年甘肃省马铃薯品种区域试验中的 10 个马铃薯品种、7 个试点进行综合评价, 分析 10 个马铃薯品种的稳定性及丰产性, 以及 7 个试点的鉴别力。结果表明: 各品种的稳定性大小为 L0206-6 > L0227-17 > L0227-18 > 天 2008-8-2 > 富薯 3 号 > CK > 34-126 > 98-6-2 > 35-62 > 陇薯 6 号, 其中 L0206-6, 98-6-2 品种的稳定性最强, 陇薯 6 号的稳定性较差; L0227-17, L0206-6, L0227-18 以及天 2008-8-2 的产量最高, 98-6-2 品种的产量最低。各个试点的鉴别力也具有差异性, 各试点的鉴别力顺序为天水 > 会川 > 安定 > 静宁 > 临夏 > 秦王川 > 宕昌, 其中天水地区对品种的选择性最高, 宕昌地区对品种的鉴别力低。AMMI 模型中的主成分值, 共解释总交互平方和的 93%, 比线性回归模型能更有效地分析基因与环境互作效应。

关键词: 马铃薯; AMMI 模型; 品种稳定性; 试点鉴别力

中图分类号: S532.037 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0061-06

Application of AMMI model in regional testing of potato in Gansu Province

LI Ya-jie^{1,2}, BAI Jiang-ping^{1,2}, ZHANG Jun-lian^{1,2}, WANG Di^{1,2}

(1. Gansu Provincial Key Lab of Arid Land Crop Science / Gansu Provincial Key Lab of Crop Improvement & Germplasm Enhancement, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model) was adopted to conduct comprehensive evaluation on the yield of ten cultivars at seven sites involved in the regional testing of potato in Gansu Province during 2007—2008. The results indicated that the stability of tested cultivars was as follows: L0206-6 > L0227-17 > L0227-18 > Tian 2008-8-2 > Fushu 3 > CK > 34-126 > 98-6-2 > 35-62 > Longshu 6; the production stability of L0206-6 and 98-6-2 was higher than others, while that of Longshu 6 was the lowest; the yield of L0227-17, L0206-6, L0227-18 and Tian 2008-8-2 was relative high, while that of 98-6-2 was the lowest. The results also suggested that the discriminative parameter varied among different testing sites, which could be ranked as: Tianshui > Huichuan > Anding > Jingning > Linxia > Qinwangchuan > Tanchang. Therefore, Tianshui was the site with a highest discrimination, while Tanchang was the site with a lowest discrimination in selecting cultivars. The principle component of AMMI model could explain 93% of total sum of squares of interaction, being more effective in analyzing the interaction between gene and environment than the traditional regression model.

Keywords: potato; AMMI model; yield stability; site discrimination

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 属于世界第四大粮食作物, 栽培历史悠久, 喜温凉, 对生长条件具有敏感性, 易受到环境地域的影响。在品种区域试验中, 品种的稳定性决定于基因型与环境的交互作用, 在田间工作中, 对鉴别不同品种间差异主要运用方差分析, 但方差分析不能完全解释产量的变化波动

是由基因型引起还是环境引起的, 忽略了品种产量性状是品种本身基因型与环境综合因素相互作用的结果。许多学者提出运用线性回归模型评价品种的稳定性, 但线性回归模型建立在基因型-环境互作效应与环境指数间的线性关系, 但是当线性关系不成立时, 线性回归模型就显的无能为力。为了选择

收稿日期: 2012-06-03

基金项目: 国家科技支撑计划 (2012BAD06B03); 甘肃省重大专项项目 (1102NKDA025)

作者简介: 李亚杰 (1986—), 男, 甘肃庆阳人, 硕士研究生, 研究方向为作物遗传育种。E-mail: liyajie_2008@163.com。同为第一作者, 白江平 (1978—), 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。

通信作者: 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: wangdi@gansu.edu.cn。

丰产性好,适应性广泛的品种,国外学者提出了运用 AMMI 模型。Guach^[1]最早将 AMMI 模型即加性主效应和乘积交互作用模型用于多点试验资料的分析。

AMMI 模型是一种较准确的主成分分析模型。AMMI 模型逐步运用于小麦^[2]、玉米^[3-4]、油菜^[5]、糜子^[6]、烤烟^[7]等粮食及经济作物。该模型又称主效可加互作可乘模型(Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model, 简称为 AMMI 模型),它将方差分析和主成分分析有效结合在一起,通过从交互项中进一步分离出若干个乘积项之和提高估计的准确性,并借助双标图(Biplot)、品种稳定性参数 D_i 以及试点鉴别力 D_j 等参数直观而定量地描绘不同品种的产量变化差异,进而对品种的稳定性、丰产性、适应性等做出评价。在国内,有关 AMMI 模型在马铃薯中的应用比较少,主要出现在品种稳定性与丰产性、马铃薯淀粉品质性状稳定性分析方面^[8-9],在国外,AMMI 模型在马铃薯中的应用还未见报道。

甘肃省是马铃薯种植大省,其马铃薯品种丰富,种植地域广泛,为了探索 AMMI 模型在作物品种区域试验中的应用,利用 AMMI 模型对甘肃省马铃薯区域试验参试品种的产量表现情况进行分析,了解各个参试品种的稳定性、丰产性及 AMMI 模型应用的有效性,为以后的育种工作提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验数据资料采用 2007—2008 年甘肃省马铃薯区域试验数据,共 10 个种植品种:天 2008-8-2, 98-6-2, L0227-17, 陇薯 6 号, 34-126, L0206-6, 富薯 3 号, L0227-18, 35-62, 1 个当地对照(CK)品种,当地对照为各试点区大面积种植品种,7 个区试地点:会川、天水、临夏、安定、宕昌、静宁、秦王川。各区试地点分布在甘肃省不同区域,具有不同的气候条件。品种代码及基本信息见表 1、2。

表 1 参试马铃薯品种
Table 1 The basic information of tested cultivars

品种 Cultivars	代码 Codes	选育单位 Breeding institutes	年份 Years
天 2008-8-2 Tian 2008-8-2	G1	天水市农科所 Tianshui Institute of Agricultural Sciences	2007—2008
陇薯 6 号 Longshu 6	G2	甘肃省农科院 Gansu Academy of Agricultural Sciences	2007—2008
98-6-2	G3	甘肃农业大学 Gansu Agricultural University	2007—2008
L0227-17	G4	甘肃省农科院 Gansu Academy of Agricultural Sciences	2007—2008
34-126	G5	临洮县腾胜公司 Lintao Tengsheng Company	2007—2008
L0206-6	G6	甘肃省农科院 Gansu Academy of Agricultural Sciences	2007—2008
富薯 3 号 Fushu 3	G7	甘肃农业大学 Gansu Agricultural University	2007—2008
L0227-18	G8	甘肃省农科院 Gansu Academy of Agricultural Sciences	2007—2008
35-62	G9	临洮县腾胜公司 Lintao Tengsheng Company	2007—2008
CK	G10	当地品种 Local variety	2007—2008

表 2 2007—2008 年参试马铃薯品种在各试点的平均产量/(kg·667m⁻²)
Table 2 The average yield of tested potato cultivars at different sites in 2007—2008

品种 Cultivars	会川 Huichuan	天水 Tianshui	临夏 Linxia	安定 Anding	宕昌 Tanchang	静宁 Jingning	秦王川 Qinwangchuan
天 2008-8-2 Tian 2008-8-2	1900.40	1917.6	2243.840	2307.5	1355.20	1488.90	1797.00
陇薯 6 号 Longshu 6	2444.60	877.1	1910.505	2243.5	1154.45	1405.55	1712.45
98-6-2	746.15	570.3	774.695	682.5	566.50	927.80	1331.55
L0227-17	1921.20	159.7	1805.565	2363.5	1352.10	1913.85	2143.05
34-126	1025.05	1734.2	1552.475	2289.0	1137.65	1227.75	1922.35
L0206-6	1869.55	1757.5	1827.170	2246.0	1411.05	1233.40	2082.95
富薯 3 号 Fushu 3	1822.30	1213.9	1475.320	2183.5	1423.85	1433.30	1626.20
L0227-18	1894.55	2224.4	1925.935	2139.0	1219.45	1752.80	2218.60
35-62	827.80	827.8	718.880	2089.0	1146.50	1211.05	1558.60
当地对照 Local variety (CK)	2184.55	1947.6	1833.340	1881.5	1273.05	1211.15	1706.15

试验采用随机区组排列,3 次重复。小区面积 20 m²,行长 6.67 m,宽 3.0 m。每小区种植 5 行,行距 60 cm,株距 33.33 cm,每行 20 株,共 100 株。考种依据国家统一标准执行。

表 3 不同区试地点的基本情况
Table 3 The basic information of test sites

地点 Sites	代码 Codes	年降雨量/mm Annual precipitation	年平均气温/℃ Average temperature
会川 Huichuan	E1	507.0	6.8
天水 Tianshui	E2	491.7	11.0
临夏 Linxia	E3	537.0	6.3
安定 Anding	E4	350.0	7.0
宕昌 Tanchang	E5	635.5	10.0
静宁 Jingning	E6	450.8	7.1
秦王川 Qinwangchuan	E7	300.0	10.3

1.2 模型分析方法

1.2.1 AMMI 模型 AMMI 模型^[10-12]将方差分析与主成分分析结合,形成一种主效可加交互可乘模型,具体模型为:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \sum_{n=1}^N \lambda_n \gamma_{in} \delta_{jn} + \theta_{ij} \quad (1)$$

式中, Y_{ij} 是在环境 i 中基因型 j 的产量; μ 代表总体平均值; α_i 是第 i 个环境型的主效应; β_j 是第 j 个基因型的主效应; λ_n 为第 n 个交互作用主成分轴奇异值的平方根; γ_{in} 是第 n 个主成分的基因型主成分得分; δ_{jn} 是第 n 个主成分的环境主成分得分; 参数 n 表示能合理解释 $G \times E$ 互作所需要的乘积项数目, 包含 n 个乘积项的 AMMI 模型, 可写为 AMMI $_n$; N 是在模型主成分分析中主成分因子轴的总个数; θ_{ij} 为相应的残差。

如果试验设有重复, 则误差项为 ϵ_{ijm} , 它等于 Y_{ij} 平均值与 r 个重复的单个观察值之间的偏差, 并具有可加性, 最终模型结果为:

$$Y_{ijm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \sum_{n=1}^N \lambda_n \gamma_{in} \delta_{jn} + \theta_{ij} + \epsilon_{ijm} \quad (2)$$

 $i = 1, 2, 3, \dots, E; j = 1, 2, 3, \dots, G; n = 1, 2, 3, \dots, m$

1.2.2 双标图 双标图^[13]是直观解释 AMMI 模型分析结果的有效工具, 在一张图上同时给出了品种和试点。分为两种类型双标图, 一种为品种的平均产量为横坐标, 品种和试点 IPCA1 得分为纵坐标的 AMMI1 双标图, 另一种为横坐标为品种和试点的 IPCA1 得分, 纵坐标为 IPCA2 得分的 AMMI2 双标图。其中, IPCA1 与 IPCA2 定义为品种 i 在试点 j 的第 1

个与第 2 个交互作用主成分分析值。AMMI1 双标图便于直观地进行丰产性与稳产性的结合分析, AMMI2 双标图可分析各个品种与各试点的交互作用大小, 判断品种对环境的适应性。

在 AMMI1 双标图中包括了对品种的稳定性与丰产性分析, 在稳定性分析中, 水平方向上, 品种与试点的分布范围大小, 决定了其对总变异的贡献大小, 在垂直方向上, 品种的 IPCA1 值的绝对值越大, 表明其与试点的交互作用越大, 品种的稳定性越差, 反之品种产量表现越稳定。

在丰产性分析方面, 过纵坐标零点做一条水平线, 过零点水平线上线下的品种与位于同侧地点之间的互作为正向, 与位于另一侧地点间的互作为负向, 品种与试点具有正向交互作用, 表明这些品种在这些地点具有特殊适应性, 适合该地区种植, 可能取得较高产量。品种与试点具有较大正向互作作用, 表明这些品种在这些地区具有特殊适应性, 可能会取得较高产量。

在 AMMI2 双标图中, 越接近坐标原点的品种或试点越稳定。如果品种的垂直投影落在试点与原点的连线或外延线上, 则表明该品种与该试点有正向交互作用, 该品种在该试点有一定的特殊适应性, 如果距离越大, 则品种与该试点的交互作用越大, 在该试点可能取得较高产量, 如果投影落在连线的反向延线上, 则该品种与该试点有负向交互作用, 表明在该试点不利于该品种增产。

1.2.3 稳定性参数

$$D_{i(j)} = \sqrt{\sum_{r=1}^N (IPCA)_{i(j)r}^2} \quad r = 1, 2, 3, \dots, N \quad (3)$$

式中, $D_{i(j)}$ 为稳定性参数, 在 $D_{i(j)}$ 中包括两个参数; D_i 为品种的稳定性参数; D_j 为试点的稳定性参数; $IPCA_{i(j)r}$ 为第 i 个基因和 j 个环境在 N 个 IPCA 上的得分, D_i 值越小, 表明品种的稳定性越高, D_j 值越大表明试点对品种的分辨力越高。

1.3 数据分析方法

方差分析 (ANOVA)、AMMI 分析及回归分析均采用唐启义先生的 DPS 数据处理软件 (版本号: 9.50)。

2 结果与分析

图 1 中地点和品种在水平方向上的分散程度反映其效应的变异情况; 品种在垂直方向的分布反映了 $G \times E$ 在大小和方向上的差异, 且 IPCA1 的绝对值愈大表明其交互作用愈大, 在过零点水平线上线下的品种与位于同侧地点之间的互作为正向, 与位于

另一侧地点间的互作为负向。

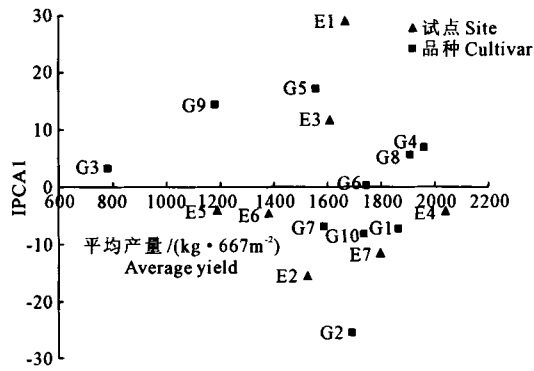


图 1 AMMI1 双标图
Fig.1 The biplot of AMMI1

在水平方向上,可以观察到品种 G3 的产量最低,品种 G1、G4、G6、G7、G8、G10 的产量较高,主要集中在 1 400 ~ 2 000 $\text{kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 之间,试点 E4 的品种产量最高,达到 2 000 $\text{kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 以上,试点 E5、E6 的品种产量最低。

在垂直方向上,过纵坐标零点作一条水平线,位于水平线同一侧的品种与试点为正向交互作用,相反为负向交互作用,在图中可以看出,品种 G3、G4、G5、G8、G9 与试点 E1、E3 具有正向交互作用,品种 G3、G4、G8、G6、G1、G7、G10 的 IPCA1 值较小,与环境的交互作用小,稳定性强。品种 G2 的 IPCA 值最大,与环境交互作用大,易受种植环境的影响,其稳定性最差。

图 2 为不同马铃薯品种在各试点的适应性分布图,可以看出品种 G3、G6 离原点最近,其稳定性最强,通过各品种做试点与原点连线的垂线,如果品种的垂直投影落在试点与原点的连线或外延线上,则表明该品种与该试点有正向交互作用,该品种在该试点有一定的特殊适应性,品种 G5、G4、G8、G9、G3、G6 与试点 E1 具有特殊适应性,品种 G10、G1、G6、G3、G9 与试点 E2 具有特殊适应性,其中品种 G9 对试点 E3 具有较大特殊适应性,产量高,品种 G2 在试点 E2 与原点的连线上具有最大投影距离,表明陇薯 6 号在水地区具有较强的适应性,适合当地的种植气候,可得到较高的产量。

图 3 直观地反映了环境 IPCA1 与产量变化趋势,随着环境 IPCA1 值的增加,品种 G9、G5、G8、G3、G4、G6 的产量逐渐上升,表明这些品种与环境交互作用具有正向效应趋势,说明了这些品种具有广泛适应性;品种 G1、G2、G7、G10 与环境交互作用具有负向效应趋势,说明了这些品种对特殊环境具有适

应性。

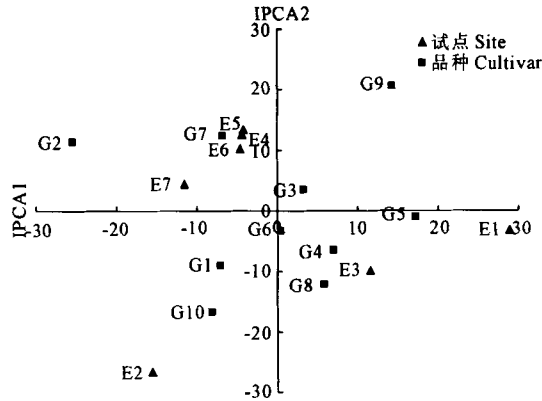


图 2 AMMI2 双标图
Fig.2 The biplot of AMMI2

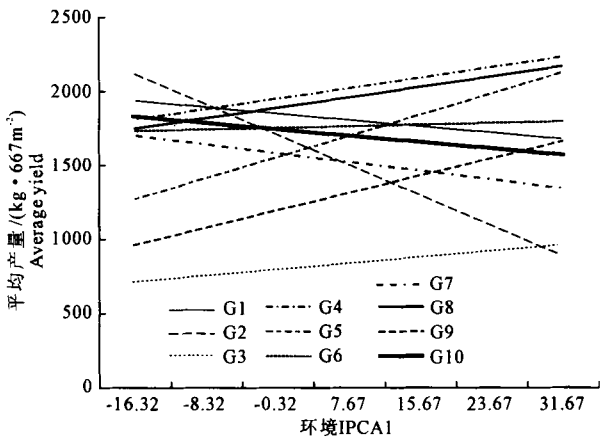


图 3 品种的适应性分析
Fig.3 Adaptability analysis of cultivars

在方差分析中,基因型与环境引起的差异性达到极显著,表明基因与环境对品种产量可以产生一定的影响,基因型与环境的交互作用造成产量差异为极显著性,表明研究基因型与环境的交互作用对于区域试验具有一定的意义。对产量而言,基因型、环境和 $G \times E$ 平方和分别占总变异平方和的 4.5%、27% 和 30%,说明对试验中产量总变异起作用的大小顺序依次为环境 $\times$ 基因、环境、基因型。

AMMI 模型分析表明,前 3 个交互主成分值均达到极显著与显著水平,IPCA1、IPCA2、IPCA3 分别解释了交互作用的 43%、34%、16%,共解释总交互平方和的 93%,IPCA1 和 IPCA2 的平方和占整个交互平方和的 77%,表明整个互作的绝大部分变异集中在前面两个 IPCA 轴上,用 AMMI 模型进行稳定性分析更具有代表性,而采用线性回归模型只解释 2.9% 的交互平方和,表明 AMMI 模型比线性回归模型能更有效地分析基因与环境互作效应。

表 4 品种产量的回归分析、AMMI 模型分析和方差模型
Table 4 The regression analysis, AMMI model and ANOVA of potato yield

分析类型 Type of analysis	变异来源 Source	DF	SS	MS	F	SS %
回归分析 Regression analysis	联合回归 Regression	1	162434.8705	159636.9481	1.6660 *	2.9%
	误差 Error	41	4083273.0845	100128.1097		
AMMI 分析 AMMI model	总变异 Sum	71	17831160.3887	258422.6143		
	基因 Gene	9	8529364.1023	906156.4867	36.8921	
	环境 Environment	6	4942280.8192	841138.2374	33.6312	
	交互 Interaction	55	5122470.9531	96188.6267	3.8545 **	
	第一乘积项 PCA1	15	2215386.6996	156238.8615	6.3485 **	43%
	第二乘积项 PCA2	12	1744662.4576	148219.8774	5.8961 **	34%
	第三乘积项 PCA3	10	823547.0768	83507.6784	3.4367 **	16%
	误差 Error	18	454945.4506	25594.6811		
	总变异 Sum	69	18276938.9733	262040.5460		
联合方 差分析 ANOVA	基因 Gene	9	8330451.8878	925605.7653	9.9905 **	4.5%
	环境 Environment	6	4966041.7629	829257.7656	8.9506 **	27%
	交互 Interaction	56	5440064.3379	697232.0853	8.0313 **	30%
	误差 Error	56	5363227.3469	99319.0249		

注: * 表示达到显著差异 ($P < 0.05$); ** 表示达到极显著差异 ($P < 0.01$)。
Note: * significant difference at $P < 0.05$; ** significant difference at $P < 0.01$.

表 5 品种稳定性参数 D_i
Table 5 Stability parameter (D_i) of cultivars

品种 Cultivars	产量平均/(kg·667m ⁻²) Mean Yield	IPCA1	IPCA2	IPCA3	D_i	位次 Order
G1	1982.3731	- 7.0342	- 11.2402	8.4239	15.71	4
G2	1815.5239	- 27.9680	9.4638	0.6882	29.53	10
G3	836.7347	3.9756	4.6206	- 23.6367	24.41	8
G4	2000.5364	7.6839	- 6.2708	- 6.7166	11.98	2
G5	1552.7429	17.2395	0.6570	12.5733	21.35	7
G6	1742.4857	0.3560	- 3.7349	8.8356	9.60	1
G7	1599.9617	- 9.2301	12.7136	2.4687	15.90	5
G8	1909.1159	8.0391	- 11.8427	- 3.6094	14.76	3
G9	1255.2484	14.0445	23.2303	3.0354	27.31	9
G10	1736.8429	- 6.6256	- 17.5089	- 1.8609	18.81	6

表 6 试点鉴别力参数 D_j
Table 6 Discernment parameter (D_j) of test sites

试点 Sites	产量平均/(kg·667m ⁻²) Mean Yield	IPCA1	IPCA2	IPCA3	D_j	位次 Order
E1	1663.9000	29.1900	- 5.6841	- 4.6153	30.09	2
E2	1526.1500	- 18.1324	- 27.3525	1.6183	32.86	1
E3	1682.2045	11.5589	- 12.4587	3.5618	17.36	5
E4	2121.6843	- 2.1680	12.8877	25.3452	28.52	3
E5	1228.6664	- 3.2071	13.6320	- 3.3546	14.40	7
E6	1455.3687	- 3.6888	11.8992	- 14.3030	18.96	4
E7	1841.1605	- 13.5207	5.7239	- 8.8679	17.15	6

为了能够全面利用极显著与显著乘积项的信息,采用 AMMI 模型稳定参数对品种的稳定性和试点的鉴别力进行进一步的分析。AMMI 模型稳定参数是定量判定品种稳定性与试点鉴别力的重要指标,对品种与试点进行了量化,其中 D_i 值越大,表明试点对品种的鉴别力越高, D_i 值越小,表明品种的稳定性和鉴别力越高。

从表 5、6 中可以看出,各品种的稳定性和鉴别力大小分别为 $G6 > G4 > G8 > G1 > G7 > G10 > G5 > G3 > G9 > G2$, L0206-6 品种稳定性最高,陇薯 6 号的稳定性和鉴别力最低,各试点的鉴别力大小为 $E2 > E1 > E4 > E6 > E3 > E7 > E5$,其中天水对品种的选择性最高,宕昌地区对品种的鉴别力低,适宜种植马铃薯。

3 结论与讨论

在本试验中,利用 AMMI 模型对甘肃省 2007—2008 年马铃薯区域试验数据进行分析,筛选出丰产性和稳定性优良的品种,以及鉴别力与代表性高的试点。结果表明,各品种的稳定性和鉴别力大小分别为 $G6 > G4 > G8 > G1 > G7 > G10 > G5 > G3 > G9 > G2$,其中 L0206-6, 98-6-2 品种的稳定性和鉴别力最强,陇薯 6 号的稳定性和鉴别力较差; L0227-17, L0206-6, L0227-18 以及天 2008-8-2 的产量最高,98-6-2 品种的产量最低, L0206-6 的稳定性、产量表现俱优,可作为示范推广品种。各试点的鉴别力顺序为 $E2 > E1 > E4 > E6 > E3 > E7 > E5$,其中天水地区对品种的选择性最高,具有较强的代表性,宕昌地区对品种的鉴别力低,试点鉴别力的差异最大可能性由环境因素影响,包括气候因子、土壤条件、病虫害等。

通过 AMMI 分析以及双标图的图解,我们很清楚地看到品种稳定性、丰产性以及试点鉴别力的表现情况,从结果可以发现,稳定性强的品种其产量并不一定高,产量高的品种其稳定性出现一定的差异,这种原因可能由各试点的环境引起,由当地的气候条件、多种生态因素决定的。在实际育种工作中,品种稳定性与丰产性应具有统一性,稳定性强、丰产性高,才能符合实际的育种原则。在本试验中,只进行了两年的区域试验的数据分析,未考虑到气象因子的影响,今后还要进一步进行长期的观察分析,尽可能将同一时期气象数据与 $G \times E$ 互作结合起来,更全面地评价品种及有效地利用。

AMMI 模型是基于数学原理的模型,将方差分析与主成分分析结合在一起,具有两者的优点,对田间数据具有较大的依赖性,所需数据应具有一定的精确性,数据的波动可能造成分析误差。在数据收

集时尽可能地减少试验数据的误差,增加试验的重复次数。在对品种的稳定性和试点的鉴别力参数进行分析时,应根据多年多点的区域试验数据,最大可能提高模型预测的可行性。AMMI 模型本身是一种数学表达式,只是对基因与环境互作总体信息进行数量化处理,要揭示其具体的互作机制还需借助其它方法,对品种的产量表现与具体环境因子进行相关分析,确定主要影响因子,为以后的育种计划提供一定的依据。

在品种稳定性分析方面,许多学者提出运用不同的方法进行区试数据分析,温振民^[14]提出运用高温系数法进行不同作物的丰产性和稳定性分析,杨涛^[15]等利用 2002—2003 年重庆市油菜新品种区域试验等数据资料,对线性回归 Eberhart 和 Russell 模型、主效可加互作可乘 (AMMI) 模型以及高稳系数法 (HSC) 进行了比较,最终得出 AMMI 模型是一种较为理想的品种稳定性评价方法。金文林^[16]对多年多点不完全平衡试验资料,提出运用秩次分析模型对区试品种的稳定性和鉴别力进行分析。林华^[17]运用秩次分析法对 2006—2007 年连续两年的国家芸豆品种区域试验结果进行综合分析,评定参试品种的产量性能和品种稳定性。各种分析方法依据不同数学原理,针对不同的试验数据与要求,选择相应的分析工具及方法可以得到理想的结果。

由于环境与基因型互作是一个非常复杂的生物学现象,可受到多因素控制。外界环境的影响,品种的生物胁迫与非生物胁迫对产量及其组成成分可能造成误差,在运用 AMMI 模型的同时,与常用的区域试验分析相结合,可更大程度地发挥 AMMI 模型的功能。

参考文献:

- [1] Gauch H G. Model selection and validation for yield trials with interaction[J]. Biometrics, 1988, 44: 705-715.
- [2] 高海涛,王书子,王翠玲,等. AMMI 模型在旱地小麦区域试验中的应用[J]. 麦类作物学报, 2003, 23(4): 43-46.
- [3] 何代元,胡 宁,马兆锦,等. AMMI 模型在玉米区域试验中的应用[J]. 玉米科学, 2009, 17(4): 144-147.
- [4] 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.
- [5] 王 瑞,蒋梁材,张德发,等. 应用 AMMI 模型分析四川省油菜区试品种(系)的稳定性[J]. 中国油料作物学报, 1999, 21(2): 56-59.
- [6] 李辛村,张恩和,董孔军,等. 用 AMMI 双标图分析糜子品种的产量稳定性及试点代表性[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(4): 422-426.

(下转第 83 页)

综合考虑生长、生理、产量各项指标,处理W2F2表现为最适宜的水肥组合,是最利于节水节肥增产的番茄生长的最适灌水下限和施肥量,因此W2F2处理可为番茄的水肥一体化灌水施肥制度提供参考。

参考文献:

- [1] Kafkafi U, Tarchitzky J. Fertigation, A tool for efficient fertilizer[R]. Paris, France: International Fertilizer Industry Association, 2011
- [2] 夏敬源,彭世琪.我国灌溉施肥技术的发展与展望[J].中国农业推广,2006,22(5):4-6.
- [3] 周建斌,陈竹君,李生秀. Fertigation—水肥调控的有效措施[J].干旱地区农业研究,2001,19(4):16-21.
- [4] Borin M. Irrigation management of processing tomato and cucumber in environments with different water table depths[J]. Acta Hort, 1990, 267:85-92.
- [5] Coolong T, Surendran S, Warner R. Evaluation of irrigation threshold and duration for tomato grown in a silt loam soil[J]. Hortecchnology, 2011,21(4):466-473.
- [6] Chartzoulakis K S, Michelakis N G. Influence of different irrigation system on greenhouse tomatoes[R]. Padua, Italy: Fourth International Symposium on water supply and irrigation in open and under protected cultivation, 1988:26-28.
- [7] Zotarelli L, Dukes M D, Scholberg J M S, et al. Tomato nitrogen accumulation and fertilizer use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling[J]. Agricultural Water Management, 2009,96:1247-1258.
- [8] Zotarella L, Johannes M. Scholberg, Dukes, MD. Rafael MC, Icermana J. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling[J]. Agricultural Water Management, 2009,96(1):23-34.
- [9] Singandhupe R B Rao, G G S N, Patil N G. and Brahmanand P S, Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* L.)[J]. European Journal of Agronomy, 2003,19(2):327-340.
- [10] Hebbar, S. S. B. K. Ramachandrappa, H. V. Nanjappa, M. Prabhakar, Studies on NPK drip fertigation in field grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)[J]. European Journal of Agronomy, 2004,21(1):117-127.
- [11] 诸葛玉平,张玉龙,张旭东.塑料大棚渗灌灌水下限对番茄生长和产量的影响[J].应用生态学报,2004,15(5):767-771.
- [12] 马世林,王铁良,张玉龙.日光温室青椒滴灌最佳灌水下限组合试验研究[J].中国农村水利水电,2011,68(2):62-64.
- [13] 裴 芸,别之龙.塑料大棚中不同灌水量下限对生菜生长和生理特性的影响[J].农业工程学报,2008,24(9):207-211.
- [14] 虞 娜,张玉龙,黄 毅.温室滴灌施肥条件下水肥耦合对番茄产量影响的研究[J].土壤通报,2003,34(3):179-183.
- [15] 张 辉,张玉龙,虞 娜.温室膜下滴灌灌水控制下限与番茄产量、水肥利用效率的关系[J].中国农业科学,2006,39(2):425-432.
- [16] 樊兆博,刘美菊,张晓曼.滴灌施肥对设施番茄产量和氮素表现平衡的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):970-974.
- [17] 王克武,程 明,肖长坤.滴灌施肥强度对温室生菜生长、产量和品质的影响[J].北方园艺,2010,(11):55-58.
- [18] 张学军,赵 营,陈晓群.滴灌施肥中施氮量对两年蔬菜产量、氮素平衡及土壤硝态氮累积的影响[J].中国农业科学,2007,40(11):2535-2545.
- [19] 李毅杰,原保忠,别之龙.不同土壤水分下限对大棚滴灌甜瓜产量和品质的影响[J].农业工程学报,2012,28(6):132-138.
- [20] 袁丽平,米国全,赵灵芝.水氮偶和供应对日光温室番茄产量和品质的影响[J].中国土壤与肥料,2008,(2):69-73.
- [21] 姚 磊,杨阿明.不同水分胁迫对番茄生长的影响[J].华北农学报,1997,12(2):102-106.
- [22] 张艳玲,宋述尧.氮素营养对番茄生长发育及产量的影响[J].北方园艺,2008,(2):25-26.
- [23] 张海伟,徐芳森.不同磷水平下甘蓝型油菜光合特性的基因型差异研究[J].植物营养与肥料学报,2010,16(5):1196-1202.
- [24] 郭 英,孙学振,宋宪亮.钾营养对棉花苗期生长和叶片生理特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(3):363-368.

(上接第 66 页)

- [7] 孙计平,李雪君,吴照辉,等.应用 AMMI 模型分析烤烟区试品种稳定性[J].中国农学通报,2011,27(19):263-267.
- [8] 杨志平,何凤发,王季春,等. AMMI 模型在马铃薯品种区试中的适用性分析[J].西南农业大学学报,2006,28(2):322-325.
- [9] 宿飞飞,陈伊里,吕典秋,等.用 AMMI 模型分析马铃薯淀粉品质性状的稳定性[J].东北农业大学学报,2009,40(11):18-22.
- [10] 张 泽,鲁 成,向仲怀.基于 AMMI 模型的品种稳定性分析[J].作物学报,1998,24(3):304-309.
- [11] 王 磊,杨仕华,谢美贤,等. AMMI 模型及其在作物区试数据分析中的应用[J].应用基础与工程科学学报,1997,5(1):39-46.
- [12] 吴为人.对基于 AMMI 模型的品种稳定性分析方法的一点改进[J].遗传,2000,22(1):31-32.
- [13] 王 磊, McLaren C G, 杨仕华.利用双标图分析作物区试数据[J].生物数学学报,1997,12(5):557-563.
- [14] 温振民.用高稳系数估算玉米杂交种高产稳产性的探讨[J].作物学报,1994,20(4):508-512.
- [15] 杨 涛,李加纳,唐章林,等.三种评价品种稳定性方法的比较[J].贵州农业科学,2006,34(1):28-31.
- [16] 金文林.作物区试中品种稳定性评价的秩次分析模型[J].作物学报,2000,26(6):925-930.
- [17] 林 华,高金锋,高小丽,等.不同基因型芸豆品种丰产性及稳定性分析[J].干旱地区农业研究,2009,27(2):108-113.