

AMMI 模型在重庆市玉米区域试验中的应用^①

贺清秀, 周彦民

重庆科光种苗有限公司, 重庆 400060

摘要: 为了解重庆市玉米区域试验参试品种的丰产性、稳定性以及各试点鉴别力, 筛选适合重庆市种植的高产稳产玉米品种, 该研究利用 AMMI(主效可加交互可乘模型)模型对 25 个品种在 7 个试点的产量数据进行了分析. 结果表明: 品种、试点、品种×试点交互及交互作用主成分值(IPCA)均达到极显著水平. 高产稳产型品种有渝 2112, XD122 和 LC29304, 高产但稳定性一般品种有 BSF11-18, 8149 和金玉 10 号, 高产但稳定性较差品种有 CN898 和华凯 2 号. 试点鉴别力从大到小依次为黔江区种子站、重庆市农科院玉米所、万州区种子站、巫山县种子管理站、西南大学玉米研究所、永川区粮油技术推广站和丰都县种子站.

关键词: AMMI 模型; 玉米; 区域试验; 产量; 稳定性

中图分类号: S513

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2017)09-0109-07

玉米是重要的食物来源和饲料来源之一, 也是重要的工业和医药原料, 在我国的农业生产中占有极其重要的地位. 目前, 我国玉米的种植面积约为 $3.6 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 单产 $6\ 016 \text{ kg/hm}^2$, 总产量超过 $2.16 \times 10^8 \text{ t}$, 种植面积和总产量已经超过水稻, 成为我国第一大农作物^[1]. 尽管我国玉米总产量大幅度提高, 由 2004 年之前不足 1 亿 t 翻番至 2013 年的超过 2 亿 t. 但是, 随着社会的进步, 畜牧业逐步实现现代化, 玉米深加工得到迅猛发展, 玉米乙醇燃料技术研发将得以应用, 我国对玉米的需求量也将进一步大幅增加. 从 2009 年开始, 我国市场对玉米的需求也呈递增趋势, 开始大规模进口玉米, 2013 年玉米进口量约为 300 万 t^[2]. 2015 年以来, 虽然玉米价格受挫, 但不会影响我国对玉米需求逐步递增的趋势. 因此, 玉米生产量亟待提高以满足国内需求.

现有研究表明, 品种改良对玉米增产贡献率达到 35.5%^[3]. 近几年来, 优良品种如农大 108、农华 101、登海 605、隆平 206 等被农业部列为主导品种, 得以大面积示范推广. 但是, 重庆市耕地以丘陵山地为主, 土地贫瘠, 保水保肥能力差, 玉米灌浆期持续干旱严重, 玉米生产受自然环境影响大, 稳定性差, 使得重庆玉米单产低于全国平均水平^[4]. 即使是相同的品种, 比如农大 108, 在全国区试每公顷达 $8\ 250 \sim 9\ 388.5 \text{ kg}$, 而在重庆区试中每公顷不到 $7\ 500 \text{ kg}$ ^[5]. 因此, 重庆市玉米育种要根据独有的气候和丘陵特征, 筛选培育适合重庆市种植的品种.

作物品种区域试验, 是连接品种选育和品种推广生产的重要桥梁. 通过区域试验, 在同一生态类型区域选择能代表该地区土壤、气候、耕作制度及生产水平的多个地点, 按照标准的试验方案和技术方法测试不同品种的丰产性、适应性和稳定性等重要农艺性状, 从而筛选出能够推动当地生产发展的优良品种. 作物区域试验普遍存在品种×试点、品种×年份和品种×年份×试点交互效应等, 因此在实际育种工作中很难精准地筛选出既高产稳产又适应性广泛的品种. 为此, 育种工作者采用了各种不同的方法分析品种、试点、

① 收稿日期: 2016-03-24

作者简介: 贺清秀(1965-), 女, 重庆沙坪坝人, 高级农艺师, 主要从事农作物新品种选育及推广研究.

通信作者: 周彦民, 农艺师.

年份效应及相互间的互作效应. 王春平等^[6]采用了 4 种常用模型对玉米品种区域试验资料进行了拟合与分析, 建议在玉米区域试验的实际分析中应采用 AMMI 模型或者利用模型拟合信息量准则选用最佳的模型进行分析. 陈就就等^[7]采用 7 种不同结构的线性混合模型分析玉米区试数据表明 AMMI-1 和 FA(2) 结构模型适用性最广泛. AMMI 源于社会学和物理学领域, 以品种在 *IPCA*(主成分特征值) 空间至原点的距离 D_i 和 AMMI 双标图中品种图标距横坐标轴或坐标原点的距离来评价品种稳定性及适应性^[8]. 该模型将方差分析和主成分分析有机地结合在一起, 兼具了这 2 种方法的优点, 较好地解释了品种与试点的互作关系, 并借助于 AMMI 双标图, 能直观、具体、有效地鉴别品种的适应性、稳定性和丰产性, 且有利于区分各试点的鉴别力或判别力. 该模型已经广泛应用于作物品种区域试验数据分析^[9-14]. 因此, 本研究采用 AMMI 模型对重庆市 2013 年玉米区域试验产量性状进行分析, 评价参试品种的稳定性和试点的鉴别力, 以期为重 庆市玉米新品种的筛选及推广应用提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

2013 年重庆市杂交玉米新品种区域试验平丘组参试品种共 23 个(表 1), 以渝单 8 号为对照(CK1 和 CK2), 在海拔 700 m 以下的浅丘、平坝设置 7 个试点进行试验(表 2).

表 1 重庆市玉米品种区域试验平丘组参试品种

品种编号	品种名称	品种编号	品种名称
V_1	华凯 2 号	V_14	W49
V_2	CN898	V_15	LC29304
V_3	8149	V_16	奥农玉 100-20
V_4	SAU1223	V_17	SD11092
V_5	BSF11-18	V_18	宝玉 102
V_6	渝 2112	V_19	先玉 1170
V_7	XD122	V_20	金玉 10 号
V_8	华试 901	V_21	YA8858
V_9	G05119×18599	V_22	GD1125
V_10	金瑞玉 16	V_23	EF398
V_11	ZD1108	CK1	渝单 8 号
V_12	W47	CK2	渝单 8 号
V_13	SAU1210		

表 2 重庆市玉米品种区域试验平丘组承担单位

承担单位	试点简称	承担单位	试点简称
永川区粮油技术推广站	E_1	黔江区种子站	E_5
重庆市农业科学院玉米所	E_2	丰都县种子站	E_6
西南大学玉米研究所	E_3	巫山县种子管理站	E_7
万州区种子站	E_4		

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

各试点采用随机区组设计, 3 次重复, 5 行区, 小区面积 20 m², 试验地四周种植保护行. 种植密度为 4.5×10⁴ 株/². 实收中间 3 行(面积 12 m²)计产, 换算成公顷产量, 保留 2 位小数.

1.2.2 数据分析

数据分析采用 DPS 14.0 统计分析软件的 AMMI 模型^[15]; 根据张泽等^[8]方法计算稳定性参数 D_i .

2 结果分析

2.1 线性回归分析和 AMMI 模型分析

线性回归分析和 AMMI 模型分析结果分别列入表 3 和表 4. 由表 3 和表 4 可知, 品种间的平方和占处

理平方和的 9.84%，试点间的平方和占 59.20%，而品种与试点交互作用的平方和占 30.96%，均达到了极显著水平。回归分析的联合回归、品种回归和试点回归 3 者共解释交互作用的 22.81%(表 3)，说明线性回归对该区试数据拟合效果不好。采用 AMMI 模型对交互作用进行分解，有 4 个乘积项的互作信息达到极显著水平，一个达到显著水平，共解释了互作效应的 95.61%(表 4)，说明 AMMI 模型可以较透彻地分析品种和试点互作效应。

表 3 线性回归分析

变异来源	<i>df</i>	SS	百分比%	MS	<i>F</i>	<i>Prob.</i>
总方差	524	1 600 473.90		3054.34		
品种	24	134 613.63	9.84	5 608.90	8.43	0.00
试点	6	809580.66	59.20	134 930.11	202.83	0.00
交互作用	144	423 443.76	30.96	2 940.58	4.42	0.00
联合回归	1	443.63	0.10	443.63	0.67	0.41
品种回归	23	84 464.22	19.95	3 672.36	5.52	0.00
试点回归	5	11 672.03	2.76	2 334.41	3.51	0.00
残差	115	326 863.88	77.19	2 842.29	4.27	0.00
误差	350	232 835.90	15.55	665.25		

表 4 AMMI 模型分析

变异来源	<i>df</i>	SS	百分比%	MS	<i>F</i>	<i>Prob.</i>
总方差	524	1 600 473.90		3 054.34		
品种	24	134 613.63	9.84	5 608.90	8.43	0.00
试点	6	809 580.66	59.20	134 930.11	202.83	0.00
交互作用	144	423 443.76	30.96	2 940.58	4.42	0.00
IPCA1	29	151 937.15	35.88	5 239.21	7.88	0.00
IPCA2	27	101 157.02	23.89	3 746.56	5.63	0.00
IPCA3	25	87 373.04	20.63	3 494.92	5.25	0.00
IPCA4	23	41 629.88	9.83	1 810.00	2.72	0.00
IPCA5	21	22 761.93	5.38	1 083.90	1.63	0.04
残差	19	18 584.74	4.39	978.14		
误差	350	232 835.90	15.55	665.25		

2.2 AMMI 双标图分析品种稳定性和试点鉴别力

由 AMMI1 双标图(图 1)可看出，在反应产量高低的水平方向，试点分布位置比品种分散，说明试点变异大于品种变异，即同一品种在不同试点的产量差异大，而同一试点的不同品种产量差异相对较小。AMMI1 双标图是以平均产量为 X 轴，IPCA1 值为 Y 轴所做的模型图，IPCA1 值反映的是互作效应的差异，因此在垂直方向上，品种越靠近 0 值线，其稳定性越好；试点离 0 值线越远，其鉴别力越大。在水平方向上的值代表了平均产量，即品种的丰产性。品种 V_11,V_22,V_20 稳定性最好，其次是 V_7,V_18,V_24,V_25,V_10,V_12,V_6，而 V_14,V_9,V_21,V_19,V_4,V_16 稳定性最差。结合产量因素，V_6,V_7,V_20,V_11,V_12,V_18 属于丰产稳产品种，V_2,V_3,V_5 稳产性居中，丰产性很高。试点以 E_2 和 E_4 鉴别力最强，E_1 和 E_6 鉴别力最弱。

在本研究中 AMMI1 双标图只占互作效应的 35.88%，由此推断的品种稳定性和试点鉴别力不够全面。AMMI2 交互作用双标图是以品种的 IPCA1 和试点的 IPCA2 值所做的模型，解释了互作效应的 59.77%，其结果更加可靠。在 AMMI2 交互作用双标图中，品种离原点距离越近，其稳定性越好；试点离原点越远，其鉴别力越大。由图 2 可看出，品种 V_24,V_25,V_20,V_7 和 V_12 最稳定，而 V_16,V_14,V_21,V_11，V_9 和 V_2 对试点较为敏感。交互作用较大的试点有 E_4,E_2,E_5,E_3 和 E_7，即鉴别力较大；交互作用较小的试点有 E_1 和 E_6，其鉴别力最小。

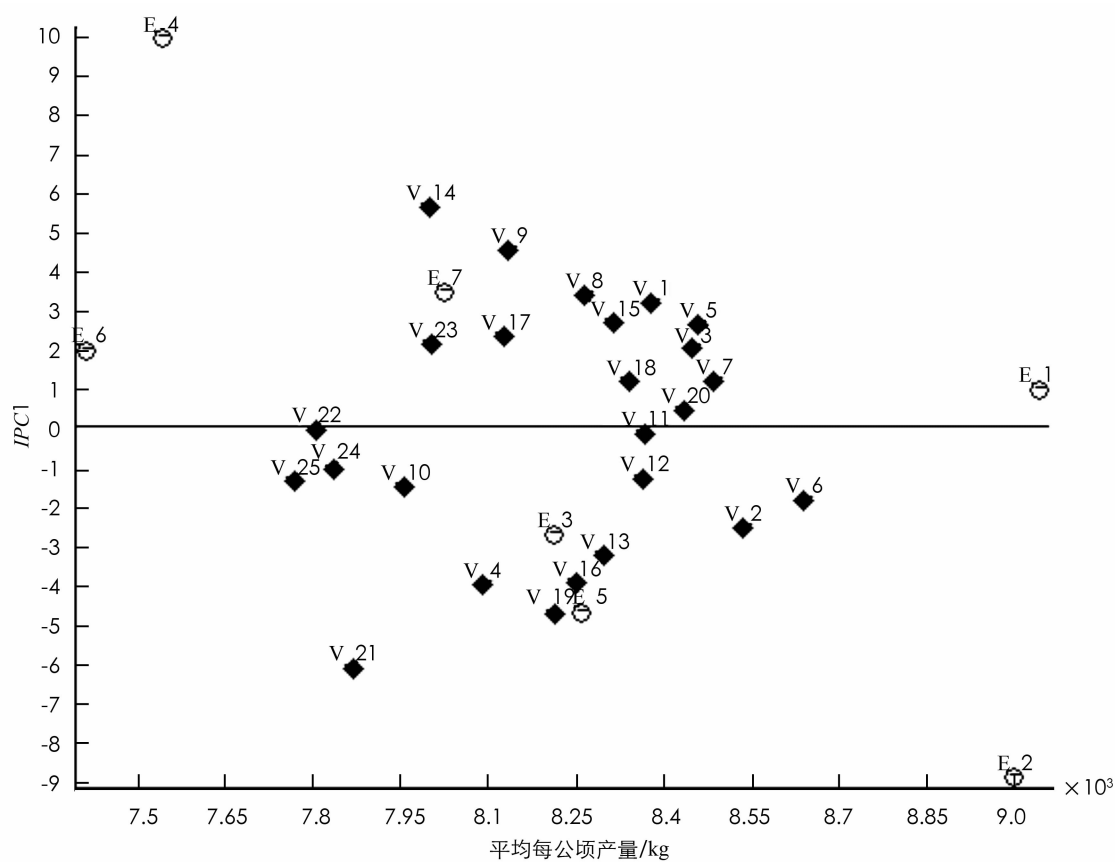


图 1 品种、试点分布 AMMI1 双标图

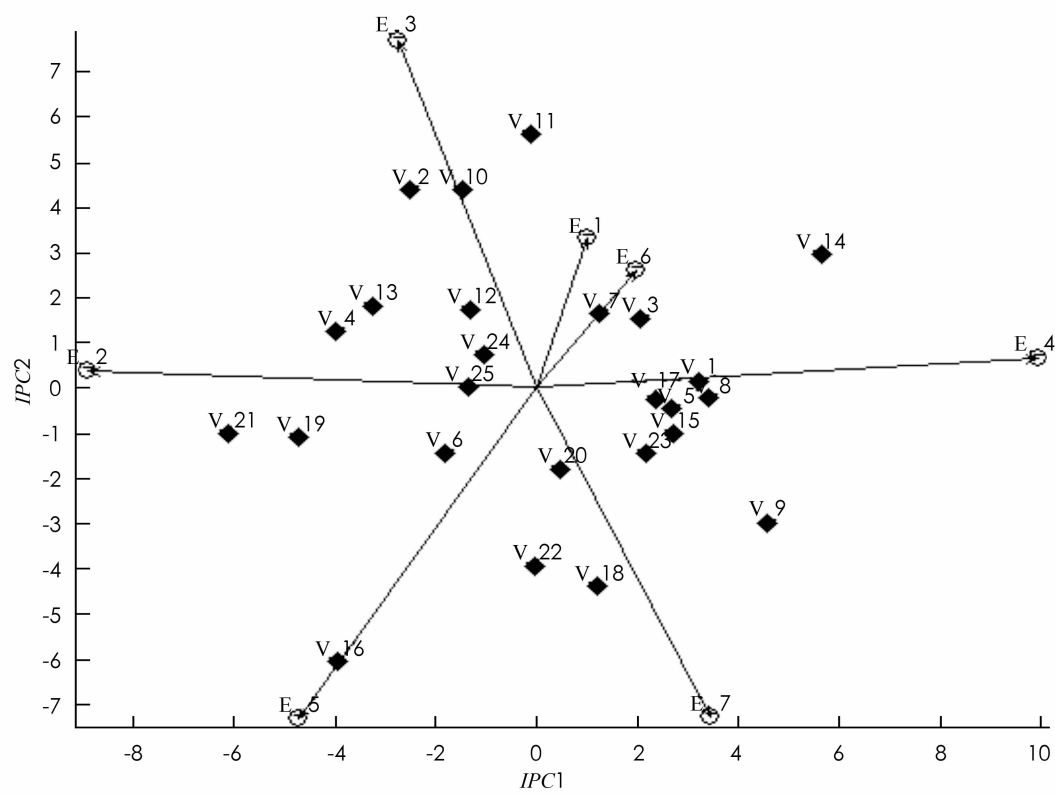


图 2 AMMI2 交互作用双标图

2.3 稳定性参数评价品种适应性和试点鉴别力

尽管 AMMI2 交互作用双标图代表了大部分交互作用信息(59.77%), 但并未考虑显著的 $IPCA3 - IPCA5$ 这 3 个主成分特征值. 为了更深入精确地评价品种稳定性和试点鉴别力, 根据张泽等^[8]的方法计算稳定性参数 D_i (表 5 和表 6). D_i 对品种和试点具有不同意义, 对于品种, D_i 值越小, 品种越稳定; 对于试点, D_i 值越大, 试点鉴别力越高. 由表 5 可知, $V_{25}, V_7, V_6, V_{24}, V_{15}$ 和 V_{17} 稳定性最好, V_{16}, V_{22}, V_2, V_1 和 V_{21}, V_{14} 稳定性较差, 其余品种稳定性居中. 结合产量因素, V_6, V_7 和 V_{15} 是高产稳产型品种, V_5, V_3 和 V_{20} 高产稳定性一般, V_2 和 V_1 高产稳定性较差. 由表 6 可知, 试点鉴别力由大到小依次为 $E_5, E_2, E_4, E_7, E_3, E_1$ 和 E_6 .

表 5 品种平均产量、主成分值、稳定性参数及排序

品种	产量平均	$IPCA1$	$IPCA2$	$IPCA3$	$IPCA4$	$IPCA5$	D_i	D_i 位次	产量位次
V_1	558.48	3.20	0.14	-3.24	-5.96	-0.27	7.51	22	7
V_2	568.90	-2.51	4.38	-3.33	5.13	0.44	7.94	23	2
V_3	563.13	2.05	1.52	6.00	-0.52	-1.20	6.65	18	5
V_4	539.23	-3.99	1.27	0.40	-0.60	-0.07	4.25	9	18
V_5	563.82	2.69	-0.47	1.00	2.88	1.69	4.43	10	4
V_6	575.95	-1.84	-1.46	1.11	1.11	-1.06	3.02	3	1
V_7	565.69	1.23	1.65	1.15	-0.27	-0.59	2.45	2	3
V_8	550.83	3.40	-0.22	-2.88	0.46	0.86	4.57	11	13
V_9	542.20	4.57	-3.00	-0.18	0.59	-4.12	6.87	19	16
V_{10}	530.33	-1.47	4.37	0.21	-2.38	-2.96	5.98	17	21
V_{11}	557.77	-0.12	5.61	-0.83	0.15	-1.00	5.76	16	8
V_{12}	557.67	-1.30	1.75	-0.03	-2.93	4.43	5.74	15	9
V_{13}	553.05	-3.24	1.80	1.52	1.02	0.86	4.22	8	12
V_{14}	533.34	5.67	2.96	0.15	-2.48	1.20	6.96	20	20
V_{15}	554.33	2.71	-1.02	-0.66	0.70	1.34	3.34	5	11
V_{16}	550.14	-3.94	-6.04	3.65	-1.81	1.18	8.37	25	14
V_{17}	541.75	2.36	-0.24	2.85	0.60	0.72	3.83	6	17
V_{18}	556.08	1.21	-4.40	0.85	-0.22	-0.32	4.66	12	10
V_{19}	547.58	-4.74	-1.11	-0.76	-0.81	-2.81	5.73	14	15
V_{20}	562.27	0.45	-1.81	2.87	1.95	1.43	4.19	7	6
V_{21}	524.58	-6.10	-0.99	-2.73	-2.25	1.88	7.37	21	22
V_{22}	520.33	-0.05	-3.96	-6.87	0.76	-1.90	8.19	24	24
V_{23}	533.54	2.16	-1.45	-2.89	2.42	2.72	5.32	13	19
V_{24}	522.36	-1.05	0.72	1.48	1.73	-1.70	3.11	4	23
V_{25}	518.00	-1.34	0.01	1.14	0.73	-0.73	2.04	1	25

表 6 试点平均产量、主成分值、稳定性参数及排序

试点	产量平均	$IPCA1$	$IPCA2$	$IPCA3$	$IPCA4$	$IPCA5$	D_i	D_i 位次	产量位次
E_1	602.88	0.99	3.30	2.28	0.41	8.02	9.03	6	1
E_2	599.92	-8.91	0.37	4.63	6.20	-1.97	11.97	2	2
E_3	547.62	-2.73	7.68	-2.04	-5.44	-1.70	10.15	5	4
E_4	502.97	9.95	0.65	-3.24	5.34	-1.40	11.85	3	6
E_5	550.80	-4.73	-7.32	-8.64	-0.91	1.34	12.38	1	3
E_6	494.29	1.96	2.59	-0.39	-1.29	-3.37	4.87	7	7
E_7	535.09	3.46	-7.27	7.39	-4.31	-0.93	11.78	4	5

3 讨论与结论

作物品种区域试验旨在鉴定品种的丰产性、稳定性和适应性, 是连接品种选育和品种推广生产的重要桥梁. 但是参加区试的品种在不同的试点产量往往差异比较大, 表明品种基因型和试点存在互作效应. 传

统的方差分析模型假设品种在各试点方差协方差同质,不能解释品种与试点的互作效应,因此不能用于评价品种的稳定性.通过基因型与试点互作探讨品种的稳定性是育种学家长期致力于解决的问题之一,但传统的线性回归模型不能很好地拟合品种与试点间的互作及评判品种的稳定性^[8],比如本研究中用线性回归模型分析只能解释 22.81% 的交互作用.为了更精确地评价品种的稳定性,育种学家采用了很多改进模型^[16-22]用于分析各种不同作物的区域试验.王春平等^[6]和陈就就等^[7]认为 AMMI 模型在玉米区域试验中具有广泛的适用性,该模型已广泛应用于小麦、水稻、玉米、油菜等作物的区域试验数据分析^[9-14].AMMI 模型综合了方差分析和主成分分析的优点,能够用双标图直观而定量地描绘基因型与试点互作效应,进而对品种的稳定性、试点的鉴别力等做出评价.张泽等^[8]认为当 *IPCA* 轴大于或等于 3 时,不可能作出像双标图那样直观的品种稳定性分析结果,因此他们提出了更加准确适用的稳定性参数 D_i .在本研究中,*IPCA*3 解释了 20.63% 的交互作用,*IPCA*4 解释了 9.83% 的交互作用,且都达到了极显著水平.根据 AMMI2 交互作用双标图评价品种稳定性,前 5 位品种为 V_24,V_25,V_20,V_7 和 V_12,而当采用稳定性参数 D_i 时,前 5 位稳定性品种为 V_25,V_7,V_6,V_24 和 V_15.因此,当达到显著水平的 *IPCA* 大于等于 3 个,双标图并不能反映全部有效的交互信息,此时定量计算稳定性参数 D_i 值更加准确.此外,在本研究中互作对产量影响小于试点且大于基因型,这一结果与其他研究一致^[12-13].

本研究采用稳定性参数 D_i 评价品种适应性和试点鉴别力表明:V_6(渝 2112)、V_7(XD122)和 V_15(LC29304)为高产稳产型品种,其适应地区较广;V_3(8149)、V_5(BSF11-18)和 V_20(金玉 10 号)高产但稳定性一般,V_1(华凯 2 号)和 V_2(CN898)高产但稳定性较差.此外,试点 E_5(黔江区种子站)、E_2(重庆市农业科学院玉米所)、E_4(万州区种子站)、E_7(巫山县种子管理站)和 E_3(西南大学玉米研究所)鉴别力较强,而 E_1(永川区粮油技术推广站)和 E_6(丰都县种子站)鉴别力较差.

参考文献:

- [1] 陈印军,易小燕,方琳娜,等.中国耕地资源与粮食增产潜力分析[J].中国农业科学,2016,49(6):1117-1131.
- [2] 孙致陆,李先德.中国粮食进口贸易的“大国效应”检验[J].华南农业大学学报(社会科学版),2015(4):99-112.
- [3] 吴永常,马忠玉,王东阳,等.我国玉米品种改良在增产中的贡献分析[J].作物学报,1998,24(5):595-600.
- [4] 田红琳,许明陆,杨 华,等.重庆市玉米栽培现状与发展态势及对策[J].耕作与栽培,2012(4):55-56.
- [5] 霍仕平,张兴端,向振凡,等.重庆市直辖后普通玉米杂交种籽粒产量及相关性状的育种进展[J].中国农学通报,2010,26(2):109-113.
- [6] 王春平,吕静霞,王黎明,等.几种模型在玉米区域试验的适用性与品种评价中的差异研究[J].中国农学通报,2012,28(33):35-39.
- [7] 陈就就,胡希远.不同方差协方差结构线性混合模型在玉米品种区域试验中的适用性及模型误用对分析结果的影响[J].西北农业学报,2012,21(5):96-102.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 张恩盈,魏志刚,宋希云.AMMI 模型在鲜食糯玉米区域试验中的应用[J].安徽农业科学,2011,39(8):17206-17208,17236.
- [11] 赵国珍,刘吉新,李全衡,等.云南粳稻碾磨品质性状稳定性分析[J].植物遗传资源学报,2009,10(2):272-277.
- [12] 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.
- [13] 常 磊,柴守玺.AMMI 模型在旱地春小麦稳定性分析中的应用[J].生态学报,2006,26(11):3677-3684.
- [14] 蒋海玉,刘旭云,王 欣,等.双图标在油菜区试中的应用[J].西南农业学报,2008,21(6):1535-1539.
- [15] 唐启义,冯明光.实用统计分析及其计算机处理平台[M].北京:中国农业出版社,1997.
- [16] NAROUÏ RAD M R, KADIR M A, RAFII M Y, et al. Genotype×Environment Interaction by AMMI and GGE Biplot Analysis in Threeconsecutive Generations of Wheat (*Triticumaestivum*) Under Normaland Drought Stress Conditions[J]. AJCS, 2013, 7(7): 956-961.
- [17] KARIMIZADEH R, MOHAMMADI M. AMMI Adjustment for Rainfed Lentil Yield Trials in Iran[J]. Bulga J Agric

Sci, 2010, 16(1): 66—73.

[18] KEMPTON R A, FOX P N. Statistical Methods for Plant Variety Evaluation [M]. London: Chapman & Hall, 1997.

[19] SHUKLA G K. Some Statistical Aspects of Partitioning Genotype Environmental Components of Variability [J]. Heredity, 1972, 29(2): 237—245.

[20] PIEPHO H P. Empirical Best Linear Unbiased Prediction in Cultivar Trials Using Factor-Analytic Variance-Covariance Structures [J]. Theor Appl Genet, 1998, 97(1/2): 195—201.

[21] 唐 浩, 刘 洪, 余汉勇, 等. 基于 DUS 测试的标准品种形态性状稳定性和重要性分析 [J]. 作物学报, 2013, 39(4): 632—641.

[22] 许乃银, 张国伟, 李 健, 等. 基于 HA-GGE 双标图的长江流域棉花区域试验环境评价 [J]. 作物学报, 2012, 38(12): 2229—2236.

On Application of AMMI Model in Regional Trial of Maize in Chongqing

HE Qing-xiu, ZHOU Yan-min

Chongqing Keguang Seed Co. Ltd., Chongqing 400060, China

Abstract: In order to investigate the high-yield ability, to yield stability and to site discrimination of the regional trial of maize varieties in Chongqing, and to screen for high-yield stable varieties for Chongqing maize production, AMMI model has been adopted to analyze the yield data of 25 maize varieties in 7 test sites. The results show that varieties, test sites, interaction between variety and test site and interaction of principal component values (IPCA) reached extremely significant level. The high-yield and stable varieties contain Yu2112, XD122 and LC29304, the high-yield and secondary stable varieties contain BSF11-18, 8149 and Jinyu10, the high-yield and worst stable varieties contain CN898 and Huakai2. The rank of site discrimination are Qianjiang Seed Station, Corn Research Institution of Chongqing Academy, Wanzhou Seed Station, Wushan Seed Management Station, Corn Research Institution of Southwest University, Cereals & Oils Extension Center of Yongchuan and Fengdu Seed Station, respectively.

Key words: AMMI model; maize; regional trial; yield; stability

责任编辑 夏 娟