

# 用 AMMI 双标图分析西瓜品种的产量 稳定性及试点分辨力

王志强, 刘声锋, 郭守金, 于 蓉, 田 梅, 董 瑞

(宁夏农林科学院 种质资源研究所, 宁夏 银川 750002)

**摘要:** 借助 AMMI 模型分析了 2009 年国家西瓜品种区域试验中的产量数据, 结果表明: 基因型与环境的互作效应小于基因效应和环境效应, 但是也达到了极显著的水平, 而且基因型的效应占比例较大, 其次为环境效应。不同西瓜品种在各试点的品种稳定性和不同试点对品种的分辨力差异较大: 品种 G4(09-N2) 的稳定性参数最大 ( $D_g = 15.53360$ ), G7(09-N9) 的稳定性参数最小 ( $D_g = 2.56881$ ); 8 个西瓜品种中高产稳产的品种是 G2(09-N1) 和 G1(09-N7), 产量低且不稳定的品种是 G4(09-N2) 和 G6(09-N12), 产量高而稳定性一般的品种是 G8(CK, 09-N15), 产量低而稳定的品种是 G7(09-N9), 产量一般且稳定性一般的品种是 G3(09-N5), 产量一般稳定性差的品种是 G5(09-N8); 在 4 个参试点中, 甘肃兰州试点对品种的分辨力强, 宁夏中卫试点和宁夏中卫试点对西瓜品种的分辨力一般, 宁夏海原试点对品种的分辨力较差。

**关键词:** AMMI 模型; 双标图; 西瓜; 品种; 产量; 稳定性; 区域试验

**中图分类号:** S651.037 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)04-0089-05

## AMMI-biplot analysis of yield stability and test-sites resolution of watermelon varieties

WANG Zhi-qiang, LIU Sheng-feng, GUO Shou-jin, YU Rong, TIAN Mei, DONG Rui  
(Ningxia Academy of Agriculture and Forestry, Genetic Germplasm Institute, Yinchuan 750002, China)

**Abstract:** The AMMI model was adopted to analyze the output data of watermelon varieties in regional trial in 2009. The results showed that the genotype effect (G) accounted for the largest proportion, followed by the environment effect (E), while G × E interactive effect was the smallest but still reached extremely significant level. There were significant differences in stability of the eight varieties and resolution of the four testing sites. Among the eight varieties, the stability parameter of G4 (09-N2) was the highest ( $D_g = 15.53360$ ) and that of G7 (09-N9) was the lowest ( $D_g = 2.56881$ ); G2 (09-N1) and G1 (09-N7) were the varieties with high-yield and high-stability, G4 (09-N2) and G6 (09-N12) were the varieties with low-yield and low-stability, G8 (CK, 09-N15) was the variety with high-yield and mid-stability, G7 (09-N9) was the variety with low-yield and high-stability, G3 (09-N5) was the variety with mid-yield and mid-stability, and G5 (09-N8) was the variety with mid-yield and low-stability. As for the four testing sites, Lanzhou (in Gansu) was the site with a powerful resolution of watermelon varieties, Zhongwei (in Ningxia) and Zhongning (in Ningxia) were the sites with a moderate resolution, and Haiyuan (in Ningxia) was the site with a poor resolution.

**Keywords:** AMMI model; biplot; watermelon; variety; yield; stability; regional trial

准确鉴定和评价作物品种的丰产性、稳定性和适应性对提高作物生产能力、应用推广新品种具有重要意义, 区域试验作为鉴定评价作物品种丰产性、稳定性和适应性的有效办法, 是提高作物生产力的

重要途径<sup>[1]</sup>。在作物品种区域试验中, 品种之间产量的差异或者丰产性差异通过方差分析进行多重比较即可, 而品种的稳定性的主要决定于基因型和环境互作(G × E)效应的大小。以往对这种互作效应大

多采用线性模型进行分析,但线性模型一般仅能解释很少一部分交互作用的变化。近年来一种更为有效的加性主效应乘积交互作用模型(additive main effects and multiplicative interaction, AMMI)已经开始被用于区域试验结果的分析。AMMI 模型最早由 Gauch<sup>[2]</sup>提出,是将主成分分析与方差分析相结合,将乘积形式的交互作用加入常规的基因型与环境的加性模型中,该模型与方差分析模型、线性回归模型相比,应用范围更广且更有效。AMMI 模型的分析结果可以用直观简洁的图形表达和解释;AMMI 不仅可以帮助我们进行更可靠的稳定性分析,而且可以鉴别一些具有特殊品种基因型和环境互作( $G \times E$ )效应的基因型,为针对某一特殊环境的特殊适应性的品种的育种提供有价值的信息。国内不少学者将 AMMI 模型应用于甘蔗、水稻、小麦、玉米、糜子、桑、烤烟、大豆、糖甜菜、玫瑰、马铃薯、甘薯和油菜等作物的稳定性分析中<sup>[3-14]</sup>,但在西瓜品种稳定性的评价和应用少有报道,本文采用 AMMI 模型对 2009 年国家西瓜品种西北旱地中晚熟组区域试验中宁夏和甘肃 4 个试验点的产量数据进行了分析,以期将基因型和环境互作( $G \times E$ )效应对参试西瓜品种的产量、品种的稳定性和参试地点对品种的分辨力给出合理准确的评价。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源

以 2009 年国家西瓜品种西北旱地中晚熟组区域试验的品种和试点产量为资料进行 AMMI 模型分析。选取参试品种 8 个,试点 4 个,分别为宁夏中卫、宁夏中宁、宁夏海原和甘肃兰州 4 点,此 4 点为宁夏和甘肃的压砂瓜集中种植区,各个品种名称、试点代码和平均产量见表 1。各试点统一管理方式,完全随机区组设计,重复 3 次,根据当地生产情况确定株行距,田间记载和产量称量采用统一方案执行。

### 1.2 AMMI 模型分析方法<sup>[15]</sup>简介

AMMI 模型指的是加性主效应乘积交互作用模型,计算公式如下:

$$y_{ge} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_{i=1}^n \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{gn} + \theta_{ge}$$

式中, $y_{ge}$ 是在环境  $e$  中基因型  $g$  的产量; $\mu$  代表总体平均值; $\alpha_g$  是基因型平均偏差(各个基因型平均值减去总的平均值); $\beta_e$  是环境的平均偏差(各个环境的平均值减去总的平均值); $\lambda_n$  是第  $n$  个主成分分析的特征值; $\gamma_{gn}$  是第  $n$  个主成分的环境主成分得分; $\delta_{gn}$  是第  $n$  个主成分的基因型主成分得分; $n$  是在模

型主成分分析中主成分因子轴的总个数; $\theta_{ge}$  为残差。如果试验设有重复,则误差项为  $\epsilon_{ger}$ ,等于  $y_{ge}$  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。

### 1.3 稳定性参数计算<sup>[1]</sup>

试点和品种的稳定性参数就是 IPCA 的  $K$  维空间里试点或品种到原点的距离  $D_{g(e)}$ (即欧式距离)。计算公式为:

$$D_{g(e)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (IPCA_{g(e)_i})^2}$$

式中, $D_g$  是品种的稳定性参数, $D_g$  越小,则品种越稳定; $D_e$  是试点的稳定性参数, $D_e$  越大,则试点分辨力越强,即  $D_e$  值越大,基因型在环境中表现出的遗传差异越大,越有利于充分发挥基因型的特性。

方差分析、回归分析和 AMMI 模型分析数据处理采用唐启义 9.50 数据处理系统,稳定性参数的计算使用 10 位数显示的多功能科学计算器。

## 2 结果与分析

### 2.1 方差分析和线性回归分析

从表 2 的方差分析结果可知:参试品种间的平方和占 43.81%,参试试点间的平方和占 34.44%,品种和试点交互作用的平方和占 16.84%,且三者的  $P$  值均小于 0.01,说明基因、环境、基因和环境的交互作用( $G \times E$ )都达到了极显著水平;方差分析中交互作用极显著,但是并未得到合理的分解和解释;品种间的变异占了主要部分,交互作用的变异也很大,因此,对品种的稳定性 and 交互作用进行深入分解非常必要。

从表 3 区试产量的线性回归分析可以看出:联合回归仅解释了交互作用的 16.19%,残差为 6.30%,说明线性回归分析对交互作用的解释仍然不够。

### 2.2 AMMI 模型分析

AMMI 模型分析结果见表 4,其结果表明有 2 个乘积项表达的基因和环境的交互作用( $G \times E$ )  $P$  值小于 0.01,达到了极显著水平,将剩余的不显著的 IPCA 合并为残差,PCA1 和 PCA2 的平方和分别占交互平方和的 92.20% 和 6.74%,即交互主成分解释了基因和环境的交互作用( $G \times E$ )的 98.94%,而残差仅剩 1.06%,充分说明 AMMI 模型透彻地分析了交互作用( $G \times E$ )信息。同时表明 AMMI 模型优于传统的线性回归模型,可有效地克服线性回归分析方法在评价作物品种稳定性方面的局限性。

表1 品种和试点代码及平均产量

Table 1 Varieties, testing sites and average yield of watermelon in regional trial

品种 Variety	品种代码 Code of variety	平均产量/(kg·667m <sup>-2</sup> ) Mean yield	试点 Testing site	试点代码 Code of testing site	平均产量/(kg·667m <sup>-2</sup> ) Mean yield
09-N7	G1	2 046.3833	宁夏中卫 Zhongwei, Ningxia	E1	1 793.4896
09-N1	G2	2 034.3550	宁夏中宁 Zhongning, Ningxia	E2	1 792.5625
09-N5	G3	1 821.3142	宁夏海原 Haiyuan, Ningxia	E3	1 800.8992
09-N2	G4	1 667.2392	甘肃兰州 Lanzhou, Gansu	E4	2 073.8750
09-N8	G5	1 864.7308			
09-N12	G6	1 792.9275			
09-N9	G7	1 707.0083			
09-N15	G8	1 987.6942			

表2 方差分析

Table 2 Analysis of variance

变异来源 Source of variation	自由度 <i>df</i> Degree of freedom	平方和 <i>SS</i> Sum of squares	占总平方和百分比/% Percentage of total of squares	均方 <i>MS</i> Mean squares	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	<i>P</i> 值 <i>P</i> value
总变异 Total variance	95	4 048 752.4180		42 618.4465		
处理 Treatment	31	3 849 974.3220		124 192.7201	39.9860	0.0000
基因 Genotype (G)	7	1 773 698.7660	43.81	253 385.5380	81.5818	0.0000
环境 Environment (E)	3	1 394 362.6292	34.44	464 787.5431	149.6463	0.0000
交互作用 Interaction (G × E)	21	681 912.9268	16.84	32 472.0441	10.4549	0.0000
误差 Error	64	198 778.0959	4.91	3 105.9077		

表3 线性回归分析

Table 3 Linear regression analysis

变异来源 Source of variation	自由度 <i>df</i> Degree of freedom	平方和 <i>SS</i> Sum of squares	占交互作用平方 和百分比/% Percentage of <i>SS</i> of interaction	均方 <i>MS</i> Mean squares	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	<i>P</i> 值 <i>P</i> value
总变异 Total variance	95	4 048 752.4180		42 618.4465		
处理 Treatment	31	3 849 974.3220		124 192.7201	39.9860	0.0000
基因 Genotype (G)	7	1 773 698.7660		253 385.5380	81.5818	0.0000
环境 Environment (E)	3	1 394 362.6292		464 787.5431	149.6463	0.0000
交互作用 Interaction (G × E)	21	681 912.9268		32 472.0441	10.4549	0.0000
联合回归 Joint-regression	1	110 381.2096	16.19	110 381.2096	35.5391	0.0000
基因回归 Genotype-regression	6	515 011.8243		85 835.3041	27.6361	0.0000
环境回归 Environment-regression	2	13 543.5558		6 771.7779	2.1803	0.1213
残差 Residual	12	42 976.3370	6.30	3 581.3614	1.1531	0.3356
误差 Error	64	198 778.0959		3 105.9077		

### 2.3 参试品种的稳定性分析

对各个品种 PCA1 - PCA2 空间内投影点与相应坐标原点的距离 ( $D_g$  值), 即各品种基于 PCA1 - PCA2 的稳定性  $D_g$  值进行排序 (见表 5), 顺序为 G4 > G6 > G5 > G3 > G8(CK) > G1 > G2 > G7。由此可知品种的稳定性排序为 G7(09 - N9) > G2(09 - N1) > G1(09 - N7) > G8(CK, 09 - N15) > G3(09 - N5) > G5

(09 - N8) > G6(09 - N12) > G4(09 - N2), 说明品种 G7(09 - N9)、G2(09 - N1)、G1(09 - N7) 稳定性最好, G8(CK, 09 - N15)、G3(09 - N5) 稳定性一般, G5(09 - N8)、G6(09 - N12) 和 G4(09 - N2) 稳定性较差。结合产量表现, G7(09 - N9) 属于稳产型品种, 但产量较低; G2(09 - N1) 和 G1(09 - N7) 属于高产稳产型品种; G4(09 - N2) 和 G6(09 - N12) 产量低而不稳; G8

(CK, O9 - N15) 稳定性表现一般, 产量较高; G3(O9 - N5) 稳定性一般, 产量一般; G5(O9 - N8) 稳定性较

差, 产量一般。

表 4 AMMI 模型分析  
Table 4 AMMI model analysis

变异来源 Source of variation	自由度 <i>df</i> Degree of freedom	平方和 <i>SS</i> Sum of squares	占交互作用总平方 和百分比/% Percentage of <i>SS</i> of interaction	均方 <i>MS</i> Mean squares	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	<i>P</i> 值 <i>P</i> value
总变异 Total variance	95	4 048 752.4180		4 2 618.4465		
处理 Treatment	31	3 849 974.3220		124 192.7201	39.9860	0.0000
基因 Genotype (G)	7	1 773 698.7660		253 385.5380	81.5818	0.0000
环境 Environment (E)	3	1 394 362.6292		464 787.5431	149.6463	0.0000
交互作用 Interaction (G × E)	21	681 912.9268		32 472.0441	10.4549	0.0000
第一主成分轴 PCA1	9	628 722.1156	92.20	69 858.0128	48.5388	0.0000
第二主成分轴 PCA2	7	45 994.7095	6.74	6 570.6728	4.5654	0.0003
残差 Residual	5	7 196.1017	1.06	1 439.2203		
误差 Error	64	198 778.0959		3 105.9078		

表 5 品种在显著交互主成分轴上的得分及稳定性参数

Table 5 Score and stability parameter of watermelon varieties in the principle component axes of significant interaction

品种 Variety	产量平均/(kg·667m <sup>-2</sup> ) Mean yield	离差 Deviation	第一主成分轴 PCA1	第二主成分轴 PCA2	稳定性参数( <i>D<sub>g</sub></i> ) Stability parameter	排序 Order
G1	2 046.3833	181.1768	1.3672	-4.0525	4.2769	6
G2	2 034.3550	169.1484	-0.6962	-3.8963	3.9580	7
G3	1 821.3142	-43.8924	-8.0154	1.8313	8.2219	4
G4	1 667.2392	-197.9674	-15.4690	1.4152	15.5336	1
G5	1 864.7308	-0.4757	8.9962	1.5746	9.1330	3
G6	1 792.9275	-72.2791	6.0818	8.1282	10.1517	2
G7	1 707.0083	-158.1982	2.4425	-0.7956	2.5688	8
G8(CK)	1 987.6942	122.4876	5.2929	-4.2049	6.7599	5

## 2.4 试点分辨力分析

将各试点在 PCA1 - PCA2 得分的分辨力参数 *De* 进行排序, 见表 6, 其顺序为 E4 > E2 > E1 > E3,

说明 E4(甘肃兰州)和 E2(宁夏中宁)对品种的分辨力较强, E1(宁夏中卫)和 E3(宁夏海原)对品种的分辨力较弱。

表 6 试点在显著交互主成分轴上的得分及稳定性参数

Table 6 Score and stability parameter of testing sites in the principle components axes of significant interaction

试点 Testing site	产量平均/(kg·667m <sup>-2</sup> ) Mean yield	离差 Deviation	第一主成分轴 PCA1	第二主成分轴 PCA2	稳定性参数( <i>De</i> ) Stability parameter	排序 Order
E1	1793.4896	-71.7170	-5.0668	6.7443	8.43559	3
E2	1792.5625	-72.6441	-7.2869	-8.4828	11.1829	2
E3	1800.8992	-64.3074	-6.1259	2.4290	6.5899	4
E4	2073.8750	208.6684	18.4796	-0.6906	18.4923	1

## 2.5 AMMI 模型双标图分析

图 1 是以平均产量为 *x* 坐标, 以品种和地点的交互效应值 IPCA1 为 *y* 坐标所作的图形, 该图形有助于揭示品种和环境之间的相互关系, 也是解释 AMMI 模型的最有效工具。从图 1 可以看出, 在水

平方向上, 品种比环境的分布范围广, 说明品种间的变异大于环境之间的变异; 在垂直方向上, 如果以 IPCA1 = 0 作一条水平线, 则品种与同在此水平线一侧的地点有正的交互, 与另一侧的地点的互作为负, 由此看出, G1、G5、G6、G7、G8(CK) 与 E4 有正的互

作,即 E4 对 G1、G5、G6、G7、G8(CK)品种产量的提高有积极作用,而 G1、G5、G6、G7、G8(CK)与 E1、E2、E3 的互作为负;靠近水平线的品种为较稳定的品种,靠近右边且靠近水平线的品种为高产稳产的品种,从图可以看出 G1 和 G2 为高产稳产的品种。

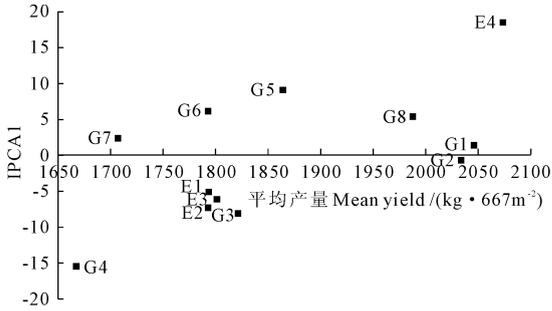


图1 AMMI 模型双标图

Fig.1 Biplot of AMMI model

### 3 讨论与结论

根据分析结果,不同西瓜品种在各试点的品种稳定性和不同试点对品种的分辨力差异较大:品种 09 - N2 的稳定性参数最大( $D_g = 15.5336$ ),09 - N9 的稳定性参数最小( $D_g = 2.5688$ ),两者相差 6 倍余;8 个西瓜品种中高产稳产的品种有 G2(09 - N1)和 G1(09 - N7),产量低且不稳定的品种是 G4(09 - N2)和 G6(09 - N12),产量高而稳定性一般的品种是 G8(CK,09 - N15),产量低产量稳定的品种是 G7(09 - N9)。在 4 个参试点中,甘肃兰州试点的分辨力参数最大( $D_e = 18.4923$ ),宁夏海原试点的分辨力参数最小( $D_e = 6.5899$ ),两者相差 2.8 倍余。因此在区域试验中,参试品种和参试地点的选择既要考虑品种和试点环境的典型性和代表性,也要考虑试点对品种差异的鉴别能力。

基因型与环境的互作效应虽然小于基因和环境的效应,但是也达到了极显著的水平,而且基因型的效应占比最大,其次为环境,这说明在进行西瓜丰产栽培中,选择优良的品种尤为重要,其次应充分利用环境优势,并高度重视基因型与环境的互作效应,因地制宜地选择与当地环境能够很好耦合的品种。

本研究借助 AMMI 模型分析了西瓜品种区域试验的产量数据,研究了西瓜品种基因和环境的交互作用( $G \times E$ ),确定了西瓜品种的稳定性和试点的代表性。研究结果可为当地压砂西瓜生产在品种的选择上提供依据。

**致谢:**西瓜产量的区试数据由中国农科院郑州果树研究所马跃老师提供,在此表示感谢。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] Gauch Jr H G. Model selection and validation for yield trials with interaction[J]. Biometrics, 1988,44:705-715.
- [3] 徐良年,邓祖湖,陈如凯,等.甘蔗新品种产量品质性状的稳定性分析[J].热带作物学报,2006,27(2):50-54.
- [4] 余本勋,张时龙,何友勋,等. AMMI 模型在水稻品种稳定性和适应性评价中的应用[J].贵州农业科学,2010,38(2):64-66.
- [5] 姚霞,李伟,颜泽红,等.四川小麦新品系区域试验产量稳定性分析[J].四川农业大学学报,2005,23(4):388-393.
- [6] 陈浪,覃成,罗希榕,等.基于 AMMI 模型的区域试验玉米新品种的稳定性评价[J].农技服务,2011,28(4):411-413.
- [7] 孙日彦,王照红,杜建勋,等.基于 AMMI 模型的桑品种产量性状稳定性分析[J].蚕业科学,2008,34(1):101-105.
- [8] 查宏波,黄韡,胡启贤,等.应用 AMMI 模型评价烤烟品种产量适宜性[J].中国烟草学报,2012,18(2):17-20.
- [9] 郑伟.利用 AMMI 模型分析大豆品种区域试验[J].黑龙江农业科学,2005,(2):15-17.
- [10] 杨贵春,刘海龙,刘淑莲,等.基于 AMMI 模型的糖甜菜基因型和环境互作效应的分析[J].中国糖料,2008,(3):27-28.
- [11] 李艳艳,丰震,赵兰勇.用 AMMI 模型分析玫瑰品种产花量的稳定性[J].中国农业科学,2008,41(6):1761-1766.
- [12] 宿飞飞,陈伊里,吕典秋.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.
- [13] 贾赵东,谢芝,尹晴红,等.甘薯品种产量性状的稳定性和适应性分析[J].扬州大学学报,2008,29(2):77-81.
- [14] 董云,王毅,漆燕玲,等.应用 AMMI 模型分析评判甘肃省春油菜区试品种的稳定性[J].西北农业学报,2010,19(7):74-78.
- [15] 唐君义. DPS 数据处理系统:实验设计、统计分析及数据挖掘[M].北京:北京科学出版社,2010:552-560.