

文章编号: 1003-8701(2007)01-0005-03

AMMI 模型在水稻品种区域试验中的应用

强爱玲, 安永平

(宁夏农业科学院农作物研究所, 宁夏 永宁 750105)

摘要: 在农作物品种区域试验中, 品种的产量性状在各地点表现出不一致, 是因为品种的基因型和环境(G×E)存在着交互作用。用一般的线性回归方程, 只解释 G×E 交互作用很少一部分。AMMI 模型在常规的基因型 and 环境的加性模型中加入了乘积形式的交互作用, 能更多地解释 G×E 交互作用, 并且借助于双标图可以直观地描绘和分析基因型与环境互作的模式。

关键词: 区域试验; 基因型 × 环境交互作用; AMMI 模型

中图分类号: S513

文献标识码: A

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, 参加区试的品种在不同地点的产量往往表现不一致。这表明品种的基因型和环境互作(G×E)效应的存在。自 Yates 和 Cochran 在 1938 年提出用回归方法研究基因型 × 环境互作以来, 科学家们从不同角度提出了多种基因型 × 环境互作效应分析方法。其中运用较多的是线性回归分析法, 这种分析方法是假设品种表现和环境指数有很强的线性关系, 但这在农作物品种区域试验中(尤其是大区区域试验)几乎是不可能满足的, 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 (Additive main effects and multiplicative interaction, 简记为 AMMI)模型已开始用于区域试验资料的分析(Crossa et al. 1990, Zobel et al. 1988)。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。本文对宁夏 2004 年水稻区域试验中早熟组数据进行分析, 准确地评价参试品种的稳定性。

1 材料与试验方法

1.1 材料

选用 2004 年宁夏水稻区域试验中早熟组 9 份材料: V₁ (K 优 2 号)、V₂ (2001W-34)、V₃ (2001GJ-336)、V₄ (G-45)、V₅ (宁原优 5 号)、V₆ (花 87)、V₇ (吉特 605)、V₈ (泽丰 3 号)和 V₉ (宁粳 12)(ck), 试验设在 L₁ (宁夏农科院农作物研究所)、L₂ (中宁良繁场)、L₃ (灵武良繁场)、L₄ (宁夏区原种场)和 L₅ (中卫良繁场)。试验按区域试验方案统一实施, 采用随机区组设计, 重复 3 次, 小区面积 13.3 m²。

1.2 试验方法

AMMI 模型的主要特点是将方差分析和主成分分析有机地结合在一起, 它的 AMMI 线性模型为:

$$y_{ge} = \mu + g + e + \sum_{i=1}^N r_{gi} + r_{ei}$$

式中 y_{ge} 是在环境 e 中基因型 g 的产量, μ 代表总体平均值, g 是基因型平均偏差 (各个基因型平均值减去总的平均值), e 是环境的平均偏差 (各个环境的平均值减去总的平均值), r_{gi} 是第 n 个主成分分析的特征值, r_{gi} 是第 n 个主成分的基因型主成分得分, r_{ei} 是第 n 个主成分的环境主成分得分, n 是在模型主成分分析中主成分因子轴的总个数, g 为残差。如果试验设有重复, 则误差项为 y_{gr} , 它等于 y_g 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。

收稿日期: 2006-08-16

作者简介: 强爱玲(1966-), 女, 农艺师, 主要从事水稻育种研究。

(1) 方差分析(可加性)模型

方差分析提供一个可加性双向数据处理模型。它将产量观察值 y_{gr} 分解为 3 个部分: 总体平均值 μ 代、基因型偏差 g 、环境偏差 e ; 非加性残差部分 g_e ; 误差项 g_{er} , 即 $y_{gr} = \mu + g + e + g_e + g_{er}$, 式中 μ 由样本均值 \bar{y} 估计, 偏离总体平均值的基因型离差 g 由 \bar{g} 估计, 而环境离差 e 由 \bar{e} 估计, 交互作用部分 g_e 由 $\bar{g_e}$ 估计。

(2) 线性回归模型

过去, 分离和分析交互作用最初的统计方法是简单的线性回归方法, 作物育种学家注意到产量中很大一部分变异可以用单个基因型产量对环境平均的线性回归来解释。回归模型将交互作用效应分离成回归和残差两个部分, 虽然通常的基因型回归模型和与之对应的环境型回归模型都可用于解释交互作用, 但是为了更有效地分析交互作用效应, 有必要结合联合回归模型。因此, 线性回归最完整的回归模型是: $y_{gr} = \mu + g + e + g_e + g_{er}$ 。在品种区域试验的资料分析中, 尽管使用了上述比较复杂的线性回归模型, 但结果往往仍不尽人意。基因型、环境和联合回归模型三者加起来才解释了交互作用效应平方和的很少一部分, 剩余残差仍很大。为了充分解释交互效应变异, 近年来有人结合方差分析和主成分分析(PCA) 技术, 提出了加性主效应乘积交互作用(AMMI)模型, 并在一般情形下能很好地解释基因 \times 环境的互作效应。再结合双标图(biplot)(bardu, 1978), 就可以增进人们对有关效应的理解。

2 结果与分析

表 1 线性回归模型分析结果

品种及地点	均值	Duncan's 多重比较 /5%	离差	斜率	r ² (%)
V ₇ (吉特 605)	15.070 00	a	0.858 37	1.309 56	10.76
V ₃ (2001GJ- 336)	14.596 67	ab	0.385 04	1.013 03	0.11
V ₄ (G- 45)	14.583 33	ab	0.371 70	1.121 60	5.43
V ₁ (K 优 2 号)	14.436 67	ab	0.225 04	0.870 15	3.76
V ₉ (宁粳 12)(CK)	14.221 33	bc	0.009 70	1.065 28	0.59
V ₆ (花 87)	14.136 67	bc	- 0.074 96	1.273 15	6.44
V ₅ (宁原优 5 号)	14.086 67	bc	- 0.124 96	0.085 67	73.58
V ₂ (2001W- 34)	13.713 33	c	- 0.498 30	1.379 35	25.18
V ₈ (泽丰 3 号)	13.060 00	d	- 1.151 63	0.882 21	0.51
L ₁ (农科院作物所)	15.331 48	a	1.119 85	1.167 35	2.19
L ₄ (宁夏区原种场)	14.816 67	b	0.605 04	0.348 02	26.18
L ₂ (中宁良繁场)	14.629 63	b	0.418 00	1.439 60	4.93
L ₅ (中卫良繁场)	13.444 44	c	- 0.767 19	2.002 78	43.27
L ₃ (灵武良繁场)	12.835 93	d	- 1.375 70	0.042 25	24.29

注: 联合回归系数 = 0.122 766 34

区试数据进行线性模型分析结果见表 1。从表 1 中可以看出, 品种 V₃、V₄、V₁ 平均产量接近, 但它们在各地的表现有较大差异, 存在品种 \times 地点的交互作用, 因此, 以常规的 Duncan's 多重比较方法, 仅根据品种平均产量作多重比较, 结果是不够全面的。根据线性回归分析, 斜率值小于 1, 品种的稳定性较好。然而我们看到多数品种的决定系数 R² 很小, 有的几乎接近 0 值, 这表明线性回归拟合得不好, 斜率不可靠。

方差分析、回归分析和 AMMI 模型分析结果列于表 2。从表 2 方差分析中可以看出, 品种、地点和 G \times E 交互作用的平方和分别占总平方和的 15.46%、44.58%和 39.95%, 均达极显著水平。说明参试品种的产量水平存在明显差异, 且环境对产量的影响较大, 同一品种在不同环境表现不同产量结果。而

表 2 方差分析、回归分析和 AMMI 模型分析结果

变异来源	df	SS	MS	F
基 因	8	40.046 07	5.005 760	6.347 33**
环 境	4	115.451 90	28.862 970	36.598 41**
交互作用	32	103.476 10	3.233 630	4.100 26**
回归分析				
联合回归	1	0.516 16	0.516 160	0.654 50
基因回归	7	14.881 22	2.125 890	2.695 64*
环境回归	3	20.061 11	6.687 040	8.479 20**
残 差	21	68.017 59	3.238 930	4.106 99
AMMI 分析				
PCA1	11	64.132 19	5.830 2	1.761 15
PCA2	9	22.791 64	2.532 4	0.764 97
PCA3	7	0	0	0
残 差	5	16.552 26	3.310 45	

$G \times E$ 交互作用平方和是品种平方和的 2.58 倍。可见,对 $G \times E$ 交互作用进行分解分析是非常必要的。用传统的线性回归模型对 $G \times E$ 交互作用进行分解分析,只解释了 34.27%的 $G \times E$ 交互作用平方和。而 AMMI 模型分析结果中,第 1 乘积项就解释了 61.98%的 $G \times E$ 交互作用平方和,为线性回归平方和的 1.81 倍,加上第 2 乘积项解释的 22.03%,共解释了 $G \times E$ 交互作用平方和的 84.01%。

AMMI1 模型分析结果可用平均产量和 IPCA1 值的双标图表示(图 1)。图 1 中横轴为产量均值,从左到右产量由低到高排列;纵轴为 IPCA1 值,表示包含了第 1 乘积项的 $G \times E$ 交互作用大小。同时,从 AMMI1 双标图中可看出,在横轴方向上地点比品种更分散,地点的变异大于品种的变异,也就是说,同一品种在各地表现的产量差异较大,同一地点的各品种产量差异相对较小。纵轴方向则表明 $G \times E$ 交互作用的差异。如品种 V_3 (2001GJ-336)、 V_4 (G-45)、 V_1 (K 优 2 号)平均产量接近,但 IPCA1 值的明显差异表明了这 3 个品种在各地的表现明显不同。靠近水平线的品种是较为稳定的品种。所以,高产稳产的品种对应最右边且靠近水平线的品种。本例中品种 V_4 (G-45)、 V_2 (2001W-34)、 V_3 (2001GJ-336)的 IPCA1 值即靠近水平线,说明该品种的 $G \times E$ 交互作用小,表现较为稳定。而 V_8 (泽丰 3 号)离 IPCA1 较远,说明该品种对环境较敏感。为进一步解释 $G \times E$ 交互作用,有效鉴别品种对环境的敏感程度。我们给出了 AMMI2 模型分析图(图 2), AMMI2 模型分析图则是基于 IPCA1 值和 IPCA2 值的双标图。从图 2 可以看出,试点离原点越远表明对总的互作贡献越大,本试验中 L_2 (中宁良繁场)和 L_3 (灵武良繁场)与原点的距离最大,品种越接近原点说明该品种稳定性好, V_2 (2001W-34)、 V_3 (2001GJ-336)、 V_4 (G-45)是最稳定的,而 V_5 (宁原优 5 号)和 V_8 (泽丰 3 号)离原点远是对环境较敏感的。我们以 V_9 (宁粳 12)对照品种为例来说明 AMMI1 模型较之线性模型的优越处。在线性模型回归分析中,回归方程斜率值为 1.065 28,斜率值近似于 1,按模型解释应为稳定品种。而 AMMI1 模型分析的结果却表明品种存在很大的 $G \times E$ 交互作用,并不稳定。AMMI1 模型解释了更多的 $G \times E$ 交互作用,应该说 AMMI1 模型的分析更具说服力。

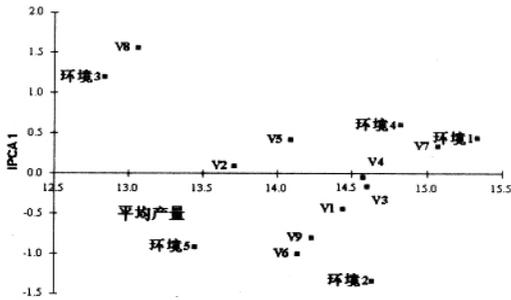


图 1 AMMI1 模型双标

(解释了 61.98%的 $G \times E$ 交互作用,84.01%总平方和)

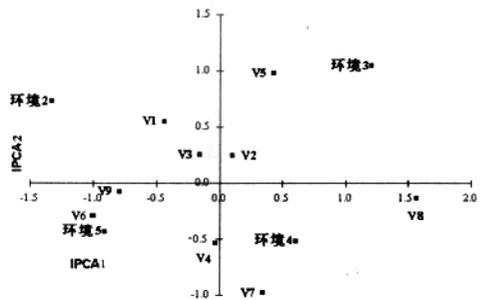


图 2 AMMI2 模型双标

(解释了 84%的 $G \times E$ 交互作用)

3 讨 论

农作物品种区域试验结果的统计分析直接关系到对品种的评判。区域试验资料的变异分别来自环境、品种、品种与环境互动,采用有效地统计分析方法,对参试品种作出客观评定。AMMI 模型成功地将方差分析和主成分分析结合,并提供了形象直观的双标图形,为研究具体的基因型与环境互动及品种稳定性差异评价提供了一条方便的途径。AMMI 图形不仅有助于鉴别品种的适应性、稳定性和丰产性,而且对于深入理解品种和试点互动,对于明了试点间的相互关系,制定育种目标和良种的示范推广也有重要参考价值。

参考文献:

[1] 唐启义,冯明光.实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M].北京:科学出版社,2002.

3 产量表现

2000 ~ 2001 年产量比较试验平均产量 9 260.9 kg/hm², 比对照平均增产 9.55%。

2002 ~ 2003 年全省区域试验, 14 个点次, 11 个点次增产, 3 个点次减产, 平均产量 8 017.5 kg/hm², 比对照平均增产 9.66%。

2003 年生产试验平均产量 9 193.8 kg/hm², 比对照平均增产 7.52%。吉杂 97 属中早熟、高产、稳产、耐密、抗逆性强、高淀粉的优质酿酒高粱杂交种类型。

表 2 吉杂 97 省区试、生试产量表现

试 点	2002 年区试			2003 年区试			2003 年生试		
	产量	增减产	ck 产量	产量	增减产	ck 产量	产量	增减产	ck 产量
吉林省农业科学院	8 423.6	0.7	8 368.1	9 722.2	4.00	9 351.9			
吉林农业大学	8 024.2	19.0	6 764.4	8 090.6	11.00	7 260.7			
原四平市农业科学院	9 335.0	- 6.7	10 010.0	7 148.8	- 14.82	8 392.9			
长春市农业科学院	8 531.7	15.2	7 404.8	7 711.1	5.15	7 333.3			
通化市四道江农业站	4 322.9	12.2	3 854.2	8 416.7	4.12	8 083.3			
公主岭市种子公司	7 270.8	25.7	5 783.3	8 512.5	- 14.71	9 991.2	9 937.6	8.20	9 187.3
松原市永平乡农业站				9 357.7	65.17	5 665.4			
长岭金圆公司				8 100.0	6.58	7 600.0	8 450.0	6.83	7 910.0
平均	7 651.4	11.0	7 030.8	8 383.6	8.31	7 959.8	9 193.8	7.52	8 548.7
区试两年平均	8 017.5	9.7	7 495.3						

4 适应区域及栽培要点

4.1 适应区域

吉杂 97 适宜春播早熟高粱区大部分区域种植: 辽宁北部山区, 吉林的松原、白城地区, 内蒙古东部, 黑龙江省的第 、 积温带等。

4.2 栽培要点

高粱早熟区一般 4 月末或 5 月初播种, 播种量 15 ~ 20 kg/hm², 播种时施种肥磷酸二铵 150 ~ 200 kg/hm², 公顷保苗 12 ~ 14 万株, 拔节初期追施硝酸铵 300 kg/hm², 注意防治地下害虫、黏虫、特别是玉米螟。

4.3 制种要点

制种时, 双亲可同期播种或父本催芽与母本同期播种, 父母本比例为 1:6; 间苗时先间父本, 待父本间完再间母本, 父本保苗 10 株 /m², 母本保苗 12 株 /m², 苗期、拔节期、花期及时去除杂株、B 型株等, 秋季注意观察, 及时收割、晾晒, 以保种子色泽和芽率。

参考文献:

[1] 刘晓辉. 高产多抗酿造高粱杂交种吉杂 96 选育技术[J]. 吉林农业科学, 2005, 30(6): 23- 24 .
 [2] 高士杰, 刘晓辉, 等. 粒用高粱超高产育种的思考[J]. 中国农业科技导报, 2006, 8(1): 23- 25 .

(上接第 7 页)

[2] 杨仕华, 沈希宏, 等. 水稻品种区域试验的 AMMI 模型分析[J]. 江西农业大学学报, 1998, 20(4): 422- 425 .
 [3] 沈希宏, 杨仕华, 等. 水稻品种区域试验的品种 × 环境互作及其与气候因子的关系[J]. 中国水稻科学, 2000, 14(1): 31- 36 .
 [4] 许乃银, 陈旭升, 等. AMMI 模型在棉花区试数据分析中的应用[J]. 江苏农业学报, 2001, 17(4):205- 210 .
 [5] 周以飞, 黄华康. 作物品种试验与统计分析[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2003 .
 [6] 郭银燕, 何 延, 等. 品种区域试验中基因型与环境互作效应分析[J]. 生物数学学报, 1995, 10(4): 56- 60 .
 [7] 王 瑞, 蒋梁材, 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): 14- 20 .