

基因型与环境互作对龙岩市杂交晚稻产量相关性状的影响

李广昌

(福建省龙岩市新罗区种子站, 福建 龙岩 364000)

摘 要: 基于龙岩市 1996~ 2007 年连续 12 年在新罗、长汀、连城、上杭、武平和漳平 6 个不同生态条件的杂交晚稻联合区域试验数据资料, 应用 AMMI 模型和相应统计分析方法, 分析了产量、生育期、有效穗、株高、穗长、每穗粒数、每穗实粒数、结实率、千粒重等 9 个产量相关性状的基因型与环境互作效应。结果表明, 基因型、环境及其互作 ($G \times E$) 效应对考察的 9 个性状影响较大。其中, 以基因型效应为主的性状为零; 以环境效应为主的有产量、株高、有效穗、生育期、穗长和穗总粒数; 以基因型与环境间互作效应为主的有结实率、穗实粒数和千粒重。生育期、千粒重、有效穗和穗长稳定性好; 其次为结实率和株高; 第三为穗实粒数和穗总粒数; 最差为产量, 受栽培环境及 $G \times E$ 互作效应影响较大。

关键词: 杂交水稻; 区域试验; AMMI 模型; 稳定性

中图分类号: S 511 文献标识码: A

Effect of genotype and environment on yield-related traits of Longyan's late hybrid rice

LI Guang chang

(Xinluo District Seed Administration Station, Longyan, Fujian 364000, China)

Abstract: Data collected from the joint regional trials on the late hybrid rice from 1996 to 2007 were analyzed to determine the correlation among yield-related traits and the rice genotype and environmental factors. The trials were held in 6 Longyan areas that constituted different ecological conditions Xinluo, Changting, Liancheng, Shanghang, Wuping and Zhangping. Variations on 9 traits, including yield, growth period, effective ear, plant height, spikelet length, total grains per spikelet, filled grains per spikelet, seed setting rate and 1000-grain weight, were measured. The data were subjected to AMMI and corresponding statistical analysis. The results indicated that genotype and genotype-environment interaction ($G \times E$) had a significant effect on the 9 traits. Among the traits, (a) none was found to be controlled by genotype alone; (b) the yield, plant high, effective ear, growth period, spikelet length and total grains per spikelet were mainly controlled by the environmental factors; and (c) the seed setting rate, filled grains per spikelet and 1000-grain weight were largely affected by genotype-environmental interaction. The growth period, 1000-grain weight, effective ear and spikelet length were most stable followed by the seed setting rate and plant height, and the filled grains per spikelet and total grains per spikelet, while the yield was least stable. The yield fluctuated as it was greatly affected by the cultivation environment and the interactions between genotype and environment.

Key words: Hybrid rice; regional trial; AMMI Model; stability

作物产量等重要性状一般受基因型和环境的影响, 因此, 分析多环境试验数据和解释基因型和环境互作是稻作工作者的重要研究领域。多环境试验的目的是鉴定品种的丰产、稳定和适应性, 是联系作物育种和农业生产的纽带和桥梁, 是进行品种繁育和推广的重要依据^[1-3]。国内外不少专家学者提出并运用 AMMI 模型分析多环境试验数据和解释基因型和环境互作。Kempton^[4]最早将这一模型应用于多点产量试验资料的分析, 以研究 $G \times E$

互作模式。Guach 和 Zobel^[5]认为该模型是目前国际上通行的分析作物品种区域试验数据非常有效的模型, 它与常规的方差分析和线性回归模型相比, 应用范围更广而且更有效。国内有不少学者将 AMMI 模型应用于水稻、小麦、油菜、玉米、棉花、马铃薯和蚕豆等作物品种^[6-16]区试数据的分析, 均取得较好的成效。

龙岩市的粮食生产对保障福建省粮食安全具有重要地位。近 10 年来, 杂交晚稻仍然是龙岩市的

收稿日期: 2009- 01- 14 初稿; 2009- 03- 11 修改稿
作者简介: 李广昌 (1963-), 男, 高级农艺师, 从事农作物种子管理与推广 (E-mail: xlsseed68@163.com)
基金项目: 龙岩市发改委科技项目 (2005- 17)

主要稻作类型，研究杂交晚稻产量相关性状的稳定性和适应性对进一步提升龙岩市杂交晚稻育种、引种和利用具有十分重要的指导价值。为此，本研究以 1996~ 2007 年连续 12 年龙岩市杂交晚稻区域试验^[17] 的 120 个杂交稻组合为研究材料。根据龙岩市杂交晚稻区域试验方案^[17]，分别在龙岩市不同生态条件的新罗、长汀、连城、上杭、武平和漳平 6 个代表性地点种植，考查各个组合的产量、生育期、株高、有效穗、穗长、每穗总粒数、每穗实粒数、结实率和千粒重等 9 个产量相关性状，应用

AMMI 模型分析各参试组合 9 个性状的基因型与环境变异，以期为龙岩市杂交晚稻的育种、引种和水稻的适应性研究提供理论依据。

1 材料与方法

1. 1 试验材料

采用龙岩市种子管理站汇编的 1996~ 2007 年水稻新品种区域试验总结^[17]。选用龙岩市 1996~ 2007 年连续 12 年 6 个试点杂交晚稻区域试验^[17] 的 120 个杂交稻组合（表 1）。

表 1 1996~ 2007 年龙岩市 6 个试点杂交晚稻区域试验的组合名称
Table 1 Six joint regional trials on late hybrid rice in Longyan, 1996– 2007

年份	组合数	组 合 名 称
1996	11	K 优 5 号、福优 911、汕优 4480、汕优 669、汕优 86、特优 524、特优 559、特优 70、特优 8 号、特优多系 1 号、汕优 63(CK)
1997	10	II 优明 86、冈优 501、冈优 725、汕优 57、汕优 669、汕优明 86、特优 57、特优 70、协优 57、汕优 63(CK)
1998	9	II 优 15、II 优 207、II 优 413、II 优 58、D 优 68、福优 158、特优 158、特优 168、汕优 63(CK)
1999	12	II 优 15、D702 优 67、D 宝优 6 号、安湘 S/R318、福优 158、金优 191、特优 158、特优 168、特优 388、特优 420、汕优 63(CK)
2000	10	II 优 898、C 优 22、D702 优 527、D 优 527、D 优 68、辐优 838、冈优 527、两优 21158、两优培九、汕优 63(CK)
2001	11	D62 优 811、D702 优 527、D 优 527、T 优 55898、T 优 55998、冈优 527、冈优 906、金优 141、特优 338、粤优 938、汕优 63(CK)
2002	12	II 优 278、II 优 6 号、D 奇宝优 527、K 优 047、T 优 1613、T 优 55898、丰优 128、冈优 906、谷优 964、明优 9308、培两优 98、汕优 63(CK)
2003	10	eD 优 93、T 优 2 号、T 优 55898、长 II 优 362、川香优 2 号、两优 2181、两优 2196、闽农糯 63、培两优 998、汕优 63(CK)
2004	11	D 优 619、II 优 669、II 优 746、丰优丝苗、冈优 188、全优 781、特优 168、特优 17、中九优 652、中优 141、汕优 63(CK)
2005	12	II 优 669、II 优 6 号、奇宝优 5 号、汕优 46、特优 125、特优 168、特优 17、特优 456、新优 1 号、新优 2 号、中优 141、汕优 63(CK)
2006	11	II 优 5928、II 优 6 号、江优 6916、两优 618、两优 863、两优 888、特优 057、特优 125、新优 1 号、新优 2 号、汕优 63(CK)
2007	11	II 优 058、II 优 596、II 优福丰 05、广抗优 2643、嘉糯 1 优 3 号、金佳丝苗、两优 618、两优 863、两优 888、特优 057、汕优 63(CK)

1. 2 试验方法

试验在龙岩市不同生态条件的新罗、长汀、连城、上杭、武平和漳平 6 个代表性地点进行。田间试验均于 1996~ 2007 年晚季进行，严格按照龙岩市杂交晚稻新品种联合区域试验方案^[17] 实施，各点均采取随机区组设计，3 次重复，小区长方形，面积 13. 32 m²，试验田四周设置保护行。试验地选择通风透光好、排灌方便、肥力中等、均匀的田块，耕作栽培措施与当地大田生产相同，力求均匀一致。在生长期间，观察记载各组合的播种期、插秧期、始穗期、齐穗期、成熟期，计算全生育期；

成熟时，在同一个重复内的每个小区选取有代表性的植株 10 丛，量其株高；每小区选取有代表性的植株 5 丛进行室内考种，考查每 667 m² 有效穗数、穗长、每穗总粒数、每穗实粒数、结实率及千粒重；产量分小区测定。

1. 3 统计分析方法

应用 AMMI 模型方法^[18] 进行各性状的基因型与环境变异分析。首先进行联合方差分析，在基因型与环境互作效应显著的基础上按 AMMI 模型进行稳定性分析，其数学模型为：

$$y_{ijk} = \mu + g_i + e_j + \sum_{s=1}^n \lambda a_{js} y_{js} + R_j + \varepsilon_{jk}$$

其中, y_{ijk} 是第 i 基因型在第 j 个生长环境的第 k 次重复的观察值; μ 是所有环境所有基因型的平均表型值; g_i 是第 i 个基因型的主效应; e_j 是第 j 个环境的主效应; λ 是第 s 个主成分的特征值; α_{js} 是第 s 个主成分的基因型得分, y_{js} 是第 s 个主成分的环境得分; n 是 $AMMI$ 模型中基因型与环境交互作用主成分的个数; R_{ij} 为提取过 n 次 $iPCA$ 轴后留下的残差; ε_{ijk} 为随机误差。式右第 4 项即为估算的基因型与环境交互作用的总和, 其中 $\lambda^0 \alpha_{js}$ 为第 j 基因型与环境交互作用的第 s 个主成分值, 记为 $iPCA_s$ 。本研究取主成分效应达到 1% 显著水平的前 3 个 $iPCA$ 在多维空间离原点的距离作为基因型稳定性的评价指标, 记为 D_i , 其值越小则品种稳定性越高。其中:

$$D_i = \sum_{c=1}^3 \lambda \alpha_x^2$$

所有数据均采用 DPS 数据处理系统^[19] 和 Microsoft Excel 2003 进行分析。

2 结果与分析

2.1 龙岩市杂交晚稻产量相关性状的 AMMI 模型分析

对 1996~2007 年产量相关性状的联合方差分析、AMMI 模型分析和基因型、环境及其互作效应占总效应的比值分别列于表 1 和表 2。联合方差分析表明, 产量、生育期、有效穗、株高、穗长、穗总粒数、穗实粒数、结实率、千粒重 9 个性状的基因型效应、环境效应和基因型与环境间互作效应的大小因年份和地点的不同有一定的差异, 环境和 $G \times E$ 互作对产量的影响较大, 对 $G \times E$ 交互作用进行分解分析是必要的。

表 2 龙岩市杂交晚稻产量相关性状的 AMMI 模型及年际间变化
Table 2 AMMI model and year on year variations of Longyan late hybrid rice yield related traits

变异来源	1996		1997		1998		1999		2000		2001	
	DF	SS	DF	SS	DF	SS	DF	SS	DF	SS	DF	SS
产量												
总和	54	236783.22	59	359860.09	53	140305.20	54	247348.43	59	333799.40	59	141106.23
基因	10	67264.45	9	43454.05*	8	6092.71	10	63629.21**	9	29445.47**	11	38165.26
环境	4	97003.38*	5	156369.69**	5	76218.17**	4	119572.90**	5	245193.77**	4	55986.88**
交互作用	40	72515.38	45	160036.35**	40	57994.33	40	64146.32	45	59160.16*	44	46954.09
IPCA1	13	36243.40	13	132490.53**	12	21869.38	13	44230.99	13	27857.63**	14	20949.60
IPCA2	11	18761.11	11	16464.94**	10	20950.06	11	13849.39	11	17376.83*	12	17310.82
IPCA3	9	0	9	8477.44*	8	8304.11	9	0	9	8636.98	10	0
误差	7	17510.87	12	2603.43	10	6870.78	7	6065.94	12	5288.72	8	8693.67
生育期												
总和	54	2306.98	59	668.57	53	1569.48	54	2687.53	59	1656.18	59	2048.93
基因	10	366.98*	9	138.87**	8	659.81**	10	1505.93**	9	207.02*	11	301.33
环境	4	1417.35**	5	296.28**	5	535.26**	4	578.25**	5	996.28**	4	1179.43**
交互作用	40	522.65	45	233.42*	40	374.41	40	603.35	45	452.88	44	568.17
IPCA1	13	335.17	13	97.40**	12	144.26	13	355.84	13	226.07	14	348.74
IPCA2	11	117.94	11	70.64*	10	114.61	11	175.55	11	128.77	12	0
IPCA3	9	10.32	9	43.97	8	67.10	9	0	9	0	10	22.65
误差	7	59.23	12	21.41	10	48.43	7	71.96	12	98.04	8	196.78
有效穗												
总和	54	214.15	59	390.77	53	254.57	54	468.64	59	244.79	59	304.89
基因	10	53.99	9	6.74	8	41.06	10	18.01*	9	51.86**	11	86.02
环境	4	50.85	5	307.74**	5	73.71**	4	363.21**	5	58.81**	4	21.09
交互作用	40	109.31	45	76.29	40	139.80	40	87.42*	45	134.12**	44	197.78
IPCA1	13	55.31	13	30.20	12	48.48	13	44.96**	13	83.67**	14	0
IPCA2	11	28.26	11	24.09	10	37.14	11	30.33*	11	31.01	12	79.52
IPCA3	9	0	9	0	8	30.33	9	8.82	9	14.43*	10	20.79
误差	7	25.73	12	22	10	23.86	7	3.32	12	5.01	8	97.47

变异来源	1996		1997		1998		1999		2000		2001	
	DF	SS	DF	SS	DF	SS	DF	SS	DF	SS	DF	SS
株高												
总和	54	1853.66	59	2121.10	53	4155.24	54	3678.36	59	3633.51	59	2035.90
基因	10	278.14 [*]	9	197.91 [*]	8	245.18 [*]	10	1011.19 [*]	9	497.01 [*]	11	694.62 [*]
环境	4	429.99 [*]	5	1433.17 [*]	5	3365.11 [*]	4	1739.41 [*]	5	1772.30 [*]	4	478.17 [*]
交互作用	40	1145.53 [*]	45	490.02 [*]	40	544.95 [*]	40	927.76	45	1364.19 [*]	44	863.11 [*]
IPCA 1	13	794.76 [*]	13	198.23 [*]	12	240.50 [*]	13	441.56	13	585.02 [*]	14	371.83 [*]
IPCA 2	11	245.87 [*]	11	149.55 [*]	10	179.13 [*]	11	261.71	11	437.39 [*]	12	300.42 [*]
IPCA 3	9	88.90 [*]	9	114.37 [*]	8	86.69	9	168.80	9	245.11 [*]	10	140.20
误差	7	16	12	27.87	10	38.63	7	55.69	12	96.68	8	50.65
穗长												
总和	54	640.30	59	103.44	53	121.81	54	220.28	59	339.27	59	206.19
基因	10	88.79 [*]	9	39.97 [*]	8	13.25	10	58.43	9	25.05 [*]	11	27.63 [*]
环境	4	104.37 [*]	5	18.12 [*]	5	78.80 [*]	4	91.76 [*]	5	209.45 [*]	4	95.51 [*]
交互作用	40	447.14 [*]	45	45.34 [*]	40	29.77	40	70.09	45	104.76 [*]	44	83.04 [*]
IPCA 1	13	399.60 [*]	13	25.19 [*]	12	13.98	13	0	13	52.05 [*]	14	56.21 [*]
IPCA 2	11	27.20 [*]	11	10.50 [*]	10	0	11	28.46	11	36.52 [*]	12	16.74 [*]
IPCA 3	9	17.71 [*]	9	5.58	8	5.90	9	7.72	9	9.32	10	8.37 [*]
误差	7	2.63	12	4.07	10	9.89	7	33.91	12	6.87	8	1.72
穗总粒数												
总和	54	21422.86	59	16120.59	53	25553.24	54	23420.19	59	45578.02	59	46435.87
基因	10	2015.59 [*]	9	4408.69 [*]	8	6797.08 [*]	10	5686.16 [*]	9	4174.85 [*]	11	14835.45
环境	4	11672.02 [*]	5	5916.91 [*]	5	9508.68 [*]	4	10566.53 [*]	5	28819.93 [*]	4	13607.70 [*]
交互作用	40	7735.25 [*]	45	5794.98	40	9247.48	40	7167.49 [*]	45	12583.25 [*]	44	17992.73
IPCA 1	13	3811.58 [*]	13	2464.04	12	3836.02	13	3273.46 [*]	13	6722.44 [*]	14	11040.06
IPCA 2	11	2488.24 [*]	11	1627.57	10	2972	11	2353.42 [*]	11	2828.62 [*]	12	0
IPCA 3	9	1140.31	9	0	8	1514.11	9	1454.11 [*]	9	2075.72 [*]	10	443.34
误差	7	295.12	12	1703.37	10	925.34	7	86.51	12	956.47	8	6509.33
穗实粒数												
总和	54	16691.45	59	17727.26	53	19198.44	54	13877.82	59	31980.56	59	32104.70
基因	10	2065.22	9	3614.39 [*]	8	5171.69	10	3297.49 [*]	9	5336.51 [*]	11	9326.30
环境	4	8251.39 [*]	5	7631.30 [*]	5	6175.38 [*]	4	4836.66 [*]	5	16172.96 [*]	4	11228.74 [*]
交互作用	40	6374.83	45	6481.58 [*]	40	7851.37	40	5743.67 [*]	45	10471.08	44	11549.67
IPCA 1	13	2880.48	13	3186.70 [*]	12	3570.30	13	3088.28 [*]	13	6320.24	14	6116.75
IPCA 2	11	2156.45	11	1847.49 [*]	10	2156.56	11	1595 [*]	11	2425.44	12	0
IPCA 3	9	0	9	893.46	8	0	9	951.25 [*]	9	0	10	418.19
误差	7	1337.91	12	553.93	10	2124.51	7	109.15	12	1725.40	8	5014.73
结实率												
总和	54	2094.19	59	2672.64	53	1852.36	54	2103.41	59	2235.19	59	2531.14
基因	10	270.53 [*]	9	536.58 [*]	8	160.01 [*]	10	160.59	9	364.78	11	741.92
环境	4	656.03 [*]	5	1114.28 [*]	5	1132.54 [*]	4	744.97 [*]	5	661.39 [*]	4	455.30
交互作用	40	1167.63 [*]	45	1021.78 [*]	40	559.80 [*]	40	1197.86 [*]	45	1209.01	44	1333.92
IPCA 1	13	882.03 [*]	13	472.34 [*]	12	335.02 [*]	13	595.56 [*]	13	445.89	14	641.65
IPCA 2	11	213.28 [*]	11	304.20 [*]	10	125.20 [*]	11	372.78 [*]	11	366.59	12	404.00
IPCA 3	9	55.12	9	193.23 [*]	8	64.61	9	176.05	9	0	10	0
误差	7	17.20	12	52.01	10	34.97	7	53.47	12	396.53	8	288.27
千粒重												
总和	54	99.04	59	184.24	53	161.78	54	173.72	59	258.41	59	156.60
基因	10	26.70 [*]	9	8.47	8	40.66 [*]	10	66.60 [*]	9	43.61	11	84.72 [*]
环境	4	31.04 [*]	5	96.85 [*]	5	60.39 [*]	4	47.62 [*]	5	98.61 [*]	4	18.23 [*]
交互作用	40	41.30 [*]	45	78.92 [*]	40	60.73 [*]	40	59.51	45	116.19	44	53.65
IPCA 1	13	28.40 [*]	13	54.70 [*]	12	30.20 [*]	13	46.18	13	69.76	14	27.35
IPCA 2	11	7.15	11	111.67	10	17.04 [*]	11	8.14	11	0	12	17.13
IPCA 3	9	4.35	9	7.30	8	9.95 [*]	9	0	9	2.64	10	0
误差	7	11.39	12	51.25	10	31.54	7	51.19	12	43.79	8	9.17

变异来源	2002		2003		2004		2005		2006		2007								
	DF	SS	DF	SS	DF	SS	DF	SS	DF	SS	DF	SS							
产量																			
总和	59	151175	77	59	194855	106	65	527661	1139	59	259552	186	54	152366	121	54	235529	155	
基因	11	28907	98* *	9	48773	132* *	10	84119	110* *	11	39233	171* *	10	40824	186* *	10	11759	140	
环境	4	98294	61* *	5	35996	158* *	5	26015	2100* *	4	17474	1052* *	4	72882	197* *	4	20488	178* *	
交互作用	44	23973	18* *	45	11008	116* *	50	18339	1029* *	44	45578	163	40	38658	139*	40	18884	138	
IPCA1	14	14743	17* *	13	59098	141* *	14	11347	1368* *	14	3036	177	13	17592	139*	13	9132	113	
IPCA2	12	5362	26* *	11	35358	184* *	12	38753	185*	12	10248	157	11	11688	132*	11	0		
IPCA3	10	3668	70* *	9	10477	159	10	18571	195	10	0	9	9	7657	171	9	4891	163	
误差	8	199	105	12	515	131	14	1259	180	8	4969	129	7	1719	197	7	486	162	
生育期																			
总和	59	1255	73	59	3004	85	65	2966	62	59	804	58	54	139	44	54	1977	93	
基因	11	479	33* *	9	694	68* *	10	821	88* *	11	285	78* *	10	147	24* *	10	232	33	
环境	4	561	90* *	5	635	55* *	5	1529	42* *	4	395	33* *	4	109	10	25* *	4	1458	29* *
交互作用	44	214	50* *	45	1674	62* *	50	615	32	44	123	47	40	152	95	40	287	31	
IPCA1	14	138	58* *	13	1172	10* *	14	378	93*	14	7	138	13	87	60*	13	18	108	
IPCA2	12	49	96* *	11	286	76* *	12	118	32	12	3	1169	11	33	57	11	0		
IPCA3	10	24	96* *	9	172	48* *	10	0	10	10	0	9	9	23	66	9	1	169	
误差	8	1		12	43	28	14	118	106	8	2	1140	7	8	12	7	9	154	
有效穗																			
总和	59	223	85	59	425	42	65	73	40	59	249	23	54	139	96	54	32	167	
基因	11	4	1178	9	52	53* *	10	7	1133* *	11	16	12* *	10	25	60* *	10	16	19* *	
环境	4	126	55* *	5	197	93* *	5	49	157* *	4	18	192* *	4	64	92* *	4	269	110* *	
交互作用	44	55	52	45	174	96* *	50	168	50* *	44	52	19* *	40	49	44* *	40	36	39*	
IPCA1	14	34	43	13	103	108* *	14	66	68* *	14	4	14* *	13	2	184* *	13	16	79* *	
IPCA2	12	1	1179	11	5	113* *	12	56	39* *	12	9	10* *	11	14	80* *	11	13	75* *	
IPCA3	10	0		9	12	80	10	32	74*	10	2	39	9	1	180* *	9	4	57	
误差	8	9	30	12	7	96	14	12	70	8	0	57	7	0	99	7	1	27	
株高																			
总和	59	2172	134	59	6929	174	65	6548	104	59	3294	114	54	6223	138	54	3174	111	
基因	11	38	119	9	1248	162* *	10	1226	163* *	11	1002	114* *	10	469	109	10	817	141* *	
环境	4	1084	29* *	5	422	1022* *	5	3829	140* *	4	78	114* *	4	4794	102* *	4	1666	156* *	
交互作用	44	702	85	45	146	189	50	1492	101	44	151	186*	40	96	127	40	69	113*	
IPCA1	14	37	175	13	688	114	14	57	125	14	784	147* *	13	50	1106	13	384	104* *	
IPCA2	12	226	42	11	36	158	12	467	178	12	419	138*	11	1	1173	11	2	11151*	
IPCA3	10	0		9	249	120	10	238	164	10	238	169	9	0		9	69	171	
误差	8	10	168	12	162	197	14	21	133	8	68	132	7	447	147	7	24	187	
穗长																			
总和	59	152	113	59	19	129	65	18	115	59	124	105	54	152	106	54	254	165	
基因	11	46	35* *	9	5	181* *	10	43	174* *	11	53	193*	10	34	193*	10	1	143	
环境	4	5	14* *	5	77	157* *	5	66	162* *	4	23	198*	4	79	121* *	4	22	135* *	
交互作用	44	55	64* *	45	6	1191* *	50	74	178* *	44	46	113	40	37	193	40	22	188	
IPCA1	14	4	1139* *	13	3	1185* *	14	38	130* *	14	23	191	13	24	199	13	9	130	
IPCA2	12	1	1190* *	11	18	145* *	12	19	186* *	12	13	154	11	8	187	11	7	168	
IPCA3	10	2	102*	9	8	122*	10	1	193*	10	0		9	0		9	0		
误差	8	0	133	12	3	138	14	5	169	8	8	167	7	4	106	7	5	9	
穗总粒数																			
总和	59	21742	194	59	4236	103	65	44343	107	59	27699	199	54	15459	151	54	28119	135	
基因	11	12603	115* *	9	10958	138* *	10	8524	141* *	11	7673	137	10	2909	195	10	2744	141	
环境	4	136	135* *	5	15734	165* *	5	18973	171* *	4	736	1178*	4	496	179*	4	19037	138* *	
交互作用	44	7774	44* *	45	15667	100* *	50	16844	195* *	44	12664	184	40	7588	177	40	6337	155	
IPCA1	14	4998	170* *	13	7977	167* *	14	10564	143* *	14	8878	165	13	3457	152	13	373	1127	
IPCA2	12	259	185* *	11	4926	129* *	12	3408	176* *	12	0	11	11	251	1103	11	196	191	
IPCA3	10	142	110	9	2024	150*	10	2059	128*	10	537	184	9	0		9	0		
误差	8	42	79	12	738	154	14	812	148	8	3248	135	7	162	122	7	64	138	

变异来源	2002		2003		2004		2005		2006		2007	
	DF	SS	DF	SS	DF	SS	DF	SS	DF	SS	DF	SS
穗实粒数												
总和	59	61391.15	59	359651.40	65	304181.01	59	222321.15	54	145471.62	54	249471.10
基因	11	22841.78 [*]	9	95471.97 [*]	10	69721.49 [*]	11	46661.69	10	44951.01 [*]	10	11601.86
环境	4	5171.38 [*]	5	120321.08 [*]	5	104421.78 [*]	4	77621.93 [*]	4	12011.36 [*]	4	196101.58 [*]
交互作用	44	33371.00 [*]	45	143851.36 [*]	50	130021.74 [*]	44	98021.53	40	88511.25 [*]	40	41751.65
IPCA 1	14	19541.53 [*]	13	64931.04 [*]	14	67701.31 [*]	14	73341.83	13	49661.98 [*]	13	25431.13
IPCA 2	12	7141.43 [*]	11	39921.57 [*]	12	36031.72 [*]	12	0	11	25741.55 [*]	11	12461.20
IPCA 3	10	6281.61 [*]	9	28861.74 [*]	10	13251.33	10	12121.45	9	9261.50	9	0
误差	8	391.44	12	10131.01	14	13031.38	8	12551.25	7	3831.22	7	3861.32
结实率												
总和	59	28081.19	59	38241.90	65	63191.91	59	17721.75	54	20251.17	54	24051.06
基因	11	14011.09	9	11831.44 [*]	10	9441.28 [*]	11	1851.04	10	5471.73 [*]	10	4281.24 [*]
环境	4	4121.66	5	6981.74 [*]	5	18681.48 [*]	4	6511.66 [*]	4	8301.46 [*]	4	13521.83 [*]
交互作用	44	9941.44	45	19421.71	50	35071.15 [*]	44	9361.05	40	6461.98 [*]	40	6231.99
IPCA 1	14	4561.18	13	10321.39	14	27121.71 [*]	14	4551.12	13	3311.68 [*]	13	2791.60
IPCA 2	12	0	11	4761.14	12	3631.84 [*]	12	2831.40	11	2501.96 [*]	11	2041.02
IPCA 3	10	261.43	9	0	10	2691.47	10	0	9	431.16	9	1061.24
误差	8	5111.84	12	4341.18	14	1611.13	8	1971.53	7	211.18	7	341.13
千粒重												
总和	59	1791.37	59	9561.95	65	3441.05	59	1711.54	54	1751.53	54	2341.42
基因	11	1391.81 [*]	9	2021.89 [*]	10	1031.25 [*]	11	391.95 [*]	10	271.61 [*]	10	911.79 [*]
环境	4	111.08 [*]	5	981.54 [*]	5	1011.28 [*]	4	701.56 [*]	4	801.35 [*]	4	941.35 [*]
交互作用	44	281.47 [*]	45	6551.53 [*]	50	1391.52 [*]	44	611.04 [*]	40	671.58 [*]	40	481.28
IPCA 1	14	151.77 [*]	13	5641.91 [*]	14	911.15 [*]	14	551.16 [*]	13	311.97 [*]	13	371.82
IPCA 2	12	71.56	11	661.65 [*]	12	221.39 [*]	12	31.73 [*]	11	201.46 [*]	11	0
IPCA 3	10	31.60	9	161.39 [*]	10	161.68	10	11.88 [*]	9	121.47	9	01.93
误差	8	11.55	12	71.57	14	91.30	8	01.27	7	21.68	7	91.53

表 3 龙岩市杂交晚稻产量相关性状的基因型、环境及其互作效应占总效应的比值												
Table 3 Relative effects of genotype, environment and G@E interactions on Longyan late hybrid rice yield&related traits												(单位: %)
项 目	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
产量												
基因型效应占总效应	281.41	121.08	41.34	251.72	81.82	271.05	191.12	251.03	151.94	151.12	261.79	41.99
环境效应占总效应	401.97	431.45	541.32	481.34	731.46	391.68	651.02	181.47	491.30	671.32	471.83	861.99
基因型与环境互作效应占总效应	301.63	441.47	411.33	251.93	171.72	331.28	151.86	561.50	341.76	171.56	251.37	81.02
PCA1 效应占基因型与环境互作效应	491.98	821.79	371.71	681.95	471.09	441.62	611.50	531.68	611.88	661.61	451.51	481.36
PCA2 占基因型与环境互作效应的	251.87	101.29	361.12	211.59	291.37	361.87	221.37	321.12	211.13	221.49	301.23	01.00
AMMI 解释互作	751.85	931.08	731.83	901.54	761.46	811.49	831.87	851.80	831.01	891.10	751.74	481.36
生育期												
基因型效应占总效应	151.91	201.77	421.04	561.03	121.50	141.71	381.17	231.12	271.70	351.52	101.59	111.75
环境效应占总效应	611.44	441.32	341.10	211.52	601.16	571.56	441.75	211.15	511.55	491.14	781.41	731.73
基因型与环境互作效应占总效应	221.66	341.91	231.86	221.45	271.35	271.73	171.08	551.73	201.74	151.35	111.00	141.53
PCA1 效应占基因型与环境互作效应	641.13	411.73	381.53	581.98	491.92	611.38	641.61	691.99	611.58	571.00	571.27	621.68
PCA2 占基因型与环境互作效应的	221.56	301.26	301.61	291.10	281.43	01.00	231.29	171.12	191.23	251.67	211.95	01.00
AMMI 解释互作	861.69	711.99	691.14	881.08	781.35	611.38	871.90	871.11	801.81	821.67	791.22	621.68
有效穗												
基因型效应占总效应	251.21	11.73	161.13	31.84	211.19	281.21	181.66	121.35	91.77	61.47	181.29	51.03
环境效应占总效应	231.75	781.75	281.95	771.50	241.03	61.92	561.53	461.53	671.16	721.59	461.39	831.66
基因型与环境互作效应占总效应	511.04	191.52	541.92	181.65	541.79	641.87	241.80	411.13	231.07	201.94	351.32	111.31
PCA1 效应占基因型与环境互作效应	501.60	391.58	341.68	511.42	621.38	01.00	621.01	581.91	391.57	761.90	441.18	461.15
PCA2 占基因型与环境互作效应的	251.85	311.57	261.56	341.70	231.12	401.21	211.23	291.22	331.46	171.43	291.94	371.78
AMMI 解释互作	761.45	711.15	611.24	861.12	851.50	401.21	831.24	881.13	731.03	941.33	741.12	831.93

项 目	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
株高												
基因型效应占总效应	151 00	91 33	51 90	271 49	131 68	341 12	171 73	181 02	181 73	301 42	71 54	251 75
环境效应占总效应	231 20	671 57	801 98	471 29	481 78	231 49	491 91	601 90	581 48	231 71	771 03	521 50
基因型与环境互作效应占总效应	611 80	231 10	131 11	251 22	371 54	421 39	321 35	211 08	221 79	451 87	151 43	211 74
PCA1 效应占基因型与环境互作效应	691 38	401 45	441 13	471 59	421 88	431 08	521 75	471 10	381 22	511 92	521 18	551 65
PCA2 占基因型与环境互作效应的	211 46	301 52	321 87	281 21	321 06	341 81	321 21	241 68	311 35	271 76	11 22	301 65
AMMI 解释互作	901 84	701 97	771 00	751 80	741 94	771 89	841 96	711 78	691 57	791 68	531 40	861 30
穗长												
基因型效应占总效应	131 87	381 64	101 87	261 53	71 38	131 40	301 47	261 70	231 62	431 48	221 97	41 49
环境效应占总效应	161 30	171 52	641 69	411 66	611 74	461 32	321 96	401 77	351 98	191 33	521 09	861 53
基因型与环境互作效应占总效应	691 83	431 84	241 44	311 82	301 88	401 27	361 57	321 53	401 39	371 19	241 94	81 98
PCA1 效应占基因型与环境互作效应	891 37	551 56	461 95	01 00	491 68	671 68	741 40	511 45	511 22	511 84	651 89	401 65
PCA2 占基因型与环境互作效应的	61 08	231 17	01 00	401 60	341 86	201 16	211 38	291 81	261 56	291 36	231 39	331 58
AMMI 解释互作	951 45	781 73	461 95	401 60	841 54	871 84	951 78	811 26	771 78	811 20	891 28	741 23
穗总粒数												
基因型效应占总效应	91 41	271 35	261 60	241 28	91 16	311 95	571 96	251 87	191 22	271 70	181 82	91 76
环境效应占总效应	541 48	361 70	371 21	451 12	631 23	291 30	61 28	371 15	421 79	261 58	321 09	671 70
基因型与环境互作效应占总效应	361 11	351 95	361 19	301 60	271 61	381 75	351 76	361 99	371 99	451 72	491 09	221 54
PCA1 效应占基因型与环境互作效应	491 28	421 52	411 48	451 67	531 42	611 36	641 30	501 92	621 72	701 10	451 56	581 88
PCA2 占基因型与环境互作效应的	321 17	281 09	321 14	321 83	221 48	01 00	331 33	311 44	201 24	01 00	331 09	311 02
AMMI 解释互作	811 45	701 61	731 62	781 50	751 90	611 36	971 63	821 36	821 96	701 10	781 65	891 90
穗实粒数												
基因型效应占总效应	121 37	201 39	261 94	231 76	161 69	291 05	371 22	261 55	221 92	201 99	301 90	41 65
环境效应占总效应	491 43	431 05	321 17	341 85	501 57	341 98	81 43	331 45	341 33	341 92	81 26	781 61
基因型与环境互作效应占总效应	381 19	361 56	401 90	411 39	321 74	351 98	541 36	401 00	421 75	441 09	601 84	161 74
PCA1 效应占基因型与环境互作效应	451 19	491 17	451 47	531 77	601 36	521 96	581 57	451 14	521 07	741 83	561 12	601 90
PCA2 占基因型与环境互作效应的	331 83	281 50	271 47	271 77	231 16	01 00	211 41	271 75	271 72	01 00	291 09	291 84
AMMI 解释互作	791 02	771 67	721 94	811 54	831 52	521 96	791 98	721 89	791 79	741 83	851 21	901 74
结实率												
基因型效应占总效应	121 92	201 08	81 64	71 63	161 32	291 31	491 89	301 94	141 94	101 44	271 05	171 81
环境效应占总效应	311 33	411 69	611 14	351 42	291 59	171 99	141 69	181 27	291 56	361 76	411 01	561 25
基因型与环境互作效应占总效应	551 76	381 23	301 22	561 95	541 09	521 70	351 41	501 79	551 49	521 80	311 95	251 95
PCA1 效应占基因型与环境互作效应	751 54	461 23	591 85	491 72	361 88	481 10	451 87	531 14	771 35	481 62	511 27	441 81
PCA2 占基因型与环境互作效应的	181 27	291 77	221 36	311 12	301 32	301 29	01 00	241 51	101 37	301 28	381 79	321 70
AMMI 解释互作	931 81	761 00	821 21	801 84	671 20	781 39	451 87	771 65	871 72	781 90	901 06	771 51
千粒重												
基因型效应占总效应	261 96	41 60	251 13	381 34	161 88	541 10	771 95	211 20	301 01	231 29	151 73	391 16
环境效应占总效应	311 34	521 57	371 33	271 41	381 16	111 64	61 18	101 30	291 44	411 13	451 77	401 25
基因型与环境互作效应占总效应	411 70	421 84	371 54	341 26	441 96	341 26	151 87	681 50	401 55	351 58	381 50	201 60
PCA1 效应占基因型与环境互作效应	681 77	691 31	491 73	771 60	601 04	501 99	551 37	861 18	651 33	901 37	471 31	781 33
PCA2 占基因型与环境互作效应的	171 31	141 79	281 06	131 68	01 00	311 92	261 54	101 17	161 05	61 10	301 27	01 00
AMMI 解释互作	861 08	841 10	771 79	911 28	601 04	821 91	811 91	961 35	811 38	961 47	771 58	781 33

结合表 1 和表 2 数据分析可以看出, 1996~2007 年基因型效应、环境效应、基因型与环境间互作效应占总变异效应的幅度, 产量性状分别为 41 34%~ 281 41%、181 47%~ 861 99% 和 81 02%~ 561 50%; 生育期性状分别为 101 59%~ 561 03%、211 15%~ 781 41% 和 111 00%~ 551 73%; 有效穗性状分别为 11 73%~ 281 21%、61 92%~ 831 66% 和 111 31%~ 641 87%; 株高性状分别为 51 90%~ 341 12%、231 20% ~ 801 98% 和 131 11% ~

611 80%; 穗长性状分别为 41 49%~ 431 48%、161 30%~ 861 53% 和 81 98%~ 691 83%; 穗总粒数性状分别为 91 16%~ 571 96%、61 28%~ 671 70% 和 221 54%~ 491 09%; 穗实粒数性状分别为 41 65%~ 371 22%、81 26%~ 781 61% 和 161 74%~ 601 84%; 结实率性状分别为 71 63%~ 491 89%、141 69%~ 611 14% 和 251 95%~ 561 95%; 千粒重性状分别为 41 60%~ 771 95%、61 18%~ 521 57% 和 151 87%~ 681 50%。

从 1996~ 2007 年基因型效应、环境效应、基因型与环境间互作效应占总变异效应的平均值分析可见, 考查 9 个性状以基因型效应为主的为 0; 以环境效应为主的有产量 (52 93%)、株高 (51 15%)、有效穗 (51 06%)、生育期 (49 82%)、穗长 (42 99%) 和穗总粒数 (39 89%); 以基因型与环境间互作效应为主的有结实率 (45 03%)、穗实粒数 (40 38%) 和千粒重 (37 93%)。表明不同性状在不同生态环境下表现出不同的基因型与环境互作效应, 启示今后选育适合龙岩市杂交晚稻产量相关性状时, 需针对基因型、环境、基因型与环境间互作效应进行育种、引种和栽培, 才可提高效率。在不同生态环境条件下, 提高不同类型水稻产量的调控途径应有所不同, 应采用地区控制与品种搭配相结合的策略。

另外, 1996~ 2007 年第 1、2 乘积项 (IP2 CA1、IPCA2) 表达的基因型与环境间互作分别解释了 G@E 交互作用平方和的比率幅度, 产量为 48 36%~ 93 08%、生育期为 6 11 38%~ 88 108%、有效穗为 40 21%~ 94 33%、株高为 53 40%~ 90 84%、穗长为 40 60%~ 95 78%、穗总粒数为 6 11 36%~ 97 63%、穗实粒数为 52 96%~ 90 74%、结实率为 45 87%~ 93 81%、千粒重为 60 04%~ 96 47%。因此, 考查前 2 个 AMMI 分量代表的互作部分, 能对 9 个产量相关性状的稳定性做出较准确的判断。从平均值分析, 以千粒重 (82 85%) 最高, 其余性状均在 76 09%~ 78 59% 范围内。

2 1 2 龙岩市杂交晚稻产量相关性状稳定性参数分析

品种的稳定性指标是以一个品种 (或基因型) 在交互效应主成分轴 (IPCA) 空间中与原点的欧氏距离 (记为 D), D 值越小则品种 (性状) 越稳定^[18]。1996~ 2007 年龙岩市杂交晚稻产量相关性状稳定性参数年间变化数据列于表 4。从表 4 可看出, 1996 年各性状的稳定性排序为: 千粒重> 穗长> 结实率> 株高> 穗总粒数; 1997 年排序为: 穗长> 千粒重> 生育期> 株高> 结实率> 穗实粒数> 产量; 1998 年排序为: 千粒重> 株高> 结实率; 1999 年排序为: 有效穗> 结实率> 穗实粒数> 穗总粒数; 2000 年排序为: 穗长> 有效穗> 株高> 穗总粒数> 产量; 2001 年排序为: 穗长> 株高; 2002 年排序为: 千粒重> 穗长> 生育期> 穗实粒数> 穗总粒数> 产量; 2003 年排序为: 穗长> 有效穗> 千粒重> 生育期> 穗实粒数> 穗总粒数> 产量; 2004 年排序为: 千粒重> 穗长> 有效穗> 结实率> 穗实粒数> 穗总粒数> 产量; 2005 年排序为: 有效穗> 千粒重> 株高; 2006 年排序为: 千粒重> 有效穗> 结实率> 穗实粒数> 产量; 2007 年排序为: 有效穗> 株高。从平均值可见, 生育期、千粒重、有效穗和穗长的 D 值幅度为 0 38~ 0 61, 稳定性好, 受栽培环境及 G@E 互作效应影响较小; 其次为结实率和株高 (11 01~ 11 07); 第三为穗实粒数和穗总粒数 (11 61~ 11 69); 最差为产量 (21 53), 受栽培环境及 G@E 互作效应影响较大。

表 4 龙岩市杂交晚稻产量相关性状稳定性参数年间变化
Table 4 Stability parameters of year2on2year variations of Longyan late hybrid rice yield2related traits

年份	稳定参数 D _i 值								
	产量	生育期	有效穗	株高	穗长	穗总粒数	穗实粒数	结实率	千粒重
1996	-	-	-	2 04	11 28	2 74	-	11 99	0 51
1997	6 43	11 21	-	11 88	0 81	-	2 88	2 24	0 82
1998	-	-	-	11 61	-	-	-	11 93	11 1
1999	-	-	0 99	-	-	3 37	3 17	2 28	-
2000	4 83	-	11 33	2 02	11 11	2 5	-	-	-
2001	-	-	-	11 55	11 05	-	-	-	-
2002	4 32	11 3	-	-	0 92	3 03	2 69	-	0 47
2003	5 48	2 04	11 22	-	11 03	4 24	4 09	-	11 5
2004	4 91	-	11 3	-	11 14	4 38	3 62	2 25	0 95
2005	-	-	0 77	11 87	-	-	-	-	0 79
2006	4 41	-	0 98	-	-	-	2 85	11 45	0 88
2007	-	-	0 74	11 84	-	-	-	-	-
平均	2 53	0 38	0 61	11 07	0 61	11 69	11 61	11 01	0 59

3 讨 论

近 10 年来, 随着农业 (种植业) 结构调整的推进, 龙岩市长期延续的早、中、晚稻作类型种植格局正在发生深刻变化, 已倍受各级领导、农技推广部门、稻作科技工作者和农民的极大关注。如何提升龙岩市杂交晚稻稳定性和适应性育种、引种和利用水平显得十分重要。本研究利用 1996~ 2007 年连续 12 年来各育种单位提交参加龙岩市杂交晚稻品种区域试验资料, 采用 AMMI 模型分析各参试组合产量相关性状的基因型与环境变异的特征, 对提高龙岩市杂交晚稻育种、引种及其利用水平具有十分重要的意义。研究结果表明, 考察 9 个性状以基因型效应为主的为 0; 以环境效应为主的有产量、株高、有效穗、生育期、穗长和穗总粒数; 以基因型与环境间互作效应为主的有结实率、穗实粒数和千粒重。不同性状在不同生态环境下表现出不同的基因型与环境互作效应, 启示我们今后选育适合龙岩市杂交晚稻产量相关性状时, 需针对基因型、环境、基因型与环境间互作效应进行育种、引种和栽培, 才可提高效率。生育期、千粒重、有效穗和穗长稳定性好, 受栽培环境及 G@E 互作效应影响较小; 其次为结实率和株高; 第三为穗实粒数和穗总粒数; 最差为产量, 受栽培环境及 G@E 互作效应影响较大。笔者认为, 要提高龙岩市杂交晚稻的单产需要选育、引进和推广分蘖力强、成穗率高、适应性强的晚稻型品种, 同时要良种良法相结合。

参考文献:

[1] 黄英姿, 毛盛贤. 基因型与环境互作研究的新进展 [J]. 作物学报, 1992, 18 (2): 116~ 125.
[2] 穆培源, 庄丽, 张吉贞, 等. 作物品种稳定性分析方法的研究进展 [J]. 2003, 40 (3): 142~ 144.
[3] 胡秉民, 耿旭. 作物稳定性分析法 [M]. 北京: 科学出版社,

1993: 28~ 56.
[4] KEMPTON R A. The use of biplots in interpreting variety by environment interaction [J]. Journal of Agricultural Science, 1984, 103: 123~ 135.
[5] GARCH H G, ZOBEL R W. AMMI analysis of yield traits M Genotype2Environment Interaction [C]. CRC Press, Boca Ra2 ton, 1995: 114~ 120.
[6] 杨仕华, 沈希宏, 王磊, 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~ 426.
[7] 郑龙. 水稻稻米重金属 Cd、Pb 和 Hg 累积量的基因型与环境变异 [D]. 福州: 福建农林大学, 2006.
[8] 方加龙. 晚稻稻米主要品质性状的基因型与环境互作研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2006.
[9] 袁爱梅, 张敏, 陈惠敏, 等. 利用模型分析冬小麦品种区试数据的稳定性 [J]. 种子, 2005, 24 (5): 59~ 61.
[10] 高海燕, 王书子, 王翠珍, 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.
[11] 张体刚, 李之凡, 胥岚, 等. AMMI 模型在油菜品种区域试验中的应用 [J]. 四川农业大学学报, 1999, 17 (2): 172~ 175.
[12] 余先驹, 王秀全, 刘昌明, 等. AMMI 模型在玉米区域试验中的应用 [J]. 绵阳经济技术高等专科学校学报, 2000, 17 (1): 14~ 19.
[13] 曾献英. AMMI 模型在棉花区域试验中的应用 [J]. 棉花学报, 2004, 16 (4): 233~ 235.
[14] 许乃银, 陈旭升, 郭志刚, 等. AMMI 模型在棉花区域试验中的应用 [J]. 江苏农业学报, 2001, 17 (4): 205~ 210.
[15] 杨志平, 何凤发, 王李春, 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: 自然科学版, 2006, 28 (2): 321~ 325.
[16] 董开居. AMMI 模型在蚕豆区域试验中的应用 [J]. 杂粮作物, 2006, 26 (5): 340~ 345.
[17] 福建省龙岩市种子站. 1996~ 2007 年水稻新品种联合区域试验总结 [G]. 2007
[18] GAUCH H G J R. 产量区域试验统计分析))) 因子设计 AMMI 分析 [M]. 王磊, 张群远, 张冬晓译. 北京: 中国农业科技出版社, 2001.
[19] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学技术出版社, 2002: 262~ 267.

(责任编辑: 林海清)