

甘蔗品种主要性状的基因型与环境及其互作效应分析

罗俊^{1,2*}, 张华^{1,2}, 阙友雄^{1,2}

(1. 福建农林大学农业部福建甘蔗生物学与遗传育种重点实验室, 福州 350002; 2. 国家甘蔗产业技术研发中心, 福州 350002)

摘要: 用 AMMI 模型双标图对国家第六轮甘蔗品种区域试验 5 个试点的 12 个甘蔗品种试验数据进行分析, 研究甘蔗区试中不同品种的产量稳定性问题。结果表明, 参试品种的 6 个产量性状在品种间和地点间差异显著, 品种与地点的互作效应差异显著; FN30、YG16 蔗茎产量和含糖量高, 稳定性强, 属于高产、稳产性较好的品种。AMMI 模型很好地解释了甘蔗品种产量性状的基因型效应、环境效应和 GE 互作效应。

关键词: 甘蔗; 双标图; 稳定性分析; 品种适应性; AMMI 模型

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.05.004

Genotype, Environment and Their Interactive Effects on Main Traits of Sugarcane Varieties

LUO Jun^{1,2*}, ZHANG Hua^{1,2}, QUE You-xiong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Sugarcane Biology and Genetic Breeding, Ministry of Agriculture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Sugarcane Research & Development Center, China Agriculture Research System, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The yield stability and adaptability of twelve sugarcane lines in five locations at the sixth national regional trials were studied by using AMMI (additive main effects and multiplicative interaction) biplot method. The results showed that there were significant differences in six yield traits among genotypes and environments, so did the interaction effects between genotype and environment. FN30 and YG16 had high stem yield and sugar content with strong yield stability. However, the overall stability of the two sugarcane lines was not high, which indicated that they should be promoted in a certain region. AMMI model could clearly explain the genotype effect, environment effect and genotype-environment interaction effect on yield trait.

Key words: Sugarcane; Biplot; Stability analysis; Line adaptability; AMMI model

甘蔗是我国最主要的糖料作物,在国家非审定主要农作物中占据重要位置,开展国家甘蔗品种区域试验是进行国家甘蔗品种审(鉴)定的重要依据。客观评价国家甘蔗品种区域试验中参试品种的高产性及稳产性为国家甘蔗品种鉴定与推广提供了依据,具有重要的理论与实践价值^[1-3]。以前主要是通过多年多点试验资料进行联合方差分析,估计

试验的合并误差,评价参试品种的高产性、稳产性和生态适应性,并进行品种间差异显著性比较。品种区域试验属于多年多点试验,由于环境差异较大,试验数据相差悬殊、数据缺失、重复数不一致或某个区试点报废等原因,使所获结果难以进行正常的联合方差分析,从而影响对参试品种材料做出客观、公正的评价。此外,综合表现好的参试品种可

收稿日期: 2011-11-04

接受日期: 2011-12-26

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设项目(CARS-20); 公益性行业科研专项(201003009-2)资助

作者简介: 罗俊(1972~), 副研究员, 硕士, 研究方向为甘蔗遗传育种。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sisluojun@126.com

以在具有代表性的试点通过多性状来直接选择,因此试点鉴别力也是产量稳定性和品种适应性分析中必不可少的部分^[4-7]。AMMI 模型将方差分析和主成分分析结合于同一模型中,兼具可加和可乘分量两个数学模型的优点,通过从加性模型的残差中分离模型误差与干扰,不仅提高了估计的准确性。并且借助于双标图能直观地描绘和分析基因型与环境交互作用的模式。目前,AMMI 模型品种稳定性分析法已被广泛应用于分析作物品种基因型与环境互作效应和作物育种中对品种的评价^[8-15]。采用 AMMI 双标图法探讨多个产量性状的基因型与环境互作效应,深入认识影响甘蔗产量稳定性的主要因素,筛选出高产高糖且稳定性强的甘蔗新品种推荐生产应用,从而提高我国甘蔗产业的国际竞争力。本文采用 AMMI 双标图法对我国甘蔗品种区域试验品种的稳产性和适应性及试点的鉴别力进行分析,以期客观评价甘蔗参试品种的高产性及稳产性,为国家甘蔗品种鉴定与推广提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料和地点

第六轮全国甘蔗品种区域试验的试点共 5 个,包括云南开远、云南瑞丽、广东遂溪、福建漳州和福建福州;参试品种有 12 个,包括粤甘 16 号(YG16)、粤甘 18 号(YG18)、桂辐 98-296 (GF98-296)、桂引 6 号(GY6)、云蔗 99-91 (YZ99-91)、RB76-5418、福农 28 (FN28)、福农 30 (FN30)、闽糖 95-261 (MT95-261)、闽糖 96-6016 (MT96-6016)、赣南 99-591 (GN99-591) 和对照(ROC16)。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,3 次重复,小区长方形,面积 33 m²。在新植甘蔗砍收结束后,留宿根进行宿根试验。栽培管理及调查测定项目参照农业行业标准《国家农作物品种试验技术规程(甘蔗)》^[2] 执行。收获前调查产量性状(株高、茎径、单茎重、有效茎数),计算小区蔗产量(kg hm⁻²),从 11 月到第二年 3 月每月月中旬取样进行糖分化验,根据 11 月到第二年 3 月共 5 个月甘蔗蔗糖分平均值和小区蔗产量计算小区含糖量。

1.3 统计方法

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:

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

式中: y_{ge} 是在环境 e 中基因型 g 的产量, μ 代表总体平均值, α_g 是基因型平均偏差, β_e 是环境的平均偏差, λ_n 是第 n 个主成分分析的特征值, δ_{gn} 是第 n 个主成分的基因型主成分得分, γ_{gn} 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, θ_{ge} 为残差。在 AMMI 模型分析的基础上,利用 AMMI I 和 AMMI II 双标图可更进一步了解基因型与环境互作。稳定性参数(Di)为品种在所有显著交互效应主成分轴空间中与原点的欧氏距离,是衡量品种稳定性的判别力指标, Di 值越小,表示基因型越稳定。以各基因型蔗茎产量和含糖量的 Di 值与相应的性状表型值为指标,数据标准化后采用欧氏距离法对所有基因型进行系统聚类分析,并根据聚类结果对供试基因型的产量性状进行综合评价。

所有数据利用 DPS 数据处理系统进行统计分析^[16]。

2 结果和分析

2.1 联合方差分析和 AMMI 模型分析

联合方差分析(表 1)表明:株高、茎径、单茎重、有效茎数、蔗茎产量、含糖量等 6 个性状在不同基因型和环境间均达到极显著差异,基因型与环境互作效应显著。株高、茎径、单茎重、有效茎数、蔗茎产量、含糖量等 6 个性状的品种和地点间互作效应的平方和分别占总平方和的 6.31%、18.52%、19.26%、23.16%、50.49% 和 49.18%,说明环境对产量性状的影响较大。进一步利用 AMMI 模型对各性状的基因型 × 环境进行分析,株高、茎径、单茎重、有效茎数、蔗茎产量、含糖量等 6 个性状前两个主成分之和分别解释了交互作用总变异平方和的 79.09%、81.50%、86.99%、84.88%、73.73% 和 74.61%。而线性回归模型只解释了 43.78%、46.73%、26.69%、44.55%、37.18% 和 25.34% 的交互作用平方和,表明 AMMI 比传统的线性回归模型能更有效地分析基因型与环境互作效应。

2.2 甘蔗品种产量性状的稳定性分析

从表 1 可以看出,各试点与品种的交互作用

表1 方差分析和 AMMI 模型分析

Table 1 Analysis of variance and AMMI model

变异来源 Variation source	df	株高 Plant height			茎径 Stalk diameter			单茎重 Weight per stalk		
		SS	F	P (%)	SS	F	P (%)	SS	F	P (%)
方差分析 Analysis of variance										
基因 Gene (G)	11	61467.64	48.29**	20.52	2.29	31.28**	53.39	2.54	19.53**	34.21
环境 Environment (E)	4	219243.02	473.67**	73.18	1.20	45.21**	28.06	3.45	73.07**	46.54
交互作用 G×E	44	18897.78	3.71**	6.31	0.79	2.71**	18.52	1.43	2.75**	19.26
回归分析 Linear regression analysis										
联合回归 Joint-regression	1	134.86	1.17	0.71	0.08	12.64**	10.63	0.02	1.54	1.27
基因回归 G-regression	10	2599.18	2.25*	13.75	0.15	2.30*	19.37	0.22	1.84	15.19
环境回归 E-regression	3	5540.10	15.96**	29.32	0.13	6.64**	16.73	0.15	4.13**	10.23
残差 Error	30	10623.64	3.06**	56.22	0.42	2.12**	53.58	1.05	2.95**	73.24
AMMI模型 AMMI model										
PCA1	14	10445.89	6.45**	55.28	0.47	5.01**	58.90	0.90	5.43**	62.77
PCA2	12	4499.64	3.24**	23.81	0.18	2.24*	22.60	0.35	2.44**	24.22
PCA3	10	3424.87	2.96**	18.12	0.09	1.35	11.38	0.16	1.35	11.12
残差 Error	8	527.39		2.79	0.06		7.44	0.03		1.82
变异来源 Variation source	df	有效茎数 Number of available stalk			蔗茎产量 Cane yield			含糖量 Sucrose yield		
		SS	F	P (%)	SS	F	P (%)	SS	F	P (%)
方差分析 Analysis of variance										
基因 Gene (G)	11	7367548764	19.39**	26.93	14246.48	10.30**	35.39	203.17	6.52**	24.31
环境 Environment (E)	4	13655250622	98.85**	49.91	5682.86	11.30**	14.12	221.63	19.56**	26.51
交互作用 G×E	44	6335558411	4.17**	23.16	20322.20	3.67**	50.49	411.11	3.30**	49.18
回归分析 Linear regression analysis										
联合回归 Joint-regression	1	2851504.701	0.08	0.05	297.65	2.37	1.46	6.88	2.43	1.67
基因回归 G-regression	10	1210191048	3.50**	19.10	6539.76	5.20**	32.18	86.11	3.04**	20.95
环境回归 E-regression	3	1609523934	15.54**	25.40	719.03	1.91	3.54	11.20	1.32	2.72
残差 Error	30	3512991923	3.39**	55.45	12765.76	3.38**	62.82	306.92	3.61**	74.66
AMMI模型 AMMI model										
PCA1	14	4297397037	8.89**	67.83	8243.49	4.68**	40.56	191.73	4.83**	46.64
PCA2	12	1080402512	2.61**	17.05	6739.46	4.47**	33.16	115.00	3.38**	27.97
PCA3	10	819670799.5	2.37*	12.94	4424.63	3.52**	21.77	70.76	2.50**	17.21
残差 Error	8	138088061.5		2.18	914.61		4.50	33.62		8.18

*: P<5%; **: P<1%.

达显著水平,将各品种 IPCA1-2 在空间内的投影点与相应坐标原点的距离,即各品种基于 IPCA1-2 的稳定性参数(Di)列于表 2, 根据各品种在 IPCA1、IPCA2 上的得分作 AMMI II 双标图(图 1)。

株高性状 从图 1 和表 2 可知,各品种平均株高从高到低的顺序为 GY6、GF98-296、MT95-261、GN99-591、RB76-5418、FN30、YG16、MT96-6016、ROC16、FN28、YZ99-91、YG18; 从性状稳定性看,稳定性较好的是 FN28、RB76-5418、

MT96-6016、YG16、FN30、GN99-591; 参试的 12 个品种中, RB76-5418 的平均株高虽不是最高但稳定性强, YG16、FN30、GN99-591、MT95-261、GF98-296 的平均株高较高且稳定性较强, FN28 的平均株高较矮但稳定性最强, GY6 的平均株高最高却稳定性最差。

茎径性状 各品种平均茎径从粗到细的顺序为 YZ99-91、YG18、YG16、GN99-591、FN28、FN30、GY6、RB76-5418、MT96-6016、ROC16、

表2 各指标在显著交互效应主成分轴上的得分

Table 2 Scores obtained from significant interaction key component axel of all traits

品种 Variety	株高 Plant height				茎径 Stalk diameter				单茎重 Weight per stalk			
	Mean	PCA1	PCA2	Di	Mean	PCA1	PCA2	Di	Mean	PCA1	PCA2	Di
YZ99-91	279.52	0.13	2.58	2.58	2.72	0.20	0.08	0.21	1.59	-0.004	0.25	0.25
YG18	250.05	-3.35	-2.75	4.34	2.72	0.17	0.07	0.18	1.41	0.00002	-0.13	0.13
YG16	296.10	-1.03	-1.97	2.22	2.71	0.17	-0.09	0.19	1.67	0.21	-0.15	0.26
MT96-6016	290.55	-0.42	-1.49	1.55	2.52	-0.21	0.22	0.31	1.42	-0.21	0.10	0.23
MT95-261	310.18	1.01	-2.65	2.84	2.48	-0.25	-0.22	0.34	1.47	0.08	-0.35	0.36
GY6	325.51	5.27	-0.62	5.30	2.58	0.10	-0.17	0.20	1.67	0.49	0.10	0.50
GF98-296	311.11	2.79	0.94	2.94	2.35	-0.21	0.01	0.21	1.32	-0.06	0.06	0.09
GN99-591	305.85	-2.03	1.31	2.42	2.68	0.00	0.07	0.07	1.69	-0.18	0.08	0.19
FN30	300.17	-1.64	1.71	2.37	2.61	-0.30	0.01	0.30	1.58	-0.39	-0.16	0.42
FN28	283.17	0.69	-0.07	0.69	2.68	0.13	0.24	0.28	1.56	-0.02	0.25	0.25
RB76-5418	304.09	0.22	0.82	0.85	2.55	0.14	-0.18	0.22	1.52	0.15	-0.05	0.16
ROC16	289.43	-1.62	2.19	2.72	2.49	0.08	-0.05	0.10	1.37	-0.07	0.00	0.07
Ruili, Yunnan	294.78	1.16	-4.25	4.41	2.72	0.36	-0.17	0.40	1.53	0.26	-0.04	0.26
Kaiyuan, Yunnan	246.49	1.65	3.85	4.19	2.61	0.26	0.29	0.39	1.32	0.01	0.32	0.33
Suixi, Guangdong	332.37	3.85	-1.11	4.01	2.56	-0.03	-0.29	0.29	1.70	0.46	-0.16	0.49
Zhangzhou, Fujian	335.39	-0.33	2.08	2.10	2.47	-0.20	0.21	0.29	1.63	-0.32	0.25	0.40
Fuzhou, Fujian	268.36	-6.33	-0.56	6.35	2.60	-0.39	-0.04	0.40	1.43	-0.41	-0.38	0.56

品种 Variety	有效茎数 Available stalk numbers				蔗茎产量 Cane yield				含糖量 Sucrose yield			
	Mean	PCA1	PCA2	Di	Mean	PCA1	PCA2	Di	Mean	PCA1	PCA2	Di
YZ99-91	69150	-87.49	13.89	88.59	108.62	-0.52	-1.87	1.94	16.81	-0.25	-0.37	0.44
YG18	79039	6.64	46.52	46.99	110.53	0.92	0.43	1.02	17.61	0.67	0.71	0.98
YG16	83416	-66.89	13.13	68.17	137.99	-0.45	-1.54	1.60	20.08	0.52	-0.21	0.56
MT96-6016	87371	-55.80	22.70	60.24	124.36	-1.91	4.33	4.73	18.73	0.02	1.88	1.88
MT95-261	84986	66.49	-45.37	80.49	122.57	-0.11	0.99	1.00	17.46	0.13	0.08	0.15
GY6	77446	22.01	53.87	58.19	128.23	5.13	-1.59	5.37	18.70	1.65	-1.05	1.95
GF98-296	88997	51.84	-34.20	62.10	116.15	0.61	3.03	3.09	17.22	0.08	0.47	0.48
GN99-591	69666	-48.72	-6.51	49.16	117.04	-2.70	-1.94	3.32	17.94	-1.02	-0.24	1.05
FN30	79728	46.30	21.20	50.92	124.96	-1.50	-0.09	1.50	19.32	-0.77	-0.10	0.78
FN28	70826	-55.24	-87.45	103.43	108.73	-2.55	-2.44	3.53	17.70	-1.63	-0.62	1.74
RB76-5418	82640	53.63	-27.73	60.37	123.92	1.34	0.43	1.41	17.54	0.24	-0.42	0.48
ROC16	79991	67.25	29.93	73.61	108.67	1.72	0.24	1.74	16.07	0.36	-0.14	0.39
Ruili, Yunnan	75260	-67.10	51.92	84.84	115.03	0.93	-4.30	4.40	17.27	0.05	-1.17	1.17
Kaiyuan, Yunnan	90625	141.98	-51.10	150.89	117.89	1.50	-1.67	2.24	18.11	-0.58	-1.12	1.26
Suixi, Guangdong	66035	7.00	75.03	75.35	112.27	4.13	1.86	4.53	16.90	2.21	0.04	2.21
Zhangzhou, Fujian	78355	29.01	12.89	31.75	127.50	-0.96	4.72	4.82	20.01	-0.01	1.85	1.85
Fuzhou, Fujian	86915	-110.89	-88.74	142.03	123.88	-5.60	-0.60	5.63	17.38	-1.67	0.40	1.72

MT95-261、GF98-296;从性状稳定性看,稳定性较好的是GN99-591、ROC16、YG18、YG16、GY6、YZ99-91、GF98-296、RB76-5418;参试的12个品种中,GN99-591、YG18、YG16平均茎径表现较

优且稳定性强;FN28、FN30平均茎径表现较优但稳定性较差,MT96-6016、MT95-261的平均茎径较细且稳定性最差。

单茎重性状 各品种平均单茎重从高到低

的顺序为 GN99-591、YG16、GY6、YZ99-91、FN30、FN28、RB76-5418、MT95-261、MT96-6016、YG18、ROC16、GF98-296；从性状稳定性看，稳定性较好的是 ROC16、GF98-296、YG18、RB76-5418、GN99-591、MT96-6016；参试的 12 个品种中，GN99-591、YZ99-91、FN28、YG16 平均单茎重表现较优且稳定性强；FN30、GY6 平均单茎重表现较优但稳定性较差，ROC16、GF98-296、YG18、RB76-5418 平均单茎重较轻但稳定性较强。

有效茎数性状 各品种平均有效茎数从多到少的顺序为 GF98-296、MT96-6016、MT95-261、YG16、RB76-5418、ROC16、FN30、YG18、GY6、FN28、GN99-591、YZ99-91，从性状稳定性看，稳定性较好的是 YG18、GN99-591、FN30、GY6、MT96-6016、RB76-5418、GF98-296；参试的 12 个品种中，FN30、MT96-6016、RB76-5418、GF98-296 平均有效茎数表现较优且稳定性强，YG16、ROC16、MT95-261 平均有效茎数表现较优但稳定性较差，YG18、GN99-591、GY6 平均有效茎数

较少但稳定性较强。

蔗茎产量性状 各品种平均蔗茎产量从高到低的顺序为 YG16、GY6、FN30、MT96-6016、RB76-5418、MT95-261、GN99-591、GF98-296、YG18、FN28、ROC16、YZ99-91，从产量稳定性看，稳定性较好的是 MT95-261、YG18、RB76-5418、FN30、YG16、ROC16、YZ99-91；参试的 12 个品种中，MT95-261、RB76-5418、FN30、YG16 高产且稳定性好，MT96-6016、GY6 高产但稳定性差，YG18、ROC16、YZ99-91 产量较低但稳定性强。

含糖量性状 各品种平均含糖量从高到低的顺序为 YG16、FN30、MT96-6016、GY6、GN99-591、FN28、YG18、RB76-5418、MT95-261、GF98-296、YZ99-91、ROC16，从产量稳定性看，稳定性较好的是 MT95-261、ROC16、YZ99-91、RB76-5418、GF98-296、YG16、FN30、YG18；参试的 12 个品种中，FN30、YG16 含糖量高且稳定性好，GN99-591、MT96-6016、GY6 含糖量高但稳定性差，MT95-261、ROC16、YZ99-91、RB76-5418、GF98-296 含糖量较低但稳定性强。

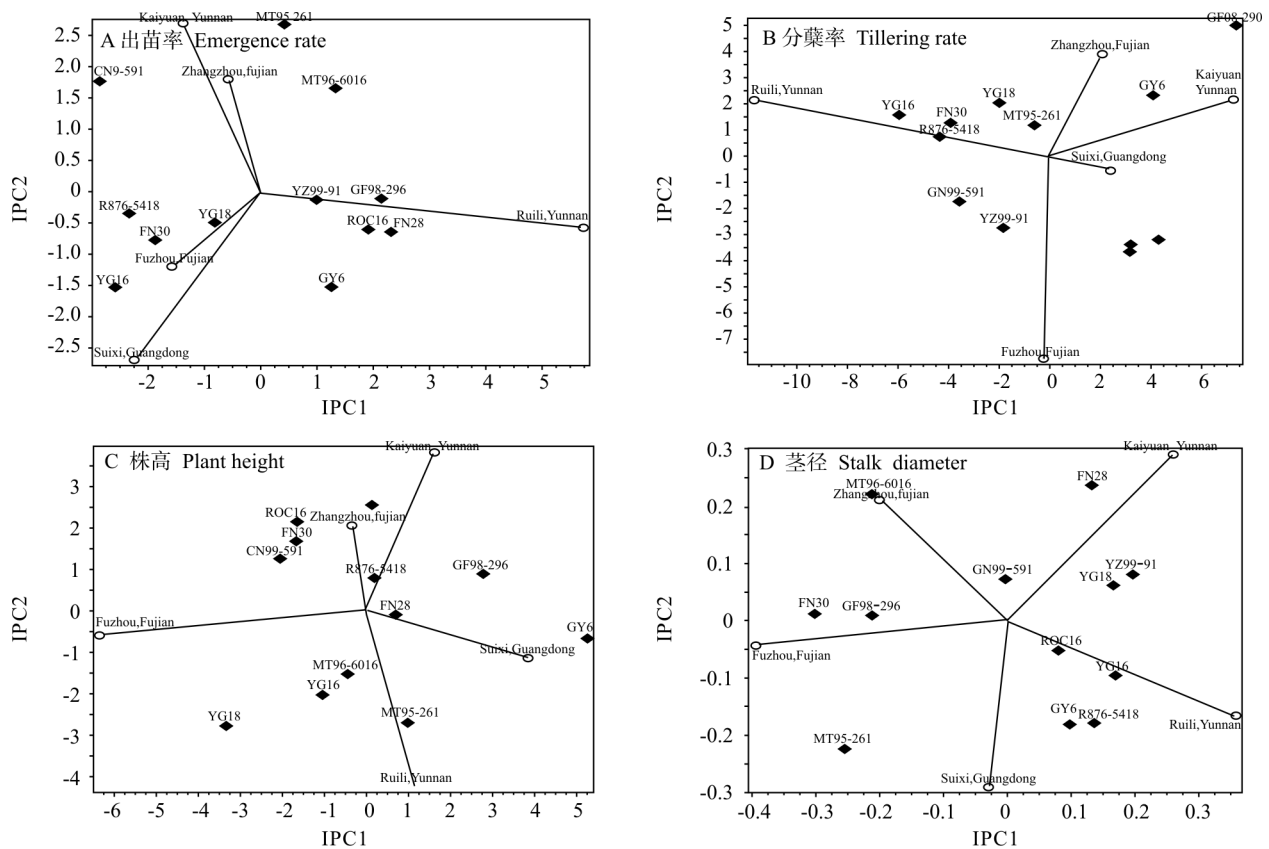


图 1 不同基因型出苗率、分蘖率、株高和茎径在 IPCA1 和 IPCA2 上得分的 AMMI II 双标图
 Fig. 1 AMMI II biplot of IPCA1 and IPCA2 score of emergence rate, tillering rate, plant height and stalk diameter in different genotypes

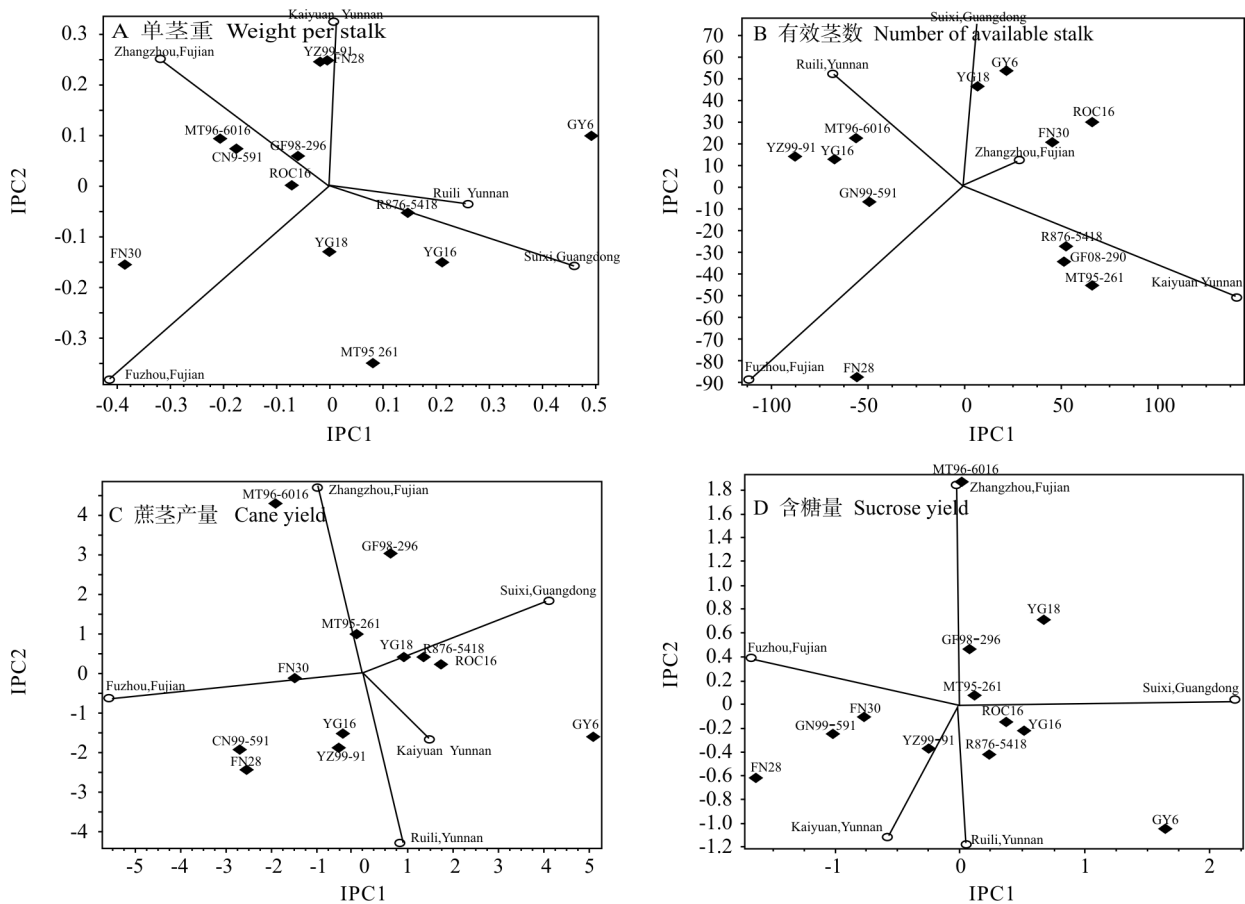


图2 不同基因型单茎重、有效茎数、蔗茎产量和含糖量在 IPCA1 和 IPCA2 上得分的 AMMI II 双标图

Fig. 2 AMMI II biplot of IPCA1 and IPCA2 score of weight per stalk, available stalk number, cane yield and sucrose yield in different genotypes

2.3 地点鉴别力分析

AMMI II 双标图中的 x 轴和 y 轴对应于品种或地点的 IPCA1 和 IPCA2, 其双标图不包含品种的丰产性信息, 仅表达了 G×E 信息。在 AMMI II 双标图中, 越接近坐标原点其交互作用越小, 品种稳定性越高试点的分辨力越低; 坐标原点与试验点的距离代表试点的交互效应大小, 距离长的交互效应大。试点分辨力高, 距离短的交互效应小, 试点分辨力较低。根据各试点在 IPCA1、IPCA2 上得分作 AMMI II 双标图(图1)。图1中出苗率、分蘖率、株高、茎径、单茎重、有效茎数、蔗茎产量和含糖量等8个性状的 IPCA1 和 IPCA2 分别解释了交互作用总变异平方和的 84.25%、89.84%、79.09%、81.50%、86.99%、84.88%、73.73% 和 74.61%。从出苗率分析, 距坐标原点最近的试点为福建福州和福建漳州, 其交互效应较小、分辨力较低, 距离较远的试点有云南瑞丽、广东遂溪和云南开远, 其交互效应较大、分辨力较高; 从分蘖率分析, 距坐标原点最近的试点为广东遂溪和福建漳州, 其交互效应

较小、分辨力较低, 距离较远的试点有福建福州、云南瑞丽和云南开远, 其交互效应较大、分辨力较高; 从株高性状分析, 距坐标原点最近的试点为广东遂溪和福建漳州, 其交互效应较小、分辨力较低, 距离较远的试点有福建福州、云南瑞丽和云南开远, 其交互效应较大、分辨力较高; 从茎径性状分析, 距坐标原点最近的试点为广东遂溪和福建漳州, 其交互效应较小、分辨力较低, 距离较远的试点有福建福州、云南瑞丽和云南开远, 其交互效应较大、分辨力较高; 从单茎重性状分析, 距坐标原点最近的试点为福建福州、云南瑞丽和云南开远, 其交互效应较小、分辨力较低, 距离较远的试点有广东遂溪和福建漳州, 其交互效应较大、分辨力较高; 距坐标原点最近的试点为广东遂溪和福建漳州, 其交互效应较小、分辨力较低, 距离较远的试点有福建福州、云南瑞丽和云南开远, 其交互效应较大、分辨力较高; 从蔗茎产量性状分析, 距坐标原点最近的试点为云南开远和云南瑞丽, 其交互效应较小、分辨力较低, 距离较远的试点有福建福州、广东遂溪和福建漳州,

其交互效应较大、分辨力较高;从含糖量性状分析,距坐标原点最近的试点为福建福州、广东遂溪和福建漳州,其交互效应较小、分辨力较低,距离较远的试点有云南开远和云南瑞丽,其交互效应较大、分辨力较高。

2.4 品种与试验地点的最佳适应性分析

从图2可看出,从出苗率(图3:A)分析, YG16在广东遂溪具有最佳适应性, MT96-6016在福州漳州具有最佳适应性, GN99-591在云南开远具有最佳适应性, ROC16在云南瑞丽和福建福州具有最佳适应性;从分蘖率(图3:B)分析, YG16在云南瑞丽具有最佳适应性, MT96-6016在福建福州具有最佳适应性, GF98-296在云南开远、广东遂溪和福建漳州具有最佳适应性;从株高(图3:C)分析, GY6在云南瑞丽、云南开远、广东遂溪和福建漳州具有最佳适应性, GN99-591在福建福州具有最佳适应性;从茎径(图3:D)分析, YZ99-91在云南开远具有最佳适应性, YG16在云南瑞丽和广东遂溪具有最佳适应性, FN30在福建福州具有最佳适应性, FN28在福建漳州具有最佳适应性;从单茎重(图4:A)分析, GY6在云南瑞丽、云南开远和广东遂溪

具有最佳适应性, GN99-591在福建漳州具有最佳适应性, FN30在福建福州具有最佳适应性;从有效茎数性状(图4:B)进行分析, MT96-6016在云南瑞丽和广东遂溪具有最佳适应性, GF98-296在云南开远和福建漳州具有最佳适应性;从甘蔗蔗茎产量(图4:C)分析, YG16在云南瑞丽、云南开运和福建福州具有最佳适应性, MT96-6016在福建漳州具有最佳适应性, GY6在广东遂溪具有最佳适应性;从甘蔗含糖量(图4:D)分析, YG16在云南开远和云南瑞丽具有最佳适应性, MT96-6016在福建漳州具有最佳适应性, GY6在福建福州具有最佳适应性。

2.5 甘蔗蔗糖分评价

从表3可以看出,甘蔗蔗糖分最高的品种是FN28,其次为YG18,与对照达极显著差异水平。YZ99-91和FN30与对照达显著差异,而GN99-591与对照的差异不显著。MT96-6016和GF98-296的甘蔗蔗糖分都高于对照,但差异不显著。YG16、GY6、MT95-261和RB74-5418的甘蔗蔗糖分低于对照,但差异不显著。

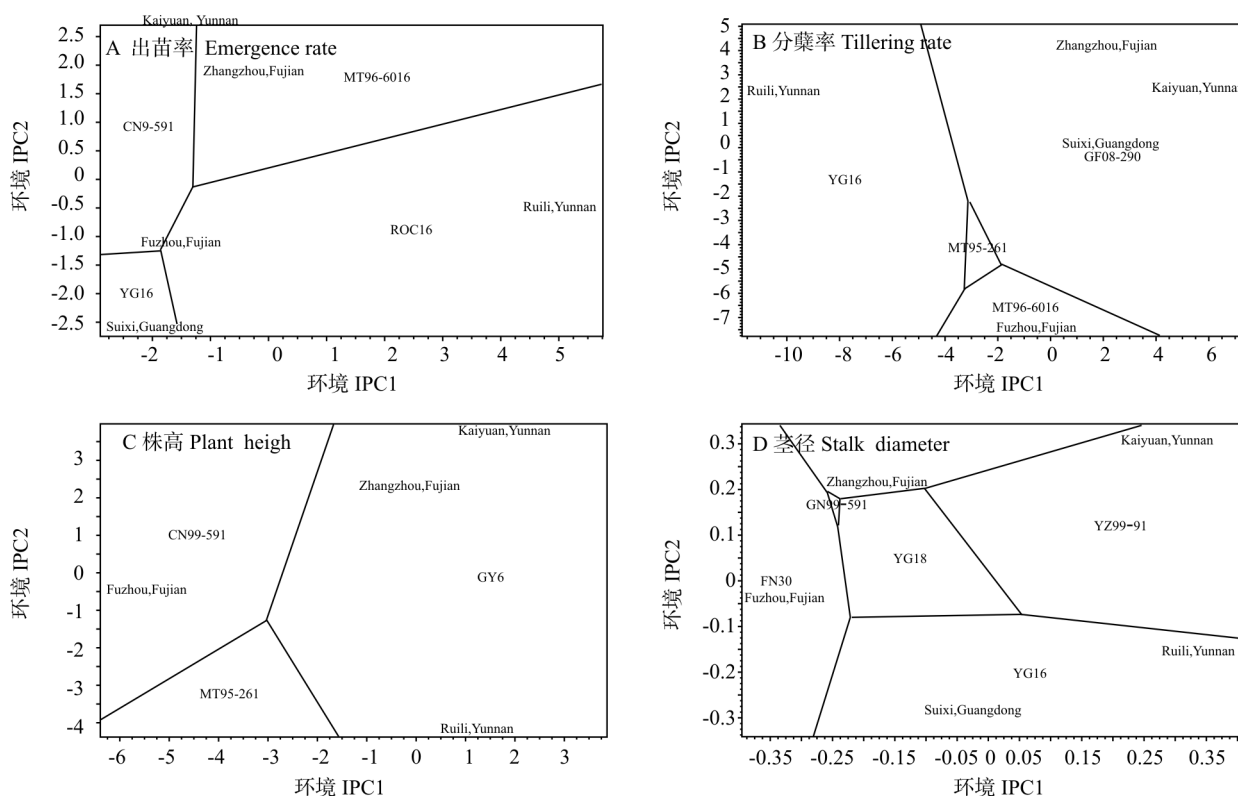


图3 出苗率、分蘖率、株高和茎径的最佳适应图

Fig. 3 AMMI2 mega-environment diagram of emergence rate, tillering rate, plant height and stalk diameter

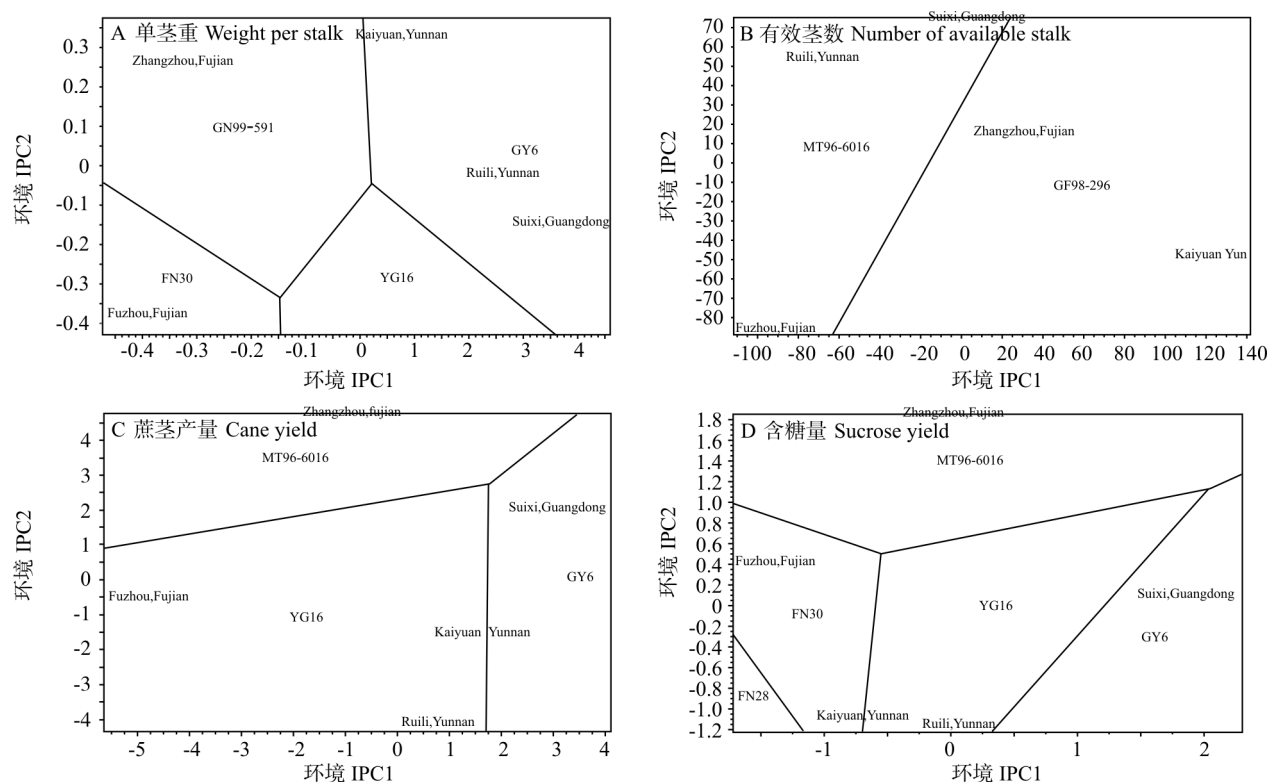


图4 单茎重、有效茎数、蔗茎产量和含糖量的最佳适应图

Fig. 4 AMMI2 mega-environment diagram of weight per stalk, available stalk number, cane yield and sucrose yield

表3 各参试品种在不同月份的甘蔗蔗糖分

Table 3 Sugar yield of sugarcane lines in different month

品种 Variety	月份 Month					平均 Mean
	11	12	1	2	3	
RB76-5418	11.85dC	13.31eCD	14.97cdBC	15.33dDE	15.34dC	14.14gG
FN28	15.10aA	15.80aA	16.38aA	17.08aA	16.95abAB	16.28aA
FN30	13.93abcAB	15.31abcAB	15.67abcABC	16.18bcdABCDE	16.43abcABC	15.48bcABCD
GN99-591	14.11abAB	15.20abcAB	15.96abAB	15.87cdBCDE	15.82cdABC	15.38bcdBCDE
GF98-296	11.74dC	14.21cdeBCD	15.51abcABC	16.50abcABCD	16.18abcdABC	14.84cdefCDEFG
GY6	12.54cdBC	14.02deBCD	15.09bcdBC	15.29dE	15.95bcdABC	14.56efgEFG
MT95-261	11.72dC	13.25eD	14.60dC	15.57dCDE	16.09bcdABC	14.26fgFG
MT96-6016	13.59bcABC	14.29bcdeBCD	15.50abcdABC	15.76cdBCDE	16.33abcdABC	15.10cdeBCDEF
YG16	12.88bcdBC	14.02deBCD	15.04cdBC	15.28dE	15.69cdBC	14.60efgDEFG
YG18	14.25abAB	15.38abAB	16.09aAB	16.78abAB	17.11aA	15.92abAB
YZ99-91	14.09abAB	14.78abcdABC	15.71abcABC	16.53abcABC	16.45abcABC	15.50bcABC
ROC16	12.52cdBC	14.27bcdeBCD	15.16bcdBC	15.44dCDE	16.39abcABC	14.76defgCDEFG

*: $P < 5\%$; **: $P < 1\%$.

2.6 基于AMMI模型的系统聚类

以甘蔗蔗茎产量和含糖量以及相应的 D_i 值为评价指标,采用数据标准化的数据转换方法、绝对值距离相似尺度、最长距离法进行系统聚类分析,得到聚类谱系图(图5),当取阈值 $T=3.63$ 时,供试材料可分为5类,第1类有GY6和MT96-6016,

蔗茎产量和含糖量较高,而稳定性较差;第2类有FN28、GN99-591和GF98-296,蔗茎产量较低,稳定性较差,含糖量较低,稳定性较强;第3类有FN30和YG16,蔗茎产量和含糖量高,稳定性强;第4类有YG18、RB76-5418和MT95-261,蔗茎产量稳定性较强,含糖量较高;第5类有YZ99-91和

ROC16, 蔗茎产量较低, 含糖量较低, 稳定性较强。

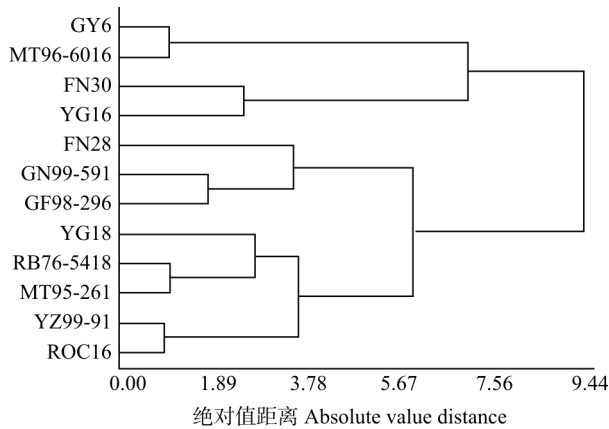


图5 基于 AMMI 模型的系统聚类结果

Fig. 5 Hierarchical cluster based on AMMI Model

3 结论和讨论

作物品种的稳产性、适应性是决定其推广应用价值的重要指标, 而区域试验的地点鉴别力也是育种工作者比较关心的问题。甘蔗区域试验中供试品种(系)的产量性状易受干旱、台风、田间积水等试验条件、气候因素、环境条件甚至人为或自然等因素的影响, 因此株高、茎径、单茎重、有效茎数等 4 个甘蔗农艺性状的 G×E 互作效应不大, 但蔗茎产量和含糖量的 G×E 互作效应却达到 50% 左右。因此扩大试点范围, 提高甘蔗区域试验中试点的代表性, 全面分析甘蔗各个产量性状的稳定性和适应性对全面评价甘蔗品种有着重要意义。

甘蔗品种的适应性好坏既要考虑稳定性, 也要考虑丰产性。同时, 甘蔗是工业原料作物, 在考虑蔗茎产量的同时, 由于甘蔗蔗糖分的影响, 含糖量的丰产性和稳定性也发生变化。在高产前提下的稳产品种才具有广泛适应性, 而低产品种即使稳定性很好也不适宜广泛种植。有些品种蔗茎产量的丰产性和稳定性都很好, 但由于甘蔗蔗糖分较低, 导致含糖量较低, 其推广价值也不高, 如本研究中 RB76-5418 和 MT95-261, 蔗茎产量较高, 稳定性较强, 但由于其全期平均甘蔗蔗糖分仅 14.14% 和 14.26%, 比 ROC16 (14.76%) 低, 导致其含糖量较低, 其推广价值也不高。

用 AMMI 模型分析时发现株高、茎径、单茎重、有效茎数、蔗茎产量、含糖量等 6 个性状前两个主成分之和分别解释了交互作用总变异平方和的 79.09%、81.50%、86.99%、84.88%、73.73% 和

74.61%。而采用线性回归模型, 这 6 个性状的前两个主成分仅能解释 43.78%、46.73%、26.69%、44.55%、37.18% 和 25.34% 的交互作用平方和。这说明与线性回归模型相比, AMMI 模型可以大大提高分析的准确度, 得出的结果更可靠。品种对环境的反应存在线性和非线性关系, 而且较多情况下可由回归解释的 G×E 互作作用较小。AMMI 模型只分析基因型与环境互作, 以对基因型进行全面评价。可靠的基因型评价方法必须同时考虑基因型和基因型与环境互作, 本研究应用基于 AMMI 模型的系统聚类将 12 个基因型分为 5 类, 分析出 FN30、YG16 是蔗产量和糖产量高、综合性状好、稳定性强的优良甘蔗新品种。由于 GGE-biplot 分析比 AMMI 模型可以解释更多的基因型和基因型×环境互作效应(G+GE)^[17-20], 进一步的试验可以将 GGE-Biplot 分析应用于甘蔗品种区域试验分析。

本研究将 AMMI 双标图法引入甘蔗区域试验产量性状的稳定性分析, 有利于全面研究甘蔗产量性状 G×E 交互作用。本研究通过区域试验, 筛选出 FN30 和 YG16 等 2 个蔗茎产量和含糖量高, 稳定性强的高产稳产型甘蔗品种。2008 年参加国家甘蔗品种区域试验的 12 个品种中, 可明显地区分为 5 类, 第 1 类包括 GY6 和 MT96-6016, 蔗茎产量和含糖量较高而稳定性较差; 第 2 类包括 FN28、GN99-591 和 GF98-296, 蔗茎产量较低稳定性较差, 含糖量较低但稳定性较强; 第 3 类包括 FN30 和 YG16, 蔗茎产量和含糖量高, 稳定性强; 第 4 类包括 YG18、RB76-5418 和 MT95-261, 蔗茎产量稳定性较强, 含糖量较高; 第 5 类包括 YZ99-91 和 ROC16, 蔗茎产量较低, 稳定性较强, 含糖量较低, 稳定性较强。甘蔗产量稳定性受年份影响显著, 特别是甘蔗的宿根性受环境和气候影响显著, 因此, 上述品种的稳定性仅供各地在选择适宜品种推广应用时参考。

参考文献

- [1] Chen R K. Theory and Practice in Modern Sugarcane Breeding [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 2-12.
陈如凯. 现代甘蔗育种理论和实践 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 2-12.
- [2] Luo J, Zheng X W, Chen R K, et al. Technical Specification of Crop Variety Trials: Sugarcane NY/T 1784-2009 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2009: 1-8.
罗俊, 郑学文, 陈如凯, 等. NY/T 1784-2009 农作物品种试验技

- 术规程 甘蔗 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 1-8.
- [3] Chen R K, Wen S H, Zhang H, et al. Identification of Crop Varieties Specification: Sugarcane NY/T 1786-2009 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2009: 1-8.
陈如凯, 文尚华, 张华, 等. NY/T 1786-2009 农作物品种鉴定规范 甘蔗 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 1-8.
- [4] Becker H C, Léon J. Stability analysis in plant breeding [J]. *Plant Breed*, 1988, 101(1): 1-23.
- [5] Eberhart S A, Russell W A. Stability parameters for comparing varieties [J]. *Crop Sci*, 1966, 6(1): 36-40.
- [6] Tai G C C. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials [J]. *Crop Sci*, 1971, 11(2): 184-190.
- [7] Gauch H G Jr. Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs [M]. Amsterdam: Elsevier, 1992: 1-27.
- [8] Zhang Z, Lu C, Xiang Z H. Analysis of variety stability based on AMMI model [J]. *Acta Agron Sin*, 1998, 24(3): 304-309.
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] Crossa J, Fox P N, Pfeiffer W H, et al. AMMI adjustment for statistical analysis of an internal wheat yield trial [J]. *Theor Appl Genet*, 1991, 81(1): 27-37.
- [10] Li Y Y, Feng Z, Zhao L Y. Analysis of stability of flower yield of rugosa rose cultivars with AMMI Model [J]. *Sci Agri Sin*, 2008, 41(6): 1761-1766.
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.
- [11] Chang L, Chai S X. Application of AMMI model in the stability analysis of spring wheat in rainfed areas [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, 26(11): 3677-3684.
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.
- [12] Guo T C, Ma D Y, Zhu Y J, et al. Genotype, environment and their interactive effects on main quality traits of winter-sown wheat variety [J]. *Sci Agri Sin*, 2004, 37(7): 948-953.
郭天财, 马冬云, 朱云集, 等. 冬播小麦品种主要品质性状的基因型与环境及其互作效应分析 [J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 948-953.
- [13] Norton A J, Bennett S J, Hughes M, et al. Determining the physical properties of flax fibre for industrial applications: The influence of agronomic practice [J]. *Ann Appl Biol*, 2006, 149(1): 15-25.
- [14] Adugna W, Labuschagne M T. Genotype-environment interactions and phenotypic stability analyses of linseed in Ethiopia [J]. *Plant Breed*, 2002, 121(1): 66-71.
- [15] Campbell B T, Jones M A. Assessment of genotype \times environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials [J]. *Euphytica*, 2005, 144(1/2): 69-78.
- [16] Tang Q Y, Feng M G. DPS Data Processing System: Experimental Design, Statistical Analysis and Data Mining [M]. Beijing: Science Press, 2007: 484-492.
- [17] Li B G, Yan J, He Z H, et al. Analyzing site discrimination in crop regional yield trials by AMMI model [J]. *Acta Agron Sin*, 2004, 30(6): 593-596.
李本贵, 阎俊, 何中虎, 等. 用AMMI模型分析作物区域试验中的地点鉴别力 [J]. 作物学报, 2004, 30(6): 593-596.
- [18] Zhang Z F, Fu X F, Liu J Q, et al. Yield stability and testing-site representativeness in national regional trials for oat lines based on GGE-Biplot analysis [J]. *Acta Agron Sin*, 2010, 36(8): 1377-1385.
张志芬, 付晓峰, 刘俊青, 等. 用GGE双标图分析燕麦区域试验品系产量稳定性及试点代表性 [J]. 作物学报, 2010, 36(8): 1377-1385.
- [19] Yan W K, Sheng Q L, Hu Y G, et al. GGE biplot: An ideal tool for studying genotype by environment interaction of regional yield trial data [J]. *Acta Agron Sin*, 2001, 27(1): 21-27.
严威凯, 盛庆来, 胡跃高, 等. GGE叠图法——分析品种 \times 环境互作模式的理想方法 [J]. 作物学报, 2001, 27(1): 21-27.
- [20] Chen S L, Li Y R, Cheng Z S, et al. GGE biplot analysis of effects of planting density on growth and yield components of high oil peanut [J]. *Acta Agron Sin*, 2009, 35(7): 1328-1335.
陈四龙, 李玉荣, 程增书, 等. 用GGE双标图分析种植密度对高油花生生长和产量的影响 [J]. 作物学报, 2009, 35(7): 1328-1335.