

用 AMMI 模型分析玫瑰品种产花量的稳定性

李艳艳, 丰震, 赵兰勇

(山东农业大学林学院, 山东泰安 271018)

摘要: 【目的】研究玫瑰 (*Rosa rugosa* Thunb.) 不同品种单株产花量的年度稳定性问题。【方法】选用 13 个玫瑰品种, 采用随机区组试验设计, 4 次重复, 每小区 10~12 株, 连续两年测定各品种的单株产花量, 应用 AMMI (additive main effects and multiplicative interaction, 又称为主效可加交互可乘) 模型对连续两年的单株产花量的基因型、环境和基因型与环境 ($G \times E$) 互作进行了探讨。【结果】基因型、环境及 $G \times E$ 互作的平方和分别占总平方和的 65.610%、12.352%、22.038%, 均达极显著水平, 而误差仅占 $2.75 \times 10^{-17}\%$, 参试品种的单株产花量在 500~1 500 g; AMMI 双标和排序图表明, 紫云、玉盘、唐紫、唐粉、紫枝玫瑰、朱龙游空与 2006 年的环境互作为正, 而与 2007 年的环境互作为负; 赛西子、唐红、西子、紫芙蓉、朱紫双辉、紫雁、香刺果与 2007 年的环境互作为正, 与 2006 年的环境互作为负。AMMI 品种适应性分析显示, 朱龙游空、唐紫和赛西子具有最佳适应性。【结论】AMMI 模型很好地解释了玫瑰品种产量性状的基因型效应、环境效应和 $G \times E$ 互作效应。根据分析结果可以得出以下结论, 单株产花量高且稳定的品种有西子、紫芙蓉和赛西子 (1 200~1 800 g), 相对稳定的品种有玉盘、唐粉、紫枝玫瑰、紫云、紫雁和朱紫双辉 (800~1 150 g), 高产但较不稳定的品种有唐紫和朱龙游空 (1 700~2 600 g), 产量低也不稳定的品种是唐红和香刺果 (500~600 g)。

关键词: 玫瑰; 稳定性; $G \times E$ 互作; AMMI 模型

Analysis of Stability of Flower Yield of Rugosa Rose Cultivars with AMMI Model

LI Yan-yan, FENG Zhen, ZHAO Lan-yong

(College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong)

Abstract: 【Objective】 The aim of this research is to study the stability of flower yield/plant of rugosa rose cultivars in different years. Thirteen rugosa rose cultivars were tested, randomized completed block design with 4 replicates and 10-12 individuals for each replicate was employed in this experiment. 【Method】 The flower yield/plant during the continuous two years was measured and analyzed by AMMI (additive main effects and multiplicative interaction) model. The article discussed the genotype, environment and interactive effects of genotype by environment ($G \times E$) of flower yield/plant. 【Result】 The results showed that the proportions of the sum of squares of genotype, environment and $G \times E$ interactive effects on total sum of squares was 65.610%, 12.352%, 22.038% respectively, the error only $2.75 \times 10^{-17}\%$. And there were significant effects in genotype, environment and $G \times E$ interaction. The flower yield/plant in the 13 cultivars was mainly between 500-1 500 g. AMMI plots and taxis plots showed that there were positive interaction effects of cultivars *R. rugosa* Purple Cloud, *R. rugosa* Jade Plate, *R. rugosa* Tang Purple, *R. rugosa* Tang Pink, *R. rugosa* Purple Branch, *R. rugosa* Puce Dragon by environment in 2006 and negative by environment in 2007, positive interaction effects of cultivars *R. rugosa* Saixizi, *R. rugosa* Tang Red, *R. rugosa* Xizi, *R. rugosa* Zifurong, *R. rugosa* Zhuzishuanghui, *R. rugosa* Purple Goose, *R. rugosa* Xiangciguoguo by environment in 2007 and negative by environment in 2006. The adaptability analysis revealed that *R. rugosa* Puce Dragon, *R. rugosa* Tang Purple, *R. rugosa* Saixizi were optimal adaptation to environment. 【Conclusion】 AMMI model explained clearly the genotype, environment and $G \times E$ interactions on yield trait in rugosa rose cultivars. It is concluded that the most stable and high output cultivars were *R. rugosa* Xizi, *R. rugosa* Zifurong and *R. rugosa*

收稿日期: 2007-10-25; 接受日期: 2008-01-09

基金项目: 山东省良种产业化资助项目[鲁科农字(2002)228号]

作者简介: 李艳艳(1982-), 女, 山东诸城人, 硕士研究生, 研究方向为园林植物遗传育种。E-mail: ylyy8267@163.com。通讯作者丰震(1961-), 男, 山东聊城人, 教授, 研究方向为园林植物遗传育种。E-mail: fengzn408@126.com; fengzh@sdau.edu.cn

Saixizi (1 200-1 800 g). The relative stable ones were *R. rugosa* Jade Plate, *R. rugosa* Tang Pink, *R. rugosa* Purple Branch, *R. rugosa* Purple Cloud, *R. rugosa* Purple Goose and *R. rugosa* Zhuzishuanghui (800-1 150 g). The high yield but less unstable cultivars were *R. rugosa* Tang Purple and *R. rugosa* Puce Dragon (1 700-2 600 g). The lower yield and unstable cultivars were *R. rugosa* Tang Red and *R. rugosa* Xiangcigu (500-600 g).

Key words: Rugosa rose; Stability; G×E interaction; AMMI model

0 引言

【研究意义】玫瑰 (*Rosa rugosa* Thunb.) 鲜花含有多种微量元素, 维生素 C 含量很高, 珍贵的玫瑰精油含量高达 0.046%^[1], 玫瑰精油在国际市场有“液体黄金”之称。玫瑰花还可以制作玫瑰酱和玫瑰茶等, 因而对玫瑰品种产花量的高产稳产特性进行评价和品种筛选的研究具有重要的理论与实践价值。【前人研究进展】近年来, 随着玫瑰产品需求量的增加, 相关科学研究也增多, 在关于玫瑰花的采收时间^[2]、采后生理^[3]、精油提取工艺^[4]、品种分类^[5,6]、数量遗传^[7]、光合特性比较^[8]等方面都有比较深入的研究, 但关于玫瑰不同品种产花量的稳定性方面未见相关研究报告。品种的稳定性主要决定于基因型与环境互作 (G×E) 效应的大小, 有效的 G×E 分析方法对正确评价玫瑰品种产花量的稳定性有至关重要的作用。AMMI 模型 (additive main effects and multiplicative interaction, 又称为主效可加互作可乘模型) 最早由 Guach^[9]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, 不仅能分析交互作用的显著性, 还能估计出交互作用的特点及形态。AMMI 模型是目前国际上流行的分析作物品种区试数据非常有效的模型, 现已被广泛用来研究基因型与环境 (G×E) 互作效应、农作物^[10-17]区域试验的产量性状分析和作物性状配合力分析^[18-20]。【本研究切入点】定量比较参试品种产花量的相对稳定性, 探讨玫瑰不同品种的高产稳产特性和深入认识玫瑰稳定性的内在规律特点成为亟待解决的问题, 这些问题的解决也将填补国内外对玫瑰品种

产花量稳定性研究的空白。【拟解决的关键问题】本文引入 AMMI 模型, 对同一个地点的玫瑰不同品种的产花量稳定性进行研究, 探讨玫瑰不同品种产花量的年度稳定性, 为某一特定地区玫瑰品种产花量的稳定性评价提供相关理论基础, 对玫瑰高产稳产品种的筛选和实现玫瑰花产业的高产稳产具有重要意义。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

选用 13 个玫瑰品种 (表 1), 试验地设在山东泰安山东农业大学林学实验站苗圃, 采用随机区组设计, 4 次重复, 每小区 10~12 株, 株行距 1.0 m×1.5 m, 2002 年春季定植, 2006、2007 年连续两年调查, 两年 1~5 月份的气象因子差异见表 2。在这两年中并未对玫瑰苗圃进行特别的施肥管理, 只是定期进行除草、除虫管理, 所以 1~5 月份的气象因子就代表了对这个时期的环境影响。

1.2 试验方法

每个品种抽取 6 株, 测定单株花蕾数、单个花蕾鲜重, 测定方法依据有关文献^[21], 单株花蕾数为整个花期的所有花蕾, 单株产花量=单个花蕾鲜重×单株花蕾数。

AMMI 分析可以鉴别一些具有特殊品种基因型和环境 (G×E) 互作效应的基因型, 为针对某一特殊环境的特殊适应性品种的选育提供有价值的信息。该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, 具有形式如下:

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

表 1 供试玫瑰品种列表

Table 1 The list of rugosa rose cultivars

编号 Code	品种 Cultivars	编号 Code	品种 Cultivars	编号 Code	品种 Cultivars
g1	赛西子 <i>R. rugosa</i> 'Saixizi'	g6	唐紫 <i>R. rugosa</i> 'Tang Purple'	g11	紫雁 <i>R. rugosa</i> 'Purple Goose'
g2	紫云 <i>R. rugosa</i> 'Purple Cloud'	g7	唐粉 <i>R. rugosa</i> 'Tang Pink'	g12	朱龙游空 <i>R. rugosa</i> 'Puce Dragon'
g3	唐红 <i>R. rugosa</i> 'Tang Red'	g8	紫芙蓉 <i>R. rugosa</i> 'Zifurong'	g13	香刺果 <i>R. rugosa</i> 'Xiangcigu'
g4	西子 <i>R. rugosa</i> 'Xizi'	g9	紫枝玫瑰 <i>R. rugosa</i> 'Purple Branch'		
g5	玉盘 <i>R. rugosa</i> 'Jade Plate'	g10	朱紫双辉 <i>R. rugosa</i> 'Zhuzishuanghui'		

表 2 主要气象因子数据

Table 2 The data of meteorological factors

	年/月 Year/month									
	2006/01	2007/01	2006/02	2007/02	2006/03	2007/03	2006/04	2007/04	2006/05	2007/05
最高温度 Max temperature (°C)	3	4	5	11	15	13	21	21	26	28
平均温度 Mean temperature (°C)	1	0	3	7	11	9	17	16	22	23
最低温度 Min temperature (°C)	-2	-3	0	3	7	6	12	11	17	18
热度日 Heating degree days (base 65°F)	990	993	787	542	430	514	151	153	28	8
冷度日 Cooling degree days (base 65°F)	0	0	0	0	3	2	67	48	219	291
生长度日 Growing degree days (base 50°F)	0	0	3	24	129	107	378	346	655	753
露点 Dew point(°C)	-7	-11	-8	-5	-6	-1	3	3	10	10
降水 Precipitation (mm)	1	0	1	8	1	20	12	19	176	31

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 (各个基因型平均值减去总的平均值), β_e 是环境的平均偏差 (各个环境的平均值减去总的平均值), 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_{en} 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。利用唐启义^[22]DPS7.55 统计分析软件的 AMMI 模型分析模块进行分析。

2 结果与分析

在不同年份方差同质的基础上, 对玫瑰单株产花量进行方差分析, 结果表明, 不同品种间、不同环境间达到了极显著差异 ($P < 0.01$)。此外, $G \times E$ 之间也存在极显著互作效应 (表 3), 故有必要利用 AMMI 模型对产花量进行品种稳定性分析。分析基因型、环境以及 $G \times E$ 互作对单株产花量的影响, 对 2006 年、2007 年 13 个玫瑰品种的单株产花量进行了 AMMI 模

表 3 玫瑰单株产花量数据方差分析、线性模型和 AMMI 模型分析

Table 3 ANOVA, linear regression and AMMI analysis of the yields in *Rosa rugosa*

方法 Methods	项目 Items	df	SS	F	P
方差分析 Analysis of variance	总的 Total	38	16672384.17		
	基因 G	12	10938726.89	5.9543	0.0001**
	环境 E	2	2059415.809	6.726	0.0048**
	误差 Error	24	3674241.463		
线性回归分析 Linear regression analysis	总的 Total	38	16672384.17		
	基因 G	12	10938726.89	-1.08E+16	0.0001**
	环境 E	2	2059415.809	-1.22E+16	0.0001**
	交互作用 $G \times E$	24	3674241.463	-1.81E+15	0.0001**
	联合回归 Joint-regression	1	1710003.857	-2.02E+16	0.0001**
	基因回归 Gene-regression	11	1964237.606	-2.11E+15	0.0001**
	环境回归 E-regression	1	4.66E-10	-5.5	0.0388*
AMMI 模型 AMMI model	总的 Total	38	16672384.17		
	基因 G	12	10938726.89	2.15E+16	0.0001**
	环境 E	2	2059415.809	2.43E+16	0.0001**
	交互作用 $G \times E$	24	3674241.463	3.62E+15	0.0001**
	主成分分析 PCA1	13	3674241.463	6.68E+15	0.0001**
	误差 Error	11	4.66E-10		

* 表示达到显著差异 ($P < 0.05$); ** 表示达到极显著差异 ($P < 0.01$)

* Represents difference at $P < 0.05$; ** Represents significant different at $P < 0.01$

型分析(表 3)。结果表明,基因型、环境及 G×E 互作的平方和分别占总平方和的 65.610%、12.352%、22.038%,均达极显著水平,而误差仅占 $2.75 \times 10^{-17}\%$ 。线性回归模型中联合回归能解释 10.257%的 G×E 互作。单株产花量的 AMMI 模型分析乘积项表现为极显著,解释了 22.038%的交互平方和即交互作用,回归分析也解释了相同的交互作用,但是在一般的方差分析中却将交互作用解释为误差,不存在 G×E 的交互作用。由 AMMI 的分析结果也可以看出,考虑到第一项的交互作用就能考察到绝大部分的交互作用。这也表明,AMMI 模型能很好解释产量性状 G×E 的互作。AMMI 模型也给出了基因型、环境及其交互作用的检验均达到了极显著差异。

以品种的单株产花量为 x 轴,品种和地点的 IPCA1 (interaction principal component axis, 互作效应主成分分析) 值为纵轴作双标图,同时也可以作 AMMI 分析排序图,以接近单株产花量平均值的西子和其离差为标准,作通过该点的两条直线(图 1)。从图 1 可以看出,在水平方向上,除了赛西子、唐紫和朱龙游空,其它品种的单株产花量主要集中在 500~1 500 g,特别是在 1 000 g 附近,并且可以看出大多数品种的单株产花量都集中在 2006 年(e1),说明 2006 年的环境要比 2007 年(e2)更适合玫瑰品种花蕾的发育。在垂直方向,如果以 IPCA1=0 作一条水平线,紫云、玉盘、唐紫、唐粉、紫枝玫瑰、朱龙游空与 2006 年的环境的互作为正,即对其产花量的提高有积极的作用,与 2007 年的环境互作为负,同样地,赛西子、唐红、西子、紫芙蓉、朱紫双辉、紫雁、香刺果与 07 年的环境互作为正,与 2006 年的环境的互

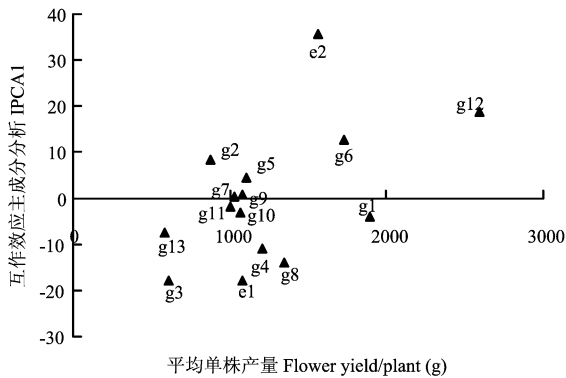


图 1 双标图和品种排序图
Fig. 1 AMMI plots and taxis plots

作为负,对单株产花量有减弱的作用。这时通过它们的空间位置可以分析其品种特性:西子的产花量特性优于唐红和香刺果,却比落在它右边的紫芙蓉和赛西子的差。因而,高产而又稳定的品种有西子、紫芙蓉和赛西子,相对稳定的品种有玉盘、唐粉、紫枝玫瑰、紫云、紫雁和朱紫双辉,高产而又不稳定的品种有唐紫和朱龙游空,产量低也不稳定的品种是唐红和香刺果。

以 IPCA1 为横坐标,AMMI 分析的单株产花量的理论产量为 y 轴作 AMMI 品种适应图(图 2):如果忽略环境主效应,用品种主效应和 IPCA1 值估计产量比较品种的产量即 $y_i = \mu + \alpha_i + u_{in}x$, 其中 y_i 是在环境 e 中基因型 g 的产量, μ 代表总体平均值, α_i 是基因型平均偏差(各个基因型平均值减去总的平均值), u_{in} 是第 n 个主成分分析的特征值, x 是以环境的 IPCA1 的可能值作为值域的变量。这里不需要考虑环境效应是因为它只是将产花量直线沿着产花量坐标一块移上或移下,每一品种对应一条直线,在同一图上画出所有品种对应的直线,并在 x 轴内侧上标出的是参试环境代码,则处于最上端的折线对应的品种即为有最佳适应性的品种。试验中,从产花量水平角度来看,在参试环境范围内,朱龙游空、唐紫和赛西子 3 个品种表现较佳。

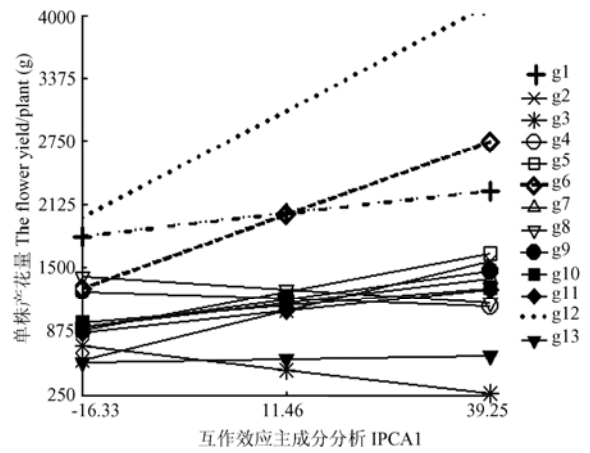


图 2 品种适应性分析图
Fig. 2 The relationship between IPCA1 and AMMI

3 讨论

品种(基因型)对环境的稳定性,一直受到育种工作者的关注^[23~25]。对于品种在不同环境条件下的稳

定性, 以往多采用回归分析方法来评价, 但该方法对环境效应与遗传效应不是独立估计, 并且品种与环境的互作效应也并非简单线性叠加, 因此不是一种理想的互作效应分析方法。玫瑰在中国有数千年的栽培历史, 但是其产花量的遗传育种研究极少。本文作者曾对玫瑰的单株产花量进行过灰色分析^[21], 主要是采用灰色分析和 Kriging 插值来研究影响产量的相关因子, 从中找出关键因子, 解决如何选育的问题。本文是在前文的基础上进一步讨论品种在产花量方面的稳定性。AMMI 模型集方差分析和主成分分析于一体, 不仅能分析 $G \times E$ 交互作用的显著性及其特点, 还能分析基因型相关性状的稳定性。而利用双标图直观形象的特点, 又能分析 $G \times E$ 的互作模式, 为品种稳定性评价提供一条方便有效的途径。

4 结论

本研究将 AMMI 模型引入玫瑰产花量性状的年度稳定性分析, 更有利于全面研究玫瑰产花量性状 $G \times E$ 的交互作用。根据该模型分析结果, 可以得出在山东泰安山东农业大学林学站苗圃参试的玫瑰品种中, 单株产花量高且稳定的品种有西子、紫芙蓉和赛西子, 相对稳定的品种有玉盘、唐粉、紫枝玫瑰、紫云、紫雁和朱紫双辉, 高产但较不稳定的品种有唐紫和朱龙游空, 产量低也不稳定的品种是唐红和香刺果。在进行玫瑰花生产时应选用产量较高、适应性又好的品种, 本论文仅对两个年度的数据进行了分析, 关于长期表现还有待于进一步研究。

References

- [1] 金敬红. 玫瑰的综合开发. 中国野生植物资源, 2000, (6): 21-25.
Jin J H. Comprehensive development in rose. *Chinese Wild Plant Resources*, 2000, (6): 21-25. (in Chinese)
- [2] 马希汉, 王永红, 尉 芹, 张广军. 玫瑰花精油含量的动态变化. 林业科学, 2006, 42(3): 77-80.
Ma X H, Wang Y H, Wei Q, Zhang G J. Dynamic changes of essential oil from oil-bearing rose. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(3): 77-80. (in Chinese)
- [3] 孙守家, 赵兰勇, 于守超, 仇兰芬, 赵汝诗. 平阴玫瑰鲜花花蕾采后衰老生理机制研究. 林业科学, 2004, 40(5): 79-83.
Sun S J, Zhao L Y, Yu S C, Qiu L F, Zhao R S. Study on the physiological mechanism of postharvest senescence in flower buds of *Rosa rugosa* cultivars in Pingyin County. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(5): 79-83. (in Chinese)
- [4] 张 睿, 魏安智, 杨途熙, 撒文清, 杨 恒, 杜保国. 秦渭玫瑰精油提取工艺研究. 林业科学, 2005, 41(4): 216-218.
Zhang R, Wei A Z, Yang T X, Sa W Q, Yang H, Du B G. Research on technic of rose otto production from Qinwei rose. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(4): 216-218. (in Chinese)
- [5] 王文莉, 赵兰勇, 丰 震, 朱西存, 张友朋, 王延龄. 平阴玫瑰花粉显微形态及品种分类研究. 园艺学报, 2005, 32 (3): 527-530.
Wang W L, Zhao L Y, Feng Z, Zhu X C, Zhang Y P, Wang Y L. Studies on pollen submicroscopic morphology and cultivars classification in Pingyin rose. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(3): 527-530. (in Chinese)
- [6] 于守超, 丰 震, 赵兰勇. 平阴玫瑰品种数量分类研究的探讨. 园艺学报, 2005, 32(2): 327-329.
Yu S C, Feng Z, Zhao L Y. Research on quantitative taxonomy of cultivars in Pingyin rose. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(2): 327-329. (in Chinese)
- [7] 李艳艳, 丰 震, 赵兰勇, 戴庆敏, 张 宝, 张照坤. 玫瑰切花产量性状遗传参数和选择效率的初步研究. 园艺学报, 2007, 34(4): 955-958.
Li Y Y, Feng Z, Zhao L Y, Dai Q M, Zhang B, Zhang Z K. The preliminary studies on genetic parameters and selection efficiency of yield traits of fresh floral bud in *Rosa rugosa*. *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, 34(4): 955-958. (in Chinese)
- [8] 冯立国, 丰 震, 赵兰勇, 生利霞. 野生玫瑰与玫瑰栽培品种光合特性的比较. 林业科学, 2007, 43(2): 31-36.
Feng L G, Feng Z, Zhao L Y, Sheng L X. Comparison of photosynthetic characteristics between wild plants and cultivars of *Rosa rugosa*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(2): 31-36. (in Chinese)
- [9] Gauch Jr H G. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics*, 1998, 44: 705-715.
- [10] Robinson J, Jalli M. Sensitivity of resistance to net blotch in barley. *Journal of Phytopathology*, 1999, 147: 235-241.
- [11] Norton A J, Bennett S J, Hughes M, Dimmock J P R E, Wright D, Newman G, Harris I M, Edwards-Jones G. Determining the physical properties of flax fibre for industrial applications: the influence of agronomic practice. *Annals of Applied Biology*, 2006, 149: 15-25.
- [12] 郭天财, 马冬云, 朱云集, 王晨阳, 夏国军, 罗 毅. 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. 中国农业科学, 2004, 37(7): 948-953.
Guo T C, Ma D Y, Zhu Y J, Wang C Y, Xia G J, Luo Y. Genotype, environment and their interactive effects on main quality traits of winter-sown wheat variety. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 948-953. (in Chinese)

- [13] 蒋开锋, 郑家奎, 赵甘霖, 朱永川, 万先齐. 基于 AMMI 模型的 NCII 交配设计试验的配合力分析. 作物学报, 2000, 26(6): 959-962.
Jiang K F, Zheng J K, Zhao G L, Zhu Y C, Wan X Q. Analysis of combining ability based on AMMI model. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(6): 959-962. (in Chinese)
- [14] 万向元, 胡培松, 王海莲, 孔令娜, 毕京翠, 陈亮明, 张坚勇, 翟虎渠, 万建民. 水稻品种直链淀粉含量糊化温度和蛋白质含量的稳定性分析. 中国农业科学, 2005, 38(1): 1-6.
Wan X Y, Hu P S, Wang H L, Kong L N, Bi J C, Chen L M, Zhang J Y, Zhai H Q, Wan J M. Analysis on stability of AC, GT and PC in rice varieties (*Oryza sativa* L.). *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(1): 1-6. (in Chinese)
- [15] 曾献英. AMMI 模型在棉花区域试验中的应用. 棉花学报, 2004, 16(4): 233-235.
Zeng X Y. Application of AMMI model to analyze regional trial data of cotton. *Cotton Science*, 2004, 16(4): 233-235. (in Chinese)
- [16] 屠曾平. 水稻光合特性研究与高光效育种. 中国农业科学, 1997, 30(3): 28-35.
Tu Z P. Studies on the photosynthetic characteristics of rice and breeding for high use efficiency of solar energy. *Scientia Agricultura Sinica*, 1997, 30(3): 28-35. (in Chinese)
- [17] Wamatu J N, Thomas E. The influence of genotype \times environment interaction on the grain yields of 10 pigeonpea cultivars grown in Kenya. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2002, 188: 25-33.
- [18] Sudarić A, Šimić D S, Vratarić M. Characterization of genotype by environment interactions in soybean breeding programmes of southeast Europe. *Plant Breeding*, 2006, 125: 191-194.
- [19] Fan L J, Hu B M, Shi C H, Wu J G. A method of choosing locations based on genotype \times environment interaction for regional trials of rice. *Plant Breeding*, 2001, 120: 139-142.
- [20] Adugna W, Labuschagne M T. Genotype \times environment interactions and phenotypic stability analyses of linseed in Ethiopia. *Plant Breeding*, 2002, 121: 66-71.
- [21] 李艳艳, 丰震, 赵兰勇, 莫镇华, 张宝. 玫瑰花产量灰色 Kriging 插值及选择指数研究. 中国农业科学, 2008, 41(5): 1429-1435.
Li Y Y, Feng Z, Zhao L Y, Mo Z H, Zhang B. The grey analysis kriging and selection index of flower yield in rugosa rose. *Agricultural Sciences in China*, 2007, 6(12): 1420-1425.
- [22] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2006: 484-492.
Tang Q Y, Feng M G. *DPS Data Processing System*. Beijing: Science Press, 2006: 484-492. (in Chinese)
- [23] 张坚勇, 肖应辉, 万向元, 刘世家, 王春明, 陈亮明, 孔令娜, 翟虎渠, 万建民. 水稻品种外观品质性状稳定性分析. 作物学报, 2004, 30(6): 548-554.
Zhang J Y, Xiao Y H, Wan X Y, Liu S J, Wang C M, Chen L M, Kong L N, Zhai H Q, Wan J M. Stability analysis for appearance qualities of rice cultivar. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(6): 548-554. (in Chinese)
- [24] Campbell B T, Jones M A. Assessment of genotype \times environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials. *Euphytica*, 2005, 144: 69-78.
- [25] Flores F, Moreno M T, Martinez A, Cubero J I. Genotype \times environment interaction in faba bean: comparison of AMMI and principal coordinate models. *Field Crops Research*, 1996, 47: 117-127.

(责任编辑 曲来娥)