

应用 GGE 双标图分析我国春小麦的淀粉峰值粘度

张勇^{1,2} 何中虎^{2,3} 张爱民^{1,4}

(¹中国农业大学作物学院, 北京 100094; ²中国农业科学院作物育种栽培研究所/国家小麦改良中心, 北京 100081; ³CMM YT 中国办事处, 北京, 100081; ⁴中国科学院遗传与发育生物学研究所, 北京 100101)

摘要 将原始数据减去各试点均值后形成的数据集中只含基因型主效 G 和基因型与环境互作效应 GE, 合称 GGE。对 GGE 做单值分解, 以第一和第二主成分近似, 按第一和第二主成分值将所有品种和试点绘于同一平面图即形成 GGE 双标图。以其分析我国春麦区 10 个试点 20 个品种淀粉糊化特性的峰值粘度, 结果表明铁春 1 号在大部分试点峰值粘度表现较好, 其次为晋春 9 号, 而宁作 17 表现最差, 且不稳定。哈尔滨试点具有较高的淀粉峰值粘度, 可用于筛选品种的淀粉品质及其稳定性。

关键词 普通小麦; 基因型; 环境; 基因型与环境互作; 双标图

中图分类号: S512 **文献标识码:** A

GGE Biplot for Studying Paste Property of Chinese Spring Wheat

ZHANG Yong^{1,3} HE Zhonghu^{1,2} ZHANG Aimin³

(¹Crop Science College, China Agricultural University, Beijing 100094; ²Institute of Crop Breeding and Cultivation/National Wheat Improvement Center, Chinese Academy of Agriculture Sciences (CAAS), Beijing 100081; ³CMM YT-China Office, C/O, CAAS, Beijing 100081; ⁴Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences (CAS), Beijing 100101)

Abstract This paper introduced a GGE biplot as a graphic method for analyzing wheat peak viscosity based on data from regional trials. The average performance at each environment was subtracted from the original pasting properties data first so that the derived data contains only genotype main effect G and genotype by environment interaction GE, which were collectively named GGE. The GGE data was then subjected to singular value decomposition and was approximated by the first two principal components. Plotting the first principal component against the second for all genotypes and environments resulted in a GGE biplot. In light of the biplot, peak viscosity of starch pasting characteristics for twenty cultivars from ten locations in Chinese spring-sown spring wheat regions was analyzed. The results indicated that Tiechun1 performed both high and stable for peak viscosity, followed by Jinchun9, while Ningzuo17 performed the poorest. Harbin was the best environment facilitating identification of peak viscosity.

Key words *T. aestivum*; Genotype; Environment; Genotype by environment interaction; Pasting property; GGE Biplot

任何二维矩阵都可以用一个双标图来表现^[1]。通过选择双标图的行向量和列向量可使该矩阵的任意元素正好是相应行向量和列向量的内积, 因而一个双标图可以近似表示一个二维矩阵, 一个多基因型多环境试验(G × E)的数据集可以表现在一个含

有(g+ e)个点的r维双标图上, 并最终表现在一个双标图上, 每个点代表一个基因型或环境, 从而实现对基因型与环境互作模式的图解。

AMM I(主效可加互作可乘)模型在多点试验资料分析中应用较为广泛, 但该模型只分析基因型与

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30060043 和 39930110)。
作者简介: 张勇(1971-), 男, 安徽合肥人, 现为中国农业大学作物学院遗传育种专业博士生, 主要从事小麦品质育种。
致谢: 浙江杭州中国水稻研究所的王磊博士对论文修改提出了宝贵意见, 致以谢意。
Received on (收稿日期): 2002-03-07, Accepted on (接受日期): 2002-05-20

环境互作^[12-9], 因而难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, 因此部分学者把基因型和基因型与环境互作合称为“GGE”^[10-15]。由于峰值粘度可较好地反映淀粉品质^[16-18], 本文采用 GGE 模型, 试图对我国春麦区小麦淀粉糊化特性的峰值粘度进行分析, 以明确在我国春麦区某一特定试点淀粉糊化特性表现最好的品种, 某一特定品种适合种植的试点, 任一品种在各试点淀粉糊化特性的表现, 以及有利于筛选淀粉糊化特性及其稳定性的试点, 并研究基因型与环境互作的总体模式, 为改良我国春麦区小麦品种的淀粉特性和面条品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

春麦区 8 省市 10 个研究所的 20 份春小麦品种(系)于 1998 和 1999 年度分别种植在乌鲁木齐、西宁、拉萨、兰州、永宁、呼和浩特、巴盟、红兴隆、哈尔滨和克山 10 个试点, 当年样品放 3 个月后进行品质分析。田间管理按当地常规进行。

1.2 制粉

用德国 Brabender Jr 实验磨粉机制粉, 出粉率

60% 左右。

1.3 淀粉糊化特性

用澳大利亚 Newport 公司 (Newport Scientific Ltd Warriewood, Australia) 的 Super3 型粘度仪, 测定模式选用标准方法 1, 面粉样品用量 3.5g (14% 湿基)。整个测定过程的温度和转速由 Thermocline for windows version 2.1 软件控制。快速粘度分析仪 (RVA) 参数的峰值粘度 (peak viscosity, PV) 单位为 RVU。

1.4 GGE 双标图的数学模型

多品种多环境试验数据集中某一性状一般可分解为:

$$Y_{ge} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \phi_{ge} + \epsilon_{ge}$$

其中 Y_{ge} 是基因型 g 在环境 e 中的性状值, μ 为总体平均值, α_g 为基因型主效应, β_e 为环境主效应, ϕ_{ge} 为基因型与环境互作效应, ϵ_{ge} 为随机试验误差。在假定参试的所有地点同等重要时, 将 Y_{ge} 减去各试点均值, 数据集就只含基因型主效 G 和基因型与环境互作效应 GE , 合称 GGE。对 GGE 作单值分解, 并以第一和第二主成分近似。用作图软件 Signaplot6.0, 按第一和第二主成分值即可将各基因型和试点置于一个平面图上, 形成 GGE 双标图。

表 1 各品种基本统计量和第一及第二主成分得分

Table 1 Mean and coefficient of variability of peak viscosity and scores of the first two principle components for every cultivar

| 品种 Cultivar | 来源 Origin | 品种代号 Cultivar code | 1998 | | | | 1999 | | | | |
|----------------|--------------|-----------------------|------------|------------|--------------|--------------|------------|------------|--------------|--------------|--------|
| | | | 均值 Mean | 变异系数 CV | 第一主成分 PC1 | 第二主成分 PC2 | 均值 Mean | 变异系数 CV | 第一主成分 PC1 | 第二主成分 PC2 | |
| 青 767 | 青海农科院作物所 | g1 | 161.4 | 41.4 | -0.037 | 0.074 | G1 | 160.5 | 23.5 | -0.039 | 0.214 |
| 青 781 | 青海农科院作物所 | g2 | 147.3 | 42.6 | -0.105 | 0.066 | G2 | 146.7 | 18.1 | -0.121 | 0.236 |
| 冬繁 28 | 中科院西北高原所 | g3 | 149.0 | 49.4 | -0.119 | -0.329 | G3 | 137.1 | 39.9 | -0.280 | 0.085 |
| 高原 602 | 中科院西北高原所 | g4 | 178.3 | 20.8 | 0.100 | -0.185 | G4 | 171.3 | 14.4 | 0.035 | 0.018 |
| 陇春 13 | 甘肃农科院作物所 | g5 | 183.6 | 26.2 | 0.116 | -0.161 | G5 | 170.0 | 15.7 | 0.037 | 0.121 |
| 陇春 15 | 甘肃农科院作物所 | g6 | 189.3 | 29.0 | 0.153 | -0.227 | G6 | 183.3 | 18.1 | 0.121 | 0.003 |
| 陇春 16 | 甘肃农科院作物所 | g7 | 176.3 | 16.1 | 0.106 | 0.148 | G7 | 167.7 | 18.0 | 0.012 | 0.079 |
| 宁春 4 | 宁夏农科院作物所 | g8 | 144.1 | 55.3 | -0.191 | 0.044 | G8 | 176.7 | 10.2 | 0.113 | 0.056 |
| 宁作 16 | 宁夏农科院作物所 | g9 | 149.5 | 47.7 | -0.126 | -0.129 | G9 | 180.3 | 22.2 | 0.097 | 0.017 |
| 宁作 17 | 宁夏农科院作物所 | g10 | 98.8 | 58.7 | -0.403 | -0.291 | G10 | 150.1 | 23.2 | -0.139 | 0.113 |
| 辽春 11 | 辽宁农科院育种所 | g11 | 214.3 | 29.0 | 0.310 | 0.366 | G11 | 206.9 | 14.3 | 0.301 | -0.149 |
| 铁春 1 | 辽宁农科院育种所 | g12 | 220.5 | 19.3 | 0.353 | 0.096 | G12 | 211.1 | 13.0 | 0.346 | -0.085 |
| 龙麦 15 | 黑龙江农科院农科所 | g13 | 204.5 | 24.0 | 0.273 | -0.145 | G13 | 216.2 | 14.1 | 0.384 | -0.244 |
| 龙麦 20 | 黑龙江农科院农科所 | g14 | 184.4 | 29.2 | 0.134 | -0.426 | G14 | 180.7 | 14.9 | 0.112 | -0.063 |
| 示范 1 号 | 内蒙农科院作物所 | g15 | 140.5 | 58.8 | -0.238 | 0.278 | G15 | 139.6 | 29.4 | -0.244 | 0.036 |
| 蒙优 1 号 | 内蒙农科院作物所 | g16 | 183.3 | 33.3 | 0.143 | 0.191 | G16 | 182.0 | 28.7 | 0.062 | -0.335 |
| 巴麦 10 号 | 内蒙巴盟农科所 | g17 | 89.2 | 74.5 | -0.498 | 0.089 | G17 | 121.2 | 70.3 | -0.320 | -0.796 |
| 中 60634 | 中国农科院作物所 | g18 | 137.1 | 38.1 | -0.152 | 0.357 | G18 | 110.2 | 39.0 | -0.477 | 0.043 |
| 晋春 9 | 山西农科院高寒所 | g19 | 196.9 | 25.6 | 0.200 | -0.039 | G19 | 195.7 | 15.7 | 0.256 | 0.097 |
| 晋春 11 | 山西农科院高寒所 | g20 | 170.7 | 44.8 | -0.019 | 0.222 | G20 | 155.2 | 34.0 | -0.124 | -0.050 |

粘度高于平均表现的品种和低于平均表现的品种分成两个部分。

2.2 特定品种的表现

品种的第一主成分与其在各试点淀粉峰值粘度的平均表现高度相关($R^2 = 0.98$), 第一主成分实际上代表了此品种峰值粘度的平均值。图2比较了辽春11峰值粘度在各试点的表现。以1998年度为

例, 过原点和g11标志点作一直线, 并从各试点标志点引此直线的垂线, 按其在此直线上的投影长度, 即可得出品种辽春11峰值粘度在各试点的变化次序。由图2可知, 辽春11在克山和拉萨点的峰值最高, 其次为兰州和哈尔滨, 而在西宁试点的峰值粘度最差。过原点作此直线的垂线将品种辽春11峰值粘度高于均值的试点和低于均值的试点区别开来。

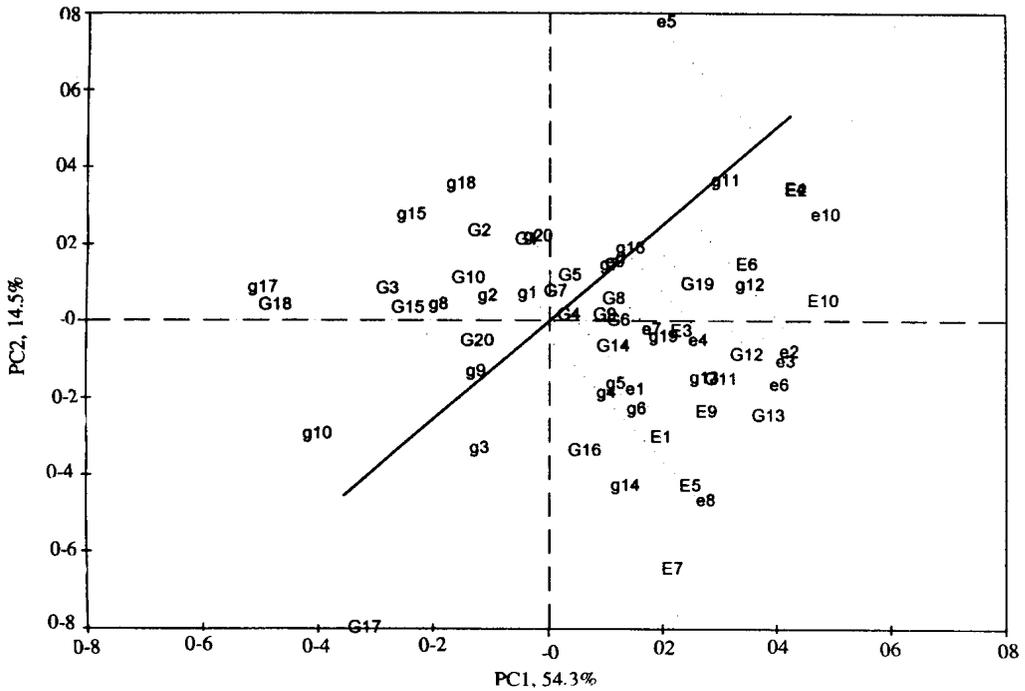


图2 各试点品种的表现

Fig. 2 The performance of a cultivar at all given locations

2.3 两品种在不同试点的相对表现

为比较两品种在不同试点峰值粘度的表现, 可在图3上将所比较两品种的标志点相连。以1998年度为例, 为比较各试点辽春11和龙麦20的峰值粘度, 将标志点g11和g14用直线相连, 并过原点作此直线的垂线, 此垂线将图形一分为二。各品种峰值粘度在与其同侧的试点表现较好, 即辽春11在克山、拉萨、红兴隆、哈尔滨和兰州表现较好, 而龙麦20在西宁和巴盟表现较好。

2.4 品种种植的最佳区域

为鉴别各试点表现最好的品种, 可在图4中将位于图形边缘品种的标志点用直线相连, 形成一多边形, 使所有品种位于其中。以1998年度为例, 将标志点g11、g12、g14、g10、g17和g18用直线相连, 同时从原点作各边垂线, 即将此多边形分成6

个区域, 10个试点位于其中的3个区内。各区内位于边缘的品种在此区内试点的淀粉峰值粘度表现最高。第一区包含克山、拉萨和乌鲁木齐, 在这3个试点, 峰值粘度最高的品种为辽春11。第二区包含永宁、红兴隆、哈尔滨、兰州和呼和浩特5个试点, 其中峰值粘度最高的品种为铁春1号。第三区包含巴盟和西宁两试点, 其中龙麦20表现最好。另外3个区内没有地点落入, 说明组成此3个区的边缘品种宁作17、巴麦10号和中60634在所有试点表现均不是最好, 且通常是表现最差的品种。

同时图5按照峰值粘度表现最好的品种对试点进行了区域划分, 这对于品种的区域适应性具有重要价值。

2.5 品种的稳定性 and 总体表现

由于X轴可代表品种的平均峰值粘度($R^2 =$

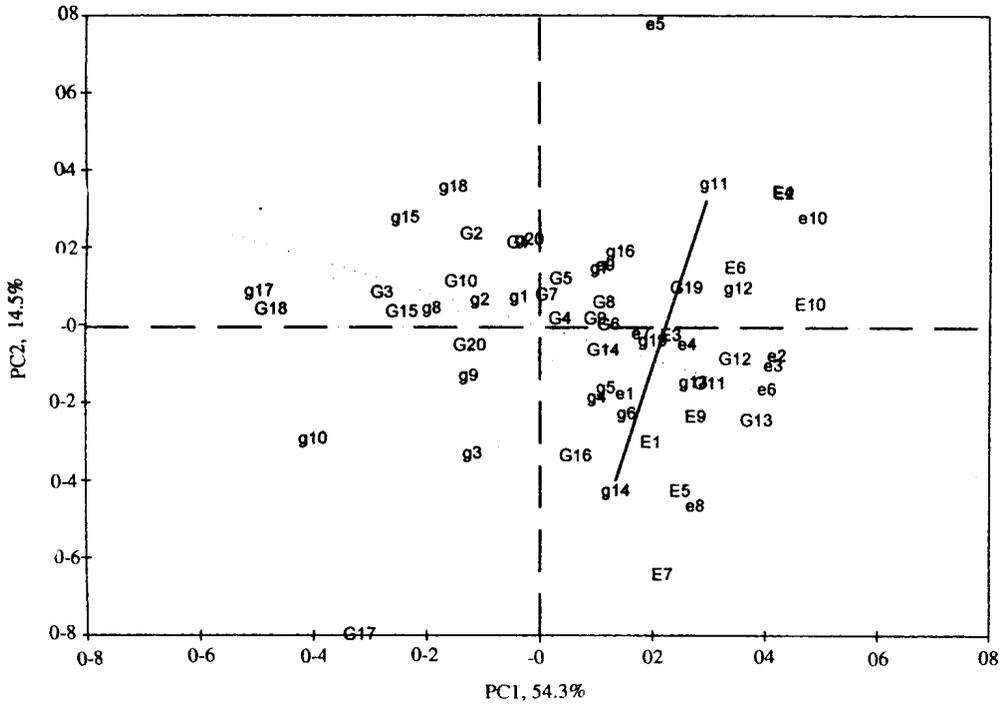


图3 两品种在各试点的比较
 Fig 3 Comparison of two cultivars at all given locations

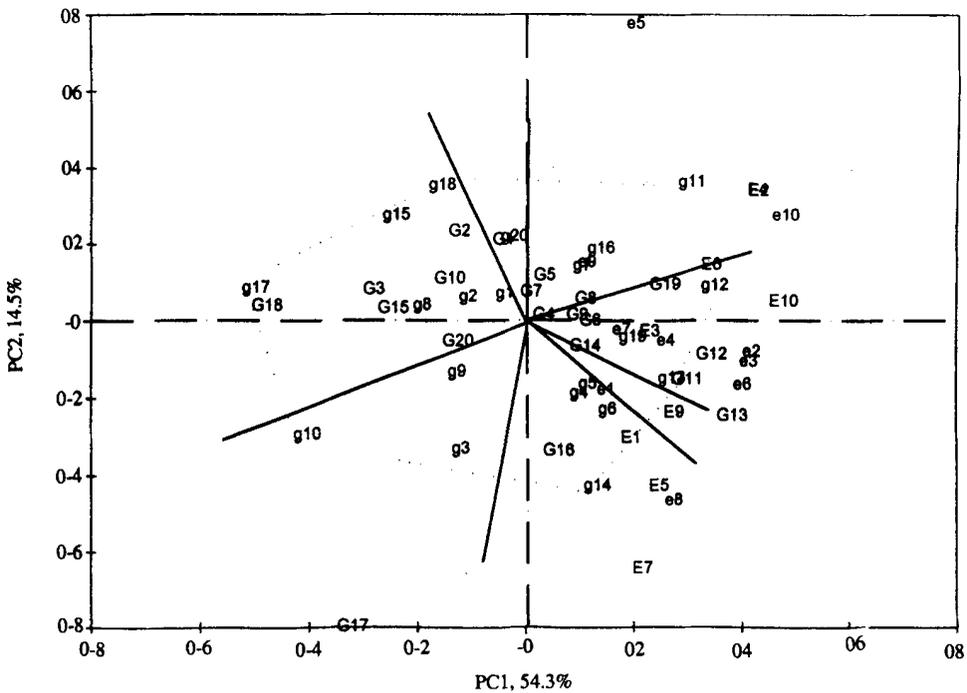


图4 区域划分
 Fig 4 Location differentiate

0.98), 值越高, 表明此品种的峰值粘度越高, Y 轴则表示品种偏离平均表现的程度, 代表品种的稳定性, 值越接近于 0, 稳定性越高。如 1998 和 1999 年度的铁春 1 号与晋春 9, 其第一主成分值分别为

0.355、0.200 和 0.346、0.260, 第二主成分值分别为 0.096、-0.039 和 -0.085、0.097, 因而其淀粉峰值粘度高, 且稳定。而品种辽春 11 两年度第一主成分值分别为 0.310 和 0.301, 虽然峰值粘度高,

但其第二主成分值分别为 0.366 和 -0.149, 表现不稳定。理想的品种应第一主成分值大, 而第二主成分值接近于 0。

另外从表 1 和图 5 中还可得知, 变异系数小的品种, 第二主成分值也较小, 如铁春 1 号和晋春 9, 表明其较稳定, 建议今后在进行品种淀粉品质试验时, 以这两个品种作对照。

2.6 品种对试点的鉴别力

理想的试点应具有较大的第一主成分值和接近

于 0 的第二主成分值, 这样的试点能有效鉴别出峰值粘度高, 且表现稳定的品种^[10]。如哈尔滨试点, 其 1998 和 1999 年度第一主成分值分别为 0.415 和 0.232, 第二主成分值分别为 -0.103 和 -0.025, 表明哈尔滨试点具有较高的品种峰值粘度鉴别力。而克山试点 1998 和 1999 年度第一主成分值分别为 0.205 和 0.248, 第二主成分值分别为 -0.779 和 -0.426, 表明此试点并不适合对品种的峰值粘度进行鉴别。

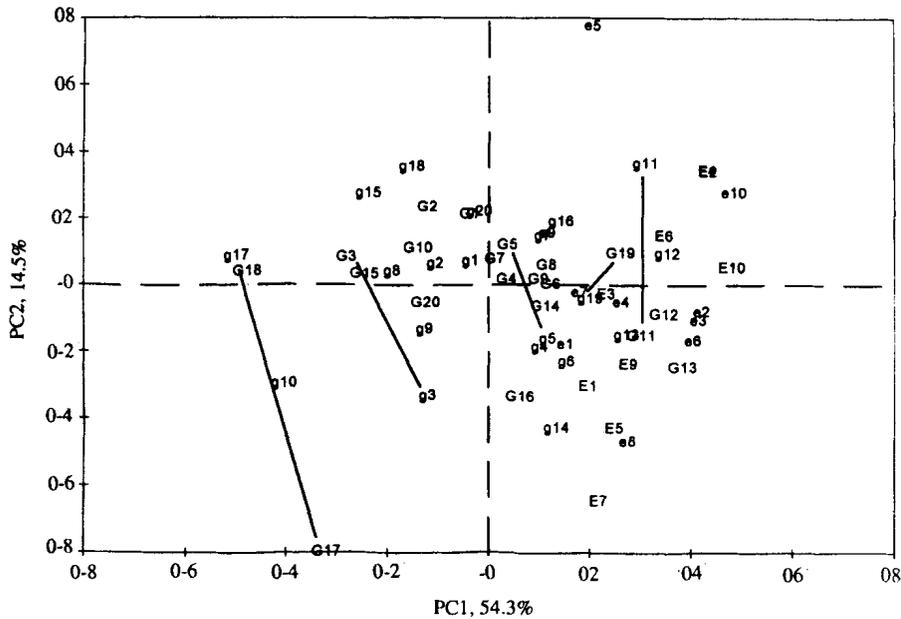


图 5 品种稳定性
Fig. 5 The stability of varieties

另外从表 2 和图 6 中还可得知, 试点的变异系数与其对品种的鉴别力无关, 并不是变异系数小的试点就稳定, 如巴盟的变异系数在参试的所有试点中并不高, 却不稳定。

3 讨论

基因型与环境互作是非常复杂的生物学现象, 了解其规律有利于提高多点试验效率和对品种的准确评价与合理利用。目前有多种模型可对其进行研究, 较好的模型应能解释尽可能多的变异。本研究模型中峰值粘度的变异可分解为模型解释方差、模型偏差和试验误差 ϵ_{ec} 三个部分。解释方差包括第一主成分和第二主成分所解释部分, 如文中所解释的约 70% 的变异; 偏差由剩余主成分估计, 也可称为失拟方差; 试验误差则由各试点重复间的变异所估计, 使用重复可降低试验误差, 当试验中无重复

时, 区组效应便毫无意义, 而无法估计试验误差, 但过多重复的使用则会成倍增加试验成本, 降低效益(此研究不在本文考虑之列)。本文中模型的第一和第二主成分可解释淀粉峰值粘度的大部分变异, 因而较回归模型可更有效地解释淀粉峰值粘度的变异(个人资料)。

GGE 模型的初步应用结果表明, 它可以较好分析品种试验资料, 以图解的方式明确多基因型多环境试验中某试点表现最好的品种和某品种最适合种植的环境, 并明确表现好且稳定的品种及有利于区别它们的环境^[11~15]。由于 GGE 模型综合考虑了基因型和基因型与环境互作的总体表现, 因而比 AMM I 模型主要考虑基因型与环境互作模式更有利于直观了解品种在各试点的真实表现。

但 GGE 模型分析的一个重点和难点在于寻求合理的生理学解释, 应以环境为基础来解释基因型

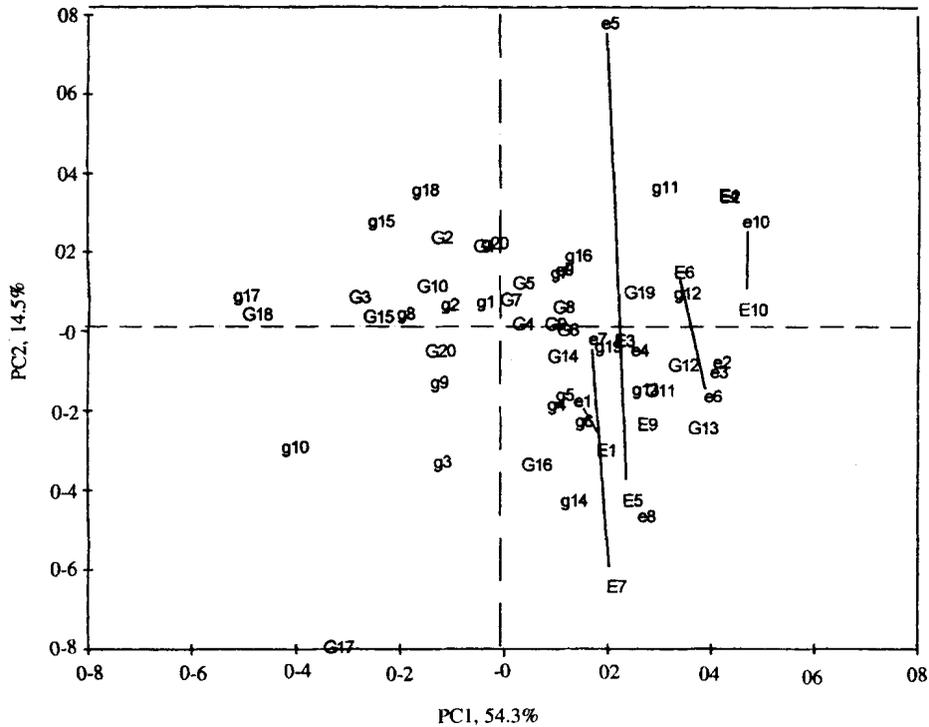


图 6 试点鉴别力

Fig 6 The discrimination of location

变异, 并关注主要环境因子的变化情况。提高人们对主要环境因子的认识, 将有助于提高研究人员对基因型与环境互作的认识和处理能力。

在参试的所有春麦品种中, 铁春 1 号的峰值粘度表现最好, 且稳定, 其次为晋春 9, 而宁作 17 表现差且不稳定。由于在进行作物的品种稳定性试验时, 也可采用一个已知较稳定的品种作对照^[4], 因此建议在今后进行品种淀粉品质试验时采用铁春 1 号作对照。在所有试点中, 哈尔滨的淀粉品质表现较好, 且稳定, 而克山和西宁很不稳定, 这与以前的有关报道基本一致^[18]。在今后的试验布点中应加以考虑。

References

- [1] Gabriel K R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrics*, 1971, 58: 453~467
- [2] Cooper M, Stucker R E, DeLacy I H, et al. Wheat breeding nurseries, target environments, and indirect selection for grain yield. *Crop Sci*, 1997, 37: 1168~1176
- [3] Crossa J, Cornelius P L. Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trial sites under heterogeneity of error variances. *Crop Sci*, 1997, 37: 405~415
- [4] DeLacy I H, Basford K E, Cooper M, et al. *Plant Adaptation and Crop Improvement*. CAB Int, Wallingford, Oxon, U.K., 1996, 39~124
- [5] Gauch H G. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics*, 1988, 44: 705~715
- [6] Gauch H G. Full and reduced models for yield trials. *Theor Appl Genet*, 1990, 80: 153~160
- [7] Wang L (王磊), Zeng L-X (曾列先), Yu H-Y (余汉勇), et al. Using additive main effects and multiplicative interaction model to analyze international hybrid rice nursery data. *Chinese J Rice Sci* (中国水稻科学), 1997, 11(4): 198~204
- [8] Wang L (王磊), McLaren C G, Yang S-H (杨仕华). Use of biplots to analyze genotype and environment interaction. *Sci and Tech Bulletin* (科技通报), 1997, 13(5): 281~286
- [9] Zhang Z (张泽), Lu C (鲁成), Xiang Z-H (向仲怀). A analysis of variety stability based on AMM I model. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 1998, 24(3): 304~309
- [10] Kempton R A. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *J Agri Sci*, 1984, 103: 123~135
- [11] Yan W, Hunt L A, Sheng Q, et al. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci*, 2000, 40: 597~605
- [12] Yan W, Hunt L A. Genetic and environment causes of genotype by environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Sci*, 2001, 41: 19~25
- [13] Yan W, Cornelius P L, Crossa J, et al. Two types of GGE biplot for analyzing multi-environment trial data. *Crop Sci*, 2001, 41: 656~663
- [14] Yan W, Rajcan I. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci*, 2002, 42: 11~20
- [15] Yan W, Hunt L A. Biplot analysis of Diallel data. *Crop Sci*, 2002, 42: 21~30
- [16] Panozzo J F, McComick K M. The rapid viscoanalyser as a method of testing for noodle quality in wheat breeding program. *J Cere Sci*, 1993, 17: 25~32
- [17] Yan J (阎俊), Zhang Y (张勇), He Z-H (何中虎). Investigation on paste property of Chinese wheat. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2001, 34(1): 9~13
- [18] Zhang Y (张勇), He Z-H (何中虎). Investigation on Paste Property of spring-sown Chinese wheat. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2002, 35(5): 471~475