

戴习彬, 王 远, 周志林, 等. 菜用甘薯产量稳定性及试验点鉴别力综合分析[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(1): 22-29.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.01.003

菜用甘薯产量稳定性及试验点鉴别力综合分析

戴习彬¹, 王 远², 周志林¹, 肖世卓¹, 赵凌霄¹, 王 洁¹, 王 珏¹, 李青莲¹,
朱国鹏², 曹清河^{1,2}

(1. 江苏徐淮地区徐州农业科学研究所, 江苏 徐州 221131; 2. 海南大学园艺学院, 海南 海口 570228)

摘要: 为了科学评价国家菜用甘薯联合鉴定试验中参试甘薯品种(品系)的丰产性、适应性、稳定性及试验点的鉴别力、代表性, 采用 AMMI 模型和 GGE 双标图对 2018–2019 年国家菜用甘薯联合鉴定试验中 10 个甘薯品种(品系)在 2 年 9 个试验点的产量数据进行分析, 筛选适合大面积推广的丰产、稳产甘薯品种(品系)及鉴别力、代表性较好的试验点。结果表明, 菜用甘薯茎尖产量在基因型效应、环境效应及基因型与环境互作效应方面均极显著, 其中环境效应占比最大, 其次是基因型与环境互作效应, 基因型效应占比最小。湘菜薯 3 号的丰产性、稳定性均较高, 最接近理想品种(品系), 适合大面积推广种植; 黔菜薯 2 号、薯绿 2 号、EC15、海大 7798、福菜薯 25 的丰产性较好, 但稳定性一般, 适合在特定区域推广, 湖南长沙地区最适的甘薯品种(品系)为薯绿 2 号, 其次是海大 7798、福菜薯 25; 湖北武汉、重庆、海南琼海、福建福州和广东广州地区的最适甘薯品种(品系)为黔菜薯 2 号, 其次为 EC15。海南琼海、福建福州是菜用甘薯茎尖产量鉴别力、代表性均较强的试验点, 更适合作为菜用甘薯的鉴定试验点。研究首次在菜用甘薯产量分析中同时使用 AMMI 和 GGE 2 种分析模型, 展示了 2 种方法的应用效果, 明确了适合大面积推广和在特定区域种植的甘薯品种(品系), 确定了最佳鉴定试验点, 为菜用甘薯新品种(品系)的合理推广和进行科学区域试验提供了理论参考。

关键词: 菜用甘薯; 稳定性; 鉴别力; AMMI 模型; GGE 双标图

中图分类号: S531 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)01-0022-08

Comprehensive analysis of yield stability and testing sites discrimination of leaf-vegetable sweetpotato varieties

DAI Xi-bin¹, WANG Yuan², ZHOU Zhi-lin¹, XIAO Shi-zhuo¹, ZHAO Ling-xiao¹, WANG Jie¹,
WANG Yao¹, LI Qing-lian¹, ZHU Guo-peng², CAO Qing-he^{1,2}

(1. Xuzhou Institute of Agricultural Sciences in Xuhuai District, Xuzhou 221131, China; 2. Horticulture College of Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: To evaluate scientifically the yield, adaptability, stability and testing sites discrimination and representativeness of varieties (lines) in leaf-vegetable sweetpotato joint identification trials in China, the AMMI model and GGE biplot were used to analyze the yield data of ten varieties (lines) in nine testing sites during 2018–2019. The productive and stable varieties suitable for large scale promotion as well as the testing sites with good discrimination and representativeness were

收稿日期: 2022-06-08

基金项目: 国家产业技术体系项目(CARS-10-B07-2022); 苏北科技专项(XZ-SZ202154); 徐州市基础研究计划项目(KC21072); 海南省重点研发项目(ZDYF2020226); 江苏省根茎类作物种质资源库项目(JSGB2018-03)

作者简介: 戴习彬(1989-), 男, 安徽六安人, 硕士, 助理研究员, 主要从事甘薯种质资源鉴定、评价等方面的研究。(E-mail) 799341277@qq.com

通讯作者: 曹清河, (E-mail) cqhe75@yahoo.com

screened. The results showed that the yield of leaf-vegetable sweetpotato reached highly significant in genotype effect, environment effect and interaction effect. Environment effect accounted for the largest proportion, followed by interaction effect, and genotype effect was the smallest. Xiangcaishu No.3 had higher productivity and stability, and it was the closest to the ideal variety, which was suitable for large area promotion. Qiancaishu No.2, Shulu No.2, EC15, Haida 7798 and Fucaishu 25 had better productivity, but had me-

diocre stability, so they were suitable for promotion in specific areas. The most suitable variety (lines) in Changsha, Hunan province was Shuli No.2, followed by Haida 7798 and Fucaishu 25. For Wuhan of Hubei, Chongqing, Qionghai of Hainan, Fuzhou of Fujian and Guangzhou of Guangdong, the most suitable variety (lines) was Qiancaishu No.2, followed by EC15. Qionghai of Hainan and Fuzhou of Fujian were the more discriminating and representative testing sites and more suitable as identification test sites for vegetable sweetpotato. In this study, AMMI and GGE analytical models were used simultaneously in vegetable sweetpotato yield analysis for the first time, and the application effects were demonstrated. And the varieties (lines) suitable for large-scale promotion and planting in specific areas were identified, and the best identification test points were determined, which provided a theoretical reference for the rational promotion of new leaf-vegetable sweetpotato varieties and scientific regional test.

Key words: leaf-vegetable sweetpotato; stability; discrimination; AMMI model; GGE biplot

甘薯 [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] 又称红薯、白芋、山芋等, 是旋花科甘薯属植物, 曾被世界卫生组织推荐为最佳食物。根据用途不同, 甘薯可分为鲜食甘薯、加工甘薯、菜用甘薯和观赏甘薯等, 已经成为世界上重要的粮食和饲料作物^[1]。近年来, 菜用甘薯受到的关注越来越多, 享有蔬菜皇后、抗癌蔬菜、长寿菜等美誉。菜用甘薯富含蛋白质、膳食纤维、多酚、维生素等, 具有较高的营养保健价值, 是理想的“伏缺菜”^[2-3]。然而, 目前国内外菜用甘薯专用品种相对较少, 因此培育高产、稳产、适应性广的菜用甘薯品种(品系)对丰富菜用甘薯品种(品系)及农业提质增效意义重大。

新品种的大面积推广和科学布局需要经过品种区域(生产)试验, 以评价其在不同区域的丰产性、适应性和稳定性。由于基因型效应及基因型与环境之间的互作效应, 使得评价品种的稳定性、适应性相对较难。近年来, 加性主效应乘积交互作用 (Additive main effects and multiplicative interaction, AMMI) 模型和基因型主效应及其与环境互作 (Genotype main effect plus genotype-environment interaction, GGE) 双标图在区域试验中得到了广泛应用^[4-5]。为了提高准确性, AMMI 模型利用主成分分析解释基因型与环境加性模型中的乘积互作。GGE 双标图分析法是一种以双标图数学原理为基础的区试数据分析方法, 该方法综合考虑基因型效应及基因型与环境的互作效应, 既可以在双标图中直观看出品种的丰产性、稳产性和适应性, 又可以对区域试验点进行分析评价, 因而目前已经被广泛应用于品种及试验点的评价中^[6]。上述 2 种方法的优势各异, 二者结合使用更加科学、准确。目前, AMMI 模型和 GGE 双标图已被广泛应用于玉米^[7-9]、小麦^[10-11]、水稻^[12-13]、马铃薯^[14-15]等粮食作物及牧草^[16-17]的产量分析中, 在作物品质性状评价中也用得越来越

多^[18-21]。目前, 只有少量利用 AMMI 模型分析甘薯产量的研究^[22-24], 利用 GGE 双标图分析甘薯产量的相关研究也仅有国外的 2 篇报道^[25-26], 国内尚无利用 GGE 双标图分析甘薯产量的相关研究报道, 特别是菜用甘薯茎尖产量的相关研究均未见报道。

本研究利用 2 种方法分析国家菜用甘薯联合鉴定试验数据, 综合评价参试品种的丰产性、稳定性和适应性, 以及试验点对品种产量的鉴别力和区域代表性, 以期为菜用甘薯的试验点选择、品种选育与推广应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料和试验点环境

试验材料为参加 2018-2019 年国家菜用甘薯联合鉴定试验的 10 个甘薯品种(品系), 具体品种(品系)名称即为对应的基因型名称, 其中福薯 7-6 为对照(表 1)。共设 9 个试验点(表 2), 根据年份不同, 共分成 18 个不同的环境。

表 1 参试菜用甘薯品种(品系)

Table 1 Basic information of leaf-vegetable sweetpotato varieties (lines) participating in regional trials

| 编号 | 品种(品系)名称 |
|-----|------------|
| g1 | EC15 |
| g2 | 广菜薯 7 号 |
| g3 | 桂薯菜 14-7 |
| g4 | 湘菜薯 3 号 |
| g5 | 薯绿 2 号 |
| g6 | 海大 7798 |
| g7 | 阜菜 13-14 |
| g8 | 黔菜薯 2 号 |
| g9 | 福菜薯 25 |
| g10 | 福薯 7-6(对照) |

表 2 试验点的基本环境信息

Table 2 Basic environment information of tested locations

| 试验点编号 | 环境编号 | 地区 | 年份 | 北纬(°) | 东经(°) | 海拔(m) | 年平均气温(°C) |
|-------|-------|------|------|-------|--------|-------|-----------|
| e1 | e1.18 | 江苏徐州 | 2018 | 34.28 | 117.30 | 32 | 14.5 |
| | e1.19 | 江苏徐州 | 2019 | | | | |
| e2 | e2.18 | 湖北武汉 | 2018 | 30.41 | 114.67 | 27 | 17.1 |
| | e2.19 | 湖北武汉 | 2019 | | | | |
| e3 | e3.18 | 江西南昌 | 2018 | 28.51 | 115.96 | 25 | 18.5 |
| | e3.19 | 江西南昌 | 2019 | | | | |
| e4 | e4.18 | 重庆 | 2018 | 30.01 | 106.13 | 248 | 19.2 |
| | e4.19 | 重庆 | 2019 | | | | |
| e5 | e5.18 | 海南琼海 | 2018 | 19.09 | 110.50 | 19 | 24.3 |
| | e5.19 | 海南琼海 | 2019 | | | | |
| e6 | e6.18 | 浙江杭州 | 2018 | 30.16 | 120.12 | 15 | 18.3 |
| | e6.19 | 浙江杭州 | 2019 | | | | |
| e7 | e7.18 | 湖南长沙 | 2018 | 28.12 | 113.45 | 50 | 17.5 |
| | e7.19 | 湖南长沙 | 2019 | | | | |
| e8 | e8.18 | 福建福州 | 2018 | 25.49 | 119.18 | 30 | 21.5 |
| | e8.19 | 福建福州 | 2019 | | | | |
| e9 | e9.18 | 广东广州 | 2018 | 23.39 | 113.44 | 20 | 22.7 |
| | e9.19 | 广东广州 | 2019 | | | | |

环境编号中“.18”代表 2018 年,“.19”代表 2019 年。

1.2 试验设计

2018–2019 年分别在 9 个试验点采用随机区组设计,畦栽,每个甘薯品种(品系)设 3 个重复,株距×行距为 20 cm×30 cm,小区面积为 3.6 m² (3.0 m×1.2 m)。栽插期为 5–6 月,根据各地菜用甘薯的长势,适时采摘鲜嫩茎尖,整个生育期内的采摘次数不低于 6 次,合计为菜用甘薯总产量。

1.3 数据统计分析

本研究用 DPS 19.05 软件进行方差分析、AMMI 模型分析及稳定性参数分析^[27],用 GGE-biplot R x64 4.1.1 软件进行 GGE 双标图绘制^[28]。

2 结果与分析

2.1 不同甘薯品种(品系)产量的方差分析

对参试甘薯品种(品系)的产量进行方差分析。由表 3 可以看出,基因型、基因型与年份互作、环境、环境与年份互作、基因型与环境互作以及基因型、年份和环境三者间的互作效应均达到极显著差异,年份间的差异不显著。其中对产量影响最显著的是环境效应,占总变异平方和的 83.85% (45.43%环境效应+

38.39%环境与年份互作效应+0.03%年份效应),其次是互作效应,占总变异平方和的 7.81% (4.64%基因型与环境互作效应+2.66%基因型、年份和环境三者间的互作效应+0.51%基因型与年份互作效应),对产量影响最小的是基因型效应,占比为 2.66%。

2.2 AMMI 模型分析

由表 4 可以看出,各参试甘薯品种(品系)2018 年、2019 年的产量在环境效应、基因型效应及环境与基因型间的互作效应方面均达到极显著水平,2018 年、2019 年分别解释了总变异的 95.37%、93.56%,平均解释了 94.46%,其中环境效应的平方和占总平方和的比例最大,2018 年、2019 年分别达到 74.29%、89.72%;互作效应次之,2018 年、2019 年分别占总平方和的 15.00%、2.93%;基因型效应最低,2018 年、2019 年分别占总平方和的 4.27%、2.72%。互作效应主成分轴 (Interaction principal component analysis, IPCA) 显著性分析结果表明,2018 年的互作效应发生了 4 次奇异值分解,发现 IPC1~IPC4 的效应均达到极显著水平,分别可以解释 41.94%、35.01%、10.19%、7.48% 的互作平方

和,合计可以解释 94.62%的互作平方和。2019 年互作效应进行了 2 次奇异值分解,其中 IPC1 具有极显著效应,IPC2 具有显著效应,分别占互作平方和的 50.21%、26.60%,合计占互作平方和的 76.81%。

表 3 参试甘薯品种(品系)产量的方差分析结果

Table 3 Analysis of variance of yield of the tested sweetpotato varieties (lines)

| 变异来源 | 平方和 | 自由度 | 平方和占比 (%) | 方差 | F 值 | P 值 |
|-----------|------------|-----|-----------|-----------|-----------|------|
| 年份 | 90.05 | 1 | 0.03 | 90.05 | 1.68 | 0.20 |
| 环境 | 158 180.92 | 8 | 45.43 | 19 772.62 | 369.81 ** | 0.00 |
| 环境×年份 | 133 676.51 | 8 | 38.39 | 16 709.56 | 312.52 ** | 0.00 |
| 基因型 | 9 255.96 | 9 | 2.66 | 1 028.44 | 19.24 ** | 0.00 |
| 基因型×年份 | 1 779.03 | 9 | 0.51 | 197.67 | 3.70 ** | 0.00 |
| 环境×基因型 | 16 151.67 | 72 | 4.64 | 224.33 | 4.20 ** | 0.00 |
| 环境×基因型×年份 | 9 274.41 | 72 | 2.66 | 128.81 | 2.41 ** | 0.00 |
| 误差 | 17 323.16 | 324 | 4.98 | 53.47 | | |
| 总和 | 348 203.62 | 539 | | | | |

**表示在 0.01 水平差异显著,*表示在 0.05 水平差异显著。平方和占比=(某效应的平方和/总平方和)×100%。

表 4 参试甘薯品种(品系)产量的方差分析和 AMMI 模型分析

Table 4 Analysis of variance and AMMI model analysis of yield of the tested sweetpotato varieties (lines)

| 年份 | 变异来源 | 自由度 | 平方和 | 平方和占比 (%) | 方差 | F 值 | P 值 |
|------|-------------|-----|------------|-----------|-----------|-----------|---------|
| 2018 | 总和 | 269 | 119 955.10 | | 445.93 | | |
| | 基因型 | 9 | 5 124.13 | 4.27 | 569.35 | 13.27 ** | 0 |
| | 环境 | 8 | 89 111.72 | 74.29 | 11 138.97 | 259.57 ** | 0 |
| | 基因型与环境的交互作用 | 72 | 17 994.83 | 15.00 | 249.93 | 5.82 ** | 0 |
| | 第 1 主成分 | 16 | 7 546.59 | 6.29 | 471.66 | 10.99 ** | 0 |
| | 第 2 主成分 | 14 | 6 300.06 | 5.25 | 450.00 | 10.49 ** | 0 |
| | 第 3 主成分 | 12 | 1 834.32 | 1.53 | 152.86 | 3.56 ** | 0.000 1 |
| | 第 4 主成分 | 10 | 1 345.84 | 1.12 | 134.58 | 3.14 ** | 0.001 0 |
| | 残差 | 20 | 968.01 | | 48.40 | | |
| | 误差 | 180 | 7 724.42 | | 42.91 | | |
| 2019 | 总和 | 269 | 225 613.19 | | 838.71 | | |
| | 基因型 | 9 | 6 144.80 | 2.72 | 682.76 | 11.79 ** | 0 |
| | 环境 | 8 | 202 425.63 | 89.72 | 25 303.20 | 436.81 ** | 0 |
| | 基因型与环境的交互作用 | 72 | 6 615.86 | 2.93 | 91.89 | 1.59 ** | 0.007 5 |
| | 第 1 主成分 | 16 | 3 321.58 | 1.47 | 207.60 | 3.58 ** | 0 |
| | 第 2 主成分 | 14 | 1 759.49 | 0.78 | 125.68 | 2.17 * | 0.010 5 |
| | 残差 | 42 | 1 534.78 | | 36.54 | | |
| | 误差 | 180 | 10 426.90 | | 57.93 | | |

**表示在 0.01 水平差异显著,*表示在 0.05 水平差异显著。平方和占比=(某效应的平方和/总平方和)×100%。

2.3 AMMI 模型稳定性参数估计

用 AMMI 模型对参试菜用甘薯进行丰产性、稳定性分析。由表 5 可以看出,不同甘薯品种(品系)2 年平均产量为 43.21~56.79 t/hm²,不同品种(品系)产量从高到低排序为 g4、g8、g5、g1、g6、g9、g3、g7、g2、g10,参试甘薯品种(品系)的产量均高于对照品种 g10。品种(品系)的稳定性参数越大,说明

品种(品系)的稳定性越差。由表 5 可以看出,不同甘薯品种(品系)的稳定性从高到低排序为 g9、g4、g3、g2、g7、g5、g8、g6、g1、g10。

与甘薯品种(品系)的稳定性系数不同,各试验点甘薯品种(品系)的稳定性参数越大,表明试验点的鉴别力越强。从表 6 可以看出,9 个试验点 2 年平均产量为 32.42~70.22 t/hm²,不同甘薯品种(品

系)的产量从高到低排序为 e5、e2、e7、e3、e4、e8、e6、e9、e1,各试验点不同甘薯品种(品系)的鉴别力从弱到强排序为 e1、e4、e9、e7、e8、e6、e2、e5、e3。

表 5 参试甘薯品种(品系)产量、主成分值、稳定性参数及排序

Table 5 Yield, principal component values, stability parameters and ranking of the tested varieties(lines)

| 品种(品系)编号 | 产量 (t/hm ²) | 产量位次 | 离差 | 稳定性参数 | 稳定性排序 |
|----------|-------------------------|------|-------|-------|-------|
| g1 | 52.88 | 4 | 2.01 | 5.75 | 9 |
| g2 | 47.44 | 9 | -3.42 | 2.63 | 4 |
| g3 | 48.06 | 7 | -2.81 | 2.62 | 3 |
| g4 | 56.79 | 1 | 5.92 | 1.82 | 2 |
| g5 | 55.22 | 3 | 4.35 | 3.42 | 6 |
| g6 | 52.74 | 5 | 1.87 | 4.23 | 8 |
| g7 | 47.95 | 8 | -2.91 | 2.66 | 5 |
| g8 | 55.53 | 2 | 4.66 | 4.16 | 7 |
| g9 | 48.84 | 6 | -2.03 | 1.81 | 1 |
| g10 | 43.21 | 10 | -7.65 | 5.97 | 10 |

g1~g10 见表 1。

表 6 试验点产量、主成分值、稳定性参数及排序

Table 6 Yield, principal component values, stability parameters and ranking of the tested locations

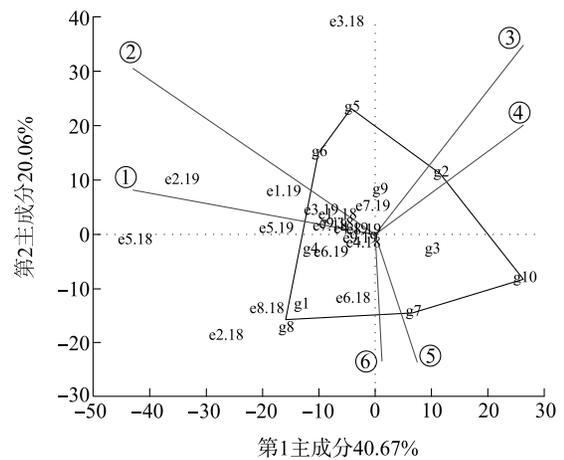
| 试验点编号 | 产量 (t/hm ²) | 产量位次 | 离差 | 稳定性参数 | 鉴别力排序 |
|-------|-------------------------|------|--------|-------|-------|
| e1 | 32.42 | 9 | 18.45 | 0.54 | 9 |
| e2 | 70.22 | 2 | 19.35 | 3.55 | 3 |
| e3 | 49.84 | 4 | -1.03 | 3.83 | 1 |
| e4 | 42.08 | 5 | -8.79 | 1.37 | 8 |
| e5 | 89.48 | 1 | 38.62 | 3.75 | 2 |
| e6 | 40.25 | 7 | -10.61 | 2.33 | 4 |
| e7 | 53.48 | 3 | 2.61 | 2.00 | 6 |
| e8 | 40.56 | 6 | -10.30 | 2.01 | 5 |
| e9 | 39.46 | 8 | -11.41 | 1.41 | 7 |

e1~e9 见表 2。

2.4 参试甘薯品种(品系)、试验点的 GGE 双标图分析

用 GGE-biplot 软件对 10 个参试甘薯品种(品系)及其在 18 个环境下的产量进行分析,用 GGE 双标图解释基因型与环境互作的变异。由图 1~图 4 可以看出,双标图中横坐标(第 1 主成分)解释了 40.67% 基因型与环境互作的变异,纵坐标(第 2 主成分)解释了 20.06% 基因型与环境互作的变异,第 1、第 2 主成分合计解释了 60.73% 基因型和基因型与环境互作的变异。

甘薯品种(品系)的适宜种植区域主要使用“哪个赢在哪里”功能图,如图 1 所示,将同一方向距离原点最远的品种(品系)对应的点连线形成多边形,过原点作各边垂线,垂线将多边形分为若干区域,多边形各区域内顶端的品种(品系)最适宜在该区域种植,丰产性最好。本试验将 g6、g5、g2、g10、g7、g8 对应的点连接形成多边形,垂线将多边形分为 6 个区域。有试验点的区域只有 3 个,但区域内有品种(品系)的区域只有 2 个,即垂线②和垂线③之间的区域 1 及垂线⑥和垂线①之间的区域 2。湖南长沙试验点(e7.19)落在区域 1 中,g5 为该区域内的最适品种(品系),其次是 g6、g9;湖北武汉、重庆、海南琼海、福建福州和广东广州试验点落在区域 2 中,其中最适品种(品系)为 g8,其次为 g1、g4。没有试验点落在以 g2 和 g10 为顶角的区域中,说明 2 个甘薯品种(品系)在所有试验点中的产量表现都不是最佳的。



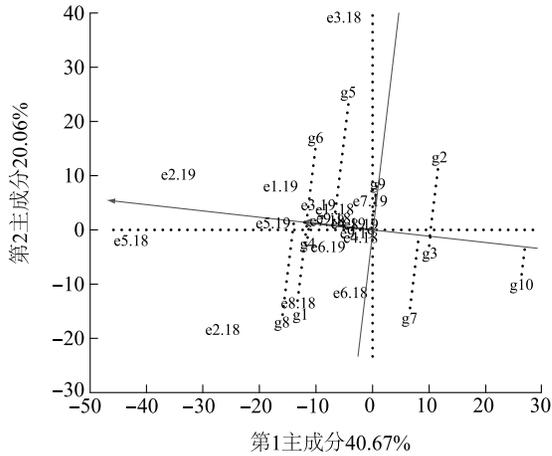
g1~g10 见表 1, e1.18~e9.19 编号见表 2, ①~⑥表示垂线。AX- IS1:坐标轴 1; AXIS2:坐标轴 2。

图 1 区试 GGE 双标图的“哪个赢在哪里”功能示意

Fig.1 Which-won-where view of the GGE biplot

图 2 显示了参试甘薯品种(品系)的丰产性、稳产性,带箭头横线表示平均环境向量,箭头方向表示品种(品系)的产量增长方向。对代表平均环境向量的横线作 1 条垂线,垂线左侧表明产量高于平均产量,垂线右侧表明产量低于平均产量,过各品种(品系)对应的点作平均环境向量的垂线,垂线的长度代表稳定性,长度越长代表越不稳定。可以看出,不同甘薯品种的丰产性由高到低排序为 g8、g1、g4、g6、g5、g9、g7、g3、g2、g10,稳定性由高到低依次排序为 g3、g4、g10、g9、g2、g6、g7、g1、g8、g5。丰产且稳产

的品种(品系)为 g4,丰产性较好但稳定性较差的品种(品系)为 g8、g1、g6,稳产性较高但丰产性较差的品种(品系)为 g10、g3。



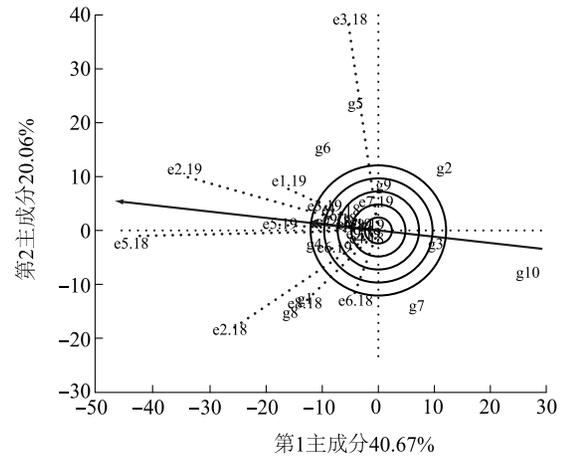
g1~g10 见表 1, e1.18~e9.19 见表 2。AXIS1: 坐标轴 1; AXIS2: 坐标轴 2。

图 2 GGE 双标图的“丰产性与稳产性”功能示意

Fig.2 Means and stability view of the GGE biplot

利用“鉴别力与代表性”功能图分析 9 个试验点对各甘薯品种(品系)产量的鉴别力、代表性,图 3 中带箭头的直线为平均环境轴,各试验点与原点连线的长度表示试验点对甘薯品种(品系)的鉴别力,长度越长表明鉴别力越强;连线与平均环境轴之间的夹角表示试验点的代表性,角度越大说明代表性越弱。分析结果表明,试验点 e5.18、e3.18、e2.19、e2.18、e8.18、e1.19、e5.19 和 e6.18 对各甘薯品种(品系)产量的鉴别力较强,试验点 e4.18、e9.19、e8.19、e4.19 的鉴别力较弱。在区域代表性方面,所有试验点与平均环境轴之间的夹角都小于 90° ,表明所有试验点都具有较强的代表性,其中试验点 e4.18、e7.18、e8.19、e5.19、e9.18 的代表性更强,试验点 e3.18、e7.19、e6.18、e8.18、e2.18 的代表性稍弱。综上可知,试验点 e8.18、e5.19 的鉴别力、代表性均较强,试验点 e3.18、e2.18、e6.18 的鉴别力较强但代表性较弱,试验点 e4.18、e8.19 的代表性较强但鉴别力较弱。

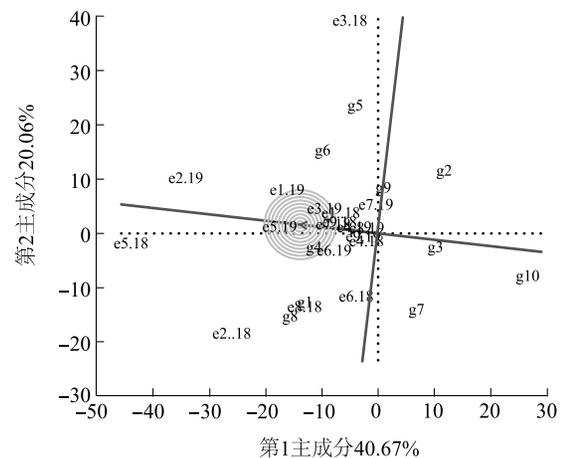
为了筛选既丰产又稳产的甘薯品种(品系),利用“理想品种”功能图对参试甘薯品种(品系)进行综合排名。以平均环境线箭头所在位置为圆心画同心圆,距离圆心越近的品种(品系)越接近理想品种(品系)。如图 4 所示, g4 最接近理想品种(品系), g6、g1 次之。



g1~g10 见表 1, e1.18~e9.19 见表 2。AXIS1: 坐标轴 1; AXIS2: 坐标轴 2。

图 3 GGE 双标图的“鉴别力与代表性”功能示意

Fig.3 Discrimination and representativeness view of the GGE biplot



g1~g10 见表 1, e1.18~e9.19 见表 2。AXIS1: 坐标轴 1; AXIS2: 坐标轴 2。

图 4 区试 GGE 双标图的“理想品种”功能示意

Fig.4 The ideal genotype view of the GGE biplot

3 讨论

以往的区域试验数据分析通常使用方差分析法、回归分析法等方法,方差分析可以将效应分解为基因型效应、环境效应和基因型与环境互作效应,但对互作效应不能进行进一步的分析。回归分析中的回归系数和离差可以解释加性效应的互作部分,然而无法解释非加性效应。近年来,AMMI 模型和 GGE 双标图在区域试验数据分析中应用得更为广泛,2 种方法均可利用主成分分析法对非加性互作效应进行分析,可以解释更多的变异信息。但 2 种

方法有区别,分析结果有一定差异。AMMI 模型结合了方差分析、主成分分析的优点,能找到互作效应小、稳定性高的品种(品系),而 GGE 双标图能够更直观地将环境分为不同区域,能够合理地对品种(品系)进行布局,使品种(品系)的最大潜力得到发挥^[29]。在对品种(品系)稳定性的分析方面,GGE 双标图对互作的解释能力较弱,AMMI 模型可以很好地弥补该不足,但也容易忽视一些丰产性好但稳定性差的品种(品系),而 GGE 双标图的“哪个赢在哪里”可以筛选出丰产好但稳定性不高的品种(品系),并给出适宜种植区域。AMMI 模型和 GGE 双标图 2 种分析方法相结合,互为补充,可以提高分析结果的准确性和可靠性^[30]。

本研究结果表明,影响菜用甘薯茎尖产量的因素包括基因型效应、环境效应和二者之间的互作效应,且 3 种效应的影响均达到极显著水平。其中环境效应为主效应,互作效应次之,基因型效应的影响最小,此结果与前人在其他作物上得出的研究结果一致^[31-32],说明在菜用甘薯新品种(品系)进行推广示范前,要充分挖掘基因型与环境互作效应,筛选品种(品系)最适宜推广的区域,或者根据不同区域安排与之相适应的品种(品系)^[33]。

用 AMMI 模型、GGE 双图标分析菜用甘薯 2 年 9 个试验点的丰产性结果基本一致,其中 g9、g2 和 g10 的结果完全一致,其他试验点之间的差异也较小,可见 AMMI、GGE 这 2 种模型方法在分析甘薯品种(品系)的丰产性上差异不大。在本研究中,AMMI 模型 2 年平均解释了 94.46% 的总变异,GGE 模型解释了 60.73% 的总变异,本试验得出的丰产性主要参考 AMMI 模型分析结果。2 种方法在稳定性分析方面的结果相对于丰产性结果差异稍大,只有 g4 在 2 种方法中的稳定性表现一致,均排第 2 位;g5、g10 表现出的差异最大,位次差异分别达到 4 个、7 个,其他均相差 1~3 个位次。稳定性主要考量的是区域试验中基因型对环境的敏感性,即互作效应,效应越小表明越稳定,AMMI 模型利用主成分分析法解析部分残差的互作效应,可以有效地分析品种的稳定性。由此可见,评价试验结果的稳定性也要参考 AMMI 模型。品种(品系)是否优良不能只用稳定性来评价,还要考虑其平均产量,并且将其放在首位,稳定性用以辅助^[34]。在本试验中,既丰产又稳产的品种(品系)为 g4,适合大面积推广,此结果与 GGE 模型中“理想品种”功能图中 g4 排名第 1 的结果相一致。

g8、g5、g1、g6、g9 的丰产性较好,但稳定性一般,说明它们与环境之间的互作效应较强,适合在特定区域推广。由“哪个赢在哪里”功能示意图可以较容易地看出,g5 为试验点湖南长沙最适合的品种(品系),其次是 g6、g9;试验点湖北武汉、重庆、海南琼海、福建福州和广东广州最适合的品种(品系)为 g8,其次为 g1。本研究筛选出的丰产性、适应性、稳定性较好的品种(品系)可以作为新品种(品系)选育的优良亲本加以利用^[35]。g10 在丰产性、稳定性评价中的排名均为最后,说明该品种(品系)作为对照,表现较差,在今后的试验中可以考虑替换稳定性更高、丰产性更好的品种(品系)作为对照。

上述 2 种分析方法在分析试验点鉴别力方面也表现出较为一致的结果,e5、e3、e2 均为鉴别力较好的 3 个试验点,e8、e6 次之。结合 GGE 双标图的代表性结果可知,鉴别力、代表性均较强的 e5、e8 更适合作为菜用甘薯的鉴定试验点。

4 结论

本研究结合 AMMI 模型、GGE 双标图对 2018—2019 年全国菜用甘薯联合鉴定试验数据进行了综合分析。结果表明,AMMI 在丰产性、稳定性分析上更具有优势,GGE 在区域适应性分析中更加直观。2 种模型筛选出丰产、稳产、适合大面积推广的甘薯品种(品系)为湘菜薯 3 号,品种(品系)鉴别力和代表性较佳的试验点为海南琼海和福建福州。在实际生产中,可以参考相关结论,但不能将分析结果作为最终判断依据。甘薯品种(品系)和试验点的选择还需要结合多年多点的长期表现给出综合评价,同时还要结合品种(品系)的品质、口感、抗逆性及不同地区的消费习惯等进行综合选择。

参考文献:

- [1] 王欣,李强,曹清河,等.中国甘薯产业和种业发展现状与未来展望[J]. 中国农业科学,2021,54(3):483-492.
- [2] 苏一钧,董玲霞,王娇,等.菜用和观赏甘薯种质资源遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2018,19(1):57-64.
- [3] 邱俊凯,隋伟策,木泰华,等.58 个不同品种甘薯茎叶营养与功能成分的研究[J]. 核农学报,2021,35(4):911-922.
- [4] GAUCH H G JR,PIEPHO H P,ANNICCHIARICO P. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE[J]. Crop Science,2006,46(4):1488-1500.
- [5] YAN W K,HUNT L A,SHENG Q L, et al. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE Biplot[J]. Crop Science,2000,40(3):597-605.

- [6] 罗俊,许莉萍,邱军,等.基于 HA-GGE 双标图的甘蔗试验环境评价及品种生态区划分[J].作物学报,2015,41(2):214-227.
- [7] 岳海旺,李春杰,李媛,等.河北省春播玉米品种产量稳定性及试点鉴别力综合分析[J].核农学报,2018,32(7):1267-1280.
- [8] SINGAMSETTI A, SHAHI J P, ZAIDI P H, et al. Genotype \times environment interaction and selection of maize (*Zea mays* L.) hybrids across moisture regimes[J]. Field Crops Research, 2021, 270:108224.
- [9] 岳海旺,魏建伟,谢俊良,等.基因型和环境互作对黄淮海夏玉米品种籽粒产量的影响[J].中国农业大学学报,2022,27(4):31-43.
- [10] 常莹莹,王永华,王永霞,等.黄淮砂姜黑土区强筋小麦品质现状及基因型与环境效应[J].麦类作物学报,2018,38(1):105-112.
- [11] 杨进文,朱俊刚,王曙光,等.用 GGE 双标图及隶属函数综合分析山西小麦地方品种抗旱性[J].应用生态学报,2013,24(4):1031-1038.
- [12] 王磊,程本义,鄂志国,等.基于 GGE 双标图的水稻区试品种丰产性、稳产性和适应性评价[J].中国水稻科学,2015,29(4):408-416.
- [13] 董维,邓伟,吕莹,等.利用 AMMI 模型分析云南省杂交水稻区试优质品种产量基因型与环境互作[J].杂交水稻,2022,37(2):19-26.
- [14] 蒋彤晖,叶夕苗,余斌,等.甘肃省马铃薯区试品种产量性状和环境鉴别力评价分析[J].核农学报,2022,36(6):1262-1272.
- [15] 叶夕苗,程鑫,安聪聪,等.马铃薯产量组分的基因型与环境互作及稳定性[J].作物学报,2020,46(3):354-364.
- [16] 张志芬,任长忠,杨海顺,等.基于 SD-GGE 双标图进行饲草燕麦品种归类和区域划分[J].中国农业大学学报,2021,26(5):10-21.
- [17] 陈彩锦,张尚沛,师尚礼,等.基于 GGE 双标图对苜蓿品种丰产性和稳定性综合评价[J].草地学报,2021,29(5):912-918.
- [18] 张雪婷,杨文雄,柳娜,等.甘肃西部抗旱型玉米品种的综合评价及筛选[J].核农学报,2018,32(7):1281-1290.
- [19] 许乃银,李健.棉花区试中品种多性状选择的理想试验环境鉴别[J].作物学报,2014,40(11):1936-1945.
- [20] 许乃银,金石桥,李健.利用 GGE 双标图划分我国棉花纤维品质生态区[J].应用生态学报,2017,28(1):191-198.
- [21] 柳赛花,纪雄辉,谢运河,等.基于 GGE 双标图和 BLUP 分析筛选镉砷同步低累积水稻品种[J].生态环境学报,2021,30(2):405-411.
- [22] 何霭如,李观康,陈胜勇,等.用 AMMI 模型分析甘薯品种产量性状的稳定性[J].安徽农业大学学报,2014,41(3):430-434.
- [23] 贾赵东,谢一芝,尹晴红,等.甘薯品种产量性状的稳定性和适应性分析[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2008,29(2):77-81.
- [24] ANDRADE M I, NAICO A, RICARDO J, et al. Genotype \times environment interaction and selection for drought adaptation in sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] in Mozambique[J]. Euphytica, 2016, 209(1):261-280.
- [25] KARUNIAWAN A, MAULANA H, USTARI D, et al. Yield stability analysis of orange fleshed sweet potato in Indonesia using AMMI and GGE biplot[J]. Heliyon, 2021,7(4):e06881.
- [26] NGAILO S, SHIMELIS H, SIBIYA J, et al. Genotype-by-environment interaction of newly-developed sweet potato genotypes for storage root yield, yield-related traits and resistance to sweet potato virus disease[J]. Heliyon, 2019, 5(3):e01448.
- [27] 唐启义. DPS 数据处理系统:实验设计、统计分析及数据挖掘[M]. 2版.北京:科学出版社,2010.
- [28] 魏常敏,陈国立,许卫猛,等.糯玉米新品种鲜穗、鲜籽粒产量稳定性和试点鉴别力分析[J/OL].分子植物育种:1-15[2022-06-01].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210628.1014.004.html>.
- [29] 许乃银,荣义华,李健,等. GGE 双标图在陆地棉高产稳产和适应性分析中的应用——以长江流域棉区国审棉花新品种鄂杂棉 30 为例[J].中国生态农业学报,2017,25(6):884-892.
- [30] 步清,鲁月,郝德荣,等. AMMI 模型和 GGE 双标图在江苏省糯玉米品种区域试验中的应用[J/OL].分子植物育种:1-12[2022-06-01].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210831.1345.009.html>.
- [31] 宋慧,刘金荣,王素英,等. GGE 双标图评价谷子豫谷 18 的丰产稳产性和适应性[J].中国农业大学学报,2020,25(1):29-38.
- [32] 许乃银,张国伟,李健,等.基于 GGE 双标图和比强度选择的棉花品种生态区划分[J].中国生态农业学报,2012,20(11):1500-1507.
- [33] YAN W K, HUNT L A. Interpretation of genotype \times environment interaction for winter wheat yield in Ontario[J]. Crop Science, 2001, 41(1):19-25.
- [34] 严威凯.品种选育和评价的原理和方法评述[J].作物学报,2022,48(9):2137-2154.
- [35] 王晓斌,王瀚,胡开明,等.基于层次分析法和 GGE 双标图对引进马铃薯种质资源的综合评价[J].植物遗传资源学报,2017,18(6):1067-1078.

(责任编辑:徐艳)