DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.02.005

甘薯淀粉相关性状变异性的分析

王璐璐，　黄雨，　傅玉凡，　冉海榕，
李佳欣，　陈培涛，　李丰茂

西南大学 生命科学学院/重庆市甘薯工程技术研究中心，重庆 400715

摘要：运用主效可加互作可乘模型(Additive main effects and multiplicative interaction model，AMMI)对 2019 年重庆市合川、永川、彭水和万州 4 个地点淀粉型甘薯联合鉴定试验中 9 个品种薯块的干物质质量分数、鲜基淀粉质量分数、淀粉产量、直链淀粉质量分数、平均粒径和粒径 Span 6 个与淀粉相关的性状在品种间的差异与稳定性、地点间的稳定性以及试验地点对各个性状的辨别能力进行了分析. 结果表明：干物质质量分数、鲜基淀粉质量分数和平均粒径主要受遗传因素的影响，淀粉产量主要受地点因素的影响，直链淀粉质量分数和粒径 Span 受品种和地点交互作用的影响. 不同地点对这 6 个性状的辨别能力有差异，可以通过筛选适宜地点来提高这 6 个淀粉相关性状的鉴定效率. 淀粉相关的 6 个性状的地点间稳定性虽然在品种间有差异，但也可以通过育种手段选育出符合各类工业加工要求且较为稳定的优质淀粉型新品种.

关　键　词：甘薯；淀粉相关性状；AMMI 模型；稳定性；地点辨别力

中图分类号：S531　　**文献标志码**：A

文 章 编 号：1673-9868(2022)02-0039-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID)：

Analysis of the Variability of Starch-related Traits in Sweetpotato

WANG Lulu，　HUANG Yu，　FU Yufan，　RAN Hairong，
LI Jiaxin，　CHEN Peitao，　LI Fengmao

School of Life Science，Southwest University/Chongqing Sweetpotato Engineering and Technology Research Center，Chongqing 400715，China

Abstract：The dry matter contents and starch contents in fresh storage roots，starch yield，amylose contents，starch granule sizes and starch granule size spans of 9 sweetpotato varieties planted in 4 locations

收稿日期：2020-10-08
基金项目：现代农业产业技术体系建设专项(CARS-10-C20-2020)；重庆市技术创新与应用发展专项(cstc2019jscx-gksbX0100).
作者简介：王璐璐，硕士研究生，主要从事甘薯遗传育种的研究.
通信作者：傅玉凡，博士，研究员.

(Hechuan, Yongchuan, Pengshui and Wanzhou in Chongqing) from the 2019 Chongqing joint evaluation trial of starch-type sweetpotato were determined in present study. The difference and stability of 6 starch-related traits among varieties, stability among locations and ability to discriminate the traits by location were analyzed by Additive main effects and multiplicative interaction model(AMMI). The results showed that dry matter content, starch content and starch granule size were mainly affected by genetic factors, starch yield was mainly affected by locations, amylose content and granule size span were mainly affected by interaction between genotype and environment. The ability of discrimination by location for 6 starch-related traits was different among locations. The identification efficiency of these 6 starch-related traits could be improved by selecting suitable trial location. Although stability of 6 starch-related traits in different locations varied among varieties, but new starch-type varieties with high quality and stability to meet the requirements of industrial processing could be selected through breeding.

Key words: sweetpotato; starch-related trait; AMMI model; stability; location discrimination

甘薯 *Ipomoea batatas* (L.) Lam. 属旋花科(Convolvulaceae)甘薯属(*Ipomoea*),1年或多年生草本双子叶植物[1-3],不仅是我国重要的粮食、饲料作物,而且是淀粉工业的重要原料来源之一[4],也是新型能源作物[5-6]. 因此,淀粉质量分数与产量双高是我国甘薯育种的重要方向之一[7-8].

淀粉是葡萄糖的自然聚合体,依据葡萄糖分子间连接方式的不同分为直链淀粉和支链淀粉两种类型[9]. 直链淀粉质量分数高,甘薯薯块蒸煮后硬而不黏,反之则软而黏[10];直链淀粉质量分数越高,粉丝质量越好[11];直链淀粉质量分数高于35%时,燃料酒精转化效率非常高[12]. 一般颗粒大或结构松散的淀粉比颗粒小或结构较紧密的淀粉易于糊化与加工,加工的产品透明筋道[13];中小颗粒淀粉分布较多时,蒸煮薯块的口感较细腻[14]. 粒径Span表示粒径分布的宽度,是描述粉体集中、均匀特性的参数,Span值越小,粒径越均一[15-17].

AMMI模型是目前分析作物品种区域试验数据较为有效的模型,已广泛应用于水稻、小麦等多种作物区域试验的品种稳定性和试点辨别能力的分析[18-20]. 对品种而言,稳定性参数值越小,品种的稳定性越好;对试验地点而言,稳定性参数值越大,试验点的辨别力越强[21-22].

淀粉型甘薯育种长期以来着重以块根的干物质质量分数、淀粉质量分数和淀粉产量为主要的筛选性状,缺乏更深化的评价指标,不利于淀粉型品种的推广和开发利用. 本文采用AMMI模型对9个淀粉型甘薯品种在2019年重庆市联合鉴定试验4个地点的干物质质量分数、鲜基淀粉质量分数、淀粉产量、直链淀粉质量分数、平均粒径和粒径Span 6个与淀粉相关的性状进行品种间和地点间的变异性分析,就品种各个性状的稳定性和试点对各个性状的辨别能力进行了评价,以期为今后优质高效淀粉型甘薯新品种的选育、评价与应用提供参考.

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料取自2019年重庆市淀粉型甘薯新品种联合鉴定试验的合川区渭沱镇乔角村(编号L1)、永川区卫星湖街道南华村(编号L2)、彭水县汉葭街道镇南村(编号L3)和万州区甘宁镇楠桥村(编号L4)4个试验地点中的9个品种. 供试材料的品种编号、品种名称及其选育单位见表1,其中商薯19是淀粉型品种筛选的对照品种.

表 1　9 个淀粉型甘薯品种的编号、名称及其选育单位

品种编号	品种名称	选育单位	品种编号	品种名称	选育单位
V1	1606-11	西南大学农学与生物科技学院	V6	1408-4	西南大学农学与生物科技学院
V2	15-8-9	西南大学生命科学学院	V7	1517-5	重庆三峡农业科学院
V3	T85-5	彭水群英薯业科技研发中心	V8	15-12-2	西南大学生命科学学院
V4	1468-6	西南大学农学与生物科技学院	V9	商薯 19	河南商丘市农林科学院
V5	1426-5	重庆三峡农业科学院			

1.2　田间试验设计及其执行概况

2019 年重庆市淀粉型甘薯新品种联合鉴定试验的每个地点的田间试验均采用随机区组排列小区，重复 3 次，小区面积 20 m^2，种植密度 60 000 株/hm^2. 试验于 2019 年 5 月 17 日－6 月 20 日栽插，于 10 月 28 日－11 月 10 日期间收获，参照当地生产水平进行一致性田间管理.

1.3　取样及其样品制备

试验收获时，每个小区取约 200 g 的薯块 6 个，每个薯块对称性纵剖，取半边切成 1 cm×1 cm×1 cm 薯粒，充分混匀后取 100 g 左右，50 ℃烘 48 h 至薯粒变脆后，再 105 ℃烘至质量恒定，称干质量后，中草药粉碎机打粉过 100 目筛，装管密封，4 ℃冰箱保存.

干物质质量分数(D_c)计算公式为

$$D_c/\% = D_m/F_m \times 100$$

式中，D_m 为干质量，F_m 为鲜质量.

另取混匀的 150 g 左右的鲜薯粒经高速组织捣碎机粉碎后，1 000 mL 自来水洗涤过 100 目筛，于室温下静置沉淀 24 h，换水再静置沉淀 24 h，再换水静置 2 次操作，得到的湿淀粉 40 ℃烘干后研磨，过 100 目筛，装管密封，用于直链淀粉质量分数和粒径的测定.

1.4　干基淀粉质量分数的测定及鲜基淀粉质量分数换算

① 称取质量为 50.0 mg 干燥的薯粒粉末样品置于 10 mL 透明离心管中，加入 0.7 mL 80%乙醇，振荡混匀，于 70 ℃水浴孵育 2 h，期间保持手动摇匀. ② 加入 0.7 mL 蒸馏水，12 000 r/min 离心 10 min，弃上清. 再加入 0.7 mL 80%乙醇，手动混匀后再 12 000 r/min 离心 10 min，弃上清. ③ 重复步骤①和② 3 次. ④ 向离心管中加入 0.2 mL 80%乙醇溶液润湿样品后加入 1.5 mL α-淀粉酶，沸水浴 6 min，期间保持手动摇匀. ⑤ 加入 0.05 mL 葡糖苷酶，于 50 ℃水浴孵育 30 min. 将孵育后的液体转移至 100 mL 容量瓶中并用蒸馏水定容. ⑥ 取定容后的溶液 10.0 mL 于新的离心管中，3 500 r/min 离心 10 min 后，取 0.1 mL 上清液于试管中，加入 3.0 mL GOPOD 试剂(购买自 Megazyme)，50 ℃反应 20 min. ⑦ 取 0.1 mL 葡萄糖标准溶液，加入 3.0 mL GOPOD 试剂，50 ℃反应 20 min；试剂空白加 0.1 mL 水. ⑧ 在 510 nm 处测定吸光值.

干基淀粉质量分数(D_s)计算公式为

$$D_s/\% = A \times F \times FV \times 0.9/W$$

式中，A 为样品的吸光值，F 为 100 μg(葡萄糖标样质量)/吸光值(100 μg 葡萄糖标样的吸光值)，FV 为最终体积(10 mL)，W 为干样的质量(50.0 mg).

鲜基淀粉质量分数(F_s)换算公式为

$$F_s/\% = D_m \times D_s/100$$

式中，D_m 为干物质质量分数，D_s 为干基淀粉质量分数.

1.5　淀粉产量

淀粉产量(S_y)计算公式为

$$S_y/\mathrm{kg} = F_s \times F_y/100$$

式中，F_s 为鲜基淀粉质量分数，F_y 为淀粉鲜薯产量；产量以每 667 m^2 计.

1.6 直链淀粉质量分数的测定

参照刘襄河等[23]的方法测定淀粉中直链淀粉的质量分数. ① 称取 0.01 g 干淀粉样品于离心管中，加入 1 mL 无水乙醇，80 ℃水浴，期间保持手动摇匀，30 min 后 10 000 r/min，25 ℃离心 5 min，弃上清液. ② 加入 1 mL 乙醚振荡 5 min，10 000 r/min，25 ℃离心 5 min，弃上清液. ③ 加入 5 mL KOH 充分溶解，90 ℃水浴 10 min，冷却后 10 000 r/min，25 ℃离心 5 min，取上清液待测. ④ 酶标仪预热 30 min 以上，调节双波长至 550 nm 和 485 nm. ⑤ 分别吸取 0.1 mL 待测溶液作为测定液，0.1 mL 0.4 mg/mL 直链淀粉标准溶液作为标准液，0.1 mL 蒸馏水作为空白液，依次各自加入 0.02 mL HCl，0.5 mL 碘试剂，0.86 mL 蒸馏水，混匀后在 550 nm 和 485 nm 处测定吸光值.

550 nm 下的测定管、标准液管、空白管的吸光值分别记为 $A_{测定}$，$A_{标准}$ 和 $A_{空白}$，485 nm 下的分别记为 $A'_{测定}$，$A'_{标准}$ 和 $A'_{空白}$.

两个波长下吸光值的变化量计算公式为

$$\Delta A_{测定} = (A_{测定} - A_{空白}) - (A'_{测定} - A'_{空白})$$

$$\Delta A_{标准} = (A_{标准} - A_{空白}) - (A'_{标准} - A'_{空白})$$

直链淀粉质量分数(A_c)计算公式为

$$A_c/\% = \Delta A_{测定} \div (\Delta A_{标准} \div C_{标准}) \times V_{样总} \div W \times 100 \div 1\,000 =$$

$$2 \times \Delta A_{测定} \div \Delta A_{标准} \div W \div 10$$

式中，$C_{标准}$ 表示标准溶液浓度，为 0.4 mg/mL；$V_{样总}$ 表示加入 KOH 溶液的体积，为 5 mL；W 表示样品质量，为 0.01 g.

1.7 淀粉粒径的测定

采用 Malvern Mastersizer 2000 激光粒度分析仪分析淀粉粒径. 将适量淀粉样品置于粒度分析仪的样品池中，加入蒸馏水，超声波震荡 2 min，使淀粉颗粒均匀分布，遮光度达到 10%～20%后进样，根据激光光散射法原理，通过软件处理分析结果，可得到淀粉样品粒径分布和平均粒径，一般以 $D_{0.5}$ 表示淀粉粒径[24].

1.8 粒径 Span

粒径 Span 表示较大颗粒与较小颗粒直径差与平均直径的相对变化率[16].

Span 值($S_{粒径}$)的计算公式为

$$S_{粒径} = (D_{0.9} - D_{0.1})/D_{0.5}$$

式中，$D_{0.9}$，$D_{0.1}$，$D_{0.5}$ 分别表示粒度累积分布图上累积百分数为 90%，10%，50%所对应的颗粒直径.

1.9 数据分析

采用 Microsoft Excel 2019 软件进行平均值计算；采用 DPS v 9.50 软件中的 AMMI 模型对 9 个品种 4 个试验点的相关数据进行方差分析以及基因与环境的互作效应分析[25]，在 AMMI 模型分析结果的基础上，参照吴为人[26]的方法计算稳定性参数 D_i 性状，定量分析各个性状的稳定性以及试点之间的辨别力.

2 结果与分析

2.1 各品种在不同试点各性状的方差分析与多重比较

2.1.1 6 个性状的方差分析及其主要影响因素

根据 AMMI 模型对 9 个品种在 4 个试验点的干物质质量分数、鲜基淀粉质量分数、淀粉产量、直链淀粉质量分数、粒径和粒径 Span 的分析结果(数据略)表明：干物质质量分数、鲜基淀粉质量分数、淀粉产量、直链淀粉质量分数、粒径和粒径 Span 在品种间、地点间、品种与地点交互作用上均表现出差异有统计学意义($p<0.01$).

品种因素在干物质质量分数、鲜基淀粉质量分数和淀粉粒径 3 个性状总变异方差占比分别为 48.63%，53.91%和 72.79%，明显大于其他变异来源，表明干物质质量分数、鲜基淀粉质量分数和淀粉粒径主要受

遗传因素的影响；地点因素在淀粉产量总变异方差占比为 63.37%，远大于其他变异来源，说明地点因素对淀粉产量的影响最大；直链淀粉质量分数与粒径 Span 两个性状在品种和地点的交互作用上的方差占比分别为 45.16%和 31.96%，大于其他变异来源，说明品种和地点的交互作用对直链淀粉质量分数和粒径 Span 的影响最大.

2.1.2　6 个性状在品种间、地点间的多重比较

品种间的多重比较结果见表 2. V8 的干物质质量分数除与 V4 差异无统计学意义以外，均极显著高于其他 7 个品种；V4 的干物质质量分数除与 V8 和 V1 差异无统计学意义以外，均极显著高于其他 6 个品种；V3 干物质质量分数最低，极显著低于其他 8 个品种. V4,V1,V8 三者鲜基淀粉质量分数差异无统计学意义，均极显著高于其他 6 个品种；V7,V2 两者鲜基淀粉质量分数差异无统计学意义，均极显著高于 V5,V9 和 V3；V3 鲜基淀粉质量分数最低，极显著低于其他 8 个品种. V4,V7,V9 和 V1 四者淀粉产量差异无统计学意义，均显著高于其他 5 个品种；V2,V5 和 V8 三者淀粉产量差异无统计学意义，相对较低. 9 个品种直链淀粉质量分数绝对值差异不大，V1 数值最大，显著或极显著高于其他 8 个品种；V6 直链淀粉质量分数居第 2 位，与 V5,V9,V8,V7,V2 和 V3 之间差异存在统计学意义. V8 平均粒径极显著大于其他 8 个品种，V1 和 V3 平均粒径最小，极显著小于其他 7 个品种. 粒径 Span 值除了 V1 表现较大以外，其他 8 个品种间差异无统计学意义.

地点间的多重比较结果见表 2. 地点 L1 的干物质质量分数和鲜基淀粉质量分数与其他 3 个地点差异有统计学意义. 地点 L3 的淀粉产量和直链淀粉质量分数与其他 3 个地点差异有统计学意义. 地点 L4 平均粒径与其他 3 个地点差异有统计学意义，L3 与 L1 之间差异有统计学意义. L2 的粒径 Span 与其他 3 个地点差异有统计学意义.

表 2　甘薯淀粉相关 6 个性状在 9 个品种间和 4 个种植地点间的多重比较

品种/地点	均值					
	干物质质量分数/%	鲜基淀粉质量分数/%	淀粉产量/kg	直链淀粉质量分数/%	平均粒径/μm	粒径 Span
V1	32.69bcBC	19.91aA	353.70aAB	22.71aA	17.22eE	4.30aA
V2	31.82cdCD	18.28bcB	287.85bcCD	19.93deDE	24.29cC	2.16bB
V3	25.43hG	13.48fE	319.81bBC	19.39eE	17.46eE	3.01bB
V4	33.53abAB	20.39aA	380.73aA	21.40bcBC	25.15bcBC	2.55bB
V5	29.99fE	16.74dCD	260.93cD	20.71cdBCD	21.94dD	2.36bB
V6	30.58efDE	17.63cBC	295.89bCD	21.64bAB	22.46dD	2.17bB
V7	31.47deCD	18.49bB	364.64aAB	20.04deDE	24.40cC	2.72bB
V8	34.32aA	19.79aA	261.39cD	20.39dCDE	28.64aA	2.18bB
V9	28.18gF	15.93eD	363.45aAB	20.69cdBCD	26.41bB	2.60bB
L1	34.13aA	20.01aA	338.07bB	19.59cC	21.97cB	2.15bB
L2	27.70dD	15.89dD	206.45dD	20.03cC	22.73bcB	3.74aA
L3	31.46bB	18.60bB	440.61aA	22.12aA	22.97bB	2.26bB
L4	30.27cC	16.89cC	298.59cC	21.33bB	24.76aA	2.54bB

注：同列数据相比较，小写字母不同表示 $p<0.05$，大写字母不同表示 $p<0.01$，差异有统计学意义；淀粉产量以每 667 m^2 计.

2.2　各品种在不同试点的各性状的稳定性分析

干物质质量分数、鲜基淀粉质量分数、淀粉产量、直链淀粉质量分数、平均粒径和粒径 Span 6 个性状不仅在品种间、地点间差异有统计学意义，除平均粒径以外的其他 5 个性状还存在极显著的品种与地点的交互作用($p<0.01$). 因此有必要利用 AMMI 模型对这 5 个性状的品种与地点的交互作用引起的变异进行

稳定性分析[27]. 利用AMMI模型在显著交互效应主成分轴(IPCA)上的得分计算出每个品种在5个性状上的稳定性参数(D_i)值(表3).

根据表3的稳定性参数值(D_i)大小对品种进行排序. V4,V8,V7,V1,V3和V2干物质质量分数的稳定性优于对照品种V9; V1,V4,V3,V7和V5鲜基淀粉质量分数的稳定性优于对照品种V9; 只有V1淀粉产量上的稳定性优于对照品种V9, V4淀粉产量稳定性参数值特别大; V7,V1,V3,V4和V2直链淀粉质量分数的稳定性优于对照品种V9; V5,V2,V8和V6的粒径Span稳定性优于对照品种V9.

从各试验点的稳定性参数排序来看, 地点L3对干物质质量分数、鲜基淀粉质量分数辨别能力最强、L4辨别能力最差; 地点L1,L4对淀粉产量的辨别能力最强; 地点L1对直链淀粉质量分数辨别能力最差, 其他几个地点鉴别能力相当; 地点L3和L4对粒径Span的辨别力最好.

表3 甘薯淀粉相关6个性状在9个品种间和4个种植地点间的稳定性参数

品种/	干物质质量分数/%		鲜基淀粉质量分数/%		淀粉产量/kg		直链淀粉质量分数/%		粒径Span	
地点	D_i	位次	D_i	位次	D_i	位次	D_i	位次	D_i	位次
V1	0.39	4	0.20	1	1.01	1	0.18	2	1.34	9
V2	0.63	6	0.93	9	3.31	7	0.75	5	0.10	2
V3	0.52	5	0.41	3	1.59	4	0.29	3	0.98	8
V4	0.09	1	0.28	2	7.04	9	0.32	4	0.34	6
V5	1.09	9	0.45	5	4.55	8	1.30	9	0.03	1
V6	0.89	8	0.75	7	1.54	3	1.22	8	0.19	4
V7	0.36	3	0.43	4	1.96	5	0.08	1	0.52	7
V8	0.22	2	0.81	8	2.50	6	0.97	7	0.16	3
V9	0.67	7	0.60	6	1.12	2	0.92	6	0.21	5
L1	0.57	2	0.95	3	7.52	4	0.31	1	0.50	1
L2	0.85	3	0.66	2	1.47	2	1.29	3	0.51	2
L3	1.53	4	1.28	4	0.25	1	1.57	4	1.18	4
L4	0.11	1	0.39	1	6.30	3	1.22	2	1.16	3

注: 淀粉产量以每667 m^2计.

2.3 AMMI双标图对各品种和各地点的评价

双标图是解释AMMI模型最有效的工具, 从中可以直观地看出品种与地点等环境的互作关系. 本文采用双标图对6个淀粉相关性状在品种上的稳定性和地点上的辨别能力进行了分析, 结果见图1. 横坐标表示性状的平均值, 纵坐标表示互作效应的差异. 水平方向上值越大, 品种在性状上的值越大; 垂直方向上, 越靠近横坐标轴, 就品种而言稳定性越好, 就试点而言, 地点辨别力越差.

图1a表明品种V8,V4和V7的稳定性较好, V5,V6和V9的稳定性较差; 地点L3的代表性最强, L2,L1次之, L4最差. 因此, 就干物质质量分数而言, V8,V4是质量分数高且稳定性好的品种, 地点L3对品种间干物质质量分数差异的辨别力最强.

图1b表明品种V1,V4和V7的稳定性较好, V2,V8和V6的稳定性较差; 地点L3的代表性最强, L2,L1次之, L4最差. 因此, 就鲜基淀粉质量分数而言, V1,V4是质量分数高且稳定性好的品种, 地点L3对品种间鲜基淀粉质量分数差异的辨别力最强.

图1c表明品种V1,V9和V6的稳定性较好, V4,V5和V2的稳定性较差; 地点L1的代表性最强, L2,L4次之, L3最差. 因此, 就淀粉产量而言, V1,V9是高产稳产品种, 地点L1对品种间淀粉产量差异的辨别力最强.

图1d表明品种V7,V2和V1的稳定性较好, V5,V6和V8的稳定性较差; 地点L3的代表性最强, L2,L4次之, L1最差. 因此, 就直链淀粉质量分数而言, V1是质量分数高且稳定性好的品种, V2是质量

分数低稳定性好的品种，地点 L3 对品种间直链淀粉质量分数差异的辨别力最强.

图 1e 表明品种 V9,V2 和 V4 的平均粒径稳定性较好，V7,V8 和 V6 的稳定性较差；地点 L1 的代表性最强，L2,L4 次之，L3 最差. 因此，就淀粉粒径而言，V9,V4 粒径较大且较稳定，V2 是粒径较小且稳定性好的品种，地点 L1 对品种间粒径大小差异的辨别力最强.

图 1f 表明品种 V5,V8 和 V2 的粒径 Span 稳定性较好，V1,V3 和 V7 的稳定性较差；地点 L3 的代表性最强，L2,L4 次之，L1 最差. 因此，就粒径 Span 值而言，V8,V2 是粒径大小较为稳定的品种，地点 L3 对品种间粒径 Span 差异的辨别力最强.

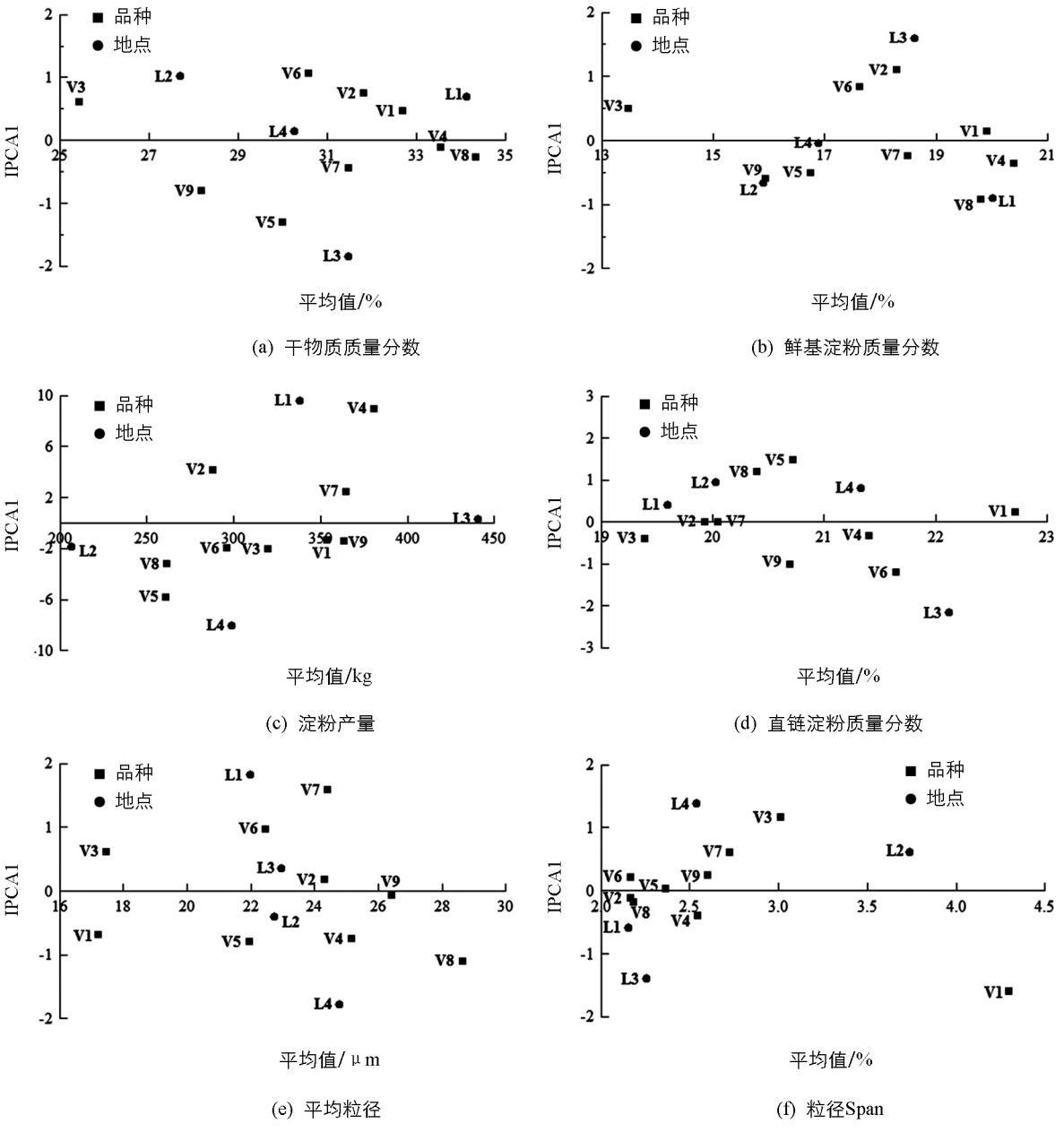

图 1　甘薯淀粉相关的 6 个性状品种、地点 AMMI 模型双标图

3　讨论与结论

目前作为国内重要育种方向之一的淀粉型甘薯如济薯 25、渝薯 27 等品种的淀粉质量分数与淀粉产量都已经达到较高的水平，促进了淀粉加工及其产业的发展，除进一步在淀粉质量分数和淀粉产量方面开展筛选外，还应在淀粉品质方面开展深入研究. 本文以 2019 年重庆市淀粉型甘薯新品种联合鉴定试验的重庆

合川、永川、彭水和万州4个地点的9个品种为供试材料，采用AMMI模型对淀粉相关的干物质质量分数、鲜基淀粉质量分数、淀粉产量、直链淀粉质量分数、平均粒径及其粒径Span的均匀性在品种间的差异、地点间的稳定性以及试验地点的鉴定灵敏度进行了初步分析.

研究结果表明，干物质质量分数、鲜基淀粉质量分数和淀粉粒径受遗传因素影响最大，这是因为不同品种移栽后茎叶生长动态和光合能力及产物转运能力存在着差异[28]，这3个性状可以通过杂交亲本的选择和搭配加以提高和改善. 育种材料的干物质质量分数、鲜基淀粉质量分数在重庆彭水(地点L3)可以比较灵敏地加以鉴定. 淀粉产量受地点因素影响最大，在不同地点间存在明显差异，与前人在水稻、玉米、油菜等作物上的研究结论相似[18,20,29]，这主要由于鲜薯产量是容易受环境影响的数量性状. 淀粉产量可以在重庆合川(地点L1)和万州(地点L4)比较灵敏地加以鉴定，这可能与合川点土壤肥力相对较差和万州点土壤肥力相对较好有关. 直链淀粉质量分数和粒径Span受品种与地点的交互作用影响最大，这可能是因为淀粉在合成过程中直链淀粉的质量分数不仅受糯性基因 *wx* 和 *rbe* 的影响，而且外部条件的改变在一定程度上影响着它的质量分数，研究发现机械活化、气温、光照强度、海拔高度、贮藏时期和收获时期对直链淀粉质量分数都有显著影响[30]. 刘建超[31]发现稻米淀粉颗粒的形态和空间排列结构与生长环境温度密切相关，高温处理下稻米淀粉颗粒平均粒径值的增加主要是由于大淀粉粒占总淀粉粒的相对数量和百分比增加所致，而小淀粉粒在高温处理下的相对数量和平均粒径并没有出现较明显的增加，甚至还略有下降. 这两个性状能在重庆彭水(地点L3)比较灵敏地鉴别，这可能与彭水点气候特点有关. 因此本文得到地点鉴别能力研究结果表明，可通过适宜地点的筛选来提高淀粉型甘薯新品种淀粉性状的鉴定与选择效率[32].

贾赵东等[33]分析了甘薯品种产量性状的稳定性和适应性，但对甘薯品种淀粉的相关性状没有做进一步的报道. 本文对9个品种6个淀粉相关性状进行了初步评价：针对淀粉质量分数高的需求，V1和V4是质量分数高且稳定性好的品种，可以作为育种亲本. 针对淀粉产量高的需求，V1是高产稳产品种. 针对直链淀粉质量分数高，可用于工业生产方面的需求，V1是质量分数高且稳定性好的品种；针对直链淀粉质量分数低且有更好食用口感的需求，V2是低质量分数且稳定性好的品种. 针对淀粉粒分布需求，V8和V2的淀粉粒径较为稳定. 本文9个品种淀粉相关性状变异及其稳定分析的研究结果表明，可以通过育种手段选育出符合各类工业加工要求的优质高淀粉高产的淀粉型新品种.

致谢：重庆市淀粉型甘薯新品种联合鉴定试验由重庆市种子管理站主持，承蒙合川、永川、彭水和万州4个地点承试单位提供甘薯样品和鲜薯产量数据，在此一并致谢.

参考文献：

[1] WOOLFE J A. Sweetpotato, an Untapped Food Resource [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1992.

[2] 陆漱韵，刘庆昌，李惟基. 甘薯育种学 [M]. 北京：中国农业出版社，1998.

[3] 李丰茂，李佳欣，郭小路，等. '忠薯1'薯皮过氧化物酶分离纯化及其理化性质研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版)，2020，42(10)：79-87.

[4] MU T H, SINGH J. Sweet Potato: Chemistry, Processing, and Nutrition-An Introduction [M] //Sweet Potato. Amsterdam: Elsevier, 2019.

[5] 靳艳玲，甘明哲，方扬，等. 鲜甘薯发酵生产高浓度乙醇的技术 [J]. 应用与环境生物学报，2009，15(3)：410-413.

[6] LAREO C, FERRARI M D, GUIGOU M, et al. Evaluation of Sweet Potato for Fuel Bioethanol Production: Hydrolysis and Fermentation [J]. Springerplus, 2013(2): 493-504.

[7] 傅玉凡，谢一芝，杨春贤，等. 高产淀粉型甘薯新品种'渝苏8号'的选育研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版)，2016，38(3)：49-53.

[8] 王佳佳，杨春贤，曾令江，等. 高淀粉甘薯新品种"渝薯1号"的选育研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版)，2019，41(7)：30-35.

[9] VILAPLANA F, HASJIM J, GILBERT R G. Amylose Content in Starches: Toward Optimal Definition and Validating Experimental Methods [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 88(1): 103-111.

[10] 黄华宏. 甘薯淀粉理化特性研究 [D]. 杭州：浙江大学，2002.
[11] 谭洪卓，谭斌，刘明，等. 甘薯淀粉性质与其粉丝品质的关系 [J]. 农业工程学报，2009，25(4)：286-292.
[12] WU X，ZHAO R，WANG D，et al. Effects of Amylose，Corn Protein，and Corn Fiber Contents on Production of Ethanol from Starch-Rich Media [J]. Cereal Chemistry，2006，83(5)：569-575.
[13] 娄树宝，徐洪岩，李庆全，等. 块茎大小与马铃薯淀粉粒度分布的关系 [J]. 中国马铃薯，2010，24(4)：199-202.
[14] 史春余，姚海兰，张立明，等. 不同类型甘薯品种块根淀粉粒粒度的分布特征 [J]. 中国农业科学，2011，44(21)：4537-4543.
[15] YE F Y，TAO B B，LIU J，et al. Effect of Micronization on the Physicochemical Properties of Insoluble Dietary Fiber from Citrus (Citrus Junos Sieb. Ex Tanaka) Pomace [J]. Food Science and Technology International，2016，22(3)：246-255.
[16] 蒋建忠. 颗粒群粒度分布宽度表示方法的研究 [J]. 过滤与分离，2006，16(1)：21-23，45.
[17] 韩敏芳，杨翠柏，王玉倩. 纳米粉体粒度特性表征方法讨论 [J]. 中国非金属矿工业导刊，2003(4)：30-32，48.
[18] KUMARBOSE L，NAMDEORAO JAMBHULKAR N，PANDE K，et al. Use of AMMI and Other Stability Statistics in the Simultaneous Selection of Rice Genotypes for Yield and Stability under Direct-Seeded Conditions [J]. Chilean Journal of Agricultural Research，2014，74(1)：3-9.
[19] GOLDRINGER I，VAN FRANK G，BOUVIER D'YVOIRE C，et al. Agronomic Evaluation of Bread Wheat Varieties from Participatory Breeding：a Combination of Performance and Robustness [J]. Sustainability，2019，12(1)：128.
[20] AGAHI K，AHMADI J，OGHAN H A，et al. Analysis of Genotype × Environment Interaction for Seed Yield in Spring Oilseed Rape Using the AMMI Model [J]. Crop Breeding and Applied Biotechnology，2020，20(1)：e26502012.
[21] 张萌，吕莹莹，沈丹丹，等. 几种高产稳产分析方法在品种区域试验中的应用和研究进展 [J]. 大麦与谷类科学，2018，35(1)：1-5，17.
[22] 马晓春，张俊江，高前宝，等. 长江中下游水稻育种基地选址的评价研究 [J]. 安徽农业科学，2020，48(2)：55-58，62.
[23] 刘襄河，郑丽璇，郑丽勉，等. 双波长法测定常用淀粉原料中直链淀粉、支链淀粉及总淀粉含量 [J]. 广东农业科学，2013，40(18)：97-100.
[24] 李芬芬，张本山. 淀粉颗粒粒径不同测定方法的比较 [J]. 食品与发酵工业，2010，36(4)：171-174.
[25] 黄雨，王璐璐，李佳欣，等. 10 个叶菜型甘薯品种茎尖总黄酮质量分数及其稳定性的分析与评价 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版)，2021，46(10)：51-57.
[26] 吴为人. 对基于 AMMI 模型的品种稳定性分析方法的一点改进 [J]. 遗传，2000，22(1)：31-32.
[27] 顾东东，胡春霞，傅玉凡，等. 紫肉甘薯新品种“渝紫薯 7 号”产量、食用品质的表现及其稳定性分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版)，2015，37(6)：35-42.
[28] 程鹏，田欢，王佳佳，等. 6 个甘薯品种干物质积累与分配特性的研究 [J]. 热带作物学报，2019，40(9)：1700-1705.
[29] 王汉霞，单福华，田立平，等. 北部冬麦区冬小麦区试品种(系)的稳定性和适应性分析 [J]. 作物杂志，2018(5)：40-44.
[30] 余飞，邓丹雯，董婧，等. 直链淀粉含量的影响因素及其应用研究进展 [J]. 食品科学，2007，28(10)：604-608.
[31] 刘建超. 高温对水稻籽粒淀粉粒径分布以及蔗糖降解、贮藏蛋白积累代谢的影响 [D]. 杭州：浙江大学，2017.
[32] MUNDA S，SARMA N，LAL M，et al. GxE Interaction of 72 Accessions with Three Year Evaluation of Cymbopogon Winterianus Jowitt. Using Regression Coefficient and Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model (AMMI) [J]. Industrial Crops and Products，2020，146：112169.
[33] 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.

责任编辑　周仁惠