

董俊美,李锦超,贾凯旋,等. 基于农艺性状的山药种质资源遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学,2022,50(18):136-143.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.18.021

# 基于农艺性状的山药种质资源遗传多样性分析

董俊美<sup>1</sup>, 李锦超<sup>1</sup>, 贾凯旋<sup>1</sup>, 孟义江<sup>2</sup>, 杨太新<sup>1</sup>, 葛淑俊<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学农学院/教育部华北作物种质资源研究与利用重点实验室, 河北保定 071000;

2. 河北农业大学生命科学学院, 河北保定 071000)

**摘要:**收集了河北省、河南省、山东省及福建省等山药主产区的 43 份山药种质资源,对 27 个农艺性状利用描述性统计、主成分分析和聚类分析等方法进行遗传多样性鉴定。结果表明,山药农艺性状变异丰富,各性状的变异范围为 9.32%~79.86%,其中变异系数最大的为叶面积(79.86%),地下部根茎性状的变异系数明显大于地上部。相关性分析结果表明,叶色、根茎全长与小区产量均呈极显著正相关,叶缺裂与小区产量呈显著正相关。通过主成分分析,将 21 个农艺性状简化为 5 个主成分因子,累积贡献率达 80.705%,涵盖了农艺性状的绝大部分信息。聚类分析将 43 份种质资源划分为 4 类,第 I 类群的叶片较小,长势一般,结有零余子,根茎多为棍棒状,该类资源多来自北方地区;其余 3 类的叶片均较大,且长势旺盛,无零余子,根茎短粗且呈不规则形,该类资源多来自南方地区。可以看出,山药不同种质间遗传多样性丰富,尤其是南北方地区间的资源差异较大。

**关键词:**山药;种质资源;农艺性状;遗传多样性;主成分分析;聚类分析

**中图分类号:** S632.102.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)18-0136-07

山药 (*Dioscorea opposita* Thunb.) 为薯蓣科 (Dioscoreaceae) 薯蓣属多年生缠绕性藤本植物,是我国最古老的作物之一,产量高且适应性强,至今广泛分布于各地。山药根茎中营养成分含量丰富<sup>[1-2]</sup>,是中华人民共和国卫生部首批公布的药食同源的中药材之一<sup>[3]</sup>,也是出口创汇的重要产品<sup>[4]</sup>。近年来,山药的栽培面积不断扩大,对优异种质的需求也日渐增多,但是目前山药地方性品种居多,种质资源混乱且同名异物或同物异名情况严重<sup>[5]</sup>。

为了促进山药种质资源的高效利用,亟需开展更多山药遗传多样性的鉴评。目前山药种质资源鉴评主要集中在形态学和分子标记 2 个方面。在形态学方面,吴金平等采用类平均聚类法将 66 份山药种质资源分为薯蓣、参薯 2 种类型,通过主成分分析提取出 5 个主因子,其中第 1 主成分反映了高产株

型综合因子<sup>[6]</sup>;覃维治等对 44 份山药种质资源的 19 个农艺性状进行质量、数量性状的遗传多样性分析,结果表明,遗传多样性指数最高的是叶形、薯块长度,数量性状的遗传变异主要来自单株产量,各性状间具有较高的多样性<sup>[7]</sup>;许念芳等以 30 份山药品种为材料进行差异性分析及聚类分析,发现各形态指标间的变异较大,将参试种质划分为北方山药、日本山药与南方山药 3 类,并提到在植物学或园艺学分类中,应考虑结合种质的形态及生态特性<sup>[8]</sup>;张武君等根据山药叶、根的形态学差异,将山药种质分为薯蓣、参薯、黄独、福州薯蓣 4 类<sup>[9]</sup>。在分子标记方面,研究者已经采用 DNA 随机扩增多态性 (RAPD)<sup>[10]</sup>、简单重复序列 (SSR)<sup>[11-12]</sup>、扩增片段长度多态性 (AELP)<sup>[13]</sup>、相关序列扩增多态性 (SRAP)<sup>[14]</sup> 等一系列技术手段对山药种质资源的分子遗传水平进行了研究,为山药种质资源利用奠定了基础。Padhan 等对 9 份山药资源的遗传多样性水平进行鉴定,采用 5 个简单序列重复标记,在材料的 5 个标记位点上检测到 10 条多态性条带,表明薯蓣 (*D. oppositifolia*)、*D. hamiltononii*、*D. pubera* 与参薯 (*D. alata*) 具有较高的遗传相似性<sup>[15]</sup>;Cao 等通过测定褐苞薯蓣叶绿体全基因组序列,得出其 GC 含量为 37.01%,预测出 129 个基因,其中包含 84 个蛋白编码基因、8 个 rRNA 基因、37 个 tRNA 基

收稿日期:2021-09-22

基金项目:国家现代农业产业技术体系资助(编号:CARS-21);河北省现代农业产业技术体系中药材产业创新团队资助(编号:HBCT201806202)。

作者简介:董俊美(1996—),女,河北魏县人,硕士研究生,从事药用植物种质资源研究与利用工作。E-mail:1620712356@qq.com。

通信作者:葛淑俊,博士,教授,主要从事药用植物种质资源利用与育种研究。E-mail:gshj@hebau.edu.cn。

因<sup>[16]</sup>。通过上述及一些其他有关生物核型与品质方面的研究得出山药种质资源遗传多样性的丰富程度,为山药种质的进一步评价与利用提供了科学的理论基础。

山药种质资源丰富,基于形态学的遗传多样性评价更为基础且简单直观,是衡量物种多样性的重要指标和研究内容<sup>[17]</sup>。本研究收集了各主产区的 43 份山药种质资源,对其进行农艺性状数据采集,

通过多种统计方法分析山药的遗传多样性,旨在明确不同山药资源及性状指标间的遗传多样性水平,为山药种质资源的筛选和利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究所用的山药材料为 43 份,主要来自河北省、河南省、山东省和福建省等地,名称及来源见表 1。

表 1 供试山药资源的基本信息

编号	名称	来源	编号	名称	来源	编号	名称	来源
1	小白嘴 1	河北省安国市	16	太古 2	山西省浑源县	31	紫皮山药	福建省周宁县
2	小白嘴 2	河北省安平县	17	铁棍 1	河南省武陟县	32	大上杭薯	福建省龙岩市
3	白玉 1	河北省安国市	18	铁棍 2	河南省焦作市	33	脚板薯 1	福建省邵武市
4	白玉 2	河北省蠡县	19	铁棍 3	河北省容城县	34	脚板薯 2	福建省政和县
5	白玉 3	河北省容城县	20	铁棍 4	河南省温县	35	琅口柱	福建省三明市
6	白玉 4	河北省临漳县	21	紫山药	河北省高阳县	36	罗次山药	云南省罗次县
7	白玉 5	选种	22	佛手山药	湖北省黄冈市	37	陇山药 1 号	甘肃省平凉市
8	棒药 1	河北省安国市	23	华山山药	陕西省华阴市	38	西施山药	河北省蠡县
9	棒药 2	河北省高阳县	24	贵港山药	广西省贵港市	39	黄皮山药	河北省蠡县
10	细毛 1	河北省蠡县	25	攀枝花	四川省攀枝花市	40	山东 2 号	山东省
11	细毛 2	河北省容城县	26	紫玉山药	广东省顺德区	41	晋城 2 号	山西省晋城市
12	白皮山药	河北省高阳县	27	鲜山药	四川省攀枝花市	42	偃野 1 号	河南省温县
13	双棒 1	河北省蠡县	28	苏蕢 5 号	江苏省南通市	43	靳家岭 2 号	河南省温县
14	双棒 2	河北省高阳县	29	苏蕢 6 号	江苏省南通市			
15	太古 1	河北省安国市	30	日本白	江苏省南通市			

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验所用山药于 2019—2020 年种植于河北省安国市中药都药博园试验基地,土壤为沙壤土。每年 4 月下旬播种,随机区组设计,共 3 次重复,采用开沟起垄立架的栽培方式种植,行长 5 m,行距 40 cm,株距 15 cm。将根茎切段后种植,每段 40 g 左右。种植前施用 4 500 kg/hm<sup>2</sup> 腐熟有机底肥,生长中期施肥 2 次,每次追施 600 kg/hm<sup>2</sup>,其他田间管理措施同常规大田栽培。

1.2.2 鉴定指标及方法 每种山药资源随机选取无病虫害、无机械损伤的 5 个单株,挂牌标记。在根茎形成期调查地上部形态指标(叶片与零余子),地下部形态指标(根茎)的调查于山药收获期进行,采收挂牌植株的根茎进行考种。在鉴定质量性状指标时,应遵循最大相似原则,记录结果并分级赋值。表型性状及鉴定标准参照《山药种质资源描述和数据质量控制规范》<sup>[18]</sup> 执行,详见表 2。

1.2.3 数据处理与分析 用 Excel 2007 进行数据整理及绘图,用 SPSS Statistics 25.0 进行描述性统

计、相关性分析、主成分分析及系统聚类,参照杜荣骞的组距式分组法对数值型性状进行分级<sup>[19]</sup>。鉴于部分资源无零余子,除描述统计外,其余分析使用部分农艺性状。

2 结果与分析

2.1 山药种质资源农艺性状的分布

2.1.1 质量性状的频率分布 对 43 份山药种质资源的 9 个质量性状进行频率分析,由图 1 可以看出,各性状在不同级别上的分布不均匀。在叶片形状上,心形叶片最多,占 74.4%;其次为矛形叶片,占 16.3%;戟形叶片占比最少。在叶色上,深绿色的叶片最多,占 58.1%;其次为绿色叶片,占 25.6%;浅绿色叶片多数为南方资源,占比少,叶片较嫩。在叶缺裂上,浅裂叶片资源最多,占 53.5%;其次为全缘叶片,占比为 32.6%。叶腋处结有零余子的资源最多,占 76.7%;南方资源多数无零余子。零余子形状以球形为主,占 51.5%;其次为椭圆形、不规则形,分别占 33.3%、12.1%。根茎形状以棍状、棒状

表 2 山药农艺性状鉴定项目及标准

性状		鉴定标准	性状		鉴定标准
叶形	1:心形;2:戟形;3:矛形		球形指数	直径/长度	
叶色	1:浅绿色;2:绿色;3:深绿色		芽眼数(个)	零余子表皮的芽眼数量	
叶缺裂	1:浅裂;2:中裂;3:全缘		零余子百粒质量(g)	100 粒零余子的质量	
叶脉数(条)	1:7;2:9		薯皮颜色	1:褐色;2:黄褐色;3:黄白色;4:褐紫色	
叶长(cm)	叶尖到叶基部的长度		根茎形状	1:棍状;2:棒状;3:扁柱状;4:柱状;5:不规则形;6:纺锤形	
叶宽(cm)	叶片中部位置的宽度		根茎表面特性	1:光滑;2:粗糙	
叶形指数	叶长/叶宽		根茎全长(cm)	芦头处到根茎生长点的长度	
叶周长(cm)	叶片外缘总长		茎粗(mm)	主茎 1/2 处测量的直径	
叶面积(cm <sup>2</sup> )	叶片表面大小		芦头长(cm)	芦头到茎尖最顶端的长度	
叶绿素值	扫描测定的表示叶片绿色程度的数值		芦头占比(%)	芦头长占全长的比例	
零余子有无	0:无;1:有		须根长(cm)	芦头处最长须根的长度	
零余子形状	1:椭圆形;2:球形;3:长条形;4:不规则形		单株质量(kg)	单株根茎质量	
零余子直径(mm)	零余子中部位置宽度		小区产量(kg)	每小区根茎总产量	
零余子长度(mm)	零余子顶端到底部长度				

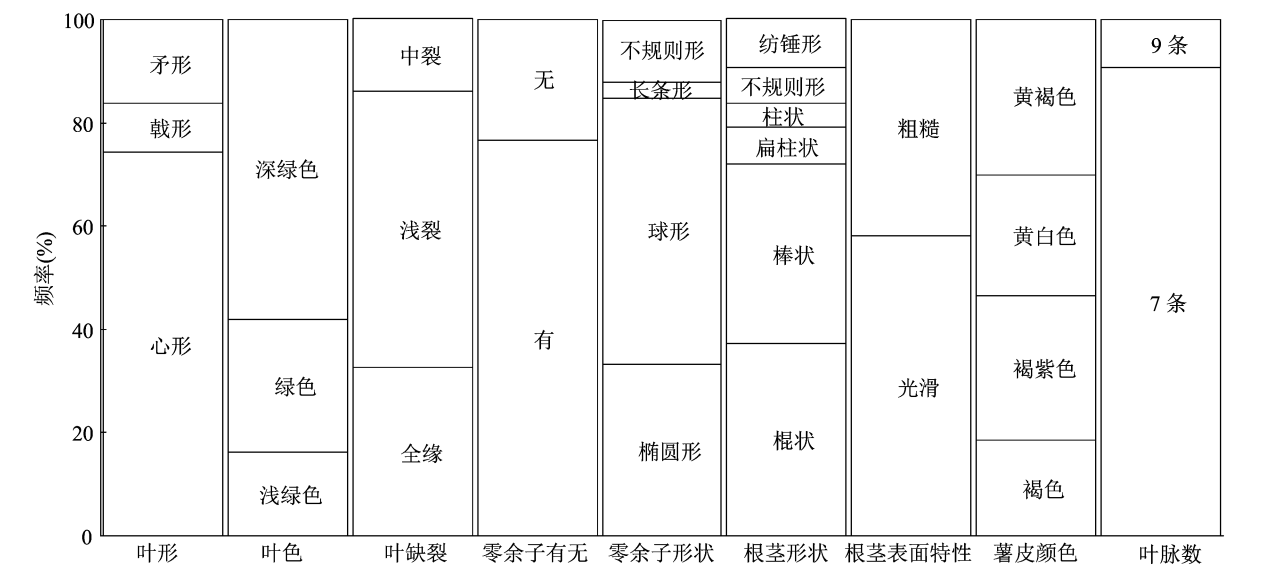


图1 山药质量性状分布频率

为主,分别为 37.2%、34.9%。根茎表皮光滑的资源占比达 58.1%,其余均为表面粗糙型资源。薯皮颜色以黄褐色为主,占比达 30.2%。叶脉数分为 7 条(90.7%)、9 条(9.3%) 2 种类型。

2.1.2 数量性状的分布频次 由图 2 可以看出,各数量性状的分布频次存在差异,其中叶面积在 25.5~67.5 cm 的分布频次最高,此类种质有小白嘴、白玉等;叶绿素含量(SPAD 值)在 >2.4~2.7 分布频次占比最高,分布相对均匀,此类种质有棒药、太古等;叶形指数在 1.42~1.54 范围内的分布频次最高,此类种质有紫山药、佛手等;零余子球形指数在 0.84~1.16 范围的分布频次占比最高,此类种质有华山、贵港山药等;百粒质量在 >35.5~

57.5 g 的分布频次最高,此类种质有黄皮、陇山药 1 号等;根茎全长在 >68.5~88.5 cm 范围的分布频次占比最高,为 44.19%,此类种质有靳家岭 2 号、偃野 1 号等;茎粗在 17.5~34.5 mm 范围的分布频次最高,此类种质有山东 2 号、晋城 2 号等;芦头长在 >12.5~24.5 cm 范围的分布频次最高,此类种质有白皮、铁棍山药等。

2.2 山药种质资源农艺性状的变异特征

由表 3 可知,山药种质资源性状指标间变异丰富,平均变异系数达到 38.95%,变异范围在 9.32%~79.86% 之间。农艺性状中除叶形指数、SPAD 值及零余子直径外,其他性状的变异系数均大于 25%,叶片性状中变异系数最大的是叶面积,达 79.86%,

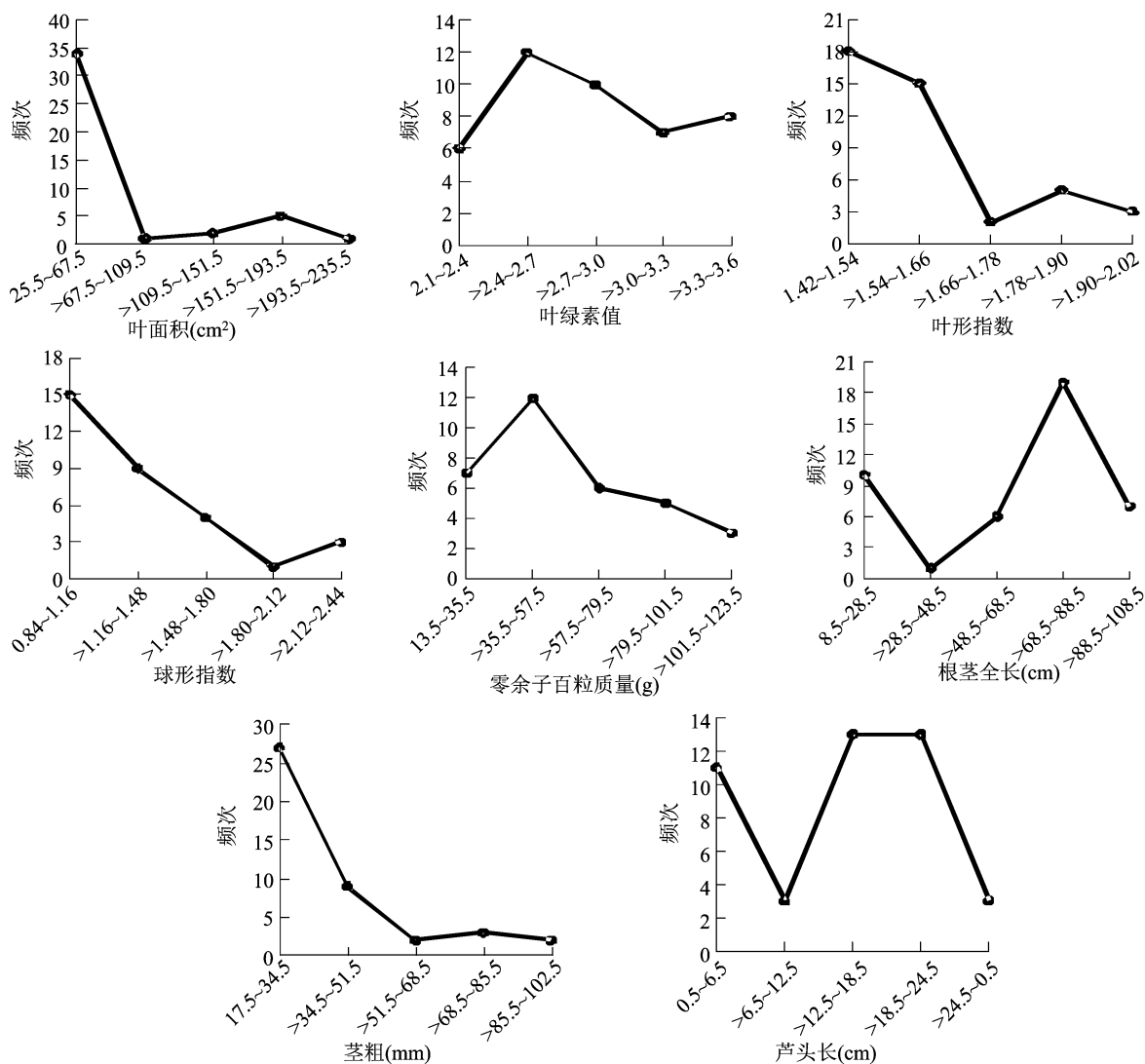


图2 山药数量性状的分布频次

南方种质资源的叶面积相对较大,且叶形指数较大,表示叶片较狭长。在零余子性状中,变异系数较大的为零余子百粒质量、球形指数,分别为 48.83%、30.30%,球形指数接近 1,代表零余子呈现出圆形。在根茎性状中,变异系数较大的为芦头长、茎粗,分别为 56.10%、51.97%,其次为单株质量,为 51.16%,其余性状的变异系数均大于 35%。北方资源的芦头较长,芦头占比最高达 36.47%;南方资源的芦头较短,最小占比仅为 7.08%。由此可见,芦头占比是品种选育时的重要指标。

总体来说,山药种质资源主要农艺性状间均存在较大变异,地下部相关性状的变异幅度大于地上部相关性状,表明其种质资源的遗传多样性较丰富,为优良种质的选择和育种创造了条件。

### 2.3 山药主要农艺性状与小区产量的相关性分析

对供试山药资源的主要农艺性状与小区产量

进行相关性分析发现,叶色、根茎全长与小区产量均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.408、0.429;叶缺裂与小区产量呈显著正相关,相关系数为 0.354;其余性状与产量间的相关性均未达到显著水平(表 4)。表明叶色深绿、根茎粗长及单茎高质量是高产山药种质资源的特征,在进行品种选育时要注意选择有此类特征的资源。

分别对供试的南北方山药种质资源的主要农艺性状与小区产量进行相关性分析,表 5 结果表明,在南方种质资源中,茎粗、叶色与小区产量呈显著或极显著正相关,相关系数分别为 0.244、0.369;叶面积与小区产量呈负相关。由此可见,在实际生产中,南方资源在北方生态区域环境条件的影响下,产量会有一定变化。在北方种质资源中,叶色、根茎形状、茎粗与小区产量呈极显著正相关,相关系数分别为 0.480、0.466、0.437,芦头占比与产量呈

表 3 山药种质资源的主要性状

类别	性状	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数 (%)
叶片	长度 (cm)	18.90	5.96	12.94	9.39	3.68	39.19
	宽度 (cm)	12.11	3.74	8.37	5.81	1.92	33.05
	叶形指数	2.08	1.43	0.65	1.61	0.15	9.32
	叶周长 (cm)	58.38	18.08	40.30	28.90	10.75	37.20
	叶面积 (cm <sup>2</sup> )	235.00	26.39	208.61	67.12	53.60	79.86
	SPAD 值	3.60	2.11	1.49	2.84	0.40	14.08
零余子	直径 (mm)	13.61	6.68	6.93	9.21	1.87	20.30
	长度 (mm)	19.95	6.59	13.36	11.86	3.02	25.46
	球形指数	2.42	0.87	1.55	1.32	0.40	30.30
	百粒质量 (g)	123.23	14.24	108.99	57.40	28.03	48.83
	芽眼数 (个)	19.00	5.00	14.00	10.64	3.00	28.20
根茎	全长 (cm)	105.40	9.30	96.10	63.28	28.27	44.67
	茎粗 (mm)	99.18	17.68	81.50	37.62	19.55	51.97
	芦头长 (cm)	30.60	0.90	29.70	14.35	8.05	56.10
	芦头占比 (%)	36.47	7.08	29.39	21.00	8.04	38.29
	须根长 (cm)	37.20	6.52	30.68	17.88	7.70	43.06
	单株质量 (kg)	1.01	0.13	0.88	0.43	0.22	51.16
	小区产量 (kg)	141.40	18.20	123.20	60.30	30.13	49.97

表 4 山药主要农艺性状与小区产量的相关性

性状	与小区产量的相关系数
叶形	-0.118
叶色	0.408 **
叶缺裂	0.354 *
叶形指数	-0.019
叶面积	-0.122
零余子有无	-0.188
根茎全长	0.429 **
芦头长	0.219
芦头占比	-0.105
茎粗	0.220
单株质量	1.000 **

注: \* 表示显著相关 ( $P < 0.05$ ); \*\* 表示极显著相关 ( $P < 0.01$ )。表 5 同。

极显著负相关,相关系数为 -0.360,表明芦头占比越大,产量越低,因此芦头长度也是影响山药产量的重要因素。

2.4 山药主要农艺性状的主成分分析

对山药种质资源的 21 个主要农艺性状进行主

成分分析,表 6 结果显示,前 5 个主成分的累积贡献率达 80.705%,特征值总和为 16.949,表明前 5 个主成分覆盖了农艺性状的大部分信息。

第 1 主成分的特征值为 10.833,贡献率为 51.584%,特征向量中载荷值较高且为正值的有零余子有无、叶长及叶周长等,说明此类性状主要反映地上部植株长势,在品种选育时应选择长势旺、光合利用率良好的品种,在一定范围内有利于实现高产。第 2 主成分的特征值为 2.510,贡献率为 11.951%,特征向量中载荷值较高且为正值的是单株质量,载荷值高达 0.951,这类因子被称作高产因子。第 3 主成分的特征值为 1.375,贡献率为 6.546%,特征向量中载荷值较高且为正值的是叶形、叶形指数,此类性状反映了植株叶片在不同地区生长环境与资源间的差异,因此在进行不同生态区域的引种时应注意此类性状的选择。第 4 主成分的特征值为 1.138,主要反映了山药种质的薯皮颜色。第 5 主成分的特征值为 1.093,反映了山药的

表 5 山药不同来源种质主要农艺性状与小区产量的相关性

来源	相关系数									
	叶形	叶色	叶缺裂	叶形指数	叶面积	根茎形状	芦头长	芦头占比	茎粗	单株质量
南方种质	-0.043	0.369 **	-0.230	0.001	-0.081	0.065	0.104	-0.118	0.244 *	1.000 **
北方种质	0.106	0.480 **	-0.157	0.118	0.008	0.466 **	-0.012	-0.360 **	0.437 **	1.000 **

表 6 山药部分农艺性状的主成分分析

性状	特征向量				
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5
叶形	0.497	-0.079	0.435	0.065	-0.066
叶色	-0.664	0.393	-0.329	-0.175	-0.159
叶缺裂	0.793	-0.221	0.075	0.127	0.007
叶脉数	-0.214	0.030	0.422	-0.466	0.611
叶绿素值	-0.561	-0.158	0.290	-0.079	-0.127
叶长	0.942	0.076	-0.202	-0.003	0.190
叶宽	0.873	0.046	-0.365	-0.029	0.269
叶形指数	0.755	0.150	0.443	0.065	-0.223
叶周长	0.925	0.057	-0.244	0.009	0.218
叶面积	0.904	0.050	-0.289	-0.103	0.161
零余子有无	0.970	0.012	0.031	-0.078	-0.018
根茎形状	0.906	0.148	-0.151	-0.101	0.039
薯皮颜色	-0.171	-0.081	0.271	0.621	0.580
根茎表面特性	0.382	-0.235	-0.168	0.546	-0.194
根茎全长	-0.893	0.291	-0.029	0.016	0.092
芦头长	-0.880	0.026	-0.137	0.141	0.127
芦头占比	-0.680	-0.328	-0.237	0.199	0.094
须根长	0.786	0.167	0.175	-0.084	-0.105
茎粗	0.780	0.352	0.254	0.170	-0.135
单株质量	-0.181	0.951	0.015	0.161	0.036
小区产量	-0.181	0.951	0.015	0.161	0.036
特征值	10.833	2.510	1.375	1.138	1.093
贡献率(%)	51.584	11.951	6.546	5.420	5.203
累积贡献率(%)	51.584	63.536	70.082	75.502	80.705

叶脉数因子。

2.5 山药种质资源的聚类分析

采用组间联接法对种质进行聚类,在遗传距离为 6.5 处将供试山药材料分为四大类群。

由表 7、图 3 可以看出,第 I 大类群包括 33 份资源,占供试材料总数的 76.7%,主产于北方地区。这类材料的特征如下:长势一般;叶片中浅裂且相对较小;叶色深绿,多为心形;结有零余子;根茎形状多为棍、棒状且多数根茎、芦头长度分别为 68.8 ~

88.5、12.5 ~ 24.5 cm;表皮较光滑且呈黄褐色。第 II 类群包括 2 份资源,占供试材料总数的 4.7%,主产于南方地区。这类材料的特征如下:长势中等;叶片全缘、叶色浅绿,无零余子;根茎、芦头长度分别为 8.5 ~ 28.5、0.5 ~ 6.5 cm,表皮粗糙,呈褐紫色。第 III 类群包括 5 份资源,占供试材料总数的比例为 11.6%,这类材料的特征如下:长势较好,藤蔓粗长;无零余子;根茎粗壮,呈不规则短圆形,粗度为 70 ~ 100 mm;芦头较短。第 IV 类群包含 3 份资源,占供试材料总数的比例为 7%,这类材料的特征如下:叶面积最大,生长最为旺盛,其余特点均与第 II、III 类群相似。在遗传距离为 4.0 处可将第 I 类群分为 2 个亚类,第 2 亚类的根茎比第 1 亚类粗长,产量相对较高。

3 讨论

明确种质资源的遗传多样性水平是开展育种工作的基础和前提,山药在长期栽培过程中积累了丰富的种质资源类型,尤其是山药地方性品种,虽然有关产量性状不如部分育成品种,但在某一特定性状上保持着较高的遗传多样性水平<sup>[20]</sup>。目前,山药的育种方法主要有选择育种和诱变育种 2 种,其中选择育种是山药的主要育种手段,而群体内的变异是选择育种的前提。在本研究中,山药种质资源类型表现出了较高的遗传多样性水平,为选育出适合河北省种植的山药品种奠定了基础。

本试验通过农艺性状与产量的相关性分析,发现构成山药产量的主要因子为叶色、叶缺裂、根茎全长。舒锐等通过对山药种薯的研究也得出过类似的结果<sup>[21]</sup>。叶面积是影响植物光合效能的重要丰产指标<sup>[22]</sup>,本试验发现叶面积性状与产量呈负相关,因此对南北方类型资源各自进行相关性分析。结果表明,北方资源中叶面积与产量呈正相关关系,南方资源中叶面积与产量呈负相关关系。由此

表 7 山药种质资源农艺性状的分类

类别	亚类	资源名称	资源数 (份)	占比 (%)
I	第 1 亚类	小白嘴 1、铁棍 2、铁棍 1、西施山药、晋城 2 号、靳家岭 2 号、铁棍 4、细毛 1、细毛 2、小白嘴 2、紫山药、罗次山药、双棒 2、日本白、双棒 1、佛手山药、山东 2 号、白皮山药、偃野 1 号、贵港山药、陇山药 1 号	21	48.8
	第 2 亚类	太古 1、黄皮山药、白玉 1、铁棍 3、白玉 4、太古 2、华山山药、白玉 2、棒药 1、棒药 2、白玉 3、白玉 5	12	27.9
II		紫皮山药、琅口柱	2	4.7
III		脚板薯 1、脚板薯 2、苏黄 5 号、苏黄 6 号、大上杭薯	5	11.6
IV		紫玉山药、鲜山药、攀枝花	3	7.0

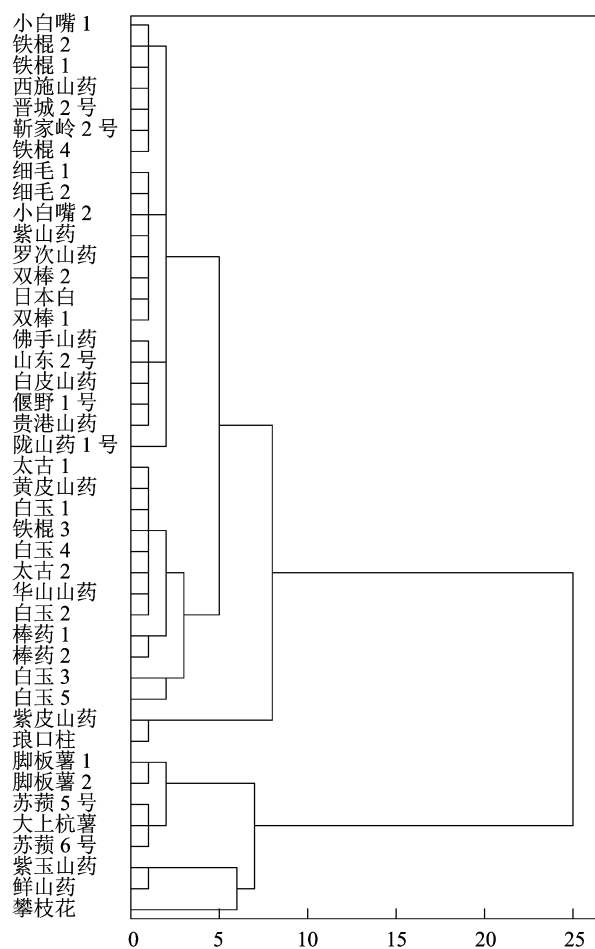


图3 基于农艺性状的山药种质资源的聚类结果

可见,在生产中,在北方生态环境条件的影响下,南方资源的产量可能会产生一定差异。

本研究通过主成分分析,将山药的主要农艺性状简化为植株长势因子、产量因子、区域性因子、薯皮颜色与叶脉数因子,该结果与吴金平等的研究结果<sup>[6]</sup>基本一致,不同主成分反映的性状存在差异,在实际生产中应注意对前3个主成分的选择。聚类结果显示,在遗传距离6.5处可将山药分为四大类群,与覃维治等的分类结果<sup>[7]</sup>相似,尤其是第一大类群,符合北方区域资源特征,其余3类全部符合南方区域特征,由于个别形态差异被划分开,反映了不同地域资源间的类型差异及遗传多样性,通过差异性聚类,为山药综合分类提供了参考。在实际育种工作中,建议通过引种驯化增加当地种质资源,提高其产量及质量,同时加强不同类群间的亲本互配及种质交流。

基于形态学性状的鉴定方法易受外界环境影响,因此在进行多年多点鉴定的同时,还应结合分子标记、生理生化等多技术手段,进行更深层的基

因组学等方面的研究。通过加大种质资源收集力度,并采用多鉴定手段使山药种质的一系列遗传信息逐步揭示和完善,从而达到全方位、更准确的鉴定。

#### 4 结论

本研究通过对不同山药种质资源进行农艺性状鉴定,发现种质性状指标间存在丰富的遗传多样性。综合相关性和主成分分析,筛选出叶面积、根全长、茎粗等性状,可作为山药鉴定的重要参考指标。聚类分析结果反映了不同地域资源间的类型差异,为山药后续种质资源的创新利用及优良品种选育奠定了基础。

#### 参考文献:

- [1] Epping J, Laibach N. An underutilized orphan tuber crop - Chinese yam; a review[J]. Planta, 2020, 252(4): 58.
- [2] 关随霞, 李爱江, 李道敏. 怀山药大枣酸奶加工工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(12): 169 - 173.
- [3] 李鑫. 浅析山药的食用价值和药用功能[J]. 食品安全导刊, 2021(6): 41 - 42.
- [4] 王智超. 安国百种出口中药材中重金属镍的含量分析及出口贸易措施的建议[D]. 保定: 河北大学, 2019.
- [5] 尹明华, 徐志坚, 黄玮, 等. 江西山药种质资源遗传多样性及其组培苗遗传稳定性的 RAPD 检测[J]. 中草药, 2016, 47(19): 3486 - 3493.
- [6] 吴金平, 矫振彪, 郭凤领, 等. 基于形态学标记的山药种质资源遗传多样性研究[J]. 中国野生植物资源, 2017, 36(1): 11 - 14, 29.
- [7] 覃维治, 韦本辉, 甘秀芹, 等. 淮山药种质资源主要农艺性状遗传多样性分析[J]. 南方农业学报, 2014, 45(10): 1726 - 1733.
- [8] 许念芳, 岳林旭, 刘少军, 等. 山药种质资源的分类及综合分析[J]. 中国野生植物资源, 2019, 38(1): 54 - 59.
- [9] 张武君, 陈菁瑛, 刘保财, 等. 37 份福建山药地方品种主要性状遗传变异研究[J]. 福建农业学报, 2019, 34(11): 1246 - 1254.
- [10] 华树妹, 涂前程, 雷伏贵. 福建山药种质资源遗传多样化的 RAPD 分析[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(2): 195 - 200.
- [11] 张文芳. 基于怀山药转录组测序的 SSR 分子标记的开发与利用[D]. 新乡: 河南师范大学, 2018.
- [12] 陈阳, 周先治, 林永胜, 等. 不同山药种质主要性状比较与遗传多样性分析[J]. 福建农业学报, 2016, 31(9): 945 - 949.
- [13] 王志敏, 霍秀文, 张艳芳, 等. 山药 (*Dioscorea opposita*) 块茎不同发育时期相关差异基因的 cDNA - AFLP 分析[J]. 分子植物育种, 2019, 17(11): 3650 - 3659.
- [14] 华树妹, 贺佩珍, 陈芝华, 等. 应用 SRAP 标记构建山药种质资源 DNA 指纹图谱[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(3): 597 - 603.
- [15] Padhan B, Mukherjee A K, Mohanty S K, et al. Genetic variability

郑淑琳, 石玉涛, 叶乃兴, 等. 61 份茶树种质资源矿质元素多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(18): 143–150.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.18.022

# 61 份茶树种质资源矿质元素多样性分析

郑淑琳<sup>1,2</sup>, 石玉涛<sup>1</sup>, 叶乃兴<sup>2</sup>, 张群峰<sup>3</sup>, 王飞权<sup>1</sup>, 李远华<sup>1</sup>, 张 渤<sup>1</sup>, 吴邦强<sup>4</sup>

(1. 武夷学院茶与食品学院/茶叶福建省高校工程研究中心/武夷学院茶叶科学研究所, 福建武夷山 354300;

2. 福建农林大学园艺学院, 福建福州 350002; 3. 中国农业科学院茶叶研究所, 浙江杭州 310008;

4. 福建省武夷山生物研究所, 福建武夷山 354300)

**摘要:**为明确茶树种质资源矿质元素含量的多样性, 采用等离子体发射光谱仪法测定 61 份茶树种质中 18 种矿质元素含量, 并进行相关性分析、主成分分析和聚类分析。结果表明, 18 种矿质元素含量具有丰富的多样性, 变异系数为 15.27%~69.65%, 遗传多样性指数为 1.58~2.18; P、S、Ca、Mg、Mn、Zn、Cu、Ba、B、Se 等 10 种元素含量呈正态分布, K、Al、Fe、Na、Ti、Ni、Cr、Co 等 8 种元素含量呈正偏态分布; 主成分分析将 18 个矿质元素含量指标归纳为 6 个主成分, 反映了 18 种矿质元素 77.722% 的信息, 通过主成分综合得分筛选出 10 份矿质元素含量较高的茶树种质; 聚类分析将 61 份茶树种质资源分为 5 个类群, 结合主成分分析结果, 可将第 I 类群的黄山种、湘妃翠、早白尖 5 号、鄂茶 5 号、云抗 10 号、浙农 113、福云 10 号等优先作为茶树新品种选育的种质材料。

**关键词:**茶树; 种质资源; 矿质元素; 多样性; 主成分分析; 聚类热图分析

**中图分类号:**S571.102.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)18-0143-08

茶是世界上最受欢迎的三大天然饮料之一。茶叶因含有多种营养成分和具有抗氧化、降血糖、

降血脂等保健功效, 被誉为 21 世纪最具生命力的健康饮料<sup>[1]</sup>。茶树是重要的经济作物之一, 我国茶园面积和茶叶产量均居世界首位, 茶产业已成为我国重要的扶贫和富民产业<sup>[2]</sup>。茶树种质资源是茶树品种改良和新产品开发的物质基础, 是保障种业安全的战略性资源。我国是茶树的起源地, 茶树种植区域广阔, 种质资源异常丰富<sup>[3]</sup>。遗传多样性是决定物种发生、进化、选择、重组和创新的物质基础。开展植物种质资源遗传多样性研究, 有助于把握植物种质资源收集和保存的方向, 明确不同类型间的亲缘关系, 构建核心种质库, 开发利用种质的优良特性<sup>[4]</sup>。相关学者从农艺性状<sup>[5]</sup>、品质性状<sup>[6]</sup>、分子标记<sup>[7]</sup>等方面对茶树种质资源的遗传多样性进行了研究。牛素贞等对 144 份贵州省古茶树种质资

收稿日期: 2021-10-11

基金项目: 福建省中青年教育科研项目(编号: JAT200675、JAT190800); 武夷学院科研基金(编号: XL201801); 福建省大学生创新创业训练计划(编号: 201910397076); 茶学福建省高校重点实验室开放课题(编号: KLTS2018003); 福建省 2011 协同创新中心-中国乌龙茶产业协同创新中心专项(编号: 闽教科[2015]75 号); 福建省科技厅科技创新平台项目(编号: 2018N2004); 福建省属公益类科研院所专项(编号: 2020R1008002); 福建省一流本科专业(茶学)建设项目(编号: SJZY201904)。

作者简介: 郑淑琳(1986—), 女, 福建三明人, 硕士, 实验师, 主要从事茶树种质资源与茶叶品质化学研究。E-mail: zsl@wuyiu.edu.cn。  
通信作者: 石玉涛, 硕士, 副教授, 主要从事茶树种质资源与茶叶品质化学研究, E-mail: ytshi@wuyiu.edu.cn; 叶乃兴, 硕士, 教授, 主要从事茶树栽培育种与品质化学研究, E-mail: ynxtea@126.com。

and inter species relationship between wild and cultivated yams (*Dioscorea* spp.) from Koraput, India based on molecular and morphological markers[J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2019, 25(1): 1225–1233.

[16] Cao T X, Zhu Q L, Chen X, et al. The complete chloroplast genome sequence of the *Dioscorea persimilis* Prain et Burkill (Dioscoreaceae)[J]. Mitochondrial DNA Part B: Resources, 2020, 5(1): 451–452.

[17] 张莹, 曹玉芬, 霍宏亮, 等. 基于枝条和叶片表型性状的梨种质资源多样性[J]. 中国农业科学, 2018, 51(17): 3353–3369.

[18] 黄东益, 黄晓龙. 山药种质资源描述和数据质量控制规范[M]. 北京: 科学出版社, 2013.

[19] 杜荣骞. 生物统计学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1985.

[20] 刘思辰, 曹晓宁, 温琪汾, 等. 山西谷子地方品种农艺性状和品质性状的综合评价[J]. 中国农业科学, 2020, 53(11): 2137–2148.

[21] 舒锐, 刘少军, 刘建平, 等. 不同种薯质量对山药生长、产量及经济效益的影响[J]. 天津农业科学, 2019, 25(8): 41–43.

[22] 李方一, 黄璜, 官春云. 作物叶面积测量的研究进展[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(3): 274–282.