

不同品种山药氨基酸组成成分分析及综合评价

朱会丽^{1,2}, 杨静², 马欢¹, 周娟¹, 李萌¹, 马婧玮¹, 安莉^{1*}, 吴绪金^{1*}

(1. 河南省农业科学院农产品质量安全研究所/河南省粮食质量安全与检测重点实验室, 郑州 450002;
2. 河南中医药大学药学院, 郑州 450046)

摘要: **目的** 探究不同品种山药中氨基酸的含量差异。**方法** 参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》, 利用全自动氨基酸分析仪测定山药中氨基酸含量, 通过相关性、主成分分析进行数据分析及综合性评价。**结果** 20种山药中均检测出16种氨基酸, 总氨基酸含量为7.21~8.71 g/100 g, 必需氨基酸占比为27.86%~34.89%。各地均以精氨酸和谷氨酸含量最高, 总含量分别为20.77 g/100 g和26.18 g/100 g。采用主成分分析法提取3个主成分, 累积方差贡献率为82.78%, 综合评分排名前3位的品种分别是利川山药、西施山药、云岭山药。**结论** 通过主成分分析法区分不同品种山药中氨基酸差异, 为山药中氨基酸评价、食药资源的开发利用、良种选育、种植技术改良等方面提供可行性参考。

关键词: 山药; 必需氨基酸; 主成分分析; 氨基酸含量

Composition analysis and comprehensive evaluation of amino acids in different varieties of Chinese yams

ZHU Hui-Li^{1,2}, YANG Jing², MA Huan¹, ZHOU Juan¹, LI Meng¹,
MA Jing-Wei¹, AN Li^{1*}, WU Xu-Jin^{1*}

(1. Institute of Quality and Safety for Agro-products, Henan Academy of Agricultural Sciences/Henan Provincial Key Laboratory of Grain Quality Safety and Testing, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Pharmacy, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China)

ABSTRACT: Objective To explore the difference of amino acid content in different varieties of Chinese yams. **Methods** In this study, according to GB 5009.124—2016 *National food safety standard-Determination of amino acids in foods*, the amino acid content in Chinese yam was determined by automatic amino acid analyzer, and the data analysis and comprehensive evaluation were carried out by correlation and principal component analysis. **Results** The 16 kinds of amino acids were detected in 20 kinds of Chinese yams, the total amino acid content was 7.21–8.71 g/100 g, and the essential amino acids accounted for 27.86%–34.89% of the total amino acids. The content of arginine and glutamic

基金项目: 中原科技创新领军人才项目(234200510012)、2024年度河南省农业科学院科技创新团队专项(2024TD23)、河南省农业科学院自主创新项目(2023ZC073)

Fund: Supported by the Central Plains Science and Technology Innovation Leading Talent Project (234200510012), the Science and Technology Innovation Team of Henan Academy of Agricultural Sciences in 2024 (2024TD23), and the Independent Innovation Project of Henan Academy of Agricultural Sciences (2023ZC073)

*通信作者: 安莉, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。E-mail: cpulian@126.com

吴绪金, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。E-mail: xujinwu2005@126.com

*Corresponding author: AN Li, Associate Professor, Institute of Quality and Safe for Agro-products, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China. E-mail: cpulian@126.com

WU Xu-Jin, Professor, Institute of Quality and Safe for Agro-products, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China. E-mail: xujinwu2005@126.com

acid were the highest in all regions, and the total content were 20.77 g/100 g and 26.18 g/100 g, respectively. Principal component analysis was used to extract the 3 principal components, and the cumulative variance contribution rate was 82.78%. The top 3 varieties were Lichuan yam, Xishi yam, Yunling yam. **Conclusion** The difference of amino acids in different varieties of Chinese yam has been distinguished by principal component analysis, which provide a feasible reference for the evaluation of amino acids in Chinese yam, the development and utilization of edible and medicinal resources, the breeding of improved varieties and the improvement of planting technology.

KEY WORDS: Chinese yam; essential amino acid; principal component analysis; amino acid content

0 引言

山药为薯蓣科植物薯蓣(*Dioscorea opposita* Thunb.)的地下块茎,是旱地可持续生产的重要种植品种,以其地下块茎为使用器官,可用作膳食食物和传统中药^[1-3]。我国是山药的原产地,已有数千年的历史,各类医药经典和古籍中都有相关记载^[4]。最早见于《山海经·北山经》中记载:又南三百里,曰景山,南望盐贩之泽,北望少泽,其上多草、薯蓣^[5]。东汉时期药物学专著《神农本草经》记载:薯蓣,秦楚名玉延,与山芋齐名^[6]。明代《本草纲目》第十卷记载:山药入手、足太阴二经,主治小便数多,手足冻疮等,将其列为上品^[7]。山药中含有丰富的蛋白质、维生素、氨基酸等营养物质,还含有山药素、尿囊素、皂苷等多种活性成分,对机体脾、胃、肺、肾均有益处,临床上长期用来辅助治疗糖尿病、脾胃虚弱、消化系统疾病等。现代药理研究表明,山药不仅能抗氧化、抗炎、抗衰老、抗癌、促进免疫功能,还能降低血糖、血脂水平^[8]。山药品种、产地繁多,主要广泛分布在热带以及亚热带地区,我国常见的品种有铁棍山药、紫山药、棒药等约 90 多种^[9]。山药块茎中氨基酸组分齐全且含量较高,可作为氨基酸的良好来源^[10]。至今,自然界发现 300 多种氨基酸,约有 20 种参与蛋白质合成,山药中约占五分之四^[11]。山药长期在传统医学和食品行业广泛应用,药食两用及护肤美容的价值也不断提高,在医药和食品行业开发山药加工品方面具有较好的前景^[12-14]。因此准确测定山药中氨基酸含量是评价其营养价值和药用价值的途径之一。

近年来,世界人口的增长导致人们对优质营养物质的需求增大,以维持机体生长和健康。山药中含有丰富的优质物质,有关其中营养成分和活性成分测定、药理实验等相关研究也逐渐深入、系统、全面^[15-16]。当前国内外报道了不同品种党参^[17]、重楼^[18]、水稻^[19]、山药^[20]、不同品种铁皮石斛^[21]、海藻^[22]中氨基酸含量检测实验。已报道的检测方法主要有 WANG 等^[23]、王华芬等^[24]采用全自动氨基酸分析仪法测定桑枝叶、山药中氨基酸的含量;KIVRAK 等^[25]、尹艳艳等^[26]报道了采用超高效液相色谱-串联质谱法检测巨型泡芙蘑菇、白酒中的氨基酸;韩承刚等^[27]水解醋酸西曲瑞克后,Marfey 法进行柱前衍生化前处理,高效液相色谱法测定手性氨基酸的含量;SOGA 等^[28]

建立并优化毛细管电泳-电喷雾质谱法测定 19 种常规氨基酸和几种生理氨基酸,并将其应用于酱油中氨基酸的分析。国内外关于同一土壤环境种植的不同品种山药中氨基酸的含量检测及综合评价等研究相对较少,山药品种繁多,其中氨基酸的组分和含量分析也并未被完全阐明和详细报道。综上所述,本研究采用全自动氨基酸分析仪对同一土壤、气候、温湿度环境产出的不同品种山药中氨基酸的组成成分进行含量分析,利用相关性分析和主成分分析法对 20 种山药中的氨基酸进行比较及综合评价,探究同一自然环境产出的不同品种山药中氨基酸组成及含量差异,为山药及其加工品的质量保证、鉴别、开发利用及品种筛选、分类提供参考依据之一。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

16 种氨基酸混合标准溶液:标准品有丝氨酸(L-serine, Ser)、苏氨酸(L-threonine, Thr)、谷氨酸(L-glutamic acid, Glu)、脯氨酸(L-proline, Pro)、甘氨酸(L-glycine, Gly)、丙氨酸(L-alanine, Ala)、缬氨酸(L-valine, Val)、蛋氨酸(DL-methionine, Met)、异亮氨酸(L-isoleucine, Ile)、亮氨酸(L-leucine, Leu)、酪氨酸(L-tyrosine, Tyr)、苯丙氨酸(L-phenylalanine, Phe)、赖氨酸(L-lysine, Lys)、组氨酸(L-histidine, His)、精氨酸(L-arginine, Arg)、天门冬氨酸(L-aspartic acid, Asp)(纯度均大于 99.00%,上海源叶生物技术有限公司);苯酚(分析纯,上海兆上工贸有限公司);茚三酮溶液、盐酸(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);山药实验材料由河南省温县农业科学研究所提供,处理后得到山药干粉,相关信息见表 1。

1.2 仪器与设备

Advanced A300 全自动氨基酸分析仪、氨基酸分析专用(锂盐)色谱柱(100 mm×4.6 mm,德国曼默博尔公司);DW-HL398 超低温冷藏冰箱(中科美菱低温科技公司);SCIENTZ-12ND 冷冻干燥机(宁波新芝生物科技公司);DHG-9070A 恒温干燥箱(上海齐欣科学仪器有限公司);ME204E 电子分析天平(精度 0.0001 g,瑞士梅特勒托利多公司);Milli-Q Synthesis 超纯水仪(美国默克密理博公司);0.22 μm 微孔滤膜(天津津腾实验设备有限公司)。

表1 不同品种山药信息表
Table 1 Information table of different varieties of Chinese yams

编号	品种	编号	品种	编号	品种	编号	品种
A1	纯铁棍	A6	南召山药	B4	云岭山药	E1	垣曲采
A2	辉县太行山野山药	A7	嵩野3号	C1	利川山药	E2	冀村山药
A3	靳家岭2号	B1	嘉祥细长毛	C2	武当山山药	F1	灌南山药
A4	栾川野山药	B2	水果山药	D1	河北安国棒药	G1	清远山药
A5	毛山药	B3	西施山药	D2	麻山药	H1	永丰淮山药

1.3 样品前处理

参考 AN 等^[29]的方法处理山药实验材料。处理步骤为:所有新鲜样品用流动水冲洗表面泥沙后,再用去离子水清洗,通风阴凉处晾干表皮水分,切片,迅速放于-80℃冷冻约 24 h,冷冻干燥机梯度干燥,粉碎,于-80℃超低温冰箱中保存。准确称取约 0.50 g 于水解管中,向管内加入 8 mL 6 mol/L 盐酸溶液,再加入 4 滴苯酚溶液。冰浴 5 min 同时充氮气 3 min,在 110℃恒温干燥箱中水解 22 h。待冷却后,过滤至 50 mL 容量瓶中定容,摇匀。取 2.0 mL 于浓缩试管中旋干,加入 1 mL pH 2.2 缓冲液涡旋溶解混匀,经 0.22 μm 微孔滤膜滤过,即得。

1.4 氨基酸测定条件

参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》,利用氨基酸分析仪测定山药中氨基酸的含量,以外标法通过峰面积计算氨基酸的含量。仪器相关参数如下:分离柱:氨基酸分析专用(锂盐)色谱柱(100 mm×4.6 mm),柱温 47~75℃,进样量 20 μL;反应温度 135℃;缓冲液流速 0.42 mL/min;茚三酮溶液流速 0.34 mL/min;检测波长 570 nm 和 440 nm。

1.5 数据处理

采用 Excel 2019 软件进行初步的数据整理及统计,用 Origin 2023 软件进行相关性分析,用 SPSS 26 软件进行主成分分析的计算。

2 结果与分析

2.1 不同品种山药中氨基酸组成及含量分析

氨基酸分子结构中含有酸性羧基和碱性氨基,是一种两性化合物。依据检测结果表 2 可知,不同山药品种中的氨基酸种类差异较小,均含有 Thr、Ser、Glu 等 16 种氨基酸。氨基酸总含量(total amino acid, TAA)有明显的差异,介于 7.21~8.71 g/100 g 之间,其中 A7 中 TAA 最高。在所有氨基酸中, Glu 总含量最高,高达 26.18 g/100 g。在所有采集的山药样本中, TAA 由高到低为 A7>A3>B3>B1>C1>E1>A4>E2>H1>D2>B2>B4>A2>A6>D1>A5>A1>F1>C2>G1。

必需氨基酸(essential amino acid, EAA)的含量、种类和比例是影响山药药用价值、营养价值和商业价值的重要因素^[30]。所有山药实验材料中均含有 7 种 EAA,含量从高到低依次为 Leu>Phe>Lys=Val>Thr>Ile>Met。陈艳等^[31]分析淮山药中各种氨基酸的组成,其中含有 7 种人体必需氨基酸,占总氨基酸含量的 25.32%。本研究所有品种山药中 EAA/TAA 的百分比为 27.86%~34.89%,各品种均高于陈艳等^[31]分析淮山药的含量占比。联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)/世界卫生组织(World Health Organization, WHO)评分模式中对氨基酸理想模式推荐的 EAA/TAA 为 40%,这表明山药营养价值接近推荐的理想模式,氨基酸组合与 FAO/WHO 理想模式接近,有较好的营养价值^[32]。

山药作为我国传统的药食同源的补益中药材之一,分析其中药用氨基酸的组成和含量差异可以为山药饮片质量评价和山药补益食品开发利用提供依据。山药中的氨基酸是辅助治疗疾病或营养保健的主要成分,药用氨基酸(medical amino acid, MAA)主要包括 Glu、Asp、Arg、Gly、Phe、Tyr、Met、Leu、Lys 9 种,在山药根茎中均能检出。不同品种山药中 MAA 总含量在 4.69~5.82 g/100 g 之间, MAA/TAA 值在 62.90%~69.18%之间,其中 A7 中 MAA 总含量最高, A5 中 MAA 占比最高。可见山药中 MAA 含量较高,与药理作用可能有一定的关联性,可为山药滋补保健食品的开发及日常烹饪食补提供药效物质基础。

2.2 不同品种山药中氨基酸变异系数分析

变异系数是衡量山药样品中各数据变异程度的一个统计量,是一种客观赋权的方法。变异系数越小,变异程度越小。由以上分析可知,不同品种的山药对氨基酸含量的影响各不相同。选择 16 种氨基酸为评价指标,采用变异系数法得到评价指标的变异系数和权重,结果见表 3。分析得知,16 种氨基酸的变异系数介于 8.41%~43.33%之间,品种对氨基酸含量影响大小的顺序: Met>Ala>Ser>Pro>His>Glu>Arg>Lys>Asp>Tyr>Leu>Phe>Val>Gly>Ile>Thr。Met、Ala、Ser 权重较大,说明这 3 个指标的含量受品种不同的影响有较大差异。

表 2 不同品种山药中氨基酸组成成分(g/100 g)
Table 2 Composition of amino acids in different varieties of Chinese yams (g/100 g)

编号	Ile	Leu	Tyr	Phe	His	Lys	Arg	Asp	Thr	Ser	Glu	Pro	Gly	Ala	Val	Met	EAA	TAA	EAA/ TAA/%	MAA	MAA/ TAA/%
A1	0.31	0.59	0.26	0.50	0.16	0.39	0.78	0.97	0.32	0.62	1.11	0.19	0.30	0.40	0.41	0.04	2.56	7.34	34.89	4.94	67.28
A2	0.27	0.51	0.24	0.43	0.13	0.38	1.21	0.84	0.33	0.86	1.13	0.15	0.29	0.45	0.36	0.03	2.29	7.58	30.25	5.04	66.42
A3	0.34	0.64	0.29	0.54	0.17	0.43	1.07	1.10	0.37	0.75	1.35	0.21	0.34	0.55	0.45	0.04	2.81	8.62	32.56	5.78	67.10
A4	0.32	0.61	0.29	0.51	0.16	0.38	0.95	1.04	0.33	0.61	1.30	0.21	0.31	0.43	0.42	0.07	2.63	7.93	33.21	5.45	68.67
A5	0.29	0.49	0.25	0.41	0.13	0.36	1.16	0.81	0.31	0.65	1.36	0.14	0.26	0.41	0.36	0.02	2.23	7.40	30.13	5.12	69.18
A6	0.30	0.57	0.27	0.47	0.15	0.38	0.87	0.97	0.33	0.63	1.26	0.19	0.30	0.44	0.40	0.04	2.50	7.57	32.97	5.12	67.72
A7	0.34	0.66	0.30	0.53	0.19	0.44	1.01	1.09	0.38	0.80	1.37	0.21	0.36	0.50	0.47	0.05	2.88	8.71	33.07	5.82	66.79
B1	0.30	0.56	0.30	0.53	0.20	0.52	1.16	0.89	0.39	0.96	1.26	0.18	0.33	0.54	0.38	0.02	2.71	8.53	31.79	5.56	65.27
B2	0.26	0.46	0.22	0.39	0.13	0.34	0.94	0.79	0.31	0.92	1.35	0.13	0.29	0.73	0.35	0.02	2.13	7.63	27.86	4.80	62.90
B3	0.30	0.57	0.26	0.47	0.15	0.39	1.22	1.01	0.38	0.81	1.55	0.18	0.31	0.55	0.39	0.02	2.52	8.57	29.43	5.80	67.71
B4	0.28	0.52	0.24	0.44	0.14	0.36	1.09	0.88	0.31	0.91	1.18	0.17	0.31	0.42	0.37	0.02	2.28	7.61	30.03	5.02	66.03
C1	0.28	0.52	0.24	0.44	0.14	0.39	1.09	0.98	0.35	0.80	1.57	0.17	0.32	0.66	0.37	0.02	2.35	8.30	28.29	5.55	66.85
C2	0.28	0.54	0.25	0.44	0.14	0.36	0.92	0.91	0.32	0.65	1.21	0.16	0.28	0.42	0.37	0.03	2.33	7.28	32.03	4.93	67.81
D1	0.26	0.49	0.23	0.41	0.13	0.36	1.02	0.80	0.32	0.91	1.27	0.14	0.28	0.51	0.35	0.02	2.22	7.52	29.48	4.89	65.04
D2	0.29	0.54	0.24	0.45	0.14	0.38	1.01	0.97	0.32	0.71	1.22	0.17	0.29	0.50	0.38	0.03	2.38	7.63	31.13	5.12	67.10
E1	0.29	0.54	0.23	0.44	0.15	0.37	1.16	0.96	0.33	0.79	1.35	0.17	0.30	0.51	0.38	0.03	2.37	7.99	29.72	5.37	67.28
E2	0.27	0.50	0.23	0.44	0.13	0.36	1.06	0.88	0.30	0.75	1.68	0.16	0.26	0.49	0.36	0.03	2.26	7.90	28.56	5.44	68.88
F1	0.27	0.49	0.23	0.43	0.13	0.35	0.85	0.83	0.30	1.01	1.24	0.14	0.26	0.43	0.35	0.02	2.21	7.32	30.15	4.69	64.11
G1	0.25	0.49	0.24	0.41	0.12	0.34	1.17	0.82	0.30	0.71	1.21	0.15	0.27	0.38	0.34	0.02	2.14	7.21	29.72	4.96	68.71
H1	0.31	0.59	0.26	0.48	0.17	0.39	1.05	1.01	0.35	0.67	1.23	0.19	0.31	0.44	0.42	0.02	2.56	7.86	32.51	5.33	67.80
总量	5.79	10.86	5.05	9.13	2.96	7.67	20.77	18.55	6.66	15.51	26.18	3.41	5.96	9.76	7.67	0.57	48.35	156.48	30.90	104.73	66.93

表 3 16 种氨基酸的变异系数和权重
Table 3 Coefficients of variation and weights of 16 kinds of amino acids

组分	平均值	标准差	变异系数/%	权重
Ile	0.29	0.03	8.59	0.04
Leu	0.55	0.05	9.71	0.05
Tyr	0.25	0.03	9.84	0.05
Phe	0.46	0.04	9.61	0.04
His	0.15	0.02	14.19	0.07
Lys	0.38	0.04	10.68	0.05
Arg	1.04	0.13	12.02	0.06
Asp	0.93	0.10	10.35	0.05
Thr	0.33	0.03	8.41	0.04
Ser	0.78	0.12	15.72	0.07
Glu	1.34	0.18	13.49	0.06
Pro	0.17	0.03	14.62	0.07
Gly	0.30	0.03	8.70	0.04
Ala	0.49	0.09	18.03	0.08
Val	0.38	0.04	9.12	0.04
Met	0.03	0.01	43.33	0.21

2.3 不同品种山药中氨基酸组成成分相关性分析

本研究对 20 个山药品种的 16 种氨基酸含量差异进行

分析,各指标之间变化趋势多变,关系复杂且存在紧密的联系,为了更客观、更直观地分析指标之间的相关关系,将 16 种氨基酸进行相关性分析。结果如表 4 所示,共有 120 个相关系数, Lys 与 Asp、Val 呈显著正相关($P < 0.05$)。Arg、Glu、Ser、Ala 的含量与其他氨基酸都没有相关性, Asp 与 Ser、Glu 也没有相关性($P > 0.05$)。大部分氨基酸之间存在极显著的相关性($P < 0.01$)。表明氨基酸组分之间相关性整体较强。但相关性分析只能定性衡量两个变量之间的密切程度,为了进一步分析各组分之间的关系,并能很好地评价不同山药品种样品品质特性的综合值,将采用主成分分析进行综合分析评价。

2.4 不同品种山药中氨基酸主成分分析及综合评价

主成分分析是一种利用降维算法,通过减少变量,仅用几个主成分反映氨基酸之间的相互关系,已被广泛用于成分的差异分析和综合评价。对氨基酸含量进行主成分分析,结果如表 5 所示,在所有主成分中,前 3 个主成分的特征值均大于 1,其特征值分别为 9.25、2.75 和 1.24,且累积贡献率达 82.78%,能代表绝大部分变量的初始信息,较完整地反映 16 种氨基酸含量之间的关系。因此,选取前 3 个主成分作为本实验研究数据的综合指标进行评价。

表 4 不同山药品种中氨基酸组成成分相关性分析
Table 4 Correlation analysis of amino acid composition in different Chinese yam varieties

组分	Ile	Leu	Tyr	Phe	His	Lys	Arg	Asp	Thr	Ser	Glu	Pro	Gly	Ala	Val	Met
Ile	1															
Leu	0.94**	1														
Tyr	0.85**	0.84**	1													
Phe	0.90**	0.92**	0.92**	1												
His	0.82**	0.81**	0.87**	0.91**	1											
Lys	0.62**	0.60**	0.79**	0.80**	0.89**	1										
Arg	-0.13	-0.14	-0.02	-0.11	-0.03	0.19	1									
Asp	0.89**	0.93**	0.68**	0.81**	0.68**	0.47*	-0.09	1								
Thr	0.68**	0.67**	0.75**	0.75**	0.83**	0.85**	0.32	0.66**	1							
Ser	-0.37	-0.4	-0.26	-0.21	-0.05	0.15	0.21	-0.42	0.09	1						
Glu	-0.05	-0.06	-0.15	-0.09	-0.11	-0.09	0.32	0.06	0.02	0.24	1					
Pro	0.91**	0.96**	0.83**	0.92**	0.78**	0.58**	-0.13	0.94**	0.64**	-0.43	0.02	1				
Gly	0.77**	0.77**	0.74**	0.79**	0.83**	0.73**	0.07	0.76**	0.84**	0.08	0.10	0.78**	1			
Ala	-0.05	-0.12	-0.12	-0.07	0.08	0.18	0.13	0.05	0.34	0.43	0.28	-0.11	0.32	1		
Val	0.96**	0.96**	0.80**	0.86**	0.79**	0.55*	-0.15	0.91**	0.66**	-0.35	-0.05	0.91**	0.81**	-0.01	1	
Met	0.64**	0.69**	0.59**	0.60**	0.39	0.18	-0.38	0.62**	0.16	-0.50*	-0.19	0.70**	0.38	-0.21	0.66**	1

注: 相关性为 Pearson 类型, *表示显著($P<0.05$), **表示极显著($P<0.01$)。

表 5 主成分的初始特征值及累计方差贡献率
Table 5 Initial eigenvalues and cumulative variance contribution rates of principal components

主成分	初始特征值			旋转载荷平方和		
	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%
1	9.45	59.05	59.05	9.25	57.84	57.84
2	2.59	16.22	75.26	2.75	17.17	75.01
3	1.20	7.52	82.78	1.24	7.77	82.78

利用 SPSS 软件对提取的 3 个主成分进行载荷分析, 载荷值代表原变量与主成分相关系数。表 6 和图 1 显示得知, 除了 Ser 和 Glu 外, 14 种氨基酸均对主成分 1 有正向影响。PC1 达到 59.05%, 表示 PC1 方向上主要代表山药中氨基酸的主要信息。Ile、Leu、Tyr、Phe、His、Lys、Arg、Thr、Pro、Gly、Val 在主成分 1 上载荷系数较高, 说明主成分 1 主要代表并反映这些氨基酸的相关信息。在主成分 2 上的载荷系数较高的为 Ser、Ala。Glu 在主成分 3 上载荷较高。所以 3 个主成分基本反映所有氨基酸的信息, 可作为综合评价指标评价 20 种山药中 16 种氨基酸的含量。

各主成分与氨基酸指标之间建立关系模型, 计算山药各品种的综合主成分得分并排序。综合得分越高, 氨基酸质量越高。由表 7 可知, 10 种综合值大于 0, 说明这 10 个山药品种中氨基酸含量较高。在第 1 主成分中, A7 得分最高, 说明 A7 中 Ile、Leu、Tyr、Phe、His、Lys、Arg、Thr、Pro、Gly、Val 含量较高; 在第 2 主成分中, B1 得分最高, 说明 B1 中 Ser、Ala 含量较高; 在第 3 主成分中, B4 得分最高, 说明 B4 中 Glu 含量较高。C1 综合得分最高, A1 综合得分最低, 说明同一自然环境不同品种的山药样品氨基酸质量存在一定差异。

表 6 主成分载荷矩阵
Table 6 Principal component load matrixes

组分	主成分		
	1	2	3
Ile	0.92	-0.28	0.07
Leu	0.92	-0.34	0.08
Tyr	0.91	-0.12	-0.20
Phe	0.96	-0.14	-0.10
His	0.94	0.11	-0.19
Lys	0.83	0.39	-0.29
Arg	0.02	0.57	0.22
Asp	0.85	-0.31	0.31
Thr	0.87	0.40	0.00
Ser	-0.16	0.80	-0.05
Glu	-0.04	0.28	0.85
Pro	0.90	-0.35	0.16
Gly	0.90	0.20	0.16
Ala	0.10	0.60	0.37
Val	0.91	-0.30	0.14
Met	0.53	-0.66	0.05

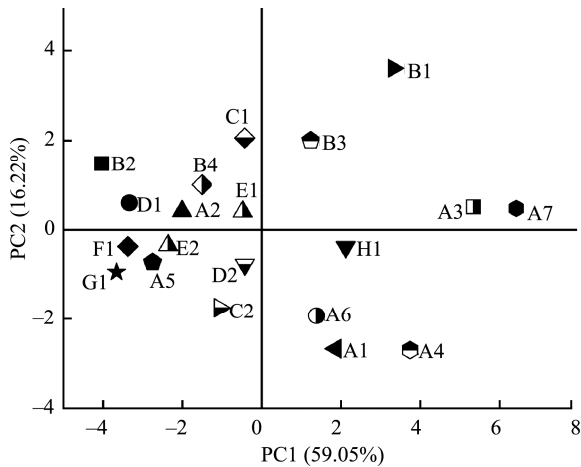


图 1 20 种山药氨基酸 PCA 得分图

Fig.1 PCA score plot of amino acids in 20 kinds of Chinese yams

表 7 主成分得分和综合得分及排序

Table 7 Principal component scores and comprehensive scores and ranking

编号	F1	F2	F3	F	排序
C1	0.01	1.04	1.57	2.87	1
B3	0.55	0.97	1.24	2.79	2
B4	-0.45	0.43	1.66	2.08	3
A3	1.74	-0.06	0.59	1.78	4
A7	2.10	-0.10	0.30	1.67	5
B1	1.53	2.41	-2.08	1.46	6
B2	-1.16	1.07	0.43	1.08	7
E1	-0.14	0.18	0.57	0.92	8
E2	-0.85	-0.33	1.42	0.85	9
H1	0.65	-0.30	-0.29	0.04	10
D1	-0.98	0.65	-0.59	-0.26	11
D2	-0.21	-0.44	-0.11	-0.43	12
A2	-0.56	0.53	-0.98	-0.53	13
A5	-0.95	-0.26	-0.27	-0.83	14
A4	0.90	-1.93	0.31	-0.85	15
A6	0.25	-1.23	-0.26	-1.09	16
C2	-0.50	-0.92	-0.65	-1.61	17
F1	-1.08	0.13	-1.07	-1.32	18
G1	-1.24	-0.28	-0.68	-1.43	19

3 讨论与结论

国内外关于氨基酸在机体代谢活动、日常生活中的作用研究主要有 Arg 在肿瘤细胞裂变、伤口复原、改善免疫功能以及性功能等方面扮演着重要角色^[33]。1856 年里索逊发现的 Glu 是大脑内最主要的兴奋性神经递质，它也是生活中常见增鲜剂味精的一种主要成分^[34]。Glu、Asp、Phe、Ala、Gly 和 Tyr 是呈味氨基酸，与山药在烹饪后散发出独

特的鲜美味道密切相关^[35]。Gly 是谷胱甘肽的重要合成原料，参与代谢、基因调控、代谢障碍细胞的保护等工作^[36-37]。Thr 在提高动物的生长性能、增强免疫力、调节脂肪代谢、维持机体蛋白质平衡等方面具有重要作用^[38]。本研究针对 20 种山药中氨基酸进行深入研究，发现氨基酸的含量差异较大，Met、His、Pro 含量整体较低，Glu 和 Arg 的含量整体较高，与王华芬等^[24]、BHANDARI 等^[39]研究结果趋势相一致，且本研究的 20 个品种中 16 种氨基酸的含量均普遍高于王华芬等^[24]研究的 8 个品种。这可能是土壤、气候、水质、温湿度等自然环境不同，赋予山药在饮食方面具有独特的风味、在营养方面具有很高的滋补、辅助价值的重要影响因素之一。

本研究通过营养价值、相关性、主成分分析对同一土壤、气候、温湿度环境不同品种的山药进行分析，结果表明同一自然环境不同品种山药中氨基酸之间存在一定的关联性，且自然环境对氨基酸含量趋势影响不大，但对氨基酸含量影响较大。根据主成分得分和综合得分评价山药氨基酸的综合质量，发现 C1 综合质量最高。本研究为山药在种植时品种的区分与选育、种植土壤的选择、品质的评价与控制等方面提供筛选参考依据和技术指导，以提高山药产业链整体经济效益。本研究单纯考虑了同一自然环境不同品种山药中氨基酸的种类和含量特征，未考虑对蛋白质、皂苷、粘液质等成分的影响。在今后的研究中聚焦对焦作同一自然环境不同品种山药皂甙、蛋白质、多糖等成分变化特征分析，对山药品质进行更为准确详尽的评价。

参考文献

- [1] FAUZIAH F, MAS'UDAH S, HAPSARI L, *et al.* Biochemical composition and nutritional value of fresh tuber of Water Yam (*Dioscorea alata* L.) local accessions from East Java, Indonesia [J]. *J Agric Sci*, 2020, 42(2): 255-271.
- [2] BUCKMAN ES, ODURO I, PLAHAR WA, *et al.* Determination of the chemical and functional properties of yam bean (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) flour for food systems [J]. *Food Sci Nutr*, 2018, 6(2): 457-463.
- [3] ZHOU N, ZENG MN, LI K, *et al.* An integrated metabolomic strategy for the characterization of the effects of Chinese yam and its three active components on septic cardiomyopathy [J]. *Food Funct*, 2018, 9(9): 4989-4997.
- [4] ZENG XX, LIU DH, HUANG LQ. Metabolome profiling of eight Chinese yam (*Dioscorea polystachya* Turcz.) varieties reveals metabolite diversity and variety specific uses [J]. *Life*, 2021, 11(7): 687.
- [5] 曾晓璇. 山药种质资源整理研究[D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2021. ZENG XX. Study on germplasm resources arrangement of shanyao [D]. Wuhan: Hubei University of Chinese Medicine, 2021.
- [6] 姚尧. 从甘薯、马铃薯的名称分布看外来作物的命名方式[J]. *语言科学*, 2015, 14(6): 615-627. YAO Y. From the name distribution of sweet potato and potato to see the

- nomenclature of exotic crops. [J]. *Linguist Sci*, 2015, 14(6): 615–627.
- [7] 杨雁, 孙羽灵, 孙建梅, 等. 山药活性成分药理作用研究进展[J]. *中国野生植物资源*, 2022, 41(12): 55–60.
YANG Y, SUN YL, SUN JM, *et al.* Progress on pharmacological effects of active ingredients in Chinese yam [J]. *Chin Wild Plant Res*, 2022, 41(12): 55–60.
- [8] 李翠翠, 贾笑莉, 贾梦怡, 等. 山药对蒸煮、焙烤面粉品质的影响研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(20): 64–70.
LI CC, JIA XL, JIA MY, *et al.* Research progress on the effect of yam on the quality of cooking and baking flour products [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(20): 64–70.
- [9] 杨雅蛟, 孔维军, 李先恩, 等. 不同品种山药中多糖及小分子有效成分的含量比较[J]. *食品科技*, 2020, 45(9): 181–187.
YANG YJ, KONG WJ, LI XEN, *et al.* Comparison of polysaccharides and small molecule active ingredients in different varieties of yam [J]. *Food Sci Technol*, 2020, 45(9): 181–187.
- [10] DOSS A, TRESINA PS, MOHAN VR. Amino acid composition of wild yam (*Dioscorea* spp.) [J]. *Food Res*, 2019, 3(5): 617–621.
- [11] 王玉红, 申克宇, 李鹏, 等. 高效液相色谱-蒸发光散射检测法直接检测 20 种未衍生基本氨基酸[J]. *色谱*, 2011, 29(9): 908–911.
WANG YH, SHEN KY, LI P, *et al.* Simultaneous determination of 20 underivatized amino acids by high performance liquid chromatography-evaporative light-scattering detection [J]. *Chin J Chromatogr*, 2011, 29(9): 908–911.
- [12] LI P, XIAO N, ZENG LP, *et al.* Structural characteristics of a mannoglucan isolated from Chinese yam and its treatment effects against gut microbiota dysbiosis and DSS-induced colitis in mice [J]. *Carbohydr Polym*, 2020, 250: 116958.
- [13] LI Q, LI XJ, REN ZY, *et al.* Physicochemical properties and antioxidant activity of Maillard reaction products derived from *Dioscorea opposita* polysaccharides [J]. *LWT*, 2021, 149: 111833.
- [14] XUE HY, LI JR, LIU YG, *et al.* Optimization of the ultrafiltration-assisted extraction of Chinese yam polysaccharide using response surface methodology and its biological activity [J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 121: 1186–1193.
- [15] CHEN CT, WANG ZH, HSU CC, *et al.* Taiwanese and Japanese yam (*Dioscorea* spp.) extracts attenuate doxorubicin-induced cardiotoxicity in mice [J]. *J Food Drug Anal*, 2017, 25(4): 872–880.
- [16] HSIEH HL, LEE CH, LIN KC. Development of yam dioscorin-loaded nanoparticles for paracellular transport across human intestinal CaCO₂ cell monolayers [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(5): 1175–1183.
- [17] 王艳, 王燕萍, 崔方, 等. 3 种党参药材氨基酸组成与营养评价分析及品种分类研究[J]. *时珍国医国药*, 2021, 32(10): 2421–2425.
WANG Y, WANG YP, CUI F, *et al.* Amino acid composition and nutritional evaluation analysis and variety classification of three kinds of *Codonopsis* medicinal materials [J]. *Lishizhen Med Mater Med Res*, 2021, 32(10): 2421–2425.
- [18] 杨勤, 黄小兰, 沈力, 等. 基于氨基酸成分分析不同品种重楼品质评价[J]. *中华中医药学刊*, 2021, 39(6): 87–92.
YANG Q, HUANG XL, SHEN L, *et al.* Comprehensive quality evaluation of different varieties Chonglou (Paris) based on principal components analysis of amino acids [J]. *Chin Arch Tradit Chin Med*, 2021, 39(6): 87–92.
- [19] SURYADI Y, KADIR TS, DARADJAT AA. Evaluation of disease severity on rice genotypes to bacterial blight using amino acid content analysis [J]. *Makara J Sci*, 2011, 15(1): 22.
- [20] 马建华, 杜平, 阮心玲. 河南惠楼山药营养成分分析[J]. *食品与生物技术学报*, 2014, 33(4): 438–444.
MA JH, DU P, RUAN XL. Nutrient analysis of Huilou yam in Henan Province [J]. *J Food Sci Biotechnol*, 2014, 33(4): 438–444.
- [21] 刘振鹏, 郭英英, 刘京晶, 等. 铁皮石斛品系与部位对氨基酸含量的影响[J]. *中国中药杂志*, 2015, 40(8): 1468–1472.
LIU ZP, GUO YY, LIU JJ, *et al.* Effect of strains and parts on amino acids of *Dendrobium officinale* [J]. *China J Chin Mater Med*, 2015, 40(8): 1468–1472.
- [22] BIANCAROSA I, ESPE M, BRUCKNER CG, *et al.* Amino acid composition, protein content, and nitrogen-to-protein conversion factors of 21 seaweed species from Norwegian waters [J]. *J Appl Phycol*, 2017, 29: 1001–1009.
- [23] WANG PY, SHUANG FF, YANG JX, *et al.* A rapid and efficient method of microwave-assisted extraction and hydrolysis and automatic amino acid analyzer determination of 17 amino acids from mulberry leaves [J]. *Ind Crop Prod*, 2022, 186: 115271.
- [24] 王华芬, 王强, 刘双燕, 等. 不同品种山药粉中游离氨基酸和水解氨基酸含量分析[J]. *安徽农业科学*, 2022, 50(14): 164–166, 173.
WANG HF, WANG Q, LIU SY, *et al.* Analysis of free amino acids and hydrolyzed amino acids in different varieties of yam powder [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2022, 50(14): 164–166, 173.
- [25] KIVRAK İ, KIVRAK Ş, HARMANDAR M. Free amino acid profiling in the giant puffball mushroom (*Calvatia gigantea*) using UPLC-MS/MS [J]. *Food Chem*, 2014, 158: 88–92.
- [26] 尹艳艳, 杨军林, 田栋伟, 等. 超高效液相色谱-高分辨质谱法同时测定白酒中 19 种氨基酸[J]. *分析测试学报*, 2023, 42(3): 330–336.
YIN YY, YANG JL, TIAN DW, *et al.* Determination of 19 amino acids in baijiu species by ultra-high performance liquid chromatography-high resolution mass spectrometry [J]. *J Instrum Anal*, 2023, 42(3): 330–336.
- [27] 韩承刚, 李明显, 姬丽芳, 等. 衍生化高效液相色谱法测定醋酸西曲瑞克中 10 种手性氨基酸的含量[J]. *中南药学*, 2023, 21(5): 1335–1340.
HAN CG, LI MX, JI LF, *et al.* Determination of 10 chiral amino acids in cetorelix acetate by derivatization HPLC method [J]. *Cent South Pharm*, 2023, 21(5): 1335–1340.
- [28] SOGA T, HEIGER DN. Amino acid analysis by capillary electrophoresis electrospray ionization mass spectrometry [J]. *Anal Chem*, 2000, 72(6): 1236–1241.
- [29] AN L, YUAN Y, MA J, *et al.* NMR-based metabolomics approach to investigate the distribution characteristics of metabolites in *Dioscorea opposita* Thunb. cv. Tiegun [J]. *Food Chem*, 2019, 298: 125063.
- [30] 张晓薇, 弓强, 彭晓夏. 不同产地黄芪种子蛋白质和氨基酸的含量测

- 定及营养分析[J]. 农产品加工, 2023, (12): 43–46, 49.
- ZHANG XW, GONG Q, PENG XX. Determination and nutrition analysis of protein and amino acid content of astragalus seeds from different origin [J]. Farm Prod Process, 2023, (12): 43–46, 49.
- [31] 陈艳, 姚成. 淮山药中氨基酸含量的测定[J]. 生物资源, 2004, (2): 47–48.
- CHEN Y, YAO C. Analysis of amino acids in *Rhizoma discoraeae* [J]. Biotic Res, 2004, (2): 47–48.
- [32] 黄小兰, 何旭峰, 杨勤, 等. 不同产地地参中 17 种氨基酸的测定与分析[J]. 食品科学, 2021, 42(2): 255–261.
- HUANG XL, HE XF, YANG Q, *et al.* Determination of 17 amino acids in the dried rhizome of *Lycopus lucidus* Turcz. var. *hirtus* Regel from different habitats [J]. Food Sci, 2021, 42(2): 255–261.
- [33] 李玖炎, 雷连成, 黄晶. 精氨酸代谢对肿瘤生长及肿瘤免疫的影响[J/OL]. 中国免疫学杂志: 1–34. [2024-01-28]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1126.R.20221031.1802.002.html>
- LI JY, LEI LC, HUANG J. The effect of Arginine metabolism on tumor growth and tumor immunity [J/OL]. Chin J Immunol: 1–34. [2024-01-28]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1126.R.20221031.1802.002.html>
- [34] KUGAYA A, SANACORA G. Beyond monoamines: Glutamatergic function in mood disorders [J]. CNS Spectr, 2005, 10(10): 808–819.
- [35] 彭佳佳, 张小军, 田鑫, 等. 核桃内种皮游离氨基酸呈味特征及其营养评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(22): 226–232.
- PENG JJ, ZHANG XJ, TIAN X, *et al.* Study on flavor characteristics and nutritional evaluation of free amino acids in walnut pellicle [J]. Sci Technol Food Ind, 2023, 44(22): 226–232.
- [36] 田钟元. 富甘氨酸饮食对 MAFLD/NAFLD 患者的影响[D]. 太原: 山西医科大学, 2022.
- TIAN ZY. Effect of glycine-rich diet on MAFLD/NAFLD patients [D]. Taiyuan: Shanxi Medical University, 2022.
- [37] MCCARTY MF, O'KEEFE JH, DINICOLANTONIO JJ. Dietary glycine is rate-limiting for glutathione synthesis and may have broad potential for health protection [J]. Ochsner J, 2018, 18(1): 81–87.
- [38] 李仁德, 李光玉, 王凯英. 苏氨酸对动物的生物学作用研究进展[J]. 饲料工业, 2017, 38(8): 36–39.
- LI RD, LI GY, WANG KY. Research advances on biological function of threonine for animal [J]. Feed Ind, 2017, 38(8): 36–39.
- [39] BHANDARI MR, KASAI T, KAWABATA J. Nutritional evaluation of wild yam (*Dioscorea* spp.) tubers of Nepal [J]. Food Chem, 2003, 82(4): 619–623.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

作者简介



朱会丽, 硕士研究生, 主要研究方向为中药活性成分质量安全。

E-mail: 1679788046@qq.com



安 莉, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。

E-mail: cpulian@126.com



吴绪金, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。

E-mail: xujinwu2005@126.com