

## 紫芋营养成分分析\*

熊家辉<sup>1</sup> 张程<sup>1</sup> 仇思润<sup>1</sup> 冯莹<sup>2</sup> 蔡桂华<sup>3</sup> 单体江<sup>1</sup>(1. 华南农业大学林业与风景园林学院/广东省森林植物种质创新与利用重点实验室, 广东 广州 510642;  
2. 广东省森林资源保育中心, 广东 广州 510173; 3. 贺州市农业科学院, 广西壮族自治区 贺州 542813)

**摘要** 为了解紫芋 *Colocasia* sp. 中主要的营养成分, 以紫芋地下球茎为供试材料, 采用凯氏定氮法、茚三酮柱后衍生离子交换色谱法、苯酚-硫酸分光光度法和微波消解-电感耦合等离子质谱法 (ICP-MS) 进行测定。基于 ITS 序列通过 Iqtree 软件构建系统发育树, 将其鉴定为 *Colocasia* sp. YN。结果表明, 紫芋块茎中蛋白质含量为  $1.98 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ , 粗多糖含量为  $3.47 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ , 氨基酸总量为  $0.914 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ , 必需氨基酸占氨基酸总含量的 35.34%, 以鲜甜味氨基酸为主, 其氨基酸含量和组成符合 FAO/WHO 标准。在测定的 28 种元素中, 钾 (K) 的含量最高, 为  $4.370 \times 10^3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 其次是镁 (Mg) 和钙 (Ca), 分别为  $2.717 \times 10^2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $2.030 \times 10^2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 其中重金属元素的含量均低于《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762-2022) 的规定。

**关键词** 紫芋; 系统发育; FAO/WHO 模式; 营养成分

中图分类号: S722.5 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2025) 02-0096-06

DOI: 10.20221/j.cnki.2096-2053.202502013

Nutritional Analysis of *Colocasia* sp.XIONG Jiahui<sup>1</sup> ZHANG Cheng<sup>1</sup> QIU Sirun<sup>1</sup> FENG Ying<sup>2</sup>  
CAI Guihua<sup>3</sup> SHAN Tijiang<sup>1</sup>

(1. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University/Guangdong Key Laboratory for Innovative Development and Utilization of Forest Plant Germplasm, Guangzhou, Guangdong 510642, China; 2. Guangdong Forest Resources Conservation Center, Guangzhou, Guangdong 510173, China; 3. Hezhou Academy of Agricultural Sciences, Hezhou, Guangxi Zhuang Autonomous Region 542813, China)

**Abstract** To analyze the major nutritional components of *Colocasia* sp., the underground tubers of *Colocasia* sp. were used as the test material. The Kjeldahl method, orcinol post-column derivatization ion exchange chromatography, phenol-sulfuric acid spectrophotometry, and microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) were employed for the measurements. Based on ITS sequences, a phylogenetic tree was constructed using the Iqtree software, confirming the species as *Colocasia* sp.. The results showed that the protein content in the *Colocasia* sp. tuber was  $1.98 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ , crude polysaccharide content was  $3.47 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ , total amino acids reached to  $0.914 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ , with essential amino acids accounting for 35.34% of the total amino acid content, predominantly comprising sweet-tasting amino acids. The amino acid content and

\* 基金项目: 广东省林业科技创新项目 (2021KJCX002), 国家现代农业产业技术体系项目 (CARS-21), 教育部产学研合作协同育人项目 (202102195004)。

第一作者: 熊家辉 (2000—), 男, 硕士研究生, 研究方向为森林保护学。E-mail: Xjhscau@163.com

通信作者: 单体江 (1983—), 男, 副教授, 研究方向为植物和微生物的次生代谢。E-mail: tjshanscau@163.com

composition meet the FAO/WHO standards. Among the 28 elements measured, potassium (K) had the highest content ( $4.370 \times 10^2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), followed by magnesium (Mg) and calcium (Ca), with concentrations of  $2.717 \times 10^2$  and  $2.03 \times 10^2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . The concentrations of heavy metals were all below the limits specified in the National Food Safety Standard—Maximum Levels of Contaminants in Food (GB 2762–2022).

**Key words** *Colocasia* sp.; phylogenetic; FAO/WHO model; nutritional component

芋头 *Colocasia esculenta* 是天南星科芋属多年生草本植物，是一种传统的蔬菜兼粮食作物，广泛种植于热带和亚热带国家<sup>[1-2]</sup>，中国是世界上第二大芋生产和出口国家，拥有超过 2 000 年的栽培历史<sup>[3]</sup>。芋头的地下块茎含有 70%~80% 的淀粉，是许多热带和亚热带国家碳水化合物的重要来源之一<sup>[4]</sup>。芋头淀粉颗粒小且分布均匀，具有良好的溶胀能力和持油稳定性，因此更易被人体吸收和消化<sup>[5]</sup>，此外芋头还是造纸、燃料和建筑原料等工业原料的重要来源<sup>[6]</sup>。芋头不仅富含蛋白质、膳食纤维、多糖和维生素等多种营养物质，且脂肪含量远低于其他块茎类作物，具有防治心血管疾病和增强机体免疫等功能，是民间优良的药食同源作物<sup>[7-8]</sup>。

我国拥有丰富的芋头种质资源，其中广东乐昌的张溪香芋、广西荔浦的荔浦芋和江西上饶的红芽芋都是国家地理标志农产品，广受民众的青睐。目前的芋头多为短周期栽培品种，不仅疫病频发，而且随着品种同质化，导致品种退化和品质下降严重<sup>[9]</sup>。因此引进优良品种和种质资源，有利于丰富当地芋头资源的多样性和推动芋资源的创新利用。目前对芋头的研究主要集中在加工<sup>[10-11]</sup>、栽培<sup>[12]</sup>、病虫害防治<sup>[13]</sup>和种质资源分析<sup>[14]</sup>等方面，而关于紫芋 *Colocasia* sp. 营养品质的研究报道较少。本研究以紫芋为研究对象，通过 ITS 序列对其进行分子生物学鉴定，并测定其可食用块茎中氨基酸、蛋白质、粗多糖和元素的组成及含量，为芋种质资源的发掘、开发和利用提供重要的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试植物材料

供试紫芋材料于 2024 年 3 月 19 日采自云南省西双版纳傣族自治州中国科学院西双版纳热带植物园，为 1 a 生成熟个体，储存于 4 °C 冰箱中备用。

### 1.2 试验方法

1.2.1 营养成分测定 将供试紫芋地下球茎材料用自来水清洗并晾干，精准称量 500 g，重复 3 组。参照冯莹等<sup>[15]</sup>方法进行分析，其中微量元素的分析采用微波消解-电感耦合等离子质谱法 (ICP-MS) 半定量分析法，蛋白质含量的测定采用《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》(GB 5009.5—2016) 中的凯氏定氮法<sup>[16]</sup>；氨基酸含量的测定采用《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》(GB 5009.124—2016) 中的方法进行<sup>[17]</sup>；采用氨基酸分析仪 (茚三酮柱后衍生离子交换色谱仪) 测定 16 种氨基酸的含量；粗多糖含量的测定采用苯酚-硫酸分光光度法。

1.2.2 紫芋 DNA 的提取 称取 200 mg 新鲜紫芋样品，剪成小块放入研钵中；加入液氮，使组织冷冻完全后，快速、用力研磨至粉末状。研磨时加入液氮以防止组织融化，研磨充分后将研钵放入 56 °C 水浴至样品粉末开始融化。加入 350  $\mu\text{L}$  PBS 和 0.9  $\mu\text{L}$  RNaseA 贮存液，用力碾磨 30 s，转移 350  $\mu\text{L}$  研磨好的匀浆至 2 mL 离心管中，如匀浆体积不足 350  $\mu\text{L}$ ，补充 PBS 至 350  $\mu\text{L}$ 。加入 150  $\mu\text{L}$  Buffer C-L 和 20  $\mu\text{L}$  Proteinase K，立即漩涡振荡 1 min 混合均匀。短暂离心后，将离心管置于 56 °C 水浴 10 min。加入 350  $\mu\text{L}$  Buffer P-D，漩涡振荡 30 s 混合均匀，12 000  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$  离心 10 min。将 DNA 制备管置于 2 mL 离心管中，将混合液移至制备管中，12 000  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$  离心 1 min。弃滤液，将制备管置回到原来的 2 mL 离心管中，加入 500  $\mu\text{L}$  Buffer W1，12 000  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$  离心 1 min。弃滤液，将制备管置回到原来的 2 mL 离心管中，加入 700  $\mu\text{L}$  Buffer W2，12 000  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$  离心 1 min。以同样的方法，用 700  $\mu\text{L}$  Buffer W2 再洗涤一次。弃滤液，将制备管置回原来的 2 mL 离心管中，12 000  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$  离心 1 min。将 DNA 制备管置于另一洁净的 1.5 mL 离心管中，在制备管膜中央加 100~200  $\mu\text{L}$  Eluent，室温静置 1 min，12 000  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$  离心 1 min 洗脱 DNA，获得紫芋

的 DNA 模板。

1.2.3 DNA 的 PCR 扩增与检测 采用通用引物 ITS2-2F (ATGCGATACTTGGTGTGAAT) 和 ITS2-3R (GACGCTTCTCCAGACTACAAT) 进行 PCR 扩增。PCR 反应体系为 25  $\mu$ L, 其中加入 12  $\mu$ L 2 $\times$ Taq PCR MasterMix, 11  $\mu$ L dd H<sub>2</sub>O, 0.5  $\mu$ L 上下游引物, 1  $\mu$ L DNA 模版, 混匀。扩增条件为 95  $^{\circ}$ C 预变性 4 min, 进行 34 个循环, 每个循环包括 95  $^{\circ}$ C 变性 30 s, 55  $^{\circ}$ C 退火 30 s, 72  $^{\circ}$ C 延伸 45 s; 最后 72  $^{\circ}$ C 延伸 10 min, 并在 12  $^{\circ}$ C 保存。PCR 扩增产物由上海派森诺生物科技股份有限公司进行双向测序。

### 1.3 数据处理与分析

得到的基因序列采用 Geneious Prime 软件拼接成完整序列, 将完整序列提交 NCBI 数据库, 利用 Blast 程序在 GenBank 数据库中进行同源性检索, 并下载与其相似度较高的序列及其近似属的序列。使用 MAFFT version 7 进行多序列比对后, 使用 Iqtree v1.6.12<sup>[18]</sup> 内置的 modelfinder<sup>[19]</sup> 进行模型选择, 根据赤池信息量准则 (AIC criterion) 确定最佳分区模型, 采用最大似然法 (Maximum likelihood), 其中 Bootstrap method 中重复抽样次数 (No. of bootstrap replication) 设置 1 000, 再将建好的系统发育树导入 FigTree 进行美化修饰。

采用 Excel 2016 软件进行数据处理分析, 所有营养成分均做 3 次重复, 取平均值。参考吴芳等<sup>[20]</sup> 和傅新月等<sup>[21]</sup> 对芋头采用氨基酸比值系数分 (SRC)、氨基酸比值 (Ratio of amino acid, RAA) 和氨基酸比值系数 (Ratio coefficient of amino acid, RCAA) 的方法进行氨基酸营养综合评价。

$$\text{氨基酸比值: } R_{\text{RAA}} = (A_x/A_s) \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{氨基酸比值系数: } K_{\text{RCAA}} = R_{\text{RAA}}/M_{\text{RAA}} \quad (2)$$

$$\text{氨基酸比值系数分: } S_{\text{RC}} = (1 - E_{\text{RCAA}}/M_{\text{RCAA}}) \times 100 \quad (3)$$

式中,  $R_{\text{RAA}}$  为氨基酸比值,  $K_{\text{RCAA}}$  为氨基酸比值系数,  $A_x$  为待测蛋白质中某一必需氨基酸的含量,  $A_s$  为 WHO/FAO 模式谱中相应氨基酸含量,  $S_{\text{RC}}$  为氨基酸比值系数分,  $E_{\text{RCAA}}$  为  $K_{\text{RCAA}}$  标准差,  $M_{\text{RCAA}}$  为  $K_{\text{RCAA}}$  平均值。其中  $S_{\text{RC}}$  值越接近 100, 说明与评分模式氨基酸组成越接近, 营养价值越高;  $R_{\text{RAA}}$  和  $K_{\text{RCAA}}$  值越接近 1, 表示该样品的氨基酸组成比例越符合 WHO/FAO 模式的要求, 更易

被人体吸收;  $K_{\text{RCAA}}$  值大于或小于 1 表示该氨基酸过剩或不足, 而  $K_{\text{RCAA}}$  值小于 1 且最低, 说明该氨基酸是第一限制氨基酸。

## 2 结果与分析

### 2.1 紫芋的分子生物学鉴定

将扩增得到的紫芋 ITS 序列 (登录号为 PQ319845.1) 于 NCBI 数据库中进行 BLAST 检索, 选择同源序列进行比对。采用 IQtree1.6.1.2 软件测试最佳分区模型, 依据 AIC 准则选取 ML 最佳模型 TIM3+G4+F。采用最佳模型进行 1 000 次 bootstrap 重复抽样以构建系统发育树, 并使用 FigTree 软件对得到的系统发育树进行美化修饰, 标尺为 0.01 (图 1)。系统发育树结果显示, 紫芋的序列与 *Colocasia yunnanensis* CYUVN03 (登录号为 KF284809.1) 和 *Colocasia yunnanensis* CYUVN05 (登录号为 KF284809.1) 以较高的支持率聚为一小支, 并与 *Colocasia* sp. IA-2014 CSPVN04 (登录号为 KF284807.1) 聚在一大支上。BLAST 同源检索显示, 紫芋 ITS 序列与 *Colocasia yunnanensis* CYUVN03、*Colocasia yunnanensis* CYUVN05 和 *Colocasia* sp. IA-2014 CSPVN04 相似度分别为 97.39%、97.38% 和 98.12%, 可知该植物属于天南星科, 芋族, 芋属植物; 因此, 初步将该植物鉴定为 *Colocasia* sp. YN。

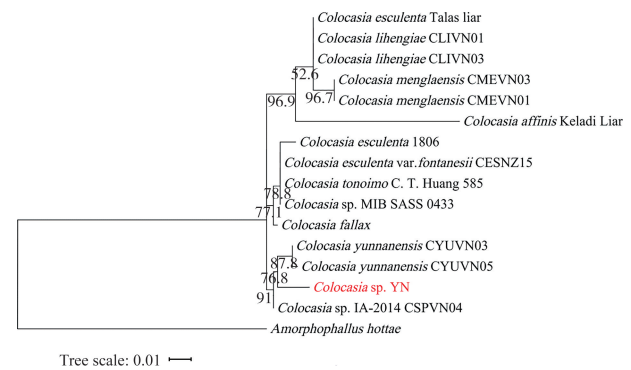


图 1 基于 ITS 构建的系统发育树  
Figure 1 Phylogenetic tree based on ITS sequences

### 2.2 紫芋中氨基酸、蛋白质和粗多糖的含量及其评价

紫芋样品中氨基酸、蛋白质和粗多糖的含量测定结果如表 2 所示。结果表明, 紫芋中的蛋白质含量为 1.98  $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ , 氨基酸总量为 0.914  $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ , 粗多糖含量为 3.47  $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ 。在检测的 16 种水解氨基酸中, 必需氨基酸 (EAA) 与非必

需氨基酸 (NEAA) 含量比值为 54.65%，必需氨基酸占氨基酸总含量的 35.34%；天冬氨酸 (ASP) 和谷氨酸 (GLU) 的含量较高，分别为  $0.17 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  和  $0.11 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ，二者合计占总氨基酸含量的 29.79%；相比之下，蛋氨酸 (MET) 含量最低，仅为  $0.01 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ；其余 13 种水解氨基酸含量均低于  $0.10 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 。

表 1 紫芋块茎的基本营养成分测定

Table 1 Determination of basic nutritional components in *Colocasia* sp. tuber

| 氨基酸        | 含量/( $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) |
|------------|--|
| 丙氨酸 (ALA)  | 0.041±0.003                                |
| 丝氨酸 (SER)  | 0.051±0.004                                |
| 亮氨酸 (LEU)  | 0.067±0.003                                |
| 甘氨酸 (GLY)  | 0.042±0.001                                |
| 精氨酸 (ARG)  | 0.070±0.005                                |
| 组氨酸 (HIS)  | 0.025±0.002                                |
| 缬氨酸 (VAL)  | 0.058±0.004                                |
| 脯氨酸 (PRO)  | 0.041±0.006                                |
| 苏氨酸 (THR)  | 0.047±0.003                                |
| 蛋氨酸 (MET)  | 0.010±0.002                                |
| 谷氨酸 (GLU)  | 0.110±0.000                                |
| 赖氨酸 (LYS)  | 0.052±0.003                                |
| 酪氨酸 (TYR)  | 0.051±0.002                                |
| 天冬氨酸 (ASP) | 0.170±0.040                                |
| 异亮氨酸 (ILE) | 0.030±0.001                                |
| 苯丙氨酸 (PHE) | 0.058±0.005                                |
| 16 种氨基酸总量  | 0.914±0.007                                |
| 必需氨基酸      | 0.323                                      |
| 非必需氨基酸     | 0.591                                      |
| 蛋白质        | 1.980±0.220                                |
| 粗多糖        | 3.470±1.660                                |

参考阳淑等<sup>[22]</sup>的方法，将紫芋块茎中风味氨基酸分为 3 类：鲜味氨基酸 (GLU、ASP)、苦味氨基酸 (ARG、HIS、VAL、LEU、TYR、PHE)、

ILE) 以及甜味氨基酸 (GLY、ALA、THR、LYS、PRO、SER)。如表 2 所示，紫芋块茎中苦味氨基酸含量>鲜味氨基酸含量>甜味氨基酸含量，分别占风味氨基酸总量的 39.32%、30.67%、30.01%。其中鲜甜味氨基酸总量与苦味氨基酸含量比值为 1.543，表明在紫芋块茎的呈味氨基酸以鲜味和甜味氨基酸为主。

表 2 紫芋块茎呈味氨基酸组成

Table 2 Composition of flavor amino acids in *Colocasia* sp. tuber

| 指标  | 数值    |
|---|-------|
| 鲜味氨基酸质量分数/( $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) | 0.280 |
| 甜味氨基酸质量分数/( $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) | 0.274 |
| 苦味氨基酸质量分数/( $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) | 0.359 |
| 呈味氨基酸质量分数/( $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) | 0.913 |
| 氨基酸质量分数/( $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ )   | 0.914 |
| 鲜甜味氨基酸/苦味氨基酸                                      | 1.543 |

采用 FAO/WHO 氨基酸模式对紫芋必需氨基酸含量进行评价，氨基酸含量及其比例与 FAO/WHO 的要求越接近，说明其比例越适宜、营养丰富，能够提供人体所需的营养。紫芋的氨基酸评价结果如表 3 所示，其中赖氨酸 (LYS) 和亮氨酸 (LEU) 的  $R_{\text{RAA}}$  和  $K_{\text{RCAA}}$  值接近 1 或略高于 1，表明紫芋中这两种氨基酸的比例与 FAO/WHO 的要求一致，营养比例适宜，易于人体吸收利用；酪氨酸 (TYR) + 苯丙氨酸 (PHE)、苏氨酸 (THR) 和缬氨酸 (VAL) 的  $R_{\text{RAA}}$  和  $K_{\text{RCAA}}$  值较高，表示这 4 种氨基酸相对过剩；而蛋氨酸 (MET) 和异亮氨酸 (ILE) 的  $R_{\text{RAA}}$  和  $K_{\text{RCAA}}$  值低于 1，说明这两种氨基酸在紫芋中的含量相对不足，分别为第一和第二限制氨基酸。紫芋块茎中 SRC 值为 53.58，表明其具有较好的营养价值，但与 FAO/WHO 的模式标准谱相比仍存在一定差距。

表 3 紫芋块茎氨基酸评价

Table 3 Amino acid evaluation of *Colocasia* sp. tuber

| 氨基酸                    | 氨基酸相对含量/% | FAO/WHO 模式 | $R_{\text{RAA}}$ | $K_{\text{RCAA}}$ | $S_{\text{RC}}$ |
|------------------------|-----------|------------|------------------|-------------------|-----------------|
| 苏氨酸 (THR)              | 5.14      | 4.00       | 1.29             | 1.16              |                 |
| 缬氨酸 (VAL)              | 6.34      | 5.00       | 1.27             | 1.15              |                 |
| 亮氨酸 (LEU)              | 7.32      | 7.00       | 1.05             | 0.94              |                 |
| 赖氨酸 (LYS)              | 5.68      | 5.50       | 1.03             | 0.93              | 53.58           |
| 蛋氨酸 (MET)              | 1.06      | 3.50       | 0.30             | 0.27              |                 |
| 异亮氨酸 (ILE)             | 3.28      | 4.00       | 0.82             | 0.74              |                 |
| 酪氨酸 (Tyr) + 苯丙氨酸 (PHE) | 11.97     | 6.00       | 2.00             | 1.80              |                 |

注：表中列出的氨基酸相对含量表示某一特定氨基酸含量与所有氨基酸总含量的比值，以百分比形式表示。



### 2.3 紫芋中微量元素分析

采用 ICP-MS 半定量分析法测定紫芋样品的微量元素含量,结果如表 4 所示。在测定的 28 种元素中,钾 (K)、镁 (Mg) 和钙 (Ca) 的含量较为突出,分别为  $4.370 \times 10^3$ 、 $2.717 \times 10^2$  和  $2.030 \times 10^2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;其次钠 (Na)、锌 (Zn)、铁 (Fe) 和锰 (Mn) 元素的含量也相对较高,而锂 (Li)、硼 (B)、铝 (Al) 等元素含量则较低,均在  $2.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  以下。同时,测定的重金属元素中,汞 (Hg)、铅 (Pb)、镉 (Cd)、砷 (As)、镍 (Ni)、砷 (As) 元素的含量均低于我国现行《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2022) 标准<sup>[23]</sup>。

### 3 结论与讨论

芋头品质受到其营养成分和矿质元素的含量与种类共同影响,其可食用部位块茎中部分关键成分的差异,赋予其独特的品质和风味。王颖等<sup>[24]</sup>采用考马斯亮蓝法和水合茚三酮法分别测定了崇明香酥芋的营养成分,结果表明,崇明香酥芋中蛋白质含量为  $2.68 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ,氨基酸含量为  $0.107 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 。本研究中测定紫芋的蛋白质含量为  $1.98 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ,氨基酸含量为  $0.94 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ,粗多糖含量为  $3.47 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ,其中天冬氨酸含量最高为  $0.17 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 。这也进一步证实了芋头块茎中营养成分含量不仅与品种相关,还受栽培环境的影响<sup>[25]</sup>。氨基酸作为非挥发性物质的一部分,对芋头风味有较大贡献<sup>[26]</sup>。研究发现,紫芋块茎中苦味氨基酸含量最大,其次是鲜味氨基酸,最小是甜味氨基酸,但鲜甜味氨基酸总量与苦味氨基酸含量比值为 1.543,这可能是由于其中丰富的可溶性糖起到了调和作用,削弱了部分苦味氨基酸<sup>[27]</sup>,赋予了芋头独特的鲜甜风味。食物蛋白质的营养价值并非取决于氨基酸的含量,而是由其必需氨基酸的种类和比例是否接近人体需求来决定<sup>[28-29]</sup>。通过分析供试紫芋块茎发现,人体所需的 8 种必需氨基酸含量占氨基酸总量的 35.34%,含有丰富的天冬氨酸和谷氨酸,具有较高的营养价值,酪氨酸+苯丙氨酸、苏氨酸和缬氨酸相对过剩,蛋氨酸和异亮氨酸相对不足,影响了紫芋的食用营养价值,其中蛋氨酸是第一限制氨基酸;根据 FAO/WHO 氨基酸模式谱,紫芋块茎的 SAC 值为 53.58,营养较为平衡,但与国际氨基酸标准

表 4 紫芋块茎的微量元素分析

Table 4 Analysis of trace elements in *Colocasia* sp. tuber

| 元素     | 质量分数/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) |
|--------|--|
| 锂 (Li) | <0.050                                     |
| 硼 (B)  | 1.071±0.229                                |
| 钠 (Na) | 29.950±7.140                               |
| 镁 (Mg) | (2.717±0.900) × 10 <sup>2</sup>            |
| 铝 (Al) | <2.000                                     |
| 钾 (K)  | (4.370±0.010) × 10 <sup>3</sup>            |
| 钙 (Ca) | (2.030±0.160) × 10 <sup>2</sup>            |
| 钛 (Ti) | 0.460±0.010                                |
| 钒 (V)  | <0.005                                     |
| 铬 (Cr) | 0.424±0.130                                |
| 锰 (Mn) | 3.200±1.080                                |
| 铁 (Fe) | 5.450±0.740                                |
| 钴 (Co) | 0.045 5±0.015 9                            |
| 镍 (Ni) | <0.500                                     |
| 铜 (Cu) | 0.800±0.440                                |
| 锌 (Zn) | 14.600±2.800                               |
| 砷 (As) | <0.005                                     |
| 硒 (Se) | <0.030                                     |
| 铷 (Rb) | 0.919±0.138                                |
| 锶 (Sr) | 1.870±0.230                                |
| 钼 (Mo) | <0.030                                     |
| 银 (Ag) | <0.050                                     |
| 镉 (Cd) | 0.022±0.002                                |
| 锡 (Sn) | <0.030                                     |
| 锑 (Sb) | <0.030                                     |
| 钡 (Ba) | 0.512±0.060                                |
| 汞 (Hg) | <0.003                                     |
| 铅 (Pb) | <0.050                                     |

存在差距,可以通过均衡谷物、肉类以及乳制品等的摄入,从而满足人体的各项营养需求<sup>[30-32]</sup>。

矿质元素是维持人体生理过程中所必需的营养元素,而块茎是芋头生长发育过程中矿质营养的直接吸收者<sup>[33]</sup>,因此测定其微量元素和重金属元素含量是评价质量的关键指标之一<sup>[34]</sup>。分析结果显示,供试紫芋块茎中富含钙、镁和钾元素,且重金属元素含量均低于我国现行的《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2022)。种质资源是育种工作的基石,我国芋品种丰富且自然生态多样性高<sup>[35]</sup>,为进一步丰富芋种质资源库,研究通过分子生物学方法对引种的紫芋进行鉴定,利用 ITS 序列初步将其鉴定为 *Colocasia* sp. YN,然而仅通过单一序列鉴定还存在局限性<sup>[36]</sup>,因此后续可以借助多条序列确定其分类学地位。

## 参考文献

- [1] 孙子怡,张二金,姜伟杰,等.芋球茎贮藏物质积累与食味品质形成的关系[J].中国农学通报,2023,39(12):131-138.
- [2] MACHARIA M W, RUNO S M, MUCHUGI A N, et al. Genetic structure and diversity of East African taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott][J]. African Journal of Biotechnology, 2014, 13(29):2950-2955.
- [3] WANG Z, SUN Y, HUANG X, et al. Genetic diversity and population structure of eddoe taro in China using genome-wide SNP markers[J]. PeerJ, 2020, 8:e10485.
- [4] RASHMI D R, RAGHU N, GOPENATH T S, et al. Taro (*Colocasia esculenta*): an overview[J]. Journal of Medicinal Plants Studies, 2018, 6(4):156-161.
- [5] 涂连,吕春秋,王捷,等.芋头淀粉及其稳定化 Pickering 乳液的性质表征[J].食品工业科技,2022,43(18):72-79.
- [6] APRIYANTO A, COMPART J, FETTKE J. A review of starch, a unique biopolymer-structure, metabolism and in planta modifications [J]. Plant Science, 2022, 318:111223.
- [7] 李青青,陈晨,曹艳婷,等.红芽芋多糖提取工艺优化及其抗氧化活性的研究[J].江西农业大学学报,2022,44(5):1272-1282.
- [8] 郭巨先,尹艳,唐康,等.芋种质资源研究进展与展望[J].广东农业科学,2021,48(9):81-90.
- [9] 崔永.芋疫病研究进展[J].中国植保导刊,2020,40(6):22-26,38.
- [10] 陈静,方晓纯,林波,等.多维度解析干燥方式对荔浦芋品质特性的影响[J].南方农业学报,2024,55(1):199-206.
- [11] 陈琳,胡兴成,罗紫玮,等.L-抗坏血酸联合超声处理对鲜切芋芋贮藏品质的影响[J].食品科学,2024,45(11):267-277.
- [12] 潘饶,曾荣斌,李慧英,等.结芋期干旱胁迫对芋叶片生理特性及芋子品质产量的影响[J].江西农业大学学报,2023,45(5):1183-1195.
- [13] 邹芬,何烈干,李湘民,等.江西槟榔芋疫病病原菌鉴定及室内药剂筛选[J].植物保护,2023,49(1):311-316.
- [14] 贾芯碧,潘饶,肖遥,等.红芽芋及荔浦芋叶绿体基因组测序及比较分析[J].热带作物学报,2023,44(5):880-893.
- [15] 冯莹,阎焱刚,熊家辉,等.珠芽魔芋营养成分的分析和测定[J].林业与环境科学,2023,39(5):96-100.
- [16] 国家食品药品监督管理总局,国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品中蛋白质的测定:GB 5009.5-2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [17] 国家食品药品监督管理总局,国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准中氨基酸的测定:GB 5009.124-2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [18] MINH B Q, SCHMIDT H A, CHEROMOR O, et al. IQ-TREE 2: new models and efficient methods for phylogenetic inference in the genomic era[J]. Molecular Biology and Evolution, 2020, 37(5):1530-1534.
- [19] KALYAANAMOORTHY S, MINH B Q, WONG T K F, et al. ModelFinder: fast model selection for accurate phylogenetic estimates [J]. Nature Methods, 2017, 14(6):587-589.
- [20] 吴芳,冯立国,黄晓辉,等.野生田头菇菌株的驯化及其子实体营养成分分析[J].菌物学报,2020,39(5):848-855.
- [21] 傅新月,丁军,臧长江,等. ARTP 诱变裂殖壶藻生物活性物质及氨基酸营养价值评价[J/OL].中国饲料,(2024-06-06)[2024-06-20].https://doi.org/10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.2024040031-06.
- [22] 阳淑,郝艳玲,牟婷婷.紫色马铃薯营养成分分析与质量评价[J].河南农业大学学报,2015,49(3):311-315,319.
- [23] 国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局.食品安全国家标准,食品中污染物限量:GB 2762-2022[S].北京:中国标准出版社,2022.
- [24] 王颖,杜旋,王虹,等.崇明香酥芋主要营养成分的测定与分析[J].上海蔬菜,2024,(2):85-87.
- [25] 李慧,牛力立,鲍菊,等.紫云红芯薯营养价值分析及评价[J].山地农业生物学报,2023,42(4):69-73.
- [26] 罗晓莉,张沙沙,曹晶晶,等.云南3种胶质食用菌营养成分分析与蛋白质营养价值评价[J].食品工业科技,2021,42(14):328-333.
- [27] 颜廷才,王前菊,段肖杰,等.三种干燥方法对榴莲游离子氨基酸和可溶性糖的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(14):137-144.
- [28] 刘天红,于道德,李红艳,等.东营养殖双齿围沙蚕营养成分分析及膳食营养评价[J].水产科学,2017,36(2):160-166.
- [29] 郑少杰,任旺,张小利,等.绿豆芽萌发过程中氨基酸动态变化及营养评价[J].食品与发酵工业,2016,42(10):81-86.
- [30] 杨旭昆,汪禄祥,叶艳萍,等.7种云南产核桃中17种氨基酸含量测定与必需氨基酸模式分析[J].食品安全质量检测学报,2020,11(6):1889-1894.
- [31] 谭秋实,陈玥,邵晶,等.补充植物蛋白对运动能力的影响[J].食品与发酵工业,2024,50(9):330-339.
- [32] 陈新宇,王裕霞,徐斌,等.不同硒源处理对竹荪子实体营养成分的影响[J].林业与环境科学,2021,37(2):21-26.
- [33] 李卓蔚,谷文超,许凌峰,等.不同产地滇重楼根茎及根际土壤中无机元素含量比较[J].西南农业学报,2022,35(10):2343-2352.
- [34] 柳军,杨绍伟,荣道军,等.广宁红花油茶林土壤及植物中微量元素、重金属调查分析[J].林业与环境科学,2022,38(1):68-74.
- [35] 郭巨先,尹艳,唐康,等.芋种质资源研究进展与展望[J].广东农业科学,2021,48(9):81-90.
- [36] 贾少杰,解修超,邓百万,等.基于酯酶同工酶和 ITS 序列对陕南栽培灵芝亲缘关系的研究[J].河南农业科学,2018,47(8):95-101.