

五种魔芋中主要营养成分 及重金属元素分析

周启武¹, 桂云霞², 李明灿³, 张国昌³, 马引娟³, 白海东⁴

(1. 滇西科技师范学院生物技术与工程学院, 云南临沧 677000;

2. 云南农业大学食品科学技术学院, 云南昆明 650201;

3. 孟定海关综合技术中心, 云南临沧 677000;

4. 临沧市林业科学院, 云南临沧 677000)

摘要:采用分光光度法、全自动凯氏定氮法、索氏抽提法和电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)检测技术对白魔芋(*Amorphophallus albus*)、黑魔芋(*Amorphophallus nigrum*)、滇魔芋(*Amorphophallus yunnanensis* Engl)、珠芽魔芋(*Amorphophallus bulbifer*)和汀盛1号魔芋中葡甘露聚糖、蛋白质、脂肪、粗纤维和重金属元素进行测定分析。结果表明,魔芋中的葡甘露聚糖含量较为丰富,可达干质量的60%左右,脂肪含量较少为0.06%~0.54%之间,蛋白质含量为4.16%~7.86%,粗纤维含量为3.10%~4.70%,重金属元素中Mn含量最高,为8.170~53.290 mg/kg,其中黑魔芋中最高为53.290 mg/kg,且不同品种的魔芋中葡甘露聚糖、脂肪、蛋白质、粗纤维、微量元素的含量均有显著差异,但白魔芋整体营养价值最高。本研究可为当前发展林下特色产业,选择魔芋种植品种、魔芋市场价值定位和精深加工等产业链提供理论依据。

关键词:魔芋,葡甘露聚糖,蛋白质,脂肪,粗纤维,重金属,测定分析

Analysis of Main Nutrients and Heavy Metal in Five Konjac

ZHOU Qi-wu¹, GUI Yun-xia², LI Ming-can³, ZHANG Guo-chang³, MA Yin-juan³, BAI Hai-dong⁴

(1. College of Biotechnology and Engineering, West Yunnan University, Lincang 677000, China;

2. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

3. Meng Ding Customs Integrated Technology Center, Lincang 677000, China;

4. Lincang Academy of Forestry, Lincang 677000, China)

Abstract: The contents of glucomannan, protein, fat, crude fiber and heavy metal was determined and analyzed by detection techniques of spectrophotometry, automatic Kjeldahl method, Soxhlet extraction and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP - MS) in the *Amorphophallus albus*, *Amorphophallus nigrum*, *Amorphophallus yunnanensis* Engl, *Amorphophallus bulbifer* and Tingsheng 1. The results showed that the glucomannan content in konjac was the most abundant, reaching about 60% of dry weight, the fat content was at least 0.06%~0.54%, the protein content was 4.16%~7.86%, and the crude fiber content was 3.10%~4.70%, the content of manganese (Mn) in heavy metal was 8.170~53.290 mg/kg, it was the highest up to 53.290 mg/kg in *A. nigrum* and the content of glucomannan, fat, protein, crude fiber and trace elements in different varieties of konjac was significantly different. On the whole, *Amorphophallus albus* had the highest nutritional value. This research can provide data support for the current development of under-forest specialty industries, the selection of konjac planting varieties, konjac market value positioning and intensive processing industries.

Key words: konjac; glucomannan; protein; fat; crude fiber; heavy metal; determination analysis

中图分类号: TS207.5⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)14-0234-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.14.038

引文格式: 周启武, 桂云霞, 李明灿, 等. 五种魔芋中主要营养成分及重金属元素分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(14): 234-239, 248.

魔芋(*Amorphophallus konjac* C.Koch)为天南星科(Araceae)魔芋属(*Amorphophallus* Blume)多年生宿

根性球茎草本植物,雌雄同株,起源于印度及斯里兰卡,全球共有163个品种,现分布于印度半岛及东亚

收稿日期: 2019-11-11

作者简介: 周启武(1987-),男,硕士研究生,研究方向:农产品安全与质量控制、营养及代谢病, E-mail: zhqiwu1987@163.com。

基金项目: 云南省红茶工程技术研究中心项目(2018DH011)。

洲各国及非洲的部分国家,别名有“磨芋”、“鬼芋”、“蒟蒻”、“妖芋”、“花麻蛇”等^[1]。我国已发现并命名的有 26 种,占世界魔芋种数的 22.6%,主产于四川、陕西、云南、贵州、安徽、湖北、福建和台湾等地^[2-3],栽培面积达 190 万亩,加工企业 130 余个,年产魔芋精粉、微粉 2.5 万吨,占世界总产量的 60%,成为全世界魔芋种植面积最大的国家,也是我国中西部地区农业产业结构调整以及农民脱贫致富的支柱产业之一,而云南省作为魔芋的发源地和中国最大的魔芋生产区之一,占全国魔芋产量的 60%^[4-5]。

在我国,魔芋有着悠久的种植、食用及药用历史。早在 2000 多年前就有古人用魔芋来治病,现也证实了魔芋属于热量、脂肪、糖分都很低的食物,且具有治疗高血脂、糖尿病等慢性疾病^[6],以及抗氧化及保护肝脏^[6-7]、镇痛^[8]、消炎^[6,9]、杀菌^[10]、驱虫^[11]等功效,有缓解甲状腺癌、胃贲门癌、结肠癌、鼻咽癌、乳腺癌症状和增强免疫力等作用^[12-13],被誉为“魔力食品”、“胃肠道清道夫”,且魔芋食品位列 WHO 推荐的“十大健康食品”之列,具有良好的产业发展前景,我国目前现有的魔芋食品行业对魔芋精粉年平均需求量在 1 万吨以上^[4,14]。在很多地区以作为农民增加收入^[15-16],脱贫致富的经济产业^[17-18],也为部分地区提高植被覆盖率保护生态环境发挥了良好的作用^[18-20],特别是在当前乡村振兴战略背景下,魔芋产业已为我国西部最具成长潜力与竞争优势的地方特色资源产业^[21]。

研究表明,魔芋及其相关产品在农林业、食品、医药卫生及工业等领域有着广泛的用途和发展前景^[22-23],有关魔芋的研究越来越多,主要集中于魔芋的栽培技术、病虫害防治、药用保健价值方面^[22,24],结合不同地区对魔芋的营养成分及重金属含量方面的研究较少,一定程度上限制了魔芋及其产品的综合利用。本研究通过对几种魔芋中主要营养成分和重金属元素分析,以期对魔芋种植品种和精深加工产业中原料的选择以及重金属评价提供科学依据和理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

汀盛 1 号(自研品种)、滇魔芋(*A. yunnanensis* Engl) 云南省临沧市林业科学院提供,白魔芋(*A. albus*)、黑魔芋(*A. nigrum*)和珠芽魔芋(*A. bulbifer* Blume) 采自临沧市永德县;硫酸 优级纯,四川西陇科学有限公司;硝酸 优级纯,美国默克公司;氢氧化钠 优级纯,天津津科精细化工研究所;95%乙醇、无水乙醚、石油醚(30~60℃)、甲基红 均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司;硫酸铜、硫酸钾、硼酸、3,5-二硝基水杨酸、溴甲酚绿(指示剂级) 均为分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;GNM-SA-U-002-2013 金元素溶液标准物质 国家有色金属及电子材料分析测试中心;GBW(E)080263 锰元素溶液标准物质 国家标准物质研究中心;GBW(E)080923 铅元素溶液标准物质、GBW(E)080119 镉元素溶液标准物质、GBW08614 铬单元

素溶液标准物质、GBW08611 砷单元素溶液标准物质、GBW08611 砷单元素溶液标准物质、GBW08617 汞单元素溶液标准物质、GBW08618 镍单元素溶液标准物质 中国计量科学研究院;实验过程用水 均为超纯水。

AA-6800F 原子吸收分光光度计 日本岛津公司;Kjeitec 8400 全自动凯氏定氮仪、Foss Soxtec TM800 索氏提取仪 丹麦福斯公司;Agilent 7800 电感耦合等离子体质谱仪 美国安捷伦公司;Sartorius BSA224S1 电子天平 赛多利斯(北京)公司;Anton Paar MW PRO-T50 高压微波消解器 奥地利安东帕有限公司;DHG-9070A 电热鼓风干燥箱机 上海浦东荣丰科学仪器有限公司;LabTech-EG35A-PLUS 数显控温电热板 北京莱伯泰科仪器股份有限公司;SCIENTZ-SB-5200D 超声波清洗机 宁波新芝生物科技有限公司;HH-4 恒温水浴锅 常州国华电器;CS-800 高速多功能粉碎机 武汉海纳电器;B-400 高速均质器 瑞士步琦;KA-1000C 离心机 上海安亭科学仪器厂;STUART 电磁搅拌器 英国斯图尔特有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 葡甘露聚糖含量测定

1.2.1.1 制作葡萄糖标准曲线绘制 依次取 0.4、0.8、1.2、1.6 和 2.0 mL 标准葡萄糖液于对应 25 mL 容量瓶中,分别加蒸馏水补足至 2 mL,再分别加入 1.5 mL 3,5-二硝基水杨酸试剂,充分摇匀后均于沸水浴加热 5 min,然后取出冷却至室温,用蒸馏水定容,各取 1 cm 比色皿于 550 nm 测定吸光度值,以蒸馏水显色反应作空白调零,记录不同浓度葡萄糖工作液的吸光度值,以葡萄糖毫克数为横坐标(X),吸光度值为纵坐标(Y)建立回归方程^[25]。

1.2.1.2 魔芋粉指标 参照《魔芋粉》(NY/T 494-2010)将清水洗净的魔芋球茎切成 3~5 mm 薄片,于阳光下通风晒干,经粉碎去掉杂质后过 40 目筛(≤0.425 mm)制得白色普通魔芋精粉备用^[25]。

1.2.1.3 魔芋葡甘露聚糖提取液及水解液的制备 准确称取 0.2 g 魔芋粉末,加入盛有 50 mL 甲酸-氢氧化钠缓冲液的烧杯中,在室温下通过电磁搅拌 1~2 h 溶胀后放置至第 2 d,经 4000 r/min 离心 20 min 后得到上清液,转移至 100 mL 容量瓶,并用甲酸-氢氧化钠缓冲液定容至 100 mL,即为魔芋葡甘露聚糖提取液。再取 5.0 mL 魔芋葡甘露聚糖提取液于小烧杯中,准确加入 2.5 mL 3 mol/L H₂SO₄ 摇匀,沸水水浴 1.5 h,冷却后加入 2.5 mL 6 mol/L NaOH,摇匀后转移至 25 mL 容量瓶中,加蒸馏水定容即可魔芋葡甘露聚糖水溶液。

1.2.1.4 魔芋中葡甘露聚糖测定 分别取葡甘露聚糖提取液、水解液和蒸馏水 2.0 mL 于 3 个小烧杯内,依次加入 1.5 mL 3,5-二硝基水杨酸,在沸水浴中加热 5 min,冷却后转移至 25 mL 容量瓶中,用蒸馏水定容,以蒸馏水作空白调零,在分光光度计 550 nm 处分别测定吸光度值,再根据葡萄糖标准曲线查出葡甘露聚糖水溶液葡萄糖毫克数(T)和葡甘露聚糖

提取液葡萄糖毫克数(T_0),通过以下公式计算出葡甘露聚糖含量^[25]。

$$X(\%) = \frac{\varepsilon \times (5T - T_0) \times 50}{m \times 1000}$$

式中: ε -葡甘露聚糖中葡萄糖和甘露糖残基分子量与其水解后所生成的葡萄糖和甘露糖分子量之比($\varepsilon = 0.9$); T -标准曲线上所对应的葡甘露聚糖水溶液葡萄糖含量(mg); T_0 -标准曲线上所对应的葡甘露聚糖提取液葡萄糖含量(mg); m -样品质量(g)。

1.2.2 蛋白质含量测定 分别称取5种魔芋粉末试样2.000 g(精确至0.001 g)至消化管中,依次加入研细的0.4 g CuSO_4 和6 g K_2SO_4 粉末、少量超纯水及20 mL H_2SO_4 后于消化炉上(420 °C)消化150 min,冷却至管中液体呈绿色透明状,以试剂作空白对照依次经凯氏定氮仪测定蛋白质的含量^[26]。

1.2.3 粗脂肪含量测定 依次称取试样3.000 g(m_0)于砂芯杯内,放入脱脂棉,连接装置和电源,待索氏抽提仪完成自检后装好砂芯杯,于恒重(m_1)的接收瓶中加入1/3体积的石油醚后放于仪器内,设定程序(温度80 °C,沸腾60 min,淋洗60 min,回收40 min)自动抽提6 h(6~8次/h),待抽提液没有油斑时回收石油醚,取下接收瓶置于硅胶干燥器中干燥30 min后称量,重复至恒重(m_2),即可按以下公式计算魔芋中脂肪含量,结果保留两位小数^[27]。

$$X(\%) = \frac{(m_2 - m_1)}{m_0} \times 100$$

1.2.4 粗纤维含量测定 称取20 g试样(m)于500 mL锥形瓶中,加入200 mL煮沸的1.25% H_2SO_4 ,并于电热板上恒体积微沸30 min(搅拌1次/5 min),迅速用亚麻布过滤,用沸水洗涤至洗液中性,再用200 mL煮沸的1.25% KOH 溶液将亚麻布上的残留物洗入原锥形瓶中,继续微沸30 min,重复加热洗涤

3次后移入恒重(G_0)的垂熔坩埚中抽滤,用热水充分洗涤后抽干,再依次用乙醇和乙醚各洗涤1次。将坩埚和内容物于105 °C烘箱中烘至恒量(G_1)后按以下公式计算魔芋中粗纤维含量,结果保留两位小数^[28]。

$$X(\%) = \frac{G_1 - G_0}{m} \times 100$$

1.2.5 重金属含量测定 微波消解:称取粉末试样0.2 g(m)于消化管中,加入5 mL硝酸,加盖放置1 h,按高压微波消解器设定程序加热消解(见表1)。消解完后冷却至100 °C左右,取出自然降到室温并于超声水浴箱中超声脱气5 min,用超纯水定容至25 mL(V)备用,其中设置2个空白^[29]。

表1 微波消解仪设置条件

Table 1 Conditions of microwave digestion device

步骤	最大功率 (W)	控制温度 (°C)	升温时间 (min)	恒温时间 (min)
1	1200	120	5	5
2	1200	150	5	10
3	1200	190	5	20

ICP-MS工作条件:测定前,对仪器的射频功率、等离子体气流量、载气流量、辅助气流量等操作条件和参数进行调谐,以得到最佳灵敏度,本研究中ICP-MS工作条件如表2。

元素分析模式及内标选择:根据ICP-MS待测Cr、Mn、Ni、Cd、Pb、Hg和As 7种元素选择对应的分析模式,并严格按照标准选择待测元素所对应的同位素和内标元素^[29],见表3。

元素含量的测定:先测定待测元素和内标元素的信号响应值,在用电感耦合等离子体质谱仪测定空白溶液和试样溶液,得到试样空白溶液质量浓度

表2 电感耦合等离子体质谱仪工作参考条件

Table 2 Working reference conditions of ICP-MS

参数名称	参数	参数名称	参数
射频功率	1500 W	雾化器	高盐/同心雾化器
等离子体气流量	15 L/min	采样锥/截取锥	镍/铂锥
载气流量	0.80 L/min	采样深度	8~10 mm
辅助气流量	0.40 L/min	采集模式	跳峰(Spectrum)
氦气流量	4~5 mL/min	检测方式	自动
雾化室温度	2 °C	每峰测定点数	1~3
样品提升速	0.3 r/s	重复次数	2~3

表3 ICP-MS待测元素分析模式及所选同位素与内标元素

Table 3 Elemental analysis mode of ICP-MS and selected isotope and internal standard elements

编号	元素名称	元素符号	分析模式	质荷比 m/z	内标
1	铬	Cr	碰撞反应池	52/53	$^{45}\text{Sc}/^{72}\text{Ge}$
2	锰	Mn	碰撞反应池	55	$^{45}\text{Sc}/^{72}\text{Ge}$
3	镍	Ni	碰撞反应池	60	$^{72}\text{Ge}/^{103}\text{Rh}/^{115}\text{In}$
4	镉	Cd	碰撞反应池	111	$^{103}\text{Rh}/^{115}\text{In}$
5	铅	Pb	普通/碰撞反应池	206/207/208	$^{185}\text{Re}/^{209}\text{Bi}$
6	汞	Hg	碰撞反应池	202	$^{185}\text{Re}/^{209}\text{Bi}$
7	砷	As	碰撞反应池	75	$^{45}\text{Sc}/^{72}\text{Ge}$

(ρ_0)和试剂溶液中被测元素质量浓度(ρ),根据标准曲线(所选内标元素响应信号值)及以下公式计算得到消解液中待测元素的浓度(X),结果保留三位小数:

$$X(\%) = \frac{(\rho - \rho_0) \times V}{m \times 1000} \times 100$$

1.3 数据处理

实验每个样品重复测定3次,数据利用 Microsoft Office 2010 求出平均值 \pm 标准偏差 (Mean \pm SD) 并绘图,数值表示为平均值 \pm 标准差;利用 SPSS 22.0 中文版进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 魔芋中主要营养成分

2.1.1 葡甘露聚糖含量 本研究建立的回归方程 $y = 0.1364x + 0.0172$ ($R^2 = 0.9987$),根据回归方程得出葡甘露聚糖含量结果见图1。

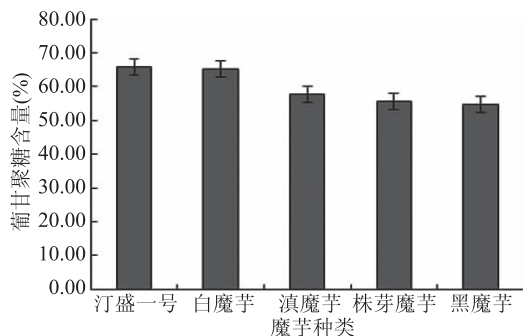


图1 5种魔芋中葡甘露聚糖的含量

Fig.1 Glucomannan contents in five kinds of konjac

由图1所示,测定的5种魔芋中汀盛一号和白魔芋葡甘露聚糖含量最高,分别为65.92%和65.31%,滇魔芋次之(57.74%),株芽魔芋和黑魔芋最低(分别为55.51%、54.83%)。孙天玮等^[30]测定白魔芋葡甘露聚糖含量为51.05%,株芽魔芋46.59%,而魔芋精粉最高在51.3%~63.5%^[31],而不同品种的魔芋葡甘露聚糖含量相差较大,分布在10%~70%之间^[32],一般在60%左右^[33],含量差异除与魔芋品种有关外,还可能与魔芋粗粉、生长环境等有关^[34-35]。因葡甘露聚糖是一种天然合成的高分子多糖,本身具有独特的抗菌性、增稠性、胶凝性、乳化性和流变性等,可减少和延缓葡萄糖吸收而抑制血糖升高和脂肪酸合成、增强机体免疫能力等^[4,36],使其在医药保健、农业、食品产业和环保工业等各方面都具有很好的应用价值,是评价魔芋品质的重要指标之一^[22,36],因此以葡甘露聚糖成分作为精深加工产品开发利用时,可首选汀盛一号和白魔芋作为原料。

2.1.2 蛋白质含量 蛋白质含量测定结果见图2。

图2所示,汀盛一号和白魔芋中蛋白质含量最高,分别为7.86%和7.57%,其次是黑魔芋(5.53%)和滇魔芋(5.36%),株芽魔芋最低(4.16%),整体含量区间比《中国食物成分表》(4.6%)高^[37],而朱瑛等^[38]测定魔芋中蛋白质含量仅为0.12%,魏养利等^[4]测定为3.4%,表明不同品种的魔芋蛋白质含量存在差异,且本次研究的魔芋样品中蛋白质含量普

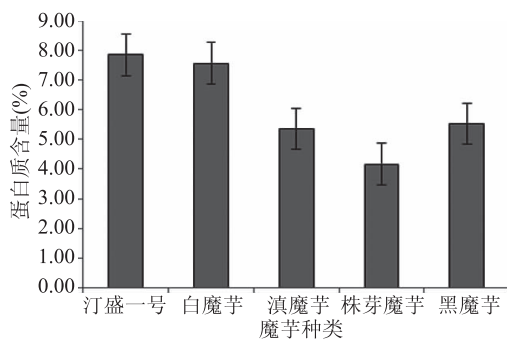


图2 5种魔芋中蛋白质含量的测定结果

Fig.2 Protein contents in five kinds of konjac

遍高于文献报道数据。

2.1.3 脂肪含量 脂肪含量测定结果见图3。

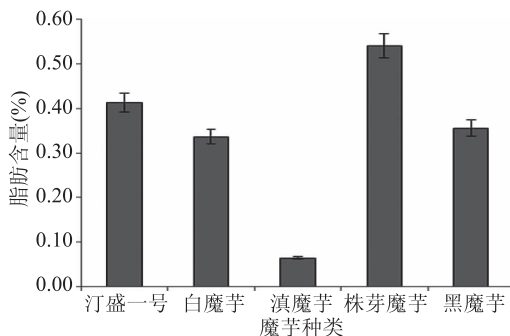


图3 5种魔芋中脂肪含量的测定结果

Fig.3 Crude fat contents in five kinds of konjac

由图3所示,测定的5种魔芋中脂肪含量在0.06%~0.54%之间,其中滇魔芋的脂肪含量为0.06%,比其他经常食用的食物含量(10%~30%)少得多,李磊^[24]测定了不同魔芋中粗脂肪含量为0.28%~0.48%,均说明魔芋脂肪含量低,属于低脂、低热量食品,可为“魔力食品”的精深加工提供数据参考。

2.1.4 粗纤维含量 粗纤维含量测定结果见图4。

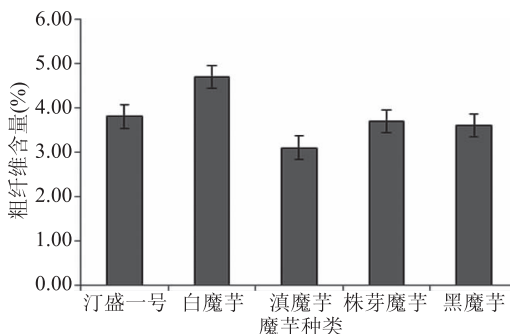


图4 5种魔芋中粗纤维含量测定结果

Fig.4 Coarse fib contents in five kinds of konjac

由图4所示,5种魔芋样本中粗纤维含量从高到低依次为白魔芋(4.70%)>汀盛一号(3.80%)>株芽魔芋(3.70%)>黑魔芋(3.60%)>滇魔芋(3.10%),魔芋块茎中粗纤维含量一般在4%~4.5%^[39],而李磊^[24]测定了10种不同魔芋中粗纤维含量为3.14%~5.14%,因食物中的粗纤维不易消化,对肥胖、糖尿病和高血脂等病起到预防和治疗作用^[6],所以魔芋可作为补充人体膳食纤维较好的食药材料,同

表4 重金属标准曲线线性方程、线性范围、相关系数及检出限

Table 4 Linear equation, linear range, correlation coefficient, detection limit of heavy metal standard curve

编号	元素	线性范围 ($\mu\text{g/L}$)	回归方程	相关系数	检出限 (mg/kg)	定量限 (mg/kg)
1	铬(Cr)	0~50	$y = 2.398E-2x + 7.718E-3$	0.9997	0.050	0.020
2	锰(Mn)	0~50	$y = 8.469E-3x + 3.327E-3$	0.9994	0.100	0.130
3	镍(Ni)	0~50	$y = 1.278E-3x + 1.424E-3$	0.9998	0.200	0.050
4	镉(Cd)	0~50	$y = 5.381E-4x + 2.126E-6$	1.0000	0.002	0.001
5	铅(Pb)	0~50	$y = 3.490E-3x + 6.218E-4$	0.9998	0.020	0.010
6	砷(As)	0~50	$y = 6.616E-3x + 1.839E-3$	0.9999	0.012	0.001
7	汞(Hg)	0~50	$y = 5.498E-4x + 4.541E-6$	0.9998	0.010	0.017

时本研究结果也为魔芋产品深加工工艺提供参数。

2.2 魔芋中重金属含量

2.2.1 标准曲线线性范围、曲线方程、相关系数、检出限和定量限 ICP-MS 检测法具有线性范围宽的特点,由表4可知,在满足线性范围的稳定性和重复性条件下,Cr、Mn、Ni、Cd、Pb、As 和 Hg 标准曲线适宜的最高浓度均为 $50 \mu\text{g/L}$,标准曲线的相关系数均在 0.9994 以上,线性较好,完全能够满足分析方法的需要。同时,按照标准计算本方法的检出限^[20],以空白试剂响应值的 10 倍标准偏差作定量限,得出各重金属元素的检出限和定量限分别在 $0.002\sim 0.200 \text{ mg/kg}$ 和 $0.001\sim 0.130 \text{ mg/kg}$ 之间,说明该方法灵敏度高,能准确测定低含量的元素,完全能够满足农产品质量安全监测的要求。

2.2.2 精密度与加标回收验证 取消解待测液按标准预实验方法进行平行试验 5 份,计算各元素含量

的平均值,同时分别于各溶液中加入一定量对应的 Cr、Mn、Ni、Cd 和 Pb 标准溶液进行加标回收试验,每份溶液测定 3 次,以加标前测定的含量平均值计算各元素的回收率,并以各元素相对标准偏差(RSD)来确认方法的准确性与精密度(表5)。

由表5可知,各元素相对标准偏差(RSD) $\leq 6.94\%$,回收率在 $96.7\% \sim 107.2\%$ 之间,表明该测定方法的准确度良好且精密度高,满足试验测定要求。

2.2.3 五种魔芋中重金属含量测定结果 按以上条件依次对 5 种芋魔芋样品处理液进行测定,并根据公式计算得出 5 种魔芋中 Cr、Mn、Ni、Cd、Pb、As 和 Hg 的含量,结果见表6。

由表6可知,本次测定的魔芋样品中锰含量较高($8.170\sim 53.290 \text{ mg/kg}$,其中黑魔芋含 53.290 mg/kg),铬含量在 $0.320\sim 1.715 \text{ mg/kg}$ 之间,镍含量在 $0.232\sim 0.604 \text{ mg/kg}$ 之间,镉含量为 $0.014\% \sim 0.025 \text{ mg/kg}$,

表5 精密度与加标回收试验结果

Table 5 Recovery tests of precision and standard addition in digestion solution

编号	元素	相对标准偏差(%)	认定值(mg/kg)	添加浓度(mg/kg)	回收率(%)
1	铬(Cr)	5.36	0.57	0.2	98.4
				0.5	96.7
				1.0	104.2
2	锰(Mn)	2.83	12.5	1.0	97.2
				2.0	101.6
				3.0	99.4
3	镍(Ni)	3.48	0.36	1.0	97.5
				2.0	100.2
				4.0	103.6
4	镉(Cd)	4.85	0.20	0.10	98.6
				0.15	97.5
				0.20	101.8
5	铅(Pb)	5.16	0.25	0.10	98.4
				0.25	107.2
				1.00	105.9
6	砷(As)	5.27	0.05	0.25	97.4
				0.50	102.6
				1.00	99.7
7	汞(Hg)	6.94	0.06	0.03	99.4
				0.06	102.7
				0.12	98.2

表6 5种魔芋中重金属含量的测定结果(mg/kg)
Table 6 Heavy metals contents in five kinds of konjac (mg/kg)

编号	样品名称	铬	锰	镍	镉	铅	砷	汞
1	白魔芋	0.737	14.216	0.244	0.016	0.148	0.022	0.054
2	黑魔芋	0.345	53.290	0.295	0.025	0.182	0.018	0.038
3	汀盛一号	0.320	8.170	0.232	0.014	0.140	0.026	0.041
4	株芽魔芋	0.346	14.472	0.450	0.025	0.184	0.037	0.036
5	滇魔芋	1.715	12.973	0.604	0.024	0.251	0.092	0.062

铅含量在 0.140%~0.251 mg/kg, 砷含量在 0.018~0.092 mg/kg, 汞含量在 0.036~0.062 mg/kg 之间, 均符合我国食品安全国家标准限量标准(铬 <1 mg/kg, 镍 <1.0 mg/kg, 镉 <0.03~0.2 mg/kg, 铅 <1~2 mg/kg, 砷 <0.5 mg/kg, 总汞 <0.1 mg/kg)^[40]。虽然本研究所测定的 5 种魔芋样本中的 7 种重金属含量均符合我国食品安全国家标准限量标准可安全食用, 但为开展魔芋及相关产品的安全性评价, 仍需对不同土壤环境、魔芋及其产品中各重金属含量、富集作用、危害及防控措施等开展大量研究。

3 结论

本研究表明, 魔芋中含有丰富的葡甘聚糖(含量 54.83%~65.92%), 可达干质量的 60% 左右, 蛋白质含量为 4.16%~7.86%, 粗脂肪含量最少(0.06%~0.54%), 粗纤维含量为 3.10%~4.70%, Mn 含量较高(8.170%~53.290%, 其中黑魔芋含 53.290%), 且含有 Cr、Ni、Cd、Pb、As 和 Hg6 种重金属元素, 但含量均在我国食品安全国家标准(GB 2762-2017)的限量要求以内, 含量极低, 可以放心食用。在不同品种的魔芋中, 葡甘露聚糖、脂肪、蛋白质、重金属、粗纤维的含量都有着显著的差距, 但白魔芋营养价值整体比其他 4 种魔芋高, 而新品种汀盛一号魔芋葡甘露聚糖(65.92%)高于其他已报道的品种(60%), 蛋白质含量最高(7.86%)。本研究结果可对种植品种进行优选以提升魔芋及其产品品质、精深加工工艺、品牌创建、增加种植户收入和持续发展等提供理论参考。

参考文献

- [1] 杨代明, 刘佩瑛. 中国魔芋种植区划[J]. 西南农业大学学报, 1990, 12(1): 1-7.
- [2] 李恒. 中国植物志第 13 卷(第二分册)[M]. 北京农业出版社, 1981: 48-100.
- [3] 李恒. 天南星科的生态地理和起源[J]. 云南植物研究, 1986, 8(4): 363-381.
- [4] 魏养利, 张雪芳. 魔芋的保健功能及发展前景[J]. 中国林副特产, 2017(3): 64-66.
- [5] 吴旭, 杨敏, 刘佳妮, 等. 珠芽魔芋对细菌性软腐病的抗性鉴定研究[J]. 亚热带植物科学, 2018, 47(2): 176-180.
- [6] Dey Y N, Ota S, Srikanth N, et al. A phytopharmacological review on an important medicinal plant - *Amorphophallus paeoniifolius* [J]. AYU (An International Quarterly Journal of Research in Ayurveda), 2012, 33(1): 27-32.
- [7] Sanjay J, Vinod K D, Neelesh M, et al. Antioxidant and hepatoprotective activity of ethanolic and aqueous extracts of

Amorphophallus campanulatus Roxb. tubers [J]. Acta Poloniae Pharmaceutica, 2009, 66(4): 423-428.

[8] Dey Y N, De S, Ghosh A K. Evaluation of analgesic activity of methanolic extract of *Amorphophallus paeoniifolius* tuber by tail flick and acetic acid-induced writhing response method [J]. Int J Pharm Biosci, 2010, 1: 662-670.

[9] De S, Dey Y N, Ghosh A K. Anti-inflammatory activity of methanolic extract of *Amorphophallus paeoniifolius* and its possible mechanism [J]. Int J Pharma Biosci, 2010, 1: 1-8.

[10] Khan A, Rahman M, Islam M S. Antibacterial, antifungal and cytotoxic activities of amblyone isolated from *Amorphophallus campanulatus* [J]. Indian J Pharmacol, 2008, 40: 41-44.

[11] Dey Y N, Ghosh A K. Evaluation of anthelmintic activity of the methanolic extract of *Amorphophallus paeoniifolius* tuber [J]. Int J Pharm Sci Res, 2009, 1: 117-121.

[12] Ansil P N, Prabha S P, Nitha A, et al. Chemopreventive effect of *Amorphophallus campanulatus* (Roxb.) blume tuber against aberrant crypt foci and cell proliferation in 1,2-dimethylhydrazine induced colon carcinogenesis [J]. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 2013, 14(9): 5331-5339.

[13] Tripathi A S, Chitra V, Sheikh N W, et al. Immunomodulatory activity of the methanol extract of *Amorphophallus campanulatus* (Araceae) tuber [J]. Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 2010, 9(5): 451-454.

[14] 李磊, 郭晟, 姜立起, 等. 5 种魔芋部分生物学特性比较研究 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(8): 4499-4501, 4511.

[15] 谢荣竹. 凤庆县发展魔芋产业探讨 [J]. 云南农业, 2017, 11: 65-68.

[16] 尹风华. 对云县涌宝镇魔芋产业发展的思考 [J]. 现代农业科技, 2016, 2: 309, 322.

[17] 王芳荣, 段红平. 魔芋产业在昭通村民脱贫过程中的发展对策 [J]. 云南农业大学学报: 社会科学, 2016, 10(3): 13-18.

[18] 王芳荣. 昭通魔芋特色产业脱贫攻坚措施的着力点及发展对策 [J]. 贵州农业科学, 2016, 44(6): 176-179.

[19] 周永仙. 云南大关县魔芋产业的发展与对策 [J]. 农业工程技术, 2018, 38(5): 14.

[20] 张燕, 李联平, 杨发明, 等. 楚雄州魔芋产业绿色发展对策 [J]. 安徽农业科学, 2019, 47(7): 232-234, 237.

[21] 杨崇仁. 魔芋名实考 [J]. 中国野生植物资源, 2019, 38(1): 60-62.

[22] 黄明发, 张盛林. 魔芋膳食纤维保健功能研究进展 [J]. 中国食物与营养, 2010, 5: 75-77.

(下转第 248 页)

- [5] Navarro S L, Schwarz Y, Song X, et al. Cruciferous vegetables have variable effects on biomarkers of systemic inflammation in a randomized controlled trial in healthy young adults [J]. *Journal of Nutrition*, 2014, 144 (11): 1850-1857.
- [6] 张志超, 端子渊, 张新华, 等. 羊肉肉质风味研究进展 [J]. *肉类研究*, 2018, 32 (10): 61-65.
- [7] 黄文垒, 钱静, 逢健. 鸡清汤的制作工艺及其影响因素分析 [J]. *食品研究与开发*, 2017, 38 (11): 122-127.
- [8] 王慧清, 马栋, 吴素蕊, 等. 松茸菌汤熬制工艺参数优化及风味成分分析 [J]. *食品科学*, 2015, 36 (16): 25-30.
- [9] 张音, 夏斌斌, 罗凤莲. 固相萃取-气质联用检测鸭汤中挥发性风味成分 [J]. *食品科学*, 2012, 33 (6): 225-231.
- [10] 李金林, 涂宗财, 张露, 等. SPME-GC-MS 法分析草鱼汤烹制过程中挥发性成分变化 [J]. *食品科学*, 2016, 37 (22): 149-154.
- [11] 柯丽霞, 宋燕, 邓江涛. 香菇菌汤呈味核苷酸溶出的熬制工艺优化研究 [J]. *食品科技*, 2012, 37 (1): 85-88.
- [12] 韩科研, 黄继超, 刘冬梅, 等. 鸭骨汤酶解液的美拉德反应条件优化 [J]. *食品科学*, 2018, 39 (4): 261-267.
- [13] 王莉嫦. 工艺条件对鸡汤品质影响的研究 [J]. *食品工业科技*, 2013, 34 (14): 303-304, 310.
- [14] 诸琼妞, 祝超智, 赵改名, 等. 煮制过程中食盐引起猪肉汤成分含量变化的研究 [J]. *食品工业科技*, 2019, 40 (22): 7-12.
- [15] 赵丹, 韩清华, 周海军, 等. 菌菇汤冻调味料制备与工艺优化 [J]. *食品工业科技*, 2017, 38 (3): 196-201.
- [16] 章银良, 庞丹洋, 蔡亚玲. 不同盐浓度对鹅肉中挥发性风味成分的影响 [J]. *肉类工业*, 2016 (10): 28-34.
- [17] 叶安妮, 李济生, 阮征, 等. 即售盐焗鸡卤制过程中卤汤循环使用时成分变化规律 [J]. *中国调味品*, 2019, 44 (4): 35-39.
- [18] 顾伟钢, 张进杰, 姚燕佳, 等. 3 种猪肉汤体系中蛋白质讲解产物的比较研究 [J]. *中国食品学报*, 2012, 12 (2): 178-185.
- [19] 刘树萍. 电子鼻和电子舌技术在排骨汤风味评价中的应用 [J]. *肉类研究*, 2018, 32 (1): 58-63.
- [20] 李琴, 朱科学, 周慧明. 利用电子鼻分析熬制时间对 3 种食用菌汤风味的影响 [J]. *食品科学*, 2010, 31 (16): 151-155.
- [21] 张森, 贾洪峰, 刘国群, 等. 电子鼻在芝麻酱品质识别中的应用 [J]. *食品科学*, 2017, 38 (8): 313-317.
- [22] 朱琪, 师希雄, 韩玲, 等. 祁连清泉清炖羊肉汤挥发性化合物的检测 [J]. *食品与发酵科技*, 2017, 53 (4): 109-114.
- [23] Angelo A J S, Vercellotti J R, Legendre M G, et al. Chemical and instrumental analyses of warmed-over flavor in beef [J]. *Journal of Food Science*, 2010, 52 (5): 1163-1168.
- [24] 张迪雅, 谢丹婷, 李晔. 应用电子鼻和 GC-MS 比较牛肉不同部位的挥发性物质组成 [J]. *食品工业科技*, 2017, 38 (21): 241-246.
- [25] 王玉, 赵廷宁, 薛勇, 等. 基于电子鼻与 SPME-GC-MS 法分析咸鲑鱼加工过程挥发性风味成分变化 [J]. *食品工业科技*, 2018, 39 (24): 266-272.
- [26] Yang W, Yu J, Pei F, et al. Changes in non-volatile taste components of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during different stages of freeze drying and freeze drying combined with microwave vacuum drying [J]. *Food Chemistry*, 2016, 196 (1): 860-866.
- [27] 李贞子, 杨具田, 祁高展, 等. 兰州大尾羊肉挥发性风味组分研究 [J]. *食品与机械*, 2016, 32 (12): 50-54, 95.
- [28] Takakura Y, Sakamoto T, Hirai S, et al. Characterization of the key aroma compounds in beef extract dilution analysis [J]. *Meat Science*, 2014, 97 (1): 27.
- [29] Zhao J, Wang M, Xie J, et al. Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig [J]. *Food Chemistry*, 2017, 226: 51-60.
- [30] 易宇文, 胡金祥, 杨进军, 等. 基于电子鼻和气质联用分析郫县豆瓣对鱼香调味汁的风味贡献 [J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45 (7): 276-283.
- [23] 袁萍, 吴平. 魔芋膳食纤维生物活性研究进展 [J]. *农产品加工*, 2015, 19: 65-67.
- [24] 李磊. 不同种魔芋生物学性状及化学成分比较研究 [D]. 湖南: 湖南农业大学, 2012.
- [25] NY/T 494-2010 中华人民共和国农业行业标准 魔芋粉 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [26] GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [27] GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [28] GBT 5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [29] GB 5009.268-2016 食品安全国家标准 食品中多元素的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [30] 孙天玮, 周海燕, 詹逸舒, 等. 不同种魔芋主要成分及加工方法对产品的影响 [J]. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2008, 4: 413-415.
- [31] 胡敏, 李波, 龙萌, 等. 魔芋葡甘聚糖含量的测定 [J]. *湖北农业科学*, 1998, 37 (5): 56-62.
- [32] 庞杰. 资源植物魔芋的功能活性成分 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [33] 漆雷莲, 张倩倩, 盛德尊, 等. 魔芋葡甘聚糖溶液水基的润滑特性 [J]. *材料研究学报*, 2018, 32 (1): 25-32.
- [34] Widjanarko S B, Faridah A, Sutrisno A. Optimization of ultrasound-assisted extraction of konjac flour from *Amorphophallus muelleri* Blume [J]. *Special Publication - Royal Society of Chemistry*, 2014, 1: 109-122.
- [35] Cheng L H, Nur Halawiah H, Lai B N, et al. Ultrasound mediated acid hydrolysis of konjac glucomannan [J]. *International of Food Research Journal*, 2010, 17: 1043-1050.
- [36] 杨晶晶, 杨林夕, 邵娟娟. 魔芋中化学成分的提取纯化 [J]. *农产品加工*, 2018, 8: 67-69.
- [37] 王光亚. 中国食物成分表 [M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2009.
- [38] 朱瑛, 朱燕. 魔芋中蛋白质含量测定方法探讨 [J]. *贵阳学院学报: 自然科学版*, 2014, 2: 80-83.
- [39] 余象煜, 李平, 吕洪飞, 等. 魔芋块茎的营养成分 [J]. *植物杂志*, 1994, 2: 16.
- [40] GB 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

(上接第 239 页)