

程婷婷, 惠小涵, 尚欣欣, 等. 10 个产地莲藕营养成分分析与品质综合评价 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(8): 320–325. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020060110

CHENG Tingting, XI Xiaohan, SHANG Xinxin, et al. Nutrient Composition Analysis and Quality Comprehensive Evaluation of Lotus Root in 10 Producing Areas[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(8): 320–325. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020060110

· 营养与保健 ·

10 个产地莲藕营养成分分析与品质综合评价

程婷婷¹, 惠小涵¹, 尚欣欣¹, 原新博¹, 柯卫东², 郭宏波¹, 左小容³, 刘景玲^{4,*}

(1.西北农林科技大学化学与药学院, 陕西杨凌 712100;

2.武汉市农业科学院蔬菜研究所, 湖北武汉 430065;

3.西安安得药业有限责任公司, 陕西西安 710075;

4.西北农林科技大学生命科学学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 为探究不同产地莲藕中主要营养成分与活性成分的含量特征, 建立莲藕品质综合评价体系。对 10 个产地的 12 份莲藕样本中的粗蛋白、淀粉、脂肪、粗纤维、可溶性总糖、总黄酮、总多酚、维生素 C、矿物质和氨基酸含量进行测定, 结果显示, 云南红河莲藕的淀粉 (136.87 g/kg)、脂肪 (7.26 g/kg)、总多酚 (155.5 mg/kg)、总氨基酸 (15.75%)、铁 (50.7 mg/kg)、锌 (3.52 mg/kg) 和钾 (407 mg/100 g) 含量最高, 山东荷泽莲藕的可溶性总糖 (71.35 mg/g) 和粗纤维 (69.84 g/kg) 含量最高, 江苏淮安莲藕的 V_C 含量最高 (67.53 mg/100 g), 四川眉山莲藕的黄酮含量最高 (117.92 mg/kg), 湖北荆州莲藕的粗蛋白含量最高 (38.4 g/kg), 河南三门峡莲藕的磷含量最高 (61.3 mg/100 g), 陕西富平 1 莲藕钙含量最高 (323 mg/kg), 湖南湘潭莲藕的硒含量最高 (9.5 μg/kg)。利用因子分析和系统聚类分析对莲藕营养成分和综合品质进行评价, 因子分析表明可将评价莲藕品质的指标用 2 个因子表示, 淀粉、钾、维生素 C、硒、铁和锌含量可以用来衡量莲藕品质的优劣。综合评价显示云南红河莲藕的品质最优, 陕西富平 3、江苏淮安和湖北荆州莲藕的品质较差。

关键词: 莲藕, 不同产地, 营养成分, 因子分析, 聚类分析, 品质评价

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)08-0320-06

DOI: [10.13386/j.issn1002-0306.2020060110](https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060110)

Nutrient Composition Analysis and Quality Comprehensive Evaluation of Lotus Root in 10 Producing Areas

CHENG Tingting¹, XI Xiaohan¹, SHANG Xinxin¹, YUAN Xinbo¹, KE Weidong², GUO Hongbo¹,
ZUO Xiaorong³, LIU Jingling^{4,*}

(1. College of Chemistry and Pharmacy, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Vegetable, Wuhan Agricultural Academy, Wuhan 430065, China;

3. Xi'an Ande Pharmaceutical Co., Ltd., Xi'an 710075, China;

4. College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The purpose of this study is to explore the content characteristics of main nutrient components in lotus root from different producing areas and to establish a comprehensive quality evaluation system for the quality of lotus root. The contents of crude protein, starch, fat, crude fiber, soluble total sugar, total flavonoids, total polyphenols, vitamin C, minerals and amino acids in 12 lotus root samples from 10 places of origin were determined. The results showed that the contents of starch (136.87 g/kg), fat (7.26 g/kg), total polyphenols (155.5 mg/kg), total amino acids (15.75%), iron (50.7 mg/kg), zinc (3.52 mg/kg) and potassium (407 mg/100 g) in lotus root of Honghe in Yunnan were the highest. The contents of total soluble sugar (71.35 mg/g) and crude fiber (69.84 g /kg) in Lotus root of Heze in Shandong were the highest. The highest

收稿日期: 2020-06-09

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0100204-29); 国家杨凌农业高新技术产业示范区科技攻关计划 (201SF-08)。

作者简介: 程婷婷 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 莲藕功能产品研发, E-mail: 2018055932@nwafu.edu.cn。

* 通信作者: 刘景玲 (1979-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 药用植物次生代谢调控, E-mail: 376961495@163.com。

contents of V_C , flavonoids, crude protein, phosphorus, calcium and selenium were found in Lotus root from Huai'an, Jiangsu (67.53 mg/100 g), Meishan, Sichuan (117.92 mg/kg), Jingzhou, Hubei (38.4 g/kg), Sanmenxia, Henan (61.3 mg/100 g), Fuping 1, Shaanxi (323 mg/kg) and Xiangtan, Hunan (9.5 μ g/kg). The nutrient components and comprehensive quality of lotus root were evaluated by factor analysis and systematic cluster analysis. Factor analysis showed that the evaluation indexes of lotus root quality could be expressed by two factors, and the contents of starch, potassium, vitamin C, selenium, iron and zinc could be used to measure the quality of lotus root. The result of comprehensive evaluation showed that the quality of lotus root from Honghe in Yunnan province was the best, while the quality of lotus root from Fuping 3 in Shaanxi province, Huai'an in Jiangsu province and Jingzhou in Hubei province were poor.

Key words: lotus root; different producing areas; nutrient content; factor analysis; systematic cluster analysis; quality evaluation

莲藕是莲科莲属水生植物莲(*Nelumbo nucifera* Gaertn.)的膨大根状茎,是最常见的蔬菜之一,与茭白、荸荠、芡实等水生植物并称为“水八仙”。莲藕含有丰富的营养成分,如蛋白质、粗纤维、淀粉和矿物质等,且《神农本草经》中记载,藕可入药,有清热祛瘀、生津止渴等功效^[1]。目前,对莲藕经济价值^[2]、保鲜加工^[3-5]、栽培技术^[6]、营养成分的报道较多^[7]。Zhao 等^[8]测定了莲藕醇提物中的脂肪酸和植物甾醇含量, Yang 等^[9]测定了莲藕中总酚的含量, 张朔^[10]鉴定了莲藕中的萜类, 亢金秀等^[11]测定了新生莲藕不同阶段的水分、总黄酮、脂肪和蛋白质等成分, 韩丽娟等^[12]利用主成分分析法对不同品种水煮藕的风味物质进行了探究。现有文献大多只针对莲藕的部分营养成分或不同加工方法引起的成分变化进行研究,未对鲜藕的营养物质进行全面检测和系统分析。

本文对江苏淮安、山东菏泽、四川眉山、湖北荆州、云南红河、湖南湘潭、河南三门峡、广西贵港、安徽蚌埠和陕西富平共 10 个产地的 12 份鲜藕进行了检测,测定内容包括粗蛋白、淀粉、脂肪、粗纤维、可溶性总糖、维生素 C、黄酮、总多酚、矿物质和氨基酸含量,通过因子分析、系统聚类分析,建立了莲藕综合品质评价体系,以期为优质莲藕筛选提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

莲藕(共 12 份) 分别来源于江苏淮安、山东菏泽、四川眉山、湖北荆州、云南红河、湖南湘潭、河南三门峡、广西贵港和安徽蚌埠当地的农产品市场,陕西富平 1、陕西富平 2 和陕西富平 3 采自陕西省富平县环境相同、地理位置相邻的 3 个乡镇,所有样品均为传统地方品种;样品采摘后立即用保鲜袋分装,放在有冰袋的泡沫纸箱中,取回后存于-80 ℃ 冰箱;葡萄糖(≥98%)、芦丁(≥98%)和没食子酸(≥99%)

标准品,上海源叶生物科技有限公司;氨氮标准品由硫酸铵在 105 ℃ 下干燥 2 h 制得;混合氨基酸标准溶液 美国 Sigma-Aldrich 公司。

UVmini-1240 紫外分光光度计 日本岛津公司;Centrifuge 5430R 高速冷冻离心机 德国艾本德公司;B-260 恒温水浴锅 上海亚荣生化仪器厂;KQ-500DE 型数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限

公司;SZCL-2 型数显智能控温磁力搅拌器 巩义市予华仪器有限责任公司;BS210S 分析天平 北京赛多利斯天平有限公司;101-3 型电热鼓风干燥箱 北京科伟永兴仪器有限公司;NEXION 300X 型电感耦合等离子体质谱仪 美国 PE 公司;Mars 型微波消解仪 美国 CEM 公司;S-433D 氨基酸全自动分析仪 德国 Sykam 公司;SH220 石墨消解仪 济南海能仪器有限公司。

1.2 指标测定

粗蛋白的含量采用分光光度法,参照 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》^[13],测得标曲为 $y=0.0095x-0.0106$, $R^2=0.9993$; 脂肪的含量采用索氏抽提法,参照 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》^[14]; 淀粉含量的测定采用酸水解法,参照 GB 5009.9-2016《食品中淀粉的测定》^[15]; 可溶性总糖含量的测定采用蒽酮比色法^[16],测得标曲为 $y=9.12x-0.006$, $R^2=0.9999$; 粗纤维含量的测定参照 GB/T 5009.10-2003《植物类食品中粗纤维的测定》^[17]; 维生素 C 的测定采用 2,6-二氯靛酚滴定法,参照 GB 5009.86-2016《食品中抗坏血酸的测定》^[18]; 总黄酮含量的测定参照 SN/T 4592-2016《出口食品中总黄酮的测定》^[19],测得标曲为 $y=0.5548x-0.0018$, $R^2=0.9996$; 总多酚含量的测定采用分光光度法^[20],测得标曲为 $y=18.666x+0.0215$, $R^2=0.9995$; 矿物质含量的测定采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS),参照 GB 5009.268-2016《食品中多元素的测定》^[21]; 氨基酸含量的测定参照 GB 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》^[22]。

1.3 数据处理

每个样品重复取样 3 次,结果用 $\bar{x} \pm s$ 表示。数据采用 Excel 2010 处理,并用 SPSS 20.0 软件进行因子分析和系统聚类分析。

2 结果与分析

2.1 莲藕成分分析

2.1.1 基本营养成分与活性成分 如表 1 所示,云南红河莲藕的淀粉、总多酚和脂肪均为最高,质地粉糯,生食口感较差,宜加工成藕粉^[23]; 山东菏泽莲藕的可溶性总糖和粗纤维含量最高,宜烹饪后食用^[24]; 四川眉山莲藕的黄酮含量最高,是陕西富平 2 莲藕的

表 1 不同产地莲藕中基本营养成分与活性成分含量

Table 1 Contents of essential nutrients and active ingredients of lotus root from different producing areas

产地	粗蛋白(g/kg)	脂肪(g/kg)	淀粉(g/kg)	可溶性总糖(mg/g)	粗纤维(g/kg)	V _C (mg/100 g)	总黄酮(mg/kg)	总多酚(mg/kg)
江苏淮安	19.08±0.10	2.73±0.01	12.50±0.00	11.70±1.95	46.47±0.25	67.53±0.40	21.94±0.82	42.58±1.86
山东菏泽	18.26±0.86	5.05±0.25	74.25±0.63	71.35±4.02	69.84±0.48	66.86±0.61	39.80±2.52	141.13±0.31
四川眉山	16.11±1.83	1.90±0.17	131.36±0.29	47.88±2.41	23.43±0.12	52.39±0.50	117.92±2.84	138.43±3.20
湖北荆州	38.40±0.84	4.62±0.42	35.55±0.19	60.16±6.15	15.88±0.05	67.4±0.46	27.00±1.10	78.34±5.51
云南红河	17.51±0.54	7.26±0.08	136.87±0.82	29.41±4.37	29.40±1.70	66.24±0.50	84.30±6.65	155.50±13.49
湖南湘潭	12.38±2.80	2.39±0.45	102.58±6.14	42.78±3.17	13.83±0.27	56.91±0.49	61.33±5.90	90.59±5.45
河南三门峡	12.82±0.04	3.06±0.88	71.24±2.62	31.75±0.31	26.87±1.19	62.33±0.46	27.77±0.34	96.22±2.01
广西贵港	13.34±0.30	4.08±0.33	93.19±0.40	39.44±5.08	22.83±0.17	63.8±0.61	77.98±8.18	136.88±5.80
安徽蚌埠	9.55±1.41	0.88±0.02	80.77±0.17	61.08±2.58	32.47±0.13	64±0.40	45.13±0.62	91.16±3.31
陕西富平1	20.36±1.87	2.71±0.22	41.56±0.05	28.74±1.01	27.22±0.65	63.2±0.85	47.76±4.37	104.71±3.65
陕西富平2	16.11±2.27	5.00±0.05	55.06±0.61	25.48±1.76	37.25±1.83	62.38±0.38	17.93±1.53	59.56±6.31
陕西富平3	16.88±2.00	3.54±0.21	16.20±1.55	17.04±4.25	46.68±0.17	65.24±0.70	49.96±0.47	72.05±9.79

6.6 倍; 湖北荆州莲藕的粗蛋白含量最高; 江苏淮安莲藕的 V_C 含量最高, 是四川眉山莲藕的 1.3 倍, 但江苏淮安莲藕的淀粉、总多酚和可溶性总糖均为最低, 宜生食或凉拌^[25]; 安徽蚌埠莲藕的粗蛋白和脂肪含量最低; 湖南湘潭莲藕的粗纤维含量最低。由测得的指标可以看出, 不同产地莲藕的 V_C 含量相近, 其余指标差异明显, 综合考虑营养成分与活性成分, 云南红河莲藕最佳, 山东菏泽莲藕次之, 江苏淮安莲藕最次。

2.1.2 矿物质 莲藕中常量元素(钙、磷、钾)和微量元素(铁、硒、锌)含量的检测结果如表 2 所示, 云南红河莲藕的锌、钾和铁含量最高, 其中锌含量是湖北荆州莲藕的 5 倍, 钾含量是江苏淮安莲藕的 1.8 倍, 铁含量是四川眉山莲藕的 7.8 倍; 陕西富平 1 莲藕的钙含量最高, 比陕西富平 3 莲藕多 4.4 倍; 河南三门峡莲藕的磷含量最高, 是江苏淮安莲藕的 2.7 倍; 湖南湘潭莲藕的硒含量最高, 而江苏淮安和四川眉山莲藕中未检测到硒。总体来看, 不同产地莲藕的矿物质含量有明显差异, 云南红河莲藕的多个指标均偏高, 矿物质含量最丰富, 江苏淮安和陕西富平 3 莲藕的

指标则偏低, 矿物质含量相对贫乏, 变化趋势与基本营养成分含量一致。

2.2 莲藕品质因子分析

2.2.1 公因子提取 对测得的 14 个指标进行相关性分析, 排除部分相关性差的指标(可溶性糖类、粗蛋白、脂肪和粗纤维), 经 KMO 和 Bartlett 检验, 剩余指标符合因子分析的要求(KMO>0.6, P<0.05)^[26-27]。由表 3 可知, 前 2 个因子的特征值大于 1.0, 累计方差贡献率为 73.22%, 保留了原始数据的大部分信息, 故提取 2 个因子进行后续计算。因子 1 的贡献率高达 55.50%, 其中绝大部分数据都向 1 靠拢, 所以可将第 1 因子描述为总营养。因子 2 的贡献率为 17.72%, 主要代表铁、硒和 V_C, 反映微量营养素。

2.2.2 因子得分和排名 如表 4 所示, 在第一因子中, 云南红河、湖南湘潭、广西贵港和四川眉山的得分明显高于其他产地, 说明这 4 个产地的莲藕含有相对丰富的淀粉、总多酚和黄酮。在地理位置上, 它们与其他产地也有明显分界, 说明莲藕总营养与产地有密切关系。在第二因子中, 云南红河的得分明显高于其他产地, 可见该地莲藕的矿物质和 V_C 含量都很

表 2 不同产地莲藕中矿物质含量(mg/100 g)

Table 2 Mineral contents of lotus root from different producing areas (mg/100 g)

产地	铁	磷	钙	锌	钾	硒
江苏淮安	5.95±0.05	22.3±0.65	92±5.72	0.946±0.02	226±4.97	0
山东菏泽	5.04±0.40	55.2±0.67	138±3.56	1.63±0.04	405±3.56	2.5±0.6
四川眉山	2.84±0.04	49.4±0.88	202±5.66	1.09±0.06	302±3.74	0
湖北荆州	9.22±0.10	30.3±0.86	159±4.90	0.687±0.02	270±3.56	2.1±1.1
云南红河	50.7±0.59	55.7±1.22	278±6.48	3.52±0.07	407±4.24	7.8±1.2
湖南湘潭	16.3±0.42	53.9±1.30	248±12.57	3.36±0.14	365±6.98	9.5±2.0
河南三门峡	15.8±0.42	61.3±0.94	181±2.94	2.25±0.18	344±2.94	2.9±1.2
广西贵港	4.78±0.09	41.5±0.71	294±3.56	2.71±0.13	354±5.72	3.4±0.9
安徽蚌埠	20.9±1.28	45.4±1.28	136±3.27	2.08±0.12	309±7.26	2.4±0.8
陕西富平1	9.83±0.05	57.3±0.65	323±4.97	1.67±0.11	296±3.74	3.6±0.6
陕西富平2	30.1±0.82	43.1±0.70	176±2.16	1.21±0.09	316±5.10	3.0±0.9
陕西富平3	3.74±0.17	32±0.29	73.8±1.76	1.33±0.07	247±2.16	2.5±0.7

表 3 因子载荷矩阵、特征值及贡献率

Table 3 Factor loading, eigenvalues and variance contribution rates of principal components

指标	因子1	因子2
总黄酮	0.731	-0.591
总多酚	0.805	-0.217
淀粉	0.914	-0.279
钙	0.737	-0.024
锌	0.813	0.400
钾	0.870	0.213
铁	0.553	0.532
磷	0.784	0.011
硒	0.690	0.535
V _C	-0.420	0.722
特征值	5.55	1.77
方差贡献率(%)	55.50	17.72
累计方差贡献率(%)	55.50	73.22

丰富。在因子 1、因子 2 和综合得分中, 云南红河都排第一, 说明在总营养和微量营养素上, 云南红河莲藕优于其他产地。虽然湖南湘潭的 3 个得分都排第二, 但综合评分仅为云南红河莲藕的 50%, 说明湖南湘潭莲藕比其他 10 个产地的莲藕稍具优势, 与云南红河藕的差距却很大。不同产地莲藕综合得分从高到低为云南红河>湖南湘潭>广西贵港>河南三门峡>山东菏泽>陕西富平 1>安徽蚌埠>陕西富平 2>四川眉山>湖北荆州>陕西富平 3>江苏淮安, 其中陕西富平的 3 个样品得分表现出明显区别, 说明莲藕的总营养和微量营养素含量不仅与地理位置有关, 还可能与栽培方式、管理技术及水质等多种因素相关。

表 4 因子得分及莲藕品质综合得分(分)

Table 4 Principal component scores and corresponding comprehensive quality scores (scores)

产地	因子1	因子2	综合得分
云南红河	1.00	0.23	1.23
湖南湘潭	0.60	0.07	0.66
广西贵港	0.35	-0.07	0.28
河南三门峡	0.09	0.06	0.15
山东菏泽	0.10	0.03	0.12
陕西富平1	0.00	0.01	0.00
安徽蚌埠	-0.07	0.04	-0.03
陕西富平2	-0.07	0.03	-0.04
四川眉山	0.29	-0.52	-0.23
湖北荆州	-0.59	0.04	-0.55
陕西富平3	-0.73	0.06	-0.68
江苏淮安	-0.096	0.03	-0.92

2.3 氨基酸分析

2.3.1 氨基酸含量 从莲藕中检测出天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、苏氨酸(Thr)、丝氨酸(Ser)、脯氨酸(Pro)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、缬氨酸(Val)、蛋氨酸(Met)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、酪氨酸(Tyr)、苯丙氨酸(Phe)、赖氨酸(Lys)、组氨酸(His)和精氨酸(Arg), 共 16 种氨基酸, 未测出(半)胱氨酸, 如表 5 所示。莲藕中氨基酸的总含量在 5.96‰~15.75‰, 其中云南红河、河南三门峡和湖南湘潭莲藕的氨基酸总含量排前三, 山东菏泽、广西贵港和陕西富平 1 莲藕的氨基酸总含量相近, 江苏淮安莲藕的氨基酸总含量最少, 为云南红河莲藕的 38%。云南红河莲藕的必需氨基酸和非必需氨基酸含量均为最高, 江苏淮安莲藕均为最低, 湖南湘潭莲

表 5 不同产地莲藕的氨基酸含量(‰)

Table 5 Amino acid contents of lotus root from different producing areas (‰)

AA	江苏淮安	山东菏泽	四川眉山	湖北荆州	云南红河	湖南湘潭	河南三门峡	广西贵港	安徽蚌埠	陕西富平1	陕西富平2	陕西富平3
Asp	1.70±0.11	5.93±0.03	4.44±0.06	4.25±0.03	5.89±0.03	4.92±0.06	6.49±0.07	5.10±0.07	4.29±0.06	7.23±0.04	3.62±0.04	2.07±0.05
Glu	1.21±0.04	1.22±0.02	1.56±0.03	1.21±0.02	1.59±0.03	1.19±0.12	1.41±0.04	1.49±0.04	1.46±0.02	0.98±0.74	1.16±0.04	1.48±0.02
Thr*	0.25±0.04	0.53±0.04	0.42±0.03	0.35±0.03	1.10±0.18	0.56±0.03	1.07±0.09	0.56±0.02	0.73±0.03	0.92±0.03	0.32±0.02	0.33±0.02
Ser	0.23±0.03	0.52±0.02	0.45±0.02	0.30±0.04	0.60±0.08	0.62±0.04	0.50±0.07	0.49±0.03	0.34±0.03	0.41±0.02	0.28±0.02	0.25±0.01
Pro	0.38±0.03	0.59±0.04	0.55±0.03	0.39±0.03	1.22±0.02	0.67±0.04	1.00±0.09	0.61±0.02	0.79±0.03	0.49±0.04	0.34±0.03	0.40±0.01
Gly	0.18±0.02	0.28±0.04	0.25±0.02	0.17±0.01	0.32±0.03	0.32±0.03	0.25±0.01	0.26±0.02	0.16±0.02	0.19±0.01	0.16±0.01	0.24±0.02
Ala	0.38±0.05	0.41±0.02	0.50±0.02	0.44±0.03	0.36±0.02	0.44±0.03	0.35±0.02	0.52±0.02	0.38±0.02	0.42±0.02	0.43±0.03	0.54±0.03
Val*	0.24±0.02	0.44±0.04	0.38±0.03	0.27±0.04	0.45±0.01	0.54±0.01	0.38±0.01	0.49±0.03	0.28±0.03	0.29±0.02	0.26±0.02	0.27±0.02
Met*	0.06±0.01	0.14±0.02	0.07±0.01	0.06±0.01	0.13±0.02	0.21±0.03	0.11±0.03	0.12±0.02	0.06±0.01	0.07±0.01	0.06±0.01	0.04±0.01
Ile*	0.17±0.02	0.31±0.03	0.26±0.02	0.18±0.02	0.31±0.03	0.46±0.03	0.26±0.03	0.37±0.02	0.19±0.01	0.19±0.02	0.17±0.02	0.20±0.01
Leu*	0.30±0.02	0.46±0.02	0.42±0.04	0.31±0.02	0.56±0.03	0.60±0.02	0.47±0.02	0.50±0.02	0.36±0.02	0.29±0.02	0.31±0.03	0.37±0.01
Tyr	0.12±0.01	0.33±0.03	0.28±0.02	0.19±0.02	0.36±0.02	0.49±0.01	0.37±0.02	0.54±0.02	0.38±0.03	0.20±0.01	0.22±0.02	0.24±0.03
Phe*	0.17±0.01	0.42±0.02	0.35±0.03	0.30±0.02	0.46±0.04	0.56±0.03	0.43±0.02	0.46±0.03	0.36±0.01	0.25±0.02	0.31±0.02	0.35±0.03
Lys*	0.28±0.03	0.42±0.03	0.42±0.02	0.32±0.02	0.52±0.04	0.54±0.02	0.39±0.03	0.49±0.04	0.29±0.03	0.39±0.02	0.30±0.03	0.32±0.02
His	0.09±0.01	0.22±0.03	0.19±0.02	0.13±0.01	0.39±0.04	0.29±0.03	0.34±0.03	0.25±0.02	0.23±0.03	0.15±0.01	0.13±0.02	0.11±0.02
Arg	0.20±0.02	0.63±0.03	0.44±0.03	0.43±0.03	1.49±0.04	1.21±0.06	0.53±0.04	0.38±0.03	0.39±0.04	0.20±0.04	0.20±0.02	0.25±0.02
TAA	5.96	12.85	10.98	9.30	15.75	13.62	14.35	12.63	10.69	12.67	8.27	7.46
EAA	1.47	2.72	2.32	1.79	3.53	3.47	3.11	2.99	2.27	2.40	1.73	1.88
NEAA	4.49	10.13	8.66	7.51	12.22	10.15	11.24	9.64	8.42	10.27	6.54	5.58
E/T	0.247	0.212	0.211	0.192	0.224	0.255	0.217	0.237	0.212	0.189	0.209	0.252
E/NE	0.327	0.269	0.268	0.238	0.289	0.342	0.277	0.31	0.27	0.234	0.265	0.337

注: TAA(T)氨基酸总量; EAA(E)必需氨基酸; NEAA(NE)非必需氨基酸。

表 6 不同产地莲藕的氨基酸营养评价
Table 6 Amino acid nutrition evaluation of lotus root from different producing areas

产地	江苏淮安	山东菏泽	四川眉山	湖北荆州	云南红河	湖南湘潭	河南三门峡	广西贵港	安徽蚌埠	陕西富平1	陕西富平2	陕西富平3
氨基酸评分	Ile	0.22	0.42	0.40	0.12	0.44	0.93	0.51	0.69	0.50	0.23	0.26
	Leu	0.22	0.36	0.37	0.12	0.46	0.69	0.52	0.54	0.54	0.20	0.27
	Lys	0.27	0.42	0.47	0.15	0.54	0.79	0.55	0.67	0.55	0.35	0.34
	Thr	0.33	0.73	0.65	0.23	1.57	1.13	2.09	1.05	1.91	1.13	0.50
	Val	0.25	0.48	0.47	0.14	0.51	0.87	0.59	0.73	0.59	0.28	0.32
	Met + Cys	0.09	0.22	0.12	0.04	0.21	0.48	0.25	0.26	0.18	0.10	0.11
	Phe + Tyr	0.25	0.68	0.65	0.21	0.78	1.41	1.04	1.25	1.29	0.37	0.55
化学评分	Ile	0.18	0.35	0.33	0.10	0.36	0.76	0.41	0.57	0.41	0.19	0.22
	Leu	0.19	0.31	0.32	0.10	0.39	0.60	0.45	0.46	0.47	0.18	0.24
	Lys	0.22	0.35	0.40	0.13	0.45	0.66	0.46	0.56	0.46	0.29	0.28
	Thr	0.29	0.65	0.58	0.20	1.40	1.00	1.85	0.93	1.70	1.00	0.44
	Val	0.23	0.45	0.44	0.13	0.48	0.81	0.55	0.68	0.54	0.26	0.30
	Met + Cys	0.07	0.16	0.09	0.03	0.16	0.36	0.18	0.19	0.13	0.07	0.08
	Phe + Tyr	0.18	0.48	0.45	0.15	0.54	0.99	0.73	0.87	0.90	0.26	0.38

藕的 E/T 和 E/NE 值最高。总体来看, 莲藕中 Asp 含量最高(1.70‰~7.23‰), 其次是 Glu, 含量最低的是 Met(0.04‰~0.21‰)。

2.3.2 氨基酸营养评价 根据联合国粮农组织(FAO)/世界卫生组织(WHO)建议的氨基酸评分标准^[28]和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的鸡蛋蛋白质模式^[29]分别计算莲藕中的必需氨基酸的氨基酸评分和化学评分, 结果如表 6 所示。Met + Cys 的得分在两个体系中均为最低, Met 是莲藕第一限制氨基酸。湖南湘潭、河南三门峡、安徽蚌埠和广西贵港的得分显著高于其他产地, 其中湘潭莲藕的得分最高, 化学得分基本大于 0.6, 氨基酸评分比较接近 1^[30], 是所有样品中必需氨基酸含量最均衡的, 而湖北荆州的得分最低, 必需氨基酸含量最不均衡。蛋白质有互补作用, 即两种或两种以上食物以适当比例混合食用时, 其中所含的必需氨基酸能相互补充, 从而提高蛋白质生物价^[31~32], 所以莲藕与含蛋氨酸和异亮氨酸丰富的食物(如海藻、豆类等)^[33]搭配食用可以有效提高蛋白质利用率。

2.4 莲藕综合品质分析

以测得的所有营养指标为分类依据, 利用系统聚类法对 12 个样品的综合品质进行分类^[34], 当欧氏距离为 10 时, 可将结果分为 3 大类, 如图 1 所示。云南红河莲藕单独聚为一类, 说明红河莲藕的品质与其他产地存在明显差异; 江苏淮安、陕西富平 3 和湖北荆州莲藕聚为一类, 其余 8 个产地的莲藕聚为一类。这与莲藕的营养成分分析结果相符, 即红河莲藕的营养最丰富, 淮安、富平 3 和荆州莲藕的品质最差, 其余产地莲藕的营养介于这两类之间。

3 结论

对 10 个产地的 12 份莲藕样本的基本营养成分、矿物质和氨基酸含量等多个指标进行测定, 其中胱氨酸在所有样品中均未检出。检测结果显示, 江苏淮安莲藕的 V_C 含量最高, 山东菏泽莲藕的可溶性总糖和粗纤维含量最高, 四川眉山莲藕的黄酮含量最

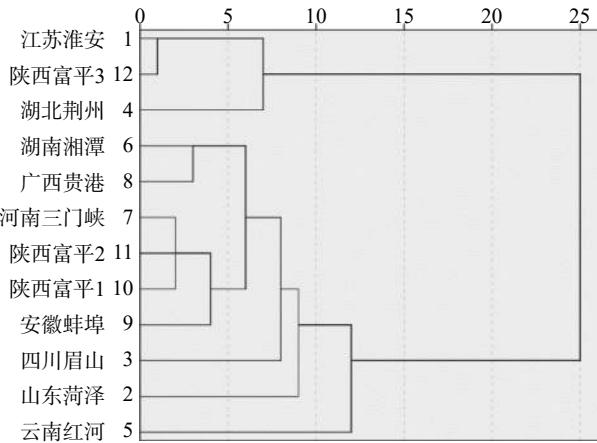


图 1 不同产地莲藕品质的系统聚类

Fig.1 Systematic clustering of quality of lotus root from different producing areas

高, 湖北荆州莲藕的粗蛋白含量最高, 云南红河莲藕的淀粉、脂肪、总多酚、总氨基酸、铁、锌和钾含量最高, 湖南湘潭莲藕的硒含量最高, 河南三门峡莲藕的磷含量最高, 陕西富平 1 莲藕的钙含量最高。

通过因子分析得出, 可以淀粉、黄酮、总多酚和微量营养素含量来评价莲藕品质的优劣。利用系统聚类对莲藕样本进行综合品质分析, 可将 12 份样品划分为 3 类, 其中云南红河莲藕的品质最优, 陕西富平 3、江苏淮安和湖北荆州莲藕的品质最差, 这个结果与基本营养成分分析、矿物质分析、氨基酸分析和因子分析的结果一致。

参考文献

- [1] 张长贵, 董加宝, 王祯旭, 等. 莲藕的营养保健功能及其开发利用[J]. 中国食物与营养, 2006(1): 22~24.
- [2] 邱艳, 蔡甸莲藕产业化发展与对策研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2012.
- [3] 范传会, 陈学玲, 何建军, 等. 混合保鲜剂浸泡对新鲜莲藕冷藏保鲜过程中色泽和气味的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(12): 47~53.
- [4] 张永清, 姜亚平, 张佳雯. 蒲公英提取液对鲜切莲藕的保鲜作用[J]. 北方园艺, 2019(19): 75~80.

- [5] 孙世旭, 李莉, 韩祥稳, 等. 纳米抗菌包装材料对延缓白莲藕风味品质劣变的影响 [J]. *食品科学*, 2019, 40(7): 212–218.
- [6] 鲍锐, 孔令明, 普建文, 等. 施用不同配比化肥与有机肥对莲藕植物学性状、产量及品质的影响 [J]. *西南农业学报*, 2019, 32(4): 911–915.
- [7] Zhu Z, Li S, He J, et al. Enzyme-assisted extraction of polyphenol from edible lotus(*Nelumbo nucifera*) rhizome knot: Ultra-filtration performance and HPLC-MS² profile [J]. *Food Research International*, 2018, 111: 291–298.
- [8] Zhao X, Shen J, Chang K J, et al. Analysis of fatty acids and phytosterols in ethanol extracts of *Nelumbo nucifera* seeds and rhizomes by GC-MS [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(28): 6841–6847.
- [9] Yang D, Wang Q, Ke L, et al. Antioxidant activities of various extracts of lotus (*Nelumbo nuficera* Gaertn) rhizome [J]. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 2007, 16(S1): 158–163.
- [10] 张朔. 莲和藕节的化学成分研究 [D]. 昆明: 云南中医药大学, 2019.
- [11] 兀金秀, 罗靖璠, 任清华, 等. 新生莲藕生长发育过程中主要物质积累 [J]. *食品工业科技*, 2018, 39(5): 76–80.
- [12] 韩丽娟, 黄楚雄, 李洁, 等. 不同品种莲藕水煮风味物质比较 [J]. *食品科学*, 2020, 41(22): 245–251.
- [13] 国家食品药品监督管理总局. 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 3–6.
- [14] 国家食品药品监督管理总局. 食品中脂肪的测定: GB 5009.6-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1–2.
- [15] 国家食品药品监督管理总局. 食品中淀粉的测定: GB 5009.9-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 5–7.
- [16] 中华人民共和国农业部. 棉花中水溶性总糖含量的测定—蒽酮比色法: NY/T 3030-2016[S]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 1–2.
- [17] 中国国家标准化管理委员会. 植物类食品中粗纤维的测定: GB/T 5009.10-2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 1–2.
- [18] 国家食品药品监督管理总局. 食品中抗坏血酸的测定: GB 5009.86-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 7–9.
- [19] 国家质量监督检验检疫总局. 出口食品中总黄酮的测定: SN/T 4592-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1–3.
- [20] 安徽省食品行业协会. 植物提取物及其制品中总多酚含量的测定: T/AHFIA 005-2018 [OL]. (2018-12-26) [2020-5-10]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/12/54494.html>.
- [21] 国家食品药品监督管理总局. 食品中多元素的测定: GB 5009.268-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1–5.
- [22] 国家食品药品监督管理总局. 食品中氨基酸的测定: GB 5009.6-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1–6.
- [23] 李洁, 严守雷, 王清章, 等. 两类不同质地莲藕烹煮过程中的差异研究 [J]. *长江蔬菜*, 2011(16): 128–132.
- [24] 杨冬梅. 莲藕抗氧化特性研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [25] 钱文文. 两类不同质地莲藕的特性研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [26] 李静萍. 多元统计分析——原理与基于 SPSS 的应用 (第二版) [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2015: 31–45.
- [27] 巴克豪斯, 埃里克森, 普林克, 等. 多元统计分析方法: 用 SPSS 工具 [M]. 上海: 格致出版社, 2009: 235–281.
- [28] FAO/WHO 和 Hoc Expert Committee. Energy and protein requirement[R]. Rome: World Health Organization, Geneva: FAO, 1973.
- [29] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. 食物成分表 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1980: 88–90.
- [30] Miao J Y, Lin H M, Zhang S, et al. Effect on amino acid and mineral content of the loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) by adding Fe (II) chelating hairtail protein hydrolysates (Fe (II)-HPH) to the feed [J]. *Food Science & Nutrition*, 2020, 8(3): 1575–1582.
- [31] Perignon M, Barré T, Gazan R, et al. The bioavailability of iron, zinc, protein and vitamin A is highly variable in French individual diets: Impact on nutrient inadequacy assessment and relation with the animal-to-plant ratio of diets [J]. *Food Chemistry*, 2018, 238: 73–81.
- [32] Rafii M, Pencharz P B, Ball R O, et al. Bioavailable methionine assessed using the indicator amino acid oxidation method is greater when cooked chickpeas and steamed rice are combined in healthy young men [J]. *The Journal of Nutrition*, 2020.
- [33] Lorenzo J M, Agregán R, Munekata P E S, et al. Proximate composition and nutritional value of three macroalgae: *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcaria bifurcata* [J]. *Marine Drugs*, 2017, 15(11): 360.
- [34] 焦扬, 折发文, 张娟娟, 等. 基于主成分与聚类分析的甘肃地区产地木耳品质综合评价 [J]. *食品科学*, 2019, 40(8): 130–135.