

陈中爱, 耿阳阳, 黄珊, 等. 不同品种竹笋营养品质分析与综合评价 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(3): 262–268. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030236

CHEN Zhongai, GENG Yangyang, HUANG Shan, et al. Analysis and Comprehensive Evaluation of Nutritional Quality of Bamboo Shoots from Different Cultivars[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(3): 262–268. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030236

· 分析检测 ·

不同品种竹笋营养品质分析与综合评价

陈中爱^{1,2}, 耿阳阳^{3,*}, 黄珊², 吕都², 唐健波², 王梅², 王德斌⁴

(1. 云南农业大学食品科学技术学院, 云南昆明 650000;

2. 贵州省农科院生物技术研究所, 贵州贵阳 550000;

3. 贵州省林业科学研究院, 贵州贵阳 550000;

4. 贵州红赤水集团有限公司, 贵州遵义 563000)

摘要: 为探究方竹笋、马蹄笋、大头笋、麻竹笋、甜笋的主要营养成分含量差异, 对其基本成分、氨基酸及矿物质含量进行分析。利用电感耦合等离子体质谱仪测定矿物质含量, 采用氨基酸分析仪测定游离氨基酸含量, 进行氨基酸比值分析及主成分综合评价。结果表明: 方竹笋的蛋白质含量 (3.73 g/100 g)、K 含量 (4031.52 mg/kg)、Ca 含量 (276.82 mg/kg)、马蹄笋的粗纤维含量 (1.59 g/100 g) 显著高于其他四个品种。矿物质元素分析中, 甜竹笋 Mg、Fe、Mn 含量较其他竹笋高, 分别为 153.16 mg/kg、5.57 mg/kg、17.46 mg/kg, 大头笋和甜笋含有少量的 Se, 有害元素 Cr、Pb、Hg 含量均在允许国家允许范围内, 因此, 方竹笋可作为补充蛋白质和 K、Ca 元素的来源, 马蹄笋可被看作是富含膳食纤维的食物, 甜竹笋可作为补充 Fe 元素的来源, 大头笋和甜笋可作为富硒蔬菜。通过必需氨基酸与氨基酸总量比值 (essential amino acid/total amino acid, EAA/TAA) 和必需氨基酸与非必需氨基酸比值 (essential amino acid/nonessential amino acid, EAA/NEAA) 分析, 方竹笋的 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 分别达到 0.44 和 0.79, 达到了 FAO/WHO 参考模式中要求的 0.40 和 0.60 标准。通过主成分 (principal component, PCA) 分析, 对 5 个品种竹笋的氨基酸进行聚类分析, 大头笋和马蹄笋聚为一类, 其他 3 个竹笋品种各聚为一类。通过对竹笋的营养成分分析, 可为竹笋的深加工提供理论支持。

关键词: 竹笋, 品种, 矿物质, 氨基酸评价, 主成分分析

中图分类号: TS202.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)03-0262-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030236



本文网刊:

Analysis and Comprehensive Evaluation of Nutritional Quality of Bamboo Shoots from Different Cultivars

CHEN Zhongai^{1,2}, GENG Yangyang^{3,*}, HUANG Shan², LÜ Du², TANG Jianbo², WANG Mei², WANG Debin⁴

(1. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650000, China;

2. Institute of Food Processing, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550000, China;

3. Guizhou Academy of Forestry Sciences, Guiyang 550000, China;

4. Guizhou Hongchishui Group Co., Ltd., Zunyi 563000, China)

Abstract: The contents of basic components, amino acids and minerals were analyzed to explore the differences in the main nutritional components for square bamboo shoot, mati bamboo shoot, datou bamboo shoot, ma bamboo shoot and sweet bamboo shoot. First of all, inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) and amino acid analyzer were used to determine the content of mineral and free amino acid, respectively. Subsequently, amino acid ratio analysis and comprehensive evaluation of principal components were conducted. The results showed that the protein content (3.73 g/100 g), K content (4031.52 mg/kg), Ca content (276.82 mg/kg) of square bamboo shoot and crude fiber content (1.59 g/100 g)

收稿日期: 2022-03-21

基金项目: 贵州省科技支撑计划项目 (黔科合支撑 [2020]1Y156 号)。

作者简介: 陈中爱 (1988-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 食品微生物, E-mail: 809424564@qq.com。

* 通信作者: 耿阳阳 (1987-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: 780797880@qq.com。

of mati bamboo shoot were significantly higher than those of other four varieties. Moreover, the contents of Mg, Fe and Mn in sweet bamboo shoots were higher than in other bamboo shoots up to 153.16 mg/kg, 5.57 mg/kg and 17.46 mg/kg, respectively. Simultaneously, a small amount of Se existed in datou and sweet bamboo shoots. Besides, the content of harmful elements Cr, Pb and Hg were within the allowable range of the state. Therefore, square bamboo shoots could be used as a good source of protein, K as well as Ca and mati bamboo shoots were deemed as a food which was rich in dietary fiber; sweet bamboo shoots could be considered as an excellent source of Fe, while datou and sweet bamboo shoots were regarded as Selenium-rich vegetables. The EAA/TAA and EAA/NEAA of square bamboo shoots reached 0.44 and 0.79, respectively, via the analysis of EAA/TAA (ratio of essential amino acids to total amino acids) and EAA/NEAA (ratio of essential amino acids to non-essential amino acids), which had met the standards required by FAO/WHO reference model for EAA/TAA and EAA/NEAA up to 0.40 and 0.60. At the end, PCA was used to cluster analysis for the 5 species of bamboo shoots. The datou bamboo shoot and mati bamboo shoot clustered into one category, and the other 3 bamboo shoots clustered into one category, respectively. In a word, the nutritional composition analysis of bamboo shoots can provide theoretical support for the further processing of bamboo shoots.

Key words: bamboo shoots; cultivars; mineral; amino acids evaluation; principal component analysis

竹子是一类巨大的乔木状,禾本科(Poaceae)竹亚科(Bambuseae)草本植物,多生长于落叶和热带常绿混交林^[1]。中国的竹笋约有 44 属 300 多种,种植面积约占全国森林面积的 3%^[2]。竹笋是竹子根茎上生长的嫩芽,多生长至 20~30 cm 后采收。竹笋因其笋肉脆嫩、味道鲜美、高蛋白、低脂肪,富含丰富的氨基酸、矿物质及膳食纤维而备受人们欢迎^[3]。目前对竹笋的研究主要集中在竹笋采后品质^[4],竹笋中的膳食纤维^[5],竹笋的干燥方式^[6]等,对不同品种之间竹笋的营养品质研究已有报道,但是竹笋种植品种具有一定的地域性,不同区域、品种、地理环境生长的竹笋的营养成分差异较大^[7]。张佳佳等^[8]对常见的毛竹春笋和雷竹笋的营养成分及安全品质进行了比较,发现毛竹春笋的总糖、粗蛋白、灰分、维生素 C、氨基酸、硒及矿物质含量明显高于雷竹笋,重金属铬、铅及硝酸盐含量低于雷竹笋;任春春等^[9]对贵州境内不同地方的金佛山方竹笋的营养及功能成分进行了分析,发现方竹笋蛋白质含量为 32.23~42.30 g/100 g,总游离氨基酸含量为 821.27~5683.72 mg/100 g,膳食纤维含量为 17.87~38.11 g/100 g,方竹笋富含一定的营养及功能成分,具有极大的开发潜力。陈松河等^[10]对从云南引进福建省华安县的 5 种牡竹属笋用竹竹笋营养成分进行了比较,5 种竹笋均含有 17 种氨基酸,氨基酸总含量最高的是勃氏甜龙竹(227.64 mg/g),最低的是马来甜龙竹(120.43 mg/g)。而对贵州省内的麻竹笋、甜笋未见报道。

近年来,随着社会经济的发展,贵州竹产业发展迅速,竹笋产量逐年递增。但由于对竹笋基础研究的滞后,竹笋的加工适应性缺乏理论支撑。前人研究主要是针对单一品种的营养组分进行简单分析,缺乏相互对比和全面性分析,对品种筛选和加工的指导有限。为此,研究选用种植面积较大的竹笋品种为材料,测定其蛋白质、粗纤维、粗脂肪、灰分等主要营养成分和氨基酸的含量,对不同品种的竹笋的营养分析,筛选适合加工的竹笋品种。对其进行氨基酸比值(ratio of amino acid, RAA),氨基酸比值系数(ration co-

efficient of amino acid, RC)、氨基酸比值系数分(score of ratio coefficient of amino acid, SRC)以及必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)等营养指标评价,旨在为竹笋品种选择、竹笋深加工、竹笋新产品开发提供可靠的科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

方竹笋 采自贵州省遵义市;马蹄笋 采自福建省龙岩市;大头笋 采自广西壮族自治区桂林市;麻竹笋 采自贵州省榕江县;甜笋 采自贵州省黄平县;竹笋样品均采自 2021 年 10 月。95% 乙醇、硫酸、乙醚、乙酸镁、浓盐酸、无水乙醚 均为分析纯,购自上海国药集团;HNO₃ 为优级纯,购自天津市大茂化学试剂厂;氨基酸标准品 购自 Sigma 公司;色谱级甲醇 购自北京百灵威公司。

ML204 分析天平 梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司;JK-CFD-6E 粗脂肪测定仪 上海精学科学仪器有限公司;SXL-1008T 程控箱式电炉 上海圣科仪器设备有限公司;SPH120 消解仪、KN620 半自动凯氏定氮仪 济南阿尔瓦仪器有限公司;SHZ-D(III)循环水式多用真空泵 上海互佳仪器设备有限公司;MD SpectraMax 190 全波长酶标仪 上海道尚生物科技有限公司;DHG-9240A 电热恒温鼓风干燥箱 上海合恒仪器设备有限公司;iCAP 7200 HS Duo 赛默飞电感耦合等离子发射光谱仪 赛默飞世尔科技(中国)有限公司;S433D 塞卡姆氨基酸分析仪 上海力晶科学仪器有限公司;GT10-1 型高速台式离心机 北京时代北利离心机有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理方法 将获得的新鲜嫩竹笋样品用冰袋冷藏运输至实验室。每个品种取大小相对一致约 1000~1500 g,无损伤的竹笋 3 根,剥去外层的笋壳及不可食用部位,取竹笋中间部位,切片备用。

1.2.2 基本成分测定 水分含量参照《GB 5009.3-2016 食品中水分的测定》;蛋白质含量参照《GB

5009.5-2016 食品中蛋白质的测定》;粗脂肪含量参照《GB 5009.6-2016 食品中脂肪的测定》;粗纤维含量参照《GB/T 5009.10-2003 食品中粗纤维的测定》;灰分含量参照《GB 5009.4-2016 食品中灰分的测定》。

1.2.3 矿物质元素含量测定 矿物质元素含量参照《GB 5009.268-2016 食品中多元素的测定》方法,样品加入 65%(V/V)HNO₃ 和 30%(V/V)H₂O₂,置于高压消解罐中密封后放入微波消解系统中进行消解,消解至混合物澄清后,使用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)检测 11 种矿物质元素含量。

1.2.4 氨基酸含量测定 参照 GB/T 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》。以盐酸-乙醇溶液提取样品中游离氨基酸,并以氨基酸分析仪检测所提取样品中游离氨基酸含量。分别将 5 个样品磨碎,准确称量约 0.5 g,加入 50% 乙醇溶液(含 0.01 mol/L 的 HCl) 5 mL,低温水浴超声 30 min, 12000 r/min 离心 5 min,取上清;取 1 mL 冻干,以 1 mL 氨基酸样品稀释液复溶,过 0.22 μm 滤膜,进氨基酸测定仪检测。

1.2.5 氨基酸营养评价

1.2.5.1 氨基酸比值系数 氨基酸比值系数法参照卢冉等^[11]的方法,计算 RAA、RC 和 SRC。

$$RAA = \frac{\text{待测蛋白中某一必需氨基酸含量(mg/g)}}{\text{参考蛋白模式中相应氨基酸含量(mg/g)}} \quad \text{式 (1)}$$

$$RC = \frac{\text{氨基酸RAA}}{\text{RAA平均值}} \quad \text{式 (2)}$$

$$SRC = 100 - 100 \times CV \quad \text{式 (3)}$$

式中:CV=标准差/均数。标准模式均采用 1973 年联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(FAO/WHO)提出的人体必需氨基酸模式。

1.2.5.2 必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI) 参照 Oser 等^[12]的方法计算 EAAI。

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{\text{Leu}^a}{\text{Leu}^b} \times \frac{\text{Val}^a}{\text{Val}^b} \times \cdots \times \frac{\text{Lys}^a}{\text{Lys}^b} \times \frac{\text{His}^a}{\text{His}^b}} \times 100 \quad \text{式 (4)}$$

式中:n 为必需氨基酸的个数,a 为食物蛋白,b 为参考蛋白。

1.3 数据处理

所有实验均重复 3 次,所得数据采用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 19.0 软件进行数据统计分析。采用 Origin Pro 2021 进行相关性分析、PCA 及聚类分析,筛选特征值大于 1.00 的因子作为主成分,得到原始数据相关矩阵的特征值、方差贡献率、累计方差贡献率等,根据所得信息对不同品种竹笋进行综合评价,并得到相关分析图。

2 结果与分析

2.1 基本成分分析

如表 1 所示,5 种竹笋的水分含量均在 91% 以上,它们之间差异不显著($P>0.05$)。蛋白质含量为 1.93~3.73 g/100 g,与张佳佳等^[8]的研究结果 2.10%~3.47% 类似。与中国食物营养成分表^[13]中,不同种类竹笋蛋白质含量 2.2~4.1 g/100 g 接近。不同品种间蛋白质含量差异显著($P<0.05$),其中,方竹笋的蛋白质含量显著高于其他四个品种($P<0.05$),几乎高于马蹄笋一倍,因此方竹笋是一种较好的植物蛋白来源。Karanja 等^[14]报道,竹笋中的蛋白质含量与竹笋的品种及成熟度密切相关。方竹笋与大头笋的脂肪含量差异不显著($P>0.05$),马蹄笋、麻竹笋、甜笋之间差异显著($P<0.05$)。5 种竹笋的脂肪含量为 0.13~0.19 g/100 g,与杨道平等^[15]的结果 0.19~0.20 g/100 g 相近。马蹄笋的粗纤维含量显著高于其他 4 个品种($P<0.05$),接近 1.60 g/100 g,研究表明,粗纤维被称为不被消化吸收的碳水化合物,具有防止便秘、调节肠道菌群、降血压、降血糖等功能^[16-17],因此,马蹄笋适合作为一种膳食纤维补充剂。灰分含量各个品种之间差异显著($P<0.05$),在 0.58~0.97 g/100 g 之间,与张佳佳等^[8]的结果 0.65~0.87 g/100 g 接近。

2.2 矿物质元素分析

由表 2 可知,供试竹笋 11 种矿物质元素中,常量元素 Mg、Ca、K、Na 含量较高,与其它元素含量不在同一数量级,尤其是 K 的含量,为 2775.85~4031.52 mg/kg。方竹笋中 K、Ca 含量最高,Wang 等^[18]研究表明,K 被认为是竹笋中最为丰富的常量元素。竹笋因富含钾元素,可以帮助维持正常的血压和稳定心跳^[19],被称作为一种可以保护心脏的蔬菜。不同品种竹笋的 Mg、Ca、K 含量差异显著($P<0.05$),这可能与它们的品种及所处的地理位置的海拔有关,

表 1 竹笋基本成分分析

Table 1 Analysis of basic components of bamboo shoots

指标	方竹笋	马蹄笋	大头笋	麻竹笋	甜竹笋
水分(%)	91.43±0.14 ^a	91.29±0.39 ^a	91.36±0.11 ^a	91.40±0.43 ^a	91.99±0.21 ^a
粗蛋白(g/100 g)	3.73±0.01 ^a	1.93±0.03 ^e	3.40±0.01 ^b	2.12±0.02 ^d	2.93±0.02 ^c
粗脂肪(g/100 g)	0.18±0.01 ^a	0.17±0.02 ^b	0.19±0.01 ^a	0.13±0.01 ^d	0.14±0.02 ^c
粗纤维(g/100 g)	1.09±0.03 ^b	1.59±0.02 ^a	0.96±0.02 ^c	0.74±0.03 ^e	0.91±0.03 ^d
灰分(g/100 g)	0.97±0.01 ^a	0.66±0.02 ^c	0.64±0.01 ^d	0.58±0.01 ^e	0.77±0.01 ^b

注:同一行上标不同字母表示差异显著($P<0.05$),同一行上标字母相同表示差异不显著($P>0.05$),表2、表3同;以鲜重计。

表 2 竹笋矿物质元素分析 (mg/kg)
Table 2 Mineral elements analysis of bamboo shoots (mg/kg)

种类	品种	方竹笋	马蹄笋	大头笋	麻竹笋	甜竹笋
常量元素	Mg	128.13±2.91 ^c	107.31±2.54 ^d	133.30±1.92 ^b	92.11±1.23 ^e	153.16±7.42 ^a
	Ca	276.82±1.15 ^a	64.43±3.67 ^e	176.64±1.66 ^b	122.32±6.75 ^d	146.54±3.88 ^e
	K	4031.52±9.59 ^a	2927.81±8.53 ^c	2912.60±6.74 ^d	2775.85±7.28 ^e	3466.04±10.89 ^b
	Na	97.63±7.24 ^a	25.17±2.95 ^b	10.73±0.78 ^b	15.94±2.53 ^b	21.76±3.02 ^b
微量元素	Fe	4.74±0.07 ^b	4.29±0.02 ^c	4.08±0.08 ^d	2.94±0.06 ^e	5.57±0.03 ^a
	Cu	1.17±0.01 ^a	0.19±0.03 ^e	0.25±0.01 ^c	0.24±0.01 ^d	0.62±0.01 ^b
	Mn	12.13±0.02 ^b	2.93±0.01 ^d	2.83±0.04 ^e	6.68±0.8 ^e	17.46±0.08 ^a
	Se	/	/	0.02±0.01 ^a	/	0.02±0.00 ^a
有害元素	Cr	0.32±0.01 ^a	0.25±0.01 ^c	0.23±0.01 ^d	0.22±0.03 ^e	0.29±0.02 ^b
	Pb	0.02±0.00 ^b	/	/	0.03±0.01 ^a	/
	Hg	/	/	/	/	/

注: “/”表示未检出,以鲜重计。

这 5 个品种竹笋来自 5 个不同海拔的地区,海拔的变化会引起光照、湿度、温度等环境条件的变化,对作物品质有重要影响^[7]。研究表明,竹笋的矿物质含量随着竹笋的老化逐渐降低^[20],并且竹笋顶部的矿物质含量显著高于底部^[15]。本研究的样品中,方竹笋的 Na 含量是所有样品中最高的,为 97.63 mg/kg,其余样品 Na 含量 10.73~25.17 mg/kg,王波等^[21]报道斑苦竹笋中钠的含量为 163.05~297.60 mg/kg,远远高于本研究结果,张佳佳等^[8]研究表明,毛竹春笋和雷竹笋的 Na 含量均为 4.6 mg/kg,分析可能与不同海拔地区土壤矿物质含量存在差异有关^[22]。

由表 2 可知,方竹笋中 Cu 含量,甜竹笋中 Mg、Fe、Mn 含量位于 5 个品种竹笋中最高,分别为 1.17、153.16、5.57、17.46 mg/kg,显著($P<0.05$)高于其他几个品种。甜竹笋可作为补充 Fe 元素的来源。大头笋和甜笋含有少量的 Se,它在人体中易被蛋白质吸收,形成硒蛋白,硒蛋白是重要的抗氧化剂酶,它的抗氧化特性有助于防止自由基对细胞的损害^[19],大头笋和甜笋可作为富硒蔬菜。有害重金属元素 Cr 在 5 种竹笋中均检测到,但按照食品安全标准,镉元素在蔬菜类食品中含量不能超过 0.5 mg/kg^[8],远低于国家标准,说明供试竹笋虽然含有少量镉元素,但对其品质安全并无影响。根据 GB 2762-2017《食品中污染物限量》中 Pb 的限量不超过 0.1 mg/kg, Hg 不超过 0.01 mg/kg,供试竹笋的 Pb、Hg 含量均在允许范围内,说明竹笋是安全的。综合矿物质元素分析,方竹笋的 K、Ca 元素含量较高,甜竹笋 Mg、Fe、Mn 元素含量较高,其他三种竹笋矿物质元素种类及含量也较为丰富,因此,可以说,竹笋是既是常量元素也是微量元素的较好来源,可为人们食用时提供参考。

2.3 氨基酸含量及组成分析

氨基酸是构成蛋白质的基本单位,通过代谢途径,氨基酸在人体内可以发挥重要作用,尤其是人体不能合成的 8 种必需氨基酸^[9]。由表 3 可知,5 个竹笋品种中,所有竹笋都含有 18 种氨基酸,其中必需

氨基酸 8 种。氨基酸总量为 2510.01~3774.13 mg/100 g,麻竹笋的氨基酸总量最高,其次是大头笋、马蹄笋、甜笋、方竹笋。必需氨基酸总量为 678.25~1106.28 mg/100 g,其中方竹笋的必需氨基酸总量最高,其次是麻竹笋、大头笋、马蹄笋、甜笋。所有竹笋的 EAA/TAA 值为 0.26~0.44, EAA/NEAA 值为 0.36~0.79。其中方竹笋的 EAA/TAA 值最高,为 0.44,超过了常见蔬菜中的生菜(0.36)、茼蒿(0.36)、茼蒿(0.35)、油菜(0.34)、蒜苗(0.32)、大白菜(0.26)等^[23]。方竹笋的 EAA/NEAA 值为 0.79,根据 FAO/WHO 的模式标准,若氨基酸组成中 EAA/TAA 在 0.40 左右, EAA/NEAA 比值为 0.60 左右,被认为氨基酸质量较好^[24],方竹笋接近这一比值,因此,方竹笋可被认为是理想的植物蛋白来源笋用品种。综合必需氨基酸含量及 EAA/TAA,可以看出方竹笋的营养价值相对其他几种竹笋要好。

2.4 氨基酸评价

RAA、RC、SRC 和 EAAI 分析是将竹笋中的氨基酸组成与 1973 年联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(FAO/WHO)提出的人体必需氨基酸模式进行比对,从而评价竹笋的营养价值^[25]。RAA 值越大,表明其营养价值越高^[26]。由表 4 可知,方竹笋除了缬氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸的 RAA 大于 1 外,其余的必需氨基酸 RAA 均小于 1,相反马蹄笋除了含硫氨基酸和色氨酸外,其余的氨基酸的 RAA 均大于 1,麻竹笋除了色氨酸外,其余氨基酸的 RAA 均大于 1,这与表 3 中分析得出的方竹笋必需氨基酸含量及 EAA/TAA 较高的结论有误差,据颜孙安等^[27]报道,RAA 值很大程度上受参考蛋白模式的影响,不同参考蛋白模式得到的评价差距较大,RAA 以全蛋模式作为理想参考蛋白模式更合适。通过对竹笋的 RAA 分析,由表 4 可知,除麻竹笋的第一限制性氨基酸为色氨酸外,其余的竹笋品种中第一限制性氨基酸均为含硫氨基酸蛋氨酸和胱氨酸。

RC 和 SRC 基于氨基酸平衡理论,用于评价各种必需氨基酸偏离氨基酸模式的离散程度^[28]。RC

表 3 竹笋的氨基酸组成及含量

Table 3 Amino acid composition and content of bamboo shoot

氨基酸	方竹笋(mg/100 g)	马蹄笋(mg/100 g)	大头笋(mg/100 g)	麻竹笋(mg/100 g)	甜笋(mg/100 g)	平均值	标准差	变异系数
天冬氨酸	95.84±1.17 ^c	94.66±0.99 ^c	200.57±2.38 ^a	160.11±2.61 ^b	87.23±1.36 ^d	127.68	50.26	2.54
丝氨酸	278.33±4.92 ^d	308.54±3.36 ^c	323.41±2.39 ^b	385.51±3.86 ^a	254.52±3.51 ^e	310.06	49.91	6.21
谷氨酸	170.52±3.08 ^e	376.68±3.32 ^d	467.53±3.82 ^b	581.76±3.35 ^a	446.40±2.95 ^c	408.58	152.14	2.69
甘氨酸	59.50±1.86 ^c	89.35±2.63 ^b	59.43±2.00 ^c	86.42±3.09 ^b	100.07±2.37 ^a	78.95	18.50	4.27
丙氨酸	232.04±3.37 ^e	528.46±2.86 ^b	275.03±37.55 ^d	777.11±4.50 ^a	390.34±3.39 ^c	440.60	220.45	2.00
胱氨酸	5.02±0.22 ^d	4.68±0.11 ^d	9.77±0.8 ^b	19.35±0.66 ^a	6.37±0.3 ^c	9.04	6.11	1.48
酪氨酸	235.08±2.97 ^a	133.23±4.13 ^b	119.32±2.10 ^c	100.40±1.69 ^d	92.05±2.31 ^e	136.01	57.67	2.36
组氨酸	88.58±2.66 ^c	66.05±3.77 ^d	152.24±3.14 ^a	83.36±1.92 ^c	113.31±2.56 ^b	100.71	33.41	3.01
精氨酸	156.57±3.21 ^c	200.18±54.16 ^c	365.66±5.97 ^a	398.97±3.45 ^a	303.04±3.20 ^b	284.89	104.29	2.73
脯氨酸	82.25±2.25 ^d	107.02±3.63 ^b	64.15±2.78 ^c	128.94±2.47 ^a	91.34±1.47 ^c	94.74	24.61	3.85
*苏氨酸	106.29±1.27 ^d	135.5±2.20 ^b	132.77±2.65 ^b	167.33±2.62 ^a	121.31±2.22 ^c	132.64	22.55	5.88
*缬氨酸	214.97±3.21 ^a	128.81±1.95 ^c	169.76±1.20 ^b	172.3±2.89 ^b	119.79±3.59 ^d	161.12	38.25	4.21
*蛋氨酸	24.18±0.18 ^d	46.90±1.06 ^b	42.96±0.77 ^c	60.92±1.14 ^a	16.61±0.70 ^e	38.32	17.87	2.14
*异亮氨酸	167.77±1.85 ^a	101.87±1.85 ^b	98.61±1.40 ^b	87.92±1.80 ^c	77.66±1.22 ^d	106.77	35.40	3.02
*亮氨酸	224.54±5.01 ^a	216.31±3.99 ^b	187.67±4.01 ^d	200.17±3.49 ^c	116.38±2.56 ^e	189.01	43.04	4.39
*苯丙氨酸	163.27±1.68 ^a	116.66±3.12 ^b	117.04±2.05 ^b	101.48±2.03 ^c	78.28±0.89 ^d	115.35	31.09	3.71
*色氨酸	26.75±1.90 ^a	16.34±1.32 ^b	18.31±0.62 ^b	12.49±0.47 ^c	28.52±1.04 ^a	20.48	6.89	2.97
*赖氨酸	178.51±1.78 ^d	218.71±2.76 ^c	268.74±3.59 ^a	249.60±1.95 ^b	119.70±2.11 ^e	207.05	59.57	3.48
EAA	1106.28	981.1	1035.85	1052.21	678.25	970.74	169.49	5.73
TAA	2510.01	2889.93	3072.95	3774.13	2562.95	2961.99	510.05	5.81
NEAA	1403.73	1908.83	2037.1	2721.92	1884.7	1991.26	340.56	0.08
EAA/NEAA	0.79	0.51	0.51	0.39	0.36	0.49	0.50	71.74
EAA/TAA	0.44	0.34	0.34	0.28	0.26	0.33	0.07	4.78

注: *,必需氨基酸;EAA表示必需氨基酸;TAA表示总氨基酸,NEAA表示非必需氨基酸;以干重计。

表 4 竹笋的 RAA、RC、EAAI、SRC 分析

Table 4 Analysis of RAA, RC, EAAI and SRC in bamboo shoots

氨基酸	参数	方竹笋	马蹄笋	大头笋	麻竹笋	甜笋
苏氨酸	RAA	0.71	1.76	0.98	1.97	1.04
	RC	0.76	1.19	1.11	1.38	1.39
缬氨酸	RAA	1.15	1.33	1	1.63	0.82
	RC	1.24	0.9	1.13	1.14	1.1
蛋氨酸+胱氨酸	RAA	0.22	0.76	0.44	1.08	0.22
	RC	0.24	0.51	0.5	0.76	0.29
异亮氨酸	RAA	1.12	1.32	0.73	1.04	0.66
	RC	1.21	0.89	0.82	0.73	0.88
亮氨酸	RAA	0.86	1.6	0.79	1.35	0.57
	RC	0.93	1.08	0.89	0.95	0.76
苯丙氨酸+酪氨酸	RAA	1.78	2.16	1.16	1.59	0.97
	RC	1.92	1.46	1.31	1.12	1.3
色氨酸	RAA	0.72	0.85	0.54	0.59	0.97
	RC	0.78	0.57	0.61	0.41	1.3
赖氨酸	RAA	0.87	2.06	1.44	2.14	0.74
	RC	0.94	1.39	1.63	1.5	0.99
	SRC	51.59	65.09	62.8	63.95	63.78
	EAAI	81.4	139.3	86.3	133	68.6

大于 1,则样品中的必需氨基酸过剩,否则不足。通过 RC 分析,发现方竹笋有 5 种氨基酸的 RC 值均小于 1,其他品种竹笋只有 4 种氨基酸的 RC 值均小于 1,说明方竹笋的必需氨基酸总量虽然较其他品种竹笋高,但是它的组成不及其他四个品种竹笋均衡。SRC 越接近 100,蛋白质营养价值越高^[29]。5 个品种竹笋的 SRC 值介于 51.59~65.09,平均值为 61.44,高于 31 个不同品种的新疆扁桃种仁的平均 SRC 值

60.94^[30],有研究表明 SRC 值超过薏苡(48.01)^[31],可视为营养价值较高的植物蛋白,5 个品种竹笋的 SRC 值均超过了 48.01,因此,这 5 个品种的竹笋均可被认为是营养价值较高的植物蛋白。EAAI 是所有必需氨基酸相对于对应的标准蛋白质中必需氨基酸的比率,是比较氨基酸平衡优劣的指标^[11]。EAAI 越大,氨基酸组成越均衡,蛋白质的质量和效率越高。马蹄笋和麻竹笋的 EAAI 值均大于 130,因此,说明这两种竹笋的氨基酸组成更合理。综合 RAA、RC、SRC 和 EAAI 分析,方竹笋的氨基酸组成不及其他四个品种竹笋均衡,马蹄笋和麻竹笋的必需氨基酸组成较其他几个品种更加合理。

2.5 主成分分析

主成分分析是一种经典的特征提取和降维技术,可以用来简化和优化大量的数据,从而能够快速实现对数据的图形或关系的可视化识别^[32]。一般来说,每个主成分都在一定程度上反映了一些原始变量的信息。对竹笋的氨基酸含量进行主成分分析,如表 5 所示,前 3 个主成分对应特征值均大于 1,累计方差贡献率为 94.51%,说明前 3 个主成分综合了 5 种竹笋氨基酸的绝大部分信息,故可选取前 3 个主成分作为 3 个相互独立的综合性变量代替 18 种氨基酸数据对不同种竹笋的蛋白质进行全面分析。

由图 1 可知,PC1 和 PC2 的贡献率分别为 48.54% 和 28.4%,表明模型据有较好的代表性。采用 PCA 分析法,对氨基酸含量不同的竹笋进行主成分得分

表 5 主成分分析总方差解释

Table 5 Contribution rates of principal components to total variance

PC	特征值	方差贡献率(%)	累计贡献率(%)
1	8.74	48.54	48.54
2	5.11	28.40	76.94
3	3.16	17.57	94.51

析,对数据进行可视化处理,各样品分散情况较好,无重叠区域,说明基于氨基酸含量的差异,PCA 可将五个品种竹笋进行有效区分。通过对 5 个品种竹笋进行聚类分析,发现马蹄笋在第四象限,大头笋在第一象限,麻竹笋虽然也在第一象限,但是它与大头笋和马蹄笋的距离较远。因此,可将大头笋和马蹄笋聚为一类,麻竹笋单独聚为一类。方竹笋在第二象限,甜竹笋分布在第三象限,与其他三个样品相距较远,各单独聚为一类。5 个竹笋品种可以分为 4 类。这也可以说明,大头笋和马蹄笋的氨基酸组成相似,方竹笋、麻竹笋、甜笋的氨基酸组成各具特色。

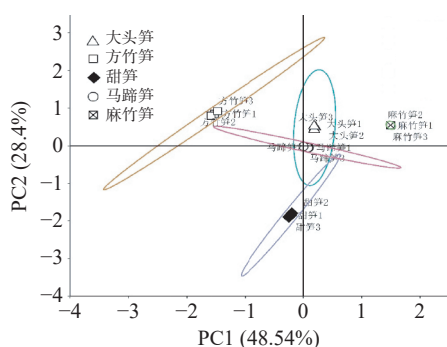


图 1 主成分得分图

Fig.1 Scores of principal components

3 结论

以 5 个不同品种的竹笋为试验原料,测定竹笋的水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分、矿物质、氨基酸含量,采用氨基酸比值、氨基酸比值系数、氨基酸比值系数分以及必需氨基酸指数营养学方法进行营养价值评价。5 种竹笋的水分含量均在 91% 以上,方竹笋的蛋白质、K、Ca 含量,优于其他四个品种的蛋白质、K、Ca 含量,且 EAA/TAA 值、EAA/NEAA 值均较高,方竹笋是一种高蛋白,高钾高钙食品。马蹄笋的粗纤维含量显著高于其他 4 个品种($P<0.05$),马蹄笋可被看作是高富含膳食纤维的食物。甜竹笋的 Fe、Mn 含量显著($P<0.05$)高于其他几个品种,甜竹笋可作为补充 Fe 元素的来源。大头笋和甜笋含有少量的 Se,可作为富硒蔬菜。麻竹笋的氨基酸总量最高,方竹笋的必需氨基酸总量最高。综合必需氨基酸总量及 EAA/TAA 值,可以看出方竹笋的营养价值相对其他几种竹笋要好,但是结合 RAA、RC、SRC 和 EAAI 分析,方竹笋的氨基酸组成不及其他四个品种竹笋均衡,马蹄笋和麻竹笋的必需氨基酸组成较其他几个品种更加合理。通过对氨基酸含量进

行聚类,5 个竹笋品种可以分为 4 类。这也可以说明,大头笋和马蹄笋的氨基酸组成相似,方竹笋、麻竹笋、甜笋的氨基酸组成各具特色。

参考文献

- [1] NIRMALA C, BISHT M S, LAISHRAM M. Bioactive compounds in bamboo shoots: Health benefits and prospects for developing functional foods[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2014, 49(6): 1425-1431.
- [2] SINGHAL P, MOHAN L, SANTOSH B, et al. Bamboo shoots: A novel source of nutrition and medicine[J]. *Food Science and Nutrition*, 2013, 5(53): 517-534.
- [3] 白瑞华,丁兴萃,王树东.竹笋生长期营养及安全品质的分析[J]. *食品科学*, 2011, 32(5): 281-283. [BAI R H, DING X C, WANG S D. Analysis on nutrition and safety quality of bamboo shoots during growing period[J]. *Food Science*, 2011, 32(5): 281-283.]
- [4] 李宣林,邢亚阁,税玉儒,等.贮藏温度对筴竹笋采后品质的影响[J]. *西华大学学报(自然科学版)*, 2021, 40(6): 89-96. [LI X L, XING Y G, SHUI Y R, et al. Effects of storage temperature on postharvest quality of Qionghao bamboo[J]. *Journal of Xihua University (Natural Science edition)*, 2021, 40(6): 89-96.]
- [5] 吴丽萍,孙虹,朱婷婷,等.发酵毛竹笋制备水溶性膳食纤维工艺优化及功能特性研究[J]. *中国调味品*, 2021, 46(12): 42-48. [WU L P, SUN H, ZHU T T, et al. Study on the optimization and functional characteristics of preparation of water-soluble dietary fiber from fermented bamboo shoots[J]. *China Condiment*, 2021, 46(12): 42-48.]
- [6] 代昌雨,吕朝燕,马秀情,等.不同干燥方式对方竹笋品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(22): 175-179. [DAI C Y, LÜ C Y, MA X Q, et al. Effects of different drying methods on bamboo shoot quality[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2021, 49(22): 175-179.]
- [7] 徐森,谷瑞,陈双林,等.毛竹春笋营养、食味和基于重金属的安全品质的海拔效应[J]. *江西农业大学学报*, 2021, 43(1): 144-152. [XU S, GU R, CHEN S L, et al. Effects of altitude on nutrition, taste and safety quality based on heavy metals in bamboo shoots of *Phyllostachys pubescens*[J]. *Journal of Jiangxi Agricultural University*, 2021, 43(1): 144-152.]
- [8] 张佳佳,白瑞华,丁兴萃.两种主要食用竹笋的营养及安全品质比较[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(8): 18-23. [ZHANG J J, BAI R H, DING X C. Comparison of nutrition and safety quality of two main edible bamboo shoots[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(8): 18-23.]
- [9] 任春春,贾玉龙,姜义龙,等.贵州金佛山方竹笋营养及功能成分剖析[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(10): 214-221. [REN C C, JIA Y L, LOU Y L, et al. Analysis of nutrition and functional components of bamboo shoots from Jinfo Mountain, Guizhou[J]. *Food and fermentation industries*, 2021, 47(10): 214-221.]
- [10] 陈松河,马丽娟,丁振华,等.5 种牡竹属笋用竹竹笋营养成分之比较[J]. *竹子学报*, 2018, 37(4): 4-8. [CHEN S H, MA L J, DING Z H, et al. Comparison of nutrient composition of bamboo shoots of five species of *Phyllostachys heterophylla*[J]. *Journal of Bambusa Sinica*, 2018, 37(4): 4-8.]

- [11] 卢冉, 王炳智, 田英姿. 不同品种杏仁氨基酸组成分析及综合评价[J]. *食品科学*, 2021, 42(24): 229–235. [LU R, WANG B Z, TIAN Y Z. Analysis and comprehensive evaluation of amino acid composition of almond in different varieties[J]. *Food Science*, 2021, 42(24): 229–235.]
- [12] OSER B L. An integrated essential amino acid index for predicting the biological value of proteins[J]. *Protein and Amino Acid Nutrition*, 1959(10): 281–295.
- [13] 杨月欣. 中国食物成分表[M]. 北京医科大学出版社, 2005. [YANG Y X. Chinese food composition list[M]. Beijing Medical University Press, 2005.]
- [14] KARANJA P N, KENJI G M, NJOROGI S M, et al. Variation of nutrients and functional properties within young shoots of a bamboo species growing at Mt. Elgon region in Western Kenya[J]. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2015, 3(10): 675–680.
- [15] 杨道平, 梁大洪, 朱满, 等. 贵州3个竹种竹笋营养成分的分析[J]. *山地农业生物学报*, 2021, 40(1): 56–60. [YANG D P, LIANG D H, ZHU X, et al. Analysis on nutrient components of bamboo shoots of three bamboo species in Guizhou[J]. *Journal of Mountain Agricultural Biology*, 2021, 40(1): 56–60.]
- [16] BIESALSKI H K, PD A, DRAGSTED L O, et al. Bioactive compounds: Definition and assessment of activity[J]. *Nutrition*, 2009, 25(11-12): 1202–1205.
- [17] WU W, HU J, GAO H, et al. The potential cholesterol-lowering and prebiotic effects of bamboo shoot dietary fibers and their structural characteristics[J]. *Food Chemistry*, 2020, 10(332): 127372–127383.
- [18] WANG Y, CHEN J, WANG D, et al. A systematic review on the composition, storage, processing of bamboo shoots: Focusing the nutritional and functional benefits[J]. *Journal of Functional Foods*, 2020, 71: 104015–104026.
- [19] CHONGTHAM N, BISHT M S, HAORONGBAM S. Nutritional properties of bamboo shoots potential and prospects for utilization as a health food[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2011, 10(3): 153–168.
- [20] YANG Y, WANG K, PEI S, et al. Bamboo diversity and traditional uses in Yunnan, China[J]. *Mountain Research and Development*, 2004, 24(2): 157–165.
- [21] 王波, 汪奎宏, 刘鹏, 等. 斑苦竹笋的营养成分分析及其评价[J]. *浙江林业科学*, 2011, 31(3): 28–31. [WANG B, WANG K H, LIU P, et al. Analysis and evaluation of nutrient components in bamboo shoots of *Sophora officinalis*[J]. *Zhejiang Forestry Sciences*, 2011, 31(3): 28–31.]
- [22] LIN Z, CHEN J, ZHANG J, et al. Potential for value-added utilization of bamboo shoot processing waste—recommendations for a biorefinery approach[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2018, 11(5): 901–912.
- [23] 欧行奇, 李新华, 朱彬. 甘薯茎尖与常见叶菜类蔬菜氨基酸含量及组成的比较分析[J]. *氨基酸和生物资源*, 2007, 29(3): 70–74. [OU X Q, LI X H, ZHU B. Comparative analysis of amino acid content and composition between stem tip of sweet potato and common leaf vegetables[J]. *Amino Acids and Biological Resources*, 2007, 29(3): 70–74.]
- [24] 焦扬, 李兴艳, 李彩霞, 等. 基于马铃薯全粉的代餐粉冲溶特性和蛋白质营养评价[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(19): 34–40. [JIAO Y, LI X Y, LI C X, et al. Evaluation of soluble characteristics and protein nutrition of potato meal replacement powder based on potato whole meal[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(19): 34–40.]
- [25] 朱照华. 酸笋的营养成分检测及其主要风味物质的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2014. [ZHU Z H. Study on nutrient composition detection and main flavor substances of sour bamboo shoots[D]. Nanning: Guangxi University, 2014.]
- [26] 鲜双, 姜林君, 李艳兰, 等. 不同方式发酵的哈密瓜幼果泡菜理化特性和氨基酸含量分析[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(5): 224–230. [XIAO S, JIANG L J, LI Y L, et al. Analysis of physico-chemical characteristics and amino acid content of young hami melon pickles fermented in different ways[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(5): 224–230.]
- [27] 颜孙安, 林香信, 钱爱萍, 等. 化学分析法的理想参考蛋白模式及其化学生物价研究[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(23): 101–107. [YAN S A, LIN X X, QIAN A P, et al. The ideal reference protein model of chemical analysis and the study of student price[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(23): 101–107.]
- [28] 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养价值评价—氨基酸比值系数法[J]. *营养学报*, 1988, 10(2): 187–190. [ZHU S T, WU K. Evaluation of protein nutritional value—Amino acid ratio coefficient method[J]. *Journal of Nutrition*, 1988, 10(2): 187–190.]
- [29] 李瑞, 陆斌, 刘云, 等. 云南17种核桃仁氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. *食品与机械*, 2019, 35(1): 80–85. [LI R, LU B, LIU Y, et al. Amino acid composition analysis and nutritional value evaluation of 17 walnut species from Yunnan[J]. *Food and Machinery*, 2019, 35(1): 80–85.]
- [30] 李鹏, 殷继英, 田嘉, 等. 扁桃种仁氨基酸组分及加工品质分析[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(12): 270–282. [LI P, YIN J Y, TIAN J, et al. Analysis of amino acid components and processing quality of almond kernel[J]. *Chinese Journal of Food Science*, 2018, 18(12): 270–282.]
- [31] 乐巍, 吴德康. 江苏引种栽培不同居群薏苡仁氨基酸分析[J]. *中药材*, 2010, 33(2): 189–191. [LEI W, WU D K. Amino acid analysis of *Coix* seed introduced and cultivated in Jiangsu Province[J]. *Chinese Herbal Medicine*, 2010, 33(2): 189–191.]
- [32] JI X. Investigation of the volatile components in commercial sufu (Chinese fermented soybean curd) based on HS-SPME/GC-MS combined with multivariate statistical analysis[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, 44(1): 14309–14317.