

# 基于营养与智能感官综合比较不同烹饪方式下芜根的品质差异

蔡雪梅<sup>1</sup>, 乐洋<sup>1</sup>, 刘欣<sup>2</sup>, 张婧<sup>1</sup>, 彭毅秦<sup>1</sup>, 易宇文<sup>1</sup>, 乔明锋<sup>1,3\*</sup>

(1. 四川旅游学院烹饪科学重点实验室, 四川成都 610100) (2. 潍坊市检验检测中心, 山东潍坊 261000)  
(3. 中国农业科学院都市农业研究所, 四川成都 610213)

**摘要:** 为筛选出芜根的适宜烹饪方式, 本研究利用氨基酸自动分析仪、电子舌和食品热量检测仪 (Calory Answer) 比较了 5 种烹饪方式 (水煮、气蒸、微波、高压和油炒) 下芜根游离氨基酸、整体滋味和营养成分的差异, 同时对芜根的抗氧化活性进行了分析。结果表明: 新鲜芜根中总游离氨基酸含量为 261.06 mg/100 g, 以甜味氨基酸为主, 气蒸、微波和油炒后芜根中总游离氨基酸的含量分别提高 90.50%、59.74% 和 83.92%, 其中甜味氨基酸比例增加; 水煮能够增加酸味和鲜味氨基酸的比例, 减少苦味氨基酸比例。油炒、微波和高压能显著提高芜根的能量和碳水化合物含量, 气蒸和油炒能显著提高其多酚含量和抗氧化活性 ( $P < 0.05$ )。电子舌能有效区分不同方式烹饪的芜根, 水煮和气蒸的芜根滋味较为接近, 微波和高压的相似, 油炒的较其他相比滋味差异较大。主成分综合评价分析表明: 芜根最适宜的烹饪方式是气蒸, 其次是油炒。

**关键词:** 游离氨基酸; 电子舌; 芜根; 食品热量成分检测仪

文章编号: 1673-9078(2024)03-239-246

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.3.0412

## A Comprehensive Comparison of the Quality Differences of *Brassica rapa* L. under Different Cooking Methods Based on Nutrition and Intelligent Sensing

CAI Xuemei<sup>1</sup>, YUE Yang<sup>1</sup>, LIU Xin<sup>2</sup>, ZHANG Jing<sup>1</sup>, PENG Yiqin<sup>1</sup>, YI Yuwen<sup>1</sup>, QIAO Mingfeng<sup>1,3\*</sup>

(1. Culinary Science Key Laboratory of Sichuan Province, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China)  
(2. Weifang Inspection and Testing Centre, Weifang 261000, China) (3. Institute of Urban Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610213, China)

**Abstract:** In order to select the suitable cooking methods for *Brassica rapa* L. (BrL), this study analyzed the effects of five cooking methods (boiling, steaming, microwaving, pressure cooking, and frying) on the nutrient and free amino acids (FAA) contents, antioxidant activities, and flavor characteristics of BrL using a food calorimeter (Calory Answer), an amino acid autoanalyzer, and an E-tongue. The results showed that the total FAA content of fresh BrL is 261.06 mg/100 g,

引文格式:

蔡雪梅, 乐洋, 刘欣, 等. 基于营养与智能感官综合比较不同烹饪方式下芜根的品质差异[J]. 现代食品科技, 2024, 40(3): 239-246.

CAI Xuemei, YUE Yang, LIU Xin, et al. A comprehensive comparison of the quality differences of *Brassica rapa* L. under different cooking methods based on nutrition and intelligent sensing [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(3): 239-246.

收稿日期: 2023-04-06

基金项目: 四川旅游学院创新团队滚动专项 (20SCTUTG01; 22SCTUTG01); 川菜发展研究中心开放基金项目 (CC19Z11); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (S2020002) 资助

作者简介: 蔡雪梅 (1994-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 食品加工, E-mail: 309203539@qq.com

通讯作者: 乔明锋 (1985-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 烹饪科学与营养, E-mail: 84564650@qq.com

with sweet amino acids dominating. The total FAA contents of BrL increased by 90.50%, 59.74%, and 83.92% by steaming, microwaving, and frying, respectively. The proportion of bitter amino acids also increased. Boiling increased the proportions of sour and umami amino acids and reduced the proportion of bitter amino acids. Frying, microwaving, and pressure cooking significantly increased the caloric value and carbohydrate content of BrL, whereas steaming and frying significantly increased the polyphenol content and antioxidant activity of BrL ( $P < 0.05$ ). E-tongue can be used to effectively evaluate the flavor differences of BrL samples treated with different cooking methods. The flavor of boiled and steamed BrL is similar. The flavor of microwaved and pressure cooked BrL is also similar. The taste of fried BrL greatly varied from that of the other BrL samples. Comprehensive evaluation based on principal component analysis (PCA) suggested that the most suitable cooking method for BrL is steaming, followed by frying.

**Key words:** free amino acids; E-tongue; *Brassica rapa* L.; food calorimeter

芜根, 又名芜菁, 藏语里称为“纽玛”, 外形似圆萝卜, 十字花科芸薹属 (*Brassica rapa* L, BrL) 作物, 广泛分布在西藏、新疆、青海等海拔 3 500 m 以上的高原地区<sup>[1,2]</sup>。芜根富含葡萄糖苷、类黄酮<sup>[3]</sup>、维生素、多糖<sup>[1,4]</sup>、皂苷<sup>[5,6]</sup>、氨基酸<sup>[7]</sup>等生物活性成分, 具有清热解毒、滋补增氧、缓解乏力、调节肠道健康等功能<sup>[4-6,8,9]</sup>, 是高海拔地区特有的药食两用资源<sup>[10]</sup>。随着高原地区旅游业的发展, 能够起到抗缺氧和缓解水土不服作用的蔬菜受到越来越多消费者的关注<sup>[11]</sup>, 这些蔬菜的烹饪加工以及深加工利用研究势在必行。目前关于芜根的研究利用主要集中在腌渍<sup>[12,13]</sup>、脆片<sup>[14]</sup>、饮料<sup>[15]</sup>、咀嚼片<sup>[16]</sup>这些工业化加工应用方面, 而关于芜根鲜食的研究报道较少。

烹饪是改善食品营养和特性的基本方法, 水煮、气蒸、微波、高压、油炒是常见的家庭烹饪方法, 它们对食材的营养、质构、生物活性等有不一样的影响<sup>[17]</sup>, 比如水煮的甘薯生物活性物质保留较好, 但其风味和甜度不如烤的红薯<sup>[18]</sup>; 相较于气蒸和水煮, 微波能更好的保持胡萝卜的质构和色泽<sup>[19]</sup>。芜根相较于萝卜, 其密实度更高, 对烹饪方法的要求也更高, 在追求色、香、味兼备的同时, 还需要关注营养元素的保留<sup>[20]</sup>。因此, 本研究采用水煮、气蒸、微波、高压、油炒 5 种烹饪方式对新鲜芜根进行烹饪, 考察不同烹饪方式对芜根整体滋味、游离氨基酸、营养组分和抗氧化活性的影响, 以此为芜根烹饪方法的选择提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

芜根, 采自四川省甘孜藏族自治州白玉县; 食用油 (金龙鱼菜籽油), 益海嘉里金龙鱼粮油食品

股份有限公司; 没食子酸、2- 联氨 - 双 -3- 乙基苯并噻唑啉 -6- 磺酸 (ABTS)、2,4,6- 三吡啶基三嗪 (TPTZ), 上海凇恩科技发展有限公司; 碳酸钠、过硫酸钾、三氯化铁, 成都金山化学试剂有限公司; 5- 磺基水杨酸、冰乙酸, 分析纯, 成都市科隆化学品有限公司; 福林酚, 上海麦克林生化科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

BT423S 型电子天平, 德国赛多利斯公司; Astree 电子舌, 法国 Alpha MOS 有限公司; S-433D 氨基酸自动分析仪, 德国赛卡姆 (SYKAM) 科学仪器有限公司; CA-HM 食品热量成分检测仪, 日本 JWP 公司; 微波炉、高压锅、电磁炉、L18-YZ05 破壁机、蒸烤一体机, 九阳股份有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 芜根的烹饪处理

芜根清洗去皮, 切分为厚度为 1 mm 左右的片状, 每 100 g 为一份, 准备 15 份, 备用。

水煮: 1 L 水煮沸后加入一份芜根, 继续煮 6 min 后捞出, 电磁炉功率为 2 100 W。

气蒸: 取一份芜根放入蒸箱中, 气蒸 6 min 后取出。

微波: 取一份芜根置于玻璃碗中, 加入 12 mL 的水, 在微波炉中 (P100) 加热 3 min。

高压: 取一份中加入 300 mL 水, 置于高压锅中, 在 112 °C、103.4 kPa 下, 待压力达到设定值后加热 2 min。

油炒: 取 10 mL 油加入预热好的平底锅中, 将一份芜根加入锅中翻炒 3 min, 电磁炉温度设为 160 °C, 出锅后用吸油纸吸干芜根表面油脂。

为防止芜根在高温下的进一步生化变化, 每次烹饪结束后, 将芜根置于冰水中冷却, 沥干后用破

壁机打碎, 备用<sup>[21]</sup>。

### 1.3.2 芫根的能量与营养分析

取 100 g 样品, 利用食品热量成分检测仪测定样品中的能量、蛋白质、脂肪、碳水化合物和水分含量。

### 1.3.3 芫根的总酚含量和抗氧化能力的测定

总酚含量参照杨津利等<sup>[22]</sup>的报道, 以没食子酸为参照物, 采用 Folin-Ciocalteus 法测定。ABTS (2,2'-Azino-Bis(3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid)) 阳离子自由基清除能力的测定参考赵文谨<sup>[1]</sup>的报道, 总抗氧化能力参照盛怀宇<sup>[13]</sup>的报道, 采用铁离子抗氧化能力 (Ferric Reducing Antioxidant Power, FRAP) 法测定, 均以维生素 E (Trolox, TE) 为标准对照。

### 1.3.4 芫根的氨基酸含量测定

样品预处理: 准确称取 5.00 g 样品, 置于 50 mL 容量瓶中, 用质量分数 4% 的碘水杨酸定容至 50 mL, 摇匀, 静置 12 h, 10 000 r/min 离心 5 min, 取上清液后调整 pH 值至 0.22 后, 用 0.22 μm 滤膜过滤, 待上机。

色谱条件: 色谱柱: LCAK07/Li (150 mm×4.6 mm) 磺酸基强酸性阳离子交换树脂分离柱; 进样量: 50 μL; 检测波长: 570 nm 和 440 nm; 反应器温度: 130 °C; 色谱柱温度: 58 °C。

### 1.3.5 电子舌分析

取 30 g 样品, 加 270 mL 蒸馏水, 利用破壁机制成匀浆, 过滤, 取 100 mL 滤液上机。电子舌分析条件: 采集 120 s, 清洗 180 s。

## 1.4 数据分析

每种烹饪工艺重复 3 次, 待样品混合后, 检测试验重复 3 次。采用 SPSS 19.0 进行 ANOVA 单因素方差分析, 同时使用 Origin 2021 软件对得到的数据进行图形绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同烹饪方式对芫根总多酚和抗氧化活性的影响

不同芫根样品的总多酚含量和抗氧化能力如图 1 所示, 新鲜芫根的总多酚含量为 0.852 mg GAE/g, 经过烹饪后, 芫根中总多酚含量存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 气蒸、微波、油炒的芫根总多酚含量显著提高, 分

别为 1.11、0.96、1.13 mg GAE/g, 水煮和高压的作用相反, 其中高压较为显著, 多酚含量降低了 40.14%。在水中, 高温高压条件的作用下, 一些多酚类化合物会被降解呈低分子物质<sup>[23]</sup>, 另外, 苹果酸辛酸酯和山柰酚、3-龙胆双糖苷等亲水性酚类化合物会大量浸出到水中<sup>[21,24]</sup>, 其损失率也会受到食材基质的影响, 西蓝花在水煮中多酚损失率就远小于青菜<sup>[23]</sup>。另外, 有研究表明大白菜经水煮后多酚含量会显著下降, 而清蒸和油炒多酚含量增加<sup>[21]</sup>, 与本研究结果一致; 淮山、黑米、土豆经微波、清蒸、水煮和热炒后, 多酚含量均降低, 但清蒸和微波对其影响相对较小<sup>[25-27]</sup>。

新鲜芫根的 ABTS 和 FRAP 抗氧化能力分别为 6.8 mg TE/g 和 8.4 mg TE/g, 经水煮、微波和高压烹饪后, 抗氧化能力降低, 其中高压处理影响最为显著, ABTS 和 FRAP 抗氧化能力分别降低 26.47% 和 42.86%; 气蒸和油炒能显著提高芫根的抗氧化能力, 这可能是由于酚类物质的聚合增强了抗氧化活性, 虽然气蒸芫根的多酚含量低于油炒的, 但其 ABTS 抗氧化能力显著高于油炒芫根 ( $P < 0.05$ ), 这与 Ferracane 等<sup>[28]</sup>报道的洋葱烹饪后抗氧化活性的变化一致。不同的抗氧化剂在不同烹饪方式下反应存在差异<sup>[21]</sup>, 有研究报道表明多种烹饪方式都会导致蔬菜的抗氧化能力下降<sup>[23,29]</sup>, 但也有研究表明通过烹饪技术可以提高一些蔬菜中的抗氧化能力<sup>[25]</sup>。

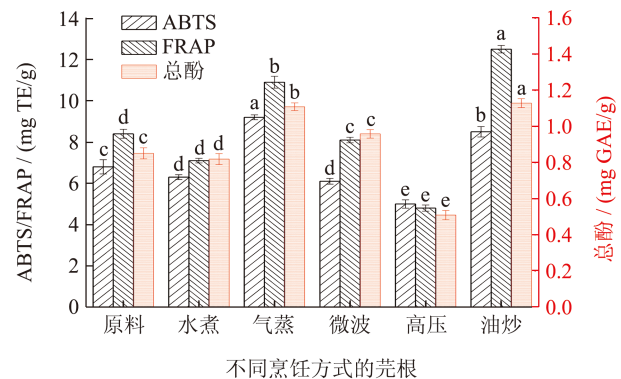


图 1 不同烹饪方式下芫根中的总酚含量和抗氧化能力

Fig.1 Content of total phenol and antioxidant activity in BrL under different cooking methods

注: 同柱形上不同小写字母表示差异具有统计学意义,  $P < 0.05$ 。

### 2.2 不同烹饪方式对芫根营养成分的影响

不同烹饪方式处理的芫根中主要营养成分如表 1 所示, 新鲜芫根的能量、蛋白质、脂肪、碳水化合物、



水分含量分别为 186.67 kJ/100 g、1.11%、0.10%、9.85% 和 88.17%。不同烹饪方式对芫根的营养影响差异显著，气蒸、微波、高压和油炒的芫根中能量和碳水化合物显著增加，水分含量显著降低 ( $P < 0.05$ )，水煮芫根的水分未流失，其营养成分含量较新鲜芫根相比没有显著变化 ( $P > 0.05$ )。高压烹饪的芫根中营养成分与微波和气蒸的均不存在显著差异

( $P > 0.05$ )，而气蒸芫根的能量 (223.05 kJ/100 g) 和碳水化合物 (11.83%) 显著低于微波芫根 ( $P < 0.05$ )。值得注意的是，油炒芫根的能量 (391.67 kJ/100 g)、蛋白质 (2.47%)、脂肪 (2.70%) 和碳水化合物 (14.90%) 都显著高于其他烹饪方式的芫根，这一方面与食用油的添加有关，另一方面也与油炒高温烹饪后芫根的水分流失程度有关<sup>[29,30]</sup>。

表 1 不同烹饪方式下芫根中的营养成分含量

Table 1 The content of nutrient in BrL under different cooking methods

芫根	能量/(kJ/100 g)	蛋白质/(g/100 g)	碳水化合物/(g/100 g)	脂肪/(g/100 g)	水/%
原料	186.67 ± 6.11 <sup>d</sup>	1.11 ± 0.16 <sup>b</sup>	9.85 ± 0.32 <sup>d</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>b</sup>	88.17 ± 0.46 <sup>a</sup>
水煮	175.67 ± 29.53 <sup>d</sup>	1.13 ± 1.05 <sup>b</sup>	9.24 ± 1.41 <sup>d</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>b</sup>	88.97 ± 1.19 <sup>a</sup>
气蒸	223.05 ± 10.54 <sup>c</sup>	1.31 ± 0.36 <sup>b</sup>	11.83 ± 0.86 <sup>c</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>b</sup>	85.82 ± 0.66 <sup>b</sup>
微波	255.69 ± 4.18 <sup>b</sup>	1.44 ± 0.12 <sup>b</sup>	13.6 ± 0.17 <sup>ab</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>b</sup>	84.07 ± 0.35 <sup>c</sup>
高压	239.67 ± 6.66 <sup>bc</sup>	1.53 ± 0.63 <sup>ab</sup>	12.67 ± 0.31 <sup>bc</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>b</sup>	84.77 ± 0.32 <sup>bc</sup>
油炒	391.67 ± 2.31 <sup>a</sup>	2.47 ± 0.21 <sup>a</sup>	14.9 ± 0.87 <sup>a</sup>	2.70 ± 0.35 <sup>a</sup>	79.97 ± 0.35 <sup>d</sup>

注：同列右肩不同小写字母表示差异具有统计学意义， $P < 0.05$ 。

表 2 不同烹饪方式下芫根中的游离氨基酸组成及含量

Table 2 The composition and content of FAA in BRL under different cooking methods (mg/100 g)

氨基酸	滋味特征	原料	水煮	气蒸	微波	高压	油炒
天冬氨酸 Asp□	酸味、鲜味	9.68 ± 0.10	12.21 ± 0.17	24.43 ± 0.26	22.30 ± 0.02	4.66 ± 0.14	9.52 ± 0.11
苏氨酸 Thr ☆	甜味	9.50 ± 0.61	2.99 ± 0.02	14.43 ± 0.48	11.74 ± 0.27	3.21 ± 0.03	12.72 ± 0.25
丝氨酸 Ser	甜味	16.47 ± 0.11	8.07 ± 0.01	18.66 ± 0.13	17.63 ± 0.43	8.67 ± 0.19	18.23 ± 0.09
谷氨酸 Glu□	酸味、鲜味	46.55 ± 0.47	50.25 ± 0.65	69.39 ± 0.58	61.04 ± 0.50	41.43 ± 0.32	75.87 ± 1.01
脯氨酸 Pro	甜味	89.01 ± 0.23	51.22 ± 0.42	186.66 ± 1.01	194.79 ± 1.21	25.40 ± 0.24	162.56 ± 1.31
甘氨酸 Gly□	甜味	1.75 ± 0.11	0.20 ± 0.01	0.85 ± 0.01	0.64 ± 0.09	0.68 ± 0.01	1.06 ± 0.02
丙氨酸 Ala	甜味	24.65 ± 0.31	4.66 ± 0.09	12.45 ± 0.27	8.99 ± 0.22	8.74 ± 0.15	23.44 ± 0.37
缬氨酸 Val ☆ △	苦味	12.79 ± 0.08	8.41 ± 0.12	17.04 ± 0.06	15.61 ± 0.14	3.71 ± 0.07	18.69 ± 0.21
异亮氨酸 Ile ☆ □ △	苦味	3.96 ± 0.01	4.16 ± 0.01	8.06 ± 0.33	6.85 ± 0.12	0.10 ± 0.01	9.14 ± 0.35
亮氨酸 Leu ☆ □ △	苦味	1.39 ± 0.09	0.30 ± 0.02	3.84 ± 0.01	3.01 ± 0.03	0.10 ± 0.01	4.43 ± 0.04
酪氨酸 Tyr□	苦味、芳香	2.05 ± 0.02	0.10 ± 0.01	6.38 ± 0.10	3.35 ± 0.09	0.20 ± 0.01	5.14 ± 0.14
苯丙氨酸 Phe ☆ □	芳香	2.62 ± 0.02	0.20 ± 0.01	3.18 ± 0.10	3.31 ± 0.05	0.20 ± 0.01	4.12 ± 0.09
组氨酸 His ☆	酸味、苦味	4.00 ± 0.09	2.52 ± 0.11	6.43 ± 0.17	4.72 ± 0.04	2.49 ± 0.22	6.98 ± 0.14
鸟氨酸 Orn		3.14 ± 0.19	3.08 ± 0.16	4.63 ± 0.12	4.55 ± 0.07	13.65 ± 0.29	6.46 ± 0.21
赖氨酸 Lys ☆ □	鲜味	3.03 ± 0.13	0.10 ± 0.01	6.48 ± 0.22	3.84 ± 0.20	0.10 ± 0.01	6.47 ± 0.23
精氨酸 Arg	苦味	30.46 ± 0.42	17.03 ± 0.06	114.42 ± 1.09	54.65 ± 0.43	30.97 ± 0.37	115.28 ± 1.24
游离氨基酸总量 TFAA		261.06	165.50	497.32	417.01	144.31	480.13
必需氨基酸总量 EAA		126.30	69.90	246.13	243.86	35.32	225.12
药用氨基酸 MAA		71.03	67.52	122.61	104.34	47.46	115.77
支链氨基酸 BCAA		18.13	12.87	28.93	25.47	3.91	32.27

注：☆表示必需氨基酸（组氨酸为婴儿或特定人群的必需氨基酸），□表示药用氨基酸，△表示支链氨基酸。

## 2.3 烹饪方式对芫根中游离氨基酸的影响

### 2.3.1 烹饪方式对芫根中游离氨基酸含量的影响

氨基酸是重要的呈味物质<sup>[31]</sup>，也是评价芫根营养品质的重要指标，不同烹饪方式下芫根的游离氨基酸种类及含量见表2。芫根中共含有16种游离氨基酸，其中有7种必需氨基酸，8种药用氨基酸，3种支链氨基酸。在所有芫根样品中，脯氨酸占主导地位（17%~37%），其次是谷氨酸（13%~30%）。Itoh<sup>[32]</sup>研究表明大多数蔬菜中的游离氨基酸均以天冬氨酸和谷氨酸为主，羟脯氨酸、鸟氨酸和瓜氨酸含量很低，甚至检测不到<sup>[31]</sup>。新鲜芫根中游离氨基酸总量为261.06 mg/100 g，气蒸、微波及油炒后氨基酸总量显著提高90.50%、59.74%和83.91%，而水煮和高压烹饪的芫根中游离氨基酸总量显著降低36.60%和44.72%（ $P<0.05$ ）。有研究表明，胡萝卜、红薯、豌豆、卷心菜、菠菜、甘蓝等蔬菜水煮后游离氨基酸含量也会下降，且水煮时间越长氨基酸损失率越大<sup>[32,33]</sup>，这跟氨基酸在水中的溶解作用、Strecker降解反应和美拉德反应的作用有关<sup>[34]</sup>。在高温烹饪下，蛋白质变性会诱导出更多的氨基酸产生，在油炒中，由于锅铲机械性翻炒，蛋白质降解程度更高<sup>[35]</sup>，Zhou等<sup>[34]</sup>研究发现香菇经高温处理后谷氨酸含量显著增加。在本研究中，油炒芫根的总游离氨基酸含量较气蒸芫根没有明显优势，这可能与油炒温度和时间的限值有关。

功能氨基酸包括药用氨基酸和支链氨基酸，药用氨基酸具有保护肝脏、消除疲劳等作用，支链氨基酸具有刺激胰岛素产生、抗蛋白质分解等作用<sup>[36]</sup>。新鲜芫根中功能氨基酸占总氨基酸含量的32%，水煮和高压烹饪会降低功能氨基酸的含量，而气蒸、微波和油炒则相反，说明这三种烹饪方式更有利于保留芫根的氨基酸营养价值。

### 2.3.2 烹饪方式对芫根中游离氨基酸滋味特征的影响

根据氨基酸的呈味特点<sup>[37]</sup>，比较不同烹饪方式对芫根滋味氨基酸的影响，结果如图2所示。芫根中甜味氨基酸较多，包括Thr、Ser、Pro、Gly和Ala，在新鲜芫根中含量为141.39 mg/100 g，占呈味氨基酸的主导地位（45%），经气蒸、微波和油炒后，甜味氨基酸含量明显增加，分别为233.05、233.79和218.02 mg/100 g，但在气蒸和油炒中其比例均下降为39%。除了甜味氨基酸外，在其他呈

味氨基酸中Glu是重要的酸味和鲜味氨基酸，它与Asp存在协同效应，能够强化芫根的鲜味，除高压外，其余四种烹饪方式均能提高芫根的Glu含量，气蒸、微波和油炒对芫根酸味和鲜味氨基酸的比例影响较小，而在水煮和高压中两者的占比明显增加。芫根中的苦味氨基酸有Val、Ile、Leu、Tyr、His和Arg，其中以Arg为主，水煮能够降低苦味氨基酸的含量，其占比从16%降至13%，这对芫根的滋味有着积极作用<sup>[34]</sup>。

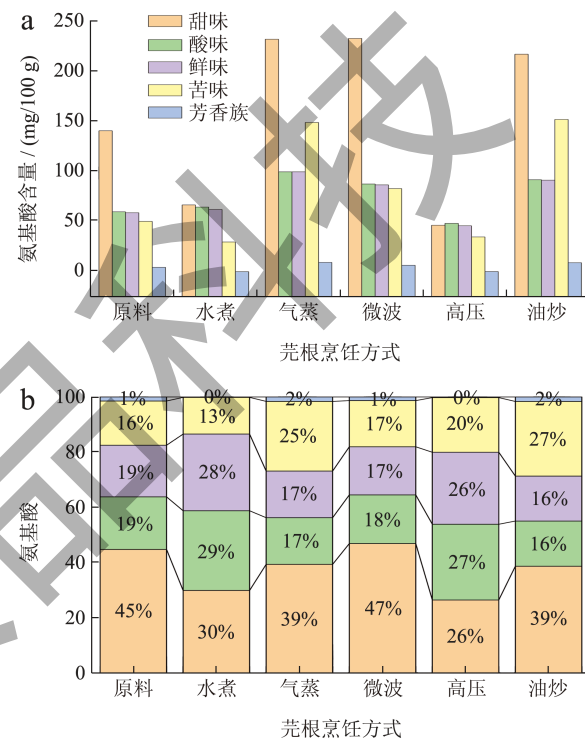


图2 不同烹饪方式下芫根中的滋味氨基酸

Fig.2 The content and proportion of flavoring amino acids of BrL under different cooking methods

注：(a) 含量；(b) 比例。

## 2.4 不同烹饪方式的芫根电子舌滋味分析

为比较不同烹饪方式对芫根整体滋味的影响，对样品进行电子舌分析，结果如图3所示。电子舌主成分分析中，第一主成分（PC1）和第二主成分（PC2）的贡献率分别为74.54%和17.44%，总贡献率达91.98%，已超过85%，说明这两个主成分涵盖了绝大多数样品信息，可以用来表征芫根的滋味特征。主成分载荷图中，以散点代表各个样品，距离越近，表明样本滋味相似度越高，对主成分贡献大的影响因子以射线形式表示出来，影响因子越靠近样品表明对相应样品影响越大<sup>[38]</sup>。6种芫根样品分散区域明显，表明电子舌能够较好的区分不同烹饪

方式的芫根。新鲜芫根与其他5种芫根样品距离较远, ANS和CTS传感器对其影响较大, 其中CTS传感器对咸味具有特敏性, 结合图3b可知, 新鲜芫根在ANS和鲜味特敏传感器NMS上响应值较高, 在咸味CTS和酸味AHS传感器上响应值次之, 烹饪后, 鲜味NMS传感器响应值减弱, 咸味CTS响应值也明显降低, 酸味AHS响应值增强, 说明烹饪处理会减弱芫根本身的咸鲜味, 突出酸味。油炒的芫根整体响应值较大, 与其他样品距离较远, 说明油炒的与其他烹饪处理的芫根整体滋味差异较大, 一方面是因为油炒温度较高导致, 另一方面食用油也会对芫根滋味产生影响。水煮和气蒸的芫根在主成分图中距离较近, 说明这两种方式烹饪的芫根整体滋味相似; 同理可得微波和高压烹饪的芫根滋味相似。

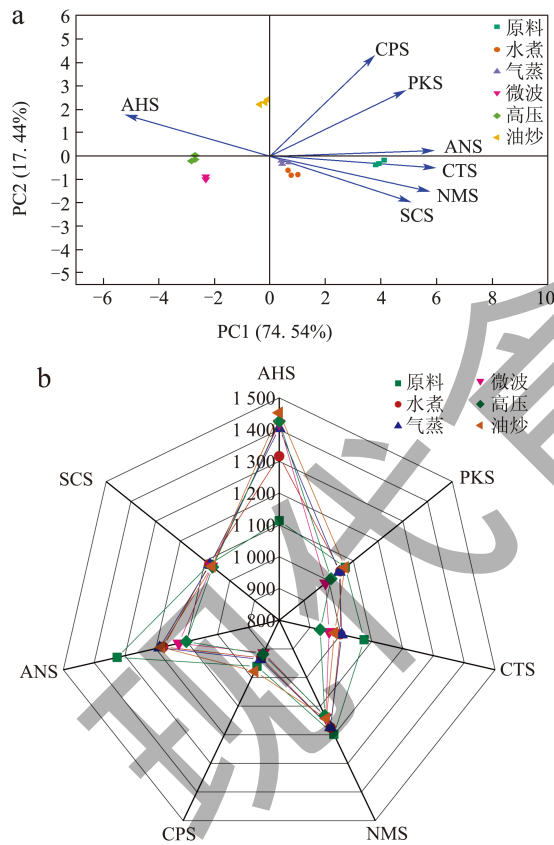


图3 不同烹饪方式下芫根的电子舌分析结果

Fig.3 Results of E-tongue analysis of BrL under different cooking methods

注: (a) 主成分载荷图; (b) 响应值雷达图。

### 2.5 不同烹饪方式对芫根品质的综合评价

对芫根各品质指标利用SPSS进行主成分分析, 结果如表3所示, 前三个主成分的特征值都大于1, 且方差贡献率累计达到97.119%, 因此选用前3个

主成分用于综合评分。3个主成分的载荷矩阵如表4所示, PC1的方差贡献率为62.034%, 反应了大部分指标的信息, 其中总游离氨基酸含量与PC1呈高度正相关, 水分含量与PC1呈负相关; ABTS抗氧化能力与PC2呈高度正相关, FRAP抗氧化能力与PC3呈高度正相关。

表3 主成分的特征值和贡献率

Table 3 Eigenvalue of the principal components and their contribution

成分	起始特征值			提取平方和载入值		
	特征值	方差贡献率/%	累加贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累加贡献率/%
1	8.066	62.043	62.043	8.066	62.043	62.043
2	2.365	18.191	80.234	2.365	18.191	80.234
3	2.195	16.885	97.119	2.195	16.885	97.119
4	0.231	1.774	98.893			
5	0.144	1.107	100.000			

表4 主成分的特征向量与载荷矩阵

Table 4 Principal component eigenvectors and loading matrix

指标	载荷			特征向量		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
能量	0.821	-0.489	0.292	0.289	-0.318	0.197
蛋白质	0.737	-0.537	0.377	0.260	-0.349	0.255
碳水化合物	0.749	-0.617	-0.050	0.264	-0.402	-0.034
水	-0.800	0.585	-0.113	-0.282	0.381	-0.076
ABTS	0.304	0.794	0.524	0.107	0.516	0.353
FRAP	0.562	0.202	0.792	0.198	0.131	0.534
总酚	0.629	0.299	0.711	0.222	0.195	0.480
TFAA	0.929	0.186	-0.314	0.327	0.121	-0.212
苦味氨基酸	0.925	0.040	-0.267	0.326	0.026	-0.180
酸味氨基酸	0.878	0.319	-0.296	0.309	0.208	-0.200
鲜味氨基酸	0.880	0.320	-0.304	0.310	0.208	-0.205
甜味氨基酸	0.870	0.278	-0.320	0.306	0.181	-0.216
芳香族氨基酸	0.906	0.188	-0.306	0.319	0.122	-0.207

利用主成分对不同烹饪方式下的芫根品质进行综合评价, 根据表4中的特征向量构建评价模型如下:

$$F_1=0.102X_1+0.091X_2+0.093X_3+\dots+0.112X_{13}$$

$$F_2=-0.207X_1-0.227X_2-0.261X_3+\dots+0.080X_{13}$$

$$F_3=0.133X_1+0.172X_2-0.023X_3+\dots-0.140X_{13} \quad (X \text{ 为原始变量标准化处理后数值})$$

以各主成分对应的贡献率作为权重, 得到综合



评分模型:

$$F=0.639F_1+0.187F_2+0.174F_3$$

通过计算得到不同烹饪方式的芜根的综合品质得分,得分高低反映芜根品质的高低,如表5所示,PC1中得分最高的是气蒸芜根和油炒芜根,说明PC1对这两种方式烹饪的芜根品质有较大影响;PC2中微波的芜根得分最高,说明ABTS抗氧化能力对其品质影响最大;PC3中新鲜芜根得分最高。根据综合评分排名情况来看,不同烹饪方式处理后的芜根品质存在较大差异,气蒸芜根综合得分最高,其次是油炒芜根,高压芜根得分最低。

表5 不同烹饪方式下的芜根主成分得分和综合得分  
Table 5 Principal ingredient score and comprehensive score of BrL under different cooking methods

样品	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F$	排名
原料	-0.965	-1.267	0.511	-0.765	4
水煮	-2.387	-1.474	1.409	-1.556	5
气蒸	4.175	-0.892	-1.257	2.282	1
微波	1.636	0.090	-0.106	1.043	3
高压	-3.528	1.076	-2.147	-2.426	6
油炒	1.069	2.467	1.590	1.421	2

### 3 结论

本试验采用水煮、气蒸、微波、高压和油炒5种烹饪方式对新鲜芜根进行处理,对比不同烹饪方式下芜根的游离氨基酸、能量、蛋白、碳水化合物等营养成分以及抗氧化活性的差异。试验结果表明,不同烹饪方式对芜根的营养成分和抗氧化活性均有一定影响。芜根中游离氨基酸以脯氨酸和谷氨酸为主,不同方式烹饪后游离氨基酸总量大小依次为:气蒸>油炒>微波>原料>水煮>高压,气蒸、油炒和微波能提高芜根中甜味、鲜味和酸味氨基酸含量,水煮能降低苦味氨基酸比例,提高酸味和鲜味氨基酸占比。气蒸和油炒能提高芜根的多酚含量,提升ABTS阳离子自由基清除能力和铁离子抗氧化能力。除水煮外,其他烹饪方式显著降低了芜根中的水分含量,而提高了能量和碳水化合物含量。电子舌能有效评价不同烹饪方式处理的芜根的滋味差异,油炒芜根滋味较其他芜根相比差异较大,水煮和气蒸的芜根滋味较为接近,微波和高压的滋味相似。根据主成分综合评价结果发现,气蒸芜根的综合得分最高,其次是油炒,说明从抗氧化能力、营

养成分和游离氨基酸品质上来看,气蒸和油炒是芜根相对适宜的烹饪方式,但油炒后芜根能量和脂肪含量显著提升,本着低脂少油的健康饮食原则,尤其是患有糖尿病、高血脂、高血压、心血管疾病等慢性疾病人群在烹饪芜根时选择气蒸更为合适。

### 参考文献

- [1] 赵文瑾.芜根多糖提取、分离及抗疲劳机理研究[D].无锡:江南大学,2021.
- [2] ZHAO W, ZHANG W, LIU L, et al. Fractionation, characterization and anti-fatigue activity of polysaccharides from *Brassica rapa* L [J]. *Process Biochemistry*, 2021, 106: 163-175.
- [3] 于翠翠,陈锋,马路凯,等.基于主成分与聚类分析综合评价西藏不同产地芜菁的品质[J].食品安全质量检测学报, 2022,13(19):6312-6319.
- [4] 谭秀娟.芜根总多糖提取及抗急性高原缺氧作用研究[D].成都:西南交通大学,2019.
- [5] XIE Y, JIANG S, SU D, et al. Composition analysis and anti-hypoxia activity of polysaccharide from *Brassica rapa* L [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2010, 47(4): 528-533.
- [6] 李古兵.芜根皂苷提取优化及抗急性低压缺氧作用研究[D].成都:西南交通大学,2019.
- [7] 张旭,张华芳,刘阳,等.川西高原芜根化学成分及抗氧化活性研究[J].食品科技,2019,44(2):104-110.
- [8] 李紫琳.芜根水提物的抗疲劳作用及其机制研究[D].无锡:江南大学,2022.
- [9] LIU L, LIU C, HUA H, et al. Effect of polysaccharides from Tibetan turnip (*Brassica rapa* L.) on the gut microbiome after *in vitro* fermentation and *in vivo* metabolism [J]. *Food Funct*, 2022, 13(5): 3063-3076.
- [10] 吕强,刘震东,柳雅珍,等.藏区药食同源植物芜根特色健康产品开发[Z]. 2019.
- [11] HUA H, ZHU H, LIU C, et al. Bioactive compound from the Tibetan turnip (*Brassica rapa* L.) elicited anti-hypoxia effects in OGD/R-injured HT22 cells by activating the PI3K/AKT pathway [J]. *Food & Function*, 2021, 12(7): 2901-2913.
- [12] 刘晔峰.以西藏芜根为主成分的抗缺氧功能食品研究[D].杭州:浙江大学,2012.
- [13] 盛怀宇.低盐芜根腌制品腌制工艺及保藏期间品质变化研究[D].重庆:西南大学,2020.
- [14] 高琦,李加恒,韩昊廷,等.基于灰色关联分析法研究不同干燥方式对芜菁脆片的影响[J].食品科学,2019,40(5):95-101.
- [15] 杜亚飞,周雨珂,邓逢时,等.芜根苹果复合饮料工艺优化及其稳定性研究[J].高原农业,2021,5(6):605-611.
- [16] 乔明锋,郝婉婷,蔡雪梅,等.一种芜根咀嚼片配方优化及特性[J].食品工业,2021,42(11):70-75.

- [17] YIN Y, ZHOU L, PEREIRA J, et al. Insights into digestibility and peptide profiling of beef muscle proteins with different cooking methods [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(48): 14243-14251.
- [18] PACIULLI M, GANINO T, CARINI E, et al. Effect of different cooking methods on structure and quality of industrially frozen carrots [J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(5): 2443-2451.
- [19] ZHANG R, CHEN H, CHEN Y, et al. Impact of different cooking methods on the flavor and chemical profile of yellow-fleshed table-stock sweetpotatoes (*Ipomoea batatas* L.) [J]. Food Chemistry: X, 2023, 17: 100542.
- [20] ANGEL R S V, FILOMENA A A, HERNANDEZ C M, et al. Pork meat prepared by different cooking methods. A microstructural, sensorial and physicochemical approach [J]. Meat Science, 2020, 163: 108089.
- [21] MANAGA M G, SHAI J, THI PHAN A D, et al. Impact of household cooking techniques on african nightshade and chinese cabbage on phenolic compounds, antinutrients, *in vitro* antioxidant, and  $\beta$ -Glucosidase activity [J]. Frontiers in Nutrition, 2020, 21(7): 580550.
- [22] 杨津利,王晶星.不同烹饪方式对胡萝卜营养品质的影响[J].中国调味品,2019,44(11):109-112.
- [23] WU X, ZHAO Y, HAYTOWITZ D B, et al. Effects of domestic cooking on flavonoids in broccoli and calculation of retention factors [J]. Heliyon, 2019, 5(3): e1310.
- [24] 俞明君.烹饪加工方式对香菇营养特性和抗氧化活性的影响研究[D].郑州:河南科技学院,2020.
- [25] 彭军炜,邹金浩,苏小军,等.不同烹饪方式对淮山品质与功能成分的影响[J].食品研究与开发,2021,42(13):15-20.
- [26] SURH J, KOH E. Effects of four different cooking methods on anthocyanins, total phenolics and antioxidant activity of black rice [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014, 94(15): 3296-3304.
- [27] FANG H, YIN X, HE J, et al. Cooking methods affected the phytochemicals and antioxidant activities of potato from different varieties [J]. Food Chemistry: X, 2022, 14: 100339.
- [28] FERRACANE R, PELLEGRINI N, VISCONTI A, et al. Effects of different cooking methods on antioxidant profile, antioxidant capacity, and physical characteristics of artichoke [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(18): 8601-8608.
- [29] 苏伟,王涵钰,母应春,等.不同烹饪方式对干腌火腿理化、感官及风味品质的影响[J].肉类研究,2020,34(6):72-79.
- [30] 罗晓莉,孙达锋,曹晶晶,等.不同烹饪方法对杏鲍菇预制菜营养品质的影响[J].中国食用菌,2022,41(12):52-56.
- [31] 彭海川,钱琴,母运龙,等.不同烹饪方式处理的鲟鱼肉营养成分和风味比较[J].现代食品科技,2022,38(2):236-244.
- [32] ITO H, KIKUZAKI H, UENO H. Effects of cooking methods on free amino acid contents in vegetables [J]. Journal of Nutritional Science and Vitaminology, 2019, 65(3): 264-271.
- [33] LISIEWSKA Z, KMIĘCIK W, KORUS A. The amino acid composition of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*), fresh and after culinary and technological processing [J]. Food Chemistry, 2008, 108(2): 642-648.
- [34] ZHOU X, GUAN Q, WANG Y, et al. Effect of different cooking methods on nutrients, antioxidant activities and flavors of three varieties of lentinus edodes [J]. Foods, 2022, 11(17): 2713.
- [35] 陈国华.烹饪方式对水芹品质和风味的影响[D].扬州:扬州大学,2021.
- [36] 陈瑜,许丹,何鹏飞,等.锈斑蚜蒸煮液和酶解液氨基酸组成及滋味分析[J].食品研究与开发,2022,43(18):157-163.
- [37] 安朝丽,钱磊,姜迎迎,等.不同干燥方式对滑子蘑滋味物质的影响[J].保鲜与加工,2022,22(10):69-75.
- [38] 胡金祥,何莲,王林,等.基于部分专一传感器电子舌和 Heracles II 电子鼻评价川式相似复合味型(鱼香、荔枝和糖醋味)[J].食品科技,2021,46(8):244-250.