

粗壮女贞及其产品营养成分与活性成分比较

张梦雪瑶¹, 石志娇¹, 阚欢^{1,2}, 赵平², 刘云^{1,2*}, 邱嘉丽³, 张德国^{2*}

(1. 西南林业大学生命科学学院, 云南昆明 650224) (2. 云南省高校大健康类森林资源开发利用工程研究中心, 云南昆明 650224) (3. 贵州银河湾茶业有限公司, 贵州贵阳 550002)

摘要: 该文以粗壮女贞为研究对象, 通过标准方法分别对原叶 (*Ligustrum robustum* (Roxb.) Blume, LR) 及其产品 (*Ligustrum robustum* (Roxb.) Blume Products, LRP) 中的营养成分与活性成分进行分析比较。结果表明: 一般营养成分中, LR 的蛋白质含量 (9.23 g/100 g) 远高于 LRP (8.01 g/100 g), LR 中灰分含量 (3.90 g/100 g) 高于 LRP (3.10 g/100 g), 水分和粗纤维含量二者相差不大。LR 和 LRP 中 EAA/TAA 分别为 40.30% 和 43.98%, EAA/NEAA 分别为 67.48% 和 78.50%, $\sum n6$ PUFA/ $\sum n3$ PUFA 比值分别为 0.13 和 0.12。同时, LR 和 LRP 富含多种矿物质元素和维生素, LR 中 Ca 含量 (7 646.67 mg/kg) 最高, LRP 中 K 含量 (5 576.67 mg/kg) 最高, 二者 VE 含量分别高达 37.10 mg/100 g 和 27.50 mg/100 g。此外, LR 和 LRP 主要活性成分为粗多糖、茶多酚、总黄酮和总皂苷, 除茶多酚含量均为 14.30 g/100 g 以外, 其余活性成分都存在一定差异。其中, LR 的总黄酮含量 (2.24 g/100 g) 高于 LRP (0.98 g/100 g), LRP 中粗多糖含量 (2.90 g/100 g) 远高于 LR (0.93 g/100 g), 总皂苷含量 (9.02 g/100 g) 略高于 LR (8.89 g/100 g)。综上, LR 营养成分较高, 是典型的“高钾高钙低钠”食品; LRP 经过发酵等工艺后其活性成分显著提高, 功能性价值更高, “高钾高钙低钠”的食用特性更加显著。该研究为粗壮女贞植物资源的综合利用及粗壮女贞产品研发提供参考依据和新思路。

关键词: 粗壮女贞; 营养成分; 活性成分; 品质评价

文章编号: 1673-9078(2024)02-257-264

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.2.0261

Comparison of the Nutritional and Active Components of *Ligustrum robustum* (Roxb.) Blume and Its Derived Products

ZHANG Mengxueyao¹, SHI Zhijiao¹, KAN Huan^{1,2}, ZHAO Ping², LIU Yun^{1,2*}, QIU Jiali³, ZHANG Deguo^{2*}

(1. College of Life Sciences, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

(2. Forest Resources Exploitation and Utilization Engineering Research Center for Grand Health of Yunnan Provincial Universities, Kunming 650224, China) (3. Guizhou Yinhewan Tea Co. Ltd., Guiyang 550002, China)

Abstract: In this study, *Ligustrum robustum* (Roxb.) Blume (LR) was used as the research object. The nutrients and active components in the *Ligustrum robustum* (Roxb.) Blume (LR) and its derived products [*Ligustrum robustum* (Roxb.) Blume products; LRP] were analyzed following the standard methods and then compared. The results showed that as for the ordinary nutrients, the protein content of LR (9.23 g/100 g) was much higher than that of LRP (8.01 g/100 g), the ash content of LR (3.90 g/100 g) was higher

引文格式:

张梦雪瑶, 石志娇, 阚欢, 等. 粗壮女贞及其产品营养成分与活性成分比较[J]. 现代食品科技, 2024, 40(2): 257-264.

ZHANG Mengxueyao, SHI Zhijiao, KAN Huan, et al. Comparison of the nutritional and active components of *Ligustrum robustum* (roxb.) blume and its derived products [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(2): 257-264.

收稿日期: 2023-03-06

基金项目: 云南省教育厅生物学质量工程项目 (503190106)

作者简介: 张梦雪瑶 (2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 1176915662@qq.com

通讯作者: 刘云 (1982-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 农林食品研究与开发, E-mail: liuyun0402001@163.com; 共同通讯作者: 张德国 (1979-), 男, 硕士, 实验师, 研究方向: 林木种苗培育选育, E-mail: 214746717@qq.com

than that of LRP (3.10 g/100 g), with the contents of water and crude fiber being comparable. In LR and LRP, the EAA/TAA ratios were 40.30% and 43.98%, the EAA/NEAA ratios were 67.48% and 78.50%, and the $\sum n6$ PUFA/ $\sum n3$ PUFA ratios were 0.13 and 0.12, respectively. Meanwhile, LR and LRP were rich in many kinds of mineral elements and vitamins, LR had the highest content of Ca (7 646.67 mg/kg), LRP had the highest content of K (5 576.67 mg/kg), with their VE contents being 37.10 mg/100 g and 27.50 mg/100 g, respectively. In addition, the main active components of LR and LRP were crude polysaccharides, tea polyphenols, total flavonoids and total saponins, and there were some differences in the active components except for the tea polyphenols content (both: 14.30 g/100 g). Among which, the total flavonoid content of LR (2.24 g/100 g) was higher than that of LRP (0.98 g/100 g), and the crude polysaccharide content of LRP (2.90 g/100 g) was much higher than that of LR (0.93 g/100 g). The total saponins content (9.02 g/100 g) of LRP was slightly higher than that of LR (8.89 g/100 g). Taken together, LR contained higher contents of nutrients, thus was a typical "high potassium, high calcium and low sodium" food. After fermentation, LRP had significantly increased levels of active components and a higher functionality, showing more significant edible value of "high potassium, high calcium and low sodium". This study provides a reference and new idea for the comprehensive utilization of LR and the research and development of LRP.

Key words: *Ligustrum robustum* (Roxb.) Blume; active ingredients; nutrient composition; quality evaluation

粗壮女贞 (*Ligustrum robustum* (Roxb.) Blume) 属于木犀科女贞属, 别名为虫蜡树、向阳柳、野小麦, 其植株多为灌木状, 树枝呈现出茂密白色皮孔、叶边缘具有鲜亮光泽, 在我国四川、贵州、云南、重庆等地有着悠久的食用历史^[1]。粗壮女贞每年的花期在 5~6 月份, 果实期在 10~11 月份; 其幼果果实呈青绿色、成熟期时青绿色果实会转变成黑褐色, 长度为 1~1.4 cm, 形状为稍弯的长圆形。现行的《四川省中药材标准 (2010 年版)》和《贵州省中药材民族药材质量标准 (2003 版)》中均收录粗壮女贞作为民族用药苦丁茶, 我国西南地区常将其作为苦丁茶原料, 长期以来民间均有加工饮用的习惯, 因此, 粗壮女贞苦丁茶成为贵州省余庆县国家地理标志产品。由于长期饮用无毒害、无致畸和无致突变作用, 自 2011 年起粗壮女贞被原国家卫生部批准作为普通食品食用和流通^[2]。传统中医认为, 粗壮女贞苦丁茶味苦、微甘, 性寒, 归肝、肺、胃经, 有解腻止渴、清热消暑、消炎利尿等功效^[3]。现代医学和药理学研究表明, 粗壮女贞苦丁茶中茶多糖、茶多酚、皂苷类等活性成分, 具有增强免疫、降脂降糖、防癌抗衰的保健功效和改善脂质代谢紊乱、抗肝脏损伤、调节肠道菌群、抗流感病毒、抑制消化酶活性和抗氧化等活性功能^[1]。研究发现粗壮女贞提取物可降低病毒活性、清除机体自由基、对机体细胞的氧化损伤有明显的抑制和修复作用^[4,5]。随着粗壮女贞苦丁茶经济价值日益增长及其药理作用研究加深, 前人的研究多集中于其他种类苦丁茶营养成分分析, 对木犀科女贞属粗壮女贞营养成分报道较少, 且未有对粗壮女贞加工前后营养成分进行对比的报道。因此, 本研究以粗壮女贞为研究对象,

采用标准方法对粗壮女贞原叶及其产品的基本营养成分与活性成分进行分析比较, 通过对粗壮女贞及其产品进行完整分析、全面评价, 为粗壮女贞产品研究与开发提供参考依据和新思路, 为粗壮女贞苦丁茶在药效学和药理学的研究提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

粗壮女贞原叶 (以 LR 表示) 及加工后产品 (以 LRP 表示) 由贵州省余庆积善茶叶有限责任公司提供。LR 采自贵州余庆生态高原, 自然晾干至质量恒定后保存备用; LRP 为 LR 经过蒸青、发酵、归堆陈化等工艺流程处理后保存备用。

主要试剂: 浓硫酸、硫酸铜、氢氧化钠、乙酸锌、亚铁氰化钾、过氧化氢、苯酚、葡萄糖、硝酸, 分析纯, 天津市风船化学试剂有限公司; 硫酸钾、硼酸、无水乙醇, 分析纯, 广东光华科技股份有限公司; 无水乙醚, 分析纯, 天津市大茂化学试剂厂; 没食子酸、芦丁、齐墩果酸, 分析纯, 上海源叶生物科技有限公司。

1.2 主要仪器设备

GZX-9240MBE 电热鼓风干燥箱, 上海博迅实业有限公司; Milli-Q 超纯水系统, 美国 Millipore 公司; KT260 凯氏定氮仪, 福赛斯分析仪器苏州有限公司; Hotplate 粗纤维测定仪, 福赛斯分析仪器苏州有限公司; 723C 可见分光光度计, 上海精密仪器仪表有限公司; UV-2600 紫外可见分光光度计, 日本岛津公司; LC-20AD 高效液相色谱仪, 日本岛津公司; AA-7000 原子吸收分光光度计, 日本岛津公司; AFS-230E 原子荧光光度计, 北京海光仪器有限公司。

司; UPLC-TQS 超高效液相色谱 - 串联质谱仪, 美国 Waters 公司; ACQUITY UPLC BEH C₁₈ 柱 (2.1 mm×100 mm, 1.7 μm), 美国 Waters 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 一般营养成分测定

水分: GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》; 灰分: GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》; 粗纤维: GB/T 5009.10-2003《植物类食品中粗纤维的测定》; 脂肪: GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》; 蛋白质: GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》。

1.3.2 活性成分测定

多酚、总黄酮、粗多糖:《保健食品功效成分检测方法》^[6]; 总皂苷: 分光光度法^[7]。

1.3.3 氨基酸质量分数测定

参照 GB 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》中的方法进行测定。

1.3.4 脂肪酸含量测定

参照 GB 5009.168-2016《食品中脂肪酸的测定》中的方法进行测定。

1.3.5 矿物质含量测定

参照 GB 5009.268-2016《食品中多元素的测定》中的方法进行测定。

1.3.6 维生素含量测定

胡萝卜素: GB 5009.83-2016《食品中胡萝卜素的测定》; VA、VD₂、VE、VB₂: GB 5009.82-2016《食品中维生素 A、D、E 的测定》, GB 5009.85-2016《食品中维生素 B₂ 的测定》; 烟酸: GB 5009.89-2016《食品中烟酸和烟酰胺的测定》。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010、SPSS 26 软件对数据进行分析处理, 所有实验均重复 3 次, 结果以 (平均值 ± 标准偏差) 表示。数据比较采用独立样本 *t* 检验, $P < 0.05$ 认为 LR 与 LRP 之间差异显著, $P < 0.01$ 认为 LR 与 LRP 之间差异极显著。用 Origin 2021 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 一般营养成分分析

LR 及 LRP 中一般营养成分测定结果见图 1。由图 1 可以看出, 粗壮女贞一般营养成分中蛋白

质含量最高, LR 和 LRP 中分别为 9.23 g/100 g 和 8.01 g/100 g ($P < 0.01$)。其次是粗纤维, 含量分别为 7.40 g/100 g 和 7.30 g/100 g。根据《食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则》中规定膳食纤维大于 6.00 g/100 g 即为高或富含膳食纤维或良好来源食物的标准, 粗壮女贞富含膳食纤维, 与杨天友等^[8]报道的粗壮女贞原叶浸提液测定结果相符。LR 和 LRP 灰分含量分别为 3.90 g/100 g 和 3.10 g/100 g, 灰分是茶叶中矿物质含量的反映, 表明粗壮女贞矿物质含量较高; 脂肪含量均为 5.60 g/100 g, 说明粗壮女贞具有低脂肪的特点。导致 LR 和 LRP 中一般营养成分差异可能与 LRP 加工工艺有关, 因此, 选择合适的工艺流程有利于粗壮女贞产品营养价值的保留和产品品质的提升。

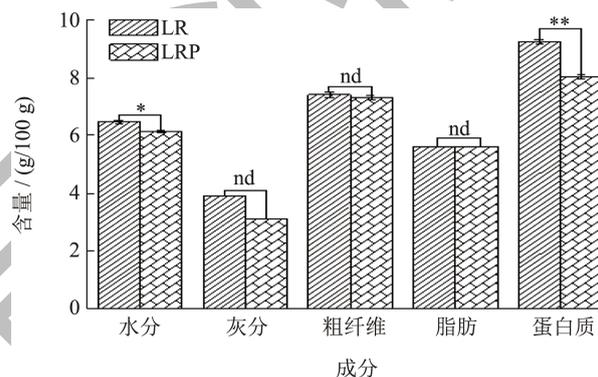


图 1 LR 和 LRP 一般营养成分含量

Fig.1 The general nutritional components of LR and LRP

注: * 表示 LR 和 LRP 之间在 $P < 0.05$ 水平差异显著, ** 表示 LR 和 LRP 之间在 $P < 0.01$ 水平差异显著; 下同。

2.2 活性成分含量分析

从表 1 可知, LR 和 LRP 中茶多酚含量均达 14.30 g/100 g, 远高于汪冶等^[9]报道的三叶海棠苦丁茶 (7.47 g/100 g), 茶多酚作为天然抗氧化剂, 对脂质过氧化抑制、机体自由基清除、肠道微环境调节有显著功效, 可被应用于改善人体肠道健康, 提高机体免疫^[10]。孙怡^[11]研究发现苦丁茶中粗多糖具有抗疲劳、抗衰老、抗病毒的生理活性, LR 和 LRP 中总黄酮含量分别为 2.24 g/100 g 和 0.98 g/100 g ($P < 0.01$), 高于樊伟伟等^[12]报道的海南苦丁茶 (0.42 g/100 g) 和汪冶等^[9]报道的三叶海棠苦丁茶 (0.46 g/100 g)。茶多糖在抗氧化、抗肿瘤、降血糖等方面有显著功效^[13], LRP 中粗多糖含量比 LR 增加 1.97 g/100 g, 推测加工工艺可能影响苦丁茶中茶多糖的含量及组成, 此外, LRP 较 LR 回味更加甘甜, 可能与加工后苦丁茶粗多

糖含量升高有关。LR 和 LRP 中总黄酮含量分别为 2.24 g/100 g 和 0.98 g/100 g ($P < 0.01$), 高于樊伟伟等^[12]报道的海南苦丁茶 (0.42 g/100 g) 但低于汪冶等^[9]报道的三叶海棠苦丁茶 (0.46 g/100 g)。高温条件下, 黄酮类物质常会发生水解脱去苷类配基^[14], LRP 中总黄酮含量低于 LR, 可能因为加工过程中黄酮成分受热发生了降解造成了 LRP 中总黄酮含量的下降。已有文献报道植物总皂苷在止咳化痰、活血化瘀及治疗动脉粥样硬化等方面具有明显效果^[15], LRP 中总皂苷含量 (9.02 g/100 g) 略高于 LR (8.89 g/100 g), 可能是发酵及归堆陈化工艺提高了 LRP 中总皂苷含量。由此可见, 粗壮女贞是一

种绿色营养食品, LRP 经过发酵等工艺, 其生物活性成分、功能性成分含量得到显著提高, 有益于人体健康。

表 1 活性成分组成及含量

Table 1 Composition and content of active ingredients (g/100 g)

活性成分	LR	LRP	汪冶等 ^[9]	樊伟伟等 ^[12]
粗多糖	0.93±0.01**	2.90±0.03**	—	1.18
茶多酚	14.30±0.09	14.30±0.08	7.47	—
总黄酮	2.24±0.03**	0.98±0.00**	0.46	0.42
总皂苷	8.89±0.42	9.02±0.37	—	—

注: —, 未检出; 下同。

表 2 氨基酸组成及含量比较

Table 2 Comparison of amino acid composition and content (g/100 g)

氨基酸种类	氨基酸名称	LR	LRP	姚霞飞等 ^[16]	樊伟伟等 ^[12]
必需氨基酸	苯丙氨酸 [△]	0.51±0.02	0.49±0.02	0.90	1.12
	蛋氨酸	—	—	0.22	0.54
	异亮氨酸	—	—	0.85	0.23
	亮氨酸	—	—	1.49	0.66
	缬氨酸	—	—	1.00	0.86
	赖氨酸	0.32±0.01*	0.35±0.01*	1.32	1.44
	苏氨酸	—	—	0.81	0.48
	色氨酸	—	—	0.96	—
	非必需氨基酸	天冬氨酸 [△]	0.01±0.00**	0.01±0.00**	1.73
丝氨酸		2.4×10 ⁻³ ±0.00**	1.7×10 ⁻³ ±0.00**	0.84	0.81
谷氨酸 [△]		0.02±0.00*	0.02±0.00*	2.00	1.21
脯氨酸		—	—	0.83	—
甘氨酸		—	—	0.86	0.74
丙氨酸 [△]		1.18±0.05*	1.03±0.02*	0.92	0.79
酪氨酸		—	—	0.71	0.43
组氨酸		—	—	0.34	0.37
胱氨酸		—	—	0.08	—
精氨酸		0.02±0.00**	0.01±0.00**	1.10	1.03
呈味氨基酸		1.72	1.55	5.55	4.46
氨基酸总量 (TAA)	2.06	1.91	16.88	12.41	
必需氨基酸总量 (EAA)	0.83	0.84	7.55	5.69	
非必需氨基酸总量 (NEAA)	1.23	1.07	9.33	6.72	
EAA/TAA/%	40.30	43.98	44.73	45.85	
EAA/NEAA/%	67.48	78.50	80.92	84.67	

注: [△]: 呈味氨基酸。

2.3 氨基酸组成分析

由表 2 可以看出, 粗壮女贞共检测出苯丙氨酸和赖氨酸 2 种必需氨基酸, 天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、丙氨酸和精氨酸这 5 种非必需氨基酸。LR 和 LRP 中丙氨酸含量均为最高, 分别达 1.18 g/100 g 和 1.03 g/100 g ($P < 0.05$), 高于姚霞飞等^[16]报道的海南产苦丁茶 (0.92 g/100 g) 和樊伟伟等^[12]报道的海南苦丁茶 (0.79 g/100 g); 丙氨酸作为重要的非必需氨基酸之一, 其不仅能作为食品增味剂, 还具有增强免疫、缓解机体应激反应的功效^[17]。苯丙氨酸含量次之, 分别为 0.51 g/100 g 和 0.49 g/100 g。LR 和 LRP 中赖氨酸含量低于姚霞飞等^[16]报道的海南产苦丁茶 (1.32 g/100 g) 和樊伟伟等^[12]报道的海南苦丁茶 (1.44 g/100 g)。LRP 中赖氨酸含量达 0.35 g/100 g, 赖氨酸能够很好地增加胃蛋白分泌, 促进人体肠胃消化吸收与代谢, 减少机体骨质疏松, 增强生物机体免疫能力。相比赖氨酸含量的增加, LRP 中精氨酸含量有显著下降, 赖氨酸的存在能有效抑制精氨酸的产生, 同时精氨酸已被证实是推动疱疹病毒滋生的因素之一^[18]。研究表明, 温度是影响加工过程中氨基酸含量的主要因素, 温度越高, 氨基酸含量越低; 当加热温度高于 120 °C 时, Asp、Glu、Ser、Gly、Thr、Ala、Val、Met、Ile、Phe、Lys 和 Try 这 12 种氨基酸的含量均显著降低; 当加热温度达到 170 °C 时, 12 种氨基酸仅能检测到 3 种, 并且含量明显下降^[19]; 这可能是造成 LRP 中氨基酸损失的原因之一。LR 中 TAA 为 2.06 g/100 g, 其中 EAA 为 0.83 g/100 g, 占氨基酸总量的 40.30%, 与 FAO/WHO 模式推荐的 EAA/TAA 40% 国际标准^[20]相比, 数值相近; NEAA 为 1.23 g/100 g, EAA 与 NEAA 的比值为 67.48%, 明显高于 FAO/WHO 模式推荐的 EAA/NEAA 60% 国际标准^[20]。LRP 中 TAA 为 1.91 g/100 g, 其中 EAA 为 0.84 g/100 g, EAA 与 TAA 的比值为 43.98%, 略高于 FAO/WHO 模式推荐的 EAA/TAA 40%^[20], NEAA 为 1.07 g/100 g, EAA 与 NEAA 的比值为 78.50%, 远高于 FAO/WHO 模式推荐的 EAA/NEAA 60%^[20]。天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸和苯丙氨酸等 4 种呈味氨基酸^[21]在 LR 和 LRP 中含量合计分别为 1.72 g/100 g 和 1.55 g/100 g, 4 种不同鲜味氨基酸赋予粗壮女贞独特鲜爽口感。

2.4 脂肪酸组成分析

由表 3 可知, LR 和 LRP 中含有 9 种脂肪酸; 包括豆蔻酸、棕榈酸、十七烷酸等饱和脂肪酸 (SFA),

单不饱和脂肪酸 (MUFA) 油酸和亚油酸、亚麻酸等多不饱和脂肪酸 (PUFA)。LRP 中棕榈酸含量达 21.37% ($P < 0.01$), 研究表明, 棕榈酸富含于人体母乳中, 具有活血化瘀、改善心肌缺血的特性^[22], 人体摄入一定含量的棕榈酸能够抑制肠道内发生脂肪酸钙皂化反应、降低婴幼儿便秘、提高机体免疫代谢功能。LR 和 LRP 中 MUFA 相对含量分别为 15.20% 和 15.97%, 同时, LR 和 LRP 多以不饱和脂肪酸为主, 其中 PUFA 含量都远远超过 MUFA, 与杨天友等^[8]报道的余庆小叶苦丁茶结果相符。LR 和 LRP 中亚油酸和亚麻酸含量分别为 6.91% 和 5.52%、51.30% 和 47.73%, 二十碳五烯酸含量分别为 0.01 g/100 g 和 0.02 g/100 g, 不饱和脂肪酸对降低血压血脂、抗氧、抗衰、抗癌、调节机体脂质代谢等方面有积极作用^[23]。研究表明, PUFA 摄入比对评估人体健康有重要意义, 食品中 $\sum n6$ PUFA / $\sum n3$ PUFA 比例越低, 其防治心血管疾病、抗炎和抗突变等效果越好^[24]。LR 和 LRP 中 $\sum n6$ PUFA / $\sum n3$ PUFA 值分别为 0.12 和 0.11, 远低于 FAO/WHO 国际标准推荐数值^[25]。可见, 粗壮女贞多不饱和脂肪酸含量高, 具有极高营养价值, 饮用粗壮女贞饮品有利于促进人体血液循环、防止心脑血管疾病。

表 3 脂肪酸组成及含量比较

Table 3 Composition and content of fatty acids (%)

脂肪酸	LR	LRP
豆蔻酸	1.15±0.02	1.10±0.03
棕榈酸	18.33±0.19**	21.37±0.12**
十七烷酸	0.61±0.00**	0.56±0.01**
硬脂酸	2.67±0.02**	3.23±0.04**
二十二烷酸	0.28±0.01**	0.38±0.00**
油酸	15.20±0.28*	15.97±0.09*
亚油酸	6.91±0.05**	5.52±0.06**
亚麻酸	51.30±0.43**	47.73±0.05**
二十碳五烯酸	0.01±0.00**	0.02±0.00**
\sum SFA	23.04	26.64
\sum MUFA	15.20	15.97
\sum PUFA	58.22	53.27
$\sum n3$ PUFA	51.31	47.75
$\sum n6$ PUFA	6.91	5.52

注: \sum SFA, 饱和脂肪酸总和; \sum MUFA, 单不饱和脂肪酸总和; \sum PUFA, 多不饱和脂肪酸总和; $\sum n3$ PUFA, n3 系列多不饱和脂肪酸总和; $\sum n6$ PUFA, n6 系列多不饱和脂肪酸总和。

表4 矿物质元素含量比较

类别	矿物质元素	LR	LRP	姚霞飞等 ^[16]
常量元素	K	6 200.00±70.71**	5 576.67±30.91**	38.80
	Ca	7 646.67±44.97**	4 856.67±17.00**	2 561.00
	Mg	1 123.33±9.43**	895.33±9.53**	2 518.00
	Na	122.67±2.05**	140.67±2.87**	36.90
	P	1 380.00±48.99**	1 080.00±24.49**	2.75
微量元素	Cu	6.67±0.24**	8.40±0.22**	22.40
	Fe	73.23±0.39**	77.90±0.41**	46.40
	Mn	98.43±0.57**	95.83±0.68**	279.00
	Zn	22.17±0.87**	15.40±0.16**	42.70
	Se	0.05±0.00**	0.02±0.00**	—
限量元素	Pb	0.30±0.02	0.26±0.01	0.40

2.5 矿物质元素分析

由表4可知,粗壮女贞富含多种矿物质元素,LR和LRP中常量元素Ca含量分别高达7 646.67 mg/kg和4 856.67 mg/kg ($P<0.01$),远高于姚霞飞等^[16]报道的海南产苦丁茶(2 561.00 mg/kg)。Ca既能提高人体血管通透性、维持血液循环正常代谢,又参与镇定神经和神经递质的合成,同时,缺乏Ca常会导致痉挛抽搐和骨质疏松^[26]。LR和LRP中K的含量分别为6 200.00 mg/kg和5 576.67 mg/kg ($P<0.01$),远远超过姚霞飞等^[16]报道的海南产苦丁茶(38.80 mg/kg)。K在生物体各项生命活动中发挥着重要作用,其在传递人体神经的信号,细胞养分的吸收,机体新陈代谢的调整,排出身体中过量盐分等方面具有显著功效^[27]。发酵工艺虽然使LRP中一部分矿物质元素含量降低,但是总体来看损失率不大。屠玥之等^[28]研究发现,发酵后的牛蒡茶中K、Ca、Al的含量减少,Fe和Mn含量增加,推测发酵前后元素含量消长情况与微生物发酵利用率有关。因此,LR和LRP矿物质元素含量存在差异,导致差异的原因可能与LRP发酵工艺中微生物的作用有关。粗壮女贞具有“高钾低钠”的特性,粗壮女贞产品中“高钾低钠”特性更加显著,余庆粗壮女贞苦丁茶与杨天友等^[29]研究的梵净山白茶都是典型的“高钾低钠”食品。“高钾低钠”食品对改善人体钾、钠平衡,

预防高血压和心脏病具有显著功效。此外,粗壮女贞还含有许多人体必需的微量元素,如:Cu、Fe、Mn、Zn、Se等,LR和LRP中其含量分别为6.67和8.40 mg/kg、73.23和77.90 mg/kg、98.43和95.83 mg/kg、22.17和15.40 mg/kg、0.05和0.02 mg/kg。LRP中铜和铁两种微量元素略高于LR,铁不仅可以提高血液中生成血红蛋白的速率、还具有运输人体细胞氧气和缓解机体贫血现象的功效^[27],微量元素的存在赋予了粗壮女贞独特的活性功能。在“元素物理化学性质相近,生理学上会发生相互拮抗作用”的理论中,元素周期表中铜、铁和锌作为第四个周期元素,当锌与铜含量比值 >10 和锌与铁含量比值 >1 时,机体内元素产生拮抗生理作用^[30];LRP中锌与铜的含量比值为1.8,锌与铁含量比值为0.2,远低于限量标准。参照贵州省地方标准DB 52/T454-2004《余庆苦丁茶》关于苦丁茶中铅限量强制性规定,苦丁茶中Pb的规定限量值为2.00 mg/kg,LR和LRP均在标准限值以内且远低于上述标准要求,说明粗壮女贞完全符合食品相关卫生学指标要求,饮用粗壮女贞苦丁茶不会对身体健康造成危害。

2.6 维生素分析

表5 维生素组成及含量比较

维生素名称	LR	LRP
VA/($\mu\text{g}/100\text{ g}$)	32.10±0.62	32.93±0.95
VB ₂ /($\mu\text{g}/100\text{ g}$)	257.33±3.77*	272.33±4.5*
VD ₂ /($\mu\text{g}/100\text{ g}$)	383.33±6.65**	246.33±6.34**
VE/(mg/100 g)	37.10±0.54**	27.50±0.65**
β -胡萝卜素/(mg/100 g)	15.70±0.08**	9.24±0.02**
烟酸/(mg/100 g)	3.17±0.07*	2.91±0.01*

LR和LRP中VA、VB₂、VD₂、 β -胡萝卜素、烟酸含量分别为32.10和32.93 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 、257.33和272.33 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 、383.33和246.33 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 、15.70和9.24 mg/100 g、3.17和2.91 mg/100 g。维生素可以有效维持机体正常生命活动,许多维生素也是酶或辅酶的组成分子,人体缺少某种维生素常会引起生理代谢和功能的紊乱^[31]。表5可以看出,粗壮女贞中VE为含量最高的维生素,LR和LRP中分别达37.10 mg/100 g和27.50 mg/100 g ($P<0.01$)。VE作为抗氧化剂可以阻断细胞中过氧化物的形成^[31],因此,粗壮女贞能有效的清除体内大量有害

自由基,具有抗氧化、抗辐射、增强免疫力的功效。大多数维生素不稳定,在光辐射、氧气、高温等作用下易分解造成损失,尤其是VE在高温环境中对氧气更加敏感,由此推测高温工艺可能是造成LRP中VD₂、VE、β-胡萝卜素和烟酸损失的原因。

3 结论

通过标准方法分别LR和LRP中的营养成分与活性成分进行分析比较,发现由于LRP进行了蒸青、发酵、归堆陈化等工艺处理,在一般营养成分中,LR的水分、灰分、粗纤维、蛋白质含量较高于LRP,LR营养价值更高。但经过发酵等工艺处理后,LRP的活性成分显著提高,具有更强药理活性,功能性价值更高。同时,LR和LRP富含K、Ca、Mg等多种矿物质元素、维生素和饱和脂肪酸,EAA/TAA分别为40.30%和43.98%,EAA/NEAA分别为67.48%和78.50%,均满足FAO/WHO推荐的国际标准。

综上所述,LR营养价值高,是典型的“高钾高钙低钠”营养食品,而LRP虽然因加工处理造成部分营养成分流失,但是总体来看影响较小,且加工后的产品活性成分更高,功能价值更好,“高钾高钙低钠”的食用特性更加显著。粗壮女贞产品值得深入开发,具有广阔的市场前景,本研究为粗壮女贞这种植物资源的开发利用和再加工产业发展提供科学依据。

参考文献

- [1] 王瑶,刘银,左浩江,等.粗壮女贞苦丁茶的保健功效研究进展[J].现代预防医学,2017,44(3):424-427,443.
- [2] 中华人民共和国国家卫生健康委员会.卫生部关于同意木犀科粗壮女贞苦丁茶为普通食品的批复[EB/OL]. [2011-12-28].
- [3] 南京中医药大学.中药大辞典[M].上海:上海科学技术出版社,2006.
- [4] 李晶晶,徐佳伊,左浩江,等.粗壮女贞提取物抗甲型流感病毒的作用及机制初探[J].现代预防医学,2022,49(3):503-507.
- [5] 于志龙,张曾,祝瑞雪,等.粗壮女贞苦丁茶提取物的抗氧化活性研究[J].中国食品学报,2017,17(10):234-240.
- [6] 白鸿.保健食品功效成分检测方法[M].北京:中国中医药出版社,2011.
- [7] 崔文燕,刘素香,赵艳敏,等.响应曲面法优化黄花败酱总皂苷提取工艺及体外促进肠平滑肌收缩活性[J].中草药,2016,47(12):2078-2083.
- [8] 杨天友,杨传东,余庆小叶苦丁茶营养成分及生物活性分析[J].食品工业,2020,41(8):323-326.
- [9] 汪治,孟铁兵,梅树模,等.三叶海棠-苦丁茶的生物学特性及其开发利用[J].中医药导报,2006,12(8):90-91.
- [10] PANDEY R, TER B A, VISCHER N O. Quantitative analysis of the effect of specific tea compounds on germination and outgrowth of *Bacillus subtilis* spores at single cell reagents [J]. Food Microbiology, 2015, 45(10): 63-70.
- [11] 孙怡.冬青苦丁茶多酚和多糖的提取、分离纯化、结构与抗氧化活性研究[D].南京:南京农业大学,2010.
- [12] 樊伟伟,何进武,陈冬梅,等.海南苦丁茶几种活性成分测定与比较分析[J].食品工程,2017,3:62-64.
- [13] SHU Y, LI J, YANG X P, et al. Effect of particle size on the bioaccessibility of polyphenols and polysaccharides in green tea powder and its antioxidant activity after simulated human digestion [J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2019, 56(3): 1127-1133.
- [14] ALGHAZEER R, ELMANSORI A, SIDATI M, et al. *In vitro* antibacterial activity of flavonoid extracts of two selected Libyan algae against multi-drug resistant bacteria isolated from food products [J]. Journal of Biosciences and Medicines, 2017, 5: 26-48.
- [15] DENG L, YUAN D, ZHOU Z, et al. Saponins from *Panax japonicus* attenuate age-related neuroinflammation via regulation of the mitogen-activated protein kinase and nuclear factor kappa B signaling pathways [J]. Neural Regeneration Research, 2017, 12(11): 1877-1884.
- [16] 姚霞飞,杨晓敏,杨保刚,等.海南产苦丁茶主要营养品质评价与酚类物质组成分析[J].食品安全质量检测学报,2017,8(8):2856-2865.
- [17] 聂玉朋,徐慧,姚明静,等. L-丙氨酸的应用及生产现状概述[J].中国酿造,2021,40(11):26-30.
- [18] ROBINSON E H, WILSON R P, POE W E. Total aromatic amino acid requirement, phenylalanine requirement and tyrosine replacement value for fingerling channel catfish [J]. Journal of Nutrition, 1980, 110: 1805-1812
- [19] LIU D M, TANG S S, SHI Y, et al. Comparison of the amino acid and protein content between peanut meal and fermented peanut peel [J]. Advanced Materials Research, 2011, 343: 1042-1048.
- [20] FAO/WHO. Energy and protein requirement. Report of Joint FAO/WHO [R]. Geneva: WHO, 1973.
- [21] 张建萍,解春芝.不同腐乳酱营养、功能及呈味氨基酸量化表征[J].食品科学,2020,41(6):246-251.
- [22] TALUKDER M A, PREDA M, RYZHOVA L, et al. Heterozygous caveolin-3 mice show increased susceptibility to palmitate-induced insulin resistance [J]. Physiological

- Reports, 2016, 4(6): e12736.
- [23] 李加兴,吴越,陈选,等.多烯酸植物油及其保健功效研究进展[J].食品科学,2014,35(21):350-354.
- [24] ABEDI E, SAHARI M A. Long-chain polyunsaturated fatty acid sources and evaluation of their nutritional and functional properties [J]. Food Science & Nutrition, 2014, 2(5): 433-463.
- [25] FAO/WHO. Fats and oils in human nutrition [J]. Nutrition Reviews, 1995, 53(7): 202-205.
- [26] 马长中,罗章,辜雪冬.林芝砖红绒盖牛肝菌的营养成分分析及评价[J].食品科学,2016,37(24):124-129.
- [27] 李继伟,杨贤庆,潘创,等.琼枝麒麟菜的营养成分分析与评价[J].食品与发酵工业,2020,46(15):265-269.
- [28] 屠玥之,姜启兴,于沛沛,等.发酵牛蒡茶的风味物质与营养成分研究[J].食品工业科技,2014,35(17):337-342.
- [29] 杨天友,李刚凤,罗静,等.梵净山白茶营养成分分析与评价[J].南方农业学报,2016,47(6):1009-1013.
- [30] PELLET P L, YOUNG V R. Nutritional Evaluation of Protein Foods [M]. Tokyo: The United National University Publishing Company, 1980: 26-29.
- [31] YIN C H, ZHANG C, GAO M. Enzyme-catalyzed synthesis of vitamin E succinate using a chemically modified novozym-435 [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2011, 19(1): 135-139.