

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2024.10.027

# 竹笋活性成分及其营养功能研究进展

李欣琪, 李湘銮, 张鹰\*, 钱敏, 白卫东, 赵文红\*  
(仲恺农业工程学院 轻工食品学院, 广东 广州 510225)

**摘要:** 竹笋是我国传统且常见植物, 营养成分丰富, 是一种天然绿色食品, 其蛋白质含量较高, 脂肪和糖分含量低, 含有多种人体必需的微量元素、氨基酸及一些生物活性成分, 如多糖、多酚、甾醇等化合物, 具有滋阴清热、补脾益肺、清热化痰等功效。该文对竹笋生物活性成分进行综述, 并总结竹笋活性成分在调节糖脂代谢、抗氧化、降血脂、抗炎等方面可能存在的机制, 以期提高竹笋的资源利用率, 为竹笋相关活性成分在食品工业中的应用提供更多的参考。

**关键词:** 竹笋; 多糖; 多酚; 甾醇; 营养功能

## Research Progress in Bioactive Ingredients and Nutritional Functions of Bamboo Shoots

LI Xinqi, LI Xiangluan, ZHANG Ying\*, QIAN Min, BAI Weidong, ZHAO Wenhong\*

(College of Food Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, Guangdong, China)

**Abstract:** Bamboo shoots are common plants with rich nutrients in China. They are natural green food, with high protein content and low fat and sugar content, containing a variety of essential trace mineral elements, amino acids, and bioactive components, such as polysaccharides, polyphenols, and sterols, which endow bamboo shoots with the effects of nourishing yin and clearing heat, tonifying spleen and invigorating lung, and removing heat and resolving phlegm. The bioactive components of bamboo shoots and the possible mechanisms of the active components in regulating glucose and lipid metabolism, reducing oxidative stress and inflammation, and lowering blood lipids were introduced, with a view to improving the resource utilization of bamboo shoots and providing more evidence to support the application of active components of bamboo shoots in the food industry.

**Key words:** bamboo shoots; polysaccharide; polyphenol; sterol; nutritional function

引文格式:

李欣琪, 李湘銮, 张鹰, 等. 竹笋活性成分及其营养功能研究进展[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(10): 203-208.

LI Xinqi, LI Xiangluan, ZHANG Ying, et al. Research Progress in Bioactive Ingredients and Nutritional Functions of Bamboo Shoots[J]. Food Research and Development, 2024, 45(10): 203-208.

竹子是可再生的重要资源,也是重要的生态资源、旅游资源和文化资源,其竹笋、竹鞭等均可被利用。竹笋是禾本科竹亚科多年生常绿植物,为竹的嫩芽,其营养价值丰富,是一种具有高纤维、高蛋白、低脂肪等优点的天然绿色食品<sup>[1]</sup>。我国福建沿海地区广泛种植麻竹笋(*Dendrocalamus latiflorus*),并形成了较为完善的产业链<sup>[2]</sup>。竹笋不仅可用作园林观赏植物、轻工原料等,也可作为餐桌上的美味佳肴。古代有“居不可无竹,食不

可无笋”的说法。竹笋营养丰富,不仅含有蛋白质、脂类、膳食纤维、维生素等多种营养元素,还含有多种人体必需的微量元素和氨基酸<sup>[3-4]</sup>。竹笋一般以蒸煮、腌制、发酵等形式食用,其不仅可以食用,还在药物医疗方面广泛应用,这也归因于竹笋提取物中的生物活性成分,如多糖类化合物、酚类化合物、甾醇类化合物等生物活性成分,其在调节糖脂代谢、抗氧化、降血脂、抗炎、减肥和抑制细菌生长等方面发挥着重要的作用<sup>[5-6]</sup>。本

基金项目:广东省驻镇帮镇扶村农村科技特派员项目(KTP20210383)

作者简介:李欣琪(1999—),女(汉),硕士研究生,研究方向:天然产物提取及功能。

\*通信作者:张鹰(1978—),女(汉),副教授,博士研究生,研究方向:天然产物提取及功能;赵文红(1966—),女(汉),教授,博士研究生,研究方向:天然产物提取及功能。

文对竹笋的生物活性成分、营养功能等方面进行综述, 以为竹笋的综合应用及功能产品开发提供参考。

## 1 竹笋生物活性成分

竹笋营养丰富、鲜嫩爽口, 备受人们喜爱。竹笋中膳食纤维含量较高、脂肪含量低, 且富含多种人体必需的氨基酸、微量元素和维生素<sup>[4]</sup>。以麻竹笋(*Dendro-*

*calamus latiflorus*)、大叶慈(*Dendrocalamus farinosus*)、马来甜竹笋(*Dendrocalamus. asper*)、金佛山方竹(*Chimonobambusa. utilis*)和雷山方竹(*Chimonobambusa. leishanensis*)为例, 常见竹笋基本营养成分含量见表 1<sup>[7]</sup>。近年来, 国内外研究竹笋的生物活性成分主要集中在多糖、多酚、甾醇等化合物, 这些化学成分也决定了竹笋的生物活性及其营养价值。

表 1 竹笋基本营养成分含量  
Table 1 Basic nutrients in bamboo shoots

竹种	膳食纤维含量/ (g/100 g)	蛋白质含量/ (g/100 g)	脂肪含量/ (g/100 g)	还原糖含量/ (g/100 g)	总糖含量/ (g/100 g)	黄酮含量/ ( $\mu$ g/100 g)
麻竹笋 <i>D. latiflorus</i>	0.84±0.02	2.22±0.02	0.16±0.01	3.10±0.14	3.40±0.14	489.32±13.91
大叶慈 <i>D. farinosus</i>	0.67±0.01	2.59±0.03	0.14±0.01	1.60±0.07	1.40±0.09	4.6.98±17.50
马来甜竹笋 <i>D. asper</i>	0.90±0.04	2.06±0.02	0.20±0.04	2.80±0.03	2.90±0.04	454.16±9.28
金佛山方竹 <i>C. utilis</i>	0.09±0.01	3.29±0.07	0.07±0.00	1.10±0.10	1.80±0.03	187.27±17.19
雷山方竹 <i>C. leishanensis</i>	1.09±0.08	3.54±0.05	0.14±0.01	0.04±0.00	0.19±0.06	141.66±4.68

### 1.1 多糖

竹笋多糖主要包括纤维素、半纤维素、淀粉以及其他一些次要的复合多糖, 如糖蛋白<sup>[8]</sup>。王璿<sup>[9]</sup>研究发现毛竹笋水溶性多糖是一种非均一酸性多糖, 主要由甘露糖、葡萄糖、阿拉伯糖、木糖、鼠李糖、半乳糖 6 种单糖组成。He 等<sup>[10]</sup>研究发现竹笋水溶性多糖由蛋白质和多糖组成, 蛋白质部分由 15 种常见氨基酸组成, 多糖部分由鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、葡萄糖和半乳糖按不同物质的量比组成, 因此竹笋多糖是一种杂多糖-蛋白质复合物。Do 等<sup>[11]</sup>研究发现胞外多糖(exopolysaccharide, EPS)是一种杂多糖, 主要由 D-葡萄糖和 D-甘露糖组成。竹笋多糖组成可能因竹笋品种、状态、提取条件、提取部位不同而存在差异。竹笋多糖有较好的抗氧化活性, 其中, 对 2, 2'-联氮-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)[2, 2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS]阳离子自由基的有效清除能力最佳<sup>[12]</sup>。竹笋多糖具有人体免疫、抗氧化、抗癌、防肿瘤等多种生理活性<sup>[13]</sup>。

### 1.2 多酚

多酚是植物和真菌次生代谢产物, 普遍存在于植物中。研究表明, 多酚具有广泛的生物和药理活性, 如抗氧化应激、炎症反应、胰岛素抵抗、细胞凋亡、细胞增殖等, 从而显示出其潜在的护肝作用<sup>[14]</sup>。多酚是竹笋中重要的抗氧化活性物质, 含量为 602.83~854.07 mg/100 g DW<sup>[4]</sup>。任旺等<sup>[15]</sup>分别采用 60% 甲醇、50% 乙醇、30% 丙酮、乙酸乙酯 4 种有机溶剂提取麻竹笋中的多酚类化合物, 对提取出的总酚含量进行测定, 分别为 4.49、4.85、4.97、2.22 mg/g, 并通过气相色谱-质谱联用法对其进行挥发性成分分析, 研究发现不同极性的有机溶剂对麻竹笋多酚类提取物的组成和组分含量有较大影响, 共计鉴定出 24 种挥发性化合物, 其中醛类化

合物含量最高且种类最丰富。Yang 等<sup>[14]</sup>从毛竹笋茎部位分离提取出多酚类化合物, 其提取物含有的主要成分包括儿茶素、绿原酸、咖啡酸和对香豆酸, 研究发现这些提取物对黑色素生成具有抑制作用及抗氧化能力, 提取物能够缓解苯肼诱导的氧化应激和炎症反应。

### 1.3 甾醇

作为次生代谢产物, 植物甾醇广泛存在于植物中<sup>[16]</sup>, 竹笋是植物甾醇的良好来源, 竹笋中常见的植物甾醇有  $\beta$ -谷甾醇、胆甾醇、麦角甾醇、豆甾醇、菜油甾醇以及谷甾烷醇, 其中  $\beta$ -谷甾醇约占总甾醇含量的 81%<sup>[17]</sup>。研究表明, 竹笋具有为人体提供功能性植物甾醇的潜力, 竹笋壳中总甾醇含量高于竹笋, 竹笋中总甾醇含量从基部到尖部呈递增趋势。植物甾醇具有亲脂性, 因此主要在竹笋油中富集<sup>[8]</sup>。竹笋甲醇提取物中可溶性二氯甲烷对金黄色葡萄球菌的生长有抑制作用, 经核磁共振和质谱鉴定, 其活性成分为豆甾醇和二氢油菜甾醇, 此外, 从空间构效关系来看, 这些植物甾醇的活性取决于它们的侧链结构<sup>[18]</sup>。

### 1.4 其他活性成分

除了上述生物活性成分, 竹笋中还含有其他活性成分, 如膳食纤维、矿物质、蛋白质等。

膳食纤维作为人体必需的第七大营养素, 虽然不提供能量, 但是可改善身体的营养状况, 与水、蛋白质、脂肪、碳水化合物、无机盐(矿物质)和维生素共同调节身体功能<sup>[19]</sup>。竹笋含有丰富的膳食纤维, 主要由多糖、低聚糖、木质素和植物基质组成<sup>[20]</sup>, 具有较高的营养价值和生物活性功能, 是一种极具开发潜力的食品原料<sup>[21]</sup>。人们适量食用膳食纤维, 不仅可以吸收葡萄糖、降低血糖值, 还能降低人体对脂质吸收, 进而起到调节血脂的作用。膳食纤维还可以促进胃肠蠕动、减少胃肠道疾病、预防结肠癌<sup>[22]</sup>。

矿物质在人体代谢中必不可少,作为许多酶的基本辅因子,影响着很多代谢过程,竹笋是矿物质元素的良好来源,在人体代谢和稳态中具有多种功能和潜力,对人体正常的结构以及生理生长、维持机体的激素和调节功能十分重要,是肌肉和骨骼构建中的重要组成部分<sup>[23]</sup>。

蛋白质作为人体所有细胞和组织的重要组成部分,参与大多数生物过程<sup>[24]</sup>。在竹笋发酵过程中,微生物利用其中的糖、蛋白质、氨基酸生长繁殖。利用蛋白质分解成短肽和氨基酸的同时,微生物还会产生大量用于代谢的酶,这使得微生物蛋白质含量提高,进而使得竹笋中的蛋白质含量大大提高,几乎是未发酵的两倍,竹笋发酵后,其蛋白质具有更高的营养价值<sup>[25]</sup>。

## 2 营养功能

早在 2500 年前,竹笋已被用于传统医学中,因此赢得了“森林蔬菜之王”的称号<sup>[26]</sup>。现代医学及营养学研究表明,竹笋具有较高的药用价值,具有潜在的调节糖脂代谢、抗氧化、降血脂和抗炎等营养功能。

### 2.1 调节糖脂代谢

研究发现,竹笋具有调节糖脂代谢的功能。竹笋中含有丰富的膳食纤维(dietary fiber, DF),是一种功能性食品多糖原料<sup>[27]</sup>。DF 通过减少能量摄入或控制血糖,进而降低 II 型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)的风险,还可以减少血糖偏移和降低胰岛素反应,从而具有良好的降低血糖的能力<sup>[28]</sup>。此外,竹笋中的黄酮化合物也有降糖活性。Wang 等<sup>[29]</sup>基于人肝细胞-胰岛素抵抗(human hepatocellular carcinomas-insulin resistance, HepG2-IR),通过磷脂酰肌醇 3-激酶/蛋白激酶 B(phosphatidylinositol 3-kinase/protein kinase B, PI3K/Akt)通路以剂量依赖的方式上调 PI3K、Akt、胰岛素受体底物-1(insulin receptor substrate-1, IRS-1)和葡萄糖转运蛋白 4(glucose transporter 4, GLUT4)的蛋白表达,因此具有有效的降糖活性。Luo 等<sup>[30]</sup>研究发现,与正常小鼠相比,添加膳食纤维能使小鼠体质量增幅最小,总胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白-胆固醇降低,而高密度脂蛋白胆固醇可增加,改善了高脂血症小鼠脂质代谢紊乱的状况。Li 等<sup>[31]</sup>发现用竹笋纤维(bamboo shoots dietary fiber, BSF)喂养小鼠,其能调节小鼠胰岛素敏感性。在 BSF 喂养的小鼠中,胰岛素靶组织中 Akt 磷酸化水平增高,而过氧化物酶体增殖物激活受体  $\gamma$ -辅激活因子 1- $\alpha$ (peroxisome proliferator-activated receptor  $\gamma$ -coactivator 1- $\alpha$ , PGC-1 $\alpha$ )蛋白表达水平越高,单磷酸腺苷激活蛋白激酶[adenosine 5'-monophosphate-activated protein kinase, AMPK]和 P38 丝裂原活化蛋白激酶(P38 mitogen-activated protein kinase, P38)磷酸化水平也越高,表明了 BSF 通过增强胰岛素

信号通路和激活 PGC-1 $\alpha$  来改善高脂饮食小鼠的胰岛素敏感性。

### 2.2 抗氧化活性

抗氧化剂在人体健康中起着重要作用,它不仅可以降低患病风险,还有保护身体免受氧化损伤的能力<sup>[32]</sup>。研究表明,竹子具有抗氧化性,经常食用竹子及其副产物可能会降低罹患与年龄相关的慢性疾病的危险,如心血管疾病、阿尔茨海默病、帕金森病和糖尿病等。竹叶和竹笋中的主要抗氧化剂为酚类、维生素 C、维生素 E 以及矿物元素<sup>[33]</sup>。自由基清除能力和铁还原力一般是抗氧化活性的体现<sup>[29]</sup>。万仁口等<sup>[34]</sup>研究发现,竹笋膳食纤维乙醇提取液的 1,1 苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除率、ABTS<sup>+</sup>自由基清除率及铁还原能力与纤维含量呈现显著的正相关性,因此其具有一定抗氧化活性。Milani 等<sup>[35]</sup>使用微波辅助提取(microwave-assisted extraction, MAE)法从毛竹笋(*Phyllostachys edulis*)中回收多酚,在微波辐射的最佳条件(105 °C, 4 min, 料液比为 6.25 mg/mL)下,从毛竹笋中获得总酚含量比常规提取方法获得的总酚量高约 8 倍,而 DPPH、ABTS<sup>+</sup>自由基清除能力和铁离子还原能力(ferric reducing antioxidant power, FRAP)显著提高,因此 MAE 增强了毛竹提取物的抗氧化性能。Dai 等<sup>[36]</sup>从毛竹笋壳中提取粗多糖,其通过保护细胞膜结构,维持线粒体膜电位,提高细胞内抗氧化酶活性,通过蛋白免疫印迹试验,表明多糖可能通过 Keap1/Nrf2 信号通路上调抗氧化酶的表达,从而缓解 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 诱导的细胞损伤,因此竹笋多糖在功能食品行业中可作为一种有效的抗氧化剂。

### 2.3 降血脂活性

研究发现,竹笋膳食纤维具有降血脂活性。Luo 等<sup>[30]</sup>研究发现,竹笋中的膳食纤维可以改善高脂血症小鼠脂质代谢紊乱的状况,与正常组相比,总膳食纤维添加组小鼠体质量增幅最小(2.84%),总胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白-胆固醇分别降低 31.53%、21.35% 和 31.53%;而高密度脂蛋白胆固醇增加 37.6%。竹笋提取物已被证实具有体外抑制血管紧张素转换酶的活性,Liu 等<sup>[37]</sup>研究发现,竹笋肽(bamboo shoot peptide, BSP)具有降压、改善氧化应激状态、提高血清 NO 水平和肾脏一氧化氮合酶(nitric oxide synthase, NOS)活性的作用。BSP 能显著降低高脂血症大鼠的总胆固醇(total cholesterol, TC)、甘油三酯(triglyceride, TG)、低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDLc)以及丙二醛(malonaldehyde acid, MDA)含量,降低原因可能与抑制 Asp-Tyr ACE 能力和酚类化合物脂肪酸合成酶活性有关。综上,竹笋肽对自发性高血压大鼠有抗高血压作用,对高脂饮食诱导大鼠有降血脂作用。

## 2.4 抗炎活性

竹笋油(bamboo shoot oil, BSO)对非细菌性前列腺炎(nonbacterial prostatitis, NBP)有保护作用。Lu等<sup>[38]</sup>采用消脂灵诱导的大鼠实验性非细菌性前列腺炎模型,通过前列腺质量、酸性磷酸酶、卵磷脂小体密度(density of lecithin corpuscles, DLCC)、白细胞计数(white blood cell count, WBC)和前列腺组织形态学指标评价BSO的抗前列腺炎作用,研究发现BSO能明显抑制前列腺绝对质量、前列腺指数、总酸性磷酸酶、前列腺酸性磷酸酶、WBC及30个上调基因的表达水平,而BSO能显著增加DLCC及15个下调基因的表达水平,从组织学方面,BSO治疗显著抑制了NBP诱导的大鼠病变的严重程度。因此,BSO可能有助于治疗NBP,它可能通过影响炎症细胞因子及其受体和相关基因的表达来抑制NBP患者的前列腺炎。

Li等<sup>[39]</sup>从毛竹笋(*Phyllostachys edulis*)中分离出一种水溶性膳食纤维(soluble dietary fibre, BSDF-1),并使用葡聚糖硫酸钠(dextran sulfate sodium, DSS)诱导的结肠炎小鼠模型研究水溶性膳食纤维的抗炎活性,发现BSDF-1可显著减轻结肠病理损伤,抑制炎症信号通路的激活,包括核因子- $\kappa$ B和NLR家族pyrin结构域的3条炎症小体通路。它恢复了紧密连接蛋白的mRNA表达,包括带状闭合蛋白-1(zonula occludens-1)、闭合蛋白-1(claudin-1)和咬合蛋白(occludin),因此BSDF-1可以抑制炎症信号通路的激活,恢复肠屏障功能,结果表明BSDF-1可能是一种有价值的食物补充剂或营养制剂,用以管理和预防溃疡性结肠炎。

## 2.5 其他活性

竹笋除具有调节糖脂代谢、抗氧化活性、降血脂活性和抗炎活性以外,还具有抑制细菌生长、吸附杂质、降低脂肪吸收等功能。

Tanaka等<sup>[40]</sup>从竹笋壳中提取的化合物,经核磁共振和质谱鉴定,其活性成分为豆甾醇和二氢油菜甾醇,通过抗菌试验发现其甲醇提取物中的化合物对金黄色葡萄球菌的生长有抑制作用,这些化合物抑制了金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的生长<sup>[18]</sup>。唐昊等<sup>[41]</sup>通过索式抽提法从慈竹笋壳中提取活性物质,采用K-B抑菌圈法测定慈竹笋壳提取物的抑菌效果,进一步发现慈竹笋壳提取物能够有效抑制大肠杆菌、肺炎克雷伯菌、粪肠球菌、金黄色葡萄球菌4种细菌,而对桔青霉菌、海绵胶煤炱菌两种真菌无明显抑制作用,与Tanaka等<sup>[40]</sup>结果一致,竹笋提取物对细菌具有抑制效果,这可能是因竹笋中生物活性成分发挥了作用,从而抑制了细菌的生长,因此,竹笋壳的提取物及其活性化合物具有潜在的抗菌材料价值。

Zhu等<sup>[42]</sup>将竹笋壳转化为吸附剂,研究吸附剂用量、亚甲基蓝(methylene blue, MB)浓度、吸附时间、温

度和初始pH值对竹笋壳吸附亚甲基蓝性能的影响,结果表明竹笋壳的吸附效率受多种操作参数的影响,最大吸附量为29.88 mg/g,竹笋皮可以作为吸附污水中MB的吸附剂,对污水中MB的吸附效率较高。进一步证明了竹笋壳是一种有潜力的吸附剂,可用于去除水溶液中的阳离子染料。

Zeng等<sup>[43]</sup>研究发现在油炸鱼丸时,在其面糊中添加6%的发酵竹笋膳食纤维(bamboo shoot dietary fiber, BSDF),可以改善油炸鱼丸的感官品质,油炸炸制鱼丸的外皮及中心的脂肪含量分别从25.5%和2.4%下降到17.7%和1.3%,进一步证明了在油炸时,面糊中添加BSDF可以显著减少脂肪吸收。

## 3 结论与展望

竹类植物的根、茎、叶、芽及其种子在临床均有应用,但因品种不同,其化学成分组成也有所差别,特征组分结构也有待完善。国内外研究人员通过大量试验虽能证明各品种竹笋提取物具有调节糖脂代谢、抗氧化活性、降血脂活性、抗炎活性等,但缺少对竹笋及其提取物更进一步探究及应用,如果对这些功能性成分进行研究改进,可使竹笋及其提取物进一步成为高附加值的产品,这将促进其在食品添加剂、药品和化妆品等行业的应用。综上所述,作为一种易获得的资源,竹笋所具有的营养功能,有非常良好的食疗价值,对开发和利用各个品种竹笋中生物活性物质具有广阔的发展前景。

## 参考文献:

- [1] 吴金松, 郑炯, 夏雪娟, 等. 大叶麻竹笋多糖分离纯化工艺[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 80-84.  
WU Jinsong, ZHENG Jiong, XIA Xuejuan, et al. Separation and purification of polysaccharides from ma bamboo shoots(*Dendrocalamus latiflorus*)[J]. Food Science, 2015, 36(2): 80-84.
- [2] 曾庆旻. 不同施肥处理对麻竹笋产量的影响[J]. 福建林业科技, 2022, 49(2): 49-52, 64.  
ZENG Qingmin. Effect of different fertilizer composition on shoot yield of *Dendrocalamus latiflorus*[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2022, 49(2): 49-52, 64.
- [3] 朱潇, 刘艳江, 伍明理, 等. 雷山方竹笋营养成分对比分析[J]. 经济林研究, 2022, 40(3): 273-280.  
ZHU Xiao, LIU Yanjiang, WU Mingli, et al. Comparative analysis of nutrients from bamboo shoots of *Chimonobambusa leishanensis* [J]. Non-Wood Forest Research, 2022, 40(3): 273-280.
- [4] 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.
- [5] CHOUDHURY D, SAHU J K, SHARMA G D. Value addition to bamboo shoots: A review[J]. Journal of Food Science and Technology, 2012, 49(4): 407-414.
- [6] BEHERA P, BALAJI S. Health benefits of fermented bamboo shoots: The twenty-first century green gold of northeast India[J]. Ap-

- plied Biochemistry and Biotechnology, 2021, 193(6): 1800-1812.
- [7] 伍明理, 代朝霞, 刘艳江, 等. 贵州 11 种竹笋营养成分分析及品质比较[J/OL]. 分子植物育种 (2022-05-31)[2024-02-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220530.1433.006.html>.
- WU Mingli, DAI Chaoxia, LIU Yanjiang, et al. Analysis of Nutritional Components and Quality Comparison of 11 Edible Bamboo Shoots in Guizhou Province[J/OL]. Molecular Plant Breeding (2022-05-31) [2024-02-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220530.1433.006.html>.
- [8] WANG Y L, CHEN J, WANG D M, 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.
- [9] 王臻. 毛竹笋多糖对脂代谢和肠道菌群的调节作用[D]. 南京: 南京财经大学, 2021.
- WANG Li. Effects of bamboo shoot polysaccharides on lipid metabolism and intestinal flora[D]. Nanjing: Nanjing University of Finance & Economics, 2021.
- [10] HE S D, WANG X, ZHANG Y, et al. Isolation and prebiotic activity of water-soluble polysaccharides fractions from the bamboo shoots (*Phyllostachys praecox*) [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 151: 295-304.
- [11] DO T B T, TRAN T A L, TRAN T V T, et al. Novel exopolysaccharide produced from fermented bamboo shoot-isolated *Lactobacillus fermentum*[J]. Polymers, 2020, 12(7): 1531.
- [12] 周芷冉, 刘晓翠, 田瑾. 竹笋多糖复合酶法提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2022, 41(6): 48-55.
- ZHOU Zhiran, LIU Xiaocui, TIAN Jin. Study on compound enzymatic extraction technology and antioxidant activity of polysaccharides from bamboo shoot[J]. Journal of Xihua University (Natural Science Edition), 2022, 41(6): 48-55.
- [13] 孙杰, 吴金松, 郑炯. 竹笋多糖的分离提取与构效关系研究进展[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(4): 16-19.
- SUN Jie, WU Jinsong, ZHENG Jiong. Study progress of the separation of bamboo shoots polysaccharide extraction and structure-activity relationship[J]. Cereals & Oils, 2016, 29(4): 16-19.
- [14] YANG J H, CHOI M H, NA C S, et al. Bamboo stems (*Phyllostachys nigra* variety henosis) containing polyphenol mixtures activate nrf2 and attenuate Phenylhydrazine-Induced oxidative stress and liver injury[J]. Nutrients, 2019, 11(1): 114.
- [15] 任旺, 叶秀娟, 李婷婷, 等. 麻竹笋中多酚类化合物的提取及挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2014, 35(16): 120-123.
- REN Wang, YE Xiujian, LI Tingting, et al. Analysis of the volatile components in polyphenol compounds extracted from *Dendrocalamus latiflorus* shoots[J]. Food Science, 2014, 35(16): 120-123.
- [16] MARTINS I R, ONUKI J, MIYAMOTO S, et al. Characterization of oxyphytosterols generated by  $\beta$ -sitosterol ozonization[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2020, 689: 108472.
- [17] 陈如寿, 郑旭煦, 殷钟意, 等. 竹笋甾醇和膳食纤维的制取方法研究进展[J]. 竹子研究汇刊, 2011, 30(3): 62-65, 70.
- CHEN Rushou, ZHENG Xuxu, YIN Zhongyi, et al. Reviews on methods of extracting sterol and dietary fiber from bamboo shoots [J]. Journal of Bamboo Research, 2011, 30(3): 62-65, 70.
- [18] TANAKA A, SHIMIZU K, KONDO R. Antibacterial compounds from shoot skins of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*)[J]. Journal of Wood Science, 2013, 59(2): 155-159.
- [19] WU W J, HU J, GAO H Y, et al. The potential cholesterol-lowering and prebiotic effects of bamboo shoot dietary fibers and their structural characteristics[J]. Food Chemistry, 2020, 332: 127372.
- [20] YANG J L, WU L R, YANG H M, et al. Using the major components (cellulose, hemicellulose, and lignin) of *Phyllostachys praecox* bamboo shoot as dietary fiber[J]. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 2021, 9: 669136.
- [21] 刘欣, 姜鹏飞, 傅宝尚, 等. 竹笋膳食纤维的提取、生理功能特性及其在食品中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(3): 354-362.
- LIU Xin, JIANG Pengfei, FU Baoshang, et al. Extraction and physiological functionality of dietary fiber from bamboo shoots and its application in food[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(3): 354-362.
- [22] 万仁口, 李功景, 贺杨正, 等. 竹笋膳食纤维的结构特性及其功能性质[J]. 中国食品学报, 2021, 21(5): 75-82.
- WAN Renkou, LI Gongjing, HE Yangzheng, et al. Structural and functional properties of dietary fiber from bamboo shoots[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(5): 75-82.
- [23] CHONGTHAM N, BISHT M S, SANTOSH O, et al. Mineral elements in bamboo shoots and potential role in food fortification[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2021, 95: 103662.
- [24] GONG Z Q, TANG Y Y, MA N N, et al. Applications of DNA-functionalized proteins[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(23): 12911.
- [25] TANG J J, ZHANG Z X, ZHENG S L, et al. Changes of main nutrient components and volatile flavor substances in processing of canned bamboo shoots[J]. Fermentation, 2021, 7(4): 293.
- [26] SINGHAL P, BAL L M, SATYA S, et al. Bamboo shoots: A novel source of nutrition and medicine[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2013, 53(5): 517-534.
- [27] 郑洪梨, 刘俊辰, 徐巧玲, 等. 竹笋膳食纤维提取、功能特性及应用研究进展[J]. 食品工业, 2022, 43(10): 239-244.
- ZHENG Hongli, LIU Junchen, XU Qiaoling, et al. Research progress on the extraction, functional properties and application of bamboo shoots dietary fiber[J]. The Food Industry, 2022, 43(10): 239-244.
- [28] TANG C D, WU L R, ZHANG F S, et al. Comparison of different extraction methods on the physicochemical, structural properties, and *in vitro* hypoglycemic activity of bamboo shoot dietary fibers[J]. Food Chemistry, 2022, 386: 132642.
- [29] WANG Y B, ZHANG Y L, CHENG J W, et al. Efficient purification of flavonoids from bamboo shoot residues of *Phyllostachys edulis* by macroporous resin and their hypoglycemic activity[J]. Food Chemistry: X, 2022, 16: 100505.
- [30] LUO X L, WANG Q, ZHENG B D, et al. Hydration properties and binding capacities of dietary fibers from bamboo shoot shell and its hypolipidemic effects in mice[J]. Food and Chemical Toxicology, 2017, 109: 1003-1009.
- [31] LI X F, FU B T, GUO J, et al. Bamboo shoot fiber improves insulin sensitivity in high-fat diet-fed mice[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 49: 510-517.
- [32] KURNIA D, AJIATI D, HELIAWATI L, et al. Antioxidant properties and structure-antioxidant activity relationship of *Allium* species leaves[J]. Molecules, 2021, 26(23): 7175.
- [33] NIRMALA C, BISHT M S, BAJWA H K, et al. Bamboo: A rich source of natural antioxidants and its applications in the food and pharmaceutical industry[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 77: 91-99.
- [34] 万仁口, 贺杨正, 李功景, 等. 酶解制备竹笋可溶性膳食纤维及其抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2021, 21(3): 153-160.
- WAN Renkou, HE Yangzheng, LI Gongjing, et al. Preparation and antioxidant activity of bamboo shoot soluble dietary fiber extracted

- by enzyme method[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(3): 153-160.
- [35] MILANI G, CURCI F, CAVALLUZZI M M, et al. Optimization of microwave-assisted extraction of antioxidants from bamboo shoots of *Phyllostachys pubescens*[J]. Molecules, 2020, 25(1): 215.
- [36] DAI J, XIAO Z Q, LI J J, et al. The structural characteristic of bamboo shoot shell polysaccharides extracted using ultrasound-assisted phosphotungstic acid hydrolysis and its protection against cell oxidative injury[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2023, 58(4): 2115-2129.
- [37] LIU L L, LIU L Y, LU B Y, et al. Evaluation of antihypertensive and antihyperlipidemic effects of bamboo shoot angiotensin converting enzyme inhibitory peptide *in vivo*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(45): 11351-11358.
- [38] LU B Y, CAI H F, HUANG W S, et al. Protective effect of bamboo shoot oil on experimental nonbacterial prostatitis in rats[J]. Food Chemistry, 2011, 124(3): 1017-1023.
- [39] LI Q, WU W J, FANG X J, et al. Structural characterization of a polysaccharide from bamboo (*Phyllostachys edulis*) shoot and its prevention effect on colitis mouse[J]. Food Chemistry, 2022, 387: 132807.
- [40] TANAKA A, KIM H J, ODA S, et al. Antibacterial activity of moso bamboo shoot skin (*Phyllostachys pubescens*) against *Staphylococcus aureus*[J]. Journal of Wood Science, 2011, 57(6): 542-544.
- [41] 唐昊, 马洪霜, 王昌吉, 等. 应用液相色谱-串联质谱测定慈竹笋壳提取物成分及其抑菌活性[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(10): 59-64.
- TANG Hao, MA Hongshuang, WANG Changji, et al. Components of *Bambusa emeiensis* shoot shell extracts with LC-MS/MS widely targeted metabolomics and their antibacterial activity[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2021, 49(10): 59-64.
- [42] ZHU L, ZHU P H, YOU L J, et al. Bamboo shoot skin: Turning waste to a valuable adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solution[J]. Clean Technologies and Environmental Policy, 2019, 21(1): 81-92.
- [43] ZENG H, CHEN J W, ZHAI J L, et al. Reduction of the fat content of battered and breaded fish balls during deep-fat frying using fermented bamboo shoot dietary fiber[J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 73: 425-431.

加工编辑: 刘艳美  
收稿日期: 2023-02-20