DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260113002
引用格式: 韩晓磊, 梁珏钦, 程小梅, 等. 南荻笋营养功能成分及食品加工资源化利用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(15): 3–16.
Han Xiaolei, Liang Jueqin, Cheng Xiaomei, et al. Research progress on nutritional and functional components and resource utilization in food processing of *Triarrhena lutarioriparius* shoots [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(15): 3–16. (in Chinese with English abstract).

南荻笋营养功能成分及食品加工资源化利用研究进展

韩晓磊[1], 梁珏钦[1], 程小梅[1], 何 双[1], 范 伟[2], 张博宁[3], 杨国舜[4], 莫妮娜[5], 熊立波[6], 陈剑宝[6], 吕慧英[1*]

(1. 湖南省农业科学院湖南省农产品加工与质量安全研究所, 洞庭实验室, 长沙 410125; 2. 湖南农业大学食品科学技术学院, 长沙 410128; 3. 沅江市芦小妹食品有限公司, 沅江 413000; 4. 湖南博大天能实业股份有限公司, 沅江 413000; 5. 湖南健食源食品有限公司, 沅江 413100; 6. 沅江市农业农村局, 沅江 413000)

摘 要: 南荻笋是我国特有物种南荻幼苗的嫩茎, 营养价值丰富, 具有高膳食纤维、低脂肪、高钾低钠等特点, 作为洞庭湖区传统的野生水生蔬菜, 深受居民大众的喜爱。南荻笋产业是湖南省沅江市的“一县一特”主导产业, 但长期受制于采摘期短、不耐贮藏和加工工艺落后等瓶颈问题, 阻碍了进一步发展。为有效提升产业发展动能, 促进南荻食品产业转型升级。本文对南荻笋的碳水化合物、蛋白质和氨基酸、矿物质元素、膳食纤维等基本营养成分进行分析讨论, 重点探讨了南荻笋的多酚、黄酮、低聚木糖等功能性成分及其生物活性, 同时对精深加工、功能性成分提取、副产物综合利用等进行了深入剖析, 形成了较为系统的研究框架。本综述可为南荻笋资源的高值化利用和产业开发提供理论支撑与技术路径, 促进南荻笋产业健康高质量发展。

关键词: 南荻笋; 沅江芦笋; 营养品质; 功能成分; 资源利用
中图分类号: TS255.3 **文献识别码:** A **文章编号:** 2095–0381(2026)15–0003–14

Research progress on nutritional and functional components and resource utilization in food processing of *Triarrhena lutarioriparius* shoots

HAN Xiao-Lei[1], LIANG Jue-Qin[1], CHENG Xiao-Mei[1], HE Shuang[1], FAN Wei[2], ZHANG Bo-Ning[3], YANG Guo-Shun[4], MO Ni-Na[5], XIONG Li-Bo[6], CHEN Jian-Bao[6], LV Hui-Ying[1*]

收稿日期: 2026-01-13
基金项目: 湖南省重点研发计划项目(2023NK2040, 2024JK2142); 湖南省农业科技创新资金项目(2026CX87); 芙蓉计划湖南省企业科技创新创业团队支持项目; 国家农业优势特色产业集群-湘南“供粤港澳”蔬菜产业集群项目(农办计财〔2023〕10 号, 湘农发〔2025〕61 号, 湘农发〔2026〕35 号)
第一作者: 韩晓磊(1987—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为特色农产品加工与储运保鲜。E-mail: 82110335@qq.com
***通信作者:** 吕慧英(1981—), 女, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品加工与质量安全。E-mail: lhy110300@163.com

(1. *Hunan Institute of Agricultural Product Processing and Quality Safety*, *Hunan Academy of Agricultural Sciences*, *Dongting Laboratory*, *Changsha* 410125, *China*; 2. *College of Food Science and Technology*, *Hunan Agricultural University*, *Changsha* 410128, *China*; 3. *Yuanjiang Luxiaomei Food Co.*, *Ltd.*, *Yuanjiang* 413000, *China*; 4. *Hunan Boda Tianneng Industrial Co*., *Ltd*., *Yuanjiang* 413000, *China*; 5. *Hunan Jianshiyuan Food Co*., *Ltd*., *Yuanjiang* 413100, *China*; 6. *Yuanjiang Bureau of Agriculture and Rural Affairs*, *Yuanjiang* 413000, *China*)

ABSTRACT: *Triarrhena lutarioriparius* shoots is the tender young stem of *Triarrhena lutarioriparius*, an endemic plant species native to China. It boasts abundant nutritional value, characterized by high dietary fiber, low fat, and a high-potassium and low-sodium profile. As a traditional wild aquatic vegetable in the Dongting Lake region, it enjoys wide popularity among local residents. The *Triarrhena lutarioriparius* shoots industry serves as the leading "one county, one specialty" industry in Yuanjiang City, Hunan Province. Nevertheless, its further development has long been hampered by bottlenecks including a short harvesting period, poor storability and backward processing technologies. To effectively boost the development momentum of the industry and promote the transformation and upgrading of the *Triarrhena lutarioriparius* shoots food industry, this review analyzed and discussed the basic nutritional components of *Triarrhena lutarioriparius* shoots, such as carbohydrates, proteins and amino acids, mineral elements and dietary fiber. It focused on functional components including polyphenols, flavonoids and xylooligosaccharides as well as their biological activities, and conducted in-depth dissection of intensive product processing, functional component extraction and comprehensive by-product utilization, thereby establishing a relatively systematic research framework. This review can provide theoretical support and technical pathways for the high-value utilization and industrial development of *Triarrhena lutarioriparius* shoots resources, and facilitate the sound and high-quality development of the *Triarrhena lutarioriparius* shoots industry.

KEY WORDS: *Triarrhena lutarioriparius* shoots; *Miscanthus lutarioriparius*; nutritional quality; functional components; resource utilization

0 引 言

南荻笋(*Triarrhena lutarioriparius* shoots)是禾本科芒属荻种水陆两生草本植物南荻(*Triarrhena lutarioriparius*)的幼苗嫩茎[1], 类似竹笋, 被人形象地称为芦笋, 又名芦苇笋或沅江芦笋[2−3]。南荻笋一般指未经加工的新鲜南荻的幼苗嫩茎, 而沅江芦笋通常是一个固定称谓, 特指在湖南省的沅江市所辖南洞庭芦苇场、漉湖芦苇场等共计 14 个镇(场、街道)范围内的南荻笋或芦苇笋为原料制成的产品[4]。沅江芦笋获国家地理标志产品认证, 源于湿地、特色鲜明、品牌影响力强, 是沅江市"一县一特"农业主导产业[5−6]。南荻是中国特有物种, 常见于长江中下游两湖地区[7], 洞庭湖是我国最重要的南荻主产地, 地处洞庭湖腹地的沅江市是我国最大的南荻高产区, 面积约 45 万亩, 分两批次采摘每年可产约 14 万吨南荻笋[8], 可供开发及利用的资源优势明显。南荻笋具有天然野生、营养丰富、滋味鲜美、食药兼优等特点[9], 作为一种湖区特色水生野生蔬菜, 有着悠久的食用历史。南荻笋含有大量的膳食纤维、多种氨基酸和矿物质, 糖类、蛋白质、维生素等也较为均衡, 功能活性成分如多糖、多酚等含量较高[10−11], 这些成分具有抗炎、抗氧化、抗衰老、抗癌以及改善肠道和增强免疫功能等作用, 对人体健康起到保驾护航作用[12−13](图 1)。

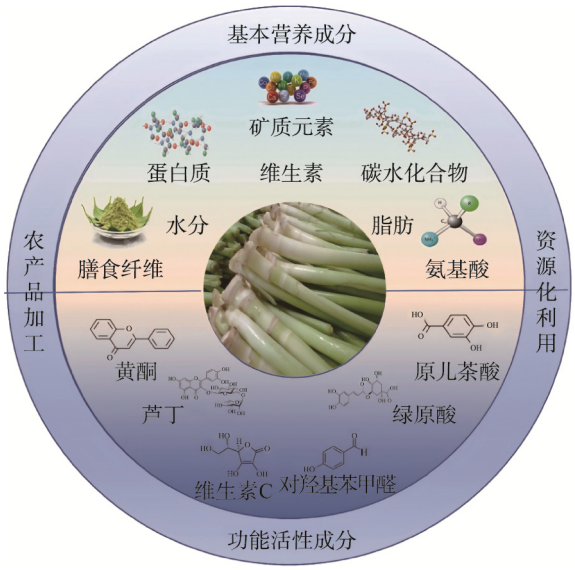


图 1 南荻笋营养成分与功能活性物质

Fig.1 Nutritional components and functional active substances of *Triarrhena lutarioriparius* shoots

南荻笋采收期短, 一般在每年 3 月中下旬, 采摘期约 40 d[14]。采摘后机械损伤、氧化应激等现象极易出现褐变腐烂和木质化进程加快, 造成了营养品质的快速流失和功

能特性的丧失, 导致鲜笋的商品化利用率低下, 经济效益下滑。因此, 目前大部分鲜笋被加工成预制食材等进行销售[15–16], 产品形式单一, 附加值不高。同时, 在加工过程中漂烫、腌制、杀菌等环节均会对南荻笋营养功能成分含量及功效产生较大影响。如热处理会导致热敏性物质的分解和氧化, 并造成蛋白质、还原糖等营养物质流失。腌制处理会使色泽和风味发生较大变化, 发酵代谢产物不可控, 高盐胚也不利于环保。后期杀菌工艺控制不好, 不仅影响口感风味, 而且会产生安全问题。目前, 国内外相关研究多集中在南荻笋产业发展[17–18]、腌制加工[19–20]、预制食材[21]、加工特性[22]研究等方面, 缺乏关于南荻笋营养功能成分及食品加工资源化利用的系统性综述研究。鉴于此, 为系统、客观地评估南荻笋的营养价值、功效关联性、加工特性及其高值化利用潜力, 本研究对南荻笋的基础营养成分、功能性组分及其在食品加工领域的资源化利用途径进行了全面剖析, 并探讨了其产业转型升级的有效路径, 进而提出相应的发展建议。本研究旨在为南荻笋的精深加工技术优化与新产品开发提供理论支撑, 同时对促进其产业链延伸、提高资源利用效率及实现可持续发展具有重要的现实意义。

1　南荻笋基本营养成分

通常基本营养成分主要是指碳水化合物、脂肪、蛋白质、无机盐、水、维生素等人体必需的六大营养素[23], 这些物质是维持生理需求的基本物质, 同时也具有重要的健康功效, 与特质功能性成分起到协同增效作用[24]。膳食纤维作为第七大营养素, 在促进营养物质的消化吸收、改善肠道功能、机体排毒等方面具有独特的功能[25–26]。南荻笋作为湖区优质食材不仅口感清香细腻, 而且营养价值高, 在大健康和食品加工领域受到广泛关注。据团队前期对南荻笋基本营养成分分析检测可知, 南荻笋各类营养成分含量和比例较为均衡。其中, 粗蛋白含量显著高于普通蔬菜, 且氨基酸组成齐全, 含有人体所需的多种必需氨基酸; 总糖以可溶性糖为主, 赋予其特有的清甜风味; 灰分含量较高表明富含钾、钙、镁、铁等多种矿物质元素, 体现出较高的营养价值。此外, 南荻笋的脂肪含量极低, 符合现代人群对低脂健康食品的需求[27–28]。南荻笋的基础营养成分见表 1。

表 1　新鲜南荻笋基本营养成分(%)

Table 1　Basic nutritional components of fresh *Triarrhena lutarioriparius* shoots (%)

名称	水分	灰分	总糖	还原糖	蛋白质	脂肪	膳食纤维
南荻笋	91.86	1.35	3.028	1.094	3.50	0.10	2.589

1.1　碳水化合物和脂肪

碳水化合物是人体主要能量来源, 在果蔬中一般以可溶性糖和膳食纤维等形式存在, 其中非淀粉多糖部分, 如半纤维素和果胶类物质, 在肠道健康调节方面发挥潜在作用。总糖含量是果蔬营养品质的核心评价指标[29], 其中多糖、低聚糖因具有多元生物活性成为研究热点[30], 针对南荻笋中低聚糖和多糖的提取与抗氧化活性研究逐渐增多。肖骏玖等[31]测定鲜南荻嫩茎(南荻笋)总糖含量 3.03%±0.02%、还原糖 1.10%±0.04%, 与笋类及芦笋相当[32–33]。结合表 1 可知, 南荻笋总糖含量适中, 其中还原糖占比较高, 不仅能提供能量, 还能参与加工过程中多种生化反应, 如美拉德反应, 影响加工过程中的色泽与风味形成。加工方式对南荻笋糖类也有一定影响, 如韩晓磊等[19]发现低盐腌制能够使可溶性糖从 0.112 g/100 g 降至 0.056 g/100 g, 这可能与微生物代谢及渗透压相关; 肖骏玖等[31]则发现漂烫可提升总糖(3.08%→3.72%)及还原糖(1.10%→1.86%)含量, 这可能与漂烫增加细胞通透性, 使更多糖类游离出来有关。南荻笋功能性糖类研究也逐渐成为热点, 南荻笋中多糖、低聚木糖等在抗氧化、益生元作用、免疫调节及维持肠道微生态平衡等方面展现出潜力。严建业等[34]采用酶法提取南荻笋多糖, 提取率 4.87%~6.67%, 对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除率为 45.42%; 蒋波等[35]对酶法提取多糖工艺进行优化后, 多糖提取率提升至 66.58 mg/g, DPPH 自由基清除率提升至 65.24%; 陈佩瑶等[36]采用酶法制备功能性低聚木糖, 得率为 29.94%±0.53%。功能性糖类在食品体系中的稳定性及其与其他成分的相互作用, 成为影响其生物利用度和加工适用性的关键因素, 未来需聚焦功能性糖类代谢机制、加工特性的影响及食品配方优化。此外, 南荻笋脂肪含量仅为 0.10%±0.01%[1], 显著低于多种特色蔬菜[37], 脂肪含量极低, 可忽略不计, 对低脂饮食人群友好, 契合当下健康饮食趋势。总之, 南荻笋糖类物质总量优势明显, 结合其低脂特性, 进一步凸显了洞庭湖湿地功能性健康食材价值。

1.2　蛋白质和氨基酸

植物蛋白因其氨基酸组成全面, 且含有人体所需的多种必需氨基酸, 加之部分氨基酸比例接近或超过联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization, FAO)/世界卫生组织(World Health Organization, WHO)推荐必需氨基酸分模式, 与动物蛋白形成优势互补[38]。研究表明, 南荻笋是优质植物蛋白的良好来源。肖骏玖[39]分别测定未漂烫和漂烫南荻嫩茎(南荻笋)蛋白质含量, 分别为 2.90%和 3.55%(湿基), 与竹笋相当[40–42], 氨基酸比值为 66.84 和 71.80, 说明热烫处理可以提高南荻笋蛋白质含量和氨基酸比值系数分; 黄洁[1]测定蛋白质含量 2.84%±0.14%(湿基), 显著高于常见蔬菜[43]。氨基酸组成是蛋白质营养价值的核心[44], 黄洁[1]测定鲜南荻笋总氨基酸含量 1.69%, 必需氨基酸含量 0.621%, 其中, 涵盖 15 种氨基酸及 8 种必需氨基酸, 呈味与药用氨基酸占比较高; 廖颖妍等[45]检测南荻笋总氨基酸含量为 12~15 g/100 g, 必需氨基酸占比超

40%, 赖氨酸、蛋氨酸含量远超普通蔬菜, 氨基酸比值系数65.04, 高于多种常见蔬菜[46]。总之, 南荻笋蛋白含量虽不及豆类等高蛋白植物, 但因其低脂、低热量特性, 在功能性食品开发中具有独特优势。此外, 其蛋白质消化率及生物利用率亦表现出良好潜力, 为植物基蛋白原料提供了新选择。未来需关注植物蛋白的提取和氨基酸消化吸收、加工影响及定向产品开发等方面。

1.3 矿物质元素

矿物质元素对机体代谢至关重要, 能够维持正常的生理功能和酸碱平衡, 参与酶活性调节及细胞信号传导[47]。肖骏玖[39]测定了新鲜南荻嫩茎(南荻笋)干基总灰分含量为 0.36%。进一步对矿质元素进行测定, 表明含 9 种矿质元素, 其中钾(44646.5 mg/kg)、钙(1458.46 mg/kg)、镁(2244.57 mg/kg)含量显著高于常见蔬菜[48], 钠(259.69 mg/kg)含量较低, 微量元素锌含量高达 119.69 mg/kg, 硒(0.702 mg/kg)含量是普通蔬菜数倍以上。廖颖妍等[49]检测沅江荻芦(干基), 表明所含钙375.7~404.1 μg/g、钠 149.3~173.8 μg/g、镁 193.3~208.5 μg/g, 钙、钠、镁的含量明显高于其他元素。以上研究结果的差异可能来源于不同时期以及不同地区的南荻笋样品差异较大。但均能说明南荻笋富含多种有益矿质元素, 其中钾、钙、镁、铁、锌等常量以及部分微量元素含量显著, 尤其钾元素含量突出, 有助于维持电解质平衡和心血管健康; 铁和锌的生物可利用性较高, 对预防贫血及增强免疫功能具有潜在价值。同时, 其钠含量较低, 符合现代低盐饮食需求。重金属安全性方面, 黄洁[1]、严森等[50]、Li 等[51]及姚欣[52]的研究均证实, 南荻笋铅、镉、砷等有害重金属残留均低于国家食品安全限量标准, 表明南荻笋在自然生长环境中具备良好的安全性, 适合作为健康膳食的矿物质补充来源[53]。

综合来看, 南荻笋不仅具备“高钾、高钙、高硒、低钠”的优质矿物质组成特征, 且重金属含量符合安全标准, 在补充人体必需矿物质、契合健康饮食需求方面优势显著。未来需聚焦矿物质形态、加工保留率及生物利用度, 进一步开展南荻笋中矿物质的赋存形态分析, 明确其以有机态或无机态存在的比例及其稳定性; 系统评估不同加工方式对矿物质保留率的影响, 识别关键损失环节; 并通过体外消化模型或动物实验, 测定各元素的实际生物利用效率, 揭示其在人体内的吸收与代谢机制, 为南荻笋营养品质的精准评价与功能导向型产品开发提供更深入的理论依据。

1.4 膳食纤维

植物膳食纤维是存在于植物细胞壁中不能被人体消化酶分解的多糖类物质, 主要包括纤维素、半纤维素、木质素、果胶等成分。其不仅具有促进肠道蠕动、改善便秘等基础生理功能, 还能通过调节肠道菌群结构、降低胆固醇吸收及延缓餐后血糖升高等机制, 发挥多重健康效应。南荻笋总膳食纤维(total dietary fiber, TDF)分为可溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF)与不溶性膳食纤维(insoluble dietary fiber, IDF), 总量及比例是营养功能核心指标[54–55]。南荻笋膳食纤维含量优势显著, 肖骏玖[39]测定鲜南荻嫩茎(南荻笋)TDF 31.81%, 其中 SDF 4.53%、IDF 27.28%, 显著高于常见蔬菜[56]; 田星等[57]采用酶解法对沅江芦笋 SDF 进行提取, 料液比 1:15, 酶解温度 50 ℃, 酶用量 0.9%, pH 4.5, 酶解时间 2.0 h, 在此工艺条件下沅江芦笋 SDF 得率为(5.20±0.05)%, 该膳食纤维的理化特性为持水力 1.9 g/g, 溶胀性 1.02 mL/g, 水溶性 86.3%, 持油力 2.15 g/g, 展现出良好的产品性能; 冯昭仪等[58]采用超声辅助酶法提取可溶性膳食纤维, 在料液比 1:200 (g/mL), α-淀粉酶与糖化酶质量比 5:5, 浸提时间 4 h 条件下, SDF 提取率为16.77%。南荻笋膳食纤维可改善食品质构并维护肠道健康, 日常食用可补充膳食纤维, 有益肠道健康, 契合《中国居民膳食指南》中对膳食纤维的推荐摄入量[59]。综合来看, 南荻笋以膳食纤维总量丰富、可溶性膳食纤维占比高、功能特性优异为核心优势, 在营养供给与食品加工领域均具备较高开发价值。未来需进一步优化提取工艺, 探究加工对膳食纤维影响及与其他营养素协同功效, 拓展应用场景, 为南荻笋营养品质的深度挖掘与产业化转化提供更全面的技术支撑。南荻笋基础营养成分核心功能如表 2 所示。

2 南荻笋功能活性成分

在健康中国建设背景下, 随着消费者对“天然功能性食品”的需求持续升级, 国内功能性食品市场规模年均增长率快速上升, 富含抗氧化、抗炎、抑菌等活性成分的植物源农产品成为研究与开发热点。南荻笋作为湿地特色植物, 其功能活性组分的研究主要聚焦于多酚、黄酮等核心物质的鉴定、功效验证及提取工艺优化, 同时包含对低聚木糖、羟基苯甲醛等特质活性成分的挖掘, 为其在功能食品、天然防腐剂等领域的高值化应用提供了坚实的理论支撑。

2.1 多酚类物质

多酚类物质是南荻笋核心功能活性组分, 以酚酸类物质为主要代表, 现有文献已从组成鉴定、含量特征、生物活性及环境影响等方面形成了较为系统的研究体系, 各研究成果相互补充、印证, 明确了其应用潜力。从组成与含量来看, 张雨林等[60]通过高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)分离鉴定出原儿茶酸、绿原酸、香草酸 3 种关键酚酸, 总酚含量达 0.532 mg/mg, 同时系统性地解析并明确了南荻笋酚酸的化学组成图谱, 为后续相关研究的深入开展提供了参考借鉴。廖倩滢等[13]的研究则进一步揭示了环境因素对多酚含量的影响, 证实洞庭湖湿地独特的微生态环境(季节性水位变化、高有机质土壤), 可使南荻笋酚酸含量较普通芦笋高出 30%~40%, 说

明南荻笋多酚类物质的积累具有显著的环境适应性, 这也是其区别于普通果蔬的重要特点。

表 2　南荻笋基础营养成分核心功能表

Table 2　Core functional table of basic nutritional components in *Triarrhena lutarioriparius* shoots

类别	指标	含量范围	检测方法	核心功能	文献来源
矿质元素	钾	76.9~4464.7 mg/kg	原子吸收光谱法	参与机体渗透压调节、神经肌肉传导及血压调控	[1,31,49]
	钙	375.7~1458.46 mg/kg	原子吸收光谱法	具有助力骨骼、牙齿等健康功能	[1,31,49]
	钠	15.02~259.69 mg/kg	原子吸收光谱法	参与体液渗透压调节与物质转运	[1,31,49]
	镁	140.51~2244.57 mg/kg	原子吸收光谱法	作为多种代谢酶的辅酶参与机体能量代谢, 同时参与骨骼构建、神经肌肉调节等	[1,31,49]
	锌	0.043~119.69 mg/kg	原子吸收光谱法	具有促进生长发育与免疫功能调节等功能	[1,31,49]
	铁	0~10.21 mg/kg	原子吸收光谱法	具有改善缺铁性贫血引起的相关症状等功能	[1,31,49]
	硒	0.01~0.02 mg/100 g	原子吸收光谱法	具有抗氧化、保护细胞免受损伤等功能	[1,31,49]
氨基酸	总氨基酸	12%~26.24%	氨基酸自动分析仪	具有促进蛋白质合成、维持氮平衡等功能	[39,45]
	必需氨基酸占比及比值系数	29.14%~41.29%, 65.04~71.80	氨基酸自动分析仪	人体无法自行合成, 占比和比值越高, 代表蛋白组成越契合人体需求, 蛋白品质越优	[39,45]
膳食纤维	总膳食纤维	25%~30%	酶解法(自动纤维测定系统)	具有促进肠道蠕动, 预防便秘等功能	[58–59]
	可溶性膳食纤维占比	15%~20%	酶解法(自动纤维测定系统)	显示持水持油能力强, 具有改善食品质构与肠道微生态等功能	[58–59]
	膳食纤维持水能力	1.9 g/g	重量法	能够吸附自身水分, 提升饱腹感, 助力肠道健康	[58]
	膳食纤维持油能力	2.15 g/g	重量法	能够吸附油脂, 具备一定减脂潜力	[58]

从生物活性来看, 现有研究已明确南荻笋多酚类物质具备抗氧化和抑菌双重功效。蒋龙波[61]证实南荻笋核心酚酸成分迷迭香酸对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌具有良好抑菌效果, 最低抑菌浓度(minimum inhibitory concentration, MIC)分别为 0.5 mg/mL、0.8 mg/mL, 更重要的是其热稳定性优异, 100 ℃处理 30 min 后保留率仍达 80%, 这一特性使其具备替代化学防腐剂的潜力, 为食品保鲜领域的应用提供了依据; 陈佩瑶[62]则采用南荻笋酚酸提取物进行体外抗氧化实验证明, 提取物对 DPPH 自由基清除率可达 65%以上, 说明提取物通过抑制氧化应激损伤发挥健康保护作用, 契合天然功能性食品的开发需求。综合来看, 现有研究已明确南荻笋多酚类物质的组成、环境适应性及核心功效, 但在抗氧化、抗肿瘤等系统评价仍存在不足, 后续需进一步探究不同加工方式对多酚含量及活性的影响, 同时明确其体内抗氧化、抑菌机制, 为产业化应用提供更全面的理论支撑。

2.2　黄酮类物质

黄酮类化合物作为多酚衍生物, 是南荻笋功能性的重要载体, 其抗氧化、抗炎、抑菌等功效已得到广泛证实[63–64], 现有文献围绕南荻笋黄酮的含量、组成、提取工艺展开了多维度研究, 形成了“含量检测-成分鉴定-工艺优化-生物活性”的完整研究链条。在含量与组成方面, 黄洁[1]测定南荻笋鲜样总黄酮平均含量达 8.20 mg/g, 远高于苹果、香蕉、黄瓜等常见果蔬, 即便与草莓、西红柿等高黄酮果蔬相比也具备一定优势; 张雨林等[60]进一步对干制南荻笋酚类物质进行鉴定, 共检出柚皮苷、芦丁等 6 种黄酮类化合物, 含量范围为 87.29~1340.37 μg/g, 其中柚皮苷占比最高, 显示出显著的成分富集特征。这些黄酮类物质不仅结构多样, 且常以多种糖苷形式存在, 可能与其在植物体内的稳定性和生物利用度密切相关。此外, 不同产地及采收期的南荻笋在黄酮组成上亦呈现较大差异, 暗示环境因子与生长阶段对其次生代谢产物积累具有调控作用。在提取与加工方面。Cao 等[65]采用单因素实验结合 Box-Behnken 设计, 优化超声辅助提取工艺, 确定 70%乙醇、料液比 40:1 (mL/g)、提取时间 60 min 为最优条件, 此时总黄酮得率达 15.88 mg/g, DPPH 自由基清除率达 79.53%, 实现了提取效率与生物活性的协同提升, 同时分离鉴定出 8 种黄酮类化合物, 进一步丰富了其组成研究; 杨乐等[66]通过大孔吸附树脂纯化工艺, 将黄酮纯度从粗提物 12%提升至 45%, 为高纯度黄酮产品开发提供了技术支撑。此外, 谭诗涵等[67]的研究发现, 黄酮类成分在南荻笋表皮富集占比达 60%, 加工去皮会导致黄酮流失率超 40%, 这一发现为实际生产中减少功能成分损失提供了重要参考。从生物活性来看, 南荻笋中黄酮类化合物表现出较强的自由基清除能力与还原力, 其抗氧化效果与其总黄酮含量呈显著正相关。部分黄酮单体如芦丁和柚皮苷被证实通过抑制脂质过氧化和增强抗氧化酶活性, 在体外实验中显示出较强的 DPPH 和 2,2’-联氮双(3-乙基

苯并噻唑啉-6-磺酸)[2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS]自由基清除能力[65]; 同时可调节肠道菌群结构, 促进双歧杆菌和乳酸杆菌增殖, 体现出潜在的益生元特性。抗炎方面, 黄酮类化合物通过调控核因子-κB (nuclear factor-kappa B, NF-κB)等信号通路, 抑制炎症因子如肿瘤坏死因子-α (tumor necrosis factor-alpha, TNF-α)和白细胞介素-6 (Interleukin-6, IL-6)的释放, 从而减轻炎症反应; 在抑菌方面, 南荻笋黄酮对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌等食源性致病菌具有明显抑制作用, 其机制可能涉及破坏细菌细胞膜通透性及干扰蛋白质合成。同时, 这些生物活性可能与黄酮的糖苷结构有关, 糖苷化增强了其稳定性和生物可利用性, 进一步促进了在体内的吸收和功效发挥。

综上所述, 现有研究已充分证实南荻笋黄酮类物质的含量优势与应用潜力, 其提取及纯化工艺也已趋于成熟; 但后续仍需聚焦黄酮类物质进一步挖掘, 解析具体功能机制、不同品种及生长周期的含量差异, 结合加工损耗规律优化生产工艺, 推动活性成分相关研究从实验室成果向大健康产业应用转化。

2.3 其他功能成分

南荻笋除含有多酚和黄酮外, 还含有对羟基苯甲醛等特质功能组分, 进一步拓展了其应用场景[68]。吕慧英等[69]研究证实, 南荻笋中天然对羟基苯甲醛含量丰富, 该成分作为天麻素的前体物质, 已被证实具有抗缺血性脑卒中、抑制血栓形成、保护血脑屏障、抗血小板聚集及抗炎[70–72]等多种生物活性, 为南荻笋在食药保健领域的开发提供了新的方向。此外, 前述研究发现的南荻笋多糖类物质与多酚、黄酮类成分协同作用, 可提升抗氧化与免疫调节活性。同时, 南荻笋中的低聚木糖作为功能性低聚糖, 能够与黄酮、酚酸协同发挥益生功能, 进一步丰富了南荻笋功能活性组分的多样性与协同效应。这些多元功能成分的存在, 使南荻笋具备在功能食品、天然药物、食品添加剂等多个领域的开发潜力, 为其产业价值升级提供了广阔空间。南荻笋功能活性成分的核心功能见表 3。

3 南荻笋营养功能成分的生物活性

南荻笋的功能活性基于多酚、黄酮、低聚木糖、多糖等丰富的功能组分, 在抗氧化、益生、抗肿瘤、抑菌等核心领域已通过体外抗氧化实验、细胞实验、动物模型得到初步验证, 形成了"成分-活性-应用"的较为完整的研究链条, 为其作为功能性食材的产业化转化提供了坚实的科学依据。其功能活性的多样性与显著性, 进一步契合了现代消费者对天然健康食品的核心需求。南荻笋的生物活性物质及其健康益处可见图 2。

3.1 抗氧化活性

南荻笋的抗氧化活性源于多元功能成分的协同作用, 且通过多种评价体系证实其活性强度优于部分蔬菜。在核心活性成分的抗氧化表现方面, 陈佩瑶等[36]通过 DPPH 自由基和 ABTS 阳离子自由基清除能力实验证实, 南荻笋低聚木糖的 IC_{50} 分别为 1.2 mg/mL、1.5 mg/mL, 显著优于市售低聚木糖的 IC_{50} 1.8 mg/mL、2.0 mg/mL。吴颂娜等[73]优化提取工艺得到的低聚木糖对 DPPH 自由基和 ABTS 阳离子自由基的 IC_{50} 分别为 0.817 mg/mL、2.256 mg/mL, 对铁离子还原力的 IC_{50} 为 6.135 mg/mL, 从不同维度验证了其抗氧化潜力, 但两者在 IC_{50} 差异源于采用不同方法提取低聚木糖, 这可能是带来差异的原因。黄酮类与多糖类进一步强化了南荻笋的抗氧化功效。Cao 等[65]研究表明, 南荻笋总黄酮提取物的 DPPH 自由基清除率达 79.53%, 且活性强度与黄酮含量和多糖含量呈显著正相关。严建业等[34]开发的抗氧化南荻笋多糖制备方法, 所获多糖对 DPPH 自由基的清除率达 45.42%~65.81%, 展现出多糖类成分的独立抗氧化价值。值得关注的是文献[74–75]发现南荻笋提取物不仅具有直接抗氧化活性, 通过体内药理实验, 建立小鼠肥胖模型, 发现酚酸具有控制小鼠体重, 降低血糖血脂的药理活性。同时进行体外细胞实验发现, 酚酸还能抑制 3T3-L1 前脂肪细胞分化、减少脂肪积累, 且与剂量成正比, 表明抗氧化活性在对抗肥胖中发挥了重要作用, 拓展了其功能应用场景。所含芦丁还可减少胆固醇吸收, 为高血压、冠心病患者提供食疗支持[76–77]。此外, 南荻笋中富含的叶酸、柚皮苷、香草酸等成分, 分别通过改善机体抗氧化环境、维持蛋白质稳态等机制, 共同构成了多元协同的抗氧化体系。南荻笋抗氧化活性的评价体系已日趋完善, 体外通过 DPPH 自由基、ABTS 阳离子自由基清除、铁离子还原力测定等量化活性强度。体内则利用小鼠、果蝇等动物模型验证其生理功效, 如彭买姣等[76]通过动物实验证实, 南荻笋提取物可通过抗氧化途径改善高脂饮食小鼠的代谢紊乱, 对缓解高血脂症带来的代谢性疾病有一定益处, 这些都进一步夯实了其抗氧化活性的应用价值。

3.2 益生功能

南荻笋的益生功能主要聚焦于肠道菌群调节, 核心是通过膳食纤维、多糖、低聚木糖等成分实现对有益菌的增殖与有害菌的抑制, 且相关功效已得到体外实验部分验证。陈佩瑶等[36]体外实验研究显示, 南荻笋低聚木糖可使双歧杆菌数量增加 2~3 个数量级, 同时显著促进乳酸菌增殖, 并抑制大肠杆菌等有害菌生长, 肠道菌群调节效果明显。同时该低聚木糖聚合度以 2~3 为主, 占比达 85%, 符合功能性低聚糖标准, 能精准被肠道益生菌利用, 避免被人体消化酶分解, 确保益生功效的高效发挥。研究表明, 南荻笋通过调节肠道菌群组成、改善肠道代谢产物, 在维

持肠道健康、预防代谢相关疾病方面具有显著潜力，为其开发为益生型功能食品提供了直接依据[78]。

表 3　南荻笋功能活性成分的核心功能

Table 3　Core functions of functional active components in *Triarrhena lutarioriparius* shoots

类别	具体指标	含量/数值范围	检测方法	核心功能/说明	文献来源
活性成分	总酚酸	0.8~1.2 mg/g	HPLC	含没食子酸、绿原酸、迷迭香酸 3 种核心成分，具有抗氧化活性	[60]
	迷迭香酸	0.3~0.5 mg/g	HPLC	核心抑菌成分，热稳定性良好(100 ℃ 30 min 保留率 80%)，具有抑菌、抗氧化等活性	[61]
	总黄酮	1.5~2.0 mg/g	HPLC	含芦丁、槲皮素、山柰酚等 6 种成分，具有抗肿瘤、抗炎、抗氧化等活性	[60,67]
	芦丁	0.8~1.0 mg/g	HPLC	主要黄酮成分，集中于嫩茎表皮(占比 60%)，具有抗氧化、血管保护、抗炎等活性	[60,67]
	对羟基苯甲醛	0.31 g	HPLC	天然对羟基苯甲醛，天麻素前体物质，抗缺血性脑卒中、抑制血栓形成、保护血脑屏障、抗血小板聚集及抗炎	[69–70]
	低聚木糖	5%~8%	HPLC	聚合度 2~3 为主(占比 85%)，符合功能性低聚糖标准，具有抗氧化、有益肠道健康等作用	[73]
功能特性	DPPH 自由基清除率(IC_{50})	1.2 mg/mL	分光光度法	对 DPPH 自由基清除率较高，体现较好的抗氧化活性	[74]
	ABTS 阳离子自由基清除率(IC_{50})	1.5 mg/mL	分光光度法	对 ABTS 阳离子自由基清除率较高，体现抗氧化能力突出，可减少氧化应激损伤	[75]
	对金黄色葡萄球菌抑菌圈直径	15.2 mm	纸片扩散法	MIC 0.8 mg/mL，具有替代化学防腐剂潜力	[75]
	双歧杆菌增殖率	增加 2~3 个数量级	体外培养法	具有调节肠道菌群平衡，抑制有害菌生长能力	[76–77]

注：半数抑制浓度(half maximal inhibitory concentration, IC_{50})。

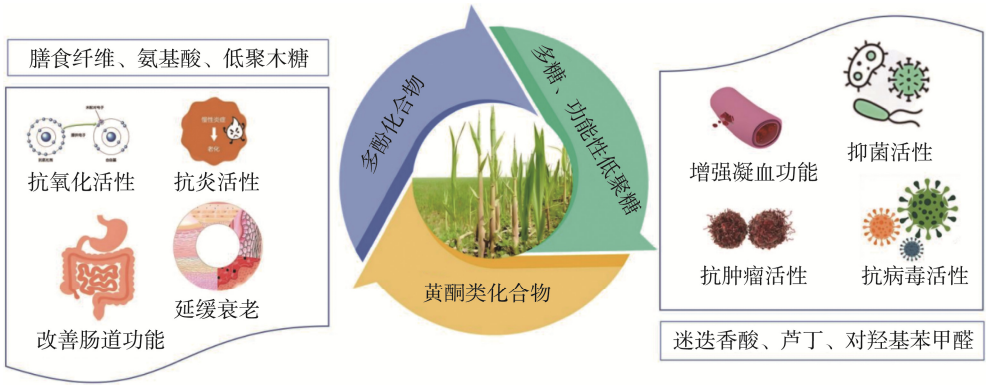


图 2　南荻笋生物活性物质及其健康益处示意图

Fig.2　Schematic diagram of bioactive substances and their health benefits of *Triarrhena lutarioriparia* shoots

3.3　抑菌活性

南荻笋提取物的抑菌活性主要源于酚酸类化合物，尤其是所含的迷迭香酸、黄酮类成分，对多种食源性致病菌具有显著抑制作用，具备替代化学防腐抑菌剂的应用前景。蒋龙波[61]研究显示，南荻笋提取物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌均有明确抑制效果，其中对金黄色葡萄球菌的抑菌圈直径达 15.2 mm，抑菌强度突出。Zhang 等[79]进一步证实，核心成分迷迭香酸对大肠杆菌的较好的抑制作用，热稳定性优异，说明即便经过加工过程中的热处理环节，仍能保持稳定抑菌活性。在实际应用价值方面，南荻笋提取物可有效延长食品货架期，相关研究证实其用于食品保鲜时，能使产品货架期延长，且避免了化学防腐剂的潜在安全风险。其抑菌机制主要包括破坏病原微生物细胞壁与细胞膜完整性、导致菌体蛋白质变性失活、抑制代谢酶活性等，多途径协同实现抑菌效果，为南荻笋提取物在肉制品、乳制品、果蔬加工等领域的天然防腐剂开发提供了技术支撑。

4 南荻笋加工技术与新型产品开发

南荻笋加工技术已从传统初加工逐步向“精深加工+副产物高值化”转型，通过预处理、干制、腌制等基础工艺优化，结合功能成分绿色提取技术创新，不仅解决了传统加工附加值低、营养流失严重等问题，还拓展了新型产品的应用场景，为产业高值化发展提供了支撑。早期南荻笋加工以南荻笋罐头[80]、腌制笋[81]、清水芦笋[15]、调味南荻笋[16]、干制笋[82]等加工产品为主，占比达 70%左右，产品附加值低，经济效益差。图 3 为新鲜南荻笋从原料采摘到腌制加工的产品示意图。近年来，多数企业通过低盐腌制、多元低碳干燥、新型漂烫预处理等关键环节的工艺革新，实现了品质提升与传统工艺的协同发展，不同加工工艺对核心营养功能成分的影响见表 4。



注: (A)采摘期的南荻笋; (B)采摘后的南荻笋; (C)剥壳后的南荻笋; (D)腌制后的南荻笋。

图 3 新鲜南荻笋从采摘到腌制加工后的产品示意图

Fig.3 Schematic diagrams of fresh *Triarrhena lutarioriparius* shoots from harvest to the finished pickled product

表 4 不同加工方式对南荻笋特质营养素的保留率

Table 4 Retention rates of characteristic nutrients in *Triarrhena lutarioriparius* shoots under different processing methods

加工方式	总酚酸保留率/%	总黄酮保留率/%	可溶性膳食纤维保留率/%	氨基酸保留率/%	文献来源
热风干燥	50	48	65	70	[82]
低盐腌制	65	62	75	80	[83]
冷冻干燥	90	88	92	95	[84]
分段干燥	70	68	80	85	[85]

4.1 加工工艺与技术

4.1.1 预处理及保鲜工艺

预处理及保鲜工艺聚焦于分级清洗、热烫处理与保鲜技术的优化。在分级清洗方面，张秋尧等[86]研发的南荻笋分拣机，通过 2000 万像素机器视觉系统识别直径(精度±0.1 mm)与色泽(RGB 三色识别)，分级效率达 1200 根/h，较人工提升 3 倍；配套的高压喷淋清洗装置(压力 0.3 MPa，水温 40 ℃)可去除 99%的泥沙与微生物，清洗效率达 5 t/h，且节水 30%，解决了传统人工清洗效率低、清洁度不均的问题。目前也有少数企业采用酸性电解水和臭氧水进行清洗消毒。在热烫预处理方面，由于南荻嫩茎采收期集中，采后容易老化和腐败变质，因此，采摘后必须进行热烫杀青预处理。肖骏玖等[31]以南荻嫩茎(南荻笋)的硬度、色泽、氨基酸和氧化酶活性等为评价指标，发现南荻嫩茎的优化预处理方法和工艺为沸水热烫 5 min。热烫后的南荻嫩茎能保持与鲜样相近的硬度、色差，且氨基酸总量和必需氨基酸含量都有所上升，TDF 和 IDF 含量均有所提升，同时也影响矿质元素的含量。氧化酶总酶活降至 5 U，氧化酶活性较鲜样下降 95%，显著抑制了相关酶的活性。另外发现，南荻笋经热烫后总糖含量升至 3.7270%、还原糖含量 1.8635%，一方面源于水分蒸发导致的成分浓缩，另一方面是热烫破坏了大分子多糖结构，促进其降解为可溶性糖，梁珏钦等[82]发现漂烫处理后降低了不同干燥方式后南荻笋的外观品质、微观结果、营养品质，可溶性蛋白质、总酚和黄酮含量分别损失 50%~85%、36%~56%和 39%~67%，同时也会造成抗氧化能力下降，但在色泽保持和后期贮藏保鲜方面具有显著优势；相关研究为后续加工产品的品质提升提供了参考。在保鲜技术方面，黄洁[1]证实不同保存方式对氨基酸含量影响显著，4 ℃低温冷藏可使总氨基酸保留率达 90%，而 25 ℃常温储存 3 d，氨基酸流失率超 20%。廖颖妍等[45]补充研究表明，常温储存易导致氨基酸流失率超 20%，而真空包装结合–20 ℃低温冷藏，可使南荻笋总氨基酸保留率达 95%，货架期延长至 3 个月，为南荻笋的保鲜流通提供了技术支撑。

4.1.2 腌制工艺

南荻笋传统腌制工艺流程可见图 4，传统工艺在食盐的用量上较大，不符合现代低盐加工的要求。在传统腌制发酵工艺的基础上，新型腌制工艺的核心突破在于低盐化与营养保留的平衡。李怀平[81]采用传统腌制手段生产芦苇笋(南荻笋)产品，虽然延长芦苇笋(南荻笋)的保质期，扩大了消费人群，但该方法采用高盐腌制，不利于健康和环境保护。韩晓磊等[19]探究不同盐分含量对腌制南荻笋品质的影响，发现采用 10%~14%食盐腌制南荻笋，能够较好地减少营养物质的流失，还能兼顾较长的贮藏期和环境保护。针对单一的降低盐浓度的做法，相关研究逐渐转向低盐化结合菌株混合发酵相关研究，周辉等[83]发明了一种菌株接种发酵南荻笋低盐腌制的方法，将采摘后的鲜南荻笋进行杀青后，快速降温冷却后迅速接种植物乳杆菌 CGMCC (No.18260)和适当的食盐进行密封发酵，明显地缩短了发酵时间，降低了食盐的使用量的同时减少了亚硝酸盐积累。此外，研究还发现，腌制过程中添加 0.2%维生素 C 可有效抑制南荻笋褐变，且不影响口感和风味，进一步优化了低盐腌制产品的综合品质。

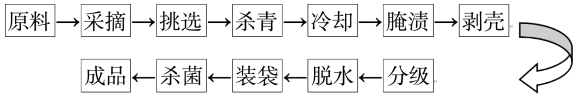


图 4 腌制南荻笋加工工艺流程

Fig.4 Processing flowchart of pickled *Triarrhena lutarioriparius* shoots

4.1.3　干燥工艺

南荻笋干燥技术的研究已形成“多元化干燥+智能控制”的研究路线。梁珏钦等[82]对比了南荻笋采用热风干燥(hot air drying, HAD)、红外干燥(infrared drying, IFD)、热泵干燥(heat pump drying, HPD)和真空冷冻干燥(vacuum freeze drying, VFD) 4 种干燥方式对营养品质的影响, 证实了 VFD 为提升南荻笋干品质的最优方式, 能最大程度保留营养与风味, 同时也发现 HAD 成本最低, 但营养流失严重, 外观品质显著下降。IFD 在营养物质保留上优于 HAD 和 HPD。邓放明等[84]发明了一种冷冻干燥南荻笋的方法, 采用真空冷冻干燥技术, 降低干燥过程中营养成分的损失, 提高干燥南荻笋复水后的食用品质, 获得高品质的南荻笋干品, 为干制南荻笋保存提供了新方法。随着智能化技术的发展, 数字化的融入进一步提升了干燥工艺的稳定性, 张秋尧等[86]研发的“基于遗传算法的模糊(proportional-integral-derivative, PID)控制系统”应用于南荻笋干燥设备中, 通过湿度传感器实时监测物料含水率, 精度达±0.5%, 自动调节干燥温度与风速, 干燥均匀度从传统控制系统的 75%提升至 90%, 不同批次产品的含水率偏差控制在±1%以内, 显著降低了人工操作带来的品质波动, 为智能化干燥技术提供了新见解。

4.1.4　低聚木糖制备技术

低聚木糖是由木糖单元(2~10 个)通过 β-1,4 糖苷键连接而成, 是一种有益于宿主健康的益生元, 不仅能抑制病原体生长, 还能增强肠道屏障功能。主要采用水解法、酸解法、酶解法等方法制备。南荻笋中低聚木糖的制备已完成“传统水热法-酶解辅助法-辐照协同法”的升级, 提取核心指标持续优化。早期田星等[57]采用传统水热法, 以 1%硫酸为催化剂, 121 ℃反应 3 h, 低聚木糖得率仅 18%~20%, 且单糖含量达 15%~20%, 后续需经活性炭脱色、离子交换树脂脱盐, 工艺复杂且废水处理难度大。为解决这些问题, 陈佩瑶[62]引入酶解辅助工艺, 在水热反应后添加 0.3%木聚糖酶(50 ℃反应 1 h), 使木聚糖进一步降解为低聚木糖, 得率提升至(29.94±0.53)%。吴颂娜等[73]创新性地采用“辐照-乙酸协同催化”方法, 实现了技术突破, 以 3 MeV 电子束对其进行辐照处理, 经浸泡脱盐处理 3 次后, 其中木聚糖含量提高到 17.34%, 在水热温度 180 ℃, 处理 30 min 条件下, 低聚木糖转化率为 55.18%。进一步采用正交实验优化后辐照处理剂量 200 kGy, 乙酸浓度 0.2% (V:V), 水热温度 160 ℃处理 30 min, 此时低聚木糖的转化率为 65.88%, 质量浓度达 11.53 g/L。进一步提升了低聚木糖的提取得率。在低聚木糖纯化过程中, 陈佩瑶等[36]采用分子量截留 1000 Da 的超滤膜纯化低聚木糖提取液, 去除蛋白质、色素等杂质, 产品纯度从 85%提升至 92%, 其中木二糖、木三糖占比达 85%, 超行业标准。膜分离过程无需添加化学试剂, 废水化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)值降至 800 mg/L 以下, 较传统硫酸法(COD 2000 mg/L)降低 60%, 后续处理成本减少 50%, 实现了提取纯化无化学添加和低废水排放的绿色工艺革新。

4.1.5　膳食纤维提取技术

南荻笋膳食纤维提取主要聚焦提取效率的提升与功能结构的优化, 酶解替代化学法成为应用主流, 但高效、绿色的提取工艺还有待进一步优化[87–88]。冯昭仪等[58]采用纤维素酶与木聚糖酶在复配体系下提取, 料液比 1:200 (g/mL)、α-淀粉酶与糖化酶质量比 5: 5、浸提时间 4 h, 在该工艺条件下沅江芦笋(南荻笋)可溶性膳食纤维提取得率最高, 为 16.77%。文献[89–90]进一步采用甲酸(formic acid, FA)联合碱性过氧化氢(alkaline hydrogen peroxide, AHP)处理, 南荻中的 AHP 纤维素含量显著提高至 89.85%, 且木质素和半纤维素含量大幅降低, 分别为 3.49%和 3.72%, 比单一使用 FA 提取效率更高, 研究结果为南荻纤维素高效转化制备清洁能源提供了技术支持。田星等[57]对比碱法与酶法, 发现酶法提取的膳食纤维持水力为 1.9 g/g, 高于碱法提取, 且无化学试剂残留风险。周辉等[91]发明了一种提取芦苇笋(南荻笋)中膳食纤维的方法, 采用 α-淀粉酶、糖化酶以及中性蛋白酶酶解后冻干透析液得到可溶性膳食纤维, 该方法产量较高, 可在食品领域广泛应用。

4.2　副产物高值化利用

南荻笋在传统加工中仅利用了剥壳后的嫩茎部分, 笋壳、笋头、老茎等副产物产量惊人, 但大部分被掩埋处理或废弃, 既造成资源浪费, 又带来环保压力。而副产物中纤维素、半纤维素、木质素、多酚、多糖、低聚木糖等功能性成分含量较为丰富, 具备高值化利用潜力。近年来, 随着双碳目标和资源成本的上升, 副产物高值化利用需求迫切, 推动了相关研究的突破。吴颂娜等[73]采用辐照-乙酸协同法从废弃笋壳中提取低聚木糖, 木聚糖含量提高至 17.34%, 低聚木糖转化率达 55.18%, 经正交试验优化, 低聚木糖转化率和质量浓度进一步提升。谢稳等[92]在禾本科芦笋(南荻笋)的根须中提取黄酮类成分, 采用 D101 大孔树脂吸附纯化, 总黄酮的纯度提高了 6.54 倍, 可用于天然抗氧化剂开发。另外还有相关企业利用笋壳、叶等加工成超微粉添加到饲料中, 有效提高了饲养畜禽的抵抗力。目前还有利用废弃笋壳开发生物基材保鲜材料的相关研究。这些技术的应用使南荻笋资源综合利用得到有效提升。

4.3　新型产品开发

目前南荻笋开发了诸多不同类型产品, 新型产品已拓展至功能食品、植物源添加剂、乳制品等领域。在功能食品方面, 陈佩瑶[62]将低聚木糖添加至酸奶, 开发出功能性复合酸奶, 该产品益生元含量达 3.2 g/100 g, 为促进肠道健康产品提供了更多选择。目前还有企业生产膳食纤维

代餐粉、芦笋压片糖果、芦苇根饮料[93]等抗氧化保健品。在植物源添加剂方面，南荻笋多酚提取物迷迭香酸可替代化学防腐剂，有效延长肉制品货架期。在乳制品领域，周辉等[94]通过添加南荻笋粉进行发酵酸奶制作，表明南荻笋膳食纤维、黄酮类物质赋予了酸奶较强的抗氧化活性。He等[95]探讨了添加不同浓度沅江芦笋(南荻笋)水提物的酸奶在贮藏期间的理化品质、抗氧化能力、挥发性成分、主要风味物质及感官特性。结果表明，沅江芦笋(南荻笋)水提物作为功能性添加剂，能有效提高酸奶在贮藏期间的物理稳定性，抑制后酸化，促进益生菌增殖，显著增强抗氧化活性，并优化其色泽和质地，与普通酸奶相比，沅江芦笋(南荻笋)酸奶风味更佳，其中 0.2%的添加浓度效果最佳。何潼[22]则添加 5%~8%南荻笋水提物的制作功能酸奶，发现 DPPH 自由基清除率达 75%，同时改善质构特性，延长货架期 3~5 d。肖淑婷等[96]制作了一种沅江芦笋(南荻笋)功能性饼干，并对其工艺进行了优化。李美云[97]以芦笋粉(南荻笋)与微晶纤维素为主要原料开发的芦笋(南荻笋)咀嚼片，建立了包含崩解时限(≤30 min)、总酚酸含量(≥1.2 mg/片)的质量标准，这些研究为芦笋固体饮料、压片糖果等功能性产品开发提供参考。新型产品的开发，使南荻笋产业附加值显著提升，推动产业从“初级原料供应”向“高端功能产品制造”转型升级。

5 结束语

南荻笋作为洞庭湖区绿色优质野生食物资源，资源储量大且年产量稳定，但在食品领域开发还处于起步阶段。现有研究已初步证明南荻笋具备较高的营养品质与食用价值。不仅富含矿质元素(高钾、高钙、高硒)、膳食纤维、优质蛋白质及 16 种氨基酸，且重金属含量符合国家食品安全标准，是兼具“纯天然、高营养”特性的食药兼优的特色野生植物资源，其综合营养功能价值已接近甚至优于部分种植芦笋和蔬菜。从产业开发潜力来看，南荻笋加工适应性强，可开发为预制食材、面条、膳食纤维粉、饼干、功能性酸奶等多元化产品，既满足现代食品对感官风味的需求，又能通过其功能成分(多酚、黄酮、多糖、低聚木糖等)实现营养与健康的双重价值。同时，规模化采摘与加工可将湿地野生资源转化为优质绿色食品原料，有望成为洞庭湖区的具有一定地域特色的富民产业，为区域经济发展与农户增收提供新路径。

尽管南荻笋的食源性开发已取得阶段性进展，但仍存在资源利用不充分、技术转化不足、产业链薄弱等短板，后续研究与产业发展可聚焦以下方向：(1)资源高值化利用。目前南荻笋仅嫩茎被少量开发，笋壳、老茎、根须等副产物利用率不足，未来需深化副产物的功能成分挖掘，将资源综合利用率大幅提升，同时降低环保压力。(2)精深加工技术创新升级。现有加工以初制品为主，精深加工产品占比不足。未来发展方向需重点突破功能成分高效定向绿色提取技术，如低共熔溶剂法提取纯化黄酮类物质、超声-微波协同提取多糖和多酚等成分，磁场辅助液氮速冻、冷冻干燥等技术。功能产品定向开发，需基于南荻笋的抗氧化、益生特性，开发针对特定人群的功能性产品，针对肠道健康的膳食纤维、低聚木糖复配型等细分产品。加工装备智能化，推广基于遗传算法的干燥控制系统、机器视觉分拣设备，降低人工成本。(3)深化基础研究。现有研究多聚焦单一或者多组分成分的含量，缺乏营养物质与活性的关联以及分子机制与人体功效的创新性基础研究。需进一步对功能成分作用机制进行研究，利用网络药理学、代谢组学等手段解析功能活性物质调节肠道菌群、抑制炎症等分子机制。适时开展南荻笋功能成分的体内体外评价，明确其对常见代谢性疾病、慢性炎症、肠道菌群失衡等人群的实际改善效果。

综上，南荻笋作为洞庭湖区特色野生资源，其在食品加工领域的开发兼具生态、经济与健康价值，未来可以通过南荻笋全资源利用、精深加工升级、产业体系完善等手段一体化推进，有望实现从野生资源到优质功能食品原料的转型升级，为湿地资源可持续利用与健康食品产业发展提供示范。

参考文献

[1] 黄洁. 洞庭湖地区南荻笋营养成分与重金属安全性分析[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2020: 1–48.
Huang Jie. Analysis of nutritional components and heavy metal safety of *Triarrhena lutarioriparia* shoots in Dongting Lake area [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2020: 1–48.

[2] 向明友, 高自成, 汤佟, 等. 芦苇笋采收机采摘机构设计与试验[J]. 农机化研究, 2023, 45(4): 178–184.
Xiang Mingyou, Gao Zicheng, Tang Tong, et al. Design and experiment of picking mechanism of reed shoot harvester [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2023, 45(4): 178–184.

[3] 韩晓磊. 齿颊留香的沅江芦笋[J]. 中国食品, 2026(4): 59.
Han Xiaolei. Yuanjiang *Asparagus* with fragrant teeth and cheeks [J]. China Food, 2026(4): 59.

[4] 杨迅. 一片芦苇的绿色转型[N]. 人民日报海外版, 2024-11-19 (8).
Yang Xun. The green transformation of a reed [N]. Overseas Edition of People’s Daily, 2024-11-19 (8).

[5] 任晨阳. 沅江芦笋[J]. 湖南农业, 2017(12): 26.
Ren Chenyang. Yuanjiang *Asparagus* [J]. Hunan Agricuture, 2017(12): 26.

[6] 孙殉华, 熊立波. 沅江芦笋的品牌之路[N]. 益阳日报, 2024-03-14 (1).
Sun Xunhua, Xiong Libo. The brand development path of Yuanjiang *Asparagus* [N]. Yiyang Daily, 2024-03-14 (1).

[7] 李珊珊, 陈美, 陈文俐, 等. 芒属植物野生资源研究及其进展[J]. 植物科学学报, 2023, 41(6): 705–718.
Li Shanshan, Chen Mei, Chen Wenli, et al. Advances in the study and utilization of *Miscanthus* resources [J]. Plant Science Journal, 2023, 41(6): 705–718.

[8] 易自力. 芒属能源植物资源的开发与利用[J]. 湖南农业大学学报(自然

科学版), 2012, 38(5): 455–463.
Yi Zili. Exploitation and utilization of *Miscanthus* as energy plant [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2012, 38(5): 455–463.

[9] 杨艳平, 刘志敏. 做大做强芦笋食品产业 助推沅江县域经济发展[J]. 对外经贸, 2015(6): 89–92.
Yang Yanping, Liu Zhimin. Make *Asparagus* food industry bigger and stronger, and boost the economic development of Yuanjiang County [J]. Foreign Economic Relations & Trade, 2015(6): 89–92.

[10] 韩晓磊, 梁珏钦, 吕慧英. 南荻笋营养品质及资源化利用研究进展[C]//北京: 中国食品科学技术学会第二十届年会论文摘要集. 2023: 514.
Han Xiaolei, Liang Jueqin, Lv Huiying. Research progress on nutritional quality and resource utilization of *Triarrhena lutarioriparia* shoots [C]//Beijing: Abstracts of the 20th Annual Conference of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023: 514.

[11] 张卓亿, 谢晓方, 王霞, 等. 芦苇、南荻在食用菌栽培中的基质化利用研究进展[J]. 北方园艺, 2024(24): 113–121.
Zhang Zhuoyi, Xie Xiaofang, Wang Xia, et al. Research progress on substrate utilization of *Phragmites australis* and *Triarrhena lutarioriparius* in cultivation of edible fungi [J]. Northern Horticulture, 2024(24): 113–121.

[12] 邬亭玉, 茹华. 沅江市芦笋产业发展的 SWOT 分析[J]. 企业技术开发(学术版), 2018, 37(10): 49–53, 96.
Wu Tingyu, Ru Hua. SWOT analysis of the development of *Asparagus* industry in Yuanjiang City [J]. Technological Development of Enterprise, 2018, 37(10): 49–53, 96.

[13] 廖倩滢, 张珺, 易自力, 等. 湖南洞庭湖南荻绿色利用产业现状与发展策略研究[J]. 林业建设, 2023, 41(1): 51–59.
Liao Qianying, Zhang Jun, Yi Zili, et al. Study on status quo and development strategy for green utilization industry of *Miscanthus lutarioriparius* in Lake Dongting district [J]. Forestry Construction, 2023, 41(1): 51–59.

[14] 湖南省人民政府门户网站. 洞庭湖畔的“绿色黄金”——沅江市芦笋产业的破局之道[EB/OL]. (2026-04-10) [2026-07-01]. http: //www. hunan. gov. cn/topic/kjbh/knxhsc/gzjxs02/szdt02/202604/t20260414_33954215. html.
Hunan Provincial People’s Government Portal. “Green Gold” by the Dongting Lake—The Breakthrough Path of Yuanjiang City’s *Asparagus* Industry [EB/OL]. (2026-04-10) [2026-07-01]. http: //www. hunan. gov. cn/topic/kjbh/knxhsc/gzjxs02/szdt02/202604/t20260414_33954215. html.

[15] 韩晓磊, 吕慧英, 梁珏钦. 芦苇食品资源化开发与利用[J]. 湖南农业, 2022(9): 36.
Han Xiaolei, Lv Huiying, Liang Jueqin. Development and utilization of reed food resources [J]. Hunan Agricuture, 2022(9): 36.

[16] 韩晓磊, 梁珏钦, 方志辉, 等. 香辣田头菇芦苇笋风味调制食品的研制[J]. 湖南农业科学, 2022(1): 64–68.
Han Xiaolei, Liang Jueqin, Fang Zhihui, et al. Preparation of spicy food with *Agrocybe praecox* and reed shoots [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2022(1): 64–68.

[17] 邬亭玉, 文晓芬, 李维思, 等. 洞庭湖区芦苇产业转型升级现状、问题与建议[J]. 湖南农业科学, 2022(9): 82–85.
Wu Tingyu, Wen Xiaofen, Li Weisi, et al. The status quo, problems and suggestions on transformation and upgrading of reed industry in Dongting Lake area [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2022(9): 82–85.

[18] 邬亭玉. 产业链视角下沅江芦笋产业发展研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2018: 1–29.
Wu Tingyu. Research on the development of Yuanjiang *asparagus* industry from the perspective of industrial chain [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2018: 1–29.

[19] 韩晓磊, 梁珏钦, 方志辉, 等. 不同盐分含量对南荻笋腌制过程中品质变化影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(20): 8049–8055.
Han Xiaolei, Liang Jueqin, Fang Zhihui, et al. Effects of different salt content on the quality changes of *Triarrhena* lutarioriparia shoots during salting [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(20): 8049–8055.

[20] 虞瑞麒. 软包调味芦笋的加工方法: CN201710007552.9 [P]. 2017-05-10.
Yu Ruiqi. Processing method of soft-packaged seasoned *Asparagus*: CN201710007552.9 [P]. 2017-05-10.

[21] 韩燕平. 洞庭湖区大力发展特色湘菜美食旅游研究[J]. 岳阳职业技术学院学报, 2012, 27(3): 38–41.
Han Yanping. Study on the exploitation and development of Hunan tasty food tourism in Dongting Lake area [J]. Journal of Yueyang Vocational and Technical College, 2012, 27(3): 38–41.

[22] 何潼. 沅江芦笋水提物对酸奶质构、风味及抗氧化作用的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2022: 3–4.
He Tong. Effect of Yuanjiang *asparagus* aqueous extract on texture, flavor and antioxidant activity of yogurt [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2022: 3–4.

[23] 漆慧娟, 岳雅妮, 徐继根, 等. 基于主成分分析和聚类分析的不同品种芦笋营养品质综合评价[J]. 中国瓜菜, 2026, 39(4): 72–81.
Qi Huijuan, Yue Yani, Xu Jigen, et al. Comprehensive evaluation of nutritional quality of different *Asparagus officinalis* L. varieties based on principal component analysis and cluster analysis [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2026, 39(4): 72–81.

[24] 关云静, 周林燕, 毕金峰, 等. 绿芦笋不同部位营养成分及活性评价研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(5): 343–347.
Guan Yunjing, Zhou Linyan, Bi Jinfeng, et al. Evaluation of nutritive composition and antioxidant activity in different parts of green *Asparagus* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(5): 343–347.

[25] 刘建华, 周晴, 向健政. 沅江芦笋[J]. 湖南农业, 2023(4): 24.
Liu Jianhua, Zhou Qing, Xiang Jianzheng. Yuanjiang *Asparagus* [J]. Hunan Agricuture, 2023(4): 24.

[26] 韩晓磊, 吕慧英, 熊立波. 沅江芦笋产地初加工技术要点[J]. 湖南农业, 2022(11): 36.
Han Xiaolei, Lv Huiying, Xiong Libo. Key points of primary processing technology of *Asparagus* in Yuanjiang [J]. Hunan Agricuture, 2022(11): 36.

[27] He Kanghui, Li Qi, Li Yan, et al. Water-insoluble dietary fibers from bamboo shoot used as plant food particles for the stabilization of O/W Pickering emulsion [J]. Food Chemistry, 2020, 310: 125925.

[28] 刘鹤鸣, 吴宇箫, 周爱梅. 佛手生物活性成分及其健康益处研究进展和微生物转化展望[J]. 食品科学, 2025, 46(19): 399–413.
Liu Heming, Wu Yuxiao, Zhou Aimei. Research progress on bioactive components and health benefits of finger citron and prospects for microbial transformation [J]. Food Science, 2025, 46(19): 399–413.

[29] 刘春英, 周传凤, 崔娜, 等. 盐醋处理对大蒜超氧化物歧化酶活性及可

溶性糖和蛋白质含量的影响[J]. 山东农业科学, 2011, 43(9): 53–54.
Liu Chunying, Zhou Chuanfeng, Cui Na, et al. Effects of salt and vinegar treatments on SOD activity and content of soluble sugar and protein of garlic [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2011, 43(9): 53–54.

[30] 徐陈霞, 张贤谦, 李进军, 等. 食用多糖消化吸收及肠道菌群互作的人体替代实验模型研究进展[J]. 食品科学, 2025, 46(22): 398–411.
Xu Chenxia, Zhang Xianqian, Li Jinjun, et al. Recent progress in human surrogate models for studies on the digestion, absorption, and gut microbiota interaction of edible polysaccharides [J]. Food Science, 2025, 46(22): 398–411.

[31] 肖骏玖, 赵玲艳, 石星波, 等. 洞庭湖区南荻嫩茎营养成分分析与重金属含量测定[J]. 食品科学, 2015, 36(12): 104–107.
Xiao Junjiu, Zhao Lingyan, Shi Xingbo, et al. Analysis of nutrients and heavy metals in tender stem of *Triarrhena* lutarioriparia from the Dongting Lake area [J]. Food Science, 2015, 36(12): 104–107.

[32] 付艳茹, 程平, 金贤姜, 等. 12 种丛生竹竹笋营养品质分析与综合评价[J]. 世界竹藤通讯, 2026, 24(1): 33–42.
Fu Yanru, Cheng Ping, Jin Xianjiang, et al. Nutritional quality analysis and comprehensive evaluation of shoots from 12 sympodial bamboo species [J]. World Bamboo and Rattan, 2026, 24(1): 33–42.

[33] 毛洪艳, 王蓉蓉, 肖茜, 等. 芦笋的化学成分及药理活性研究进展[J]. 农产品加工, 2021(13): 81–85.
Mao Hongyan, Wang Rongrong, Xiao Qian, et al. The chemical constituents and pharmacological activities of *Asparagus* [J]. Farm Products Processing, 2021(13): 81–85.

[34] 严建业, 王宇红, 邹龙, 等. 一种抗氧化的南荻笋多糖制备方法: CN201811392944.2 [P]. 2019-03-01.
Yan Jianye, Wang Yuhong, Zou Long, et al. A preparation method of antioxidant *Triarrhena lutarioriparia* shoots polysaccharide: CN201811392944.2 [P]. 2019-03-01.

[35] 蒋波, 刘姗姗, 王丽君, 等. 基于抗氧化活性评价优选禾本科芦笋多糖酶法提取工艺[J]. 湖南中医杂志, 2019, 35(4): 157–160.
Jiang Bo, Liu Shanshan, Wang Lijun, et al. Optimization of enzymatic extraction process of polysaccharides from *Asparagus* based on antioxidant activities [J]. Hunan Journal of Traditional Chinese Medicine, 2019, 35(4): 157–160.

[36] 陈佩瑶, 周辉, 王锋, 等. 沅江芦笋低聚木糖制备工艺优化、结构鉴定及抗氧化性研究[J]. 食品科技, 2024, 49(4): 201–209, 228.
Chen Peiyao, Zhou Hui, Wang Feng, et al. Preparation process optimization, structure identifification and antioxidant activity of xylo-oligosaccharides from *Miscanthus lutarioriparius* [J]. Food Science and Technology, 2024, 49(4): 201–209, 228.

[37] 柳青, 黄广学, 刘继伟, 等. 六种特菜的营养成分分析与品质评价[J]. 农产品加工(下半月), 2019(8): 41–44, 48.
Liu Qing, Huang Guangxue, Liu Jiwei, et al. Nutritional composition analysis and quality evaluation of six special dishes [J]. Aem Roducts Rocessing, 2019(8): 41–44, 48.

[38] Amagliani L, Silva J V C, Saffon M, et al. On the foaming properties of plant proteins: current status and future opportunities [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 118: 261–272.

[39] 肖骏玖. 洞庭湖区南荻嫩茎成分分析及其黄酮类物质的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016: 4–5.
Xiao Junjiu. Component analysis and study on flavonoids in tender stems of *Triarrhena lutarioriparia* from Dongting Lake area [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2016: 4–5.

[40] 王朝宇, 梁明兰, 吴良如, 等. 金佛山方竹笋营养成分与生物活性物质及加工品质研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(3): 404–412.
Wang Chaoyu, Liang Minglan, Wu Liangru, et al. Research progress on nutritional composition, bioactive substances, and processing quality of *Chimonobambusa utilis* shoots [J]. Food and Fermentation Industries, 2025, 51(3): 404–412.

[41] 邵琼, 郭帆, 李雯, 等. 竹笋营养成分及其提取方法研究进展[J]. 世界林业研究, 2024, 37(2): 53–59.
Shao Qiong, Guo Fan, Li Wen, et al. Research progress in nutrient elements in bamboo shoots and their extraction method [J]. World Forestry Research, 2024, 37(2): 53–59.

[42] 李士坤. 海拔高度对毛竹春笋外观特征及营养品质的影响[J]. 世界竹藤通讯, 2026, 24(2): 66–70.
Li Shikun. Effect of altitudes on appearance and nutritional quality of spring moso bamboo shoots [J]. World Bamboo and Rattan, 2026, 24(2): 66–70.

[43] 蒋玉艳, 陈兴乐, 刘展华. 广西常见蔬菜营养成分分析与评价[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(7): 71–74.
Jiang Yuyan, Chen Xingle, Liu Zhanhua. Analysis on nutritional component of familiar vegetables in Guangxi Province [J]. Food and Nutrition in China, 2012, 18(7): 71–74.

[44] 李博华, 云岚, 穆乙鑫, 等. 不同新麦草种质叶片氨基酸组分分析与营养价值评价[J/OL]. 草业学报, 2025-12-17. https: //link. cnki. net/urlid/62. 1105. S. 20251215. 1328. 002.
Li Bohua, Yun Lan, Mu Yixin, et al. Analysis of amino acid composition and nutritional value evaluation of leaves from different Psathyrostachys juncea germplasms [J/OL]. Acta Prataculturae Sinica, 2025-12-17. https: //link. cnki. net/urlid/62. 1105. S. 20251215. 1328. 002.

[45] 廖颖妍, 谭颖贤, 方宇希, 等. 不同贮存方法对沅江荻芦嫩茎总氨基酸含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(5): 120–121, 128.
Liao Yingyan, Tan Yingxian, Fang Yuxi, et al. Effects of different storage methods on total amino acid content in tender stem of *Triarrhena lutarioriparia* from Yuanjiang [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(5): 120–121, 128.

[46] 李跃森, 吴水金, 赖正锋, 等. 8 种原生蔬菜氨基酸组成及营养评价[J]. 福建农业学报, 2013, 28(10): 1007–1011.
Li Yuesen, Wu Shuijin, Lai Zhengfeng, et al. Amino acid composition and nutrition evaluation for eight original ecology grown vegetable species [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2013, 28(10): 1007–1011.

[47] 贾恺悦. 基于元素组学的年龄相关元素风险评分与老年肌少症的相关性研究[D]. 南京: 南京医科大学, 2024: 5–7.
Jia Kaiyue. Association between age-related element risk score and sarcopenia based on elementomics among the elderly [D]. Nanjing: Nanjing Medical University, 2024: 5–7.

[48] 李英丽, 赵斌, 方正, 等. 不同类型蔬菜中矿质元素含量的比较研究[J]. 北方园艺, 2009(12): 67–68.
Li Yingli, Zhao Bin, Fang Zheng, et al. Determination of elements of three kinds of vegetables [J]. Northern Horticulture, 2009(12): 67–68.

[49] 廖颖妍, 谭颖贤, 方宇希, 等. 原子吸收光谱法测定沅江荻芦嫩茎中 8 种元素的含量[J]. 中南药学, 2017, 15(5): 654–657.
Liao Yingyan, Tan Yingxian, Fang Yuxi, et al. Determination of microelements in Triarrhenalutarioriparia by atomic absorption spectrumetry [J]. Central South Pharmacy, 2017, 15(5): 654–657.

[50] 严森, 凌其聪, 鲍征宇. 微波消解-火焰原子吸收光谱法测定芦苇笋中的镉[J]. 环境监测管理与技术, 2006, 18(1): 25–26.
Yan Sen, Ling Qicong, Bao Zhengyu. Determination of cadmium in common reed (*Phragmites communis*) by microwave digestion and FAAS [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2006, 18(1): 25–26.

[51] Li Ning, Wu Fan, Zhang Junye, et al. Remediation of heavy metal cadmium polluted water by a variety of garden plant schemes [J]. Desalination and Water Treatment, 2024, 319: 100485.

[52] 姚欣. 东洞庭湖湿地底泥重金属污染特征及南荻对重金属的富集与转移过程[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2022: 3–4.
Yao Xin. The characteristics of heavy metal in the sediment and the

enrichment and transfer process of heavy metals by *Triarrhena lutarioriparia* in east Dongting Lake wetland [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2022: 3–4.

[53] 董萌, 赵运林, 雷存喜, 等. 南洞庭湖优势植物萎蒿的重金属富集特征及其食用安全性[J]. 湖南城市学院学报(自然科学版), 2008, 17(4): 44–48.
Dong Meng, Zhao Yunlin, Lei Cunxi, et al. Accumulation characteristics to heavy metals and edible safety of south Dongting Lake dominant plants *Aremisia selengensis* Turcz [J]. Journal of Hunan City University (Natural Science), 2008, 17(4): 44–48.

[54] 张明, 马超, 孟晓烨, 等. 酶法提取银耳下脚料可溶性膳食纤维及其抗氧化活性研究[J]. 北方园艺, 2019(7): 122–126.
Zhang Ming, Ma Chao, Meng Xiaoye, et al. Research of enzymatic extraction of *Tremella* scraps soluble dietary fiber and its antioxidation [J]. Northern Horticulture, 2019(7): 122–126.

[55] 朱苗, 李青山, 冉会兰, 等. 芋荷梗水不溶性膳食纤维提取工艺优化[J]. 食品工业, 2021, 42(5): 30–32.
Zhu Miao, Li Qingshan, Ran Huilan, et al. Optimization of extraction process of insoluble dietary fiber from taro leafstalk [J]. The Food Industry, 2021, 42(5): 30–32.

[56] 杨月欣, 何梅, 王光亚, 等. 中国农村地区居民蔬菜的纤维含量和摄入状况的研究[J]. 卫生研究, 2007, 36(6): 698–702.
Yang Yuexin, He Mei, Wang Guangya, et al. Study on content and intake status of vegetable fiber in rural residents in China [J]. Journal of Hygiene Research, 2007, 36(6): 698–702.

[57] 田星, 曹丽杰, 兰中赟, 等. 沅江芦笋膳食纤维提取工艺优化及其特性[J]. 湖南中医药大学学报, 2018, 38(11): 1336–1340.
Tian Xing, Cao Lijie, Lan Zhongyun, et al. Optimization of extraction process for dietary fibers from Yuanjiang *Asparagus* and the physical and chemical properties of dietary fibers [J]. Journal of Hunan University of Chinese Medicine, 2018, 38(11): 1336–1340.

[58] 冯昭仪, 张博宁, 杨国舜, 等. 沅江芦笋可溶性膳食纤维提取工艺的优化[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(13): 106–111.
Feng Zhaoyi, Zhang Boning, Yang Guoshun, et al. Optimization of extraction process of soluble dietary fiber from *Miscanthus lutarioriparius* [J]. Food Research and Development, 2024, 45(13): 106–111.

[59] 杜丽娟, 陶汝青, 周葵, 等. 不同品种澳洲坚果的矿物质、氨基酸、多酚含量及抗氧化活性分析及品质评价[J]. 食品工业科技, 2025, 46(19): 273–286.
Du Lijuan, Tao Ruqing, Zhou Kui, et al. Quality assessment and comparative analysis of mineral, amino acid, polyphenol and antioxidant activity in different varieties of *Macadamia* nuts [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(19): 273–286.

[60] 张雨林, 詹济华, 谭洋, 等. HPLC 测定沅江产芦笋中 3 种酚酸和 6 种黄酮类成分含量[J]. 中国现代应用药学, 2018, 35(9): 1317–1321.
Zhang Yulin, Zhan Jihua, Tan Yang, et al. Quantitative determination of three phenolic acids and six flavonoids of *Phragmites communis* (Cav.) Trin. ex Steud from Yuanjiang by HPLC [J]. Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy, 2018, 35(9): 1317–1321.

[61] 蒋龙波. 迷迭香酸在芦笋产品抑菌抗氧化的实验研究[D]. 长沙: 湖南中医药大学, 2017: 3–5.
Jiang Longbo. Experimental study on antibacterial and antioxidant effects of rosmarinic acid on *Asparagus* products [D]. Changsha: Hunan University of Chinese Medicine, 2017: 3–5.

[62] 陈佩瑶. 沅江芦笋低聚木糖的特性分析及其在酸奶中的应用[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2024: 3–4.
Chen Peiyao. Analysis of the characteristics of xylooligosaccharide from *Miscanthus lutarioriparius* and its application in yogurt [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2024: 3–4.

[63] 蒋丹, 陶凤云, 李亚秋, 等. 芦笋中黄酮类化合物的研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(3): 357–362.
Jiang Dan, Tao Fengyun, Li Yaqiu, et al. The development of flavonoids in *Asparagus officinalis* L [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(3): 357–362.

[64] 徐乐乐, 张艳红, 周秀秀, 等. 芒草中总黄酮的提取工艺研究及其挥发油成分的鉴定[J]. 植物科学学报, 2016, 34(4): 622–629.
Xu Lele, Zhang Yanhong, Zhou Xiuxiu, et al. Optimal total flavonoids extraction and identification of volatile oil components in *Miscanthus sinensis* [J]. Plant Sclence Journal, 2016, 34(4): 622–629.

[65] Cao Qingming, Yan Jianye, Sun Zhicheng, et al. Simultaneous optimization of ultrasound-assisted extraction for total flavonoid content and antioxidant activity of the tender stem of *Triarrhena* lutarioriparia using response surface methodology [J]. Food Science and Biotechnology, 2021, 30(1): 37–45.

[66] 杨乐, 王洪新, 秦晓娟. 大孔树脂纯化笋壳中的黄酮物质[J]. 食品与生物技术学报, 2011, 30(2): 218–223.
Yang Le, Wang Hongxin, Qin Xiaojuan. Purification of flavonoids from bamboo shell by macroprous absorbent resins [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2011, 30(2): 218–223.

[67] 谭诗涵, 雷雅婷, 张也, 等. HPD100 与 D101 大孔吸附树脂纯化禾本科芦笋总黄酮与总酚酸研究[J]. 中国药师, 2020, 23(5): 839–844.
Tan Shihan, Lei Yating, Zhang Ye, et al. Study on the static and dynamic adsorption properties of total flavonoids and total phenolic acids in *Asparagus* from Gramineae by HPD100 and D101 macroporous adsorbent resins [J]. China Pharmacist, 2020, 23(5): 839–844.

[68] 安佳星, 龙秀锋, 伍时华, 等. 对羟基苯甲醛和阿魏酸对酿酒酵母理化特性的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(22): 125–130.
An Jiaxing, Long Xiufeng, Wu Shihua, et al. Effects of p-hydroxybenzaldehyde and ferulic acid on physicochemical properties of *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Food Science, 2021, 42(22): 125–130.

[69] 吕慧英, 方志辉, 韩晓磊, 等. 天然对羟基苯甲醛的提取方法: CN201910575257.2 [P]. 2020-07-10.
Lv Huiying, Fang Zhihui, Han Xiaolei, et al. Extraction method of natural p-hydroxybenzaldehyde: CN201910575257.2 [P]. 2020-07-10.

[70] 刘珊珊, 向彬, 郭营营, 等. 天麻成分对羟基苯甲醛抗炎作用及机制研究[J]. 中国民族民间医药, 2016, 25(9): 16–17, 19.
Liu Shanshan, Xiang Bin, Guo Yingying, et al. Study of anti-inflammation of p-hydroxybenzaldehyde from *Gastrodia elata* blume [J]. Chinese Journal of Ethnomedicine and Ethnopharmacy, 2016, 25(9): 16–17, 19.

[71] 冯晋, 孙航, 徐娅玲, 等. 天麻成分对羟基苯甲醛的大鼠胃肠吸收特征研究[J]. 中药药理与临床, 2021, 37(2): 23–28.
Feng Jin, Sun Hang, Xu Yaling, et al. Gastrointestinal absorption dynamics characteristics of 4-hydroxybenzaldehyde from *Gastrodia elata* blume in rats [J]. Pharmacology and Clinics of Chinese Materia Medica, 2021, 37(2): 23–28.

[72] Qu Shuhui, Tang Daijiao, Fan Lingxuan, et al. P-hydroxybenzaldehyde from *Gastrodia elata* blume reduces hydroxyurea-induced cellular senescent phenotypes in human SH-SY5Y cells *via* enhancing autophagy [J]. Pharmaceuticals, 2026, 19(2): 207.

[73] 吴颂娜, 邬亭玉, 齐慧, 等. 辐照-乙酸协同催化促进沅江芦笋笋壳水热制备低聚木糖[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2025, 43(5): 61–71.
Wu Songna, Wu Tingyu, Qi Hui, et al. Improvement of xylo-oligosaccharides preparation from Yuanjiang *Miscanthus lutarioriparius* shoot peel by irradiation-acetic acid catalysis of hydrothermal treatment [J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2025, 43(5): 61–71.

[74] 张雨林. 芦笋酚酸类成分及抗肥胖活性的研究[D]. 长沙: 湖南中医药大学, 2018: 4–5.
Zhang Yulin. Study on phenolic acids of *Asparagus* and its anti-obesity activity [D]. Changsha: Hunan University of Chinese Medicine, 2018:

4–5.

[75] 张雨林, 谭洋, 詹济华, 等. 芦笋提取物抗氧化和抑制 3T3-L1 前脂肪细胞分化活性研究[J]. 湖南中医药大学学报, 2018, 38(1): 27–30.
Zhang Yulin, Tan Yang, Zhan Jihua, et al. Study of the activities of antioxidant and inhibiting differentiation of 3T3-L1 preadipocytes of the extract from *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud [J]. Journal of Traditional Chinese Medicine University of Hunan, 2018, 38(1): 27–30.

[76] 彭买姣, 惠华英, 肖嫩群, 等. 芦笋对高脂饮食小鼠肠道内容物细菌多样性的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(11): 2229–2236.
Peng Maijiao, Hui Huaying, Xiao Nenqun, et al. Influence of *Asparagus* on bacterial diversity of intestinal contents in high-fat diet mice [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(11): 2229–2236.

[77] Zhang Y, Zhan J, Pei G, et al. Flavonoids from Yuanjiang *Asparagus* exert anticancer activity against breast cancer MCF-7 cells by regulating estrogen receptor signaling [J]. Phytomedicine, 2024.

[78] 张博宁, 沅江芦笋生态食品加工关键技术与应用[Z]. 湖南省, 沅江市芦小妹食品有限公司, 2022-02-25.
Zhang Boning. Key technologies and application of ecological food processing of Yuanjiang *asparagus* [Z]. Hunan Province, Yuanjiang Luxiaomei Food Co. , Ltd. , 2022-02-25.

[79] Zhang Jinhua, Liu Xinyi, Zhang Tianyang, et al. Study on the bacteriostatic property and bacteriostatic mechanism of rosemarinic acid compounded bacteriostatic agent [J]. Food Bioscience, 2024, 59: 103820.

[80] 赵玲艳, 邓放明. 一种南荻嫩茎罐头食品制作方法: CN201610546902.4 [P]. 2017-06-16.
Zhao Lingyan, Deng Fangming. Production method of canned tender stem food of *Triarrhena lutarioriparia*: CN201610546902.4 [P]. 2017-06-16.

[81] 李怀平. 一种芦苇笋的制备方法: CN201410703839.1 [P]. 2015-03-04.
Li Huaiping. Preparation method of reed shoots: CN201410703839.1 [P]. 2015-03-04.

[82] 梁珏钦, 韩晓磊, 范伟, 等. 不同干燥方式对南荻笋品质和微观结构的影响[J]. 食品工业科技, 2026, 47(10): 23–32.
Liang Jueqin, Han Xiaolei, Fan Wei, et al. Effects of different drying methods on the quality and microstructure of *Triarrhena* lutarioriparia shoots [J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(10): 23–32.

[83] 周辉, 毛琪琪, 罗扬, 等. 一种沅江芦笋的低盐腌制方法: CN202311645470.9 [P]. 2024-04-26.
Zhou Hui, Mao Qiqi, Luo Yang, et al. A low-salt pickling method for Yuanjiang *Asparagus*: CN202311645470.9 [P]. 2024-04-26.

[84] 邓放明, 赵玲艳, 黄洁, 等. 一种冷冻干燥南荻笋及其制造方法: CN202111326642.7 [P]. 2024-05-24.
Deng Fangming, Zhao Lingyan, Huang Jie, et al. A freeze-dried *Triarrhena lutarioriparia* shoots and its manufacturing method: CN202111326642.7 [P]. 2024-05-24.

[85] 张秋尧. 芦苇笋采收机执行机构控制系统研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2023: 15–16.
Zhang Qiuyao. Study on intelligent control of picking device of reed shoot harvester [D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2023: 15–16.

[86] 张秋尧, 高自成, 贾国海, 等. 基于遗传算法的芦苇笋采收机模糊 PID 控制策略研究[J]. 液压与气动, 2023, 47(1): 103–110.
Zhang Qiuyao, Gao Zicheng, Jia Guohai, et al. Research on fuzzy PID control strategy of reed shoot harvester based on genetic algorithm [J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2023, 47(1): 103–110.

[87] 薛帅, 易自力, 黄红梅, 等. 洞庭湖 “芦苇” 产业发展面临的困境及对策分析[J]. 环境生态学, 2022, 4(4): 33–38.
Xue Shuai, Yi Zili, Huang Hongmei, et al. Development of the Dongting Lake grown *Miscanthus* Lutarioriparius derived bio-industries: problems and solutions [J]. Environmental Ecology, 2022, 4(4): 33–38.

[88] 戴慧芳. 洞庭湖区环境规制对生态效率的影响研究[D]. 岳阳: 湖南理工学院, 2025: 3–4.
Dai Huifang. Study on the influence of environmental regulation on ecologicalefficiency in the Dongting Lake Region [D]. Yueyang: Hunan Institute of Science and Technology, 2025: 3–4.

[89] 王岩. 南荻纤维素结构表征与酶解机理研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2023: 57–58.
Wang Yan. Structural characterization and enzymatic hydrolysis mechanism of *Miscanthus lutarioripariu* cellulose [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2023: 57–58.

[90] 王岩, 武小芬, 苏小军, 等. 甲酸联合碱性 H_2O_2 处理南荻纤维素理化结构及酶解特性[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(24): 87–94.
Wang Yan, Wu Xiaofen, Su Xiaojun, et al. Physicochemical structure and enzymatic hydrolysis characteristics of cellulose from *Miscanthus lutarioriparius* treated by formic acid combined with alkaline hydrogen peroxide [J]. Food Research and Development, 2022, 43(24): 87–94.

[91] 周辉, 肖茜, 张博宁, 等. 一种提取芦苇笋中膳食纤维的方法: CN202210421102.5 [P]. 2022-08-05.
Zhou Hui, Xiao Qian, Zhang Boning, et al. A method for extracting dietary fiber from reed shoots: CN202210421102.5 [P]. 2022-08-05.

[92] 谢稳, 雷雅婷, 张也, 等. 芦笋中总黄酮在 D101 大孔吸附树脂上静态与动态吸附性能研究[J]. 右江民族医学院学报, 2020, 42(2): 163–166, 174.
Xie Wen, Lei Yating, Zhang Ye, et al. Study on the static and dynamic adsorption properties of total flavonoids in *Asparagus* on D101 macroporous resin [J]. Journal of Youjiang Medical University for Nationalities, 2020, 42(2): 163–166, 174.

[93] 陈星霖, 陈曦冕, 陈建波. 一种芦苇根饮料的制备方法: CN201710585428.0 [P]. 2017-09-22.
Chen Xinglin, Chen Ximian, Chen Jianbo, et al. Preparation method of reed root beverage: CN201710585428.0 [P]. 2017-09-22.

[94] 周辉, 罗洁, 张博宁, 等. 一种特色风味功能性酸奶及其制备方法: CN202211573232.7 [P]. 2023-06-23.
Zhou Hui, Luo Jie, Zhang Boning, et al. A characteristic flavor functional yogurt and its preparation method: CN202211573232.7 [P]. 2023-06-23.

[95] He Siyi, Wang Jianglin, Tang Xia, et al. Impact of Yuanjiang *Miscanthus lutarioriparius* aqueous extract on texture, flavor profile, and antioxidant activity of yogurt during storage [J]. Molecules, 2025, 30(20): 4042.

[96] 肖淑婷, 陈聪, 穆馨怡, 等. 沅江芦笋饼干品质改良工艺优化及品质分析[C]//2018·中国凤凰世界中联药膳食疗研究专业委员会第九届学术年会暨国际药膳食疗产业高峰论坛论文集, 2018: 142–145, 173.
Xiao Shuting, Chen Cong, Mu Xinyi, et al. Optimization of quality improvement process and quality analysis of Yuanjiang *Asparagus* biscuits [C]//2018·Phoenix China the 9th Academic Annual Conference of Professional Committee of Dietetic Therapy Research of World Federation of Chinese Medicine Societies and International Summit Forum on Dietetic Therapy Industry, 2018: 142–145, 173.

[97] 李美云. 芦笋咀嚼片的制备工艺研究及质量标准的建立[D]. 长沙: 湖南中医药大学, 2017: 6–7.
Li Meiyun. Study on preparation technology and establishment of quality standard of *Asparagus* chewable tablets [D]. Changsha: Hunan University of Chinese Medicine, 2017: 6–7.

(责任编辑: 安香玉 曹岱琳)