

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2025.80354

红托竹荪营养成分、功能活性与加工利用研究进展

张伦青¹ 王贤星¹ 李巧巧¹ 许存宾¹ 王 煜²

(1. 贵州理工学院食品药品制造工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 解放军总医院京中医区黄寺门诊部, 北京 100024)

摘要:红托竹荪(*Dictyophora rubrovalvata*)是中国珍贵的食用菌,富含多糖、蛋白质、氨基酸、维生素等活性成分,在抗氧化、抗疲劳、抗肿瘤、免疫调节、保肝、抗炎等方面均具备良好功效。文章系统梳理了近年来国内外关于红托竹荪的营养成分、功能活性及加工现状的研究进展,并对其未来发展方向与应用前景进行了展望。

关键词:红托竹荪;营养成分;功能活性;加工利用

Progress on the nutrient components, functional activities, and utilization of *Dictyophora rubrovalvata*

ZHANG Lunqing¹ WANG Xianxing¹ LI Qiaoqiao¹ XU Cunbin¹ WANG Yu²

(1. School of Food and Pharmaceutical Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang, Guizhou 550025, China; 2. Huangsi Clinic, Jingzhong Medical District of Chinese People's Liberation Army General Hospital, Beijing 100024, China)

Abstract: *Dictyophora rubrovalvata*, a valuable edible fungus in China, is rich in active components, such as polysaccharides, proteins, amino acids, and vitamins, exhibiting significant efficacy in antioxidant, anti-fatigue, antitumor, immunomodulatory, hepatoprotective, and anti-inflammatory activities. This paper systematically reviews recent research progress on the nutritional components, functional activities, and utilization status of *D. rubrovalvata*, both in China and other places, with an outlook on its future development directions and application prospects.

Keywords: *Dictyophora rubrovalvata*; nutrient component; functional activity; utilization

红托竹荪(*Dictyophora rubrovalvata*)是一种具有地方特色的名贵大型食用菌。贵州织金红托竹荪是中国国家地理标志产品,并于2020年入选中欧地理标志第二批保护名单。作为贵州主要栽培的珍稀食用菌种之一,红托竹荪目前已实现规模化人工种植,具备产量稳定、经济效益显著等特点。相较于其他常见食用菌,贵州红托竹荪在外观形态、食用口感与文化意蕴方面均表现出独特性:形态上菌裙舒展、造型优雅;质地上耐煮性强,入口脆嫩并保留清香气味,这一特性在食用菌中尤为突出。作为中国较早实现人工驯化的珍稀菌种,红托竹荪不仅承载着“中国竹荪之乡”的地理标志与文化价值,也是科技推动特色农业发展的典型范例,更融合了食用功能、观赏属性与人文内涵,成为兼具多元价值的食中珍品。

从现代食物营养成分来看,红托竹荪含有丰富的蛋白质、氨基酸、维生素、矿物质和多糖等多种营养成分,是优质的食物营养来源。现代药理学研究^[1-4]表明,红托竹荪在抗氧化、抗疲劳、抗肿瘤、保肝、抗炎、免疫调节等方面均具备良好的功效,是一种高营养价值和高药用价值的食用菌品种。目前,关于红托竹荪的研究与开发利用主要聚焦于栽培技术、病虫害防治、活性成分提取工艺、物化特性及生物活性等领域,有关其营养成分组成、生物活性物质基础及开发利用现状仍缺乏系统性总结。

文章拟聚焦红托竹荪的营养组成、活性成分功效及产品加工利用现状,旨在为红托竹荪的精深加工与高值化利用提供理论参考,促进其在工业、保健食品、功能性食品等领域的应用,同时助力中国竹荪类食用菌资源

基金项目:贵州省科技计划项目(编号:黔科合基础-ZK[2022]一般187);贵州理工学院高层次人才科研启动项目(编号:2023GCC064);贵州省大学生创新创业项目(编号:S2024144400884)

通信作者:张伦青(1986—),女,贵州理工学院讲师,博士。E-mail: lqzhang@git.edu.cn

收稿日期:2025-07-09 **改回日期:**2026-01-18

引用格式:张伦青,王贤星,李巧巧,等. 红托竹荪营养成分、功能活性与加工利用研究进展[J]. 食品与机械, 2026, 42(6): 204-211.

Citation: ZHANG Lunqing, WANG Xianxing, LI Qiaoqiao, et al. Progress on the nutrient components, functional activities, and utilization of *Dictyophora rubrovalvata*[J]. Food & Machinery, 2026, 42(6): 204-211.

的可持续开发利用。

1 红托竹荪的营养组分

红托竹荪子实体包含菌盖、菌柄和菌托三部分。传统上仅菌柄部分被食用,菌盖和菌托则多作为废弃物被丢弃。红托竹荪的菌盖和菌托部位的营养成分不亚于菌柄部位,主要包含多糖、蛋白质、黄酮、维生素、氨基酸、微量元素等,其主要营养成分分类和分布情况见表1。

1.1 多糖

食用菌多糖是一种具有多种生理调节功能的生物活性物质,被誉为“生物应答效应物”(BRM)^[10-12]。多糖是红托竹荪中含量最多的营养成分和生物活性成分之一。梁亚丽等^[5]研究发现,红托竹荪菌托中的多糖含量最多,为其子实体的2.06倍。连宾等^[13]应用薄层层析法确定了红托竹荪的多糖组分包含半乳糖、葡萄糖、甘露糖和木糖。红托竹荪多糖具有抗肿瘤^[14-16]、抗氧化^[17-21]、抗疲劳^[22]、护肝^[23]等多种药理功效。目前,关于红托竹荪多糖提取工艺研究已较为成熟,主要提取技术有水提醇沉法、热水提取法、超声波提取法、酶辅助提取法和超临界萃取法等。竹荪多糖的各种提取法各有优缺点,例如热水提取法的操作相对简便、安全、成本低,适用于工业化生产;酶辅助提取法的提取条件较温和,提取效率高,但成本较高。提取红托竹荪多糖时,应根据实际需要选择经济、稳定、适宜的提取方法。未来研究应聚焦于工艺整合与成本控制,以推动红托竹荪多糖的产业化开发。表2为红托竹荪多糖不同提取方法的优缺点比较。从营养学角度看,与其他食用菌多糖一样,红托竹荪多糖可以提供膳食能量,并且可以显著调节人体的免疫功能,其作用相当于天然抗体^[32]。

综上,红托竹荪多糖在营养补充剂和功能性食品领域具有巨大的开发利用潜力。

1.2 蛋白质和氨基酸

张丽丽等^[9]研究发现,工厂化栽培的红托竹荪蛋白质和膳食纤维的含量分别高达23.2%和40.75%,脂肪含量仅为1.12%,是一种高蛋白质、高膳食纤维、低脂低热量的健康食物。梁亚丽等^[5]研究发现,红托竹荪菌盖部位的蛋

表1 红托竹荪主要营养成分含量及分布

Table 1 Content and distribution of primary nutrient components in *D. rubrovalvata*

营养成分	主要分布	单位	总含量	参考文献
多糖	子实体	g/100 g	14.19	[5]
总糖	子实体	mg/100 g	285.59	[6]
多酚	菌托	mg GAE/g	2.43	[5]
黄酮	菌托	mg/g	1.95	[5]
			11.21	[7]
类黄酮	子实体	mg/100 g	22.5	[6]
维生素B ₂	菌托	μg/g	1.04	[5]
维生素C	子实体	mg/100 g	106.77	[6]
蛋白质	菌盖	g/100 g	27.66	[5]
可溶性蛋白质	子实体	mg/100 g	181.05	[6]
8种必需氨基酸	菌托	g/100 g	11.96	[8]
8种非必需氨基酸	菌托	g/100 g	4.23	[8]
游离氨基酸	子实体	mg/100 g FW	8.78	[8]
天门冬氨酸	菌托	g/100 g	1.36	[8]
谷氨酸	子实体	mg/100 g FW	133.576	[6]
丙氨酸	子实体	mg/100 g FW	29.598	[6]
亮氨酸	菌托	g/100 g	0.99	[8]
组氨酸	菌托	g/100 g	0.24	[8]
呈味氨基酸	菌托	g/100 g	11.21	[8]
钙	子实体	mg/100 g	11.7	[9]
钾	子实体	mg/100 g	260	[9]
镁	子实体	mg/100 g	6.3	[9]
钠	子实体	mg/100 g	24	[9]
铁	子实体	mg/100 g	0.93	[9]
锰	子实体	mg/100 g	1.74	[9]
磷	子实体	mg/100 g	9.12	[9]
铜	子实体	mg/100 g	0.21	[9]
锌	子实体	mg/100 g	0.36	[9]

白质含量最高,为27.66 g/100 g。Zhuang等^[7]研究发现,白蛋白是红托竹荪菌托和菌盖中占比最高的蛋白质组

表2 红托竹荪多糖不同提取方法的优缺点比较

Table 2 Advantages and disadvantages of different extraction methods for *D. rubrovalvata* polysaccharides

提取方法	最佳工艺参数	优点	缺点	多糖得率/%	参考文献
水提醇沉法	料液比1:25 (g/mL)、提取时间3 h、提取温度80℃、提取次数2次	流程繁琐,步骤成熟	提取率较低	9.68±0.08	[24-25]
热水提取法	料液比1:35 (kg/L)、提取温度85℃、提取时间2.5 h、重复提取2次	操作简单,成本低	耗时长,高温易破坏多糖结构	12.05~18.85	[26-27]
超声波辅助提取法	料液比1:48 (g/mL)、提取时间51 min、提取温度60℃、提取功率400 W	操作简便,易于控制,提取率高	需超声设备,成本高	8.10~14.16	[28-30]
酶辅助提取法	纤维素酶2.5%、果胶酶0.4%、木瓜蛋白酶1.5%,50℃酶解1 h,料液比1:60 (g/mL)、提取温度80℃、提取时间3 h	提取条件温和,提取率较高	条件需精准控制,成本较高	7.98~15.37	[20,31]

分,分别占粗蛋白的 69.52% 和 27.91%。郑秀艳等^[8]研究发现,红托竹荪菌托中蛋白质含量为冬荪的 2.77 倍,比冬荪菌托更具有营养价值,是优质蛋白质的食物来源。综上,红托竹荪菌托和菌盖部位蛋白质含量丰富,具有较高的蛋白质资源开发利用价值。目前,有关红托竹荪蛋白质类成分的研究较少,若能深入研究蛋白质功能并拓宽其开发渠道,可进一步提高红托竹荪废弃部位的利用率。

氨基酸被视为功能性食品实现食用与药用价值的重要物质基础之一^[33]。有学者^[6, 8, 33-34]对红托竹荪中的营养成分进行了测定,发现红托竹荪中游离氨基酸总量为 308.78 mg/100 g FW,含有 16 种氨基酸,包括 8 种人体必需氨基酸和 8 种非必需氨基酸。8 种必需氨基酸在红托竹荪菌托中含量为 5.30 g/100 g。其中,构成鲜味的谷氨酸在菌托中占比最高。此外,红托竹荪菌托的必需氨基酸/非必需氨基酸的比值(EAA/TAA)为 0.44, EAA/NEAA 为 0.8,均超出了联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(FAO/WHO)的推荐标准,表明红托竹荪菌托的氨基酸构成比例较为均衡,具有较高的营养价值。

1.3 维生素

维生素是人体维持健康所必需的有机化合物,自身无法合成,需从外界获取^[35]。食物营养质量指数(INQ)是一种通过比较食物提供的营养素与热量的比值来评估其营养价值的指标^[36]。红托竹荪及其副产物是多种维生素的优质来源。张丽丽等^[9]对工厂化栽培红托竹荪的营养成分分析显示,其维生素 B₂、维生素 B₆、维生素 C 及维生素 E 的 INQ 均 >20,其中维生素 C 含量尤为突出(117 mg/100 g),是缺乏人群的良好补充来源。此外,梁亚丽等^[5]的研究进一步指出,废弃的红托竹荪菌托中维生素 B₂ 含量最高,占总维生素含量的 37.84%,提示菌托具有高值化利用的潜力。综上,从营养补充的角度来看,红托竹荪可以作为一种良好的补充 B 族维生素、维生素 C 和维生素 E 的食品来源,具有显著的开发利用价值。

1.4 其他

除了上述营养成分外,红托竹荪还富含黄酮、多酚、三萜等多种化合物^[9]。在矿物质方面,张丽丽等^[9]研究表明,红托竹荪含有钾、钠、钙、磷、镁、锰、铁、锌及铜 9 种矿物质元素,且其 INQ 均 >1,表明红托竹荪的矿物质构成比例合理,是矿物质的优质来源。曾维军等^[37]通过综合评价体系比较了贵州 4 种主要栽培食用菌(红托竹荪、香菇、灰树花、黑木耳)品质,发现红托竹荪的综合评价得分最高。但可能是受层架式菌棒覆土栽培模式的影响,红托竹荪样品中铅、镉、汞、砷含量超过了 GB 2762—2022 的规定,提示未来在品质提升工作中,降低重金属含量是亟待解决的关键问题。

综上,红托竹荪全株营养成分丰富,若能深入研究红托竹荪的营养成分及功能活性,不仅可提高资源利用率,还将产生较好的经济与生态效益,为中国竹荪类产品的深度开发提供依据。

2 红托竹荪的功能活性

红托竹荪全株各部位均富含多种化学成分,包括多糖、黄酮、多酚、蛋白质、氨基酸、维生素等。其中,多糖作为核心活性物质,具有抗氧化、抗疲劳、抗肿瘤、抗炎、免疫调节及抗光损伤等多种生物功效。红托竹荪作为功能性食品添加剂、免疫调节剂、护肤品添加剂等方面的应用前景十分广阔,其营养成分及功能活性如图 1 所示。



图 1 红托竹荪的营养成分及功能活性

Figure 1 Nutrient components and their functional activities in *D. rubrovalvata*

2.1 抗氧化

红托竹荪多糖具有显著的体外和体内抗氧化能力。其抗氧化作用不仅限于直接清除多种自由基(如 DPPH 自由基、羟自由基、超氧阴离子自由基),更能够通过调控细胞内的抗氧化酶系统和关键信号通路来缓解氧化应激诱导的细胞损伤。红托竹荪中的多糖、黄酮、多酚类成分均具有较强的抗氧化活性(如图 1 所示)。王蓓蓓等^[38]研究发现,红托竹荪子实体对体外自由基系统(如 DPPH 自由基、羟自由基、超氧阴离子自由基)具有一定的清除作用,且清除效果与丁羟甲苯的基本一致,但略弱于维生素 C。另有研究^[17, 24]发现,酶解后提取的红托竹荪菌托多糖对 DPPH 自由基的清除能力高于维生素 C。在 H₂O₂ 诱导的 HaCaT 细胞和 PC12 细胞模型中,红托竹荪菌柄多糖能显著提高细胞保护性标志物超氧化物歧化酶(SOD)活力和谷胱甘肽(GSH)含量,并能有效降低损伤标志物乳酸脱氢酶(LDH)和丙二醛(MDA)的释放量,其抗氧化机制可能与抑制 Caspase-3 和 BAX 蛋白表达、促进 Bcl-2 蛋白表达、以及促进 Akt 蛋白磷酸化相关。此外,王益等^[39]研究表明,经红托竹荪多糖干预后,大鼠肺组织中的 SOD 和 GSH 含量升高,MDA 含量降低,提示红托竹荪多糖对肺中毒所致肺损伤有一定的保护作用。除了多糖类成分

外,红托竹荪菌托中的黄酮和多酚类化合物对DPPH自由基和羟自由基也具有清除作用^[40-41]。综上,红托竹荪是一种抗氧化能力较强的食用真菌,未来有望成为一种潜在的强效抗氧化剂。

2.2 抗疲劳和耐缺氧

红托竹荪多糖与黄酮类化合物是发挥抗疲劳与耐缺氧作用的关键活性成分。叶敏等^[22]研究揭示,红托竹荪多糖不仅能显著延长小鼠的负重游泳时间及常压耐缺氧存活时间,其作用机制可能是通过提升肝糖原与肌糖原的储备以缓解运动疲劳,同时通过提高SOD活性并降低MDA水平以增强抗氧化防御,并促进血乳酸与血尿素氮的清除以加速代谢恢复。此外,邵哲等^[40]发现红托竹荪菌托黄酮纯化物也表现出类似的抗疲劳效应,能显著延长小鼠负重游泳时间并降低血乳酸和血尿素氮含量。以上研究从生理生化层面阐明了红托竹荪活性成分的抗疲劳与耐缺氧作用,但不足之处在于主要局限于药效作用评价和指标检测,需进一步进行作用机制研究。

2.3 抗肿瘤

红托竹荪多糖的抗肿瘤作用主要通过抑制肿瘤细胞增殖与诱导其凋亡实现,其分子机制涉及对细胞周期、信号通路及凋亡相关蛋白的多层次调控。在抑制增殖方面,红托竹荪纯化多糖组分DRVP1对小鼠腹水型肝癌S180肿瘤细胞表现出生长抑制活性^[15]。其抑制肿瘤细胞增殖的核心机制之一是诱导细胞周期阻滞。杨茜等^[14]研究表明,红托竹荪多糖能将人胃癌MKN-45细胞的周期阻滞于G₂/M期,从而阻止细胞进入有丝分裂阶段,抑制其恶性增殖。在信号通路层面,此过程与抑制MAPK信号通路的活化密切相关。MAPK通路是调控细胞生长和分裂的核心信号轴,其被抑制能有效传递抗增殖信号。在诱导凋亡方面,红托竹荪多糖能调控凋亡关键蛋白的表达平衡。Hu等^[16]研究表明,红托竹荪多糖对人肝癌HCC-LM3细胞增殖的抑制呈现出明显的时间与剂量依赖性,其机制可能是通过上调促凋亡蛋白的表达,打破细胞内促凋亡与抗凋亡蛋白之间的平衡,进而启动细胞内在的凋亡程序实现的。综上,红托竹荪多糖通过干扰细胞周期进程、抑制关键促生存信号通路等多重分子机制,协同发挥其抗肿瘤效应。红托竹荪有望成为具有免疫调节活性的新型抗肿瘤候选物质,在功能食品与医药领域展现出良好应用前景。未来还需进一步通过动物模型开展系统的体内药效评价,明确抗肿瘤的作用靶点。

2.4 免疫调节

免疫调节是红托竹荪多糖的重要生物活性之一。红托竹荪及其多糖成分通过多靶点、多层次调节机体免疫系统,其作用机制涉及对多种免疫细胞的激活及细胞因子的精密调控。在体液免疫与细胞免疫层面,低、中、高剂量组的红托竹荪水提液均能显著逆转环磷酰胺所致的小鼠免疫抑制状态,表现为血清中IL-12、IL-4和IFN- γ 等

关键细胞因子含量升高,提示红托竹荪对环磷酰胺诱导的免疫抑制具有保护效应^[42]。在先天免疫层面,红托竹荪多糖可以直接激活巨噬细胞。Song等^[43]从红托竹荪菌丝体中分离出新型胞外多糖(命名为DRMP-1),经结构鉴定该多糖由甘露糖、葡萄糖和半乳糖组成。通过建立RAW264.7细胞模型对DRMP-1的免疫调节活性进行评估发现,DRMP-1能够显著提高巨噬细胞吞噬活性,增加一氧化氮含量,并能够提高细胞内酸性磷酸酶(ACP)、溶菌酶(LSZ)和SOD活性,增强巨噬细胞的消化清除能力。揭示了红托竹荪多糖对免疫系统的调控具有更高的精密性。Huang等^[44]研究发现,不同相对分子质量的红托竹荪多糖组分(DRP-I相对分子质量 5.79×10^3 和DRP-II相对分子质量 1.25×10^4)均能够上调IL-10和IL-6的表达,同时抑制TNF- α 的表达。这种独特的细胞因子调控模式,可能促使树突状细胞向一种具有免疫调节功能的表型分化,从而精细地平衡炎症反应。尤为重要的是,相对分子质量较小的DRP-I表现出更强的免疫调节活性,提示相对分子质量可能是影响免疫活性的一个关键结构参数。综上,红托竹荪多糖通过TLR/NF- κ B等信号通路,激活巨噬细胞等固有免疫细胞,并差异性调节树突状细胞的功能;在适应性免疫层面,通过协调Th1/Th2相关细胞因子的平衡,双向增强机体的免疫应答,且其免疫调节活性与多糖的相对分子质量等结构特征密切相关。以上研究提示,红托竹荪在免疫调节中的结构特征与构效关系有待进一步研究。

2.5 护肝

红托竹荪多糖对砷引起的肝损伤和酒精性肝损伤均具有保护作用。对于砷中毒引发的肝损伤,红托竹荪多糖可通过抑制线粒体过度自噬、纠正蛋白表达紊乱和调控凋亡稳态等关键通路发挥护肝作用。Hu等^[45]研究发现,在体外培养的人正常肝细胞L-02中,红托竹荪多糖可以通过清除ROS来减轻砷诱导的肝脏线粒体自噬,从而发挥保肝作用,其机制可能与抑制PINK/Parkin通路相关。还有研究^[46]发现,红托竹荪多糖能系统性逆转由砷暴露引起的异常蛋白质表达,这些蛋白广泛参与细胞代谢、线粒体功能、氧化应激及凋亡通路,从整体上恢复了肝细胞的正常生理状态。在凋亡调控层面,红托竹荪多糖能通过上调抗凋亡蛋白Bcl-2的表达,同时下调促凋亡蛋白Bax的表达,显著提高Bcl-2/Bax蛋白比值。这一关键变化稳定了线粒体膜通透性,阻止了细胞色素C等凋亡因子的释放,从而有效阻断了砷诱导的肝细胞凋亡程序^[47]。

对于酒精性肝损伤,红托竹荪多糖可通过抑制炎症因子释放和改善脂质代谢来发挥护肝功效。颜蜜等^[23]通过建立酒精性肝损伤大鼠模型,探讨了红托竹荪多糖对酒精性肝损伤大鼠的保护作用。红托竹荪多糖能显著降低大鼠血清AST、ALT、TG水平,降低炎症因子TNF- α 和IL-6的表达,并有效改善酒精性肝损伤的肝脏组织形态,提示红托竹荪多糖对大鼠酒精性肝损伤具有一定的保护作用。

用。以上研究提示,红托竹荪多糖具有开发成为保肝护肝功能产品的潜力,这为红托竹荪多糖作为功能性食品或保肝药物成分的开发提供了坚实的分子药理学依据。

2.6 其他功能活性

除上述生物活性外,红托竹荪多糖还具有抑菌、抗衰老、神经保护、抗紫外光等其他功能活性,其深层机制多与增强机体抗氧化防御系统密切相关,并在不同病理模型中通过特定的分子通路发挥作用。在抑菌活性方面,红托竹荪粗多糖溶液对多种常见细菌及霉菌均展现出一定抑菌活性^[48],其抗菌活性特征具体表现为:对细菌的抑制作用强于霉菌;对大肠杆菌与枯草芽孢杆菌的抑菌效果相近;对苹果青霉的抑制活性优于啤酒酵母。该研究结果提示,红托竹荪粗多糖可能具备广谱抑菌特性,其抑菌活性则可能涉及不同的作用靶点。在抗衰老活性方面,叶敏等^[49]采用皮下注射 *D*-半乳糖构建衰老小鼠模型,结果发现红托竹荪多糖 $[300\text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})]$ 显著提高了衰老小鼠血清和肝脏中的 SOD 和 GSH-Px 活性,同时降低了血清和肝脏中的 MDA 水平,提示红托竹荪多糖的抗衰老作用可能源于其对内源性抗氧化酶活性的增强,从而减轻了氧化损伤对生物大分子的累积性伤害。此外,红托竹荪多糖对神诱导大鼠神经损伤具有保护作用,可能是通过抑制氧化应激和调控 Bcl-2/Bax 等凋亡相关蛋白的表达平衡,从而保护神经元免受毒物诱导的凋亡来实现的^[50-51]。李紫薇等^[19]研究发现,红托竹荪菌托中的一种酸性多糖可以提高 UVB 光损伤后的人皮肤成纤维细胞的存活率,提高细胞内抗氧化酶活性,提示红托竹荪多糖具有较好的光修复活性。以上研究揭示了红托竹荪多糖作为一种多功能的天然产物,在食品、保健品及化妆品等领域具有广阔的应用前景。

3 加工利用现状

食用菌因高蛋白和独特风味,被誉为“素中之荤”^[52]。目前,红托竹荪也被广泛应用于各类食品研发中。

3.1 红托竹荪面条

梁亚丽^[53]以红托竹荪菌托或竹荪蛋鲜浆为辅料,开发了相应的复合面条。结果表明,添加菌托/竹蛋鲜浆可显著影响面条的品质特性,随着添加量的增加,面条亮度与黄度下降,红度与总色差上升。蒸煮特性方面,面条的吸水率与膨胀率显著增加,而断条率无变化;蒸煮损失率因面条基质不同呈先降后升或持续下降趋势。质构分析表明,面条的硬度、胶着性、咀嚼性及最大剪切力均有所降低。感官评价与微观结构分析显示,当添加量为 5%~15% 时,面条感官总分较高,且内部结构更为致密,淀粉间隙减小。综合色泽、蒸煮特性、质构与感官评价指标,菌托鲜浆与竹蛋鲜浆的适宜添加量分别为 10%,15%。此条件下,面条在保持良好蒸煮品质的同时,获得了更致密的微观结构与更高的感官接受度。

在活性成分与抗氧化能力方面,菌托鲜浆与竹蛋鲜浆添加量分别为 10% 与 15% 的菌托面条、竹蛋面条、菌托薏米面条和竹蛋薏米面条的 4 种面条中,其多酚含量、多糖含量及抗氧化能力均高于两种对照面条,且随着添加量的增加,面条抗氧化能力增强。

3.2 红托竹荪功能饮料

蔡春城等^[54]以红托竹荪多糖、百尾参多糖和柑橘汁为主要原料,成功研制了一款具备抗氧化能力的复合多糖功能饮料。该饮料呈淡乳黄色,口感优良,稳定性佳,且经抗氧化活性检测证实具有较强的抗氧化能力。经正交试验优化,100 mL 饮料的最优配方为红托竹荪多糖 2 mg/mL、百尾参多糖 12.6 mg/mL、柑橘果汁 60 mL、蔗糖 3%、柠檬酸 0.01%。感官与稳定性俱佳,并具备体外抗氧化能力。此外,马丽等^[55]成功研制了一款具有改善小鼠运动耐力的红托竹荪菌丝体多糖饮料,其最佳组分配方为菌丝体多糖添加量 10%,蔗糖添加量 3%,柠檬酸添加量 0.06%,羧甲基纤维素钠添加量 0.8%,此条件下饮品色泽、口感最佳,感官评分最高。

3.3 红托竹荪泡腾片

李莹等^[30]在超声波辅助提取竹荪多糖的优化工艺基础上,以红托竹荪菌托多糖为原料,制备了一款符合药典质量要求的泡腾片。该泡腾片质量稳定、重现性好,其最佳配方为多糖添加量 2%,酸碱比($m_{\text{柠檬酸}}:m_{\text{碳酸氢钠}}$)1.5:1,崩解剂总量 45%,3% PVP 水溶液添加量 2%,PEG6000 添加量 2%,阿斯巴甜添加量 1%。

综上,红托竹荪具备作为理想食品添加剂的特质。若将其应用于各类食品加工,充分发挥其高营养价值、优良口感及良好保健功能的综合优势,不仅可提升产品品质与附加值,还能降低人工合成添加剂的使用量。随着“健康中国”战略的深入推进,公众健康意识持续提升,健康消费市场规模亦不断扩大,其相关功能性食品在中高端健康食品市场具备广阔发展潜力。红托竹荪功能性食品的研发,契合西南地区的文化特征与消费需求,属于高值化产品开发范畴,可有效助力地方特色产业升级与发展。当前对红托竹荪的加工利用主要集中于食品制造领域,具体产品类型涵盖面条、饮料、泡腾片等;此外,其含有的营养成分具备广泛生物活性,使其在药品、保健品、功能性食品等多领域均具有开发潜力。例如,可开发为具有抗氧化美白、防晒等护肤功效的美容产品,以及具有免疫调节作用的营养补充剂等。

4 展望

红托竹荪是一种高蛋白、低脂肪且膳食纤维丰富的珍贵食用菌,符合联合国粮农组织倡导的“一荤一素一菇”健康膳食模式。近年来,其传统加工中被废弃部位(如菌托)的开发价值逐渐受到关注。红托竹荪及其多种营养组分具有广泛的功能活性,在食用和药用领域均具

有重要的开发潜力,亟待进一步对红托竹荪及其有效成分的提取纯化方式、结构特征等进行深入研究。基于现有研究基础,红托竹荪未来的研究和开发利用可以聚焦以下6个方向:①在多糖的生物活性研究基础上,可以对其他活性成分如多酚、黄酮类成分进行针对性研究,扩展红托竹荪的开发利用前景;②围绕红托竹荪多糖对砷中毒具有缓解和恢复作用,可进一步挖掘其对砷中毒的药效靶点分子机制,开展临床前研究;③加强对红托竹荪废弃部位,如菌托、菌盖部位研究,避免资源浪费和环境污染;④引入多组学技术进行深入研究,突破红托竹荪营养成分特性及作用机制研究仍停留在细胞或动物试验层面;⑤顺应健康消费趋势,未来产品开发可利用抗氧化、免疫调节、抗衰老、护肝等多种功能活性,开发即食汤包、预制菜、营养冻干片等产品;⑥基于红托竹荪突出的生物活性(防晒、抗氧化、抑菌),应积极推进其向化妆品等快速消费品的高值化转化,开发高端防晒、抗衰老护肤及个护产品,赋能产业链,构筑产品的核心差异化优势与附加值。

参考文献

- [1] HE Y J, GAO W Y, ZHANG Y P, et al. Progress in the preparation, structure and bio-functionality of *Dictyophora indusiata* polysaccharides: a review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 283: 137519.
- [2] 梅承翰, 张丽英, 张冰梅, 等. 红托竹荪多糖组分和生物活性研究进展[J]. 中国食用菌, 2022, 41(11): 8-11, 17.
MEI C H, ZHANG L Y, ZHANG B M, et al. Research progress on the structure and bioactivities of *Dictyophora rubrovalvata* polysaccharide[J]. Edible Fungi of China, 2022, 41(11): 8-11, 17.
- [3] 覃发玦, 敖珍, 龙俊训. 红托竹荪多糖提取、表征及生物活性研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(11): 255-260.
QIN F J, AO Z, LONG J X. Research progress on extraction, characterization and biological activities of *Dictyophora rubrovalvata* polysaccharide[J]. China Food Additives, 2023, 34(11): 255-260.
- [4] 陈家齐, 明建, 李佳霖, 等. 酶解联合喷雾干燥处理对红托竹荪风味成分及粉体性质的影响[J]. 食品与机械, 2025, 41(4): 162-171.
CHEN J Q, MING J, LI J L, et al. Effects of enzymatic hydrolysis combined with spray-drying on the flavor components and powder properties of *Dictyophora rubrovalvata* [J]. Food & Machinery, 2025, 41(4): 162-171.
- [5] 梁亚丽, 秦礼康, 王何柱, 等. 红托竹荪及竹荪蛋各部位主要营养成分分析[J]. 食品与机械, 2020, 36(4): 72-76, 114.
LIANG Y L, QIN L K, WANG H Z, et al. The analysis of main nutritional and functional components in different parts of fruit-bodies and embryo of *Dictyophora rubrovalvata*[J]. Food & Machinery, 2020, 36(4): 72-76, 114.
- [6] 饶先军, 汪立成, 刘春梅, 等. 红托竹荪中营养成分的测定与研究[J]. 食品与发酵科技, 2013, 49(2): 78-80.
RAO X J, WANG L C, LIU C M, et al. Determination and study of nutrient on *Longnet stinkhorn*[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2013, 49(2): 78-80.
- [7] ZHUANG Y, SUN L. Nutritional characteristics of proteins from the volva and pileus in cultivated mushroom *Dictyophora rubrovalvata*[J]. Int J Food Sci Nutr, 2011, 62(4): 392-396.
- [8] 郑秀艳, 黄磊, 王培, 等. 红托竹荪菌托和冬荪菌托的营养价值评价及抗氧化能力分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(13): 4 374-4 382.
ZHENG X Y, HUANG L, WANG P, et al. Evaluation of nutritional values and antioxidant capacities of *Dictyophora rubrovalvata* volva and *Phallus impudicus* L. volva[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(13): 4 374-4 382.
- [9] 张丽丽, 张磊, 章玉萍, 等. 工厂化栽培红托竹荪的营养成分测定及食用安全性评价[J]. 中国食用菌, 2023, 42(1): 111-117.
ZHANG L L, ZHANG L, ZHANG Y P, et al. Evolution on nutrient composition and edible safety of *Dictyophora rubrovalvata* cultivated in industrialization[J]. Edible Fungi of China, 2023, 42(1): 111-117.
- [10] 郑婷婷, 张文杰, 龚婉莹, 等. 食用菌多糖提取纯化及结构修饰研究进展[J]. 食品与机械, 2024, 40(7): 231-240.
ZHENG T T, ZHANG W J, GONG W Y, et al. Research progress on extraction, purification and structural modification of polysaccharides from edible fungi[J]. Food & Machinery, 2024, 40(7): 231-240.
- [11] 裴龙英, 刘伟, 王思丹, 等. 低共熔溶剂在食用菌多糖提取中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2025, 41(5): 198-206.
PEI L Y, LIU W, WANG S D, et al. Research progress on deep eutectic solvents in extraction of polysaccharides from edible mushrooms[J]. Food & Machinery, 2025, 41(5): 198-206.
- [12] 沈若茗, 陆俊佑, 张煜, 等. 大型食药菌的降血脂功能研究进展[J]. 菌物学报, 2024, 43(8): 1-12.
SHEN R M, LU J Y, ZHANG Y, et al. Hypolipidemic functions of edible and medicinal mushrooms: a review[J]. Mycosystema, 2024, 43(8): 1-12.
- [13] 连宾, 郁建平. 红托竹荪多糖的提取分离及组成研究[J]. 食品科学, 2004, 25(3): 43-45.
LIAN B, YU J P. Study on the polysaccharides extraction from mushroom *Dictyophora rubrovalvata* by TLC[J]. Food Science, 2004, 25(3): 43-45.
- [14] 杨茜, 卢海洋, 胡露, 等. MAPK 通路在红托竹荪多糖诱导人胃癌 MKN-45 细胞凋亡中的作用机制研究[J]. 中国医院用药评价与分析, 2023, 23(10): 1 185-1 189.
YANG X, LU H Y, HU L, et al. Mechanism of MAPK signaling pathway in apoptosis of human gastric cancer MKN-45 cells by *Dictyophora rubrovalvata* polysaccharide[J]. Evaluation and Analysis of Drug-Use in Hospitals of China, 2023, 23(10): 1 185-1 189.
- [15] 赵凯, 王飞娟, 潘薛波, 等. 红托竹荪菌托多糖的提取及抗肿瘤活性的初步研究[J]. 菌物学报, 2008, 27(2): 289-296.
ZHAO K, WANG F J, PAN X B, et al. Extraction and primary investigation of antitumor activity of polysaccharides from the volva of *Dictyophora rubrovalvata*[J]. Mycosystema, 2008, 27(2): 289-296.

- [16] HU T, ZHANG K, PAN D, et al. Inhibition effect of *Dictyophora* polysaccharides on human hepatocellular carcinoma cell line HCC-LM3[J]. Med Sci Monit, 2020, 26: e918870.
- [17] LI T D, CHENG X L, BAO K S, et al. Structural characterization, antioxidant activity, and mechanism of polysaccharides isolated from *Dictyophora rubrovalvata* stipet [J]. Int J Biol Macromol, 2025, 306(Pt 3): 141576.
- [18] 庄永亮, 孙丽平, 尚小丽. 红托竹荪菌盖多糖的提取及抗氧化能力的研究[J]. 林产化学与工业, 2011, 31(3): 45-49.
- ZHUANG Y L, SUN L P, SHANG X L. Extraction and antioxidant activities of polysaccharides from pileus of *Dictyophora rubrovalvata*[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2011, 31(3): 45-49.
- [19] 李紫薇, 吴迪, 张忠, 等. 红托竹荪菌托胶质分离产物的抗氧化和光损伤修复作用及其粗多糖的结构特征[J]. 菌物学报, 2024, 43(8): 140-153.
- LI Z W, WU D, ZHANG Z, et al. Antioxidant properties, UV damage repair activities and structural characteristics of crude polysaccharides of *Phallus rubrovolvatus* volva colloid isolation product[J]. Mycosystema, 2024, 43(8): 140-153.
- [20] 杨玲, 王万坤, 罗丽平, 等. 红托竹荪菌托多糖提取工艺及抗氧化降血糖活性[J]. 菌物学报, 2023, 42(1): 418-429.
- YANG L, WANG W K, LUO L P, et al. Extraction process and antioxidant hypoglycemic activities of polysaccharides from *Dictyophora rubrovolvata* volva[J]. Mycosystema, 2023, 42(1): 418-429.
- [21] 向瑞琪, 谢锋, 谭红, 等. 三种食用菌多糖的基本结构与抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(14): 69-76.
- XIANG R Q, XIE F, TAN H, et al. Study on basic structure and antioxidant activity of polysaccharides from three edible fungi[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(14): 69-76.
- [22] 叶敏, 文竹, 黄家振, 等. 红托竹荪多糖抗疲劳和耐缺氧作用研究[J]. 天然产物研究与开发, 2016, 28(3): 416-419.
- YE M, WEN Z, HUANG J Z, et al. Effects of *Dictyophora rubrovalvata* polysaccharide on anti-fatigue and hypoxia endurance in mice[J]. Natural Product Research and Development, 2016, 28(3): 416-419.
- [23] 颜蜜, 滕春丽, 陶会, 等. 红托竹荪多糖对大鼠酒精性肝损伤的保护作用[J]. 菌物学报, 2022, 41(2): 291-302.
- YAN M, TENG C L, TAO H, et al. Protective effects of *Dictyophora rubrovalvata* polysaccharide on alcoholic liver injury in rats[J]. Mycosystema, 2022, 41(2): 291-302.
- [24] 周娟娟, 程硕, 张义森, 等. 响应面优化红托竹荪多糖提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2023, 48(4): 199-207.
- ZHOU J J, CHENG S, ZHANG Y S, et al. Optimize of extraction process and antioxidant activity of polysaccharide from *Dictyophora rubrovalvata* by response surface methodology [J]. Food Science and Technology, 2023, 48(4): 199-207.
- [25] 徐耀. 红托竹荪不同部位多糖提取及体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(24): 350-352.
- XU Y. Extraction technology and antioxidant activity of polysaccharides of different parts of *Dictyophora rubrovalvata* in vitro[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(24): 350-352.
- [26] 张伟刚, 范巧宁, 贾琳斐, 等. 响应曲面法优化热水浸提红托竹荪多糖的工艺研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(18): 269-274.
- ZHANG W G, FAN Q N, JIA L F, et al. Study on response surface methodology for hot water extraction of polysaccharide from *Dictyophora*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(18): 269-274.
- [27] 敖珍, 覃发玠, 罗迎春, 等. 红托竹荪菌托多糖中试提取工艺及抗氧化能力[J]. 中国调味品, 2022, 47(10): 179-183.
- AO Z, QIN F J, LUO Y C, et al. Pilot extraction process and antioxidant capacity of polysaccharides from *Dictyophora rubrovalvata* volva[J]. China Condiment, 2022, 47(10): 179-183.
- [28] SUN L P, BAO C J, CHANG W D, et al. Preparation, characterisation, antioxidant and antiglycation activities of the novel polysaccharides from the pileus of *Dictyophora rubrovolvata*[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2017, 52(1): 161-170.
- [29] 滕春丽, 颜蜜, 向瑞琪, 等. 红托竹荪多糖的提取优化及膜分级分离的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(12): 4 984-4 990.
- TENG C L, YAN M, XIANG R Q, et al. Study on optimization of extraction and membrane fractionation of polysaccharide from *Dictyophora rubrovolvata*[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(12): 4 984-4 990.
- [30] 李莹, 周克春, 石芳, 等. 红托竹荪菌托多糖提取工艺优化及其泡腾片的制备[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(23): 123-129.
- LI Y, ZHOU K C, SHI F, et al. Extraction optimization and preparation of effervescent tablets of polysaccharides from volva of *Dictyophora rubrovalvata*[J]. Food Research and Development, 2023, 44(23): 123-129.
- [31] 叶敏. 复合酶法提取红托竹荪多糖的工艺研究[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2012, 33(2): 145-147.
- YE M. Study on composite enzymatic extraction of *D. rubrovalvata* polysaccharides[J]. Journal of Jilin Normal University (Natural Science Edition), 2012, 33(2): 145-147.
- [32] ELNAHAS M O, ELKHATEEB W A, DABA G M. Nutritive profile, pharmaceutical potentials, and structural analysis of multifunctional bioactive fungal polysaccharides-a review[J]. Int J Biol Macromol, 2024, 266(Pt 1): 130893.
- [33] 熊碧, 许文远, 杨清清, 等. 13 种常见食用菌的氨基酸组成特征及营养评价[J]. 农产品质量与安全, 2023(3): 15-21.
- XIONG B, XU W Y, YANG Q Q, et al. Amino acid composition characteristics and nutritional evaluation of 13 common edible mushrooms[J]. Quality and Safety of Agro-Products, 2023(3): 15-21.
- [34] 董慧, 赵晓燕, 李晓贝, 等. 贵州红托竹荪和冬荪的品质评价[J]. 食品科学, 2024, 45(20): 198-205.
- DONG H, ZHAO X Y, LI X B, et al. Quality evaluation of *Dictyophora rubrovolvata* and *Phallus Dongsun* from Guizhou [J]. Food Science, 2024, 45(20): 198-205.
- [35] PHAM V T, DOLD S, REHMAN A, et al. Vitamins, the gut

- microbiome and gastrointestinal health in humans[J]. *Nutr Res*, 2021, 95: 35-53.
- [36] 张志恒, 胡文兰, 李辉, 等. 水果营养质量综合指数评价方法的建立与应用[J]. *中国食品学报*, 2023, 23(6): 314-326.
- ZHANG Z H, HU W L, LI H, et al. Development and application of evaluation method with composite nutrient quality index for fruits[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2023, 23(6): 314-326.
- [37] 曾维军, 杨玲, 王万坤, 等. 贵州4种主要栽培食用菌品质综合评价[J]. *中国食用菌*, 2023, 42(3): 57-63.
- ZENG W J, YANG L, WANG W K, et al. Comprehensive evaluation on the quality of four main cultivated edible fungi in Guizhou[J]. *Edible Fungi of China*, 2023, 42(3): 57-63.
- [38] 王蓓蓓, 段玉峰, 邵红军, 等. 红托竹荪多糖抗氧化活性的研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2012, 24(8): 1 122-1 125.
- WANG B B, DUAN Y F, SHAO H J, et al. Antioxidant activity of polysaccharide from *Dictyophora rubrovalvata*[J]. *Natural Product Research and Development*, 2012, 24(8): 1 122-1 125.
- [39] 王益, 胡婷, 严习, 等. 红托竹荪多糖对砷中毒大鼠肺损伤的影响[J]. *菌物学报*, 2023, 42(7): 1 601-1 610.
- WANG Y, HU T, YAN X, et al. Effects of *Dictyophora rubrovalvata* polysaccharide on lung injury induced by arsenic poisoning in rats[J]. *Mycosystema*, 2023, 42(7): 1 601-1 610.
- [40] 邵哲, 喻治达, 钟袁源. 红托竹荪菌托黄酮的纯化及其抗氧化与抗疲劳活性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(1): 315-322.
- SHAO Z, YU Z D, ZHONG Y Y. Study on purification, anti-oxidation and anti-fatigue activity of flavonoids from *Dictyophora rubrovalvata*[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2023, 14(1): 315-322.
- [41] 柴林山, 李剑梅, 张疏雨, 等. 红托竹荪菌托多酚提取工艺响应面法优化及其抗氧化活性分析[J]. *微生物学杂志*, 2024, 44(6): 53-61.
- CHAI L S, LI J M, ZHANG S Y, et al. Optimization of polyphenols extraction technology from red volva of *Dictyophora rubrovalvata* by response surface methodology and its antioxidant activity [J]. *Journal of Microbiology*, 2024, 44(6): 53-61.
- [42] 叶建方, 刘泳廷, 郑冲. 红托竹荪对小鼠 IL-12、IL-4 和 IFN- γ 表达影响[J]. *中国公共卫生*, 2018, 34(7): 994-996.
- YE J F, LIU Y T, ZHENG C. Influence of *Dictyophora rubrovalvata* on IL-12, IL-4 and IFN- γ expression in mice[J]. *Chinese Journal of Public Health*, 2018, 34(7): 994-996.
- [43] SONG M Y, WANG J W, BAO K S, et al. Isolation, structural characterization and immunomodulatory activity on RAW264.7 cells of a novel exopolysaccharide of *Dictyophora rubrovalvata*[J]. *Int J Biol Macromol*, 2024, 270(Pt 2): 132222.
- [44] HUANG N, YANG Y, HUANG J N, et al. Structure characterization and immunoactivity on dendritic cells of two neutral polysaccharides from *Dictyophora rubrovalvata*[J]. *Nat Prod Bioprospect*, 2024, 14(1): 52.
- [45] HU T, LU J, WU C Y, et al. *Dictyophora* polysaccharide attenuates as-mediated PINK1/Parkin pathway-induced mitophagy in L-02 cell through scavenging ROS[J]. *Molecules*, 2022, 27(9): 2 806.
- [46] YAN X, CHEN X L, ZHANG X L, et al. Proteomic analysis of the effects of *Dictyophora* polysaccharide on arsenic-induced hepatotoxicity in rats[J]. *Exp Mol Pathol*, 2024, 138: 104910.
- [47] HU T, SHEN L M, HUANG Q, et al. Protective effect of dictyophora polysaccharides on sodium arsenite-induced hepatotoxicity: a proteomics study[J]. *Front Pharmacol*, 2021, 12: 749035.
- [48] 王蓓蓓. 红托竹荪多糖的分离纯化、结构分析及其生物活性研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2012: 51.
- WANG B B. Study on the isolation, purification, structure, antioxidation and antibacteria of polysaccharide from *Dictyophora rubrovalvata*[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2012: 51.
- [49] 叶敏, 文竹, 彭源芳, 等. 红托竹荪多糖抗衰老和降血糖作用研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(7): 343-345.
- YE M, WEN Z, PENG Y F, et al. Effects of *Dictyophora rubrovalvata* polysaccharide on anti-aging and hypoglycemic in mice[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(7): 343-345.
- [50] ZHANG J, HU T, WANG Y, et al. Investigating the neurotoxic impacts of arsenic and the neuroprotective effects of *Dictyophora* polysaccharide using SWATH-MS-based proteomics[J]. *Molecules*, 2022, 27(5): 1 495.
- [51] ZHANG X L, YANG H M, WANG Y, et al. Proteomic study on the mechanism of arsenic neurotoxicity in the rat cerebral cortex and the protective mechanism of *Dictyophora* polysaccharides against arsenic neurotoxicity[J]. *ACS Chem Neurosci*, 2023, 14(12): 2 302-2 319.
- [52] 陈建胜, 杨正友, 王延圣, 等. 食用菌营养组成、功能活性及加工现状研究进展[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(12): 358-366.
- CHEN J S, YANG Z Y, WANG Y S, et al. Research progress in nutrient composition, functional activity and processing status of edible fungi[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(12): 358-366.
- [53] 梁亚丽. 红托竹荪各部位营养与风味成分及鲜浆复合面条品质研究[D]. 贵阳: 贵州大学食品科学与工程, 2020: 46-52.
- LIANG Y L. A study on the nutritional and flavor components of fresh *Dictyophora rubrovalvata* and the quality of fresh slurry compound noodles[D]. Guiyang: Guizhou University, 2020: 46-52.
- [54] 蔡春城, 陈晓清, 陈培玉, 等. 红托竹荪百尾参复合多糖功能饮料的研制[J]. *贵州师范学院学报*, 2019, 35(9): 26-30.
- CAI C C, CHEN X Q, CHEN P Y, et al. Development of the functional compound polysaccharide beverage of *Dictyophora rubrovalvata* and *Disporum cantoniense* (Lour.) Merr[J]. *Journal of Guizhou Education University*, 2019, 35(9): 26-30.
- [55] 马丽, 孟晨西. 红托竹荪菌丝体多糖饮料的制备及其对小鼠运动耐力的影响[J]. *保鲜与加工*, 2024, 24(5): 91-97.
- MA L, MENG C X. Preparation of *Dictyophora rubrovalvata* mycelium polysaccharides beverage and the effects on exercise capacities of mice[J]. *Storage and Process*, 2024, 24(5): 91-97.