

赤灵芝的营养成分、生物活性及其应用研究进展

Research progress on the nutritional composition, biological activity, and application of *Ganoderma lucidum*

陈奕君¹ 杨小梅² 林丽华¹

CHEN Yijun¹ YANG Xiaomei² LIN Lihua¹

(1. 柳州职业技术学院环境与食品工程学院, 广西 柳州 545006;

2. 贺州学院食品科学与工程技术研究院, 广西 贺州 542899)

(1. School of Environmental and Food Engineering, Liuzhou Vocational & Technical College, Liuzhou, Guangxi 545006, China; 2. Institute of Food Research, Hezhou University, Hezhou, Guangxi 542899, China)

摘要: 赤灵芝具有抗肿瘤、抗氧化、提高免疫力等功效。文章概括了近年来赤灵芝中主要营养成分及其生物活性的最新研究进展,总结了赤灵芝在医疗保健等领域的综合利用现状,分析了存在的问题,并展望了赤灵芝的未来发展方向。

关键词: 赤灵芝; 营养成分; 生物活性; 应用

Abstract: *Ganoderma lucidum* has anti-tumor, antioxidant, and immune enhancing effects. This review summarized the latest research progress on the main nutritional components and biological activities of *G. lucidum* and the current comprehensive utilization status of *G. lucidum* in medical and health fields, analyzed the existing problems, and prospected the future development direction of *G. lucidum*.

Keywords: *Ganoderma lucidum*; nutrient composition; biological activity; application

灵芝(*Ganoderma lucidum*)是一种具有伞状形状的真菌,具有肾形、半圆形或近圆形的菌盖^[1],味道甘甜,具有独特的药用和保健价值^[2]。2020 版《中华人民共和国药典》指出,赤芝与紫芝具有强大的滋养身体、调节内分泌、抗炎镇痛的作用,可用于缓解头痛、失眠、胸闷、乏力等病症^[3]。赤灵芝,又名丹芝,含有丰富的营养物质,如三萜^[4-5]、多糖^[6-8]、生物碱^[9-10]等。为了提高赤灵芝资源的利用率,文章拟介绍赤灵芝中主要的营养成分及其

生物活性,并总结赤灵芝在医疗保健领域的综合利用现状,以期赤灵芝产品在多种不同领域的发展提供依据。

1 赤灵芝的主要营养成分

1.1 多糖

大量研究^[11-14]表明,灵芝多糖不仅能够抵御癌症,还能抑制糖尿病,提升机体免疫力。灵芝多糖的功效取决于其结构、含糖量、结合形态、排列顺序。灵芝多糖主要由葡萄糖、甘露糖、阿拉伯糖等组成,其相对分子质量因多糖类型而有很大差别。

郭爱玲等^[15]以不同栽培方式的赤灵芝子实体为研究对象,采用渗透凝胶色谱法对灵芝多糖的相对分子质量进行测定,采用高效液相色谱法对灵芝多糖的单糖组成进行分析,结果表明,在大段木、小段木、袋料 3 种不同的栽培方法下,灵芝多糖的含量、相对分子质量和单糖组成均存在显著差异,其灵芝多糖含量分别为 14.67, 11.96, 5.35 mg/g,分别含有 8, 5, 7 种单糖。郭金英等^[16]以不同品种的赤灵芝为研究对象,采用苯酚硫酸法测定其多糖含量。结果表明,14 种灵芝中的多糖含量有所差异,为 0.62%~0.94%,说明不同栽培方式和不同品种的赤灵芝,其所含的多糖活性成分有较大差异。因此,在赤灵芝的推广应用时可选择具有更高生理活性的栽培方式和品种。

1.2 三萜类化合物

三萜类化合物具有抗肿瘤、降血压、保护肝脏等功效^[17-20]。目前,常见的灵芝三萜提取方法有溶剂萃取法、超声波辅助法、微波辅助法等^[21]。周旭等^[22]运用溶剂萃取法提取赤灵芝中的三萜类化合物,其最优的提取工艺参数为料液比 1:30 (g/mL)、乙醇体积分数 75%、提取次数 3 次和提取时间 1.5 h;采用高效液相色谱—电

基金项目: 柳州职业技术学院“课堂革命”立项建设项目(编号:柳职院教字[2023]3 号);广西科技基地和人才专项(编号:桂科 AD23026036);贺州学院自治区级大学生创新创业训练项目(编号:S202211838084)

作者简介: 陈奕君(1989—),女,柳州职业技术学院讲师,硕士。
E-mail: 493306658@qq.com

收稿日期: 2023-11-15 **改回日期:** 2024-05-28

喷雾质谱联用技术对提取物的化学成分进行鉴定,分别为灵芝酸 C2、灵芝酸 B、灵芝酸 A、灵芝酸 D2 和灵芝酸 F;采用超滤质谱技术比较了提取物的活性成分对脂肪氧化酶的抑制作用,抑制作用最强的为灵芝酸 B,说明三萜类化合物可有效缓解炎症。此外,王波等^[23]采用溶剂浸提、超声提取、快速溶剂萃取 3 种方法提取赤灵芝中的三萜类化合物,各提取方法中分别加入无水乙醇、75%乙醇水、50%乙醇—水、25%乙醇—水、水进行提取,最终确定了最佳的提取方法,且采用 LC-MS/MS 法确定了提取物中灵芝酸 A、灵芝酸 D、灵芝烯酸 D、灵芝酸 F、灵芝酸 G 含量分别为 25.05、14.75、7.40、22.56、17.22 $\mu\text{g/g}$ 。

2 赤灵芝的生物活性及作用机制

目前,有关赤灵芝生物活性的研究多集中在抗肿瘤、抗氧化、免疫调节、降血压和血脂、心血管疾病的防护、提取纯化技术等方面^[24-33]。

2.1 抗肿瘤

赤灵芝中发挥抗肿瘤作用的重要活性成分为灵芝多糖,其有助于改善人体免疫系统,从而有效抑制肿瘤细胞。张忠等^[34]研究发现,灵芝 β -葡聚糖磷酸化衍生物能够有效抑制人慢性髓原白血细胞株 K562 和小鼠白血细胞株 L1210,起到很好的抗肿瘤效果。Song 等^[35]将巨噬细胞上清液加入到灵芝孢子提取的多糖成分中,对肝癌 H22 有明显的抵抗作用,说明多糖是起到抗肿瘤作用的主要成分。陈菲菲等^[36]发现来源于灵芝孢子中的 β -1,3-葡聚糖能够增加 Th1、抗肿瘤 T 细胞和细胞毒性 T 淋巴细胞(CTL)的活性,促进其增殖分化,调节 M1 和 M2 比例,并有效抵抗肿瘤。

此外,灵芝子实体中富集了多种重要的微量元素,包括 Mn、Cr、Cu、Fe、Ca、K、Mg、Zn、Se、Ge 等。这些元素之间存在着一定的互补性,如 Ge 和 Se,它们能够共同起到抑制癌细胞生长的功效。灵芝对硒有很强的生物转化能力,可将无机硒转化为有机硒,加上灵芝多糖的抗癌活性,可以有效阻断多种癌症细胞的生长,且在治疗癌症时可以提高治愈率,降低治疗毒副反应,提升骨髓的生成和再生,提高抗癌活性,从而达到恢复健康的目的。

2.2 抗氧化、抗衰老

灵芝多糖具有强大的 SOD 活力,能够高效地消灭人体内的自由基,减少对人体的危害,防止脂质体过氧化,维持细胞健康,并具备良好的抗氧化能力。

邹佳好等^[37-38]从赤灵芝子实体中提取出灵芝多糖,将免疫抑制小鼠进行分组,用不同剂量的灵芝多糖对小鼠进行灌胃,检测各组小鼠脾脏和胸腺指数,血清中 IL-2、TNF- α 含量和肝组织中谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、超氧化物歧化酶(SOD)、总抗氧化能力(T-AOC)、过氧化氢酶(CAT)及丙二醛(MDA)含量。结果显示,各小

鼠灌服不同剂量的灵芝多糖后,其脾脏指数、胸腺指数以及血液中 IL-2、TNF- α 含量均有明显的提高,GSH-Px、SOD、T-AOC 及 CAT 水平也有所改善,MDA 含量有所下降,表明灵芝多糖能够改善机体的抗氧化作用,增强机体的免疫功能。徐雪峰等^[39]提取了赤灵芝粗多糖,并利用离子交换色谱和葡聚糖凝胶色谱对其分离纯化,采用凝胶渗透色谱和气相色谱测定其相对分子质量和单糖组分,并进行了体外抗氧化活性评价。试验发现,分离得到的多糖成分以葡萄糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖为主,对自由基的消除率随多糖含量的增大而增大。田文妮等^[40]以赤灵芝为主要原料,以热水回流提取法为对照组,采取持续动态逆流水提醇沉法萃取赤灵芝多糖,比较动态逆流萃取对赤灵芝多糖提取率和抗氧化活性的影响。结果发现,采用持续动态逆流萃取的方法有较高的多糖得率,且该法提取的多糖具有更强的抗氧化能力。综上,赤灵芝中的多糖成分具有很好的抗氧化、抗衰老作用。

2.3 免疫调节作用

陈菲菲等^[36]发现来源于灵芝孢子的 β -1,3-葡聚糖能提高巨噬细胞和小鼠骨髓来源树突状细胞(BMDC)活性,增强其吞噬抗原的能力,促进炎症因子的释放,起到很好的免疫调节作用。何嘉烽等^[41]以从浙江龙泉地区收集的椴木赤灵芝为原料,采用现代化的工艺,如水提、浓缩和冻干,研发出一种具有较丰富多糖、三萜类化合物和蛋白质的水溶性灵芝粉,测定了其粗多糖、灵芝三萜、总黄酮、还原糖和可溶性蛋白含量,并运用动物试验检测其免疫调节能力。结果发现,灵芝粉粗多糖和灵芝三萜含量较高,且能够很好地提升人体的免疫力。

3 赤灵芝的应用研究

因赤灵芝中含有丰富的活性物质,具有一定的药用和保健价值,因此其在医疗保健领域有较好的应用前景,常被用于治疗慢性支气管炎、冠心病以及辅助治疗癌症^[42-43],也可被制作成赤灵芝营养粉、口服液等保健产品供特殊人群食用,从而为人们的身体健康保驾护航,提高生活质量^[44]。

3.1 医疗方面

Pan 等^[45]采用进一步优化后的萃取方式获得灵芝多糖,并对灵芝多糖的抗胃癌功能进行了深入研究,结果表明,灵芝多糖对胃癌有辅助治疗作用。Sun 等^[46]研究表明,将灵芝多糖添加到黑色素瘤细菌 B16-F10 的培养中,可改善其免疫原性。陈春玲等^[47]将小鼠随机分组,通过给予阈下剂量和阈剂量的戊巴比妥钠诱导小鼠睡眠,观察其睡眠情况,对其入睡情况、潜伏期、持续时长进行观测,并利用酶联反应法对小鼠的大脑样本进行检验。结果表明,在阈下剂量戊巴比妥钠治疗的情况下,赤灵芝组的小鼠入睡率有所提高,其大脑样本中 γ -氨基丁酸

(GABA)、5-羟色胺(5-HT)含量也有所增加,而谷氨酸(Glu)和谷氨酰胺(Gln)含量有所下降,表明赤灵芝具有良好的安神和促进睡眠的功效。高应娟等^[48]研究表明,灵芝三萜提取物可以通过抑制脂氧合酶活性有效防止炎症。

3.2 保健方面

3.2.1 赤灵芝孢子粉、制剂及营养粉 赤灵芝孢子粉、制剂及营养粉因具有抗疲劳、抗衰老和抗氧化等功效,近年来被广泛关注。林伟龙等^[49]以赤灵芝为主要原料,将其配伍到其他具备滋养作用的中草药中打粉混合制成营养粉,制备出具有抗疲劳和抗氧化作用的保健食品,利用运动试验和氧化损伤模型来检测其保健功效。结果发现,复方赤灵芝营养粉可显著提升小鼠的活跃度,减少其负担,从而达到良好的抗疲劳、抗衰老的作用。

3.2.2 赤灵芝口服液和水煎液 赤灵芝口服液、水煎液可以缓解运动性疲劳,能增强机体的免疫功能,加快机体的新陈代谢,对于久病不愈的疾病具有一定的疗效。张维珂等^[50]在山东科技大学的男、女篮球队进行的一项针对性训练中,使用了泰山赤灵芝多糖口服液,经测试相关生理指标,证实了泰山赤灵芝可以显著改善身体的免疫系统,还可以促进血红蛋白和红血细胞的产生,从而大大提升了身体的抗病毒和抗炎症的功能,使身体维持足够的体力和耐力。李晨等^[51]研究发现,泰山赤灵芝水煎液可改善体内的血液循环,降低乳酸的产量和沉淀,且可以显著降低疲劳感,从而极大地提升训练效率,有效防止运动损伤。此外,泰山赤灵芝能够维持和改善重复锻炼的骨骼肌的细胞膜稳定性。

4 结束语

近年来,赤灵芝被越来越多地应用到医疗保健领域中。其含有多糖、三萜类化合物、蛋白质、维生素等营养成分,具有提高免疫力、抗衰老、抗肿瘤、抗病毒等功效^[52-54]。目前国内外有关赤灵芝活性成分的研究主要集中在多糖类和三萜类化合物方面,而其他关于蛋白质、维生素、生物碱等营养成分的报道较少,造成了资源浪费。其次,对赤灵芝的有效利用主要集中在医疗保健领域,而对日常生活中的可食用性和食用方法缺少深入研究。针对上述问题,未来可以从以下方面进行探索和研究:①对赤灵芝中的蛋白质、维生素、生物碱等组分进行高效分离提纯,采用动物性试验分析其生物活性,以便更多地利用于医疗保健领域,实现赤灵芝全组分的高效利用;②深入探究赤灵芝的可食用性和食用方法,研发赤灵芝饮料、赤灵芝饼干等相关产品,通过响应面法优化原料配比,更好地满足消费者的多样化需求,促进赤灵芝产业的可持续发展。

参考文献

- [1] LIU Y Z, WANG Z M, ZHANG J Z. Dietary Chinese herbs: chemistry, pharmacology and clinical evidence [M]. Vienna: Springer, 2015: 3.
- [2] 亓小妮, 谢苗, 吴杨洋, 等. 灵芝三萜化合物的制备与药理活性研究进展[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(5): 38-42.
- [3] QI X N, XIE M, WU Y Y, et al. Research progress on preparation and pharmacological activities of *Ganoderma lucidum* triterpenes[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(5): 38-42.
- [4] 廖敏会, 宁鄯笑, 杨珍, 等. 贵州部分地区灵芝及其种植土壤中几种重金属污染检测[J]. 食药用菌, 2020, 28(5): 314-317, 331.
- [5] LIAO M H, NING Y X, YANG Z, et al. Detection and pollution evaluation of heavy metals in *Ganoderma lucidum* and its planting soil in partial areas of Guizhou Province[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2020, 28(5): 314-317, 331.
- [6] SHEN S F, ZHU L F, WU Z J, et al. Extraction of triterpenoid compounds from *Ganoderma lucidum* spore powder through a dual-mode sonication process [J]. Drug Development and Industrial Pharmacy, 2020, 46(6): 963-974.
- [7] LI Y H, TANG J, GAO H L, et al. *Ganoderma lucidum* triterpenoids and polysaccharides attenuate atherosclerotic plaque in high-fat diet rabbits[J]. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 2021, 31(6): 1 929-1 938.
- [8] JIN H, SONG C Y, ZHAO Z G, et al. *Ganoderma lucidum* polysaccharide, an extract from *Ganoderma lucidum*, exerts suppressive effect on cervical cancer cell malignancy through mitigating epithelial-mesenchymal and JAK/STAT5 signaling pathway[J]. Pharmacology, 2020, 105(7/8): 461-470.
- [9] SUSILO R J K, WINARNI D, HUSEN S A, et al. Hepatoprotective effect of crude polysaccharides extracted from *Ganoderma lucidum* against carbon tetrachloride-induced liver injury in mice [J]. Veterinary World, 2019, 12(12): 1 987-1 991.
- [10] RYU D H, CHO J Y, SADIQ N B, et al. Optimization of antioxidant, anti-diabetic, and anti-inflammatory activities and ganoderic acid content of differentially dried *Ganoderma lucidum* using response surface methodology[J]. Food Chemistry, 2020, 335: 127645.
- [11] OPATTOVA A, HORAK J, VODENKOVA S, et al. *Ganoderma lucidum* induces oxidative DNA damage and enhances the effect of 5-fluorouracil in colorectal cancer in vitro and in vivo[J]. Mutation Research, 2019, 845: 403065.
- [12] LI Q Z, CHANG Y Z, HE Z M, et al. Immunomodulatory activity of *Ganoderma lucidum* immunomodulatory protein via PI3K/Akt and MAPK signaling pathways in RAW264.7 cells[J]. Journal of Cellular Physiology, 2019, 234(12): 23 337-23 348.
- [13] 柳小兰, 梁光焰, 杨莹, 等. 黔产赤灵芝不同部位无机元素和营养成分分析[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2023, 36(1): 39-45.
- [14] LIU X L, LIANG G Y, YANG Y, et al. Analysis of inorganic elements and nutrient components in different parts of *Ganoderma*

- Lucidum from Guizhou[J]. Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition), 2023, 36(1): 39-45.
- [12] 孟楠楠, 弓志青, 杨正友, 等. 山东省灵芝子实体及孢子粉中营养成分比较[J]. 食品工业, 2019, 40(10): 319-322.
- MENG N N, GONG Z Q, YANG Z Y, et al. Comparison of nutritional components in fruiting bodies and spore powder of *Ganoderma lucidum* in Shandong Province[J]. The Food Industry, 2019, 40(10): 319-322.
- [13] SETO S W, LAM T Y, TAM H L, et al. Novel hypoglycemic effects of *Ganoderma lucidum* water-extract in obese/diabetic (+db/+db) mice[J]. Phytomedicine, 2009, 16(5): 426-436.
- [14] FERREIRA I C, HELENO S A, REIS F S, et al. Chemical features of *Ganoderma* polysaccharides with antioxidant, antitumor and antimicrobial activities[J]. Phytochemistry, 2015, 114: 38-55.
- [15] 郭爱玲, 宁慧娟, 秦子芳, 等. 不同栽培方式对赤灵芝多糖的影响[J]. 中国食用菌, 2018, 37(3): 47-51.
- GUO A L, NING H J, QIN Z F, et al. Effect of different cultivation methods on polysaccharides of *Ganoderma lucidum* [J]. Edible Fungi of China, 2018, 37(3): 47-51.
- [16] 郭金英, 朱优优, 刘贵巧, 等. 不同品种灵芝主要活性成分与营养物质比较分析[J]. 北方园艺, 2017(17): 177-180.
- GUO J Y, ZHU Y Y, LIU G Q, et al. Comparative analysis on active ingredients and nutrients of different varieties of *Ganoderma lucidum*[J]. Northern Horticulture, 2017(17): 177-180.
- [17] AKIHISA T, NAKAMURA Y, TAGATA M, et al. Anti-inflammatory and anti-tumor-promoting effects of triterpene acids and sterols from the fungus *Ganoderma lucidum*[J]. Chemistry & Biodiversity, 2007, 4(2): 224-231.
- [18] CHEN S, YONG T, ZHANG Y, et al. Anti-tumor and anti-angiogenic ergosterols from *Ganoderma lucidum*[J]. Frontiers in Chemistry, 2017, 85: 1-12.
- [19] WU H H, TANG S S, HUANG Z Q, et al. Hepatoprotective effects and mechanisms of action of triterpenoids from lingzhi or reishi medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* (Agaricomycetes) on alpha-amanitin-induced liver injury in mice [J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2016, 18(9): 841-850.
- [20] BHARADWAJ S, LEE K E, DWIVEDI V D, et al. Discovery of *Ganoderma lucidum* triterpenoids as potential inhibitors against dengue virus NS2B-NS3 protease[J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 19059.
- [21] 赵佳敏, 陈泓鑫, 林宇冲, 等. 灵芝三萜的提取工艺及其抗氧化研究进展[J]. 安徽化工, 2021, 47(1): 11-12, 16.
- ZHAO J M, CHEN H X, LIN Y C, et al. Study progress of Triterpene extraction technology and its antioxidant [J]. Anhui Chemical Industry, 2021, 47(1): 11-12, 16.
- [22] 周旭, 庄思远, 李彦杰, 等. 赤灵芝中三萜类活性成分的提取筛选和质谱分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(6): 169-178.
- ZHOU X, ZHUANG S Y, LI Y J, et al. Extraction, screening and mass spectrometry analysis of active Triterpenoid components in *Ganoderma lucidum* [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(6): 169-178.
- [23] 王波, 陈建新, 林剑豪, 等. 灵芝中灵芝三萜的提取方法研究[J]. 广州化学, 2022, 47(6): 83-88.
- WANG B, CHEN J X, LIN J H, et al. Study on the extraction method of *Ganoderma* triterpenoids from *Ganoderma lucidum*[J]. Guangzhou Chemistry, 2022, 47(6): 83-88.
- [24] LIU T, ZHOU J C, LI W X, et al. Effects of sporoderm-broken spores of *Ganoderma lucidum* on growth performance, antioxidant function and immune response of broilers[J]. Animal Nutrition, 2020, 6(1): 39-46.
- [25] 王刚, 连紫宛, 李占强, 等. 雪灵芝粗多糖对 S180 荷瘤小鼠免疫功能的影响[J]. 中国野生植物资源, 2021, 40(3): 33-37.
- WANG G, LIAN Z Y, LI Z Q, et al. Effect of crude polysaccharide from *Arenaria kansuensis* Maxim on immune function in Sarcoma 180 tumor-bearing mice[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2021, 40(3): 33-37.
- [26] 苗景, 何祥波, 方邵明, 等. 基于转录组测序的灵芝多糖对公羊羔肝脏免疫功能的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2021(6): 118-123, 149.
- MIAO J, HE X B, FANG S M, et al. Effect of *Ganoderma lucidum* polysaccharides on liver immune function of male lambs based on transcriptome sequencing [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2021(6): 118-123, 149.
- [27] 刘月环, 么春艳, 吴旧生. 灵芝三萜酸经 *Pnpla3* 基因的降脂效果体外试验: 基于长爪沙鼠肝原代细胞的脂变模型[J]. 中国比较医学杂志, 2021, 31(3): 16-22.
- LIU Y H, YAO C Y, WU J S. Lipid-lowering effect of *Ganoderma lucidum* triterpene acid (GLTA) via *Pnpla3*: an in vitro steatosis model in liver parenchyma cells of the Mongolian gerbil [J]. Chinese Journal of Comparative Medicine, 2021, 31(3): 16-22.
- [28] 李亚晗, 刘佳琳, 王天添, 等. 灵芝多糖抗肿瘤免疫调节机制的研究进展[J]. 中国免疫学杂志, 2021, 37(4): 511-514.
- LI Y H, LIU J L, WANG T T, et al. Research progress of *Ganoderma lucidum* polysaccharides in anti-tumor immunomodulatory mechanism [J]. Chinese Journal of Immunology, 2021, 37(4): 511-514.
- [29] 李志强, 何玉霞. 灵芝多糖对人肺癌 A549 细胞增殖凋亡的作用[J]. 现代食品科技, 2021, 37(5): 38-42.
- LI Z Q, HE Y X. The effect of *Ganoderma lucidum* polysaccharides on proliferation and apoptosis of human lung cancer A549 cells[J]. Modern Food Science & Technology, 2021, 37(5): 38-42.
- [30] 马传贵, 张志秀, 佟富军. 灵芝对心脑血管保护作用的机制及其研究进展[J]. 医学食疗与健康, 2021, 19(5): 191-192, 205.
- MA C G, ZHANG Z X, TONG F J. Mechanism and research progress of *Ganoderma lucidum* on Cardiovascular protection[J]. Medical Diet and Health, 2021, 19(5): 191-192, 205.
- [31] 江和栋, 牛仙, 万仁口, 等. 灵芝孢子多糖的提取工艺优化及单糖组成、抗氧化活性分析[J]. 中国食品学报, 2021, 21(4):

- 159-167.
- JIANG H D, NIU X, WAN R K, et al. Optimization of extraction process and analysis of monosaccharide composition and antioxidant activity of *Ganoderma lucidum* spore polysaccharides [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(4): 159-167.
- [32] 彭灿, 张静, 祝宇龙, 等. 灵芝在中药美容产品中的应用研究进展[J]. 中国美容医学, 2021, 30(3): 178-182.
- PENG C, ZHANG J, ZHU Y L, et al. Progress in the application and study on *Ganoderma lucidum* in Chinese herbal cosmetic products[J]. Chinese Journal of Aesthetic Medicine, 2021, 30(3): 178-182.
- [33] 张泽泉, 罗翠婷, 洪臣熙, 等. 延平区野生灵芝中 29 种元素含量分析[J]. 海峡预防医学杂志, 2020, 26(5): 49, 110.
- ZHANG Z Q, LUO C T, HONG C X, et al. Analysis of 29 elements in wild *Ganoderma lucidum* in Yanping district[J]. Strait Journal of Preventive Medicine, 2020, 26(5): 49, 110.
- [34] 张忠, 张劲松, 唐庆九, 等. 灵芝 β -葡聚糖磷酸化衍生物体外抑制肿瘤细胞增殖的作用[J]. 食用菌学报, 2020, 27(1): 63-68.
- ZHANG Z, ZHANG J S, TANG Q J, et al. The inhibitory effect of *Ganoderma lucidum* β -glucan phosphorylated derivatives on tumor cell proliferation in vitro [J]. Acta Edulis Fungi, 2020, 27(1): 63-68.
- [35] SONG M, LI Z H, GU H S, et al. *Ganoderma lucidum* spore polysaccharide inhibits the growth of hepatocellular carcinoma cells by altering Macrophage polarity and induction of apoptosis [J]. J Immunol Res, 2021, 2021: 6696606.
- [36] 陈菲菲, 李畅, 罗毅, 等. 微粒型灵芝孢子 β -葡聚糖重塑免疫抑制微环境增强吉西他滨抗肺癌作用[J]. 药学报, 2021, 56(7): 1988-1998.
- CHEN F F, LI C, LUO Y, et al. Effect and mechanism of particulate *Ganoderma lucidum* spore β -glucan in remodeling tumor immunosuppressive Microenvironment as an adjuvant to gemcitabine chemotherapy[J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 2021, 56(7): 1988-1998.
- [37] 邹佳好, 石广亮, 姜晓文, 等. 赤灵芝多糖对机体抗氧化作用及免疫功能的影响研究[J]. 中兽医医药杂志, 2016, 35(2): 52-56.
- ZOU J Y, SHI G L, JIANG X W, et al. Study on the effects of *Ganoderma lucidum* polysaccharides on antioxidant activity and immune function in the body[J]. Journal of Traditional Chinese Veterinary Medicine, 2016, 35(2): 52-56.
- [38] 张俊丽, 岳彩娟, 高旭红, 等. 日粮中添加金银花枝条粉对西门塔尔杂代肉牛生长性能及血清生化指标的影响[J]. 饲料研究, 2022, 45(9): 5-10.
- ZHANG J L, YUE C J, GAO X H, et al. The effect of adding honeysuckle branch powder to the diet on the growth performance and serum biochemical indicators of simmental hybrid beef cattle [J]. Feed Research, 2022, 45(9): 5-10.
- [39] 徐雪峰, 李桂娟, 闫浩, 等. 赤灵芝多糖分离纯化及体外抗氧化性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 144-148.
- XU X F, LI G J, YAN H, et al. Purification and in vitro antioxidant activity of polysaccharides from *Ganoderma lucidum* [J]. Food & Machinery, 2017, 33(1): 144-148.
- [40] 田文妮, 肖南, 张全才, 等. 连续动态逆流提取对赤灵芝多糖抗氧化活性的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(7): 245-249.
- TIAN W N, XIAO N, ZHANG Q C, et al. Effect of continuous dynamic countercurrent extraction on antioxidant activity of *Ganoderma lucidum* Karst polysaccharide [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(7): 245-249.
- [41] 何嘉烽, 吴小勇, 尹辉, 等. 水溶性灵芝粉的制备及其免疫调节活性评价[J]. 广东药科大学学报, 2018, 34(3): 288-292.
- HE J F, WU X Y, YIN H, et al. Preparation of water-soluble *Ganoderma lucidum* powder and evaluation of its immunomodulatory activity [J]. Journal of Guangdong Pharmaceutical University, 2018, 34(3): 288-292.
- [42] 苏保洲. 灵芝的现代临床应用探索[J]. 现代中西医结合杂志, 2019, 28(5): 567-570.
- SU B Z. Exploration of modern clinical application of *Ganoderma lucidum* [J]. Modern Journal of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, 2019, 28(5): 567-570.
- [43] 杨秋霞, 杨运云, 刘耀慧, 等. 傅立叶变换离子回旋共振质谱法对赤灵芝的化学成分鉴定和指纹图谱研究[J]. 分析测试学报, 2019, 38(5): 525-531.
- YANG Q X, YANG Y Y, LIU Y H, et al. Identification of chemical constituents and fingerprint of *Ganoderma lucidum* by fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2019, 38(5): 525-531.
- [44] 颜梦秋, 刘艳芳, 唐传红, 等. 食药菌液发酵产品在食品领域应用进展[J]. 食品与机械, 2023, 39(8): 227-233, 240.
- YAN M Q, LIU Y F, TANG C H, et al. Application progress of liquid fermentation products of edible and medicinal fungi in food industry [J]. Food & Machinery, 2023, 39(8): 227-233, 240.
- [45] PAN K, JIANG Q G, LIU G Q, et al. Optimization extraction of *Ganoderma lucidum* polysaccharides and its immunity and antioxidant activities [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 55: 301-306.
- [46] SUN L X, LIN Z B, DUAN X S, et al. Stronger cytotoxicity in CTLs with granzyme B and porforn was induced by *Ganoderma lucidum* polysaccharides acting on B16F10 cells [J]. Biomedicine & Preventive Nutrition, 2012, 2: 113-118.
- [47] 陈春玲, 姜思羽, 吴迪生, 等. 赤灵芝对小鼠镇静催眠作用的研究及机制分析[J]. 时珍国医国药, 2019, 30(4): 769-770.
- CHEN C L, JIANG S Y, WU D S, et al. Study and mechanism analysis of the sedative and hypnotic effects of *Ganoderma lucidum* on mice [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2019, 30(4): 769-770.

- [48] 高应娟, 罗舒, 宋怡, 等. 灵芝抗炎机制研究进展[J]. 中国食用菌, 2021, 40(9): 1-4, 10.
- GAO Y J, LUO S, SONG Y, et al. Research progress on anti-inflammatory mechanisms of *Ganoderma lucidum*[J]. *Edible Fungi of China*, 2021, 40(9): 1-4, 10.
- [49] 林伟龙, 李兆安, 蔡金艳. 复方赤灵芝营养粉对小鼠抗疲劳作用和氧化损伤模型小鼠的影响[J]. 广东药科大学学报, 2019, 35(2): 242-245.
- LIN W L, LI Z A, CAI J Y. Effect of compound red *Ganoderma* nutrition powder on anti fatigue and oxidative damage model mice [J]. *Journal of Guangdong Pharmaceutical University*, 2019, 35(2): 242-245.
- [50] 张维珂, 张丛丛. 泰山赤灵芝延缓运动员运动性疲劳的实验研究[J]. 体育科技, 2014, 35(6): 77-78, 87.
- ZHANG W K, ZHANG C C. Experimental study on the effect of Taishan *Ganoderma* on delaying sports fatigue[J]. *Sport Science and Technology*, 2014, 35(6): 77-78, 87.
- [51] 李晨, 吕晨曦, 吴磊. 泰山赤灵芝对重复运动后骨骼肌微损伤的保护作用研究[J]. 泰山医学院学报, 2014, 35(8): 711-716.
- LI C, LU C X, WU L. Study on the protective effect of Taishan *Ganoderma* on skeletal muscle microinjury after repeated exercise [J]. *Journal of Taishan Medical College*, 2014, 35(8): 711-716.
- [52] 李盼, 曾祥权, 李倩倩, 等. 块菌多糖的提取、结构、功能及应用研究进展[J]. 食品与机械, 2024, 40(2): 213-220.
- LI P, ZENG X Q, LI Q Q, et al. Research progress on extraction, structural, functional properties and application of Tuber polysaccharides[J]. *Food & Machinery*, 2024, 40(2): 213-220.
- [53] 张文婧, 刘欢, 李红波, 等. 富硒平菇菌种筛选、发酵优化及菌丝特性评价[J/OL]. 食品与生物技术学报. (2024-03-07) [2024-04-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1751.TS.20240304.1100.002.html>.
- ZHANG W J, LIU H, LI H B, et al. Screening, fermentation optimization, and mycelia characterization of selenium-enriched *Pleurotus ostreatus* strains [J/OL]. *Journal of Food Science and Biotechnology*. (2024-03-07) [2024-04-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1751.TS.20240304.1100.002.html>.
- [54] ZHAO C, ZHANG C C, ZHENG X, et al. Pharmacological effects of natural *Ganoderma* and its extracts on neurological diseases: a comprehensive review [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 121: 1 160-1 178.
-
- (上接第 198 页)
- [13] 谢佳秀, 巫小媚, 陈红丽, 等. 三七总皂苷脂质体的制备及表征研究[J]. 时珍国医国药, 2021, 32(3): 610-613.
- XIE J X, WU X M, CHEN H L, et al. Preparation and characterization of liposomes of Panax ginseng total saponin[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2021, 32(3): 610-613.
- [14] 罗照明. 中国蜂胶中多酚类化合物的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013: 11.
- LUO Z M. Polyphenolic composition of Chinese propolis [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013: 11.
- [15] ILHAMI G, ERCAN B M, HILAL S, et al. Polyphenol contents and antioxidant activity of lyophilized aqueous extract of propolis from Erzurum, Turkey[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2010, 48(8/9): 2 227-2 238.
- [16] 李进, 刘世军, 罗锐, 等. 大枣叶水提醇沉物的抗氧化活性研究[J]. 陕西农业科学, 2023, 69(7): 1-7, 17.
- LI J, LIU S J, LUO R, et al. Antioxidant activity of water-extraction alcohol-precipitation extracts from jujube leaves [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2023, 69(7): 1-7, 17.
- [17] 陈杰. 不同产地灵芝子实体化学成分及抗氧化活性研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2016: 35-36.
- CHEN J. The components and antioxidant activity of *ganoderma lucidum* from different origins[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2016: 35-36.
- [18] 孙丽萍, 徐响, 黄少康, 等. 蜂胶不同溶剂萃取物组成和抗氧化性的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(21): 75-78.
- SUN L P, XU X, HUANG S K, et al. Chemical compositions and antioxidant activity of different solvent extracts from propolis[J]. *Food Science*, 2009, 30(21): 75-78.
- [19] 谭曜, 方爱琴, 谢建敏, 等. 蜂胶乙醇溶液体外清除羟基自由基能力的测定[J]. 广东化工, 2021, 48(12): 189-190, 182.
- TAN Y, FANG A Q, XIE J M, et al. Study on effect of propolis ethanol solution on scavenging hydroxyl radical in vitro [J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2021, 48(12): 189-190, 182.
-
- (上接第 212 页)
- [23] 张鹏, 刘璐, 王虹, 等. 姜黄素白蛋白纳米粒的制备与评价[J]. 中国医院药学杂志, 2018, 38(7): 719-722, 731.
- ZHANG P, LIU R, WANG H, et al. Preparation and preliminary characterization of curcumin albumin nanoparticles [J]. *Chinese Journal of Hospital Pharmacy*, 2018, 38(7): 719-722, 731.
- [24] ISBISTER G K, FRIBERG L E, HACKETT L P, et al. Pharmacokinetics of quetiapine in overdose and the effect of activated charcoal[J]. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 2007, 81(6): 821-827.
- [25] 阮仕洋, 陈慧, 曾凡丽, 等. 柠檬苦素固体脂质纳米粒冻干粉制备及质量评价[J]. 中国医院药学杂志, 2022, 42(23): 2 493-2 499.
- RUAN S Y, CHEN H, ZENG F L, et al. Preparation and quality evaluation of limonin solid lipid nanoparticle lyophilized powder[J]. *Chinese Journal of Hospital Pharmacy*, 2022, 42(23): 2 493-2 499.
- [26] LI Y, ZHAO R N, LI Y, et al. Limonin enhances the antifungal activity of eugenol nanoemulsion against *penicillium italicum* in vitro and in vivo tests[J]. *Microorganisms*, 2021, 9(5): 969.