

食药用菌活性物质及其功能的研究进展

杨娟¹, 周洪英², 常菊花^{1*} (1. 长江大学生命科学学院, 湖北荆州 434025; 2. 湖北省农业科学院经济作物研究所, 湖北武汉 430064)


摘要 食药用菌是一类营养丰富的大型真菌, 含有多种活性物质, 包括多糖、维生素、多肽等, 具有抗癌、抗炎抗氧化、免疫调节等作用, 在医疗保健等行业中具有广阔的发展前景。阐述了食药用菌的主要活性物质及结构, 介绍了食药用菌抗炎抗氧化、降血脂降血糖、免疫调节和抗癌等功能, 对食药用菌的发展进行了展望, 为食药用菌的进一步开发提供理论依据。

关键词 食药用菌; 活性物质; 功能

中图分类号 TS219 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2023)05-0005-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.05.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Research Progress of Active Substances and Their Functions of Edible and Medicinal Fungi

YANG Juan-juan¹, ZHOU Hong-ying², CHANG Ju-hua¹ (1. College of Life Science, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025; 2. Research Institute of Cash Crop, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan, Hubei 430064)

Abstract Edible and medicinal fungi are a kind of large fungi rich in nutrients, containing a variety of active substances, including polysaccharides, vitamins and polypeptides. It has the functions of anti-cancer, anti-inflammation, anti-oxidation, immune regulation and so on, and has a broad development prospect in medical care and other industries. In this paper, the main active substances and structures of edible and medicinal bacteria were described, the anti-inflammatory and antioxidant functions of edible and medicinal bacteria, such as lowering blood lipid and blood glucose, immune regulation and anticancer were introduced. The development of edible and medicinal bacteria was prospected, providing theoretical basis for further development of edible and medicinal bacteria.

Key words Edible and medicinal fungi; Active substances; Function

食药用菌是一类可以药用、食用、药食同用的大型真菌, 黑木耳、香菇、灵芝、银耳、金顶侧耳、猴头等都属于食药用菌。我国食药用菌产量的排名中, 河南省、山东省、黑龙江省、河北省及福建省位列全国前五^[1]。食药用菌种类有很多, 目前我国发现的菌物大约有 1.6 万种, 其中食用菌近 1 000 种, 广泛食用的有 200 种左右, 实现人工栽培的仅有约 100 种^[2]。

近年来, 国内外很多学者对食药用菌活性物质的功能进行研究, 食药用菌也在越来越多的领域发挥重要的作用。不同的食药用菌中活性物质不同, 其价值越来越得到人们的重视。目前研究表明, 食药用菌中含有多糖、维生素、酚类等多种活性物质, 具有抗肿瘤、抗氧化、免疫调节等多种药用活性^[3]。食药用菌是一种很好的绿色食品, 在保健、美容等领域也有广泛应用, 许多食用菌研究成果已用于医药和健康食品的开发。

慢性炎症会增加患慢性病的风险, 如癌症、糖尿病、类风湿性关节炎和心血管疾病等^[4]。据《中国心血管病报告 2018》报道, 我国心血管患病率及死亡率一直处于上升阶段, 目前所患人数已达 2.9 亿人^[5], 而肥胖、高血脂、高血糖等是导致心血管疾病的主要因素。虽然药物治疗癌症的技术有所提高, 但癌症一直是全球重大的公共卫生问题^[6], 是导致死亡的主要原因之一。许多种类的大型真菌因其药用特性而闻名世界^[7], 并得到了深入的研究, 一些食药用菌对很多疾病的治疗效果已经有一定的成效。因此, 该研究重点介绍

了食药用菌的主要活性物质和功能, 并对其发展前景进行了展望。

1 食药用菌中的主要活性物质

1.1 多糖 多糖包括蛋白结合的多糖或多糖肽复合物, 具有丰富的生物活性。多糖是食药用菌的重要成分^[8], 冬虫夏草、蘑菇、猴头菇、灵芝等食药用菌中都富含多糖化合物。冬虫夏草多糖(cordyceps polysaccharides, CSP)主要由葡萄糖、半乳糖、甘露糖、半乳糖醛酸、阿拉伯糖以及微量蛋白质和酚类化合物组成。Wang 等^[9]通过热水萃取和乙醇分馏沉淀从天然冬虫夏草中获得一种水溶性多糖, 将天然冬虫夏草磨碎用 80% 乙醇脱脂、萃取、浓缩、沉淀后, 再通过离心和冻干得到粗多糖, 用 Sevag 试剂除去蛋白质, 最后得到白色多糖, 通过用乙醇的分步沉淀法纯化得到试验需要的多糖。 β -葡聚糖是真菌细胞壁的重要组成部分, 在治疗上是蘑菇中最重要的多糖^[10]。香菇多糖被用于人类癌症治疗^[11], 并与化疗等常规治疗相结合, 以改善患者治疗效果。

1.2 多酚类化合物 多酚类化合物是广泛存在于植物界的一类具有多种生理功能的活性物质, 具有很强的自由基清除能力, 可发挥抗氧化作用^[12]。除此之外, 多酚类化合物还有抗动脉粥样硬化、抗炎等多种作用。它的提取方法有溶剂萃取技术、微波技术、超声波技术等, 多酚类化合物在治疗心血管疾病方面有很好的效果, 这也说明它在以后的临床试验中有很高的价值。

1.3 三萜类化合物 4,4,14-三甲基胆甾烷型三萜类化合物广泛分布于蘑菇(主要是灵芝)中^[13]。它是灵芝的主要成分, 具有抗氧化、降血脂、降血糖等作用。三萜类化合物具有广泛的药理活性、很好的抗炎作用^[14]。灵芝三萜类化合物对脂肪形成和脂肪细胞分化具有抑制作用, 可对其减肥机制加以研究。

基金项目 湖北省农业科学院扶持性计划项目(2019fcxjh08)。

作者简介 杨娟(1996—), 女, 贵州黎平人, 硕士研究生, 研究方向: 食品安全与加工。* 通信作者, 副教授, 从事食品质量与安全研究。

收稿日期 2022-05-31; **修回日期** 2022-06-28

1.4 多肽 多肽是 α -氨基酸以肽键连接在一起而形成的化合物,它也是蛋白质水解的中间产物。多肽具有抗肿瘤、抗感染、免疫调节等作用,是人体必需的一类活性物质,可分为免疫活性肽、神经活性肽、其他活性肽等。食用菌中含有多肽类物质,如灵芝中的灵芝肽具有抗氧化、护肝等作用^[15],羊肚菌具有较高抗氧化性^[16],羊肚菌中含有抗氧化肽。制备多肽的方法有酶解法,范三红等^[17]将粉碎的羊肚菌子实体过筛,以1:30的比例与水混合,调节pH,离心取上清液,再用HCl调节pH进行离心,将得到的沉淀反复水洗离心,冷冻干燥后得到羊肚菌蛋白粉末,再复溶配成5%的蛋白溶液,最后进行酶解得到羊肚菌多肽。

2 食药菌的功能

2.1 食药菌的抗氧化和抗炎作用 人体内自由基和活性氧物种(reactive oxygen species, ROS)的过量产生会导致氧化应激,并对人体健康造成不利影响^[18],可能导致很多病理损害,导致代谢损伤,如心血管疾病、阿尔茨海默病、癌症等^[19]。冬虫夏草、猴头菇、羊肚菌中都富含多糖,具有很好的抗氧化性。因此,食用菌的抗氧化研究成为热点。研究表明,冬虫夏草产生的胞外多糖可以分离得到一种蛋白多糖EPS2BW,对 H_2O_2 诱导的大鼠嗜铬细胞瘤PC12细胞死亡有明显的细胞保护作用^[20]。Cai等^[21]研究了羊肚菌子实体杂多糖FMP-1的体内外抗氧化活性,体外进行自由基清除试验、2,2-二苯基-1-苦味酰肼(DPPH)自由基清除活性试验、超氧阴离子自由基清除活性试验,同时检测斑马鱼胚胎心率、丙二醛水平和抗氧化酶活性,证明了FMP-1对羟基、DPPH和超氧阴离子自由基有显著的清除能力,并且能有效清除不同自由基,保护斑马鱼胚胎免受2,2-偶氮二盐酸盐(AAPH)诱导的氧化应激。

除了多糖外,多肽和多酚也具有抗氧化性,抗氧化肽可以抑制生物大分子清除体内自由基,保护人体组织器官,它的抗氧化能力是由分子供氢的能力和自身结构的稳定性一同决定的^[22]。Wang等^[23]研究了羊肚菌多酚对D-氨基半乳糖(D-galactosamine, D-GalN)诱导的小鼠急性肝功能衰竭的影响,试验发现高剂量羊肚菌多酚明显提高了超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、谷胱甘肽(L-Glutathione)、过氧化氢酶(catalase enzymes, CAT)的活性,证明了多酚具有清除自由基、减轻脂质和蛋白质氧化损伤的作用。除了抗氧化性,也有研究证明多酚类化合物具有很好的抗炎作用^[24]。

2.2 食药菌的降血糖和降血脂作用 高脂血症是动脉粥样硬化和心脏病的主要危险因素^[25],猴头菇具有抗糖尿病的治疗潜力^[26]。研究表明,猴头菌子实体多糖HEP-C能显著减轻体重损失和器官损伤,降低空腹血糖,增强糖耐量,改善肝功能和血脂代谢,提高抗氧化酶活性,抑制脂质过氧化,能有效减轻链脲佐菌素(streptozotocin, STZ)诱导的糖尿病大鼠肝脏病变的恶化程度,证明HEP-C具有很强的降血糖作用^[27]。包焜等^[28]研究了灵芝多肽对四氧嘧啶诱导的糖尿病小鼠降血糖功能的影响,灌胃灵芝多肽后显著

降低糖尿病小鼠空腹血糖含量,降糖率为19.1%,其灵芝多肽通过抑制小肠中 α -葡萄糖苷酶的活性,减少血液中葡萄糖来源,从而降低血糖含量。还有研究表明,猴头菇水提取物显示出抗高脂血症的活性,并且改善了自由基清除酶^[29]。

平菇和双孢蘑菇混合饲料被证明有降血糖的作用,双孢蘑菇与平菇混合粉食对糖尿病患者有降血糖、降血脂的作用。它们含有很高的钾钠比,成为患有心脏病和高血压患者的食物模型^[30]。

2.3 食药菌的免疫调节和抗癌作用 免疫反应是生物体的一个重要生理过程,炎症是免疫系统的一种基本反应,可以保护身体免受感染和组织损伤。Chen等^[31]研究了冬虫夏草多糖(cordyceps polysaccharides, CSP)对环磷酰胺诱导的小鼠肠损伤,对其补加CSP可明显增加小鼠肠道杯状细胞和黏液的含量,且呈剂量依赖关系,CSP组对免疫球蛋白A(immunoglobulin A, IgA)分泌细胞的形成和分泌型IgA(secretory IgA, SIgA)含量均有明显的促进作用,此试验证明CSP能有效增强肠黏膜免疫功能,是一种天然免疫增强剂。Yang等^[32]通过将羊肚菌中的乙酰化多糖进行化学表征后与巨噬细胞RAW264.7一起培养,发现乙酰化多糖有增强免疫活性和抗炎活性的作用。

灵芝已被用于东亚地区的许多疾病^[33],如炎症、免疫紊乱,甚至治疗癌症。Wang等^[34]得出了灵芝通过抑制STAT-3易位而阻碍前列腺癌(prostate cancer, PC-3)细胞的发育,并促使细胞凋亡的结论。还有研究表明,天然小分子虫草素可通过延长G2/M期阻滞和延长双链DNA断裂来增强口腔癌细胞的放射敏感性^[35]。

2.4 食药菌的减肥作用 肥胖是由先天遗传因素和后天环境因素共同作用引起的慢性营养代谢性炎症^[36]。肥胖可以导致许多疾病,因此,控制肥胖能够有效减少疾病发生的概率。黑木耳对人体肠道有很好的清理作用,有改善便秘、润肠通道的作用。研究还发现,小鼠食用5种日本蘑菇的混合物可通过抑制脂肪酸的合成并促进其会阴部脂肪组织中的脂解作用来抑制脂肪积累^[37]。研究发现,灵芝三萜类化合物对脂肪生成具有抑制作用,导致脂质合成和积累下降^[38]。所以增加三萜类化合物的摄入量为提高脂肪细胞的活性提供了一种潜在的方法,从而为预防和治疗肥胖及相关疾病提供了一种治疗策略。

2.5 其他作用 食药菌还有很多其他的作用,如降低胆固醇、降低细胞毒性、促进钙吸收等。猴头菇多糖还具有调节鸡肠道菌群和降低鸡胆固醇的作用,可以添加在肉鸡的饲料中^[39],研究已经发现香菇的子实体可以用作鱼类饲料养殖业的饲料物质^[40]。大量研究表明,食药菌可以对神经细胞起到保护作用^[41-42],比如猴头菌属多糖对上皮细胞有保护作用。

3 展望

综合目前的研究,应该增加食药菌的种类,提升产品的价值,利用其栽培成本低的优势为食药菌的产业带来更

大的受益。正规食药菌工厂在栽培中的技术远远高于一些小型食药菌产业,所以技术人才的引进,不仅有助于提高食药菌的质量和产量,还可以使更多种类的食药菌走向市场,增加食药菌种植的收入。政府可以出台相关的政策,对引进的人才给予一定的补贴,以吸引更多的技术人才,更好地推动食药菌产业的发展。

食药菌无论在食用还是医用方面都有着很多的应用,它含有丰富的营养物质,可作为膳食功能的食品或治疗剂,在保健、营养、医疗、美容方面都得到了很好的利用,消费市场巨大。今后应该进一步加强对食用菌化学成分和药理的研究,让食用菌能为人类健康更好地服务。

参考文献

- [1] 许忠. 我国食药菌栽培现状及发展展望[J]. 乡村科技, 2019(27): 92-93.
- [2] 张金霞, 陈强, 黄晨阳, 等. 食用菌产业发展历史、现状与趋势[J]. 菌物学报, 2015, 34(4): 524-540.
- [3] WANG Z M, CHEUNG Y C, LEUNG P H, et al. Ultrasonic treatment for improved solution properties of a high-molecular weight exopolysaccharide produced by a medicinal fungus [J]. Bioresource technology, 2010, 101(14): 5517-5522.
- [4] DIVATE R D, CHUNG Y C. *In vitro* and *in vivo* assessment of anti-inflammatory and immunomodulatory activities of *Xylaria nigripes* mycelium[J]. Journal of functional foods, 2017, 35: 81-89.
- [5] 胡盛寿, 高润霖, 刘力生, 等. 《中国心血管病报告 2018》概要[J]. 中国循环杂志, 2019, 34(3): 209-220.
- [6] CHEN W Q, ZHENG R S, BAADE P D, et al. Cancer statistics in China, 2015[J]. CA: A cancer journal for clinicians, 2016, 66(2): 115-132.
- [7] WU F, ZHOU L W, YANG Z L, et al. Resource diversity of Chinese macrofungi: Edible, medicinal and poisonous species[J]. Fungal diversity, 2019, 98(1): 1-76.
- [8] HUANG X J, NIE S P. The structure of mushroom polysaccharides and their beneficial role in health [J]. Food & function, 2015, 6(10): 3205-3217.
- [9] WANG J Q, NIE S P, CUI S W, et al. Structural characterization and immunostimulatory activity of a glucan from natural *Cordyceps sinensis* [J]. Food hydrocolloids, 2017, 67: 139-147.
- [10] VOLMAN J J, HELSPER J P F G, WEI S, et al. Effects of mushroom-derived beta-glucan-rich polysaccharide extracts on nitric oxide production by bone marrow-derived macrophages and nuclear factor-kappaB transactivation in Caco-2 reporter cells: Can effects be explained by structure? [J]. Molecular nutrition & food research, 2010, 54(2): 268-276.
- [11] INA K, KATAOKA T, ANDO T. The use of lentinan for treating gastric cancer [J]. Anti-cancer agents in medicinal chemistry, 2013, 13(5): 681-688.
- [12] WANG C J, ZUO Y G, VINSON J A, et al. Absorption and excretion of cranberry-derived phenolics in humans [J]. Food chemistry, 2012, 132(3): 1420-1428.
- [13] DURU M E, ÇAYAN G T. Biologically active terpenoids from Mushroom origin: A review [J]. Records of natural products, 2015, 9(4): 456-483.
- [14] JIAO Y, XIE T, ZOU L H, et al. Lanostane triterpenoids from *Ganoderma curtisii* and their NO production inhibitory activities of LPS-induced microglia [J]. Bioorganic & medicinal chemistry letters, 2016, 26(15): 3556-3561.
- [15] SHI Y L, SUN J, HE H, et al. Hepatoprotective effects of *Ganoderma lucidum* peptides against d-galactosamine-induced liver injury in mice [J]. Journal of ethnopharmacology, 2008, 117(3): 415-419.
- [16] ZHANG Q, WU C E, FAN G L, et al. Improvement of antioxidant activity of *Morchella esculenta* protein hydrolysate by optimized glycosylation reaction [J]. CyTA-journal of food, 2018, 16(1): 238-246.
- [17] 范三红, 田雨, 张锦华. 羊肚菌抗氧化肽的制备、纯化和鉴定[J]. 山西农业科学, 2020, 48(1): 45-51, 54.
- [18] RAY P D, HUANG B W, TSUJI Y. Reactive oxygen species (ROS) homeostasis and redox regulation in cellular signaling [J]. Cellular signalling, 2012, 24(5): 981-990.
- [19] MOREIRA P I, SANTOS M S, OLIVEIRA C R, et al. Alzheimer disease and the role of free radicals in the pathogenesis of the disease [J]. CNS & neurological disorders-drug targets, 2008, 7(1): 3-10.
- [20] CHEN X, DING Z Y, WANG W Q, et al. An antioxidative galactomannan-protein complex isolated from fermentation broth of a medicinal fungus *Cs-HK1* [J]. Carbohydrate polymers, 2014, 112: 469-474.
- [21] CAI Z N, LI W, MEHMOOD S, et al. Structural characterization, *in vitro* and *in vivo* antioxidant activities of a heteropolysaccharide from the fruiting bodies of *Morchella esculenta* [J]. Carbohydrate polymers, 2018, 195: 29-38.
- [22] 张晖, 唐文婷, 王立, 等. 抗氧化肽的构效关系研究进展 [J]. 食品与生物技术学报, 2013, 32(7): 673-679.
- [23] WANG Q M, LU K K, LI F H, et al. Polyphenols from *Morchella angusticeps* Peck attenuate D-galactosamine/lipopolysaccharide-induced acute hepatic failure in mice [J]. Journal of functional foods, 2019, 58: 248-254.
- [24] LI W, JIANG Z D, XIAO X, et al. Curcumin inhibits superoxide dismutase-induced epithelial-to-mesenchymal transition via the PI3K/Akt/NF-κB pathway in pancreatic cancer cells [J]. International journal of oncology, 2018, 52(5): 1593-1602.
- [25] SHARMA K, KUMAR K, MISHRA N. Nanoparticulate carrier system: A novel treatment approach for hyperlipidemia [J]. Drug delivery, 2016, 23(3): 694-709.
- [26] YAN J K, DING Z C, GAO X L, et al. Comparative study of physicochemical properties and bioactivity of *Hericium erinaceus* polysaccharides at different solvent extractions [J]. Carbohydrate polymers, 2018, 193: 373-382.
- [27] CAI W D, DING Z C, WANG Y Y, et al. Hypoglycemic benefit and potential mechanism of a polysaccharide from *Hericium erinaceus* in streptozotocin-induced diabetic rats [J]. Process biochemistry, 2020, 88: 180-188.
- [28] 包焜, 陈萍, 毕云枫, 等. 灵芝活性组分在小鼠体内的降糖功效研究 [J]. 中国兽药杂志, 2015, 49(1): 29-32.
- [29] LIANG B, GUO Z D, XIE F, et al. Antihyperglycemic and antihyperlipidemic activities of aqueous extract of *Hericium erinaceus* in experimental diabetic rats [J]. BMC complementary medicine and therapies, 2013, 13: 1-7.
- [30] ÇAĞLARIRMAK N. The nutrients of exotic mushrooms (*Lentinula edodes* and *Pleurotus* species) and an estimated approach to the volatile compounds [J]. Food chemistry, 2007, 105(3): 1188-1194.
- [31] CHEN S P, WANG J Q, FANG Q Y, et al. Polysaccharide from natural *Cordyceps sinensis* ameliorated intestinal injury and enhanced antioxidant activity in immunosuppressed mice [J]. Food hydrocolloids, 2019, 89: 661-667.
- [32] YANG Y X, CHEN J L, LEI L, et al. Acetylation of polysaccharide from *Morchella angusticeps* peck enhances its immune activation and anti-inflammatory activities in macrophage RAW264. 7 cells [J]. Food and chemical toxicology, 2018, 125: 38-45.
- [33] PAN P, HUANG Y W, OSHIMA K, et al. The immunomodulatory potential of natural compounds in tumor-bearing mice and humans [J]. Critical reviews in food science and nutrition, 2019, 59(6): 992-1007.
- [34] WANG X M, WANG B, ZHOU L Q, et al. *Ganoderma lucidum* put forth anti-tumor activity against PC-3 prostate cancer cells via inhibition of Jak-1/STAT-3 activity [J]. Saudi journal of biological sciences, 2020, 27(10): 2632-2637.
- [35] SU N W, WU S H, CHI C W, et al. Cordycepin, isolated from medicinal fungus *Cordyceps sinensis*, enhances radiosensitivity of oral cancer associated with modulation of DNA damage repair [J]. Food and chemical toxicology, 2018, 124: 400-410.
- [36] KALLIOMÄKI M, COLLADO M C, SALMINEN S, et al. Early differences in fecal microbiota composition in children may predict overweight [J]. The American journal of clinical nutrition, 2008, 87(3): 534-538.
- [37] SHIMIZU T, MORI K, OUCHI K, et al. Effects of dietary intake of Japanese mushrooms on visceral fat accumulation and gut microbiota in mice [J]. Nutrients, 2018, 10(5): 1-16.
- [38] LEE I, KIM J, RYOO I, et al. Lanostane triterpenes from *Ganoderma lucidum* suppress the adipogenesis in 3T3-L1 cells through down-regulation of SREBP-1c [J]. Bioorganic & medicinal chemistry letters, 2010, 20(18): 5577-5581.
- [39] SHANG H M, SONG H, SHEN S J, et al. Effects of dietary polysaccharides from the submerged fermentation concentrate of *Hericium caput-medusae* (Bull. Fr.) Pers. on fat deposition in broilers [J]. Journal of the science of food and agriculture, 2015, 95(2): 267-274.

- [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(26): 12699-12700.
- [7] 郭玉婷, 兰卫, 田思敏, 等. 新疆小枝玫瑰降糖作用及机制研究[J]. 新疆医科大学学报, 2015, 38(4): 452-454.
- [8] 丁婷婷, 柳佳莹, 沈明浩, 山东烟台总黄酮的抗衰老作用研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(12): 140-146.
- [9] 王军喜, 赵文红, 韩珍, 等. 玫瑰露抑菌效果研究[J]. 广东农业科学, 2012, 39(3): 79-80, 90.
- [10] 欧阳平, 张高勇, 康保安. 类黄酮提取的基本原理、影响因素和传统方法[J]. 中国食品添加剂, 2003(5): 54-57.
- [11] 曾惠明, 徐天有, 石玲丽, 等. 胡柚皮中类黄酮素提取及残渣综合利用工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(14): 185-187, 203.
- [12] 王玲玲, 边祥雨, 高蔚娜, 等. 植物类黄酮提取纯化技术研究进展[J]. 营养学报, 2019, 41(6): 606-610.
- [13] 刘舂, 杨洋. 生物类黄酮提取研究进展[J]. 中外食品, 2004(10): 48-49.
- [14] 王琴飞, 吴秋妃, 徐媛, 等. 木薯叶片中黄酮醇类物质的提取与检测[J]. 西南农业学报, 2018, 31(8): 1694-1699.
- [15] 李焱. 西番莲籽种中类黄酮的提取、分离纯化、结构鉴定及抗氧化活性研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2019.
- [16] 杨德全, 叶建阳, 刘鸿云, 等. 从苦荞麦中提取芦丁的研究[J]. 延安大学学报(自然科学版), 1997, 16(4): 69-71.
- [17] 吴剑, 曾凡坤, 张玉, 等. 响应面法优化碱性水提取柑桔皮渣类黄酮工艺研究[J]. 食品科技, 2011, 36(4): 184-188.
- [18] 李斌, 孟宪军, 刘辉. 超临界 CO₂ 萃取玫瑰精油的研究[J]. 食品工业科技, 2005, 26(11): 105-107.
- [19] 潘利华, 罗建平. 大豆异黄酮超临界流体萃取工艺与动力学模型[J]. 农业机械学报, 2010, 41(6): 137-141.
- [20] PURI M, SHARMA D, BARROW C J. Enzyme-assisted extraction of bio-actives from plants[J]. Trends in biotechnology, 2012, 30(1): 37-44.
- [21] 陶文亮, 李慧力. 酶法在植物黄酮提取中的应用[J]. 贵州化工, 2010, 35(5): 31-32, 35.
- [22] 朱华. 拳卷地钱中黄酮类化合物的分离纯化、结构表征及生物活性研究[D]. 长沙: 中南大学, 2004.
- [23] DOKTYCZ S J, SUSLICK K S. Interparticle collisions driven by ultrasound[J]. Science, 1990, 247(4946): 1067-1069.
- [24] 戴得蓉, 刘松奇, 熊坤艳, 等. 雪莲果叶总黄酮超声波辅助酶法提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2021, 37(2): 179-185.
- [25] JOCELYN PARE J R, SIGOUIN M, LAPOINTE J. Microwave-assisted natural products extraction: US 51958890A [P]. 1991-03-26.
- [26] JIANG Y H, JIANG X L, CAI C G, et al. Study on microwave-assisted extraction technology of total flavonoid from Castor leaves [J]. Advanced materials research, 2014, 1004/1005: 868-872.
- [27] 张玉, 曾凡坤, 吴剑. 微波辅助提取柑桔皮渣中类黄酮的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(7): 210-212.
- [28] 王贞贞, 张维玉. 现代过滤技术——超滤技术[J]. 中国医院药学杂志, 1992, 12(6): 284-286.
- [29] 袁明德. 论离心沉降和沉降式离心机在中药提取中的应用[J]. 中成药, 1996, 18(7): 44.
- [30] ITO Y. High-speed countercurrent chromatography [J]. Nature, 1987, 326(6111): 419-420.
- [31] 秦艳, 冯卫华, 白卫东, 等. 柑橘类黄酮化合物的提取及定量分析方法研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(11): 403-406, 413.
- [32] 傅春燕, 刘永辉, 陈代武, 等. 紫外分光光度法测定不同产地瓜馥木中黄酮含量[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(33): 18744-18746.
- [33] 陈从瑾, 黄克瀛, 韦龙宾. 色谱方法在植物黄酮含量测定中的应用[J]. 光谱实验室, 2007, 24(5): 820-824.
- [34] 刘畅, 赵继荣, 王昆, 等. 东北地区不同苹果果实的类黄酮组分及含量分析[J]. 中国果树副特产, 2020(5): 25-28.
- [35] 陈为凯. 一年两收栽培模式下葡萄果实靶向代谢组 and 转录组研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- [36] 薛晓芳, 赵爱玲, 任海燕, 等. 果糖类黄酮的提取、分离纯化及检测方法[J]. 果树资源学报, 2020, 1(5): 53-57.
- [37] 高淑云, 程熙. 麻叶千里光中总黄酮的测定分析[J]. 食品科学, 2009, 30(24): 316-319.
- [38] 章育中, 郭希圣. 薄层层析法和薄层扫描法[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1990: 267.
- [39] 王学军, 许振良, 赵锁奇. 银杏叶提取物中槲皮素和芦丁的超临界流体色谱法测定[J]. 中国医药工业杂志, 2005, 36(7): 415-417.
- [40] 李凤林, 李青旺, 高大斌, 等. 天然黄酮类化合物含量测定方法研究进展[J]. 江苏调味副食品, 2008, 25(4): 8-13.
- [41] 白新伟, 陈鹏. 柱前衍生-毛细管电泳法分离测定苦荞壳中的 8 种黄酮类化合物[J]. 理化检验(化学分册), 2020, 56(8): 897-901.
- [42] 金晶, 阳鑫, 周薇, 等. 玫瑰类黄酮研究进展[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(16): 14-17.

(上接第 4 页)

- [53] 杜维广, 盖钧镒. 大豆超高产育种研究进展的讨论[J]. 土壤与作物, 2014, 3(3): 81-92.
- [54] KUMUDINI S, HUME D J, CHU G. Genetic improvement in short season soybeans: I. Dry matter accumulation, partitioning, and leaf area duration [J]. Crop science, 2001, 41(2): 391-398.
- [55] 赵婧, 邱强, 张鸣浩, 等. 高产大豆品种的生理特征和产量性状研究[J]. 大豆科学, 2013, 32(4): 482-485, 489.
- [56] 胡根海, 章建新, 唐长青. 北疆春大豆生长动态及干物质积累与分配[J]. 新疆农业科学, 2002, 39(5): 264-267.
- [57] 肖万欣. 氮、磷、钾肥合适配施能提高玉米产量[J]. 农家顾问, 2011(10): 27.
- [58] 肖亦农, 谢甫梯, 肖万欣. 不同肥密处理对超高产大豆氮素吸收和产量的影响[J]. 大豆科学, 2011, 30(5): 769-776.
- [59] 盖嘉慧, 闫孝贡, 刘剑利, 等. 吉林中部超高产大豆的生育特征与营养特性研究[J]. 大豆科学, 2014, 33(3): 451-454.
- [60] 赵玉昆, 张惠君, 敖雪, 等. 磷酸二铵对大豆超产品种养分吸收与利用的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(12): 2326-2334.
- [61] 张伟, 宋显军, 谢甫梯, 等. 不同大豆品种光合特性的比较[J]. 大豆科学, 2008, 27(3): 391-396.
- [62] 李琪瑞. 超高产大豆光合特性及对氮肥的响应[D]. 延吉: 延边大学, 2021.
- [63] LI C, TANG H P, LUO W, et al. A novel, validated, and plant height-independent QTL for spike extension length is associated with yield-related traits in wheat [J]. Theoretical and applied genetics, 2020, 133(12): 3381-3393.
- [64] 张含彬, 伍晓燕, 杨文钰. 氮肥对套作大豆干物质积累与分配的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(4): 404-409.
- [65] 丁洪, 郭庆元. 氮肥对不同品种大豆氮素积累和产量品质的影响[J]. 土壤通报, 1995, 26(1): 18-21.
- [66] 田艳洪, 刘元英, 张文钊, 等. 不同时期施用氮肥对大豆根瘤固氮酶活性及产量的影响[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(5): 15-19.
- [67] 邸伟, 金喜军, 马春梅, 等. 施氮水平对大豆氮素积累与产量影响的研究[J]. 核农学报, 2010, 24(3): 612-617.
- [68] 苏代群, 张楷歆, 李文霞, 等. 不同施氮条件下大豆形态与产量相关性状的 QTL 分析[J]. 大豆科学, 2020, 39(2): 198-204.
- [69] 孙振宁, 李晶, 段兴武, 等. 氮磷钾施肥水平对大豆产量及性状的影响[J]. 作物杂志, 2012(5): 135-139.
- [70] 谭春燕, 朱星陶, 陈佳琴, 等. 不同氮钾水平对大豆光合生理及产量的影响[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(10): 5-9.
- [71] 肖永成. 大豆干物质积累分配与产量的关系研究[J]. 现代农业科技, 2020(1): 4-6.

(上接第 7 页)

- [40] BABA E, ULUKÖY G, ÖNTAŞ C. Effects of feed supplemented with *Lentinula edodes* mushroom extract on the immune response of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, and disease resistance against *Lactococcus garvieae* [J]. Aquaculture, 2015, 448: 476-482.
- [41] GUNAWARDENA D, SHANMUGAM K, LOW M, et al. Determination of anti-inflammatory activities of standardised preparations of plant- and mushroom-based foods [J]. European journal of nutrition, 2014, 53(1): 335-343.
- [42] GENG Y, ZHU S L, LU Z M, et al. Anti-inflammatory activity of mycelial extracts from medicinal mushrooms [J]. International journal of medicinal mushrooms, 2014, 16(4): 319-325.