

桦褐孔菌多糖的研究进展

Research progress of *Inonotus obliquus* polysaccharides

常 晨 包怡红

CHANG Chen BAO Yi-hong

(东北林业大学林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

(College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China)

摘要:桦褐孔菌多糖是桦褐孔菌的主要活性成分,在抗氧化、抗肿瘤等方面起到重要作用,是一种潜在的保健成分。文章阐述了桦褐孔菌多糖的提取、分离纯化、生物活性以及结构等方面的研究进展,并展望桦褐孔菌多糖进一步研究以及活性开发应用的趋势。

关键词:桦褐孔菌;多糖;研究进展

Abstract: *Inonotus obliquus* polysaccharide is one of the major constituents of active components in *Inonotus obliquus*, which has important function on antioxidant, anti-tumor etc. and is one kind of potential health ingredients. Study the progresses of *Inonotus obliquus* polysaccharide, including the extraction, isolation, purification, identification, bioactivity and composition, and offer the further researchs and prospects of *Inonotus obliquus* polysaccharide.

Keywords: *Inonotus obliquus*; polysaccharide; research progress

桦褐孔菌 [*Inonotus obliquus* (Fr.) Pilat] 属于真菌门、担子菌亚门、层菌纲、非褐菌目、锈革孔菌科、褐卧孔菌属真菌^[1], 又被称为白桦茸、褐多孔菌、斜管纤孔菌、桦癌褐孔菌^[2]。桦褐孔菌多分布于北纬 45°和 50°之间的地理位置, 中国主要生长桦褐孔菌的省份有黑龙江和吉林省, 国外包括俄罗斯的西伯利亚和远东地区、北美北部以及芬兰等地^[3]。16 世纪, 俄罗斯和北欧在没有进行任何毒理学试验下, 已将桦褐孔菌作为一种民间药物使用, 用于治疗多种疾病, 如糖尿病等^[4]。桦褐孔菌中含有丰富的多糖物质, 是其主要的活性成分^[5]。有研究^[6]表明, 桦褐孔菌多糖具有抗肿瘤、抗氧化、降血糖和血脂以及调节免疫等生物活性。文章综述桦褐孔菌多糖的提取分离、纯化方法、生物活性、结构以及开发前景等方面的研究进展, 旨在为桦褐孔菌多糖的深入研究提供参考。

基金项目:中央高校基金(编号:2572016CG02)

作者简介:常晨,女,东北林业大学在读博士研究生。

通信作者:包怡红(1970—),女,东北林业大学教授,博导。

E-mail:baoyihong@163.com

收稿日期:2016—11—10

1 桦褐孔菌多糖的提取、分离纯化

1.1 桦褐孔菌多糖的提取

常用的多糖提取方法见表 1。

表 1 常见的多糖提取方法^[7]

Table 1 Comparison of different extraction methods

提取方法	提取剂	提取效果
热水浸提法	蒸馏水	经典方法, 简易, 安全, 提取率不高
超声波辅助提取法	蒸馏水	设备简单, 缩短时间
微波辅助提取法	蒸馏水	安全, 高效, 快速, 无污染
酶提取法	纤维素酶等	快速, 生产成本低
高压脉冲电场辅助提取法	蒸馏水	得率高, 纯度高

1.1.1 热水浸提法 热水浸提法是一种应用普遍的方法。郭宇等^[8]采用三因素三水平的正交试验优化桦褐孔菌的多糖得率, 结果表明水浴温度 80 °C、时间 3.5 h、料液比 1:15(g/mL)时, 达到多糖最高提取率。在研究的温度范围内, 桦褐孔菌粗多糖的得率和纯度与提取温度呈正相关。李青等^[9]设计了正交试验, 经方差分析得出影响桦褐孔菌多糖提取效果因素从大到小分别是温度、提取时间、料液比。结果显示料液比 1:40(g/mL)、提取时间 2.5 h、提取温度 90 °C时, 多糖达到最高提取率 1.82%, 多糖纯度 21.1%。朱晓丽等^[10]采用正交试验, 研究了料液比、水浴温度、时间对桦褐孔菌多糖提取率的影响, 结果表明当料液比为 1:30(g/mL)、水浴温度 95 °C、时间 2.5 h, 多糖达到最高得率 17.53%。高愿军等^[11]通过响应面优化试验表明, 当水浴温度 80 °C、时间 2.25 h、料液比 1:40(g/mL)时, 桦褐孔菌多糖得率达到最高, 此时多糖含量为 17.39%。可见, 热水浸提法桦褐孔菌多糖的提取率与温度和提取时间有着直接的关系。

1.1.2 超声辅助提取法 胡涛等^[12]以蒸馏水和异丙醇为提取剂, 通过单因素试验确定桦褐孔菌多糖的最佳提取工艺为

超声功率 400 W、超声 20 次、超声 10 min, 多糖得率最高为 11.62%。张慧丽等^[13]采用超声辅助提取法确定了桦褐孔菌多糖最佳提取条件: 料液比 1:15(g/mL)、超声时间 1 h、温度 95 °C、频率 20 kHz, 此时多糖达到最高提取率 1.822%。张丽霞等^[14]采用正交试验法, 结果表明, 当超声时间 20 min, 料液比 1:50(g/mL), 温度 60 °C 时, 多糖提取率最高。与热水浸提法相比, 超声波辅助法, 明显降低了提取时间, 由于原料和试验系统的不同, 提取率暂时不好比较。

1.1.3 微波辅助提取法 刘琳等^[15]以乙醇和碳酸钾为提取剂, 微波辅助提取桦褐孔菌多糖, 当碳酸钾质量分数 25%, 乙醇质量分数 24% 时, 达到最优双水相配比; 当料液比为 1:50(g/mL)、微波功率为 540 W、时间为 120 s 时, 多糖达到最高提取率为(98.34±0.83)%。高愿军等^[16]在微波辅助下, 响应面分析 3 个因素对桦褐孔菌多糖含量的影响, 影响效果从大到小分别是: 微波功率、水料比、时间, 最佳工艺条件为: 微波功率 720 W、提取时间 32 min、料液比 1:80(g/mL), 多糖提取率最高, 此时多糖含量为 22.66%。与热水浸提法相比, 微波辅助提取法明显降低了提取时间。

1.1.4 酶提取法 王艳波等^[17]采用正交试验优化纤维素酶辅助提取桦褐孔菌多糖提取率, 结果表明, 当料液比 1:40(g/mL)、酶解时间 60 min、酶解温度 50 °C、加酶量 0.15 g、酶解 pH 5.0, 多糖达到最大提取率 2.57%。利用生物酶解技术破坏细胞壁进而提高活性物质的浸出率, 是近年来采用较多的提取方法, 但目前关于桦褐孔菌多糖的酶法辅助提取多糖的文献报道还较少, 因为酶提取法生产成本相对较高, 试验中不常采用。

1.1.5 高压脉冲电场辅助提取法 殷勇光等^[18]采用高压脉冲电场辅助提取桦褐孔菌多糖, 结果表明, 当料液比为 1:25(g/mL)、pH 10、电场强度 30 kV/cm、脉冲数为 6 时, 多糖达到最大提取率 49.8%。与微波辅助法和超声辅助提取法比较, 高压脉冲电场辅助法提取多糖明显优于微波辅助法和超声辅助法。由于脉冲方波电源发生器造价较高, 无法大规模应用, 目前关于高压脉冲电场辅助提取法的研究较少, 仍需要进一步的研究。

1.2 桦褐孔菌多糖的分离纯化

桦褐孔菌中含有多种成分, 对桦褐孔菌多糖进行提取时需要除去其中的蛋白质、色素等杂质, 以获得高纯度的桦褐孔菌多糖。

1.2.1 桦褐孔菌多糖的脱蛋白 常用的多糖脱蛋白方法有 Sevag 法、酶法、盐酸法、反复冻融法、三氯乙酸法(TLA)、三氟三氯乙烷法等方法^[19]。张丽霞等^[20]对比了 Sevag 法、三氯乙酸法、蛋白酶法对桦褐孔菌粗多糖脱蛋白的效果, Sevag 法蛋白脱除率最高, 多糖得率 92.5%。韩耀玲等^[21]对比了 Sevag 法、三氯乙酸法和酶法对桦褐孔菌粗多糖的脱蛋白效果, 三氯乙酸法的蛋白脱除率最高。二者研究结果存在的差异, 是由脱蛋白次数不同引起, 前者重复了 12 次, 直至蛋白除尽, 而后者仅重复了 6 次。

1.2.2 桦褐孔菌多糖的脱色 常用的多糖脱色方法有活性炭、H₂O₂、树脂、AL₂O₃ 柱层析、聚酰胺、壳聚糖等^[22]。陈义

勇等^[23]分别对比了粉末活性炭、聚酰胺、树脂对桦褐孔菌粗多糖的脱色效果, 聚酰胺效果最好, 多糖保留率最高为 89.7%。玄光善等^[24]比较研究了活性炭、壳聚糖、聚酰胺层析柱、过氧化氢对桦褐孔菌粗多糖的脱色率, 脱色率从大到小依次是聚酰胺、活性炭、过氧化氢、壳聚糖, 但壳聚糖和活性炭的多糖保留率相对较低, 综合比较, 聚酰胺层析柱脱色率可达 89.3%, 脱色效果较好, 此时多糖保留率 91.7%。以上研究对桦褐孔菌多糖脱色的效果表明, 聚酰胺脱色效果最好, 多糖保留率高。

1.2.3 桦褐孔菌多糖的纯化 常用的多糖纯化方法有色谱法, 包括离子交换和凝胶色谱等^[25]。范柳萍等^[26]将水提醇沉得到的桦褐孔菌粗多糖, 通过 DEAE-SepharoseCL-6B 离子交换柱, 再分别采用磷酸盐缓冲液和氯化钾溶液进行线性梯度洗脱, 通过苯酚—硫酸法测得收集液中的多糖含量, 合并洗脱液, 并依次经过透析、浓缩、冷冻干燥后, 得到 4 个组分 IP1、IP2、IP3、IP4, 分别占桦褐孔菌粗多糖的 24.1%、33.6%、11.2%、11.3%, 总回收率为 80.2%。

1.2.4 桦褐孔菌多糖含量的测定 常用的测定多糖含量的方法可分为以下几种^[27], 其一化学法, 包括苯酚—硫酸法、3,5-二硝基水杨酸(DNS)法、滴定法(斐林氏滴定法、间接碘量滴定法、氧化还原滴定法等)、蒽酮—硫酸法。其二色谱法, 包括气相色谱法、液相色谱法等。其三高效毛细管电泳法等。通常桦褐孔菌多糖含量采用苯酚—硫酸法测定^[28]。

2 桦褐孔菌多糖的生物活性

2.1 抗肿瘤的作用

张慧丽等^[29]研究发现桦褐孔菌多糖对肝癌 HEPG2 细胞株存在抑制作用, 多糖浓度 1.44 μg/mL 时, 抑制率可达到 70%。桦褐孔菌多糖还抑制小鼠 S180 肉瘤的生长, 并可增强其免疫作用。灌胃剂量 100 mg/kg 时, 抑制率达到 35.01%。Kim 等^[30]研究发现, 桦褐孔菌菌丝体多糖 F II-1 可提高试验组肿瘤小鼠的存活率, F II-1 是通过刺激机体免疫活性而产生抑制肿瘤作用。金光等^[31]研究发现桦褐孔菌子实体多糖能抑制试验小鼠的 S-180 肉瘤的生长, 试验组小鼠的状态良好, 肝脏指数及胸腺指数与正常对照组相近, 试验组小鼠的 NOS 含量、NO 含量、SA 浓度均比阴性对照组低, 与正常组相近。桦褐孔菌大剂量组对肿瘤抑制率达到 56.31%。综上可得, 桦褐孔菌多糖能够较好抑制小鼠的 S-180 肉瘤生长。Song 等^[32]研究发现桦褐孔菌菌丝体多糖可抑制肝癌 SMMC7721 细胞株的增殖。当多糖浓度达到 150 μg/mL 时, 抑制率可达到 60%, 与阳性对照的抑制率相当。Chen 等^[33]研究发现, 通过超声微波辅助提取的桦褐孔菌子实体多糖具有显著的体外抗肿瘤作用。可见, 桦褐孔菌多糖有显著的抗肿瘤作用。

2.2 抗氧化能力

吴艳玲等^[34]试验发现, 桦褐孔菌多糖能够使运动后小鼠体内的 BUN、MDA、CK、LDH 的含量降低、并且使 SOD 活性和运动耐力增加, 在一定浓度范围内, 浓度增加, 桦褐孔菌多糖对 DPPH· 的清除率也增加, 因此桦褐孔菌多糖存在

较好的抗氧化能力。回晶等^[35]研究发现桦褐孔菌多糖具有清除·OH的能力,在一定浓度范围内,浓度增加,桦褐孔菌多糖对·OH的清除率也增加,当多糖的浓度达到 1.25 mg/mL 时,·OH 清除率为 87%,达到最高水平;进一步研究发现桦褐孔菌多糖还有抑制过氧化脂质(LPO)生成的作用,且在一定浓度内,对脂质过氧化抑制作用随浓度增加而增加。综上所述,桦褐孔菌多糖存在较好的抗氧化能力。Ma 等^[36]研究发现桦褐孔菌多糖有较高的三价铁还原能力、较高的抗脂质过氧化作用和清除 DPPH·能力。Xu 等^[37]研究发现,桦褐孔菌液体发酵的胞外和胞内多糖比子实体多糖具有更好的清除羟基自由基和 DPPH·的能力。可见,桦褐孔菌多糖有显著的抗氧化作用。

2.3 降血糖、降血脂的作用

付玲玲等^[38]研究了桦褐孔菌多糖对糖尿病小鼠的降血脂作用,发现试验组糖尿病小鼠的总胆固醇和总甘油三酯的含量降低,高密度脂蛋白胆固醇的含量提高,总体来说有一定的降血脂作用。崔鹤松等^[39]研究发现桦褐孔菌多糖对试验组高脂血症大鼠血清总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇、丙二醛含量有降低作用,且高密度脂蛋白胆固醇含量及 SOD 活性升高。综上所述,桦褐孔菌多糖能够有效降低试验大鼠的血脂。高愿军等^[40]研究了桦褐孔菌多糖口服液的降血糖效果,选用糖尿病小鼠为试验组,发现试验组小鼠血糖、血乳酸含量降低,胰岛素、肝糖原含量增加,可以显著降低糖尿病小鼠的血糖。Mizuno 等^[41]试验发现,桦褐孔菌的水溶性多糖、水不溶性多糖都可以有效降低糖尿病小鼠的血糖,给小鼠注射后可抑制 3~4 h。可见,桦褐孔菌多糖有显著的降血糖、降血脂作用。

2.4 增强免疫活性

真菌多糖被称为“免疫增强调节剂”。Kim 等^[30]研究发现桦褐孔菌多糖能够激活巨噬细胞和 B 淋巴细胞有关的体液免疫。1 100 kDa 的胞外多糖似乎是其有效成分,并且高分子量的 β -葡聚糖比低分子量具有更好的活性。李娟^[42]⁵⁵⁻⁶⁵研究了桦褐孔菌子实体多糖和发酵多糖对 TNF- α 、IFN- γ 、1L-1 β 和 1L-2 的促生作用,结果表明子实体多糖和发酵多糖都能够明显促进细胞因子的分泌,促生作用与多糖浓度呈正相关性。相同的条件下,发酵多糖的效果更强。综上所述,桦褐孔菌多糖具有免疫调节活性,且桦褐孔菌发酵多糖比子实体多糖具有更好的免疫调节作用。张泽生等^[43]研究发现桦褐孔菌的水提多糖和碱提多糖对 BALb/c 小鼠的淋巴细胞有增殖作用。并能提高小鼠免疫器官指数、吞噬指数和血清溶血素含量,因此具有增强免疫活性的作用。王伟等^[44]研究了桦褐孔菌子实体多糖对正常小鼠的免疫调节功能,发现多糖可增加小鼠抗体分泌细胞的数量,提高腹腔巨噬细胞的吞噬功能,总的来说提高了小鼠的免疫调节功能。武永德等^[45]研究发现,桦褐孔菌子实体多糖 FSPS I 和 FSPS II 对外周血单个核细胞的增殖率分别达到 120%, 140%。增殖率越高,机体的免疫水平越高。可见,桦褐孔菌多糖有调节免疫活性的作用。

2.5 其他

张如平等^[46]研究发现桦褐孔菌子实体多糖能够显著减轻哮喘小鼠肺组织的病理学改变,进而起到保护哮喘小鼠的作用。

3 桦褐孔菌的多糖分析

多糖的活性与其结构相关,包括一级结构和二级结构等^[47]。常用的多糖结构分析方法有两种:① 化学法,包括酸水解法、Smith 法等;② 仪器分析法,包括高效液相色谱、气相色谱等。

许泓瑜等^[48]将热水浸提得到的粗多糖,采用气相色谱法分析其主要单糖组成,包括半乳糖、葡萄糖、阿拉伯单糖、甘露糖,其质量分数分别为 2.44%, 10.75%, 0.53%, 0.48%。Ma 等^[36]采用气相色谱法分析桦褐孔菌粗多糖的单糖组成,结果为鼠李糖、半乳糖、葡萄糖、阿拉伯糖、甘露糖。李娟^[42]⁶⁵⁻⁷³利用气相色谱法分析桦褐孔菌多糖的单糖组成,从大到小依次为葡萄糖、甘露糖、半乳糖、木糖。发酵产胞外多糖中含量最高的是半乳糖。采用红体积排阻与激光光散射法联用测定多糖分子量,结果表明多糖提取物 EPS 组分分子量在 28~58 kDa, IPS 的分子量在 89~120 kDa, FSPS 组分 1 重均分子量为 32 kDa。Kim 等^[32]研究桦褐孔菌发酵菌丝体的胞外多糖,发现该多糖是 α 型糖苷键。范柳萍等^[28]通过 CG、HPLC 及 IR 等方法分析桦褐孔菌多糖 IP2a 的组成、相对分子质量和结构。研究表明其单糖组成为鼠李糖、阿拉伯糖、葡萄糖和半乳糖,摩尔比为 2.3 : 4.5 : 1 : 2.5, 它的相对分子质量为 86 053 U, 主要由 α 型糖苷键构成。

4 展望

桦褐孔菌多糖具有提高抗肿瘤、降血糖、降血脂、抗氧化、增强免疫活性等功能,应用于食品和医药产业的市场具有广大的前景。

对桦褐孔菌多糖的进一步研究,可以从以下几个方面进行:① 加强对桦褐孔菌多糖结构的深入研究,包括高级结构、结构和生物活性之间的构效等方面;② 桦褐孔菌多糖有降血糖、免疫调节等功能,但目前研究多是对小鼠或大鼠的毒理学实验,应进一步从医学方面研究其对人体的作用;③ 确定适合桦褐孔菌多糖提取的工业化生产工艺技术和生产中的关键控制点;④ 对桦褐孔菌多糖分子进行改性,以强化其生理活性。

参考文献

- [1] SANYA Hokputsa, STEPHEN E Harding, KARI Inngierdingen, et al. Bioactive polysaccharides from the stems of the Thai medicinal plant *Acanthus ebracteatus*[J]. Carbohydrate Research, 2004, 339(4): 753-762.
- [2] 包海鹰. 桦褐孔菌 *Inonotus nobliquus* 化学成分及药理作用[J]. 中国食用菌, 2008, 27(4): 34-39.
- [3] 黄年来. 俄罗斯神秘的民间药用真菌——桦褐孔菌[J]. 中国食用菌, 2002, 21(4): 7-8.
- [4] NIU Hong, SONG Dan, MU Hai-bo, et al. Investigation of three lignin complexes with antioxidant and immunological ca-

- pacities from *Inonotusobliquus*[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, 86: 587-593.
- [5] 陈艳秋. 桦褐孔菌的研究进展[J]. *微生物学通报*, 2005, 32(2): 124-127.
- [6] 高雪丽, 高愿军, 吴广辉. 桦褐孔菌功能特性的研究进展[J]. *食品与机械*, 2006, 22(5): 126-127.
- [7] 王斌, 连宾. 食药真菌多糖的研究与应用[J]. *食品与机械*, 2005, 21(6): 96-100.
- [8] 郭宇. 桦褐孔菌液体发酵和多糖提取工艺的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2012: 18-32.
- [9] 李青. 桦褐孔菌多糖的提取、纯化及其抗肿瘤活性研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2014: 34-42.
- [10] 朱晓丽. 桦褐孔菌多糖的分离纯化及抗氧化活性研究[D]. 聊城: 聊城大学, 2015: 18-31.
- [11] 高愿军. 响应面法优化桦褐孔菌多糖提取工艺[J]. *食品研究与开发*, 2009, 30(6): 7-10.
- [12] 胡涛, 解洛香, 徐乐, 等. 超声波辅助提取桦褐孔菌子实体中多糖和三萜[J]. *食品科技*, 2012, 37(2): 213-217.
- [13] 张慧丽. 超声提取桦褐孔菌子实体多糖及多糖对癌细胞作用的研究[J]. *食用菌学报*, 2007, 14(4): 51-54.
- [14] 张丽霞. 超声波辅助提取桦褐孔菌多糖的工艺研究[J]. *大庆师范学院学报*, 2012, 32(3): 122-125.
- [15] 刘琳, 宋丽敏. 桦褐孔菌发酵液中三萜化合物和多糖的微波辅助双水相萃取[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(5): 246-252.
- [16] 高愿军, 王娟娟, 司俊娜. 两种方法提取桦褐孔菌多糖工艺研究[J]. *食品与机械*, 2008, 25(5): 85-89.
- [17] 王艳波. 桦褐孔菌多糖的提取、纯化及降血糖作用研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2014: 35-40.
- [18] 殷涌光, 崔彦如, 王婷. 高压脉冲电场提取桦褐孔菌多糖的试验[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(2): 89-92.
- [19] CHEN Yi, XIE Ming-yong. An effective method for deproteinization of bioactive polysaccharides extracted from lingzhi (*Ganoderma atrum*) [J]. *Food Science and Biotechnology*, 2012, 21(1): 191-198.
- [20] 张丽霞. 桦褐孔菌多糖结构及生物活性研究[D]. 大庆: 东北师范大学, 2011: 39-56.
- [21] 韩耀玲, 徐腾飞, 贾中祥. 桦褐孔菌粗多糖的精制方法探讨[J]. *河南大学学报*, 2012, 31(3): 229-232.
- [22] 肖丽霞, 于洪涛, 胡晓松. 香菇多糖的树脂脱色工艺研究[J]. *食品与机械*, 2011, 27(6): 241-244.
- [23] 陈义勇. 桦褐孔菌多糖纯化、结构及其抗肿瘤机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2010: 48-49.
- [24] 玄光善, 李青, 王艳波. 桦褐孔菌多糖脱色方法及其成分分析[J]. *食品科学*, 2014, 35(10): 207-211.
- [25] 方积年, 丁侃. 天然药物——多糖的主要生物活性及分离纯化方法[J]. *中国天然药物*, 2007, 5(5): 338-346.
- [26] 范柳萍, 张举贤. 桦褐孔菌多糖的分离纯化及其组成分析[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(11): 101-103.
- [27] 徐晓飞. 多糖含量测定的研究进展[J]. *食品科学*, 2009, 30(21): 443-448.
- [28] 赵艳, 毕荣宇, 牟德华. 真菌多糖定量检测方法研究进展[J]. *食品与机械*, 2012, 28(6): 264-267.
- [29] 张慧丽. 桦褐孔菌多糖的提取及对肝癌细胞 SMMC7721 的增殖的研究[J]. *中国食用菌*, 2006, 25(2): 31-33.
- [30] KIM Yo, PARK Hw, KIM Jh, et al. Anti-cancer effect and structural characterization of endo-polysaccharide from cultivated mycelia of *Inonotusobliquus* [J]. *Life Sci*, 2006, 79(1): 73-80.
- [31] 金光. 桦褐孔菌多糖的抗肿瘤作用实验研究[J]. *延边大学医学学报*, 2004, 27(4): 257-259.
- [32] SONG Ya-na, HUI Jing, KOU Wei, et al. Identification of *Inonotusobliquus* and analysis of antioxidation and antitumor activities of polysaccharides [J]. *Curr Microbiol*, 2008, 57(5): 454-462.
- [33] CHEN Yi-yong, GU Xiao-hong, HUANG Sheng-quan, et al. Optimization of ultrasonic/microwave assisted extraction of polysaccharides from *nonotusobliquus* and evaluation of its antitumor activities [J]. *Intl Biol Macromolecules*, 2010, 46(4): 430-435.
- [34] 吴艳玲, 南极星. 桦褐孔菌多糖对小鼠抗氧化清除自由基作用的研究[J]. *亚太传统医药*, 2009, 5(12): 9-10.
- [35] 回晶. 桦褐孔菌多糖的体外抗氧化作用研究[J]. *食用菌学报*, 2006, 13(2): 29-35.
- [36] MA Li-shuai, CHEN Hai-xia, ZHU Wen-cai, et al. Effect of different drying methods on physicochemical properties and antioxidant activities of polysaccharides extracted from mushroom *Inonotusobliquus* [J]. *Food Research International*, 2011, 50(2): 633-640.
- [37] XU Xiang-qun, WU Yong-de, CHEN Hui. Comparative antioxidative characteristics of polysaccharide-enriched extracts from natural sclerotia and cultured mycelia in submerged fermentation of *Inonotusobliquus* [J]. *Food Chem*, 2011, 127(1): 75-79.
- [38] 付玲玲. 桦褐孔菌多糖理化性质和构效关系的研究[D]. 天津: 天津大学, 2010: 34-56.
- [39] 崔鹤松. 桦褐孔菌多糖对实验性高脂血症模型大鼠血脂的影响[J]. *延边大学医学学报*, 2007, 30(3): 173-174.
- [40] 高愿军, 张家泉, 王娟娟. 桦褐孔菌多糖口服液降血糖作用研究[J]. *食品科技*, 2010, 35(7): 93-95.
- [41] MIZUNO Takashi, ZHUANG Chun, ABE Kuniaki, et al. Antitumor and hypoglycemic activities of polysaccharides from the sclerotia and mycelia of *Inonotusobliquus* Pilat [J]. *Intl Med Mushr*, 1999, 1(4): 301-311.
- [42] 李娟. 桦褐孔菌子实体和发酵多糖的促生细胞因子作用及化学结构研究[D]. 浙江: 浙江理工大学, 2013.
- [43] 张泽生, 杨超慧, 史坤. 桦褐孔菌多糖对小鼠免疫调节作用的影响[J]. *食品研究与开发*, 2008, 29(7): 35-37.
- [44] 王伟. 桦褐孔菌多糖对小鼠免疫功能的影响[J]. *时珍国医国药*, 2008, 19(7): 1739-1739.
- [45] 武永德. 两种不同来源桦褐孔菌多糖免疫活性的比较[J]. *浙江理工大学学报: 自然科学版*, 2010, 27(4): 645-648.
- [46] 张如平. 桦褐孔菌多糖抗哮喘作用实验研究[J]. *当代医学*, 2012(35): 19-19.
- [47] 谢明勇. 天然产物活性多糖结构与功能研究进展[J]. *中国食品学报*, 2010, 10(2): 1-11.
- [48] 许泓瑜, 孙军恩, 陆震鸣. 桦褐孔菌菌粉多糖提取工艺的优化[J]. *食品与发酵工业*, 2008, 34(11): 175-179.