

香菇多糖提取技术研究进展

敖珍¹, 罗迎春¹, 刘杨², 何锦林³, 谭红^{2*}

(1. 贵州民族大学 化学工程学院, 贵州 贵阳 550000; 2. 贵州科学院, 贵州 贵阳 550000;
3. 贵州省分析测试研究院, 贵州 贵阳 550000)

摘要:香菇多糖是从食用菌香菇中提取分离出的一种高分子葡聚糖, 具有免疫调节、抗菌、抗癌、抗氧化等生物特性。该文综述香菇多糖提取技术的研究进展, 阐述香菇多糖提取预处理方法、影响提取得率的主要因素; 此外对不同预处理方法差异及各提取技术差异分别进行比较分析, 最后展望香菇多糖的开发利用前景。

关键词:香菇多糖; 活性物质; 提取; 工艺; 得率

Extraction Technology of Lentinan: A Review

AO Zhen¹, LUO Ying-chun¹, LIU Yang², HE Jin-lin³, TAN Hong^{2*}

(1. School of Chemical Engineering, Guizhou Minzu University, Guiyang 550000, Guizhou, China;
2. Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550000, Guizhou, China; 3. Guizhou Academy of Testing and
Analysis, Guiyang 550000, Guizhou, China)

Abstract: Lentinan is a high-molecular-weight dextran derived from the edible *Lentinus edodes*, which has immunoregulatory, antibacterial, anticancer, and antioxidant effects. This paper reviewed the extraction technology of lentinan. Specifically, the pretreatment methods of lentinan for extraction and the main influencing factors of the extraction rate were described. Furthermore, different pretreatment methods and extraction techniques were compared and analyzed. Finally, we summarized the future development and utilization of lentinan.

Key words: lentinan; active substance; extract; process; yield

引文格式:

敖珍, 罗迎春, 刘杨, 等. 香菇多糖提取技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(8): 202-208.

AO Zhen, LUO Yingchun, LIU Yang, et al. Extraction Technology of Lentinan: A Review[J]. Food Research and Development, 2022, 43(8): 202-208.

香菇(*Lentinus edodes*)是药食两用的真菌, 属担子菌纲、口蘑科、香菇属^[1], 又名香草、香信、冬菇、厚菇^[2]。香菇起源于我国, 是世界第二大食用菌种类^[3], 属于高蛋白、低脂肪的碳水化合物, 其味道可口、营养丰富、香气怡人, 被誉为“菇中之王”“菌中皇后”“抗癌新兵”^[4]。香菇多糖是 Chihara 等^[5]于 1969 年研究香菇时发现的活性物质, 主要是以 β -D-(1 $\rightarrow$ 3) 葡聚糖残基为主链, 以 (1 $\rightarrow$ 6) 葡萄糖残基为侧链连接而成的葡聚糖^[6]。因其具有抗肿瘤^[7]、抗氧化^[8-9]、抗癌^[10]、抑菌^[11]、提高免疫

力^[12-13]、抗病毒^[14]等功能效果被广泛应用于临床治疗。

香菇多糖的发现使得香菇资源得到进一步开发利用, 成为研究热点。本研究对国内近年来香菇多糖的相关研究进行分析提炼, 探讨不同方法提取香菇多糖的差异。以为多糖研究提供一定的参考依据, 最后展望了香菇多糖的开发利用前景。

1 香菇预处理方法

近年来, 在香菇多糖提取领域, 研究者们开发了

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合重大专项字 ZWCQ [2019] 3013-6 号、黔科合重大专项字 ZWCQ [2019] 3013-3 号、黔科合服企[2019] 4001 号、黔科合服企[2019] 4007-5 号)

作者简介: 敖珍(1995—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 天然产物提取与分离技术。

* 通信作者: 谭红(1959—), 研究员, 主要从事食药两用菌研究。

多种预处理技术,不仅能获得化学活性优良、纯度高的多糖产品,还能提高香菇多糖的提取效率。

1.1 低温水提法

香菇中的蛋白质具有不耐热的性质,在低温条件下用水浸泡香菇,能使大量蛋白质溢出,提高后续提取香菇多糖的纯度。在蛋白质溢出的同时,香菇中的黏性物质也会减少,有利于后续香菇多糖的有效分离。宣丽等^[15]以花盖菇为原料,经过低温水提处理后,采用10种不同提取方法获得的香菇多糖感官性状良好。

1.2 超微粉碎法

超微粉碎法利用气流、研磨、冲击等原理,借助超微粉碎机将香菇原料粉碎至微米级,得到超微香菇细粉。超微细粉因分子间间隙变大,能快速溶于水中,增大香菇多糖的溶解性。刘巧红^[16]采用半仿生技术,秦令祥等^[17]采用超声波辅助法提取香菇多糖之前,均采用超微粉碎方法对香菇进行了预处理,得率明显提高。

1.3 双螺杆挤压法

双螺杆挤压法是将香菇置于双螺杆挤压机中,通过双螺杆挤压的力量将香菇细胞壁破坏,从而加快香菇多糖的溢出。周婧琦等^[18]运用此预处理法与微波辅

助提取法联用获得了香菇多糖。

1.4 动态超高压微射流法

动态超高压微射流法原理是借助高压微射流作用快速冲击、瞬时剪碎、涡旋香菇原料,香菇颗粒迅速变小。姜颖等^[19]在提取香菇多糖的试验中,对试验组进行动态超高压微射流预处理,并与对照组进行比较,结果表明,试验组的多糖得率明显优于对照组。

1.5 超临界 CO₂ 流体法

超临界 CO₂ 流体法是以超临界流体的溶解能力与其密度的关系,将混合物中某种成分进行提取和分离的一种技术。张素霞^[20]采用超临界 CO₂ 流体预处理法先处理香菇中的油脂,获得功能性香菇不饱和脂肪酸,再继续提取香菇多糖,所得香菇多糖纯度较好。

1.6 醇醚回流法

醇醚处理会使香菇多糖充分地裸露出来,进而提高香菇多糖的得率。田光辉^[21]借助索氏提取器用乙醚、甲醇回流香菇子实体粉末,脱脂处理至无色后,用热水提1次、碳酸钠溶液提2次,获得了纯度较高的多糖。

以上预处理方法虽都被研究报道,但预处理条件及提取率各不相同,比较数据见表1。

表1 不同预处理方法处理香菇

Table 1 Different pretreatment methods to treat *lentinus edodes*

预处理方法	预处理条件	多糖提取法	提取率/%	参考文献
低温水提	料液比 1:35 (g/mL)、10 ℃、浸泡 20 min	热水法	2.81	[15]
超微粉碎	进料量 800 g,转速 5 000 r/min,粉碎 20 min	超声法	7.36	[17]
双螺杆挤压	加湿量 18%,进料量 220 g/min,150 ℃,转速 250 r/min	微波法	9.23	[18]
动态超高压微射流	料液比 1:60 (g/mL),压力 140 MPa,90 ℃	热水法	6.75	[19]
超临界 CO ₂ 流体	压力 30 MPa,40 ℃,CO ₂ 流量 25 L/h,2 h	热水法	6.57	[20]
醇醚回流	乙醚、甲醇回流香菇至无色	热水法+碳酸钠水溶液法	6.2	[21]

不同的预处理方法有不同的优缺点,超声波与微波预处理法环保又快速,但仪器操作比较复杂;动态超高压微射流、超临界 CO₂ 流体处理效果明显,但设备投资高昂,一次性投入大;醇醚预处理得到的多糖纯度好,但有机试剂需进行处理;低温水提提取效果欠缺,可能是由于在低温去除蛋白质时,部分多糖损失,但除去香菇蛋白,便于香菇多糖后续的有效分离。研究工作者应根据试验条件,对产品的要求以及成本选择合适的预处理方法。

2 香菇多糖提取的影响因素

2.1 原料

原料是影响香菇得率的第一因素。在进行提取香菇多糖时,因香菇产地不同,其多糖含量也不同。例如,均采用超声法提取香菇多糖,王希等^[22]得到的湖南江

永香菇多糖得率为 29.71%;李宏睿等^[23]得到的河南伏牛山香菇多糖得率为 13.75%;范培培等^[24]得到的河南宝天曼香菇多糖得率为 11.92%。其次,香菇的栽培方式各异,多糖含量也各异。例如,从香菇菌丝体^[25]与香菇子实体^[13]中提取的多糖含量是不同的。此外,香菇的品种不同、原料粒径不同,其多糖含量也不同。

2.2 提取工艺

选用不同的提取方法^[26]研究香菇多糖,因提取环境与设备条件的差异,香菇多糖提取率不同。在传统提取工艺中,影响香菇多糖提取率的主要因素有料液比、反应时间、反应温度等。

料液比的减小能增大香菇与溶剂的接触表面积,加快多糖的溶出,但到达一定比例后,多糖溢出缓慢,对后续工艺产生不良影响,增加能耗;反应时间延长,多糖的提取率会呈现上升的趋势,但随着时间延长,

上升的趋势会逐渐变缓,时间过长,多糖含量因糖苷键断裂反而会导致下降;反应温度上升伴随着多糖提取率的显著上升,但温度过高会破坏多糖分子结构,降低其活性。在实际生产中,应根据试验条件探究最佳工艺条件。

张静佳等^[27]以响应曲面法优化香菇多糖提取工艺,得到优化后的料液比为1:76(g/mL),提取时间99 min,提取温度91℃。罗其昌等^[13]以香菇子实体为原料,采用100℃热水浸提香菇多糖,随后探究提取温度为100、119、140℃时对多糖含量的影响,结果显示,香菇多糖含量随着温度的升高而增大。

2.3 分离工艺

香菇多糖常见的分离方法有分级沉淀、水提醇沉、膜分离、金属络合等方法。采用分级沉淀法时,酒精浓度会影响对香菇多糖含量。李顺峰等^[28]以香菇柄为原料,以热水法提取香菇柄多糖,采用不同浓度酒精对多糖进行分级醇沉,试验结果显示,在酒精浓度为30%时,通过醇析的香菇柄多糖含量最高。同时,不同的分离工艺均有不同的影响因素,比如采用膜分离法时,膜材料、分离顺序、压力等因素都会对香菇多糖提取率产生影响。

3 香菇多糖提取技术

常见的提取方法分为化学方法、生物方法、物理方法等。化学方法需要加入溶剂(如水、酸、碱)进行提取,生物方法常进行生物酶解或发酵提取,物理方法借助仪器(如超声仪、微波仪)进行辅助提取。此外,还有一些鲜见的其它方法以及多种技术复合联用进行提取的方法。

3.1 化学方法

热水提取是最传统的提取方法,常见工艺流程:以水为溶剂,在加热的条件下使香菇多糖溶出,过滤后将滤液收集,然后加入2倍~5倍体积的乙醇醇沉,多糖呈絮状沉淀析出。热水提取法设备简单、成本低。但需改进热水提取时间长、提取效率低等问题。钟仙龙等^[29]以香菇废菌棒为原料,采用热水法提取得到了香菇废菌棒多糖,使香菇废菌棒变废为宝,合理利用了资源。齐小琼等^[30]也用热水法分别从香菇和茶树菇中获得香菇多糖和茶树菇多糖。

酸碱提取是以稀酸稀碱为溶剂,使香菇多糖快速游离出来。与传统热水提取比,酸碱提取极大缩短提取时间。但选用此法进行提取时,酸碱浓度不宜过大,否则会改变多糖结构,使活性降低。石来宝等^[31]以三氯乙酸为溶剂,冯贤达^[32]以碳酸钠为溶剂研究了酸碱法提取香菇多糖的条件。

3.2 生物方法

酶解提取:香菇细胞壁膜由蛋白质、纤维素、果胶等物质组成,选择相应的酶可以使香菇细胞壁降解。王景翔等^[33]选取中性蛋白酶水解香菇中蛋白质,吴佳慧等^[34]采用复合酶(果胶酶/纤维素酶/漆酶)提取了香菇多糖。酶法提取,反应条件温和、提取效果好,但酶的成本较高、易失活。

发酵提取:除了可从香菇子实体中获得香菇多糖外,还可从香菇菌丝体中得到香菇多糖。马银鹏等^[25]采用深层发酵技术,通过正交优化了香菇液体发酵培养基配方,不仅制取了香菇胞外粗多糖,还制取了胞内粗多糖。发酵提取不仅有效克服香菇子实体生长周期长、劳动强度大、受气候限制等问题,还能提高香菇多糖的提取效率。

3.3 物理方法

超声波辅助法:超声波能产生空化、击碎及热效应,破坏香菇细胞,加快传质效率,增加扩散能力,促进多糖溶于水中。万阅等^[35]利用超声波辅助提取香菇多糖,通过响应面优化提取工艺条件。付丽娜等^[36]以香菇为原料,设计 $L_9(3^4)$ 正交设计优化超声辅助提取香菇多糖工艺条件。此外,黄超等^[37]通过正交试验与响应面分析,研究了二段式超声波辅助提取工艺,香菇多糖得率比直接恒温水浴提取提高了12.76%。超声波破碎是一个物理过程,借助超声波辅助提取香菇多糖,效率高、省时,但超声时间过长会使多糖分子发生降解。

微波辅助法:香菇细胞与溶剂能吸收微波能量,细胞内温度和压力均上升,当上升至其承受负荷时,细胞壁会破裂,释放出香菇多糖。陆娟等^[38]采用微波辅助水浸提法提取香菇多糖,探究了香菇提取率的因素影响大小为微波处理时间>浸提温度>浸提时间>料液比。张鹏等^[39]以翘鳞香菇为原料,采用微波辅助法提取了翘鳞香菇多糖。目前,微波辅助提取已涉及多糖、黄酮、生物碱等几大天然产物,引起广泛关注。

为更清晰地理解各种提取技术,表2对不同提取技术进行了比较分析。

提取香菇多糖的方法众多,大致看来,酶法提取等生物方法提取效果好,但是提取时间长达4 h。微波辅助法提取率较低,但提取时间短,仅需几分钟。实际中,可根据试验条件选择不同的提取方法。

3.4 复合法

多种技术复合提取不仅比单一提取方法节约时间,还能提高产率。因此,目前越来越多的研究者将两种或多种方法复合起来提取香菇多糖。如,超声波复合法^[40-43]、高压热水复合法^[44-46]等,具体见表3。

表 2 不同提取技术提取香菇多糖
Table 2 Different extraction techniques to extract lentinan

提取技术	提取条件	提取率/%	参考文献
热水法	料液比 1:20 (g/mL), 90 ℃, 4 h	9.70	[30]
酸法	料液比 1:20 (g/mL)(溶剂为 0.2 mol/L 三氯乙酸溶液), 12 h, 3 次	3.24	[31]
碱法	料液比 1:30 (g/mL)(溶剂为 Na ₂ CO ₃ 水溶液), 90 ℃, pH10, 2 次	12.5	[32]
酶法	料液比 1:15 (g/mL), 40 ℃(果胶酶 7.11%、纤维素酶 6.82%、漆酶 3.69%), 4 h	37.07	[34]
发酵法	葡萄糖 9 g, 酵母膏 0.9 g, 可溶性淀粉 6 g, 麦麸皮 24 g	32.3	[25]
超声波法	料液比 1:30 (g/mL), 超声功率 300 W, 超声时间 25 min	25.71	[35]
微波法	料液比 1:30 (g/mL), 90 ℃, 微波时间 3 min	4.75	[38]

表 3 不同复合技术提取香菇多糖
Table 3 Extraction of lentinan by different compound techniques

复合技术	提取条件	提取率/%	参考文献
超声波-酶解	料液比 1:15 (g/mL), 超声(70 ℃、12 min)-酶解(60 ℃、50 min, pH 5.5)	12.46	[41]
微波-超声波	料液比 1:35 (g/mL), 微波(70 ℃、2 min)-超声(20 min)	9.45	[42]
亚临界水-超声波	料液比 1:20 (g/mL), 3 次, 亚临界水(110 ℃、7 min、压力 7 MPa)-超声(300 W)		[43]
酶解-高压热水	酶解(pH4.5、45℃、10 h)-高压热水(115℃、80 min)	23.6	[44]
微波-高压热水	料液比 1:50 (g/mL)、微波(640 W、6 min)-高压热水(115℃、100 min)	13.6	[45]
超声-高压热水	料液比 1:50 (g/mL)、超声(250 W、8 min)-高压热水(108 ℃、100 min)	27.2	[46]
微波-双水相	料液比 1:50 (g/mL)、双水相(19%硫酸铵-26%乙醇)、80 ℃、30 min	13.66	[47]

3.5 其他方法
除上述传统方法外,香菇多糖提取还有一些其他方法。如,刘巧红^[16]的半仿生提取法、秦令祥等^[48]的闪式提取法、娄冠群等^[49]的亚临界水提取法等。见表 4。

表 4 其他提取技术提取香菇多糖
Table 4 Other extraction techniques to extract lentinan

提取技术	提取条件	提取率/%	参考文献
半仿生	料液比 1:21 (g/mL), 2 次(pH 值分别为 4.2、8.6), 66 ℃, 46 min	7.351	[16]
闪式提取	料液比 1:25 (g/mL), 电压 150 V, 90 s, 3 次	6.83	[48]
亚临界水	料液比 1:30 (g/mL), 150 ℃, 5 min, 2 次	15.7	[49]
超高压	料液比 1:35 (g/mL), 4 min, 350 MPa, 55 ℃	8.96	[50]
双水相	双水相(聚乙二醇 24%-硫酸铵 30%)		[51]
高压热水	料液比 1:50 (g/mL), 121 ℃, 30 min		[52]
内部沸腾	料液比 1:25 (g/mL), 90 ℃, 5 min	5.05	[53]

4 结论与展望

中国是农业大国,也是香菇生产大国,香菇资源极其丰富。目前,我国香菇消费的商品形式主要以鲜品为主,我国深加工效率亟待改进。香菇多糖具有多种功能效果,开发香菇多糖产品是香菇资源开发利用的方向。香菇多糖提取制备工艺对其化学结构影响较大,因此选择合适的提取技术工艺或者研发新提取技术来获得活性高的香菇多糖是目前医药以及功能食品行业研究的热点。未来,应通过不断探索和提升香菇加工提取技术,增加香菇多糖活性和产量,延长香菇产业链,提升香菇附加值,促进香菇产业朝着更好方向发展。

参考文献:

[1] 李月梅. 香菇的研究现状及发展前景[J]. 微生物学通报, 2005, 32(4): 149-152.
LI Yuemei. Research status and prospect of *Lentinula edous*[J]. Microbiology China, 2005, 32(4): 149-152.
[2] 赵春艳, 熊勇, 陈旭, 等. 基于 Web of Science 文献计量的香菇多糖研究态势分析[J]. 中国食用菌, 2018, 37(6): 1-7, 19.
ZHAO Chunyan, XIONG Yong, CHEN Xu, et al. Analysis of development trend of lentinan research based on the literature of Web of Science[J]. Edible Fungi of China, 2018, 37(6): 1-7, 19.
[3] 刘晓, 闫语婷. 香菇的营养价值及综合利用现状与前景[J]. 食品工业, 2017, 38(3): 207-210.
LIU Xiao, YAN Yuting. Review on nutritional value and comprehensive utilization of *Lentinus edodes* and present situation[J]. The

- Food Industry, 2017, 38(3): 207–210.
- [4] 欧阳军. 抗癌健身的山珍——香菇[J]. 绿化与生活, 2014(11): 40.
OUYANG Jun. Delicacies of anticancer fitness—*Lentinus edodes* [J]. Greening and Life, 2014(11): 40.
- [5] CHIHARA G, MAEDA Y, HAMURO J, et al. Inhibition of mouse sarcoma 180 by polysaccharides from *Lentinus edodes*(Berk.) sing.[J]. Nature, 1969, 222(5194): 687–688.
- [6] 牛天增, 刘娟, 王永宏, 等. 香菇多糖提取技术的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(4): 212–216.
NIU Tianzeng, LIU Juan, WANG Yonghong, et al. Research progress of extraction technology of lentinan[J]. Food Research and Development, 2016, 37(4): 212–216.
- [7] 苏畅, 李小江, 贾英杰, 等. 香菇多糖的抗肿瘤作用机制研究进展[J]. 中草药, 2019, 50(6): 1499–1504.
SU Chang, LI Xiaojang, JIA Yingjie, et al. Research progress on antitumor activity of lentinan[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2019, 50(6): 1499–1504.
- [8] HUANG X Q, TU Z C, JIANG Y, et al. Dynamic high pressure microfluidization-assisted extraction and antioxidant activities of lentinan[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2012, 51(5): 926–932.
- [9] 杨溢烁, 曾德永, 刘艳, 等. 香菇多糖体内抗氧化活性研究[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(8): 72–74.
YANG Yishuo, ZENG Deyong, LIU Yan, et al. Study on antioxidant effect of lentinan *in vivo*[J]. Food and Nutrition in China, 2016, 22(8): 72–74.
- [10] 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.
- [11] 张敏瑜, 齐延林, 杨弘华, 等. 香菇多糖提取工艺优化及其抗氧化与抑菌功效研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(11): 39–42.
ZHANG Minyu, QI Yanlin, YANG Honghua, et al. Optimized extraction condition of lentinan and its antibacterial and antioxidant activity[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(11): 39–42.
- [12] MURPHY E J, MASTERSON C, REZOAGLI E, et al. β -Glucan extracts from the same edible shiitake mushroom *Lentinus edodes* produce differential *in-vitro* immunomodulatory and pulmonary cytoprotective effects—Implications for coronavirus disease (COVID-19) immunotherapies[J]. Science of the Total Environment, 2020, 732: 139330.
- [13] 罗其昌, 崔春, 李文治. 提取温度对香菇多糖理化性质和免疫活性的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(11): 23–30.
LUO Qichang, CUI Chun, LI Wenzhi. Effects of extraction temperature on physicochemical properties and immune activity of polysaccharide from *Lentinula*[J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(11): 23–30.
- [14] 章静, 杨成伟, 王云, 等. 香菇多糖对脓毒症小鼠急性肺损伤的保护作用[J]. 中华医院感染学杂志, 2018, 28(10): 1463–1468.
ZHANG Jing, YANG Chengwei, WANG Yun, et al. Protective effect of lentinan on acute lung injury in Sepsis mice[J]. Chinese Journal of Nosocomiology, 2018, 28(10): 1463–1468.
- [15] 宣丽, 胡春晓, 齐森, 等. 适合工业化生产的香菇多糖制备工艺的研究[J]. 中国酿造, 2014, 33(11): 131–135.
XUAN Li, HU Chunxiao, QI Sen, et al. Industrialized production technology of lentinan[J]. China Brewing, 2014, 33(11): 131–135.
- [16] 刘巧红. 香菇多糖提取新工艺研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2013.
LIU Qiaohong. Study on the new extract methods of lentinan [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013.
- [17] 秦令祥, 崔胜文, 周婧琦, 等. 超微粉碎前处理协同超声波辅助提取香菇多糖工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(15): 67–70.
QIN Lingxiang, CUI Shengwen, ZHOU Jingqi, et al. Study on extraction process of lentinan by the pre-treatment of superfine grinding and ultrasonic wave[J]. Food Research and Development, 2018, 39(15): 67–70.
- [18] 周婧琦, 秦令祥, 张彩芳, 等. 正交优化双螺杆挤压前处理协同微波辅助提取香菇多糖的工艺研究[J]. 现代食品, 2020(22): 89–94, 99.
ZHOU Jingqi, QIN Lingxiang, ZHANG Caifang, et al. Study on extraction of lentinan by orthogonal optimization of twin-screw extrusion pretreatment and microwave-assisted extraction[J]. Modern Food, 2020(22): 89–94, 99.
- [19] 姜颖, 涂宗财, 陈媛, 等. 动态超高压微射流预处理对香菇多糖得率的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 62–65.
JIANG Ying, TU Zongcai, CHEN Yuan, et al. Effect of dynamic high-pressure microfluidization pretreatment on the yield of lentinan[J]. Food Science, 2010, 31(24): 62–65.
- [20] 张素霞. 超临界 CO_2 萃取脱酯技术在香菇多糖提取中的应用[J]. 食用菌, 2009, 31(3): 71–73.
ZHANG Suxia. Application of supercritical CO_2 extraction deester technology in the extraction of lentinan[J]. Edible Fungi, 2009, 31(3): 71–73.
- [21] 田光辉. 香菇多糖提取工艺的优化[J]. 延安大学学报(自然科学版), 2002, 21(2): 46–47.
TIAN Guanghui. Improvement on the extractive technique of polysaccharide of *Lentinus edodes*[J]. Journal of Yanan University (Natural Science Edition), 2002, 21(2): 46–47.
- [22] 王希, 朱攀宇, 蒋荣娜, 等. 超声细胞破碎辅助提取江永香菇多糖工艺及其抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(8): 120–125.
WANG Xi, ZHU Panyu, JIANG Rongna, et al. Ultrasonic cell disruption assisted extraction technology of polysaccharide from *Lentinus edodes* from Jiangyong and antioxidant evaluation[J]. Food Research and Development, 2019, 40(8): 120–125.
- [23] 李宏睿, 陶浚, 董兵兵, 等. 超声波辅助提取香菇多糖工艺优化[J]. 食品与机械, 2010, 26(6): 138–140.
LI Hongrui, TAO Jun, DONG Bingbing, et al. Optimization on extraction technology of lentinan polysaccharides by ultrasonic assistant method[J]. Food & Machinery, 2010, 26(6): 138–140.
- [24] 范培培, 闫静宇, 古爱菊, 等. 宝天曼香菇粗多糖的提取及体外抗

- 氧化活性[J]. 山东化工, 2019, 48(16): 36–37, 40.
- FAN Peipei, YAN Jingyu, GU Aiju, et al. Extraction and antioxidant activity in vitro of crude polysaccharides from lentinan of Baotian-man[J]. Shandong Chemical Industry, 2019, 48(16): 36–37, 40.
- [25] 马银鹏, 于丽萍, 马鸣, 等. 香菇液体培养基优化及其体外抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(16): 10–14.
- MA Yinpeng, YU Liping, MA Ming, et al. The optimal formula of liquid medium on *Lentinus edodes* and its antioxidant activities in vitro[J]. Food Research and Development, 2017, 38(16): 10–14.
- [26] 鹿士峰, 田淑雨, 吴杨洋, 等. 香菇多糖不同提取方式的比较研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(6): 81–87.
- LU Shifeng, TIAN Shuyu, WU Yangyang, et al. Comparative study on different extraction methods of *Lentinus edodes* polysaccharides [J]. Food Research and Development, 2019, 40(6): 81–87.
- [27] 张静佳, 濮玲, 李海朝, 等. RSM 优化香菇中多糖热水浸提工艺 [J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2016, 32(3): 40–43.
- ZHANG Jingjia, PU Ling, LI Haichao, et al. Optimization of hot water extract lentinan process with RSM[J]. Journal of Shanxi Datong University (Natural Science Edition), 2016, 32(3): 40–43.
- [28] 李顺峰, 刘丽娜, 王安建, 等. 分级醇沉香菇柄多糖及其抗氧化活性研究[J]. 包装与食品机械, 2020, 38(4): 10–15.
- LI Shunfeng, LIU Lina, WANG Anjian, et al. Study on gradient ethanol precipitation of *Lentinula edodes* stipe polysaccharide and their antioxidant activities[J]. Packaging and Food Machinery, 2020, 38(4): 10–15.
- [29] 钟仙龙, 刘青娥, 肖建中, 等. 香菇废菌棒的多糖热水提取工艺 [J]. 食品研究与开发, 2014, 35(13): 30–32.
- ZHONG Xianlong, LIU Qinge, XIAO Jianzhong, et al. The hot-water extraction process of polysaccharides from *Lentinus edodes* waste substrate[J]. Food Research and Development, 2014, 35(13): 30–32.
- [30] 齐小琼, 邓雯卿, 李大卫. 热水法提取香菇多糖和茶树菇多糖研究[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(16): 4258–4260, 4264.
- QI Xiaoqiong, DENG Wenqing, LI Dawei. A study of hot water extraction of fungal polysaccharides from *Lentinus edodes* and *Agrocybe aegirit*[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016, 55(16): 4258–4260, 4264.
- [31] 石来宝, 陈静, 殷霞. 香菇多糖提取方法的研究[J]. 药学研究, 2014, 33(4): 200–202, 205.
- SHI Laibao, CHEN Jing, YIN Xia. Study on the extraction methods of lentinan[J]. Journal of Pharmaceutical Research, 2014, 33(4): 200–202, 205.
- [32] 冯贤达. 香菇多糖提取工艺优化与高效液相色谱指纹图谱分析 [D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- FENG Xianda. Optimization of extraction process of mushroom polysaccharides and analysis of HPLC fingerprint [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.
- [33] 王景翔, 王娟, 赵建录, 等. 正交设计优化香菇多糖酶解法提取工艺的研究[J]. 时珍国医国药, 2013, 24(3): 648–649.
- WANG Jingxiang, WANG Juan, ZHAO Jianlu, et al. Optimization of extraction technology of lentinan by enzymatic hydrolysis by orthogonal design[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2013, 24(3): 648–649.
- [34] 吴佳慧, 王林, 高菲, 等. 香菇多糖的酶法提取[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(7): 201–205.
- WU Jiahui, WANG Lin, GAO Fei, et al. Study on enzyme-assisted extraction of lentinan[J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(7): 201–205.
- [35] 万阅, 齐计英, 曾红, 等. 响应面法优化香菇多糖的超声辅助提取工艺[J]. 生物技术通报, 2015, 31(1): 79–85.
- WAN Yue, QI Jiying, ZENG Hong, et al. Optimization of ultrasonic assisted extraction of lentinan by response surface methodology[J]. Biotechnology Bulletin, 2015, 31(1): 79–85.
- [36] 付丽娜, 苏榆涵, 乔振蕊. 超声波辅助优化香菇多糖的提取工艺 [J]. 食品研究与开发, 2019, 40(2): 81–85.
- FU Lina, SU Yuhan, QIAO Zhenrui. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of polysaccharides from lentinan[J]. Food Research and Development, 2019, 40(2): 81–85.
- [37] 黄超, 王艳萍, 张斌. 香菇多糖二段式超声波辅助提取技术研究 [J]. 食品研究与开发, 2017, 38(14): 49–52, 74.
- HUANG Chao, WANG Yanping, ZHANG Bin. Lentinan 2-phase ultrasonic assisted extraction technology research[J]. Food Research and Development, 2017, 38(14): 49–52, 74.
- [38] 陆娟, 彭浩, 陈俊峰, 等. 香菇多糖微波辅助提取及体外免疫学活性研究[J]. 生物学杂志, 2011, 28(3): 50–53.
- LU Juan, PENG Hao, CHEN Junfeng, et al. Research on microwave-assisted extraction of lentinan and its immunology activity *in vitro* [J]. Journal of Biology, 2011, 28(3): 50–53.
- [39] 张鹏, 花燕莹, 梁樱子, 等. 微波辅助提取翘鳞香菇多糖及抗氧化性研究[J]. 饲料研究, 2020, 43(12): 74–79.
- ZHANG Peng, HUA Yanying, LIANG Yingzi, et al. Microwave-assisted extraction of *Lentinus squarrosulus* polysaccharides and its antioxidant activity[J]. Feed Research, 2020, 43(12): 74–79.
- [40] 单联刚. 纤维素酶辅助超声波法提取香菇多糖工艺的研究[J]. 农业与技术, 2016, 36(4): 2, 4.
- SHAN Liangang. Study on extraction technology of lentinan by cellulase assisted ultrasonic wave[J]. Agriculture and Technology, 2016, 36(4): 2, 4.
- [41] 秦令祥, 周婧琦, 崔胜文, 等. 超声波协同复合酶法提取香菇多糖的工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(19): 63–67.
- QIN Lingxiang, ZHOU Jingqi, CUI Shengwen, et al. Optimization of ultrasonic-assisted compound enzyme extraction technology of lentinan[J]. Food Research and Development, 2018, 39(19): 63–67.
- [42] 蔡锦源, 朱炽雄, 孙松, 等. 香菇多糖的微波预处理-超声波提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2016, 37(4): 84–90.
- CAI Jinyuan, ZHU Chixiong, SUN Song, et al. Microwave pretreatment-ultrasonic extraction technology of lentinan from mushroom and its antioxidant activity[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2016, 37(4): 84–90.
- [43] 孙林超. 超声辅助亚临界水提取香菇多糖工艺的研究 [J]. 粮食

- 与油脂, 2019, 32(4): 81-84.
- SUN Linchao. Study on ultrasonic assisted subcritical water extraction of lentinan from *Lentinus edodes*[J]. Cereals & Oils, 2019, 32(4): 81-84.
- [44] 李鑫, 陈云. 双酶协同加压热水法提取与纯化香菇多糖[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(1): 45-50.
- LI Xin, CHEN Yun. Enzyme-assisted pressured hot water extraction and purification of lentinan from *Lentinus edodes*[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2018, 39(1): 45-50.
- [45] 王广慧, 于德涵. 香菇多糖提取条件的优化研究[J]. 浙江农业科学, 2014, 55(1): 85-87.
- WANG Guanghui, YU Dehan. Optimization of extraction conditions of lentinan[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2014, 55(1): 85-87.
- [46] 王广慧, 于德涵. 香菇多糖提取工艺的优化[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(7): 1625-1627.
- WANG Guanghui, YU Dehan. Optimization of extracting polysaccharide extraction from *Lentinus edodes*[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2014, 53(7): 1625-1627.
- [47] 林航, 周炳, 李映娜, 等. 正交试验优化密闭微波辅助-双水相萃取香菇多糖的研究[J]. 今日药学, 2015, 25(8): 564-568.
- LIN Hang, ZHOU Bing, LI Yingna, et al. Optimization of pressurized microwave-assisted aqueous two-phase extraction of polysaccharides from *Lentinula edodes* with orthogonal test[J]. Pharmacy Today, 2015, 25(8): 564-568.
- [48] 秦令祥, 周婧琦, 崔胜文, 等. 基于正交试验法的闪式提取香菇多糖工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(20): 70-74.
- QIN Lingxiang, ZHOU Jingqi, CUI Shengwen, et al. Optimization of flash extraction of lentinan from *Lentinus edodes* based on orthogonal test[J]. Food Research and Development, 2019, 40(20): 70-74.
- [49] 娄冠群, 张永忠, 李振艳, 等. 亚临界水提取香菇多糖的工艺研究[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(2): 138-142.
- LOU Guanqun, ZHANG Yongzhong, LI Zhenyan, et al. Research on sub-critical water extraction of lentinan[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(2): 138-142.
- [50] 奚灏铨, 袁根良, 杜冰, 等. 超高压提取香菇多糖的研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(9): 991-993.
- XI Haoqiang, YUAN Genliang, DU Bing, et al. Ultra high pressure extraction of lentinan from mushroom[J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(9): 991-993.
- [51] 徐海军, 孙祺祺. 应用双水相萃取技术提取香菇多糖的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2013, 25(7): 982-985, 911.
- XU Haijun, SUN Zhenzhen. Extraction of lentinan by aqueous two-phase system[J]. Natural Product Research and Development, 2013, 25(7): 982-985, 911.
- [52] 庞社霞, 宋淑红. 高压热水提取香菇柄中多糖工艺研究[J]. 农产品加工, 2015(12): 31-33, 36.
- PANG Shexia, SONG Shuhong. Preliminary research on the extracting technique of polysaccharide from the foot body of *Lentinula edodes*[J]. Farm Products Processing, 2015(12): 31-33, 36.
- [53] 陈晓光, 韦藤幼, 彭梦微, 等. 内部沸腾法提取香菇多糖的工艺优化[J]. 食品科学, 2011, 32(10): 31-34.
- CHEN Xiaoguang, WEI Tengyou, PENG Mengwei, et al. Process optimization for extraction of polysaccharides from polysaccharides from shiitake mushroom by inner ebullition[J]. Food Science, 2011, 32(10): 31-34.

加工编辑:王艳
收稿日期:2021-04-05