

猴头菇多糖和蛋白质闪式联合提取工艺优化及结构鉴定

Optimization of flash extraction process and structure identification of polysaccharide and protein from *Hericium erinaceus*

张 雄¹ 肖志勇² 黄 群¹

ZHANG Xiong¹ XIAO Zhi-yong² HUANG Qun¹

黄 翔¹ 杨 燃¹ 陈 雷¹ 王艺伟¹

HUANG Xiang¹ YANG Ran¹ CHEN Lei¹ WANG Yi-wei¹

(1. 福建农林大学食品科学学院, 福建 福州 350002; 2. 福建拓天生物科技有限公司, 福建 福州 350001)

(1. College of Food Science Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China;

2. Fujian Tuotian Biological Technology Company, Fuzhou, Fujian 350001, China)

摘要:采用闪式提取法同步提取猴头菇中多糖和蛋白质,在单因素试验基础上利用响应面优化提取工艺条件,并分别采用红外光谱和 SDS-PAGE 电泳分析多糖的结构及蛋白质分子的亚基组成。结果表明,闪式法同步提取猴头菇中多糖和蛋白质的最佳工艺参数为:提取时间 70 s、液料比 17:1 (mL/g)、粉体粒度 90 目、提取电压 100 V,猴头菇多糖提取得率达 (9.24±0.15)%,蛋白质得率为 1.33%。经红外光谱分析猴头菇多糖在 3 400, 2 930, 1 400~1 200 cm⁻¹ 附近有吸收峰;SDS-PAGE 电泳分析猴头菇蛋白质主要分布在 44.3, 66.4 kDa 附近。采用闪式提取法可同步提取猴头菇中多糖和蛋白质,且能有效保护天然产物的活性成分。

关键词:猴头菇;闪式提取法;多糖;蛋白质;同步提取;结构鉴定

Abstract: The polysaccharides and proteins from *Hericium erinaceus* were flashly extracted. On the basis of single factor experiments, the response surface methodology was applied to optimize the extraction conditions, and the structure of the polysaccharide and the subunit composition of the protein molecule were analyzed by infrared spectroscopy and SDS-PAGE respectively. The optimal condition for extraction of *Hericium erinaceus* polysaccharides (HEP) and proteins were: extracting time 80 s, liq-

uid-solid ratio 17:1 (mL/g), grinding granularity 80 meshes, extracting voltage 100 V, HEP yield rate (9.24±0.15)% and protein yield rate was 1.34%. The fourier transform infrared spectrum showed that HEP had absorption peaks near 3 400, 2 930 and 1 400~1 200 cm⁻¹; the protein mass was mainly distributed around 44.3 and 66.4 kDa by SDS-PAGE electrophoretic. The results will provide a feasible way and theoretical reference for the study on polysaccharides and proteins of *Hericium erinaceus*.

Keywords: *Hericium erinaceus*; flash extraction; polysaccharide; protein; synchronous extraction; structure identification

猴头菇属菌物界担子菌门猴菇目^[1],富含多糖、蛋白质、纤维素、氨基酸^[2]。猴头菇多糖对胃黏膜有保护作用,可促进消化,还具有提高免疫力、抗衰老、降血糖等效果^[3]。猴头菇多糖常用的提取方法有热水提取^[4]、酸碱提取^[5]、酶提取^[6]和微波辅助提取^[7]等。但热水法和微波辅助法提取猴头菇多糖时温度高,对热敏性成分破坏大,而酸碱法和酶法提取时对多糖中活性成分破坏大。闪式提取技术利用高速的机械剪切力和搅拌力,迅速有效地破坏植物细胞组织,通过局部负压渗透作用使有效成分迅速扩散至溶剂中^[8],具有提取速度快、温度低等优点,能有效保留热敏性成分与活性^[9]。目前闪式提取技术在金针菇^[10]、白鲜皮^[11]和黄芪^[12]等多糖提取方面已有应用,但未见用于猴头菇多糖提取的相关报道。

试验拟采用闪式提取法同步提取猴头菇中多糖和蛋白质,并对多糖结构及蛋白质亚基组成进行分析,以期为猴头菇多糖和蛋白质的研究提供理论参考。

基金项目:福建省科技计划项目(编号:2019N0007);福州市科技计划项目(编号:2018-G-33)

作者简介:张雄,男,福建农林大学在读硕士研究生。

通信作者:黄群(1977—),男,福建农林大学副教授,博士。

E-mail: huangqunlaoshi@126.com

收稿日期:2019-07-08

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

猴头菇子实体:湖北裕国菇业股份有限公司;

无水葡萄糖、牛血清蛋白、考马斯亮蓝:北京索莱宝科技有限公司;

浓硫酸、磷酸、苯酚、三氯乙酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器与设备

闪式提取器:JHBE-50T 型,河南智晶生物科技股份有限公司;

旋转蒸发仪:EYEL4 型,上海爱朗仪器有限公司;

真空冷冻干燥机:EYEL4 型,上海爱朗仪器有限公司;

高速中药粉碎机:150B 摇摆式,浙江温州瑞安市永厉制药机械有限公司;

紫外—可见分光光度计:UV-1780 型,岛津仪器苏州有限公司;

傅立叶红外光谱仪:AVATAR360 型,美国尼高力仪器公司。

1.3 方法

1.3.1 提取工艺流程

猴头菇子实体→干燥(40℃,16h)→粉碎→加蒸馏水闪式提取→离心(5000 r/min,10 min)→调整提取液 pH 值至蛋白质等电点(pH 3.65)→离心(8000 r/min,10 min)→得上清液(粗多糖溶液)和沉淀(蛋白质)

1.3.2 猴头菇粗多糖纯化 取猴头菇粗多糖提取液,加入溶液体积 1/3 的 D315 大孔树脂脱色,磁力搅拌 4 h,过滤后取滤液。滤液移至 2500 Da 透析袋中透析,4℃蒸馏水中透析 48 h,每 4~5 h 换水一次。旋转蒸发浓缩后置于冷冻干燥冷阱中预冻 12 h,再经冷冻干燥(-40℃,16 Pa)得到 HEP 粉末^[13]。

1.3.3 工艺条件优化 试验以猴头菇多糖提取为主、蛋白质提取为辅,单因素主要考虑多糖得率的影响,蛋白质未寻找到最优的提取条件,所以响应面试验仅以多糖得率为评价指标优化提取工艺。

(1) 提取时间的影响:粉体粒度 80 目,按液料比 18:1 (mL/g)加入蒸馏水,电压 100 V,提取时间分别设置为 20,40,60,80,100,120 s,考察提取时间对多糖与蛋白质得率的影响。

(2) 料液比的影响:粉体粒度 80 目,液料比分别设置为 14:1,16:1,18:1,20:1,22:1 (mL/g),提取电压 100 V,提取时间 60 s,考察料液比对多糖与蛋白质得率的影响。

(3) 粉体粒度的影响:猴头菇干粉分别按 40,60,80,100,120 目过筛,按液料比 18:1 (mL/g)加入蒸馏水,电压 100 V,提取时间 60 s,考察粉体粒度对多糖与蛋白质

得率的影响。

(4) 提取电压的影响:粉体粒度 80 目,液料比 18:1 (mL/g),提取时间 60 s,提取电压设置 100,125,150,175,200 V,考察提取电压对多糖与蛋白质得率的影响。

(5) 响应面试验优化:根据 Box-Behnken 中心组合试验设计原理,选取对提取得率影响较大的因素进行中心组合试验。

1.3.4 多糖得率的测定

(1) 多糖含量的测定:采用苯酚—硫酸法^[14],以葡萄糖标准品的质量浓度(mg/mL)为横坐标,溶液在 490 nm 处的吸光度为纵坐标,绘制标准曲线,得回归方程见式得标准曲线 $Y=0.0098X+0.0293$, $R^2=0.9926$ 。

(2) 多糖得率计算:将提取液稀释至合适倍数后测量其吸光度值,根据标准曲线计算多糖浓度,按式(1)计算多糖得率。

$$Y = \frac{y \times b \times V \times 100}{m \times 1000} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

Y——猴头菇多糖得率,%;

y——多糖浓度,mg/mL;

b——测定多糖时稀释倍数;

V——提取液的总体积,mL;

m——猴头菇粉末质量,g。

1.3.5 蛋白质得率的测定

(1) 蛋白质含量的测定:采用考马斯亮蓝法^[15],用紫外分光光度计,以试剂空白做参比,在 595 nm 波长处测定对照品溶液吸光度。以吸光度为纵坐标,蛋白质浓度为横坐标,得标准曲线 $Y=0.0034X-0.0263$, $R^2=0.9917$ 。

(2) 蛋白质得率计算:将提取液稀释至合适倍数后测量其吸光度值,根据标准曲线计算蛋白质浓度,按式(2)计算蛋白质得率。

$$X = \frac{x \times c \times V \times 100}{m \times 1000} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

X——猴头菇蛋白质得率,%;

x——蛋白质浓度,mg/mL;

c——测定蛋白质时稀释倍数;

V——提取液的总体积,mL;

m——猴头菇粉末质量,g。

1.3.6 产物鉴定

(1) 多糖:取 3 mg HEP 粉末与 0.3 g KBr 研磨混合均匀,压制薄片,进行傅里叶变换红外光谱分析,扫描波长为 4000~400 cm^{-1} 。

(2) 蛋白质:采用蒸馏水复溶猴头菇蛋白质(蒸馏水 30 mL)得到浑浊液,再经离心分离(8000 r/min,10 min)得到上清液,参照文献^[16]的方法进行十二烷基硫酸钠—聚丙烯酰胺凝胶(SDS-PAGE)电泳。

1.4 数据处理

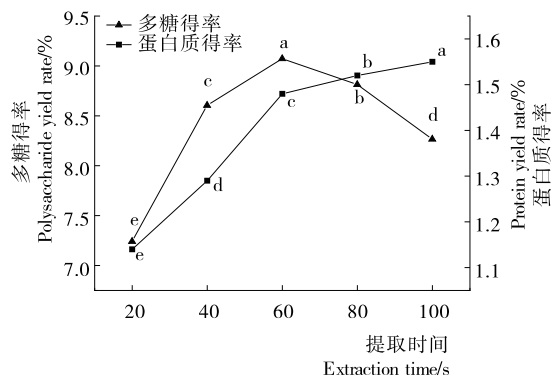
各检验指标分别测定 3 次,取平均值,采用 Excel 2016 进行统计分析,用 DPS 数据处理系统进行显著性分析,组间比较采用单因素方差分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。结果以(平均值±标准差)表示。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 提取时间对多糖和蛋白质得率的影响 由图 1 可知,提取时间为 20~60 s 时,猴头菇多糖和蛋白质得率均增加。提取时间超过 60 s 后,猴头菇多糖得率下降,可能是由于时间较长,闪式提取刀头积攒的能量较多而发热,引起多糖分解,导致得率降低;蛋白质得率变化不大,可能是提取 60 s 后闪式提取达到平衡。故提取时间控制在 60 s 左右为宜。

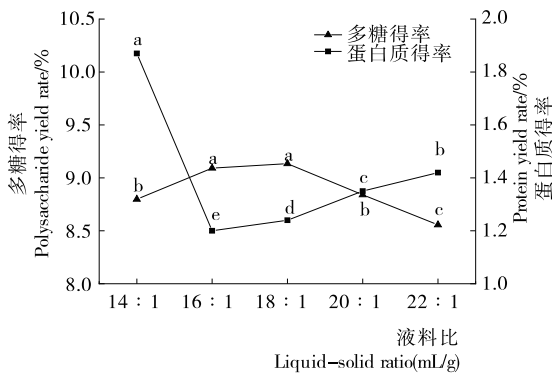
2.1.2 液料比对多糖和蛋白质得率的影响 由图 2 可知,猴头菇多糖得率随着液料比的增加先增加后减少,而



同一曲线字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 1 提取时间对猴头菇多糖和蛋白质得率的影响

Figure 1 Effect of time on extraction yield rate of polysaccharide and protein from *Hericium erinaceu*



同一曲线字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

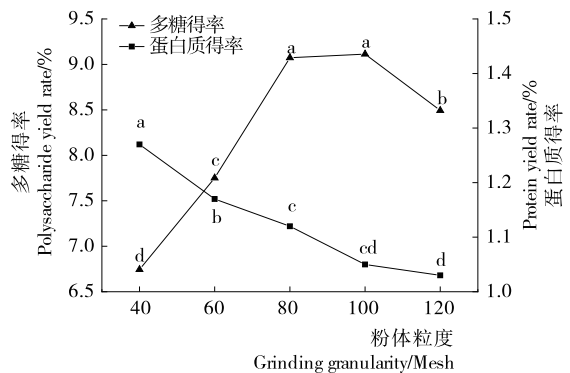
图 2 液料比对猴头菇多糖和蛋白质得率的影响

Figure 2 Effect of liquid-solid ratio on extraction yield rate of polysaccharide and protein from *Hericium erinaceu*

蛋白质得率变化趋势相反。多糖得率在液料比 18:1 (mL/g) 之后降低,可能是由于液料比过高,会降低猴头菇与闪式剪切刀头接触的机会,同时过高的液料比会增加后续浓缩的难度。故液料比取 18:1 (mL/g) 较佳。

2.1.3 粉体粒度对多糖和蛋白质得率的影响 由图 3 可知,随着粉体粒度的减小,多糖得率先增加后减小,可能是物料粒径过小时,其表面能较大且微粒间相互黏连,不利于多糖的溶出,导致得率降低;粉体粒度越小,蛋白质得率越低,可能是蛋白质与脂肪的乳化作用所致,100 目后乳化作用达到平衡,得率不再显著降低。故粉体粒度取 100 目左右为宜。

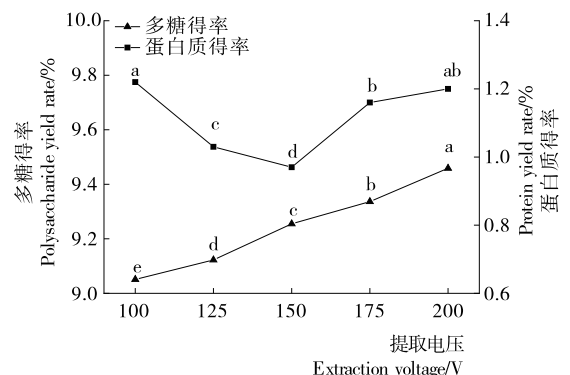
2.1.4 提取电压对多糖和蛋白质得率的影响 由图 4 可知,随着闪式提取电压的增加,猴头菇多糖得率逐渐增加,蛋白质得率先降低后上升。由于试验所用闪提器电压参数控制范围为 100~200 V,而且试验过程中发现,提取电压超过 125 V 后由于刀头转速越快,通过机械能转



同一曲线字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 3 粉体粒度对猴头菇多糖和蛋白质得率的影响

Figure 3 Effect of grinding granularity on extraction yield rate of polysaccharide and protein from *Hericium erinaceu*



同一曲线字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 4 提取电压对猴头菇多糖和蛋白质得率的影响

Figure 4 Effect of voltage on extraction yield rate of polysaccharide and protein from *Hericium erinaceu*

化而来的热能较多,导致体系温度明显升高,可能会导致提取的多糖与蛋白质变性,甚至失去活性。因此将提取电压固定为 100 V。

2.2 响应面优化

2.2.1 响应面试验设计及结果 根据 Box-Behnken 中心组合试验设计原理,固定提取电压为 100 V,选取对提取得率影响较大的提取时间、液料比、粉体粒度进行中心组合试验。试验设计因素编码及水平见表 1,试验设计及结果见表 2。

利用 Design Expert 8.06 软件将响应值(多糖得率)和各个因素进行多元回归拟合,得出试验因素的一次效应、二次效应及多次效应的响应面回归模拟方程:

$$Y = 9.18 + 0.21A - 0.08B - 0.26C + 0.017AB + 0.025AC - 0.042BC - 0.19A^2 - 0.18B^2 - 0.33C^2 \quad (3)$$

2.2.2 回归方程方差分析 由表 3 可知,回归模型 $P < 0.001$,表明该二次方程具有高度显著性;模型失拟项 $P = 0.0538$,不显著; $R_{adj}^2 = 0.9887$,说明模型能够解释 98.87% 的响应值变化; $R^2 = 0.9951$,表明该模型的拟合程度较好,可以用此模型来分析和预测猴头菇闪式提取工艺条件。各因素对猴头菇多糖的提取影响大小关系为粉体粒度 > 提取时间 > 液料比。一次项 A、B、C,二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 对提取效果影响极显著 ($P < 0.01$),交互项 BC 对提取效果影响极显著 ($P < 0.05$),其他项影响不显

表 1 三因素水平设计表

Table 1 Factors and levels of response surface analysis

水平	A 提取时间/s	B 液料比(mL/g)	C 粉体粒度/Mesh
-1	40	16	80
0	60	18	100
1	80	20	120

著 ($P > 0.05$)。

2.2.3 模型的优化分析及验证 由 Design Expert 8.06 软件得出模型预测闪式提取猴头菇多糖的最佳条件为提取时间 69.28 s、液料比 17.26 : 1 (mL/g)、粉体粒度 92.83 目,此条件下猴头菇多糖得率为 9.28%。考虑到实际操作对上述模型预测最优条件进行修正,最终多糖优化条件为:提取时间 70s、液料比 17 : 1 (mL/g)、粉体粒

表 2 响应面分析试验设计及结果

Table 2 Experimental design and results of response surface analysis

试验号	A	B	C	Y 多糖得率/%
1	1	1	0	8.97
2	-1	0	-1	8.71
3	1	0	1	8.66
4	0	0	0	9.20
5	1	0	-1	9.09
6	-1	0	1	8.18
7	0	0	0	9.19
8	0	0	0	9.17
9	0	1	1	8.25
10	1	-1	0	9.05
11	0	1	-1	8.89
12	-1	-1	0	8.68
13	0	-1	-1	9.01
14	0	0	0	9.15
15	0	-1	1	8.54
16	-1	1	0	8.53
17	0	0	0	9.17

表 3 多糖得率回归模型方差分析表

Table 3 Analysis of variance for polysaccharide yield rate regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1.760	9	0.200	157.02	<0.000 1	**
A	0.350	1	0.350	280.65	<0.000 1	**
B	0.051	1	0.051	41.22	0.000 4	**
C	0.460	1	0.540	431.20	<0.000 1	**
AB	1.225E-003	1	1.225E-003	0.99	0.353 8	
AC	2.500E-003	1	2.500E-003	2.01	0.198 9	
BC	7.225E-003	1	7.225E-003	5.82	0.046 7	*
A ²	0.150	1	0.150	123.01	<0.000 1	**
B ²	0.130	1	0.130	107.41	<0.000 1	**
C ²	0.450	1	0.450	359.14	<0.000 1	**
残差	8.695E-003	7	1.242E-004			
失拟性	7.175E-003	3	2.392E-004	6.29	0.053 8	
纯误差	1.520E-003	4	3.800E-004			
总差	1.760	16				

度90目,在此条件下进行3次平行验证实验,猴头菇中多糖得率为 $(9.24 \pm 0.15)\%$,与理论预测值 9.28% 极为接近,说明用该模型对猴头菇多糖的提取进行工艺优化具有一定的实际可操作性。该条件下蛋白质提取率为 1.33% 。

2.3 产物鉴定

2.3.1 多糖 闪式提取的猴头菇多糖的红外光谱见图5。猴头菇多糖在 3400 cm^{-1} 附近有比较宽的强吸收峰, 2930 cm^{-1} 附近有弱吸收峰, $1400\sim 1200\text{ cm}^{-1}$ 的弱吸收峰都属于多糖的特征吸收峰^[17]。 3400 cm^{-1} 较宽的峰是羟基O—H的伸缩振动引起, 2925 cm^{-1} 处较弱的吸收峰是甲基C—H的伸缩振动引起^[18]; 1401 cm^{-1} 处的峰是C—H与C—O的共同伸缩振动引起^[19]; 1151 cm^{-1} 处的峰是C—OH的侧链伸缩振动引起; 1078 cm^{-1} 和 1038 cm^{-1} 的峰是糖苷键C—O—C的伸缩振动引起, 918 cm^{-1} 处的吸收峰是由于D-吡喃环的不对称伸缩振动产生^[20]。

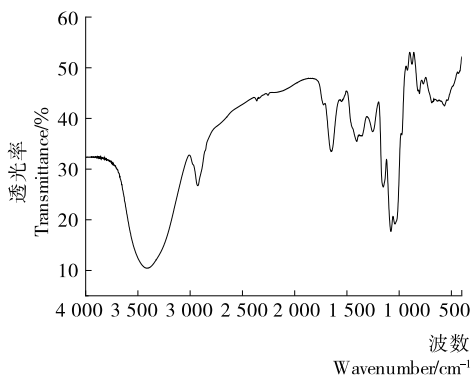


图5 HEP的红外光谱

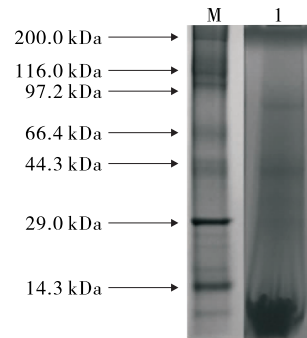
Figure 5 FT-IR spectra of HEP

李珊珊等^[21]研究表明,猴头菇由葡萄糖、半乳糖、岩藻糖和甘露糖组成。试验所得猴头菇多糖经水解和衍生化处理后进行气相色谱分析,除了常见的葡萄糖、鼠李糖、岩藻糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、半乳糖7种单糖外,还有具有潜在研究价值的未知峰,证明了闪式提取法能有效保护天然产物的活性成分。

2.3.2 蛋白质 由图6可知,在 66.4 kDa 和 44.3 kDa 附近各有一条明显带。从Uniprot数据库(<https://www.uniprot.org>)可知,猴头菇蛋白质分子量在 66.4 kDa 左右主要是色素,而 44.3 kDa 左右主要是微管蛋白和核糖核酸酶。Lee等^[22]对猴头菇粗蛋白进行SDS-PAGE电泳分析,发现少量真菌免疫调节蛋白的相对分子质量为 $10\sim 14\text{ kDa}$,Humans等^[23]研究发现,提取的猴头菇蛋白中相对分子质量低于 14.3 kDa 的酸性蛋白主要参与翻译、核糖体结构和生物发生、转运途径;猴头菇中相对分子质量较小的蛋白质参与了猴头菇物多种代谢途径。

3 结论

试验结果表明,闪式同步提取猴头菇多糖和蛋白质



M. 标准蛋白质 1. 闪式提取的猴头菇蛋白质

图6 SDS-PAGE电泳分析

Figure 6 SDS-PAGE images of *Hericium erinaceus*

最佳提取工艺参数为:提取时间 80 s 、液料比 $17:1\text{ (mL/g)}$ 、粉体粒度 80 目 、提取电压 100 V ,该条件下猴头菇多糖得率为 $(9.24 \pm 0.15)\%$,蛋白质得率为 1.34% 。采用傅里叶红外光谱法对猴头菇多糖的结构进行初步鉴定,发现在 3400 cm^{-1} 附近有比较宽的强吸收峰, 2930 cm^{-1} 和 $1400\sim 1200\text{ cm}^{-1}$ 附近有弱吸收峰,均属于多糖的特征吸收峰;单糖组成以葡萄糖、半乳糖、岩藻糖和甘露糖含量较多。猴头菇蛋白质产物经SDS-PAGE凝胶电泳分析,发现在 66.4 kDa 和 44.3 kDa 附近各有一条明显带,主要是微管蛋白和核糖核酸酶。闪式提取法能有效保护猴头菇多糖与蛋白质的天然活性成分。

参考文献

- [1] 朱洋. 猴头菇多糖及其新型铋剂的制备、表征及生物活性研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2014.
- [2] 袁亚宏, 岳田利, 王云阳, 等. 猴头菇营养液提取工艺研究[J]. 中国食品学报, 2005, 5(2): 64-69.
- [3] 樊伟伟, 黄惠华. 猴头菇多糖研究进展[J]. 食品科学, 2008, 29(1): 355-358.
- [4] 张树海. 猴头菇多糖提取及纯化的研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(11): 103-106.
- [5] 张江萍, 刘靖宇. 猴头菇水不溶性膳食纤维的提取工艺研究[J]. 山西农业科学, 2018, 46(4): 634-637.
- [6] 张帅, 沈楚燕, 董基. 酶法提取猴头菇多糖的研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2010, 31(2): 76-79.
- [7] 徐逸凡, 孙斯琪, 韩伟. 微波辅助提取猴头菇多糖的工艺研究[J]. 现代制造, 2016(32): 38-44.
- [8] 刘延泽. 植物组织破碎提取法及闪式提取器的创制与实践[J]. 中国天然药物, 2007, 5(6): 401-407.
- [9] 于鹏亮. 茶渣中蛋白质和多糖的综合提取及其分离纯化[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013.
- [10] 李明华, 陆正清, 孟秀梅, 等. 金针菇多糖闪式提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(10): 216-221.

(下转第183页)

3 结论

通过单因素试验和正交试验得出,黑豆豆豉前发酵的最优工艺组合为发酵时间 4 d,发酵温度 39 ℃,接种量 2.5 g/100 g·黑豆,该条件发酵所得黑豆豆豉的总多酚含量为 4.24 mg/g, DPPH·清除率为 79.86%。研究结果表明,采用纳豆芽孢杆菌发酵来生产抗氧化能力较强的黑豆豆豉是可行的。后续将对后发酵中发酵时间、发酵温度以及食盐、白酒等辅料对黑豆豆豉风味物质形成、营养成分变化、功能因子形成及抗氧化活性的影响作进一步的研究。

参考文献

- [1] 王伟, 吴昊, 石念荣. 黑豆紫米香肠加工工艺研究[J]. 肉类工业, 2019, 40(1): 1-4.
- [2] 李圆圆, 田晨颖, 刘晓美, 等. 添加微量元素对黑豆发芽过程中成分的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(9): 98-104.
- [3] 高洋, 于栋. 黑豆多肽的研究现状[J]. 现代食品, 2017, 3(16): 20-22.
- [4] 张菊, 徐亮, 王帅, 等. 豆豉发酵过程中产乳酸菌株的筛选、鉴定及其培养基的优化[J]. 基因组学与应用生物学, 2018, 37(9): 3 836-3 843.
- [5] 侯竹美, 王凤舞. 黄豆豉和黑豆豉在发酵过程中的抗氧化性[J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2016, 33(1): 45-48.
- [6] 吴兰芳, 蒋爱民, 曲直, 等. 霉菌型黑豆豆豉的主要成分及其抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(1): 51-54.
- [7] 吉美萍, 肖志婷, 那日, 等. 纳豆芽孢杆菌的相关研究进展[J]. 河南师范大学学报: 自然科学版, 2016, 44(5): 83-93.
- [8] 张家慧, 陈金枝, 张琳芝, 等. 纳豆芽孢杆菌液体发酵白术培养条件的研究[J]. 轻工科技, 2019, 35(1): 11-13.
- [9] 徐春明, 陈莹莹, 庞高阳. 纳豆发酵和体外模拟消化中活性物质含量及抗氧化活性的变化研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(11): 78-84.
- [10] 严红光, 李丽, 杨芬, 等. 蓝莓叶多酚及抗氧化研究[J]. 食品科技, 2018, 43(10): 285-288.
- [11] 齐娜, 李涵, 张志宇, 等. 新疆红肉苹果多酚的超声波辅助提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 177-182.
- [12] 李治龙, 刘新华, 刘文杰, 等. 几种新疆特色干果清除自由基活性[J]. 光谱实验室, 2012, 29(5): 2 680-2 684.
- [13] 蒋增良, 毛建卫, 黄俊, 等. 蓝莓酵素在天然发酵过程中抗氧化性能的变化[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 194-197, 201.
- [14] 程志华, 龚霄, 袁源, 等. 红心火龙果果酒发酵特性的研究[J]. 酿酒科技, 2018, 40(9): 17-21.
- [15] 王舸楠, 刘维兵, 王雪薇, 等. 响应面法优化复合菌种发酵葡萄玫瑰花饮品及其抗氧化能力的测定[J/OL]. 食品工业科技. (2019-04-16) [2019-05-28]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20190415.1428.040.html>.
- [16] 吴杰, 吴延东, 赵雪松, 等. 不同发酵条件对山竹果酒活性成分溶出的影响[J]. 粮食与食品工业, 2018, 25(2): 42-46, 49.
- [17] 杨艳, 杨荣玲, 邹宇晓, 等. 肠道微生物菌群生物转化天然多酚类化合物研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(17): 319-325.
- [18] QIN Tao, REN Zhe, HUANG Yi-fan, et al. Selenizing *Hericium erinaceus* polysaccharides induces dendritic cells maturation through MAPK and NF- κ B signaling pathways[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 97: 287-298.
- [19] WANG Ming-xing, GAO Yang, XU Duo-duo, et al. A polysaccharide from cultured mycelium of *Hericium erinaceus* and its anti-chronic atrophic gastritis activity [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 81: 656-661.
- [20] LIU Xiao-cui, ZHU Zhen-yuan, TANG Ya-li, et al. Structural properties of polysaccharides from cultivated fruit bodies and mycelium of *Cordyceps militaris*[J]. Carbohydr Polym, 2016, 142: 63-72.
- [21] 李珊珊, 王珊丹, 燕洪涛, 等. 不同提取工艺对猴头菇多糖产率、单糖组成及 DPPH 清除活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(11): 154-156.
- [22] LEE Suan-li, LEONG Jin-ying, LIM Lay-hong, et al. Comparative cytotoxicity and hemagglutination activities of crude protein extracts from culinary-medicinal mushrooms[J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2010, 12(2): 213-222.
- [23] KIYOTAKA H, RANDEEP R, MISATO H, et al. Proteomics of two cultivated mushrooms *Sparassis crispa* and *Hericium erinaceum* provides insight into their numerous functional protein components and diversity[J]. Journal of Proteome Research, 2008, 7(5): 1 819-1 835.

(上接第 121 页)

- [11] 李兰兰, 张宇, 赵统超, 等. 白鲜皮多糖闪式提取最佳工艺及抗氧化活性探讨[J]. 时珍国医国药, 2018, 29(3): 556-558.
- [12] 陈艳蕊, 金文闻, 罗晓捷, 等. 黄芪多糖的闪式提取技术研究[J]. 现代生物医学进展, 2010, 10(17): 3 322-3 325.
- [13] 易晓敏. 猴头菇多糖的分离纯化、表征及其功能活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017: 32-33.
- [14] 张惟杰. 糖复合物生化研究技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1999: 11-12.
- [15] 王文平, 郭祀远, 李琳, 等. 考马斯亮蓝法测定野木瓜多糖中蛋白质的含量[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(1): 115-117.
- [16] 李春红. 三种真菌类中药材的蛋白质凝胶电泳分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2016: 20-22.
- [17] 陈健, 张灵芝, 韦丁, 等. 黑虎掌菌多糖的组成和抗肿瘤活性[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2011, 39(12): 110-114.
- [18] QIN Tao, REN Zhe, HUANG Yi-fan, et al. Selenizing *Hericium erinaceus* polysaccharides induces dendritic cells maturation through MAPK and NF- κ B signaling pathways[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017,