

# 猴头菇菌丝体多糖的提取工艺优化

王 锋<sup>1</sup>, 刘晓鹏<sup>1,2</sup>, 张宝翠<sup>1</sup>, 朱玉昌<sup>1,2</sup>, 陈莉莉<sup>1</sup>, 王应玲<sup>3</sup>, 姜 宁<sup>1,2\*</sup>

(1. 湖北民族大学生物科学与技术学院, 恩施 445000; 2. 生物资源保护与利用湖北省重点实验室, 恩施 445000;  
3. 湖北省地质局第二地质大队, 恩施 445000)

**摘 要:** **目的** 对猴头菇菌丝体多糖热水提取工艺条件进行优化。**方法** 选取影响多糖得率的 3 个因素: 固液比、提取时间和提取温度, 在单因素实验的基础上结合  $L_9(3^4)$  正交实验, 对热水提取法提取猴头菇菌丝体多糖的工艺进行了优化。**结果** 当固液比 1:20( $m:V$ , g/mL)、提取时间 1.0 h、提取温度 70 °C, 猴头菇菌丝体的多糖得率最高, 达(1.76±0.01)%。**结论** 本方法操作简单、快捷、稳定, 为猴头菇菌丝体多糖的加工利用和相关研究提供了参考依据。

**关键词:** 猴头菇; 菌丝体; 多糖; 提取

## Optimization of extraction technology of polysaccharides from mycelium of *Hericium erinaceus*

WANG Feng<sup>1</sup>, LIU Xiao-Peng<sup>1,2</sup>, ZHANG Bao-Cui<sup>1</sup>, ZHU Yu-Chang<sup>1,2</sup>, CHEN Li-Li<sup>1</sup>,  
WANG Ying-Ling<sup>3</sup>, JIANG Ning<sup>1,2\*</sup>

(1. School of Biological Science and Technology, Hubei Minzu University, Enshi 445000, China; 2. Hubei Key Laboratory of Biological Resources Protection and Utilization, Enshi 445000, China; 3. No.2 Geological Brigade of Geological Department of Hubei Province, Enshi 445000, China)

**ABSTRACT: Objective** To optimize the hot water extraction technology for polysaccharides from mycelium of *Hericium erinaceus*. **Methods** Three factors including solid-liquid ratio, extraction time and extraction temperature were selected to optimize the extraction process of polysaccharides from *Hericium erinaceus* mycelium by hot water extraction via  $L_9(3^4)$  orthogonal test based on single factor experiments. **Results** The yield of polysaccharides from *Hericium erinaceus* mycelium reached the highest (1.76±0.01)% under the following conditions: the solid-liquid ratio was 1:20 ( $m:V$ , g/mL), the extraction time was 1.0 h, and the extraction temperature was 70 °C. **Conclusion** The optimized method is simple, rapid and stable, which provides a reference for the processing and utilization of *Hericium erinaceus* mycelium polysaccharides and related research.

**KEY WORDS:** *Hericium erinaceus*; mycelium; polysaccharides; extraction

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(81460573)、湖北省技术创新专项(2016AKB058, 2017ABA139, 2017AKB077)、2019 湖北产业教授人才项目、2014 年度湖北省本科高校“专业综合改革”试点项目(2014029)、2017 湖北民族学院研究生院研究生创新计划项目(201709)

**Fund:** Supported by the National Natural Science Foundation of China (81460573), the Science and Technology Innovation Program of Hubei Province (2016AKB058, 2017ABA139, 2017AKB077), Hubei Industry Professor Talent Project in 2019, Pilot Project of “Comprehensive Professional Reform” in Undergraduate Colleges and Universities of Hubei Province in 2014 (2014029), and the Graduate Innovation of School of Biological Science and Technology in Hubei Minzu University (201709)

\***通讯作者:** 姜宁, 博士, 副教授, 主要研究方向为天然产物。E-mail: jiangn888@163.com

\***Corresponding author:** JIANG Ning, Ph.D, Associate Professor, School of Biological Science and Technology, Hubei Minzu University, No.39, Xueyuan Road, Enshi 445000, China. E-mail: jiangn888@163.com

## 1 引言

猴头菇(*Hericium erinaceus*)是担子菌纲多孔菌目齿菌科猴头属真菌<sup>[1]</sup>, 又称猴头菌、鸳鸯对口菇等, 属药食两用菌<sup>[2]</sup>, 具有抗溃疡<sup>[3]</sup>、增强免疫力、抗肿瘤<sup>[4]</sup>、降血糖、血脂<sup>[5,6]</sup>、抗氧化<sup>[7]</sup>、抗疲劳<sup>[8]</sup>等作用。猴头菇含有多种活性成分, 如多糖<sup>[9]</sup>、脂肪酸<sup>[10]</sup>、蛋白<sup>[11]</sup>、多肽<sup>[12]</sup>、核苷<sup>[13]</sup>、酚类<sup>[14]</sup>等, 其中猴头菇多糖为猴头菇中主要活性成分。

多糖是多个单糖分子缩合去水后, 以糖苷键结合形成的一类天然高分子碳水化合物, 存在于高等动、植物细胞膜和微生物细胞壁中, 具有抗氧化<sup>[15,16]</sup>、免疫调节<sup>[17,18]</sup>、抗肿瘤<sup>[19]</sup>、降血糖<sup>[20]</sup>、降血脂等药理作用<sup>[21]</sup>。猴头菇多糖是众多生物活性多糖中的一种, 具有抗肿瘤<sup>[22,23]</sup>、抗溃疡<sup>[3]</sup>、抗氧化<sup>[24]</sup>等生理活性。利用发酵罐对猴头菇真菌进行深层发酵, 可获得产量高且质量稳定的菌丝体, 菌丝体多糖的含量较于实体多糖的含量要高<sup>[25]</sup>。猴头菇多糖的提取工艺研究较多, 但是对于猴头菇菌丝体多糖的提取工艺研究较少, 一般采用酶提取或者超声辅助提取, 热水提取的工艺研究较少。本研究以猴头菇菌丝体为原材料, 多糖得率为指标, 采用蒽酮-硫酸法测定猴头菇菌丝体中的多糖, 通过单因素试验及正交试验研究热水提取法提取猴头菇菌丝体多糖的最优工艺, 为工业化大规模生产猴头菇菌丝体多糖提供理论依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与仪器

#### 2.1.1 材料与试剂

猴头菇菌种由本实验室保存。

葡萄糖、三氯甲烷、正丁醇、硫酸(分析纯, 武汉市中天化工有限公司); 蒽酮及其他试剂(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 实验用水为 Milli-Q 超纯水。

#### 2.1.2 仪器与设备

TU-1810 型紫外-可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司); BSD-YX2200 智能精密摇床(上海博讯实业有限公司医疗设备厂); YGF300/20L/50L 全不锈钢发酵罐(上海洋格生物工程设备有限公司); Alpha 2-4LSC 冷冻干燥机(德国 Marin Christ 公司); TDL-40B 型离心机(上海安亭科学仪器厂); HHS 型恒温水浴锅(上海博讯实业有限公司医疗设备厂)。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 菌丝体的制备

将猴头菇菌种于 PDA 培养基中进行 28 °C 平板培养, 待菌丝长满平板后, 挑取约 1 cm<sup>2</sup> 长势良好的菌丝于种子液培养基中(马铃薯 200 g/L、葡萄糖 10 g/L、麦芽糖 10 g/L、硫酸镁 10 g/L、磷酸氢二钾 1 g/L), 28 °C 培养 6 d。然后按 10% 接

种量将种子液接种于发酵罐中, 发酵培养基成分为黄豆粉 3%(煮沸 30 min, 4 层纱布过滤取滤液), 可溶性淀粉 3%, 葡萄糖 1%, CaCl<sub>2</sub> 0.02%, 硒 12 mg/L, 维生素 B<sub>1</sub> 60 mg/L, 维生素 B<sub>2</sub> 60 mg/L, 维生素 B<sub>6</sub> 60 mg/L, 培养温度为 25.8 °C, 溶解氧(dissolved oxygen, DO)控制在 40%~60%之间, pH 自然。培养 6 d 后放罐, 用 4 层纱布过滤菌丝体, 并用蒸馏水进行反复冲洗, 真空冷冻干燥, 备用。

#### 2.2.2 葡萄糖标准曲线的绘制

采用蒽酮-硫酸法<sup>[26]</sup>, 以葡萄糖为标准品。分别取葡萄糖标准溶液 0、0.1、0.2、0.4、0.6、0.8 mL 于试管中; 加蒸馏水至 1 mL, 迅速摇匀, 然后静置。再各加 4 mL 硫酸蒽酮溶液, 摇匀。然后放入 95 °C 的水浴锅中水浴 10 min, 水浴后迅速取出冰浴, 快速冷却, 在波长 620 nm 下测定吸光度, 以葡萄糖的质量浓度为横坐标, 以吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线。

#### 2.2.3 菌丝体多糖提取及得率的计算

将真空冷冻干燥的猴头菇菌丝体, 粉碎, 过 40 目筛, 备用。称取一定量的猴头菇菌丝体粉末, 按所需固液比在规定的温度下水浴一定时间, 然后 3500 r/min 离心 30 min, 取上清液, 加乙醇至终浓度 80%, 置 4 °C 过夜, 然后 3500 r/min 离心 30 min 取沉淀。将沉淀用 60 °C 的蒸馏水复溶, Sevag 法去蛋白, 离心取水相, 在水相中加入乙醇至终浓度为 80%, 3500 r/min 离心 30 min 取沉淀, 60 °C 烘干, 检测多糖含量, 计算纯度, 达 80% 以上即为粗多糖。

多糖含量的测定按 2.2.2 操作, 多糖提取率按以下公式计算。

$$\text{多糖得率}/\% = \frac{\rho \times \text{稀释倍数} \times V}{M \times 1000} \times 100$$

式中:  $\rho$  为测定样液的质量浓度,  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ;  $V$  为提取体积, mL;  $M$  为猴头菇菌丝体质量, mg。

#### 2.2.4 菌丝体多糖纯度的测定

称取烘干的粗多糖 1000 mg, 加水 1 mL 溶解, 按 2.2.2 操作检测多糖含量, 按以下公式计算多糖纯度。

$$\text{多糖纯度}/\% = \frac{\rho \times \text{稀释倍数}}{m \times 1000} \times 100$$

式中:  $\rho$  为测定样液的质量浓度,  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ;  $m$  为猴头菇菌丝体粗多糖质量, mg。

#### 2.2.5 猴头菇菌丝体多糖提取工艺的优化

##### (1) 单因素实验

##### ① 固液比对猴头菇菌丝体多糖得率的影响

称取一定量的猴头菇菌丝体粉末, 分别按固液比 1:5、1:10、1:15、1:20、1:25( $m:V$ , g/mL)加入蒸馏水 70 °C 水浴 2 h, 3500 r/min 离心 30 min, 取上清。残渣按上述方法再提取 1 次, 合并 2 次的上清液, 按 2.2.3 制备粗多糖, 测多糖含量, 并计算得率。

### ②提取时间对猴头菇菌丝体多糖得率的影响

称取一定量的猴头菇菌丝体粉末,按固液比 1:15( $m:V$ , g/mL)加入蒸馏水,70 °C分别水浴 1、1.5、2、2.5、3 h,3500 r/min 离心 30 min,取上清。残渣按上述方法再提取 1 次,合并 2 次的上清液,按 2.2.3 制备粗多糖,测多糖含量,并计算得率。

### ③提取温度对猴头菇菌丝体多糖得率的影响

称取一定量的猴头菇菌丝体干粉,按固液比 1:15( $m:V$ , g/mL)加入蒸馏水,分别在 50、60、70、80、90 °C水浴 2 h,3500 r/min 离心 30 min,取上清。残渣按上述方法再提取 1 次,合并 2 次的上清液,按 2.2.3 制备粗多糖,测多糖含量,并计算得率。

### (2) 正交实验

根据单因素实验结果,采用  $L_9(3^4)$  正交表进行正交实验,因素水平设计见表 1。

表 1 正交试验的因素水平  
Table 1 Factors and levels of orthogonal test

水平	固液比 $A/(g/mL)$	提取时间 $B/h$	提取温度 $C/°C$	空列 $D$
1	1:10	1.0	70	
2	1:15	1.5	80	
3	1:20	2.0	90	

### (3) 验证实验

根据正交实验得到的最优工艺进行猴头菇菌丝体多糖的提取,计算得率,以验证得到的工艺是否稳定可靠。

#### 2.2.6 数据处理

所有实验重复 3 次,用 Origin 8.0 对数据进行统计分析,实验数据以平均数±标准差(standard deviation, SD)表示,多重比较采用最小显著差异(least significant difference, LSD)法。

## 3 结果与分析

### 3.1 猴头菇发酵菌丝体产量

按上述 2.2.1 方法制备菌丝体,可得菌丝体干重为  $(14.0 \pm 0.5)$  g/L。

### 3.2 葡萄糖标准曲线的绘制

葡萄糖标准液的浓度与吸光度的关系,如图 1。葡萄糖浓度在 0~80  $\mu\text{g/mL}$  的范围内,线性关系良好,  $r^2=0.9995$ ,回归方程为  $Y=6.9X+0.003$ ( $Y$  为吸光值,  $X$  为葡萄糖浓度,  $\mu\text{g/mL}$ )。

### 3.3 单因素实验结果

#### 3.3.1 固液比对猴头菇菌丝体粗多糖得率的影响

固液比对猴头菇多糖提取率的影响结果见图 2。由图

2 可知,当固液比由 1:5 ( $m:V$ , g/mL)升到 1:15 ( $m:V$ , g/mL)时,粗多糖得率不断升高,但当固液比进一步增大后,粗多糖得率开始下降。这是由于溶剂的增加,细胞内外多糖的渗透压变大,加速了多糖向外溶出的速度和数量。当固液比达到 1:15 ( $m:V$ , g/mL)时粗多糖近于完全溶出,如再增大固液比,操作体积变大,损耗会增加,所以得率下降。根据结果,选择固液比 1:10、1:15、1:20( $m:V$ , g/mL)为后续正交实验的 3 个水平。

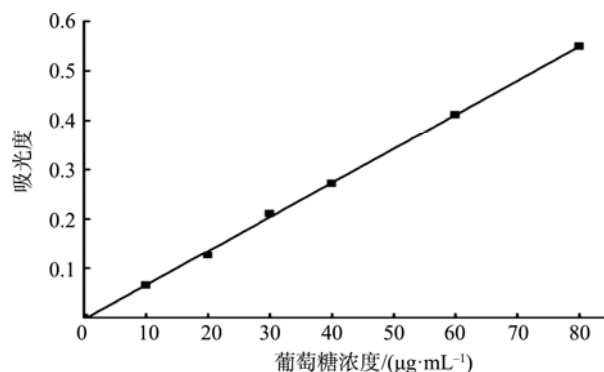
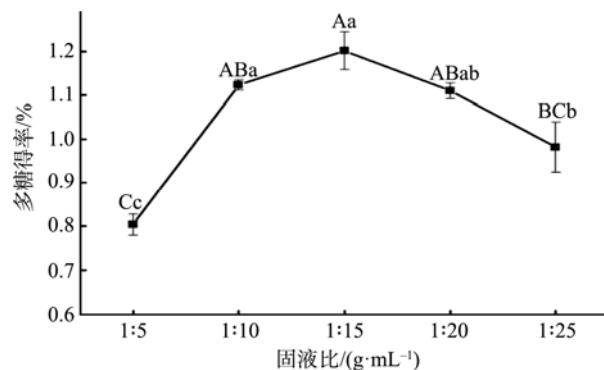


图 1 葡萄糖标准曲线

Fig.1 Standard curve of glucose



注:大、小写字母分别表示 0.01、0.05 显著水平上的差异(图 2~4 同)。

图 2 固液比对猴头菇菌丝体多糖得率的影响( $n=3$ )

Fig.2 Effect of solid/liquid ratio on yield of polysaccharides from *Hericium erinaceus* mycelium ( $n=3$ )

#### 3.3.2 提取时间对猴头菇菌丝体粗多糖得率的影响

由提取时间对猴头菇多糖得率影响的结果(图 3)可知,当提取时间低于 1.5 h 时,猴头菇菌丝体粗多糖得率不断升高,在 1.5 h 时提取得率达到最大,但是提取时间超过 1.5 h 后提取得率反而降低,其原因可能是在一定范围内提取时间的增加,可以使粗多糖分子的溶出增加,但是提取时间过长,菌丝体细胞结构中的杂质也不断溶出,从而导致粗多糖提取得率下降。根据提取时间对菌丝体多糖产量影响的结果,提取时间选取 1、1.5、2 h 为后续正交实验的 3 个水平。

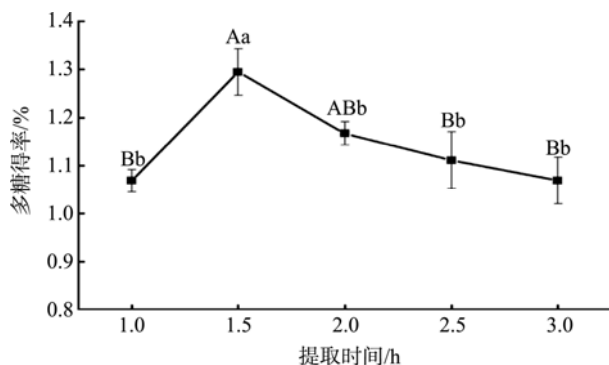


图 3 提取时间对猴头菇菌丝体多糖得率的影响( $n=3$ )

Fig.3 Effect of extraction time on yields of polysaccharides from *Hericium erinaceus* mycelium ( $n=3$ )

### 3.3.3 提取温度对猴头菇菌丝体粗多糖得率的影响

图 4 为提取温度对猴头菇多糖得率影响的结果。从图 4 可知,当提取温度为 50 °C 时,提取率较低,当温度增加时,提取得率显著上升,这是由于随着温度的升高,分子运动速度加快,渗透、扩散、溶解速度加快,使多糖更容易从细胞中转移到溶剂中,从而使多糖的得率提高<sup>[27]</sup>。因此选取 70、80、90 °C 作为后续正交实验考察的 3 个水平。

## 3.4 正交实验结果

正交实验结果如表 2 所示。对数据进行分析,猴头菇菌丝体粗多糖提取最优工艺为  $A_3B_1C_3$ ,即固液比为 1:20 ( $m:V$ , g/mL)、提取时间 1.0 h、提取温度 90 °C。根据极差  $R$  得到的各因素的主次关系为  $A > C > B$ ,即固液比是影响多糖提取率的最关键因素。表 3 为正交实验的方差分析表,由表 3 可知,固液比对提取得率的影响为显著水平( $P <$

0.05),而提取时间、提取温度对得率的影响不显著( $P > 0.05$ )。根据  $F$  值大小可以判定各因素对粗多糖得率的影响主次关系为  $A > C > B$ ,与极差分析结果相同。由于提取时间和提取温度在正交实验中对多糖得率影响不显著,为了节省能源,将水浴提取猴头菇菌丝体粗多糖的最优工艺定为固液比为 1:20 ( $m:V$ , g/mL)、提取时间 1.0 h、提取温度 70 °C。

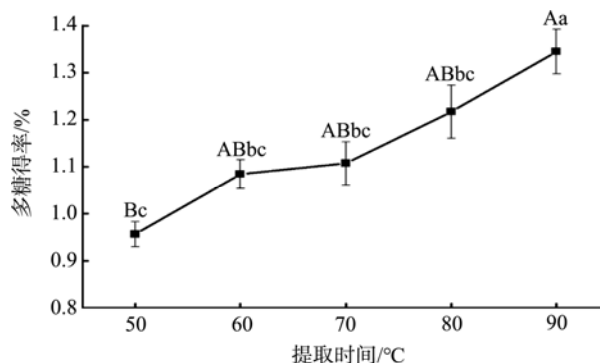


图 4 提取温度对猴头菇菌丝体多糖得率的影响( $n=3$ )

Fig.4 Effect of extraction temperature on yields of polysaccharides from *Hericium erinaceus* mycelium ( $n=3$ )

## 3.5 验证实验结果

采用正交试验的最优提取工艺:固液比 1:20 ( $m:V$ , g/mL)、提取时间 1.0 h、提取温度 70 °C,进行猴头菇菌丝体粗多糖提取验证试验,粗多糖提取得率达(1.76±0.01)%,高于正交实验中的任何组合,说明该工艺稳定并可靠。

表 2 正交试验结果

Table 2 Results of orthogonal test

试验号	A	B	C	D	多糖得率/%
1	1	1	1	1	1.06
2	1	2	2	2	1.14
3	1	3	3	3	1.18
4	2	1	2	3	1.37
5	2	2	3	1	1.34
6	2	3	1	2	1.13
7	3	1	3	2	1.65
8	3	2	1	3	1.20
9	3	3	2	1	1.53
$K_1$	1.13	1.36	1.13		
$K_2$	1.28	1.23	1.35		
$K_3$	1.46	1.28	1.39		
$R$	0.33	0.13	0.26		

表3 正交试验方差分析  
Table 3 Variance analysis of orthogonal experimental results

差异来源	离差平方和	自由度	均方	F 值	显著性
A	0.167	2	0.052	25.806	*
B	0.026	2	0.013	4.038	
C	0.117	2	0.058	17.998	
误差	0.006	2	0.003		
总和	15.297	9			

注: \*表示  $P < 0.05$ 。

#### 4 结论与讨论

在进行单因素实验时, 还曾选取提取液的 pH 和提取次数进行考察, 但结果显示二者对多糖得率的影响均不显著 ( $P > 0.05$ ), 因此就未将这 2 因素放入正交实验中。

本研究采用单因素考察了固液比、提取时间、提取温度 3 个因素对猴头菇菌丝体粗多糖得率的影响, 并通过正交试验确定其最佳提取工艺。结果表明猴头菇菌丝体粗多糖的最佳的提取工艺参数为固液比 1:20 ( $m:V$ , g/mL)、提取时间 1.0 h、提取温度 70 °C。在最佳工艺条件下, 粗多糖的得率为(1.76±0.01)%。该方法操作简单、快捷、稳定, 为猴头菇菌丝体多糖的加工利用和相关研究提供了一定的实用价值。

贺亮等<sup>[28]</sup>采用 Box-Behnken 试验设计优化了热水法提取猴头菇菌丝体多糖的工艺, 得出提取温度 100 °C, 提取时间 2.55 h, 料液比 1:87.69 ( $m:V$ , g/mL), 此条件下得率为 2.107。与他们的研究相比, 本研究得到的最优工艺节省省时, 得率相差不大, 更符合工业生产的需要。黄剑峰<sup>[29]</sup>比较了酶法、超声波法以及两者结合的方法提取猴头菇菌丝体多糖的研究, 得到了较高的多糖得率, 但是其操作复杂、方法繁琐, 不利于工程大规模的操作。与其相比本方法简单、操作方便, 工艺稳定。利用猴头菇菌丝体提取多糖, 能够解决因猴头菇子实体提取多糖的生产工艺存在污染环境、资源浪费、劳动强度大、质量不稳定、生产成本低、经济效益低的问题。因此该方法更具有广阔的市场应用前景, 也为猴头菇菌丝体多糖的进一步开发利用打下基础。

#### 参考文献

- [1] 刘振林, 卢桂福, 高骏, 等. 不同处理条件对猴头菇抗氧化活性的影响[J]. 食品科技, 2012, 37(4): 54–56.  
Liu ZL, Lu JF, Gao J, et al. The change of antioxidative activity of *Hericium erinaceus* in different dealing condition [J]. Food Sci Technol, 2012, 37(4): 54–56.
- [2] 袁蕾. 药食同源的猴头菇[N]. 上海中医药报, 2018-7-2(13).  
Yuan L. *Hericium erinaceus* of medicine and food homologous [N]. Shanghai Journal of Traditional Chinese Medicine, 2018-7-2(13).
- [3] 王明星, 张艳秋, 肖旭朗. 基于 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 诱导 CaCO<sub>2</sub> 细胞模型的猴头菌多糖抗溃疡性结肠炎活性研究[J]. 时珍国医国药, 2017, 28(10): 2355–2357.  
Wang MX, Zhang YQ, Xiao XL. Study on anti-ulcerative colitis activity of the polysaccharide from *Hericium erinaceus* based on cell model of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> induced CaCO<sub>2</sub> cells [J]. Lishizhen Med Materia Med Res, 2017, 28(10): 2355–2357.
- [4] 余海尤. 猴头菌化学成分及抗肿瘤活性研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2010.  
Yu HY. Study on the chemical constituents and anti-tumor activities of *Hericium erinaceus* [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2010.
- [5] 唐炜, 王英军, 孙英莲. 小刺猴头菌子实体多糖对不同糖尿病模型动物血糖的影响[J]. 中国实用医药, 2014, 9(27): 262–263.  
Tang W, Wang YJ, Sun YL. Effect of polysaccharides from *Hericium erinaceus* fruit body on blood glucose in different diabetic model animals [J]. Chin Pract Med, 2014, 9(27): 262–263.
- [6] 张文, 陈建伟, 李祥, 等. 猴头菌多糖对糖尿病小鼠血糖血脂的影响[J]. 药学与临床研究, 2012, 20(1): 24–27.  
Zhang W, Chen JW, Li X, et al. Effect of *Hericium erinaceus* Polysaccharide on blood glucose and lipid in diabetic mice [J]. Pharm Clin Res, 2012, 20(1): 24–27.
- [7] 黄越, 周春晖, 黄惠华. 不同提取方法猴头菇粗多糖的表征及其抗氧化活性的比较[J]. 食品工业科技, 2017, 38(3): 80–86.  
Huang Y, Zhou CH, Huang HH. Characterization and antioxidant activity analysis on the crude *Hericium erinaceus* polysaccharides extracted by different methods [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(3): 80–86.
- [8] 杨雪, 张海悦, 张鑫, 等. 猴头菇多糖对小鼠抗疲劳作用研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(13): 368–370, 375.  
Yang X, Zhang HY, Zhang X, et al. Anti-fatigue effects of polysaccharides from *Hericium erinaceus* in mice [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(13): 368–370, 375.
- [9] Li QZ, Wu D, Zhou S, et al. Structure elucidation of a bioactive polysaccharide from fruiting bodies of *Hericium erinaceus* in different maturation stages [J]. Carbohydr Polym, 2016, 144: 196–204.
- [10] 宋明杰, 罗靖, 刘畅, 等. 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取猴头菌中脂肪酸的 GC-MS 分析[J]. 食品科技, 2016, 41(4): 272–276.  
Song MJ, Luo J, Liu C, et al. GC-MS analysis of fatty acids from *Hericium erinaceus* by supercritical carbon dioxide extraction [J]. Food Sci Technol, 2016, 41(4): 272–276.
- [11] 李巧珍, 刘朝贵, 于海龙, 等. 猴头菌不同生长发育期粗蛋白、粗多糖含量及水溶性粗多糖体外免疫活性[J]. 食用菌学报, 2011, 18(4):

- 73-77.
- Li QZ, Liu CG, Yu HN, *et al.* Protein, polysaccharide and  $\beta$ -glucan levels in *Herichium erinaceus* fruit bodies harvested at different development stages and the effect of extracted polysaccharide on NO production by RAW264.7 Cells [J]. *Acta Edulis Fungi*, 2011, 18(4): 73-77.
- [12] 徐艳, 丁静, 孙桂红, 等. 猴头菌丝多肽的制备及抗氧化活性研究[J]. *中国酿造*, 2014, 33(6): 91-95.
- Xu Y, Ding J, Sun GH, *et al.* Preparation and antioxidant activity of polypeptide from *Herichium erinaceus* mycelium [J]. *Chin Brew*, 2014, 33(6): 91-95.
- [13] 颜星星, 张浩, 张方坤, 等. 高效液相色谱法测定不同产地猴头菇 5 种核苷类成分含量[J]. *中国中医药科技*, 2018, 25(4): 520-522.
- Yan XX, Zhang H, Zhang FK, *et al.* Comparison of five kinds of nucleosides contents in Houtougu (*Herichium erinaceus*) from different locations by HPLC [J]. *Chin J Trad Medl Sci Technol*, 2018, 25(4): 520-522.
- [14] 胡潇文. 猴头菇成分及其生理活性的研究[D]. 延吉: 延边大学, 2018.
- Hu XW. Study on the composition and physiological activity of *Herichium erinaceus* [D]. Yanji: Yanbian University, 2018.
- [15] 伍燕, 申利群, 朱华. 假芝菌丝体多糖 ARP 的纯化、结构及抗氧化活性[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(9): 214-219.
- Wu Y, Shen LQ, Zhu H. Purification, structural characteristics, and in vitro antioxidant activities of polysaccharides ARP from a wild *Amauroderma rugosum* mycelium [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(9): 214-219.
- [16] 彭浩, 吴畏, 师艳秋, 等. 香菇多糖提取工艺优化及其体外抗氧化活性[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(21): 196-200.
- Peng H, Wu W, Shi YQ, *et al.* Optimization of extraction process of lentinan and its antioxidant activity *in vitro* [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2018, 46(21): 196-200.
- [17] 黄瑶, 蒋琳, 刘影, 等. 羊肚菌多糖提取、分离纯化及免疫调节活性[J]. *生物加工过程*, 2018, 16(6): 35-41.
- Huang Y, Jiang L, Liu Y, *et al.* Extraction, isolation, purification and immunoregulatory activity of polysaccharides from *Morehella esculenta* [J]. *Chin J Biopro Eng*, 2018, 16(6): 35-41.
- [18] 尉冰. 灵芝多糖对小鼠实验性溃疡性结肠炎的免疫调节作用的研究[D]. 沈阳: 中国医科大学, 2018.
- Wei B. The study of immunomodulatory effects of *Ganoderma lucidum* polysaccharides in experimental ulcerative colitis in mice [J]. *Shenyang: China Medical University*, 2018.
- [19] 芮雯, 游思远, 吴小清, 等. 香菇多糖对人结直肠癌上皮细胞 SW837 免疫原性死亡相关分子表达的影响[J]. *中国免疫学杂志*, 2019, 35(8): 948-952.
- Rui W, You SY, Wu XQ, *et al.* Effect of lentinan polysaccharide on expression of immunogenic cell death related molecules in human colorectal cancer epithelial SW837 cell line [J]. *Chin J Immun*, 2019, 35(8): 948-952.
- [20] 张国锁, 张淑红, 张运峰, 等. 杏鲍菇多糖对糖尿病小鼠的降血糖作用[J]. *中国食用菌*, 2019, 38(1): 38-40.
- Zhang GS, Zhang SH, Zhang YF, *et al.* Hypoglycemic effect of pleurotus eryngii polysaccharides on diabetic mice [J]. *Edible Fungi China*, 2019, 38(1): 38-40.
- [21] 陈超. 榛蘑多糖的提取、纯化及体外降血脂研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- Cheng C. Study on the extraction, purification and in vitro lowering of blood lipid of *Pleurotus ostreatus* polysaccharide [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017.
- [22] 石祥生. 猴头菇多糖的肿瘤免疫治疗功效研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2018.
- Shi XS. Study on the efficacy of *Herichium erinaceus* polysaccharide in tumor immunotherapy [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2018.
- [23] 郭焱, 崔健井, 朱娜. 猴头菇多糖对 TGF- $\beta$ 1 抑制的 T 淋巴细胞增殖的影响 [J]. *中国实验诊断学*, 2012, 16(1): 48-49.
- Guo Y, Cui JJ, Zhu N. Effect of *Herichium erinaceus* polysaccharide on TGF- $\beta$ 1 inhibited proliferation of tlymphocytes [J]. *Chin J Lab Diagn*, 2012, 16(1): 48-49.
- [24] 伍芳芳. 猴头菇多糖的结构表征、免疫调节活性及其机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- Wu FF. Structural characterization, immunomodulatory activities and underlying mechanism of *Herichium erinaceus* polysaccharide [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.
- [25] 张硕, 李明, 李守勉, 等. 猴头菌菌丝体与子实体多糖产量相关性分析[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(15): 6946-6947.
- Zhang S, Li M, Li SM, *et al.* Correlation analysis on polysaccharide yield in mycelium and fruiting body of *Herichium erinaceus* [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2009, 37(15): 6946-6947.
- [26] 王新宇, 刘振华, 李影丹, 等. 猴头菌浸膏多糖及蛋白质含量测定方法的比较[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2018, (21): 219-223.
- Wang XY, Liu ZH, Li YD, *et al.* Comparison of the methods for determination of polysaccharide and protein in *Herichium erinaceus* extractum [J]. *Heilongjiang Animal Sci Vet Med*, 2018, (21): 219-223.
- [27] 吴志明, 李公斌, 辛秀兰, 等. 猴头菇多糖的提取工艺[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(7): 36-38.
- Wu ZM, Li GB, Xin XL, *et al.* Extration technology of polysaccharide form *Herichium erinaceus* [J]. *Food Res Dev*, 2011, 32(7): 36-38.
- [28] 贺亮, 程俊文, 吴学谦, 等. 猴头菇菌丝体多糖提取工艺的优化[C]. 第九届全国食用菌学术研讨会摘要集, 2010.
- He L, Cheng JW, Wu XQ, *et al.* Optimization of EXTRACTION PROCESS OF Polysaccharide from *Herichium erinaceus* mycelium [C]. Summary of the 9th National Symposium on Edible Fungi, 2010.
- [29] 黄剑峰. 猴头菇菌丝体多糖的提取及分离纯化工艺研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- Huang JF. Technical study on extraction, isolation and purification of polysaccharide from *Herichium erinaceus* mycelium [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017.

(责任编辑: 于梦娇)

## 作者简介



王 锋, 硕士, 主要研究方向为天然产物。

E-mail: 1120383076@qq



姜 宁, 博士, 副教授, 主要研究方向为天然产物。

E-mail: jiangn888@163.com