

# 绿菇多糖的提取工艺优化

周理红\*, 王国梁

(江汉大学生命科学学院, 湖北武汉 430056)

**摘要:** 该文研究了绿菇多糖的超声波辅助提取方法。运用超声波辅助浸提、乙醇沉淀、Sevage 法脱蛋白等步骤提取绿菇多糖, 采用苯酚-硫酸法测定多糖含量。通过单因素实验考察超声功率、温度、超声时间和水料比等 4 个因素对多糖得率的影响, 在此基础上采用 Box-Behnken 响应面法设计四因素三水平试验, 建立回归方程, 研究各因素对绿菇多糖得率影响的程度, 进一步优化提取工艺, 得到了绿菇多糖超声波辅助法的最佳提取条件为超声功率 500 W、温度 76 °C、超声时间 40 min 和水料比 31 mL/g, 多糖的得率为 6.50%。因此, 超声波辅助法有助于提高绿菇多糖的得率, 响应面法建立的回归模型及相关参数的实际值与预测值之间的相关度较好, 可以用于对超声波提取绿菇多糖进行分析和预测。

**关键词:** 绿菇多糖; 响应面法; 提取工艺

文章编号: 1673-9078(2021)09-226-233

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.9.0436

## Optimization of Extraction Process of *Russula virescens* Polysaccharide

ZHOU Li-hong\*, WANG Guo-liang

(School of Life Sciences, Jiangnan University, Wuhan 430056, China)

**Abstract:** The ultrasonic-assisted extraction method of *Russula virescens* polysaccharide was studied. Several steps were used to extract *Russula virescens* polysaccharides including ultrasonic-assisted extraction, ethanol precipitation, Sevage deproteinization, then polysaccharide content was determined by phenol-sulfuric acid method. In this paper, single factor experiments were used to investigate the influence of four factors, including ultrasonic power, temperature, ultrasonic time and water-to-material ratio, on the yield of polysaccharides. On this basis, Box-Behnken response surface method was used to design a four-factor three-level experiment, and a regression equation was established to study the degree of influence of each factor on the yield of *Russula virescens* polysaccharides. The extraction process was further optimized and the optimal extraction conditions for *Russula virescens* polysaccharides were obtained. The optimal extraction conditions were ultrasonic power 500 W, temperature 76 °C, ultrasonic time 40 min, and water-to-material ratio 31 mL/g. The yield rate of polysaccharide was 6.50%. Therefore, the ultrasonic-assisted method is helpful to improve the extraction rate of *Russula virescens* polysaccharide. The regression model established by response surface method and the correlation between the actual value and the predicted value of related parameters are better, which can be used to analyze and predict the ultrasonic extraction of *Russula virescens* polysaccharides.

**Key words:** *Russula virescens* polysaccharide; response surface methodology; extraction process

引文格式:

周理红, 王国梁. 绿菇多糖的提取工艺优化[J]. 现代食品科技, 2021, 37(9): 226-233, +75

ZHOU Li-hong, WANG Guo-liang. Optimization of extraction process of *Russula virescens* polysaccharide by response surface methodology [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(9): 226-233, +75

绿菇 (*Russula virescens*) 又名绿菇、青盖子、青头菌等, 隶属于伞菌目红菇科红菇属。绿菇的子实体中等至稍大。菌盖初球形, 很快变扁半球形并渐伸展, 中部常稍下凹, 表皮往往斑状龟裂, 老时边缘有条纹, 呈浅绿色至灰绿色。菌肉和菌褶呈白色。菌柄长中实

收稿日期: 2021-04-21

基金项目: 湖北省自然科学基金面上项目 (2016CFB651); 武汉市高校自然科学研究计划项目 (06130002)

作者简介: 周理红 (1976-) 女, 博士, 讲师, 研究方向: 代谢组学, Email:

zlhnew@126.com

或内部松软。绿菇主产于云南滇西“三江并流”区原始森林地带, 生长环境极其纯净, 主要生长在树林中的草丛里, 每年六至九月出菇<sup>[1]</sup>。

绿菇具有极高的药用价值和营养价值。《新华本草纲要》记载, 绿菇入药“主治眼目不明, 能泻肝经之火, 散热舒气, 服之最良, 但不可多食, 食时益以姜为配料”。现代研究表明, 绿菇富含植物多糖、蛋白质、不饱和脂肪酸、维生素 B<sub>2</sub>、磷、钙和铁等多种营养物质, 同时还具有抗肿瘤、抗氧化和调节免疫等功能<sup>[2-5]</sup>。

多糖是由许多相同或不同的单糖以  $\alpha$  或  $\beta$  糖苷键

所组成的大分子化合物,广泛存在于动物细胞膜和植物细胞壁中,具有多种生物活性。如菌类多糖具有促进胰岛素分泌而降血糖的作用;部分中草药多糖具有调节巨噬细胞体积从而增强机体免疫力的功能;有些多糖可以诱导肿瘤细胞分化凋亡从而起到抗肿瘤作用<sup>[6,7]</sup>。

由于植物细胞壁比较牢固,需进行破壁处理,且植物种子常含有较多的脂质或蛋白,需去除杂质。目前常用的提取方法主要有,热水浸提法、酶解提取法、碱浸提法、微波辅助法、超声波辅助法和双水相提取法等。其中超声波法相较于其他提取方法具有速度快、对植物材料的细胞分子结构破坏较少等优点,更适用于多糖的提取。

在绿菇多糖提取工艺的相关研究中,多采用单因素试验和正交试验。因影响多糖提取率的因素较多且复杂,各个因素之间往往存在不同程度的交互作用,因此,单因素和正交均具有一定的局限性,无法直观反映出各因素之间影响程度。

响应面分析法是将体系的响应作为一个或多个因素的函数,运用图形技术将这种函数关系显示出来,从而选择试验设计中的最佳优化条件<sup>[8]</sup>。响应面分析法具有试验次数少,因素水平分析全面的优势,已经广泛应用于各类条件优化试验。本文研究了绿菇多糖超声波辅助提取方法的最佳工艺,在单因素的基础上进行 Box-Behnken 响应面法设计试验,优化得到绿菇多糖的最佳提取条件,为绿菇多糖的相关研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与仪器

#### 1.1.1 原料

绿菇在当地农贸市场采购。选择成熟适当,菇形饱满圆整,新鲜无异味,无虫蛀,无病变和无杂质的菇体。用流动的自来水冲洗干净,在 70~80 °C 的烘箱中干燥 3 d,用磨机研磨并过 60 目筛,装入密封袋中,储存在干燥和避光处,备用。

#### 1.1.2 主要仪器设备

FW-80 型研磨机,北京兴时利和科技发展有限公司;DHG-9053A 型台式鼓风干燥箱,无锡玛瑞特科技有限公司;PSB200 型实验室离心机,苏州优格曼机械有限公司;HH-4 型数显恒温水浴锅,常州国华电器有限公司;SP-752 型紫外可见分光光度计,上海光谱仪器有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 多糖的提取及测定

取适量干燥的绿菇粉末,用蒸馏水浸泡 1 h,采用实验设定的不同超声功率、温度,时间,和水料比进行多糖提取。提取液过滤除去碎屑,离心处理 15 min,转速为 4500 r/min,将得到的上清液进行真空浓缩至原体积的 1/5 左右,然后在浓缩液中加入 3 倍浓缩液体积的 95%乙醇,4 °C 冷藏放置 10 h,再次离心处理 15 min,转速为 4500 r/min,得到的沉淀即为粗多糖。然后,使用 Sevage 法<sup>[9]</sup>去除粗多糖中的蛋白质,得到绿菇多糖。

采用苯酚-硫酸法<sup>[10]</sup>进行多糖得率的测定,以葡萄糖为标准品绘制标准曲线,测定绿菇多糖含量,并按照以下公式计算:

$$\text{多糖得率}/\% = \frac{\text{测得多糖质量} \times \text{稀释倍数}}{\text{样品质量}} \times 100\%$$

#### 1.2.2 单因素实验设计

##### 1.2.2.1 超声功率对绿菇多糖得率的影响

称取适量绿菇多糖干粉,按水料比 30 mL/g 加入蒸馏水,搅拌均匀,在温度 75 °C 条件下超声处理 40 min,超声功率分别为 400 W、450 W、500 W、550 W 和 600 W,实验结束后测定绿菇多糖得率。

##### 1.2.2.2 温度对绿菇多糖得率的影响

称取适量绿菇多糖干粉,按水料比 30 mL/g 加入蒸馏水,搅拌均匀,在超声功率 400 W 条件下超声处理 40 min,温度分别为 65 °C、70 °C、75 °C、80 °C 和 85 °C,实验结束后测定绿菇多糖得率。

##### 1.2.2.3 超声时间对绿菇多糖得率的影响

称取适量绿菇多糖干粉,按水料比 30 mL/g 加入蒸馏水,搅拌均匀,在温度 75 °C、超声功率 400 W 条件下分别超声处理 20 min、30 min、40 min、50 min 和 60 min,实验结束后测定绿菇多糖得率。

##### 1.2.2.4 水料比对绿菇多糖得率的影响

称取适量绿菇多糖干粉,分别按水料比 10 mL/g、20 mL/g、30 mL/g、40 mL/g 和 50 mL/g 加入蒸馏水,搅拌均匀,在温度 75 °C、超声功率 400 W 条件下分别处理 40 min,实验结束后测定绿菇多糖得率。

#### 1.2.3 响应面法实验设计

根据单因素试验结果,以超声功率(W)、温度(°C)、超声时间(min)和水料比(mL/g)4个因素为研究对象,以多糖得率为响应值,设计 Box-Behnken 响应面试验,设计方案见表 1。

表1 响应面设计方案

水平	因素			
	A 超声功率/W	B 温度 /℃	C 超声时间/min	D 水料比 /(mL/g)
-1	450	70	30	20
0	500	75	40	30
1	550	80	50	40

### 1.2.4 回归模型验证

根据响应面试验结果对最优方案进行验证，并重复3次，计算试验值与理论值得差异性。

### 1.2.5 数据处理及分析

采用软件 Design Expert 7.0 进行数据数据处理及分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 单因素实验

#### 2.1.1 超声功率对绿菇多糖得率的影响

超声波功率有助于植物细胞壁破碎，有助于多糖溶出，提高多糖的提取率。但是，当超声功率过大时，会引起部分多糖的降解，从而降低多糖的提取率<sup>[11]</sup>。由图1可知，绿菇多糖得率随超声功率变化而变化，当超声功率为500 W时，多糖得率最高为5.04%。当超声功率小于500 W时，超声功率对绿菇多糖得率的影响呈正向显著性 ( $p < 0.05$ )；当超声功率大于500 W时，超声功率对绿菇多糖得率的影响不显著。因此选择超声功率500 W作为响应面实验设计的中心点。

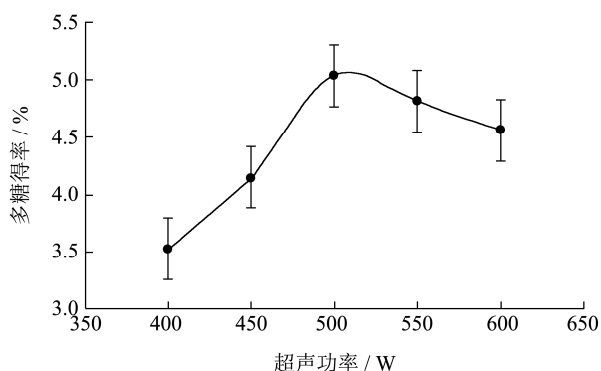


图1 超声功率对绿菇多糖得率的影响

Fig.1 Effects of ultrasonic extraction power on the yield rate of *Russula virescens* polysaccharides

#### 2.1.2 温度对绿菇多糖得率的影响

提取温度对多糖提取率具有较大影响。随着温度的升高，多糖溶解性和扩散性增强，有利于多糖的溶出，但温度过高会使多糖降低部分活性，从而降低多

糖提取率<sup>[11]</sup>。由图2可知，绿菇多糖得率随温度变化而变化。在温度为75℃时，多糖得率最高为5.62%。当温度小于75℃时，绿菇多糖得率随温度升高而增加，具有显著差异 ( $p < 0.05$ )；当温度大于75℃时，绿菇多糖得率随温度升高而降低，具有显著差异 ( $p < 0.05$ )。考虑到温度过高可能引起多糖水解，得率反而下降，因此选取75℃作为响应面实验设计的中心点。

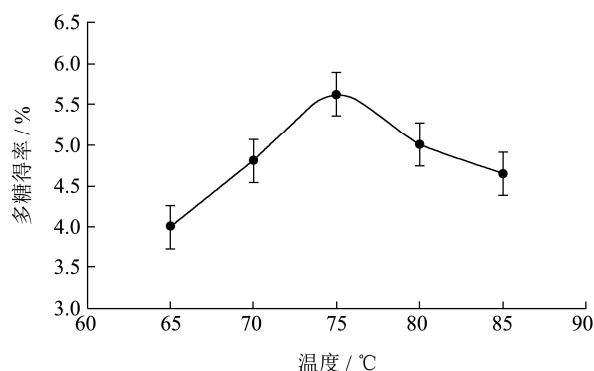


图2 温度对绿菇多糖得率的影响

Fig.2 Effects of temperature on the yield of *Russula virescens* polysaccharides

#### 2.1.3 超声时间对绿菇多糖得率的影响

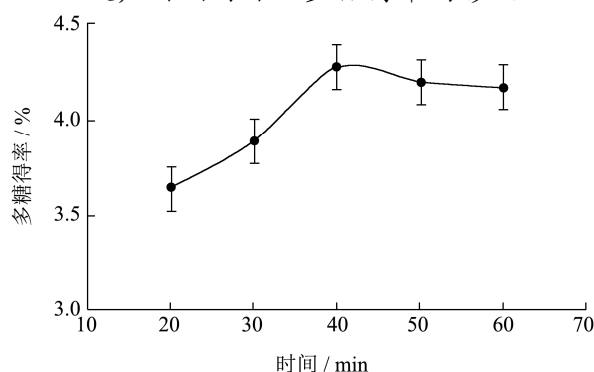


图3 超声时间对绿菇多糖得率的影响

Fig.3 Effects of ultrasonic time on the extraction rate of *Russula virescens* polysaccharides

在相同的超声功率下，超声时间延长有助于植物细胞破碎，亦有助于植物多糖溶出。同时，超声波的剪切作用使多糖链断裂，降低多糖含量，所以超声时间不宜太长<sup>[12,13]</sup>。由图3可知，绿菇多糖得率随超声时间的变化而变化。当超声时间为40 min时，多糖得率最高为4.27%。当超声时间小于40 min时，超声时间对绿菇多糖得率的影响呈正向显著性 ( $p < 0.05$ )；当超声时间大于40 min时，超声时间对绿菇多糖得率的影响不显著性。因此选取40 min作为响应面实验设计的中心点。

#### 2.1.4 水料比对绿菇多糖得率的影响

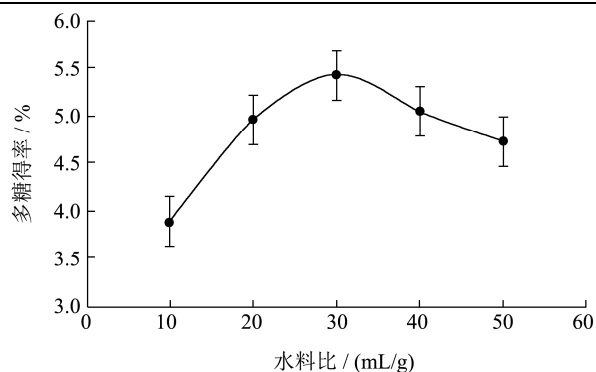


图4 水料比对绿菇多糖得率的影响

Fig.4 Effect of water to feed ratio on the extraction rate of *Russula virescens* polysaccharides

水料比是提取过程中的一个重要影响因素。当溶

质与溶剂的浓度差越大, 则传输动力越大, 扩散到溶剂中的溶质越多, 但水料比过大后对多糖得率无显著影响<sup>[14,15]</sup>。由图4可知, 绿菇多糖得率随水料比的变化而变化。当水料比为30 mL/g时, 多糖得率最高, 为5.42%。当水料比小于30 mL/g时, 绿菇多糖得率随着水料比的增加而增高, 具有显著差异 ( $p < 0.05$ ); 当水料比大于30 mL/g时, 绿菇多糖得率随着水料比的增加而降低, 无显著性差异 ( $p > 0.05$ )。若加水过多则使浓缩步骤耗时, 因此选取30 mL/g作为响应面实验设计的中心点。

## 2.2 响应面实验

### 2.2.1 实验结果

表2 响应面试验设计及结果

Table 2 Design and results in response surface

序号	功率/W	温度/°C	时间/min	料液比/(mL·g <sup>-1</sup> )	多糖得率/%
1	1	1	0	0	4.82±0.12
2	0	-1	0	-1	4.90±0.20
3	-1	0	0	1	5.38±0.17
4	0	0	0	0	6.11±0.13
5	-1	0	1	0	5.34±0.21
6	0	0	1	1	5.68±0.15
7	-1	0	-1	0	5.22±0.24
8	0	-1	-1	0	5.27±0.27
9	-1	-1	0	0	4.27±0.19
10	-1	0	0	-1	5.16±0.20
11	-1	1	0	0	6.28±0.18
12	0	0	0	0	6.55±0.23
13	0	-1	1	0	5.51±0.14
14	0	1	0	-1	5.87±0.11
15	1	-1	0	0	5.78±0.26
16	0	1	-1	0	5.82±0.16
17	0	0	-1	1	6.10±0.22
18	0	0	0	0	6.74±0.13
19	1	0	0	1	5.51±0.10
20	0	0	0	0	6.17±0.29
21	1	0	1	0	5.47±0.18
22	0	0	1	-1	5.68±0.27
23	0	0	-1	-1	5.13±0.20
24	0	-1	0	1	5.51±0.23
25	1	0	0	-1	5.18±0.14
26	0	1	1	0	5.73±0.16
27	1	0	-1	0	5.51±0.12
28	0	1	0	1	5.68±0.18
29	0	0	0	0	4.82±0.20

表 3 响应面回归模型方差分析表

Table 3 Response surface regression model analysis of variance table

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
模型	8.18	14	0.5842	20.68	<0.0001	***
A-功率	0.032	1	0.0320	1.13	0.3050	
B-温度	0.7301	1	0.7301	25.84	0.0002	**
C-时间	0.0108	1	0.0108	0.3823	0.5463	
D-料液比	0.3136	1	0.3136	11.10	0.0049	***
AB	2.21	1	2.21	78.06	<0.0001	***
AC	0.0064	1	0.0064	0.2265	0.6414	
AD	0.0030	1	0.0030	0.1071	0.7483	
BC	0.0272	1	0.0272	0.9637	0.3429	
BD	0.1600	1	0.1600	5.66	0.0321	*
CD	0.2352	1	0.2352	8.33	0.0120	*
A2	2.98	1	2.98	105.54	<0.0001	***
B2	1.54	1	1.54	54.68	<0.0001	***
C2	0.8430	1	0.8430	29.84	<0.0001	***
D2	1.29	1	1.29	45.57	<0.0001	***
残差	0.3955	14	0.0283			
失拟项	0.0828	10	0.0083	0.1059	0.9980	
纯误差	0.3127	4	0.0782			
总和	8.57	28				

根据 Box-Behnken 中心组合试验设计原理,以超声功率 (W)、温度 (°C)、超声时间 (min) 和水料比 (mL/g) 4 个因素为研究对象,以多糖得率为响应值设计 Box-Behnken 四因素三水平试验,进行共 29 个实验的响应面分析,结果见表 2。绿菇多糖的得率从 4.27%~6.74%。其中多糖得率最高点 6.74% 的实验条件为超声功率 500 W、温度 75 °C、超声时间 40 min 和水料比 30 mL/g。

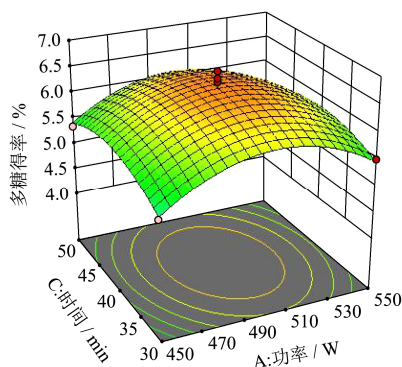
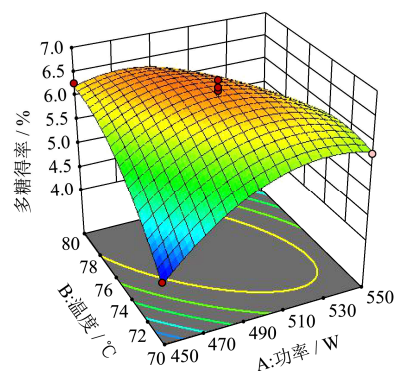
回归模型方差分析结果见表 3,模型 P<0.0001,表明该模型具有高度显著性。失拟项 P=0.9980,表明模型失拟不显著,能够拟合真实的实验结果。模型的调整确定系数 R<sup>2</sup>=0.9539,表明该模型的实验值与预测值具有较高的相关度,拟合程度较好<sup>[16]</sup>。因此,可以用此模型对超声波辅助提取绿菇多糖的工艺条件进行分析和预测。

回归模型系数的显著性 P 值可用于检查每个自变量之间的相互作用强度<sup>[17]</sup>。由表 3 可知,模型一次项 B-温度和 D-料液比极显著;交互项 AB 极显著, BD 和 CD 显著;二次项均极显著,表明这些因素均会显著影响绿菇多糖的得率。因素的 F 值越大,对响应值的影响越大,由表 3 可知,4 个因素对多糖得率的影响大小依次为温度>料液比>功率>时间。

对实验结果进行回归分析后得到回归方程:

$$y=6.44+0.051A+0.24B+0.030C+0.16D-0.74AB-0.040AC+0.027AD-0.082BC-0.20BD-0.24CD-0.67A^2-0.48B^2-0.36C^2-0.44D^2$$

式中: y 为多糖得率%, A 为超声功率 (W)、B 为温度 (°C)、C 为超声时间 (min)、D 为水料比 (mL/g)。



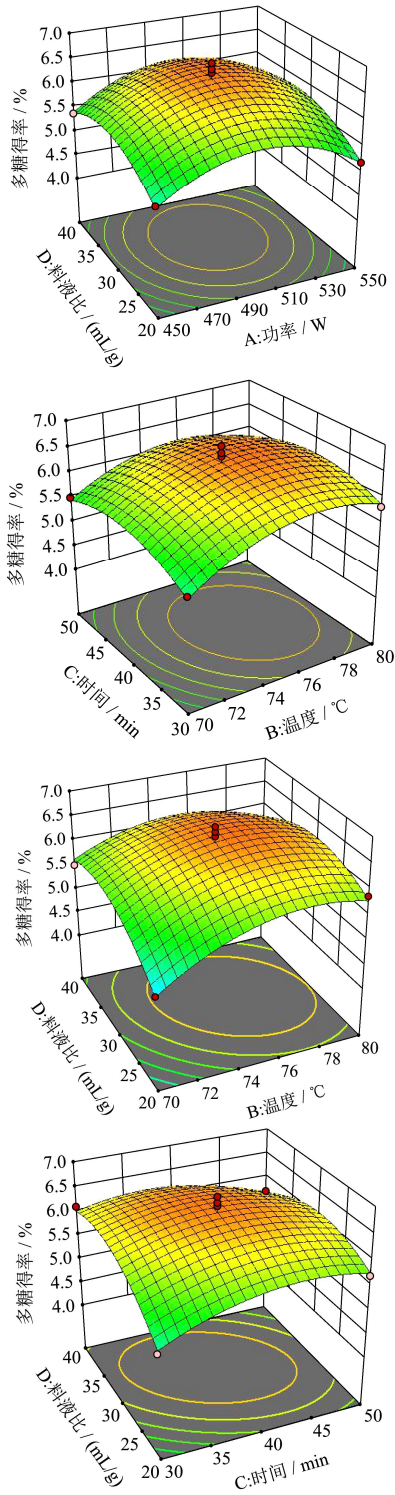


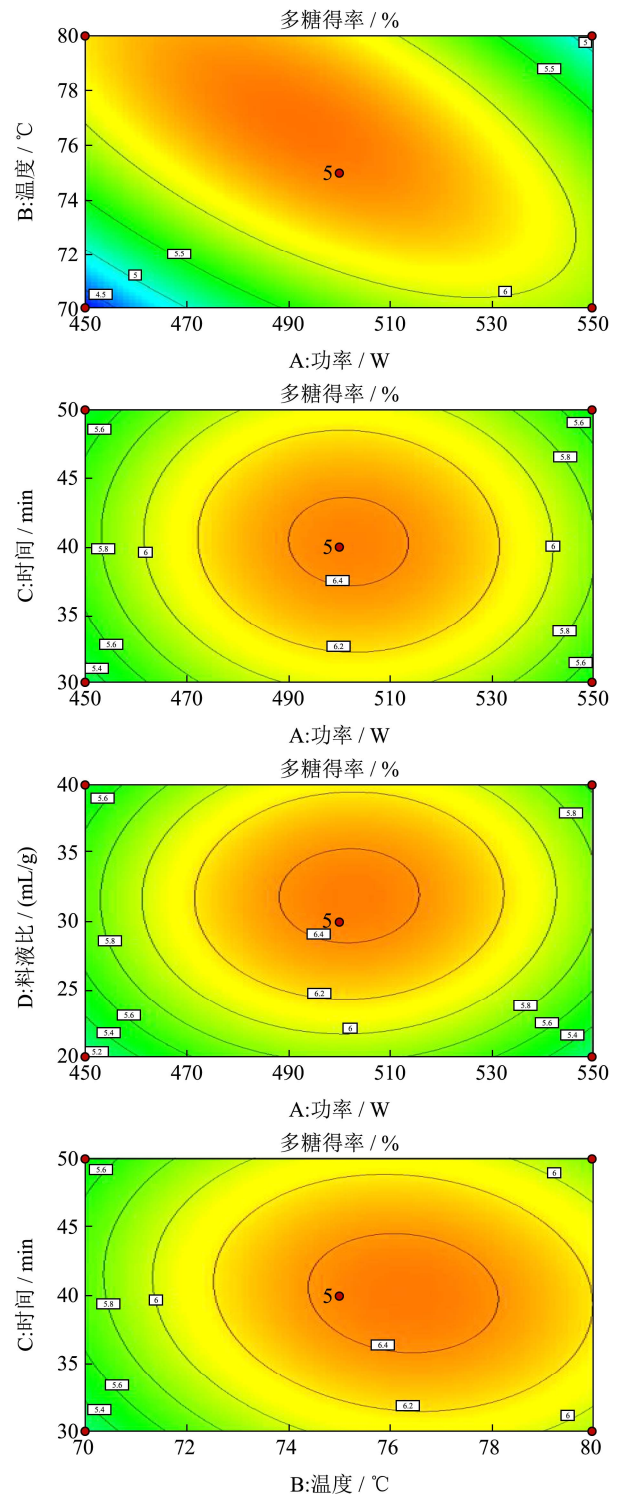
图5 不同因素对绿菇多糖得率影响的响应曲面图

Fig.5 Response surface plot of the influence of different factors on the extraction rate of *Russula virescens* polysaccharides

2.2.2 响应面分析

响应曲面及其等高线共同反映了各因素对响应值的影响，且可以预测响应的最优值和最优条件。响应曲面直观地反映出两因素对响应值的影响。由图5可

知，各两因素的变化在不同程度上影响着绿菇多糖的得率。等高线是响应曲面在底面的投影，考察两因素对响应值的影响。等高线为椭圆形时，表示两因素交互作用显著，等高线为圆形时则两因素交互作用较弱<sup>[18]</sup>。由图6可知，功率和温度、料液比和温度、料液比和时间的等高线呈椭圆形，说明各两因素之间交互作用明显。



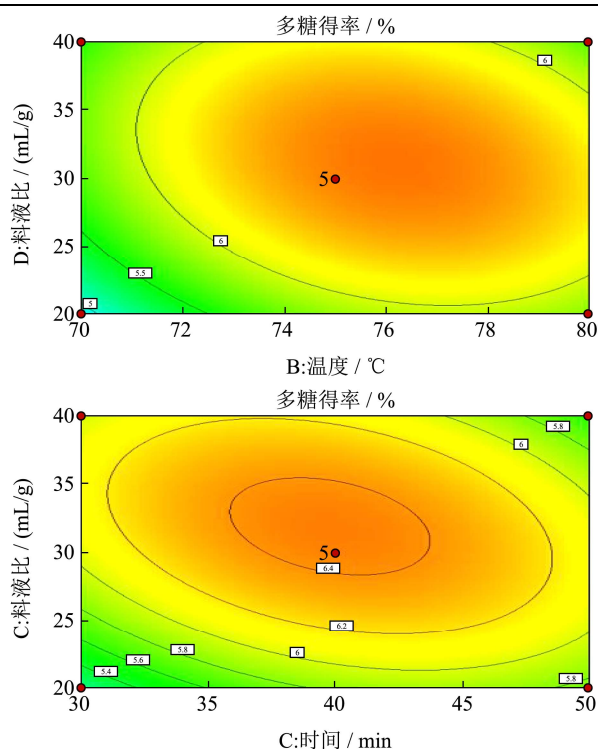


图6 不同因素对绿菇多糖得率影响的等高线图

Fig.6 Contour showing the influence of different factors on the extraction rate of *Russula virescens* polysaccharides

### 2.2.3 响应面优化验证

使用 Design-Expert 软件对模型进行优化, 获得的最优条件为超声功率 492.59 W、温度 76.73 °C、超声时间 39.75 min 和水料比 31.06 mL/g, 模型预测多糖得率为 6.48%。根据修正后的模型优化的最佳提取条件进行绿菇多糖的验证实验, 提取条件为超声功率 500 W、温度 76 °C、超声时间 40 min 和水料比 31 mL/g, 重复测定 3 次, 实际测得多糖的得率为 6.50%, 与预测值误差较小。因此, 此响应模型及相关参数准确可靠, 能够预测实验的最佳条件, 可用于绿菇多糖的提取条件研究中。

王静等<sup>[19]</sup>通过单因素和响应面优化法优化微波辅助提取绿菇多糖的工艺参数, 得到最优工艺为提取温度 93 °C、提取时间 27 min、液料比 20 mL/g, 多糖得率为 5.69%, 与预测值相对误差为 0.35%。魏晓梅<sup>[20]</sup>等通过正交试验研究了云南地区青头菌、鸡油菌和鸡枞菌粗多糖水提法的最佳工艺参数, 结果显示, 青头菌的最佳工艺参数为提取温度 75 °C、提取时间 3 h、液料比 40 mL/g, 多糖得率为 6.18%, 高于鸡油菌的得率 6.08% 和鸡枞菌的得率 4.08%。

罗志峰等<sup>[21]</sup>利用超高压辅助复合酶法对枸杞多糖的提取工艺进行优化, 得到的最优工艺为提取压力 200 MPa、提取温度 25 °C、保压时间 5.6 min 和复合酶质量分数 1.3%, 在此条件下枸杞多糖得率为 6.58%。

吴也等<sup>[22]</sup>探讨了响应面法优化微波辅助提取血红柳钉菇多糖的条件, 得到最优工艺为微波强度 621.49 W, 微波温度 88.94 °C, 微波处理时间 15.33 min, 料液比 1:53.22 (g/mL), 多糖得率为 15.01%。吴疆等<sup>[23]</sup>应用新技术双水相提取法提取了双孢蘑菇多糖, 得到最优提取条件为 PEG6000 浓度为 16.5%, 硫酸铵浓度为 21.4%, 多糖的分配系数 K 为 2~2.35, 收率 Y 为 51%~59.7%。

超声波辅助提取法是植物多糖工业比较理想的一种提取新工艺, 与传统的提取方法比具有提取得率高、耗时短和耗能低等优点。本文通过对绿菇多糖提取工艺相关参数进行单因素和响应曲面分析及优化实验, 证明超声波辅助法有助于提高绿菇多糖的得率, 响应面法建立的回归模型及相关参数的实际值与预测值之间的相关度较好, 可以用于对超声波提取绿菇多糖进行分析和预测。

### 3 结论

采用单因素实验和响应面实验, 考察了超声波辅助法中 4 个影响因素, 如超声功率、温度、超声时间和水料比对绿菇多糖得率的影响, 得到了绿菇多糖超声波辅助法的最佳提取条件为超声功率 500 W、温度 76 °C、超声时间 40 min 和水料比 31 mL/g, 多糖的得率为 6.50%。结果表明, 超声波辅助法有助于提高绿菇多糖的得率, 响应面法建立的回归模型及相关参数的实际值与预测值之间的相关度较好, 可以用于对超声波提取绿菇多糖进行分析和预测, 进而为相关研究提供参考。

### 参考文献

- [1] 汤晓召. 云南省鸡枞菌的遗传多样性和群体遗传学研究 [D]. 昆明: 云南大学, 2015  
TANG Xiao-zhao. Genetic diversity and population genetics of *Termitomyces* fungi from Yunnan [D]. Kunming: University of Yunnan, 2015
- [2] 邓春英, 史路瑶, 王晶, 等. 中国南方绿菇近似种类“青头菌”的物种多样性 [J]. 菌物学报, 2020, 39(9): 1661-1683  
DENG Chun-ying, SHI Lu-yao, WANG Jing, et al. Species diversity of the *Russula virescens* complex “qingtoujun” in southern China [J]. Acta Mycology, 2020, 39(9): 1661-1683
- [3] 孙忠伟, 张丽香, 王愈, 等. 绿菇子实体多糖的理化性质及其抗肿瘤活性 [J]. 农产品加工(学刊), 2009, 7: 77-81  
SUN Zhong-wei, ZHANG Li-xiang, WANG Yu, et al. Physical, chemical, and antitumor characteristics of water-soluble polysaccharides from the fruiting bodies of *Russula*

- virescens* [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2009, 7: 77-81
- [4] Hui Li, Xin Wang, Qian Xiong, et al. Sulfated modification, characterization, and potential bioactivities of polysaccharide from the fruiting bodies of *Russula virescens* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 154(1): 1438-1447
- [5] 王一心,杨桂芝,狄勇.青头菌对大鼠调节血脂及抗氧化作用的研究[J].中国自然医学杂志,2005,1:19-21  
WANG Yi-xin, YANG Gui-zhi, DI Yong. Study of *Russula virescens* on effects of blood lipid regulation and antioxidation in rats [J]. Chin J Nat Med, 2005, 1: 19-21
- [6] Tan Xi, Zhou Xin, Chen Hua-guo. Structure-activity relationship of plant polysaccharides [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2017, 42(21): 4104-4109
- [7] Jun Liu, Stefan Willför, Chunlin Xu. A review of bioactive plant polysaccharides: biological activities, functionalization, and biomedical applications [J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2015, 5(1): 31-61
- [8] 刘研萍,饶玉凤,兰淼,等.“三气”合采产出水的加载絮凝预处理响应面优化[J].环境工程学报,2021,15(1):215-223  
LIU Yan-ping, RAO Yu-feng, LAN Miao, et al. Optimization of loading flocculation pretreatment of produced water from “three gases” coming using response surface methodology [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(1): 215-223
- [9] XIONG Ze, SHAO Wei, HUAGN Yi. Study on optimization of extractive craft for *Agaricus bisporus* polysaccharide by RSM [J]. J of China Three Gorges Univ, 2007, 4: 367-370
- [10] NY/T 1676-2008,食用菌中粗多糖含量的测定[S]
- [11] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances [J]. Analytical Biochemistry, 1956, 28: 350-356
- [12] Cai W, Gu X, Tang J. Extraction, purification, and characterization of the polysaccharides from *Opuntia milpa* Alta [J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 71(3): 403-410
- [13] 王琳,赵荷娟,魏启舜,等.双孢蘑菇子实体多糖的响应面法优化提取及其纯化[J].江苏农业学报,2014,30(5):1139-1146  
WANG Lin, ZHAO He-juan, WEI Qi-shun, et al. Optimized extraction of polysaccharides from white button mushroom (*Agaricus bisporus*) by response surface methodology and its purification [J]. Jiangsu J of Agr Sci, 2014, 30(5): 1139-1146
- [14] 朱磊.绿菇多糖的分离纯化与结构分析[D].长春:东北师范大学,2018  
ZHU Lei. Purification and structural analysis of polysaccharides from *Russula virescens* [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2018
- [15] 张民,秦培军,陈倩娟.大蒜多糖提取分离工艺及分子质量分布[J].食品与发酵工业,2009,35(7):160-163  
ZHANG Min, QIN Pei-jun, CHEN Qian-juan. Studies on extraction of polysaccharides in garlic and its molecular weight [J]. Food and Fermentation Industries, 2009, 35(7): 160-163
- [16] Wang J, Zhang J, Zhao B, et al. A comparison study on microwave-assisted extraction of *Potentilla anserina* L. polysaccharides with conventional method: molecule weight and antioxidant activities evaluation [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 80(1): 84-93
- [17] Muralidhar R V, Chirumamilla R R, Ramachandran V N, et al. Racemic resolution of RS-baclofen using lipase from *Candida cylindracea* [J]. Mededelingen, 2001, 66(6): 227-232
- [18] 焦旋,高振峰,冯志宏,等.二氧化硫精准释放葡萄保鲜片的研制与应用[J].食品工业科技,2021,42(6):297-303,356  
JIAO Xuan, GAO Zhen-feng, FENG Zhi-hong, et al. Development and evaluation of grape preservative tablets with precise sulfur dioxide release [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(6): 297-303, 356
- [19] 王静,王泽锋,吴娜,等.曲面法优化云南野生青头菌多糖的提取工艺[J].食品工业,2015,36(2):181-184  
WANG Jing, WANG Ze-feng, WU Na, et al. Study on extraction process of polysaccharide of *Russula virescens* optimized by response surface methodology [J]. Food Industry, 2015, 36(2): 181-184
- [20] 魏晓梅,王瑞,吴丽芳,等.云南三种野生食用菌多糖提取工艺优化及其对比分析[J].食用菌,2018,40(1):68-70,76  
WEI Xiao-mei, WANG Rui, WU Li-fang, et al. Ptimization and comparative analysis of extraction technology of polysaccharides from three wild edible fungi in Yunnan [J]. Edible Fungus, 2018, 40(1): 68-70, 76
- [21] 罗志锋,陆思名,黎攀,等.遗传算法优化超高压辅助复合酶提取枸杞多糖工艺及其抗炎活性研究[J].粮食与油脂,2021, 34(1):114-122  
LUO Zhi-feng, LU Si-ming, LI Pan, et al. Study on optimization of extraction process of *Lycium barbarum* polysaccharides by ultrahigh-pressure assisted complex enzyme and anti-inflammatory activity [J]. Grains and Fats, 2021, 34(1): 114-122

(下转第 75 页)