

超声波辅助酶法提取毛木耳多糖工艺条件优化

马昱阳^{1,2,3,4}, 贾凤娟^{2,3,4}, 徐志祥¹, 弓志青^{2,3,4}, 王月明^{2,3,4}, 王文亮^{1,2,3,4,*}

(1. 山东农业大学 食品科学与工程学院, 山东 泰安 271018; 2. 山东省农业科学院 农产品研究所, 山东 济南 250100; 3. 山东省农产品精深加工技术重点实验室, 山东 济南 250100; 4. 农业部新食品资源加工重点实验室, 山东 济南 250100)

摘要:以山东省鱼台县毛木耳为原料,采用超声波辅助酶法进行毛木耳多糖的提取工艺优化。首先采用单因素试验的方法研究液料比、超声波时间、超声波功率、复合酶(复合蛋白酶与纤维素酶质量比为1:1)、酶解温度4个单因素对毛木耳多糖提取效果的影响。在单因素试验结果的基础上,进行响应面法试验。依据响应面法试验结果分析确定最优超声波辅助酶提取多糖工艺条件为:液料比40:1(mL/g)、超声波时间31 min、超声波功率160 W、复合酶酶解温度为64℃,在此条件下多糖提取率为14.41%。

关键词:毛木耳;多糖;提取;超声波辅助酶法;响应面法

Optimization of Ultrasonic Assisted Enzymatic Extraction of Polysaccharides from *Auricularia polytricha*

MA Yu-yang^{1,2,3,4}, JIA Feng-juan^{2,3,4}, XU Zhi-xiang¹, GONG Zhi-qing^{2,3,4},
WANG Yue-ming^{2,3,4}, WANG Wen-liang^{1,2,3,4,*}

(1. College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, 271018, Shandong, China; 2. Institute of Agro-Food Science and Technology, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong, China; 3. Key Laboratory of Agro-Products Processing Technology of Shandong Province, Jinan 250100, Shandong, China; 4. Key Laboratory of Novel Food Resources Processing, Ministry of Agriculture, Jinan 250100, Shandong, China)

Abstract: Taking the *Auricularia polytricha* of Yutai county, Shandong province as raw material, and optimization of extraction process of polysaccharides from *Auricularia polytricha* by ultrasonic assisted enzymatic method. Firstly, single factor experiment was used to study the effects of liquid-to-material ratio, ultra-

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2018LC018);山东省重点研发计划项目(2017GNC13106);山东省现代农业产业技术体系食用菌产业创新团队建设项目(SDAIT-07-08)

作者简介:马昱阳(1995—),男(汉),硕士研究生,研究方向:食品加工与安全。

*通信作者:王文亮(1980—),男(汉),研究员,硕士研究生,研究方向:食用菌精深加工等。

- 的研究[J]. 食品科技, 2012(3): 44-47
- [8] 郭奇,魏玉西,殷邦忠,等. 五种瓜类蔬菜提取物的抑菌活性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(13): 52-55
- [9] 韩亚伟,左婷婷,陈利平,等. 韭菜提取液体外抑菌活性的均匀实验优化[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 163-166
- [10] 徐龙权,陆军,葛丽丽,等. 红薯茎叶多糖提取物抑菌研究[J]. 食品科技, 2011(1): 163-166
- [11] Khan J A, Joshi D. Effect of temperature on antimicrobial activity of Annona squamosa extract; phytochemical screening of bioactive compounds[J]. International Journal of Biotechnology and Allied Fields, 2015, 3(6): 113-120
- [12] 李瑜,周玉,江冠民,等. 枸杞多糖与黄芪多糖抑菌活性的研究[J]. 现代生物医学进展, 2012, 12(26): 5061-5063
- [13] 刘宇峰,苏天明,苏利荣,等. 均匀设计试验多元回归分析方法在新型生物农药研制中的应用[J]. 农药, 2018, 57(2): 105-110

收稿日期:2018-10-01

sonic time, ultrasonic power, and complex enzymolysis temperature (the mass ratio of complex protease to cellulase was 1:1) on the extraction of polysaccharides from *Auricularia polytricha*. Based on the results of single-factor experiments, response surface method experiments were performed. According to the regression analysis, the optimum conditions for ultrasonic-assisted enzyme extraction of polysaccharides were determined as follows: liquid-to-material ratio 40:1 (mL/g), ultrasonic time 31 minute, ultrasonic power 160 W, and complex enzyme enzymolysis temperature 64 °C. Under these conditions, the extraction rate of polysaccharide was 14.41 %.

Key words: *Auricularia polytricha*; polysaccharide; extract; ultrasound assisted enzymatic method; response surface method

引文格式:

马昱阳, 贾凤娟, 徐志祥, 等. 超声波辅助酶法提取毛木耳多糖工艺条件优化[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(10): 74-79
MA Yuyang, JIA Fengjuan, XU Zhixiang, et al. Optimization of Ultrasonic Assisted Enzymatic Extraction of Polysaccharides from *Auricularia polytricha*[J]. Food Research and Development, 2019, 40(10): 74-79

毛木耳(*Auricularia polytricha*)别名白背木耳、黄背木耳、粗木耳、大木耳等,与黑木耳同属木耳科^[1]。在我国毛木耳是一种常提及到的医食两用的大型食用真菌,与黑木耳相比较,毛木耳子实体肥大且厚实,价格比黑木耳便宜很多。毛木耳富含胶体,口感爽滑且清脆,营养物质丰富,环境适应性较好、产量较高。另外毛木耳在药用功能方面越来越得到广大菌菇科技工作者的关注和消费者的喜爱^[2]。

毛木耳多糖属于酸性多糖,具有提高机体免疫力^[3]、抗癌抑癌^[4]、抗氧化衰老^[5]、降低血糖^[6]、调节心脏功能等功效^[7],毛木耳多糖的提取是多糖广泛应用的第一步,因此毛木耳多糖提取优化方法的研究对毛木耳多糖生物活性研究和产品开发具有重要意义。

目前,毛木耳多糖提取的传统方法主要有热水浸提法、酸碱浸提法、乙醇浸提法^[8]。传统的提取方法提取时间相对较长、成本高、提取率较低。超声波辅助法提取多糖是近年来新兴的提取方法,具有时间短、提取效率高、操作方便无污染等优点^[9],本试验采用超声波辅助酶法提取毛木耳多糖,通过进行液料比、超声波时间、超声波功率、复合酶(复合蛋白酶与纤维素酶质量比为1:1)酶解温度4个单因素试验确定影响多糖提取率的主要因素,采用响应面 Box-Behnken 试验设计优化提取工艺条件,进行分析,建立回归数学模型^[10],得到超声波辅助酶法提取毛木耳多糖工艺的最优参数。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

毛木耳:山东省鱼台县;纤维素酶(15 000 U/g)、

复合酶(150 U/mg):源叶生物公司;苯酚、无水葡萄糖(分析纯):天津市化学试剂三厂;浓硫酸(分析纯):开封东大化工试剂有限公司;其他试剂均为市售分析纯。

1.2 仪器与设备

SB25-12DTD 超声波清洗器:宁波新芝生物科技股份有限公司;UV-6100 紫外-可见光分光光度计:上海元析仪器公司;CP2102 电子天平:上海奥豪斯仪器有限公司;LXJ-IIB 高速离心机:德国 eppendorf 公司;HH-6 数显恒温水浴锅:江苏金怡仪器科技有限公司;VORTEX-6 电动振荡器:上海其林贝尔有限公司;FN-202 型小型粉碎机:北京兴时种和科技发展发展有限公司;LGJ-25 冷冻干燥机:解放军军事医学科学院。

1.3 方法

1.3.1 毛木耳的预处理

将毛木耳浸泡于水中 12 h 后取出切成丝晾干,在 60 °C 的恒温条件下干燥 24 h,冷却后用粉碎机将烘干的毛木耳丝进行粉碎处理,过 100 目筛将粉碎后的毛木耳放入密封袋于玻璃干燥皿中保存。

1.3.2 葡萄糖标准曲线的制作

称适量标准葡萄糖粉末于干净的称量皿中,然后置于 105 °C 烘箱中烘干,大约 4 h 至恒重。然后精确称取烘干粉末 0.5 g 至 100 mL 容量瓶定容,再取出 1 mL 溶液于 50 mL 容量瓶中定容,得到 0.1 mg/mL 的葡萄糖标准溶液,准备洁净试管,分别加入 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 mL 定容液,再分别加 1 mL 蒸馏水、1 mL 6 % 苯酚,混匀后再缓慢加入 5 mL 浓硫酸,震荡混匀,沸水浴中加热 15 min 后迅速冷却,490 nm 处测吸光值,每个样品平行测定 3 次。然后,葡萄糖浓度与所测吸光值分别为横纵坐标,作出葡萄糖标准曲线^[11],如图 1。

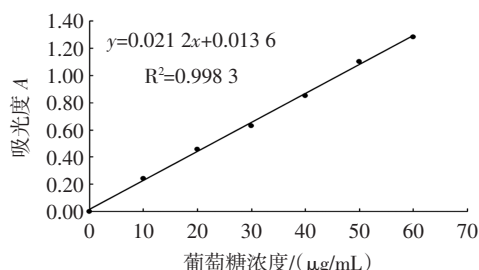


图1 葡萄糖标准曲线

Fig.1 Standard curve of glucose

1.3.3 毛木耳多糖的提取

取毛木耳粉 1.0 g, 配制成 40 : 1 (mL/g) 液料比的溶液, 在 150 W 超声波功率下超声 20 min 取出加入一定量的复合酶(纤维素酶: 复合蛋白酶质量比为 1 : 1), 在一定酶解温度条件下浸提 2 h, 浸提结束后灭酶后处理, 将浸提结束的毛木耳液进行离心, 离心条件为 10 000 r/min 离心 15 min, 离心结束分离上清液与沉淀物, 将上清液取 1 mL 定容至 100 mL 的容量瓶中, 制备成样液测定多糖含量。准确吸取多糖样液 1.0 mL, 加入 6 % 苯酚 1.0 mL、浓硫酸 5.0 mL, 同标准曲线之操作, 测定吸光度值。将测定的吸光值带入多糖计算公式, 即可得多糖的含量^[12]。

样品多糖得率/% = 多糖质量浓度 × 稀释倍数 × 样液体积 × 10⁻⁶ / 1 g 样品

1.3.4 单因素试验设计

选择超声波功率、液料比、超声波时间、复合酶酶解温度 4 个影响因素做单因素试验, 根据试验结果结合实际情况筛选出主要影响因素进行响应面优化试验。

1.3.5 响应面法优化试验

在单因素试验的基础上确定主要影响因素, 采用 SAS(V8.02) 中的 Design of Experiment(DOE) 模块进行试验设计和多项式回归分析, 最后建立二次响应回归模型, 通过拟合获得回归方程, 得出最佳工艺条件^[13]。

1.4 统计分析

每个试验重复 3 次, 结果表示为 Means ± S.D. 采用 ORIGIN(Origin Pro 8.5.0 SR1) 做图。方差分析采用 SAS(V8.02) 软件的一般线性模型(GLM), 显著水平为 $P < 0.05$, 极显著水平为 $P < 0.01$ ^[14]。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 液料比对毛木耳多糖得率的影响

在 5 个 50 mL 离心管中各加入 1 g 毛木耳粉, 分别按液料比 20 : 1、30 : 1、40 : 1、50 : 1、60 : 1 (mL/g) 加

入蒸馏水在超声功率 150 W 下超声 30 min, 然后加入一定量的复合酶与纤维素酶(复合酶: 纤维素酶=1 : 1, 质量比) 在 60 °C 条件下加热 2 h, 灭酶, 10 000 r/min 条件下离心 15 min, 取上清液稀释 100 倍, 用硫酸-苯酚法测定多糖含量。试验结果如图 2 所示。

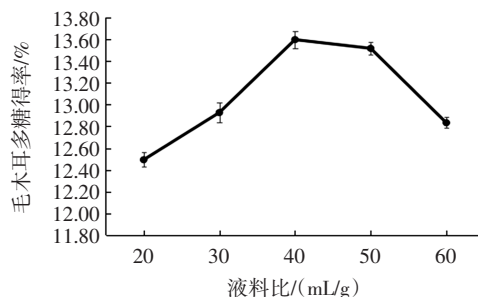


图2 液料比对多糖得率的影响

Fig.2 The effect of liquid material ratio on the polysaccharides extraction rate

由图 2 可知, 在一定的液料比范围内, 多糖的提取率呈先上升后下降的趋势, 在 40 : 1 (mL/g) ~ 50 : 1 (mL/g) 液料比时多糖得率最大。溶剂太少, 原料不能充分溶解, 溶剂量加大增大了毛木耳粉与溶剂间接触面, 利于多糖提取。过量的液料比会导致毛木耳粉吸收的超声波能减少, 多糖溶解不充分^[15]。因此选用液料比为 40 : 1 (mL/g)。

2.1.2 超声波功率对毛木耳多糖得率的影响

在 5 个 50 mL 的离心管中各装入 1 g 毛木耳粉, 按液料比 40 : 1 (mL/g) 的比例加入蒸馏水, 分别以 100、150、200、250、300 W 超声波功率条件下超声 30 min, 然后 60 °C 水浴浸提 2 h, 10 000 r/min 离心 15 min, 取上清液稀释 100 倍, 用硫酸-苯酚法测定多糖得率。试验结果如图 3 所示。

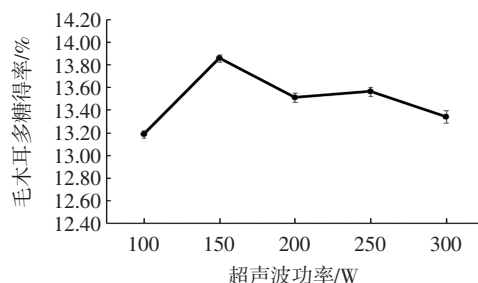


图3 超声波功率对多糖得率的影响

Fig.3 The effect of ultrasonic power on the polysaccharide extraction rate

由图 3 所示, 超声波功率从 100 W 开始逐渐增加, 最后到 300 W, 多糖得率呈现先增大后减小的趋势, 超声波功率在 150 W 时多糖提取率最高, 超声波功率过小或者过大都不利于多糖的提取, 表明超声波

功率对得率影响较显著,因此综合考虑超声波功率在 150 W 为宜。

2.1.3 超声波时间对毛木耳多糖得率的影响

在 5 个 50 mL 的离心管中各装入 1 g 毛木耳粉,按液料比 40:1 (mL/g)加入蒸馏水,在超声功率为 150 W 条件下进行处理,处理时间为 10、20、30、40、50 min,超声波处理结束后进行浸提,时间 2 h,温度 60 ℃,浸提结束后进行离心,离心条件为 10 000 r/min、时间为 15 min,离心结束后取上清液 1 mL 稀释 100 倍,用硫酸-苯酚法测定多糖得率。试验结果如图 4 所示。

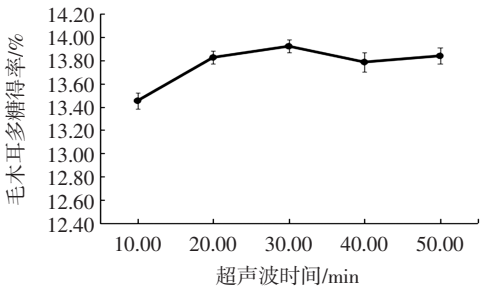


图 4 超声波时间对多糖得率的影响
Fig.4 The effect of ultrasonic time on the polysaccharide extraction rate

由图 4 可知,提取时间在 10 min~30 min 时,随着超声波时间的延长,多糖提取率逐渐增大,多糖得率由 13.35 %增大到 13.95 %。这是由于处理时间过短,超声波对物料细胞膜的破坏作用有限,使得多糖得率较低,随时间的延长超声波对细胞膜的破坏作用增大,多糖溶出增多,使多糖得率相应增加^[16],但超过 30 min 后多糖得率不再增加,因此初步确定超声处理时间为 30 min。

2.1.4 酶解温度对毛木耳多糖得率的影响

在 5 个 50 mL 的离心管中各装入 1 g 毛木耳粉,按液料比 40:1 (mL/g)加入蒸馏水,在超声功率为 150 W 条件下进行超声波处理,处理时间为 30 min,然后分别在 55、60、65、70、75 ℃条件下进行浸提,浸提时间为 2 h,浸提结束后离心,条件为 10 000 r/min 离心时间 15 min,取离心得到的上清液 1 mL 稀释 100 倍,然后用硫酸-苯酚法测定多糖得率。试验结果如图 5 所示。

复合酶采用纤维素酶和复合蛋白酶,两种酶的添加比例为 1:1。由图 5 所示,在一定的范围内随着温度的持续升高,毛木耳多糖的含量以 55 ℃为起点呈现先增加后减少的趋势,在酶解温度 65 ℃时多糖的得率最高,随着提取温度的持续升高,则多糖的含量慢慢降低。因此酶解温度在 65 ℃时效果最优。

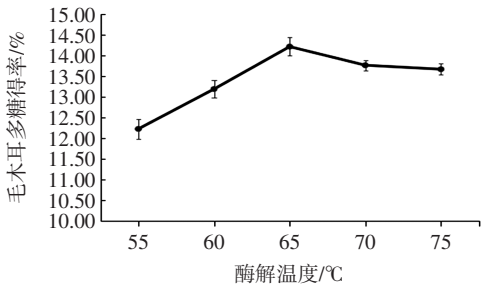


图 5 复合酶解温度对多糖得率的影响
Fig.5 The effect of enzymolysis temperature on the polysaccharides extraction rate

2.2 响应面试验结果与分析

2.2.1 响应面分析试验设计及结果

单因素试验确定超声波功率、超声波时间、酶解温度 3 个因素为毛木耳多糖提取的主要影响因素。为了得到最佳工艺条件,通过 Box-Behnken 设计进行优化试验,试验因素与水平具体见表 1。响应面优化试验方案及试验结果见表 2。利用 SAS 的响应面模块将表 2 试验数据拟合二次多项式回归模型,结果如下:

$$Y=-175.797\ 50+0.140\ 45\times A+0.433\ 14\times B+5.375\ 25\times C+0.000\ 135E\times A\times B-0.000\ 93E\times A\times C-0.005\ 3E\times B\times C-0.000\ 264E\times A^2-0.001\ 825E\times B^2-0.0395\times C^2$$

表 1 Box-Behnken 试验设计方案

Table 1 Box-behnken design scheme

水平	A 超声波功率/W	B 超声波时间/min	C 酶解温度/℃
-1	100	20	60
0	150	30	65
1	200	40	70

表 2 响应面试验设计与结果

Table 2 RSA design scheme and experimental results

标准号	运行序	A 超声波功率/W	B 超声波时间/min	C 酶解温度/℃	多糖得率/%
3	1	100	40	65	13.38
10	2	150	40	60	13.6
2	3	200	20	65	13.58
9	4	150	20	60	13.26
14	5	150	30	65	14.24
1	6	100	20	65	13.35
15	7	150	30	65	14.32
4	8	200	40	65	13.88
11	9	150	20	70	13.37
16	10	150	30	65	14.43
8	11	200	30	70	12.44
12	12	150	40	70	12.65
7	13	100	30	70	12.3

续表 2 响应面试验设计与结果

Continue table 2 RSA design scheme and experimental results

标准号	运行序	A 超声波 功率/W	B 超声波 时间/min	C 酶解 温度/℃	多糖得 率/%
6	14	200	30	60	13.65
5	15	100	30	60	12.58
13	16	150	30	65	14.09
17	17	150	30	65	14.87

对表 2 中试验结果进行统计分析,得方差分析结果见表 3。

表 3 方差分析

Table 3 Analysis of variance(ANOVA)

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	8.23	9	0.91	12.96	0.001 4	**
A	0.47	1	0.47	6.67	0.036 4	*
B	3.13×10^{-4}	1	3.13×10^{-4}	4.43×10^{-3}	0.948 8	N
C	0.68	1	0.68	9.62	0.017 3	*
AB	0.018	1	0.018	0.26	0.627 2	N
AC	0.22	1	0.225	3.06	0.123 5	N
BC	0.28	1	0.28	3.98	0.086 2	N
A ²	1.83	1	1.83	25.99	0.001 4	**
B ²	0.14	1	0.14	1.99	0.201 5	N
C ²	4.11	1	4.11	58.18	0.000 1	**
残差	0.49	7	0.071			
失拟项	0.14	3	0.048	0.55	0.673 6	N
纯误差	0.35	4	0.087			
总变异	8.72	16				

注:**表示差异极显著($P < 0.01$);*表示差异显著($P < 0.05$);N表示不显著。

由表 3 可知,响应面模型的 $F=12.96$ 、 $P=0.001\ 4 < 0.01$,该模型水平明显,且模型显著的程度较高($P < 0.01$),失拟项不明显($P=0.673\ 6 > 0.05$)。模型的系数 $R^2=0.943\ 4$,该值能够将回归方程较好地模拟真实曲面程度,证明该试验的方法以及数据是可靠的^[17-19]。因此,该模型方程可用于分析不同条件下提取毛木耳多糖得率的变化情况。根据表 3 中的方差分析结果,可见一次项超声波功率、酶解温度对多糖提取率影响显著;超声波时间影响不显著,二次项超声波功率的平方、酶解温度的平方对响应值多糖提取率影响极显著($P < 0.01$);其余项均不明显($P > 0.05$)。

2.2.2 响应面交互作用分析

根据回归模型,将任一因素固定在零水平,可以得到体现另外 2 个因素及其交互作用影响的响应曲面图及对应的等高线图,见图 6~图 8。

由图 6~图 8 和表 3 可知,模型中的超声波功率、酶解温度一次项有显著影响,超声波功率、酶解温度

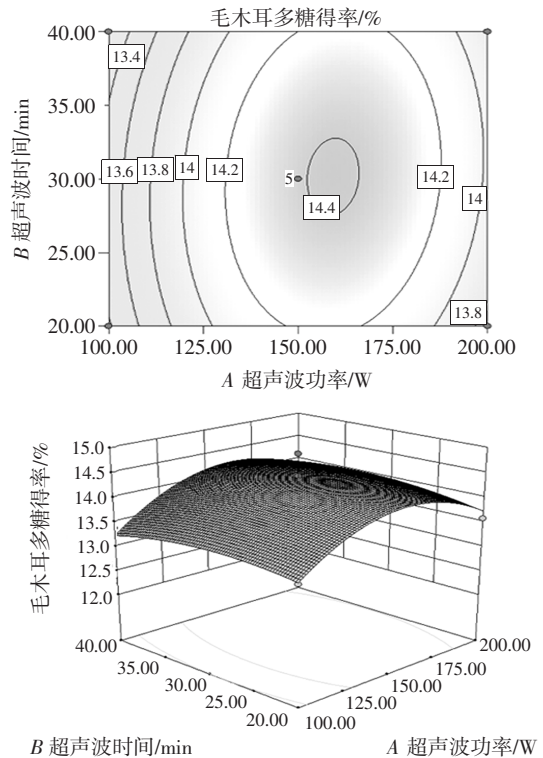


图 6 超声波功率和超声波时间对多糖提取效果影响的等高线及响应面

Fig.6 Contours and response surfaces for ultrasound power and ultrasound time effects on polysaccharide extraction

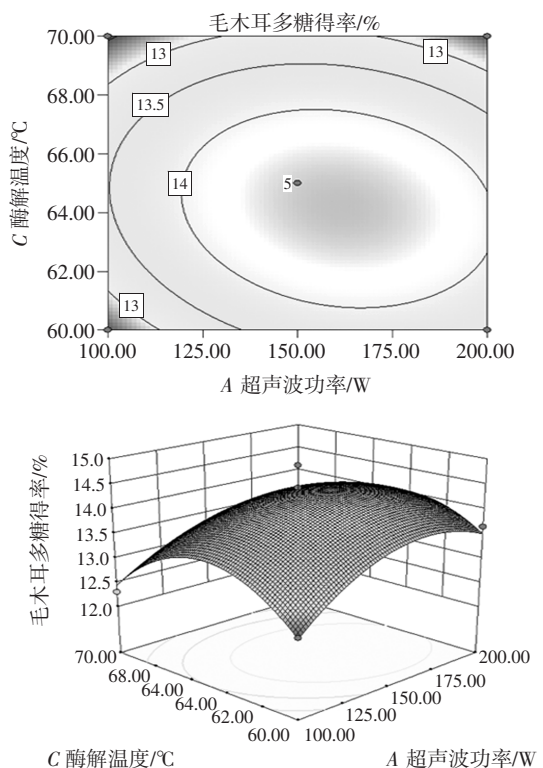


图 7 超声波功率和酶解温度对多糖提取效果影响的等高线及响应面
Fig.7 Contours and response surfaces for ultrasound power and enzymatic temperature effects on polysaccharide extraction

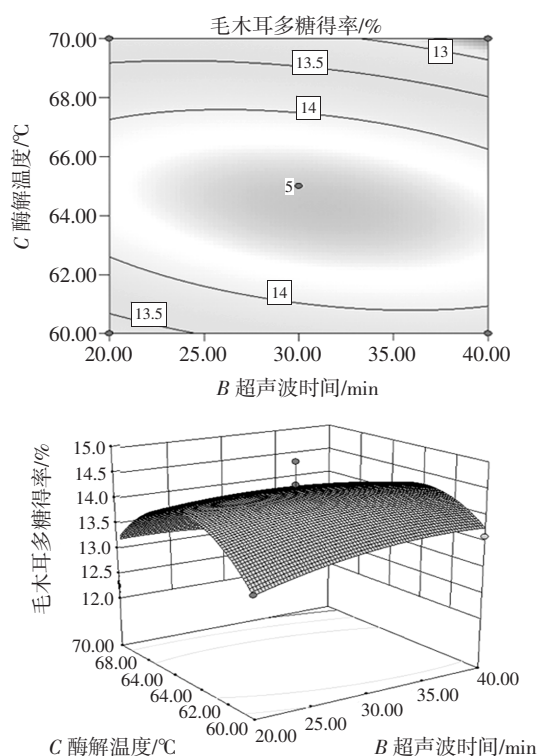


图8 超声波时间和酶解温度对多糖提取效果影响的等高线及响应面
Fig.8 Contours and response surfaces for the effect of ultrasound time and enzymatic temperature on extraction of polysaccharides

的二次项对毛木耳多糖得率有极显著影响,而超声波功率和超声波时间之间、超声波功率和酶解温度之间、超声波时间和酶解温度之间的交互作用较小,对毛木耳多糖得率影响较小。

2.2.3 毛木耳多糖提取工艺条件的确定与验证

根据响应面模型及数据通过 Design Expert 软件分析得到毛木耳中多糖提取的最佳条件为:超声波功率 161.35 W,超声波时间 31.67 min,酶解温度 64.01 °C,在最优条件下,软件分析得到毛木耳多糖提取最优得率的预测值为 14.445 6 %。结合实际以及操作实现性,将提取工艺参数稍作调整:超声波功率 160 W,超声波时间 31 min,酶解温度 64 °C。为验证响应面法预测值的可靠性,进行毛木耳多糖的提取试验,在最佳优化提取条件下重复试验 3 次,得到毛木耳多糖的得率的平均值为 14.41 %,与软件分析得到的最佳预测值 14.445 6 %非常靠近,说明响应面实验可以较好的分析出毛木耳多糖提取的最佳条件。

3 结论

在单因素试验的基础上,采用响应面方法设计实验及处理结果,建立毛木耳中多糖提取的二次多项式回归模型。经过数据的分析与处理,证明该方法能够准确地确定毛木耳多糖的最佳提取条件并做出提取率的

预测值。综合考虑实际条件,确定超声波辅助酶提取毛木耳多糖的最佳提取条件为:液料比为 40:1 (mL/g),超声功率 160 W,超声时间 31 min,在此条件下毛木耳多糖的提取率为 14.41 %,与响应面的预测数值基本接近,证明响应面优化法得到的毛木耳多糖的提取工艺准确合理,数据可用。可以为毛木耳中多糖提取生产提供一定的理论参考。

参考文献:

- [1] 张丹,郑有良. 毛木耳(*Auricularia polytricha*)的研究进展[J]. 西南农业学报, 2004, 17(5): 668-673
- [2] 罗信昌. 木耳和毛木耳的极性研究[J]. 真菌学报, 1988, 7(1): 58-63
- [3] 余梦瑶, 张剑, 朱小牧, 等. 毛木耳多糖对小鼠免疫功能的影响[J]. 时珍国医国药, 2012, 23(11): 2711-2713
- [4] Song G, Du Q. Structure characterization and antitumor activity of an $\alpha\beta$ -glucan polysaccharide from *Auricularia polytricha*[J]. Food Research International, 2012, 45(1): 381-387
- [5] Yu M, Ma B, Luo X, et al. Molecular diversity of *Auricularia polytricha* revealed by inter-simple sequence repeat and sequence-related amplified polymorphism markers[J]. Current Microbiology, 2008, 56(3): 240-245
- [6] Byung-Keun Y, Ji-Young H A, Sang-Chul J, et al. Hypolipidemic effect of an exo-biopolymer produced from submerged mycelial culture of *Auricularia polytricha* in rats[J]. Biotechnology Letters, 2002, 24(16): 1319-1325
- [7] 吴春敏, 陈琼华. 毛木耳多糖耐缺氧作用及对心脏和血压的影响[J]. 中国生化药物杂志, 1992(1): 21-23
- [8] 王伟, 陈凡, 王玉玲. 毛木耳多糖提取工艺的研究[J]. 闽南师范大学学报(自然版), 2009, 22(3): 121-124
- [9] 陈诚, 黄文丽, 李小林, 等. 毛木耳多糖提取研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(4): 89-92
- [10] 潘利华, 徐学玲, 罗建平. 水溶性大豆多糖的超声辅助酶法提取条件及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2012, 33(4): 77-81
- [11] 钱和, 张添, 刘长虹. 改进苯酚-硫酸法测定芦荟多糖含量[J]. 江苏食品与发酵, 2002(3): 3-6
- [12] 黄海云, 张卫明. 白芨粗多糖提取方法的比较研究[J]. 中国野生植物资源, 2001(1): 14-16
- [13] 刘军海, 黄宝旭, 蒋德超. 响应面分析法优化艾叶多糖提取工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(2): 114-118
- [14] 刘洋, 赵谋明, 杨宁, 等. 响应面分析法优化仙人掌多糖提取工艺的研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(6): 42-44
- [15] 王丰俊, 王建中, 郝俊, 等. 响应面法优化超声波辅助提取桑叶多糖的工艺研究[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(5): 142-146
- [16] 陈少青, 蒋旭刚, 汪财生, 等. 紫山药多糖超声波辅助提取工艺优化及抗氧化性能研究[J]. 江苏农业科学, 2009(5): 231-234
- [17] 林茹, 张福娣, 黄碧芳, 等. 超声波辅助热水提取甘薯多糖工艺[J]. 亚热带农业研究, 2005, 1(4): 66-68
- [18] 杨芳, 曹银, 廖绪标, 等. 板栗多糖的超声波辅助提取技术[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(12): 2552-2555
- [19] 杨国伟, 危晴, 刘卉, 等. 超声波辅助提取锁阳多糖的工艺研究[J]. 食品与机械, 2013(3): 141-144