

响应面法优化提取干巴菌多糖的工艺研究

陆文娟, 喻晨, 王美菊, 陶明煊

(南京师范大学金陵女子学院, 江苏 南京 210097)

[摘要] 以干巴菌为原料, 采用超声细胞破碎法提取其多糖. 在单因素实验的基础上, 采用响应面对提取工艺进行优化, 通过 Box-Behnken 设计, 建立并分析了各因素与多糖得率关系的数学模型. 结果显示, 最佳工艺条件为: 液料比为 38:1, 提取时间为 3 h, 提取温度为 88 ℃, 超声功率为 603 W, 重复 2 次, 测定干巴菌多糖的得率为 5.96%.

[关键词] 干巴菌, 多糖提取, 超声波, 响应面法

[中图分类号] TS201.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2015)03-0084-09

Optimization Study on the Extraction Technology of Polysaccharide from *T. ganba jun* Zang by Response Surface Method

Lu Wenjuan, Yu Chen, Wang Meiju, Tao Mingxuan

(Ginling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: With *T. ganba jun* Zang as raw materials, polysaccharide is extracted by ultrasonic cell disruption methods. Based on single factor experiments, response surface method is adopted to optimize the extraction process. By Box-Behnken design, the paper builds and analyzes a mathematical model of the factors and the relationship about the yield of polysaccharides. The results show that the optimum conditions are: liquid ratio is 38:1, the extraction time is 3 h, the extraction temperature is 88 ℃, ultrasonic power is 603 W, repeated two times, polysaccharide yield is measured to be 5.96%.

Key words: *T. ganba jun* Zang, polysaccharides extraction, ultrasound microwave, responsesurface methodology

干巴菌(*T. ganba jun* Zang)又名绣球菌,也叫对花菌、马牙菌等,属于真菌门、层菌纲、褶菌目、革菌科,主产于云南,是一种珍稀名贵的食药两用真菌^[1-4]. 干巴菌不仅味道鲜美,且营养价值高^[5],已有实验证明,干巴菌的活性成分中,多糖含量较高,具有抗氧化、抗肿瘤、保肝、增强免疫功能等多种功效^[6-10].

多糖的提取方法常见的有水提醇沉、酸碱提取、微波法等,但这些方法存在提取率不高、容易破坏多糖活性等问题^[11,12]. 近年来超声技术已被广泛应用于植物多糖的提取中^[13],该方法有利于增加细胞内容物通过细胞膜的穿透能力,充分混合溶剂,从而提高有效成分溶出的速度,缩短了提取时间^[14-16]. 利用超声波辅助热水浸提干巴菌多糖目前未见报道. 干巴菌子实体粉碎后,经超声细胞破碎处理后再热水浸提,可使多糖充分地溶出.

本实验在单因素实验的基础上,利用响应面对实验条件(液料比、提取时间、提取温度、超声功率)进行优化,寻求提取干巴菌多糖的最佳工艺条件,为干巴菌的开发利用提供一定的科学依据.

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本实验所用干巴菌子实体干品购自于云南纳西田野食品专营店,经去除杂质,于 60 ℃低温烘干至恒重,粉碎,过 80 目筛,于干燥器中贮存备用.

本实验所用 95%乙醇为国产分析纯,购自于南京荣世德贸易有限公司.

收稿日期:2015-05-24.

基金项目:江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(KYLX_0729).

通讯联系人:陶明煊,副教授,研究方向:生物活性物质与保健功能因子. E-mail:45017@njnu.edu.cn

1.2 仪器与设备

JA5003N 电子天平,购自上海精密科学仪器有限公司;DHG-9140 电热恒温鼓风干燥箱,购自上海精宏实验设备有限公司;FM100 高速万能粉碎机,购自天津太斯特仪器有限公司;JY92-II 超声细胞破碎仪,购自宁波新芝生物科技股份有限公司;HH-6 数显恒温水浴锅,购自常州国华电器有限公司;GL-22M 高速冷冻离心机,购自湖南赛特湘仪离心机仪器有限公司;RE-52A 旋转蒸发器,购自上海亚荣生化仪器厂。

1.3 干巴菌多糖提取工艺

称取干巴菌子实体干粉 5 g,按一定液料比加入蒸馏水,于超声细胞破碎仪中超声破碎,在 80 ℃ 水浴一段时间后,即得到多糖提取液。多糖提取液经离心取上清液、浓缩、醇沉、静置过夜后,离心取沉淀,低温干燥即得到干巴菌多糖^[17,18]。

1.4 多糖得率的计算

采用称重法^[19]测定干巴菌多糖的得率,计算公式为:多糖得率%=(多糖干品质量/原料质量)×100。

1.5 试验设计

1.5.1 单因素试验

以干巴菌多糖得率为指标,采用单因素试验确定影响提取效果的主要因素。

单因素试验选取液料比 10:1、20:1、30:1、40:1、50:1(mL/g),提取时间 2 h,提取温度 80 ℃,超声功率 400 W,超声时间 10 min,研究液料比对多糖得率的影响。对可能影响多糖得率的其他几个因素(提取时间、提取温度、超声功率、超声时间)分别做单因素试验,每组试验重复 3 次,取平均值。

1.5.2 响应面优化试验

在单因素试验研究的基础上,选取液料比、提取时间、提取温度、超声功率 4 个因素为自变量,多糖得率(Y)为响应值,根据 Design-Expert Software 8.0.6 软件中的 Box-Behnken 试验设计原理,进行四因素三水平共 29 个试验点的响应面分析试验,优化干巴菌多糖的提取条件。试验因素及水平编码如表 1 所示。

表 1 试验设计因素水平及编码

Table 1 Coded values and corresponding real values of the extraction parameters used in design-expert software

变量	代码	编码水平		
		-1	0	1
液料比(mL/g)	X_1	35:1	40:1	45:1
提取时间(h)	X_2	2.5	3	3.5
提取温度(℃)	X_3	85	90	95
超声功率(W)	X_4	550	600	650

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 液料比对多糖得率的影响

图 1 所示为液体比对多糖得率的影响。由图 1 可知,液料比对多糖得率的影响较为明显,随着液料比的增加,多糖的得率不断增大;液料比在 10 mL/g~40 mL/g 时,多糖得率上升很快;当液料比增加到 40:1 时多糖得率最高;液料比大于 40:1 时,多糖得率显著下降。究其原因可能是:一定量的干巴菌粉末,溶剂用量过少,溶解不完全,多糖得率不高;随着溶剂用量的增加,固液质量浓度差变大,扩散速度提高;当液料比继续增大,固液质量浓度差增幅减小,多糖得率下降。综合考虑后续浓缩的需要,选取液料比为 40:1 较为合适。

2.1.2 提取时间对多糖得率的影响

图 2 所示为提取时间对多糖得率的影响。由图 2 可知,随着

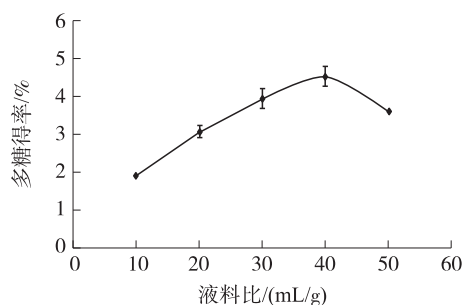


图 1 液料比对多糖得率的影响

Fig.1 Effects of liquid-to-material ratio on polysaccharide yield

提取时间的增加,干巴菌多糖的得率不断增加;提取时间为3 h时,多糖得率最大;超过3 h,多糖得率反而下降.这可能是由于随着提取时间的延长,部分多糖降解,造成得率下降.综合考虑时间成本,选取提取时间为3 h较为合适.

2.1.3 提取温度对多糖得率的影响

图3所示为提取温度对多糖得率的影响.由图3可知,随着提取温度的升高,干巴菌多糖的得率不断增加;当提取温度到达90℃,多糖得率最高;提取温度升高,多糖得率趋于稳定.这可能是因为随着温度的上升,分子运动速度加快,有利于多糖的渗出.温度过高对设备要求较高,同时有可能破坏多糖活性,故选择水温为90℃来提取干巴菌多糖较为合适.

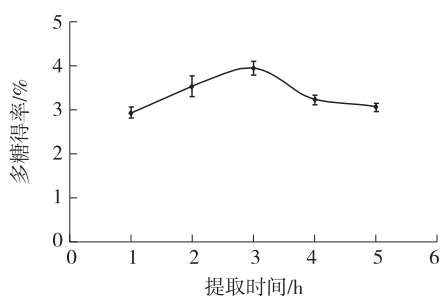


图2 提取时间对多糖得率的影响

Fig.2 Effects of extraction duration on polysaccharide yield

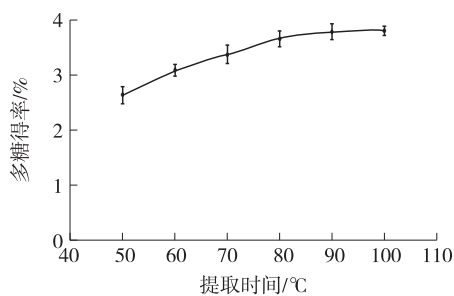


图3 提取温度对多糖得率的影响

Fig.3 Effects of extraction temperature on polysaccharide yield

2.1.4 超声功率对多糖得率的影响

图4所示为超声功率对多糖得率的影响.由图4可知,超声细胞破碎仪的功率在200 W~600 W之间时,多糖得率随超声功率的增大而增大;在功率为600 W时,多糖得率最大;超过600 W,多糖得率有所下降.故选择600 W的超声功率来提取干巴菌多糖较为合适.

2.1.5 超声时间对多糖得率的影响

图5所示为超声时间对多糖得率的影响.由图5可知,随着超声时间的延长,多糖的得率不断增大,在6 min时达到最大,6 min后呈下降趋势.这可能是由于在长时间的超声细胞破碎中,干巴菌多糖受到超声波机械剪切作用的影响,结构被破坏.因此,选择6 min的超声时间来提取干巴菌多糖较为合适.

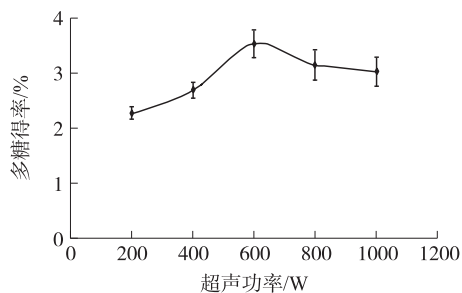


图4 超声功率对多糖得率的影响

Fig.4 Effects of ultrasonic power on polysaccharide yield

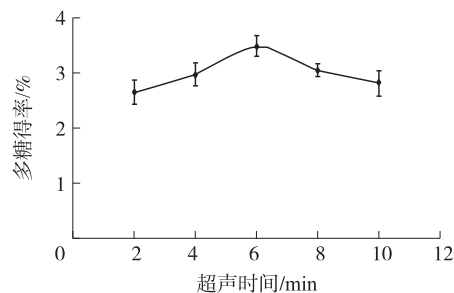


图5 超声时间对多糖得率的影响

Fig.5 Effects of ultrasonic time on polysaccharide yield

2.2 响应面法对多糖提取条件的优化试验

2.2.1 试验设计结果及方差分析

本实验通过 Design-Expert Software 8.0.6 软件设计的响应面试验方案及实验结果如表2所示,实验结果的方差分析如表3所示.

按照 Design-Expert Software 8.0.6 软件中的 Box-Behnken Design 模型对表2中的数据进行多元回归分析,得到回归方程为:

$$Y=5.78-0.18A+0.22B-0.29C-0.17D-0.41AB+0.45AC-0.61AD+0.052BC+0.28BD+0.32CD-0.52A^2-0.67B^2-0.94C^2-0.85D^2.$$

用方差分析来评估模型的显著性,如表3所示.模型的 P 值 <0.0001 ,说明模型达到了极显著水平;失拟项不显著($P>0.05$),说明模型对响应值拟合良好. $P<0.0001$ 的项代表高度显著项, $P<0.05$ 的项代表显

著项,在试验范围内,液料比和超声功率的交互项 AD 、液料比的二次项 A^2 、提取时间的二次项 B^2 、提取温度的二次项 C^2 、超声功率的二次项 D^2 对多糖得率都具有高度显著影响;液料比($P=0.016\ 8<0.05$)、提取温度($P=0.000\ 5<0.05$)、提取时间($P=0.004\ 5<0.05$)、超声功率($P=0.022\ 1<0.05$)对多糖得率都有显著影响,按照对结果的影响排序为提取温度>提取时间>液料比>超声功率. 方程的相关系数为 $R^2=0.957\ 6$,调整后 $R^2=0.915\ 2$,说明91.52%的响应值变化可由方程中的4个因素解释^[20,21],可利用该回归方程确定最佳提取工艺条件.

表2 Box-Behnken 试验设计与结果
Table 2 Box-Behnken experimental design matrix and results

试验号	编码水平				多糖得率 $Y/\%$	
	A 液料比/(mL/g)	B 提取时间/h	C 提取温度/ $^{\circ}\text{C}$	D 超声功率/W	试验值	预测值
1	-1	-1	0	0	4.28	4.14
2	1	-1	0	0	4.58	4.62
3	-1	1	0	0	5.61	5.41
4	1	1	0	0	4.25	4.23
5	0	0	-1	-1	4.69	4.78
6	0	0	1	-1	3.67	3.56
7	0	0	-1	1	3.86	3.80
8	0	0	1	1	4.11	3.86
9	-1	0	0	-1	4.12	4.16
10	1	0	0	-1	5.38	5.02
11	-1	0	0	1	4.80	5.04
12	1	0	0	1	3.63	3.47
13	0	-1	-1	0	4.30	4.25
14	0	1	-1	0	4.70	4.69
15	0	-1	1	0	3.67	3.67
16	0	1	1	0	4.28	4.11
17	-1	0	-1	0	5.34	5.24
18	1	0	-1	0	3.87	4.00
19	-1	0	1	0	3.61	3.77
20	1	0	1	0	3.93	4.31
21	0	-1	0	-1	4.40	4.50
22	0	1	0	-1	4.15	4.38
23	0	-1	0	1	3.54	3.60
24	0	1	0	1	4.42	4.60
25	0	0	0	0	5.89	5.78
26	0	0	0	0	5.61	5.78
27	0	0	0	0	5.77	5.78
28	0	0	0	0	5.81	5.78
29	0	0	0	0	5.84	5.78

表3 回归模型的方差分析
Table 3 Variance analysis for the regression model established

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值
模型	16.060	14	1.150	22.58	<0.000 1
A	0.370	1	0.370	7.37	0.016 8
B	0.580	1	0.580	11.43	0.004 5
C	1.040	1	1.040	20.44	0.000 5
D	0.340	1	0.340	6.63	0.022 1
AB	0.690	1	0.690	13.56	0.002 5
AC	0.800	1	0.800	15.77	0.001 4
AD	1.480	1	1.480	29.05	<0.000 1
BD	0.011	1	0.011	0.22	0.648 5
BC	0.320	1	0.320	6.28	0.025 1
CD	0.430	1	0.430	8.44	0.011 5
A ²	1.720	1	1.720	33.85	<0.000 1
B ²	2.890	1	2.890	56.87	<0.000 1
C ²	5.750	1	5.750	113.09	<0.000 1
D ²	4.670	1	4.670	91.95	<0.000 1
残差	0.710	14	0.051		
失拟项	0.670	10	0.067	5.85	0.051 7
纯误差	0.046	4	0.011		
总变异	16.770	28			
R ² =0.9 576		R ² _{adj} =0.9 152			

2.2.2 响应面和等高线分析

利用 Design-Expert Software 8.0.6 软件中的 Box-Behnken Design 模型对表 2 中的数据进行回归拟合分析, 所得响应面及等高线如图 6~图 11 所示. 图 6~图 11 直观地反映了各因素及其交互作用对多糖得率的影响^[22,23].

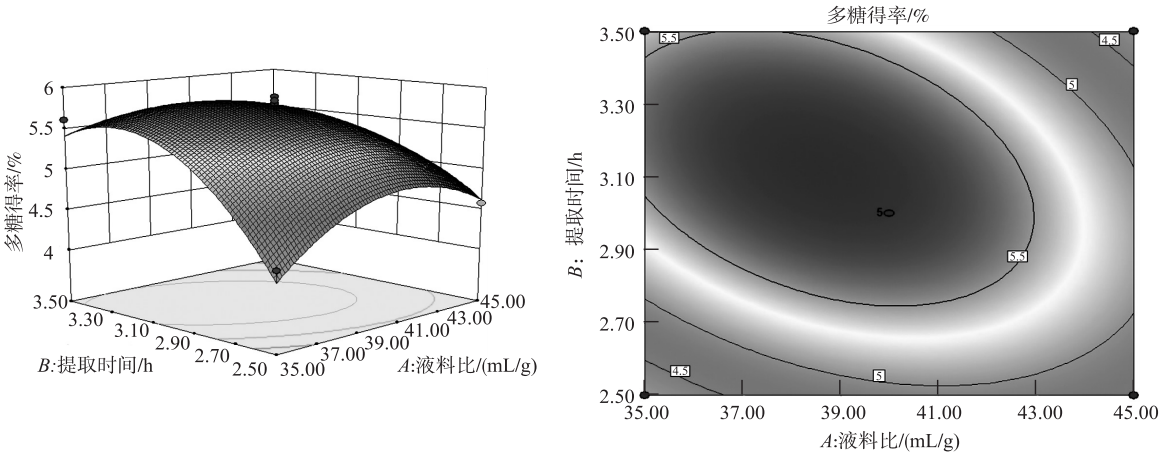


图6 液料比和提取时间交互作用影响多糖得率的响应面和等高线图
Fig.6 Response surface plot and contour plot for interactive effect of solid-liquid ratio and extraction time on extraction yield of polysaccharides

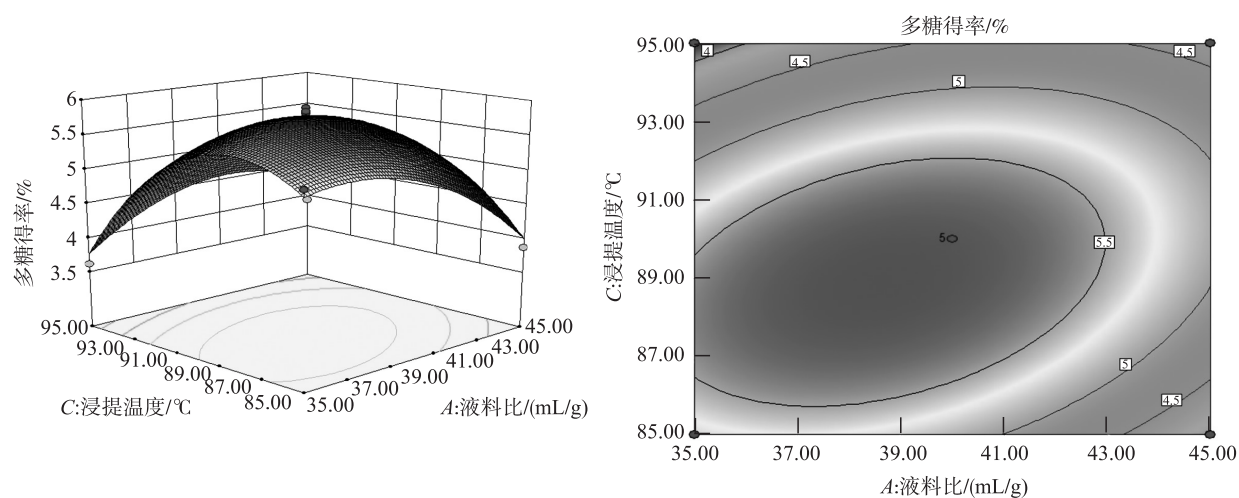


图7 液料比和提取温度交互作用影响多糖得率的响应面和等高线图

Fig.7 Response surface plot and contour plot for interactive effect of solid-liquid ratio and extraction temperature on extraction yield of polysaccharides

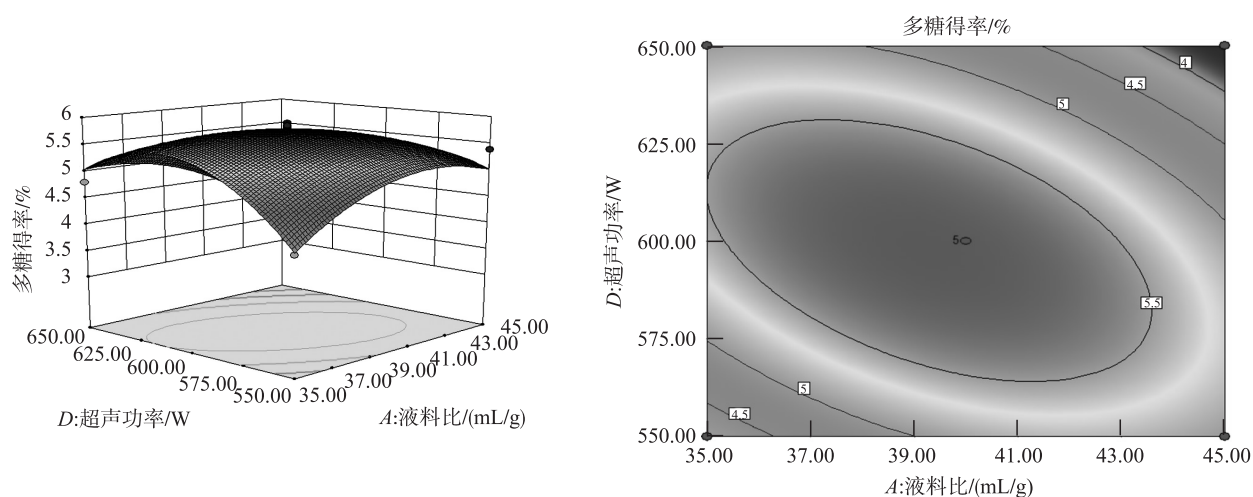


图8 液料比和超声功率交互作用影响多糖得率的响应面和等高线图

Fig.8 Response surface plot and contour plot for interactive effect of solid-liquid ratio and ultrasonic power on extraction yield of polysaccharides

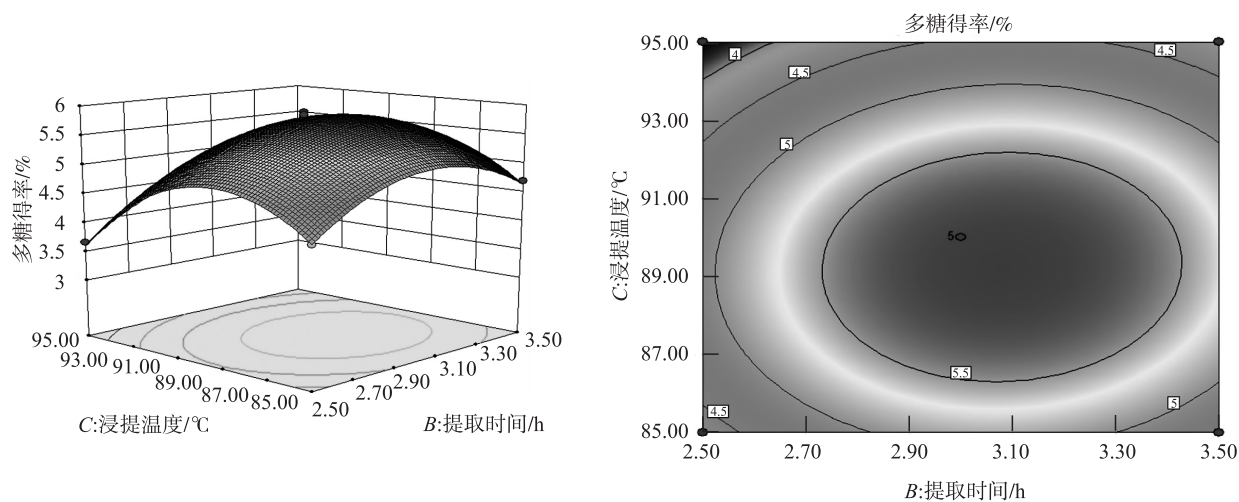


图9 提取时间和提取温度交互作用影响多糖得率的响应面和等高线图

Fig.9 Response surface plot and contour plot for interactive effect of extraction time and extraction temperature on extraction yield of polysaccharides

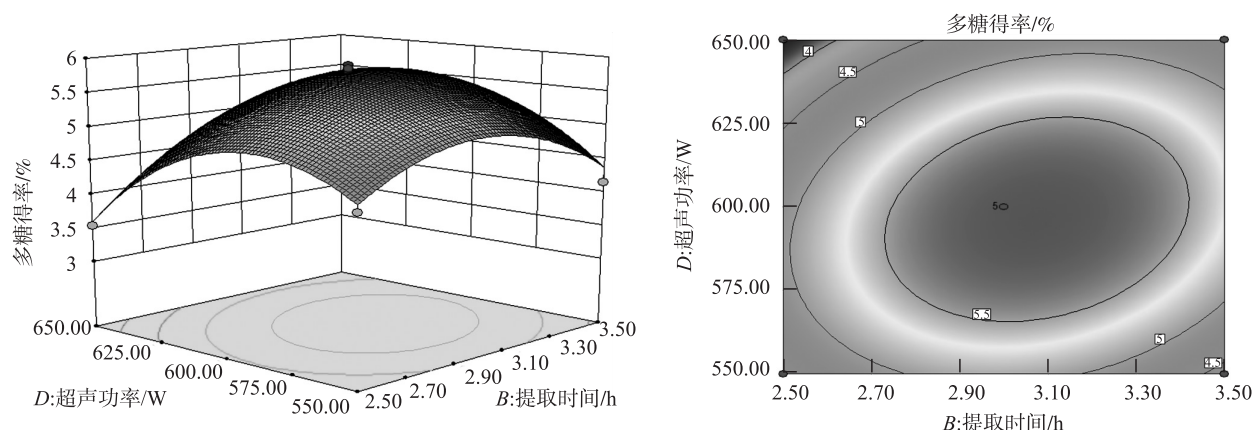


图10 提取时间和超声功率交互作用影响多糖得率的响应面和等高线图

Fig.10 Response surface plot and contour plot for interactive effect of extraction time and ultrasonic power on extraction yield of polysaccharides

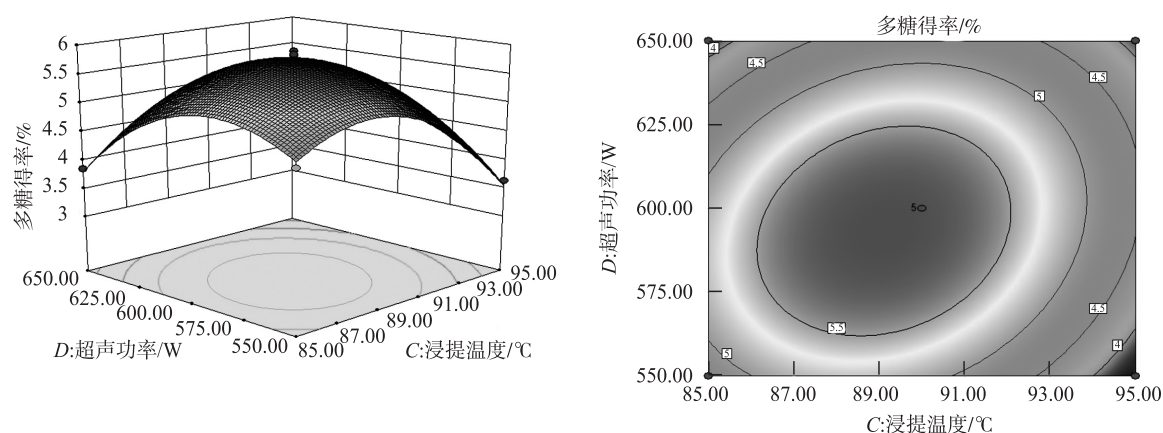


图11 提取温度和超声功率交互作用影响多糖得率的响应面和等高线图

Fig.11 Response surface plot and contour plot for interactive effect of extraction temperature and ultrasonic power on extraction yield of polysaccharides

图6~图11显示了两种因素交互时其响应面及等高线的分布情况.从响应面的最高点和等高线图可以看出,在试验范围内存在极值,等高线中最小椭圆的中心点对应响应面的最高点.

从图6可以看出,液料比和提取时间的交互影响曲面陡峭,等高线图呈椭圆,说明两者交互作用显著.固定液料比,随着提取时间的延长,多糖得率先增加、后减小.从等高线图来看,沿时间轴的等高线明显多于沿液料比的,说明提取时间对多糖得率的影响比液料比大.

从图7可以看出,固定液料比,增加提取温度有利于提高多糖得率;继续增加提取温度,多糖得率反而下降.沿提取温度轴的等高线明显多于沿液料比的,说明提取温度对多糖得率的影响比液料比大.

从图8可以看出,液料比和超声功率的等高线图呈明显椭圆,说明两者交互作用十分显著.固定超声功率,多糖得率随着液料比的增加而增加;继续增加液料比,多糖得率呈下降趋势,但下降幅度不明显.

从图9可以看出,固定提取时间,多糖得率随提取温度增加先增加后减小.沿提取温度轴的等高线明显多于提取时间的,说明提取温度对多糖得率的影响比提取时间大.

从图10可以看出,提取时间和超声功率的交互影响曲面陡峭,说明两者有交互作用.固定提取时间,多糖得率随超声功率增加先增加后减小,减小的幅度不明显.

从图11可以看出,固定提取温度,多糖得率随着超声功率的增加而增加;继续增加超声功率,多糖得率呈下降趋势.沿提取温度轴的等高线明显多于沿超声功率的,说明提取温度对多糖得率的影响比超声功率大.

2.2.3 优化与验证

由 Design-Expert Software 8.0.6 软件中的 Box-Behnken Design 模型分析可得干巴菌多糖提取的最佳工艺

为:液料比为37.83:1,提取时间为3.15 h,提取温度为88.80 ℃,超声功率为603.09 W,此时预测的多糖得率为5.89%。为方便操作,将工艺修正为液料比为38:1,提取时间为3 h,提取温度为88 ℃,超声功率为603 W,此时多糖得率达到5.96%,与理论值相差较小,说明该优化工艺参数可用于指导干巴菌多糖的提取。

3 结语

目前,有关干巴菌多糖提取的文章鲜有报道。禹国龙^[24]等研究绣球菌多糖的提取工艺,得到最佳条件为提取温度60 ℃、提取时间2 h、pH值9、料液比1:30,此条件下提取率为1.7%。本试验的多糖提取率明显高于前者,究其原因可能是:(1)原料的预处理不同:本试验的干巴菌经过超声波细胞破碎前处理,细胞内容物通过细胞膜的穿透能力增强,更有利于多糖的溶出;(2)最优工艺的确定方法不同:本试验在单因素试验的基础上,应用响应面分析法对于干巴菌多糖的提取工艺进行研究,在影响多糖提取率的主要因素之间进行两两比较;(3)可能存在干巴菌种属差异。结果显示,提取时间和温度对于干巴菌多糖得率影响显著,最佳工艺条件下多糖的得率可达到5.96%,本文实验表明本试验提取工艺可行,稳定性好,可为干巴菌的开发利用提供一定的科学依据。

[参考文献](References)

- [1] 黄年来. 中国大型真菌原色图鉴[M]. 北京:中国农业出版社,1998.
Huang Nianlai. Colored illustrations of Macro-Fungi (Mushrooms) of China[J]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1998. (in Chinese)
- [2] 傅四清,魏蓉城. 干巴菌研究进展[J]. 林业科技通讯,1997(8):21-23.
Fu Siqing, Wei Rongcheng. Progress of *Thelephora Ganbajun* Zang[J]. Forestry Science and Technology Communication, 1997(8):21-23. (in Chinese)
- [3] 陈亚萍,邱开雄,陈亚娟,等. 干巴菌抗氧化活性研究[J]. 昆明医学院学报,2012,33(1):40-42.
Chen Yaping, Qiu Kaixiong, Chen Yajuan, et al. Study on antioxidant activity of wild mushroom *Thelephora Ganbajun* Zang[J]. Journal of Kunming Medical University, 2012, 33(1):40-42. (in Chinese)
- [4] 吕瑜平,文净,朱伟明. 云南干巴菌挥发油化学成分的研究[J]. 天然产物研究与开发,2001,13(1):39-41.
Lü Yuping, Wen Jing, Zhu Weiming. Study on the chemical constituents of volatile oil from Yunnan Sparassis crisp[J]. Natural Product Research and Development, 2001, 13(1):39-41. (in Chinese)
- [5] 吴少雄,王保兴,郭祀远,等. 云南野生食用干巴菌的营养成分分析[J]. 现代预防医学,2006,32(11):1 548-1 549.
Wu Shaoxiong, Wang Baoxing, Guo Siyuan, et al. Analysis of nutritional components of Yunnan wild edible *Thelephora Ganbajun*[J]. Modern Preventive Medicine, 2006, 32(11):1 548-1 549. (in Chinese)
- [6] 李洋,马文平,倪志婧. 宁夏枸杞体外抗氧化机理研究[J]. 食品科学,2014,35(1):79-84.
Li Yang, Ma Wenping, Ni Zhijing. Mechanism underlying the *in vitro* antioxidant capacity of Goji Berries (*Lycium barbarum* L.)[J]. Food Science, 2014, 35(1):79-84. (in Chinese)
- [7] 夏文军,王雪燕,王璐鹭,等. 五味子多糖抗肿瘤及其他生物学作用研究进展[J]. 吉林医药学院学报,2013,34(4):302-303.
Xia Wenjun, Wang Xueyan, Wang Lulu, et al. The research progress of schisandra chinensis polysaccharide on antitumor and other biological effects[J]. Journal of Jilin Medical College, 2013, 34(4):302-303. (in Chinese)
- [8] 李冲伟,宋永,孙庆申. 微波辅助提取紫苏多糖及保肝降酶活性的研究[J]. 中国农学通报,2014(9):53-54.
Li Chongwei, Song Yong, Sun Qinshen. Extraction of Polysaccharide from *Perilla frutescens* seed with microwave and its hepatoprotective activity[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014(9):53-54. (in Chinese)
- [9] 黄建成,李开本,林应椿,等. 绣球菌子实体营养成分分析[J]. 营养学报,2007,29(5):514-515.
Huang Jiancheng, Li Kaiben, Lin Yingchun, et al. Analysis of main nutritional components of *sparassis crispa* (Wulf.) Fr. fruit-body[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2007, 29(5):514-515. (in Chinese)
- [10] Mau J L, Lin H C, Song S F. Antioxidant properties of several specialty mushrooms[J]. Food Research International, 2002, 35(6):519-526. (in Chinese)
- [11] Soumitra M, Indranil C, Malay P, et al. Structural studies of water-soluble polysaccharides of an edible mushroom, *Termitomyces eurhizus*: a reinvestigation[J]. Carbohydrate Research, 2004, 339(6):1135-1140. (in Chinese)

- [12] 王秀萍,朱海燕,陈常颂,等.福建茶树良种的粗茶多糖提取试验研究[J].江西农业学报,2009,21(7):139-142.
Wang Xiuping, Zhu Haiyan, Chen Changsong, et al. Studies on extraction of crude tea polysaccharide from improved tea varieties in Fujian[J]. Acta Agricul Turae Jiangxi, 2009, 21(7): 139-142. (in Chinese)
- [13] 雷立,刘刚,张宏.播娘蒿籽油枯中总黄酮类物质超声波提取工艺的研究[J].食品工程,2010(2):43-47.
Lei Li, Liu Gang, Zhang Hong. Study on the ultrasonic extraction process of total flavonoids from the oil-cake of *descurainia sophia*[J]. Food Engineering, 2010(2): 43-47. (in Chinese)
- [14] 胡美忠,郁建平,刘思瑶,等.细胞破碎法提取草珊瑚总黄酮的工艺优化[J].贵州农业科学,2012,40(11):196-199.
Hu Meizhong, Yu Jianping, Liu Siyao, et al. Optimization of ectracton technology of total flavone from *Sarcandra glabra* by cell disruption[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2012, 40(11): 196-199. (in Chinese)
- [15] 王雪冰,赵天瑞,樊建.食用菌多糖提取技术研究概况[J].中国食用菌,2010,29(2):3-6.
Wang Xuebing, Zhao Tianrui, Fan Jian. Research on the extracting technology of edible fungus polysaccharide [J]. Edible Fungi of China, 2010, 29(2): 3-6. (in Chinese)
- [16] 刘长江,潘松,梁爽.响应曲面法优化软枣猕猴桃多糖超声辅助提取及乙醇沉淀工艺[J].食品科学,2012,33(2):2-4.
Liu Changjiang, Pan Song, Liang Shuang. Optimization of ultrasonic-assisted extraction and ethanol precipitation of polysaccharides from *Actinidia arguta* by response surface methodology[J]. Food Science, 2012, 33(02): 2-4. (in Chinese)
- [17] 杨华.采用超声波技术提取台湾种龙须菜多糖的工艺研究[J].食品科技,2008,33(9):158-161.
Yang Hua. Study on extracting polysaccharide of Taiwan gracilaria lemaneiformis by using ultrasonic [J]. Food Science and Technology, 2008, 33(9): 158-161. (in Chinese)
- [18] Xie Jianhua, Shen Mingyue, Xie Mingyong, et al. Ultrasonic assisted extraction, antimicrobial and antioxidant activities of *Cyclocarya paliurus* (Batal.) Iljinskaja polysaccharides [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 89(1): 177-184. (in Chinese)
- [19] Wang Qi, Li Hui, Chen Tingting. Yield, polysaccharides content and antioxidant properties of *Pleurotus abalonus* and *Pleurotus geesteranus* produced on asparagus straw as substrate [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 134(1): 222-226. (in Chinese)
- [20] 黎云龙,于震宇,郇海燕,等.骏枣多糖提取工艺优化及其抗氧化活性[J].食品科学,2015,36(4):45-49.
Li Yunlong, Yu Zhenyu, Gao Haiyan, et al. Optimization of extraction process and antioxidant capacity of polysaccharides from *Zizyphus jujuba* cv. Junzao [J]. Food Science, 2015, 36(4): 45-49. (in Chinese)
- [21] 郭永月,陶明焯,赵云霞,等.白玉菇多糖提取方法的比较和优化[J].南京师大学报:自然科学版,2013,36(3):87-92.
Guo Yongyue, Tao Mingxuan, Zhao Yunxia, et al. Comparison and optimization among extraction technologies of polysaccharide from *Pleurotus Nebrodensis* [J]. Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition, 2013, 36(3): 87-92. (in Chinese)
- [22] 和法涛,刘光鹏,朱风涛,等.响应面法优化热水法浸提猴头菇多糖工艺提高多糖得率[J].食品科技,2015,40(1):210-214.
He Fatao, Liu Guangpeng, Zhu Fengtao, et al. Optimization hot water extraction process of polysaccharide from *Hericium erinaceus* for improving the yield of polysaccharide by response surface methodology [J]. Food Science and Technology, 2015, 40(1): 210-214. (in Chinese)
- [23] Bezerra M A, Santelli R E, Oliveira E P, et al. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry [J]. Talanta, 2008, 76(5): 965-977. (in Chinese)
- [24] 禹国龙,叶琳,苑世婷,等.绣球菌多糖的提取与抗氧化活性研究[J].天津农业科学,2013,19(4):11-14.
Yu Guolong, Ye Lin, Yuan Shiting, et al. Extraction and antioxidant activity of a polysaccharide from *sparassis crispa* [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2013, 19(4): 11-14. (in Chinese)

[责任编辑:严海琳]