

# 金柑多糖微波辅助提取工艺优化及抑菌效果

## Optimization of microwave-assisted extraction of polysaccharide from *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle and its antibacterial effect

曾红亮<sup>1,2</sup> 黄灿灿<sup>1</sup> 常青<sup>1</sup>

ZENG Hong-liang<sup>1,2</sup> HUANG Can-can<sup>1</sup> CHANG Qing<sup>1</sup>

许文彦<sup>1</sup> 张怡<sup>1,2</sup> 郑宝东<sup>1,2</sup>

XU Wen-yan<sup>1</sup> ZHANG Yi<sup>1,2</sup> ZHENG Bao-dong<sup>1,2</sup>

(1. 福建农林大学食品科学学院, 福建 福州 350002;

2. 福建省特种淀粉品质科学与加工技术重点实验室, 福建 福州 350002)

(1. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujia 350002, China; 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Quality Science and Processing Technology in Special Starch, Fuzhou, Fujian 350002, China)

**摘要:**为了研究金柑多糖微波辅助提取的最佳工艺及其抑菌效果, 试验在考察单因素对多糖得率影响的基础上, 通过响应面法对金柑多糖微波辅助提取工艺进行优化, 并对金柑多糖抑菌效果进行研究。结果表明, 金柑多糖最佳的微波辅助提取工艺条件为: 微波功率 460 W, 微波时间 8.4 min, 液料比 38:1 (mL/g), 粒径 60 目, 在该条件下, 多糖得率为 (5.55±0.13)%, 与理论预测值基本一致。相比水提法和超声波强化法, 微波辅助法的多糖得率分别提高了 207.20% 和 33.73%。金柑多糖抑制金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌和假单胞杆菌等菌的最小抑菌浓度分别为 3.13, 50.00, 12.50, 12.50, 12.50 mg/mL。微波辅助提取法是一种高效的提取金柑多糖的方法, 所得多糖对金黄色葡萄球菌具有较好的抑制效果。

**关键词:** 金柑; 多糖; 微波辅助提取; 抑菌效果

**Abstract:** In order to investigate the optimum technology of microwave-assisted extraction of polysaccharide from *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle and its antibacterial abilities, the effects of single factors on the yield of polysaccharide were evaluated in this paper. On the basis of these single factor experiments, the extraction technology was optimized by response surface methodology, and then its antibacterial effect was studied. The results showed that the optimum technology conditions were as follows: microwave power of 460 W, microwave time of 8.4 min, ratio of water volume to raw

material weight (W/M ratio) of 38 mL/g and particle size of 60 mesh sieve. Under these conditions, the yield of polysaccharides was (5.55±0.13)%, consistent with the theoretical value. Comparing with the hot water and ultrasonic-assisted extraction method, it increased by 207.20% and 33.73%, respectively. Furthermore, the minimal inhibitory concentrations of polysaccharide against *Staphylococcus aureus* Rosenbach, *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, and *Pseudomonas* were 3.13, 50.00, 12.50, 12.50 and 12.50 mg/mL, respectively. Microwave-assisted extraction was an attractive method for extracting polysaccharide from *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle with high efficiency and the polysaccharide displayed a good antibacterial effect on *Staphylococcus aureus* Rosenbach.

**Keywords:** *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle; polysaccharide; microwave-assisted extraction; antibacterial effect

金柑 (*Fortunella margarita* (Lour.) Swingle), 也称金桔、绿桔、金弹桔、金枣, 原产于中国华南地区, 在欧洲、日本、美国、巴西、澳大利亚、南非和印度等地区有着广泛种植<sup>[1]</sup>。中国主要的金柑分布区域为浙江北仑县、江西遂川县、湖南浏阳县、广西阳朔县和融安县、福建尤溪县等<sup>[2]</sup>。其中尤溪县是中国金柑的五大产区之一, 作为“中国金柑之乡”, 已有 370 多年栽培历史<sup>[3]</sup>。据统计<sup>[4]</sup>, 2015 年尤溪县金柑种植面积为 2 647 hm<sup>2</sup>, 总产量达 4 万 t。目前, 金柑主要以鲜食为主, 加工产品较少, 主要有: 果汁、果酒、果酱和果脯等, 其深加工相对薄弱, 有关金柑中活性成分的研究较少<sup>[5-8]</sup>。

金柑中的主要活性成分之一是金柑多糖。前期研究<sup>[9]</sup>表明, 金柑多糖能够容纳水, 黏性强, 可作为一种天然的食品

**基金项目:** 福建省自然科学基金资助项目(编号: 2016J05068)

**作者简介:** 曾红亮, 男, 福建农林大学讲师, 博士。

**通讯作者:** 郑宝东(1967—), 男, 福建农林大学教授, 博士生导师。

E-mail: zbdfst@163.com

**收稿日期:** 2016-05-01

增稠剂;对于羟自由基、超氧阴离子自由基和 DPPH 自由基,具有一定的清除作用<sup>[10]</sup>;具有一定的胰脂肪酶活性抑制作用、胆酸盐结合能力等体外降血脂活性<sup>[11]</sup>。寻找高得率且具有产业化应用潜力的提取方法对其理化性质和生理活性的研究至关重要。采用一般热水浸提法提取金柑多糖,比较耗时且得率低<sup>[12]</sup>;采用酸碱溶剂提取法容易导致金柑多糖结构的破坏,不利于其功能活性和构效关系的研究<sup>[13]</sup>;微波辅助法提取多糖具有操作简单和纯度高优点,有利于后续对其进行结构和功能的研究。

目前,仅见采用热水浸提法、超声波强化法、碱溶剂提取法提取金柑多糖,多糖得率低,且可能会导致其结构的破坏<sup>[13]</sup>;而采用微波辅助法提取金柑多糖,操作简单,得率高。因此,本研究采用微波辅助法提取金柑多糖,在单因素对多糖得率影响的基础上,采用响应面法对提取工艺进行优化,并研究不同浓度金柑多糖分别对5种菌抑制作用的影响,以期对金柑多糖结构特性、功能学特性及其应用研究提供一定的科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

新鲜尤溪金柑:九成熟,由尤溪县农业局提供;

金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、假单胞杆菌:由福建农林大学食品科学学院微生物实验室提供;

无水乙醇为分析纯;

试验用水为二次蒸馏水。

### 1.2 仪器与设备

微波炉:EG823LC8-NS型,广东省佛山市美的电子科技有限公司;

植物粉碎机:XFB-400型,长沙市雨花区中诚制药机械厂;

台式低速离心机:TD4型,盐城凯特实验仪器设备有限公司;

旋转蒸发器:RE-52A型,上海亚荣生化仪器厂;

真空冷冻干燥机:FD-1A-50型,上海比昂仪器制造有限公司;

压力蒸汽灭菌器:YXQ-LS-100A型,济南捷岛分析仪器有限公司;

电热恒温真空干燥箱:DZ80型,上海南汇老港机械厂;

数显电热培养箱:HPX-9082ME型,上海博迅事业有限公司;

电子数显外径千分尺:I型,上海量具刀具厂。

### 1.3 试验方法

1.3.1 金柑粉末样品的制备 参照文献<sup>[13]</sup>。

1.3.2 提取流程

金柑粉末样品→微波辅助提取→离心→上清液→减压浓缩→醇析离心→沉淀→冻干→测定

1.3.3 多糖得率的测定 多糖得率按式(1)计算:

$$Y = \frac{m_1}{m_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

Y——多糖得率,%;

$m_1$ ——多糖质量,mg;

$m_2$ ——样品质量,mg;

#### 1.3.4 单因素试验

(1)微波功率对多糖得率的影响:取80目粒径试验样品10g,置于锥形瓶中,以30:1(mL/g)比例加入蒸馏水,分别在微波功率100,200,300,400,500,600,700W条件下,提取4min,在5000r/min条件下将提取液离心10min,将上清液在真空度为0.09MPa、温度60℃条件下,减压浓缩至原体积的1/3,加入4倍体积的80%乙醇沉降20h,离心得多糖沉淀,将沉淀在真空度小于20Pa条件下冻干20h后,得到金柑多糖粉末,称重。

(2)微波时间对多糖得率的影响:取80目粒径试验样品10g,置于锥形瓶中,以30:1(mL/g)比例加入蒸馏水,在微波功率400W条件下,分别提取2,4,6,8,10,12,14min,在5000r/min条件下将提取液离心10min,将上清液在真空度为0.09MPa、温度60℃条件下,减压浓缩至原体积的1/3,加入4倍体积的80%乙醇沉降20h,离心得多糖沉淀,将沉淀在真空度小于20Pa条件下冻干20h后,得到金柑多糖粉末,称重。

(3)液料比对多糖得率的影响:取80目粒径试验样品10g,置于锥形瓶中,分别以10:1,20:1,30:1,40:1,50:1,60:1,70:1(mL/g)比例加入蒸馏水,在微波功率400W条件下,提取8min,在5000r/min条件下将提取液离心10min,将上清液在真空度为0.09MPa、温度60℃条件下,减压浓缩至原体积的1/3,加入4倍体积的80%乙醇沉降20h,离心得多糖沉淀,将沉淀在真空度小于20Pa条件下冻干20h后,得到金柑多糖粉末,称重。

(4)粒径对多糖得率的影响:分别取粒径20,40,60,80,100目试验样品10g,置于锥形瓶中,以40:1(mL/g)比例加入蒸馏水,在微波功率400W条件下,提取8min,在5000r/min条件下将提取液离心10min,将上清液在真空度为0.09MPa、温度60℃条件下,减压浓缩至原体积的1/3,加入4倍体积的80%乙醇沉降20h,离心得多糖沉淀,将沉淀在真空度小于20Pa条件下冻干20h后,得到金柑多糖粉末,称重。

1.3.5 响应面试验 根据单因素试验结果,采用响应面法研究微波功率、微波时间、液料比和粒径对多糖得率的影响,获得微波辅助提取金柑多糖的回归方程和最佳工艺参数。

1.3.6 验证实验 根据预测的微波辅助提取金柑多糖最佳工艺条件,测定金柑多糖的实际得率,比较预测值和实际值,验证其准确性。

1.3.7 抑菌试验

(1)不同浓度多糖溶液的制备:用蒸馏水分别将金柑多糖配制成浓度为100,50,25,12.5,6.25,3.13,1.56,0.78mg/mL的溶液,备用。

(2)培养基的制备:取平板计数琼脂23.5g加热搅拌溶解于1000mL蒸馏水中,分装锥形瓶,121℃高压灭菌15~

20 min, 备用。

(3) 菌种的活化和菌液的制备: 参照文献[14]<sup>50</sup>。

(4) 抑菌试验: 准备若干牛津杯(直径 6 mm)于 121 °C 灭菌 20 min, 备用。将已灭菌的固体培养基熔化后倒入培养皿中, 待冷却凝固后, 用移液枪分别加入 1 mL 菌悬液, 用无菌涂布棒涂布均匀, 做成含菌平板。用灭菌镊子将无菌牛津杯放在培养基上, 每皿放 3 个, 每个浓度做 3 个平行。以无菌水作为对照。置于 37 °C 恒温培养箱中培养 24 h, 取出, 用游标卡尺测量抑菌圈的直径大小。试验重复 3 次。

#### 1.4 数据处理

采用 Design-Expert 8.0.6 对多糖提取数据进行处理, 并对模型进行显著性分析; 采用 DPS 9.05 对抑菌效果数据进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 响应面试验设计和结果

由单因素试验可知: 微波功率选择 400 W 为宜、微波时间选择 8 min 为宜、液料比选择 40 : 1(mL/g) 为宜和粒径选择 60 目为宜。根据单因素试验结果, 选取微波功率、微波时间、液料比和粒径为自变量, 采用中心组合设计进行 4 因素 5 水平试验, 以多糖得率为响应值, 进行响应面分析。各试验因素和水平见表 1。试验设计及结果见表 2。

### 2.2 模型的建立及显著性分析

采用 Design-Expert 软件对表 2 中的试验数据进行分析, 得到各项的显著性分析, 并建立提取模型, 分析结果见表 3。

由表 3 可知, 回归模型  $P < 0.000 1$ , 表明该回归模型达极显著水平; 在一次项中, A 和 C 对多糖得率的影响达到极显著水平, D 对多糖得率的影响达到显著水平; 在交互项中, AB、AC、AD、BD 和 CD 对多糖得率的影响达到极显著水平; 在二次项中,  $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$  和  $D^2$  对多糖得率的影响达到极显著水平; 失拟项不显著, 并且该模型的相关系数  $R^2 = 0.980 8$ , 修正相关系数  $R_{adj}^2 = 0.964 0$ , 变异系数  $C.V. = 2.937 3\%$ , 说明响应值的变化有 98.08% 来源于所选变量, 该值接近于 100%, 这表明模型可以较好地解释试验实际所得金柑多糖得率的变化。因此, 该回归模型能较好地描述各因素(微波功率、微波时间、液料比和粒径)与金柑多糖得率之间的实际关系, 可用于最佳微波辅助提取金柑多糖工艺参数的确定。

表 1 因素和水平表

Table 1 Factors and levels employed by the central composition design

水平	A 微波功率/W	B 微波时间/min	C 液料比(mL/g)	D 粒径/目
-2	200	4	20 : 1	20
-1	300	6	30 : 1	40
0	400	8	40 : 1	60
+1	500	10	50 : 1	80
+2	600	12	60 : 1	100

表 2 试验设计和结果

Table 2 Experimental design and results

编号	A	B	C	D	Y 多糖得率/%
1	-1	-1	-1	-1	4.57
2	1	-1	-1	-1	4.07
3	-1	1	-1	-1	4.41
4	1	1	-1	-1	5.05
5	-1	-1	1	-1	4.21
6	1	-1	1	-1	3.11
7	-1	1	1	-1	4.11
8	1	1	1	-1	3.85
9	-1	-1	-1	1	4.27
10	1	-1	-1	1	4.55
11	-1	1	-1	1	3.03
12	1	1	-1	1	4.85
13	-1	-1	1	1	4.49
14	1	-1	1	1	4.87
15	-1	1	1	1	3.71
16	1	1	1	1	4.93
17	-2	0	0	0	4.13
18	2	0	0	0	4.15
19	0	-2	0	0	3.86
20	0	2	0	0	4.07
21	0	0	-2	0	4.63
22	0	0	2	0	4.35
23	0	0	0	-2	3.93
24	0	0	0	2	4.01
25	0	0	0	0	5.39
26	0	0	0	0	5.33
27	0	0	0	0	5.43
28	0	0	0	0	5.61
29	0	0	0	0	5.50
30	0	0	0	0	5.62
31	0	0	0	0	5.55

在所选取的各因素水平范围内, 各因素对金柑多糖得率的影响程度依次为: 微波功率 > 液料比 > 粒径 > 微波时间。

各因素经二次多项式回归拟合后, 得到金柑多糖得率对微波功率、微波时间、液料比和粒径 4 个因素的二次多项回归方程为:

$$Y = 5.490 0 + 0.163 3A - 0.086 7C + 0.061 7D + 0.272 5AB - 0.125 0AC + 0.307 5AD - 0.195 0BD + 0.257 5CD - 0.245 6A^2 - 0.376 9B^2 - 0.245 7C^2 - 0.375 6D^2. \quad (2)$$

### 2.3 响应面图和等高线图分析

由以上方差分析结果可知, 各因素对金柑多糖得率的影响依次为:  $A > C > D > B$ 。A、B、C 和 D 二次项系数均为负值, 方程表示的抛物面开口向下有极大值点。

表 3 方差分析表<sup>†</sup>

Table 3 Table of variance analysis

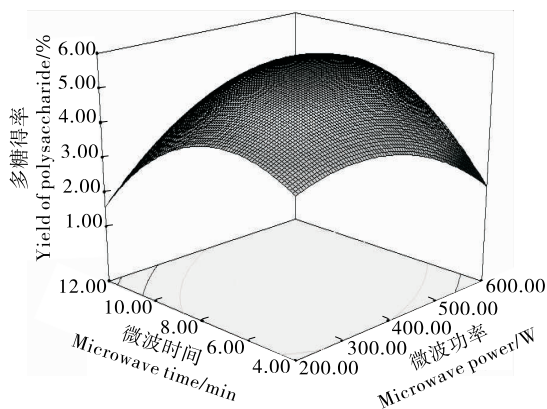
方差来源	平方和	自由度	均方差	F 值	P 值(显著水平)
回归模型	14.463 5	14	1.033 1	58.427 9	<0.000 1**
A	0.640 3	1	0.640 3	36.210 6	<0.000 1**
B	0.002 0	1	0.002 0	0.114 1	0.740 0
C	0.180 3	1	0.180 3	10.195 1	0.005 7**
D	0.091 3	1	0.091 3	5.161 6	0.037 2*
AB	1.188 1	1	1.188 1	67.193 5	<0.000 1**
AC	0.250 0	1	0.250 0	14.138 9	0.001 7**
AD	1.512 9	1	1.512 9	85.562 7	<0.000 1**
BC	0.000 1	1	0.000 1	0.005 7	0.941 0
BD	0.608 4	1	0.608 4	34.408 3	<0.000 1**
CD	1.060 9	1	1.060 9	59.999 6	<0.000 1**
A <sup>2</sup>	1.725 2	1	1.725 2	97.571 0	<0.000 1**
B <sup>2</sup>	4.061 6	1	4.061 6	229.704 9	<0.000 1**
C <sup>2</sup>	1.725 2	1	1.725 2	97.571 0	<0.000 1**
D <sup>2</sup>	4.034 7	1	4.034 7	228.183 7	<0.000 1**
残差	0.282 9	16	0.017 7		
失拟项	0.208 7	10	0.020 9	1.687 7	0.269 5
纯误差	0.074 2	6	0.012 4		
总离差	14.746 4	30			

<sup>†</sup> \* 表示在 P<0.05 检测水平上显著; \*\* 表示在 P<0.01 检测水平上显著; R<sup>2</sup>=0.980 8, R<sub>adj</sub><sup>2</sup>=0.964 0, C.V.=2.937 3%。

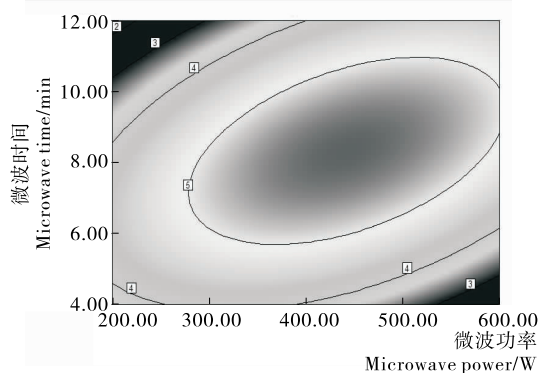
综合图 1~6 可知,微波功率和微波时间交互作用、微波功率和液料比交互作用、微波功率和粒径交互作用、微波时间和粒径交互作用、液料比和粒径交互作用对金柑多糖得率的影响最为显著,表现为曲面较陡;而微波时间和液料比交互作用对金柑多糖得率的影响不显著,表现为曲面较为平滑。这与方差分析的结果一致。在微波功率和微波时间、微波功率和液料比、微波功率和粒径交互作用中,当其他因素固定的条件下,多糖得率起初随着微波功率的增大而增大,当微波功率超过一定值时,多糖得率随着微波功率的增大而降低。这可能是刚开始随着微波功率的增大,由于微波加热的高效性,细胞破壁效果增强,有助于多糖的溶出;但当微波功率超过一定值时,多糖的结构遭到破坏,水解程度加大,多糖得率降低<sup>[15-16]</sup>。在微波时间和粒径、液料比和粒径交互作用中,当其他因素固定时,多糖得率刚开始随着粒径的减小而增大,当粒径小于一定值时,多糖得率随着粒径的减小而降低。这可能是一定大小的粒径有利于金柑粉末与溶液的充分接触,提高多糖得率;当粒径太小时,金柑粉末在水中形成粘稠状,不利于微波的提取,多糖得率降低<sup>[14]29</sup>。

2.4 工艺确定及与其他方法的比较

结合回归模型,由 Design-Expert 8.0.6 软件分析得到金柑多糖最佳的微波辅助提取工艺条件为:微波功率 462.48 W,



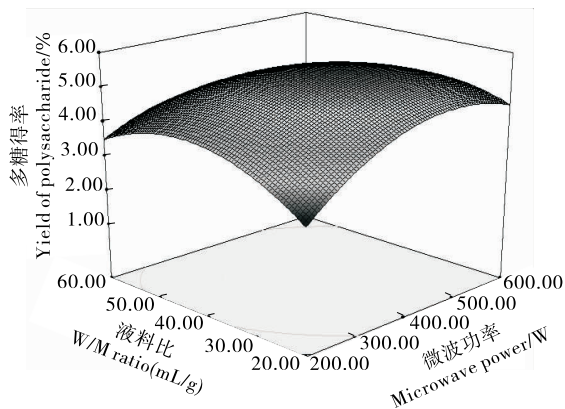
(a) 响应面图



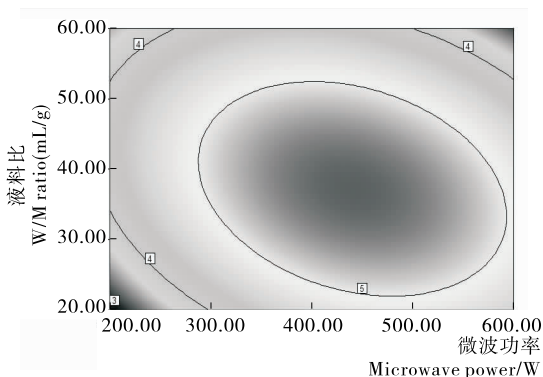
(b) 等高线图

图 1 微波功率与微波时间对多糖得率影响的响应面和等高线图

Figure 1 Response surface and contour plots of microwave power and microwave time on the yield of polysaccharide



(a) 响应面图



(b) 等高线图

图 2 微波功率与液料比对多糖得率影响的响应面和等高线图

Figure 2 Response surface and contour plots of microwave power and W/M ratio on the yield of polysaccharide

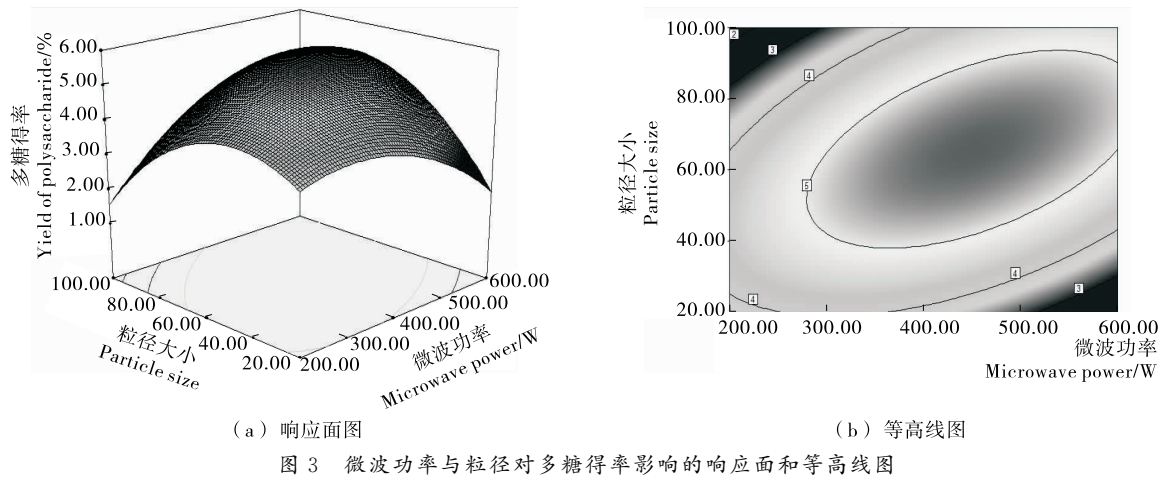


图 3 微波功率与粒径对多糖得率影响的响应面和等高线图

Figure 3 Response surface and contour plots of microwave power and particle size on the yield of polysaccharide

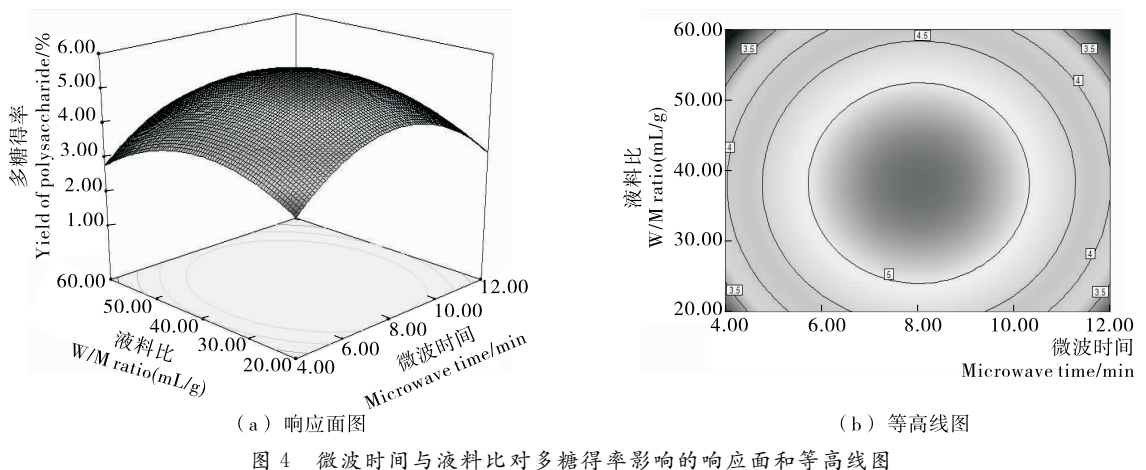


图 4 微波时间与液料比对多糖得率影响的响应面和等高线图

Figure 4 Response surface and contour plots of microwave time and W/M ratio on the yield of polysaccharide

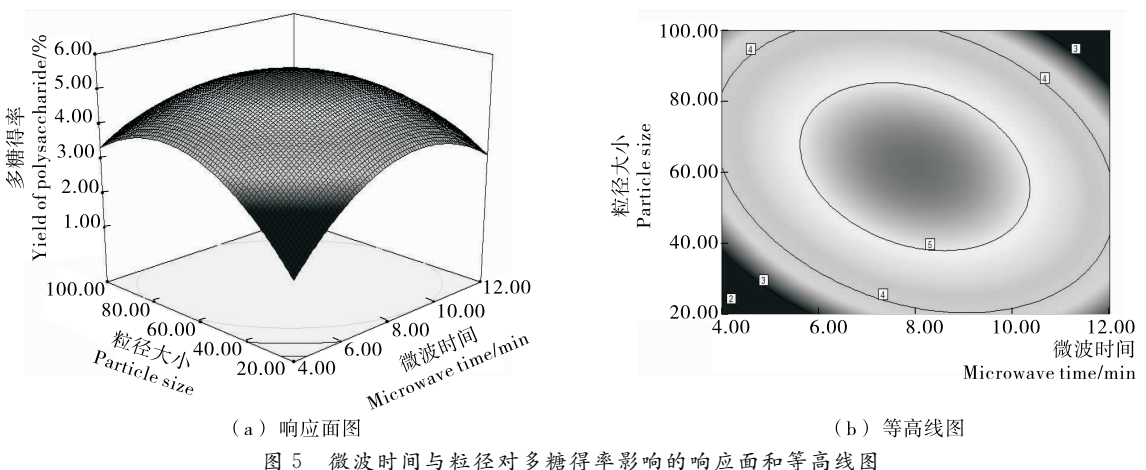


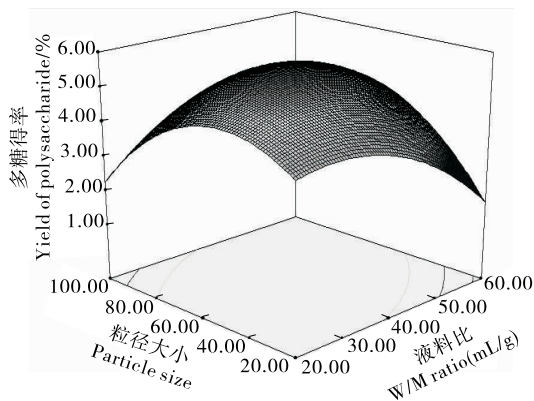
图 5 微波时间与粒径对多糖得率影响的响应面和等高线图

Figure 5 Response surface and contour plots of microwave time and particle size on the yield of polysaccharide

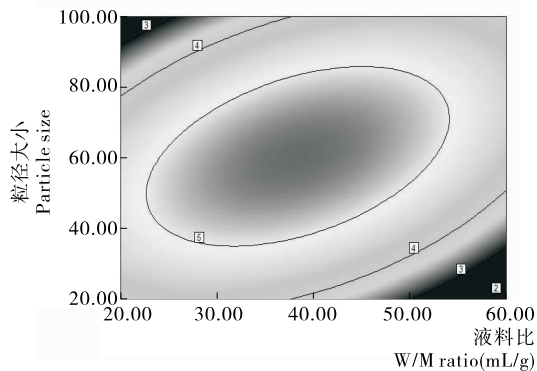
微波时间 8.36 min,液料比 37.77 : 1(mL/g),粒径 64.26 目,在此条件下,多糖得率为 5.56%。考虑到实际操作条件,将最佳工艺条件修正为:微波功率 460 W,微波时间 8.4 min,液料比 38 : 1(mL/g),粒径大小 60 目,在此条件下,采用最佳微波辅助提取工艺提取金柑多糖 3 次,多糖得率平均值为 (5.55±0.13)%,与理论预测值基本一致,这说明回归模型具有可靠性。金柑多糖实际值与预测值的线性关系见图 7,其

实际值与回归模型预测值呈现良好的线性关系,说明模型的预测值能较好地反应微波辅助提取法的实际金柑多糖得率。

前期研究表明,采用热水浸提法和超声波强化法,金柑多糖得率分别为 (1.81±0.01)%<sup>[12]</sup>和 (4.15±0.11)%<sup>[10]</sup>。不同提取方法对金柑多糖得率的影响见图 8,相比水提法和超声波强化法,采用微波辅助法提取金柑多糖,得率分别提高了 207.20%和 33.73%。采用微波辅助法提取金柑多糖,



(a) 响应面图



(b) 等高线图

图6 液料比与粒径对多糖得率影响的响应面和等高线图

Figure 6 Response surface and contour plots of W/M ratio and particle size on the yield of polysaccharide

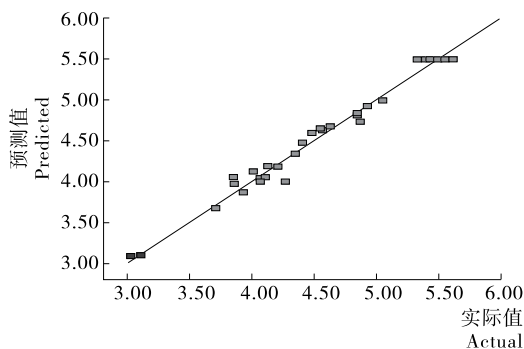


图7 实际值与预测值的线性关系图

Figure 7 Linearity plot of the predicted and actual values

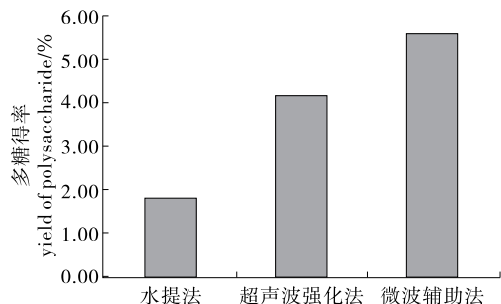


图8 不同提取方法对金柑多糖得率的影响

Figure 8 Effect of different extraction methods on the yield of polysaccharide from *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle

时间短、多糖得率高。

### 2.5 金柑多糖的抑菌效果

由表4可知,随着多糖浓度的降低,金柑多糖对于金黄色葡萄球菌的抑制作用逐渐减低,多糖浓度 6.25 mg/mL 时的抑菌作用与多糖浓度 3.13 mg/mL 时无显著差异;随着浓度的降低,金柑多糖对于沙门氏菌、大肠杆菌和枯草芽孢杆菌的抑制作用逐渐降低,且各多糖浓度之间抑菌效果差异显著;金柑多糖对假单胞杆菌的抑菌作用随着浓度的降低而降低,多糖浓度 25 mg/mL 和 12.5 mg/mL 之间抑菌作用差异不显著。金柑多糖对金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌和假单胞杆菌等菌具有抑制作用的最小抑菌浓度分别为 3.13, 50.00, 12.50, 12.50, 12.50 mg/mL。抑菌效果大小为:金黄色葡萄球菌>枯草芽孢杆菌>大肠杆菌>假单胞杆菌>沙门氏菌,其中,金柑多糖对金黄色葡萄球菌具有较好的抑制效果。

### 3 结论

金柑多糖最佳的微波辅助提取工艺参数为:微波功率 460 W,微波时间 8.4 min,液料比 38:1(mL/g),粒径 60 目,在此条件下,多糖得率为(5.55±0.13)%,与理论预测值基本一致。相比水提法和超声波强化法,采用微波辅助法提取金柑多糖,得率分别提高了 207.20%和 33.73%。这表明微波辅助提取法是一种较高效的提取金柑多糖的方法。抑菌效

表4 金柑多糖浓度对抑菌效果的影响<sup>†</sup>

Table 4 Effect of concentration on the antibacterial effect of polysaccharide

多糖浓度/ (mg · mL <sup>-1</sup> )	抑菌圈直径/mm				
	金黄色葡萄球菌	沙门氏菌	大肠杆菌	枯草芽孢杆菌	假单胞杆菌
100.00	16.08±0.43 <sup>a</sup>	12.57±0.25 <sup>a</sup>	12.75±0.51 <sup>a</sup>	11.99±0.05 <sup>a</sup>	10.54±0.17 <sup>a</sup>
50.00	14.10±0.22 <sup>b</sup>	8.80±0.27 <sup>b</sup>	11.92±0.21 <sup>b</sup>	10.12±0.25 <sup>b</sup>	9.34±0.32 <sup>b</sup>
25.00	13.03±0.12 <sup>c</sup>	ND	10.18±0.21 <sup>c</sup>	9.69±0.12 <sup>c</sup>	8.60±0.13 <sup>c</sup>
12.50	9.91±0.70 <sup>d</sup>	ND	8.41±0.12 <sup>d</sup>	8.84±0.26 <sup>d</sup>	8.01±0.56 <sup>c</sup>
6.25	8.11±0.03 <sup>e</sup>	ND	ND	ND	ND
3.13	7.89±0.09 <sup>e</sup>	ND	ND	ND	ND
1.56	ND	ND	ND	ND	ND
0.78	ND	ND	ND	ND	ND

<sup>†</sup> 同列字母不同表示差异显著(P<0.05);ND表示该浓度下无抑菌效果。

果结果表明,金柑多糖表现出了一定的抑制金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌和假单胞杆菌等菌生长的作用,其最小抑菌浓度分别为 3.10,50.00,12.50,12.50,12.50 mg/mL。金柑多糖可作为一种潜在的食品抑菌剂。微波可能会对多糖结构产生一定的影响,这与微波辅助提取工艺参数有关;而这种结构的变化与多糖生物活性(如:抑菌效果)之间的构效关系有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] ZENG Hong-liang, ZHANG Yi, LIU Jun, et al. Molar mass distribution and chain conformation of polysaccharides from *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle[J]. Chinese Journal of Structural Chemistry, 2014, 33(8): 1 245-1 252.
- [2] 周开隆,叶荫民. 中国果树志: 柑橘卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010: 126-130.
- [3] 孟鹏,郑宝东. 超高效液相色谱法快速并同时检测金柑中柠檬苦素和诺米林[J]. 中国食品学报, 2013, 13(2): 177-181.
- [4] ZENG Hong-liang, ZHANG Yi, LIN Shan, et al. Ultrasonic-microwave synergistic extraction (UMSE) and molecular weight distribution of polysaccharides from *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle [J]. Separation and Purification Technology, 2015, 144: 97-106.
- [5] 黎继烈,崔培梧,吴耀辉,等. 金橘黄酮对小鼠抗氧化作用的研究[J]. 时珍国医国药, 2009, 20(5): 1 031-1 032.
- [6] 张怡,谢加凤,曾绍校,等. 金柑籽油超声波辅助提取工艺及其理化性质的研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(2): 35-41.
- [7] 王绍引,张怡,郑宝东. 微波辅助水蒸气蒸馏法提取金柑果皮精

油及其对桔小实蝇引诱活性的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(4): 37-44.

- [8] 郑洁,赵其阳,张耀海,等. 超高效液相色谱法同时测定柑橘中主要酚酸和类黄酮物质[J]. 中国农业科学, 2014, 23: 4 706-4 717.
- [9] ZENG Hong-liang, ZHANG Yi, JIAN Ye-ye, et al. Rheological properties, molecular distribution, and microstructure of *Fortunella margarita*(Lour.) Swingle polysaccharides[J]. Journal of Food Science, 2015, 80(4): E742-E749.
- [10] ZENG Hong-liang, ZHANG Yi, ZHAO Ying-ting, et al. Extraction optimization, structure and antioxidant activities of *Fortunella margarita* Swingle polysaccharides[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 74: 232-242.
- [11] ZENG Hong-liang, MIAO Song, ZHANG Yi, et al. Isolation, preliminary structural characterization and hypolipidemic effect of polysaccharide fractions from *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 52: 126-136.
- [12] 曾红亮,卢旭,卞贞玉,等. 响应面分析法优化金柑多糖的提取工艺[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2012, 41(3): 315-319.
- [13] 曾红亮,张怡,薛雅茹,等. 响应面法优化金柑多糖碱提取工艺的研究[J]. 热带作物学报, 2015, 36(1): 1-7.
- [14] 曾红亮. 金柑多糖提取、分离纯化及抑菌抗氧化活性的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- [15] 岳春,李靖靖,方永远. 虫草多糖微波辅助提取工艺的优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 192-195.
- [16] 黄琼,丁玲. 微波协同酶法提取金针菇多糖工艺的优化[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 128-130.

### ● 欢迎订阅

2017年《中国酿造》杂志

《中国酿造》创刊于1982年,由中国商业联合会主管,中国调味品协会及北京食品研究院主办的综合性科技期刊。历次被评为中文核心期刊(2014版)、中国科技核心期刊,被中国知网、万方数据库、中文科技期刊数据库、美国《化学文摘》(CA)、美国《乌利希期刊指南》(UPD)、英国《食品科学技术文摘》(FSTA)、英国《国际农业与生物科学研究中心》(CABI)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、中国科学评价研究中心(RCCSE)数据库等全文收录。

《中国酿造》重点刊登调味品、酿酒、生物工程技术、生物化工、食品生物技术等研究方向的新工艺、新技术、新设备以及分析检测、安全法律法规及标准、综合利用、质量保障体系等方面的基础理论、应用研究及综述文章。主要栏目有:研究报告、专论综述、创新与借鉴、经验交流、分析与检测、产品开发、酿造文化、海外文摘等。

《中国酿造》为月刊,大16开,每期200页,25元/期,全年300元(免邮费)。

#### 欢迎订阅、投稿、刊登广告!

##### ● 订阅方式

直接联系北京中酿杂志社订阅:

电话:010-83152308/83152738、

010-63026114

邮箱:zgzzz@163.com

网上订阅:登陆中国酿造主页

www.chinabrewing.net.cn

● 全国各地邮政局(所)均可订阅

邮发代号 2-124

国内统一连续出版物号 CN 11-1818/TS

国际标准连续出版物号 ISSN 0254-5071

##### ● 汇款方式

银行转账:开户行:建行陶然亭支行

账户:北京中酿杂志社

账号:1100 1189 5000 5250 0191

邮局汇款:北京市西城区禄长街头条4

号《中国酿造》编辑部

邮编:100050

中文核心期刊

《食品科技》杂志社

- ◇《中国知网》全文收录
- ◇《中国学术期刊(光盘版)》全文收录
- ◇美国化学文摘(CA)收录期刊
- ◇美国食品科学技术文摘(FSTA)收录期刊
- ◇法国科技新闻文(FSTP)特约供稿
- ◇荣获中国北方优秀期刊奖
- ◇荣获第二届北方优秀期刊奖
- ◇荣获2008年度北京市新闻出版(版权)创意成果奖
- ◇荣获首届《CAJ-CD规范》执行优秀期刊奖

进一步拓宽办刊思路,着力展示食品领域的技术创新、管理创新和产品创新活动,做好创新主体之间的交流与沟通,促进科技成果转化与服务平台。拓展服务方式,与广大读者形成更广泛的互动,恭请关心《食品科技》的业界同仁一如既往的支持。

1975年创刊  
邮发代号:2-681  
ISSN 1005-9989  
CN 11-3511/TS

全年12期 25元/期

邮发代号:2-681

欢迎订阅 发布广告

联系电话:

67913893

83557685

Http://www.e-foodtech.net  
E-mail:shipinkj@vip.163.com  
blog.sina.com.cn/shipinkj  
邮编:100053 微信号:shipinkj  
地址:北京市西城区广安门内大街316号京粮古船大厦522室

