

# 姜多糖提取方法工艺优化及分析

## Optimization of polysaccharides extracted and analysis from *Zingiber officinale* rosc

廖登未 黄德春 程抒劼 曹崇江 陈贵堂

LIAO Deng-wei HUANG De-chun CHENG Shu-jie CAO Chong-jiang CHEN Gui-tang

(中国药科大学工学院, 江苏 南京 211198)

(College of Engineering, China Pharmaceutical University, Nanjing, Jiangsu 211198, China)

**摘要:**为探究提取方法对姜多糖提取效果的影响,采用热水浸提法、超声波冰浴提取法以及复合酶解法提取姜多糖,优化出各自最佳提取工艺条件,并对比多糖紫外光谱扫描以及姜渣透射电镜扫描图。结果表明:热水浸提法、超声波冰浴提取法以及复合酶解法 3 种提取工艺在最佳提取条件下得到的多糖提取率分别为  $(11.74 \pm 0.23)\%$ ,  $(7.00 \pm 0.04)\%$ ,  $(20.93 \pm 0.20)\%$ , 得率分别为  $(6.53 \pm 0.08)\%$ ,  $(2.56 \pm 0.11)\%$ ,  $(14.67 \pm 0.32)\%$ , 纯度分别为  $(86.53 \pm 0.20)\%$ ,  $(59.84 \pm 0.06)\%$ ,  $(73.59 \pm 0.19)\%$ ; 对比 3 种不同方法可知,复合酶解法姜多糖提取率和得率最高,而在纯度方面,热水浸提法优于复合酶解法和超声波冰浴提取法。结合姜渣透射电镜图发现,不同提取方法对姜细胞的破坏程度不同,从而造成多糖的提取率和多糖得率不同。

**关键词:**姜; 多糖; 热水浸提法; 超声波冰浴提取; 复合酶解

**Abstract:** The polysaccharides from *Zingiber officinale* Rosc were extracted by hot water extraction method, ultrasonic ice bath extraction method and complex enzymatic hydrolysis method. The effects of different methods on the extraction were investigated by the UV spectra image and the scanning electron microscope image of ginger residue. The results showed that the polysaccharides extraction rates of the three different extraction processes under optimal extraction conditions were  $(11.74 \pm 0.23)\%$ ,  $(7.00 \pm 0.04)\%$ , and  $(20.93 \pm 0.20)\%$ , and the yields were  $(6.53 \pm 0.08)\%$ ,  $(2.56 \pm 0.11)\%$ , and  $(14.67 \pm 0.32)\%$ , the purity was  $(86.53 \pm 0.20)\%$ ,  $(59.84 \pm 0.06)\%$ , and  $(73.59 \pm 0.19)\%$ . Comparing with three different methods, the enzymatic hydrolysis method had the highest extraction rate and yield of *Zingiber officinale* Rosc polysaccharides, but in

terms of purity, the hot water extraction method was the best. According to the TEM image of ginger residue, found different extraction methods had different degrees of damage to *Zingiber officinale* Rosc cells, resulting in different extraction rates and yields of polysaccharides.

**Keywords:** *Zingiber officinale* Rosc; polysaccharides; hot water extraction; ultrasonic ice bath extraction; complex enzyme hydrolysis

姜(*Zingiber officinale* Rosc)又称百辣云、鲜生姜、姜根等,属姜科植物,主要分布于中国四川、贵州、福建、湖北和两广等地<sup>[1]</sup>。现代工艺研究发现,姜具有抗肿瘤<sup>[2-3]</sup>、抗氧化<sup>[4-5]</sup>和抗炎止痛<sup>[6]</sup>等药理作用。此外,姜中富含多糖类物质,且姜多糖具有抗氧化<sup>[7]</sup>、消炎抑菌<sup>[8]</sup>和抗疲劳<sup>[9]</sup>等生物活性。

在多糖的提取研究中,目前多采用热水浸提法、超声波提取法、酶提取法和微波提取等<sup>[10]</sup>方法。研究表明,即使同种原料,采用不同提取方法所得的多糖,其结构、性质、单糖成分以及生物活性均有不同。比如,Zhang 等<sup>[11]</sup>在生姜多糖的研究中,采用了酸式、中性以及碱式水提法,发现 3 种不同的提取方法得到的生姜多糖具有不同的抗氧化活性;韩冬屏等<sup>[12]</sup>研究显示超声波辅助提取法所得姜多糖得率和 DPPH· 的清除能力均优于微波辅助提取和传统热水提取法的;在生姜粗、精多糖抗氧化试验中,王芸等<sup>[13]</sup>采用了水提法、超声辅助酶解法以及酶解法,得出生姜粗多糖的还原能力大小关系为:超声辅助酶解法 > 酶解法 > 水提法,而精多糖仅对 DPPH· 具有显著影响。

透射电镜具有分辨率高、放大倍数高、信息立体化等优势,近年来备受科研工作者的青睐。在不同方法提取姜多糖研究中,目前尚未有文献报道利用透射电镜观察姜渣细胞破损情况,分析影响姜多糖得率的试验研究。因此,本研究拟采用热水浸提法、超声波冰浴提取法、复合酶提取法 3 种方法对姜多糖进行分离提取,利用透射电镜和紫外-可见分光光度计对姜渣和姜多糖进行扫描分析,对比不同提取方法

**基金项目:**国家重点研发计划“现代食品加工及粮食收储运技术与装备”重点专项(编号:2017YFD0400203)

**作者简介:**廖登未,男,中国药科大学在读硕士研究生。

**通信作者:**陈贵堂(1977—),男,中国药科大学副教授,博士。

E-mail: caucgt@163.com

**收稿日期:**2018-04-01

对姜多糖提取效果的影响,拟为进一步深入研究不同方法所得姜多糖的结构、物化特性以及生物学活性提供试验基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

干姜片:产自云南,亳州市常富药业有限公司,采用50℃减压干燥,粉碎过筛60目备用;

纤维素酶(1 800 U/mg)、果胶酶(1 000 U/mg):上海金穗生物科技有限公司;

木瓜蛋白酶:3 U/mg,阿拉丁试剂(上海)有限公司;

其它试剂均为国产分析纯试剂;

摇摆式高速中药粉碎机:DFY-500型,温岭市林大机械有限公司;

紫外—可见分光光度计:TU-1901型,北京普析通用仪器有限公司;

离心机:LXJ-IIIB型,上海安亭科学仪器厂;

超声波细胞粉碎机:JY-92IIN型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

真空冷冻干燥机:PD-1C-50型,北京博医康实验仪器有限公司;

分析天平:ATX224型,日本岛津仪器公司;

旋转蒸发器:RE-5205型,上海亚荣生化仪器厂;

透射电镜:HT7700型,日本日立公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 提取工艺流程

姜粉→提取(热水浸提、超声波冰浴提取、复合酶酶解)→离心(4 000 r/min,20 min)→过滤,取滤液,50℃旋蒸至原滤液1/4→sevag试剂(正丁醇与氯仿体积比4:1)除蛋白→加入4倍体积无水乙醇静置→离心(4 000 r/min,10 min),得沉淀→丙酮、无水乙醇、乙醚各洗涤2次→减压干燥,40℃→多糖成品

#### 1.2.2 热水浸提法

(1) 单因素试验:探究热水浸提时间、温度、液料比对姜多糖提取率的影响。固定提取时间2 h,提取温度70℃,设置液料比分别为10:1,15:1,20:1,25:1,30:1,35:1(mL/g);固定提取时间2 h,液料比20:1(mL/g),设置提取温度分别为50,60,70,80,90,100℃;固定提取温度90℃,液料比20:1(mL/g),设置提取时间分别为1,2,3,4,5,6 h。

(2) 正交试验设计:在单因素试验的基础上,以多糖提取率为考察对象,采用正交试验分析,优化姜多糖最优提取工艺参数。

#### 1.2.3 超声波冰浴提取法

(1) 单因素试验:探究超声时间、功率、液料比对姜多糖提取率的影响。固定液料比20:1(mL/g),超声功率200 W,设定超声时间分别为20,25,30,35,40,45 min;固定液料比20:1(mL/g),超声时间35 min,设定超声功率分别为100,200,300,400,500,600 W;固定超声时间35 min,超声功率500 W,设定液料比分别为10:1,15:1,20:1,25:1,30:1,35:1(mL/g)。

(2) 正交试验设计:在单因素试验的基础上,以多糖提取率为检测指标,采用正交试验分析,优化姜多糖最优提取工艺参数。

#### 1.2.4 复合酶解法

(1) 单因素试验:在纤维素酶用量63 000 U/g·底物,果胶酶用量20 000 U/g·底物,木瓜蛋白酶用量62.5 U/g·底物条件下,探究酶解条件对姜多糖提取效果的影响。固定酶解时间2 h,酶解温度50℃,pH 5.0,设定液料比分别为15:1,20:1,25:1,30:1,35:1,40:1(mL/g);在酶解时间2 h,酶解温度50℃,液料比25:1(mL/g)条件下,设定pH分别为3.0,4.0,5.0,6.0,7.0,8.0;固定酶解时间2 h,液料比25:1(mL/g),pH 6.0,设定酶解温度分别为30,40,50,60,70,80℃;固定液料比25:1(mL/g),pH 6.0,酶解温度50℃,设定酶解时间分别为1.0,1.5,2.0,2.5,3.0,3.5 h。

(2) 正交试验设计:在单因素试验的基础上,以多糖提取率为考察对象,采用正交试验分析,优化姜多糖最优提取工艺参数。

1.2.5 多糖及蛋白含量测定 根据文献[14],采用苯酚—硫酸法测定多糖含量,考马斯亮蓝法测定蛋白含量,并对计算方法进行如下修改:

(1) 多糖提取率:按式(1)计算。

$$R_1 = \frac{c_1 \times V}{m} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$R_1$ ——多糖提取率,%;

$c_1$ ——提取液中多糖浓度,g/mL;

$V$ ——提取液体积,mL;

$m$ ——原料质量,g。

(2) 多糖得率:按式(2)计算。

$$R_2 = \frac{m_1}{m} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$R_2$ ——多糖得率,%;

$m_1$ ——多糖成品质量,g;

$m$ ——原料质量,g。

(3) 蛋白含量:按式(3)计算。

$$R_3 = \frac{c_2 \times V}{m} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$R_3$ ——蛋白含量,%;

$c_2$ ——提取液中蛋白浓度,g/mL;

$V$ ——提取液体积,mL;

$m$ ——原料质量,g。

1.2.6 多糖紫外光谱扫描 将样品配成1.0 mg/mL的多糖溶液,在波长200~360 nm内进行光谱扫描,检测260,280 nm处是否有核酸和蛋白质的特征吸收峰<sup>[13]</sup>。

1.2.7 姜渣透射电镜观察 收集经3种不同方法提取后的姜提取残渣,冻干,精确称量10.0 mg冻干粉和100 mL无水乙醇均匀混合。选用300目的高质量铜网,用镊子小心取出

铜网,将膜面朝上,并轻放于滤纸上,用移液枪取 20  $\mu\text{L}$  待测液滴于铜网上,待其自然风干。采用透射电镜,在 100 kV 加速电压,线分辨率 0.14 nm 条件下观察细胞壁破碎情况。

1.2.8 统计数据分析 试验数据采用(平均值 $\pm$ 标准偏差)表示,即( $\bar{x} \pm s$ )。采用 spss 19.0 数据统计软件进行单因素方差分析, $P < 0.05$  表示具有显著性差异, $P < 0.01$  表示具有极显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 热水浸提法

2.1.1 热水浸提法正交试验因素水平设计 考察液料比、提取温度、提取时间对姜多糖提取的影响,根据单因素试验结果,建立三因素三水平正交试验因素水平,见表 1。

表 1 热水浸提法正交试验因素设计水平表

Table 1 Hot water extraction orthogonal test factor design level table

水平	A 液料比(mL/g)	B 提取温度/ $^{\circ}\text{C}$	C 提取时间/h
1	15 : 1	80	2
2	20 : 1	90	3
3	25 : 1	100	4

2.1.2 正交试验结果及方差分析 热水浸提法提取姜多糖的正交试验结果见表 2。通过分析可知,影响姜多糖提取率主次因素依次为  $B > A > C$ ,最优水平组合为  $A_2 B_3 C_3$ ,即液料比 20 : 1 (mL/g),提取温度 100  $^{\circ}\text{C}$ ,提取时间 4 h。由表 3 可知,液料比、温度、时间均对姜多糖的提取有显著性影响( $P < 0.05$ ),且温度具有极显著性影响( $P < 0.01$ ),3 个因素影响大小顺序与正交试验结果相符。在最优试验条件下进行 3 组平行实验验证,姜多糖的提取率为(11.74 $\pm$ 0.23)%,高于正交试验中 9 个试验组,可见,该正交试验结果可靠。

表 2 热水浸提法提取姜多糖正交试验结果分析

Table 2 Orthogonal experimental results analysis of *Zingiber officinale* Rosc polysaccharides extraction with hot water extraction ( $n = 3$ )

序号	A	B	C	提取率/%
1	1	1	1	5.79 $\pm$ 0.02
2	1	2	2	6.94 $\pm$ 0.08
3	1	3	3	9.44 $\pm$ 0.01
4	2	1	2	7.51 $\pm$ 0.03
5	2	2	3	8.79 $\pm$ 0.02
6	2	3	1	9.55 $\pm$ 0.06
7	3	1	3	7.97 $\pm$ 0.00
8	3	2	1	7.31 $\pm$ 0.10
9	3	3	2	10.28 $\pm$ 0.04
$K_1$	22.17	21.27	22.65	
$K_2$	25.85	23.04	24.73	
$K_3$	25.56	29.27	26.20	
R	3.68	8.00	3.55	

表 3 热水浸提法正交试验方差分析表<sup>†</sup>

Table 3 Analysis of variance of orthogonal test for hot water extraction

源	III 型平方和	自由度	均方	F	P 值
校正模型	16.691 <sup>a</sup>	6	2.782	88.035	0.011
截距	601.230	1	601.230	19 026.278	0.000
A	2.777	2	1.389	43.944	0.022
B	11.815	2	5.908	186.950	0.005
C	2.099	2	1.049	33.210	0.029
误差	0.063	2	0.032		
总计	617.985	9			
校正的总计	16.755	8			

<sup>†</sup>  $R^2 = 0.996 (R_{adj}^2 = 0.985)$ 。

### 2.2 超声波冰浴提取法

2.2.1 超声波冰浴提取法正交试验因素水平设计 考察超声时间、超声功率和液料比对姜多糖提取的影响,根据单因素试验结果,建立三因素三水平正交试验因素水平,见表 4。

表 4 超声波冰浴提取法正交试验因素设计水平表

Table 4 Ultrasonic ice bath extraction orthogonal test factor design level table

水平	A 超声时间/min	B 超声功率/W	C 液料比(mL/g)
1	30	400	15 : 1
2	35	500	20 : 1
3	40	600	25 : 1

2.2.2 正交试验结果及方差分析 超声波冰浴提取法提取姜多糖的正交试验结果见表 5。通过分析可知,影响超声提取姜多糖的工艺顺序: $C > B > A$ ,且最佳提取工艺条件为  $A_1 B_2 C_3$ ,即超声时间 30 min、超声功率 500 W、液料比 25 : 1 (mL/g)。由表 6 可知,超声时间,超声功率以及液料比均对姜多糖的提取有显著性影响( $P < 0.05$ ),且 3 个因素影响大小顺序与正交试验结果相符。对最优试验条件进行 3 组平行实验验证,此时姜多糖的提取率为(7.00 $\pm$ 0.04)%,高于正交试验中 9 个试验组,表明正交试验方案设计稳定。

### 2.3 复合酶提取法

2.3.1 复合酶酶解条件正交试验因素水平设计 考察液料比、pH 值、酶解温度和酶解时间对姜多糖提取的影响,根据单因素试验结果,建立四因素三水平正交试验因素水平,见表 7。

2.3.2 正交试验结果及方差分析 由表 8 可知,影响复合酶提取姜多糖的工艺顺序为  $C > B > A > D$ ,且最优提取工艺为  $A_1 B_2 C_2 D_3$ ,即液料比 25 : 1 (mL/g)、酶解时间 2.0 h、酶解温度 40  $^{\circ}\text{C}$  和 pH 值 7.0。由表 9 可知,温度、时间、液料比和 pH 值均对多糖提取率有极显著性影响( $P < 0.01$ )。在最优工艺条件下进行 3 组平行实验进行验证,提取液中姜多糖的提取率为(20.93 $\pm$ 0.20)%,结果远高于 9 个正交试验组结果,可见该正交试验结果可靠。

2.4 多糖得率、纯度及蛋白质含量

3 种方法提取姜多糖的多糖得率、纯度及蛋白质含量见表 10。由表 10 可知,复合酶解法得到的姜多糖得率远高于热水浸提法和超声波冰浴提取法的;而在纯度方面,热水浸提法相对优于超声波冰浴提取法和复合酶解法。

2.5 多糖紫外光谱扫描

对 3 种不同提取方法得到的姜多糖进行紫外光谱扫描,如图 1 所示,采用 Sevag 法除蛋白后,姜多糖溶液在 260,

280 nm 处均未出现明显的特征吸收峰,从而进一步证明 sevag 法能有效去除姜多糖中的蛋白。

2.6 透射电镜扫描

对比分析不同方法提取多糖剩余姜渣的透射电镜图(图 2)可知,结合姜渣透射电镜图,发现经过热水浸提后,姜细胞出现了较明显的破损,有利于姜多糖溶出;复合酶解在破坏细胞壁结构后,改变了细胞通透性,使得细胞中其他水

表 5 超声波冰浴提取法提取姜多糖正交试验设计与结果分析

Table 5 Ultrasonic ice bath extraction extraction of *Zingiber officinale* Rosc polysaccharides orthogonal test design and results analysis (n=3)

序号	A	B	C	提取率/%
1	1	1	1	5.54±0.05
2	1	2	2	6.36±0.04
3	1	3	3	6.29±0.01
4	2	1	2	6.08±0.05
5	2	2	3	6.57±0.08
6	2	3	1	5.32±0.01
7	3	1	3	5.87±0.00
8	3	2	1	5.46±0.07
9	3	3	2	5.56±0.01
K <sub>1</sub>	18.19	17.49	16.32	
K <sub>2</sub>	17.97	18.39	18.00	
K <sub>3</sub>	16.89	17.17	18.73	
R	1.30	0.90	2.41	

表 6 超声波冰浴提取法正交试验方差分析表<sup>†</sup>

Table 6 Ultrasonic ice bath extraction orthogonal test analysis of variance table

源	III 型平方和	自由度	均方	F	P 值
校正模型	1.608 <sup>a</sup>	6	0.268	40.735	0.024
截距	312.700	1	312.700	47 538.894	0.000
A	0.323	2	0.161	24.534	0.039
B	0.267	2	0.133	20.277	0.047
C	1.018	2	0.509	77.394	0.013
误差	0.013	2	0.007		
总计	314.321	9			
校正的总计	1.621	8			

<sup>†</sup> R<sup>2</sup>=0.992(R<sub>adj</sub><sup>2</sup>=0.968)。

表 7 复合酶解条件正交试验因素设计水平表

Table 7 Multi-enzymatic enzyme conditions orthogonal test factor design level table

水平	A 液料比(mL/g)	B pH 值	C 酶解温度/°C	D 酶解时间/h
1	20 : 1	5.0	40	1.5
2	25 : 1	6.0	50	2.0
3	30 : 1	7.0	60	2.5

表 8 复合酶解提取姜多糖正交试验设计与结果分析

Table 8 Orthogonal experimental design and results analysis of extracting *Zingiber officinale* Rosc polysaccharides by complex enzymatic hydrolysis (n=3)

序号	A	B	C 温度	D 时间	提取率/%
1	1	1	1	1	15.69±0.02
2	1	2	2	2	18.80±0.08
3	1	3	3	3	18.02±0.12
4	2	1	2	3	17.02±0.11
5	2	2	3	1	17.71±0.09
6	2	3	1	2	15.21±0.03
7	3	1	3	2	16.08±0.06
8	3	2	1	3	16.84±0.15
9	3	3	2	1	16.60±0.01
K <sub>1</sub>	52.51	48.79	47.74	50.00	
K <sub>2</sub>	49.94	53.35	52.42	50.09	
K <sub>3</sub>	49.52	49.83	51.82	51.88	
R	2.99	4.56	4.68	1.79	

表 9 复合酶解法正交试验方差分析表<sup>†</sup>

Table 9 Complex enzymatic method orthogonal test variance analysis table

源	III 型平方和	自由度	均方	F	P 值
校正模型	32.166 <sup>a</sup>	8	4.021	469.753	0.000
截距	7 700.996	1	7 700.996	899 726.872	0.000
A	5.340	2	2.670	311.930	0.000
B	11.566	2	5.783	675.642	0.000
C	13.041	2	6.520	761.806	0.000
D	2.219	2	1.110	129.633	0.000
误差	0.154	18	0.009		
总计	7 733.316	27			
校正的总计	32.320	26			

<sup>†</sup> R<sup>2</sup>=0.995(R<sub>adj</sub><sup>2</sup>=0.993)。

表 10 多糖得率、纯度及蛋白质含量

Table 10 Polysaccharides yield, purity and protein content (n=3) %

提取方法	得率	纯度	蛋白含量
热水浸提	6.53±0.08	86.53±0.20	0.14±0.00
超声波冰浴提取	2.56±0.11	59.84±0.06	0.40±0.01
复合酶解	14.67±0.32	73.59±0.19	0.47±0.01

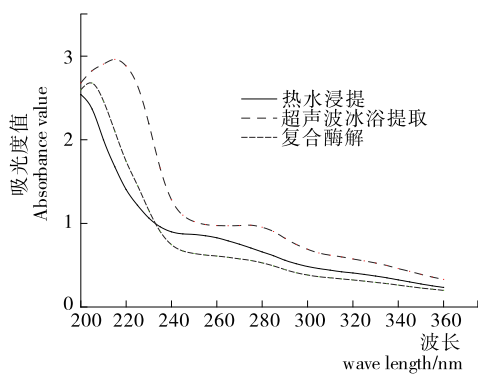


图 1 多糖紫外光谱扫描结果

Figure 1 UV spectral scanning results of polysaccharides

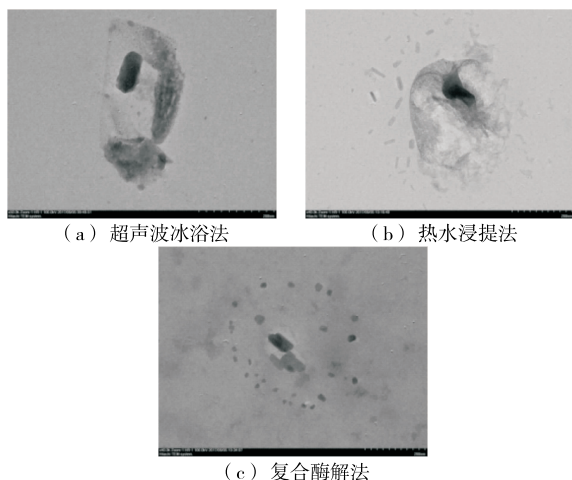


图 2 不同方法提取多糖剩余姜渣透射电镜扫描结果图

Figure 2 TEM scanning results of residual *Zingiber officinale* Rosc residue extracted by different methods

溶性物质和多糖一同溶出,从而降低了多糖纯度;超声波提取的原理是利用超声空化,使多糖更易溶于溶剂,而试验中利用超声波提取的姜多糖得率和纯度较另 2 种方法低,其原因主要是采用了冰浴提取法,降低了超声波对细胞的破坏,且低温不利于姜多糖溶出<sup>[15]</sup>,其他水溶性物质,如姜酚等在低温环境中溶解度高于多糖<sup>[16]</sup>,而低温能减少多糖生物活性损失。

### 3 结论

本试验利用透射电镜扫描姜渣,试验结果表明,不同提取方法对姜细胞的破坏有明显的差异性,从而造成多糖的溶出不同。对比分析 3 种不同工艺提取的姜多糖,得出复合酶解法姜多糖得率最高,为 $(14.67 \pm 0.32)\%$ ;而在多糖纯度方面,热水浸提法相对另外 2 种提取方法更好,可达 $(86.53 \pm 0.20)\%$ 。经过 sevag 法除蛋白后,3 种姜多糖中蛋白含量均低于 $0.5\%$ ,远低于文献<sup>[12]</sup>报道。

本试验中采用超声波冰浴提取法,姜多糖得率较低,且杂质较多。近年来超声波与酶解法协同提取法<sup>[17]</sup>得到广泛关注,后续可利用超声波-酶解协同提取姜多糖,同时对比分析 2 种提取方法在得率、纯度以及生物活性等方面的差异。

### 参考文献

- [1] 张理, 余成浩, 彭成. 川产道地中药材干姜与生姜的研究进展[J]. 中药与临床, 2012, 3(6): 56-58.
- [2] HEMALATHA K L, PRINCE P. Anti-inflammatory and anti-thrombotic effects of zingerone in a rat model of myocardial infarction[J]. European Journal of Pharmacology, 2016, 791(15): 595-602.
- [3] 贾晓娟. 6-姜烯酚对人卵巢癌 SKOV-3 和 A2780 细胞生长和促炎因子表达的抑制作用[D]. 成都: 成都中医药大学, 2015: 33-36.
- [4] AN Ke-jing, ZHAO Dan-dan, XIAO Geng-sheng, et al. Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure[J]. Food Chemistry, 2016, 197(part B): 1 292-1 300.
- [5] GAN Zhi-lin, LIANG Zheng, CHEN Xiao-song, et al. Separation and preparation of 6-gingerol from molecular distillation residue of Yunnan ginger rhizomes by high-speed counter-current chromatography and the antioxidant activity of ginger oils in vitro[J]. Journal of Chromatography B, 2016(1 011): 99-107.
- [6] HSIANG Chien-yun, CHENG Hui-man, HO Tin-yun, et al. Ginger and zingerone ameliorate lipopolysaccharide-induced acute systemic inflammation in mice, assessed by nuclear factor- $\kappa$ B bioluminescent imaging[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(26): 6 051-6 058.
- [7] 赵文竹, 于志鹏, 励建荣, 等. 生姜多糖类物质的提取及抗氧化活性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(4): 1 357-1 362.
- [8] GAO De-min, ZHANG Ying-ying. Comparative antibacterial activities of crude polysaccharides and flavonoids from *Zingiber officinale* and their extraction[J]. Asian Journal of Traditional Medicines, 2010, 5(6): 235-238.
- [9] 夏树林, 吴庆松. 生姜多糖的提取及其抗疲劳作用[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(4): 240-242.
- [10] 龚斌, 何陵玲, 谢建华, 等. 苦瓜多糖的提取、结构及生物活性研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(21): 279-283.
- [11] ZHANG Zhong-shan, WANG Xiao-mei, ZHANG Jing-jing, et al. Potential antioxidant activities in vitro of polysaccharides extracted from ginger (*Zingiber officinale*)[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 86(2): 448-452.
- [12] 韩冬屏, 吴振, 杨勇, 等. 不同提取方式对生姜多糖化学组成及其抗氧化活性的影响[J]. 中国调味品, 2014, 39(8): 12-15.
- [13] 王芸, 位思清, 唐晓珍, 等. 不同方式提取的生姜粗、精多糖体外抗氧化研究[J]. 中国调味品, 2018, 43(3): 9-13.
- [14] 柴洋洋. 槲寄生多糖分离纯化及对肝细胞 HepG2 增殖和凋亡的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016: 13-14.
- [15] 方伟斐, 孔梦晓, 张忠山, 等. 生姜多糖理化性质及体外活性的检测[J]. 中国调味品, 2011, 9(36): 94-96.
- [16] 程轩轩, 孟江, 卢国勇, 等. 真空冷冻干燥法和自然干燥法对干姜中多糖和姜酚类成分的影响[J]. 广东药学院学报, 2011, 27(3): 264-266.
- [17] 苑子涵, 崔佳燕, 郑丹婷, 等. 超声波与酶解法协同提取天然产物中多糖类化合物的研究[J]. 机电信息, 2016(8): 38-44.