

# 山药中多酚的提取及其对亚硝酸盐的清除作用

李宁宁, 马占玲\*, 陈 思, 励建荣\*

(渤海大学食品科学研究院, 辽宁省食品安全重点实验室, 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 锦州 121013)

**摘 要:** **目的** 确立山药多酚提取的最佳条件, 用以清除食品中的亚硝酸盐。**方法** 通过单因素和正交实验法研究山药中多酚的提取参数, 以多酚提取率为指标, 研究提取温度、提取时间、乙醇体积分数和料液比对多酚提取率的影响。同时采用大孔树脂 AB-8 对粗提液进行纯化, 并将山药多酚的粗提取液和纯化液分别作用于等量的亚硝酸盐, 比较其清除效果。**结果** 多酚提取最佳优化条件为: 提取温度为 80 °C、提取时间为 100 min、乙醇的体积分数为 40%、料液比 1:20。在此条件下山药多酚的提取率为 0.1834%。经过大孔树脂 AB-8 纯化后, 溶液中多酚的含量为 173.38 μg/mL, 与粗提液相比提高了 51.57%。多酚粗提液和纯化液对亚硝酸盐的清除率分别是 56.41%和 52.53%。**结论** 大孔树脂 AB-8 能有效提高多酚的提取含量, 多酚提取液对亚硝酸盐的清除作用明显。

**关键词:** 山药; 多酚; 纯化; 亚硝酸盐

## Extraction of polyphenols in yam and its effect on the scavenging of nitrite

LI Ning-Ning, MA Zhan-Ling\*, CHEN Si, LI Jian-Rong\*

(Research Institute of Food Science, Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning Province, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish the best condition of yam polyphenols extraction so as to remove nitrite in food. **Methods** Extraction technological parameters of polyphenols in yam were studied with the method of single factor experiment and orthogonal test, according to polyphenols extraction yield, and the factor conditions including extraction temperature, extraction time, ethanol volume fraction and the material liquid ratio for extraction of polyphenols from yam were studied. Meanwhile, AB-8 macroporous resin was used for purification of crude extract, and then the crude extract and purified solution of yam polyphenols were respectively applied to the same amount of nitrite to compare the removal effect. **Results** The optimization of polyphenols extraction conditions were as follows: the temperature was 80 °C, the extraction time was 100 min, the volume fraction of ethanol was 40% and the material liquid was 1:20. Under the optimum extraction conditions, the extraction rate of total polyphenols was up to

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD29B06)、辽宁省食品安全重点实验室开放课题(LNSAKF2011024)

**Fund:** Supported by the National Key Technologies R&D Program of China During the 12th Five-Year Plan Period (2012BAD29B06) and the Project of Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province Research Fund (LNSAKF2011024)

\*通讯作者: 马占玲, 教授, 主要研究方向为食品及精细化学品检验。E-mail: 13898355801@sina.com

励建荣, 教授, 主要研究方向为水产品贮藏加工、食品安全。E-mail: lijr6491@163.com

\*Corresponding author: MA Zhan-Ling, Professor, Food Science Research Institute of Bohai University, No.19, Keji Road, Songshan District, Jinzhou 121013, China. E-mail: 13898355801@sina.com

LI Jian-Rong, Professor, Food Science Research Institute of Bohai University, No.19, Keji Road, Songshan District, Jinzhou 121013, China. E-mail: lijr6491@163.com

0.1834%。After purification by macroporous resin AB-8, the content of polyphenols in the solution was 173.38  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , which was increased by 51.57%. The same amount of polyphenols crude extract and purified solution were applied to the same amount of nitrite, respectively, the removal rate were 56.41% and 52.53%. **Conclusion** The content of polyphenols is increased effectively by AB-8 macroporous resin, and the scavenging effect of polyphenols on nitrite is obvious.

**KEY WORDS:** yam; polyphenols; purification; nitrite

## 1 引言

山药是山中之药,也是食中之药,是人们最早食用的植物作物之一,属于薯蓣科植物的干燥根茎<sup>[1]</sup>。山药能降脂、抗肿瘤、治疗神经衰弱和肾虚等病症,还能显著降低机体的酶活性,延缓机体衰老、治疗伤寒及妇女病等<sup>[2,3]</sup>。山药中含有丰富的营养物质以及多酚类、黄酮类、多糖等抗氧化活性物质<sup>[4]</sup>。植物多酚是植物体内存在的一类天然多酚抗氧化剂,通常不是指某个多酚单体,而是单宁及相关化合物和聚萜烷醇类化合物的总称<sup>[5]</sup>。酚类化合物的分子结构中有多个酚性羟基,具有较强的抗氧化和清除自由基的能力<sup>[6,7]</sup>。

亚硝酸盐在食品生产中,常用作食品添加剂,具有发色、抑菌等作用,同时一些食物在储存过程中也会产生亚硝酸盐。亚硝酸盐不但本身具有一定的毒性,在特定的条件下还会变成致癌物质-亚硝胺<sup>[8,9]</sup>。因此研究食品中亚硝酸盐的清除方法具有重要的意义。亚硝酸盐的清除方法有物理清除、化学清除和微生物清除。物理清除常用的方法就是用自来水清洗或者自来水浸泡,潘华英等<sup>[10]</sup>分别把大虾干用蒸馏水和食盐水浸泡,与未处理的大虾干样品比较,清除率分别为 83.40%和 87.10%。化学清除是利用氧化还原反应,在样品中加入适量的抗氧化试剂。抗坏血酸和丁羟基茴香醚是常用的抗氧化剂,张志国等<sup>[11]</sup>研究了泡制香椿中亚硝酸盐的变化规律,加入 0.03%抗坏血酸后亚硝酸盐明显降低。微生物清除法主要应用在腌制品生产中接种不同微生物对亚硝酸盐进行清除,游刚等<sup>[12]</sup>在腌制鱼肉中添加复合乳酸菌与非添加组比较,经过检测添加复合乳酸菌组的亚硝酸盐质量分数为 $(0.10\pm 0.04)$  mg/kg,非添加组为 $(0.80\pm 0.10)$  mg/kg,这表明乳酸菌能有效降低腌制鱼中的亚硝酸盐。

天然抗氧化物以其安全、防腐和抗氧化<sup>[13,14]</sup>作用成为人们研究的热点,本实验主要采用有机溶剂从山药中提取多酚类物质用来去除食品中的亚硝酸盐。由于多酚上的多个羟基一方面能与蛋白质结合,另一方面可以与金属离子发生螯合作用,所以多酚能抑制硝酸盐还原酶的活性,阻止其生成亚硝酸盐<sup>[15,16]</sup>。亚硝酸盐既具有氧化性又有还原性,通常表现为氧化性,多酚物质具有还原性,可以与其发生氧化还原反应<sup>[17]</sup>,进而清除亚硝酸盐。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与试剂

亚硝酸钠、对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺、没食子酸、硼砂(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);福林酚试剂(北京索莱宝科技有限公司);乙醇(纯度 98%,天津市致远化学试剂有限公司);AB-8 大孔树脂(东鸿化工有限公司);

山药、咸鱼均购自大润发超市。

### 2.2 仪器与设备

DK-80 电热恒温水箱(上海精宏实验仪器设备有限公司);UV-1801 紫外-可见分光光度计(北京瑞丽分析仪器有限公司);多功能组织搅碎机(杭州永和电器有限公司);RE-2000A 旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂);HL-2S(上海青浦沪西仪器厂)。

### 2.3 实验方法

#### 2.3.1 多酚的提取

将山药用清水洗净,切成小段,在沸水中放置 3 min,以钝化多酚氧化酶,再将山药切成薄片放在真空干燥箱内,80  $^{\circ}\text{C}$ 干燥。接着用搅碎机打成粉状,取一定量的山药粉,按照设定的条件提取。用纱布过滤反应的废渣,再用滤纸过滤,减压旋蒸,保留滤液。采用福林酚法<sup>[18]</sup>测定山药中多酚的含量。

#### 2.3.2 多酚提取率影响因素的考察

首先采用单因素法分别考察了提取温度、提取时间、乙醇体积分数和料液比对山药多酚提取率的影响。然后在单因素实验的基础上,每个因素设置 4 个水平,设计  $L_{16}(4^5)$  正交实验表,从而确定最佳提取条件。

#### 2.3.3 多酚纯化<sup>[19]</sup>

采用经过预处理的 AB-8 大孔树脂做吸附剂,70%乙醇作为洗脱液,控制洗脱液的流速为 2 mL/min。收集纯化后的多酚提取液,备用。

#### 2.3.4 亚硝酸盐清除

取 1 mL 5  $\mu\text{g}/\text{mL}$  的亚硝酸钠 2 份,分别置于 25 mL 比色管中,向其中的一个试管中加入一定量的山药纯化液,另一个作对比,以蒸馏水作参比,采用盐酸萘乙二胺法测定<sup>[20]</sup>。对比组的吸光度为  $A_0$ ,加入山药纯化液的为  $A_1$ ,按

下式计算清除率:  $\text{清除率} = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100\%$ 。

### 2.3.5 样品处理及清除测定

将咸鱼样品用组织绞碎机绞碎, 称取 3 份 10 g 左右的样品, 1 份不作处理, 另 2 份分别加入多酚粗提取液和纯化液, 在  $\text{pH}=2.2$ 、 $60\text{ }^\circ\text{C}$  水浴条件下反应 30 min, 取出后蒸馏水冲洗表面的提取液, 用滤纸吸干。采用盐酸萘乙二胺法测定其亚硝酸盐含量, 计算清除率。

## 3 结果与分析

### 3.1 多酚标准曲线绘制

分别移取  $20\text{ }\mu\text{g/mL}$  没食子酸标准储备液 0、1、2、3、4、5、6 和 7 mL 于 8 支 25 mL 比色管中, 依次加入福林酚试剂 0.3 mL, 反应 10 min 左右, 再依次加入 3 mL 10% 碳酸钠溶液, 在  $30\text{ }^\circ\text{C}$  水浴锅中反应 60 min, 用紫外分光光度计在  $750\text{ nm}$  下测定吸光度, 以没食子酸质量浓度 ( $\mu\text{g/mL}$ ) 为横坐标, 以对应的吸光度为纵坐标, 得到线性回归方程为:  $Y=0.0774X-0.0105$ , 相关系数  $r=0.999$ , 线性良好(见图 1)。

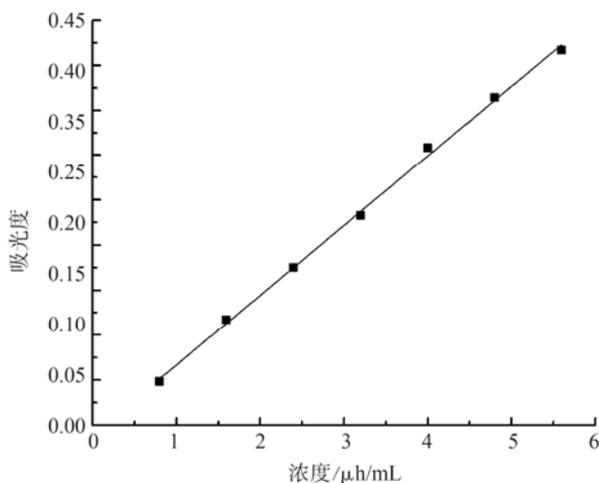


图 1 多酚标准曲线

Fig.1 Standard curves of polyphenols

### 3.2 多酚提取单因素条件确定

#### 3.2.1 提取温度的确定

称取 5 g 山药粉, 以 70% 乙醇为提取溶剂, 料液比为 1:10 ( $m:V$ ), 水浴温度分别为 50、60、70、75 和  $80\text{ }^\circ\text{C}$  提取 60 min (见图 2)。结果表明, 随着提取温度的升高, 提取率先升高后降低, 当水浴温度为  $70\text{ }^\circ\text{C}$  时, 提取率最高, 故选择水浴温度为  $70\text{ }^\circ\text{C}$ 。

#### 3.2.2 提取时间的确定

称取 5 g 山药粉, 以 70% 乙醇为提取溶剂, 固定料液比为 1:10 ( $m:V$ ), 在  $70\text{ }^\circ\text{C}$  水浴温度下分别提取 40、60、80、100 和 120 min (见图 3)。结果表明, 随着提取时间的延长,

提取率先升高后降低。当提取时间为 80 min 时, 提取率最高, 80 min 后提取液中多酚含量反而降低, 这可能是随着加热时间的延长, 多酚被氧化所致。故提取时间以 80 min 为宜。

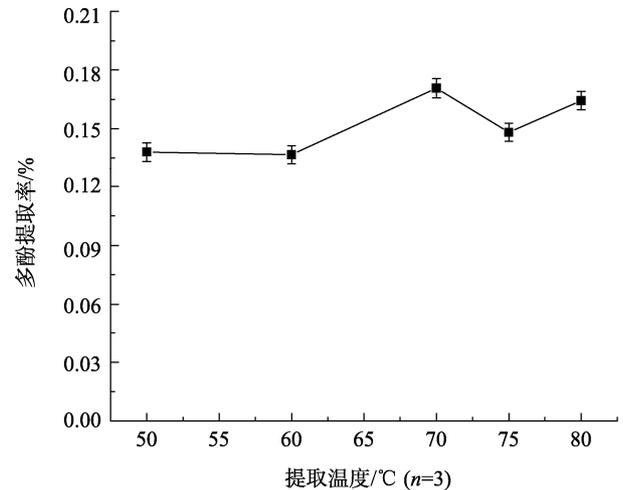


图 2 提取温度对多酚提取率的影响 ( $n=3$ )

Fig.2 Effect of extraction temperature on the extraction rate of polyphenols ( $n=3$ )

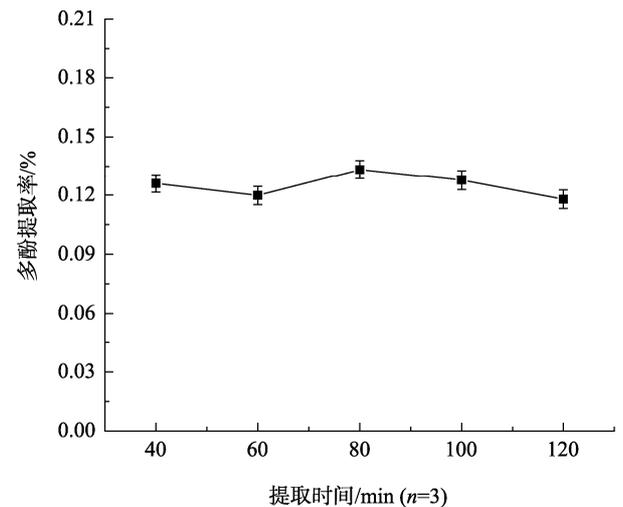


图 3 提取时间对多酚提取率的影响 ( $n=3$ )

Fig.3 Effect of extraction time on the extraction rate of polyphenols ( $n=3$ )

#### 3.2.3 乙醇体积分数的确定

称取 5 g 山药粉, 固定料液比为 1:10 ( $m:V$ ), 乙醇体积分数分别是 40%、50%、60%、70% 和 80%, 在  $70\text{ }^\circ\text{C}$  水浴温度下反应 60 min (见图 4)。结果表明, 随着乙醇体积分数的增大, 多酚提取率先升高后降低, 且当乙醇体积分数为 50% 时, 提取率最大, 故乙醇体积分数以 50% 为宜。

#### 3.2.4 料液比的确定

固定溶剂的体积, 改变山药的质量, 料液比依次为 1:7、1:10、1:15、1:20 和 1:30 ( $m:V$ ), 以 70% 乙醇为提取溶

剂, 在 70 °C 水浴温度下反应 60 min(见图 5)。结果表明, 随着用料的降低, 多酚的浓度逐渐降低, 但是提取率逐渐升高, 可能是由于大量溶剂能够与样品充分接触, 使样品中的多酚类有机物更容易萃取出来, 当料液比为 1:7~1:15 之间, 提取率增加较快, 当料液比为 1:20~1:30 时, 提取率的变化程度较小, 考虑溶剂的浪费较大, 故料液比以 1:15 为宜。

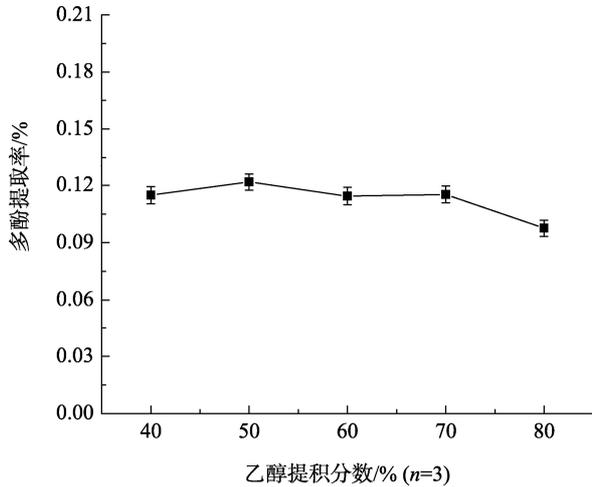


图 4 乙醇体积分数对多酚提取率的影响( $n=3$ )

Fig. 4 Effect of ethanol volume fraction on the extraction rate of polyphenols( $n=3$ )

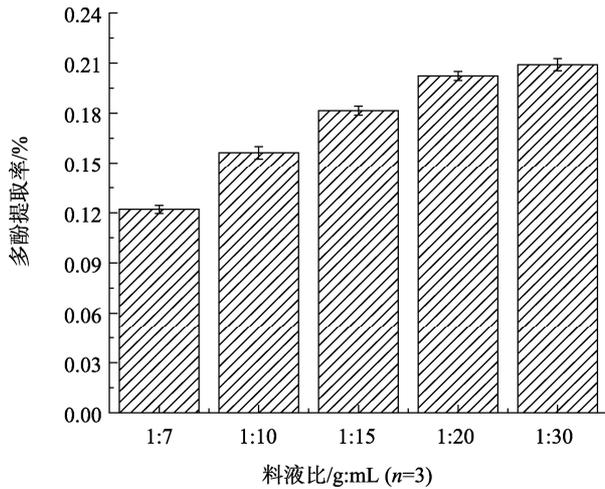


图 5 料液比对多酚提取率的影响( $n=3$ )

Fig. 5 Effect of solid-liquid ratio on the extraction rate of polyphenols( $n=3$ )

### 3.3 正交实验

在单因素实验的基础上, 每个因素设置 4 个水平, 按照 L16(4<sup>5</sup>)正交表的试验设计(见表 1)。

根据正交实验表进行实验, 测得的结果见表 2, 根据极差分析可知在所考察的影响因素中, 料液比影响最大, 其次是乙醇体积分数, 提取温度影响再次之, 提取时间的影响最小, 最佳组合为 A<sub>1</sub>B<sub>4</sub>C<sub>4</sub>D<sub>4</sub>, 即最佳提取工艺条件为:

提取温度 80 °C, 提取时间 100 min, 料液比 1:20, 乙醇体积分数 40%。由表 3 方差分析可见, 各因素的 *F* 值均不显著, 这是由于误差自由度过小, 分析灵敏度不高的缘故, 也可能是由于空白列包含了一些互作的效应, 如果按正交试验再设置几个重复, 可以使实验分析灵敏度增加。

表 1 L16(4<sup>5</sup>)正交试验因素与水平设计  
Table 1 Factors and levels of orthogonal test L16(4<sup>5</sup>)

因素名称	乙醇体积 分数/% A	提取时间 /min B	提取温度/°C C	料液比 D
水平 1	40	40	60	1:7
水平 2	50	60	70	1:10
水平 3	60	80	75	1:15
水平 4	70	100	80	1:20

表 2 L16(4<sup>5</sup>)正交试验结果  
Table 2 Results of orthogonal test L16(4<sup>5</sup>)

因素	A	B	C	D	空白	提取率%
1	1	1	1	1	1	0.1140
2	1	2	2	2	2	0.1473
3	1	3	3	3	3	0.1704
4	1	4	4	4	4	0.1834
5	2	1	2	3	4	0.1407
6	2	2	1	4	3	0.1725
7	2	3	4	1	2	0.1137
8	2	4	3	2	1	0.1321
9	3	1	3	4	2	0.1762
10	3	2	4	3	1	0.1316
11	3	3	1	2	4	0.1147
12	3	4	2	1	3	0.1046
13	4	1	4	2	3	0.1187
14	4	2	3	1	4	0.1020
15	4	3	2	4	1	0.1481
16	4	4	1	3	2	0.1268
K <sub>1</sub>	0.1538	0.1374	0.1320	0.1086	0.1315	
K <sub>2</sub>	0.1398	0.1384	0.1352	0.1282	0.1410	
K <sub>3</sub>	0.1318	0.1367	0.1452	0.1424	0.1416	
K <sub>4</sub>	0.1239	0.1367	0.1369	0.1700	0.1352	
R	0.0299	0.0017	0.0132	0.0614	0.0101	
最佳组合	A <sub>1</sub> B <sub>4</sub> C <sub>4</sub> D <sub>4</sub>					

表 3 方差分析表  
Table 3 Variance analysis table

因素	偏差平方和	自由度	F 值	$F_{0.05}$ 临界值	显著性
乙醇体积分数	0.0020	3	0.0010	9.2800	
提取时间/min	0.0000	3	0.0000	9.2800	
提取温度/°C	0.0004	3	0.0002	9.2800	
料液比	0.0080	3	0.0040	9.2800	
误差	2.2000	3			

### 3.4 多酚纯化

取 40 g 的山药粉, 按照 2.3.1 的提取方法处理, 得到粗提取液。粗提液分为 2 部分, 一部分用来直接做亚硝酸盐的清除实验, 另一部分经过 AB-8 大孔树脂纯化, 采用福林酚法分别测定上述 2 种溶液中多酚的浓度。经反复试验, 确定纯化条件和纯化结果见表 4, 由实验结果可见, 粗提液多酚含量为 114.43  $\mu\text{g/mL}$ , 粗提液经纯化后多酚的含量为 173.38  $\mu\text{g/mL}$ , 多酚含量提高了 51.57%。

表 4 纯化条件和结果( $n=3$ )  
Table 4 Results and conditions of purification ( $n=3$ )

吸附流速 ( $\text{mL}/\text{min}$ )	洗脱流速 ( $\text{mL}/\text{min}$ )	上样浓度 ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	纯化液浓度 ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )
2	2	114.43 $\pm$ 1.42	173.38 $\pm$ 1.63

### 3.5 粗提液与纯化液清除亚硝酸盐对比

取两支试管, 各加入 1 mL 5  $\mu\text{g/mL}$  的亚硝酸钠标准溶液, 再分别加入含有相同多酚的提取液和纯化液, 计算 2 种溶液对亚硝酸盐的清除率, 结果见表 5。由实验结果可见, 含有相同多酚的粗提液和纯化液去除亚硝酸的能力并不相同, 粗提液的清除率为 56.41%, 纯化液的清除率为 52.53%。粗提液清除亚硝酸盐的能力略高于纯化液, 这可能是因为粗提液中存在维生素 C、多糖等有效成分。

表 5 粗提液与纯化液清除亚硝酸盐对比  
Table 5 Comparison of the nitrite scavenging with crude extract and purify liquid

	多酚浓度/ $\mu\text{g}/\text{mL}$	用量/ $\text{mL}$	去除率/%
粗提液	114.43	10	56.41%
纯化液	173.38	6.60	52.53%

### 3.6 咸鱼中亚硝酸盐的清除

分别取 3 份不同的咸鱼 10 g 进行处理, 实验组中将鱼加入 10 mL 粗提液或 6.60 mL 纯化液分别进行浸泡处理, 浸泡时间为 10 min, 对照组不经过浸泡, 直接测定, 每个样品平行测定 3 次, 其结果见表 6。

表 6 山药多酚提取液对咸鱼中亚硝酸盐的清除影响( $n=3$ )  
Table 6 The scavenging effects of yam polyphenols extraction on nitrite in salted fish ( $n=3$ )

	样品 1	样品 2	样品 3
清除前亚硝酸盐含量( $\text{mg}/\text{kg}$ )	0.62 $\pm$ 0.03	0.57 $\pm$ 0.04	0.73 $\pm$ 0.04
粗提液清除率(%)	63.60 $\pm$ 3.20	62.50 $\pm$ 2.60	60.30 $\pm$ 0.70
纯化液清除率(%)	55.80 $\pm$ 2.10	57.30 $\pm$ 3.50	56.50 $\pm$ 1.20

由表 6 可知, 3 种不同的咸鱼中均含有一定量的亚硝酸盐, 平均含量在 0.57~0.73  $\text{mg}/\text{kg}$  范围内。山药多酚粗提液和纯化液对咸鱼中的亚硝酸盐均有一定的清除效果, 其中粗提液的平均去除率在 60.30%~63.60%之间, 纯化液的平均去除率在 55.80%~57.30%之间。可见山药多酚对咸鱼中亚硝酸盐具有较好的清除效果。

## 4 结论

山药中的多酚用乙醇提取, 最佳提取条件为提取温度 80  $^{\circ}\text{C}$ , 提取时间 100 min, 料液比 1: 20, 乙醇体积分数 40%, 最大提取率为 0.1834%。采用大孔吸附树脂 AB-8 对提取物进行分离纯化, 纯化后溶液中多酚的含量为 173.38  $\mu\text{g/mL}$ , 与粗提液相比提高了 51.57%。比较了山药粗提液和纯化液对亚硝酸盐的清除效果, 结果表明粗提液的清除率略高于纯化液, 这是因为粗提液中除了多酚外, 还含有维生素 C、多糖等其它有效成份。通过实验证明多酚类物质确实对亚硝酸盐具有较好的清除效果。

### 参考文献

- [1] 刘晓梅. 山药的药理研究及临床新用[J]. 光明中医, 2010, 25(6): 1087-1088.  
Liu XM. New pharmacological research and clinical use of yam [J]. Guangming J Chin Med, 2010, 25(6): 1087-1088.
- [2] 许丽娜, 卫永丽, 彭金咏. 天然产物薯蓣皂苷的研究进展[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(1): 36-41.  
Xu LN, Wei YL, Peng JY. Research progress of natural product dioscin [J]. China J Chin Mater Med, 2015, 40(1): 36-41.
- [3] Rosenblat M, Aviram M. Antioxidants as targeted therapy: a special protective role for pomegranate and paraoxonases (PONs) [M]. Humana: Humana Press, 2011.
- [4] 孙荣, 高艳华, 张九勋, 等. 山药皮中重要功能性成分的研究进展[J]. 食品与药品, 2014, 16(3): 228-228.  
Sun R, Gao YH, Zhang JX, et al. Research progress of the important functional ingredients of the yam skin [J]. J Food Med, 2014, 16(3): 228-228.
- [5] 左玉. 多酚类化合物研究进展[J]. 粮食与油脂, 2013, 26(4): 6-10.  
Zuo Y. Research progress of polyphenols compounds [J]. J Grain Oil, 2013, 26 (4): 6-10.
- [6] 刘团飞, 颜秀花, 云志, 等. 玉米须中植物多酚的提取及其抗氧化性研究[J]. 广州化工, 2015, 43(8): 64-66.

- Liu TF, Yan XH, Yun Z, *et al.* Extraction and antioxidant activity of plant polyphenols from corn [J]. *J Chem Ind Guangzhou*, 2015, 43(8): 64–66.
- [7] Lu Y, Foo LY. Antioxidant and radical scavenging activities of polyphenols from apple pomace [J]. *Food Chem*, 2000, 68(1): 81–85.
- [8] 郭艳华, 张玉敏. 洋葱提取物清除亚硝酸盐的研究[J]. *化学研究与应用*, 2008, 20(8): 1084–1086.
- Guo YH, Zhang YM. Research of onion extract to remove nitrite [J]. *J Chem Res Appl*, 2008, 20(8): 1084–1086.
- [9] K-o Honikel. The use and control nitrate and nitrite for the processing of meat products [J]. *Meat Sci*, 2008, 78(1–2): 68–76.
- [10] 潘华英, 张建云, 丁建强. 浸泡处理对海产品中亚硝酸盐的去除效果研究[J]. *化学教育*, 2013, 34(6): 69–71.
- Pan HY, Zhang JY, Ding JQ. Effectiveness of immersing treatment in removing nitrite from edible marine product [J]. *J Chem Edu*, 2013, 34(6): 69–71.
- [11] 张志国, 孙迪. 泡制香椿亚硝酸盐变化规律及其降低措施研究[J]. *中国调味品*, 2016, (1): 30–34.
- Zhang ZG, Sun D. Research on nitrite changing in cedar and reducing measures [J]. *Chin Condiment*, 2016, (1): 30–34.
- [12] 游刚, 吴燕燕, 李来好, 等. 添加复合乳酸菌再发酵对腌干鱼肉微生物、亚硝酸盐和亚硝胺的影响[J]. *南方水产科学*, 2015, 11(4): 109–115.
- You G, Wu YY, Li LH, *et al.* Effect of inoculating compound lactic acid bacteria on microbial, nitrites and nitrosamines of salted fish [J]. *J Southern Aquat Sci*, 2015, 11(4): 109–115.
- [13] 米红波, 刘爽, 李学鹏, 等. 天然抗氧化剂在抑制水产品贮藏过程中脂质氧化的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(8): 364–373.
- Mi HB, Liu S, Li XP, *et al.* Research progress of nature antioxidant in inhibiting lipid oxidation of aquatic product during storage [J]. *J Food Ind Sci Technol*, 2016, 37(8): 364–373.
- [14] 黄晨, 龙淼. 天然抗氧化剂对动物肉品的作用[J]. *肉类研究*, 2015, 29(3): 30–32.
- Huang C, Long M. Application of natural antioxidants in meat and meat products [J]. *Meat Res*, 2015, 29(3): 30–32.
- [15] 杨晓姣. 酚类化合物抗氧化及减肥作用的研究[D]. 北京: 北京协和医学院中国医学科学院, 2014.
- Yang XJ. Study of antioxidant and reducing weight effect of phenols [D]. Beijing: Peking Union Medical College Chinese Academy of Medical Sciences, 2014.
- [16] 王晓波, 蔡永波, 梁小红, 等. 蔬菜多酚的抗氧化及抑制亚硝化作用[J]. *现代预防医学*, 2013, 40(21): 3927–3929.
- Wang XB, Cai YB, Liang XH, *et al.* Vegetables polyphenol anti-oxidation and inhibitory effect on nitrosation [J]. *Mod Prev Med*, 2013, 40(21): 3927–3929.
- [17] 李玲, 张余, 周光宏, 等. 植物多酚对模拟胃酸体系中亚硝酸盐清除能力与亚硝胺生成的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2013, 36(3): 111–116.
- Li L, Zhang C, Zhou GH, *et al.* Plant polyphenols simulated gastric acid system by nitrite scavenging ability with the influence of nitrosamine formation [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2013, 36(3): 111–116.
- [18] 李颖畅, 吕艳芳, 励建荣. Folin-Ciocalteu 法测定不同品种蓝莓叶中多酚含量[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(1): 273–278.
- Li YC, Lv YF, Li JR. Determination of polyphenol content in different varieties blueberry leaves by Folin-Ciocalteu colorimetry [J]. *J Chin Food*, 2014, 14(1): 273–278.
- [19] 李颖畅, 李冰心, 吕艳芳, 等. AB-8 型大孔树脂纯化蓝莓叶多酚的工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(20): 258–261.
- Li YC, Li BX, Lv YF, *et al.* Study on purification process of polyphenols from blueberry leaves with AB-8 macroporous resins [J]. *J Food Ind Sci Technol*, 2012, 33(20): 258–261.
- [20] GB 5009. 33-2010 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S].  
GB 5009. 33-2010 Determination of nitrite and nitrate in food [S].

(责任编辑: 姚 菲)

## 作者简介



李宁宁, 硕士研究生, 主要研究方向为食品质量安全。

E-mail: 2554725081@qq.com



马占玲, 教授, 主要研究方向为食品及精细化学品检验。

E-mail: 13898355801@sina.com



励建荣, 教授, 主要研究方向为水产品贮藏加工、食品安全。

E-mail: lijr6491@163.com