

荸荠皮中多糖的提取、纯化及抗氧化性研究

Study on extraction, purification and antioxidation property of polysaccharide in *Eleocharis Tuberosa* peel

汪建红^{1,2}

袁伟¹

韩平东¹

WANG Jian-hong^{1,2} YUAN Wei¹ HAN Ping-dong¹

(1. 内江师范学院化学化工学院, 四川 内江 641112; 2. 四川省高等学校

“果类废弃物资源化”重点实验室, 四川 内江 641112)

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Neijiang Normal University, Neijiang, Sichuan 641112, China;

2. Key Laboratory of Fruit Waste Treatment and Resource Recycling, Neijiang, Sichuan 641112, China)

摘要:以干的荸荠皮为原料,利用超声波辅助复合酶法提取荸荠皮多糖,考察超声波功率、超声波处理温度、超声波处理时间、复合酶组成、复合酶用量等因素对多糖提取效果的影响;利用水溶醇沉法纯化荸荠皮多糖并研究其体外抗氧化性,同时采用红外分光光度计对多糖结构进行表征。结果表明:荸荠皮多糖的最佳提取条件为超声波功率 280 W,超声波处理温度 60 ℃,超声波处理时间 30 min,复合酶组成(纤维素酶与果胶酶质量比)1:1.5,酶用量 0.5%。在该最佳条件下,多糖得率可达 28.23%。经过提纯,荸荠皮多糖纯度达 78.2%,且对羟基自由基的清除率可达 91.25%,接近于相同条件下 0.8 mg/mL 抗坏血酸的 94.7%。

关键词:荸荠;多糖;超声波;复合酶;抗氧化性

Abstract: With dried *Eleocharis Tuberosa* peel as raw materials, polysaccharide in *eleocharis tuberosa* peel was extracted by ultrasonic-assisted complex enzyme. Influence of ultrasonic power, ultrasonic treatment temperature, ultrasonic treatment time, complex enzymatic constituent, amount of complex enzyme, on extraction of polysaccharide, were studied. The polysaccharide in *Eleocharis Tuberosa* peel was purified by water dissolution and ethanol precipitation. The structure of polysaccharide was characterized by IR. Antioxidation property of polysaccharide in *Eleocharis Tuberosa* peel was determined by UV-VIS spectrophotometer. The result showed that the optimal extraction condition of polysaccharide in *Eleocharis Tuberosa* peel, were ultrasonic power of 280 W, ultrasonic treatment temperature of 60 ℃, ultrasonic treatment time of 30 min, complex enzymatic constituent of 1:1.5, amount of complex enzyme of 0.5%. Under the optimal technological conditions,

the yield of polysaccharide could reach 28.23%. After purification, the purity of polysaccharide in *Eleocharis Tuberosa* peel could reach 78.2%, and the clearance rate of polysaccharide for hydroxyl radicals could reach 91.25%, which was close to 0.8 mg/mL ascorbic acid of 94.7%. Theoretical basis was provided for further development and utilization of polysaccharide in *Eleocharis Tuberosa* peel by the research results.

Keywords: *Eleocharis Tuberosa*; polysaccharide; ultrasonic; complex enzyme; antioxidation

荸荠,肉脆多汁,具有清肺化痰、利肠通便、抗菌、抗肿瘤等保健作用,深受人们喜爱,应用较广^[1]。在生产加工和使用过程中,荸荠皮通常作为垃圾被直接抛弃,对环境带来了较大的负面影响。荸荠皮中富含色素、多酚、多糖等生物活性成分,尤其是多糖^[1]。植物多糖具有抗氧化、抗衰老、抗癌、免疫调节等功能,在食品、医药等领域表现出广泛的应用前景^[2-5]。

植物多糖提取方法通常有水提法、微波法、超声波法、酶法等。水提法操作简便,但耗时长,需要溶剂多,提取效率低,成本高^[6];微波法操作用时短,提取效率较高,但微波会对人体构成较大危害^[7-8];超声波法利用超声波的“空化效应”提高提取效率,且条件温和,操作简便,对多糖生物活性影响小^[9-12];酶法具有操作简便、条件温和、提取效率高优点,且多糖活性保留好^[13-14]。将超声波法和酶法结合可发挥优势互补作用,增强破壁能力,缩短浸提时间以提高效率^[15]。

常用的酶分为复合酶和单酶两类,复合酶结合了组分酶的优点,活性较为稳定,且活力值较高^[16-18]。可供选择的构建复合酶的酶品种较多,荸荠皮细胞壁主要由纤维素、半纤维素、果胶质等组成,纤维素酶和果胶酶破壁效果较好,且作

基金项目:四川省教育厅重点项目(编号:15ZA0291)

作者简介:汪建红(1981—),男,内江师范学院高级实验师,硕士。

E-mail: cunhua2@126.com

收稿日期:2016-03-16

用条件温和,容易控制^[19-20]。本试验选择纤维素酶和果胶酶组成复合酶,在超声波辅助下提取荸荠皮中的多糖,既可提高得率,又可减少酶用量。本试验利用单因素试验和正交试验的方法优化提取条件,然后在所获最佳条件下制备荸荠皮多糖,纯化所获多糖,表征其结构,并研究其对羟基自由基的清除效果。

1 材料与方法

1.1 材料

荸荠:购于四川内江农贸市场。

1.2 仪器与试剂

1.2.1 主要仪器

手提式万能高速粉碎机:DFT-100 型,温岭市林大机械有限公司;

紫外—可见分光光度计:新世纪 T-6 型,北京普析通用仪器有限责任公司;

可见分光光度计:722 型,上海菁华科技仪器公司;
电热鼓风干燥箱:CS101-2AB 型,重庆试验设备厂;

集热式恒温加热磁力搅拌器:DF-101S 型,上海兴创科学仪器设备有限公司;

高功率数控超声波清洗器:KQ-400KDB 型,昆山市超声仪器有限公司;

循环水式多用真空泵:SHZ-D 型,巩义市英予仪器厂;
恒温水浴振荡器:SHA-B 型,金坛市汉康电子有限公司;

电子天平:FA2204A 型,上海精天电子仪器有限公司;
低速大容量离心机:TDL-5-A 型,上海安亭科学仪器厂;

红外分光光度计:TJ270-30 型,天津光学仪器厂。

1.2.2 试剂

纤维素酶(活力值>15 U/mg)、果胶酶(活力值≥1 000 U/mg):生物试剂,上海源叶生物试剂有限公司;

葡萄糖、硫酸、苯酚、醋酸钠、醋酸、邻二氮菲、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、双氧水、乙醇、七水硫酸亚铁、抗坏血酸:分析纯,成都金山化学试剂有限公司。

1.3 多糖标准曲线的绘制

根据文献^[21~22]的方法绘制多糖标准曲线,得线性回归方程为 $A=33.4C-0.070 4$, $R^2=0.999 4$ 。

1.4 荸荠皮多糖的提取与测定

将购回的荸荠取皮洗净,低温烘干并粉碎成粉,称取 2.00 g 干荸荠皮粉,按照液料比 15:1(mL/g)及设定的复合酶组成(纤维素酶与果胶酶质量比)和酶用量,加入酶溶液和 pH 为 6 的缓冲溶液,在设定的功率和处理温度下利用超声波处理一定时间,然后移走超声波,继续在温度 40 ℃ 下回流提取 2 h,再沸水浴(约 90 ℃)灭酶 60 min,4 000 r/min 离心 15 min,取上层清液转入 100 mL 容量瓶中,蒸馏水定容,放置备用。

用移液管准确移取上述提取液 1.00 mL,稀释 250 倍。精确移取 1.00 mL 稀释后的提取液于 10 mL 比色管中,加入 6% 苯酚溶液和浓硫酸显色,在 488 nm 处利用可见分光光度

计测定吸光度。根据标准曲线及其回归方程计算提取液中多糖浓度,多糖得率按式(1)计算:

$$Et = \frac{C \times V \times N}{M} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:

E_t ——多糖得率,%;

C ——测得的提取液浓度,g/mL;

N ——稀释倍数;

V ——提取液体积,mL;

M ——荸荠皮干粉质量,g。

1.5 提取工艺优化

1.5.1 单因素试验

(1) 超声波功率:在复合酶组成 1:1,复合酶用量 0.3%,超声波处理温度 40 ℃,超声波处理时间 20 min 的条件下,选择不同功率(160,200,240,280,320,360,400 W),重复 1.4 的操作,以考察超声波功率对多糖得率的影响。

(2) 超声波处理温度:在复合酶组成 1:1,复合酶用量 0.3%,功率为 320 W,超声波处理时间 20 min 的条件下,选择不同超声波处理温度(40,50,60,70 ℃),重复 1.4 的操作,以考察超声波处理温度对多糖得率的影响。

(3) 超声波处理时间:在复合酶组成 1:1,复合酶用量 0.3%,功率为 320 W,超声波处理温度 60 ℃ 的条件下,选择不同超声波处理时间(20,30,40,50 min),重复 1.4 的操作,以考察超声波处理时间对多糖得率的影响。

(4) 复合酶组成:在复合酶用量 0.3%,功率为 320 W,超声波处理温度 60 ℃,超声波处理时间 30 min 的条件下,选择不同的复合酶组成(2:1,1.5:1,1:1,1:1.5,1:2),重复 1.4 的操作,以考察复合酶组成对多糖得率的影响。

(5) 复合酶用量:在复合酶组成 1:1.5,功率为 320 W,超声波处理温度 60 ℃,超声波处理时间 30 min 的条件下,选择不同的复合酶用量(0.1%,0.3%,0.5%,0.7%,0.9%),重复 1.4 的操作,以考察复合酶用量对多糖得率的影响。

1.5.2 正交试验 根据上述单因素试验的结果,选择复合酶组成、复合酶用量、超声波功率、超声波处理温度,超声波处理时间 5 个因素,设计 $L_{16}(4^5)$ 正交表,考察各因素对多糖提取率的影响。

1.5.3 对比试验 在正交试验得出的最佳条件下重复前面操作,作 3 次平行试验,并与不用酶只用超声波辅助、只用纤维素酶和超声波辅助、只用果胶酶和超声波辅助、无超声波和仅用纤维素酶时的提取情况进行对比。

1.6 荸荠皮多糖的提纯

选取荸荠皮干粉 5 g,按照前面试验得出的最佳提取条件,重复前面 1.4 的操作,待在 4 000 r/min 的速度下离心 15 min 后,将取出的清液减压浓缩至原有液体体积的 1/4,待冷却后加入无水乙醇至容器中乙醇浓度达到 65%~80%,在冰箱中冷却结晶 24 h,抽滤得到晶体,在烘箱中低温烘干至恒重。

利用蒸馏水为溶剂,采用重结晶和醇沉的方法提纯获得的荸荠皮多糖,重结晶操作时添加 2~3 mL 双氧水除去多糖

中色素等杂质。利用标准曲线回归方程,分别测定粗多糖和重结晶之后多糖的纯度。

1.7 荸荠皮多糖的红外光谱表征

利用溴化钾压片法制作粗多糖和提纯后多糖的样品片,并利用红外分光光度计对样品片进行红外光谱扫描。

1.8 荸荠皮多糖抗氧化性的测定

1.8.1 多糖溶液及显色剂溶液的配制 利用提纯后的多糖配制 0.4,0.8,1.2 mg/mL 的多糖溶液及配制 0.2,0.4,0.6,0.8 mg/mL 抗坏血酸溶液;并参考文献[23~24]配制 0.75 mmol/L 邻二氮菲乙醇溶液、0.75 mmol/L 硫酸亚铁水溶液、pH 7.4 磷酸盐缓冲溶液和 0.01% 双氧水(H₂O₂)。

1.8.2 荸荠皮多糖对羟基自由基消除能力的测试 参考文献[23~24]的方法,将反应温度和时间修改为 30 ℃ 和 70 min,在 536 nm 波长下测定吸光值。清除率按式(2)计算:

$$I = \frac{A_{\text{样品}} - A_{\text{损}}}{A_{\text{未损}} - A_{\text{损}}} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

I——清除率,%;

A_{样品}——加入样品多糖或抗坏血酸时所测得的吸光度;

A_损——用蒸馏水代替样品时测得的吸光度;

A_{未损}——用蒸馏水代替 0.01% 双氧水时测得的吸光度。

2 结果与讨论

2.1 荸荠皮中多糖提取条件的优化

2.1.1 超声波功率的影响 由图 1 可知,在 160~400 W 时,随超声波功率的增加,荸荠皮多糖得率先逐渐增加后逐渐下降;功率为 320 W 时,得率最高。这是因为功率越大,超声波空化效应越强;但功率过大会引起酶失活,也使被超声波破坏变质的多糖量大大增加。因此综合考虑选择 320 W 为最佳功率。

2.1.2 超声波处理温度的影响 由图 2 可知,在 40~60 ℃ 时,多糖得率随处理温度的上升而增大,60 ℃ 时多糖得率达最大值;此后随着处理温度继续上升,多糖得率却出现下降。这是因为处理温度的上升增强了超声波的空化效应,荸荠皮组织的分子运动也更活跃,更有利于超声波对荸荠皮细胞壁的剪切破坏,也增加了酶的活性,使多糖更易浸出;但处理温度过高,被超声波破坏失活的酶也会大大增加,在超声波的

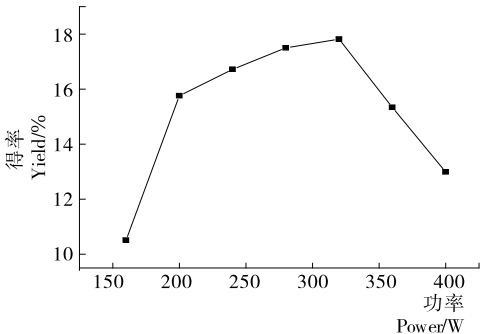


图 1 功率对多糖得率的影响

Figure 1 Influence of power on yield of polysaccharide

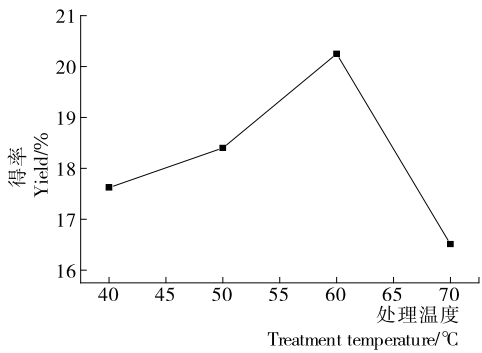


图 2 超声波处理温度对多糖得率的影响

Figure 2 Influence of ultrasonic treatment temperature on yield of polysaccharide

剪切作用下多糖的结构被破坏,造成损失。因此综合考虑,选择 60 ℃ 为最佳超声波处理温度。

2.1.3 超声波处理时间的影响 由图 3 可知,荸荠皮多糖得率随处理时间的延长先上升后逐渐下降,当处理时间为 30 min 时得率最高。其原因是处理时间越长,超声波的空化效应对荸荠皮组织破坏越充分,越有利于多糖提取;但时间太长时,被氧化变质的多糖会增加,也浪费能源。因此综合考虑选择最佳超声波处理时间为 30 min。

2.1.4 复合酶组成的影响 由图 4 可知,随着纤维素酶在复合酶中所占比例的逐渐减少,多糖得率先逐渐上升后下降,当纤维素酶与果胶酶质量比为 1:1.5 时,得率达最大值。这

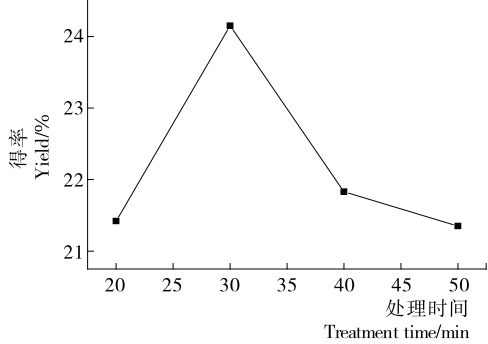


图 3 超声波处理时间对多糖得率的影响

Figure 3 Influence of ultrasonic treatment time on yield of polysaccharide

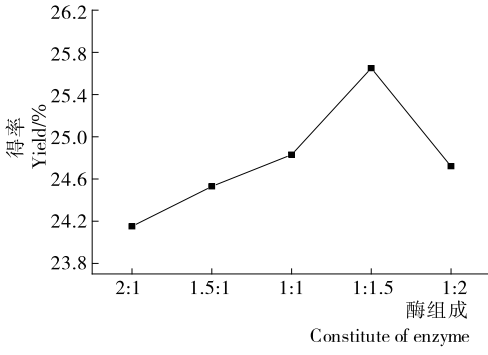


图 4 复合酶组成对多糖得率的影响

Figure 4 Influence of complex enzymatic constitute on yield of polysaccharide

是因为纤维素酶和果胶酶在酶组成中所占比例过大或过小时,不但不能充分发挥其活性,反而会使相互抑制;组成比例为 1:1.5 时二者有很好的相容性和协同性,可使酶的活性充分发挥。因此选择 1:1.5 作为最佳复合酶组成比例。

2.1.5 复合酶用量的影响 由图 5 可知,多糖得率随复合酶用量增大先逐渐增加后降低,当酶用量达 0.7%时达最大值。这是因为酶用量越大,酶活力值越大,更有利于多糖浸出,但过大时也会使多糖分解量增加,且成本更高。因此综合考虑,选择最佳酶用量为 0.7%。

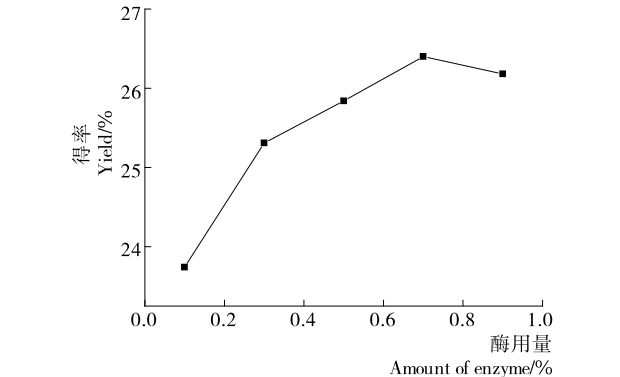


图 5 复合酶用量对多糖得率的影响

Figure 5 Influence of amount of complex enzyme on yield of polysaccharide

2.1.6 正交试验 关于荸荠皮多糖提取的 L₁₆(4⁵)正交试验因素水平表见表 1,试验设计及结果见表 2,方差分析结果见表 3。

由表 2 可知,荸荠皮多糖得率受到了复合酶组成、酶用量、超声波功率、超声波处理温度、超声波处理时间的影响,其主次顺序为复合酶组成>酶用量>超声波处理时间>超声波处理温度>超声波功率。最佳组合水平为 A₃B₂C₂D₃E₂,即复合酶组成 1:1.5,酶用量 0.5%,超声波功率 280 W,超声波处理温度 60 ℃,超声波处理时间 30 min。

为了进一步验证试验因子的可信度,对结果以超声波功率即 C 为误差项进行方差分析(见表 3)。由表 3 可知,在该正交试验所选择的因素水平范围内,因素 A 即复合酶组成的影响达到了显著水平(P<0.05),而 B、C、D、E 即酶用量、超声波功率、超声波处理温度、超声波处理时间均未达到显著水平。而 F 值结果表明,方差分析结果与直观的极差分析结果一致。

对正交试验结果作了 3 次平行实验验证,多糖得率分别

表 1 因素水平表

Table 1 Factor and levels of orthogonal test

水平	A 复合酶组成	B 复合酶用量/%	C 超声波功率/W	D 超声波处理温度/℃	E 超声波处理时间/min
1	1.5:1.0	0.3	240	40	20
2	1.0:1.0	0.5	280	50	30
3	1.0:1.5	0.7	320	60	40
4	1.0:2.0	0.9	360	70	50

表 2 L₁₆(4⁵)正交试验设计及结果

Table 2 L₁₆(4⁵) orthogonal experimental design and results

编号	A	B	C	D	E	得率/%
1	1	1	1	1	1	24.79
2	1	2	2	2	2	25.73
3	1	3	3	3	3	25.39
4	1	4	4	4	4	23.71
5	2	1	2	3	4	26.77
6	2	2	1	4	3	26.92
7	2	3	4	1	2	26.96
8	2	4	3	2	1	25.28
9	3	1	3	4	2	26.32
10	3	2	4	3	1	27.00
11	3	3	1	2	4	26.25
12	3	4	2	1	3	26.51
13	4	1	4	2	3	24.64
14	4	2	3	1	4	24.94
15	4	3	2	4	1	25.24
16	4	4	1	3	2	25.65
k ₁	24.905	25.630	25.903	25.800	25.577	
k ₂	26.483	26.148	26.063	25.475	26.165	
k ₃	26.520	25.960	25.483	26.203	25.865	
k ₄	25.117	25.288	25.578	25.547	25.418	
R	1.615	0.860	0.580	0.728	0.747	

表 3 正交试验结果方差分析[†]

Table 3 Variance analysis of the orthogonal experimental results

因素	SS	df	F	F _{0.05} (3,3)	P
A	8.974	3	10.106	9.280	*
B	1.721	3	1.938	9.280	
C	0.888	3	1.000	9.280	
D	1.295	3	1.458	9.280	
E	1.302	3	1.466	9.280	
误差(e)	0.890				

[†] F_{0.05}(3,3)= 9.280,F_{0.01}(3,3)=29.500,* 代表 P<0.05 为影响显著。

为 27.67%,29.13%,27.90%,平均值 28.23%,高于正交试验各组结果,说明了结果的正确性。

2.1.7 对比试验 表 4 列举了几种方法提取荸荠皮中多糖的情况。由表 4 可知,不使用酶仅使用超声波时,多糖得率较低;超声波辅助单纯的果胶酶或纤维素酶时,多糖得率较低;不使用超声波仅适用纤维素酶时,多糖得率较高,但酶用量较大;超声波辅助复合酶法酶用量少,多糖得率高,体现了超声波法和复合酶法优势互补的特点。因此超声波辅助复合酶法是一种很有发展前途的提取方法。

2.2 荸荠皮多糖的提纯

荸荠皮多糖的纯化情况见表 5。由表 5 可知,荸荠皮多

表 4 几种提取方法下的荸荠皮多糖提取情况

Table 4 The extracting effects of polysaccharide in *Eleocharis Tuberosa* peel by several kinds of extracting methods %

方法	酶用量	多糖得率
超声波辅助复合酶	0.5	28.23
超声波辅助纤维素酶	0.5	18.76
超声波辅助果胶酶	0.5	21.02
无酶仅超声波	0.0	17.23
无超声波仅纤维素酶 ^[22]	2.0	32.42

表 5 荸荠皮多糖的纯化情况

Table 5 Purification of polysaccharide in *Eleocharis Tuberosa* peel

多糖种类	多糖颜色	多糖纯度/%
粗多糖	棕褐色	51.6
一次提纯	淡黄色	69.5
二次提纯	淡黄色	78.2

糖纯度得到了较大程度的提高,颜色的变淡也说明色素等杂质的清除效果较好,因此该法对荸荠皮多糖的提纯效果较为显著。

2.3 红外光谱分析

粗荸荠皮多糖及经过一次提纯和两次提纯的荸荠皮多糖的红外光谱见图 6。

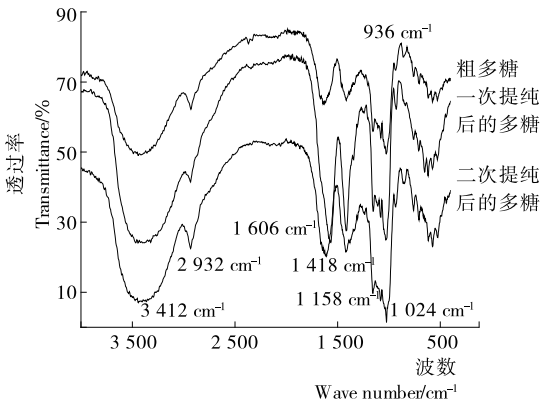


图 6 荸荠皮多糖的红外光谱图

Figure 6 IR of polysaccharide in *Eleocharis Tuberosa* peel

由图 6 可知,波数 3 412 cm⁻¹左右处出现的宽而强的峰为羟基(—OH)的伸缩振动峰,2 932 cm⁻¹左右处出现的峰为亚甲基(—CH₂—)的伸缩振动峰,1 606 cm⁻¹左右处出现的峰为羟基(—OH)的弯曲振动峰,1 418 cm⁻¹左右处出现的峰为碳碳双键(C=C)的变形吸收峰,1 158 cm⁻¹左右处出现的峰为环上炭氧键(C—O)的吸收峰,1 024 cm⁻¹左右处出现的峰为醇羟基(—OH)的变角振动吸收峰,936 cm⁻¹左右处出现的峰为 β 型糖苷键的特征吸收峰,说明荸荠皮多糖为 β 多糖。

相对于粗多糖,一次提纯和二次提纯后的荸荠皮多糖在 1 606,1 418,1 024 cm⁻¹处的吸收峰显著增强,说明提纯后

色素对醇羟基、碳碳双键等基团的束缚减弱,多糖纯度相对于粗多糖有了显著提高;二次提纯后的荸荠皮多糖相对于一次提纯时,1 418 cm⁻¹左右位置的峰强度略有减弱,说明提纯过程中利用双氧水除杂质时导致了部分碳碳双键的被氧化。

2.4 抗氧化性研究

荸荠皮多糖及抗坏血酸对羟基自由基清除情况见表 6。由表 6 可知,1.2 mg/mL 荸荠皮多糖对羟基自由基清除率接近于 0.8 mg/mL 抗坏血酸的值,说明荸荠皮多糖具有较强的抗氧化活性。

表 6 荸荠皮多糖及抗坏血酸清除羟基自由基情况对比

Table 6 Comparison of scavenging effects of polysaccharide in *Eleocharis Tuberosa* peel and ascorbic acid on hydroxyl radicals

荸荠皮多糖浓/ (mg · mL ⁻¹)	羟基自由基 清除率/%	抗坏血酸浓/ (mg · mL ⁻¹)	羟基自由基 清除率/%
0.4	47.54	0.4	68.21
0.8	57.38	0.8	94.70
1.2	91.25		

3 结论

通过单因素试验和正交试验得出超声波辅助复合酶提取荸荠皮中多糖的试验中各因素影响主次顺序为复合酶组成>酶用量>超声波处理时间>超声波处理温度>超声波功率。荸荠皮中多糖提取最佳工艺条件为复合酶组成(纤维素酶与果胶酶质量比)1 : 1.5,酶用量 0.5%,超声波功率 280 W,超声波处理温度 60 ℃,超声波处理时间 30 min,此条件下多糖得率可达 28.23%。通过对比试验也表明超声波辅助复合酶法提取荸荠皮多糖得率较高,且酶用量较少。通过水溶醇沉法提纯,可将荸荠皮多糖纯度提高到 78.2%。通过红外光谱分析表明荸荠皮多糖为 β 多糖,且多糖确实得到了很大程度的纯化。此外,对羟基自由基清除效果测试也表明在浓度为 1.2 mg/mL 时,荸荠皮多糖对羟基自由基的清除率可达 91.25%,接近于浓度为 0.8 mg/mL 的抗坏血酸的值。

因此将超声波辅助复合酶法应用于荸荠皮多糖的提取,可实现多糖得率的提高和酶用量减少的目标。抗氧化性测试也表明荸荠皮多糖具有较好的抗氧化性能。今后需进一步对不同方法提取的荸荠皮多糖的组成、结构及对其它种类自由基的清除效果进行研究,以期更深入揭示多糖的理化性质,为荸荠皮中多糖的进一步研究与开发提供理论依据。

参考文献

[1] 赵广河,陈振林. 荸荠活性成分与功能作用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(9): 235-237.
[2] 刘芳,郑育声,尹学琼,等. 灰叶马尾藻多糖的提取及其生物活性[J]. 食品科学, 2013, 34(3): 93-96.
[3] 唐健波,肖雄,杨娟,等. 响应面优化超声辅助提取刺梨多糖工艺研究[J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(2): 314-320.

表 8 不同配方牡蛎喷雾干燥粉稳定性评价[†]

Table 8 Stability evaluation results of difference formulations of spray-dried oyster

配方	过氧化物值/(meq·kg ⁻¹)				
	0 d	4 d	7 d	14 d	21 d
对照样	0.18±0.02 ^a	1.86±0.02 ^a	2.16±0.03 ^a	2.55±0.02 ^a	2.97±0.02 ^a
A	0.08±0.01 ^c	0.22±0.01 ^{cd}	0.28±0.02 ^b	0.32±0.02 ^d	0.43±0.01 ^c
B	0.11±0.02 ^c	0.23±0.02 ^{bcd}	0.28±0.02 ^b	0.33±0.01 ^{cd}	0.42±0.02 ^c
C	0.09±0.01 ^c	0.21±0.03 ^d	0.31±0.02 ^b	0.35±0.02 ^{bcd}	0.40±0.03 ^c
D	0.12±0.02 ^c	0.25±0.02 ^{bcd}	0.31±0.02 ^b	0.36±0.02 ^{bc}	0.41±0.02 ^c
E	0.16±0.02 ^{ab}	0.26±0.03 ^{bc}	0.29±0.02 ^b	0.36±0.02 ^{bc}	0.51±0.02 ^b
F	0.14±0.01 ^b	0.27±0.02 ^b	0.32±0.02 ^b	0.37±0.01 ^b	0.49±0.02 ^b

[†] 同一列比较中,数据间的显著性差异标用不同小写字母表示(P<0.05)。

同时牡蛎干粉的吸湿性和稳定性品质也得到很大提高,增加了产品应用的广谱性。

参考文献

[1] 吴园涛,孙恢礼. 牡蛎营养功能制品研究进展[J]. 河北渔业, 2007(8): 6-9.

[2] 叶盛权,吴晖,赖富饶,等. 牡蛎酶解过程的成分变化及脱腥初步研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(3): 262-265.

[3] 腾瑜,乔向英,曲克明. 牡蛎酶解工艺条件的研究[J]. 海洋水产研究, 1997, 18(1): 112-116.

[4] FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements: Report of a Joint FAO/WHO/UNU expert consultation [R]. Geneva: FAO/WHO/UNU, 1985.

[5] SCHULLER-LEVIS G B, PARK E. Taurine: new implications for an old amino acid[J]. FEMS Microbiology Letters, 2003, 226(2): 195-202.

[6] 邵邻相,何新霞. 复合磷脂对延长寿命和改善免疫功能作用的研

究[J]. 营养学报, 1996, 18(4): 471-731.

[7] MARX J L, 谭景莹. 聚磷酸肌醇研究进展[J]. 生物科学动态, 1989(3): 47-49.

[8] ZATSICK N M, MAYKET. Fish oil: getting to the heart of it [J]. The Journal for Nurse Practitioners, 2007, 3(9): 104-109.

[9] 胡婷,陈琼华. 牡蛎多糖防治心血管病及其它生物活性[J]. 中国生化药志, 1993, 17(1): 53-56.

[10] 滕瑜,王彩理. 牡蛎的营养和降糖作用研究[J]. 海洋水产研究, 2005, 26(6): 39-44.

[11] 王亮,杜卫华,孙金才,等. 牡蛎肉双酶复合水解工艺[J]. 无锡轻工大学学报, 2003, 22(3): 97-100.

[12] 蒋杨,吴红棉,范秀萍,等. 近江牡蛎多糖口服液的研制[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 208-210.

[13] 宋贤聚. 低吸湿性杨梅粉喷雾干燥工艺的优化[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 226-229.

[14] 孙君社,马林,刘海. 牡蛎壳和花生壳的超微粉碎及表征[J]. 中国食物与营养, 2000(5): 26-28.

(上接第 160 页)

[4] 许小向,洪艳平,胡捷敏,等. 松针多糖微波提取工艺及抗氧化性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(23): 222-227.

[5] YANG Y F, FENG J Q, XU H Y, et al. Influence of different extraction and purification methods on astragalus polysaccharides and pharmacological evaluation[J]. Chin. Herb. Med., 2010, 21(1): 54-61.

[6] 尚喜雨. 水提法·酶法提取铁皮石斛多糖的比较研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(18): 9 787-9 788.

[7] 王泽锋,石玲,苏一兰,等. 微波辅助提取紫薯蒴中多糖工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(4): 256-260.

[8] 冯自立,党娅. 响应面法优化微波提取枳椇子多糖及其清除羟自由基活性研究[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 56-60.

[9] 张海容,白娟,魏增云,等. 超声萃取一响应面法优化淡竹叶多糖提取方法研究[J]. 化学研究与应用, 2013, 25(3): 303-310.

[10] 周思思,王榆元,刘丹,等. 超声波辅助提取人参花多糖工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 76-81.

[11] 李宏睿,范琳琳,徐明生,等. 苦瓜多糖超声波辅助提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2010, 26(2): 107-109

[12] SHI E H, LI H, CU M C, et al. The proccess conditions optimization of the ultrasonic extraction of chestnut involucre polyphenols using response surface method[J]. J. Chin. Inst. Foal. Sci. Tech., 2013, 13(5): 62-67.

[13] 李建凤,黄辉,周强,等. 复合酶法提取洋葱多糖的研究[J]. 分

析科学学报, 2014, 30(4): 493-496.

[14] 张萍,常君,张海娟. 复合酶法提取石榴皮多糖的工艺研究[J]. 食品科技, 2015, 40(11): 162-171.

[15] 王杉杉,马韵升,姚刚,等. 超声波辅助复合酶法提取枸杞多糖工艺研究[J]. 中国酿造, 2015, 34(7): 134-137.

[16] 王文文,刘嘉俊,廖延智,等. 高压热水一复合酶提取香菇多糖工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2015, 51(3): 27-30

[17] 尹秀莲,游庆红. 超声辅助复合酶法提取桑黄多糖[J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 58-60.

[18] 梁敏,邹东恢,郭宏文,等. 复合酶法提取金针菇多糖及光谱分析[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(6): 1 211-1 213.

[19] 卫强,纪小影. 酶法联合闪式提取红叶李花多糖及单糖初步分析[J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(12): 2 101-2 108.

[20] 李亚辉,马艳弘,黄开红,等. 响应面法优化复合酶提取芦荟多糖工艺及其抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 63-68.

[21] 董晶晶,张杰,刘炯,等. 鹿衔草多糖不同提取方法的比较[J]. 中医学报, 2015, 30(8): 1 173-1 175.

[22] 汪建红,李迪. 纤维素酶法提取荸荠皮中多糖的工艺研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(5): 248-251.

[23] 许晶晶,唐志红,王景玉,等. 浒苔多糖的纯化及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(10): 134-136.

[24] 亓树艳,王荔,莫晓燕. 大枣多糖的提取工艺及抗氧化作用研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 117-120.