

核桃青皮多糖微波辅助提取工艺及抗氧化活性研究

Study on microwave-assisted extraction and antioxidant activity of polysaccharides from Walnut husks

张雪春^{1,2} 田智宇¹ 王振兴^{1,2,3}

ZHANG Xue-chun^{1,2} TIAN Zhi-yu¹ WANG Zhen-xing^{1,2,3}

阼欢¹ 蒲成伟¹ 刘华¹

KAN Huan¹ PU Cheng-wei¹ LIU Hua¹

(1. 西南林业大学西南山地森林资源保育与利用省部共建教育部重点实验室, 云南 昆明 650224;

2. 西南林业大学云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南 昆明 650224;

3. 江西师范大学国家单糖化学合成工程技术研究中心, 江西 南昌 330022)

(1. Key Laboratory of Conservation Southwest Mountain College of Forestry and Utilization of Forest Resources, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China; 2. Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China; 3. National Research Center for Carbohydrate Synthesis, Jiangxi Normal University, Nanchang, Jiangxi 330022, China)

摘要:采用响应面分析法优化微波辅助提取核桃青皮多糖工艺,并通过与抗坏血酸对比·OH、DPPH·、ABTS⁺·的清除能力和总抗氧化能力,评价核桃青皮多糖抗氧化活性。结果表明:微波辅助提取核桃青皮多糖的最佳条件为水料比25:1(mL/g)、微波功率750 W、提取时间8.5 min、提取次数2次,在该条件下核桃青皮多糖得率可达10.17%。抗氧化试验结果显示,核桃青皮多糖具有一定的抗氧化活性,但弱于抗坏血酸。核桃青皮多糖对·OH、DPPH·、ABTS⁺·的IC₅₀值分别为83 975.520,628.800,694.733 μg/mL,总抗氧化能力的FRAP值为120.42 μmol/mL。

关键词:微波辅助提取;核桃;青皮;多糖;抗氧化

Abstract: The response surface methodology was used to optimize microwave-assisted extraction process of polysaccharides from walnut husks. Compared with the ascorbic acid, the preliminary antioxidant activities of the polysaccharides was evaluated by investigated the ·OH, DPPH·, ABTS⁺· free radical scavenging capacity and total antioxidant capacity. The results showed that the optimal condi-

tions were water-feed ratio 25:1(mL/g), microwave power 750 W, extraction time 8.5 min, extract 2 times. Under these conditions, the yield of polysaccharides was 10.17%. The results of anti-oxidation experiment showed that the walnut husks polysaccharides had some scavenging effects, but not as good as ascorbic acid. The walnut husks polysaccharides scavenged the ·OH, DPPH·, ABTS⁺· free radical as IC₅₀ values of 83 975.520, 628.800 and 694.733 μg/mL, and the FRAP (total antioxidant capacity) were 120.42 μmol/mL.

Keywords: microwave-assisted extraction; walnut; husks; polysaccharide; antioxidant

核桃青皮又称青龙衣,为核桃外部的未成熟外果皮。其主要化学成分有多酚、多糖、黄酮及其苷、胡桃醌及其苷类、二芳基庚烷类及挥发油等化合物^[1]。核桃青皮有清热解毒,祛风疗癣,止痛止痒的功效^[2],还有抗癌、抑菌杀虫、治疗皮肤病和胃神经痛等作用^[3-4]。但在核桃加工中,大部分核桃青皮被废弃,造成资源浪费和环境污染。

多糖作为一种重要的活性成分,具有抗病毒、抗肿瘤、抗衰老、调节免疫、降血糖、抗凝血的功能^[5]。目前对核桃青皮中多糖的研究较少,如季宇彬等^[6]采用热水浸提法提取核桃青皮多糖,经纯化后对其单糖组分进行了分析,发现其主要组分为半乳糖、葡萄糖、阿拉伯糖、鼠李糖、果糖等;于翠莲^[7]采用醇-水浸提法提取多糖,发现不同品种和时期的核桃青皮多糖含量差异较大,且核桃青皮多糖具有一定的还原能力及抗氧化活性,但弱于抗坏血酸。

基金项目:云南省教育厅科学研究基金重点项目(编号:2014Z105);西南林业大学博士科研启动基金(编号:111303);云南省森林灾害预警与控制重点实验室开放基金(编号:ZK150013)

作者简介:张雪春,女,西南林业大学讲师,博士。

通讯作者:王振兴(1984—),男,西南林业大学研究实习员,江西师范大学在读博士研究生。E-mail: wzx323@163.com

收稿日期:2015-10-17

微波技术具有穿透性强、选择性高、效率高等特点,已被广泛应用于各种天然活性成分的提取^[8],但是采用微波辅助提取核桃青皮多糖的研究尚未见报道。本研究拟通过微波辅助的方式来提取核桃青皮多糖,对提取条件中的影响因素采用响应面分析法进行优化,同时与抗坏血酸进行对比,评价其抗氧化活性,以期为进一步开发核桃资源提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料和试剂

核桃青皮:采自云南楚雄大姚县;
石油醚、氯仿、正丁醇、无水乙醇、冰醋酸、浓盐酸、浓硫酸、过氧化氢、蒽酮、葡萄糖、氢氧化钠、硫酸亚铁、三氯化铁、水杨酸、无水醋酸钠、抗坏血酸、活性炭:均为分析纯,天津市大茂化学试剂厂;
1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH):分析纯,日本 TCI 公司;
2,2'-联氮,-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)(ABTS):分析纯,德国 Sigma 公司;
三吡啶三叶啉(TPTZ):分析纯,美国 Aladdin 公司。

1.2 仪器与设备

紫外分光光度计:UV-1000 型,莱伯泰科仪器公司;
电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9140A 型,上海一恒科技公司;
精密电子天平:BT224S 型,北京赛多利斯公司;
高速冷冻离心机:Sigma-3K15 型,德国 Sigma 公司;
真空泵:循环水式多用 SHB-Ⅲ 型,郑州长城科工贸公司;
旋转蒸发仪:RE52-A 型,上海亚荣生化仪器厂;
微波炉:P70D20P-TD 型,格兰仕电器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 微波辅助提取核桃青皮多糖工艺流程

核桃青皮→烘干→粉碎至 40 目过筛→微波辅助提取→4 000 r/min 离心 15 min→抽滤→合并滤液,60 ℃旋蒸浓缩→醇沉脱色→3 000 r/min 离心 15 min→取沉淀→1%活性炭脱色→3 000 r/min 离心 15 min→取上清液→Savage 法除蛋白→4 000 r/min 离心 15 min→取上清液 60 ℃旋蒸浓缩,真空冷冻干燥→核桃青皮粗多糖

1.3.2 核桃青皮多糖得率的测定 采用硫酸—蒽酮法测定^[9],回归方程 $Y=0.008\ 1X-0.007\ 3,R^2=0.999\ 3$ 。核桃青皮多糖得率按式(1)计算:

$$W=\frac{m_1}{m_2}\times 100\%,$$

(1)

式中:
W——多糖得率,%;
 m_1 ——多糖质量,g;
 m_2 ——原料干重,g。

1.3.3 微波辅助提取核桃青皮多糖的单因素试验设计 准确称取 10 g 青皮粉末于 500 mL 烧杯中,按一定的料液比加入蒸馏水,搅拌均匀,用保鲜膜将烧杯口封闭,置于微波炉

中,进行微波辅助提取,提取完成后,测定得率。

(1) 液料比对多糖得率的影响:在微波功率 700 W,提取时间 8 min,提取次数 2 次条件下,控制液料比分别为 10:1,15:1,20:1,25:1,30:1,35:1(mL/g),探讨液料比对多糖得率的影响。

(2) 微波功率对多糖得率的影响:在液料比 25:1(mL/g),提取时间 8 min,提取次数 2 次条件下,控制微波功率分别为 400,500,600,700,800,900 W,探讨微波功率对多糖得率的影响。

(3) 提取时间对多糖得率的影响:在液料比 25:1(mL/g),微波功率 700 W,提取次数 2 次条件下,控制微波提取时间分别为 2,4,6,8,10,12 min,探讨提取时间对多糖得率的影响。

(4) 提取次数对多糖得率的影响:在液料比 25:1(mL/g),微波功率 700 W,提取时间 8 min 条件下,控制提取次数分别为 1,2,3,4,5 次,探讨提取次数对多糖得率的影响。

1.3.4 微波辅助提取核桃青皮多糖的工艺优化 在单因素试验基础上,选择其中影响较大的几个因素,采用 Box-Behnken 进行响应面设计试验,以多糖得率为响应值进行优化。

1.3.5 核桃青皮多糖清除·OH 能力的测定 根据 Fenton 反应原理及参考文献[10]的方法测定,·OH 清除率按式(2)计算:

$$E=\frac{A_0-A_i}{A_0}\times 100\%,$$

(2)

式中:
E——清除率,%;
 A_0 ——试剂空白液的吸光度;
 A_i ——加样品时的吸光度。

1.3.6 核桃青皮多糖清除 DPPH· 能力的测定 参考文献[11],DPPH· 清除率按式(3)计算:

$$E=\frac{A_0-(A_i-A_j)}{A_0}\times 100\%,$$

(3)

式中:
E——清除率,%;
 A_0 ——试剂空白液的吸光度;
 A_i ——加样品时的吸光度;
 A_j ——加样品时对照组的吸光度。

1.3.7 核桃青皮多糖清除 ABTS⁺· 能力的测定 参考文献[12],ABTS⁺· 清除率按式(2)计算。

1.3.8 核桃青皮多糖总抗氧化能力的测定 参考文献[13]的方法并稍作改进:向试管中分别加入 2 mL 不同浓度的核桃青皮多糖溶液,加入 3.8 mL FRAP 工作液,迅速摇匀后,置于 37 ℃恒温水浴锅中反应 10 min,于波长 593 nm 处测定吸光值,平行 3 次。根据 FeSO₄ 标准曲线,计算相同吸光值下硫酸亚铁的当量浓度,记为 FRAP 值。同时用抗坏血酸代替核桃青皮多糖,在相同条件下测定抗坏血酸总抗氧化能力作为对比。

1.3.9 数据分析 采用 SPSS 22.0 软件对单因素试验和抗氧化试验的因素和结果进行比较分析,采用 Design Expert 8.05b软件进行响应面试验设计和数据分析。所有试验平行测定 3 次,试验结果以平均值±标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 液料比对核桃青皮多糖得率的影响 由图 1 可知,核桃青皮多糖得率随液料比的增大而呈现逐渐上升趋势,当液料比为 25:1(mL/g)时,多糖得率达到最高值 9.91%。继续增大液料比,得率反而略有下降。因此从试验条件和成本考虑,提取液料比以 25:1(mL/g)为宜。

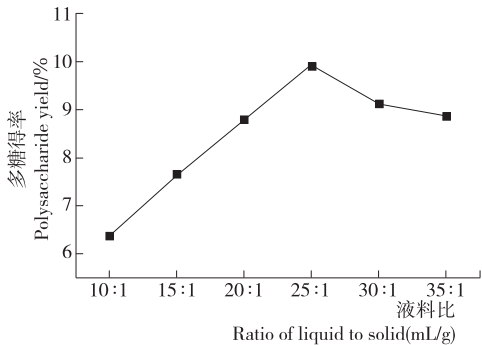


图 1 液料比对多糖得率的影响

Figure 1 Influence liquid ratio on the yield of walnut husks polysaccharide

2.1.2 微波功率对核桃青皮多糖得率的影响 由图 2 可知,核桃青皮多糖得率随微波功率逐渐上升,从 400 W 的 4.71% 增加到 700 W 时的最大值 9.93%,增幅较为明显。超过 700 W 后,核桃青皮多糖得率缓慢下降,当微波功率为 900 W 时,多糖得率为 9.25%。原因可能是随着微波功率的增大,电场强度增强,升温速度加快,分子运动剧烈,细胞膜破坏程度加大,因此提取效果增大;但是当功率过大时,多糖结构被破坏,一些可溶性杂质的溶出相对增加,致使多糖得率下降^[14]。

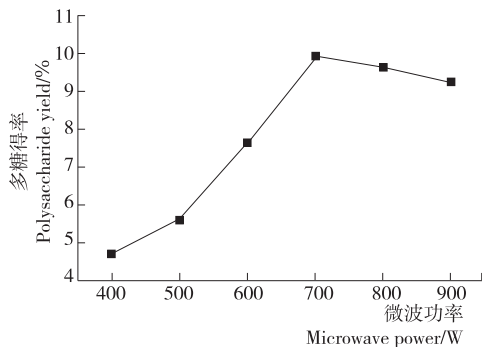


图 2 微波功率对多糖得率的影响

Figure 2 Influence of microwave power on the yield of walnut husks polysaccharide

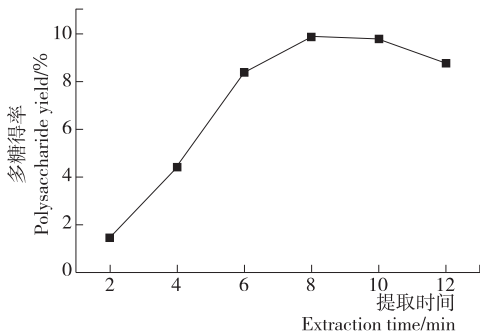


图 3 提取时间对多糖得率的影响

Figure 3 Extraction time on the yield of walnut husks polysaccharide

多糖得率呈现缓慢下降的趋势。原因可能是微波辅助提取一定时间后,植物细胞膜内外的渗透浓度逐渐相等,多糖含量不再明显增加;另外微波加热时间过长,也可能对多糖结构造成破坏^[15]。

2.1.4 提取次数对核桃青皮多糖得率的影响 由图 4 可知,分别测定不同提取次数下的多糖得率,当提取次数为 2 次时,核桃青皮多糖得率最高,为 9.94%。继续增加提取次数,核桃青皮得率反而缓慢下降。原因可能是提取次数越多,核桃青皮中的其他杂质如淀粉、蛋白质、果胶等被大量浸出并变性,沉淀包裹了部分核桃青皮多糖,以致得率下降。因此,综合考虑提取效果、试验成本及工作量等因素,在后期响应面优化设计试验中,固定提取次数为 2 次。

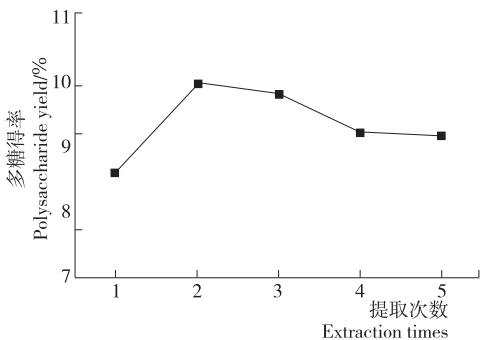


图 4 提取次数对多糖得率的影响

Figure 4 Extract times on the yield of walnut husks polysaccharide

2.2 响应面优化试验结果

2.2.1 响应面设计试验结果 根据单因素试验结果,固定提取次数为 2 次,选择液料比、微波功率、提取时间作为因素,以多糖得率为响应值,设计三因素三水平响应面进行优化试验,因素水平表和响应面分析试验设计及结果见表 1、2。

2.2.2 响应面试验结果分析及回归方程 通过 Design Expert 8.05b 软件对表 2 中试验结果进行响应面回归分析,得到该试验的回归模型方程:

$$Y = -61.54275 + 1.737A + 0.12148B + 1.02638C - 0.00019AB + 0.0044AC + 0.0021625BC - 0.03207A^2 - 0.000091B^2 - 0.1548125C^2 \quad (4)$$

表 1 响应面因素及水平表

编码值	A 液料比 (mL/g)	B 微波功 率/W	C 提取时 间/min
1	20	600	6
0	25	700	8
−1	30	800	10

由表 3 可知,该模型的 P 值极显著($P<0.001$), $R^2=0.992$,表示方程能较好地反映各因子与响应值的关系并预测最佳合成条件,失拟项 P 值为不显著,说明方程拟合度较好。各因素对试验影响程度依次为微波功率>提取时间>液料比,其对应的 P 值均达到了极显著水平。

对方程进行优化,剔除不显著项 AB、BC,优化后的方程为:

$$Y=-61.542\ 75+1.737A+0.121\ 48B+1.026\ 38C+0.004AC-0.032\ 07A^2-0.000\ 091B^2-0.154\ 812\ 5C^2。$$
 (5)

2.2.3 各因素相互作用 根据优化后的回归方程,作液料比和提取时间的响应面分析图。各因素相应曲线的陡峭程度反映了该因素对核桃青皮多糖得率的影响程度。由图 5 可知,提取时间对核桃青皮多糖得率的影响结果大于液料比,

表 2 Box-Behnken 试验设计和结果

编号	A	B	C	Y 提取率/%
1	0	−1	−1	8.07
2	1	0	1	9.16
3	1	−1	0	7.86
4	−1	1	0	8.83
5	0	1	1	9.66
6	−1	−1	0	7.34
7	0	0	0	10.02
8	0	0	0	9.98
9	0	−1	1	7.68
10	0	0	0	9.89
11	0	0	0	10.06
12	0	0	0	9.88
13	−1	0	−1	8.01
14	−1	0	1	8.76
15	0	1	−1	8.32
16	1	0	−1	8.25
17	1	1	0	8.97

表 3 回归模型方差分析和系数显著性检验[†]

变异来源	平方和	自由度	方差	F 值	P 值	显著性
模型	13.501	9	1.500	99.729	<0.001	极显著
A	0.211	1	0.211	14.044	0.007	极显著
B	2.916	1	2.916	193.863	<0.001	极显著
C	0.852	1	0.852	56.609	<0.001	极显著
AB	0.036	1	0.036	2.400	0.165	
BC	0.006	1	0.006	0.426	0.535	
AC	0.748	1	0.748	49.742	<0.001	极显著
A ²	2.707	1	2.707	179.930	<0.001	极显著
B ²	3.519	1	3.519	233.968	<0.001	极显著
C ²	1.615	1	1.615	107.339	<0.001	极显著
残差	0.105	7	0.015			
失拟项	0.080	3	0.027	4.256	0.098	不显著
纯误差	0.025	4	0.006			
总方差	13.607	16				

[†] R^2 为 0.992, R_{adj}^2 为 0.982。

且两者交互作用的等高线呈椭圆形,说明两者交互作用极为显著。

2.2.4 最优条件的验证 对方程求导可知,当液料比、微波功率、提取时间为 25.54:1(mL/g)、734 W、和 8.53 min 时,核桃青皮多糖得率最高,其理论值为 10.118%。对该优化条件进行验证实验,平行 3 次。为方便操作,取液料比为 25:1(mL/g)、微波功率 750 W 和提取时间 8.5 min,在该条件下测得多糖得率为 10.17%,接近理论值,证明该模型可行。

2.3 核桃青皮多糖抗氧化活性试验结果

2.3.1 清除·OH 能力的测定 由图 6 可知,核桃青皮多糖对·OH 清除率随质量浓度的增加呈逐渐上升的趋势。在质量浓度为 50~1 000 μg/mL 时,回归方程为 $y=12.175x+20.251$, $R^2=0.982\ 2$,呈线性关系。青皮多糖清除·OH 的 IC_{50} (83 975.52 μg/mL)弱于抗坏血酸的(140.55 μg/mL),这可能是所提取的核桃青皮多糖未经纯化,杂质含量较高。

2.3.2 清除 DPPH·能力的测定 由图 7 可知,核桃青皮多

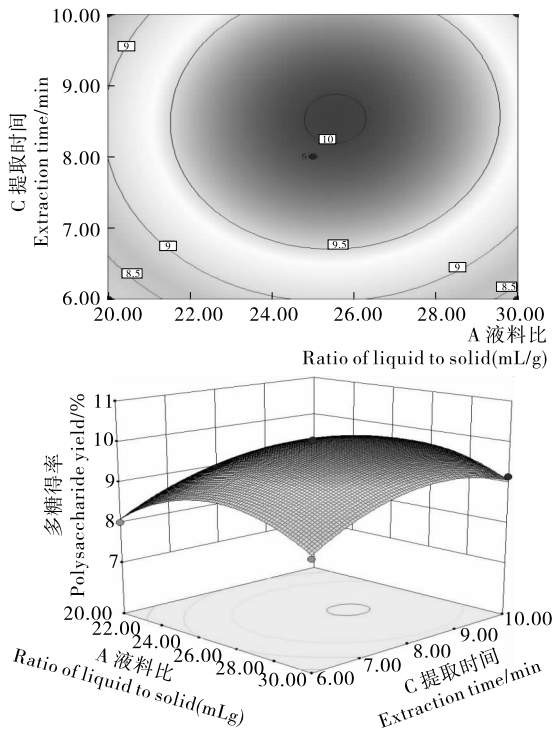


图 5 因素相互作用和对多糖得率影响的等高线和响应面
Figure 5 Response surface and contour plots for the effect of operating parameters on extract rate

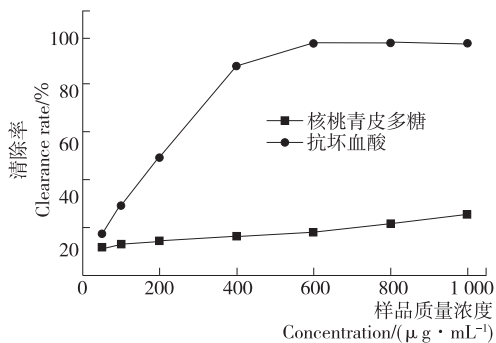


图 6 核桃青皮多糖与抗坏血酸清除 ·OH 能力的比较
Figure 6 Comparison of scavenging ·OH ability between walnut husks polysaccharide and ascorbic acid

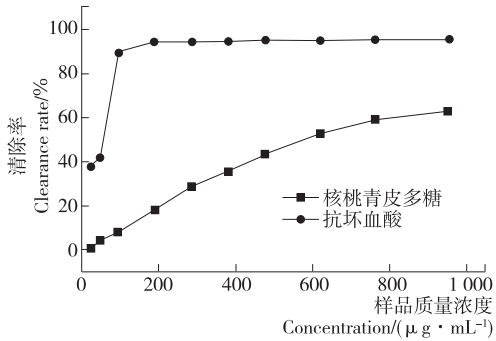


图 7 核桃青皮多糖与抗坏血酸清除 DPPH · 能力的比较
Figure 7 Comparison of scavenging DPPH · ability between walnut husks polysaccharide and ascorbic acid

糖对 DPPH · 清除率随质量浓度的增加呈逐渐上升的趋势。在质量浓度为 25~650 μg/mL 时,回归方程为 $y=84.646x+0.594$, $R^2=0.9914$,呈线性关系。浓度大于 650 μg/mL 时,清除率继续上升,但线性变差。核桃青皮多糖清除 DPPH · 的 IC_{50} (628.8 μg/mL) 弱于抗坏血酸的 (52.168 78 μg/mL)。

2.3.3 清除 ABTS⁺ · 能力的测定 由图 8 可知,核桃青皮多糖和抗坏血酸对 ABTS⁺ · 的清除率都随质量浓度的增加呈上升的趋势,核桃青皮多糖对 ABTS⁺ · 的清除率变化曲线的回归方程为 $y=0.635x+3.1323$, $R^2=0.9957$,线性较好。核桃青皮多糖清除 ABTS⁺ · 的 IC_{50} (694.733 μg/mL) 弱于抗坏血酸的 (16.276 μg/mL)。

2.3.4 总抗氧化能力的测定 总抗氧化能力常用 FRAP 值来表示,Fe³⁺ 在酸性条件下与 TPTZ 形成复合物,然后被反应体系中的还原物质还原为 Fe²⁺。Fe²⁺ 在 593 nm 处有最大吸收,呈明显的蓝色。样品总抗氧化能力以达到相同吸光值的 FeSO₄ 的当量浓度表示,记为 FRAP 值^[16]。

由图 9 可知,核桃青皮多糖的 FRAP 值随着样品浓度的增加而增加。核桃青皮多糖 FRAP 值变化曲线的回归方程为 $y=0.1503x-9.8702$, $R^2=0.9872$,线性较好。在样品浓度为 840 μg/mL 时,核桃青皮多糖的 FRAP 值 (120.42 μmol/mL) 低于抗坏血酸的 (1 107.86 μmol/mL)。

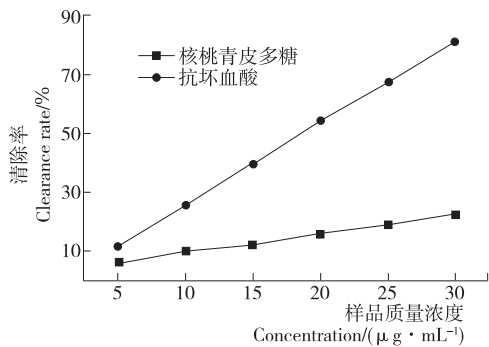


图 8 核桃青皮多糖与抗坏血酸清除 ABTS⁺ · 能力的比较
Figure 8 Comparison of scavenging ABTS⁺ · ability between walnut husks polysaccharide and ascorbic acid

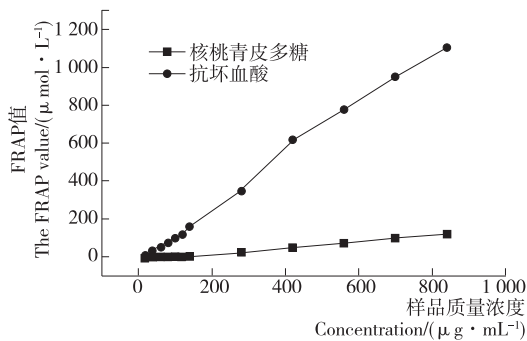


图 9 核桃青皮多糖与抗坏血酸总抗氧化能力的比较
Figure 9 Comparison of TAC between walnut husks polysaccharide and ascorbic acid

3 结论

(1) 采用微波辅助提取核桃青皮多糖,各因素对核桃青皮多糖提取率均有显著影响($P<0.05$),各因素对核桃青皮多糖得率的影响程度依次为微波功率>提取时间>液料比;最佳提取条件:提取次数 2 次,液料比 25:1(mL/g),微波功率 750 W,提取时间 8.5 min,在此条件下多糖得率可达 10.17%。本研究与于翠莲^{[7]15-17}采用醇-水浸提法提取核桃青皮多糖的研究结果相比,提取时间由 4 h 缩短到 8.5 min,多糖得率由 4.523%提高到 10.170%。

(2) 抗氧化试验表明,核桃青皮多糖具有较好的抗氧化活性,虽然弱于相同浓度下的抗坏血酸,但对 DPPH·、·OH、ABTS⁺·的清除作用明显,以及具有一定的总抗氧化能力,有望开发为一种天然抗氧化剂,具有较高的研究开发价值。下一步将对核桃青皮多糖的分离纯化做进一步分析,以明确核桃青皮多糖中起抗氧化作用的主要组分。

参考文献

[1] KESKIN D, CEYHAN N, UGUR A. Chemical composition and in vitro antimicrobial activity of walnut (*Juglans Regia*) green husks and leaves from west anatolia[J]. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 2012,6(2): 583-588.

[2] 徐巍. 青龙衣的药用研究概述[J]. *中医药信息*, 2002, 19(6): 13-14.

[3] 陆俊, 赵安琪, 成策, 等. 核桃营养成分与生理活性及开发利用[J]. *食品与机械*, 2014, 30(6): 238-242.

[4] CARVALHOM, FERREIRA P J, MENDES V S, et al. Human

cancer cell antiproliferative and antioxidant activities of *Juglans Regia* L.[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2010, 48(1): 441-447.

[5] 刘元慧. 山核桃外果皮的化学成分及生物活性研究[D]. 杭州: 浙江林学院, 2009: 10-13.

[6] 季宇彬, 陈海继, 汲晨锋. 青龙衣多糖的提取及单糖组分和质量分数测定[J]. *哈尔滨商业大学学报: 自然科学版*, 2006(4): 1-4.

[7] 于翠莲. 核桃青皮粗多糖的提取、理化性质及其抗氧化活性的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2012.

[8] 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.

[9] 孟娟. 蒽酮-硫酸比色法测定甘草残渣中多糖含量[J]. *天津化工*, 2011, 25(5): 45-46.

[10] 何玲玲, 王新, 刘彬, 等. 板栗多糖的分离纯化及抗氧化活性研究[J]. *食品与机械*, 2010, 26(2): 72-75.

[11] 涂宗财, 寇玉, 王辉, 等. 荷叶多糖的超声波辅助提取和抗氧化活性[J]. *食品科学*, 2013, 34(16): 108-112.

[12] 廖月霞, 王笑娜, 孔桂美, 等. 半枝莲乙醇提取物体外抗氧化活性研究[J]. *时珍国医国药*, 2012, 23(3): 520-522.

[13] BENZIE I F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay[J]. *Analytical Biochemistry*, 1996, 239(1): 70-76.

[14] 胡园园, 方淑玲, 杨虎清, 等. 微波辅助提取山茱萸多糖工艺优化[J]. *食品与机械*, 2011, 27(5): 93-95.

[15] 申伟崧, 刘毅, 陈效毅. 响应面分析法优化微波辅助提取银杏外种皮多糖的工艺研究[J]. *中国野生植物资源*, 2014(5): 19-22.

[16] 陈玉霞, 刘建华, 林峰, 等. DPPH 和 FRAP 法测定 41 种中草药抗氧化活性[J]. *实验室研究与探索*, 2011(6): 11-14.

(上接第 98 页)

录时,出现的画面包括手动控制和自动控制,两者之间可以自由切换。在系统的界面还可以进行清洗液的温度、浓度以及蒸汽阀的开度设置等参数的调节,见图 5。当系统处于运行的状态时,即 PLC 和触摸屏同时工作,就可以实现对清洗系统的监控和调节。

4 结论

采用西门子 S7-200 系列的 PLC 和触摸屏技术,验通过对目标设备的分析,实现了多个工艺流程的正常运行,增加了系统反馈环节,提高了生产线的自动化水平和设备利用率,改变了现场工人的劳动条件。清洗过程均在密闭的空间内进行,避免了二次污染,也解决了控制单一化的影响,可以应用于不同饮料的自动清洗。善后的 CIP 自动清洗系统虽未经实践检验,但是理论上该系统能够有效清洗污物,自动化程度也有所提高,可为相关清洗系统设计提供一定的参考。

参考文献

[1] 周万珍, 高鸿斌. PLC 分析与设计应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 17-21.

[2] 陈爱清. 全自动 CIP 清洗系统在饮料、啤酒包装生产线的应用[J]. *饮料工业*, 2010, 13(11): 38-41.

[3] 西门子(中国)有限公司. 深入浅出西门子人机界面[M]. 北京:

北京航空航天大学出版社, 2009: 22-32.

[4] 唐文军, 樊石, 李磊. 乳品厂 CIP 系统的自动控制改造[J]. *自动化技术与应用*, 2014(4): 77-78, 81.

[5] 廖常初. PLC 编程及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 17-25.

[6] 吕守军. CIP 清洗系统的分析及优化[J]. *啤酒科技*, 2011(9):26-28, 30.

[7] 刘文芳. 基于 PLC 及触摸屏技术的 CIP 清洗控制系统的设计[J]. *制造业自动化*, 2011(3): 143-144, 212.

[8] ROGER Cooke, ATZE Bosma, FRANK Hearte. A practical model of Heinekens bottle filling line with dependent failures[J]. *European Journal of Operational Research*, 2005(164): 491-504.

[9] MASUYAMA Rahaman, SORESCU Bare. Flow investigation of the product fill valve of filling machine for packaging liquid products[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008(85): 252-258.

[10] 时献江, 姚智宇. 乳品厂新型 CIP 自动控制系统[J]. *中国乳品工业*, 2005(3): 54-55.

[11] 万永泉, 和强, 王家林. CIP 技术在啤酒厂的新应用[J]. *酿酒科技*, 2001(1): 70-71.

[12] 孙凯, 宋洪波, 安凤平, 等. CIP 就地清洗机微机控制系统的研究[J]. *粮食加工与食品机械*, 2001(7): 37-38.

[13] 李玲, 吴彦明, 潘建广. 超小型 PLC 在小型自动化控制系统中的应用[J]. *石河子大学学报: 自然科学版*, 2004, 22(1): 69-71.