

新疆野生樱桃李中多糖提取物提取工艺及其抗氧化活性研究

沈静^{1,2}, 李洋¹, 李亚杰¹, 张歆², 常军民^{1*}, 姚军^{1*} (1.新疆医科大学药学院, 乌鲁木齐 830011; 2.新疆医科大学第五附属医院, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 目的 采用 Box-Behnken 法优化樱桃李中多糖提取物的提取工艺, 并考察其抗氧化活性。方法 分别考察提取时间、提取温度及料液比对多糖提取物得率的影响, 采用三因素三水平响应面法进行多糖提取物提取工艺的优化, 利用红外光谱分析其结构。结果 樱桃李中多糖提取物最佳提取工艺条件为料液比 1:30, 提取温度为 73 ℃, 超声时间为 61 min。在此条件下, 樱桃李中多糖提取物得率为 7.20%, 樱桃李果肉中多糖含量为 1.41%。红外光谱分析显示, 提取物中有糖醛酸和 α -D-吡喃糖。在一定的浓度范围内, 樱桃李中多糖具有 DPPH 自由基和羟自由基清除能力, 即具有一定抗氧化活性。结论 超声提取操作简便易行, 樱桃李果肉中含有较丰富的多糖, 提取的樱桃李粗多糖具有较好的抗氧化活性。

关键词: 樱桃李多糖; 超声波法; 响应面; 红外光谱; 抗氧化

中图分类号: R284.2 文献标志码: B 文章编号: 1007-7693(2019)24-3040-06

DOI: 10.13748/j.cnki.issn1007-7693.2019.24.007

引用本文: 沈静, 李洋, 李亚杰, 等. 新疆野生樱桃李中多糖提取物提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 中国现代应用药学, 2019, 36(24): 3040-3045.

Study on Extraction Technology and Antioxidant Activity of Polysaccharide Extract from Wild *Prunus Cerasifera*

SHEN Jing^{1,2}, LI Yang¹, LI Yajie¹, ZHANG Xin², CHANG Junmin^{1*}, YAO Jun^{1*} (1.College of Pharmacy, Xinjiang Medical University, Urumqi 830011, China; 2.The Fifth Affiliated Hospital, Xinjiang Medical University, Urumqi 830011, China)

ABSTRACT: OBJECTIVE To optimize the extraction technology of polysaccharides extract from *Prunus cerasifera* by Box-Behnken designing, and to investigate its antioxidant activity. **METHODS** The effects of extraction time, extraction temperature and liquid-to-material ratio on the yield of polysaccharide extract were established using a 3-factor, 3-lever Box-Behnken design and the structure of polysaccharides was analyzed by IR. **RESULTS** The optimal extraction condition was obtained as extraction time 61 min, extraction temperature 70 ℃, liquid-to-material ratio 1:30, ultrasonic time 61 min. Under such condition, the yield of polysaccharides from *Prunus cerasifera* was 7.20%, and content was 1.41%. Infrared spectroscopy analysis, extracts were glycolic acid and α -D-pyranose. In a certain concentration range, the polysaccharides of *Prunus cerasifera* had DPPH free radical and hydroxyl radical scavenging ability, showed certain antioxidant activity. **CONCLUSION** Ultrasonic extraction is simple and easy, and there are abundant polysaccharides in the flesh of *Prunus cerasifera* plum. The extracted crude polysaccharides from *Prunus cerasifera* plum have good antioxidant activity.

KEYWORDS: *Prunus cerasifera* polysaccharides; ultrasonic method; response surface; IR; antioxidant

新疆野生樱桃李(*Prunus cerasifera*)属蔷薇科李属植物, 是一种原始野生林果^[1]。野生樱桃李种类较多, 其成熟果实可分为红、黄、紫 3 种类型^[2]。樱桃李果实色泽鲜艳, 营养价值高, 含有多人体必需的氨基酸, 可提高人体免疫力^[3-4]。多糖是樱桃李中主要活性成分之一^[2]。植物多糖能够健胃保肝^[5]、解毒^[6-7]、抗氧化^[8-9], 同时还具有免疫调节^[9-11]、抑菌^[12-13]、抗炎^[14-16]、抗肿瘤^[17-19]等作用, 樱桃李中多糖具有较好的开发应用前景。

目前多糖的超声提取法已有较多研究和报道^[20-24], 与传统提取法相比, 超声波提取法缩短了提取时间且减少了耗能, 提取效率更高。樱桃李多糖的提取工艺尚未见有相关研究报道, 尚缺乏系统的提取分离方法和纯化工艺。基于此, 本实验采用超声波提取法提取樱桃李多糖, 以多糖的得率为主要指标, 并通过响应面法优化超声提取工艺; 同时分析樱桃李多糖的红外结构, 对樱桃李中多糖抗氧化活性进行考察, 为樱桃李中多

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2016D01C226)

作者简介: 沈静, 女, 硕士, 副教授 Tel: 13999897711 E-mail: 6572177@qq.com *通信作者: 常军民, 男, 博士, 教授 Tel: 13999107938 E-mail: 1617265908@qq.com 姚军, 男, 博士, 教授 Tel: 18999250641 E-mail: 380531866@qq.com

糖的生物活性研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

野生樱桃李单粒速冻果：2017 年 8 月中旬采集于新疆伊犁霍城县大西沟乡，由新疆医科大学药学院帕丽达·阿不力孜教授鉴定为新疆野生樱桃李(*Prunus cerasifera*)的果实；无水葡萄糖、95%乙醇、无水乙醇、蒽酮、丙酮、乙醚、氯仿、正丁醇、浓盐酸、水杨酸、硫酸亚铁、抗坏血酸等均为分析纯；DPPH 试剂[梯希爱(上海)化成工业发展有限公司]。

FA2004B 电子天平(上海精密科学仪器有限公司)；HWS-78 数显恒温水浴锅(上海齐欣科学仪器有限公司)；T6 紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)；FTIR-8400S 傅里叶变换红外光谱仪(日本岛津公司)。

1.2 方法

1.2.1 超声提取法提取樱桃李多糖 樱桃李鲜果脱皮去核，50 ℃烘干，称取 2.0 g，按料液比添加蒸馏水后超声提取，过滤后浓缩至 1/4，用 95%乙醇得到沉淀，4 ℃过夜，过滤，沉淀分别用无水乙醇、丙酮和乙醚依次洗涤，干燥后得樱桃李多糖。樱桃李多糖提取物的得率为干燥后产物质量与称取樱桃李果肉质量的比值。

1.2.2 樱桃李多糖的含量测定 7 支具塞试管中分别加入 0.1 mg·mL⁻¹ 葡萄糖对照品溶液 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 mL，加蒸馏水至 2.0 mL，再分别加入 6.0 mL 硫酸蒽酮溶液(蒽酮 0.2 g 溶于 100 mL 浓硫酸)摇匀，沸水加热 15 min，取出后冰浴冷却至室温，在 625 nm 处测定吸光度，以葡萄糖含量(μg)为横坐标，吸光度为纵坐标，绘制标准曲线。

精密量取粗多糖适量，加水溶解，再加入硫酸蒽酮溶液 6.0 mL 后摇匀，沸水浴 15 min，取出后冰浴冷却至室温，在 625 nm 波长处测定吸光度，代入线性回归方程求出供试品溶液中多糖含量，得出樱桃李果肉中多糖的含量。本实验发现不同提取工艺下的多糖提取物中多糖含量差异很小，故采用多糖提取物得率为评价指标。

1.2.3 樱桃李多糖提取物提取工艺的单因素试验

1.2.3.1 料液比对得率的影响 称取预处理的樱桃李果实 2.0 g，分别按料液比 1:10, 1:20, 1:

30, 1:40, 1:50 在提取温度 70 ℃，超声功率 80 W，超声时间 55 min 下提取。测定多糖提取物得率，比较并选取最佳料液比。

1.2.3.2 提取温度对得率的影响 称取预处理的樱桃李果实 2.0 g，分别采用 40, 50, 60, 70, 80, 90 ℃提取温度，按照 1:30 的料液比在 80 W 超声提取 55 min。测得多糖得率，比较并选取最佳提取温度。

1.2.3.3 提取时间对得率的影响 称取预处理的樱桃李果实 2.0 g，分别按照 45, 50, 55, 60, 65 min 的提取时间，按照 1:30 的料液比在 80 W 超声功率、提取温度 70 ℃下进行提取。测得多糖提取物得率，比较并选取最佳提取时间。

1.2.3.4 超声功率对得率的影响 称取预处理的樱桃李果实 2.0 g，分别按照 60, 70, 80, 90, 100 W 的超声功率，按照 1:30 料液比，提取温度 70 ℃，超声时间 60 min 下提取。测得多糖提取物得率，比较并选取最佳超声功率。

1.2.4 响应面分析 在单因素试验结果的基础上，选择提取料液比、提取温度、提取时间 3 个因素采用中心组合设计优化樱桃李多糖提取物的提取工艺条件，进行 Box-Behnken 响应面实验。设计见表 1。

表 1 响应面实验因子编码及水平

Tab. 1 Response surface experiment factor coding and level

水平	因素		
	A 料液比/g·mL ⁻¹	B 浸提温度/℃	C 超声时间/min
-1	1:20	60	55
0	1:30	70	60
1	1:40	80	65

1.2.5 红外光谱初步分析 采用超声法提取樱桃李多糖，溴化钾压片法制样，使用傅里叶变换红外光谱仪在 4 000~400 cm⁻¹ 内进行红外光谱扫描。

1.2.6 樱桃李中多糖抗氧化活性研究 樱桃李中多糖 DPPH 清除率、羟自由基清除率的测定参照文献[25]进行测定。DPPH 自由基中的单电子在 517 nm 处有强吸收，其醇溶液呈紫色，当有自由基清除剂存在时可与其单电子配对而使吸收消失，即清除率越大则抗氧化能力越强。羟自由基与水杨酸反应在 510 nm 处生成 2,3-二羟基苯甲酸，反应体系中加入清除羟自由基和抗氧化功能

的被测物,则减少有色化合物的生成,表明具有抗氧化活性。

2 结果与分析

2.1 葡萄糖对照品标准曲线

以吸光度值为纵坐标,多糖质量(μg)为横坐标,得回归方程 $Y=0.010\ 0X+0.006\ 8$,相关系数 $R^2=0.999\ 4$ 。

2.2 料液比对樱桃李多糖提取物得率的影响

随着料液比的增大,提取率逐渐增大,当料液比为 1:30 时达到最大值 6.10%,再随着料液比的增加,得率有所减小,因此,料液比为 1:30 为宜。结果见图 1。

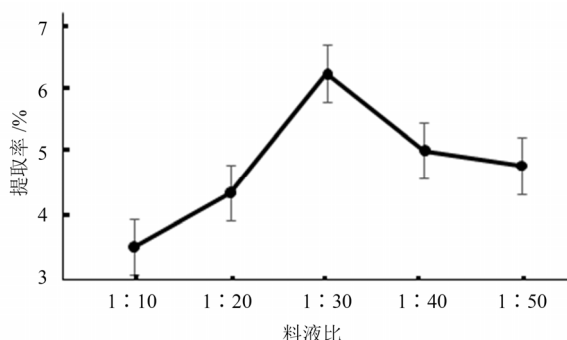


图 1 料液比对粗多糖提取物提取率影响

Fig. 1 Effect of ratio of material to liquid on rate of gain of crude polysaccharide

2.3 提取温度对樱桃李多糖提取物得率的影响

随着浸提温度的升高,樱桃李粗多糖提取物得率逐渐增加,当提取温度为 70 $^{\circ}\text{C}$ 时达到最大,对应的得率为 6.0%,当提取温度 $>70\ ^{\circ}\text{C}$,得率下降,因此选择提取温度为 70 $^{\circ}\text{C}$ 为宜。结果见图 2。

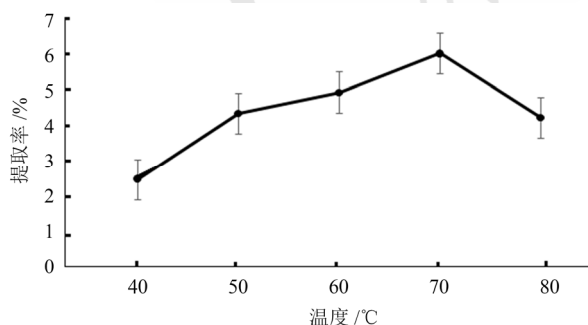


图 2 提取温度对粗多糖提取物提取率的影响

Fig. 2 Effect of extraction temperature on rate of gain of crude polysaccharide

2.4 超声时间对樱桃李多糖提取物得率的影响

随着超声时间的增加,多糖提取物的得率逐渐增加,在 60 min 时达到最大,樱桃李多糖提取

物得率为 6.83%,超声时间 $>60\ \text{min}$ 时得率反而有所下降,故选择超声时间在 60 min 左右为宜。结果见图 3。

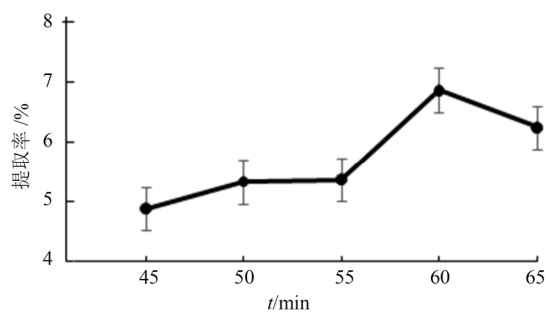


图 3 超声时间对粗多糖的得率影响

Fig. 3 Effect of ultrasonic time on rate of gain of crude polysaccharide

2.5 超声功率对樱桃李多糖提取物得率的影响

随着超声功率的增加,樱桃李多糖提取物的得率逐渐升高,当超声功率为 80 W 时,粗多糖的得率为 6.20%。故选择超声在 80 W 左右为宜。结果见图 4。

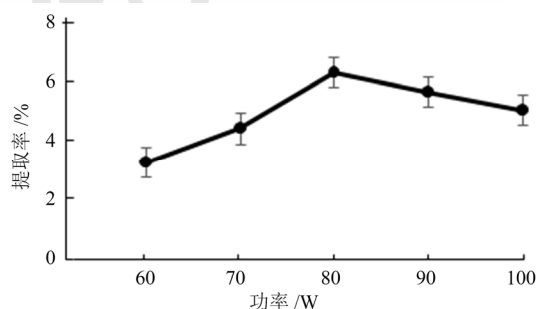


图 4 超声功率对粗多糖提取物提取率的影响

Fig. 4 Effect of ultrasonic power on rate of gain of crude polysaccharide

2.6 响应面试验结果与分析

2.6.1 响应面设计试验 根据 Box-Behnken 的中心组合试验设计原理,以料液比(A)、提取温度(B)、超声时间(C)为自变量,樱桃李多糖提取物得率为响应值(Y),在单因素试验基础上,采用 3 因素 3 水平(料液比: 1:20, 1:30, 1:40; 提取温度: 60, 70, 80 $^{\circ}\text{C}$; 提取时间: 55, 60, 65 min)的响应面分析方法进行试验设计,分析设计见表 2。

采用 Design-Experts 程序对所得数据进行回归分析。得到提取率对编码自变量 A(提取料液比)、B(提取温度)、C(提取时间)的回归方程:

$$Y=6.87+0.051A+0.42B+0.26C+0.11AB-0.24AC+0.25BC-0.26A^2-0.75B^2-0.65C^2。$$

表 2 响应面设计及结果

Tab. 2 Response surface design and results

实验号	因素			得率/%
	A	B	C	
1	1	0	-1	5.94
2	0	0	0	7.00
3	1	0	1	5.97
4	0	0	0	6.97
5	1	1	0	6.44
6	-1	1	0	6.00
7	-1	0	-1	5.47
8	-1	-1	0	5.50
9	-1	0	1	6.47
10	0	0	0	6.93
11	1	-1	0	5.50
12	0	1	1	6.45
13	0	1	-1	5.45
14	0	0	0	6.53
15	0	-1	-1	4.98
16	0	0	0	6.93
17	0	-1	1	5.00

回归模型方差分析结果见表 3, 结果表明模型中 $P<0.001$, 即证明回归模型极显著, 失拟项 $P=0.7007>0.05$ 不显著, 说明模型拟合度较好, 实验误差较小。模型决定系数 $R^2=0.9727$, 说明方程拟合度较高, 可用该回归方程预测实验结果并进行分析。

回归方程各项的方差分析结果表明, 在所选择的试验范围内, 各因素对多糖提取物得率影响的大小顺序为: $B>C>A$, 即提取温度>提取时间>料液比。其中 B (提取温度)、 C (超声时间)、 B^2 、 C^2 对多糖提取物得率均具有极显著影响 ($P<0.01$), A^2 对多糖提取物的得率具有显著影响 ($P<0.05$)。

2.6.2 响应面曲面分析 通过绘制三维响应面曲面图进一步研究 3 因素之间的交互作用对 Y 值的影响。

设回归模型中的任一因素变量为零时, 得到

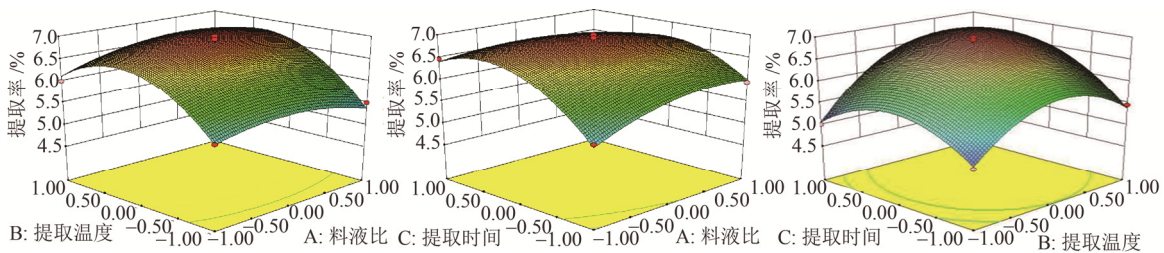


图 5 各因子之间交互作用的响应曲面图

Fig. 5 Response surface map of interaction between factors

表 3 二次回归方程方差分析

Tab. 3 Analysis of variance the regression model

方差来源	自由度	平方和	均方	F 值	P 值
模型	9	7.35	0.82	27.75	0.000 1
A	1	0.021	0.021	0.71	0.426 2
B	1	1.41	1.41	47.93	0.000 2
C	1	0.53	0.53	17.84	0.003 9
AB	1	0.048	0.048	1.64	0.240 6
AC	1	0.24	0.24	7.99	0.025 5
BC	1	0.24	0.24	8.15	0.024 5
A ²	1	0.28	0.28	9.65	0.017 2
B ²	1	2.38	2.388	0.92	<0.000 1
C ²	1	1.78	1.78	60.37	0.000 1
总残差	7	0.21	0.029		
失拟误差	3	0.056	0.019	0.50	0.700 7
纯误差	4	0.15	0.037		
总和	16	7.56			

其余 2 个变量对櫻桃李多糖得率的影响。随着 3 个因素变量的增加, 相应的曲面均呈现出先增后降趋势, 得率先随 B 的升高而上升, 达到一定值后开始下降, 可能由于加热时间过长而使多糖分解, 结果见图 5。从单个因素对 Y 值的影响可知, 各因素对多糖提取物得率影响的显著性如下: 料液比>提取时间>提取温度。3 个因素均能在所选范围之内产生最佳响应值。

软件分析可知, 櫻桃李多糖提取物得率最大值时, 最佳提取工艺: 料液比为 1:30.5, 提取温度为 73.24 °C, 提取时间为 61.2 min, 理论最佳得率为 7.30%。为了实际操作方便, 在料液比 1:30、提取温度 73 °C、提取时间 61 min 条件下进行验证实验, 平行测定 3 次, 得到櫻桃李多糖提取物平均得率为 7.20%, RSD 值为 1.56%, 与响应面模型得出结果相近, 表明该模型具有可信度, 可对后期工艺提供指导。

2.7 櫻桃李果肉中多糖的含量

根据“1.2.2”项下方法测定櫻桃李多糖提取物的多糖含量,根据“2.1”项下标准曲线方程计算,櫻桃李果肉中多糖含量为1.41%。

2.8 櫻桃李中多糖的红外光谱初步分析

3 600~3 200 cm^{-1} 处有宽展的强吸收峰是O-H的伸缩振动,3 000~2 800 cm^{-1} 的峰是CH的伸缩振动吸收峰,这些区域的吸收峰是糖类的特征吸收峰;1 740 cm^{-1} 附近是C=O,櫻桃李多糖中有糖醛酸的存在。1 670 cm^{-1} 和1 430 cm^{-1} 的峰分别是-COOH的C=O和C-O的伸缩振动吸收峰,在1 100~1 010 cm^{-1} 之间只有1个吸收峰,说明櫻桃李中含有吡喃糖,1 210, 1 150, 1 100, 1 020 cm^{-1} 处的强峰是吡喃环的醚键(C-O-C)和羟基的吸收峰。915 cm^{-1} 即为 α -D-葡萄糖特征吸收峰,840 cm^{-1} 为吡喃糖 α -端基差向异构的C-H变角振动。结果见图6。

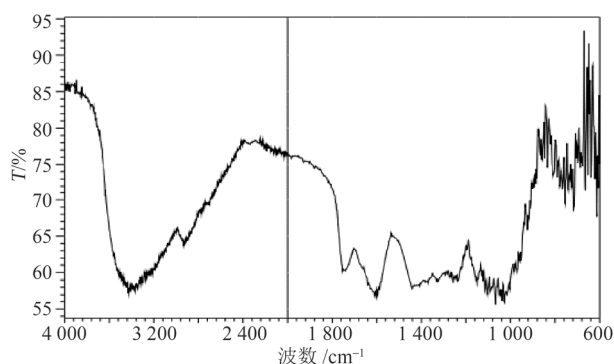


图6 櫻桃李多糖的红外光谱图

Fig. 6 Infrared spectrum of *Prunus cerasifera* polysaccharide

2.9 櫻桃李中多糖的抗氧化活性

分别测定櫻桃李多糖对DPPH自由基的清除率、羟自由基清除率,结果见图7~8。由图7~8可以看出,多糖对DPPH自由基和羟自由基清除能力在一定浓度范围内,随着多糖质量浓度的增大而增高,但均低于阳性对照Vc的清除率。櫻桃李多糖浓度为1.0 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,对羟自由基和DPPH自由基清除率均 $\geq 20\%$ 。因此可看出,櫻桃李中多糖有明显的抗氧化活性。

3 结论

本试验以櫻桃李果实为原料,通过单因素试验,探讨提取料液比、提取温度和提取时间对多糖提取物得率的影响,初步优化提取工艺,并通过Box-Behnken设计得到最佳提取工艺:料液比

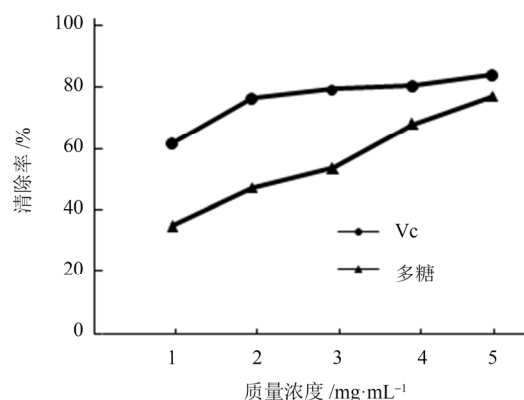


图7 櫻桃李多糖DPPH自由基清除能力

Fig. 7 DPPH radical scavenging ability of polysaccharides of *Prunus cerasifera*

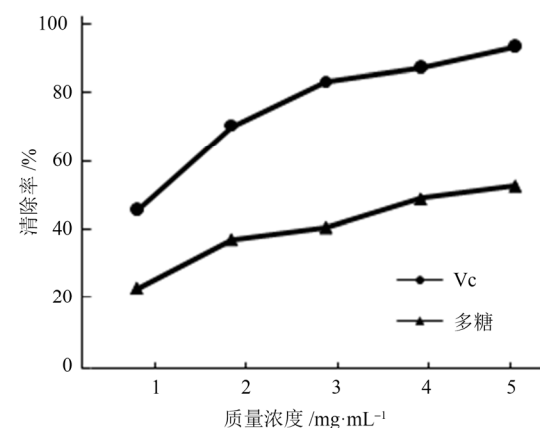


图8 櫻桃李多糖的羟自由基清除能力

Fig. 8 Hydroxyl radical scavenging ability of polysaccharides of *Prunus cerasifera*

1:30、提取温度73 $^{\circ}\text{C}$ 、提取时间61 min。在此条件下进行验证实验,櫻桃李多糖提取物得率可达7.20%。红外光谱结构分析可知,通过超声提取法提取的櫻桃李多糖具有多糖特征吸收峰,且具有糖醛酸和 α -D-吡喃糖。櫻桃李中多糖抗氧化活性较高,在一定的浓度范围内,櫻桃李中多糖的质量浓度与抗氧化活性存在正相关的关系。本实验为櫻桃李中多糖的提取方法和工艺提供参考。

REFERENCES

- [1] 俞德浚. 中国果树分类学[M]. 北京: 农业出版社, 1979: 58-60.
- [2] LAN S B. Research progress of *Prunus cerasifera* and the development prospects [J]. For - Prod Speciality China(中国林副特产), 2008(5): 89-91.
- [3] 吴素玲, 张玖, 孙晓明. 珍稀植物-野生櫻桃李的成分基本分析[J]. 中国野生植物资源, 2004(5): 35-36, 64.
- [4] 齐曼·尤努斯, 帕提古丽, 木合塔尔, 等. 新疆野生櫻桃李的营养成分[J]. 新疆农业科学, 2005, 42(4): 240-243.

- [5] MIN G N, LU Q, MIN G T, et al. Extracrine and protective effect of *Potentilla anserina* L. polysaccharide on mice with acute liver injury by CCl₄ [J]. J Lanzhou Univ Med Sci(兰州大学学报(医学版)), 2008, 34(2): 5-7.
- [6] MIN G T, WANG L J, DUAN Z P, et al. Protective mechanism of *Potentilla anserina* polysaccharide on mice with D-galactosamine-induced acute liver injury [J]. Acad J Second Mil Med Univ(第二军医大学学报), 2016, 37(7): 916-919.
- [7] 黄亚红, 罗慧英. 藏药藏麻的药理作用研究进展 [J]. 甘肃中医学院学报, 2014, 31(6): 80-83.
- [8] FERREIRA I C F R, HELENO S A, REIS F S, et al. Chemical features of *Ganoderma* polysaccharides with antioxidant, antitumor and antimicrobial activities [J]. Phytochemistry, 2015, 114: 38-55.
- [9] GAO X X, LI J H, JIANG G Q, et al. Ultrasonic wave extraction of polysaccharide from fruit of *Schisandra chinensis* and its antioxygeic property to oil [J]. J Northeast For Univ(东北林业大学学报), 2009, 37(4): 34-36.
- [10] YANG Y T, WU C Y, HUANG S G, et al. Study on ultrasonic extraction of polysaccharide in sweet potato leaves [J]. J Tradit Chin Med Univ Hunan(湖南中医药大学学报), 2011, 31(3): 45-47.
- [11] LIU J T, XIONG H Z, CHENG Y, et al. Effects of taraxasterol on ovalbumin-induced allergic asthma in mice [J]. J Ethnopharmacol, 2013, 148(3): 787-793.
- [12] ZHANG Y H, LI Y C, WANG B J, et al. The protective effect and mechanism of *Potentilla anserine* polysaccharide on cerebral ischemic injury of rats [J]. Inn Mong Med J(内蒙古医学杂志), 2014, 46(4): 385-388.
- [13] YANG H T, CAO X Y. Study on ultrasonic wave assisted extraction of polysaccharide from *Hovenia dulcis* and its antioxidant activity [J]. Appl Chem Ind(应用化工), 2017, 46(11): 2174-2177, 2182.
- [14] CHENG G, DU C, LI X T, et al. Optimization of microwave assisted extraction technology for extracting polysaccharide from *Rosa roxburghii* [J]. Guizhou Agric Sci(贵州农业科学), 2018, 46(1): 97-100.
- [15] ZHU Y H, HUANG M Q, ZHAO S Y. Effect of *Pholidota chinensis* Lindl. polysaccharides on Th1/Th2 expression and pulmonary inflammation in asthmatic rats [J]. Guangxi Med J(广西医学), 2018, 40(10): 1192-1195.
- [16] SU L W, SONG F Q, YANG X M, et al. The effect of *Laminaria* polysaccharide on inflammatory stress induced by lipopolysaccharide in vascular endothelial cells [J]. Lingnan J Emerg Med(岭南急诊医学杂志), 2017, 22(6): 513-516.
- [17] Chen G, Xu J, Miao X, et al. Characterization and antitumor activities of the water soluble polysaccharide from *Rhizoma Arisaematis* [J]. Carbohydr Polym, 2012, 90(1): 67-72.
- [18] ZOU P W, ZHAO C J, LI P, et al. Study on the anti-Tumor effect of polysaccharides from *Cornus officinalis* and its immunologic mechanism [J]. Chin J Hosp Pharm(中国医院药学杂志), 2012, 32(1): 20-22.
- [19] SHANG D J, LI Y, WANG C, et al. A novel polysaccharide from Se-enriched *Ganoderma lucidum* induces apoptosis of human breast *Cancer* cells [J]. Oncol Rep, 2011, 25(1): 267-272.
- [20] JIA D S, CUI S Z, XIE X L, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction process of wild jujube polysaccharide based on Box Benhnken response surface methodology [J]. Food Res Dev(食品研究与开发), 2016, 37(14): 34-38.
- [21] CHEN P L, CHEN C J, ZHOU Y J, et al. Optimization of extraction technology of polysaccharides from *Lotus plumula* by response surface methodology [J]. J Fujian Agric For Univ Nat Sci Ed(福建农林大学学报: 自然科学版), 2017, 46(6): 708-715.
- [22] 任爱农, 邹义芳, 陆颖, 等. 红花多糖的分离纯化及单糖组成成分 [J]. 药物分析杂志, 2013, 33(7): 1193-1196.
- [23] QI J H, HAN Q J, WANG F, et al. Research of polysaccharides extraction from *Ephedra equisetina* Bunge. and its antioxidant activity *in vitro* [J]. Chin J Mod Appl Pharm(中国现代应用药学), 2018, 35(9): 1342-1346.
- [24] GUAN L J, JIN W F, CHEN X X, et al. Optimization of extraction process of polysaccharides from *Grifola frondosa* by BP neural network combined with genetic algorithm [J]. Chin J Mod Appl Pharm(中国现代应用药学), 2018, 35(3): 388-391.
- [25] YANG F S, LI X H. Advances and methods in study on structure analysis of polysaccharides [J]. Food Sci Technol(食品科技), 2008, 33(3): 200-203.

收稿日期: 2019-02-12

(本文责编: 曹粤锋)