

水麻果多酚的提取纯化及其抗氧化、抗肿瘤活性作用

王国良¹, 李建科^{1,2*}, 吴晓霞¹, 王 轲¹

¹陕西师范大学食品工程与营养科学学院;

²陕西师范大学食品加工副产物深度开发与高值化利用重点实验室, 西安 710119

摘要:为提取分离水麻果多酚,探索水麻果多酚的抗氧化及抗肿瘤能力。本研究通过单因素试验和正交试验优化水麻果多酚超声提取工艺,使用大孔树脂纯化水麻果多酚,通过测定水麻果多酚的总还原力以及清除·OH、DPPH·、ABTS·的能力来表征其抗氧化活性,以宫颈癌Hela细胞和肺癌A549细胞为抗肿瘤研究对象,测定水麻果多酚的抗肿瘤作用。在最优超声提取工艺条件下,即乙醇浓度为60%,料液比为1:30,超声功率200 W,超声温度为70℃,提取时间为40 min,水麻果多酚得率为3.29%,纯化产物总酚含量为40.47 mg/100 mg,水麻果多酚的总还原力与维生素C相当,对·OH、DPPH·、ABTS·均具有显著清除作用,可抑制Hela细胞和A549细胞的生长增殖,并导致癌细胞产生大量活性氧,出现凋亡形态特征。该提取工艺简单、高效且多酚得率高,提取物经大孔树脂纯化后总多酚含量显著提高,且具有显著的抗氧化和抗肿瘤活性。

关键词:水麻果多酚;超声提取;体外抗氧化;抗肿瘤

中图分类号:R284;Q946.8

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2019)1-0001-9

DOI:10.16333/j.1001-6880.2019.1.001

Extraction and purification of *Debregeasia orientalis* fruit polyphenols and its antioxidant, antitumor activity

WANG Guo-liang¹, LI Jian-ke^{1,2*}, WU Xiao-xia¹, WANG Ke¹

¹College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University;

²The university key laboratory of food processing by-products and high value-depth development, Xi'an, 710119

Abstract: In order to extract polyphenols from *Debregeasia orientalis* fruit and measure its antioxidant and anti-tumor activity, the polyphenol extraction technology was optimized by single factor experiment and orthogonal experiment. Further, the *Debregeasia orientalis* fruit polyphenols were purified by macroporous resin. The antioxidant capacity of *Debregeasia orientalis* fruit polyphenols was characterized by measuring its total reducing power and the scavenging capacity of ·OH, DPPH· and ABTS·. Human cervical cancer Hela cells and human non-small lung cancer A549 cells were used as the anti-tumor object to measure its anti-tumor ability. The results indicated that the highest yield of *Debregeasia orientalis* fruit polyphenols assisted by ultrasonic extraction could reach 3.29% while under the condition 60% ethanol, 70 °C and 40 min extraction, and the total polyphenol content of purified product was 40.47 mg/100 mg. The results of in vitro antioxidant tests showed that the total reducing power of *Debregeasia orientalis* fruit polyphenols was similar to that of vitamin C and had significant scavenging effect on ·OH, DPPH· and ABTS·. Besides, *Debregeasia orientalis* fruit polyphenols had a significant proliferation-inhibiting effect on Hela cells and A549 cells, and led to lots of reactive oxygen species (ROS) produced in cancer cells, combined with the morphological features of apoptosis. Overall, the total polyphenol content of the extract is significantly increased after purification by the macroporous resin, and has significant anti-oxidation and anti-tumor activity.

Key words: *Debregeasia orientalis* fruit polyphenols; ultrasonic extraction; antioxidant activity; anti-tumor activity

水麻 (*Debregeasia orientalis* C. J. Chen) 别名: 水

马桑, 柳莓, 主要分布在我国亚热带地区, 秦岭南面是水麻生长的最北限^[1]。水麻是一种野生药用植物资源, 中医药文献《全国中草药汇编》和《中华本草》上均有记载, 以其茎皮、叶入药, 具有清热利湿,

收稿日期: 2018-03-14 接受日期: 2018-11-27

基金项目: 陕西省科技攻关项目 (2015SF252)

* 通信作者 E-mail: jiankel@snnu.edu.cn

止血解毒的功效^[2]；水麻枝叶的提取物富含萜类、黄酮类、酚酸类、烯萜类及甾醇等物质，具有镇痛、抗腹泻作用、ACE 抑制活性、抑菌活性及抗肿瘤活性^[3-5]。水麻果实酸甜适口，营养丰富，含有人体不可或缺的必需氨基酸；维生素、矿物质元素含量高，尤其是 Fe 含量高达 72.5 mg/100 g，具备开发为第三代果树新种类的潜力^[6]。此外，水麻果实还可以用来酿制果酒^[2]。

随着天然产物研究的兴起，植物多酚以其在植物界分布的广泛性、生理功能多样性以及来源丰富性等特点，逐渐成为当前研究的热点。植物多酚对人体健康有保护作用，例如清除人体内多余的自由基，而自由基又被认为与肿瘤、心脏病等疾病发生有密切联系^[7]，经常食用富含多酚类物质的食物可降低患心血管疾病及癌症的风险^[8]。

然而，目前对水麻果实的研究甚少，其所含天然活性物质及相关生物活性尚未知晓，这限制了水麻资源的研究开发。为此，本研究从提取分离水麻果多酚着手，优化了水麻果多酚的提取工艺，表征了水麻果多酚的抗氧化活性和抗肿瘤活性，为深入分析水麻果多酚成分及其抗肿瘤机理提供一定的理论基础和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料和仪器设备

原料：新鲜水麻果采摘于陕西省汉中市略阳山区。

人非小肺癌 A549 细胞、人宫颈癌 Hela 细胞均购买于空军军医大学细胞库。

试剂：乙醇等分析纯试剂均购买于天津市天力化学试剂有限公司，维生素 C、没食子酸标准品、DP-PH、ABTS、RPMI1640 培养基、ROS 试剂盒等均购买于 Sigma 公司，D160 大孔树脂购买于西安蓝晓科技有限公司。

主要仪器设备：KQ-250DB 型数控超声波清洗器，昆山市超声仪器有限公司；752 型紫外可见分光光度计，上海光谱仪器有限公司；Lab-1A-80E 型冷冻干燥机，北京博医康实验仪器有限公司；RT-6000 酶标仪，深圳雷杜公司；DMI3000B/DFC450C 倒置荧光显微镜，Leica 公司（德国）；FACSCalibur 流式细胞仪，BD 公司（美国）等。

1.2 水麻果多酚超声辅助提取工艺优化

1.2.1 总酚含量测定

采用福林酚比色法测定样品中总酚含量。以没食子酸标准品建立没食子酸标准曲线，得标准曲线

方程为 $Y = 0.0093X + 0.0275$, $R^2 = 0.9997$ 。

$$\text{总酚质量 } m = \frac{(A - 0.0275) \times d \times v}{0.0093} \times 10^{-6} \quad (1)$$

式中： A —样品液吸光值；0.0275，空白吸光值； d —样品液稀释倍数； v —样品液体积，单位为 mL；0.0093—没食子酸标准曲线斜率；

$$\text{总酚得率 } w(\%) = \frac{m}{M} \times 100 \quad (2)$$

式中， m —提取液中总酚质量，单位为 g； M —样品质量，单位为 g；

1.2.2 单因素试验

准确称取水麻果粉末四份各 1.0 g，分别加入水、甲醇、乙醇、丙酮在恒定条件（有机溶剂浓度均为 50%、料液比为 1:30、超声时间 20 min，超声功率 200 W，超声温度 50 °C）下超声提取，测定总多酚得率，考察不同溶剂（水、甲醇、乙醇、丙酮）对总多酚得率的影响；根据上述方法固定其他因素的优化结果，分别选择溶剂浓度（50%、60%、70%、80%），料液比（1:15、1:20、1:25、1:30、1:35），超声功率（0、100、150、200、250 W），超声温度（30、50、60、70 °C），超声时间（20、30、40 min）依次设计单因素实验以考察不同因素对总多酚得率的影响，获得超声提取总多酚的优化工艺条件。

1.2.3 正交试验

根据单因素实验结果，选取料液比、超声温度、超声功率、超声时间 4 个对水麻果多酚得率影响较大的因素，以 60% 乙醇为提取溶剂进行正交试验，正交表 $L_9(3^4)$ 由 DPS7.5 软件生成，以总酚得率为评价指标，优化水麻果多酚提取工艺。正交试验表如表 1 所示。

1.2.4 大孔树脂纯化水麻果多酚

将 1.2.3 提取所得的水麻果多酚粗提液旋蒸回收乙醇，将活化好的 D160 大孔树脂装柱，湿法上样。上样液总酚浓度 1.5 mg/mL，流速 3 BV/h，上样量 4 BV。吸附完成后用蒸馏水清洗树脂，再用 70% 乙醇以 3 BV/h 的流速解吸附，收集第 2、3 BV 洗脱液，旋蒸回收乙醇后冷冻干燥即可获得水麻果多酚纯化物，再用福林酚比色法测定水麻果多酚纯化物中总酚含量。

1.3 抗氧化活性指标

1.3.1 总还原力的测定

采用铁氰化钾还原法测定^[11]。将 2.5 mL 试样

表 1 水麻果多酚提取正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiments on extraction of *Debregeasia orientalis* fruit polyphenols

水平 Level	A 料液比 Ratio of material to liquid	B 超声温度 Ultrasonic temperature (°C)	C 超声功率 Ultrasonic power (w)	D 超声时间 Ultrasonic time (min)
1	1:25	50	100	20
2	1:30	60	150	30
3	1:35	70	200	40

液、2.5 mL pH = 6.6 的磷酸盐缓冲液、2.5 mL 1% 的铁氰化钾溶液混匀后置于 50 °C 水浴 20 min, 迅速冷却后加入 2.5 mL 10% 三氯乙酸溶液, 4 000 rpm 离心 10 min, 取 5 mL 上清液与 4 mL 蒸馏水和 1 mL 0.1% FeCl₃ 溶液混匀后于 700 nm 测定吸光值 A。蒸馏水调零, 每个试样平行测定 3 次, 取平均值。

1.3.2 清除羟基自由基能力

根据芬顿反应原理测定^[12]。将 1 mL 样品液、2.0 mL 0.2 mmol/mL FeSO₄ 溶液、1.5 mL 0.2 mmol/mL 水杨酸-乙醇溶液和 0.1 mL 0.03% H₂O₂ 溶液混合以启动反应。空白管不加 H₂O₂, 于 510 nm 处测定吸光值 A, 每个试样平行测定三次, 取其平均值 A₁。羟基自由基·OH 清除率用 k(%) 表示。

$$k(\%) = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad (3)$$

式中, A₀—蒸馏水替代样品的体系吸光值; A₁—含样品的体系吸光值。

1.3.3 清除 DPPH· 自由基能力

根据文献^[13]方法测定并稍作修改。每个试样平行测定三次, 取其平均值。DPPH· 清除率用 k(%) 表示。

$$k(\%) = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad (4)$$

式中, A₀—甲醇替代样品的体系吸光值; A₁—含样品的体系吸光值。

1.3.4 清除 ABTS 自由基能力

根据文献^[13]方法测定并稍作修改。每个试样平行测定三次, 取其平均值。DPPH· 清除率用 k(%) 表示。

$$k(\%) = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad (5)$$

式中, A₀—无水乙醇替代样品的体系吸光值; A₁—含样品的体系吸光值。

1.4 抗肿瘤活性指标

1.4.1 细胞增殖及抑制

采用 MTT 法测定水麻果多酚对肿瘤细胞的增

殖抑制作用, 参考文献方法测定^[14]。通过以下公式计算细胞抑制率:

$$k(\%) = \frac{A_i - A_b}{A_i} \times 100 \quad (6)$$

式中, k—抑制率; A_i—空白对照组吸光值, A_b—受试物组吸光值。

1.4.2 PI 染色法观察细胞形态

Hoechst 33258 染色法检测凋亡细胞形态的变化, 参考文献方法操作^[14]。

1.4.3 细胞内活性氧检测

通过 DCFH-DA 探针检测 Hela 细胞和 A549 细胞的细胞内 ROS, 按照 ROS 试剂盒说明书操作。

1.5 统计学方法

正交试验数据使用 DPS 7.5 软件处理, 其他所有数据均使用 Excel 2010 软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

图 1(A) 结果表明, 有机溶剂提取水麻果多酚的得率显著高于水的得率, 在三种有机溶剂中, 乙醇的得率最高; 由图 1(B) 可以看出, 当提取溶剂为 60% 乙醇时, 多酚得率最大。由图 1(C) 可知, 当料液比为 1:30 时, 多酚得率最大, 因此选择 1:30 为最佳料液比; 图 1(D) 显示, 当超声功率超过 200 W 功率时, 多酚得率最高。图 1(E) 显示, 超声温度为 70 °C 时, 水麻果多酚得率最高; 由图 1(F) 可见, 当超声时间为 40 min 时, 多酚得率最大。

2.1 正交试验和大孔树脂纯化结果

正交实验结果如表 2 所示, 由极差 R 值可知, 影响因素大小按顺序排列为: 料液比 > 超声功率 > 超声时间 > 超声温度, 综合考虑单因素实验结果、正交试验结果、溶剂溶沸点、能耗等确定最优提取工艺为: 以 60% 乙醇按 1:30 料液比在 60 °C 条件下 200 W 超声功率辅助提取 40 min。用 D160 大孔树脂经动态吸附和解吸附后获得水麻果多酚纯化物, 纯化物中总酚含量为 40.47 mg/100 mg。

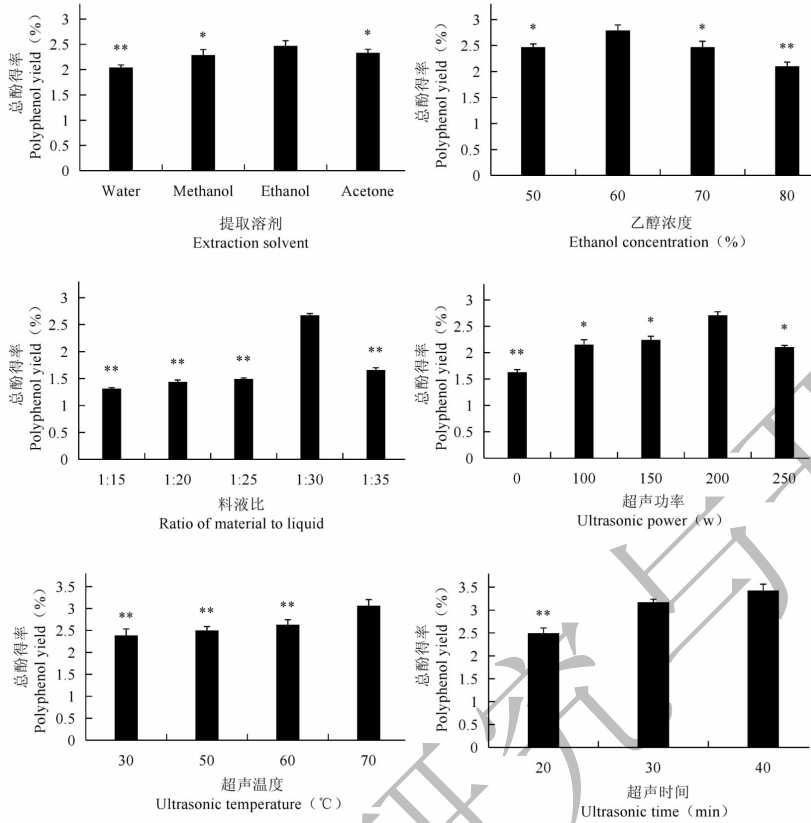


图1 提取溶剂种类、溶剂浓度、料液比、超声功率、超声温度和超声时间对水麻果总多酚得率的影响

Fig. 1 The effects of extraction solvent type, solvent concentration, solid-liquid ratio, ultrasonic power, ultrasonic temperature, and ultrasonic time on the yield of *Debregeasia orientalis* fruit polyphenols

注: 设同一图中总酚得率最大者为对照组, 同一图中试验组与对照组相比, * 表示差异极显著 ($P < 0.01$), * 表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Let the highest total phenol yield rate in the same graph be the control group. In the same graph, the ** indicates that the difference is extremely significant ($P < 0.01$), and the * indicates that the difference is significant ($P < 0.05$).

表2 水麻果多酚提取正交实验结果

Table 2 Results of orthogonal experiment on extraction of *Debregeasia orientalis* fruit polyphenols

处理号 Processing number	料液比 A The ratio of material to liquid	超声温度 C Ultrasonic temperature	超声功率 C Ultrasonic power	超声时间 D Ultrasonic time	多酚得率 Polyphenol yield (%)
1	1(1:25)	1(50 °C)	1(100 W)	1(20 min)	2.76
2	1	2(60 °C)	2(150 W)	2(30 min)	2.88
3	1	3(70 °C)	3(200 W)	3(40 min)	3.03
4	2(1:30)	1	2	3	3.17
5	2	2	3	1	3.27
6	2	3	1	2	2.99
7	3(1:35)	1	3	2	3.09
8	3	2	1	3	3.07
9	3	3	2	1	2.87
K1	2.89	3.01	2.94	2.97	
K2	3.14	3.07	2.97	2.99	

续表 2 (Continued Tab. 2)

处理号 Processing number	料液比 A The ratio of material to liquid	超声温度 C Ultrasonic temperature	超声功率 C Ultrasonic power	超声时间 D Ultrasonic time	多酚得率 Polyphenol yield (%)
K3	3.01	2.96	3.13	3.09	
极差 Extreme difference	0.25	0.11	0.19	0.12	
最优水平 Optimal level	A ₂	B ₂	C ₃	D ₃	
主次因素 Factor order	A > C > D > B				
最优组合 The best solution	A ₂ B ₂ C ₃ D ₃				

2.2 体外抗氧化活性测定结果

图 2 为体外抗氧化活性测定结果。从图 2-A 中可看出,水麻果多酚纯化物的总还原力与维生素 C 相当,均强于粗提物;图 2-B 显示水麻果多酚粗提物和纯化物均具有显著清除 OH· 作用,当浓度小于 200 μg/mL 时,纯化物清除 OH· 的能力强于维生素 C 和粗提物;当样品浓度大于 200 μg/mL 时,纯化物

清除 OH· 的能力强于粗提物,但两者均弱于维生素 C。由图 2-C 可见,维生素 C 清除 DPPH· 的能力强于水麻果多酚粗提物和纯化物,维生素 C > 纯化物 > 粗提物。图 2-D 结果显示,水麻果多酚粗提物和纯化物清除 ABTS· 能力均强于维生素 C,纯化物 > 粗提物 > 维生素 C。

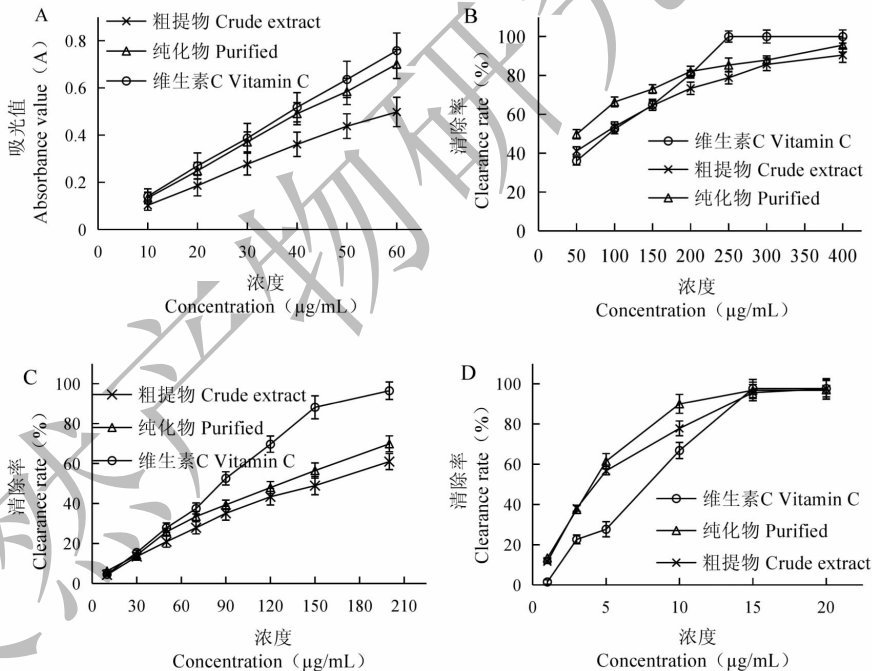


图 2 水麻果多酚抗氧化活性作用, (A) 总还原力; (B) 清除羟基自由基; (C) 清除 DPPH 自由基; (D) 清除 ABTS 自由基

Fig. 2 The antioxidant activity of *Debregeasia orientalis* fruit polyphenols. (A) Total reducing power.

(B) Hydroxyl radical scavenging. (C) DPPH radical scavenging. (D) ABTS radical scavenging

2.3 水麻果多酚对 HeLa 细胞和 A549 细胞的生长增殖抑制作用

水麻果多酚对 HeLa 和 A549 细胞的增殖抑制作用分别如图 3A 和 B 所示。分别用质量浓度为 100、200 和 400 μg/mL 的水麻果多酚纯化物处理 HeLa

和 A549 细胞 24 h 后, HeLa 细胞的存活率分别 $59.41 \pm 2.79\%$ 、 $54.41 \pm 3.83\%$ 、 $43.16 \pm 2.80\%$, IC_{50} 值为 $228.65 \mu\text{g/mL}$ 。A549 细胞的存活率分别为 $63.66 \pm 4.25\%$ 、 $55.37 \pm 2.84\%$ 、 $38.29 \pm 4.46\%$, IC_{50} 值为 $219.20 \mu\text{g/mL}$ 。在 HeLa 细胞和 A549 细胞

中,400 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的水麻果多酚抑制作用最为明显。

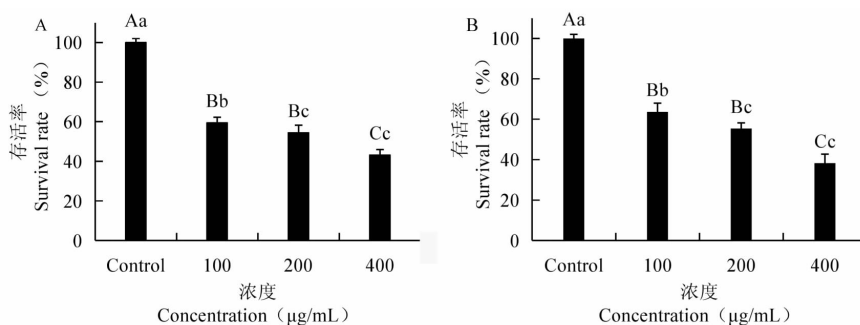


图3 A 为水麻果多酚对 HeLa 细胞的增殖抑制作用,B 为水麻果多酚对 A549 细胞的增殖抑制作用

Fig. 3 (A) Inhibitory effects of *Debregesia orientalis* fruit polyphenols on HeLa cells. (B) Inhibitory effects of *Debregesia edulis* fruit polyphenols on A549 cells

注:用 q 检验法进行多重比较。同一图中标有不同大写字母、小写字母者分别表示组间差异极显著 ($P < 0.01$) 和显著 ($P < 0.05$), 标有相同小写字母者表示组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

Note: Multiple comparisons are performed using the q test. Those marked with different uppercase letters and lowercase letters in the same figure indicate that the differences between groups are extremely significant ($P < 0.01$) and significant ($P < 0.05$). Those marked with the same lowercase letters indicate that there is no significant difference between groups ($P > 0.05$).

2.4 水麻果多酚对 HeLa 细胞和 A549 细胞形态的影响

HeLa 和 A549 细胞形态变化分别如图 4、5 所示。与正常组相比,受试物处理组癌细胞形态发生明显改变,出现变形和深染现象,以及出现癌细胞凋

亡特征,如核缩小、染色质团聚等。随着受试物浓度的增加,癌细胞数量显著减少,核固缩和核碎裂现象加强。在两种癌细胞中,400 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 处理组癌细胞呈现的凋亡形态最为明显。

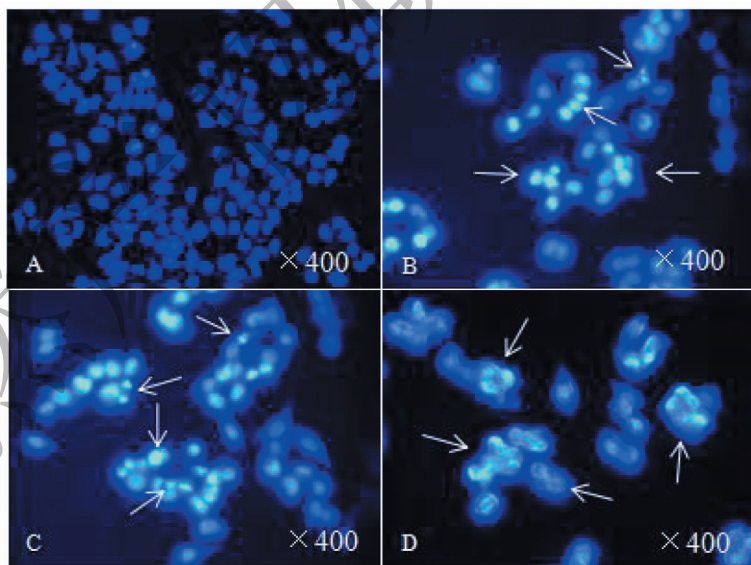


图4 不同浓度水麻果多酚对 HeLa 细胞形态的影响,A 为正常组,B 为 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$,C 为 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$,D 为 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$

Fig. 4 The effect of different concentrations of *Debregesia orientalis* fruit polyphenols on the morphology of HeLa cells, (A) control group, (B) 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (C) 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (D) 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$

2.5 细胞内活性氧变化

水麻果多酚对 HeLa 和 A549 细胞内活性氧的影响如图 6、7 所示,与正常组细胞相比,受试物处理的

HeLa 和 A549 细胞的荧光强度随受试物浓度增加而增强,分别由 30.75 增强到 246.73 及由 28.82 增强到 324.17,且各处理组间均为极显著性差异,表明

水麻果多酚提取物可以以剂量依赖方式诱导 Hela 和 A549 细胞产生大量活性氧。其中 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 处

理组的癌细胞产生的活性氧最显著。

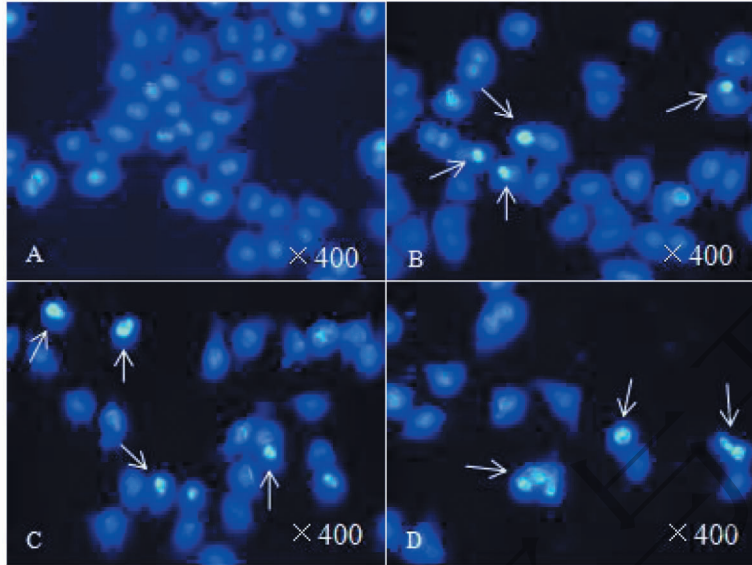


图 5 不同浓度水麻果多酚对 A549 细胞形态的影响,A 为正常组,B 为 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$,C 为 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$,D 为 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$

Fig. 5 The effect of different concentrations of *Debregeasia orientalis* fruit polyphenols on the morphology of A549 cells, (A) control group, (B) 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (C) 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (D) 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$

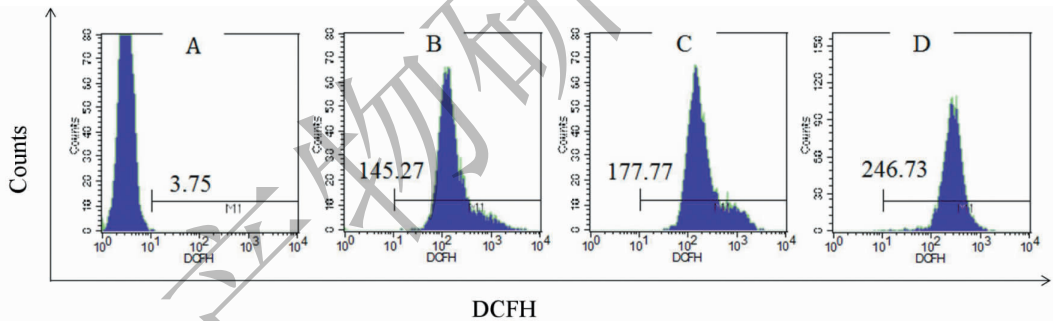


图 6 不同浓度水麻果多酚对 Hela 细胞内活性氧的影响,A 为正常组,B 为 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$,C 为 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$,D 为 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$

Fig. 6 The effect of different concentrations of *Debregeasia orientalis* fruit polyphenols on the ROS in Hela cells, (A) control group, (B) 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (C) 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (D) 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$

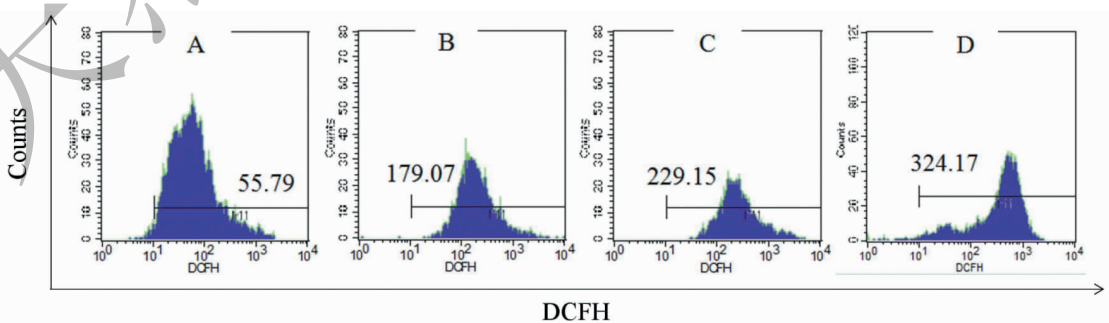


图 7 不同浓度水麻果多酚对 A549 细胞内活性氧的影响,A 为正常组,B 为 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$,C 为 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$,D 为 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$

Fig. 7 The effect of different concentrations of *Debregeasia orientalis* fruit polyphenols on the ROS in A549 cells, (A) control group, (B) 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (C) 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (D) 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$

3 结论

影响超声提取效率的因素有破碎粒度、提取溶剂种类和浓度、pH 值、料液比、提取温度、提取时间、超声的功率和频率以及提取次数等^[16]。本试验研究了提取溶剂种类和浓度、料液比、超声功率、超声温度及超声时间对水麻果多酚得率的影响,并从中选取四个影响较大的因素进行正交试验设计,从而获得水麻果多酚最优提取工艺为乙醇浓度为 60%,料液比为 1:30,超声功率 200 W,超声温度为 70 °C,提取时间为 40 min;在此最优条件下提取水麻果多酚得率为 3.29%。大孔吸附树脂以其物理化学稳定性高、吸附选择性强、分离效果好、易再生、使用周期长等优点被广泛应用于天然产物的分离纯化^[17]。本研究中使用 D160 大孔树脂纯化水麻果多酚,所得纯化物中总多酚含量为 40.47 mg/100 mg,纯化效果明显。

植物中酚类物质已被证明是一类天然抗氧化剂,具有较强的抗氧化活性和清除自由基能力^[10,18]。本研究结果表明,水麻果多酚纯化物清除 OH·、DPPH· 和 ABTS· 的 IC₅₀ 值分别为 50.03、130.26、5.22 μg/mL,总还原力 EC₅₀ 值为 39.64 μg/mL;水麻果多酚粗提物清除 OH·、DPPH· 和 ABTS· 的 IC₅₀ 值分别为 79.36、151.67、5.73 μg/mL,总还原力 EC₅₀ 值为 72.83 μg/mL。可见,水麻果多酚纯化物的抗氧化和清除自由基能力强于水麻果多酚粗提物。而植物多酚的抗氧化活性强弱与其种类、结构及含量有密切关系,如植物多酚抗脂质氧化实验中,表儿茶素鞣酸酯 > 鞣酸 > 表儿茶素 > 咖啡酸 > 表儿茶素 > 阿魏酸 > 鞣花酸^[18];表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)是茶多酚中含量最高、抗氧化活性最强的多酚^[9];一些黄酮类物质如黄酮醇、黄酮、黄烷醇、异黄酮等,因其常常与糖类结合,以糖苷形式存在,从而大大减少了其与自由基的反应^[15]。因此,水麻果中多酚等活性物质的种类及其结构与抗氧化活性的关系还有待进一步阐释。此外,抗癌试验结果显示,水麻果多酚可显著抑制 HeLa 和 A549 细胞生长增殖,并诱导两种癌细胞产生了大量活性氧及出现显著的细胞凋亡形态。而活性氧可作为信号分子引起肿瘤细胞增殖抑制、自噬和凋亡等^[19],故推测水麻果多酚可能具有诱导 HeLa 和 A549 细胞凋亡的作用,但其诱导机理还有待进一步分析阐释。

本研究中,所用提取方法简单、快速,所得提取

物多酚得率较高,且具有显著的抗氧化活性及抗肿瘤作用,表明水麻果多酚具有较强的生物活性,水麻果具备开发为保健食品的潜力,同时本研究也为进一步研究开发水麻这种野生植物资源提供了一定的理论依据和技术支持。

参考文献

- Liu Y. Utility and exploitation of the plants within the family urticaceae in qinling mountains[J]. Value Engineer(价值工程),2013,25:261-262.
- Wang J. Research status and development value of plants in Debregeasia Gaudich[J]. Chin J Ethnomed Ethnopharm(中国民族民间医药),2011,20(12):48-49.
- Ullah S, Ibrar M, Barkatullah, et al. Antinociceptive and anti-diarrheal activities of *Debregeasia salicifolia*[J]. J Chem Soc Pakistan,2014,36:1129-1132.
- Xiao YH, Cao H. Chemical constituents of *Debregeasia orientalis*[J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发),2008,20(1):52-55.
- Liu R, Gu QQ, Cui CB, et al. Three phenolics-derived chemical constituents of *Debregeasia longifolia* (Burm. f.) Wedd. and their antitumor activity[J]. Chin J Med Chem(中国药物化学杂志),2004,14:193-196.
- Chao WJ. Research on the resource of wild fruit tree *Debregeasia edulis*[J]. Chin Wild Plant Resour(中国野生植物资源),1992,4:1-4.
- Zuo Y. Free radicals, reactive oxygen species and disease[J]. Cereal Oil(粮食与油脂),2011,9:9-11.
- Blumberg JB, Camesano TA, Cassidy A, et al. Cranberries and their bioactive constituents in human health[J]. Adv Nutr,2013,4:618-632.
- Stewart AJ, Mullen W, Crozier A. On-line high-performance liquid chromatography analysis of the antioxidant activity of phenolic compounds in green and black tea[J]. Mol Nutr Food Res,2005,49(1):52-60.
- Mullen W, Nemzer B, Ou B, et al. The antioxidant and chlorogenic acid profiles of whole coffee fruits are influenced by the extraction procedures[J]. J Agric Food Chem,2011,59:3754-3762.
- Berker KI, Güçlü K, İzzet T, et al. Total antioxidant capacity assay using optimized ferricyanide/prussian blue method[J]. Food Anal Method,2010,3:154-168.
- Tai C, Peng JF, Liu JF, et al. Determination of hydroxyl radicals in advanced oxidation processes with dimethyl sulfoxide trapping and liquid chromatography[J]. Anal Chim Acta,2004,527(1):73-80.

- 13 Li X, Lin J, Gao Y, et al. Antioxidant activity and mechanism of *Rhizoma cimicifugae* [J]. Chem Cent J, 2012, 6(1):1-10.
- 14 Song B, Li J, Li J. Pomegranate peel extract polyphenols induced apoptosis in human hepatoma cells by mitochondrial pathway [J]. Food Chem Toxicol, 2016, 93:158-166.
- 15 Huang Q, Shen YX, Zhang CJ, et al. Correlation of the antioxidant property with the total phenolic content and total flavonoids of different *Dendrobium officinale* extracts [J]. Chin J Appl Environ Biol (应用与环境生物学报), 2014, 20:438-442.
- 16 Wu X, Zhang Y, Liu YD, et al. Influence factors of ultrasonic-assisted extraction process of tea polyphenols [J]. Sci Tech Food Ind (食品工业科技), 2013, 34:401-403.
- 17 Wang YS, Wang Y. Research advances of macroporous resin [J]. China J Chin Materia Med (中国中药杂志), 2006, 12:961-965.
- 18 Zhang WH, Cao MR. Theoretical study on the relationship between structure and antioxidative activity of typical phenols in lipid [J]. Leather Sci Engineer (皮革科学与工程), 2010, 20(5):11-16.
- 19 Guo WJ, Niu XJ, Luo XH, et al. Research progress of reactive oxygen species and tumor [J]. Med J Natl Defending Forces Northwest China (西北国防医学杂志), 2018, 39:274-277.

《天然产物研究与开发》青年编委会

青年编委 (以姓氏笔划为序)

Members

王红兵	戈惠明	尹文兵	尹 胜	吕兆林	刘相国
WANG Hongbing	GE Huiming	YIN Wenbing	YIN Sheng	LV Zhaolin	LIU Xiangguo
孙昊鹏	孙桂波	李良成	李国友	邱 莉	汪海波
SUN Haopeng	SUN Guibo	LI Liangcheng	LI Guoyou	QIU Li	WANG Haibo
沐万孟	张炳火	陈益华	林昌俊	欧阳杰	易华西
MU Wanmeng	ZHANG Binghuo	CHEN Yihua	LIN Changjun	OU Yangjie	YI Huaxi
罗应刚	周 文	胡友财	袁 涛	夏永刚	高慧敏
LUO Yinggang	ZHOU Wen	HU Youcai	YUAN Tao	XIA Yonggang	GAO Huimin
唐金山	黄胜雄	韩秀珍	韩淑燕	曾克武	蓝蔚青
TANG Jinshan	HUANG Shengxiong	HAN Xiuzhen	HAN Shuyan	ZENG Kewu	LAN Weiqing
廖晨钟	薛永波				
LIAO Chenzhong	XUE Yongbo				