

罗汉菜籽总黄酮的提取、纯化与体外抗氧化活性研究

朱明明¹, 高天怡¹, 徐志珍¹, 周佳祺¹, 李俊雯¹, 陈珏², 张文清^{1,*}

(1. 华东理工大学 化学与分子工程学院, 上海 200237; 2. 上海市嘉定区农业技术推广服务中心, 上海 201800)

摘要:采用正交试验法优化罗汉菜籽总黄酮提取工艺, 最终确定的最佳提取条件为: 乙醇体积浓度 60%, 料液比 1:30 (g/mL), 提取时间为 75 min, 提取次数 2 次, 所得总黄酮粗提物含量为 10.3 mg/g。采用制备色谱对总黄酮粗提物进行纯化, 将提取含量由 10.3 mg/g 提升至 563.8 mg/g。对总黄酮粗提物和纯化物进行体外抗氧化活性研究, 包括对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH) 自由基和 2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐阳离子 (ABTS⁺) 自由基清除能力的测定及铁还原能力 (ferric ion reducing antioxidant power, FRAP) 的测定, 结果表明粗提物和纯化物都有较好的抗氧化活性, 且纯化后效果更显著。

关键词: 罗汉菜籽; 黄酮; 提取优化; 纯化; 体外抗氧化

Isolation, Purification and Antioxidant-Activity-Determination *in vitro* of Flavonoids from *Thlaspi Arvense* Linn Seeds

ZHU Ming-ming¹, GAO Tian-yi¹, XU Zhi-zhen¹, ZHOU Jia-qi¹, LI Jun-wen¹, CHEN Yu²,
ZHANG Wen-qing^{1,*}

(1. College of Chemistry and Molecular Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China; 2. Jiading District Agricultural Technology Extension and Service Center, Shanghai 201800, China)

Abstract: Orthogonal experimental design was used to extract flavonoids from *Thlaspi Arvense* Linn seeds, and the optimized extraction conditions were as follows: using 60% ethanol as solvent, the ratio of material to liquid was 1:30 (g/mL), extraction time was 75 min for twice. And under this extraction condition, the concentration of flavonoids was 10.3 mg/g. Preparative chromatography was also applied to purify flavonoids, and the purity raised to 563.8 mg/g from 10.3 mg/g. Different free radical antioxidant experiments, including DPPH, ABTS⁺ and FRAP, were applied to determine the antioxidant effect of crude and purified flavonoids. The results showed that both crude and purified flavonoids exhibited high antioxidant activity, and purified flavonoids had a better effect than crude flavonoids.

Key words: *Thlaspi Arvense* Linn seeds; flavonoids; isolation; purification; antioxidant activity *in vitro*

引文格式:

朱明明, 高天怡, 徐志珍, 等. 罗汉菜籽总黄酮的提取、纯化与体外抗氧化活性研究 [J]. 食品研究与开发, 2019, 40(8): 75-79, 90

ZHU Mingming, GAO Tianyi, XU Zhizhen, et al. Isolation, Purification and Antioxidant-Activity-Determination *in vitro* of Flavonoids from *Thlaspi Arvense* Linn Seeds [J]. Food Research and Development, 2019, 40(8): 75-79, 90

基金项目: 上海市科委科研计划项目 (13391900500)

作者简介: 朱明明 (1994—), 女 (汉), 硕士研究生, 研究方向: 天然产物的分离与性质研究。

* 通信作者: 张文清 (1968—), 女 (汉), 教授, 研究方向: 天然产物的分离分析。

罗汉菜(*Thlaspi arvense* Linn)为双子叶植物纲十字花科蔊蕒属一年生草本植物,学名蔊蕒,别名遏蓝菜、苏败酱、败酱草、苦芥子、野榆树、大芥、瓜子草和蔊目等^[1],在我国各地都有分布,其菜籽可治疗风湿性关节炎、腰痛、急性结膜炎和胃痛等症状^[2]。

黄酮(flavonoids)是一类具有1,3-二苯基丙烷或1,2-二苯基丙烷结构的含氧杂环天然有机化合物。随着近年来研究的不断完善与深入,黄酮在抗菌、抗肿瘤和抗氧化等方面表现出了显著活性^[3-8],引起了学者们的广泛关注。

国内涉及到罗汉菜籽化学成分研究的报道较少,并且多以黑芥子苷和多糖为主^[9-11]。因此,探究罗汉菜籽总黄酮的提取纯化及其体外抗氧化活性研究,对于综合开发利用罗汉菜这一宝贵植物资源具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

罗汉菜籽采摘自上海嘉定区农业技术推广服务中心;芦丁标准品、2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(butylated hydroxytoluene, BHT):阿拉丁试剂公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,4,6-三(2-吡啶基)-1,3,5-三嗪(tripyrityldiazine, TPTZ):麦克林试剂公司;2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS):阿达玛斯试剂公司;抗坏血酸:国药集团化学试剂有限公司;其余试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

R-201 旋转蒸发仪:上海申生科技有限公司;DK-S24 电热恒温水浴锅:上海精宏实验设备有限公司;SHZ-D 循环水式真空泵:上海予华仪器有限公司;WKZ-4 粉碎机:青州市精诚医药装备制造有限公司;FD1 冷冻干燥机:上海比朗仪器制造有限公司;CH-8606 微量分析天平:瑞士Mettler Toledo公司;UV-2550 紫外可见分光光度计:日本Shimadzu公司;Flash A 中压制备色谱系统:苏州汇通色谱分离纯化有限公司;Poroshell 120 EC-C18 色谱柱(50 mm×4.6 mm, 2.7 μm)、Agilent 1100 高效液相色谱仪:安捷伦科技有限公司;SinoChrom ODS-BP 制备色谱柱(10 μm):依利特有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 罗汉菜籽原料预处理

罗汉菜籽去除杂质,浮选去除品质较差的种籽,干燥后粉碎并过40目筛;用石油醚(沸程为30℃~

60℃)浸泡过夜,去除菜籽中的油脂,然后将罗汉菜籽烘干备用。

1.3.2 罗汉菜籽总黄酮提取工艺优化

称量5.0 g 预处理过后的罗汉菜籽,放置于圆底烧瓶中,安装好回流提取装置。根据陈飞等^[12]探究的单因素试验条件,并做出改进,按照一定条件(乙醇体积分数、料液比、提取时间和提取次数)提取罗汉菜籽中的总黄酮,对应的正交试验因素水平表和正交试验表如表1和表2,回流结束后将提取液浓缩,并定容于10 mL 容量瓶中,进行含量测定。

表1 总黄酮提取正交试验因素水平表

Table 1 Parameters of orthogonal experiment on extraction of flavonoids from *Thlaspi Arvense* Linn seeds

水平	因素			
	A 乙醇体积 分数/%	B 料液比 /(g/mL)	C 提取时间 /min	D 提取 次数
1	60	1:10	45	1
2	70	1:20	60	2
3	80	1:30	75	3

表2 总黄酮提取正交试验表

Table 2 Orthogonal experiments on extraction of flavonoids from *Thlaspi Arvense* Linn seeds

组号	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

1.3.3 黄酮标准曲线的制作

采用紫外分光光度法和芦丁标准曲线测定并计算总黄酮含量^[13]。用移液枪移取0.2 mg/mL 芦丁标液0、0.4、0.8、1.2、1.6、2.0 mL 于6只25 mL 比色管中,加70%乙醇至总体积为5.0 mL,加1.0 mL 5%的亚硝酸钠,摇匀并放置6 min,加1.0 mL 10%硝酸铝,摇匀并放置6 min,加10.0 mL 4%氢氧化钠,加蒸馏水至刻度并摇匀,放置15 min。以芦丁试剂空白作为参比液,在510 nm 波长处测定吸光度,以芦丁浓度(μg/mL)为横坐标,吸光度(A)为纵坐标,绘制标准曲线。

1.3.4 黄酮含量测定

用移液枪移取1.0 mL 粗提液于25 mL 比色管中,按照1.3.3的方法测定黄酮含量。

1.3.5 制备色谱纯化罗汉菜籽总黄酮

采用 Flash A 中压制备色谱系统,色谱柱为 SinoChrom ODS-BP 10 μm 。称取 2.0 g 黄酮粗提物,用 50 mL 30 % 甲醇水溶解,高速离心机在 1 000 r/min 的转速下离心 10 min,离心结束后取上清液上样。系统中设定洗脱溶剂为 0.1 % 乙酸水 (A): 甲醇 (B)=70:30 (体积比),流速为 10 mL/min,收集目标组分,收集完毕后更换洗脱溶剂为纯甲醇并清洗色谱柱,将收集到的组分浓缩后冷干,即得到纯化后的罗汉菜籽总黄酮。

1.3.6 罗汉菜籽总黄酮对 DPPH 自由基清除能力测定

配制不同浓度的样品溶液,取 1.0 mL 并加入 1.0 mL 40 $\mu\text{g/mL}$ 的 DPPH 甲醇溶液,充分混匀,在室温下避光反应 30 min,在 517 nm 波长处测定吸光度,以未加入样品的 DPPH 甲醇溶液作为空白参比,以 BHT 为阳性对照,清除率的计算公式如下:

清除率/%=(A_0-A)/ $A_0\times 100$ (1)

式中: A_0 为空白对照的吸光度; A 为样品溶液的吸光度。

1.3.7 罗汉菜籽总黄酮对 ABTS⁺自由基清除能力测定

配制 7 mmol/L 的 ABTS⁺二铵盐水和 4.9 mmol/L 的过硫酸钾水溶液,等体积混合并在暗处反应 16 h,即得 ABTS⁺工作液。配制不同浓度的样品溶液,取 1.0 mL 样品溶液,然后加入 2.0 mL ABTS⁺工作液,剧烈震荡后在暗处常温静置 10 min,以无水甲醇为参比液,BHT 的甲醇溶液为阳性对照,在 734 nm 波长处测定吸光度,清除率计算公式见公式(1)。

1.3.8 罗汉菜籽总黄酮铁还原能力(ferric ion reducing antioxidant power, FRAP)的测定

配制 pH 值为 3.5 的醋酸盐缓冲溶液,10 mmol/L 的 TPTZ 溶液和 20 mmol/L 的 FeCl_3 溶液,以 10:1:1 的体积比均匀混合上述 3 种溶液即得 FRAP 工作液。配制不同浓度的 FeSO_4 溶液,各取 100 μL 并用 FRAP 工作液定容至 5.0 mL,37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴加热 20 min,在 539 nm 波长处测定吸光度,建立 FeSO_4 标准曲线。配制一定浓度的样品溶液,用 FRAP 工作液定容至 5.0 mL,37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴加热 20 min,以抗坏血酸的水溶液作为阳性对照,在 539 nm 波长处测定吸光度。

2 结果与分析

2.1 罗汉菜籽总黄酮提取工艺优化

2.1.1 芦丁标准曲线

以芦丁为对照品,采用紫外分光光度计,及 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3\text{-NaNO}_2\text{-NaOH}$ 显色法对罗汉菜籽提取液中总黄酮含量进行测定。图 1 是芦丁标准曲线图,线性回归方程为 $Y=0.013\ 7X-0.001\ 9$ (其中 Y 为吸光度; X 为芦丁浓度,

$\mu\text{g/mL}$), $R^2=0.999\ 4$, $n=5$ 。该图说明在芦丁浓度为 3.2 $\mu\text{g/mL}$ ~16.0 $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性良好。

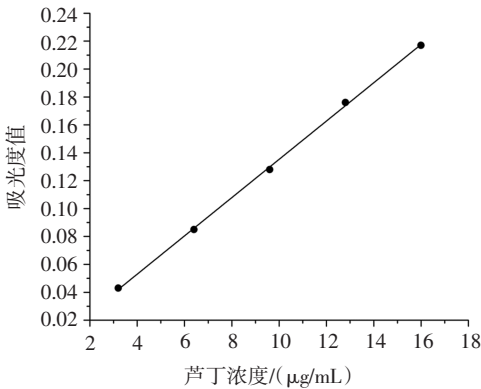


图 1 芦丁标准曲线

Fig. 1 Standard curve of rutin

2.1.2 罗汉菜籽总黄酮提取工艺优化

有机溶剂萃取法提取罗汉菜籽黄酮黄酮正交试验结果见表 3。采用正交试验法探究罗汉菜籽总黄酮的最优提取工艺,由表 3 的极差分析结果可知,各因素对罗汉菜籽总黄酮含量的影响程度各不相同,主次顺序为 $A>D>B>C$,即乙醇体积分数对总黄酮含量的影响最大,其次是提取次数,而提取时间影响最小。从该表中可知最优提取条件为乙醇体积浓度 60 %,料液比 1:30 (g/mL),提取时间 75 min,提取次数 3 次,测得的

表 3 有机溶剂萃取法提取罗汉菜籽黄酮黄酮正交试验结果

Table 3 Results of the orthogonal experiment on organic solvent extraction of flavonoids from *Thlaspi Arvense* Linn seeds

组号	A	B	C	D	黄酮含量/ (mg/g)
1	1	1	1	1	2.68
2	1	2	2	2	6.01
3	1	3	3	3	7.75
4	2	1	2	3	5.42
5	2	2	3	1	4.92
6	2	3	1	2	5.79
7	3	1	3	2	3.01
8	3	2	1	3	3.29
9	3	3	2	1	2.37
K1	16.44	11.11	11.76	9.97	
K2	16.13	14.22	13.80	14.81	
K3	8.467	15.91	15.68	16.46	
k1	5.148	3.703 3	3.92	3.323 3	
k2	5.376 7	4.74	4.60	4.936 7	
k3	2.822 3	5.303 3	5.226 7	5.486 7	
极差	2.554 4	1.60	1.306 7	2.163 4	
主次顺序	A>D>B>C				
优水平	A ₁	B ₃	C ₃	D ₃	
优组合	A ₁ B ₃ C ₃ D ₃				

总黄酮含量为 7.75 mg/g。但从提高生产效率的角度考虑,确定最终的提取条件为乙醇浓度为 60%,料液比 1:30 (g/mL),提取时间 75 min,提取次数 2 次。

因此在该最终条件下进行 3 次重复性试验,结果见表 4。

表 4 有机溶剂萃取法提取罗汉菜籽黄酮重复性试验

Table 4 Results on the repeatability verification experiment of the extraction of flavonoids from *Thlaspi Arvense* Linn seeds

组号	吸光度	黄酮含量/(mg/g)
1	0.168	10.3
2	0.165	10.1
3	0.172	10.5

由表 4 可知,3 次重复试验的相对标准偏差(RSD)值为 1.94%,重复性良好,且总黄酮含量较高。

2.2 制备色谱纯化罗汉菜籽总黄酮

通过 Flash A 中压制制备色谱系统,得到纯化后的总黄酮,样品外观为淡黄色不定型粉末。采用 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3\text{-NaNO}_2\text{-NaOH}$ 显色法对纯化后的总黄酮进行含量测定,测得黄酮含量为 563.8 mg/g。纯化前后总黄酮成分的高效液相色谱图见图 2。

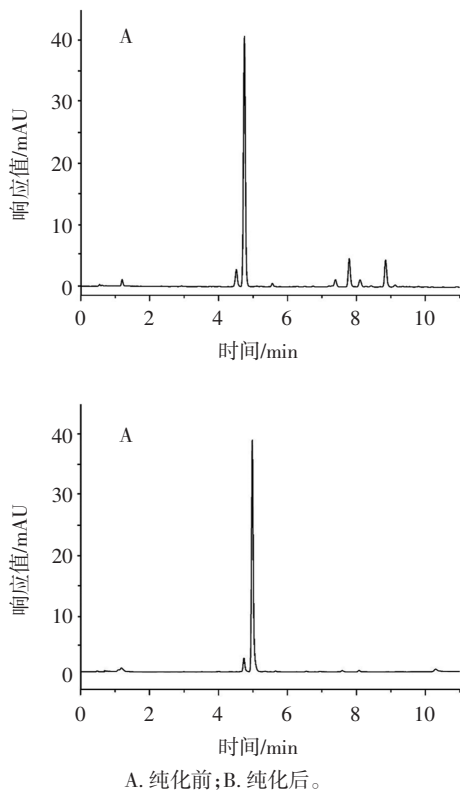


图 2 罗汉菜籽总黄酮纯化前后的高效液相色谱图

Fig. 2 HPLC chromatography of flavonoids from *Thlaspi Arvense* Linn seeds before and after purification by preparative chromatography

由图 2 可以看出纯化后的总黄酮在 5 min~9 min

范围内杂峰几乎消失,表明纯化效果良好。

2.3 罗汉菜籽总黄酮体外抗氧化活性研究

2.3.1 对 DPPH 自由基清除能力测定

BHT、总黄酮粗提物和总黄酮纯化物对 DPPH 自由基的清除效果见图 3~图 5,以半数抑制浓度(IC_{50})为评价标准, IC_{50} 越小,说明对 DPPH 自由基的清除效果越好。BHT、总黄酮纯化物和粗提物对 DPPH 自由基的清除率可达 70%,半数抑制浓度(IC_{50})分别为 10.25、18.50 $\mu\text{g/mL}$ 和 103.00 $\mu\text{g/mL}$ 。

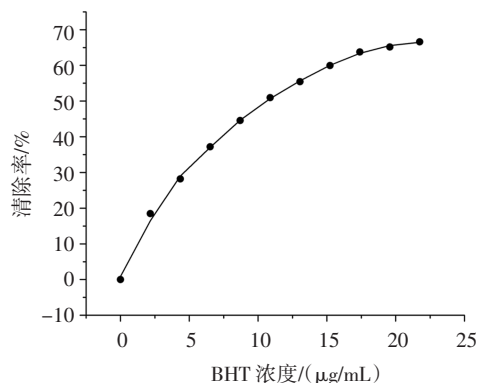


图 3 BHT 对 DPPH 自由基的清除效果

Fig. 3 Scavenging activity of BHT on DPPH free radicals

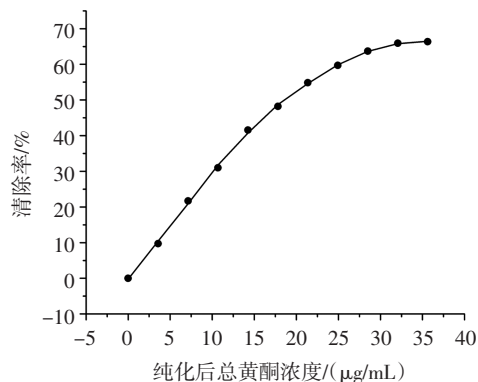


图 4 纯化后总黄酮对 DPPH 自由基的清除效果

Fig. 4 Scavenging activity of purified flavonoids on DPPH free radicals

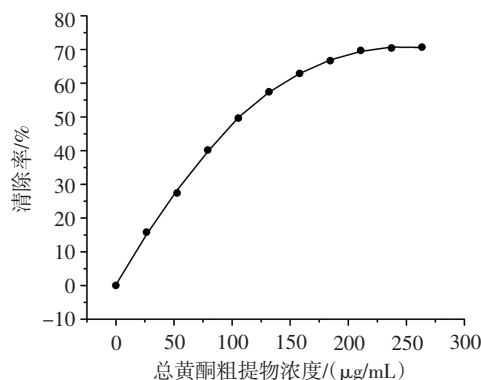


图 5 总黄酮粗提物对 DPPH 自由基的清除效果

Fig. 5 Scavenging activity of crude flavonoids on DPPH free radicals

由图3~图5可知在相同时间和DPPH自由基总数下,BHT的清除效果最好,粗提物的清除效果最差,但经制备色谱纯化后的总黄酮可显著提升对DPPH自由基的清除效果。

2.3.2 对ABTS⁺自由基清除能力测定

BHT、总黄酮粗提物和总黄酮纯化物对ABTS⁺自由基的清除效果见图6~图8。

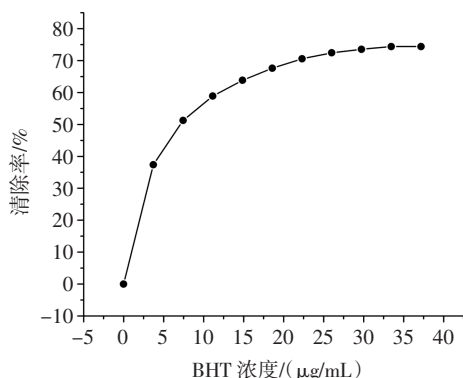


图6 BHT对ABTS⁺自由基的清除效果

Fig. 6 Scavenging activity of BHT on ABTS⁺ free radicals

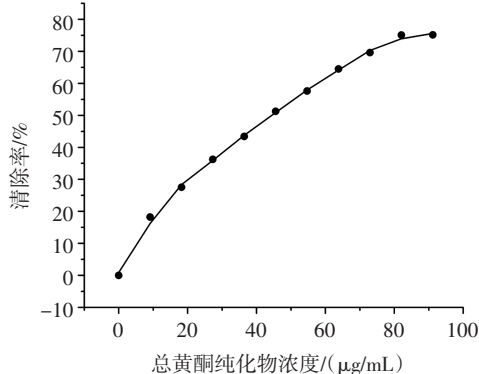


图7 纯化后总黄酮对ABTS⁺自由基的清除效果

Fig. 7 Scavenging activity of purified flavonoids on ABTS⁺ free radicals

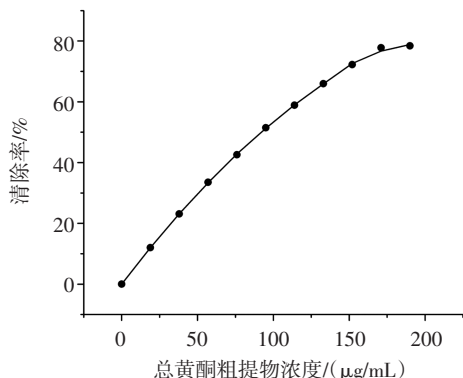


图8 总黄酮粗提物对ABTS⁺自由基的清除效果

Fig. 8 Scavenging activity of crude flavonoids on ABTS⁺ free radicals

由结果可知,BHT、黄酮纯化物和粗提物,对ABTS⁺自由基的清除率都达到了75%以上,半数抑制浓度(IC₅₀)分别为7、41、80 μg/mL。由图可知BHT对

ABTS⁺自由基的清除速度更快,并且效果远远优于黄酮纯化物和粗提物。然而,对黄酮粗提物进行纯化,可以显著提升其对ABTS⁺自由基的清除效果。

2.3.3 铁还原能力(FRAP)的测定

建立了浓度范围为0~120 mmol/L的FeSO₄浓度标准曲线,见图9。

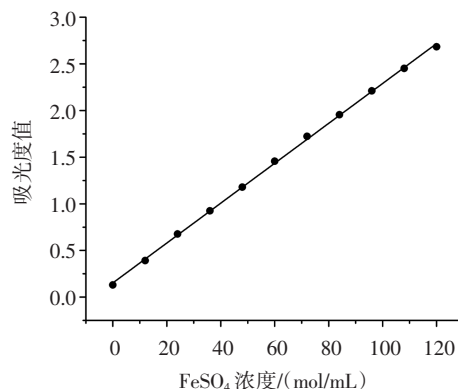


图9 FRAP试验标准曲线

Fig. 9 Standard curve of the FRAP experiment

Fe²⁺-TPTZ的浓度与吸光度呈现较好的线性关系,线性方程为 $Y=0.0214X+0.1519$, $R^2=0.9995$, $n=11$ 。在相同的测试条件下,将反应后的抗坏血酸对照溶液、总黄酮粗提物和纯化后样品溶液的吸光度值代入标准曲线,可得到FeSO₄的当量浓度,即样品的抗氧化活性以达到同样吸光度值所需的FeSO₄浓度(微摩尔数),其浓度越大,则抗氧化活性越强。经计算得知,抗坏血酸样液为1424.82 μmol/(L·mg),黄酮纯化物为169.10 μmol/(L·mg),黄酮粗提物为54.09 μmol/(L·mg)。抗坏血酸的抗氧化活性远高于纯化黄酮和黄酮粗提物,但是纯化后的黄酮抗氧化活性显著升高。

3 结论

目前对罗汉菜籽的研究报道多数侧重于黑芥子甙,少有对黄酮的分离纯化研究。本文采用正交试验法优化了总黄酮提取工艺,最终确定提取条件为:乙醇浓度为60%,料液比1:30(g/mL),提取时间75 min,提取次数2次。采用制备色谱对粗提物中的总黄酮进行纯化,色谱条件为:上样量约10 mL,流动相为0.1%乙酸水:甲醇(体积比)=70:30,流速为10 mL/min。在该条件下,采用Al(NO₃)₃-NaNO₂-NaOH显色法对制备色谱纯化后的黄酮含量进行测定,黄酮含量由10.0 mg/g提升至563.8 mg/g。

本文还对总黄酮粗提物和纯化产物进行抗氧化活性测定,包括对DPPH自由基和ABTS⁺自由基清除能力的测定,以及对铁还原能力的测定,醇体系以

(下转第90页)

- 鼠血葡萄糖耐量的影响[J]. 中国药理学通报, 2013, 28(10):1398-1420
- [8] 何丽霞, 李勇. 海参肽生物学功能研究进展 [J]. 食品科学, 2015, 36(9):215-218
- [9] 朱文丽, 王春蕾, 董辛欣, 等. 海洋胶原肽对糖尿病大鼠脂代谢和抗氧化水平的影响[J]. 现代预防医学, 2010, 37(8):1431-1434
- [10] 孙彬, 李迪, 毛瑞雪, 等. 吉林人参低聚肽对糖尿病大鼠的降血糖作用研究[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(10):62-65
- [11] 陈锐, 陈德经, 张建新. 西洋参多糖肽对糖尿病小鼠降血糖血脂及抗氧化作用研究[J]. 西北农业学报, 2013, 22(11):195-201
- [12] 刘欣然, 刘思奇, 侯超, 等. 燕麦低聚肽对糖尿病大鼠血糖的影响[J]. 中国食物与营养, 2018, 24(4):46-50
- [13] 王美华, 查保国, 许敏. 海参肽与海带多糖对小鼠血糖水平的影响[J]. 中国中医药现代远程教育, 2015, 13(24):145-146
- [14] 董丽莎, 李妍妍, 张红燕, 等. 两种海参多肽对糖尿病大鼠肾脏的防护作用研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(9):343-348
- [15] 王天星, 李勇, 李迪, 等. 海参肽对 db/db 小鼠降糖作用和炎症反应程度的影响[J]. 中国食物与营养, 2018, 24(4):51-55
- [16] 中华人民共和国卫生部. 保健食品检验与评价技术规范 [M]. 北京:化学工业出版社, 2003:87-93
- [17] 严奉伟, 严赞开, 王辰, 等. 莱籽多糖对四氧嘧啶致糖尿病小鼠降血糖作用的研究[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(3):11-14
- [18] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京:电子工业出版社, 2002:124-140
- [19] 林子桐, 张超, 沈雪梅. 糖尿病肾病发病机制研究进展[J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2014, 28(5):765-773
- [20] 曹娜娜, 蒋玲. 糖尿病慢性并发症发病机制研究进展[J]. 山东医药, 2008, 48(10):102-103

收稿日期:2018-09-10

(上接第 79 页)

BHT 作为对照,水体系以抗坏血酸作为对照。结果表明,将黄酮进行纯化,其抗氧化活性显著提升,但是无论是纯化黄酮还是黄酮粗提物,抗氧化效果都略逊于 BHT 和抗坏血酸。

参考文献:

- [1] 丁建海, 张俊芳. 蒺藜的化学成分及药理作用研究进展 [J]. 宁夏师范学院学报, 2014, 35(3): 78-81
- [2] 于金英, 王云红, 刘国强, 等. HPLC-ESI-MS/MS 分析鉴定蒺藜中黄酮类成分[J]. 中成药, 2015, 37(3): 556-561
- [3] 卫强, 纪小影. 聚酰胺-大孔树脂联用纯化樱花叶总黄酮及其抗炎活性[J]. 中国医院药学杂志, 2015, 35(13): 1204-1209
- [4] Kim D H, Hossain M A, Kang Y J, et al. Baicalein, an active component of *Scutellaria baicalensis* Georgi, induces apoptosis in human colon cancer cells and prevents AOM/DSS-induced colon cancer in mice[J]. International Journal of Oncology, 2013, 43(5): 1652-1658
- [5] 蔡锦源, 韦坤华, 熊建文, 等. 山豆根黄酮的提取及抗氧化抑菌活性[J]. 精细化工, 2017, 34(3): 285-293
- [6] 罗秋水, 杜华英, 熊建华, 等. 葛根异黄酮类化合物提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2015, 15(2): 104-110
- [7] 符群, 李卉, 王振宇, 等. 减压-超声辅助醇法提取薇菜黄酮及其对抗氧化活性的影响[J]. 现代食品科技, 2018(3): 1-8
- [8] 张黎明, 李瑞超, 郝利民, 等. 响应面优化玛咖叶总黄酮提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(4): 233-239
- [9] 钱宇, 郭慧卿, 王来兵, 等. 蒺藜子中还原糖、蔗糖及多糖含量的测定[J]. 中国中医药科技, 2014, 21(3): 274-275
- [10] 陈玉, 周旻, 伍丽萍, 等. HPLC 测定蒺藜子中的黑芥子苷 [J]. 华西药理学杂志, 2012, 27(1): 94-95
- [11] 伍明, 许晓燕, 魏巍, 等. GC-MS 法测定蒺藜子石油醚萃取物中的化学成分[J]. 分析试验室, 2014, 33(8): 910-912
- [12] 陈飞, 何先元, 周仰勤, 等. 超声辅助提取四齿四棱草中总黄酮及其抗氧化活性[J]. 天然产物研究与开发, 2016, 28(1): 96-101
- [13] 郑媛媛, 李辰, 封士兰, 等. 油橄榄叶中总黄酮含量测定方法探讨[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(2): 547-550

收稿日期:2018-09-19