

托盘根不同溶剂萃取物的 活性成分及其体外抗氧化活性

杨秀东¹, 张娉妹², 张 扬¹, 崔 浩¹, 周鸿立¹

(1. 吉林化工学院, 化学与制药工程学院, 吉林吉林 132022;

2. 吉林化工学院, 图书馆, 吉林吉林 132022)

摘 要:采用溶剂萃取法对托盘根水提物中的活性物质进行萃取,并测定不同溶剂萃取物中总黄酮、总皂苷和总酚酸的含量,运用 DPPH、ABTS 和超氧阴离子等体外抗氧化活性模型,研究托盘根不同溶剂萃取物的体外抗氧化活性。结果显示,托盘根正丁醇萃取物中总黄酮、总皂苷、总酚酸含量分别为 5.06%、7.41%、6.18%,高于氯仿萃取物和乙酸乙酯萃取物。体外抗氧化活性实验表明,乙酸乙酯萃取物清除 DPPH 和超氧阴离子的作用最强,IC₅₀ 分别为 94.64 μg/mL 和 50 μg/mL。正丁醇萃取物清除 ABTS 的作用最强,IC₅₀ 值为 66.43 μg/mL。结论:托盘根提取物中含有黄酮类、皂苷类、酚酸类成分,氯仿萃取物、乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物具有较好的体外抗氧化活性,为进一步开发托盘根为天然抗氧化剂或健康食品提供理论基础。

关键词:托盘根, 抗氧化, 总黄酮, 总皂苷, 总酚酸

Active Composition of Different Solvent Extracts of *Rubus crataegifolius* Bunge Root and Their Antioxidant Activity in Vitro

YANG Xiu-dong¹, ZHANG Pin-mei², ZHANG Yang¹, CUI Hao¹, ZHOU Hong-li¹

(1. School of Chemical and Pharmaceutical Engineering, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin 132022, China;

2. Library, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin 132022, China)

Abstract: The bioactive constituents of *Rubus crataegifolius* Bunge were extracted with solvent extraction method. The contents of total flavonoids, total saponins and total phenolic acid were also measured. The *in vitro* antioxidant activity of each extract was determined by DPPH, ABTS and superoxide anion scavenging assays. The results showed that the contents of total flavonoids, total saponins and total phenolic acid of n-butanol extract were 5.06%, 7.41% and 6.18% and it was higher than those of chloroform extract and ethyl-acetate extract. Among the extracts, ethyl-acetate extract showed higher DPPH and superoxide anion scavenging activities and its IC₅₀ were 94.64 μg/mL and 50 μg/mL, respectively. n-Butanol extract showed higher ABTS scavenging activity than other extracts and IC₅₀ was 66.43 μg/mL. In conclusion, the roots of *R. crataegifolius* Bunge contains flavonoids, saponins and phenolic acid. Furthermore, chloroform extract, ethyl-acetate extract and n-butanol extract of roots of *R. crataegifolius* Bunge had shown strong antioxidant activity. The data could provide the theory basis for the developing *R. crataegifolius* Bunge as natural antioxidant or functional food.

Key words: Root of *Rubus crataegifolius* Bunge.; anti-oxidant; total flavonoids; total saponins; total phenolic acid

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)21-0077-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.21.014

引文格式: 杨秀东, 张娉妹, 张 扬, 等. 托盘根不同溶剂萃取物的活性成分及其体外抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 77-80, 85.

托盘(*Rubus crataegifolius* Bunge.)为蔷薇科悬钩子属植物,又名牛迭肚、马林果、山楂叶悬钩子,为落叶小灌木^[1]。广泛分布于我国东北、华东和中南部地区。托盘既有较高的食用价值,又有药用价值。其根具有抗氧化、抗炎、抗肿瘤等作用,民间广泛用于治疗风湿性关节炎、肝炎、痛风等^[2]。化学成分研究

表明,托盘根中含有黄酮类、皂苷类、鞣质类、芪类等化合物^[3-5]。现代药理学研究表明,托盘根提取物具有抗衰老、抗肿瘤、抗炎、降血压、抗肥胖、降糖等功效^[6-11],托盘根的抗氧化能力研究表明托盘根乙醇提取物和乙酸乙酯、正丁醇、氯仿萃取物对动物组织的脂质过氧化具有很强的抑制作用^[12-15]。其中酚酸类

收稿日期: 2018-00-00

作者简介: 杨秀东(1981-),男,博士,讲师,研究方向:天然产物及其生物活性研究, E-mail: yangwt_1981@163.com。

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20170520039JH);吉林化工学院科学技术研究项目(2016-28);吉林化工学院博士启动基金项目(2016-007)。

和黄酮类成分是托盘根体外抗氧化活性成分^[5]。目前对托盘根抗氧化活性主要采用其醇提物 and 不同溶剂萃取物,但对其不同溶剂萃取物中活性成分的含量分析及不同萃取物的体外抗氧化活性的比较还未见报道,因此,本研究用不同溶剂对托盘根水提物进行萃取,测定不同萃取物中总黄酮、总皂苷和总酚酸的含量,并对其体外清除 DPPH 自由基、ABTS 自由基和超氧阴离子的能力进行评价。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

托盘根 采集自吉林市郊区,经长春中医药大学李勇教授鉴定为蔷薇科悬钩子植物托盘的干燥根;芦丁、齐墩果酸、没食子酸对照品 上海金穗生物科技有限公司;1,1-二苯基-2-苦肼基(DPPH)、2,2'-联氨-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS)、过硫酸钾 上海晶纯生化科技股份有限公司;维生素 C 天津市致远化学试剂有限公司;其他试剂 均为分析纯。

TU-1810 型紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司;SpectraMax Plus384 型酶标仪 美国 Molecular Devices 公司;RE-3000 型旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;KQ-118 型数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司;FA2004N 型分析天平 上海精密科学股份有限公司;HH-S 型恒温水浴锅 江苏省金坛市正基仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 托盘根萃取物的制备 托盘根于 50 ℃ 烘箱中干燥,粉碎,过 60 目筛备用,称取粗粉 100 g,加入 1000 mL 水,浸泡 12 h,加热回流提取 2 次,每次 2 h,过滤提取液,合并滤液,浓缩得水提液 500 mL,加入 95% 乙醇至含醇量为 80%,室温放置 12 h,抽滤,上清液减压浓缩至无醇味,得托盘根水提物。依次用氯仿、乙酸乙酯、水、饱和正丁醇萃取两次,各萃取层减压浓缩干燥后分别得萃取物,即氯仿萃取物(90.9 mg),乙酸乙酯萃取物(323.6 mg),正丁醇萃取物(281.6 mg)及水萃取物(2548 mg)^[16]。

1.2.2 总黄酮测定 精密称取 60 ℃ 干燥至质量恒定的芦丁对照品 10.3 mg,置于 50 mL 容量瓶中,加入 80% 乙醇溶解,并用 80% 乙醇溶液定容至刻度,制得芦丁对照品溶液(0.206 mg/mL)。精密吸取上述芦丁对照品溶液 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、4.0 mL 分别置于 10 mL 容量瓶中,加入 5% NaNO₂ 溶液 0.3 mL,摇匀,放置 6 min,加入 10% Al(NO₃)₃ 溶液 0.3 mL,摇匀,放置 6 min,加入 4% NaOH 溶液 4.0 mL,加入 80% 乙醇溶液定容至刻度,摇匀,放置 15 min。以 80% 乙醇溶液为空白对照,于紫外分光光度计 505 nm 波长处测定不同浓度芦丁对照品溶液的吸光度 A^[17],以吸光度为纵坐标,浓度为横坐标,绘制标准曲线,得回归方程为: $A = 13.07c - 0.0075$, $R^2 = 0.9993$, 其中: A 为吸光度, c 为黄酮质量浓度(mg/mL)。

取托盘根不同溶剂萃取物,加无水乙醇溶解配制成 0.5 mg/mL 的样品溶液,按照上述方法测定样品溶液的吸光度,平行测定 3 次,计算平均值,根据回

归方程计算总黄酮的浓度。

1.2.3 总皂苷测定 精密称取 60 ℃ 干燥至质量恒定的齐墩果酸对照品 2.0 mg,置于 10 mL 容量瓶中,加入无水甲醇溶解,并用甲醇定容至刻度,制得齐墩果酸对照品溶液(0.2 mg/mL)。精密吸取上述齐墩果酸对照品溶液 0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4 mL,分别置于 10 mL 容量瓶中,与 70 ℃ 水浴上挥发除去溶剂,加入 5% 香兰素-冰乙酸 2 mL,70% 硫酸溶液 5 mL,60 ℃ 水浴加热 20 min,流水冷却 10 min,摇匀,以无水甲醇为空白对照,于紫外分光光度计 544 nm 波长处测定不同浓度齐墩果酸对照品溶液的吸光度 A^[18],以吸光度为纵坐标,浓度为横坐标,绘制标准曲线,得回归方程为: $A = 0.04435c - 0.1968$, $R^2 = 0.9997$, 其中: A 为吸光度, c 为皂苷质量浓度(mg/mL)。

取托盘根不同溶剂萃取物,加无水乙醇溶解配制成 0.5 mg/mL 的样品溶液,按照上述标准曲线绘制方法测定样品溶液的吸光度,平行测定 3 次,计算平均值,根据回归方程计算总皂苷的浓度。

1.2.4 总酚酸测定方法 精密称取 60 ℃ 干燥至质量恒定的没食子酸对照品 2.0 mg,置于 10 mL 容量瓶中,加入无水甲醇溶液,超声使之溶解,并用无水甲醇溶液定容至刻度,制得没食子酸对照品溶液(0.2 mg/mL)。精密吸取没食子酸对照品溶液 0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL,分别置于 10 mL 容量瓶中,加无水甲醇至 2 mL,加 0.3% 十二烷基硫酸钠 2 mL 及 0.6% 三氯化铁-0.9% 铁氰化钾(1:0.9)混合溶液 1 mL,混匀,在暗处放置 5 min,加 0.1 mol/L HCl 至刻度,混匀,在暗处放置 20 min,以无水甲醇为空白对照,于紫外分光光度计 720 nm 波长处测定不同浓度没食子酸对照品溶液的吸光度 A^[17],以吸光度为纵坐标,浓度为横坐标,绘制标准曲线,得回归方程为 $A = 0.0408c - 0.0015$, $R^2 = 0.9998$, 其中: A 为吸光度, c 为皂苷质量浓度(mg/mL)。

取托盘根不同溶剂萃取物,加无水乙醇溶解配制成 0.5 mg/mL 的样品溶液,按照上述总酚酸方法测定样品溶液的吸光度,平行测定 3 次,计算平均值,根据回归方程计算总酚酸的浓度。

1.2.5 DPPH 自由基清除能力测定 DPPH 自由基清除能力测定参考文献方法^[19]并稍作修改,DPPH 用无水甲醇溶解配制成 0.16 mmol/L 甲醇溶液。取浓度为 0.2、0.1、0.05、0.025 mg/mL 的各样品溶液和浓度为 0.02、0.01、0.005、0.0025 mg/mL 的 V_c 溶液(阳性对照) 100 μL 加入 96 孔板中,并加入 100 μL 的 DPPH 测定液,空白用甲醇代替样品溶液,室温避光放置 30 min。于波长 517 nm 下测定吸光度。每份样品平行操作三次。计算公式见式(1):

$$\text{清除率}(\%) = [A_{\text{空白}} - A_{\text{样品}}] / A_{\text{空白}} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

式中: A_{空白} 为空白样品的吸光度, A_{样品} 为测试样品的吸光度。

提取物的半数抑制率用 IC₅₀ 值表示。

1.2.6 ABTS 自由基清除能力测定 清除 ABTS 自由基清除能力的测定是参照文献^[20]方法,并稍作修改。将 5 mL 7 mmol/L ABTS 和 88 μL 140 mmol/L 的过硫酸钾(终浓度)混合,在室温避光条件下静止过夜,

表1 托盘根不同提取物中总黄酮、总皂苷和总酚酸的含量

Table 1 The total flavonoids, total saponins and total phenolic acid contents of different extract from *Rubus crataegifolius* Bunge.

	水提物	氯仿萃取物	乙酸乙酯萃取物	正丁醇萃取物	水萃取物
总黄酮含量(%)	1.07 ± 0.04 ^c	4.09 ± 0.32 ^b	4.82 ± 0.13 ^a	5.06 ± 0.52 ^a	0.31 ± 0.06 ^d
总皂苷含量(%)	1.22 ± 0.15 ^d	6.29 ± 0.26 ^b	5.50 ± 0.24 ^c	7.41 ± 0.55 ^a	0.69 ± 0.14 ^c
总酚酸含量(%)	1.02 ± 0.18 ^d	5.24 ± 0.35 ^b	4.58 ± 0.22 ^c	6.18 ± 0.33 ^a	0.58 ± 0.04 ^c

注:同行不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。

将生成的 ABTS⁺ 工作液用水稀释 20~40 倍,使其在 734 nm 波长下的吸光度为 0.7 ± 0.02,即得到 ABTS⁺ 工作液。取浓度为 0.2、0.1、0.05、0.025 mg/mL 的各样品溶液和浓度为 0.02、0.01、0.005、0.0025 mg/mL 的 V_c 溶液(阳性对照) 10 μL 加入 96 孔板,并加入 190 μL 的 ABTS⁺ 工作液,空白用甲醇代替样品溶液。室温避光放置 6 min,于波长 734 nm 下测定其吸光度。每份样品平行操作 3 次。计算公式见式(2):

清除率(%) = $[A_{\text{空白}} - A_{\text{样品}}] / A_{\text{空白}} \times 100$ 式(2)

式中: A_{空白} 为空白样品的吸光度, A_{样品} 为测试样品的吸光度。

提取物半数抑制浓度用 IC₅₀ 值表示。

1.2.7 超氧阴离子自由基清除能力测定 超氧阴离子自由基清除能力的测定参照文献[16]的方法,并稍作修改。取 200 μL 50 mmol/L pH = 8.2 的 Tris-HCl 缓冲溶液, 20 μL 不同浓度(0.2、0.1、0.05、0.025 mg/mL) 托盘根萃取物样品和 20 μL 蒸馏水(空白对照), 25 ℃ 反应 20 min。继续加入 20 μL 25 mmol/L 邻苯三酚溶液,充分振荡后,在酶标仪中于 325 nm 处测定 0~4 min 内每 30 s 的吸光度,进行线性回归分析,求其斜率得到邻苯三酚的自氧化率。不同浓度(0.16、0.08、0.04、0.02、0.01 mg/mL) 的 V_c 溶液作为阳性对照。其清除率按照式(3)计算:

清除率(%) = $[A_1 - A_2] / A_1 \times 100$ 式(3)

式中: A₁ 为邻苯三酚自氧化率; A₂ 为加入样品的邻苯三酚自氧化率。

提取物的半数抑制率用 IC₅₀ 值表示。

1.3 数据处理

所有实验重复 3 次,结果以平均值 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示。数据处理采用 Excel 2016 和 SPSS 17.0 软件进行统计学分析。采用单因素方差分析(One Way ANOVA)和 Duncan 法进行分析。

2 结果与分析

2.1 托盘根各提取物中总黄酮、总皂苷和总酚酸的含量

如表 1 所示,各提取物中有机溶剂萃取物的总黄酮含量明显高于水提物和水萃取物($p < 0.05$),其中正丁醇萃取物中总黄酮含量为 5.06% (以生药材计),高于乙酸乙酯萃取物和氯仿萃取物,与氯仿萃取物之间存在显著性差异($p < 0.05$)。各提取物中正丁醇萃取物的总皂苷含量最高,以生药材计其含量为 7.41%,其次为氯仿提取物,含量为 6.29%,乙酸乙酯萃取物中总皂苷含量显著低于正丁醇和氯仿萃取物($p < 0.05$),是由于三萜和甾体皂苷元易溶解于氯仿中,与糖结合成苷后极性明显增加,在正丁醇中的

溶解度增大,而皂苷元和皂苷在乙酸乙酯中的溶解度低于氯仿和正丁醇,因而氯仿萃取物和正丁醇萃取物中的总皂苷含量高于乙酸乙酯萃取物。正丁醇萃取物中总酚酸的含量为 6.18%,显著高于氯仿萃取物和乙酸乙酯萃取物($p < 0.05$),而水提物和水萃取物中总酚酸的含量最低。

2.2 托盘根各提取物 DPPH 自由基清除能力

由图 1 可知,托盘根各提取物对 DPPH 自由基的清除率范围为 5.20%~89.36%,各提取物对 DPPH 的清除能力均呈现浓度依赖关系。其中清除率最强的为 0.2 mg/mL 的乙酸乙酯层萃取物(IC₅₀ = 94.64 μg/mL),最弱的为 0.025 mg/mL 的水萃取物。相同浓度的样品中,以乙酸乙酯萃取物对 DPPH 自由基的清除率最强,水萃取物最低。正丁醇萃取物和氯仿层萃取物比乙酸乙酯层萃取物的清除率略低,不存在显著差异($p > 0.05$);水提液和水萃取物的对 DPPH 自由基的清除率相近,显著低于乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃取物和氯仿萃取物($p < 0.05$)。此结果表明,不同极性有机溶剂萃取得到的托盘根萃取物中有效成分存在较大差异,如乙酸乙酯和正丁醇萃取物中总黄酮含量高于其他提取物,而黄酮类成分的抗氧化活性较强,与萃取物中总黄酮含量的顺序基本相同,说明有机溶剂有利于黄酮类物质的提取。

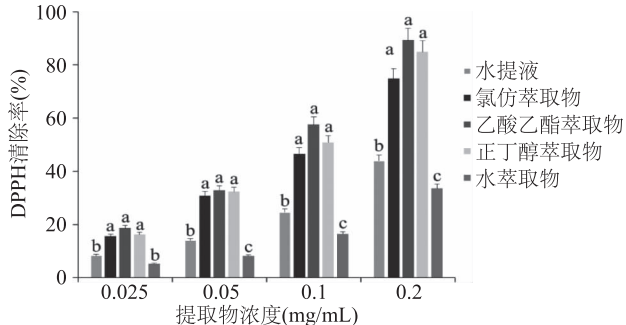


图1 托盘根不同提取物 DPPH 自由基清除能力

Fig.1 DPPH scavenging activity of different extracts from *Rubus crataegifolius* Bunge.

注:同一浓度下不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$);图 2、图 3 同。

由表 2 可知,各提取物对 DPPH 自由基的清除能力大小:乙酸乙酯层萃取物 > 正丁醇层萃取物 > 氯仿层萃取物 > 水萃取物。由实验得阳性对照 V_c 对 DPPH 清除作用的 IC₅₀ 为 6.25 μg/mL,各提取物对 DPPH 的清除能力均低于阳性对照 V_c。

2.5 ABTS 自由基清除能力

由图 2 可知,托盘根各提取物对 ABTS 自由基的清除率范围为 4.55%~73.86%,且各提取物对 ABTS 的

表2 DPPH 自由基清除率 IC₅₀ 值

Table 2 The IC₅₀ values of DPPH scavenging activity

提取物	水提物	氯仿萃取物	乙酸乙酯萃取物	正丁醇萃取物	水萃取物	V _c
IC ₅₀ (μg/mL)	>200	118.47	94.64	104.06	>200	6.25

表3 ABTS 自由基清除率 IC₅₀ 值

Table 3 The IC₅₀ values of ABTS scavenging activity

提取物	水提物	氯仿萃取物	乙酸乙酯萃取物	正丁醇萃取物	水萃取物	V _c
IC ₅₀ (μg/mL)	>200	90.97	87.01	66.43	>200	17.55

表4 超氧阴离子自由基清除率 IC₅₀ 值

Table 4 The IC₅₀ values of superoxide radical scavenging activity

提取物	水提物	氯仿萃取物	乙酸乙酯萃取物	正丁醇萃取物	水萃取物	V _c
IC ₅₀ (μg/mL)	>200	190	50	150	>200	90

清除能力随浓度的增加而增大。其中清除率最强的为 0.2 mg/mL 的正丁醇萃取物 (IC₅₀ = 66.43 μg/mL), 最弱的为 0.025 mg/mL 的水提液。相同浓度的供试品溶液中, 以正丁醇萃取物对 ABTS 自由基的清除率最强, 水提物最低。乙酸乙酯萃取物和氯仿萃取物比正丁醇萃取物清除率略低, 不存在显著差异 ($p > 0.05$); 水提物和水萃取物对 ABTS 自由基的清除率相近, 但显著低于乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃取物、氯仿萃取物 ($p < 0.05$)。与清除 DPPH 能力结果相似, 总黄酮、总皂苷和总酚酸在有机溶剂萃取中的含量明显高于水提物和水萃取物, 进一步说明, 托盘根中的抗氧化活性成分包括总黄酮、总皂苷和总酚酸。

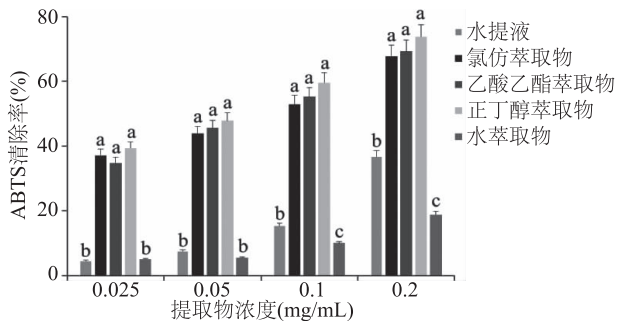


图2 托盘根不同提取物 ABTS 自由基清除能力

Fig.2 ABTS scavenging activity of different extracts from *Rubus crataegifolius* Bunge.

由表 3 可知各萃取层对 ABTS 自由基的清除能力大小: 正丁醇层提取物 > 乙酸乙酯层提取物 > 氯仿层提取物 > 水萃取物。且各提取物对 ABTS 自由基的清除能力均低于阳性对照 V_c (IC₅₀: 17.55 μg/mL)。

2.6 超氧阴离子自由基清除能力

由图 3 可知, 托盘根各提取物对超氧阴离子自由基的清除率范围为 2.58%~81.23%, 其中清除率最强的为 0.2 mg/mL 的乙酸乙酯层萃取物 (IC₅₀ = 50 μg/mL), 最弱的为 0.025 mg/mL 的水提液。相同浓度的供试品溶液中, 以乙酸乙酯萃取物对超氧阴离子自由基的清除率最强, 水提液最低。正丁醇萃取物和氯仿萃取物比乙酸乙酯萃取物清除率低, 差异显著 ($p < 0.05$); 水提液和水萃取物的供试品溶液对超氧阴离子自由基的清除率相近, 但显著低于乙酸乙酯

萃取物、正丁醇萃取物和氯仿萃取物 ($p < 0.05$)。

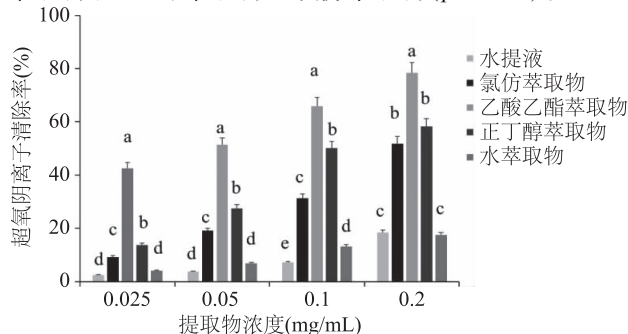


图3 托盘根不同提取物超氧阴离子自由基清除能力

Fig.3 Superoxide radical scavenging activity of different extracts from *Rubus crataegifolius* Bunge.

由表 4 可知各提取物对超氧阴离子自由基的清除能力大小: 乙酸乙酯层萃取物 > 正丁醇层萃取物 > 氯仿层萃取物 > 水萃取物。且乙酸乙酯提取物对超氧阴离子自由基的清除能力高于阳性对照 V_c (IC₅₀: 90 μg/mL), 其他提取物的超氧阴离子清除能力低于 V_c。

3 结论

本研究对托盘根水提液不同溶剂萃取物中总黄酮、总皂苷和总酚酸含量进行了测定及比较, 结果表明托盘根氯仿、乙酸乙酯和正丁醇萃取物中均含有黄酮、皂苷及酚酸类成分, 且明显高于水提液和水萃取物, 其中正丁醇萃取物中各成分含量最高。通过 DPPH、ABTS、超氧阴离子清除实验等体外抗氧化评价体系, 评价了托盘根各提取物的体外抗氧化能力, 各有机溶剂萃取物均表现出较强的体外抗氧化能力, 而其中乙酸乙酯萃取物的抗氧化能力最高。本研究结果表明, 托盘根中含有黄酮、皂苷和酚酸等生物活性成分, 且具有明显的抗氧化活性, 为进一步开发托盘根成为天然抗氧化剂或健康食品提供了理论基础。

参考文献

- [1] 雷钧涛, 莫绍凌, 陈爽, 等. 托盘根水煎剂降糖作用分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(13): 118-121.
- [2] 赵伟伟, 李爱民, 张正海, 等. 野生树莓蓬蘽悬钩子光合特性研究[J]. 中国果树, 2014(1): 28-30.

(下转第 85 页)

- [7] 李素芬.甘薯渣对曲奇饼干品质的影响[J].食品科技, 2015,40(6):190-193.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品中淀粉的测定:GB 5009.9-2016[S].2016.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品中膳食纤维的测定:GB 5009.88-2014[S].2015.
- [10] Londono D M, Smulders M J M, Visser R G F, et al. Development of a standard test for dough-making properties of oat cultivars[J].Journal of Cereal Science,2014,59(1):56-61.
- [11] Cao X, Zhou S, Yi C, et al. Effect of whole wheat flour on the quality, texture profile, and oxidation stability of instant fried noodles[J].Journal of Texture Studies,2017,48(6):607-615.
- [12] Majzoobi M, Poor Z V, Mesbahi G, et al. Effects of carrot pomace powder and a mixture of pectin and xanthan on the quality of gluten-free batter and cakes[J].Journal of Texture Studies, 2017,48(6):616-623.
- [13] Sudha M L, Vetrmani R, Leelavathi K. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality[J].Food Chemistry,2007,100(4):1365-1370.
- [14] 魏海香.甘薯果胶的制备及其理化性质研究[D].雅安:四川农业大学,2006.
- [15] Santiago D M, Matsushita K, Noda T, et al. Effect of purple sweet potato powder substitution and enzymatic treatments on bread making quality[J].Food Science and Technology Research, 2015,21(2):159-165.
- [16] Khalid K H, Ohm J, Simsek S. Whole wheat bread: Effect of bran fractions on dough and end-product quality[J].Journal of Cereal Science,2017,78:48-56.
- [17] Al-Attabi Z H, Merghani T M, Ali A, et al. Effect of barley flour addition on the physico-chemical properties of dough and structure of bread[J].Journal of Cereal Science,2017,75:61-68.
- [18] 王小媛, 王文静, 丁俊豪, 等. 红枣粉对小麦面团特性以及微观结构的影响[J].食品工业科技:1-11.
- [19] Mnif I, Besbes S, Ellouze R, et al. Improvement of bread quality and bread shelf-life by *Bacillus subtilis* biosurfactant addition[J]. Food Science and Biotechnology, 2012, 21(4): 1105-1112.
- [20] Pongjaruvat W, Methacanon P, Seetapan N, et al. Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads[J].Food Hydrocolloids,2014,36:143-150.
- [21] Wang S, Nie S, Zhu F. Chemical constituents and health effects of sweet potato[J].Food Research International,2016,89: 90-116.
- [22] Jeddou K B, Bouaziz F, Zouari-Ellouzi S, et al. Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein[J].Food Chemistry,2017,217:668-677.
- [23] Raymundo A, Fradinho P, Nunes M C. Effect of Psyllium fibre content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough[J].Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre,2014,3(2):96-105.
- [24] Tortoe C, Akonor P T, Buckman E S. Potential uses of sweet potato-wheat composite flour in the pastry industry based on proximate composition, physicochemical, functional, and sensory properties of four pastry products[J].Journal of Food Processing and Preservation,2017,41(5):1-9.

(上接第 80 页)

- [3] 王宝珍,解红霞.悬钩子属植物化学成分和药理作用研究新进展[J].中中药学,2014,12(5):466-469.
- [4] 孟祥娟,刘斌,热增才旦,等.悬钩子属植物化学成分及药理活性研究进展[J].天然产物研究与开发,2011,23:755-767,788.
- [5] 魏忠宝,孙佳明,李朋飞,等.山楂叶悬钩子根抗氧化活性成分研究[J].中国中药杂志,2012,37(23):3591-3594.
- [6] Sun Y, Jia L, Huang Z, et al. Hepatoprotective effect against CCl_4 -induced acute liver damage in mice and high-performance liquid chromatography mass spectrometric method for analysis of the constituents of extract of *Rubus crataegifolius* [J]. Natural Product Research, 2017, 31: 2695-6299.
- [7] 李春华,及晓静,雷钧涛.托盘根功效研究进展[J].吉林医药学院学报,2014,35(3):200-202.
- [8] 徐丹丹.茅莓根化学成分研究[D].广州:广州药学院,2012.
- [9] Jung M S, Lee S J, Song Y, et al. *Rubus crataegifolius* Bunge regulates adipogenesis through Akt and inhibits high-fat diet-induced obesity in rats [J]. Nutrition & Metabolism, 2016, 13(1): 1-14.
- [10] 杜钢军,许启泰,杨义明,等.托盘根乙醇提取物的抗癌作用研究[J].实用肿瘤杂志,2002,17(2):138-139.
- [11] 雷钧涛,莫绍凌,姜艳霞.托盘根中多糖提取及体外对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用[J].江苏农业科学,2015,43(6):262-263.
- [12] 王爱民,王玉坤,金和筠,等.托盘根醇提物对组织脂质过氧化物含量的影响[J].沈阳药科大学学报,1996,13(1):47,76.
- [13] 金和筠,刘明生,王玉坤,等.托盘根醇提物对组织脂质过氧化物及脂褐素含量的影响[J].时珍国药研究,1996,7(1):16-17.
- [14] 王玉坤,王爱民,曹颖林,等.托盘根抗组织脂质过氧化的作用[J].沈阳药科大学学报,1994,11(4):299-301.
- [15] 王爱民,王玉坤,刘明生,等.托盘根乙酸乙酯萃取物对组织脂质过氧化作用的影响[J].中草药,1995(7):358-359.
- [16] 熊双丽,马楠,廖婷婷,等.豆腐柴叶总黄酮不同溶剂级分抗氧化活性分析[J].食品工业科技,2017,38(18):19-24.
- [17] 张颖,甄攀,马媛媛,等.吴茱萸中总皂苷、总黄酮和总酚酸的含量测定[J].河北北方学院学报:自然科学版,2008,24(3):27-29.
- [18] 许效群,赵文婷,苗玲香,等.藜麦麸皮总皂苷的提取纯化工艺研究[J].食品工业科技,2017,38(18):215-220.
- [19] 刘玉革,付琼,马飞跃,等.番木瓜叶不同溶剂提取物的抗氧化性能[J].食品工业科技,2017,38(21):12-16.
- [20] Wu P, Ma G, Li N, et al. Investigation of *in vitro* and *in vivo* antioxidant activities of flavonoids rich extract from the berries of *Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk [J]. Food Chemistry, 2015, 173: 194-202.