

桔梗根提取物不同溶剂萃取物的抗氧化活性

许瑞如, 张秀玲*, 李振, 李晨, 刘明华

(东北农业大学 食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:该试验对桔梗根提取物用不同溶剂进行萃取,并对不同溶剂萃取物中总多酚、总黄酮的含量和抗氧化活性进行比较分析。选取石油醚、正丁醇、乙酸乙酯和正己烷对桔梗根提取物水溶液进行液-液萃取,得到样品不同溶剂萃取物。测定不同溶剂萃取物总多酚、总黄酮的含量及其抗氧化活性。桔梗根提取物正丁醇萃取物中总多酚含量最高,石油醚萃取物中总黄酮含量最高。各溶剂萃取物表现出不同程度的抗氧化活性,并呈现剂量依赖性,顺序均为:正丁醇>石油醚>乙酸乙酯>正己烷。正丁醇和石油醚萃取物可被用于总多酚和总黄酮的分离纯化;综合考虑抗氧化活性,正丁醇萃取物可被用来作为天然抗氧化剂应用于食品和药品领域。

关键词:桔梗;萃取物;多酚;黄酮;抗氧化活性

Antioxidant Activity of Extracts from Different Solvents of Extract of *Platycodon grandiflorum* Roots

XU Rui-ru, ZHANG Xiu-ling*, LI Zhen, LI Chen, LIU Ming-hua

(College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

Abstract: The extracts of *Platycodon grandiflorum* root were extracted with different solvents, and the content and antioxidant activity of total polyphenols and total flavonoids in different solvent extracts were compared and analyzed. Petroleum ether, n-butanol, ethyl acetate and n-hexane were used to perform liquid-liquid extraction on the aqueous solution of *Platycodon grandiflorum* root extract to obtain different solvent extracts of the sample. The content of total polyphenols and total flavonoids in different solvent extracts and their antioxidant activity were determined. The extract of *Platycodon grandiflorum* root extract had the highest total polyphenol content and the petroleum ether extract had the highest total flavonoid content. Each solvent extract exhibited different degrees of antioxidant activity and showed a dose-dependent order in the order: n-butanol, petroleum ether, ethyl acetate and n-hexane. The extracts of n-butanol and petroleum ether could be used for the separation and purification of total polyphenols and total flavonoids. Considering the antioxidant activity, n-butanol extract could be used as a natural antioxidant in food and pharmaceutical fields.

Key words: *Platycodon grandiflorum*; extracts; polyphenols; flavonoids; antioxidant activity

引文格式:

许瑞如, 张秀玲, 李振, 等. 桔梗根提取物不同溶剂萃取物的抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(1):31-36.

XU Rui-ru, ZHANG Xiu-ling, LI Zhen, et al. Antioxidant Activity of Extracts from Different Solvents of Extract of *Platycodon grandiflorum* Roots[J]. Food Research and Development, 2021, 42(1):31-36.

基金项目:东北农业大学双一流学科团队“森林果蔬的贮运与加工”;中国科学院科技服务网络计划(STS)项目-典型林区林下经济资源生态培育与产业化利用(KFJ-SW-ST5-147)

作者简介:许瑞如(1995—),女(汉),硕士研究生,研究方向:农产品加工及贮藏工程。

*通信作者:张秀玲(1968—),女(汉),教授,博士生导师,博士,研究方向:果蔬贮藏加工。

桔梗(*Platycodon grandiflorum*)为桔梗科桔梗属的草本植物,又名包袱花、铃铛花、僧帽花^[1]。从古至今,既可被用作食物原料,又可被用作药材^[2]。桔梗具有广泛的药理活性,对多种疾病均有很好的治疗作用^[3]。中药与合成的抗生素、抗氧化剂及抗炎药物相比,具有低毒、无残留、副作用小等优点^[4]。随着人们对传统药

食同源越来越深入的研究,植物提取物被广泛的用作天然抗氧化剂、抑菌剂等^[9]。

人体的生命活动伴随氧化反应,产生大量的氧自由基,大量的氧自由基会引起氧化损伤,长期处于氧化损伤状态会引起大量慢性疾病^[6]。故近年来国内外很多学者致力于抗氧化剂的筛选,天然抗氧化剂由于自身的优势,成为食品和医药的研究热点。单一的抗氧化体系不能全面的说明物质的抗氧化能力,为了更好地评价物质的综合抗氧化性,通常测定总还原能力、超氧阴离子自由基清除能力、羟自由基清除能力、DPPH·清除能力、ABTS⁺清除能力^[7-10],便于全面的分析物质的抗氧化性。

目前关于桔梗中的活性物质的主要提取方法有传统水提法、微波辅助提取法、超声辅助提取法等^[11-13],但关于不同溶剂对桔梗提取物进行萃取尚未报道。为了深入研究不同溶剂对桔梗中总多酚和总黄酮含量及萃取物抗氧化活性的影响,本文对桔梗根提取物进行不同溶剂的萃取,并对不同溶剂萃取物的抗氧化性进行了评价。以期为进一步开发和发展桔梗资源提供理论基础和试验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

桔梗根:采于黑龙江省鸡西市鸡东县;没食子酸标准品(色谱纯)、福林-酚试剂、1,1-二苯基-2-三硝基苯(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2'-联氨-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸[2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid, ABTS)、TPTZ试剂:美国Sigma公司;抗坏血酸、Trolox:美国Solarbio公司;试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

LGJ-1A-50 真空冷冻干燥机:北京亚泰科隆仪器技术有限公司;RE-5203 旋转蒸发仪、SHZ-Ⅲ型循环水真空泵:上海亚荣生化仪器厂;YP20002 电子天平:上海越平科学仪器有限公司;G70D20CN1P-D2 微波炉:格兰仕微波电器有限公司;TU-1810 紫外可见分光光度计:北京普析通用仪器有限公司;万能高速粉碎机:上海菲力博实业公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品的制备

新鲜桔梗根洗净、去皮、切片后置于真空冷冻干燥机中干燥至恒重,将干燥的桔梗根用粉碎机打磨成粉末。称取10 g的粉末,加入30倍体积的50%乙醇溶液,210 W的微波条件下,提取60 s,过滤出滤渣并收

集滤液,在此条件下提取两次,合并滤液。将上述滤液冷冻干燥收集粉末,将粉末溶解于250 mL容量瓶中,取40 mL溶液与等体积石油醚混合,置于分液漏斗中,振荡溶液使得两种液体充分接触,静置30 min,收集上层石油醚相,将下层水相按上述方法再萃取3次。并按以上方法进行正丁醇、乙酸乙酯、正丁烷的萃取。将相同溶剂萃取液合并,进行减压浓缩、冷冻干燥得不同溶剂萃取物。

1.3.2 总多酚含量的测定

桔梗根提取物不同溶剂萃取物中总多酚含量的测定,采用福林-酚测定法^[14],吸取萃取液1 mL、蒸馏水5 mL、福林-酚试剂1 mL于试管中,充分混合并静置5 min后,加入3 mL 7%碳酸钠溶液,充分混合后,70 ℃避光反应20 min,在765 nm波长下测定其吸光度。以不同浓度没食子酸标准品溶液代替萃取液按以上步骤操作,绘制标准曲线,得到线性回归方程为 $y = 5.8273x + 0.3272$ ($R^2 = 0.9993$)。把测定样品吸光度代入方程,即得到总多酚含量。

1.3.3 总黄酮含量的测定

桔梗根提取物不同溶剂萃取物中总黄酮含量的测定,采用硝酸铝显色法测定^[15],吸取萃取液1、5 mL蒸馏水和1 mL 5%的亚硝酸钠水溶液于试管中,充分混合后静置5 min,再加入1 mL 10%的硝酸铝,充分混合后静置5 min,再加10 mL 10%的氢氧化钠水溶液,充分混合15 min后,在510 nm波长下测定其吸光度。以不同浓度芦丁标准品溶液代替萃取液按以上步骤操作,绘制标准曲线,得到线性回归方程为 $y = 0.0007x - 0.0064$ ($R^2 = 0.9993$)。把测定样品吸光度代入方程,即得到总黄酮含量。

1.3.4 抗氧化能力的测定

1.3.4.1 铁还原能力的测定

铁还原能力的测定采用铁离子还原法(ferric ion reducing antioxidant power, FRAP),参照朱尚彬、杨少辉等^[16-17]的方法略做改动,将0.1 mL样品、3 mL 醋酸盐缓冲溶液(pH 3.6)、0.1 mL的TPTZ溶液(10 mmol/L)和0.1 mL的三氯化铁溶液(10 mmol/L)充分混合,放置25 ℃条件下反应6 min,并于700 nm处测定其吸光度。并以 V_c 为对照组,按以上步骤进行试验。

1.3.4.2 超氧阴离子自由基清除率测定

参照李斌等^[18]的方法略做改动,吸取200 μ L样品、5.7 mL Tris-HCl缓冲溶液(0.05 mol/L, pH 8.20)和0.1 mL邻苯三酚溶液(6 mmol/L)于试管中,充分混合后,在320 nm波长处测定其吸光度,记为 A_1 ;按上述试验步骤,以等体积蒸馏水代替样品测定其吸光度,记

为 A_0 ; 以等体积蒸馏水代替邻苯三酚溶液测定吸光度, 记为 A_i ; 并以 V_c 为对照组, 按以上步骤进行试验。

按照公式计算超氧阴离子自由基清除率。

$$\text{清除率}/\% = (1 - \frac{A_i - A_1}{A_0}) \times 100$$

1.3.4.3 羟自由基($\cdot\text{OH}$)清除能力的测定

参照白生文等^[19]的方法略做改动, 吸取 3 mL 样品、2 mL 硫酸亚铁溶液(0.1 mol/L)、2 mL 水杨酸溶液(0.1 mol/L)和 2 mL 过氧化氢溶液(0.1 mol/L)于试管中, 充分混合后, 37 °C 水浴条件下反应 30 min, 在 510 nm 波长处测定其吸光度, 记为 A_i ; 按上述试验步骤, 以等体积无水乙醇代替样品测定其吸光度, 记为 A_0 ; 以等体积蒸馏水代替过氧化氢溶液测定吸光度, 记为 A_1 ; 并以 V_c 为对照组, 按以上步骤进行试验。

按照公式计算 $\cdot\text{OH}$ 清除率。

$$\text{清除率}/\% = (1 - \frac{A_i - A_1}{A_0}) \times 100$$

1.3.4.4 DPPH 自由基清除能力的测定

参考 Li Xiuxia 等^[20]方法的基础上略做改动, 吸取 2 mL DPPH 乙醇溶液(0.1 mol/L)和 2 mL 样品溶液于试管中, 充分混合后室温 25 °C 避光反应 30 min, 在 517 nm 波长处测定其吸光度, 记为 A_i ; 按上述试验步骤, 以等体积无水乙醇代替样品测定其吸光度, 记为 A_0 ; 以等体积无水乙醇代替 DPPH 乙醇溶液测定吸光度, 记为 A_1 ; 并以 V_c 为对照组, 按以上步骤进行试验。

按照公式计算 DPPH 自由基清除率。

$$\text{清除率}/\% = (1 - \frac{A_i - A_1}{A_0}) \times 100$$

1.3.4.5 ABTS $^{+\cdot}$ 清除能力的测定

参考 Garzón G A 等^[21-22]方法的基础上略做改动, 用甲醇将 ABTS 溶液在 734 nm 处的吸光度调整为 0.7 ± 0.02 , 记为 A_0 ; 吸取 200 μL 样品和 4 mL ABTS 溶液于试管中, 充分混合后室温 25 °C 避光反应 30 min, 在 517 nm 波长处测定其吸光度, 记为 A_i ; 并以 Trolox 为对照组, 按以上步骤进行试验。按照公式计算 ABTS $^{+\cdot}$ 清除率。

$$\text{ABTS}^{+\cdot}\text{清除率}/\% = (1 - \frac{A_i}{A_0}) \times 100$$

1.4 数据处理与统计分析

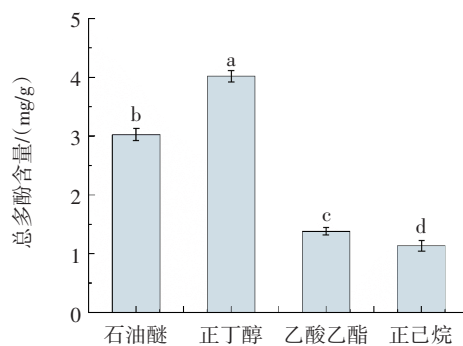
本试验采用 Origin9.1 软件绘图, SPSS22.0 软件对数据进行单因素方差分析, 所有试验均重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 不同溶剂萃取物总多酚含量

桔梗根提取物不同溶剂萃取物总多酚含量如图 1

所示。



不同小写字母表示差异显著, $p < 0.05$ 。

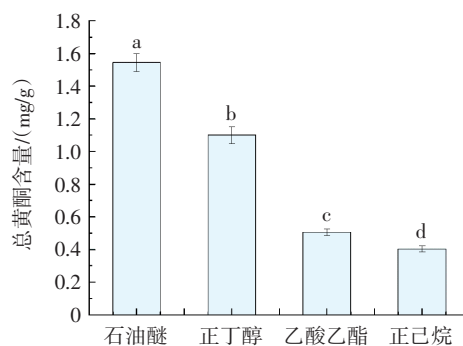
图 1 不同溶剂萃取物的总多酚含量

Fig.1 Total polyphenol contents of different solvents of extracts

由图 1 可知不同溶剂萃取物总多酚含量: 正丁醇 > 石油醚 > 乙酸乙酯 > 正己烷, 且各萃取相中总多酚含量差异明显。其中正丁醇萃取物明显高于其他组, 总多酚含量为 $(4.02 \pm 0.097) \text{ mg/g}$, 是石油醚萃取物的 1.3 倍, 乙酸乙酯萃取物的 3 倍, 正己烷萃取物的 3.5 倍。说明桔梗根提取物经过不同溶剂萃取后, 正丁醇和石油醚萃取物富集多酚类物质的能力最好, 可以富集大部分的多酚类物质; 而乙酸乙酯和正己烷萃取物富集多酚类物质的能力较弱, 说明多酚类物质在这两种溶剂中溶解度较差。这 4 种溶剂极性排序为: 石油醚 < 正己烷 < 乙酸乙酯 < 正丁醇, 说明桔梗根提取物中多酚更容易溶解于极性较大或者极性较小的溶剂中。

2.2 不同溶剂萃取物总黄酮含量

不同溶剂萃取物的总黄酮含量见图 2。



不同小写字母表示差异显著, $p < 0.05$ 。

图 2 不同溶剂萃取物的总黄酮含量

Fig.2 Total flavonoids contents of different solvents of extracts

由图 2 可知, 桔梗根提取物不同溶剂萃取物总黄酮含量差异显著, 其中含量最高的为石油醚萃取物, 为 $(1.545 \pm 0.055) \text{ mg/g}$, 含量最低的为正己烷萃取物, 为 $(0.403 \pm 0.019) \text{ mg/g}$ 。不同溶剂萃取总黄酮含量: 石油

醚>正丁醇>乙酸乙酯>正己烷,其中石油醚萃取物中总黄酮含量是正丁醇的1.4倍,乙酸乙酯萃取物的3倍,正己烷萃取物的3.8倍。说明黄酮类物质更容易溶解到极性小的溶液中。液-液萃取不仅可以增加黄酮的含量,而且可以提高黄酮的纯度,还具有操作简便,能耗较小的优点,被广泛用于提取及纯化的技术上^[23]。

2.3 抗氧化活性测定结果

2.3.1 铁还原能力分析

通常用FRAP法来表示样品的铁还原能力,吸光度越大表示还原能力越强^[24]。不同溶剂萃取物的铁还原能力见图3。

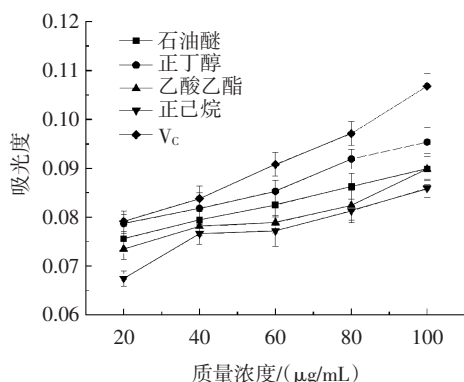


图3 不同溶剂萃取物的铁还原能力

Fig.3 FRAP of different solvents of extracts

图3中随着样品浓度的增加,吸光度也随之增大,由此可知,样品的铁还原能力与浓度呈正相关。正丁醇萃取物的铁还原能力明显高于其他萃取物,其中正己烷萃取物显示出较弱的铁还原能力,阳性对照组V_c的铁还原能力优于各萃取物。各萃取物的铁还原能力大小依次为:正丁醇>石油醚>乙酸乙酯>正己烷。

2.3.2 超氧阴离子自由基清除能力

不同溶剂萃取物对超氧阴离子自由基清除能力见图4。

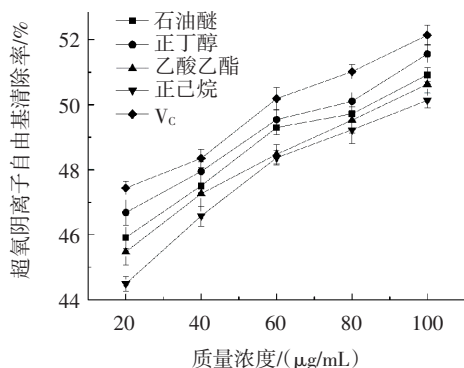


图4 不同溶剂萃取物对超氧阴离子自由基清除能力

Fig.4 Superoxide anion radical scavenging activity of different solvents

由图4可知,桔梗根提取物不同溶剂萃取物对超氧阴离子自由基清除能力存在剂量依赖效应,在20 μg/mL~100 μg/mL的浓度范围内,超氧阴离子自由基的清除率与萃取物浓度成正比,且各萃取物对超氧阴离子自由基的清除率各不相同。阳性对照组V_c明显高于各溶剂萃取物,正丁醇萃取物的超氧阴离子自由基清除率最好。

不同溶剂萃取物的IC₅₀值见表1。

表1 不同溶剂萃取物的IC₅₀值

Table 1 IC₅₀ values of different solvent extracts

萃取物	清除 O ₂ ⁻ · IC ₅₀ 值/(μg/mL)	清除 ·OH IC ₅₀ 值/(μg/mL)	清除 DPPH· IC ₅₀ 值/(μg/mL)	清除 ABTS·+ IC ₅₀ 值/(μg/mL)
石油醚	80.335±1.957	0.162±0.015	0.372±0.048	0.015±0.002
正丁醇	39.322±1.712	0.148±0.024	0.324±0.032	0.014±0.001
乙酸乙酯	90.462±1.246	0.326±0.066	0.467±0.073	0.017±0.005
正己烷	98.156±2.035	0.473±0.009	0.472±0.019	0.376±0.044

如表1所示,正丁醇萃取物清除O₂⁻·的IC₅₀为(39.322±1.712)μg/mL,正己烷萃取物的超氧阴离子清除率最弱,其IC₅₀为(98.156±2.035)μg/mL。各萃取物超氧阴离子自由基清除能力大小依次为:正丁醇>石油醚>乙酸乙酯>正己烷。

2.3.3 羟自由基(·OH)清除能力

桔梗根提取物不同溶剂萃取物的羟自由基清除能力如图5所示。

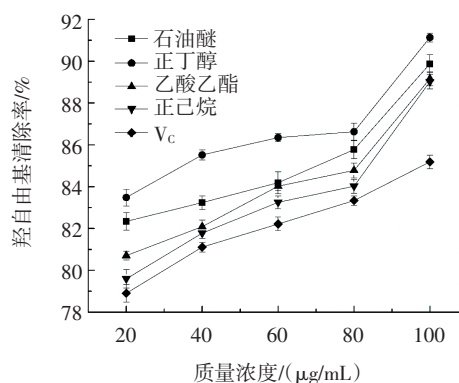


图5 不同溶剂萃取物对羟自由基清除能力

Fig.5 Hydroxyl radical scavenging activity of different solvents

随着各样品浓度的增加,其羟自由基清除率也随之增加,阳性对照组V_c羟自由基清除率明显低于各萃取物,正丁醇萃取物的羟自由基清除率优于其他组,由表1可知其IC₅₀为(0.148±0.024)μg/mL,各萃取物中,羟自由基清除率最低的为正己烷萃取物,其IC₅₀值为(0.473±0.009)μg/mL。各萃取物羟自由基清除能力大小依次为:正丁醇>石油醚>乙酸乙酯>正己烷。

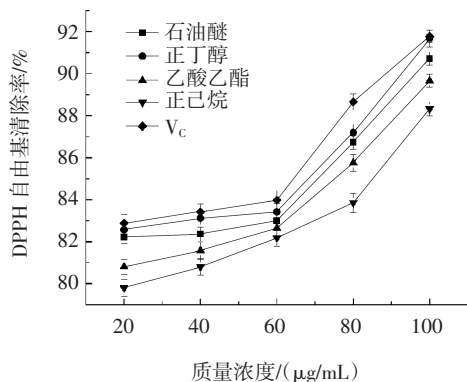


图6 不同溶剂萃取物对DPPH自由基清除能力

Fig.6 DPPH radical scavenging activity of different solvents

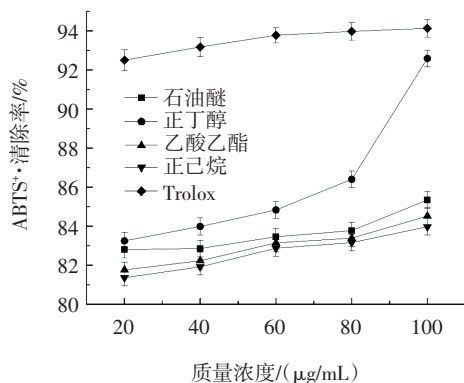
2.3.4 DPPH·清除能力

不同溶剂萃取物对DPPH自由基清除能力见图6。

由图6可知,阳性对照组Vc和各溶剂萃取物在试验浓度范围内,对DPPH·清除活性随质量浓度的增加而增强,阳性对照组Vc DPPH·清除率略高于各萃取物,在4种溶剂萃取物中,正丁醇萃取物对DPPH·的清除能力最强,由表1可知其 IC_{50} 值为 $(0.324 \pm 0.032) \mu\text{g/mL}$,正己烷萃取物对DPPH·的清除能力最弱,其 IC_{50} 值为 $(0.472 \pm 0.019) \mu\text{g/mL}$ 。桔梗根提取物不同溶剂萃取物对DPPH·的清除作用大小顺序为:正丁醇>石油醚>乙酸乙酯>正己烷。

2.3.5 ABTS⁺·清除能力

ABTS⁺自由基清除法被广泛用于评价样品的抗氧化能力,不同溶剂萃取物对ABTS⁺·清除能力见图7。

图7 不同溶剂萃取物对ABTS⁺·清除能力Fig.7 ABTS⁺ scavenging activity of FRAP of different solvents

由图7可以看出阳性对照组Trolox对ABTS⁺自由基清除能力明显优于各溶剂萃取物,各萃取物对ABTS⁺自由基清除效果与浓度成正比,随着浓度的增大,对ABTS⁺自由基清除效果越好。各萃取物中对ABTS⁺自由基清除效果最好的是正丁醇萃取物,当浓

度达到 $100 \mu\text{g/mL}$ 时,对ABTS⁺自由基清除率达到92.59%,由表1知其 IC_{50} 值为 $(0.014 \pm 0.001) \mu\text{g/mL}$;对ABTS⁺自由基清除率最低的是正己烷萃取物,其 IC_{50} 为 $(0.376 \pm 0.044) \mu\text{g/mL}$ 。桔梗根提取物不同溶剂萃取物对ABTS⁺自由基的清除作用大小顺序为:正丁醇>石油醚>乙酸乙酯>正己烷。

3 结论

本试验选取了不同的溶剂对桔梗提取物水溶液进行萃取,结果表明,正丁醇萃取物中总多酚含量最高,石油醚萃取物中总黄酮含量最高。由于提取物含有多种活性物质,若使用单一评价方法不能全面的评价其抗氧化性^[25]。故本试验测定各萃取物的铁还原能力、超氧阴离子自由基清除能力、羟自由基清除能力、DPPH·清除能力和ABTS⁺·清除能力,以期更加全面的评价各萃取物的抗氧化性。结果表明,正丁醇萃取物的抗氧化活性最强,其次是石油醚萃取物。根据本试验结果,可以得出,正丁醇萃取物可以被用来对桔梗中的多酚进行进一步的分离纯化;石油醚萃取物可用作桔梗中黄酮进一步的分离纯化;正丁醇萃取物在抗氧化性能上较为突出,具有被开发成天然抗氧化剂的潜能。

参考文献:

- [1] Xu Y X, Dong Q, Qiu H, et al. A homogalacturonan from the *Radix* of *Platycodon grandiflorum* and the anti-angiogenesis activity of poly-/oligogalacturonic acids derived therefrom[J]. Carbohydrate Research, 2011, 346(13): 1930-1936.
- [2] Qiu H W, Zhou Q C, Geng J. Pyrolytic and kinetic characteristics of *Platycodon Grandiflorum* peel and its cellulose extract[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 117: 644-649.
- [3] Hwang Y P, Choi J H, Kim H G, et al. Saponins, especially platycodin D, from *Platycodon grandiflorum* modulate hepatic lipogenesis in high-fat diet-fed rats and high glucose-exposed HepG2 cells[J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 2013, 267(2): 174-183.
- [4] 陈庆梅, 王玉枝, 朱洪彬, 等. 中药葛根提取物中抗氧化活性成分的筛选[J]. 分析化学, 2009, 37(A02):212-213.
- [5] 刘继攀, 张紫华, 关振华, 等. 两种真姬菇不同溶剂提取物的抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(11):56-61.
- [6] 李安林, 熊双丽, 马楠, 等. 不同溶剂萃取观音柴叶黄酮级抗氧化能力的主成分分析[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(3):90-93.
- [7] 喻艳, 逯海朋, 贾亚楠. 桑椹中酚类物质极性分布及抗氧化活性评价[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(1):73-79.
- [8] Cao J G, Xia X, Chen X F, et al. Characterization of flavonoids from *Dryopteris erythrosora* and evaluation of their antioxidant, anti-cancer and acetylcholinesterase inhibition activities[J]. Food and Chemical Toxicology, 2013, 51: 242-250.

- [9] Celli G B, Pereira-Netto A B, Beta T. Comparative analysis of total phenolic content, antioxidant activity, and flavonoids profile of fruits from two varieties of Brazilian cherry (*Eugenia uniflora* L.) throughout the fruit developmental stages[J]. Food Research International, 2011, 44(8): 2442-2451.
- [10] Seeram N P, Aviram M, Zhang Y J, et al. Comparison of antioxidant potency of commonly consumed polyphenol-rich beverages in the United States[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(4): 1415-1422.
- [11] 吴碧元, 孙军, 蒋红芳. 桔梗提取工艺的研究[J]. 中药材, 2002, 25(6): 430-432.
- [12] 陈尘, 陈勤. 桔梗提取工艺及质量控制的研究进展[J]. 现代中药研究与实践, 2009, 23(6): 81-84.
- [13] 孙晓春, 张伟强, 唐平生, 等. 桔梗提取物的主要成分和抗氧化性的测定[J]. 中国农学通报, 2017, 33(31): 139-144.
- [14] 许瑞如, 张秀玲, 李晨, 等. 微波提取桔梗根多酚工艺优化及抗氧化特性研究[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-19[2020-01-25]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.022291>.
- [15] 王炬, 张秀玲, 高宁, 等. 老山芹全株及其不同部位酚类物质含量及抗氧化能力分析[J]. 食品科学, 2019, 40(7): 54-59.
- [16] 朱尚彬, 聂少平, 朱盼, 等. 黑灵芝不同溶剂提取物抗氧化活性比较研究[J]. 食品科学, 2009, 30(17): 98-101.
- [17] 杨少辉, 宋英今, 王洁华, 等. 雪莲果体外抗氧化和自由基清除能力[J]. 食品科学, 2010, 31(17): 166-169.
- [18] 李斌, 雷月, 孟宪军, 等. 响应面法优化超声波辅助提取蓝靛果多酚工艺及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2015, 36(22): 33-39.
- [19] 白生文, 汤超, 田京, 等. 沙棘果渣总黄酮提取工艺及抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 59-64.
- [20] Li X X, Han L J, Chen L J. *In vitro* antioxidant activity of protein hydrolysates prepared from corn gluten meal[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008, 88(9): 1660-1666.
- [21] Garzón G A, Narváez C E, Riedl K M, et al. Chemical composition, anthocyanins, non-anthocyanin phenolics and antioxidant activity of wild bilberry (*Vaccinium meridionale* Swartz) from Colombia[J]. Food Chemistry, 2010, 122(4): 980-986.
- [22] 林恋竹, 赵谋明. 反应时间对 DPPH·法、ABTS·法评价抗氧化性结果的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(5): 63-67.
- [23] 李现日, 张杰, 张英美, 等. 金花葵花黄酮提取物不同溶剂萃取物的抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 120-125.
- [24] 田强, 赵琳, 罗毅冲, 等. 厚朴籽不同溶剂萃取物抗氧化活性比较分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(18): 54-58, 64.
- [25] 杨思敏. 几种中草药提取物中抗氧化活性成分的筛选和鉴定[D]. 长春: 长春师范大学, 2013.

加工编辑: 张璐

收稿日期: 2020-08-01

欢迎订阅 2021 年《食品研究与开发》

《食品研究与开发》是由天津市食品研究所有限公司和天津市食品工业生产力促进中心主办, 国内外公开发行的食品专业科技期刊, 1980 年创刊, 半月刊, 采用国际流行开本大 16 开。其专业突出, 内容丰富, 印刷精美, 是一本既有基础理论研究, 又包括实用技术的刊物。本刊已被“万方数据库”、“中文科技期刊数据库”、《乌利希期刊指南》、美国《化学文摘》、英国国际农业与生物科学研究中心 (CABI)、英国《食品科技文摘》(FSTA) 等知名媒体收录, 并被列入“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、RCCSE 中国核心学术期刊(A)。主要栏目有: 基础研究、应用技术、检测分析、生物工程、专题论述、食品机械等。

本刊国内统一刊号 CN 12-1231/TS; 国际刊号 ISSN 1005-6521; 邮发代号: 6-197。全国各地邮局及本编辑部均可订阅。从本编辑部订阅全年刊物享八折优惠。2021 年定价: 30 元/册, 全年 720 元。

本编辑部常年办理邮购, 订阅办法如下:

(1) 邮局汇款。地址: 天津市静海县静海经济开发区南区科技路 9 号; 收款人: 《食品研究与开发》编辑部; 邮政编码: 301600。

(2) 银行汇款。开户银行: 工商银行静海支行, 行号: 102110000863。

账号: 0302095119300204171; 单位: 天津市食品研究所有限公司。

《食品研究与开发》编辑部

www.tjfrad.com.cn

E-mail: tjfood@vip.163.com

电话(传真): 022-59525671