

帅丽乔娃,郑国栋,张清峰,等. 菝葜提取物的抗氧化作用[J]. 江苏农业科学,2015,43(9):346-349.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.09.112

菝葜提取物的抗氧化作用

帅丽乔娃,郑国栋,张清峰,黎冬明

(江西农业大学江西省天然产物与功能食品重点实验室,江西南昌 330045)

摘要:研究菝葜不同溶剂提取物的抗氧化活性,以 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(BHT)为阳性对照,测定菝葜 50% 乙醇提取物中的石油醚相、三氯甲烷相、乙酸乙酯相、正丁醇相、水相,以及浓度为 0.2~1.2 mg/mL 时,菝葜 50% 乙醇提取物清除 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 、DPPH \cdot 、ABTS $^{+}$ 能力、总抗氧化能力。结果表明,各萃取物均有不同程度的抗氧化活性,且与质量浓度呈量效关系,不同极性提取物中抗氧化能力大小为:乙酸乙酯相>正丁醇相>水相>醇提物>石油醚相>三氯甲烷相;当 BHT 浓度为 1.2 mg/mL 时,对 $\cdot\text{OH}$ 、DPPH \cdot 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 、ABTS $^{+}$ 清除率分别为 63.52%、60.41%、70.35%、92.17%,亚铁还原能力(FRAP)值为(151.57 \pm 0.16)mmol/g;而 1.2 mg/mL 乙酸乙酯相对 $\cdot\text{OH}$ 、DPPH \cdot 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 、ABTS $^{+}$ 的清除率分别为 58.73%、66.46%、73.17%、95.84%,FRAP 值为(186.25 \pm 0.21)mmol/g;除清除 $\cdot\text{OH}$ 外,在其他抗氧化效果方面,乙酸乙酯比 BHT 更好。以上结果表明,菝葜乙酸乙酯层中抗氧化物质的活性最强,且抗氧化活性与乙酸乙酯萃取物呈量效关系。

关键词:菝葜;萃取物;抗氧化作用

中图分类号: Q946.91 $^{+}9$;R284.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2015)09-0346-04

菝葜为百合科植物菝葜(*Smilax china* L.)的干燥根茎,别称金刚藤、金刚树等,主要分布在长江以南地区。菝葜的根、茎、叶均可入药,其中根茎作为中药使用更为常见。菝葜根茎中含有皂苷、黄酮、鞣质、生物碱、氨基酸、糖、多元酚等多种成分^[1],具有活血化瘀、抗菌消炎、清热利湿、强筋壮骨、补气活血等功效^[2]。

自由基过多或清除过慢,会加速机体的衰老进程并诱发各种疾病,一些抗氧化剂能够有效地清除自由基,从而能够预防或治疗这些疾病。但是研究发现,过量食用这类物质对人体健康不利,因此寻找安全、可靠的抗氧化物质成为近年来世

界各国研究的重点内容之一。目前,许多来自天然植物中的提取物被证明具有良好的抗氧化活性^[3],它们不仅可以通过清除自由基起到抗衰老的作用,而且还有吸收放射性物质毒害的能力,对辐射损伤器官具有良好的保护作用,是具有广泛开发前景的天然抗氧化剂^[4]。

目前,关于菝葜提取物抗氧化活性的研究还不是很多,菝葜甲醇提取物在高浓度时具有 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基清除能力($\text{IC}_{50}=7.4\text{ g/mL}$)和细胞生存保护能力;进一步研究表明,菝葜乙酸乙酯、正丁醇、水提取物均有很强的 DPPH 自由基清除能力^[5]。赵钟祥等从菝葜中分离得到了 3 个芪类化合物、9 个天然多酚类化合物,对其进行抗氧化活性检测结果表明:这些化合物均具有较强的抗氧化活性,能有效清除 DPPH 自由基^[6]。前人研究的抗氧化指标都比较单一,本试验的抗氧化指标为清除 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 、DPPH \cdot 、ABTS[2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐]自由基能力,以及总抗氧化能力,种类更多,数据更全面,可为菝葜作为新型天然抗氧化剂的开发利用提供理论依据。

收稿日期:2014-09-14

基金项目:国家“863”计划(编号:2013BAD10B04);国家自然科学基金(编号:31160320)。

作者简介:帅丽乔娃(1989—),女,江西南昌人,硕士研究生,研究方向为天然产物的分离提取。E-mail:405907750@qq.com。

通信作者:郑国栋,博士,副教授,研究方向为天然产物的分离提取、功能食品等。Tel:(0791)83813420;E-mail:zrs150716@aliyun.com。

[2] Sharma A K, Singh I. Spectrophotometric trace determination of iron in food, milk, and tea samples using a new bis-azo dye as analytical reagent[J]. Food Analytical Methods, 2009, 2(3): 221-225.

[3] 高楼军, 柴红梅. 催化甲基紫褪色光度法测定茶叶中的微量铁[J]. 光谱实验室, 2013, 30(1): 234-237.

[4] 葛笑兰, 谢秀娟, 张振新. 甲基橙-亮绿体系动力学光度法测定茶叶中痕量铁[J]. 分析科学学报, 2010, 26(3): 367-369.

[5] Farhat Y, Aleem R, Anwar J, et al. Determination of iron and manganese in tea samples by flame atomic absorption spectroscopy[J]. Journal of the Chemical Society of Pakistan, 2000, 22(2): 94-97.

[6] 董宏博, 崔桂花, 赵文秀. 茶叶中锰、铁、锌、铬等 10 种微量元素的快速测定[J]. 广东微量元素科学, 2012, 19(8): 34-37.

[7] 梁多, 黄敏, 王一凡. 原子吸收光谱法测定五种茶叶中的铁、锰元素[J]. 广东化工, 2013, 40(15): 180-181.

[8] 蒋天智, 吴铭强, 周志, 等. FAAS 法测定原生态茶叶中的微量铁[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(26): 11399-11400.

[9] 代钢, 敖登高娃. 2,4-二氯苯基荧光酮-Triton X-100 荧光熄灭法测定中草药、茶叶中的微量 Fe[J]. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(7): 848-850.

[10] 王功平, 练梦南, 黄锁义. 分光光度法测定桂西茶叶中铁的含量[J]. 广东微量元素科学, 2005, 12(8): 57-59.

[11] 陈祥海, 李树梅, 黄锁义. 分光光度法测定野菜中铁的含量[J]. 微量元素与健康研究, 2005, 22(6): 37-38.

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

菝葜购自江西省南昌市药材店(产地:南昌市湾里),粉碎后过 40 目筛,得到菝葜粉末。2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(BHT)、无水乙醇、福林酚、碳酸钠、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、双氧水、水杨酸、硫酸亚铁、三氯化铁、过硫酸钾、盐酸、乙酸钠、冰乙酸、三羟甲基氨基甲烷(Tris)、邻苯三酚均为分析纯,购自天津市永大化学试剂开发中心。没食子酸、芸香苷购自成都曼思特公司。DPPH、2,4,6-三吡啶基-S-三嗪(TPTZ)、ABTS 购自美国 Sigma 公司。

1.2 试验仪器

KQ-500B 型大功率数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;BS224S 型电子天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;SP-754PC 型分光光度计,上海光谱仪器有限公司;HH-6 数显恒温水浴锅,国华电器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 萃取物的制备^[7]和总酚、总黄酮的测定 取菝葜粉末 1 kg,用 50% 乙醇超声提取后,分别用石油醚、三氯甲烷、乙酸乙酯、正丁醇萃取,减压浓缩、冷冻干燥后得 6 种萃取物,即醇提物(未经萃取的 50% 乙醇提取物)、水相物(4 种溶剂萃取后的水溶液浓缩干燥所得)、乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃取物、三氯甲烷萃取物、石油醚萃取物。测定各极性提取物的总酚^[8]、总黄酮含量^[9],结果见表 1。

表 1 不同萃取相的总酚、总黄酮含量($\bar{x} \pm s, n=3$)

样品萃取相	总酚含量 (mg/g)	总黄酮含量 (mg/g)
石油醚相	26.7 ± 0.1aA	22.3 ± 0.2aA
三氯甲烷相	24.1 ± 0.2aA	19.6 ± 0.3aA
乙酸乙酯相	451.3 ± 3.7bB	404.1 ± 1.5bB
正丁醇相	326.9 ± 2.2cC	289.4 ± 0.6cC
水相物	184.5 ± 1.3dD	172.2 ± 2.8dD
醇提物	149.8 ± 3.2eE	137.9 ± 3.6eE

注:同列数据后标有不同小写、大写字母分别表示差异显著($P<0.05$)、极显著($P<0.01$)。表 2 同。

1.3.2 抗氧化能力测定方法

1.3.2.1 清除羟自由基能力的测定^[10] 在试管中依次加入 2 mL 9 mmol/L FeSO₄ 溶液、2 mL 9 mmol/L 水杨酸溶液、2 mL 不同浓度(0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 mg/mL)的提取物溶液,最后加入 2 mL 8.8 mmol/L H₂O₂ 启动整个反应;37 ℃ 水浴 30 min 后,以蒸馏水为参比,在 510 nm 下测定吸光度 D_1 ,用蒸馏水代替水杨酸测定其吸光度 D_2 ,以蒸馏水代替样液测定其吸光度 D_0 ,用 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 mg/mL BHT 溶液对·OH 的清除率作为对比。计算公式如下:羟自由基清除率 = $[1 - (D_1 - D_2)/D_0] \times 100\%$ 。

1.3.2.2 清除 DPPH 自由基能力的测定^[11] 制备 DPPH 溶液:称取 DPPH 样品 0.01 g,用无水乙醇溶解并定容至 250 mL,即得到浓度为 0.04 mg/mL 的 DPPH 溶液,置于 4 ℃ 冰箱备用。将 2 mL 上述浓度的提取物溶液与等体积 DPPH 混合、摇匀,放置于黑暗中 30 min 后,于 517 nm 下测定吸光度值 D_1 。将 2 mL 不同浓度的样液与无水乙醇等体积混合于

试管中,摇匀,测定吸光度为 D_1 (用以扣除样品本身对吸光度测定的干扰)。以蒸馏水与无水乙醇混合液测得的吸光度作为空白对照 D_a ,用 BHT 溶液对 DPPH 的清除率作为对比,相关计算公式为:DPPH 自由基清除率 = $[1 - (D_1 - D_j)/D_a] \times 100\%$ 。

1.3.2.3 清除超氧阴离子能力的测定^[12] 取 4.5 mL 浓度为 0.05 mmol/L、pH 值为 8 的 Tris-HCl 缓冲溶液,于 20 ℃ 水浴中进行预热,20 min 后分别加入 1 mL 不同浓度提取液、0.4 mL 浓度为 0.5 mmol/L 的邻苯三酚溶液,充分混匀后于 25 ℃ 水浴中反应 5 min,然后加入 1 mL 浓度为 8 mol/L 的 HCl 溶液终止反应。最后在 299 nm 处测定吸光度 D_k ;空白对照则以蒸馏水代替样品液,测定吸光度 D_{k_0} 。以 BHT 溶液对 O₂⁻· 的清除率作为对比,相关计算公式为:超氧阴离子自由基清除率 = $(1 - D_{k_1}/D_{k_2}) \times 100\%$ 。

1.3.2.4 清除 ABTS 自由基能力的测定^[13] 将 5 mL 浓度为 7 mmol/L 的 ABTS 溶液与 88 μL 浓度为 2.45 mmol/L 的过硫酸钾溶液混合反应,制备 ABTS 自由基溶液,使用前将 ABTS⁺· 溶液在室温下黑暗中放置 12~16 h,并将 ABTS⁺· 溶液用无水乙醇稀释到吸光度测定值为 0.70 ± 0.02(734 nm 条件下)。在试管中加入 0.15 mL 不同浓度的提取液,再加入 2.85 mL 的 ABTS 自由基工作液溶液,振荡摇匀,于室温避光静置 1 min,在 734 nm 处测定其吸光度值 D_s ;同法,在 0.15 mL 无水乙醇中加入 2.85 mL ABTS 自由基工作液混匀,在 734 nm 处测定吸光度 D_0 。用 BHT 溶液对 ABTS⁺· 的清除率作为对比,相关计算公式为:

$$\text{ABTS 自由基清除率} = (1 - D_s/D_0) \times 100\%。$$

1.3.2.5 抗氧化能力测定^[14] 亚铁还原能力(FRAP)反应液配制方法:300 mmol/L 乙酸钠缓冲液(pH 值 3.6)、10 mmol/L TPTZ 溶液(40 mmol/L HCl 为溶剂)、20 mmol/L FeCl₃ 溶液,三者体积比为 10:1:1。反应液现配现用,在使用前放置在 37 ℃ 的水浴中保温。分别吸取 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 mmol/L 的 FeSO₄ 标准液,加入 3 mL FRAP 工作液,再加入 0.3 mL 超纯水,混匀,于 37 ℃ 下准确反应 30 min,于 593 nm 处测定其吸光度 $D_{593 \text{ nm}}$,用超纯水调零,以 FeSO₄ 的浓度(mmol/L)为横坐标、 $D_{593 \text{ nm}}$ 为纵坐标绘制标准曲线。分别移取 0.2 mL 不同浓度提取液于试管中,加入 3.8 mL FRAP 工作液,混匀后在 37 ℃ 下反应 30 min,测吸光度,各试验组均做 3 次平行,取均值。根据反应后的吸光度,在标准曲线上求得相应 FeSO₄ 的浓度(mmol/L),定义为 FRAP 值。以 BHT 溶液测定的 FRAP 值作对比。

1.3.3 数据分析 采用 DPS 7.5 版分析软件中的 Duncan's 新复极差法对总酚、总黄酮含量、清除各自由基的数据进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 对·OH 自由基的清除作用

羟基自由基是目前所知活性氧中对生物体毒性最强、危害最大、并有非常高反应速率的一种自由基,几乎来不及扩散就与碰到的分子发生反应,使细胞坏死或突变;因此,研究羟基自由基的清除作用是研究抗氧化性中十分重要的一部分。本试验原理是 H₂O₂ 与 Fe²⁺ 发生 Fenton 反应,生成具有很高活性的

羟自由基,能与水杨酸反应产生可用分光光度法测量的羟基化合物 2,3-二羟基苯甲酸,但若加入清除羟自由基功能的物质,便会与水杨酸竞争,从而使有色产物生成量减少。

从图 1 可以看出,在试验浓度范围内,菝葜各极性提取物对 $\cdot\text{OH}$ 均有一定的清除作用,并在试验浓度范围内呈量效关系;其中乙酸乙酯萃取相清除率最大,提取物浓度为 1.2 mg/mL 时,其清除率达到了 58.73%,仍然小于同浓度下的 BHT(清除率 63.52%);当提取物浓度低于 0.8 mg/mL 时,清除率均不超过 50%。这与乙酸乙酯层多酚、黄酮含量最高有关,因为多酚、黄酮有很好的抗氧化活性^[15-16]。整体看出,清除 $\cdot\text{OH}$ 的强弱顺序为:BHT > 乙酸乙酯相 > 正丁醇相 > 水相 > 醇提取物 > 石油醚相 > 三氯甲烷相。

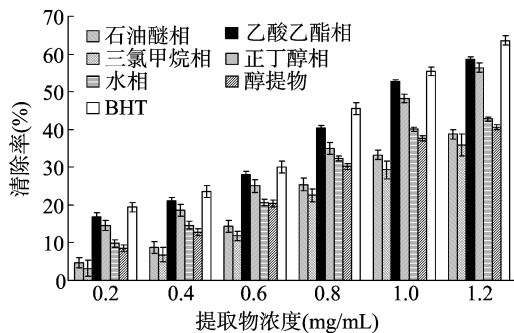


图1 菝葜不同萃取相对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率($n=3$)

2.2 对 DPPH 自由基的清除作用

DPPH \cdot 是一种稳定的以氮为中心的质子自由基,含有 3 个苯环,乙醇溶液呈紫色,在 517 nm 处有最大吸收波长,当有清除剂时,清除剂提供 1 个电子与 DPPH \cdot 的孤对电子配对,使溶液颜色变淡、吸光度变小,如果被测物能够较好地清除 DPPH \cdot ,表明该物质能够降低氧自由基、烷基自由基等的浓度,阻断脂质的过氧化反应。因此,对 DPPH \cdot 清除率的高低是天然抗氧化剂筛选的指标之一。

从图 2 可以看出,在试验浓度范围内,菝葜各极性提取物对 DPPH \cdot 均有一定的清除作用,并且随其浓度的增加,能力也逐渐增强。其中乙酸乙酯相比其他萃取相清除 DPPH 自由基能力更强,乙酸乙酯萃取相甚至比同浓度的 BHT 清除率更高,当提取物浓度为 1.2 mg/mL 时,乙酸乙酯相的清除率达到了 66.46%,而 BHT 清除率为 60.41%,这与乙酸乙酯层黄酮、多酚含量最高有关。整体看出,清除 DPPH \cdot 的强弱顺序:乙酸乙酯相 > BHT > 正丁醇相 > 水相 > 醇提取物 > 石油醚相 > 三氯甲烷相。

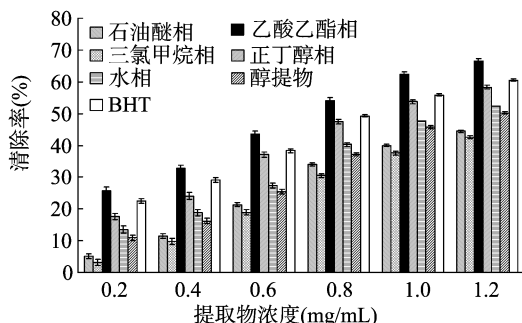


图2 菝葜不同萃取相对 DPPH \cdot 的清除率($n=3$)

2.3 对超氧阴离子的清除作用

在生物体内氧化还原反应中,有 2% ~ 5% 的氧变成超氧阴离子,这种阴离子会产生超氧阴离子自由基,这种自由基随着生命活动代谢而产生,其氧化能力很强,机体发生氧中毒往往是由这种自由基的毒性导致。因此清除超氧阴离子自由基的能力也是检验抗氧化物质活性的主要指标。

从图 3 可以看出,在试验浓度范围内,菝葜各萃取相对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 均有一定的清除作用,且随其浓度的增加清除率逐渐增大。当提取物浓度为 1.2 mg/mL 时,石油醚相、三氯甲烷相、乙酸乙酯相、正丁醇相、水相、醇提取物、BHT 对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除率分别为 47.61%、43.95%、73.17%、67.54%、62.39%、59.48%、70.35%,乙酸乙酯相清除能力超过了同浓度的 BHT。整体上看,清除 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的强弱顺序:乙酸乙酯 > BHT > 正丁醇 > 水相 > 50% 乙醇 > 石油醚 > 三氯甲烷。

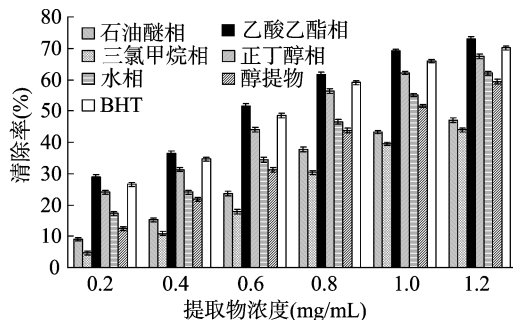


图3 菝葜不同萃取相对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除率($n=3$)

2.4 对 ABTS 自由基的清除作用

ABTS 与一定浓度的过硫酸钾在室温暗处反应 12 ~ 16 h, ABTS 经氧化后生成相对稳定的蓝绿色的 ABTS $^{+\cdot}$,抗氧化剂与 ABTS $^{+\cdot}$ 反应后使其溶液褪色,溶液吸光度降低,吸光度越低,表明所检测物质的总抗氧化能力越强。

从图 4 可以看出,在试验浓度范围内,菝葜各极性提取物对 ABTS $^{+\cdot}$ 均有一定的清除作用,且随其浓度的增加清除率逐渐增大。当提取物浓度为 1.2 mg/mL 时,石油醚相、三氯甲烷相、乙酸乙酯相、正丁醇相、水相、醇提取物、BHT 对 ABTS $^{+\cdot}$ 的清除率分别为 42.46%、35.94%、95.84%、89.91%、82.48%、78.62%、92.17%,乙酸乙酯相比其他极性提取物表现出更好的清除能力;当提取物浓度为 0.4 mg/mL 时,BHT 清除能力强于乙酸乙酯相;提取物浓度大于等于 0.6 mg/mL 后,乙酸乙酯相清除能力明显增强,并逐渐超过了 BHT。可能由于乙酸乙酯层的黄酮、多酚含量比其他萃取相

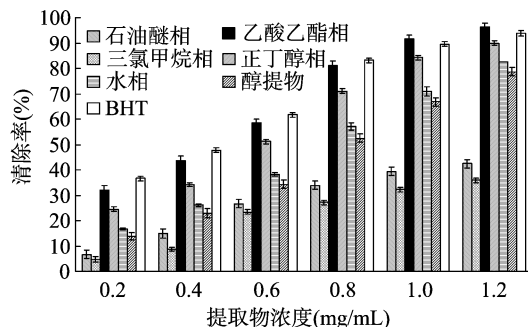


图4 菝葜不同萃取相对 ABTS $^{+\cdot}$ 的清除率($n=3$)

高,因此清除 $\text{ABTS}^+ \cdot$ 的能力也更强。整体看出,清除 $\text{ABTS}^+ \cdot$ 的强弱顺序:乙酸乙酯相 > BHT > 正丁醇相 > 水相 > 醇提物 > 石油醚相 > 三氯甲烷相。

2.5 总抗氧化能力测定

Fe^{3+} - TPTZ 可被还原物质还原为二价铁离子形式,溶液呈现出明显的蓝色,并在 593 nm 处具有强烈吸收,根据吸光度的大小计算样品抗氧化活性的强弱,FRAP 值越大,抗氧化能力越强。

表 2 菝葜不同萃取相总抗氧化能力 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

溶剂	不同浓度提取物的 FRAP 值 (mmol/g)					
	0.2 mg/mL	0.4 mg/mL	0.6 mg/mL	0.8 mg/mL	1.0 mg/mL	1.2 mg/mL
石油醚	6.92 ± 0.02f	17.51 ± 0.15f	29.48 ± 0.01e	40.74 ± 0.17e	60.25 ± 0.01e	64.53 ± 0.01e
三氯甲烷	3.63 ± 0.19g	10.39 ± 0.21g	22.95 ± 0.01f	35.38 ± 0.06f	47.94 ± 0.01f	55.18 ± 0.04f
乙酸乙酯	36.14 ± 0.02a	44.26 ± 0.02a	63.72 ± 0.14a	106.33 ± 0.05a	141.61 ± 0.18a	186.25 ± 0.21a
正丁醇	25.39 ± 0.04c	35.15 ± 0.07c	46.48 ± 0.02c	83.29 ± 0.06c	112.58 ± 0.02c	137.89 ± 0.24c
水	17.86 ± 0.01d	29.36 ± 0.11d	38.74 ± 0.01d	74.21 ± 0.01d	86.81 ± 0.06d	92.52 ± 0.13d
50% 乙醇	14.85 ± 0.12e	24.61 ± 0.11e	36.29 ± 0.23d	66.85 ± 0.22e	81.32 ± 0.05e	89.94 ± 0.01e
BHT	29.83 ± 0.03b	39.97 ± 0.02b	54.81 ± 0.02b	91.96 ± 0.08b	127.43 ± 0.23b	151.57 ± 0.16b

3 结论

菝葜各萃取相均有一定抗氧化能力,且随着浓度的增加,抗氧化活性增强,这是因为各萃取相均含有多酚、黄酮类,多酚、黄酮是植物中主要的抗氧化物质,并且随着萃取相浓度的增加,抗氧化活性也增强,其总酚、总黄酮含量最高的乙酸乙酯相抗氧化能力最强。抗氧化活性强弱顺序:乙酸乙酯相 > 正丁醇相 > 水相 > 醇提物 > 石油醚相 > 三氯甲烷相,这说明菝葜中的抗氧化活性物质最多存在于乙酸乙酯相中。当浓度为 1.2 mg/mL 时,BHT 对 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{DPPH} \cdot$ 、 $\text{O}_2^- \cdot$ 、 $\text{ABTS}^+ \cdot$ 清除率分别为 63.52%、60.41%、70.35%、92.17%,FRAP 值为 (151.57 ± 0.16) mmol/g; 乙酸乙酯相对 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{DPPH} \cdot$ 、 $\text{O}_2^- \cdot$ 、 $\text{ABTS}^+ \cdot$ 清除率分别为 58.73%、66.46%、73.17%、95.84%,FRAP 值为 (186.25 ± 0.21) mmol/g。除了清除 $\cdot\text{OH}$,其他的乙酸乙酯相的抗氧化效果相比 BHT 好。

试验结果充分证实了菝葜的乙酸乙酯萃取相有较强的抗氧化活性,这对于利用菝葜开发天然抗氧化功效因子提供了依据。但由于本试验仅是在体外进行研究,而生物体内的氧化代谢是很复杂的,因此还有待于从生物体内源抗氧化酶系活性、生物大分子氧化代谢产物水平的角度来进一步研究菝葜的抗氧化作用机制。

参考文献:

- [1] Zhang Q F, Guo Y X, Shangguan X C, et al. Antioxidant and anti-proliferative activity of *Rhizoma Smilacis* Chinae extracts and main constituents[J]. Food Chemistry, 2012, 133(1): 140–145.
- [2] Khan I, Nisar M, Ebad F, et al. Anti-inflammatory activities of sieboldogenin from *Smilax china* Linn.: experimental and computational studies[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2009, 121(1): 175–177.
- [3] 吴雪辉, 张喜梅, 李廷群, 等. 板栗花粗提物的抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2008, 24(1): 14–16, 19.
- [4] Benvenuti S, Pellati F, Melegari M, et al. Polyphenols, anthocyanins, ascorbic acid, and radical scavenging activity of rubus, ribes, and

根据 FeSO_4 的浓度,得线性方程为: $y = 0.2063x + 0.047$ ($r = 0.9992$)。测得不同极性成分反应吸光度 (D) 后,在标准曲线上求得相应 FeSO_4 的浓度 ($\mu\text{mol/L}$),定义为 FRAP 值。从表 2 可以看出,在试验浓度范围内,菝葜不同极性成分的 FRAP 值与浓度呈量效关系,FRAP 值越大,其抗氧化活性越强; Fe^{3+} 还原抗氧化能力强弱顺序为:乙酸乙酯相 > BHT > 正丁醇相 > 水相 > 醇提物 > 石油醚相 > 三氯甲烷相。

- aronia[J]. Journal of Food Science, 2004, 69(3): C164–C169.
- [5] Lee S E, Ju E M, Kim J H. Free radical scavenging and antioxidant enzyme fortifying activities of extracts from *Smilax china* root[J]. Experimental & Molecular Medicine, 2001, 33(4): 263–268.
- [6] 赵钟祥, 金晶, 方伟, 等. 菝葜多酚类成分抗氧化活性的研究[J]. 医药导报, 2008, 27(7): 765–767.
- [7] 季志平, 苏印泉. 杜仲叶提取物的抑菌活性研究[J]. 林产化学与工业, 2008, 28(1): 63–66.
- [8] Xu J G, Tian C R, Hu Q P, et al. Dynamic changes in phenolic compounds and antioxidant activity in oats (*Avena nuda* L.) during steeping and germination[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(21): 10392–10398.
- [9] 迟玉新, 窦德强. 楮实子与构树叶中总黄酮含量测定[J]. 中国现代中药, 2008, 10(11): 16–17.
- [10] Zheng W, Wang S Y. Oxygen radical absorbing capacity of phenolics in blueberries, cranberries, chokeberries, and lingonberries[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(2): 502–509.
- [11] 黄莉娟, 胡蝶, 张萍, 等. 柑橘的抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(4): 399–401.
- [12] Cheung Y C, Siu K C, Liu Y S, et al. Molecular properties and antioxidant activities of polysaccharide-protein complexes from selected mushrooms by ultrasound-assisted extraction[J]. Process Biochemistry, 2012, 47(5): 892–895.
- [13] Kang W Y, Wang J M. In vitro antioxidant properties and in vivo lowering blood lipid of *Forsythia suspense* leaves[J]. Medicinal Chemistry Research, 2010, 19(7): 617–628.
- [14] 康文艺, 李彩芳, 张丽. 卷丝苣苔和勐醒毛苣苔抗氧化活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2009, 21(3): 470–472.
- [15] Hossain M A, Rahman S. Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of tropical fruit pineapple[J]. Food Research International, 2011, 44(3): 672–676.
- [16] Vignoli J A, Bassoli D, Banassi M T. Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: the influence of processing conditions and raw material[J]. Food Chemistry, 2011, 124(3): 863–868.