

酶法-超声提取黄精总黄酮及其抗氧化活性研究

何兰香¹, 丁科², 谢明华¹, 计莉强¹, 葛敏^{1*} (1.杭州市余杭区第一人民医院药剂科, 杭州 311100; 2.浙江省中医院药剂科, 杭州 310006)

摘要: 目的 研究酶法-超声提取黄精中总黄酮(total flavonoids from *Polygonatum sibirici*, TFPS)的最佳工艺及总黄酮的体外抗氧化活性。方法 以总黄酮含量为指标, 采用单因素和正交试验对纤维素酶用量、乙醇浓度、液料比和超声时间进行考察, 优化工艺条件并考察总黄酮对 DPPH 自由基、ABTS⁺自由基的清除能力和亚铁离子螯合活性。结果 最佳提取条件: 纤维素酶用量为 0.75%, 乙醇浓度为 40%, 液料比为 20 mL·g⁻¹, 超声时间 30 min, 总黄酮含量为 1.595%。体外抗氧化试验表明, 黄精总黄酮对 DPPH 自由基、ABTS⁺自由基有很强的清除能力, IC₅₀ 分别为 27.55, 11.47 μg·mL⁻¹, 对亚铁离子的螯合活性较强, IC₅₀ 为 32.26 μg·mL⁻¹。结论 酶法-超声提取工艺具有提取效率高、稳定性及重复性好等优点, 可用于黄精中总黄酮的提取, 在该工艺下提取的总黄酮具有较强的抗氧化活性。

关键词: 黄精; 总黄酮; 纤维素酶; 超声波; 提取工艺; 抗氧化活性

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 1007-7693(2019)09-1075-06

DOI: 10.13748/j.cnki.issn1007-7693.2019.09.009

引用本文: 何兰香, 丁科, 谢明华, 等. 酶法-超声提取黄精总黄酮及其抗氧化活性研究[J]. 中国现代应用药学, 2019, 36(9): 1075-1080.

Study on Enzymatic-ultrasonic Assisted Extraction of Total Flavonoids from *Polygonatum Sibirici* and Its Antioxidant Activities

HE Lanxiang¹, DING Ke², XIE Minghua¹, JI Liqiang¹, GE Min^{1*} (1. Pharmacy Department of the First People's Hospital of Yuhang District, Hangzhou 311100, China; 2. Pharmacy Department of Zhejiang Hospital of Traditional Chinese Medicine, Hangzhou 310006, China)

ABSTRACT: OBJECTIVE To study the optimum extraction technology for the total flavonoids from *Polygonatum sibiricum*(TFPS) by enzymatic-ultrasonic method, and to research its antioxidant activities. **METHODS** Using total flavonoids compounds as investigation indexes, single factor and orthogonal test were used to investigate the cellulase amount, ethanol concentration, liquid-solid ratio and ultrasonic time, and the extraction technology was optimized. Furthermore, the antioxidant activities of TFPS were evaluated, using various antioxidant assays included the scavenging on DPPH, ABTS⁺ and ferrous ion-chelating capacity. **RESULTS** The optimum extraction conditions were as follows: cellulase amount was 0.75%, ethanol concentration was 40%, liquid-solid ratio was 20 mL·g⁻¹, ultrasonic time was 30 min, and extraction rate of total flavonoids was 1.595%. TFPS had strong scavenging activity on ·DPPH and ABTS⁺ free radicals, the IC₅₀ was 27.55, 11.47 μg·mL⁻¹, and also had strong ferrous ion-chelating capacity, the IC₅₀ was 32.26 μg·mL⁻¹. **CONCLUSION** The enzymatic-ultrasonic method is stable, feasible and has the advantage of high extraction efficiency, and can be used for the extraction of TFPS. These results show that TFPS has strong antioxidant activity under the optimal extraction technology.

KEYWORDS: *Polygonatum sibiricum*; total flavonoids; cellulase; ultrasonic; extraction technology; antioxidant activity

黄精为百合科植物滇黄精 *Polygonatum kingianum* Coll. et Hemsl.、黄精 *Polygonatum sibiricum* Red. 或者多花黄精 *Polygonatum cyrtonema* Hua 的干燥根茎^[1], 主产于河北、陕西、安徽、浙江、黑龙江等地区。按照形状不同, 习称“大黄精”“鸡头黄精”和“姜形黄精”^[1]。植物化学成分研究表明, 黄精中含有多糖类、甾体

皂苷类、黄酮类及蒽醌类化合物, 挥发油和生物碱等多种成分^[2-3]。近年来, 黄酮类化合物以其天然生物活性引起广泛关注, 研究证实, 黄酮类化合物具有抗肿瘤、抗病毒、防衰老、抗菌消炎、防动脉粥样硬化以及保护心脑血管等功能^[4-6]。目前, 对黄精化学成分的研究主要集中在其多糖与皂苷成分, 而对其总黄酮的研究尚少。通过对黄

基金项目: 浙江省中医药科技计划项目(2017ZB042)

作者简介: 何兰香, 女, 主管药师 Tel: (0571)89369281 E-mail: 401512427@qq.com

E-mail: 401512427@qq.com

*通信作者: 葛敏, 女, 副主任药师

Tel:

(0571)89369508 E-mail: gm682013@sina.com

精中总黄酮的最佳提取方式进行研究,可提高黄精总黄酮的提取率。关于黄精总黄酮的提取方法主要有浸提法^[7]、超声波辅助提取^[8]、微波辅助提取^[9]等,但未见酶法-超声提取黄精总黄酮的相关报道,对其抗氧化活性的研究较少。

超声波提取是应用其空化效应和搅拌作用来破坏药材细胞,纤维素酶可将植物组织分解,两者结合后共同作用可加速细胞内有效成分的释放和扩散,并提高成分提取率^[10]。本研究以黄精为原料,以总黄酮的提取率为评价指标,采用酶法-超声提取,考察纤维素酶用量、乙醇浓度、液料比和超声时间对提取率的影响,通过正交试验确定黄精总黄酮的最佳提取条件,并考察总黄酮对 DPPH 自由基、ABTS⁺自由基的清除能力和亚铁离子螯合活性,为进一步开发和利用黄精提供实验依据。

1 材料

FW135 型中草药粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司); G2X-9070MBE 数显鼓风干燥箱(上海博讯实业有限公司医疗设备厂); PHS-3TC 数显 pH 计(上海天达仪器有限公司); SHZ-D(III)循环水式多用真空泵(河南省予华仪器有限公司); TDL-5-A 台式离心机(上海安亭科学仪器厂制造); AL104 型电子天平[梅特勒-托利多仪器(上海)仪器有限公司]; W201B 数控恒温水浴锅(上海申胜生物技术有限公司); KQ-250DE 数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); 752 紫外可见分光光度计(上海菁华科技仪器有限公司)。

黄精饮片(华东医药股份有限公司,产地:浙江;批号:170417),经浙江省中医院中药科郑敏霞主任中药师鉴定为百合科黄精属黄精 *Polygonatum sibiricum* Red. 的干燥根茎;芦丁对照品(上海源叶生物科技有限公司,批号:Y19N7525244,纯度 $\geq 98\%$);维生素 C(Vitamin C, Vc)对照品(上海源叶生物科技有限公司,批号:Y18M6521293;纯度 $\geq 98\%$);EDTA 对照品溶液(上海源叶生物科技有限公司,批号:Y18M4330021;纯度 $\geq 98\%$);纤维素酶(国药集团化学试剂有限公司,批号:64001131;酶活性 $\geq 15\ 000\ \text{U}\cdot\text{g}^{-1}$);1,1-二苯基-2-苦基苯肼(DPPH,批号:STBD4147)、二铵盐自由基(ABTS,批号:SLBT0759)和菲啰啉(批号:BCBM4245)均购自美国 Sigma 公司;无水乙

醇、硝酸铝、亚硝酸钠、氢氧化钠、过硫酸钾、EDTA-2Na、氯化钠、硫化亚铁均为分析纯。

2 方法与结果

2.1 黄精总黄酮的含量测定

2.1.1 对照品溶液的制备 精密称取 15.0 mg 的芦丁对照品,置于 100 mL 量瓶中,用 60%的乙醇充分溶解并定容,即得 $0.15\ \text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的芦丁对照品溶液,备用。

Vc 对照品溶液:精密称取 12.5 mg Vc,用蒸馏水定容至 25 mL,即 $500\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$,依次稀释成 250, 100, 50, 25, 10, $5\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。

EDTA 对照品溶液配制浓度与 Vc 相同。

2.1.2 供试品溶液的制备 黄精饮片干燥后粉碎,80 目过筛,备用。精密称取黄精粉末 5.0 g 于 250 mL 烧瓶中,以适宜的液料比加入乙醇水溶液, HAc-NaAc 缓冲液调节溶液 pH 为 5.0,加入适量的纤维素酶,将烧瓶置于 $50\ ^\circ\text{C}$ 水浴锅中,恒温水浴加热提取 90 min 后,超声提取 30 min,提取完成后沸水浴灭活 5 min,真空抽滤,滤液离心,用 50%乙醇水溶液定容,备用。

2.1.3 标准曲线的绘制 按文献[11]稍作修改,方法如下:精确吸取芦丁对照品溶液 0.00, 0.50, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 mL 置于 10 mL 比色管中,往每支比色管中加入 5%的亚硝酸钠溶液 0.30 mL,摇匀,放置 6 min;再加入 10%的硝酸铝溶液 0.30 mL,摇匀,放置 6 min 后,加入 4%氢氧化钠溶液 4.00 mL,用 60%乙醇溶液定容,摇匀,放置 15 min,于 510 nm 处测定溶液的吸光度。将浓度(X)作为横坐标,吸光度(Y)作为纵坐标绘制标准曲线,得到回归方程 $Y=9.324\ 5X-0.003$, $r=0.999\ 5$ 。芦丁在 $0.007\ 5\sim 0.060\ \text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 内与吸光度呈良好的线性关系。

2.2 方法学考察

2.2.1 仪器精密度试验 精密吸取 6 份供试品溶液 1.0 mL,置 10 mL 量瓶中,按“2.1.3”项下方法测定吸光度,结果 $\text{RSD}=0.29\%(n=6)$,表明仪器精密度好。

2.2.2 稳定性试验 精密吸取供试品溶液 1.0 mL,置 10 mL 量瓶中,按“2.1.3”项下方法,在 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180 min 测定其吸光值,结果 $\text{RSD}=0.39\%$ 。结果表明供试品溶液在 180 min 内基本稳定。

2.2.3 重复性试验 精密称取 5.0 g 同一样品粉末 6 份, 置于 6 个 250 mL 烧瓶中, 按“2.1.2”项下方法制备供试品溶液。精密吸取上述溶液 1.0 mL, 置 10 mL 量瓶中, 按“2.1.3”项下方法测定吸光度, 结果 6 份样品中总黄酮的含量 RSD=1.02% ($n=6$), 表明重复性良好。

2.2.4 加样回收率试验 精密称取 5.0 g 同一样品粉末 6 份, 置于 6 个 250 mL 烧瓶中, 按“2.1.2”项下方法制备供试品溶液。精密吸取上述溶液 1.0 mL, 置 10 mL 量瓶中, 精密加入芦丁对照品 0.15 mg, 按“2.1.3”项下方法测定 6 份样品中总黄酮的含量, 平均加样回收率为 99.02%, RSD=1.45% ($n=6$)。

2.3 提取工艺的单因素考察

2.3.1 纤维素酶用量对黄精总黄酮提取率的影响 黄精总黄酮提取过程中, 分别选取纤维素酶用量(与原料质量之比)为 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% 和 1.25%, 液料比为 $20 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$, 按“2.1.2”和“2.1.3”项下方法测定吸光度并计算含量, 结果见图 1。

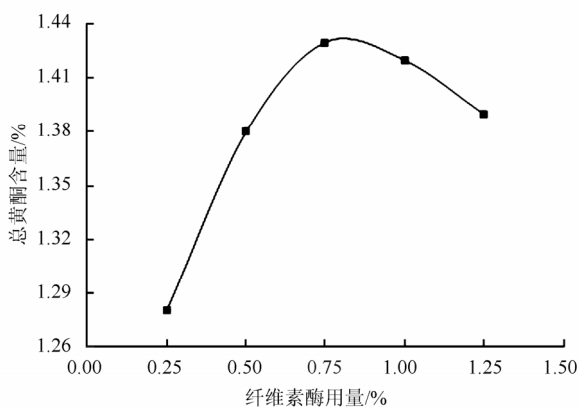


图 1 纤维素酶用量对黄精总黄酮提取率的影响
Fig. 1 Effect of cellulase amount on extraction rate of total flavonoids from *Polygonatum sibiricum*

由图 1 可知, 纤维素酶用量为 0.75% 时, 黄精总黄酮的提取率最大。纤维素酶可以降解黄精中的纤维素等多糖类物质, 超声波的空化作用能加速植物细胞壁的破裂, 两者协同加速黄酮的释放, 提取率增加^[12]。加酶量 > 0.75% 后, 黄酮提取率降低, 可能是由于酶反应中间络合物的抑制作用导致的。

2.3.2 乙醇浓度对黄精总黄酮提取率的影响 选取纤维素酶用量 0.75%, 乙醇浓度分别为 30%,

40%, 50%, 60% 和 70%, 按“2.1.2”和“2.1.3”项下方法测定吸光度并计算含量, 结果见图 2。

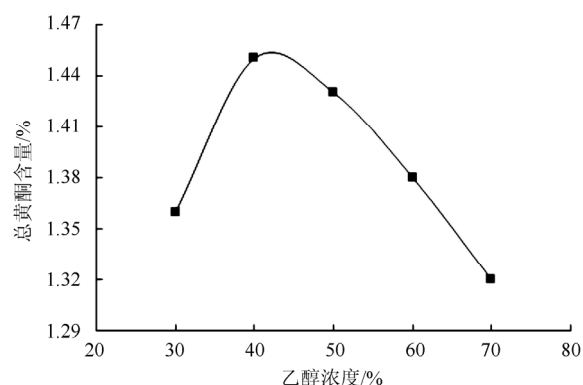


图 2 乙醇浓度对黄精总黄酮提取率的影响
Fig. 2 Effect of ethanol concentration on extraction rate of total flavonoids from *Polygonatum sibiricum*

由图 2 可知, 乙醇浓度为 40% 时, 黄精总黄酮的提取率最大。当乙醇浓度 > 40% 后, 可能由于浓度过大, 抑制纤维素酶的活性, 导致提取率下降。

2.3.3 液料比对黄精总黄酮提取率的影响 选取纤维素酶用量 0.75%, 乙醇浓度为 40%, 液料比分别为 10, 15, 20, 25 和 $30 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$, 按“2.1.2”和“2.1.3”项下方法测定吸光度并计算含量, 结果见图 3。

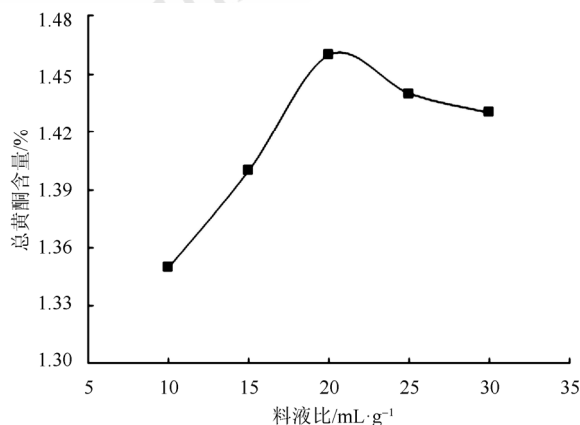


图 3 液料比对黄精总黄酮提取率的影响
Fig. 3 Effect of liquid-solid ratio on extraction rate of total flavonoids from *Polygonatum sibiricum*

由图 3 可知, 液料比为 $20 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 时, 黄精总黄酮的提取率最大。当液料比继续增大, 提取率降低, 可能是由于纤维素酶相对浓度降低导致的。

2.3.4 超声时间对黄精总黄酮提取率的影响 选取纤维素酶用量 0.75%, 乙醇浓度为 40%, 液料比

为 $20 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ ，提取时间 10, 20, 30, 40, 50 min，按“2.1.2”和“2.1.3”项下方法测定吸光度并计算含量，结果见图 4。

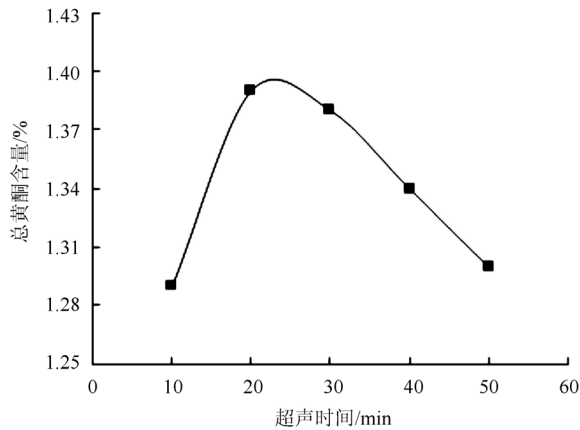


图 4 超声时间对黄精总黄酮提取率的影响

Fig. 4 Effect of ultrasonic time on extraction rate of total flavonoids from *Polygonatum sibiricum*

由图 4 可知，超声时间为 20 min 时，黄精总黄酮的提取率最大。但是随着时间延长，较多的杂质也相应溶出，导致黄酮类有效成分相对减少，也可能由于超声作用时间过长，破坏了纤维素酶的结构，降低了酶的活性^[12]，导致总黄酮提取率有所降低。

2.4 正交试验优化

根据单因素实验的结果，用黄精总黄酮提取率作为实验指标，对纤维素酶用量、乙醇浓度、液料比和超声时间进行 4 因素 3 水平正交试验，分析实验结果并确定最佳提取工艺，结果见表 1~3。

表 1 正交试验因素水平表

Tab. 1 Factors and level of orthogonal experiment

水平	因素			
	纤维素酶用量/ %	乙醇浓度/ %	液料比/ $\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$	超声时间/ min
1	0.5	30	15	10
2	0.75	40	20	20
3	1.0	50	25	30

由表 2 可知，根据极差 R 的大小： $A>C>B>D$ ，各因素对黄酮提取率的强弱依次为：纤维素酶用量 $>$ 液料比 $>$ 乙醇浓度 $>$ 超声时间，说明纤维素酶用量对黄酮提取率的影响最大。由直观分析可见较好的组合为 A2B2C2D3，即纤维素酶用量 0.75%，乙醇浓度 40%，液料比 $20 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ ，超声时间

30 min，该组合没有出现在正交试验表中，需进行验证试验。

表 2 正交试验方案和结果

Tab. 2 Results of orthogonal experiment

序号	纤维素酶用量(A)/%	乙醇浓度(B)/%	液料比(C)/ $\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$	超声时间(D)/min	提取率/%
1	0.50	30	15	10	1.041
2	0.50	40	20	20	1.320
3	0.50	50	25	30	1.180
4	0.75	30	20	30	1.527
5	0.75	40	25	10	1.475
6	0.75	50	15	20	1.360
7	1.00	30	25	20	1.251
8	1.00	40	15	30	1.240
9	1.00	50	20	10	1.341
k_1	1.180	1.273	1.214	1.286	
k_2	1.454	1.345	1.396	1.310	
k_3	1.277	1.294	1.302	1.316	
R	0.274	0.072	0.182	0.030	
优水平	A2	B2	C2	D3	

表 3 方差分析表

Tab. 3 Analysis of variance

方差来源	离差平方和	自由度	均方	F 值	P 值
A	0.116	2	0.058	58	<0.05
B	0.008	2	0.004	4	
C	0.050	2	0.025	25	<0.05
D(误差)	0.002	2	0.001	1	

2.5 验证试验结果

精密称取 3 份黄精粉末各 5.000 g，按正交表中最优组合 A2B2C2D3 为条件进行实验，总黄酮提取率为 1.595%， $\text{RSD}=0.92\%$ ，高于表 1 中各实验组结果，表明通过正交试验选择的最佳提取工艺科学合理。

2.6 抗氧化活性研究

2.6.1 DPPH 自由基清除率测定^[13] 按文献[13]稍作修改，精确称取 DPPH 20 mg，用无水乙醇溶解制成浓度为 $0.2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的溶液。分别取 2 mL 的黄精总黄酮样品溶液和 DPPH 溶液加入到 10 mL 的量瓶中，摇匀后室温、避光条件下放置 30 min，在 517 nm 处测定其吸光度值 A_i ，同时测定 DPPH 溶液与等体积无水乙醇的混合液的吸光度 A_c ，以及样品与等体积无水乙醇混合液的吸光度 A_j 。根据如下公式计算样品对 DPPH 自由基的

清除率：清除率 $=[1-(A_i-A_j)]/A_c \times 100\%$ 。并计算 IC_{50} ，结果见图 5。

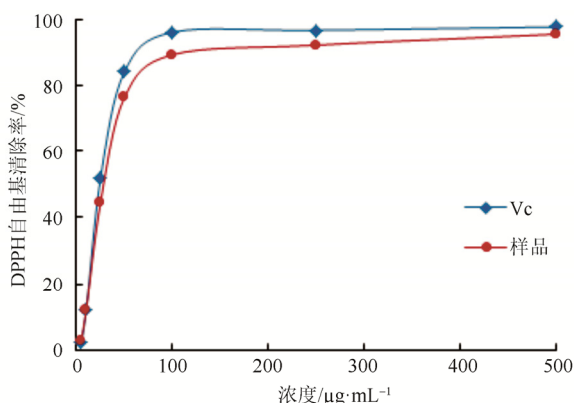


图 5 黄精总黄酮对 DPPH 自由基的清除能力
Fig. 5 Capacity of DPPH free radical scavenging by total flavonoids from *Polygonatum sibiricum*

由图 5 可知，黄精总黄酮可以有效抑制 DPPH 自由基的产生，其清除 DPPH 自由基能力比 Vc 略小， $IC_{50}=27.55 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ，Vc 的 $IC_{50}=24.67 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。
2.6.2 ABTS⁺ 自由基清除率测定^[14] 分别取 25 mL 的 $7 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ABTS 溶液和 $2.45 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 过硫酸钾溶液混合，在室温、避光条件下静置 16 h 以上，形成 ABTS⁺ 自由基的储备液。取 1 mL 储备液，加入 50 mL 70%乙醇，混匀后避光保存，备用。分别取 0.4 mL 不同浓度的样品溶液，加入 3.6 mL 稀释后的 ABTS 溶液，漩涡混合后在暗处静置 10 min，在 734 nm 处测定吸光值 A_i 。对照管用 0.4 mL 70%乙醇来替代样品，测定吸光度为 A_c 。根据如下公式计算样品对 ABTS⁺ 自由基的清除率，清除率 $= (1-A_i/A_c) \times 100\%$ 。并计算 IC_{50} ，结果见图 6。

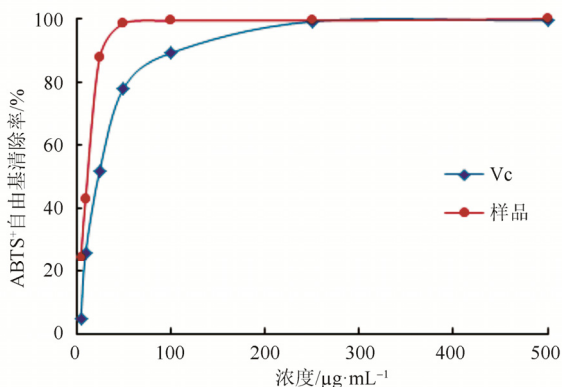


图 6 黄精总黄酮对 ABTS⁺ 自由基的清除能力
Fig. 6 Capacity of ABTS⁺ free radical scavenging by total flavonoids from *Polygonatum sibiricum*

由图 6 可知，黄精总黄酮可以有效抑制 ABTS⁺ 自由基的产生，且清除 ABTS⁺ 自由基能力强，比 Vc 略大， $IC_{50}=11.47 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ，Vc 的 $IC_{50}=22.03 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。
2.6.3 亚铁离子螯合活性^[15] 取 0.2 mL 不同浓度的样品溶液置于 10 mL 量瓶中，分别加入 $50 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 FeSO_4 溶液 0.2 mL 和 $0.15 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液 1.4 mL，再加入 $300 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的菲咯啉 0.2 mL 后，漩涡混合 5 s，室温放置 10 min。测定样品在 562 nm 的吸光值 A_i ，空白管用上述 NaCl 溶液代替菲咯啉，测定吸光度 A_j 。测定对照管吸光度为 A_c 。根据如下公式计算样品对亚铁离子的螯合活性：亚铁离子的螯合活性 $= [1-(A_i-A_j)/A_c] \times 100\%$ 。并计算 IC_{50} ，结果见图 7。

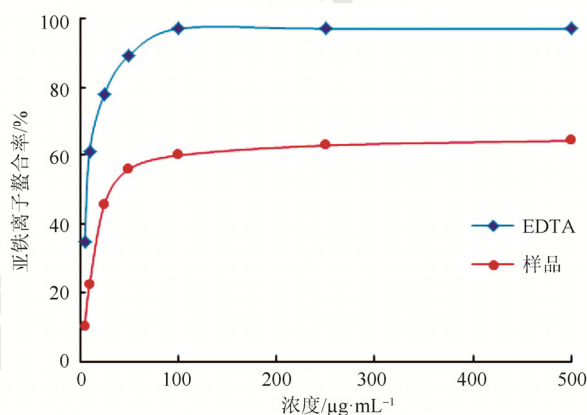


图 7 黄精总黄酮对亚铁离子螯合活性
Fig. 7 Ferrous ion-chelating capacity by total flavonoids from *Polygonatum sibiricum*

由图 7 可知，黄精总黄酮对亚铁离子螯合活性小于 EDTA，但仍具有较强螯合活性， $IC_{50}=32.26 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ，EDTA 的 $IC_{50}=7.49 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。

3 讨论

本研究采用酶法-超声提取黄精总黄酮，运用正交试验法对提取工艺进行优化，得到最佳提取工艺：纤维素酶用量 0.75%，乙醇浓度 40%，液料比 $20 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ ，超声时间 30 min，在该条件下，总黄酮提取率高达 1.595%。运用酶法—超声提取的黄精总黄酮提取率分别是浸提法和微波提取法的 1.9 倍^[7]和 1.7 倍^[9]，说明该方法提取率高、提取工艺合理可行。用该法提取的总黄酮进行体外抗氧化实验，结果表明黄精总黄酮对 DPPH 自由基和 ABTS⁺ 自由基具有良好的清除作用和亚铁离子螯合活性，说明黄精总黄酮具有体外抗氧化活性，是一种良好的天然抗氧化剂。

生黄精因其刺人咽喉不易入口，一般不直接入药，而是用酒、黑豆同蒸后切片用，即为制黄精。本实验以炮制后的黄精饮片为原料，符合中药用药标准，具有较大的研究意义，也为以后黄精总黄酮的开发及应用提供一定的科学参考价值。

REFERENCES

- [1] 中国药典. 一部[S]. 2015: 306-307.
- [2] 陈丽霞, 王建科, 耿晓玲. 综合评价法优选黄精蒸制工艺[J]. 微量元素与健康研究, 2017, 34(5): 38-40.
- [3] YU H, ZHANG X P, DENG M Q, et al. Study on constituents and biological activity of volatile oil from tubers of *Polygonatum cyrtoneura* Hua [J]. Chin J Exp Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志), 2008, 14(5): 4-6.
- [4] WANG W J, XIANG C H, LIU C H. Extraction and properties analysis of total flavonoids of Rhizoma Polygonati [J]. Food Indust(食品工业), 2014, 35(10): 258-262.
- [5] CHEN Y J, SHI X, QU R, et al. Study on extraction process of flavonoids from *Polygonatum kingianum* Coll. et Hemsl and antioxidative activities of flavonoids [J]. Sci Technol Food Indust(食品工业科技), 2013, 34(5): 222-225.
- [6] SU Y J, NI G F. Determination of the content and method of extracting total flavonoids in Herba Cirsii [J]. Zhejiang J Tradit Chin Med(浙江中医杂志), 2013, 48(2): 143-144.
- [7] 陈克克, 史丽, 李莺, 等. 黄精总黄酮和总酚的含量测定[J]. 陕西农业科学, 2012(1): 58-60.
- [8] ZHANG J J, ZHANG R, NING W. The method research of *Polygonatum macropodium* Turcz content and total flavonoids by ultrasonic extraction [J]. Lishizhen Med Mater Med Res(时珍国医国药), 2015, 26(12): 2870-2871.
- [9] LI L, LI L, QIU X, et al. Study on extraction of total flavonoids from microwave-assisted route [J]. J Baoshan Teach Coll(保山学院学报), 2014, 33(5): 39-42.
- [10] LI Y H, MA Y H, HUANG K H, et al. Extraction of Aloe Polysaccharides by cellulase assisted with ultrasonic and studies on antitumor activity [J]. J Chin Ins Food Sci Technol(中国食品学报), 2015, 15(11): 91-97.
- [11] PAN D M, LI X R. Optimization of ultrasonic assisted extraction of total flavonoids from Semen Plantaginis [J]. Zhejiang J Tradit Chin Med(浙江中医杂志), 2014, 49(12): 924-925.
- [12] SHAO S J, LI X, WEI J L. Extraction of total flavonoids from *Pinus massoniana* pollen by ultrasonic assisted cellulase [J]. Chin Tradit Pat Med(中成药), 2016, 38(1): 204-207.
- [13] CHU W, LI L L, LI Y, et al. Extraction process and antioxidation activities of Cortex Dictamni polysaccharide [J]. Chin Arch Tradit Chin Med(中华中医药学刊), 2017, 35(7): 1809-1812.
- [14] XIA D Z, YU X F, ZHU Z Y, et al. Antioxidant and antibacterial activity of six edible wild plants (*Sonchus spp.*) in China [J]. Nat Prod Res, 2011, 25(20): 1893-1901.
- [15] LIU Q, XIA D Z, YE X P, et al. Processing and antioxidant activities of anjibaichatea polyphenols tablets [J]. Sci Technol Food Indust(食品工业科技), 2012, 33(18): 245-247, 252.

收稿日期: 2018-01-25

(本文责编: 曹粤锋)