

# 菊苣中菊苣酸的提取及抗氧化活性研究

孟创鸽, 傅虹飞, 陈香维, 王云阳\*, 张永迪

(西北农林科技大学食品科学与工程学院, 杨凌 712100)

**摘要:** **目的** 以菊苣茎为试验材料, 探讨菊苣酸提取的最佳工艺条件, 并考察菊苣酸的抗氧化活性。 **方法** 采用超声波辅助提取法, 在单因素试验基础上, 进行  $L_9(3^4)$  正交试验, 并通过 DPPH、 $\cdot\text{OH}$  自由基清除率和铁还原力测定菊苣酸的抗氧化活性。 **结果** 最佳提取工艺参数为: 以 50% 的乙醇溶液为提取溶剂, 提取温度  $60\text{ }^\circ\text{C}$ 、时间 50 min、料液比 1:21、超声功率 180 W, 在此条件下菊苣酸得率为 1.51 mg/g。提取温度、料液比、超声功率对菊苣酸得率均有显著影响 ( $P < 0.05$ )。菊苣酸具有较强的抗氧化活性, 其浓度与 DPPH、 $\cdot\text{OH}$  自由基的清除率和铁还原力呈量效关系,  $\text{IC}_{50}$  值分别为: 6.07 mg/L、15.24 mg/L 和 9.90 mg/L。 **结论** 提取条件会影响菊苣酸得率, 菊苣酸的抗氧化研究结果可为菊苣酸的深加工提供理论基础。

**关键词:** 菊苣; 菊苣酸; 超声波提取; 抗氧化活性

## Study on extraction and antioxidant activity of chicoric acid from *Cichorium lntybus* L.

MENG Chuang-Ge, FU Hong-Fei, CHEN Xiang-Wei, WANG Yun-Yang\*, ZHANG Yong-Di

(College of Food Science & Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate the extraction technology and antioxidant activity of chicoric acid from the stems of *Cichorium lntybus* L. **Methods** Single factor experiments and the orthogonal experiment design methods  $L_9(3^4)$  were applied to analyze the influencing factors through the ultrasonic-assisted extraction. Antioxidant activities of chicoric acid were detected by DPPH,  $\cdot\text{OH}$  radical scavenging, and FRAP (ferric reducing antioxidant power). **Results** The best process parameters of ultrasonic-assisted extraction of chicoric acid were as follows: 50% ethanol,  $60\text{ }^\circ\text{C}$ , 50 min, solid-liquid ratio 1:21, 180 W of ultrasonic power, the optimum yield of chicoric acid was 1.51 mg/g under this condition. There was a concentration-response relationship between concentration and antioxidant activity.  $\text{IC}_{50}$  values against DPPH,  $\cdot\text{OH}$  free radical and ferric reducing antioxidant power were 6.07, 15.24 and 9.90 mg/L, respectively. **Conclusion** The yield of chicoric acid was affected by the extraction conditions, the result of antioxidant activity would provide a theoretical basis for further industrial processing.

**KEY WORDS:** *Cichorium lntybus* L.; chicoric acid; ultrasonic extraction; antioxidant activity

基金项目: 科技资源共享服务体系建设项目(31171761)

**Fund:** Supported by Technical Resources Sharing Service System Construction Project (31171761)

\*通讯作者: 王云阳, 教授, 主要研究方向为食品工程新技术、食品安全控制技。E-mail: wyy10421@163.com

\*Corresponding author: WANG Yun-Yang, Professor, College of Food Science & Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China. E-mail: wyy10421@163.com

## 1 引言

菊苣(*Cichorium intybus* L.), 别名蓝菊, 系维吾尔族习用药材, 为药食两用植物, 具有清肝利胆、健胃消食等功能<sup>[1]</sup>。菊苣中含有丰富的菊苣酸、咖啡酸和绿原酸多种物质<sup>[2]</sup>。菊苣酸(cichoric acid), 又称二咖啡酒石酸, 属咖啡酸衍生物, 由咖啡酸和酒石酸缩合而成, 是菊苣中极为重要的免疫活性成分之一<sup>[3,4]</sup>。菊苣酸具有增强免疫、抗炎抑菌功能、抑制透明质酸酶等作用, 结构如图 1 所示, 同时, 具有保护胶原蛋白免受降解和抑制 HIV-1 整合酶的作用<sup>[5-7]</sup>。

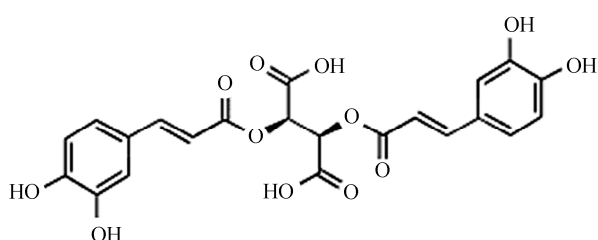


图 1 菊苣酸的分子结构

Fig. 1 Molecular structure of cichoric acid

目前, 传统的菊苣酸提取工艺为热回流提取法、溶剂提取法等, 但具有提取率低、经济成本高等缺点, 并且容易引起热敏感活性成分的破坏<sup>[8]</sup>。国内利用超声波提取菊苣酸的研究报道较少, 且超声波由于具有特殊的空化作用, 可以使植物细胞的细胞壁间形成较多的小孔, 增强细胞膜的通透性和选择性, 在植物中生物活性成分提取方面得到广泛应用<sup>[9,10]</sup>。

本文拟采用超声波辅助溶剂提取法, 分析提取溶剂浓度、温度、时间、料液比和超声功率对菊苣酸得率的影响, 并采用体外抗氧化体系评价其活性, 以期为菊苣酸的高效利用提供理论依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

菊苣茎(*Cichorium intybus* L., 乌鲁木齐大地物产商贸有限公司); 粉碎至 80 目密封避光保藏。

### 2.2 仪器与设备

KQ600DB 超声波清洗器(昆山科学仪器有限公司); RE-52C 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂);

HC-3018R 高速冷冻离心机(安徽中科中佳科学仪器有限公司); 高效液相色谱仪(LC-15C, 日本岛津公司); ECCSIL 120-5-C<sub>18</sub> 色谱柱(ECCSIL 120-5-C<sub>18</sub> 柱, 4.6 mm×250 mm, 5.0 μm); 紫外可见分光光度计(上海光学仪器厂)。

### 2.3 试验方法

#### 2.3.1 高效液相色谱条件

参考 Innocenti 等<sup>[11]</sup>方法, 稍作改动。具体程序如下:

流动相 A 相为水(0.1%甲酸), B 相为乙腈, 梯度洗脱程序为: 0 min, 5%B; 10 min, 15%B; 25 min, 22%B; 35 min, 25%B; 40 min, 5%B; 50 min, 25%B。流速为 1.0 mL/min, 检测波长为 330 nm, 进样量 20 μL, 柱温为 30 °C。

#### 2.3.2 菊苣酸超声波提取及测定

称取 10.00 g 菊苣粉末置于 500 mL 锥形瓶中, 以乙醇溶液作为提取剂, 进行超声波辅助提取, 抽滤后向滤渣中再添加乙醇溶液进行 2 次提取, 合并 2 次滤液, 除杂, 测量提取液总体积。取 20 mL 提取液用旋转蒸发器浓缩至 10 mL, 浓缩液经高速离心机在 10 000 r/min 条件下离心 10 min, 取上清液过 0.45 μm 滤膜, 经高效液相色谱仪(HPLC)检测, 计算菊苣酸含量<sup>[12,13]</sup>。菊苣酸得率按公式(1)计算:

$$\text{菊苣酸得率}(\text{mg/g}) = x \times V \times 50 \quad (1)$$

式中,  $x$ —菊苣酸含量, mg/mL;  $V$ —2 次提取液合并后的体积, mL; 50—换算系数。

#### 2.3.3 超声波辅助提取菊苣酸的优化试验

在单因素试验基础上, 选用  $L_9(3^4)$  正交试验设计表, 以温度(A)、时间(B)、料液比(C)和功率(D)为影响因素, 以菊苣酸的得率为评价指标, 优化提取各项工艺参数。如表 1 所示, 各组合进行 3 次平行试验。

表 1 因素水平表

Table 1 Factors and levels in the orthogonal array design

因素				
水平	A 温度 (°C)	B 时间 (min)	C 料液比 (g/mL)	D 功率 (W)
1	50	50	1:15	140
2	60	60	1:18	160
3	70	70	1:21	180

### 2.3.4 菊苣酸的抗氧化活性的研究

#### (1) 菊苣酸对 DPPH 的清除效果

参考 Zhang、李巨秀等<sup>[14,15]</sup>方法。用水溶性维生素 E(Trolox)测定对 DPPH 的清除率, 得回归方程为:  $Y=0.5585X-2.8377$ ,  $r^2=0.9995$ , 同时测定菊苣酸对 DPPH 的清除率, 并计算  $IC_{50}$  值。

#### (2) 菊苣酸对·OH 自由基的清除效果

参考蒋增良、董孝元等<sup>[16,17]</sup>方法, 测定 Trolox 对羟基自由基的清除率, 回归方程为:  $Y=0.5303X-8.04$ ,  $r^2=0.9994$ , 以 Trolox 的测定方法测定菊苣酸对·OH 自由基的清除率, 计算  $IC_{50}$  值。

#### (3) 菊苣酸对铁还原力的测定

配置总抗氧化能力检测试剂(FRAP), 参考文献<sup>[18-20]</sup>。参考李巨秀等<sup>[15]</sup>方法, 测定 Trolox 的铁还原力,

可得回归方程为:  $Y=0.0049X+0.1251$ ,  $r^2=0.9996$ , 同时测定菊苣酸的铁还原力。

### 2.3.5 $IC_{50}$ 值

$IC_{50}$  值表示当自由基清除率为 50%或者吸光度为 0.5 时的样品浓度。

### 2.3.6 数据分析

用 SPSS Statistics 统计软件和 Excel 2007 分析试验数据。

## 3 结果与分析

### 3.1 菊苣茎组分分析

对菊苣茎提取物中的组分进行高效液相色谱分析, 结果如图 2~图 3 所示。

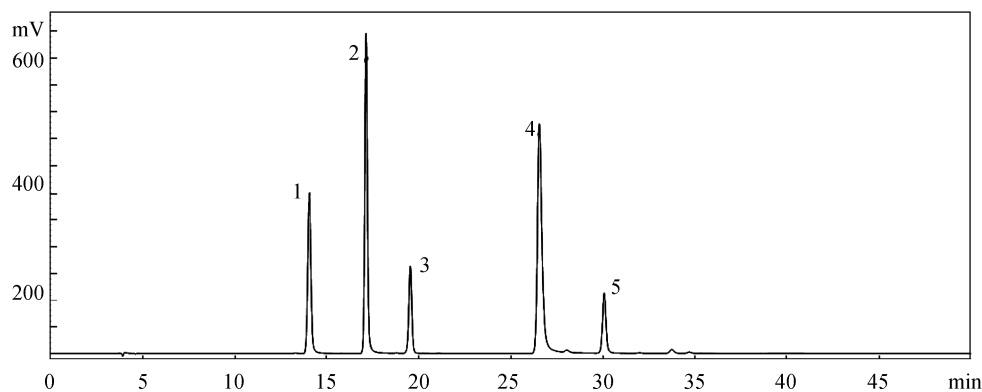


图 2 标准品 HPLC 图谱(330 nm)

Fig. 2 The HPLC chromatogram of reference (330 nm)

(1. 单咖啡酰酒石酸; 2. 绿原酸; 3. 咖啡酸; 4. 菊苣酸; 5. 木犀草苷)

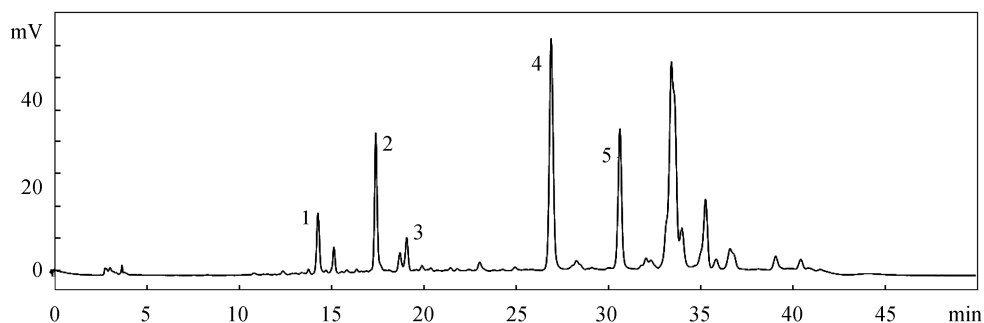


图 3 菊苣酸粗品 HPLC 图谱(330 nm)

Fig. 3 The HPLC chromatogram of the crude cichoric acid (330nm)

(1. 单咖啡酰酒石酸; 2. 绿原酸; 3. 咖啡酸; 4. 菊苣酸; 5. 木犀草苷)

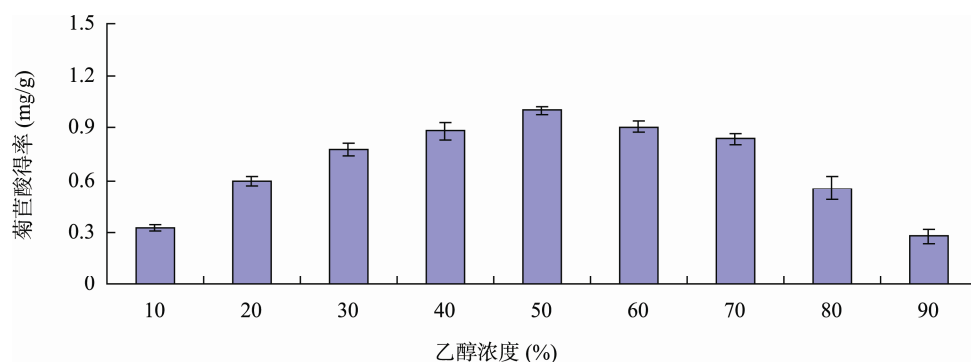


图 4 乙醇浓度对菊苣酸得率的影响

Fig. 4 Effect of different ethanol on the extraction yield of cichoric acid

由图 2~图 3 可知, 在菊苣茎的提取物中, 除菊苣酸外, 还含有单咖啡酰酒石酸、绿原酸、咖啡酸和木犀草苷等多种组分。采用  $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3\text{-NaOH}$  分光光度法分析可知, 在菊苣茎的提取物中含有黄酮类组分, 具体成分有待进一步研究<sup>[21]</sup>。

### 3.2 超声波辅助提取菊苣酸试验

#### 3.2.1 单因素试验

##### (1) 乙醇浓度对菊苣酸得率的影响

以不同浓度的乙醇溶液为提取剂对菊苣酸进行提取, 试验结果如图 4 所示。从图 4 可知, 随着乙醇浓度的变化, 菊苣酸得率呈先上升后下降趋势。当乙醇的浓度低于 50% 时, 菊苣酸的得率呈上升的趋势; 而乙醇浓度高于 50% 时, 菊苣酸得率反而呈下降趋势。这是因为菊苣中成分较多, 有水溶性和醇溶性的。当乙醇浓度较高时, 可能是因为菊苣中的醇溶性部分的得率提高, 降低了菊苣酸得率。因此, 菊苣酸提取的乙醇浓度为 50% 为宜。

##### (2) 提取温度对菊苣酸得率的影响

以提取温度为影响因素, 考察对菊苣酸得率的影响, 试验结果如图 5 所示。由图 5 可知, 在温度低于 60 °C 时, 随着提取温度的增加, 菊苣酸得率增大。这是因为温度的提高增加了溶剂分子和菊苣酸分子的动能, 促进扩散作用的进行, 使菊苣酸得率增大。当温度高于 60 °C 时, 菊苣酸得率开始下降。这可能是由于菊苣酸在高温下不稳定, 部分菊苣酸分解所致。

##### (3) 提取时间对菊苣酸得率的影响

以提取时间为影响因素, 考察其对菊苣酸得率的影响, 试验结果如图 6 所示。由图 6 可知, 菊苣酸得率随着提取时间的延长呈现先上升后下降的趋势。因为超声波对细胞壁有破碎作用, 若超声波时间短,

细胞破碎程度小, 溶出物少, 其得率较低; 当提取时间高于 60 min 时, 可能由于超声波对菊苣酸分子的破坏, 使菊苣酸得率开始下降。因此, 超声波时间选择 60 min 为宜。

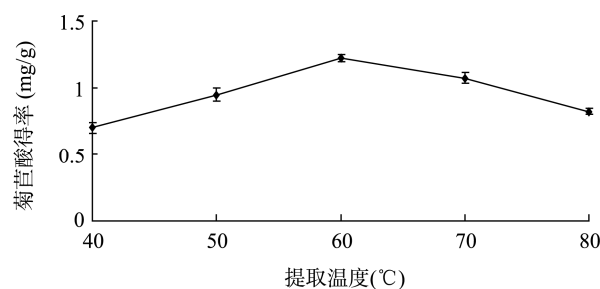


图 5 提取温度对菊苣酸得率的影响

Fig. 5 Effect of extraction temperature on the extraction yield of cichoric acid

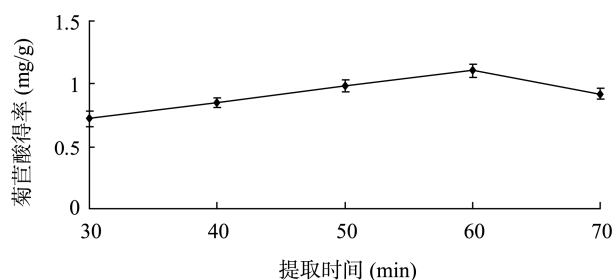


图 6 提取时间对菊苣酸得率的影响

Fig. 6 Effect of extraction time on the extraction yield of cichoric acid

##### (4) 料液比对菊苣酸得率的影响

以不同体积的乙醇溶液为提取溶剂, 考察料液比对菊苣酸得率的影响, 试验结果如图 7 所示。由图

7可以看出,当料液比小于1:18(g/mL)时,菊苣酸得率随着料液比的增加而增加;当料液比大于1:18(g/mL)时,其得率随着料液比的增加而降低。这是因为提取溶剂过少,导致溶液浓度较大,分子扩散速率低,不利于菊苣酸的释放,从而得率偏低;而随着溶剂继续增加,菊苣酸得率呈下降的趋势,这可能是由于溶剂过多,导致部分超声波被溶剂吸收,作用于细胞的超声波作用相对降低,故得率下降。因此,选择料液比为1:18(g/mL)为宜。

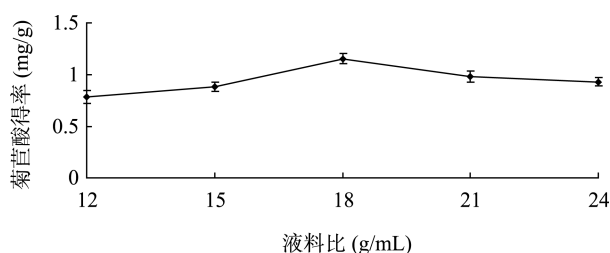


图7 液料比对菊苣酸得率的影响

Fig. 7 Effect of liquid-to-material ratio on the extraction yield of cichoric acid

#### (5) 超声波功率对菊苣酸得率的影响

以不同功率为影响因素,研究超声波提取对菊

苣酸得率的影响,试验结果如图8所示。由图8可知,随着超声波功率的提高,菊苣酸得率增加,原因可能是由于超声波功率增大,产生的空化效应和机械作用越剧烈,对菊苣细胞的破壁作用越强,从而提高菊苣酸得率。当超声波功率大于160W时,菊苣酸得率基本没有变化,趋于稳定。因此,超声波功率选择160W为宜。

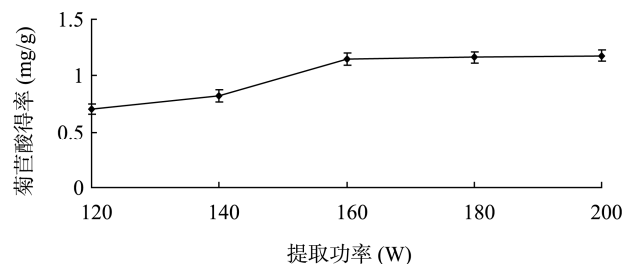


图8 超声波功率对菊苣酸得率的影响

Fig. 8 Effect of ultrasonic power on the extraction yield of cichoric acid

#### 3.2.2 正交试验

选用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计表,对影响菊苣酸得率的各项参数进行优化,所得结果见表2,方差分析见表3。

表2 正交试验设计及结果

Table 2 Orthogonal array design layout and results

试验号	因素				菊苣酸得率/(mg/g)
	A 温度(°C)	B 时间(min)	C 料液比(g/mL)	D 功率(W)	
1	1	1	1	1	0.923
2	1	2	2	2	1.037
3	1	3	3	3	1.281
4	2	1	2	3	1.439
5	2	2	3	1	1.374
6	2	3	1	2	1.194
7	3	1	3	2	1.189
8	3	2	1	3	1.003
9	3	3	2	1	1.006
$K_1$	3.241	3.552	3.120	3.303	
$K_2$	4.007	3.414	3.482	3.421	
$K_3$	3.199	3.481	3.845	3.777	
$k_1$	1.080	1.184	1.040	1.101	
$k_2$	1.336	1.138	1.161	1.140	
$k_3$	1.066	1.160	1.282	1.259	
R	0.270	0.046	0.242	0.158	
主次顺序	A>C>D>B				
优水平	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>3</sub>	
优组合	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub> D <sub>3</sub>				

表 3 方差分析  
Table 3 Analysis of variance

变异来源	III 型平方和	df	均方	F 值	显著性
校正模型	0.521	8	0.065	26.929	0.000
截距	24.248	1	24.248	10023.736	0.000
温度	0.277	2	0.138	57.087	0.000
时间	0.006	2	0.003	1.315	0.315
料液比	0.176	2	0.088	36.327	0.000
功率	0.063	2	0.031	12.988	0.002
误差	0.022	9	0.002		
总计	24.790	18			
校正的总计	0.543	17			

注: 表示在置信度 95%水平下显著。

由表 2 可知, 4 个因素对菊苣酸得率的影响的主次顺序为  $A>C>D>B$ , 即温度>料液比>功率>时间, 试验所得的最佳优化工艺组合为  $A_2B_1C_3D_3$ , 即温度为 60 °C, 时间为 50 min, 料液比为 1:21, 功率为 180 W。

由表 3 方差分析结果知, 在 4 个影响因素中, 温度、料液比和功率 3 个因素对菊苣酸的得率有显著性影响( $P < 0.05$ )。

由于得到的优化组合不在正交试验表内, 故以其优化组合的参数进行验证试验, 经计算菊苣酸得率 1.51 mg/g。同时, 试验中获得多种副产物, 分别为单咖啡酰酒石酸、绿原酸、咖啡酸和木犀草苷等。

### 3.3 菊苣酸的抗氧化活性研究

通过 DPPH、·OH 自由基和铁还原力 3 种方法综合考察菊苣酸的抗氧化活性, 试验结果如表 4 所示。

DPPH 是稳定的以氮为中心的自由基, 菊苣酸能清除 DPPH, 则表明菊苣酸具有清除烷自由基或过氧自由基的能力, 从而中断脂质过氧化链反应。由表 4 可知, 对 DPPH 的清除率随菊苣酸浓度的增大而升高, 菊苣酸含量在 2.50~12.30 mg/L 范围内, 对 DPPH 自由基的清除范围为 27.86%~86.76%, 相当于 Trolox 的浓度范围为 54.96~160.43  $\mu\text{mol/L}$ , 其中  $\text{IC}_{50}$  值为 6.07 mg/L, 相当于 Trolox 的浓度为 94.60  $\mu\text{mol/L}$ , 表明菊苣酸含量与 DPPH 的清除率呈现显著的正相关性( $r^2=0.9991$ ), 且菊苣酸对 DPPH 自由基具有较强的清除效果。

菊苣酸对·OH 自由基的清除效果如表 4 所示, 菊

苣酸的线性范围为 5.40~54.00 mg/L, 对·OH 自由基的清除率范围为 39.1%~90.1%, 相当于 Trolox 的浓度为 88.89~185.07  $\mu\text{mol/L}$ , 使·OH 自由基的清除率达到 50%时的菊苣酸的浓度( $\text{IC}_{50}$ )为 15.24 mg/L, 相当于 Trolox 的浓度为 109.45  $\mu\text{mol/L}$ , 亦表明菊苣酸具有较强的抗氧化作用。

鉴于  $\text{Fe}^{2+}$ 氧化  $\text{H}_2\text{O}_2$  产生的·OH 氧化水杨酸可以生成蓝色体系, 在 510 nm 处存在最大吸收。当该体系中存在酚羟基时, 会与水杨酸竞争·OH 形成共轭稳定半醌式自由基结构, 从而可以中止自动氧化反应, 减少蓝色物质的生成, 降低吸光度值, 故可根据吸光度值计算菊苣酸的抗氧化活性<sup>[22,23]</sup>。试验结果如表 4 所示。由表 4 可知, 菊苣酸的线性范围为 2.20~21.20 mg/L, 对铁还原力范围为 0.33~0.98, 相当于 Trolox 的浓度范围为 41.82~174.47  $\mu\text{mol/L}$ ,  $\text{IC}_{50}$  值为 9.90 mg/L, 相当于 Trolox 的浓度为 76.51  $\mu\text{mol/L}$ , 表明菊苣酸的还原能力较强。

综合 3 种测定方法对菊苣酸的抗氧化活性进行考察, 均可说明菊苣酸有较强的抗氧化活性。

## 4 结 论

(1) 超声波辅助提取菊苣酸的影响因素由大到小的顺序为: 温度>料液比>功率>时间; 最佳的提取工艺参数分别为: 以 50%乙醇溶液为提取溶剂, 温度 60 °C, 时间 50 min, 料液比为 1:21, 功率 180 W。在此条件下得到的菊苣酸的得率为 1.51 mg/g。

表4 菊苣酸抗氧化结果分析表  
Table 4 Antioxidant activity analysis of cichoric acid

	线性范围/(mg/L)	清除率	回归方程	$r^2$	IC <sub>50</sub> /(mg/L)
DPPH	2.50~12.30	27.86%~86.76%	$Y=5.9857X+13.685$	0.9991	6.07
·OH 自由基	5.40~54.00	39.10%~90.10%	$Y=1.0403X+34.148$	0.9993	15.24
铁还原力	2.20~21.20	0.33~0.98	$Y=0.0436X+0.0684$	0.9947	9.90

在天然产物的提取中,常以目标成分的提取率为考察指标对其工艺进行优化,故常常造成其他重要活性成分被忽略,造成原料中多种副产物的浪费。故在此工艺中,不仅获得了目标产物菊苣酸,同时提取得到多种副产物:单咖啡酰酒石酸、绿原酸、咖啡酸和木犀草苷,实现了原材料的最大利用。

(2) 菊苣酸具有清除自由基的作用,且菊苣酸的浓度与抗氧化活性间具有一定的量效关系。菊苣酸清除 DPPH 的 IC<sub>50</sub> 值为 6.07 mg/L,当菊苣酸的浓度为 2.50~12.30 mg/L 时,相当于 Trolox 浓度范围为 54.96~160.43 μmol/L。菊苣酸清除·OH 自由基的 IC<sub>50</sub> 值为 15.24 mg/L,当菊苣酸的浓度为 5.40~54.00 mg/L 时,相当于 Trolox 浓度范围为 88.89~185.07 μmol/L。菊苣酸的铁还原力的 IC<sub>50</sub> 值为 9.90 mg/L,当菊苣酸的浓度范围为 2.20~21.20 mg/L 时,铁还原力相对应的 Trolox 浓度范围为 41.82~174.47 μmol/L。

#### 参考文献

- [1] 庄红艳,张冰,刘小青,等. 菊苣药材中菊苣多糖的含量测定研究[J]. 中成药,2011,33(1): 114-117.  
Zhang HY, Zhang B, Liu XQ, et al. Assay of herba cichorii polysaccharide content [J]. Chin Trad Pat Med, 2011, 33(1): 114-117.
- [2] 胡君萍,李渊,柳惠斌,等. UPLC 同时测定维药毛菊苣和菊苣中 5 种化学成分的含量[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(17): 65-68.  
Hu JP, Li Y, Liu HB, et al. Simultaneous determination of 5 components in uyghur drug *Cichorium glandulosum* and *C. intybus* by UPLC [J]. Chin J Exp Trad Med. Formulae, 2014, 20(17): 65-68.
- [3] Zhang YL, Tang TX, He HJ, et al. Influence of several postharvest processing methods on polyphenol oxidase activity and cichoric acid content of *Echinacea purpurea* roots [J]. Ind Crops Prod, 2011, 34(1): 873-881.
- [4] 周蓓蓓,潘见,开桂青,等. 菊苣酸在高效液相色谱测定过程中与流动相中银离子配对的探讨[J]. 分析化学, 2008, 36(9): 1245-1248.  
Zhou PP, Pan J, Kai GQ, et al. Study of coordination of cichoric acid with silver nitrate in mobile phase in its determining process by high performance liquid Chromatography [J]. Chin J Anal Chem, 2008, 36(9): 1245-1248.
- [5] Bronja M, Samo K. Determination of cichoric acid content in dried press juice of purple coneflower (*Echinacea purpurea*) with capillary electrophoresis [J]. Talanta, 2005, 66(5): 1094-1097.
- [6] Wu CH, Murthy HN, Hahn EJ, et al. Enhanced production of caftaric acid, chlorogenic acid and cichoric acid in suspension cultures of *Echinacea purpurea* by the manipulation of incubation temperature and photoperiod [J]. Biochem Eng J, 2007, 36(3): 301-303.
- [7] Reinke RA, Lee DJ, Mcdougall BR, et al. L-chicoric acid inhibits human immunodeficiency virus type 1: integration in vivo and is a noncompetitive but reversible inhibitor of HIV-1 integrase *in vitro* [J]. Virol, 2004, 326(2): 203-219.
- [8] 林杰,陈如溪,曾伟山. 超临界二氧化碳萃取菊苣酸的研究[J]. 中国食品添加剂, 2011, (3): 60-64.  
Lin J, Chen RX, Zeng WS. Extraction of cichoric acid from *Echinacea purpurea* by supercritical CO<sub>2</sub> fluid [J]. China Food Addit, 2011, (3): 60-64.
- [9] 李利华,夏冬. 山楂总黄酮的超声波辅助提取及抗氧化性能研究[J]. 中国食品添加剂, 2014, 05: 94-98.  
Li LH, Xia D. Optimization of ultrasonic-assisted extraction and antioxidant capacity of total flavonoids from *Hawthorn fruits* [J]. China Food Addit, 2014, (5): 94-98.
- [10] 徐怀德,闫宁环,陈伟,等. 黑莓原花青素超声波辅助提取优化及抗氧化性研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 264-268.  
Xu HD, Yan NH, Chen W, et al. Ultrasonic assisted extraction technology and its antioxidative activity of blackberry anthocyanin [J]. T CSAE, 2008, 2(2): 264-268.
- [11] Innocenti M, Gallori S. Evaluation of the phenolic content in the aerial parts of different varieties of *Cichorium intybus* L. [J]. Agric Food Chem, 2005, 53(16): 6497-6501.
- [12] 辛杰,韩琳娜,周凤琴. 正交试验法优选紫锥菊中菊苣酸提取工艺[J]. 山东中医药大学学报, 2012,36(6): 539-541.  
Xin J, Han LN, Zhou FQ. Optimization of extraction technology for cichoric acid from *Echinacea purpurea* with orthogonal design [J]. J Shandong Univ TCM, 2012, 36(6): 539-541.

- [13] 华春, 李建玲, 周峰, 等. 菊苣中菊苣酸提取工艺优化[J]. 食品科学, 2011, 32(20): 126–129.  
Hua C, Li JL, Zhou F, *et al.* Process optimization for cichoric acid extraction from *Cichorium Intybus* L. Shoots [J]. Food Sci, 2011, 32(20): 126–129.
- [14] Zhang YL, Shen YX, Zhu YC, *et al.* Assessment of the correlations between reducing power, scavenging DPPH activity and anti-lipid-oxidation capability of phenolic antioxidants [J]. LWT-Food Sci Technol, 2015, 63(1): 569–574.
- [15] 李巨秀, 王仕钰, 房红娟, 等. 石榴花色苷的微波辅助提取及抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 165–169.  
Li JX, Wang SY, Fang HJ, *et al.* Microwave-assisted extraction and antioxidant activity evaluation of anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum* L.) fruits [J]. Food Sci, 2010, 31(18): 165–169.
- [16] 刘永芹, 高洪伟, 卫涛, 等. 酚羟基取代异黄酮类化合物的抗氧化活性理论筛选[J]. 计算机与应用化学, 2013, 30(5): 531–532.  
Liu YQ, Gao HW, Wei T, *et al.* Theoretical screening studies on antioxidant activity of phenolic hydroxyl substituted isoflavones [J]. Comput Appl Chem, 2013, 30(5): 531–532.
- [17] 董孝元, 方冬芬, 杨梅, 等. 纤维素酶辅助提取芦笋黄酮及抗氧化活性的分析[J]. 食品科学, 2014, 35(06): 18–22.  
Dong XY, Fang DF, Yang M, *et al.* Extraction and antioxidant activity of asparagus flavonoids [J]. Food Sci, 2014, 35(06): 18–22.
- [18] 王昌禄, 江慎华, 陈志强, 等. 香椿老叶中活性物质提取及其抗氧化活性的研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(10): 229–234.  
Wang CL, Jiang SH, Chen ZQ, *et al.* Extracting technology and antioxidant activity of bio-active components from the old leaves of *Toona sinensis* [J]. T CSAE, 2007, 23(10): 229–234.
- [19] 李巨秀, 王仕钰, 房红娟, 等. 石榴花色苷的微波辅助提取及抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 165–169.  
Li JX, Wang SY, Fang HJ, *et al.* Microwave-assisted extraction and antioxidant activity evaluation of anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum* L.) fruits [J]. Food Sci, 2010, 31(18): 165–169.
- [20] 郭长江, 杨继军. FRAP 法测定水果不同部分抗氧化活性[J]. 中国公共卫生, 2003, 19(7): 841–843.  
Guo CJ, Yang JJ. Antioxidant capacity of different parts of fruits determined by FRAP assay [J]. Chin J Pub Health, 2003, 19(7): 841–843.
- [21] Zahid KA, Shalini S, Mohamed IS, *et al.* Phytochemical, antioxidant and mineral composition of hydroalcoholic extract of chicory (*Cichorium intybus* L.) leaves [J]. Saudi J Biol Sci, 2015, 22(3): 322–326.
- [22] 郭晓青, 张晓春, 陈晓靓, 等. 明日叶黄酮类化合物清除羟自由基活性研究[J]. 广州化学, 2013, 38(12): 7–10.  
Guo XQ, Zhang XC, Chen XJ, *et al.* Activity of flavonoids from *Angelica keiskei Koidzmi* in scavenging hydroxyl free radicals [J]. Guangzhou Chem, 2013, 38(12): 7–10.
- [23] 范金波, 蔡茜彤, 冯旭桥, 等. 咖啡酸体外抗氧化活性的研究[J]. 中国食品学报, 2015, 15(3): 65–71.  
Fan JB, Cai QT, Feng XQ, *et al.* Studies on the antioxidant activity *in vitro* of caffeic acid [J]. J Chin I Food Sci Technol, 2015, 15(3): 65–71.

(责任编辑: 金延秋)

## 作者简介



孟创鸽, 硕士研究生, 主要研究方向为食品工程新技术。

E-mail: chuanggemeng@sina.com



王云阳, 教授, 主要研究方向为食品工程新技术、食品安全控制技术。

E-mail: wyy10421@163.com