

汪芷玥,周际松,汤凯,等.微波辅助提取麻城福白菊绿原酸工艺的优化及其抗氧化活性[J].江苏农业科学,2020,48(15):240-245.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.15.044

# 微波辅助提取麻城福白菊绿原酸工艺的优化及其抗氧化活性

汪芷玥,周际松,汤凯,胡婷,占剑峰,王蔚新,李士明,吴鹏

(黄冈师范学院生物与农业资源学院/经济林木种质改良与资源综合利用湖北省重点实验室/

大别山特色资源开发湖北省协同创新中心,湖北黄冈 438000)

**摘要:**湖北省麻城福白菊为中国国家地理标志产物,绿原酸是其中含量较高的生物活性物质。采用微波辅助提取法对其中的绿原酸提取工艺进行优化,并测定绿原酸的总抗氧化能力及其清除超氧阴离子自由基的能力。选取微波时间、微波功率、料液比等 3 个变量进行单因素试验,利用响应面法对其提取工艺进行优化。结果表明,最佳工艺参数组合:微波功率为 640 W,料液比为 1 g:20 mL,微波时间为 25 s。在此最优条件下,绿原酸提取率可达 6.25%。抗氧化活性试验结果表明,福白菊中绿原酸具有良好的抗氧化性,并且当福白菊中绿原酸质量浓度达到 1.0 mg/mL 时,其总抗氧化能力及清除超氧阴离子自由基的能力最强。

**关键词:**菊花;绿原酸;微波辅助提取;响应面法;抗氧化活性

**中图分类号:** TS201.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)15-0240-06

麻城福白菊 (*Chrysanthemum morifolium* cv. Fubaiju) 是一种兼具食用和药用价值的保健型药材,被视为“药膳佳肴,饮中极品”,主要种植于以湖

收稿日期:2019-10-21

基金项目:黄冈师范学院高级别培育项目(编号:04201711903);湖北省高等学校优秀中青年科技创新团队项目(编号:T201820)。

作者简介:汪芷玥(1999—),女,湖北荆州人,主要从事食品生物技术和农产品加工与贮藏研究。E-mail:1075814399@qq.com。

通信作者:吴鹏,博士,副教授,主要从事食品生物技术和农产品加工与贮藏研究。E-mail:115479165@qq.com。

北省麻城市福田河镇为中心的大别山区域<sup>[1]</sup>。凭借当地良好的生态环境及地理优势,麻城福白菊被评为中国国家地理标志产物,具有清热解毒、平肝明目的功效<sup>[2]</sup>。研究发现,福白菊中绿原酸、木樨草苷等成分含量均高于其他种菊花<sup>[3]</sup>。而在福白菊的众多提取物中,绿原酸是其发挥一定功效的主要活性成分。绿原酸是一种苯丙素类物质,具有抗菌、降压、利胆、抗氧化等作用<sup>[4-5]</sup>,它在食品、医药及化妆品等领域中有着广泛的应用<sup>[6]</sup>,被称为“植物黄金”<sup>[7]</sup>。近几年来,随着人们对生物资源的重

提下的释放规律[J].中国食品学报,2018,18(12):309-318.

[8] Sonmezdag A S, Kelebek H, Selli S. Characterization of bioactive and volatile profiles of thyme (*Thymus vulgaris* L.) teas as affected by infusion times [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2018, 12(4): 2570-2580.

[9] Xu Y Q, Wang C, Li C W, et al. Characterization of aroma-active compounds of pu-erh tea by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) and simultaneous distillation-extraction (SDE) coupled with GC-olfactometry and GC-MS[J]. Food Analytical Methods, 2016, 9(5): 1188-1198.

[10] 普冰清,徐怡,杜春华,等.不同茶叶中茶多酚类成分及咖啡碱含量研究[J].食品工业,2017,38(2):301-303.

[11] 纪荣全,张凌云.论泡茶用水[J].福建茶叶,2015(1):4-7.

[12] 何金柱,杨普,袁自春.温度、时间、pH 值对红茶有效成分浸提率的影响[J].安徽农业科学,2005,33(3):467-468.

[13] 宛晓春.茶叶生物化学[M].3版.北京:中国农业出版社,2014.

[14] 李小满.不同水质对绿茶饮料品质影响的研究[J].中国茶叶加工,2001(2):28-30.

[15] 周丹蓉.绿茶提取物浸提工艺研究及分离过程有机溶剂残留分析[D].武汉:华中农业大学,2008.

[16] Ma C, Qu Y, Zhang Y, et al. Determination of nerolidol in teas using headspace solid phase microextraction-gas chromatography[J]. Food Chemistry, 2014, 152: 285-290.

[17] 蔡烈伟,许勇泉,周炎花,等.不同产区乌龙茶感官品质与茶汤化学成分分析[J].福建茶叶,2016(11):17-20.

[18] 吕世懂,吴远双,姜玉芳,等.不同产区乌龙茶香气特征及差异分析[J].食品科学,2014,35(2):146-153.

[19] 杨延群.矿泉乌龙茶的研制[J].食品科学,1995,16(11):23-24.

视,绿原酸的提取工艺受到广泛关注。麻城福白菊作为大别山优质特色资源,是获取绿原酸的良好来源。

目前,国内外对麻城福白菊遗传特性的研究较多<sup>[8]</sup>,而对其活性成分的研究相对较少<sup>[9]</sup>,麻城福白菊的丰厚资源尚未得到充分利用。本研究采用微波辅助提取的方法从麻城福白菊中提取绿原酸,选择微波时间、微波功率、料液比等进行单因素试验,通过响应面分析法优化福白菊中绿原酸的最佳提取工艺,同时探究福白菊中绿原酸的抗氧化活性,以期为后续麻城福白菊的开发及应用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

1.1.1 原料与试剂 福白菊,产自湖北省麻城市福田河镇;无水乙醇、维生素 C、铁氰化钾、氯化铁、三氯乙酸、焦性没食子酸等(均为分析纯),购自国药集团化学试剂有限公司;三羟基氨基甲烷(分析纯),购自阿拉丁试剂(上海)有限公司;盐酸(分析纯),购自中平能化集团开封东大化工有限公司。

1.1.2 仪器与设备 FW100 高速万能粉碎机,购自天津市泰斯特仪器有限公司;标准检验筛,购自上虞市五四筛厂;AL204 电子天平,购自梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;WBFY-201 微波化学反应器、SHZ-D(Ⅲ)环水真空泵,均购自巩义市予华仪器有限责任公司;723 型可见分光光度计,购自上海光谱仪器有限公司;H/T18MM 台式高速离心机,购自湖南赫西仪器装备有限公司;DK-98-IIA 电热恒温水浴锅,购自天津市泰斯特仪器有限公司。

### 1.2 试验方法

1.2.1 绿原酸的提取工艺流程 将已经干燥的麻城福白菊放入粉碎机中粉碎后过 80 目筛备用。准确称取 0.5 g 福白菊粉末和 80% 乙醇溶液,按照一定的配比混合后移入微波反应器中,设置一定的微波时间、微波功率,对其中的绿原酸进行提取。将处理好的溶液进行抽滤,再将滤液转移到 25 mL 容量瓶中,加 80% 乙醇溶液定容,摇匀。用移液管移取 1 mL 溶液于 100 mL 容量瓶中,加 80% 乙醇溶液定容。以 80% 乙醇溶液作为空白对照,于分光光度计中测定待测液在 328 nm 波长下的吸光度<sup>[10]</sup>。

1.2.2 绿原酸提取率的计算 利用绿原酸标准样品绘制标准曲线。在 328 nm 波长下测定吸光度,根据所得绿原酸标准曲线公式  $D = 41.757C + 0.0387$

及公式(1)计算绿原酸提取率( $y$ )<sup>[11]</sup>:

$$y = CVn/m \times 100\% \quad (1)$$

式中: $D$  为吸光度; $C$  为绿原酸浓度,mg/mL; $V$  为体积,L; $n$  为稀释倍数; $m$  为福白菊粉末质量,g。

#### 1.2.3 单因素试验

##### 1.2.3.1 微波时间对福白菊绿原酸提取率的影响

分别称取 0.5 g 福白菊粉与 80% 乙醇溶液,按照料液比 1 g : 20 mL 混合,设定微波功率为 400 W,在微波时间分别为 10、20、30、40、50 s 的条件下进行 3 次平行试验,在 328 nm 波长下测定其吸光度,并计算绿原酸提取率。

##### 1.2.3.2 料液比对福白菊绿原酸提取率的影响

分别称取 0.5 g 福白菊粉与 80% 乙醇溶液,按照设定的料液比混合,设定微波时间为 30 s,微波功率为 400 W,在料液比分别为 1 g : 10 mL、1 g : 15 mL、1 g : 20 mL、1 g : 25 mL、1 g : 30 mL 的条件下进行 3 次平行试验,在 328 nm 波长下测定其吸光度,并计算绿原酸提取率。

##### 1.2.3.3 微波功率对福白菊绿原酸提取率的影响

分别称取 0.5 g 福白菊粉与 80% 乙醇溶液,按照料液比 1 g : 20 mL 混合,设定微波时间为 30 s,在微波功率分别为 80、240、400、640、800 W 的条件下进行 3 次平行试验,在 328 nm 波长下测定其吸光度,并计算绿原酸提取率。

1.2.4 响应面法优化提取工艺 根据单因素试验结果,以料液比、微波功率、微波时间等 3 个因素为自变量,以绿原酸提取率为响应值,用 Box - Behnken design 法设计试验方案,得出微波辅助提取麻城福白菊中绿原酸的最佳工艺条件<sup>[12]</sup>。试验因素与水平见表 1。

表 1 响应面试验因素与水平

水平	因素		
	A:微波时间 (s)	B:微波功率 (W)	C:料液比 (g : mL)
-1	10	400	1 : 15
0	20	640	1 : 20
1	30	800	1 : 25

1.2.5 福白菊中绿原酸抗氧化活性的测定方法 总抗氧化能力测定方法<sup>[13]</sup>:取 0.2 mL 不同质量浓度(0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL)的样品溶液,分别加入 2.5 mL 磷酸盐溶液(pH 值为 6.6)和 2.5 mL 1%  $K_3Fe(CN)_6$  溶液,于 50 ℃ 水浴 20 min,再加入 2.5 mL 10% 三氯乙酸溶液。混匀后于 1 000 r/min

离心 10 min, 取 5 mL 上清液, 加入 5 mL 蒸馏水和 1 mL 0.1%  $\text{FeCl}_3$  溶液, 充分振荡后, 于分光光度计中在 700 nm 波长下测定待测液吸光度, 并以相同浓度的维生素 C 溶液作为阳性对照。吸光度越高, 表明其总抗氧化能力越强。

超氧阴离子清除能力测定方法<sup>[14]</sup>: 取 0.2 mL 不同质量浓度 (0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL) 的样品溶液, 加入 5.7 mL 50 mmol/L Tris-HCl 缓冲液 (pH 值为 8.2), 于 25 °C 水浴 10 min, 再加入 0.1 mL 6 mmol/L 邻苯三酚。迅速摇匀后于分光光度计中在 320 nm 波长下测定反应时间为 1 min 时的吸光度  $D_x$ , 同时以等浓度的样品溶液作为参比, 以扣除样品本身所带的颜色干扰; 用等体积的水代替样品, 以 Tris-HCl 作为空白参比, 测定反应时间为 1 min 时的吸光度  $D_0$ , 并以相同浓度的维生素 C 溶液作为阳性对照。在 320 nm 波长下, 福白菊中绿原酸对超氧阴离子的清除能力计算公式如下:

$$\text{清除率} = (D_0 - D_x) / D_0 \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $D_0$  为 Tris-HCl 空白对照液的吸光度;  $D_x$  为样品溶液的吸光度。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验

#### 2.1.1 微波功率对福白菊绿原酸提取率的影响

在料液比为 1 g : 20 mL、微波时间为 30 s 的固定条件下, 改变微波功率, 研究其对绿原酸提取率的影响。由图 1 可知, 微波功率在 80 ~ 400 W 范围内

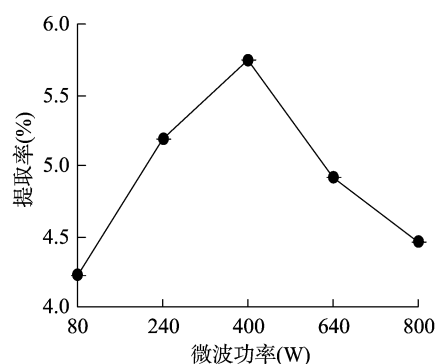


图1 微波功率对绿原酸提取率的影响

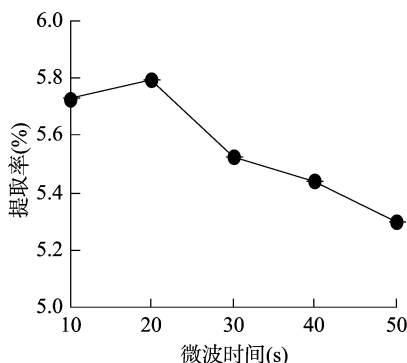


图2 微波时间对绿原酸提取率的影响

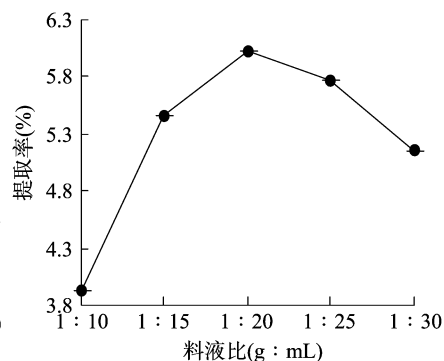


图3 料液比对绿原酸提取率的影响

### 2.2 响应面试验优化

2.2.1 试验设计与结果 根据单因素试验的结果, 以绿原酸提取率为响应值, 采用 Box-Behnken 试验设计对 3 个因素 [微波时间 (A)、微波功率 (B)、料液比 (C)], 进行 3 因素 3 水平的响应面试验分析,

时, 随着微波功率的增加, 提取率升高; 当微波功率为 400 W 时, 绿原酸提取率达到最大值 (5.75%); 当微波功率继续增加时, 绿原酸提取率呈现出下降的趋势, 这是由于当微波功率过大时, 温度升高导致绿原酸的结构遭到破坏<sup>[15]</sup>, 从而影响了福白菊中绿原酸的提取率。

2.1.2 微波时间对绿原酸提取率的影响 在料液比为 1 g : 20 mL、微波功率为 400 W 的固定条件下, 改变微波时间, 研究其对绿原酸提取率的影响。由图 2 可知, 当微波功率为 10 ~ 20 s 时, 绿原酸提取率随微波时间的增加而升高; 当微波时间为 20 s 时, 绿原酸提取率达到最大值 (5.79%); 当微波时间继续增加时, 绿原酸提取率呈现出下降的趋势, 这是由于微波时间过长时, 微波能量聚集, 使得细胞壁迅速破裂, 水分立即蒸发, 绿原酸来不及融入乙醇<sup>[16-17]</sup>, 另一方面, 由于乙醇具有挥发性, 随着微波时间的延长, 其有效浓度也逐渐降低, 从而影响了提取率。

2.1.3 料液比对绿原酸提取率的影响 在微波功率为 400 W、微波时间为 30 s 的固定条件下, 改变料液比, 研究其对绿原酸提取率的影响。由图 3 可知, 当提取料液比为 1 g : 10 mL 至 1 g : 20 mL 时, 绿原酸提取率随之升高; 当料液比为 1 g : 20 mL 时, 绿原酸提取率达到最大值 (6.03%); 当料液比为 1 g : 25 mL 至 1 g : 30 mL 时, 绿原酸提取率呈现下降的趋势, 这可能是因为当福白菊原料减少时, 提取得到的绿原酸也减少。

试验设计及结果见表 2。

利用 Design-Expert 8.0.6 软件对试验结果进行多元回归拟合, 得到绿原酸提取率 (Y) 与微波时间 (A)、微波功率 (B) 和料液比 (C) 的二次多项回归模型方程为

表 2 Box – Behnken 试验设计及结果

试验号	A	B	C	提取率 (%)
1	-1	-1	0	5.85
2	1	-1	0	5.86
3	-1	1	0	5.95
4	1	1	0	6.05
5	-1	0	-1	6.05
6	1	0	-1	5.67
7	-1	0	1	5.69
8	1	0	1	6.19
9	0	-1	-1	5.81
10	0	1	-1	6.04
11	0	-1	1	6.12
12	0	1	1	6.12
13	0	0	0	6.31
14	0	0	0	6.27
15	0	0	0	6.22
16	0	0	0	6.22
17	0	0	0	6.25

$$Y = 6.25 + 0.029A + 0.065B + 0.069C + 0.022AB + 0.22AC - 0.058BC - 0.22A^2 - 0.10B^2 - 0.13C^2。$$

表 3 回归方程的方差分析结果

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	0.65	9	0.072	32.29	<0.000 1	**
A	$6.613 \times 10^{-3}$	1	$6.613 \times 10^{-3}$	3.62	0.098 9	
B	0.034	1	0.034	18.49	0.003 6	**
C	0.038	1	0.038	20.69	0.002 6	**
AB	$2.025 \times 10^{-3}$	1	$2.025 \times 10^{-3}$	1.11	0.327 5	
AC	0.19	1	0.19	105.92	<0.000 1	**
BC	0.013	1	0.013	7.24	0.031 1	*
A <sup>2</sup>	0.21	1	0.21	116.10	<0.000 1	**
B <sup>2</sup>	0.044	1	0.044	23.97	0.001 8	**
C <sup>2</sup>	0.071	1	0.071	38.63	0.000 4	**
残差	0.013	7	$1.828 \times 10^{-3}$			
失拟项	$7.075 \times 10^{-3}$	3	$2.358 \times 10^{-3}$	1.65	0.313 1	
净误差	$5.720 \times 10^{-3}$	4	$1.430 \times 10^{-3}$			
总离差	0.66	16				
R <sup>2</sup>	0.980 6					
R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	0.955 6					

注：“\*”表示对结果影响显著( $P < 0.05$ )；“\*\*”表示对结果影响极显著( $P < 0.01$ )。

2.2.2 响应面分析 响应面及等高线可直观清晰地反映 2 个因素之间的交互作用,当响应面越趋近平面时,表明 2 个因素之间的交互作用越弱;当响应

对该模型进行方差分析,由表 3 可知,该模型( $P < 0.000 1$ )极显著;失拟值不显著( $P = 0.313 1 > 0.05$ ),表明该模型不失拟,十分合理; $R^2 = 0.980 6$ ,表明该模型的相关性较好,能良好地反映 3 个因素与绿原酸提取率之间的关系; $R^2_{\text{adj}} = 0.955 6$ ,表明该模型具有较好的相关性<sup>[18]</sup>。综上,可运用该模型对福白菊中的绿原酸进行分析和检验。在一次项中,A(微波时间)对绿原酸提取率的影响不显著,B(微波功率)和 C(料液比)对绿原酸提取率的影响极显著( $P < 0.01$ )<sup>[19]</sup>;在交互项中,AB 对绿原酸提取率的影响不显著( $P = 0.098 9 > 0.05$ ),BC 对绿原酸提取率的影响显著( $P < 0.05$ ),AC 对绿原酸提取率的影响极显著( $P < 0.000 1$ ),表明微波时间和料液比、微波功率和料液比之间存在交互作用;在二次项中,A<sup>2</sup>、B<sup>2</sup>、C<sup>2</sup>对绿原酸提取率的影响皆表现为极显著( $P < 0.01$ )。3 个因素对福白菊绿原酸提取率的影响主次顺序表现为料液比 > 微波功率 > 微波时间。

优化得到的麻城福白菊中绿原酸微波辅提的最佳参数组合:微波功率为 640 W,料液比为 1 g : 20 mL,微波时间为 25 s,在该条件下,绿原酸提取率的理论值为 6.28%。

面越趋近拱形时,表明 2 个因素之间的交互作用越强;当等高线呈现椭圆形时,表明 2 个因素之间的交互作用较强,对绿原酸提取率的影响显著<sup>[20]</sup>。

由图 4-a 可知,在微波时间和微波功率对绿原酸提取率的影响方面,对应的响应面较平缓,表明微波时间和微波功率之间的交互作用不显著<sup>[20]</sup>;图 4-c 中的响应面趋近拱形,等高线较密集,呈现椭圆形,表明微波时间和料液比之间的交互作用显著;图 4-e 的响应面坡度较陡,图 4-f 的等高线呈现椭圆形,表明微波功率与料液比之间的交互作用较明显。

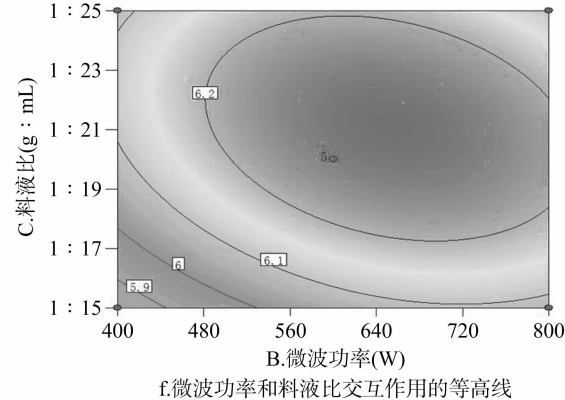
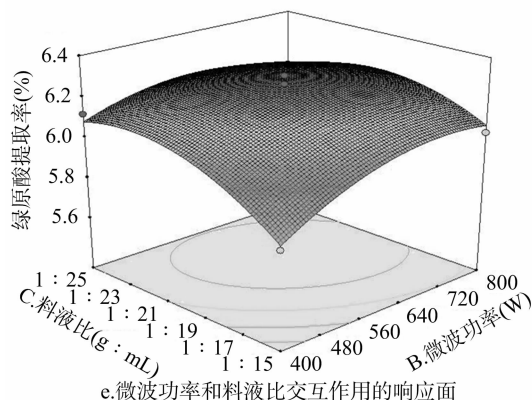
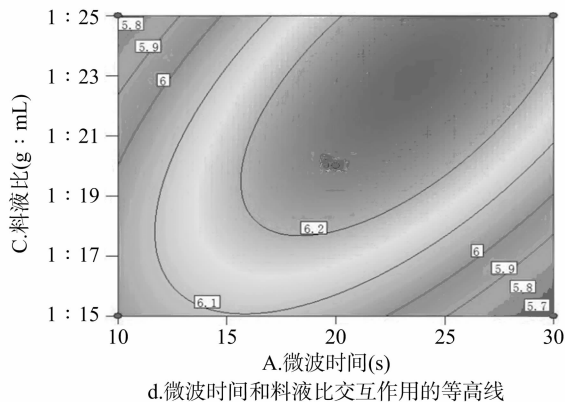
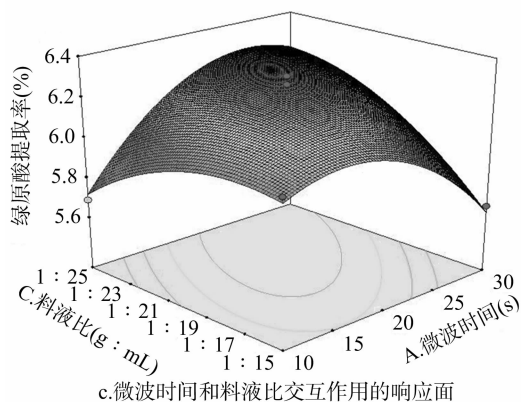
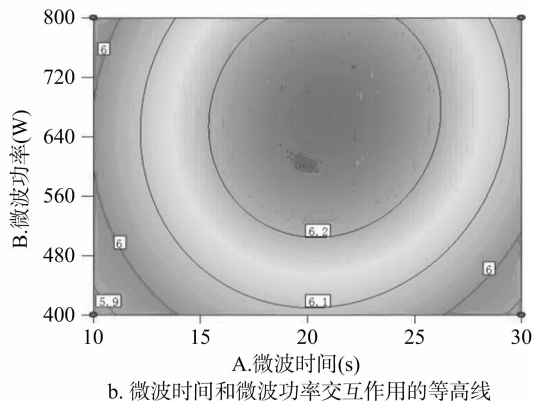
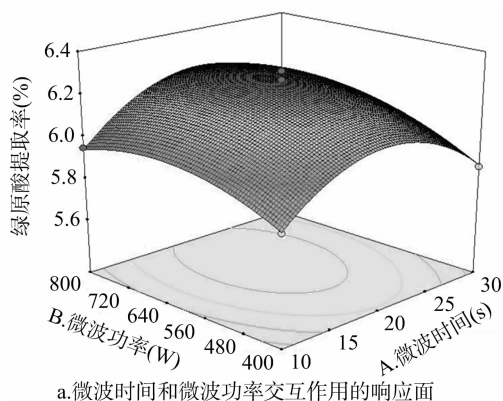


图4 各因素间交互作用对绿原酸提取率影响的响应面及等高线

**2.2.3 验证试验** 采用响应面分析法优化得到最佳工艺条件:微波时间为 25 s,微波功率为 640 W,料液比为 1 g : 20 mL,在此条件下绿原酸的理论提取率为 6.28%。在最优工艺条件下进行 3 次平行验证试验,测得绿原酸的实际提取率为 6.25%,与预测结果基本一致,可见该模型有效。

### 2.3 福白菊中绿原酸抗氧化活性的测定

**2.3.1 总抗氧化能力测定结果** 如图 5 所示,随着

样品质量浓度的增加,吸光度逐渐提高,即福白菊中绿原酸的总抗氧化能力逐渐增强<sup>[21]</sup>;当绿原酸质量浓度为 1.0 mg/mL 时,吸光度达到最大值,在该浓度下绿原酸的总抗氧化能力最强,与同浓度下维生素 C 溶液的总抗氧化能力比较可知,福白菊中绿原酸有较强的抗氧化能力。

**2.3.2 超氧阴离子清除能力测定结果** 如图 6 所示,随着样品质量浓度的增加,福白菊中绿原酸对

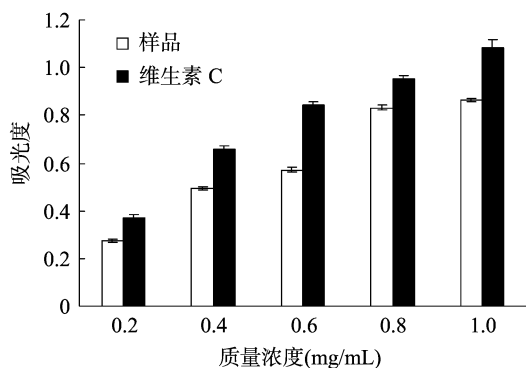


图5 不同质量浓度绿原酸的总抗氧化能力

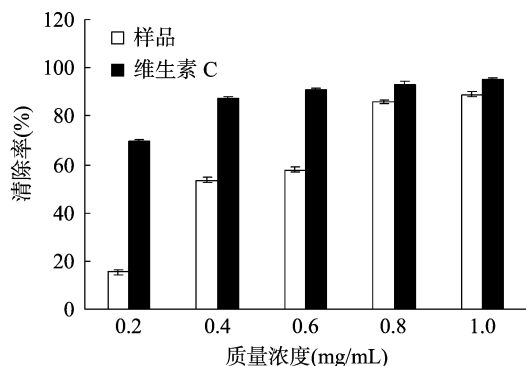


图6 不同质量浓度绿原酸对超氧阴离子的清除能力

超氧阴离子的清除能力逐渐增强;当绿原酸质量浓度为 1.0 mg/mL 时,清除率达到 88.97%,与该浓度下维生素 C 对超氧阴离子的清除率基本持平。以上结果表明,福白菊中绿原酸对超氧阴离子有较强的清除能力。

### 3 结论

综上,以麻城福白菊为原料,以福白菊中绿原酸的提取率为指标,利用微波辅助提取的方法,在单因素试验的基础上,通过响应面分析法得到提取麻城福白菊中绿原酸的最佳工艺条件:微波功率为 640 W,微波时间为 25 s,料液比为 1 g : 20 mL。绿原酸提取率在该条件下可达 6.25%。与其他方法相比,微波辅助提取法更加简单、高效,为麻城福白菊中绿原酸的进一步开发奠定了理论基础。另外,当绿原酸质量浓度达到 1.0 mg/mL 时,其抗氧化能力达到最大值,是同浓度下维生素 C 抗氧化能力的 79.9%,表现出绿原酸较高的抗氧化能力;在该浓度下,绿原酸对超氧阴离子的清除能力最强,为同浓度下维生素 C 清除能力的 93.7%,表明福白菊中绿原酸对超氧阴离子具有较强的清除能力,可为后续利用麻城福白菊研制具有抗氧化活性的产品提供科学依据。

### 参考文献:

- [1] 徐雷,刘常丽,王慧弟,等. 福白菊花粉活力和柱头可授性研究[J]. 中药材,2012,35(10):1546-1550.
- [2] 秦贺兰,游捷,高俊平. 菊花 18 个品种的 RAPD 分析[J]. 园艺学报,2002,29(5):488-490.
- [3] 徐雷,谢彩香,胡志刚,等. 湖北道地药材福白菊产地生态适宜性数值区划研究[J]. 时珍国医国药,2016,27(4):954-957.
- [4] Yusaku N, Kuniyo I. Inhibitory effects of chlorogenic acids from green coffee beans and cinnamate derivatives on the activity of porcine pancreas  $\alpha$ -amylase isozyme I[J]. Food Chemistry,2011,127(4):1532-1539.
- [5] 冯攀. 杜仲叶中绿原酸提取纯化绿色工艺的研究[D]. 西安:陕西科技大学,2014.
- [6] Wianowska D, Gil M. Recent advances in extraction and analysis procedures of natural chlorogenic acids[J]. Phytochemistry Reviews, 2019,18(1):273-302.
- [7] 张露,陈豆弟. 绿原酸提取工艺研究进展[J]. 杭州化工,2012,42(4):4-6,11.
- [8] 李伦,熊永兴,赵玉霞,等. 麻城福白菊的 ISSR 遗传图谱的构建[J]. 中国药师,2014,17(12):2059-2063.
- [9] 熊永兴. 福白菊种质资源研究及其优良品系的优选[D]. 武汉:湖北中医药大学,2014.
- [10] 常学峰. 金银花中绿原酸的提取纯化新方法的研究[D]. 青岛:中国石油大学,2013.
- [11] 张明明,黄芳,张长丽. 响应面法优化野菊花中绿原酸的提取工艺[J]. 江苏农业科学,2014,42(11):327-329.
- [12] 刘刚,秦高,任雪. 响应面法优化葵花粕中绿原酸提取工艺[J]. 安徽农业科学,2012,40(21):11050-11052,11058.
- [13] 王化,李梦莎,何丹娆,等. 3 种野生越桔属植物浆果提取物抗氧化活性比较研究[J]. 中国酿造,2018,37(10):148-152.
- [14] 崔珊珊,毕凯媛,吴杰,等. 响应面法优化树莓鞣花酸提取工艺及其体外抗氧化活性[J]. 食品工业科技,2019,40(1):149-155,161.
- [15] 帅丽乔娃,郑国栋,张清峰,等. 响应面法优化微波提取菝葜绿原酸工艺[J]. 中国食品学报,2015,15(6):102-109.
- [16] 丘秀珍,何慕贞. 微波辅助提取百香果中绿原酸的工艺研究[J]. 韶关学院学报,2012,33(2):31-34.
- [17] Mills C E, Oruna-Concha M J, Mottram D S, et al. The effect of processing on chlorogenic acid content of commercially available coffee[J]. Food Chemistry,2013,141(4):3335-3340.
- [18] 张崇军,唐贤华,赵龙,等. 响应面法优化大曲中黄曲霉毒素 B1 提取工艺[J]. 中国酿造,2018,37(12):132-136.
- [19] 刘振春,钱月. 响应面优化超声波微波辅助提取葵花籽绿原酸工艺[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(10):157-164.
- [20] 容晨曦,张秀玲,李铁柱,等. 响应面法优化微波法提取刺玫籽原花青素的工艺[J]. 食品科学,2016,37(18):41-46.
- [21] 郭毓菲,张诗泉,王汉迪,等. 超声波法提取水溶性茯苓多糖工艺优化及其抗氧化活性探究[J]. 中国酿造,2018,37(12):160-164.