

DOI:10.3969/j.issn.1672-5425.2026.01.009

苏慧慧,程晓琳,杨巧丹,等. 桃花总黄酮的超声辅助双水相提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 化学与生物工程, 2026, 43(1): 57-63.

SU H H, CHENG X L, YANG Q D, et al. Optimization in ultrasonic-assisted aqueous two-phase extraction process of total flavonoids from peach blossom and its antioxidant activity[J]. Chemistry & Bioengineering, 2026, 43(1): 57-63.

桃花总黄酮的超声辅助双水相提取工艺优化及 抗氧化活性研究

苏慧慧¹, 程晓琳¹, 杨巧丹¹, 邬国松^{2,3}

(1. 豫北医学院, 河南 新乡 453003; 2. 南方医科大学南方医院白云分院, 广东 广州 510599;

3. 南方医科大学南方医院太和分院, 广东 广州 510599)

摘要:以桃花花蕾为研究对象,利用聚乙二醇(PEG)-硫酸铵双水相体系,采用超声辅助双水相法提取桃花总黄酮,通过单因素实验和响应面法对提取工艺进行了优化,通过测定 DPPH、ABTS 自由基清除率对其抗氧化活性进行了评价,并与经典双水相法的提取效果进行了比较。结果表明,超声辅助双水相法提取桃花总黄酮的最佳工艺为:PEG400 质量分数 27%、硫酸铵质量分数 27%、液料比 30:1(mL:g)、超声功率 70 W、超声温度 60℃、超声时间 40 min,在此条件下,桃花总黄酮提取量为 $(48.39 \pm 0.61) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,高于经典双水相法 $[(40.48 \pm 0.38) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}]$;超声辅助双水相法提取的桃花总黄酮对 DPPH、ABTS 自由基有较强的清除作用,其抗氧化活性高于经典双水相法提取的桃花总黄酮。

关键词:桃花;总黄酮;超声辅助双水相法;响应面法;抗氧化活性

中图分类号:R284.2

Optimization in Ultrasonic-Assisted Aqueous Two-Phase Extraction Process of Total Flavonoids from Peach Blossom and Its Antioxidant Activity

SU Huihui¹, CHENG Xiaolin¹, YANG Qiaodan¹, WU Guosong^{2,3}

(1. North Henan Medical University, Xinxiang 453003, China; 2. Baiyun Branch of Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510599, China; 3. Taihe Branch of Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510599, China)

Abstract: Taking peach blossom buds as a research object, we extracted total flavonoids from peach blossom via an ultrasonic-assisted aqueous two-phase method by using a polyethylene glycol(PEG)-ammonium sulfate aqueous two-phase system. Moreover, we optimized the extraction process of total flavonoids from peach blossom through single-factor experiments and response surface methodologies, and evaluated the antioxidant activity by the determination of scavenging rates of DPPH and ABTS free radicals. Furthermore, we compared the extraction efficiency with that of the classical aqueous two-phase method. The results show that the optimal ultrasonic-assisted aqueous two-phase extraction process of total flavonoids from peach blossom is as follows: the PEG400 mass fraction of 27%, the ammonium sulfate mass fraction of 27%, the liquid-solid ratio of 30:1(mL:g), the ultrasonic power of 70 W, the ultrasonic temperature of 60℃, and the ultrasonic time of 40 min. Under above conditions, the extraction amount of total flavonoids from peach blossom is $(48.39 \pm 0.61) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,

基金项目:河南省科技攻关项目(232102310337),新乡医学院三全学院骨干教师培养计划项目(SQ2021GGJS05),广州白云区院长基金项目(BYY23011),广州市中医药和中西医结合科技项目(20242A011032)

收稿日期:2024-07-03

作者简介:苏慧慧(1989—),女,河南新乡人,副教授,研究方向:天然药物提取及活性成分, E-mail: suhui1126@126.com。

which is higher than that of the classical aqueous two-phase method $[(40.48 \pm 0.38) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}]$. The total flavonoids extracted by the ultrasonic-assisted aqueous two-phase method has strong scavenging effects on DPPH and ABTS free radicals, and its antioxidant activity is higher than that extracted by classical aqueous two-phase method.

Keywords: peach blossom; total flavonoids; ultrasonic-assisted aqueous two-phase method; response surface methodology; antioxidant activity

桃树[*Prunus persica* (L.) Batsch]属蔷薇科落叶乔木,是药食同源植物。桃花性平、苦,有养心活血、润肠通便、润泽皮肤的功效^[1-2]。桃花含有黄酮、多糖、绿原酸、维生素、蛋白质、微量元素等成分,其中,黄酮类化合物具有抗氧化、抗炎、抗肿瘤等活性,被广泛应用于食品、药品等领域^[3-4]。目前,黄酮类化合物的常用提取方法有热水提取法、有机溶剂提取法、微波辅助提取法、超声辅助提取法、超临界流体萃取法等^[5]。热水提取法操作简单,但提取效率低;有机溶剂提取法提取效率高,但有机溶剂使用量大,可能对环境造成污染;微波辅助提取法提取速率快,溶剂用量少,但设备要求较高,且对热敏感的黄酮类化合物可能造成破坏;超声辅助提取法操作简便,提取效率高,但耗时长^[6];超临界流体萃取法在提取效率、环保性方面表现优异,但设备成本较高,因此更适合大规模工业化生产。有效的提取方法在提高提取量的同时能保证目标产物不被破坏^[7]。双水相萃取技术(aqueous two-phase extraction, ATPE)具有条件温和、操作简单、提取效率高等优点,可以根据组分在上下相的选择性分配,实现黄酮类化合物的高效分离^[8-9]。

在此,作者以桃花花蕾为研究对象,采用超声辅助双水相法提取桃花总黄酮,通过单因素实验和响应面法对其提取工艺进行优化,通过测定 DPPH、ABTS 自由基清除率对其抗氧化活性进行评价,并与经典双水相法的提取效果进行比较,以期为桃花资源的综合开发利用提供参考。

1 实验

1.1 材料、试剂与仪器

桃花花蕾,市售;于 60 ℃ 干燥至恒重,粉碎过 80 目筛,避光冷藏保存。

芦丁标准品,中国食品药品检定研究院;聚乙二醇(PEG)、硫酸铵、无水乙醇、氢氧化钠、亚硝酸钠、硝酸铝、抗坏血酸,天津化学试剂公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、2,2'-联氮-二(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS),北京索莱宝科技有限公司。

UV1900i 型紫外可见分光光度计,日本岛津;LC-

RE-2000B 型旋转蒸发仪,上海析域仪器设备有限公司;KQ-300DB 型数控超声波清洗器,昆山禾创超声仪器有限公司;InfiniteM200 型酶标仪,瑞士 Tecan 公司。

1.2 桃花总黄酮的提取及含量测定

超声辅助双水相法:准确称取 1 g 桃花粉末,按一定液料比加入 PEG-硫酸铵双水相体系中,在一定温度下超声至完全溶解,静置至溶液完全分层,过滤,即得桃花总黄酮提取液。

经典双水相法:准确称取 1 g 桃花粉末,按液料比 30:1 (mL:g,下同)加入 27% PEG400-27% 硫酸铵双水相体系中,于 60 ℃ 超声(70 W)提取 40 min,静置至溶液完全分层,过滤,即得桃花总黄酮提取液。

采用 $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3\text{-NaOH}$ 分光光度法^[10]测定提取液中桃花总黄酮含量,标准曲线方程为: $y = 13.343x + 0.0041$, $R^2 = 0.9991$ 。按式(1)计算桃花总黄酮的提取量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$):

$$\text{提取量} = \frac{c \times V \times n}{m} \quad (1)$$

式中: c 为提取液中桃花总黄酮的含量, $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$; V 为提取液体积, mL; n 为稀释倍数; m 为桃花粉末质量, g。

1.3 桃花总黄酮的提取工艺优化

1.3.1 双水相体系的筛选

采用不同分子量(200、400、600、1 000、1 500)的 PEG 与硫酸铵组成 PEG-硫酸铵双水相体系,调节两者质量分数分别为 30%-25%、28.3%-25.8%、26.7%-26.7%、25%-27.5%、23.3%-28.3%。考察桃花总黄酮在不同双水相体系中的提取量,确定最优的双水相体系。

1.3.2 单因素实验

固定桃花粉末为 1 g,采用单因素实验分别考察 PEG400 质量分数(24%、25%、26%、27%、28%)、硫酸铵质量分数(26%、27%、28%、29%、30%)、液料比(15:1、20:1、25:1、30:1、35:1)、超声功率(50、60、70、80、90 W)、超声温度(40、50、60、70、80 ℃)、超声时间(20、30、40、50、60 min)对桃花总黄酮提取量的

影响。

1.3.3 响应面实验

在单因素实验的基础上,以 PEG400 质量分数(A)、硫酸铵质量分数(B)、液料比(C)和超声功率(D)为考察因素,以桃花总黄酮提取量为响应值,通过 Box-Behnken 设计 4 因素 3 水平响应面实验,进一步优化桃花总黄酮的提取工艺。

1.4 桃花总黄酮的抗氧化活性评价

将最优条件下得到的桃花总黄酮提取液浓缩干燥,得到桃花总黄酮提取物,加超纯水配制成桃花总黄酮样品溶液。

在 100 μL 不同质量浓度(0.03、0.06、0.09、0.12、0.15、0.18、0.21、0.24、0.27 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)的桃花总黄酮样品溶液中加入 100 μL 0.2 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 DPPH 工作液,避光 25 $^{\circ}\text{C}$ 孵育 30 min;以维生素 C 为阳性对照、超纯水为空白对照,测定 517 nm 处吸光度。在 100 μL 不同质量浓度(0.03、0.06、0.09、0.12、0.15、0.18、0.21、0.24、0.27、0.30 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)的桃花总黄酮样品溶液中加入 7.5 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ABTS 工作液,37 $^{\circ}\text{C}$ 避光孵育 1 h;以维生素 C 为阳性对照、超纯水为空白对照,测定 734 nm 处吸光度。按式(2)计算桃花总黄酮对 DPPH 自由基/ABTS 自由基的清除率:

$$\text{清除率} = \frac{A_2 - (A_1 - A_0)}{A_2} \times 100\% \tag{2}$$

注: A_0 为桃花总黄酮样品溶液+超纯水的吸光度; A_1 为桃花总黄酮样品溶液+DPPH 工作液/ABTS 工作液的吸光度; A_2 为 DPPH 工作液/ABTS 工作液+超纯水的吸光度。

1.5 数据处理

所有实验重复 3 次,结果取平均值。利用 SPSS 20.0 软件进行显著性分析,利用 Design-Expert 13 软件进行响应面实验设计及数据分析。

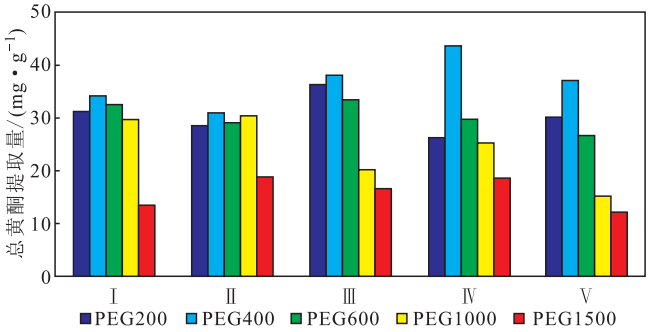
2 结果与讨论

2.1 双水相体系的确定(图 1)

由图 1 可知,以 PEG400-硫酸铵双水相体系提取的桃花总黄酮提取量最高。可能是由于,黄酮类化合物具有疏水性,PEG 分子量越大(疏水性就越强)越利于黄酮类化合物在上相的富集;但溶液的黏度会随着 PEG 分子量的增大而增大,从而影响物质的分配^[11]。因此,选择 PEG400-硫酸铵双水相体系进行桃花总黄酮的提取。

2.2 单因素实验结果

2.2.1 PEG400 质量分数对桃花总黄酮提取量的影



注: I ~ V 代表 PEG-硫酸铵的质量分数分别为: 30%-25%、28.3%-25.8%、26.7%-26.7%、25%-27.5%、23.3%-28.3%

图 1 双水相体系对桃花总黄酮提取量的影响

Fig. 1 Effect of aqueous two-phase system on extraction amount of total flavonoids from peach blossom

响(图 2)

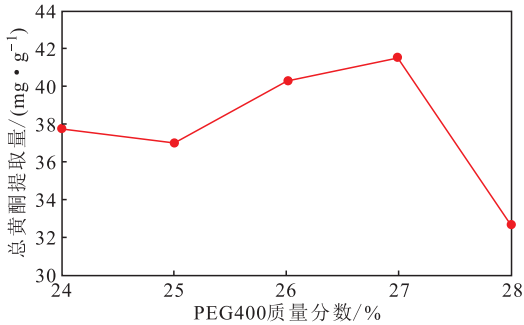


图 2 PEG400 质量分数对桃花总黄酮提取量的影响

Fig. 2 Effect of PEG400 mass fraction on extraction amount of total flavonoids from peach blossom

由图 2 可知,桃花总黄酮提取量随 PEG400 质量分数的增加整体呈先升高后降低的趋势,在 PEG400 质量分数为 27% 时,提取量达到最高,为 41.5 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。可能是由于,随着上相 PEG400 质量分数的增加,硫酸铵与 PEG400 中的水分子水合能力增强,上相体积相应增大,而黄酮类化合物主要富集于上相,导致提取量升高;当 PEG400 质量分数超过 27% 后,溶液黏度较大,阻碍两相间物质的转移,不利于总黄酮的提取,导致提取量降低^[12]。因此,选择 27% 为响应面实验 PEG400 质量分数的中心点。

2.2.2 硫酸铵质量分数对桃花总黄酮提取量的影响(图 3)

由图 3 可知,随着硫酸铵质量分数的增加,桃花总黄酮提取量先升高后降低,当硫酸铵质量分数为 27% 时,提取量达到最高。这是由于,硫酸铵质量分数增加时,硫酸铵与 PEG400 中的水分子水合能力增强,下相体积相应增大,上相中 PEG400 的相对浓度增加,导致提取量升高;当硫酸铵质量分数超过 27% 后,双水相

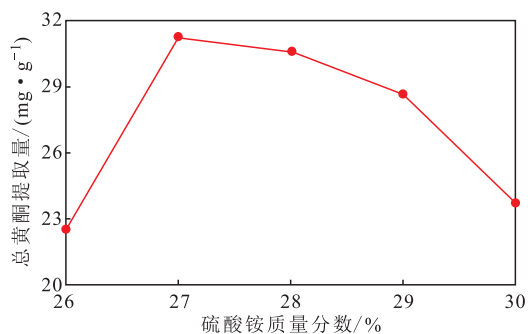


图3 硫酸铵质量分数对桃花总黄酮提取量的影响

Fig. 3 Effect of ammonium sulfate mass fraction on extraction amount of total flavonoids from peach blossom

体系的稳定性遭到破坏,上相体积过小,且硫酸铵过饱和后会析出^[13]。因此,选择27%为响应面实验硫酸铵质量分数的中心点。

2.2.3 液料比对桃花总黄酮提取量的影响(图4)

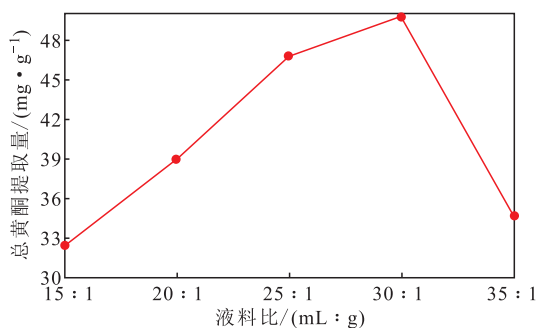


图4 液料比对桃花总黄酮提取量的影响

Fig. 4 Effect of liquid-solid ratio on extraction amount of total flavonoids from peach blossom

由图4可知,桃花总黄酮提取量随液料比的增大先升高后降低,当液料比为30:1时,提取量达到最高。这是由于,液料比增大时,桃花粉末与PEG400-硫酸铵溶液的接触面积相应增大,有利于黄酮类化合物的溶出,导致提取量升高;当液料比超过30:1后,其他物质会竞争性溶出,导致提取量降低^[14]。因此,选择30:1为响应面实验液料比的中心点。

2.2.4 超声功率对桃花总黄酮提取量的影响(图5)

由图5可知,桃花总黄酮提取量随超声功率的增大先升高后降低,当超声功率为80 W时,提取量达到最高。主要是由于,增大超声功率能够加速桃花粉末在PEG400-硫酸铵溶液中的流动,有助于黄酮类化合物的提取,导致提取量升高;但当超声功率过大时,强烈的超声波可能会引起黄酮类化合物的分解,进而导致提取量降低。因此,选择80 W为响应面实验超声功率的中心点。

2.2.5 超声温度对桃花总黄酮提取量的影响(图6)

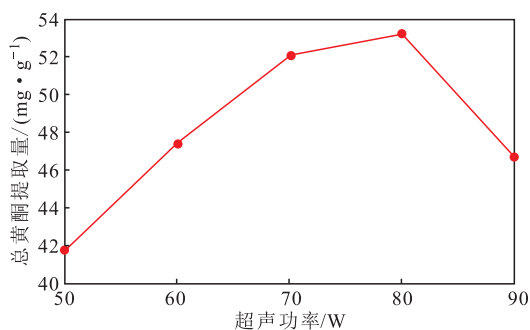


图5 超声功率对桃花总黄酮提取量的影响

Fig. 5 Effect of ultrasonic power on extraction amount of total flavonoids from peach blossom

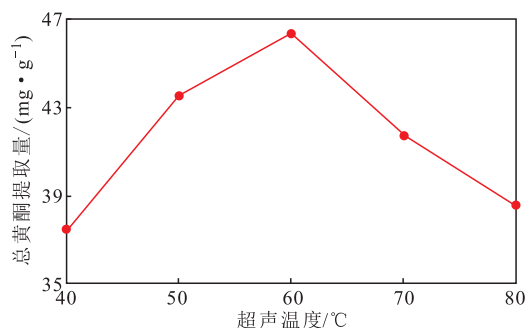


图6 超声温度对桃花总黄酮提取量的影响

Fig. 6 Effect of ultrasonic temperature on extraction amount of total flavonoids from peach blossom

由图6可知,桃花总黄酮提取量随超声温度的升高先升高后降低,当超声温度为60 °C时,提取量达到最高。因此,确定超声温度为60 °C。

2.2.6 超声时间对桃花总黄酮提取量的影响(图7)

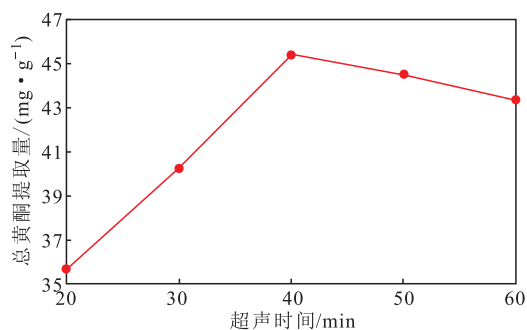


图7 超声时间对桃花总黄酮提取量的影响

Fig. 7 Effect of ultrasonic time on extraction amount of total flavonoids from peach blossom

由图7可知,桃花总黄酮提取量随超声时间的延长先升高后降低,当超声时间为40 min时,提取量达到最高。推测超声时间过长可能会破坏黄酮类化合物的分子结构,进而导致提取量降低。因此,确定超声时间为40 min。

2.3 响应面实验结果

2.3.1 实验设计及结果(表 1)

表 1 响应面实验设计及结果

Tab. 1 Design and results of response surface methodologies					
序号	A. PEG400 质量分数	B. 硫酸铵质量分数	C. 液料比	D. 超声功率	Y. 提取量
	%	%	mL : g	W	mg · g ⁻¹
1	26	28	30 : 1	80	43.38
2	27	28	25 : 1	80	40.35
3	27	28	30 : 1	70	50.48
4	27	27	30 : 1	80	40.66
5	26	27	30 : 1	70	40.15
6	27	26	35 : 1	80	43.64
7	27	27	25 : 1	90	40.97
8	27	26	30 : 1	90	38.86
9	26	27	25 : 1	80	45.90
10	27	27	30 : 1	80	41.93
11	27	27	25 : 1	70	42.64
12	27	27	30 : 1	80	38.79
13	28	27	35 : 1	80	44.56
14	26	26	30 : 1	80	25.65
15	26	27	30 : 1	90	34.48
16	27	26	25 : 1	80	44.02
17	26	27	35 : 1	80	28.57
18	27	27	30 : 1	80	38.50
19	28	27	30 : 1	70	34.23
20	27	28	35 : 1	80	49.20
21	28	27	25 : 1	80	27.18
22	27	27	35 : 1	90	32.89
23	27	27	30 : 1	80	38.43
24	27	28	30 : 1	90	28.63
25	27	26	30 : 1	70	37.90
26	28	27	30 : 1	90	24.12
27	27	27	35 : 1	70	49.03
28	28	28	30 : 1	80	23.06
29	28	26	30 : 1	80	45.39

利用 Design-Expert 13 软件对表 1 数据进行拟合分析,得到回归模型为: $Y=39.66-1.63A-0.03B+0.569\ 2C-4.54D-10.01AB+8.68AC-1.11AD+2.31BC-5.7BD-3.62CD-5.88A^2+0.852\ 3B^2+3.15C^2-1.17D^2$ 。

2.3.2 方差分析(表 2)

由表 2 可知,回归模型的 $F=20.36$ 、 $P<0.000\ 1$,表明该模型极显著;失拟项 $F=2.73$ 、 $P=0.172\ 3>$

表 2 回归模型的方差分析

Tab. 2 Variance analysis of regression model						
来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1 558.44	14	111.32	20.36	<0.000 1	**
A	31.98	1	31.98	5.85	0.029 8	*
B	0.010 8	1	0.010 8	0.002	0.965 2	
C	3.89	1	3.89	0.711	0.413 3	
D	247.34	1	247.34	45.24	<0.000 1	**
AB	401.2	1	401.2	73.38	<0.000 1	**
AC	301.2	1	301.2	55.09	<0.000 1	**
AD	4.93	1	4.93	0.901 4	0.358 5	
BC	21.3	1	21.3	3.9	0.068 5	
BD	130.07	1	130.07	23.79	0.000 2	**
CD	52.35	1	52.35	9.57	0.007 9	**
A ²	224.57	1	224.57	41.07	<0.000 1	**
B ²	4.71	1	4.71	0.861 9	0.368 9	
C ²	64.41	1	64.41	11.78	0.004 0	**
D ²	8.88	1	8.88	1.62	0.223 2	
残差	76.54	14	5.47	—	—	
失拟项	66.78	10	6.68	2.73	0.172 3	
纯误差	9.77	4	2.44	—	—	
总误差	1 634.98	28	—	—	—	
			$R^2=0.953\ 2$	$R^2_{\text{adj}}=0.906\ 4$		

注:**表示差异极显著($P<0.01$);*表示差异显著($P<0.05$);“—”表示无数据。

0.05,表明没有失拟因素存在;模型的决定系数 $R^2=0.953\ 2$,校正决定系数 $R^2_{\text{adj}}=0.906\ 4$,表明该模型的准确性、通用性较好,能够反映各因素对桃花总黄酮提取量的影响;各因素对提取量的影响大小顺序为:超声功率(D)>PEG400 质量分数(A)>液料比(C)>硫酸铵质量分数(B);一次项 D ,交互项 AB 、 AC 、 BD 、 CD ,二次项 A^2 、 C^2 对提取量的影响极显著;一次项 A 对提取量的影响显著,其他项均不显著。

2.3.3 响应面分析(图 8)

响应曲面越陡峭,说明交互作用对响应值越敏感^[11];反之,则不敏感。由图 8 可知,PEG400 质量分数与硫酸铵质量分数的交互作用(图 8a)、PEG400 质量分数与液料比的交互作用(图 8b)、硫酸铵质量分数与超声功率的交互作用(图 8e)、液料比与超声功率的交互作用(图 8f),即交互项 AB 、 AC 、 BD 、 CD 对桃花总黄酮提取量的影响极显著,与方差分析结果一致。

2.3.4 验证实验

经单因素实验和响应面实验优化得到的桃花总黄

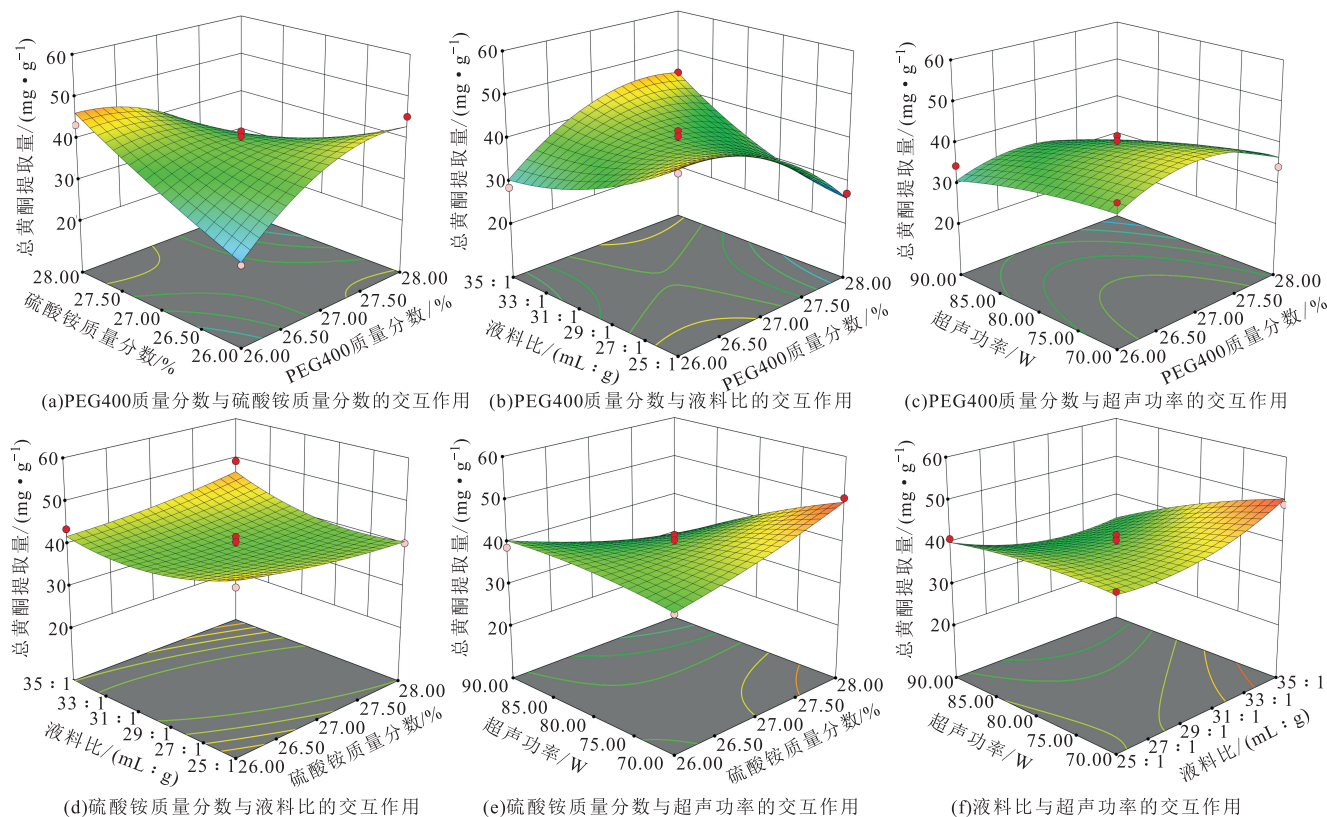


图8 各因素交互作用对桃花总黄酮提取量影响的响应面图

Fig. 8 Response surface plots for effects of interaction between various factors on extraction amount of total flavonoids from peach blossom

酮的最佳提取工艺为:PEG400 质量分数 27%、硫酸铵质量分数 27%、液料比 30 : 1、超声功率 70.08 W、超声温度 60 ℃、超声时间 40 min,桃花总黄酮提取量的预测值为 $50.48 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。根据实际情况,将超声功率调整为 70 W,其他条件不变,进行 3 组验证实验,桃花总黄酮提取量的平均值为 $(48.39 \pm 0.61) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,与预测值接近。故用该模型预测桃花总黄酮的提

取量可行。

采用经典双水相法提取的桃花总黄酮的提取量为 $(40.48 \pm 0.38) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,低于超声辅助双水相提取法。表明,超声辅助双水相法提取桃花总黄酮更具优势。

2.4 桃花总黄酮的抗氧化活性(图 9)

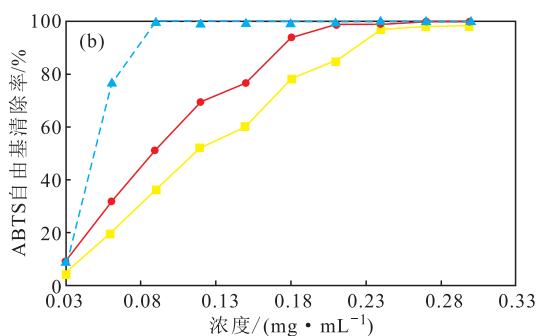
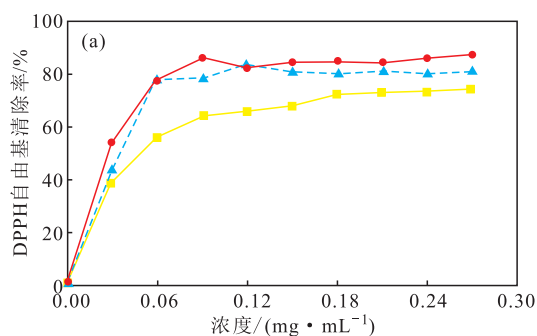


图9 桃花总黄酮对DPPH自由基(a)、ABTS自由基(b)的清除率

Fig. 9 Scavenging rate of total flavonoids from peach blossom against DPPH(a) and ABTS(b) free radicals

由图 9a 可知,2 种方法提取的桃花总黄酮对 DPPH 自由基的清除率均随其浓度的增加迅速升高,当

浓度超过 $0.09 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 后,清除率升幅趋缓;当浓度为 $0.09 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时,DPPH 自由基清除能力强

弱顺序为:超声辅助双水相提取桃花总黄酮>维生素C>经典双水相提取桃花总黄酮。

由图 9b 可知,2 种方法提取的桃花总黄酮对 ABTS 自由基的清除率均随其浓度的增加逐渐升高,当浓度低于 $0.18\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,升幅较大;当浓度为 $0.18\sim0.23\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,升幅趋缓;当浓度超过 $0.23\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 后,趋于稳定,且与维生素 C 的基本持平(接近 100%)。ABTS 自由基清除能力强弱顺序为:维生素 C>超声辅助双水相提取桃花总黄酮>经典双水相提取桃花总黄酮。表明,与经典双水相提取法相比,超声辅助双水相法提取的桃花总黄酮具有更强的抗氧化活性。

3 结论

以桃花花蕾为研究对象,利用 PEG-硫酸铵双水相体系,采用超声辅助双水相法提取桃花总黄酮,在 PEG400 质量分数为 27%、硫酸铵质量分数为 27%、液料比为 30:1(mL:g)、超声功率为 70 W、超声温度为 60℃、超声时间为 40 min 的最佳条件下,桃花总黄酮提取量达到 $(48.39\pm0.61)\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,高于经典双水相法 $[(40.48\pm0.38)\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}]$;超声辅助双水相法提取的桃花总黄酮对 DPPH、ABTS 自由基有较强的清除作用,其抗氧化活性高于经典双水相法提取的桃花总黄酮。

参考文献:

[1] 崔璐璐. HPLC 法同时测定桃花中 3 种成分[J]. 中成药, 2017, 39(1): 216-218.

[2] 李娟,耿晓桐,陈琼,等. 桃花不同溶剂提取物抗氧化活性分析及桃花软糖的研制[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(3): 124-128.

LI J, GENG X T, CHEN Q, et al. Antioxidant activity analysis of different solvent extracts from peach blossom and preparation of peach blossom soft candy[J]. Cereals and Oils, 2023, 36(3): 124-128.

[3] 金杜欣,曹维,赵秀丽,等. 肠道菌群对黄酮类化合物的代谢作用及生物学活性影响研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(7): 324-330.

JIN D X, CAO W, ZHAO X L, et al. Research progress on the metabolic action and biological effects of flavonoids mediated by intestinal flora[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(7): 324-330.

[4] 张可,蒋慕蓉,杨文丽,等. 黄酮类化合物改善糖尿病周围神经病变机制研究进展[J]. 中草药, 2024, 55(10): 3539-3548.

ZHANG K, JIANG M R, YANG W L, et al. Research progress on mechanism of flavonoids in improving diabetic peripheral neuropathy[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2024, 55(10):

3539-3548.

[5] 冯琳,罗世博,古丽格娜·皮达买买提,等. 响应面法优化准噶尔山楂总三萜提取工艺及其纯化工艺研究[J]. 食品工业科技, 2024, 45(9): 196-204.

FENG L, LUO S B, PIDAMAIMAITI G, et al. Optimization of extraction process of total triterpenoids from *Crataegus songarica* by response surface methodology and its purification process[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(9): 196-204.

[6] 申美伦,梁业飞,刘广欣,等. 甘草黄酮提取分离方法的研究进展[J]. 中成药, 2021, 43(1): 154-159.

[7] 宋林晓,邵娟娟. 黄酮类化合物提取方法研究进展[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(1): 21-22.

SONG L X, SHAO J J. Research progress on extraction methods of flavonoids[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(1): 21-22.

[8] 黄晓婧,林平冬,王晶晶,等. 超声辅助双水相体系提取枳壳总黄酮及其抗氧化活性研究[J]. 化学与生物工程, 2023, 40(1): 41-47.

HUANG X J, LIN P D, WANG J J, et al. Extraction of total flavonoids from *Fructus Aurantii* by ultrasonic-assisted aqueous two-phase system and its antioxidant activity[J]. Chemistry & Bioengineering, 2023, 40(1): 41-47.

[9] LIN Y Y, ZENG H Y, WANG K, et al. Microwave-assisted aqueous two-phase extraction of diverse polysaccharides from *Lentinus edodes*: process optimization, structure characterization and antioxidant activity[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 136: 305-315.

[10] 苏慧慧,许菲,吴定坤,等. 响应面优化三叶木通总黄酮的提取工艺及其抗氧化活性[J]. 北方园艺, 2022(21): 100-105.

SU H H, XU F, WU D K, et al. Optimization of extraction conditions of flavonoids from *Akebia trifoliata* by response surface methodology and its antioxidant activity[J]. Northern Horticulture, 2022(21): 100-105.

[11] 李鹏程. 双水相体系提取湖北海棠多糖及其生理活性初探[D]. 长春:吉林农业大学, 2021.

LI P C. Extraction of polysaccharides from *Malus hupehensis* by aqueous two-phase system and its physiological activity[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2021.

[12] 郑亚男,蔡旭,邓艾平. 荔枝壳多酚超声辅助双水相提取工艺优化及其体外抗氧化活性研究[J]. 中成药, 2023, 45(12): 4102-4108.

[13] 俞耀文,戴国庆,华浩立,等. 乙醇-硫酸铵双水相体系提取桃花总黄酮及其抗氧化性能[J]. 食品工业科技, 2022, 43(4): 187-195.

YU Y W, DAI G Q, HUA H L, et al. Ethanol-ammonium sulfate aqueous two-phase extraction of total flavonoids from peach blossom and its antioxidant activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(4): 187-195.

[14] 曹小燕,杨海涛. 超声辅助双水相提取油菜籽粕黄酮及抗氧化性研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(4): 52-56.

CAO X Y, YANG H T. Ultrasonic-assisted aqueous two-phase extraction of total flavonoids from rapeseed meal and its antioxidant activity[J]. China Condiment, 2019, 44(4): 52-56.