

超声辅助酶解提取水蜜桃果核多酚 工艺优化及抗氧化性研究

Optimization of extraction and antioxidant activities of polyphenols from
honey peachkernel by ultrasonic-assisted enzymolysis approach

郭明遗^{1,2} 邓艳¹ 王天鑫¹ 曾传涛¹ 吴华昌¹

GUO Mingyi^{1,2} DENG Yan¹ WANG Tianxin¹ ZENG Chuantao¹ WU Huachang¹

(1. 四川旅游学院食品学院, 四川 成都 610100;

2. 四川旅游学院烹饪科学四川省高等学校重点实验室, 四川 成都 610100)

(1. College of Food Science and Technology, Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan
610100, China; 2. Cuisine Science Key Laboratory of Sichuan Province, Sichuan Tourism
University, Chengdu, Sichuan 610100, China)

摘要:目的:挖掘水蜜桃果核作为特色农产品加工副产物的利用途径。方法:考察酶添加量、超声温度、乙醇体积分数和超声时间对水蜜桃果核多酚提取量的影响,并分析其抗氧化性能。结果:果核多酚的最佳提取工艺为酶添加量 5.2%、超声温度 63 ℃、乙醇体积分数 60%、超声时间 37 min,此条件下果核多酚提取量为 8.63 mg/g。多酚提取物对 ABTS 自由基、DPPH 自由基、羟自由基、超氧阴离子自由基清除率分别为 75.22%、85.91%、44.72%、45.76%,对 4 种自由基的半抑制质量浓度(IC₅₀)分别为 0.099、0.098、0.332、0.320 mg/mL。结论:超声辅助酶解法可有效提取水蜜桃果核中的多酚,水蜜桃果核多酚具有良好的抗氧化活性。

关键词:水蜜桃;果核;多酚;抗氧化;清除率

Abstract: Objective: This study aimed to explore the potential use of honey peach kernel as a by-product of characteristic agricultural product processing. **Methods:** The processing technology was optimized based on a single factor test and response surface test by analyzing the effects of enzyme addition amount, ultrasonic temperature, ethanol concentration, and ultrasonic time on the extraction amount of peach kernel polyphenols. Additionally, the antioxidant activities of the

extracted polyphenols were studied. **Results:** The results showed that the optimal extraction parameters were as follows: enzyme adding quantity 5%, ultrasonic temperature 63 ℃, ethanol concentration 60%, and ultrasonic time 37 min. Under this condition, the extraction amount of polyphenols was 8.63 mg/g. The antioxidant results showed that the scavenging rates of ABTS free radical, DPPH free radical, OH free radical, and O₂⁻ free radical were 75.22%, 85.91%, 44.72%, and 45.76%, respectively. The IC₅₀ of the four free radicals were 0.099, 0.098, 0.332, and 0.320 mg/mL, respectively. **Conclusion:** The approach of ultrasonic-assisted enzymolysis can effectively extract the polyphenols in the honey peach kernel, the polyphenols of the honey peach kernel had good antioxidant activity.

Keywords: honey peach; kernel; polyphenols; antioxidant activity; scavenging rate

水蜜桃(*Prunus persica* L.)为蔷薇科桃属植物,肉多汁甜,营养丰富,深受消费者喜爱^[1]。中国桃子品类丰富,其果肉中含有丰富的抗氧化物如维生素、类胡萝卜素和酚类化合物^[2],果核中富含具有抗炎、抗过敏以及抗菌等多种生物活性的木质素^[3]、苦杏仁苷^[4-5]、多酚及苦杏仁酶^[6]等物质。研究表明,当人体受到外源性物质刺激时,细胞内会产生大量的活性氧簇(ROS),大量 ROS 积累与细胞内的有机物质发生链式反应^[7],氧化损伤 DNA 和细胞组织^[8],诱发基因突变、细胞凋亡等,调节代谢功能失调,继而引发多种相关疾病,如心血管疾病、慢性阻塞性肺疾病、慢性肾脏疾病、神经退行性疾病、癌症、中风、糖尿病等^[9-11]。

基金项目:四川省自然科学基金项目(编号:2022NSFSC1676);四川省哲学社会科学重点研究基地川菜发展研究中心资助项目(编号:CC22Z15);烹饪科学四川省高等学校重点实验室资助项目(编号:PRKX2021Z03)

作者简介:郭明遗(1986—),男,四川旅游学院高级工程师,博士。
E-mail:514193931@qq.com

收稿日期:2023-03-14 **改回日期:**2023-08-17

植物多酚具有多种特殊的生理活性,作为天然植物源性抗氧化剂的多酚物质被广泛应用于预防和治疗老年性退行性神经疾病^[12]、高血压^[13]、心脏代谢紊乱^[14-15]、免疫系统促进^[16]、抗炎抑菌^[17]、皮肤保护^[18]等方面,被称为“第七类营养素”。采用超声协同纤维素酶提取法,能够加速细胞壁破碎速度^[19],增加提取剂渗透作用,其优势在于提取温度低、提取时间短、得率高、耗能低^[20],能够最大限度保留其生物活性^[21]。而有关水蜜桃果核的研究相对较少,主要为果核木质化形成机理^[22]、果肉粘核表型分析^[23]以及裂核发病机制^[24-26]研究,鲜有针对果核有益成分进行的特定提取开发研究。研究拟对超声辅助酶解提取水蜜桃果核多酚工艺进行优化,并分析其抗氧化性能,以期推动水蜜桃果核多酚在护肤品和保健品等具有高附加值产品中的应用,为其深度开发利用提供依据,助力特色产区的水蜜桃产业的升级发展。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

水蜜桃:产自四川省成都市龙泉驿区;

食品级纤维素酶:10 万 U/g,山东隆科特酶制剂有限公司;

七水合硫酸亚铁、过二硫酸钾(过硫酸钾)、三羟甲基氨基甲烷(Tris 缓血酸胺)、焦性没食子酸、水杨酸、抗坏血酸:分析纯,成都金山化学试剂有限公司;

没食子酸标准品:≥99%,上海麦克林生化科技有限公司;

福林酚试剂、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)(≥95%)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)标准品(≥99%);福州飞净生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

电动粉碎机:FW177 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:UA Blue Star A 型,北京莱伯泰科仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:DK-98-II 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

恒温鼓风干燥箱:DHG-9240A 型,上海恒一科学仪器有限公司;

超声波仪:SG9200T 型,上海冠特超声仪器有限公司;

电子天平:LS220ASCS 型,上海天美天平仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 水蜜桃核多酚的提取 将水蜜桃果肉、果核分离,果核用 20 000 r/min 破壁机粉碎 3 min,过 40 目筛,冷冻备用。准确称量 0.5 g 水蜜桃果核粉,按料液比($m_{\text{果核粉}}$:

$V_{\text{乙醇}}$)1 : 30 (g/mL)加入乙醇、纤维素酶,于超声波清洗机中进行超声辅助提取。

1.3.2 没食子酸标准曲线绘制 参照 GB/T 8313—2018 绘制标准曲线,得标准曲线方程为 $y = 0.011\ 5x + 0.021\ 2$, $R^2 = 0.999\ 6$ 。

1.3.3 提取液多酚含量测定 吸取 1 mL 提取液,用乙醇定容至 10 mL,吸取 1 mL 定容后的溶液于比色管中,加入 5 mL 10%福林酚试剂,摇匀,反应 1 h,测定 765 nm 处吸光度,以没食子酸当量干重(mg/g)表示多酚含量,平行 3 次,按式(1)计算多酚提取量。

$$R = \frac{C \times V \times N \times 10^{-3}}{m}, \quad (1)$$

式中:

R ——多酚提取量,mg/g;

C ——没食子酸质量浓度, $\mu\text{g/mL}$;

V ——提取液体积,mL;

N ——稀释倍数;

m ——取样量,g。

1.3.4 单因素试验 根据预试验结果,以超声功率 240 W,乙醇体积分数 60%,超声时间 30 min,超声温度 60 °C,纤维素酶添加量 5%为基础提取条件,分别考察超声功率(120,240,360,480,600 W)、乙醇体积分数(20%,40%,60%,80%,100%)、超声时间(10,20,30,40,50 min)、超声温度(40,50,60,70,80 °C)、酶添加量(1%,3%,5%,7%,9%)对水蜜桃果核多酚提取量的影响。

1.3.5 响应面试验 通过单因素试验,根据响应面 Box-Behnken 设计,选择酶添加量、超声温度、乙醇体积分数和超声时间为自变量,水蜜桃果核多酚提取量为响应值,进行四因素三水平的响应面试验分析以确定多酚提取的最佳工艺条件。

1.3.6 抗氧化性分析

(1) ABTS 自由基、DPPH 自由基清除能力:参照 GB/T 39100—2020。

(2) 羟自由基清除能力:参照石秀梅等^[27]的方法。

(3) 超氧阴离子自由基清除能力:参照 Wang 等^[28]的方法。

1.4 数据分析

通过 Origin 2021 软件进行数据处理;运用 Design-Expert 11 软件进行响应面试验分析和设计。每组试验平行 3 次,结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 酶添加量对水蜜桃多酚提取量的影响 由图 1 可知,当酶添加量为 1%~5%时,多酚提取量随酶添加量的增大而升高,当酶添加量为 5%时达最大,原因是一定量

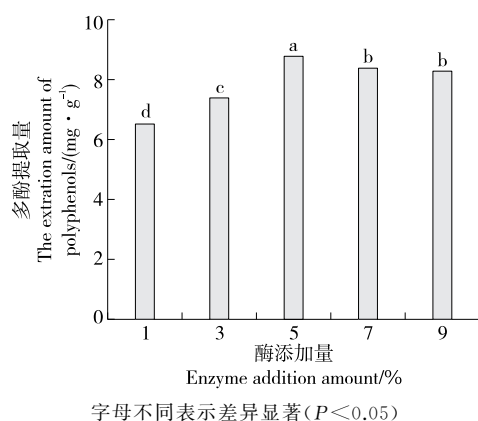


图 1 酶添加量对水蜜桃果核多酚提取量的影响

Figure 1 Effects of enzyme addition amount on the extraction amount of the polyphenols of honey peachkernel

的纤维素酶的破壁作用使细胞中的多酚溶出增大,而当酶添加量 $>5\%$ 时,多酚提取量开始下降,可能是因为过多的酶聚集阻塞了细胞壁作用通路,使多酚溶出有所减少。综合考虑,选择酶添加量为 3% 、 5% 、 7% 进行响应面试验。

2.1.2 超声功率对水蜜桃多酚提取量的影响 由图 2 可知,当超声功率为 $120\sim 240\text{ W}$ 时,多酚提取量随超声功率的增大而增多,超声功率的增大,加大了水蜜桃细胞中振动的幅度,有利于多酚的溶出;而当超声功率 $>240\text{ W}$ 时,多酚提取量开始下降,可能是过大的超声功率会在水中产生空化气泡,使超声波在水中传递作用减弱,多酚物质的溶出效率降低。综合考虑,选择超声功率为 240 W 。

2.1.3 乙醇体积分数对水蜜桃多酚提取量的影响 由图 3 可知,当乙醇体积分数为 20% 、 100% 时,不利于多酚的提取;当乙醇体积分数为 $20\%\sim 40\%$ 时,果核多酚提取

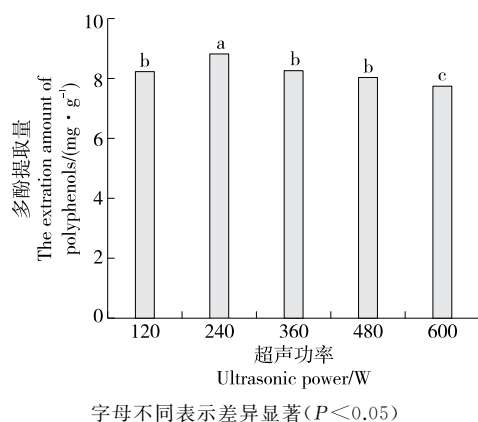


图 2 超声功率对水蜜桃果核多酚提取量的影响

Figure 2 Effects of ultrasonic power on the extraction amount of the polyphenols of honey peachkernel

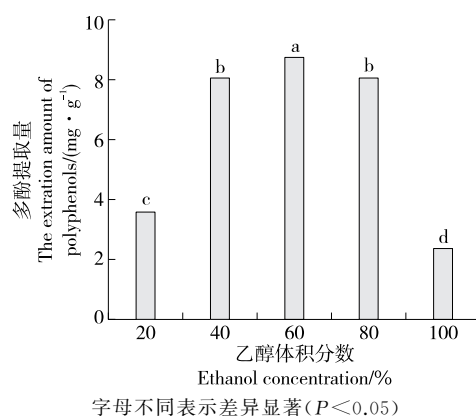


图 3 乙醇体积分数对水蜜桃果核多酚提取量的影响

Figure 3 Effects of ethanol concentration on the extraction amount of the polyphenols of honey peachkernel

量明显增大,当乙醇体积分数为 60% 时,果核多酚提取量达最大,当乙醇体积分数 $>60\%$ 时,多酚提取量开始减少,可能是因为乙醇体积分数过大,其他易溶于高浓度乙醇的物质溶出,多酚溶出通道被占,使多酚溶出相对减少,影响了多酚物质的溶出。故选择乙醇体积分数为 40% 、 60% 、 80% 进行响应面试验。

2.1.4 超声时间对水蜜桃多酚提取量的影响 由图 4 可知,当超声时间为 $10\sim 30\text{ min}$ 时,多酚提取量逐渐增加,当超声时间为 30 min 时多酚提取量达到峰值,随后开始缓慢下降,可能是因为随着超声时间的延长,细胞中液体黏度增大,多酚溶出阻力增大,超声波的空化作用可能使部分多酚分解。综合考察,选择超声时间为 $20, 30, 40\text{ min}$ 进行后续试验。

2.1.5 超声温度对水蜜桃多酚提取量的影响 由图 5 可知,当超声温度为 $40\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,多酚提取量增加,是因为

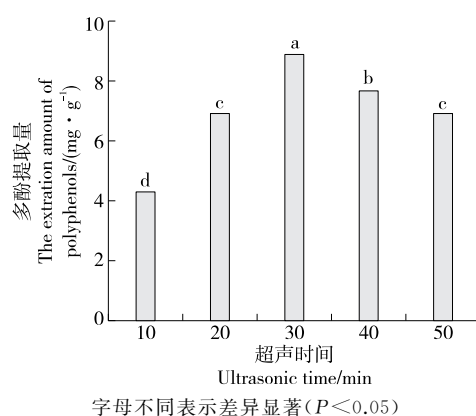


图 4 超声时间对水蜜桃果核多酚提取量的影响

Figure 4 Effects of ultrasonic time on the extraction amount of the polyphenols of honey peachkernel

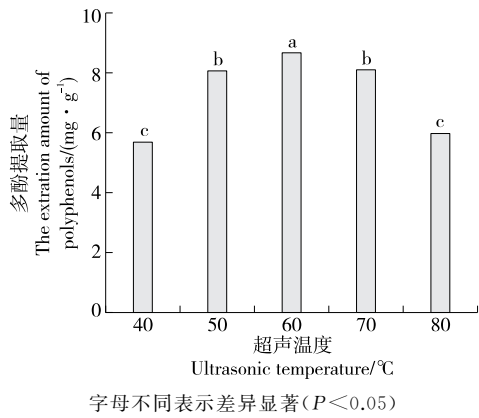


图5 超声温度对水蜜桃果核多酚提取量的影响

Figure 5 Effects of ultrasonic temperature on the extraction amount of the polyphenols of honey peachkernel

随着超声温度的升高,纤维素酶开始活化,使提取达到较好的效果;当超声温度为 60 °C 时,多酚提取量达到最大,超过 60 °C 后提取量开始下降,是因为酶在高温下会失活。综合考虑,选择超声温度为 50,60,70 °C 进行响应面试验。

2.2 响应面试验

在单因素试验基础上,选择酶添加量、超声温度、乙醇体积分数和超声时间为自变量,以多酚提取率为响应值,利用 Design-Expert 11 软件进行响应面优化水蜜桃提取多酚工艺,各因素水平见表 1,试验设计及结果见表 2。

表 1 响应面试验因素与水平

Table 1 Designing for response surface test factor level

水平	A 酶添加量/%	B 超声温度/°C	C 乙醇体积分数/%	D 超声时间/min
-1	3	50	40	20
0	5	60	60	30
1	7	70	80	40

对试验数据进行回归方程拟合,得到多酚提取率的二次多项式回归模型方程为:

$$Y=8.54+0.14A+0.52B+0.14C+0.18D-0.27AB-5.33 \times 10^{-3} AC-7.05 \times 10^{-4} AD-3.00 \times 10^{-5} BC+0.53BD-0.20CD-0.93A^2-1.49B^2-0.69C^2-0.24D^2。$$

(2)

由表 3 可知,模型 $F=42.49$ 、 $P<0.0001$,极显著;失拟项 $F=4.02$ 、 $P=0.0961$,不显著。模型决定系数 $R^2=0.9770$,表明该回归方程相关性较好;修正相关系数 $R^2_{adj}=0.9540$,表明所选用的二次多项模型的拟合程度良好。各因素对多酚提取量的影响大小为超声温度>超声时间>乙醇体积分数>酶添加量。一次项中,B、D达到

表 2 响应面试验设计及结果

Table 2 Designs and results of the response surface experiments

试验号	A	B	C	D	多酚提取量/(mg · g ⁻¹)
1	-1	0	0	-1	6.93±0.15
2	0	1	-1	0	6.66±0.15
3	-1	0	1	0	6.95±0.16
4	-1	0	0	0	7.34±0.14
5	1	0	1	0	7.36±0.26
6	1	0	0	-1	7.37±0.28
7	0	0	1	1	7.43±0.22
8	0	-1	0	1	6.15±0.14
9	1	0	-1	0	6.89±0.22
10	0	1	0	-1	6.39±0.15
11	1	0	0	1	7.78±0.24
12	0	-1	1	0	6.03±0.15
13	-1	-1	0	0	5.24±0.26
14	1	1	0	0	6.47±0.12
15	0	0	0	0	8.70±0.16
16	0	1	1	0	7.08±0.14
17	1	-1	0	0	5.78±0.22
18	0	0	0	0	8.41±0.17
19	0	0	1	-1	7.79±0.14
20	-1	1	0	0	7.01±0.12
21	0	-1	0	-1	6.59±0.14
22	0	0	0	0	8.50±0.23
23	-1	0	-1	0	6.46±0.26
24	0	0	-1	-1	7.41±0.15
25	0	-1	-1	0	5.62±0.12
26	0	0	0	0	8.46±0.15
27	0	0	0	0	8.60±0.12
28	0	1	0	1	8.08±0.16
29	0	0	-1	1	7.85±0.12

极显著水平,二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 和 D^2 均达到极显著水平。

由图 6 可知,酶添加量与超声温度、超声温度与超声时间的响应面图曲面陡峭,交互作用对多酚提取量结果影响显著,存在显著协同作用。

2.3 最佳工艺验证性试验

根据 Design-Expert 软件分析结果,果核多酚的最优工艺条件为酶添加量 5.22%、超声温度 62.98 °C、乙醇体积分数 60.04%、超声时间 37.03 min,多酚提取量预测值为 8.68 mg/g。考虑实际操作将提取参数优化为酶添加量 5.2%、超声温度 63 °C、乙醇体积分数 60%、超声时间 37 min,此条件下果核多酚提取量为 8.63 mg/g,与预测

表 3 方差分析[†]

Table 3 Analysis of variance

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	23.88	14	1.71	42.49	<0.000 1	* *
A	0.25	1	0.25	6.13	0.026 7	*
B	3.28	1	3.28	81.79	<0.000 1	* *
C	0.25	1	0.25	6.27	0.025 3	*
D	0.39	1	0.39	9.68	0.007 7	* *
AB	0.29	1	0.29	7.23	0.017 6	*
AC	0.00	1	0.00	2.82×10^{-3}	0.958 3	
AD	0.00	1	0.00	4.95×10^{-5}	0.994 5	
BC	0.00	1	0.00	8.97×10^{-8}	0.999 8	
BD	1.13	1	1.13	28.23	0.000 1	* *
CD	0.16	1	0.16	4.02	0.064 8	
A ²	5.60	1	5.60	139.60	<0.000 1	* *
B ²	14.44	1	14.44	359.66	<0.000 1	* *
C ²	3.05	1	3.05	76.01	<0.000 1	* *
D ²	0.37	1	0.37	9.31	0.008 6	* *
残差	0.56	14	0.04			
失拟项	0.51	10	0.05	4.02	0.096 1	
纯误差	0.05	4	0.01			
总和	24.44	28				

[†] * 为显著($P<0.05$); * * 为极显著($P<0.01$); $R^2=0.977\ 0$;
 $R_{adj}^2=0.954\ 0$ 。

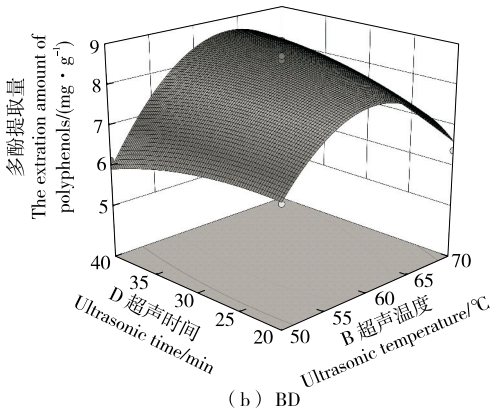
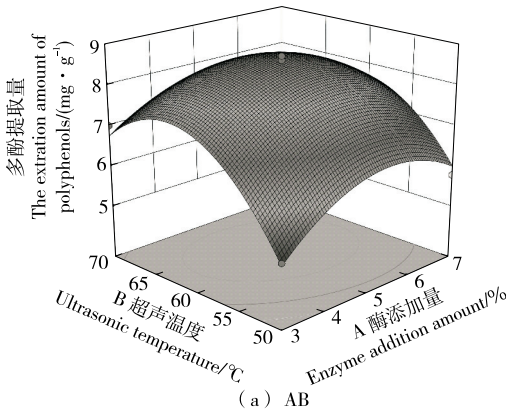


图 6 因素交互作用对水蜜桃果核多酚提取量的影响

Figure 6 Effects of factor interaction on the extraction amount of the polyphenols of honey peachkernel

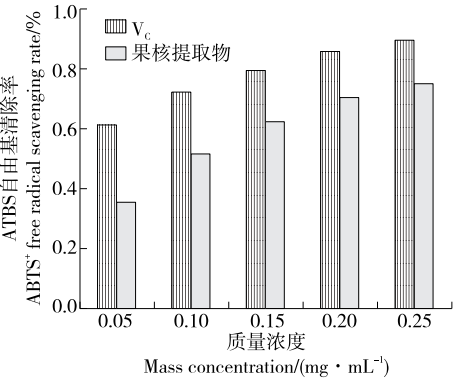


图 7 水蜜桃果核多酚提取物 ABTS 自由基的清除作用

Figure 7 ABTS radical scavenging rate of the polyphenols of honey peachkernel

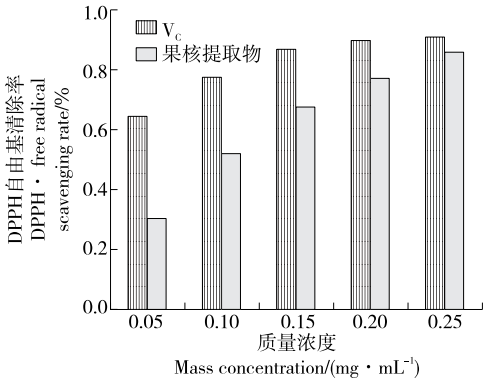


图 8 水蜜桃果核多酚提取物 DPPH 自由基的清除作用

Figure 8 DPPH radical scavenging rate of the polyphenols of honey peachkernel

结果非常接近,可以认为该响应面法得到的预期优化提取条件具有较大的参考价值。

2.4 抗氧化活性分析

由图 7~图 10 可知,在供试浓度范围内,水蜜桃果核多酚提取物对 4 种自由基清除率均在趋于平缓前逐渐升高,当质量浓度为 0.25 mg/mL 时,多酚提取物对 ABTS 自由基、DPPH 自由基、羟自由基、超氧阴离子自由基清除率分别为 75.22%,85.91%,44.72%,45.76%。根据拟合方程求出,果核多酚提取物对 ABTS 自由基、DPPH 自由基、羟自由基、超氧阴离子自由基的半抑制浓度(IC_{50})分别为 0.099,0.098,0.332,0.320 mg/mL。综上,果核多酚提取物对 DPPH 自由基、ABTS 自由基均表现出相对较好的抗氧化活性,且在一定适用范围内对各自由基的清除率随提取物质量浓度的升高而升高。

3 结论

通过响应面法确定了超声辅助酶解提取水蜜桃果核多酚的最佳工艺参数为酶添加量 5.2%,超声温度 63℃,乙醇体积分数 60%,超声时间 37 min,此条件下水蜜桃果核多酚提取量可达 8.63 mg/g。该果核多酚提取物对

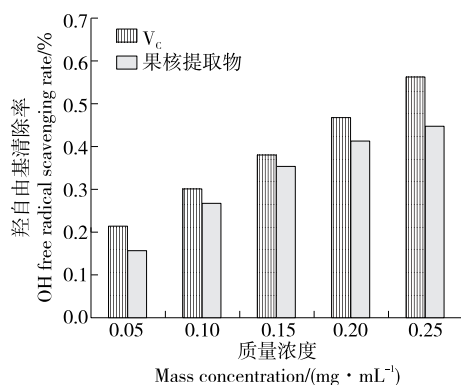


图9 水蜜桃果核多酚提取物羟自由基的清除作用

Figure 9 OH radical scavenging rate of the polyphenols of honey peachkernel

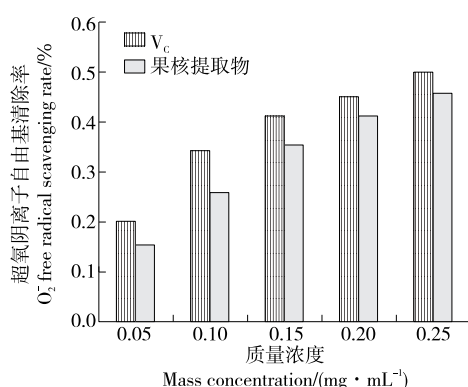


图10 水蜜桃果核多酚提取物超氧阴离子自由基的清除作用

Figure 10 O₂⁻ radical scavenging rate of the polyphenols of honey peachkernel

DPPH 自由基、ABTS 自由基均表现出相对较好的抗氧化活性,且半抑制质量浓度 (IC₅₀) 分别可达到 0.098, 0.099 mg/mL,说明果核作为特色食品加工废弃物具备工业化机械生产循环利用的潜在路径及附加产值。后续将在更丰富其生理活性和产品化制剂的制备以及产品性能的测试评估上进行深入研究。

参考文献

- [1] 杨立风, 马超, 张明, 等. 水蜜桃疏果多酚类物质提取及抗氧化活性研究[J]. 中国果菜, 2020, 40(4): 16-21, 28.
YANG L F, MA C, ZHANG M, et al. Study on extraction and antioxidant activity of polyphenols from thinned fruits of honey peach[J]. China Fruit & Vegetable, 2020, 40(4): 16-21, 28.
- [2] 卢娟芳, 刘盛雨, 芦旺, 等. 不同类型桃果肉酚类物质及抗氧化活性分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(16): 3 205-3 214.
LU J F, LIU S Y, LU W, et al. Phenolic profiles and antioxidant activity of fruit pulp from different types of peaches[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(16): 3 205-3 214.
- [3] 张岩, 张盛明, 方桂珍. Ce 掺杂固体酸活化的碱木质素的抗氧

- 化性能[J]. 高等学校化学学报, 2018, 39(6): 1 255-1 259.
- ZHANG Y, ZHANG S M, FANG G Z. Antioxidant property of catalyzed lignosulfonate using S₂O/ZrO₂ doped cerium as catalysts[J]. Chemical Journal of Chinese Universities, 2018, 39(6): 1 255-1 259.
- [4] HE X Y, WU L J, WANG W X, et al. Amygdalin-a pharmacological and toxicological review[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2020, 254: 112717.
- [5] ZHANG T, YANG S, ZHANG B, et al. Insights into the properties of amygdalin solvatomorphs: X-ray structures, intermolecular interactions, and transformations[J]. ACS Omega, 2022, 7(10): 8 906-8 918.
- [6] 张清安, 范学辉, 武海波, 等. 苦杏仁多酚氧化酶的理化特性[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 132-135.
ZHANG Q A, FAN X H, WU H B, et al. Physico-chemical properties of polyphenol oxidase from apricot kernel [J]. Food Science, 2014, 35(15): 132-135.
- [7] 石宝明, 迟子涵. 自由基对动物的危害及消除技术研究进展[J]. 饲料工业, 2021, 42(9): 1-6.
SHI B M, CHI Z H. Research progress on harm of free radical to animals and its elimination technology[J]. Feed Industry, 2021, 42(9): 1-6.
- [8] RENAUDIN X. Reactive oxygen species and DNA damage response in cancer[J]. International Review of Cell and Molecular Biology, 2021, 364: 139-161.
- [9] FORRESTER S J, KIKUCHI D S, HERNANDES M S, et al. Reactive oxygen species in metabolic and inflammatory signaling [J]. Circulation Research, 2018, 122(6): 877-902.
- [10] NISSANKA N, MORAES C T. Mitochondrial DNA damage and reactive oxygen species in neurodegenerative disease [J]. FEBS Letters, 2018, 592(5): 728-742.
- [11] RENDRA E, RIABOV V, MOSSEL D M, et al. Reactive oxygen species (ROS) in macrophage activation and function in diabetes [J]. Immunobiology, 2019, 224(2): 242-253.
- [12] POTÌ F, SANTI D, SPAGGIARI G, et al. Polyphenol health effects on cardiovascular and neurodegenerative disorders: A review and meta-analysis [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2019, 20(2): 351.
- [13] MICHALICKOVÁ D, BELOVIC M, ILIC N, et al. Comparison of polyphenol-enriched tomato juice and standard tomato juice for cardiovascular benefits in subjects with stage 1 hypertension: A randomized controlled study[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2019, 74(1): 122-127.
- [14] 沈云方, 费莹, 王建琴, 等. 丹参多酚酸盐协同间充质干细胞自体移植治疗大鼠急性心肌梗死[J]. 中国现代应用药学, 2021, 38(8): 944-952.
SHEN Y F, FEI Y, WANG J Q, et al. Study on salvianolate combined with mesenchymal stem cells autotransplantation in the treatment of acute myocardial injury [J]. Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy, 2021, 38(8): 944-952.

- [15] NORATTO G, MARTINO H S, SIMBO S, et al. Consumption of polyphenol-rich peach and plum juice prevents risk factors for obesity-related metabolic disorders and cardiovascular disease in Zucker rats[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2015, 26(6): 633-641.
- [16] MILESE A, CALDER P C. Effects of citrus fruit juices and their bioactive components on inflammation and immunity: A narrative review[J]. *Frontiers in Immunology*, 2021, 12: 712608.
- [17] OLSZEWSKA M A, GEDAS A, SIMÕES M. Antimicrobial polyphenol-rich extracts: Applications and limitations in the food industry[J]. *Food Research International*, 2020, 134: 109214.
- [18] 吴永祥, 吴丽萍, 王卫东, 等. 桑白皮多酚的抗氧化和对 UV 辐射致成纤维细胞光老化的修复作用[J]. *食品与机械*, 2018, 34(2): 15-18.
- WU Y X, WU L P, WANG W D, et al. Antioxidant and UV-induced fibroblasts photoaging repair effects of polyphenol from Cortex Mori[J]. *Food & Machinery*, 2018, 34(2): 15-18.
- [19] 张晓婷, 王满生, 邱浩楠, 等. 青叶苧麻叶多酚超声辅助提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. *食品与机械*, 2020, 36(12): 152-158.
- ZHANG X T, WANG M S, QIU H N, et al. Research on the optimization of ultrasonic assisted extraction technology and antioxidant activities of polyphenols extracted from green leaves ramie[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(12): 152-158.
- [20] HAN B, NIU D, WANG T, et al. Ultrasonic-microwave assisted extraction of total triterpenoid acids from corni fructus and hypoglycemic and hypolipidemic activities of the extract in mice[J]. *Food Function*, 2020, 11(12): 10 709-10 723.
- [21] 金旭东, 王俊淇, 曹朝清, 等. 循环超声提取羊栖菜中岩藻黄质的工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(17): 170-178.
- JIN X D, WANG J Q, CAO Z Q, et al. Study on the technology of extracting fucoxanthin from hizikia fusiforme by cyclic ultrasound[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(17): 170-178.
- [22] 葛水莲, 陈建中, 王有年. 桃果核木质化与过氧化物酶的关系[J]. *西北农业学报*, 2009, 18(4): 272-275.
- GE S L, CHEN J Z, WANG Y N. Relationship of peroxidase and endocarp lignification of peach fruit[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2009, 18(4): 272-275.
- [23] 韩晴. 桃果肉质地和粘离核性状两个关键 PpPG 基因的表达和调控关系分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019: 1-27.
- HAN Q. Expression and regulation relationship analysis of two key PpPG genes related to peach flesh texture and adhesion traits [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019: 1-27.
- [24] DROGOUDI P, PANTELIDIS G E. Impact of genetic and climatic parameters on split-pit incidence in peach and nectarine [J]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 297: 110970.
- [25] 栾峰, 王连晶. 桃裂核原因探析与综合防治措施[J]. *果农之友*, 2019(9): 36-37.
- LUAN F, WANG L J. Analysis of cleft causes of peach and comprehensive control methods[J]. *Fruit Growers Friend*, 2019(9): 36-37.
- [26] 牛良, 崔国朝, 曾文芳, 等. 桃果实裂核发生的原因及预防[J]. *果农之友*, 2021(11): 45-46.
- NIU L, CUI G Z, ZENG W F, et al. Causes and prevention of peach clefts[J]. *Fruit Growers Friend*, 2021(11): 45-46.
- [27] 石秀梅, 雷激, 梁爱华, 等. 3 种来源膳食纤维抗氧化特性比较[J]. *食品科技*, 2013, 38(1): 71-75.
- SHI X M, LEI J, LIANG A H, et al. Comparison of antioxidant properties among there dietary fibers [J]. *Food Science and Technology*, 2013, 38(1): 71-75.
- [28] WANG Y G, XU Y, MA X Q, et al. Extraction, purification, characterization and antioxidant activities of polysaccharides from zizyphus jujuba cv. linzexiaozao [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 118: 2 138-2 148.
- (上接第 191 页)
- [18] 陈俊, 金鑫, 许佳妮, 等. 不同生长环境对‘中黄 1 号’感官品质和理化指标影响的研究[J]. *茶叶*, 2020, 46(4): 218-222.
- CHEN J, JIN X, XU J N, et al. Effects of different growth environmental factors on sensory quality and physicochemical indexes of tea cultivar "Zhonghuang No 1"[J]. *Journal of Tea*, 2020, 46(4): 218-222.
- [19] 傅天龙, 郭晨, 傅天甫, 等. 福州 8 种主要茉莉花茶特征香气成分比较与分析[J]. *茶叶科学*, 2020, 40(5): 656-664.
- FU T L, GUO C, FU T P, et al. Comparison and analysis of characteristic aroma components of eight main jasmine teas in Fuzhou[J]. *Journal of Tea Science*, 2020, 40(5): 656-664.
- [20] 张俊天, 傅天龙, 傅天甫, 等. 福州茉莉花茶窈制次数和香气成分的关联性分析[J]. *茶叶科学*, 2021, 41(1): 113-121.
- ZHANG J T, FU T L, FU T P, et al. Correlation analysis of scenting times and aroma components of Fuzhou jasmine tea[J]. *Journal of Tea Science*, 2021, 41(1): 113-121.
- [21] 叶秋萍, 余雯, 郑世仲, 等. 茉莉花茶窈制过程中水分变化与香气品质变化的相关性分析[J]. *食品科学*, 2022, 43(24): 266-272.
- YE Q P, YU W, ZHENG S Z, et al. Correlation analysis of moisture content and aroma quality in the scenting process of jasmine tea[J]. *Food Science*, 2022, 43(24): 266-272.
- [22] 安慧敏, 欧行畅, 熊一帆, 等. 茉莉花茶特征香气成分研究[J]. *茶叶科学*, 2020, 40(2): 225-237.
- AN H M, OU X C, XIONG Y F, et al. Study on the characteristic aroma components of jasmine tea[J]. *Journal of Tea Science*, 2020, 40(2): 225-237.
- [23] 陈梅春, 林增钦, 郑海霞, 等. 茉莉花茶香气品质评价指标的构建与研究[J]. *茶叶通讯*, 2021, 48(1): 90-97.
- CHEN M C, LIN Z Q, ZHENG H X, et al. Construction and study on aroma quality evaluation index of jasmine tea[J]. *Journal of Tea Communication*, 2021, 48(1): 90-97.