

蒲公英多酚提取工艺优化及抗氧化活性研究

崔艳平¹, 聂玮², 迟晓君¹, 岳凤丽¹, 陈剑飞¹, 范艺源¹, 李雪丽¹, 姚梦园¹

(1. 山东农业工程学院食品科学与工程学院, 山东济南 250100; 2. 山东现代学院, 山东济南 250100)

摘要 为研究蒲公英多酚的利用价值以及后续的开发, 采用超声波微波提取蒲公英超微粉中多酚, 在单因素的基础上, 通过 Box-Behnken 和响应面法对提取多酚的工艺条件(包括乙醇体积分数、料液比、微波时间、超声时间、超声功率、微波功率、提取温度)进行优化, 确定最佳提取工艺为乙醇体积分数 50%、料液比 1:45、微波时间 3 min、超声时间 60 min、超声功率 240 W、微波功率 350 W、提取温度 50 ℃, 在上述条件下, 多酚提取率是 2.96%。结果表明, 蒲公英多酚具有清除 DPPH 自由基、ABTS 自由基的能力, 并对铁的还原也有一定的作用。

关键词 蒲公英超微粉; 超声波微波提取; 多酚; 工艺优化; 抗氧化活性

中图分类号 R 284.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)08-0175-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.08.046



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Optimization of Extraction Technology and Antioxidant Activity of Dandelion Polyphenols

CUI Yan-ping¹, NIE Wei², CHI Xiao-jun¹ et al (1. School of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural Engineering College, Jinan, Shandong 250100; 2. Shandong Modern College, Jinan, Shandong 250100)

Abstract In order to study the utilization value of dandelion polyphenols and subsequent development, ultrasonic microwave was used to extract polyphenols from dandelion ultrafine powder. On the basis of single factor, the process conditions for extracting polyphenols (including ethanol volume fraction, solid-to-liquid ratio, microwave time, ultrasonic time, ultrasonic power, microwave power, extraction temperature) were optimized by Box-Behnken and response surface method. The optimal extraction process was determined to be 50% ethanol volume fraction, 1:45 solid-to-liquid ratio, microwave time 3 min, ultrasonic time 60 min, ultrasonic power 240 W, microwave power 350 W, extraction temperature 50 ℃. Under the above conditions, the extraction rate of polyphenols was 2.96%. The results showed that dandelion polyphenols had the ability to scavenge DPPH free radicals and ABTS free radicals, and also had a certain effect on iron reduction.

Key words Dandelion superfine powder; Ultrasonic microwave extraction; Polyphenols; Process optimization; Antioxidant activity

蒲公英是中医传统的清热解毒药物, 全草药用价值很高, 含有生物碱类、有机酸类和黄酮类等活性成分^[1-2]。蒲公英性味甘, 微苦、寒, 归肝、胃经, 具有利尿、缓泻、退黄疸、利胆等功效^[3]。目前对蒲公英多酚的研究相对较少, 该试验采取超声波微波对蒲公英多酚提取条件进行优化, 并对其抗氧化活性进行研究, 为蒲公英的进一步开发利用提供技术依据。

1 材料与与方法

1.1 试材 蒲公英, 打成粉后过 300 目筛。无水乙醇, 分析纯; 95% 乙醇, 分析纯; 无水碳酸钠, 分析纯; 福林酚试剂; 没食子酸; DPPH (1, 1-二苯基-2-苦肟基); V_C (抗坏血酸); ABTS; 过硫酸钾 (K₂S₂O₈), 分析纯; 磷酸二氢钠, 分析纯; 磷酸氢二钠, 分析纯; 铁氰化钾, 分析纯; 三氯乙酸, 分析纯; 三氯化铁, 分析纯。

1.2 仪器与设备 CW130 粉碎机, 上海天祥·健台制药机械有限公司; KH-6HMTN 微波农产品干燥杀菌设备, 山东科弘微波能有限公司; XO-SM200 超声波微波组合系统, 南京先欧仪器制造有限公司; TGL-16M 台式高速冷冻离心机, 长沙湘仪离心机仪器有限公司; V5000 型可见分光光度计, 上

海元析仪器有限公司; LE104E/02 电子天平, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 蒲公英超微粉的制备。 将粉碎后的蒲公英过 80 目标准筛。称取过筛后的粉 500 g, 在超微粉碎机风速为 1.0~2.0 m/s, 超微粉碎机转速 3 000 r/min、粉碎时长 20 min、蒲公英粗粉含水量 10% 的条件下, 将蒲公英粗粉进行粉碎, 此时蒲公英大于 300 目的超微粉出粉率较高。

1.3.2 蒲公英多酚的提取。 准确称取 2.0 g 蒲公英粉, 加入乙醇溶液, 放入超声波微波组合系统中, 在不同条件下提取蒲公英多酚。超声波提取后放入离心机中, 以 3 500 r/min 的速度离心 10 min, 得到的上清液即为蒲公英多酚提取液。

1.3.3 多酚含量测定。 测定方法选取福林酚法。对蒲公英多酚提取液进行稀释, 取 1.00 mL 提取稀释液, 对福林酚试剂进行 10 倍稀释后, 取 1.5 mL 稀释液, 再加入 7.5% 的碳酸钠溶液 2.5 mL, 室温条件下暗室反应 1 h, 在波长为 765 nm 处测定其吸光度^[4-5]。

1.3.4 标准曲线的绘制。 在 100 mL 容量瓶中放置准确称取的 0.010 0 g 没食子酸标准品, 然后用蒸馏水稀释并定容至刻度, 摇晃均匀, 得到质量浓度为 100 μg/mL 的没食子酸标准溶液。洗净 7 个 10 mL 比色管, 做上标记, 按标记移取标准溶液 0、0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL, 加入福林酚试剂 1.5 mL、7.5% 碳酸钠溶液 2.5 mL, 蒸馏水定容, 摇匀。将比色管置于黑暗环境中反应 1 h, 于 765 nm 处测其吸光度, 平行 3 次, 取平均值绘制标准曲线, 得到线性回归方程为 $Y = 0.010 5X +$

基金项目 山东农业工程学院青年教师科研项目(QNKZY201902); 山东省农业重大创新项目(鲁财农指[2018]26号); 山东省现代农业产业技术体系蔬菜创新团队贮藏加工岗位(SDAIT-05-14); 山东省教育厅重点实验室项目“特色农产品采后品控与综合利用”。

作者简介 崔艳平(1986—), 女, 山东聊城人, 讲师, 硕士, 从事食品分析的教学与研究工作。

收稿日期 2020-12-26; 修回日期 2021-01-14

0.012 5 ($R^2=0.999$),具有良好的线性关系^[6-7]。

1.3.5 蒲公英多酚提取工艺优化(单因素试验)。根据文献[8]得出,影响蒲公英多酚提取的因素有乙醇体积分数、料液比、微波时间、超声时间、超声功率、微波功率、提取温度。

1.3.6 抗氧化活性研究。在提取多酚最佳工艺的基础上,分别研究蒲公英多酚对 DPPH 自由基、ABTS 自由基的清除能力以及还原铁离子的能力。

1.3.6.1 DPPH 自由基清除能力的测定。称取 8.0 mg DPPH 溶解于无水乙醇中,定容到 200 mL 棕色容量瓶中,得 DPPH 溶液浓度为 0.004 mmol/L,避光保存,备用。

分别取 0.01、0.03、0.05、0.07、0.09 mg/mL 的样品溶液 1 mL,置于 10 mL 比色管,加入 3 mL DPPH 使用液,摇匀,在黑暗条件下室温保存 30 min,在 517 nm 波长处测吸光度。空白对照采用无水乙醇,平行 3 次,可求清除率的平均值。并以 V_c 做阳性对照^[9]。

$$\text{DPPH 自由基清除率} = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中, A_0 为 1 mL 无水乙醇和 3 mL DPPH 使用液的吸光度; A_i 为 1 mL 样品溶液和 3 mL DPPH 使用液的吸光度; A_j 为 1 mL 样品溶液和 3 mL 无水乙醇的吸光度。

1.3.6.2 ABTS 自由基清除能力的测定。取 7.4 mmol/L ABTS 溶液 0.2 mL 与 2.6 mmol/L $K_2S_2O_8$ 溶液 0.2 mL 混合,暗室反应 12 h,用无水乙醇稀释 50 倍,在测得 734 nm 处的吸光度为 0.70 ± 0.02 的条件下,制得 ABTS+使用液。取 3.2 mL 使用液与 95% 乙醇 0.8 mL 振摇 10 s 以充分混合,静置 6 min,测得 734 nm 处的吸光度记为 A_0 ,取 3.2 mL 使用液与样品溶液 0.8 mL 振摇 10 s 以充分混合,静置 6 min,测得 734 nm 处的吸光度记为 A ^[10]。

$$\text{ABTS 自由基清除率} = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\% \quad (2)$$

1.3.6.3 铁离子还原力的测定。将多酚母液稀释成 0.02、0.04、0.06、0.08、0.10 mg/mL 不同浓度梯度的溶液。分别取 1 mL 多酚样液,加至 10 mL 比色管中,加入 1 mL pH=6.6 的磷酸盐缓冲液和 1 mL 质量分数为 1% 的铁氰化钾溶液,在 50 °C 条件下水浴保温时间为 20 min,然后冷却至室温,加入 1 mL 质量分数为 10% 的三氯乙酸溶液^[11],备用。另取若干 10 mL 比色管,分别加入 1 mL 上述多酚处理样溶液、蒸馏水 2 mL 和 1 mL 质量分数为 0.1% 的三氯化铁溶液,混匀,静置 10 min,在 700 nm 处测定吸光度,以吸光度大小表示还原力强弱,用 V_c 做标准对照^[12]。

2 结果与分析

2.1 蒲公英多酚提取单因素试验

2.1.1 乙醇体积分数。为探索乙醇体积分数对多酚提取率的影响,固定料液比 1:40、微波时长 2 min、超声时长 30 min、超声功率 270 W、微波功率 350 W、提取温度 40 °C,在乙醇体积分数分别为 40%、50%、60%、70%、80% 时提取蒲公英多酚,计算多酚提取率,结果如图 1 所示。随着乙醇体积分数的升高,提取率先上升后下降,多酚提取率达到最高时,乙醇

体积分数为 50%,提取率为 1.65%。原因在于乙醇体积分数的增加使蒲公英多酚溶解增加,利于提取,提取率增大;随着乙醇体积分数继续增大,可能会使有机溶剂与蒲公英多酚极性差异变大,多酚提取率降低^[13]。因此,选取乙醇体积分数 50% 为蒲公英多酚最佳提取条件。

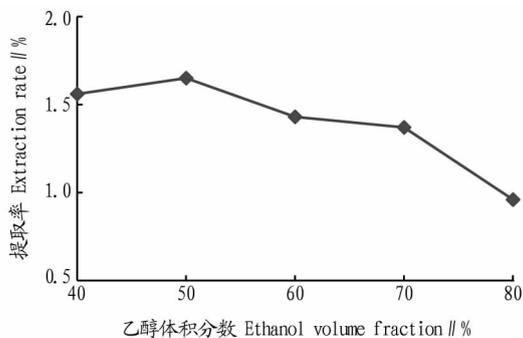


图1 乙醇体积分数对多酚提取率的影响

Fig.1 Effect of ethanol volume fraction on the extraction rate of polyphenols

2.1.2 料液比。为探索料液比对多酚提取率的影响,固定乙醇体积分数 50%、微波时长 2 min、超声时长 30 min、超声功率 270 W、微波功率 350 W、提取温度 40 °C,在料液比分别为 1:30、1:35、1:40、1:45、1:50 (g:mL) 时提取蒲公英多酚,计算多酚提取率,结果如图 2 所示。随着料液比的不断升高,蒲公英多酚提取率先上升后下降,料液比为 1:45 时,多酚提取率最高,为 2.76%。分析原因可能是随着提取液体积的增多,蒲公英多酚扩散的压力差增大,更有利于溶解在提取液中,多酚提取率增大;继续增大溶剂比例,压力差变化不明显,并且总体积增大导致多酚浓度降低不利于提取,因此采用 1:45 的料液比作为蒲公英多酚最佳提取条件^[14]。

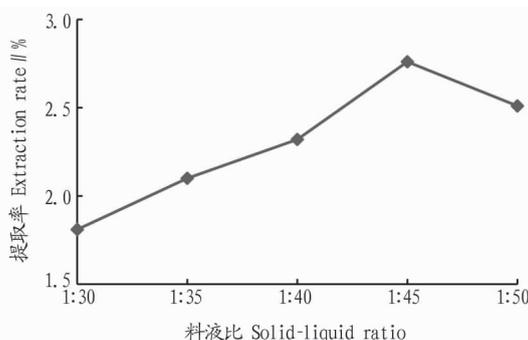


图2 料液比对多酚提取率的影响

Fig.2 Effect of solid-liquid ratio on the extraction rate of polyphenols

2.1.3 微波时间。为探索微波时间对多酚提取率的影响,固定乙醇体积分数 50%、料液比 1:40、超声时长 30 min、超声功率 270 W、微波功率 350 W、提取温度 40 °C,在微波时间分别为 1、2、3、4、5 min 时提取蒲公英多酚,计算多酚提取率,结果如图 3 所示。随着微波时间的延长,蒲公英多酚提取率先上升后下降,提取率达到最高的微波时长为 2 min,多酚提取率为 2.84%。分析原因可能是随着时间的增长,有利于多酚物质的溶出,提取率升高,在 2 min 时达到最佳提取率,超过

2 min后,体系温度升高,多酚氧化分解,从而提取率下降^[15]。因此,选取 2 min 微波时间作为蒲公英多酚最佳提取条件。

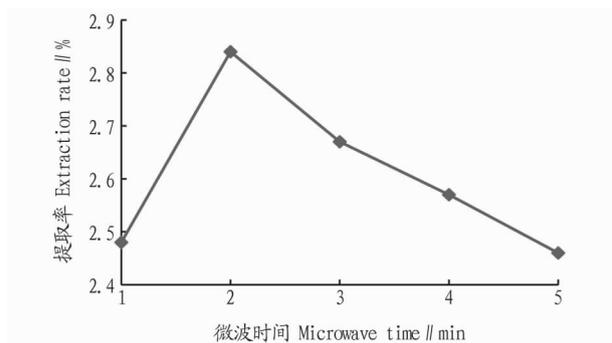


图3 微波时间对多酚提取率的影响

Fig.3 Effect of microwave time on the extraction rate of polyphenols

2.1.4 超声时间。为探索超声时间对多酚提取率的影响,固定乙醇体积分数 50%、料液比 1:40、微波时长 2 min、超声功率 270 W、微波功率 350 W、提取温度 40 ℃,在超声时间分别为 30、40、50、60、70 min 时提取蒲公英多酚,计算多酚提取率,结果如图 4 所示。随着超声时间的延长,提取率整体趋势先上升后下降,多酚提取率最高为超声时间 60 min 时,提取率为 2.63%。原因可能是随着时间延长,提取越完全,提取率升高,在超声时间 60 min 时提取率达到最大值,超过 60 min 后,时间越长,热敏物质如乙醇挥发量增大,从而使得多酚提取率降低^[16]。因此,60 min 的超声时间是蒲公英多酚最佳提取条件。

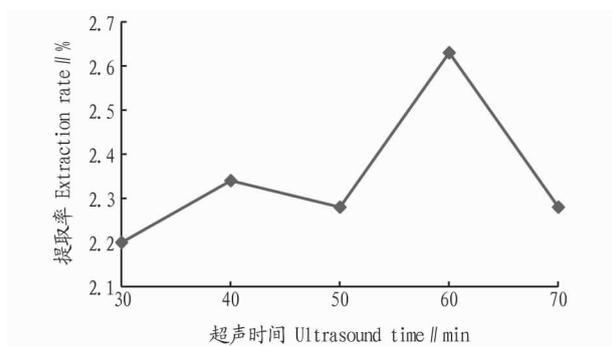


图4 超声时间对多酚提取率的影响

Fig.4 Effect of ultrasound time on the extraction rate of polyphenols

2.1.5 超声功率。为探索超声功率对多酚提取率的影响,固定料液比 1:40、微波时长 2 min、超声时长 30 min、乙醇体积分数为 50%、微波功率 350 W、提取温度 40 ℃,在超声功率分别为 180、210、240、270、300 W 时提取多酚,计算多酚提取率,结果如图 5 所示。随着超声功率逐渐升高,提取率呈现出先上升后下降的趋势,并在 270 W 最高,提取率为 2.89%。分析原因可能是超声功率的增大使超声波振动强度增大,能够更彻底地将多酚溶于提取液中,在超声功率 270 W 时,提取率达到最大;提取率下降在于当功率增大时,被损坏的多酚化合物增多。因此,270 W 的超声功率是蒲公英多酚最佳提取条件。

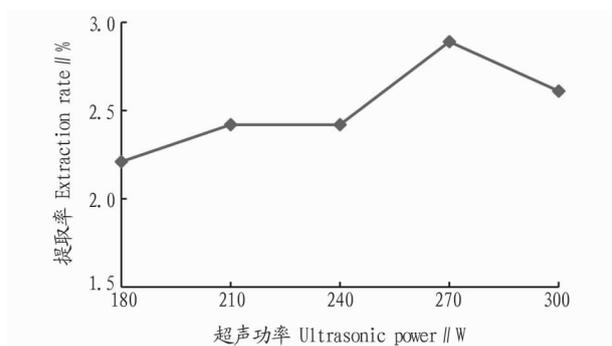


图5 超声功率对多酚提取率的影响

Fig.5 Effect of ultrasonic power on the extraction rate of polyphenols

2.1.6 微波功率。为探索微波功率对多酚提取率的影响,固定料液比 1:40、微波时长 2 min、超声时长 30 min、乙醇体积分数 50%、超声功率 300 W、提取温度 40 ℃,在微波功率分别为 200、250、300、350、400 W 时提取多酚,计算多酚提取率,结果如图 6 所示。随着微波功率的逐步升高,提取率呈现出先上升后下降的趋势,多酚提取率最高在微波功率为 350 W 时,提取率为 2.66%。微波辅助提取法是利用磁控管所产生的高频率振动使蒲公英细胞内的分子相互碰撞、挤压,从而使多酚类化合物快速浸出的方法^[17]。分析原因可能是随着微波功率的增大,会出现分子碰撞破坏细胞导致其他杂质溶于提取剂,多酚与杂质发生反应,致使多酚含量降低,提取率下降。因此,选取 350 W 为蒲公英多酚最佳提取条件。

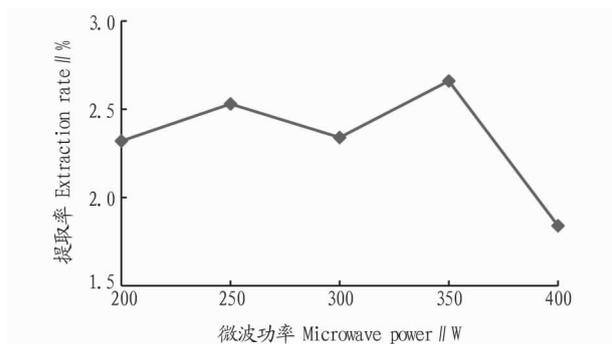


图6 微波功率对多酚提取率的影响

Fig.6 Effect of microwave power on the extraction rate of polyphenols

2.1.7 提取温度。为探索提取温度对多酚提取率的影响,固定料液比 1:40、微波时长 2 min、超声时长 30 min、乙醇体积分数 50%、超声功率 300 W、微波功率 350 W,在提取温度分别为 30、40、50、60、70 ℃时提取多酚,计算多酚提取率,结果如图 7 所示。由图 7 可知,提取温度升高,多酚提取率先上升后下降;多酚提取率达到最高时提取温度为 50 ℃,提取率 2.90%。分析原因可能是温度的升高使分子运动加快,相同条件下多酚溶解更多,30~50 ℃多酚提取率逐渐增大,而随着提取温度的增加,多糖等有机物杂质增多,提取率下降。因此采用微波提取温度 40 ℃作为蒲公英多酚最佳提取工艺^[18]。

2.2 响应面试验

2.2.1 响应面设计及结果。结合单因素试验,根据 Box-Be-

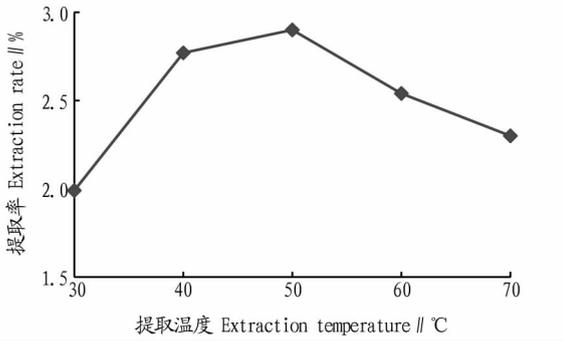


图7 提取温度对多酚提取率的影响

Fig.7 Effect of extraction temperature on the extraction rate of polyphenols

hnken 的原理^[19],利用响应面探究微波时间、提取温度、超声功率对蒲公英多酚提取的影响,固定乙醇体积分数 50%、料液比 1:45、超声时间 60 min、微波功率 350 W。该试验共含中心点 5 个和试验点 17 个。响应面优化条件见表 1,设计方案结果见表 2。

表 1 响应面优化条件

Table 1 Response surface optimization conditions

水平 Level	因素 Factor		
	A(微波时间 Microwave time//min)	B(提取温度 Extraction temperature//°C)	C(超声功率 Ultrasonic power//W)
-1	1	30	180
0	3	50	240
1	5	70	300

2.2.2 二次回归模型拟合及模型分析。利用响应面对试验数据进行回归拟合,得到多酚得率的多项回归模拟方程为 $Y = 2.870 + 0.030A - 0.004B - 0.021C - 0.083AB + 0.013AC + 0.000BC - 0.190A^2 - 0.140B^2 - 0.240C^2$ 。由表 3 可知,此试验结果 F 值 (27.29) 较高和 P 值 (0.000 1) 较低,表明该模型具有极显著

表 2 设计方案结果

Table 2 Design plan results

序号 No.	A	B	C	提取率 Extraction rate//%
1	-1	-1	0	2.48
2	1	-1	0	2.65
3	-1	1	0	2.61
4	1	1	0	2.45
5	-1	0	-1	2.45
6	1	0	-1	2.54
7	-1	0	1	2.33
8	1	0	1	2.47
9	0	-1	-1	2.48
10	0	1	-1	2.50
11	0	-1	1	2.49
12	0	1	1	2.51
13	0	0	0	2.86
14	0	0	0	2.91
15	0	0	0	2.89
16	0	0	0	2.87
17	0	0	0	2.84

差异。失拟项的 F 值为 5.97, P 值为 0.058 5,说明失拟不显著,即该模型的拟合性良好。该模型的 R^2_{Adj} 为 0.936 7 > 0.80,说明此模型至少可以解释 93.67% 的响应值变化。 $R^2 = 0.972 3$,说明实际值与方程预测值的相关性良好。信噪比 $Adeq\ Precision = 13.372 > 4$,表明该模型的拟合度和可信度极高。由各单项的 F 值可以看出,分析条件对多酚提取影响程度从大到小依次为 A(微波时间)、C(超声功率)、B(提取温度)。从二次项 F 值可以看出 A^2 、 B^2 和 C^2 对响应值的差异极显著, F 值普遍较高,而且在回归方程中,这 3 项的系数均为负值,说明超过此因素的最大值时,随着微波时间、提取温度、超声功率的增大,其提取率会下降,此结论与单因素试验

表 3 Box-Behnken 试验方差分析

Table 3 Variance analysis of Box-Behnken test

方差来源 Variance source	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value	显著性 Significance
模型 Model	0.560	9	0.062	27.29	0.000 1	极显著
A	7.200E-003	1	7.200E-003	3.15	0.119 1	不显著
B	1.125E-004	1	1.125E-004	0.05	0.830 7	不显著
C	3.613E-003	1	3.613E-003	1.58	0.248 9	不显著
AB	0.027	1	0.027	11.91	0.010 7	显著
AC	6.250E-004	1	6.250E-004	0.27	0.617 1	不显著
BC	0.000	1	0.000	0.00	1.000 0	不显著
A^2	0.150	1	0.150	64.44	<0.000 1	极显著
B^2	0.082	1	0.082	35.86	0.000 5	极显著
C^2	0.240	1	0.240	105.70	<0.000 1	极显著
残差 Residual	0.016	7	2.285E-003			
失拟项 Lack of fit	0.013	3	4.358E-003	5.97	0.058 5	不显著
纯误差 Pure error	2.920E-003	4	7.300E-004			
总和 Sum	0.580	16				
R^2	0.972 3					
R^2_{Adj}	0.936 7					

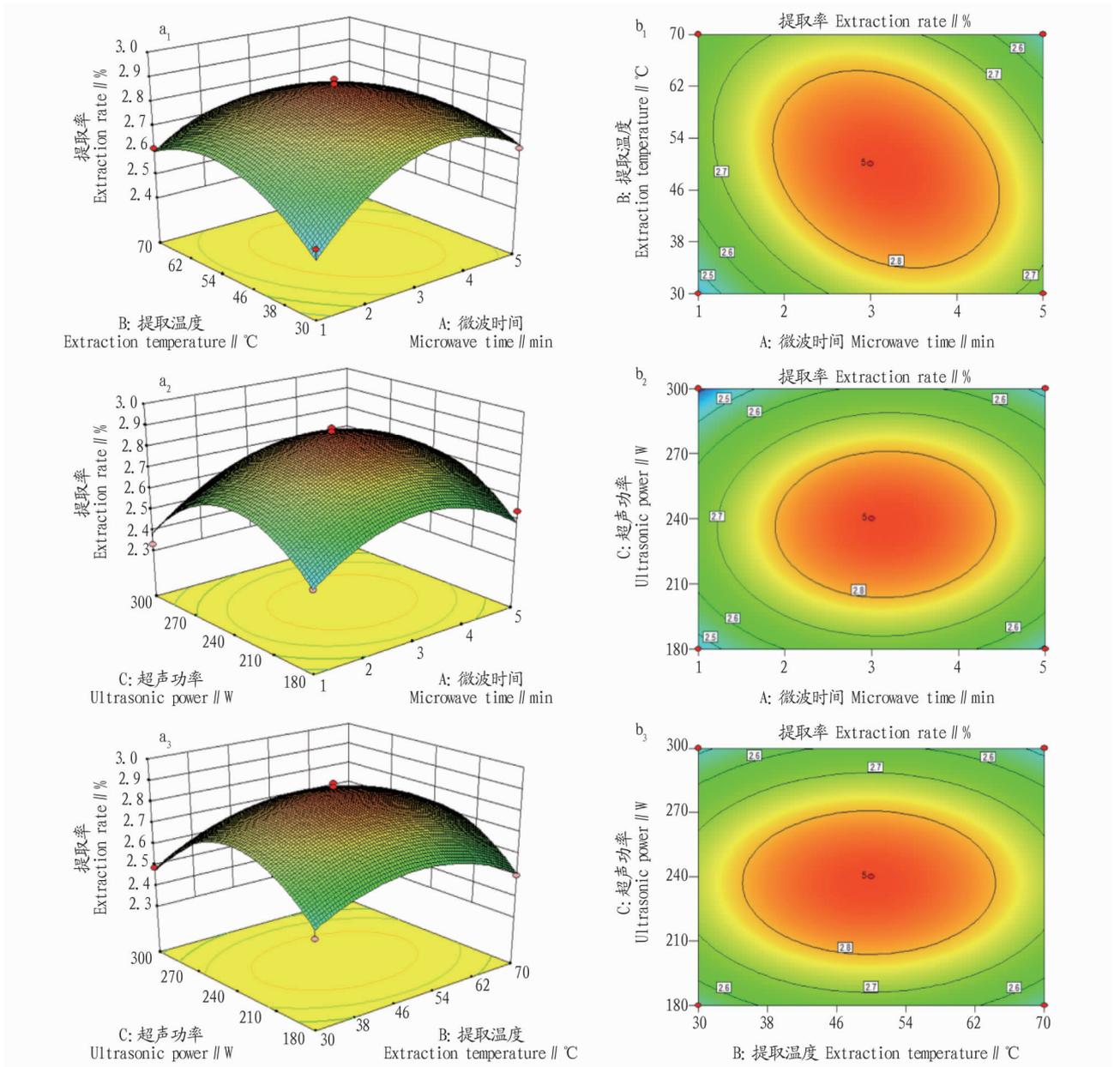


图 8 各因素相互作用的响应面 (a) 和等高线 (b)

Fig.8 Response surface (a) and contour (b) of the interaction of various factors

结果相符。在此模型中, A^2 、 B^2 和 C^2 对蒲公英多酚的提取影响极显著。由图 8 可见, AB 对蒲公英多酚提取的影响显著, 其他均为不显著, 由此可以看出各试验条件对于多酚提取的影响不是单纯的线性关系。从交互项来看, AC 、 BC 的 F 值均较小, 说明其对多酚提取率的影响不显著, 所以超声功率对多酚得率的影响是相对独立的。

2.3 蒲公英多酚抗氧化活性研究

2.3.1 DPPH 自由基清除能力的测定。 由图 9 可见, 蒲公英多酚提取物有清除 DPPH 自由基的能力, 在多酚溶液浓度升高时, 对 DPPH 的清除能力增大。多酚浓度为 0.01 ~ 0.03 mg/mL 时对 DPPH 自由基的清除较快; 在 0.03 ~ 0.09 mg/mL 时对 DPPH 自由基的清除较缓慢。

2.3.2 ABTS 自由基清除能力的测定。 由图 10 可知, 蒲公英多酚提取物对 ABTS 自由基有一定的清除能力, 并且随着多

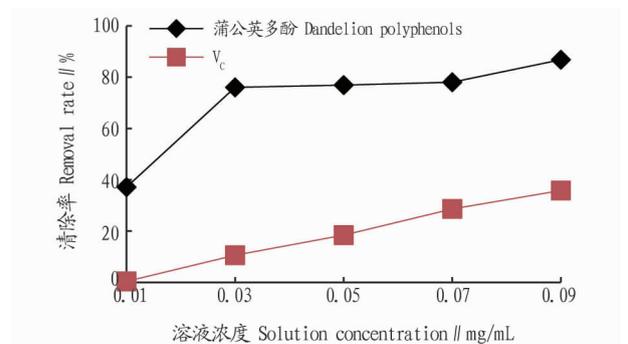


图 9 DPPH 自由基清除能力的测定

Fig.9 Determination of DPPH free radical scavenging ability

酚溶液浓度的升高, ABTS 的清除率增大。总体来说, 多酚提取物浓度的增大, 清除 ABTS 自由基速度较 DPPH 自由基增加迅速。

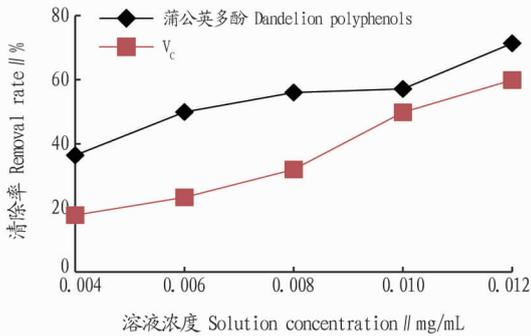


图10 ABTS 自由基清除能力的测定

Fig.10 Determination of ABTS free radical scavenging ability

2.3.3 铁离子还原力的测定。蒲公英多酚提取物还原铁离子强度与吸光度呈正相关,从图 11 可以看出随着多酚提取物浓度的增加,吸光度逐渐增加,还原铁离子强度也逐渐增强,并且趋近于线性增长。

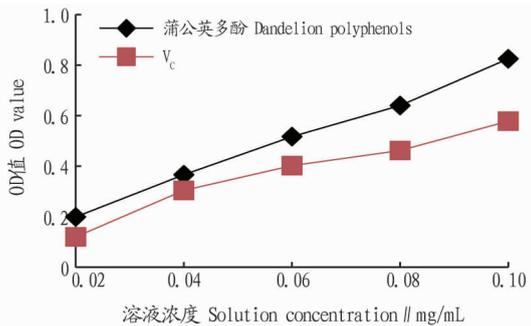


图11 铁离子还原力的测定

Fig.11 Determination of the reducing power of iron ions

3 结论

根据单因素试验及响应面试验结果,得出超声波微波提取蒲公英多酚的最佳工艺条件为乙醇体积分数 50%、料液比 1:45、微波功率 350 W、超声时间 60 min、微波时间 3.18 min、提取温度 49.22 °C、超声功率 237.47 W,根据上述因素蒲公英

(上接第 162 页)

机肥,不仅可以促进西瓜植株的生长,还能改善土壤结构,克服西瓜的连作障碍,增强西瓜的抗逆性。

目前西瓜生产中化肥用量为 1 050 kg/hm²,该研究以减施化肥 25%、30%为目标,增施生物有机肥,探索适宜西瓜生长的化肥、有机肥用量。结果表明,随着生物有机肥施用量的增加,西瓜的产量和品质显著高于对照,但化肥减施 30%的产量和品质略低于减施 25%的各处理,该研究筛选出化肥减施 25%、生物有机肥 6 000~7 500 kg/hm²为西瓜生产最佳肥料施用方案。

参考文献

- [1] 黄国勤,王兴祥,钱海燕,等.施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J].生态环境,2004,13(4):656-660.
- [2] QIAO J, YANG L Z, YAN T M, et al. Nitrogen fertilizer reduction in rice production for two consecutive years in the Taihu Lake area [J]. Agriculture, ecosystems & environment, 2012, 146(1): 103-112.
- [3] 中华人民共和国农业部.关于印发《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》和《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》的通知[EB/OL]. (2015-09-14) [2020-04-25]. <http://www.moa.gov.cn/ztzl/mywrfz/>

多酚提取率为 2.88%,实际值为 2.96%。说明此试验方法可以用来进行蒲公英多酚的提取。考虑到实际操作,微波时间、提取温度、超声功率可依次调节为 3 min、50 °C、240 W。

参考文献

- [1] 杨怡萌,陈星宇,吴娅,等.蒲公英黄酮抗氧化活性的构效关系分析[J].化学通报,2020,83(11):1031-1037.
- [2] GRAUSO L, EMRICK S, DE FALCO B, et al. Common dandelion: A review of its botanical, phytochemical and pharmacological profiles [J]. Phytochemistry reviews, 2019, 18(4): 1115-1132.
- [3] 崔海燕.药食两用蒲公英[J].益寿宝典,2017(14):22.
- [4] 王鹏,郭丽,徐连杰,等.超声波辅助提取蒲公英茶中多酚工艺优化及抗氧化特性研究[J].食品科技,2015,40(6):251-257.
- [5] WANG M, LIU J R, GAO J M, et al. Antioxidant activity of Tartary buckwheat bran extract and its effect on the lipid profile of hyperlipidemic rats [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2009, 57(11): 5106-5112.
- [6] 王伟,瞿王贝,樊海燕,等.微波辅助提取罗布麻茶多酚的工艺研究[J].中国食品添加剂,2012(6):151-154.
- [7] 段红波,梁引库.蒲公英多酚的提取及其活性研究[J].中国食品添加剂,2017(3):80-86.
- [8] 贤景春,赖金辉,刘玉明.小飞蓬多酚提取及其抗氧化性研究[J].南方农业学报,2012,43(11):1749-1753.
- [9] 龚霞,巫永华,刘恩歧,等.山楂叶提取物不同极性组分的体外抗氧化作用[J].食品工业,2016,37(8):216-219.
- [10] 肖敏,舒佳为,覃瑞,等.皱皮木瓜总酚酸分离纯化工艺及生物活性研究[J].中国现代中药,2018,20(3):316-322.
- [11] 盛伟,方晓阳,吴萍,白灵菇,杏鲍菇,阿魏菇多糖体外抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2008,29(5):103-105,109.
- [12] 张灿,张康逸,孙艳敏,等.青麦仁饼干多酚及抗氧化活性在模拟胃肠消化后的变化研究[J].食品科技,2020,45(10):82-87.
- [13] 臧延青,何飞,李执坤,等.野生蒲公英花多酚的提取和体外抗氧化活性研究[J].黑龙江八一农垦大学学报,2017,29(4):62-66,81.
- [14] 曹楠楠,陈香荣,吴艳.苦豆子多糖的超声波提取工艺优化及理化性质研究[J].现代食品科技,2014,30(2):209-215.
- [15] 许金蓉,陶炫宏,卢笛,等.响应面优化微波辅助提取火龙果果皮中多酚工艺研究[J].轻工科技,2017,33(6):23-25.
- [16] 袁晶,张海燕,曾朝珍,等.超声波辅助复合酶法提取苹果多酚工艺优化[J].保鲜与加工,2019,19(6):159-163.
- [17] 曹会凯.山楂中黄酮类化合物的提取及成分分析[D].秦皇岛:河北科技师范学院,2013.
- [18] PINELO M, RUBILAR M, JEREZ M, et al. Effect of solvent, temperature, and solvent-to-solid ratio on the total phenolic content and antiradical activity of extracts from different components of grape pomace [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2005, 53(6): 2111-2117.
- [19] 陈宇航,岳凤丽,张洁,等.超声微波协同提取豆渣中水溶性多糖的工艺优化[J].食品工业,2017,38(6):148-152.

gzgh/201509/t20150914_4827907.htm.

- [4] 杜为研,唐杉,汪洪.我国有机肥资源及产业发展现状[J].中国土壤与肥料,2020(3):210-219.
- [5] 柳小刚,闫耀廷,张吉宁.化肥减量配施有机肥对玉米生长发育及产量的影响[J].农业科技与信息,2018(15):28-30.
- [6] 王立刚,李维炯,邱建军,等.生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的效应研究[J].土壤肥料,2004(5):12-16.
- [7] 李鹏,王文杰.我国农业废弃物资源的利用现状及开发前景[J].天津农业科学,2009,15(3):46-49.
- [8] 平英华,张飞,刘先才,等.农业废弃物资源化利用模式及主导途径研究[J].安徽农业科学,2019,47(17):216-219.
- [9] 司凤霞,于丽红.农业废弃物综合利用方法和途径[J].现代农业,2019(1):81-82.
- [10] 张云伟,徐智,汤利,等.不同有机肥对烤烟根际土壤微生物的影响[J].应用生态学报,2013,24(9):2551-2556.
- [11] 钟书堂,沈宗专,孙逸飞,等.生物有机肥对连作蕉园香蕉生产和土壤可培养微生物区系的影响[J].应用生态学报,2015,26(2):481-489.
- [12] 凌宁,王秋君,杨兴明,等.根际施用微生物有机肥防治连作西瓜枯萎病研究[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1136-1141.
- [13] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [14] 高爱英.沼液沼渣在无公害瓜类蔬菜中的施用技术[J].农业工程技术,2015(4):43-44.