

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.12.032

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

Research on the optimization of ultrasonic assisted extraction technology and antioxidant activities of polyphenols extracted from green leaves ramie

张晓婷¹ 王满生^{2,3} 邱浩楠¹ 叶凤凌¹

ZHANG Xiao-ting¹ WANG Man-sheng^{2,3} QIU Hao-nan¹ YE Feng-ling¹

职士淇¹ 陈龙¹ 何强¹ 王延周¹ 董怡¹

ZHI Shi-qi¹ CHEN Long¹ HE Qiang¹ WANG Yan-zhou¹ DONG Yi¹

(1. 四川大学轻工科学与工程学院, 四川 成都 610065; 2. 中国农业科学院麻类研究所, 湖南 长沙 410205; 3. 农业部麻类生物学与加工重点实验室, 湖南 长沙 410205)

(1. College of Biomass Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China;

2. Institute of Bast Fiber Crops, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changsha, Hunan 410205, China;

3. Key Laboratory of Biological and Processing for Bast Fiber Crops, MOA, Changsha, Hunan 410205, China)

摘要:优化了青叶苧麻叶多酚的提取工艺参数,并以没食子酸为对照评价了青叶苧麻叶多酚的抗氧化活性。结果表明:优化出的多酚提取工艺参数分别为料液比($m_{\text{苧麻}} : V_{\text{乙醇}}$) 1 : 33 (g/mL)、乙醇体积分数 40%、提取温度 42 °C,在此条件下青叶苧麻多酚提取量为 47.97 mg/g。青叶苧麻叶多酚清除 DPPH 自由基和 ABTS⁺ 自由基的 IC_{50} 值分别为 (0.15 ± 0.00), (2.28 ± 0.03) μg/mL,氧自由基吸收能力为 (42.41 ± 0.01) g Trolox/g 多酚,均明显优于没食子酸,具有良好的抗氧化效果。

关键词:青叶苧麻; 多酚; 超声辅助提取; 抗氧化

Abstract: In this study, the optimum extraction parameters of polyphenols from leaves of *Boehmeria nivea* var. *tenacissima* were optimized, and the antioxidant activity of polyphenols from ramie leaves was evaluated by using gallic acid as a control. Results of polyphenols extraction experiment showed that the ultrasonic power and ultrasonic time have less effect on the amount of polyphenols extraction, and the influence of three factors on

polyphenols extraction was ordered as: ethanol concentration (significantly) > extraction temperature > solid-liquid ratio. Finally, the optimized polyphenols extraction process parameters were verified and determined as: 1 : 33 (g/mL) of liquid-solid ratio, 40% of ethanol concentration and 42 °C of the extraction temperature and the amount of polyphenols extraction could reach at 47.97 mg/g under this conditions. The results of antioxidant activity evaluation showed that polyphenols from leaves of green leaf ramie had good antioxidant effects, and the DPPH free radical scavenging ability [IC_{50} value (0.15 ± 0.00) g/mL], ABTS free radical scavenging ability [IC_{50} value (2.28 ± 0.03) g/mL] and oxygen free radical absorbing ability [ORAC value (42.41 ± 0.01) g Trolox equivalent /g polyphenol] were significantly superior to gallic acid.

Keywords: *Boehmeria nivea* var. *tenacissima*; polyphenols; antioxidant activities; ORAC value

多酚是植物生长发育过程中重要的次生代谢产物,广泛存在于植物茎叶等组织中。研究^[1-4]表明,多酚除具有抗氧化的生物活性作用外,还表现出良好的抑菌、抗炎、抗病毒、防癌抗癌、抑制肿瘤、防治心血管疾病等方面活性作用。

苧麻是一种多年生宿根性草本植物,一年可收获多次,且叶片约占植株质量的 40%,是苧麻营养生长过程中生物产量最大的组织。苧麻叶富含琥珀酸、原儿茶酸等酚类物质,具有较高的食品保健和药用开发价值^[5]。与

基金项目: 高校基本科研项目(编号:20826041D4060); 湖南省自然科学基金(编号:2020JJ5640); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(编号:1610242020004)

作者简介: 张晓婷,女,四川大学在读本科生。

共同第一作者: 王满生,男,中国农业科学院麻类研究所助理研究员,博士。

通信作者: 董怡(1986—),女,四川大学助理研究员,博士。

E-mail: waydongyi2501779@163.com

收稿日期: 2020-09-15

传统的白叶苕麻相比,青叶苕麻因叶背面无白色绒毛,极易被打碎和过筛,使其粉碎性能大大提高^[6]。另外,青叶苕麻蛋白质含量较高,且氨基酸含量在苕麻近缘植物中含量最为丰富^[7]。因此,目前青叶苕麻主要用于调制加工成动物饲料^[8-11],也有将叶片提取物尝试用于药物开发^[12],但在食品加工领域除了涉及叶片蛋白质的提取^[6, 13]外,有关叶片多酚类物质及其活性的研究还未见报道。

目前多酚提取多采用水和甲醇、乙醇、丙酮等有机溶剂^[14-15],提取方法多为超声辅助提取^[16]、微波辅助提取^[17]、超临界流体提取^[18-19]、加压溶剂提取^[20]和酶法辅助^[21]等。有研究^[22]表明,超声波辅助提取过程会产生空化效应、机械效应和热效应等,且多级效应结合又产生高剪切力,产生微射流,加速细胞壁破碎速度,增加溶剂渗透作用,提高传质效率,缩短提取时间,能有效提高多酚提取率。因此,试验拟采用超声辅助乙醇法提取青叶苕麻叶中的多酚物质,优化其提取工艺条件,并研究其抗氧化活性,以期对青叶苕麻叶多酚的深入研究和青叶苕麻资源的拓展利用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

青叶苕麻叶粉:过 60 目筛,中国农业科学院麻类研究所;

无水碳酸钠、无水乙醇、过硫酸钾、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠:分析纯,成都金山化学试剂有限公司;

没食子酸、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH):色谱纯,上海源叶生物公司;

福林酚:分析纯,成都市科隆化学品有限公司;

水溶性维生素 E(Trolox)、荧光素钠、2,2-偶氮二(2-甲基丙基咪)二盐酸盐(AAPH):色谱纯,西格玛奥德里奇贸易有限公司;

2,2-联氮二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS):色谱纯,上海麦克林生化科技有限公司;

电子天平:EAJ210-4A 型,沈阳龙腾电子有限公司;

三频数控超声波清洗器:KQ-300VDE 型,昆山市超声仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-6000PC 型,上海元析仪器有限公司;

电子恒温水浴锅:DWKW-4 型,北京中兴伟业仪器有限公司;

多功能微孔板检测仪:Synergy H1 型,美国伯腾仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 没食子酸标准曲线的绘制 以没食子酸为标准品,采用福林酚法测定青叶苕麻叶提取液中总多酚含量。

准确称取 20.0 mg 没食子酸标准品(纯度 $\geq 99.0\%$),用蒸馏水溶解并定容至 100 mL,制得 200 mg/L 没食子酸标准储备液,于 4 °C 冰箱中避光保存。准确吸取没食子酸标准储备液 0.0,0.2,0.4,0.6,1.0,1.5 mL 分别置于 10 mL 容量瓶中,用 60% 乙醇溶液定容至刻度,得到没食子酸工作液。于 10 mL 比色管中分别加入没食子酸工作液 1.0 mL,福林酚试剂 0.5 mL,摇匀后加入 15% 的 Na_2CO_3 溶液 1.5 mL,加水定容至刻度,摇匀后于 40 °C 水浴静置 2 h,自来水冷却后测定其在 760 nm 条件下的吸光度值。所得结果以吸光值为纵坐标(Y),没食子酸质量浓度(X)为横坐标,绘制出没食子酸标准曲线(见图 1),求得回归方程为 $Y=0.010 1X+0.057 4$, $R^2=0.994 4$ 。

1.2.2 青叶苕麻叶中多酚的提取 准确称取 0.5 g 苕麻样品若干份(每 3 份为一组平行试验),按照一定的料液比添加一定量的一定浓度乙醇溶液,在一定条件下超声提取,静置冷却后在 25 °C、6 000 r/min 条件下离心 30 min,取上清液备用。准确吸取 1.0 mL 提取液(或根据实际需要按一定比例稀释后再取用),于 10 mL 比色管中,按 1.2.1 建立没食子酸标准曲线的方法测定提取液中总酚含量,再根据标准曲线计算待测液中总多酚浓度。

1.2.3 青叶苕麻叶多酚提取的单因素试验

(1) 料液比:固定提取温度 25 °C、超声功率 300 W、超声时间 5 min、乙醇体积分数 60%,分别测定料液比($m_{\text{苕麻}} : V_{\text{乙醇}}$)为 1 : 10, 1 : 20, 1 : 30, 1 : 40, 1 : 50 (g/mL) 时的多酚提取量,确定合适的料液比。

(2) 乙醇体积分数:根据优化出的料液比,固定提取温度 25 °C、超声功率 300 W、超声时间 5 min,分别测定乙醇体积分数为 0%, 20%, 40%, 60%, 100% 时的多酚提取量,确定合适的乙醇体积分数。

(3) 提取温度:根据优化出的料液比和乙醇体积分数,固定超声功率 300 W、超声时间 5 min,分别测定超声温度为 25, 35, 40, 45, 55 °C 时的多酚提取量,确定合适的提取温度。

(4) 超声功率:根据优化出的料液比、乙醇体积分数和提取温度,固定超声时间为 5 min,分别测定超声功率

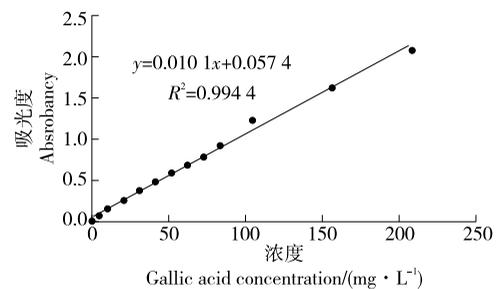


图 1 没食子酸标准曲线

Figure 1 Standard curve of gallic acid

为 120,180,240,300 W 时的多酚提取量,确定合适的超声功率。

(5) 超声时间:根据优化出的料液比、乙醇体积分数、提取温度和超声功率,分别测定超声时间为 5,10,15,20 min 时的多酚提取量,确定合适的超声时间。

1.2.4 多酚提取工艺响应面优化试验 在单因素试验基础上,选出对其影响较大的因素,以多酚提取量为评价指标,利用 Box-Behnken 进行响应面试验设计,运用 Design-Expert 8.0.6 软件分析试验结果,优化青叶苕麻多酚超声辅助提取工艺条件。

1.2.5 青叶苕麻叶多酚抗氧化活性评价 在最佳提取工艺条件下,提取青叶苕麻叶中的多酚,并分别从清除 DPPH 自由基能力、清除 ABTS⁺ 自由基能力和氧自由基吸收能力(ORAC 法)3 个方面评价青叶苕麻叶中多酚的抗氧化活性。

(1) DPPH 自由基清除能力:参照贺银菊等^[23]的方法,以 IC₅₀ 值对比青叶苕麻叶多酚提取溶液和没食子酸清除 DPPH 自由基的能力。按式(1)计算 DPPH 自由基清除率。

$$Q_D = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

Q_D——DPPH 自由基清除能力,%;

A₀——空白组吸光度值(0.5 mL 样品溶剂+0.5 mL 的 DPPH 溶液);

A_i——样品组吸光度值(0.5 mL 样品溶液+0.5 mL

的 DPPH 溶液);

A_j——对照组吸光度值(0.5 mL 样品溶液+0.5 mL 的 DPPH 乙醇溶液)。

(2) ABTS⁺ 自由基清除能力:参照蔡如玉等^[24]的方法,以 IC₅₀ 值对比青叶苕麻叶多酚提取溶液和没食子酸清除 ABTS⁺ 自由基的能力。按式(2)计算 ABTS⁺ 自由基清除率。

$$Q_A = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

Q_A——ABTS⁺ 自由基清除能力,%;

A₀——空白组吸光度值(50 μL 样品溶剂+950 μL ABTS⁺ 自由基稀释溶液);

A_i——样品组吸光度值(50 μL 样品溶液+950 μL ABTS⁺ 自由基稀释溶液);

A_j——对照组吸光度值(50 μL 样品溶液+950 μL ABTS⁺ 自由基稀释溶剂)。

(3) 氧自由基吸收能力(ORAC 法):参照余欣珂等^[25]和董怡^[26]的方法,以水溶性维生素 E(Trolox)当量值(g Trolox/g 多酚)对比浓度为 425.3 μg/L 没食子酸和总酚浓度为 50 μg/L 的青叶苕麻叶多酚提取液的氧自由基吸收能力。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验

如图 2 所示,优化出的料液比(*m*_{苕麻} : *V*_{乙醇})为 1 :

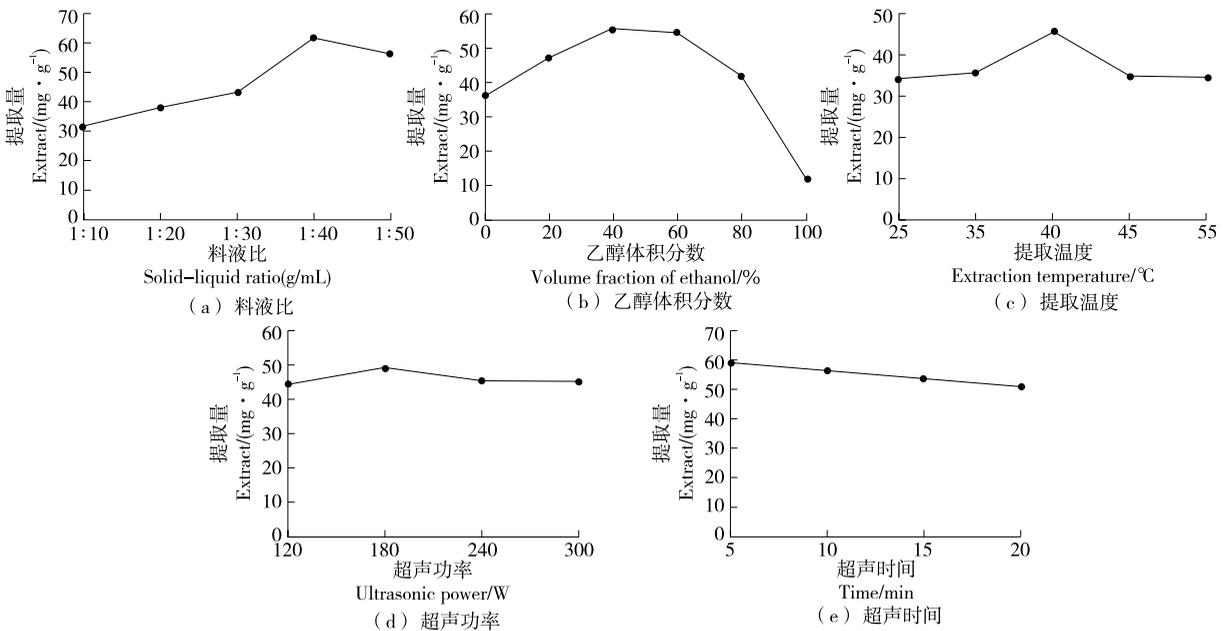


图 2 青叶苕麻叶多酚提取单因素试验结果

Figure 2 Single factor experimental results of polyphenols extraction from leaves of green leaves ramie

40 (g/mL)、乙醇体积分数为 40%、提取温度为 40 °C、超声功率为 180 W、超声时间为 5 min。

2.2 响应面优化青叶苕麻多酚提取工艺

2.2.1 响应面模型建立及分析 根据单因素试验结果,筛选出对多酚提取量影响较大的三因素分别为:料液比、乙醇体积分数和提取温度为优化因素,因此后续将固定超声功率和超声时间分别为 180 W 和 5 min 进行响应面优化试验,试验设计的编码水平见表 1,试验结果见表 2。

利用 Design Expert 8.0.6 软件对表 2 的试验数据进行二次多项式回归拟合,得到料液比、乙醇体积分数、提取温度与青叶苕麻多酚提取量(Y)的二次回归模型为:

$$Y = 47.74 - 0.018A + 0.37B + 0.66C - 1.43AB - 0.60AC + 0.64BC - 1.94A^2 - 3.87B^2 - 1.40C^2. \quad (3)$$

从表 3 可以看出,回归模型高度显著,失拟项不显著,表明方程模型与试验拟合较好,可以对青叶苕麻多酚的提取量进行预测。其中模型校正决定系数 $R_{adj}^2 = 0.9706$, $R^2 = 0.9871$,表明此模型中 97.06% 的试验数据

表 1 响应面试验水平因素

Table 1 Response surface test level factors

水平	A 料液比 (g/mL)	B 乙醇体积分数/%	C 提取温度/°C
-1	1 : 50	30	35
0	1 : 40	40	40
1	1 : 30	50	45

表 2 响应面分析方案及结果

Table 2 Response surface analysis scheme and results

试验号	A	B	C	多酚提取量/(mg · g ⁻¹)
1	-1	-1	0	40.06
2	0	0	0	48.29
3	1	0	1	44.38
4	1	0	-1	44.23
5	0	-1	-1	42.09
6	1	-1	0	43.05
7	-1	0	-1	43.23
8	0	1	-1	41.55
9	0	0	0	47.89
10	-1	0	1	45.78
11	0	1	1	44.12
12	-1	1	0	43.67
13	0	0	0	46.73
14	1	1	0	40.94
15	0	-1	1	42.11
16	0	0	0	47.89
17	0	0	0	47.89

与模型相关,且试验误差小,说明该模型可以对相关工艺参数进行分析及预估。

在因素 A、B、C 中,A、B 影响不显著($P > 0.05$),即料液比和乙醇体积分数对青叶苕麻多酚提取量的影响不显著,C 影响极显著($P < 0.01$),即超声温度对青叶苕麻多酚提取量的影响极显著,其中超声温度的影响更显著。在交互影响中,AB 交互因素影响均极显著($P < 0.01$),AC、BC 交互因素影响显著($P < 0.05$),说明此试验中料液比、乙醇体积分数、超声温度之间有明显的交互影响。根据 F 值可知,3 个试验因素对青叶苕麻多酚提取量的影响次序为提取温度 > 乙醇体积分数 > 料液比。

2.2.2 响应面优化分析 由图 3 可知,3 个响应面的 3D 图中部凸起,说明青叶苕麻多酚提取量(响应值)存在最大值。超声温度的变化曲面较为陡峭,料液比、乙醇体积分数的变化曲面相较于温度略显平稳,表明温度对青叶苕麻多酚提取量的影响更为显著,且等高线图均为明显的卵圆形,表明料液比、乙醇体积分数、超声温度之间有较为显著的交互作用,对于青叶苕麻多酚提取量影响较大。

根据所建立的响应面模型对青叶苕麻多酚提取量进行工艺参数最优化分析,得到青叶苕麻多酚提取最佳工艺参数条件为料液比($m_{苕麻} : V_{乙醇}$)1 : 33 (g/mL)、乙醇体积分数 40.84%、提取温度 41.36 °C,在此条件下青叶苕麻多酚提取量可以达到 47.84 mg/g。根据优化结果,选择青叶苕麻多酚提取参数条件为料液比($m_{苕麻} : V_{乙醇}$)

表 3 回归方程方差分析[†]

Table 3 Analysis of variance of regression equation

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	110.85	9	12.32	59.62	<0.000 1	* *
A	2.45×10^{-3}	1	2.45×10^{-3}	0.01	0.916 3	
B	1.10	1	1.10	5.34	0.054 2	
C	3.50	1	3.50	16.93	0.004 5	* *
AB	8.18	1	8.18	39.59	0.000 4	* *
AC	1.44	1	1.44	6.97	0.033 4	*
BC	1.63	1	1.63	7.87	0.026 3	*
A ²	15.77	1	15.77	76.33	<0.000 1	* *
B ²	63.15	1	63.15	305.67	<0.000 1	* *
C ²	8.23	1	8.23	39.82	0.000 4	* *
残差	1.45	7	0.21			
失拟项	0.06	3	0.02	0.054	0.981 4	
纯误差	1.39	4	0.35			
总误差	112.30	16				

[†] * 表示差异显著($P < 0.05$); * * 表示差异极显著($P < 0.01$)。

1 : 33 (g/mL)、乙醇体积分数 40%、提取温度 42 °C, 进行 3 次平行验证实验, 结果显示青叶苕麻叶多酚提取量为 47.97 mg/g, 与理论值非常接近, 说明该模型预测可信。

2.3 多酚抗氧化活性评价

与以没食子酸为对照, 青叶苕麻叶多酚提取物清除 DPPH 自由基能力、清除 ABTS 自由基能力和氧自由基吸收能力(ORAC 值)如表 4 所示。

2.3.1 DPPH 自由基清除能力 没食子酸和青叶苕麻叶中的多酚均具有一定的清除 DPPH 自由基的能力。由表 4 可知, 青叶苕麻多酚溶液清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 值小于没食子酸溶液的, 说明青叶苕麻多酚溶液对 DPPH 自由基的清除能力极显著强于没食子酸溶液($P < 0.01$)。

2.3.2 ABTS⁺ 自由基清除能力 没食子酸和青叶苕麻叶中的多酚都具有一定的清除 ABTS⁺ 自由基的能力。

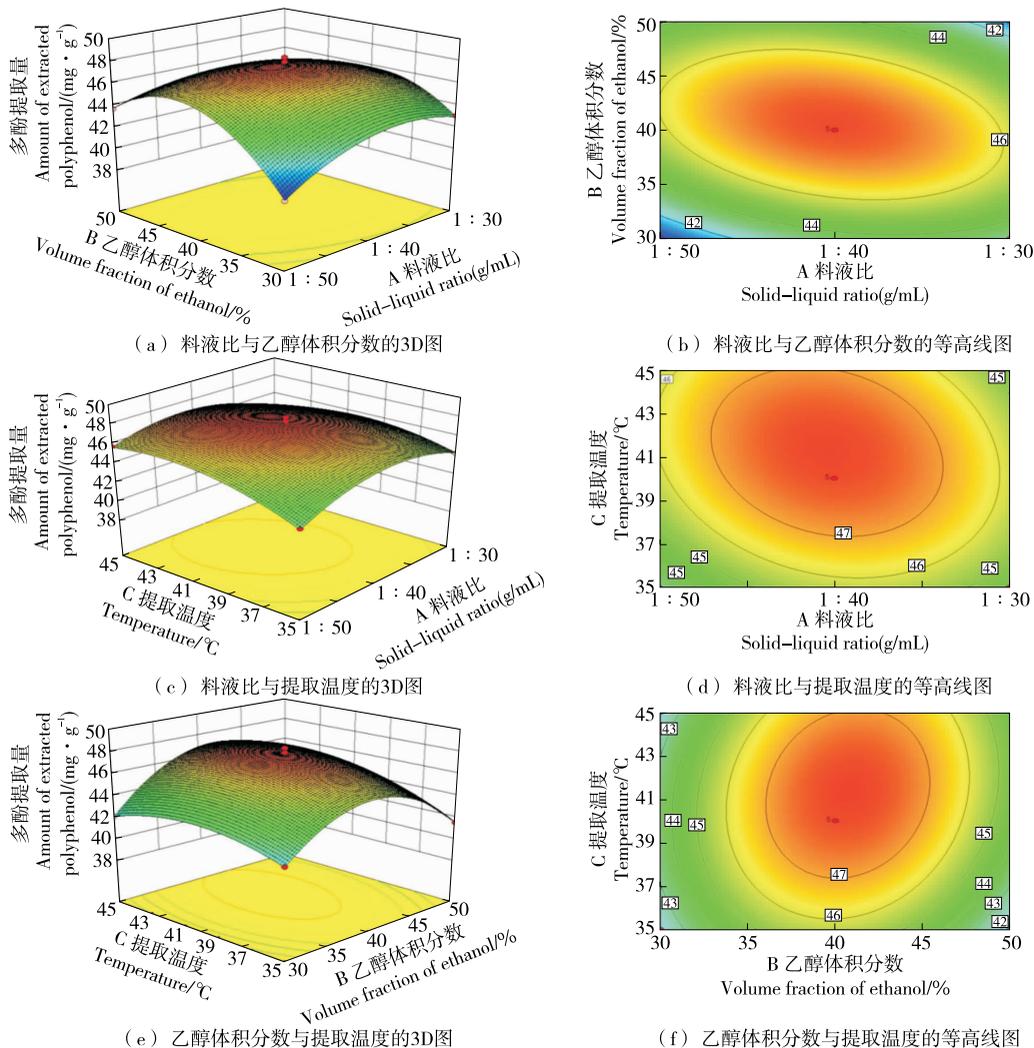


图 3 各因素交互作用对多酚提取量影响的响应面和等高线图

Figure 3 Response surface and contour map of the influence of interaction of various factors on polyphenol extraction amount

表 4 青叶苕麻多酚抗氧化活性评价[†]

Table 4 Evaluation of antioxidant activity of polyphenols from leaves of green leaves ramie

样品	清除 DPPH 自由基 IC_{50} 值/ $(\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1})$	清除 ABTS ⁺ 自由基 IC_{50} 值/ $(\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1})$	ORAC 值/ (g Trolox · g ⁻¹)
没食子酸	1.24 ± 0.02 ^a	10.59 ± 0.15 ^a	2.11 ± 0.31 ^a
青叶苕麻多酚	0.15 ± 0.00 ^b	2.28 ± 0.03 ^b	42.41 ± 0.01 ^b

[†] 同列字母不同表示差异极显著($P < 0.01$)。

由表4可知,青叶苕麻多酚溶液清除 $ABTS^+$ 自由基的 IC_{50} 值小于没食子酸溶液的,说明青叶苕麻多酚溶液对 $ABTS^+$ 自由基的清除能力极显著强于没食子酸溶液($P<0.01$)。

2.3.3 氧自由基吸收能力(ORAC法) Trolox 溶液标准曲线如图4所示。建立标准曲线方程为 $y=0.6159x+26.504$ ($R^2=0.9994$)。根据曲线方程,计算得到青叶苕麻多酚提取物与标准对照没食子酸的氧自由基吸收能力。由表4可知,青叶苕麻多酚的氧自由基吸收能力明显强于没食子酸,且优势极显著($P<0.01$)。

多酚提取液中含有多种酚类物质,各种酚类物质通过拮抗、协同或叠加等效应,影响提取液的生理活性^[27-29]。这也可能是青叶苕麻叶多酚提取物表现出优于没食子酸的抗氧化性的原因。此外,多酚提取液生理活性还与其中多酚类物质的含量显著相关。

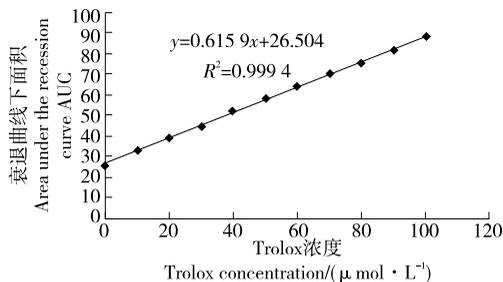


图4 Trolox 溶液标准曲线

Figuer 4 Standard curve of Trolox solution

3 结论

在超声波辅助提取青叶苕麻叶多酚中,料液比、乙醇体积分数、超声温度、超声时间、超声功率对多酚提取量都有不同程度的影响,其中料液比、超声温度、超声时间的影响较大。响应面优化后的提取条件为:料液比($m_{\text{苕麻}}:V_{\text{乙醇}}$)1:33(g/mL)、乙醇体积分数40%、提取温度42℃、超声功率180W、超声时间5min,在此条件下青叶苕麻多酚提取量为47.97mg/g。青叶苕麻叶多酚提取物具有较强的抗氧化活性,对DPPH自由基和 $ABTS^+$ 自由基的清除能力,以及氧自由基吸收能力均强于没食子酸。后期将针对其中多酚组成及各组分对其抗氧化性的贡献作用进行深入分析。

参考文献

[1] 韩丙军, 彭黎旭. 植物多酚提取技术及其开发应用现状[J]. 华南热带农业大学学报, 2005, 11(1): 21-26.
[2] LI Tao, LI Qi-li, WU Wei-guo, et al. Lotus seed skin proanthocyanidin extract exhibits potent antioxidant property via activation of the Nrf2-ARE pathway[J]. Acta Biochimica et Biophysica Sinica, 2019, 51(1): 31-40.

[3] BAZYLKO A, PIWOWARSKI J P, FILIPEK A, et al. In vitro antioxidant and anti-inflammatory activities of extracts from *Potentilla recta* and its main ellagitannin, agrimoniin[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2013, 149(1): 222-227.
[4] DAVIS D W, NAVALTA J W, MCGINNIS G R, et al. Effects of acute dietary polyphenols and post-meal physical activity on postprandial metabolism in adults with features of the metabolic syndrome[J]. Nutrients, 2020, 12(4): 1120-1143.
[5] 周媛, 喻玲玲, 李新兰, 等. 苕麻叶中总多酚的含量测定[J]. 食品科技, 2009, 34(4): 193-197.
[6] 王满生, 杨晶, 王延周. 青叶苕麻叶蛋白提取工艺的优化[J]. 食品工业, 2020, 41(7): 70-73.
[7] 孙延炜, 孟桂元, 周静, 等. 苕麻近缘植物氨基酸组成及其营养评价[J]. 中国麻业科学, 2013, 35(6): 296-299, 328.
[8] 张雪雷, 张庆丽, 陈青, 等. 纤维素酶对饲用苕麻青贮品质及饲用价值的影响[J]. 饲料研究, 2018(6): 33-37.
[9] 杨晶, 戴求仲, 侯振平, 等. 基于专利分析的麻类作物饲料化利用技术态势及热点分析[J]. 生物技术通报, 2018, 34(12): 213-220.
[10] 王满生, 杨晶, 王延周, 等. 饲用苕麻与全株玉米混合青贮饲料的酸度分析[J]. 中国饲料, 2018(13): 78-82.
[11] 王满生, 王延周, 杨晶, 等. 饲用苕麻与玉米混合青贮饲料的气味分析[J]. 中国饲料, 2018(5): 75-79.
[12] 芮莹, 徐庆, 韦京辰, 等. 苕麻叶萃取物体外抗甲型流感病毒(H1N1)和抗氧化活性测定[J]. 中国药房, 2019, 30(8): 1061-1066.
[13] 陈平, 朱爱国, 陈继康, 等. 超声波辅助浸提苕麻叶蛋白工艺优化技术[J]. 食品工业, 2020, 41(8): 122-125.
[14] 林文秋, 杨为海, 邹明宏. 澳洲坚果果皮不同溶剂提取物的含量和抗氧化活性[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(1): 171-174.
[15] 李墨, 李宏强, 陈国刚, 等. 溶剂类型对葡萄籽多酚提取及抗氧化活性的影响[J]. 食品工业, 2016, 37(12): 122-127.
[16] HERRERA M C, LUQUE DE CASTRO M D. Ultrasound-assisted extraction for the analysis of phenolic compounds in strawberries[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2004, 379: 1106-1112.
[17] 孙晨. 微波辅助提取食品有效成分研究进展[J]. 粮食与油脂, 2011(7): 5-7.
[18] LAZZÈ M C, PIZZALA R, GUTIÉRREZ PECHARROMÁ F J, et al. Grape waste extract obtained by supercritical fluid extraction contains bioactive antioxidant molecules and induces antiproliferative effects in human colon adenocarcinoma cells[J]. Journal of Medicinal Food, 20019, 12(3): 561-568.
[19] LUO Xiao-ping, CUI Jie-mei, ZHANG Hai-hui, et al. Subcritical water extraction of polyphenolic compounds from

- sorghum (*Sorghum bicolor* L.) bran and their biological activities[J]. Food Chemistry, 2018, 262: 14-20.
- [20] ÁLVAREZ-CASAS M, GARCÍA-JARES C, LLOMPART M, et al. Effect of experimental parameters in the pressurized solvent extraction of polyphenolic compounds from white grape marc[J]. Food Chemistry, 2014, 157: 524-532.
- [21] NADAR S S, RAO P, RATHOD V K. Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology: A review[J]. Food Research International, 2018, 108: 309-330.
- [22] 许先猛, 张增帅, 郭俊花, 等. 苹果多酚提取和纯化关键技术研究进展[J/OL]. 食品与机械. (2020-10-27)[2020-11-06]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1183.TS.20201027.1736.012.html>.
- [23] 贺银菊, 张旋俊, 杨再波, 等. 响应面优化紫果西番莲叶多酚超声辅助提取工艺及其抗氧化活性[J/OL]. 食品工业科技. (2020-06-24)[2020-11-06]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20200624.1557.010.html>.
- [24] 蔡如玉, 常世敏, 宋春丽. “凤丹”油用牡丹籽多酚提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 181-186.
- [25] 余欣珂, 明建, 支玲, 等. 真空冷冻干燥对菊花多酚含量及其抗氧化活性的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(6): 138-144.
- [26] 董怡. 光果甘草叶黄酮的分离纯化、活性研究及应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2016: 31-45.
- [27] CHEN Xiu-min, MU Kai-wen, KITTS D D. Characterization of phytochemical mixtures with inflammatory modulation potential from coffee leaves processed by green and black tea processing methods [J]. Food Chemistry, 2019, 271(12): 248-258.
- [28] CHEN Xiu-min, MA Zhi-li, KITTS D D. Effects of processing method and age of leaves on phytochemical profiles and bioactivity of coffee leaves[J]. Food Chemistry, 2018, 249(24): 143-153.
- [29] CHEN Xiu-min, KITTS D D, JI Da-yi, et al. Free radical scavenging activities of phytochemical mixtures and aqueous methanolic extracts recovered from processed coffee leaves[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2019, 54(10): 2 872-2 879.

(上接第 114 页)

甜菜和黄瓜温度分别升高了 8 ℃ 和 5 ℃。后续将关注包覆材料发射率与红外热成像照相机读数之间的相互作用。

参考文献

- [1] 龚树生, 梁怀兰. 生鲜食品的冷链物流网络研究[J]. 中国流通经济, 2006(2): 7-9.
- [2] 曾庆菊. 食品冷链物流与技术管理规范化[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(17): 235.
- [3] 申江, 杨萌. 食品冷链的技术发展[J]. 包装工程, 2015, 36(15): 1-8.
- [4] 丁珍妮, 宋海燕. 食品保温包装的发展过程[J]. 上海包装, 2015(12): 62-65.
- [5] 潘嘹, 卢立新, 王军. 生鲜食品冷链控温包装设计方法研究[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(5): 507-511.
- [6] THIJS Defraeye, PAUL Cronjé, TARL Berry, et al. Towards integrated performance evaluation of future packaging for fresh produce in the cold chain [J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 44(2): 201-225.
- [7] MACNISH A J. Comparison of pallet cover systems to maintain strawberry fruit quality during transport[J]. Hort Technology, 2012, 22(5): 724.
- [8] 刘又夫, 周志艳, 田麓弘, 等. 红外热成像技术在农业中的应用[J]. 农业工程, 2019, 9(11): 102-110.
- [9] 李真, 史智兴, 王成, 等. 红外热成像技术在作物胁迫检测方面的应用[J]. 农机化研究, 2016, 38(1): 232-237.
- [10] GOWEN A A, TIWARI B K, CULLEN P J, et al. Applications of thermal imaging in food quality and safety assessment[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(4): 190-200.
- [11] 黄露. 基于认知心理学的儿童食品包装形象与色彩喜好分析[J]. 食品与机械, 2019, 35(11): 113-116, 205.
- [12] 杨萍. 儿童食品包装设计的安全性、趣味性与人性化[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 99-101.
- [13] 张冰钰. 基于趣味构成形式的现代食品包装设计[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 113-117.
- [14] BIRREN F. Color preference as a clue to personality[J]. Art Psychotherapy, 1973, 1(1): 13-16.
- [15] 薛晓光. 休闲食品包装趣味性的价值及设计原则[J]. 食品与机械, 2019, 35(11): 122-125, 175.

(上接第 122 页)