

响应面优化紫果西番莲维生素 C 的 超声辅助提取工艺

贺银菊^{1,2}, 杨再波^{1,2}, 彭莘媚^{1,2}, 杨 艳¹, 彭召旭¹

(1. 黔南民族师范学院化学化工学院, 贵州都匀 558000;

2. 贵州省高校民族药用植物资源开发工程研究中心, 贵州都匀 558000)

摘 要:本文以紫果西番莲为研究对象, 首先研究了不同酸提取溶剂对紫果西番莲果肉提取液中维生素 C 含量的影响, 然后采用单因素试验和响应面分析法优化维生素 C 提取的工艺, 考察液料比、超声温度、超声时间和超声功率对其提取液中维生素 C 含量的影响。结果表明: 提取剂为 2% 的草酸时, 紫果西番莲维生素 C 提取量最高, 其最佳工艺为液料比 4: 1 mL/g、超声温度 43 ℃、超声时间 18 min 和超声功率 310 W, 测得紫果西番莲果肉提取液中维生素 C 含量为 0.5316 mg/g, 与预测的理论含量相近。

关键词:响应面, 超声辅助提取, 紫果西番莲, 维生素 C

Optimization of Ultrasound-assisted Extraction of Vitamin C in the Purple Passionfruit by Response Surface Methodology

HE Yin-ju^{1,2}, YANG Zai-bo^{1,2}, PENG Xin-mei^{1,2}, YANG Yan¹, PENG Zhao-xu¹

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Qiannan Normal University for Nationalities, Duyun 558000, China;

2. Guizhou Province College Research Center of Ethnical Medicinal
Plant Resources Exploitation Engineering, Duyun 558000, China)

Abstract: Purple passion fruit as the study object in this paper, effects of different kinds of acid extraction solvent on the determination results of vitamin C in the purple passionfruit, effects of material to solvent ratio, ultrasonic time and ultrasonic power on the extraction of vitamin C were studied by single factor and response surface methodology. The results showed that 2% oxalic acid was the best extraction solvent for vitamin C from purple passion fruit, and the optimal extraction technology was as follows: material to solvent ratio 4: 1 mL/g, ultrasonic temperature 43 ℃, ultrasonic time 18 min, ultrasonic power 310 W, the vitamin C content of purple passion fruit was 0.5316 mg/g, the results are close to the theory of the prediction.

Key words: response surface methodology; ultrasound-assisted extraction; purple passionfruit; vitamin C

中图分类号: TS201.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2020)01-0119-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.01.020

引文格式: 贺银菊, 杨再波, 彭莘媚, 等. 响应面优化紫果西番莲维生素 C 的超声辅助提取工艺[J]. 食品工业科技, 2020, 41(1): 119-124.

西番莲(Passion fruit)又称巴西果、鸡蛋果、热情果, 是西番莲科多年木质藤本植物果实的通称, 气味芳香浓郁, 有“果汁之王”的美誉^[1]。目前西番莲主要有黄果、紫果、紫红色果三个品种, 其果实均由果皮和果肉两部分组成, 果肉呈黄色、味酸, 含有丰富的蛋白质、还原糖、矿物质元素、A 族/B 族维生素、胡萝卜素、有机酸、人体所需要的氨基酸及维生素 C, 丰富有机酸的存在使维生素 C 不易受到损失。因此西番莲果是维生素 C 的良好来源, 被誉为水果中的维生素 C 之王^[2-4]。

维生素 C 是维持机体正常的生命活动所必须的一种物质, 可促进胶原蛋白合成, 组织修补, 叶酸的代谢, 参与机体的解毒、胆固醇代谢、预防多种疾病; 同时还具有抗氧化、抗肿瘤、抗自由基等功效^[5-9]。维生素 C 有较强的还原性, 在空气中易被氧化, 弱酸提取可以增强提取液中维生素 C 的稳定性, 常用醋酸、草酸、盐酸、偏磷酸、混酸等^[10-13]提取果蔬中的维生素 C, 酸浓度对维生素 C 的提取量有一定的影响^[14]。常见的维生素 C 的测定方法主要有滴定法、电化学法、光谱法和色谱法等^[15], 主要提取方法有水提法、酸提取法、醇

收稿日期: 2019-03-28

作者简介: 贺银菊(1986-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 天然产物的研究与开发, E-mail: heyinju2007@163.com。

基金项目: 贵州省科学技术联合基金项目(LH 字[2015]7714); 贵州省教育厅自然科研青年项目(黔教科[2014]314 号); 校级产学研基地(Qnsyk201603); 中央财政专项子项目(qnsy2015zczy05)。

提取法、超声辅助提取法微波提取法等^[16-19],其中超声辅助法可缩短提取时间、提高提取率。

目前对紫果西番莲果肉维生素 C 提取工艺的报道较少,本文以紫果西番莲为研究对象,考察不同酸提取剂对其果肉中维生素 C 提取量的影响;在最佳酸提取剂的条件下,用超声辅助技术考察液料比、超声温度、超声时间和超声功率对维生素 C 提取的影响,结合单因素试验结果设计响应面优化试验确定紫果西番莲果肉维生素 C 的最佳工艺,为进一步开发紫果西番莲的价值提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

紫果西番莲 2018 年 11 月采于贵州省平塘县塘边镇新街村,成熟后采摘,去皮取其果肉备用;维生素 C 标准品 中国食品药品检定研究院;草酸、盐酸 均为分析纯。

DZ-2A 型真空干燥箱、SHZ-D 循环水真空泵 郑州英峪予华仪器有限公司;BS1105 电子天平 北京赛多利斯天平有限公司;FA2204 电子天平 上海舜宇恒平科学仪器有限公司;KQ-500DE 型数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司;TU-1901 型双光束紫外分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1 紫果西番莲维生素 C 提取工艺 取成熟的紫果西番莲可食果肉部分 5.00 g,按照一定的液料比(2:1、3:1、4:1、5:1、6:1 mL/g)加入 2% 草酸提取剂,在一定的提取温度(20、30、40、50、60 ℃)和提取功率(200、250、300、350、400 W)下提取一定的时间(5、10、15、20、25 min),然后过滤定容,在最佳吸收波长处测定样品的吸光度值,得出紫果西番莲果肉中维生素 C 的含量。

1.2.2 提取溶剂的选择 在液料比为 4:1 mL/g、超声温度为 40 ℃、超声时间 15 min 及超声功率 300 W 下研究 1% 草酸、1% 盐酸、2% 草酸、1% 草酸 + 1% 盐酸(体积比 1:1)和 2% 盐酸等对紫果西番莲果肉维生素 C 提取量的影响,通过测定比较 5 种酸提取剂提取液中的维生素 C 含量得出最佳的提取溶剂,在最佳酸提取剂的条件下采用单因素试验和响应面优化实验优化维生素 C 提取工艺。

1.2.3 单因素实验 紫果西番莲提取的基本条件为:液料比 4:1 mL/g,超声温度 40 ℃,超声时间 15 min,超声功率 300 W,改变其中一个条件,分别考察液料比(2:1、3:1、4:1、5:1、6:1 mL/g)、超声温度(20、30、40、50、60 ℃)、超声时间(5、10、15、20、25 min)和超声功率(200、250、300、350、400 W)对紫果西番莲提取液维生素 C 含量的影响。

1.2.4 响应面实验 根据单因素试验结果,运用 Box-Behnken 中心组合原理,设计响应面优化试验,其因素及水平见表 1。根据响应面优化设计试验结果进行验证性试验,计算紫果西番莲果肉提取液中维生素 C 含量。

1.2.5 维生素 C 含量的测定

表 1 响应面实验因素水平表

Table 1 Levels and factors of response surface methodology

因素	水平		
	-1	0	1
A 液料比(mL/g)	3:1	4:1	5:1
B 超声温度(℃)	35	40	45
C 超声时间(min)	15	20	25
D 超声功率(W)	250	300	350

1.2.5.1 标准曲线的绘制 准确称取 0.2500 g 维生素 C 标准品于烧杯中,用 2% 草酸的溶解转入 250 mL 容量瓶中,定容,混匀,即得 1 mg/mL 维生素 C 标准溶液备用。移液器分别准确吸取 1 mg/mL 维生素 C 标准溶液 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 于 5 个洁净干燥的 10 mL 容量瓶中,用蒸馏水定容,配制成浓度为 20、40、60、80、100 μg/mL 的维生素 C 的标准溶液。以蒸馏水为参比,在最佳吸收波长 270 nm 处测定吸光度值,以维生素 C 浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线。

1.2.5.2 样品维生素 C 含量的测定 称取 5.00 g 紫果西番莲果肉,以 1.2.2 中的最佳酸 2% 草酸作提取剂。按照单因素和响应面优化条件提取紫果西番莲的维生素 C,提取完成后蒸馏水定容至 50 mL,以蒸馏水为参比,在 270 nm 处测定吸光度值,计算维生素 C 含量。

1.3 数据处理

标准曲线、酸提取剂影响及单因素试验数据处理采用 Origin 8.0 软件作图,响应面优化分析及方差分析采用 Design-Expert V 8.0.6 软件, $P < 0.05$ 表明差异显著。

2 结果与分析

2.1 维生素 C 的标准曲线

根据 1.2.5.1 标准样品的吸光度值和浓度,绘制标准曲线,结果如图 1,由图 1 可知,维生素 C 标准样品在 20~100 μg/mL 范围内吸光度与浓度呈良好的线性关系,回归方程 $y = 0.00909x + 0.05219$, $R^2 = 0.99967$ 。

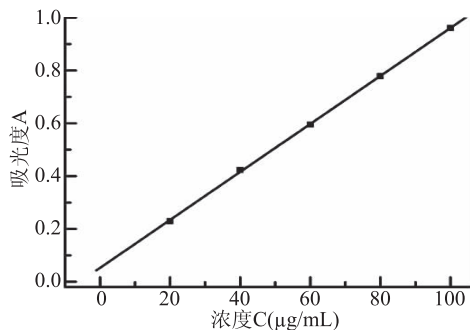


图 1 维生素 C 的标准曲线

Fig.1 Standard curve of vitamin C

2.2 不同酸提取溶剂对提取液中维生素 C 含量的影响

不同酸对紫果西番莲果肉维生素 C 提取量的影响,结果见图 2,由图 2 可知,提取溶剂为 2% 草酸溶液时,维生素 C 提取量最高,这是因为不同酸提取溶

剂对维生素 C 有一定的影响^[14],且紫果西番莲果肉中含有一定的有机酸^[2],当提取溶剂为 2% 草酸时维生素 C 提取量最高,因此单因素和响应面优化均选择 2% 草酸溶液作提取溶剂。

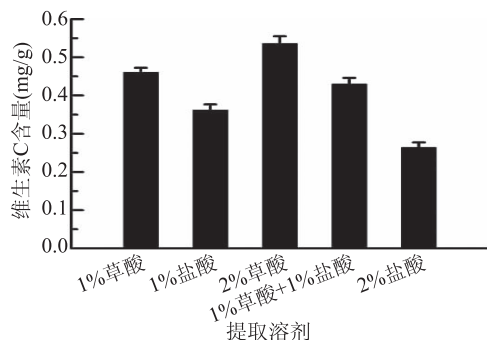


图2 不同提取溶剂对紫果西番莲提取液维生素 C 含量的影响

Fig.2 Effects of different kinds of extraction solvent on content of vitamin C in the purple passion fruit extract

2.3 单因素实验

2.3.1 液料比对提取液中维生素 C 含量的影响 液料比对提取液中维生素 C 含量的影响见图 3,由图 3 可见,液料比对紫果西番莲果肉提取液中维生素 C 含量影响较大,当液料比为 4:1 mL/g 时紫果西番莲果肉中提取液中维生素 C 含量最高,在 2:1~4:1 mL/g 时随着液料比的增大,提取液中维生素 C 含量升高;在 4:1~6:1 mL/g 时随着液料比的增大,提取液中维生素 C 含量降低。这是因为随着液料比的增加有利于维生素 C 的浸出,维生素 C 含量升高;而液料比过高时影响浸提体系的果肉介质的传热等,提取液中维生素 C 含量降低。因此选择液料比 3:1、4:1、5:1 mL/g 作为响应面设计的 3 个水平。

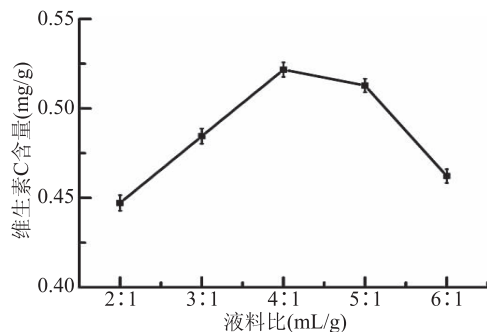


图3 液料比对紫果西番莲提取液中维生素 C 含量的影响

Fig.3 Effect of material to solvent ratio on vitamin C content in the purple passion fruit extract

2.3.2 超声温度对提取液中维生素 C 含量的影响 超声温度对提取液中维生素 C 含量的影响见图 4,由图 4 可见,超声温度对紫果西番莲果肉提取液中维生素 C 含量影响较大,当超声温度为 40 °C 时紫果西番莲果肉中提取液中维生素 C 含量最高,在 20~40 °C 时随着超声温度的升高,提取液中维生素 C 含量升高;在 40~60 °C 时随着超声温度的升高,提取液中维生素 C 含量降低。这是因为随着超声温度的升高加快分子的运动速率有利于维生素 C 的浸出,维

生素 C 含量升高;而超声温度过高时使维生素 C 分解甚至氧化,维生素 C 的提取量降低^[20]。因此选择提取温度 35、40、45 °C 作为响应面设计的 3 个水平。

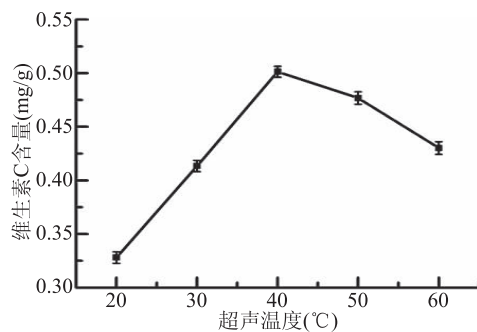


图4 超声温度对紫果西番莲提取液中维生素 C 含量的影响

Fig.4 Effect of ultrasonic temperature on vitamin C content in the purple passion fruit extract

2.3.3 超声时间对提取液中维生素 C 含量的影响 超声时间对提取液中维生素 C 含量的影响见图 5,由图 5 可见,超声时间对紫果西番莲果肉提取液中维生素 C 含量影响较大,当超声时间为 20 min 时紫果西番莲果肉提取液中维生素 C 含量最高,在 5~20 min 时随着超声时间的增加,提取液中维生素 C 含量升高;在 20~25 min 随着超声时间的增加,提取液中维生素 C 含量降低。这是因为随着超声时间的增加维生素 C 的提取量积累,维生素 C 的提取量升高;而超声时间过长时使维生素 C 氧化分解,维生素 C 的提取量降低^[20]。因此选择提取时间 15、20、25 min 作为响应面设计的 3 个水平。

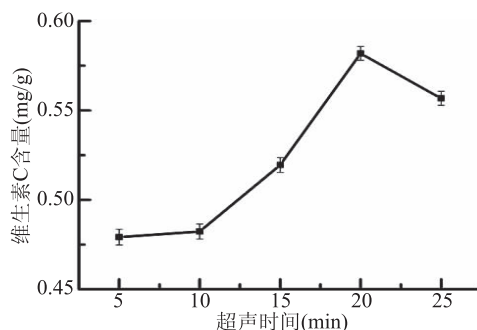


图5 超声时间对紫果西番莲提取液中维生素 C 含量的影响

Fig.5 Effect of ultrasonic time on vitamin C content in the purple passionfruit extract

2.3.4 超声功率对提取液中维生素 C 含量的影响 超声功率对提取液中维生素 C 含量的影响见图 6,由图 6 可见,超声功率对紫果西番莲果肉提取液中维生素 C 含量影响较大,当超声功率为 300 W 时紫果西番莲果肉中提取液中维生素 C 提取量最高,在 200~300 W 时随着超声功率的增加,提取液中维生素 C 含量升高;在 300~400 W 时随着超声功率的增大,提取液中维生素 C 含量降低。这是因为随着超声功率的增加超声波破坏细胞壁的速率增加,维生素 C 的提取量升高;而超声功率过高时破坏了果肉分子的结构,维生素 C 的提取量降低。因此最佳超声功率为 300 W,

选择 250、300、350 W 作为响应面设计的 3 个水平。

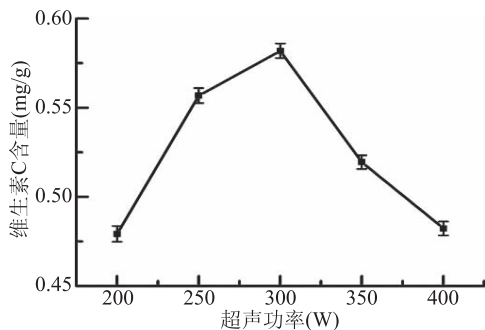


图6 超声功率对紫果西番莲
提取液中维生素 C 含量的影响

Fig.6 Effect of ultrasonic power on vitamin C
content in the purple passionfruit extract

2.4 响应面优化试验

2.4.1 响应面试验结果 根据 Box-Behnken 的中心组合设计原理,设计了 4 因素 3 水平的 29 组试验优化紫果西番莲果肉中维生素 C 的提取工艺,维生素 C 提取优化试验数据见表 2,根据表 2 的数据用软件 Design-Expert 8.0.6 进行拟合、分析,得维生素 C 含量 Y 的回归方程:

$$Y(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = 0.52 - 0.0029A + 0.047B - 0.0066C + 0.014D - 0.0078AB + 0.0043AC - 0.0062AD + 0.0088BC - 0.018BD - 0.0071CD - 0.013A^2 - 0.040B^2 - 0.0048C^2 - 0.034D^2.$$

模型的方差分析见表 3,由表 3 可知:模型的 $F = 13.18$, $P < 0.0001$,表明二次模型是极显著的,能够正确反映各因素与响应值之间的变化关系。确定系数 $R^2 = 0.9295$,校正确定系数 $R^2_{\text{adj}} = 0.8590$,变异系数 $CV = 3.33\%$ 较小,说明试验模拟好、可靠。 B 、 B^2 、 D^2 的 P 值均小于 0.01,表明其对维生素 C 提取量影响极显著, D 、 BD 的 P 值均小于 0.05,表明其对提取液中维生素 C 含量影响显著。因素 A 、 C 及交互项 AB 、 AC 、 AD 、 BC 、 CD 、 AD 、 A^2 和 C^2 的 P 值大于 0.05,表明其对提取液中维生素 C 含量没有显著性影响。由各因素 A 、 B 、 C 、 D 的 F 值(或者 P 值)大小可以得出各因素对提取液中维生素 C 含量影响大小顺序为 $B > D > C > A$ 。

2.4.2 响应面分析 两两因素的交互作用响应面见图 7,由图 7 可知,因素间相互作用对紫果西番莲果肉中提取液中维生素 C 含量的影响,即响应面对各因素的敏感程度反映了在另外两个因素固定的条件下,两两因素对提取液中维生素 C 含量影响。响应面坡面越陡峭表明响应面受实验因素变化就越大,响应面坡面越平缓表明响应面受实验因素变化就越小。由图 7 可见,两两因素交互响应面坡面陡峭顺序为: $BD > BC > AB > CD > AD > AC$,即超声温度和超声功率的交互作用响应面最陡峭,说明超声温度和超声功率的交互作用对维生素 C 提取量影响最大,而液料比和超声时间的交互作用响应面最平缓,说明液料比和超声时间的交互作用对维生素 C 提取量影响最小。

表2 响应面设计试验设计及结果

Table 2 Arrangement and results of
response surface methodology

试验号	A	B	C	D	Y:维生素 C 含量 (mg/g)
1	-1	1	0	0	0.5395
2	1	0	0	1	0.4637
3	0	0	0	0	0.4892
4	0	1	0	-1	0.4892
5	1	0	0	-1	0.4623
6	0	0	0	0	0.5267
7	0	0	0	0	0.5236
8	0	0	1	1	0.4784
9	-1	-1	0	0	0.4164
10	-1	0	1	0	0.4877
11	0	0	0	0	0.5341
12	0	0	-1	1	0.5241
13	1	1	0	0	0.5126
14	1	0	1	0	0.4978
15	0	0	-1	-1	0.4814
16	0	0	1	-1	0.4641
17	1	0	-1	0	0.4969
18	0	1	0	1	0.4924
19	0	-1	0	-1	0.3518
20	0	1	-1	0	0.4962
21	-1	0	0	1	0.4838
22	0	-1	-1	0	0.4419
23	0	0	0	0	0.5169
24	0	1	1	0	0.5135
25	-1	0	-1	0	0.5041
26	-1	0	0	-1	0.4578
27	0	-1	1	0	0.4238
28	1	-1	0	0	0.4208
29	0	-1	0	1	0.4268

2.4.3 响应面试验优化及验证试验 通过 Design-Expert 8.0.6 软件,对回归模型进行预测得到紫果西番莲果肉维生素 C 含量提取最佳工艺为:液料比 3.62:1 mL/g、超声温度 42.66 °C、超声时间 17.59 min 和超声功率 307.24 W,维生素 C 理论含量为 0.5337 mg/g。根据预测条件和实际操作设计维生素 C 提取条件分别为:液料比 4:1 mL·g⁻¹、超声温度 43 °C、超声时间 18 min 和超声功率 310 W,进行 3 次平行试验取实验的平均值,得紫果西番莲果肉中提取液中维生素 C 含量为 0.5316 mg/g,预测结果和实测结果相近,说明拟合良好、参数可靠。

3 结论

本文首先研究了不同浓度的酸提取剂对紫果西番莲果肉提取液中维生素 C 含量的影响,得出 2% 的草酸作提取剂时,提取液中维生素 C 含量最高,分析原因主要是紫果西番莲果肉中本身就存在大量的有机酸。响应面优化结果表明:二次模型极显著,准确性较高;回归方程和各因素交互作用响应面表明各

表3 模型的方差分析
Table 3 Variance analysis of model

差异来源	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	0.047	14	3.36E-03	13.18	<0.0001	**
A	1.03E-04	1	1.03E-04	0.4	0.5349	
B	0.026	1	0.026	103.15	<0.0001	**
C	5.24E-04	1	5.24E-04	2.05	0.1737	
D	2.20E-03	1	2.20E-03	8.64	0.0108	*
AB	2.45E-04	1	2.45E-04	0.96	0.3438	
AC	7.48E-05	1	7.48E-05	0.29	0.5966	
AD	1.51E-04	1	1.51E-04	0.59	0.4540	
BC	3.13E-04	1	3.13E-04	1.23	0.2864	
BD	1.29E-03	1	1.29E-03	5.05	0.0412	*
CD	2.02E-04	1	2.02E-04	0.79	0.3890	
A ²	1.11E-03	1	1.11E-03	4.35	0.0557	
B ²	0.011	1	0.011	41.5	<0.0001	**
C ²	1.48E-04	1	1.48E-04	0.58	0.4594	
D ²	7.51E-03	1	7.51E-03	29.46	<0.0001	**
残差	3.57E-03	14	2.55E-04			
失拟	2.37E-03	10	2.37E-04	0.79	0.6524	
纯差	1.20E-03	4	2.99E-04			
总和	0.051	28				

注：**表示差异极显著(P<0.01)，*表示差异显著(P<0.05)。

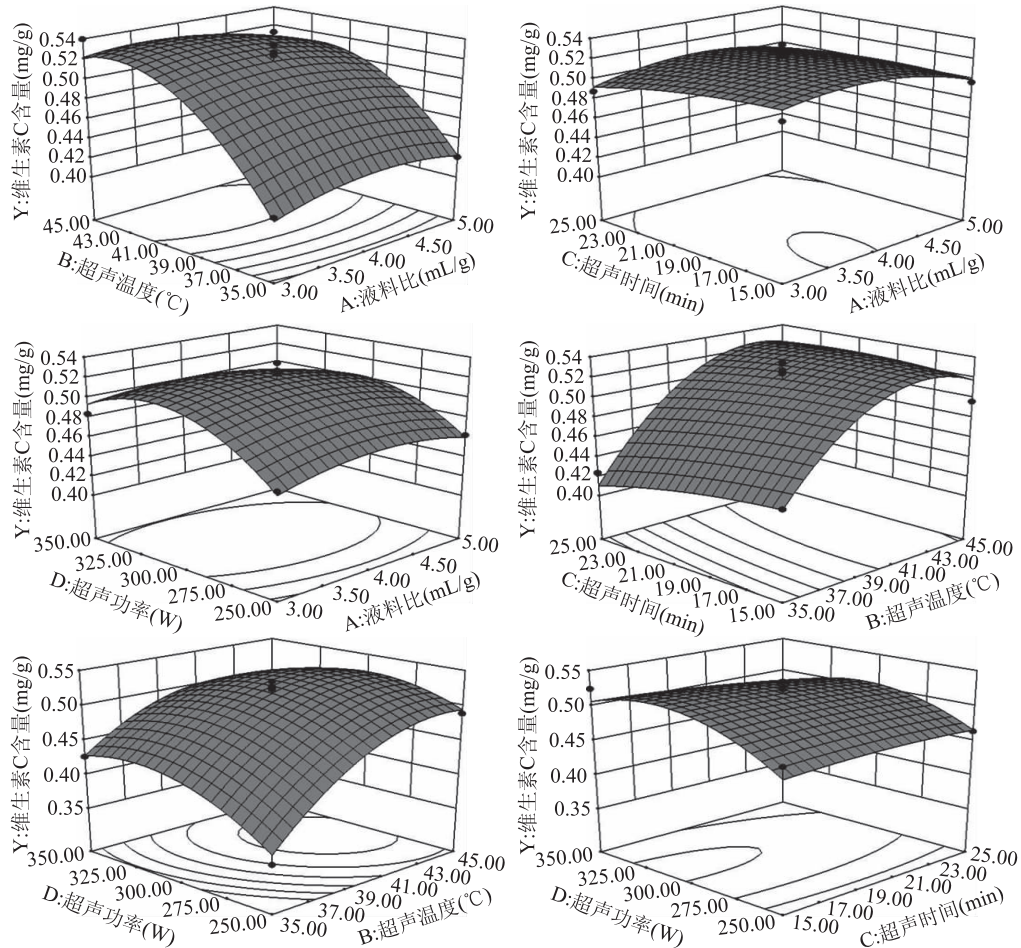


图7 各因素两两交互作用对紫果西番莲提取液中维生素C含量的响应面
Fig.7 Response surface of the effect interaction between two factors of vitamin C from the purple passionfruit

因素对紫果西番莲果肉中维生素 C 提取量的影响顺序为 $B > D > C > A$, 即超声温度影响最大, 超声功率次之, 再次是超声时间的影响, 液料比的影响最小。根据回归模型进行预测和验证性实验, 建立了维生素 C 提取的最佳工艺: 液料比 $4:1 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 、超声温度 43°C 、超声时间 18 min 和超声功率 310 W , 紫果西番莲果肉中的维生素 C 含量为 0.5316 mg/g 。可见紫果西番莲果肉中含有丰富的维生素 C, 不愧为水果中的维生素 C 之王。

参考文献

- [1] 刘坤, 刘炳仁. “果汁之王”——百香果[J]. 科学种养, 2007(9): 53.
- [2] 陈泽琼, 廖斌, 庄宗浩. 西番莲果汁、果皮、籽实, 种子油的营养成分及其综合利用[J]. 广州食品工业科技, 1992(1): 25-28.
- [3] 何洁, 莫仁甫, 劳水兵, 等. 紫果西番莲和其它 5 种水果中氨基酸组分分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(6): 298-300, 316.
- [4] 侯曼玲. 食品分析[M]. 北京: 北京工业出版社, 2004: 65-77, 113-115.
- [5] 樊伟伟, 何进武, 侯萍. 野生灰条菜中维生素 C 提取及其抗氧化活性研究[J]. 食品工业, 2018, 39(3): 1-4.
- [6] Jiménez-Aguilar, Dulce M, Grusak M A. Minerals, vitamin C, phenolics, flavonoids and antioxidant activity of Amaranthus leafy vegetables[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2017, 58: 33-39.
- [7] Hadzi-Petrushev N, Mitrov D, Kostovski V, et al. The impact of vitamin C on the relationship among inflammation, lipid peroxidation, and platelet activation during analgesic nephropathy in rats[J]. Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology, 2017, 28(5): 473-481.
- [8] 米书梅, 阮征, 温艳梅, 等. 几种常见果蔬抗氧化活性与多

酚和维生素 C 的关系[J]. 食品工业科技, 2013, 34(1): 133-136.

- [9] 杨建辉. 维生素 C 生物学活性研究进展[J]. 现代诊断与治疗, 2012, 23(5): 434-437.
- [10] 邱清莲, 吴斯燕, 刘光兰, 等. 含葡萄籽提取物的维生素 C 的测定[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(1): 39-44.
- [11] 索朗桑姆. 当归叶中维生素 C 的提取研究[J]. 西藏科技, 2015, 10: 68-70.
- [12] 李文娜, 肖苑, 陈阳, 等. 杜仲叶绿原酸提取物与绿原酸、维生素 C 体外抗氧化比较[J]. 食品工业科技, 2012, 33(11): 137-140.
- [13] 叶在荣, 周开志, 叶红, 等. 测定维生素 C 的提取剂的研究[J]. 食品工业科技, 1994(4): 65-67.
- [14] 徐新娟, 孙海燕, 李勇超, 等. 不同酸提取对维生素 C 测定结果的影响[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(18): 4799-4801.
- [15] 李野, 尹利辉, 高尚, 等. 食品和药品中维生素 C 含量测定方法的研究进展[J]. 药物分析杂志, 2016, 36(5): 756-764.
- [16] 李玉明. 柚子果肉中维生素 C 的超声波提取及高效液相色谱分析[J]. 计算机与应用化学, 2011, 28(5): 580-582.
- [17] 吴海燕, 陆兵. 微波辅助提取反相高效液相色谱法测定花菜中的维生素 C[J]. 食品工业, 2014(5): 221-223.
- [18] Ordóñez-Santos L E, Martínez-Girón J, Arias-Jaramillo M E. Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice[J]. Food Chemistry, 2017, 233: 96-100.
- [19] Le H V, Le V V M. Comparison of enzyme-assisted and ultrasound-assisted extraction of vitamin C and phenolic compounds from acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruit[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2012, 47(6): 1206-1214.
- [20] 张歆皓, 高竹婷, 王卫东, 等. 果汁中维生素 C 含量的测定及其稳定性研究[J]. 内蒙古民族大学学报: 自然科学版, 2018, 33(3): 213-218.

(上接第 85 页)

- 冻的研制[J]. 农产品加工, 2016(16): 10-14.
- [3] 梅新, 施建斌, 隋勇. 紫薯粉面条制作工艺研究[J]. 食品工业, 2018, 39(5): 38-44.
 - [4] 段欣, 薛文通, 张惠. 不同品种甘薯全粉基本特性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 119-122.
 - [5] Zi-Jian C, Hu L. Reviews on the nutrients of sweet potato and food development[J]. Journal of Southwest University for Nationalities, 2005(1): 30-32.
 - [6] 张森, 李燮昕, 张振宇. 不同品种紫薯粉基本成分及特性研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 126-129.
 - [7] 王丽, 罗红霞, 李淑荣. 不同品种马铃薯粉面条品质特性及主成分分析[J]. 现代食品科技, 2018, 34(1): 111-118.
 - [8] 陈芳芳, 于文滔, 刘少伟. 紫薯粉对面团粉质特性和质构特性的影响[J]. 食品工业, 2014(5): 170-174.
 - [9] 单珊. 紫薯-小麦混合粉的性质及面条品质研究[D]. 江苏: 江南大学, 2012: 1-23.
 - [10] 罗文, 陈实, 张松. 紫薯馒头制作工艺研究[J]. 四川旅游学院学报, 2016(4): 23-26.
 - [11] 郭家宝, 刘彦军, 高振贤. 添加紫薯粉对强筋小麦粉品质特性及面包加工品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2019(4):

14-17.

- [12] 郭兴凤, 王瑞红, 崔会娟. 大豆蛋白酶水解产物的水解度对小麦粉及面条品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2017(1): 12-16, 23.
- [13] 王坤. 鲜切紫薯面条的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013: 36-37.
- [14] Krishnan J G, Menon R, Padmaja G, et al. Evaluation of nutritional and physico-mechanical characteristics of dietary fiber-enriched sweet potato pasta[J]. European Food Research and Technology, 2012, 234(3): 467-476.
- [15] 王乐. 马铃薯面团特性及面条品质研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2017: 12-13.
- [16] 李立华. 乳化剂对机制鲜湿面货架期内品质影响研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017: 9.
- [17] 吴丹. 紫薯粉面条生产工艺优化及品质形成机理研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2017: 10.
- [18] 曾著莉. 马铃薯添加量对面条品质及挥发性风味物质的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017: 26-27.
- [19] 武松, 潘发明. SPSS 统计分析大全[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014: 315-344.