

响应面优化长白山紫苏籽油制备及其 抗炎活性研究

吕萍

(吉林农业科技学院 食品工程学院, 吉林 吉林 132101)

摘要: 为研究长白山紫苏籽油优化提取条件及其抗炎活性,采用响应面优化水酶法提取长白山紫苏籽油的工艺条件,并初步研究其对小鼠的抗炎活性。结果表明:长白山紫苏籽油的最佳提取条件为料液比 1:10 (g/mL)、碱性蛋白酶加酶量 3%、酶解温度 45 ℃、酶解时间 3 h。此条件下,提取率为 76.49%。通过其对小鼠毛细血管通透性及耳肿胀实验发现,长白山紫苏籽油低、中和高剂量组能显著抑制醋酸致小鼠毛细血管通透性增加,且紫苏籽油各剂量组对二甲苯致小鼠耳廓肿胀有显著或极显著的抑制作用,表明长白山紫苏籽油具有良好的抗炎活性。

关键词: 响应面;紫苏籽油;水酶法;提取工艺;抗炎活性

Preparation and Anti-inflammatory Activity of *Perilla* Seed Oil from Changbai Mountain by Response Surface Optimization

LÜ Ping

(College of Food Engineering, Jilin Agricultural Science and Technology University, Jilin 132101, Jilin, China)

Abstract: To study the optimal extraction conditions and anti-inflammatory activity of *Perilla* seed oil from Changbai Mountain. Response surface methodology (RSM) was used to optimize the aqueous enzymatic extraction of *Perilla* seed oil from Changbai Mountain, and its anti-inflammatory activity against mice was explored. The results showed that the optimal extraction conditions were as follows: solid-to-liquid ratio of 1:10 (g/mL), alkaline protease content of 3%, and enzymatic hydrolysis temperature and time of 45 ℃ and 3 h. Under the above conditions, the extraction yield of *Perilla* seed oil from Changbai Mountain was 76.49%. The capillary permeability test and ear swelling test in mice found that the low, medium and high dose groups of Changbai Mountain *Perilla* seed oil could significantly inhibit the increase of capillary permeability induced by acetic acid in mic and in all dose groups of Changbai Mountain *Perilla* seed oil, xylene-induced mice auricle swelling was marked or extremely marked inhibited, indicating that *Perilla* seed oil from Changbai Mountain had good anti-inflammatory activity.

Key words: response surface; *Perilla* seed oil; aqueous enzyme; extraction process; anti-inflammatory activity

引文格式:

吕萍. 响应面优化长白山紫苏籽油制备及其抗炎活性研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(9):96-102.

LÜ Ping. Preparation and Anti-inflammatory Activity of *Perilla* Seed Oil from Changbai Mountain by Response Surface Optimization[J]. Food Research and Development, 2022, 43(9):96-102.

紫苏为一年生唇形科草本植物,是一种药食两用植物。紫苏对于环境的要求不高,野生紫苏遍布全国

各地^[1]。我国东北长白山地区盛产紫苏,紫苏籽含油量为 40%~50%,不饱和脂肪酸含量达 90%以上,其中 α -

基金项目:吉林省教育厅科学技术研究项目(JJKH20210405KJ)

作者简介:吕萍(1982—),女(汉),讲师,硕士研究生,研究方向:食品科学。

亚麻酸含量最高为 50%~70%。紫苏籽油是优良的营养食用油,含有丰富的维生素 E、8 种人体必需氨基酸和多种微量元素^[2-3]。紫苏籽油具有调节免疫力、抗炎、降低血脂血压、降胆固醇、抗过敏、预防脑血栓和心肌梗塞、抗癌、延缓衰老等功效,对视觉功能和学习的行为活动有促进作用^[4-9]。

目前紫苏籽油的提取方法主要有水酶法、机械压榨法、溶剂浸提法^[10]及 CO₂ 超临界萃取法等^[11-12],水酶法与以上方法相比,具有耗能少、时间短以及毛油品质高,并且提取方法易操作、处理条件温和、不会破坏油脂营养物质,有利于提高油料作物资源综合利用率^[13]。当前国内外对紫苏籽油抗炎活性研究较少,故本文采用水酶法提取紫苏籽油,通过单因素试验优选,借助响应面优化分析^[14]得到最佳工艺,获得紫苏籽油较高的提取率,并研究其对小鼠毛细血管通透性及耳肿胀等抗炎活性,为紫苏籽油在食品、医药等方面的综合利用提供理论参考及依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

长白山地区紫苏籽:市售。经烘干粉碎后备用;碱性蛋白酶(25 000 U/g):美国 Sigma 公司;氢氧化钠、盐酸、NaCl、醋酸、二甲苯(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司;伊文思蓝:上海振誉生物科技有限公司;阿司匹林:苏州甫路生物科技有限公司;醋酸地塞米松:广东南国药业有限公司。

昆明小鼠(SPF 级,18 g~20 g):辽宁长生生物技术股份有限公司,许可证号 SCXK(辽)2015-0001,动物于实验前在动物房环境适应一周。

1.2 仪器与设备

电子天平(BEM220.4):上海卓精电子科技有限公司;多功能粉碎机(XS-10):上海兆申科技有限公司;离心机(H2050R-1):湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;紫外可见分光光度计(752N):上海仪器分析厂;电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9223A 型):成都瑞派斯科技有限公司;恒温水浴摇床(SY-2230):苏州威尔实验仪器开发有限公司;集热式磁力搅拌器(DF-101D):河南自玉铨科技有限公司;脂肪测定仪(YSXT-02):上海熙扬仪器有限公司;pH 计(PHS-25 型):上海平轩科技仪器有限公司;旋转蒸发仪(RE-52AA):上海亚荣生化仪器厂。

1.3 试验方法

1.3.1 紫苏籽油的提取

采用水酶法提取紫苏籽油。将 100 ℃烘烤后的紫

苏籽粉碎过 150 目筛,即得紫苏籽粉。准确称重 50 g 紫苏籽粉后加水调节适宜料液比,待温度上升至所需温度时,用 1 mol/L HCl 或 1 mol/L NaOH 调节 pH 值,加入一定比例的碱性蛋白酶,酶解结束后 100 ℃水浴灭酶 15 min,然后冷却至室温 20 ℃,6 000 r/min 离心 15 min,离心结束取上层清油,提取率计算公式如下^[15]。

$$\text{紫苏籽油提取率}/\% = \frac{\text{清油质量}}{\text{紫苏籽含油率} \times \text{样品质量}} \times 100$$

1.3.2 单因素试验

1.3.2.1 料液比的选择

在碱性蛋白酶加酶量 3%、酶解温度 55 ℃、酶解时间 5 h、pH 9.5 条件下,考察料液比[(1:4、1:6、1:8、1:10、1:12 (g/mL)]对紫苏籽油提取率的影响。

1.3.2.2 碱性蛋白酶加酶量的选择

在酶解温度 55 ℃、pH 9.5、料液比 1:6 (g/mL)、酶解时间 5 h 条件下,考察碱性蛋白酶加酶量(1%、2%、3%、4%、5%)对紫苏籽油提取率的影响。

1.3.2.3 酶解 pH 值的选择

在碱性蛋白酶加酶量 3%、酶解温度 55 ℃、料液比 1:6 (g/mL)、酶解时间 5 h 条件下,考察 pH 值(8.0、8.5、9.0、9.5、10.0)对紫苏籽油提取率的影响。

1.3.2.4 酶解温度的选择

在碱性蛋白酶加酶量 3%、料液比 1:6 (g/mL)、酶解时间 5 h、pH 9.5 条件下,考察酶解温度(40、45、50、55、60 ℃)对紫苏籽油提取率的影响。

1.3.2.5 酶解时间的选择

在碱性蛋白酶加酶量 3%、料液比 1:6 (g/mL)、酶解温度 50 ℃、酶解 pH 9.5 条件下,考察酶解时间(1、2、3、4、5 h)对紫苏籽油提取率的影响。

1.3.3 响应面试验优化

根据单因素试验结果,选取对长白山紫苏籽油提取影响较大的 4 个因素料液比(A)、加酶量(B)、酶解温度(C)、酶解时间(D)进行四因素三水平的响应面分析,对紫苏油工艺条件进行优化^[16-17]。响应面试验因素水平见表 1。

表 1 响应面试验因素水平

Table 1 Response surface test factors

水平	因素			
	A 料液比/ (g/mL)	B 加酶量/%	C 酶解 温度/℃	D 酶解 时间/h
-1	1:6	3	45	3
0	1:8	4	50	4
1	1:10	5	55	5

1.3.4 紫苏籽油抗炎活性研究

1.3.4.1 紫苏籽油对小鼠毛细血管通透性的影响

取50只KM小鼠,雌雄各半,随机分成5组,分别为空白组,每天灌胃0.1 g/mL 0.9% NaCl。阳性对照组:每天灌胃0.001 g/mL阿司匹林,灌胃体积为0.01 mL/g;低、中、高剂量组:每天分别灌胃100、150、200 μ L/kg紫苏籽油;连续灌胃7 d,末次灌胃1 h后,小鼠尾静脉注射1%伊文思蓝0.01 mL/g体重,同时腹腔注射0.6%醋酸溶液0.2 mL/只,使小鼠自由活动0.5 h后处死,用5 mL 0.9% NaCl冲洗腹腔,收集冲洗液,2 500 r/min离心10 min,取上清液在590 nm测吸光度,以吸光度(OD)值判断小鼠腹腔毛细血管的通透性^[18-21]。

1.3.4.2 紫苏籽油对小鼠耳肿胀的影响

小鼠分组及灌胃方法同1.3.4.1,阳性对照物为醋酸地塞米松(20 mg/kg),末次灌胃1 h后,在小鼠左耳廓的上下两面分别滴涂10 μ L二甲苯,右耳廓作空白对照,0.5 h后将小鼠处死,用打孔器将小鼠左、右耳廓相同位置取下,称重,以左右耳片质量差作为肿胀度,肿胀抑制率计算公式如下^[18-21]。

$$\text{肿胀度}/\text{mg}=\text{右耳片重}/\text{mg}-\text{左耳片重}/\text{mg}$$

$$\text{肿胀抑制率}/\%=(\text{对照组平均肿胀度}-\text{给药组平均肿胀度})/\text{对照组肿胀度}$$

1.4 数据分析

采用SPSS 17.0统计软件分析,数据以平均数 $\pm$ 标准差表示,组间比较采用方差分析,两两比较采用t检验。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 料液比的选择

料液比对紫苏籽油提取率的影响见图1。

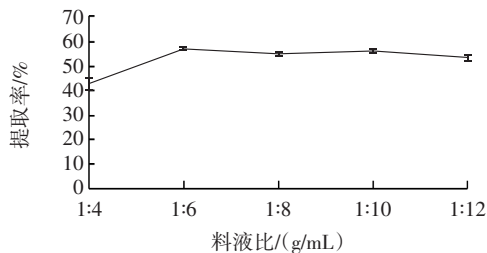


图1 料液比对长白山紫苏籽油提取率的影响

Fig.1 Effect of solid-to-liquid ratio on the extraction rate of *Perilla* seed oil from Changbai Mountain

由图1可知,料液比由1:4(g/mL)~1:6(g/mL),提取率大幅度上升。随着溶液体积继续增加,提取率变化并不明显。原因可能是溶液体积较小时溶液黏度较大,不利于油脂的分离;溶液体积过大,酶解浓

度会降低,酶与底物相互接触机会减少,进而影响反应速度^[22],因此选用料液比1:6(g/mL)~1:10(g/mL)进行响应面设计。

2.1.2 碱性蛋白酶加酶量的选择

碱性蛋白酶加酶量对紫苏籽油提取率的影响见图2。

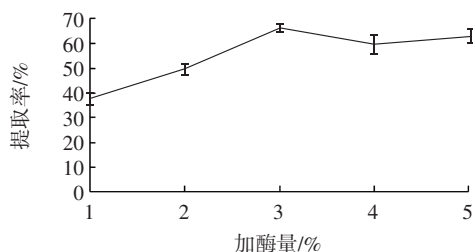


图2 加酶量对长白山紫苏籽油提取率影响

Fig.2 Effect of enzyme dosage on the extraction rate of *Perilla* seed oil from Changbai Mountain

由图2可知,加酶量为1%~3%时,紫苏籽油提取率呈上升趋势;加酶量达到4%~5%时,提取率均低于加酶量3%时的提取率,可能是随着加酶量的增加提升了反应体系的速率,增加到一定量时底物与酶作用达到饱和,紫苏籽油提取率达到最大后逐渐趋于稳定,从成本效益等因素考虑^[23],因此选用加酶量为3%~5%进行响应面设计。

2.1.3 酶解 pH 值的选择

酶解 pH 值对紫苏籽油提取率的影响见图3。

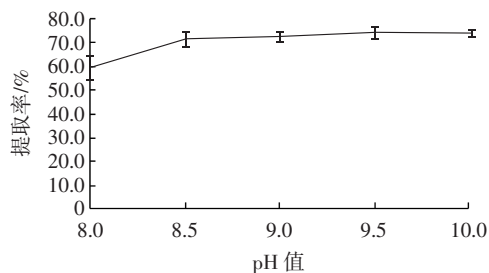


图3 pH 值对长白山紫苏籽油提取率影响

Fig.3 Effect of pH on the extraction rate of seed oil from *Perilla* seed oil from Changbai Mountain

由图3可知,紫苏籽油的提取率随着 pH 值的增加而增加,pH 值为8.5时,紫苏籽油提取率达到71.67%。但继续增加 pH 值,提取率变化趋于稳定,这可能与碱性蛋白酶的最适 pH 值有关,pH 值过高或过低都会影响酶活性,进而影响紫苏籽油的提取率。因此,选择 pH 9.0~10.0 进行响应面设计。

2.1.4 酶解温度的选择

酶解温度对紫苏籽油提取率的影响见图4。

由图4可知,当酶解温度为40℃~50℃时,紫苏籽

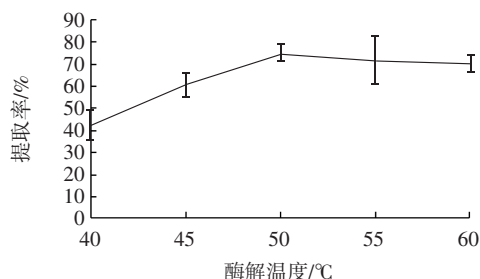


图4 酶解温度对长白山紫苏籽油提取率的影响

Fig.4 Effect of enzymatic hydrolysis temperature on the extraction rate of Perilla seed oil from Changbai Mountain

油提取率持续升高,之后随着酶解温度的升高,紫苏籽油提取率趋于稳定。这可能与酶的最适温度有关。随着酶解温度的升高,酶的活力逐渐增加,使得紫苏籽油的提取率逐渐上升,达到最适酶解温度后,继续升高温度对酶的活力可能产生影响,故提取率不再上升且趋于稳定,所以选择酶解温度为 45 °C~55 °C 进行响应面设计。

2.1.5 酶解时间的选择

酶解时间对紫苏籽油提取率的影响见图 5。

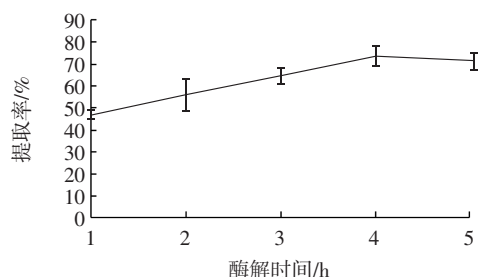


图5 酶解时间对长白山紫苏籽油提取率的影响

Fig.5 Effect of enzymatic hydrolysis time on the extraction rate of Perilla seed oil from Changbai Mountain

由图 5 可知,随着酶解时间延长提取率呈上升趋势,此时酶与底物充分接触,促进油脂溶出,使紫苏籽油提取率逐渐提高,酶解时间 4 h 时提取率达到最高。原因可能是酶解时间继续延长底物逐渐消耗,酶解效果降低,紫苏籽油提取率不再提高并趋于稳定,且时间过长增加油脂中不饱和脂肪酸氧化的可能,降低油脂品质^[24]。因此选择酶解时间 3 h~5 h 进行响应面设计。

2.2 响应面试验优化

2.2.1 响应面试验因素水平与结果

响应面试验设计及结果见表 2。响应面回归模型方差分析见表 3。

采用 Design Expert 8.0 软件对响应面数据进行分析,建立逐步回归模型,得到回归方程为 $Y = 72.05 +$

表 2 响应面试验设计及结果

Table 2 Response surface test design and results

试验号	A 料液比	B 加酶量	C 酶解温度	D 酶解时间	提取率 Y/%
1	-1	-1	0	0	72.54
2	1	-1	0	0	74.69
3	-1	1	0	0	68.27
4	1	1	0	0	69.28
5	0	0	-1	-1	76.39
6	0	0	1	-1	63.17
7	0	0	-1	1	66.84
8	0	0	1	1	69.34
9	-1	0	0	-1	68.21
10	1	0	0	-1	66.69
11	-1	0	0	1	63.85
12	-1	0	0	1	63.85
13	0	-1	-1	0	75.56
14	0	-1	-1	0	75.56
15	0	-1	1	0	72.38
16	0	1	1	0	66.18
17	-1	0	-1	0	69.73
18	1	0	-1	0	74.35
19	-1	0	1	0	65.73
20	1	0	1	0	69.33
21	0	-1	0	-1	70.58
22	0	1	0	-1	69.72
23	0	-1	0	1	70.58
24	0	1	0	1	69.22
25	0	0	0	0	74.33
26	0	0	0	0	72.34
27	0	0	0	0	72.58
28	0	0	0	0	72.35
29	0	0	0	0	70.50

表 3 响应面回归模型方差分析

Table 3 Analysis of variance of response surface regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	323.80	14	23.13	14.49	<0.000 1	**
A	26.11	1	26.11	16.36	0.001 2	**
B	25.00	1	25.00	15.66	0.001 4	**
C	91.19	1	91.19	57.14	<0.000 1	**
D	0.87	1	0.87	0.55	0.471 3	
AB	0.32	1	0.32	0.20	0.658 8	
AC	0.26	1	0.26	0.16	0.692 5	
AD	21.90	1	21.90	13.72	0.002 4	**
BC	12.18	1	12.18	7.63	0.015 3	*
BD	0.063	1	0.063	0.039	0.846 0	
CD	61.78	1	61.78	38.71	<0.000 1	**
A ²	24.48	1	24.48	15.34	0.001 6	**
B ²	3.00	1	3.00	1.88	0.192 0	
C ²	2.11	1	2.11	1.32	0.269 8	
D ²	56.54	1	56.54	35.43	<0.000 1	**

续表3 响应面回归模型方差分析

Continue table 3 Analysis of variance of response surface regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
残差	22.34	14	1.60			
失拟项	14.97	10	1.50	0.81	0.642 0	不显著
纯误差	7.37	4	1.84			
总离差	346.14	28				

注:*为差异显著($0.01 < P \leq 0.05$);**为差异极显著($P \leq 0.01$)。

$1.47A - 1.44B - 2.76C + 2.34AD - 1.74BC + 3.93CD - 1.83A^2 + 0.79B^2 - 2.84D^2$,该回归模型 $P < 0.000 1$ 极显著,失拟项 $P > 0.05$ 不显著,且 $R^2 = 0.925 0$,调整 $R^2 = 88.94\%$,说明该模型与试验拟合良好。该方程可以用于分析和预测酶解条件与提取率之间的关系。其中 A 、 B 、 C 、 AD 、 CD 、 A^2 、 D^2 的影响极显著($P \leq 0.01$)。由 F 检验可知,影响因素主次顺序为 $C > A > B > D$,即酶解温度>料液比>加酶量>酶解时间。得出最佳优化酶解条件为料液比 $1:10$ (g/mL)、碱性蛋白酶加酶量 3.44% 、酶解温度 45.43°C 、酶解时间 3.12 h 。此条件下长白山紫苏籽油提取率为 76.51% 。考虑到实际采用料液比 $1:10$ (g/mL)、碱性蛋白酶加酶量 3% 、酶解温度 45°C 、酶解时间 3 h ,为最佳提取条件,此条件下,提取率为 76.49% 。

2.2.2 响应面交互作用分析

响应面交互作用分析见图6。

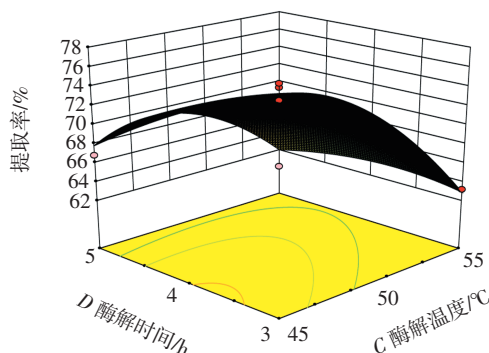
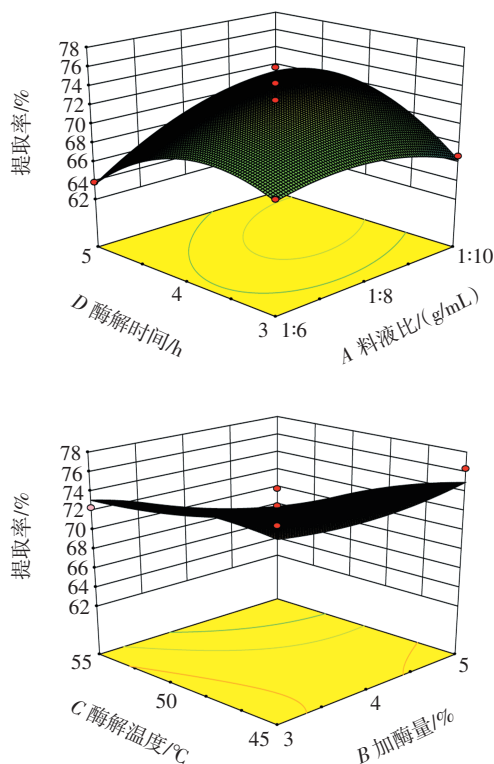


图6 各因素交互作用对长白山紫苏籽油提取率的影响

Fig.6 Effects of interaction of various factors on the extraction rate of Perilla seed oil from Changbai Mountain

由图6可知,当料液比一定时,随着酶解时间的延长,紫苏籽油提取率先增加,达到极大值后开始下降;当酶解时间一定时,随着提取溶液体积的增加,紫苏籽油提取率先增加,达到极大值后开始下降,且料液比与酶解时间的交互作用对紫苏籽油的提取率有极显著性影响;加酶量与酶解温度均引起紫苏籽油的提取率持续上升的趋势,且加酶量与酶解温度的交互作用对紫苏籽油的提取率有显著影响;当酶解温度一定时,随着酶解时间的延长,紫苏籽油提取率先增加,达到极大值后开始下降,当酶解时间一定时,酶解温度升高,紫苏籽油的提取率呈下降趋势,且酶解温度与酶解时间的交互作用对紫苏籽油的提取率有极显著影响,这与方差分析的结果一致。

2.3 紫苏籽油的抗炎活性研究

2.3.1 紫苏籽油对小鼠毛细血管通透性的影响

紫苏籽油对小鼠毛细血管通透性的影响见表4。

表4 紫苏籽油对小鼠毛细血管通透性增加的影响

Table 4 Effect of Perilla seed oil on increased capillary permeability in mice

组别	动物数/只	剂量/($\mu\text{L}/\text{kg}$)	吸光度
空白组	10	-	0.379 ± 0.058
阳性对照组	10	10	$0.224 \pm 0.032^{**}$
低剂量组	10	100	$0.256 \pm 0.048^*$
中剂量组	10	150	$0.244 \pm 0.041^*$
高剂量组	10	200	$0.231 \pm 0.046^{**}$

注:与空白组比较,*表示差异显著($P \leq 0.05$),**表示差异极显著($P \leq 0.01$);-表示未加入紫苏籽油。

由表4可知,紫苏籽油各剂量组与空白组相比,中低剂量组和高剂量组及阳性对照组分别对伊文思蓝渗出量显著($P \leq 0.05$)或极显著($P \leq 0.01$)下降,提示紫苏籽油能显著抑制醋酸致小鼠毛细血管通透性增

加。紫苏籽油各剂量组与阿司匹林阳性对照组相比,抑制作用均无显著性差异($P>0.05$)。在此反应中,醋酸作为致炎因素会引起毛细血管扩张、通透性增加,紫苏籽油能够抑制醋酸引起的小鼠毛细血管通透性增加,分析可能是其中的 α -亚麻酸等不饱和脂肪酸能够改变血液中高密度脂蛋白和低密度脂蛋白比例,使血管畅通、更有弹性,进而抑制了醋酸诱导毛细血管扩张和通透性增加,从而发挥抗炎效应。

2.3.2 紫苏籽油对小鼠耳肿胀的影响

紫苏籽油对小鼠耳肿胀的影响见表5。

表5 紫苏籽油对二甲苯致小鼠耳廓肿胀的影响
Table 5 Effect of *Perilla* seed oil on xylene-induced auricle swelling in mice

组别	动物数/只	剂量/ ($\mu\text{L/kg}$)	肿胀度/mg	抑制率/%
空白对照组	10	—	22.15 $\pm$ 4.54	—
阳性对照组	10	10	13.68 $\pm$ 4.18**	38.24
低剂量组	10	100	17.39 $\pm$ 5.24*	21.49
中剂量组	10	150	15.56 $\pm$ 6.41**	29.53
高剂量组	10	200	14.17 $\pm$ 5.46**	36.02

注:与空白组比较,*表示差异显著($P\leq 0.05$),**表示差异极显著 $P\leq 0.01$;与阳性对照组比较,#表示差异显著($P\leq 0.05$);—表示未加入紫苏籽油。

由表5可知,紫苏籽油各剂量组对二甲苯致小鼠耳廓肿胀有显著或极显著的抑制作用。其中,紫苏籽油中高剂量组与醋酸地塞米松阳性对照组的抑制作用无显著性差异。紫苏籽油之所以能够起到抑制二甲苯致小鼠耳廓肿胀度作用,可能是紫苏油中 $n-3$ 不饱和脂肪酸(如 α -亚麻酸等)起到消炎及减轻肿痛的作用,具体机制还有待深入研究。

3 结论

通过单因素试验及响应面法优化了水酶法提取长白山紫苏籽油的工艺条件:料液比1:10(g/mL)、碱性蛋白酶加酶量3%、酶解温度45 $^{\circ}\text{C}$ 、酶解时间3 h,此条件下,提取率为76.49%。影响因素主次顺序为酶解温度>料液比>加酶量>酶解时间。通过对长白山紫苏籽油的小鼠抗炎活性试验发现,长白山紫苏籽油达到一定剂量能显著抑制醋酸致小鼠毛细血管通透性的增加,且紫苏籽油在一定剂量下对二甲苯致小鼠耳廓肿胀有显著或极显著的抑制作用,表明长白山紫苏籽油具有良好的抗炎活性,这可能是由于紫苏籽油中高含量的 α -亚麻酸起到了抗炎作用。本研究为长白山紫苏籽油的进一步开发利用提供了理论依据,今后有必

要对长白山紫苏籽油抗炎活性的具体成分,以及其抗炎活性机制进行深入研究。因此,认为长白山紫苏籽油具有一定的抗炎活性,其机制尚需进一步研究。

参考文献:

- [1] 谭美莲,严明芳,汪磊,等.国内外紫苏研究进展概述[J].中国油料作物学报,2012,34(2): 225–231.
TAN Meilian, YAN Mingfang, WANG Lei, et al. Research progress on *Perilla frutescens*[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2012, 34(2): 225–231.
- [2] 江东文,黄佳佳,蓝少鹏,等.紫苏籽油研究进展概述[J].现代食品,2017(6): 1–3.
JIANG Dongwen, HUANG Jiajia, LAN Shaopeng, et al. Research progress of *Perilla* seed oil[J]. Modern Food, 2017(6): 1–3.
- [3] 郭焯,杨丹青,易海斌,等.紫苏籽油研究进展概述[J].江西食品工业,2011(2): 43–45.
GUO Ye, YANG Danqing, YI Haibin, et al. The summary of research progress of *Perilla* seed oil[J]. Jiangxi Food Industry, 2011(2): 43–45.
- [4] 蒲海燕,李影球,李梅.紫苏的功能性成分及其产品开发[J].中国食品添加剂,2009(2): 133–137.
PU Haiyan, LI Yingqiu, LI Mei. The functional Ingredients and product development of *Perilla*[J]. China Food Additives, 2009(2): 133–137.
- [5] 张麟,刘大川,李江平,等.紫苏资源综合利用技术的中试生产研究[J].粮油加工,2009(8): 51–53.
ZHANG Lin, LIU Dachuan, LI Jiangping, et al. Pilot production study on comprehensive utilization technology of *Perilla*[J]. Grain and Oil Processing, 2009(8): 51–53.
- [6] 王岚,夏继成.紫苏油的研究现状及应用[J].黑龙江科技信息,2011(35): 1.
WANG Lan, XIA Jicheng. Research status and application of *Perilla* oil[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2011(35): 1.
- [7] MASATAKA O, KENTA K, SHOKO I, et al. *Perilla* oil prevents the excessive growth of visceral adipose tissue in rats by down-regulating adipocyte differentiation[J]. The Journal of Nutrition, 1997, 127(9): 1752–1757.
- [8] ZHANG T, ZHAO S, LI W, et al. High-fat diet from *Perilla* oil induces insulin resistance despite lower serum lipids and increases hepatic fatty acid oxidation in rats[J]. Lipids in Health and Disease, 2014, 13: 15.
- [9] 陈亮,王丽梅,郭艳芬,等.核桃油、紫苏油、 α -亚麻酸、亚油酸对大鼠学习记忆的影响[J].中国油脂,2011,36(10): 33–37.
CHEN Liang, WANG Limei, GUO Yanfen, et al. Effects of walnut oil, *Perilla* oil, α -linolenic acid and linoleic acid on learning and memory in rats[J]. China Oils and Fats, 2011, 36 (10): 33–37.
- [10] ZHANG X, WU W, ZHENG Y L, et al. Essential oil variations in different *Perilla* L. accessions: Chemotaxonomic implications [J]. Plant Systematics and Evolution, 2009, 281(14): 1–10.
- [11] 李占君,张琳,祖元刚,等.二氧化碳超临界提取塔拉籽油及其品

- 质分析[J].植物研究, 2015, 35(3): 467-470.
- LI Zhanjun, ZHANG Lin, ZU Yuangang, et al. Tara oil extraction by supercritical carbon dioxide and its quality[J]. Bulletin of Botanical Research, 2015, 35(3): 467-470.
- [12] 孙谦, 胡中海, 孙志高, 等. 响应面法优化超临界 CO₂ 流体萃取红橘种子油[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(2): 46-52.
- SUN Qian, HU Zhonghai, SUN Zhigao, et al. On optimization of supercritical carbon dioxide extraction of oil from tangerine seeds with response surface methodology[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2016, 41(2): 46-52.
- [13] 孟庆焕, 祖元刚, 王化, 等. 酶法辅助乙醇优选牡丹皮总黄酮[J]. 植物研究, 2015, 35(4): 628-631.
- MENG Qinghuan, ZU Yuangang, WANG Hua, et al. Enzyme assisted ethanol extraction of total flavonoids from peony episperme[J]. Bulletin of Botanical Research, 2015, 35(4): 628-631.
- [14] 周启超, 姚欢欢, 陈凤丽, 等. 响应面法优选牡丹果荚中丹皮酚和芍药苷提取工艺的研究[J]. 植物研究, 2014, 34(2): 271-275.
- ZHOU Qichao, YAO Huanhuan, CHEN Fengli, et al. Optimization of microwave-assisted extraction of paeoniflorin and paeonol from peony pod using response surface methodology[J]. Bulletin of Botanical Research, 2014, 34(2): 271-275.
- [15] 赖鹏英, 黎继烈, 肖志红, 等. 水酶法提取山苍子核仁油工艺的研究[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(5): 88-94.
- LAI Pengying, LI Jilie, XIAO Zhihong, et al. Extraction technology of *Litsea cubeba* kernel oil by aqueous enzymatic method[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(5): 88-94.
- [16] 吕秋冰, 罗霜, 杨恒, 等. 水酶法提取冬瓜籽油工艺优化及体外抗氧化活性研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(3): 16-21.
- LÜ Qiubing, LUO Shuang, YANG Heng, et al. Optimization of aqueous enzymatic extraction process of wax gourd seed oil and its antioxidant activity *in vitro*[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(3): 16-21.
- [17] 胡滨, 赵勤, 刘勇, 等. 水酶法提取丝瓜籽油的工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(3): 61-67, 73.
- HU Bin, ZHAO Qin, LIU Yong, et al. Research on process of aqueous enzymatic extraction of *Luffa* seed oil[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(3): 61-67, 73.
- [18] 陈文东, 朱秀娟, 陈耀年, 等. 油橄榄叶提取物的抑菌抗炎作用研究[J]. 陕西科技大学学报, 2021, 39(2): 62-66.
- CHEN Wendong, ZHU Xiujuan, CHEN Yaonian, et al. Study on inhibitory and anti-inflammatory effects of olive leaves extract[J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology, 2021, 39(2): 62-66.
- [19] 秦鹏, 冷冬阳, 李林育, 等. 本草乳炎清散抑菌效果及抗炎作用研究[J]. 动物医学进展, 2017, 38(11): 65-70.
- QIN Peng, YE Dongyang, LI Linyu, et al. Study on antibacterial and anti-inflammatory effects of bencaoruyanqing pulvis[J]. Progress in Veterinary Medicine, 2017, 38(11): 65-70.
- [20] EQUILS O, FAURE E, THOMAS L, et al. Bacterial lipopolysaccharide activates HIV long terminal repeat through Toll-like receptor 4[J]. Journal of Immunology, 2001, 166(4): 2342-2347.
- [21] VOGEL G. Fly development genes lead to immune find[J]. Science, 1998, 281(5385): 1942-1944.
- [22] 袁德成, 王菲, 崔新爽, 等. 水酶法提取紫苏籽油脂工艺[J]. 植物研究, 2019, 39(4): 619-626.
- YUAN Decheng, WANG Fei, CUI Xinshuang, et al. Extraction of *Perilla* seed oil by aqueous enzymatic method[J]. Bulletin of Botanical Research, 2019, 39(4): 619-626.
- [23] 王永瑞, 吴俊芳, 徐宇丽, 等. 水酶法提取胡麻油的响应面优化[J]. 食品工业, 2018, 39(4): 172-175.
- WANG Yongrui, WU Junfang, XU Yuli, et al. Extraction optimization by response surface methodology of flaxseed oil extracted by aqueous enzymatic method[J]. The Food Industry, 2018, 39(4): 172-175.
- [24] SHAH S. Extraction of oil from *Jatropha curcas* L. seed kernels by combination of ultrasonication and aqueous enzymatic oil extraction[J]. Bioresource Technology, 2005, 96(1): 121-123.

加工编辑:刘艳美

收稿日期:2021-06-20