

花椒籽油成分鉴定与提取工艺优化

徐琴, 吴梦霞, 徐宝才, 王颖*
(合肥工业大学食品与生物工程学院 合肥 230601)

摘要 目的:本研究旨在优化花椒籽油的提取工艺,以提高花椒副产物的综合利用价值。方法:采用气相色谱-质谱联用技术分析花椒籽油的脂肪酸组成,以出油率与主要脂肪酸相对含量为评价指标,通过单因素实验和正交试验确定最佳提取条件。结果:花椒籽油中主要脂肪酸为 α -亚麻酸(相对含量 23.39%);最佳提取工艺条件为提取温度 60℃,提取时间 50 min,料液比 1:3,乙醇体积分数 90%,提取次数 3 次,所得花椒籽油的 α -亚麻酸含量为 23.32%。结论:本研究明确了花椒籽油的脂肪酸组成,并为花椒籽油高效提取与花椒副产物的资源化利用提供了重要依据。

关键词 花椒副产物;花椒籽油; α -亚麻酸;提取率;工艺优化

文章编号 1009-7848(2026)01-0214-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2026.01.019

花椒(*Zanthoxylum bungeanum*),属于芸香科花椒属^[1],是一种传统的调味料及中药材,在我国具有悠久的食用历史。花椒的食用形式多样,其制品包括干花椒粒、花椒粉、花椒油以及花椒调味品,其中花椒油占比约为 15%^[2]。相较于花椒颗粒和花椒粉等初级加工产品,花椒油这一深加工产品具有对花椒中有效成分利用率高,储存和使用方便,应用场景广泛,生产过程标准化程度高等优点。花椒油作为调味料的同时,其中的活性物质还具有抑菌、抗氧化、抗炎、抗肿瘤、治疗神经疾病等作用^[3-6]。

中国是世界花椒第一生产大国^[2],随着我国花椒产量的增加,花椒副产物产量也不断增加,造成资源严重浪费和环境污染。花椒的副产物中包含油脂、蛋白质、膳食纤维等多种成分。其中,花椒籽为最主要的副产物,其占比达到花椒整体质量的 60%^[7]。鉴于其高含油量的特性^[8],花椒籽被开发用于生产食用油,以提高花椒副产物的利用率。

刘玉兰等^[9]对比花椒油和花椒籽油的风味,发现新鲜压榨获取的花椒籽油,在酰胺类化合物组成、挥发性风味物质含量以及感官评价方面,与商

品花椒油相比,具有高度的相似性和一致性。目前研究发现花椒油和花椒籽油都富含多不饱和脂肪酸,可以保护心脑血管,降压、降脂,促进脂肪代谢,并有抗炎、抗癌等作用^[10-12]。值得注意的是,花椒籽油的营养价值更高,其中 α -亚麻酸含量尤为丰富,相对含量为 21.35%^[13-15],这一成分不仅有益于大脑健康,还具有降脂、降压、抗癌及调节肠道菌群等多种生理功能^[16-19]。由此看出花椒籽油市场前景广阔,明确花椒籽油中的脂肪酸种类与含量,并探究提取工艺对其的影响,具有重要意义。本研究测定花椒籽的组分、含量,检测花椒籽油中脂肪酸的种类及含量,并通过单因素实验和正交试验优化该油的提取工艺。以期为促进花椒籽资源的深度开发,推动花椒副产物的综合利用与可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂 花椒籽,产地四川汉源。无水乙醇、乙醚、正己烷、氢氧化钾、甲醇(均为分析纯级),国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 仪器与设备 BCD-537WGHSEDSN 电冰箱,海尔集团公司;15-500 不锈钢打粉机,济宁市硕达机电设备有限公司;BSA124S 分析天平,深圳市荣达仪器有限公司;JA103 电子天平,绍兴博纬仪器设备有限公司;8890-7000D 气相色谱三重四极杆质谱联用仪,美国安捷伦科技公司;JY-101

收稿日期: 2025-01-31

基金项目:“十四五”国家重点研发计划重点专项(2023YFD2100500);学术新人提升计划 B 项目(JZ2025HG TB0186)

第一作者:徐琴,女,硕士生

通信作者:王颖 E-mail: wywendy8899@126.com

恒温干燥箱,惠州市捷扬环保设备有限公司;RE-2000A 旋转蒸发仪,西安予辉实验仪器有限公司;HH-6 恒温水浴锅,常州市亿能实验仪器厂;索氏提取器,上海贺帆仪器有限公司;凯式定氮仪,上海平轩科学仪器有限公司;高效液相色谱,上海伍丰。

1.2 试验方法

1.2.1 花椒籽组分的测定 蛋白质参考《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》(GB 5009.5—2025)第一法测定;脂质参考《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》(GB 5009.6—2016)第二法测定;膳食纤维参考《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》(GB 5009.88—2023)方法测定;水分参考《食品安全国家标准 食品中水分的测定》(GB 5009.3—2016)第一法测定。

1.2.2 花椒籽油中脂肪酸的定性及定量分析 采用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)分析,旨在确定花椒籽油中所含脂肪酸的种类及其含量^[20]。

样品甲酯化预处理:脂肪酸的沸点较高,其在高温下不稳定,易裂解,分析中易造成损失。将脂肪酸甲酯化可以提高稳定性,同时降低沸点,提高气相检测的准确度。参考袁源见等^[21]甲酯化的方法,称取上述加工好的花椒籽油样品 100 mg,转入 10 mL 容量瓶中,加入 1 mL 乙醚-正己烷(2:1)溶液,再加入 1 mL 0.5 mol/L 氢氧化钾-甲醇溶液,摇匀,室温静置 30 min,加水至刻度线,取上清液,进行 GC-MS 分析。

气相色谱条件:Agilent 122-3832 毛细管柱(0.25 mm×30 m×0.25 μm),升温程序为 60 °C 保持 2 min,平衡 0.5 min,以 8 °C/min 升到 250 °C,保持 10 min,载气为氮气,流速为 1.0 mL/min,进样口温度 250 °C,分流比 50:1,进样量 0.5 μL。

质谱条件:电子轰击离子源,电子能量 70 eV,溶剂延迟 2.6 min,四极杆温度 150 °C,离子源温度 230 °C,质量扫描范围(m/z)35~450 $u^{[21]}$ 。

1.2.3 花椒籽油的提取工艺 研究发现,花椒籽油中不饱和脂肪酸的含量较高,考虑到该种关键组分的性质,并遵循试验操作简便、技术实施可行且成本效益高的原则,选用乙醇浸提法提取花椒籽油^[22-23]。

乙醇浸提法提取花椒籽油的工艺流程:花椒

籽→烘干→粉碎→称重→乙醇浸提→过滤→旋转蒸发→花椒籽油。

烘干:利用恒温干燥箱对花椒籽进行烘干 4 h 的预处理,设置温度 75 °C,将水分烘干至 10% 以下。粉碎:用不锈钢打粉机将花椒籽粉碎 3 min 后,过 60 目筛。称重:用电子天平精确称取 50 g 花椒籽粉末,装入烧杯中。乙醇浸提:将乙醇溶液加入烧杯中,用玻璃棒搅拌使其与花椒籽充分接触,放入水浴锅中进行浸提,控制提取温度和时间。过滤:将浸提完成的固液混合物倒入漏斗中过滤,得到粗花椒籽油与乙醇混合溶液。旋转蒸发:用旋转蒸发仪除去混合液中有有机溶剂及少量水分,旋转速度 55 r/min,加热温度 45 °C,根据乙醇蒸出情况调整转速及温度,直至观察到收集瓶中液面不再继续升高。

1.2.4 单因素实验 提取温度单因素实验:在浸提过程中利用水浴控制温度,分别在 40,50,60,70,80 °C 条件下浸提。其余试验条件通过预试验及查阅相关文献确定,其余条件分别为:时间 30 min,料液比 1:4,乙醇体积分数 100%,提取次数为 1 次。

提取时间单因素实验:在提取温度单因素实验的最佳温度下,改变提取时间,设置 20,30,40,50,60 min 进行浸提。料液比为 1:4,乙醇浓度为 100%,提取次数为 1 次。

料液比单因素实验:在提取温度、提取时间单因素实验的最佳条件下,设置料液比为 1:6,1:5,1:4,1:3,1:2 进行浸提。乙醇浓度为 100%,提取次数为 1 次。

乙醇浓度单因素实验:在提取温度、提取时间、料液比单因素实验的最佳条件下,设置乙醇浓度为 60%,70%,80%,90%,100% 进行浸提。提取次数为 1 次。

提取次数单因素实验:在提取温度、提取时间、料液比、乙醇浓度单因素实验的最佳条件下,增加提取次数,设置 5 个水平分别为 1,2,3,4,5 次,将数次提取所得花椒籽油合并。

1.2.5 正交试验 通过对单因素实验研究提取温度、提取时间、料液比、乙醇浓度、提取次数对花椒籽油提取率的影响,剔除 2 个影响较为不显著(或因水平参数间距太小导致结果不理想)的因素,用

剩余3个因素最具显著影响的水平及其相邻的2个值进行3因素3水平的正交试验。选取含量最高的脂肪酸作为研究指标,探究提取方法的最佳工艺条件。

1.3 出油率的测定

利用分析天平精确称取所得花椒籽油的质量,根据公式(1)计算花椒籽油的出油率:

$$R(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m} \times 100 \quad (1)$$

式中: R 为花椒籽油提取率,%; m_1 为花椒籽油和接收瓶的质量,g; m_2 为接收瓶的质量,g; m 为花椒籽干粉的质量,g。

1.4 数据处理与分析

采用SPSS软件,其中ANOVA单因素方差分析用于事后多重比较(假定等方差)。得到平均值及标准差后利用Origin软件绘制折线图,标出误差棒、显著性。脂肪酸甲酯GC-MS总离子流色谱图根据原始数据利用Origin软件绘制。正交试验数据使用单变量的一般线性模型分析。

2 结果与分析

2.1 花椒籽组分测定

花椒籽组分含量测定结果见表1。

表1 花椒籽组分含量测定结果

Table 1 Determination results of *Zanthoxylum bungeanum* seed components

种类	蛋白质/(g/100 g)	脂质/(g/100 g)	水分/(g/100 g)	总膳食纤维/(g/100 g)
花椒籽	10.007 ± 0.602	15.9 ± 0.252	11.533 ± 0.088	46.327 ± 0.882

2.2 花椒籽油脂肪酸GC-MS测定结果分析

按照1.2.2节所述方法测得花椒籽油脂肪酸甲酯气相色谱-质谱总离子流色谱图,如图1所示。以标准谱图和色谱峰所对应质谱图为依据进行检索及对照,由此可以确定其中每种成分的化学结构^[24]。使用峰面积归一化法计算,可以得出花椒籽油样品中含量最高的几种脂肪酸的相对含量(见表2)。

分析结果显示,花椒籽油中主要脂肪酸组分(相对含量均高于5%)由高到低为: α -亚麻酸(23.39%)、油酸(21.66%)、亚油酸(21.61%)、棕榈酸(12.09%)、棕榈油酸(5.80%)。其中, α -亚麻酸是人体不能自身合成,必须通过膳食获得的一种极其重要的不饱和脂肪酸。 α -亚麻酸有益于大脑健康,具有降血脂、降血压、抗炎、抗肥胖、神经保护以及抗癌等作用^[25]。GC-MS结果表明在花椒籽

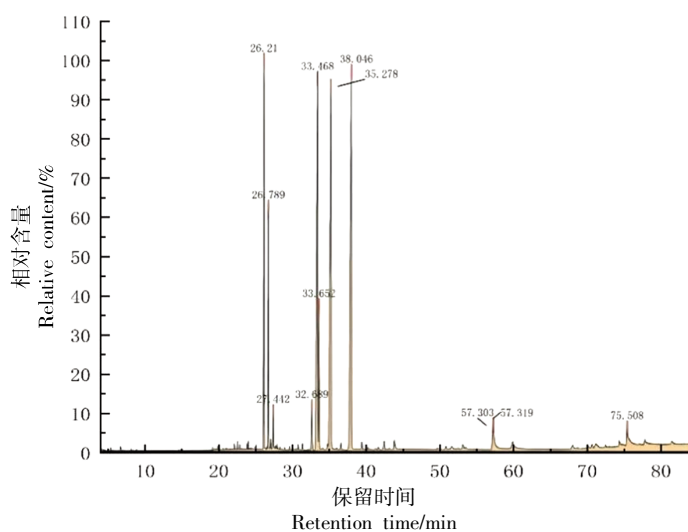


图1 花椒籽油脂肪酸甲酯气相色谱-质谱总离子流色谱图

Fig.1 *Zanthoxylum bungeanum* seed oil fatty acid methyl ester gas chromatography-mass spectrometry total ion flow chromatogram

表2 花椒籽油脂肪酸组分相对含量

序号	保留时间/min	脂肪酸成分	分子式	相对含量/%
1	26.210	十六烷酸(棕榈酸)	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	12.09
2	26.789	9-十六碳烯酸(棕榈油酸)	C ₁₇ H ₃₂ O ₂	5.80
3	33.468	9-十八碳烯酸(油酸)	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	21.66
4	35.278	9,12-十八碳二烯酸(亚油酸)	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	21.61
5	38.046	9,12,15-十八碳三烯酸(α -亚麻酸)	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	23.39

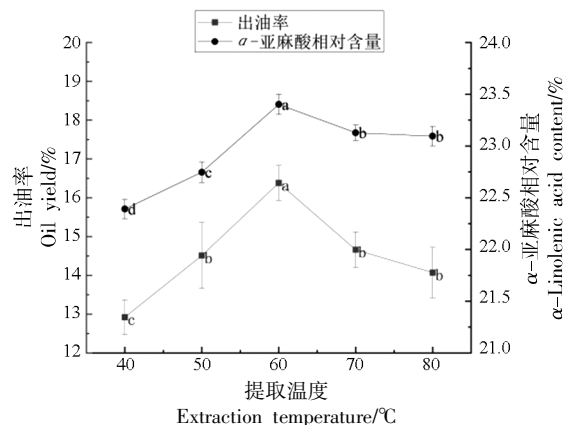
油中 α -亚麻酸的相对含量最高,说明花椒籽油是一种食用价值较高的植物油,在食用油市场上具有广阔的应用前景。鉴于 α -亚麻酸对人体健康的诸多益处,及其在花椒籽油中的高含量特性,本研究以 α -亚麻酸含量为指标,开展单因素实验及正交试验分析不同因素对出油率的影响,得出花椒籽油乙醇浸提法的最佳工艺。

2.3 单因素实验结果分析

2.3.1 提取温度对出油率和 α -亚麻酸含量的影响 由图2可知,提取温度从40℃上升到80℃的过程中,花椒籽油提取率先上升后下降,在60℃时达到最大。在60℃之前,随着温度升高,花椒籽在乙醇中的溶解度增大;且随着温度升高,油脂黏度降低,油脂分子的扩散速率提升,出油率升高。在60℃之后,由于乙醇沸点较低,乙醇部分蒸发,导致出油率降低。

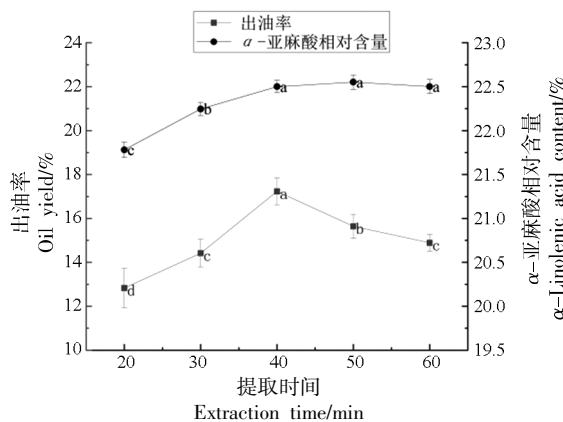
α -亚麻酸含量先随温度上升而逐渐升高,原因是不饱和脂肪酸在有机溶剂中溶解度随温度升高而增大。温度上升,乙醇对 α -亚麻酸的溶解能力增强。在60℃时,提取率达到最大,后又随着温度上升略微下降,这可能是由于多不饱和脂肪酸在高温下易降解^[26],随着温度升高,导致 α -亚麻酸的稳定性下降,从而部分被分解^[27]。因此可以得出结论,即 α -亚麻酸含量在温度为60℃时,已经达到最大,且提取温度对 α -亚麻酸含量具有显著影响($P<0.01$)。

2.3.2 提取时间对出油率和 α -亚麻酸含量的影响 由图3可知,随着提取时间的延长,花椒籽油提取的越充分,花椒籽的出油率呈显著上升($P<0.05$)趋势。在40 min时,花椒籽油提取已经饱和,达到最大值,后逐渐下降。出油率降低可能由于花椒籽油存在一定程度的挥发,如芳香烃类、萜烯类等挥发性成分^[28]逐渐散失到空气中,直接减少了



注:不同字母表示组间差异显著($P<0.05$)。

图2 提取温度对提取率和 α -亚麻酸含量的影响
Fig.2 Effect of extraction temperature on oil yield and α -linolenic acid content



注:不同字母表示组间差异显著($P<0.05$)。

图3 提取时间对出油率和 α -亚麻酸含量的影响
Fig.3 Effect of extraction time on oil yield and α -linolenic acid content

花椒籽油的有效成分含量。

α -亚麻酸含量随时间的延长呈先升高而后趋于稳定的趋势。原因是随着时间的延长,原料与无水乙醇间的接触更充分,不饱和脂肪酸在溶剂中的溶解量增大。在40 min时, α -亚麻酸在乙醇中

的溶解几乎达到饱和状态,之后略微下降。这是由于 α -亚麻酸因其分子内含有3个共轭双键而具有显著的还原性,随着时间的延长,受高温、氧气等影响发生氧化^[29],导致其提取率下降。可以得出结论即提取时间为50 min时, α -亚麻酸含量最大,且提取时间对其具有显著影响($P<0.01$)。

2.3.3 料液比对出油率和 α -亚麻酸含量的影响

由图4可知,出油率随着料液比的增大呈先升高后降低的趋势。当花椒籽与无水乙醇的料液比为1:4时,出油率达到最大。当液体占比较少时,溶液黏度大,花椒籽粉末溶解不充分,出油率不高;随着液体占比增大,出油率也随之增大。当液体占比达到一定数值时,出油率开始下降。这可能是由于溶剂占比过多,使得原料吸收的溶剂量过大,导致出现乳液状态^[30],进而影响花椒籽提取的出油率。

随料液比的增大 α -亚麻酸提取率呈先上升后下降的趋势。当液体占比较少时,脂肪酸在乙醇中的溶解不充分;随着液体占比增大,出油率和 α -亚麻酸的溶解量也随之增大。当液体占比超出一定范围时, α -亚麻酸与溶剂结合后难以分离,测量出的提取率也随之下落,还会造成资源浪费。可以得出结论,即当料液比为1:4时, α -亚麻酸的提取率达到最大,且料液比对 α -亚麻酸提取率具有显著影响($P<0.01$)。

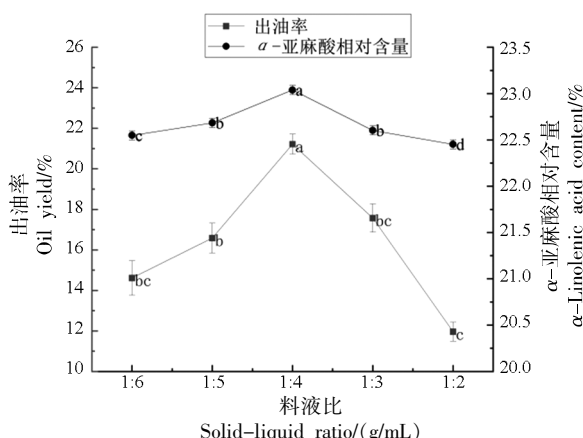
2.3.4 乙醇浓度对出油率和 α -亚麻酸提取率的影响

由图5可知,随着乙醇浓度增大,花椒籽油的提取率逐渐上升,当乙醇浓度达到100%时,出油率达到最大值,乙醇浓度在90%和100%之间差异不显著。原因是花椒籽中的油脂成分在乙醇这类有机溶剂中的溶解度很高,而在水中的溶解度极低。

乙醇浓度对 α -亚麻酸提取率影响不大,组间不具有显著性差异($P>0.05$)。在出油率结果分析中,可以发现出油率是随乙醇浓度增加而升高,考虑到经济效益,提取花椒籽油可采用90%体积分数的乙醇。

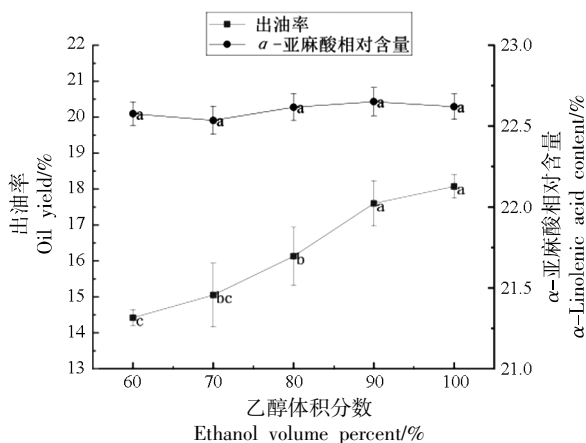
2.3.5 提取次数对出油率和 α -亚麻酸提取率的影响

由图6可知,当提取次数分别为1次、2次时,花椒籽油的出油率较低,当次数增加到3次时,出油率略有上升。随着提取次数继续增加,出



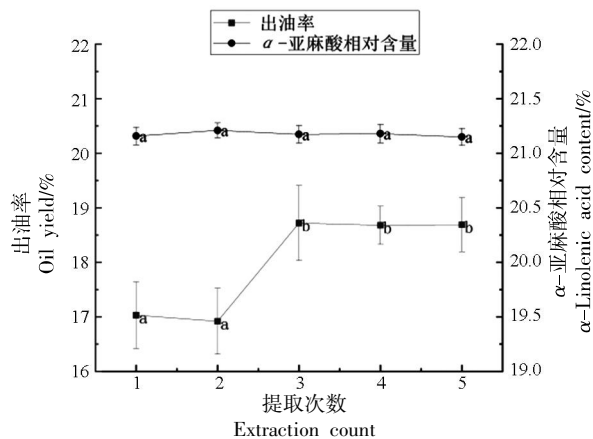
注:不同字母表示组间差异显著($P<0.05$)。

图4 料液比对出油率和 α -亚麻酸含量的影响
Fig.4 Effect of solid-liquid ratio on oil yield and α -linolenic acid content



注:不同字母表示组间差异显著($P<0.05$)。

图5 乙醇体积分数对出油率和 α -亚麻酸含量的影响
Fig.5 Effect of ethanol volume percent on oil yield and α -linolenic acid content



注:不同字母表示组间差异显著($P<0.05$)。

图6 提取次数对出油率和 α -亚麻酸含量的影响
Fig.6 Effect of the extraction count on the oil yield and α -linolenic acid content

油率基本无变化。因此可以认为当提取次数达到 3 次时,花椒籽油已经提取的较为充分。

提取次数对 α -亚麻酸提取率的影响不大,组间不具有显著性差异($P>0.05$)。

2.4 正交试验结果分析

2.4.1 正交试验优化花椒籽油提取工艺 α -亚麻

酸提取率的单因素实验结果显示,提取温度、提取时间和料液比对 α -亚麻酸提取率影响最为显著。提取温度选择 50, 60, 70 $^{\circ}\text{C}$, 提取时间选择 40, 50, 60 min, 料液比选择 1:5, 1:4, 1:3。正交试验结果及数据分析情况见表 3。

表 3 正交优化试验方案及结果

Table 3 Orthogonal optimization experimental plan and results

试验号	A(提取温度)	B(提取时间)	C(料液比)	α -亚麻酸提取率/%
1	1(50 $^{\circ}\text{C}$)	1(40 min)	1(1:5)	22.7333
2	1	2(50 min)	2(1:4)	23.2167
3	1	3(60 min)	3(1:3)	22.6033
4	2(60 $^{\circ}\text{C}$)	1	2	23.1700
5	2	2	3	23.3200
6	2	3	1	22.8267
7	3(70 $^{\circ}\text{C}$)	1	3	22.6733
8	3	2	1	23.0600
9	3	3	2	22.7333
K_1	68.5533	68.5766	68.6200	
K_2	69.3167	69.5967	69.1200	
K_3	68.4666	68.1633	68.5966	
k_1	22.8511	22.8589	22.8733	
k_2	23.1056	23.1989	23.0400	
k_3	22.8222	22.7211	22.8655	
r	0.2834	0.4778	0.1745	

影响次序: $B>A>C$; 最优组合: $A_2B_2C_3$

由表 3 所示,对 3 个因素的极差值 r 进行对比可知:因素 B 即提取时间对花椒籽油 α -亚麻酸提取率的影响最大,为最优因子;其次为因素 A 即提取温度,最后是因素 C 料液比。根据最佳水平(α -亚麻酸提取率最大时)得知最优组合为 $A_2B_2C_3$,故花椒籽中 α -亚麻酸的最佳提取条件为:

提取温度 60 $^{\circ}\text{C}$,提取时间 50 min,料液比 1:3。

由表 4 方差分析结果中 P 值可知:因素 A 提取温度、因素 C 料液比对 α -亚麻酸的提取率有显著影响($P<0.05$),因素 B 提取时间对 α -亚麻酸的提取率有极显著影响($P<0.01$)。因此,正交试验所得到的最佳提取条件具有可行性。

表 4 各因素的方差分析结果

Table 4 Analysis of variance results of various factors

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
A	0.146	2	0.073	63.544	0.015	*
B	0.363	2	0.181	158.067	0.006	**
C	0.058	2	0.029	25.384	0.038	*
误差	0.002	2	0.001			

$F_{0.05}(2,2)=19; F_{0.01}(2,2)=99$

注:**表示具有极显著影响($P<0.01$),*表示具有显著影响($P<0.05$)。

2.4.2 验证试验 在提取温度为 60 ℃,提取时间为 50 min,料液比为 1:3,乙醇体积分数 90%,提取次数 3 次的提取条件下,再制备 3 组花椒籽油样品进行 GC-MS 检测,得到花椒籽油中 α -亚麻酸的提取率为 23.1300%。该值与利用 SPSS 软件计算得到的预测值相差 0.19%,说明正交试验对乙醇提取花椒籽中 α -亚麻酸的工艺优化结果是可信的。

3 结论

通过 GC-MS 测出花椒籽油中主要脂肪酸组分为 α -亚麻酸(23.39%)、油酸(21.66%)、亚油酸(21.61%)、棕榈酸(12.09%)、棕榈油酸(5.80%)。以含量最高的关键脂肪酸 α -亚麻酸作为指标,分析了提取温度、提取时间、料液比、乙醇浓度及提取次数这 5 个单因素对花椒籽油出油率及 α -亚麻酸含量的影响。通过正交试验分析结合出油率单因素实验得出:提取温度 60 ℃,提取时间 50 min,料液比 1:3 为最优提取工艺条件;所得 α -亚麻酸的提取率为 23.32%。本研究为高效利用花椒籽资源,生产高品质的花椒籽油提供了数据支撑,同时为开发富含 α -亚麻酸的功能性油脂产品提供参考。

参 考 文 献

- [1] 毕君,赵京献,王春荣,等. 国内外花椒研究概况[J]. 经济林研究, 2002(1): 46-48.
BI J, ZHAO J X, WANG C R, et al. World research progress in Bunge Pricklyash[J]. Economic Forest Research, 2002(1): 46-48.
- [2] 周岩. 花椒: 香辛料“二当家”的前世今生[N]. 中国食品报, 2021-05-06(4).
ZHOU Y. Sichuan pepper: The past and present life of the "two masters" of spices[N]. China Food News, 2021-05-06(4).
- [3] 胡晴文,彭郁,李莱,等. 花椒油生物活性及作用机制研究进展[J]. 中国粮油学报, 2024, 39(4): 223-234.
HU Q W, PENG Y, LI M, et al. Research progress on bioactivities and mechanisms of *Zanthoxylum bungeanum* oils[J]. Journal of Cereals and Oils of China, 2024, 39(4): 223-234.
- [4] WANG Z J, ZHOU Y, SHI X L, et al. Comparison of chemical constituents in diverse *Zanthoxylum* herbs, and evaluation of their relative antibacterial and nematocidal activity[J]. Food Bioscience, 2021, 42: 101206.
- [5] WANG J Q, LI X W, LIU M, et al. Inhibitory effect of *Zanthoxylum bungeanum* seed oil on ovalbumin-induced lung inflammation in a murine model of asthma[J]. Molecular Medicine Reports, 2016, 13(5): 4289-4302.
- [6] PANG W W, LIU S, HE F, et al. Anticancer activities of *Zanthoxylum bungeanum* seed oil on malignant melanoma[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2019, 229: 180-189.
- [7] 薛婷,黄峻榕,李宏梁. 国内外花椒副产物的研究现状及其发展趋势[J]. 中国调味品, 2013, 38(12): 106-110.
XUE T, HUANG J R, LI H L. Research progress on domestic and foreign pepper by products[J]. China Condiment, 2013, 38(12): 106-110.
- [8] 杨敏,魏冰,张小勇,等. 花椒籽精深利用新工艺研究[J]. 粮食与食品工业, 2023, 30(2): 1-5, 10.
YANG M, WEI B, ZHANG X Y, et al. Explore on new process of deep utilization of the *Zanthoxylum bungeanum* seed[J]. Food and Food Industry, 2023, 30(2): 1-5, 10.
- [9] 刘玉兰,李锦,王格平,等. 花椒籽油与花椒油风味及综合品质对比分析[J]. 食品科学, 2021, 42(14): 195-201.
LIU Y L, LI J, WANG G P, et al. Comparative study on flavor and overall quality of *Zanthoxylum bungeanum* seed oil and *Zanthoxylum bungeanum* oil[J]. Food Science, 2021, 42(14): 195-201.
- [10] J. SINCLAIR A. 世界食物供应中亚油酸含量高对人体健康的影响[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(3): 23-32, 16-17.
J. SINCLAIR A. High linoleic acid in the food supply worldwide-what are the consequences[J]. Cereals, Oils and Food Science and Technology, 2022, 30(3): 23-32, 16-17.
- [11] KIM O Y, SONG J. Important roles of linoleic acid and α -linolenic acid in regulating cognitive impairment and neuropsychiatric issues in metabolic-related dementia[J]. Life Sciences, 2023, 337: 122356.
- [12] YAN H, ZHANG S, YANG L, et al. The antitumor effects of α -linolenic acid[J]. Journal of Personalized

- Medicine, 2024, 14(3): 260.
- [13] 张仁凤, 陈光静, 屈立武, 等. 不同产地红花椒籽油脂肪酸组成的比较研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(6): 1-4.
ZHANG R F, CHEN G J, QU L W, et al. Comparative analysis of fatty acids composition of seed oil in *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. from different origin[J]. China Condiment, 2017, 42(6): 1-4.
- [14] 林云, 邓娟, 周玉碧. 花椒籽油中脂肪酸成分的GC-MS分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2015, 50(6): 132-135.
LIM Y, DENG J, ZHOU Y B. Analysis of fatty acids in the prickly ash seed oil by GC-MS[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2015, 50(6): 132-135.
- [15] 薛华丽. 响应面分析法优化 β -环糊精包合分离花椒籽油中 α -亚麻酸的工艺[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 45-50.
XUE H L. Application of response surface methodology to optimize the separation technique for α -linolenic acid by β -cyclodextrin inclusion from pricklyash seed oil[J]. Food Science, 2013, 34(18): 45-50.
- [16] BAI Y, HOU J, ZHANG X T, et al. *Zanthoxylum bungeanum* seed oil elicits autophagy and apoptosis in human laryngeal tumor cells via PI3K/AKT/mTOR signaling pathway[J]. Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents), 2021, 21(18): 2610-2619.
- [17] 王娅娅. 花椒籽油的提取、分析检测及降血脂功能研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2007.
WANG Y Y. Studies on the extraction and bioactivities of the seed oil of *Zanthoxylum Bungeanum* Maxim[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2007.
- [18] LI H G, WANG X P, YANG H Y, et al. α -Linolenic acid but not linolenic acid protects against hypertension: Critical role of SIRT3 and autophagic flux[J]. Cell Death & Disease, 2020, 11(2): 83.
- [19] 刘末. 亚麻籽油及其功能成分 α -亚麻酸对肠道菌群调节作用的研究[D]. 南京: 南京财经大学, 2020.
LIU M. *In vitro* modulating effects of flaxseed oil and α -linolenic acid on gut microbiota[D]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2020.
- [20] CHIU H H, KUO C H. Gas chromatography-mass spectrometry-based analytical strategies for fatty acid analysis in biological samples[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2020, 28(1): 60-73.
- [21] 袁源见, 刘少雄, 何平平, 等. 超声辅助提取栀子油的理化性质与脂肪酸组成分析[J]. 饲料工业, 2024, 45(6): 97-100.
YUAN Y J, LIU S X, HE P P, et al. Physicochemical properties and fatty acid composition of ultrasonic-assisted extraction of *Gardenia* fruit oil[J]. Feed Industry, 2024, 45(6): 97-100.
- [22] 刘芳, 邓修. 三种花椒籽油提取方法的分析与比较[J]. 中成药, 2005(4): 23-26.
LIU F, DENG X. Comparison of three extraction methods to extract *Zanthoxylum oi*[J]. Chinese Patent Medicine, 2005(4): 23-26.
- [23] 杨小梅, 张馨月, 徐慧, 等. 花椒籽营养成分、提取工艺及其应用研究进展[J/OL]. 中国油脂, 1-12 (2024-09-19) [2024-10-17]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240455>.
YANG X M, ZHANG X Y, XU H, et al. Research progress on nutrient composition, extraction process and application of *Zanthoxylum bungeanum* seeds[J/OL]. China Oils and Fats, 1-12 (2024-09-19) [2024-10-17]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240455>.
- [24] 张宇. 汉源花椒籽油提取及其调节血脂功能的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2020.
ZHANG Y. Study on extraction and the regulating effect on blood lipid of han yuan *Zanthoxylum-Bungeanum* Maxim seed oil[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2020.
- [25] YUAN Q H, XIE F, HUANG W, et al. The review of alpha-linolenic acid: Sources, metabolism, and pharmacology[J]. Phytotherapy Research, 2022, 36(1): 164-188.
- [26] FLORES M, AVENDAÑO V, BRAVO J, et al. Edible oil parameters during deterioration processes [J]. International Journal of Food Science, 2021 (2021): 7105170.
- [27] TANG Y H, JIANG Y, MENG J S, et al. A brief review of physiological roles, plant resources, synthesis, purification and oxidative stability of alpha-linolenic acid[J]. Emirates Journal of Food and Agriculture, 2018, 30(5): 341-356.
- [28] FENG X Y, WANG H W, WANG Z J, et al. Discrimination and characterization of the volatile organic compounds in eight kinds of huajiao with geographical indication of China using electronic nose,

- HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS[J]. *Food Chemistry*, 2022, 375: 131671.
- [29] 徐德钦, 陈海燕, 章海锋, 等. 正交实验法优化马齿苋中 α -亚麻酸的提取工艺参数研究[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(2): 215-217.
- XU D Q, CHEN H Y, ZHANG H F, et al. Study on optimization of technological parameters for extraction of α -linolenic acid from the *Portulaca oleracea* L. by orthogonal experiment [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(2): 215-217.
- [30] 王莉, 姚柯兵. 花椒籽油提取工艺的优化[J]. *食品工业*, 2023, 44(1): 1-5.
- WANG L, YAO K B. Optimization of extraction process of *Zanthoxylum bungeanum* seed oil[J]. *Food Industry*, 2023, 44(1): 1-5.

Components Identification of *Zanthoxylum bungeanum* Seed Oil and Optimization of Extraction Process

XU Qin, WU Mengxia, XU Baocai, WANG Ying*

(College of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230601)

Abstract Objectives: This study aimed to optimize the extraction process of *Zanthoxylum bungeanum* seed oil to enhance the comprehensive utilization value of its by-products. Methods: The fatty acid composition of *Zanthoxylum bungeanum* seed oil was analyzed using gas chromatography-mass spectrometry. With the oil yield and the relative content of the main fatty acids as evaluation indices, the optimal extraction conditions were determined through single-factor experiments and orthogonal array design. Results: The main fatty acid in the oil was α -linolenic acid (relative content 23.39%). The optimal extraction conditions were as follows: Extraction temperature 60 °C, extraction time 50 min, solid to liquid ratio 1:3, ethanol volume fraction 90%, and extraction repeated three times. Under these conditions, the α -linolenic acid content reached 23.32%. Conclusions: This study clarifies the fatty acid profile of *Zanthoxylum bungeanum* seed oil and provides an important basis for its efficient extraction and for the resource utilization of *Zanthoxylum bungeanum* by-products.

Keywords *Zanthoxylum bungeanum* by-products; *Zanthoxylum bungeanum* seed oil; α -linolenic acid; extraction rate; process optimization