

超声辅助混合浸提制备花椒调味油的 工艺优化及其风味成分分析

陈江魁¹, 杨明建¹, 董占军², 殷春燕¹

(1. 邯郸学院 生命科学与工程学院, 河北 邯郸 056005; 2. 河北美临多维粮油贸易有限公司, 河北 邯郸 056600)

摘要:为提高花椒调味油风味品质,采用超声辅助植物油-乙醇混合浸提制备花椒调味油,通过单因素实验考察超声温度、超声时间、乙醇加量对调味油中花椒酰胺总含量的影响,并利用响应面法对制备工艺进行优化,采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用(HS-SPME-GC-MS)技术对调味油的挥发性成分进行检测与分析,对比植物油-乙醇混合浸提与单植物油浸提调味油挥发性成分的差异,同时对制备的调味油呈香属性进行风味评价。结果表明:花椒调味油的最佳制备条件为超声温度51℃、超声时间44 min、乙醇加量21%(以大豆油质量计),花椒原料与大豆油质量比1:3,超声功率240 W,在此条件下调味油中花椒酰胺总含量为(4.72±0.08)mg/g;混合浸提和单植物油浸提的调味油中检出的主要挥发性化合物分别为45种和37种,其主要挥发性成分均为烯烃类及醇类;混合浸提调味油在柑橘香、松香、浓厚味呈香属性方面的风味强度显著强于单植物油浸提的,在脂香方面低于单植物油浸提的,但其风味更容易被评价小组接受。综上,混合浸提得到的花椒调味油在风味种类及主要风味成分方面有一定富集作用,所优化的方法可用于花椒调味油的制备。

关键词:花椒调味油;混合浸提;花椒酰胺;挥发性成分;风味评价

中图分类号:TS224;TS225.3 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)12-0007-07

Optimization of ultrasound-assisted mixed extraction process of *Zanthoxylum* flavored oil and analysis of its flavor components

CHEN Jiangkui¹, YANG Mingjian¹, DONG Zhanjun², YIN Chunyan¹

(1. College of Life Science and Engineering, Handan University, Handan 056005, Hebei, China; 2. Hebei Meilin Multivariate Grain and Oil Trading Co., Ltd., Handan 056600, Hebei, China)

Abstract: In order to improve the flavor quality of *Zanthoxylum* flavored oil, *Zanthoxylum* flavored oil was prepared by ultrasound-assisted plant oil-ethanol mixed extraction. The effects of ultrasonic temperature, ultrasonic time and ethanol dosage on the total content of fagaramide in the flavored oil were investigated by single factor experiment, the preparation process was optimized using response surface methodology, the volatile components of the flavored oil were detected and analysed by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS), and the differences in volatile compositions of flavored oils were compared between plant oil-ethanol mixed extraction and single-plant oil extraction. In addition, the aroma attributes of prepared flavored oils were evaluated in terms of flavor. The results showed that the optimal conditions for the preparation of

Zanthoxylum flavored oil were as follows: ultrasonic temperature 51℃, ultrasonic time 44 min, ethanol dosage 21% (based on the mass of soybean oil), *Zanthoxylum* to soybean oil mass ratio 1:3, ultrasonic power 240 W. The total content of fagaramide in the flavored oil under these conditions was (4.72±0.08) mg/g. There

收稿日期:2023-08-31;修回日期:2024-09-02

基金项目:邯郸市科学技术研究与发展计划项目(22313014047);河北省高等学校科学技术研究重点项目(ZD2020414);河北省大学生科技创新能力培育专项项目(22E50286D)

作者简介:陈江魁(1984),男,讲师,硕士,研究方向为食品发酵与分析(E-mail)cjk02006@126.com。

were 45 and 37 types of main volatile components detected in the flavored oils of the mixed extraction and single - plant oil extraction, respectively, and their main volatile components were alkenes and alcohols. The flavor intensity of the mixed - extracted flavored oils was significantly stronger than that of the single - plant oil extracts in terms of citrus aroma, pine aroma, and strong flavor presentation attributes, and lower than that of the single - plant oil extracts in terms of fat aroma, but their flavor was more readily accepted by the evaluation panel. In conclusion, the *Zanthoxylum* flavored oil obtained by mixed extraction shows some enrichment in terms of flavor types and major flavor components, and the optimized method can be used for the preparation of *Zanthoxylum* flavored oil.

Key words: *Zanthoxylum* flavored oil; mixed extraction; fagaramide; volatile components; flavor evaluation

花椒 (*Zanthoxylum bungeanum*) 属于芸香科花椒属落叶小乔木或灌木^[1], 是我国特有的香辛料之一, 其本身具有浓郁的香味和特殊的麻感, 还具有镇膈解腥的作用^[2], 被用于菜肴烹饪中。花椒的化学成分主要包括酰胺类、生物碱、油树脂、黄酮、脂肪酸、甾醇等^[3], 具有抑菌、抗氧化、调节肠道功能、抗抑郁及诱导细胞凋亡等功效^[4-5]。花椒抗病、耐寒、耐贫瘠能力强, 近年来也作为主要退耕还林还草的生态型经济作物之一^[6]。随着花椒综合开发利用的发展, 国内对花椒深加工产品需求量增加, 其产业发展在乡村振兴中也发挥很大作用。

调味油是香辛料与油脂经一定的工序加工而成的一种复合型产品, 其中花椒调味油兼具花椒香味和麻味, 在餐饮业中具有广泛的应用^[7]。当前花椒调味油的主要加工方法有溶剂萃取法^[8]、超临界 CO₂ 萃取法^[9]、高温油炸法^[10] 等, 这些方法相应存在溶剂残留、加工成本较高、高温破坏花椒活性成分等缺点, 使用植物油直接浸提加工花椒调味油是解决上述问题的有效方法。据考证, 花椒中麻味物质花椒素主要为酰胺类物质, 尤以羟基 - α - 山椒素为代表^[11]。花椒酰胺大多是链状不饱和脂肪酰胺, 不溶于石油醚, 在水和植物油中溶解度也较低^[12]。因此, 直接用植物油浸提制备花椒调味油, 会存在浸提有效成分不彻底的问题。考虑到花椒酰胺在热乙醇中有较好的溶解性^[12], 本研究采用植物油和乙醇混合浸提制备花椒调味油, 同时选用超声辅助提升浸提效率, 通过响应面法优化花椒调味油制备工艺, 并对其挥发性风味成分进行检测, 以期获得一种易于操作、可行性较强的花椒调味油生产工艺。

1 材料与方法

1.1 实验材料

新鲜大红袍花椒 [花椒酰胺总含量为 (18.43 ±

0.42) mg/g], 产地河北涉县; 一级大豆油, 由河北美临公司提供; 食品级乙醇, 康胜生物科技有限公司; 羟基 - α - 山椒素标准品 (纯度 ≥ 98%), 上海源叶生物科技有限公司; 甲醇、乙腈, 色谱纯, 麦克林试剂公司。

Essentia LC - 16 高效液相色谱仪、SPD - 16 紫外/可见光检测器, 日本岛津公司; TRACE1300/ISQ1300 气相色谱质谱联用仪, 赛默飞世尔科技公司; 固相微萃取手柄、50/30 μ m DVB/Car/PDMS 固相微萃取 (SPME) 头, 美国 Supelco 公司; SY - 2000 旋转蒸发仪, 上海亚荣生化仪器厂; BILDN98 - III D 超声波细胞粉碎仪, 北京比朗公司; AXTGL16M 冷冻离心机, 上海赵迪生物科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 花椒调味油的制备

新鲜花椒除杂后烘干 (60 ~ 70 °C), 粉碎后过 0.85 mm (20 目) 筛, 花椒粉末与大豆油按照质量比 1:3 混合, 添加一定比例无水乙醇, 放入超声波细胞粉碎仪中, 设置超声温度、超声时间, 在超声功率 240 W 下进行浸提。浸提结束后, 8 000 r/min 离心 10 min, 去除下层沉淀, 上清液放入旋转蒸发仪减压蒸馏脱醇得到浸提油样, 装入棕色瓶内并放入冰箱中保存。

1.2.2 花椒酰胺总含量的测定

参照 GH/T 1291—2020《花椒及花椒加工产品 花椒酰胺总含量的测定 高效液相色谱法》及杨清山等^[13]的方法测定花椒调味油中花椒酰胺总含量。

1.2.3 挥发性成分分析

参考文献 [14], 采用顶空固相微萃取 - 气相色谱质谱联用 (HS - SPME - GC - MS) 法检测花椒调味油中的挥发性成分。取 20 mL 花椒调味油于 50 mL 顶空瓶中, 将老化好的 SPME 头插入顶空瓶,

使其悬于油样上空约 1 cm 处,80 °C 吸附平衡 25 min, GC 进样解吸 1.5 min。

GC 条件:载气为氦气,进样口温度 250 °C,不分流进样,流速 1.0 mL/min;升温程序为初始温度 60 °C 保持 2 min,2 °C/min 升至 135 °C,保持 10 min,20 °C/min 升至 240 °C,保持 4 min。MS 条件:离子源温度 230 °C,电子轰击(EI)离子源,电子能量 70 eV,扫描范围 35 ~ 500。

将分析得到的各组分质谱信息与 NIST 数据库进行匹配定性,对正反匹配度均大于 80 的化合物进行识别;采用峰面积归一化法对各化合物进行定量。

1.2.4 风味评价

参考 GB/T 10220—2012《感官分析 方法学 总论》及 Liu^[15]、Sun^[16] 等方法对花椒调味油的风味进行评价。在明亮的室内(维持室温在 25 °C 左右),将样品放于 100 mL 的烧杯中,由 10 名感官评定人员按照既定的评定要求进行评价。采用风味剖面法^[17],评定人员对花椒调味油进行嗅闻,确定出感官风味评价的描述词汇,确定呈香属性,对不同气味强度由弱到强进行 0 ~ 9 分赋分,以获得的平均分为最终结果。

1.2.5 数据处理

每个实验数据测定 3 次,以“平均值 ± 标准偏差”表示,使用 Excel 2016 软件处理数据,Origin 2021 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 花椒调味油制备单因素实验

2.1.1 超声温度对花椒酰胺总含量的影响

在超声时间 45 min、乙醇加量 15% (以大豆油的质量计) 条件下,探究超声温度对花椒调味油中花椒酰胺总含量的影响,结果如图 1 所示。

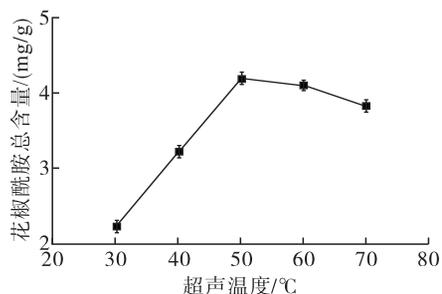


图 1 超声温度对花椒酰胺总含量的影响
Fig.1 Effect of ultrasonic temperature on total fagaramide

由图 1 可知,随着超声温度的升高,花椒酰胺总含量呈现先增加后降低的趋势,在超声温度 50 °C 时

花椒酰胺总含量达到最高,为 4.32 mg/g。这是因为超声温度较低时,抑制了酰胺类化合物的析出与扩散,导致其含量相对较低;花椒酰胺为链状的不饱和脂肪酰胺^[18],超声温度过高时,加速了酰胺类物质的散失和氧化速度,使其损失加快。综上,选择 50 °C 作为最佳超声温度。

2.1.2 超声时间对花椒酰胺总含量的影响

在超声温度 50 °C、乙醇加量 15% 的条件下,探究超声时间对花椒调味油中花椒酰胺总含量的影响,结果如图 2 所示。

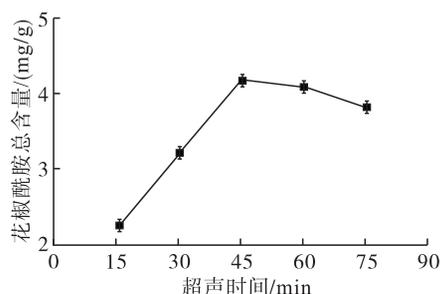


图 2 超声时间对花椒酰胺总含量的影响

Fig.2 Effect of ultrasonic time on total fagaramide

由图 2 可知,随着超声时间的延长,花椒酰胺总含量呈现先上升后下降的趋势,在超声时间为 45 min 时花椒酰胺总含量达到最高,为 4.20 mg/g。超声时间过短,酰胺类化合物与其他物质交联在一起,不能被充分释放;而当超声时间过长时,酰胺类物质又会分解损失或逸散,使其含量降低。综合考虑,选择 45 min 作为最佳超声时间。

2.1.3 乙醇加量对花椒酰胺总含量的影响

在超声温度 50 °C、超声时间 45 min 的条件下,探究乙醇加量对花椒调味油中花椒酰胺总含量的影响,结果如图 3 所示。

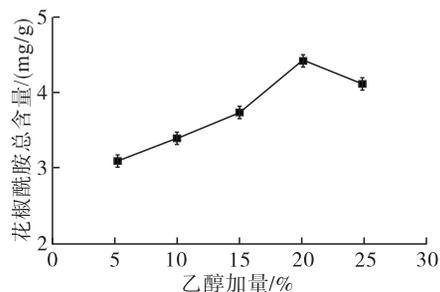


图 3 乙醇加量对花椒酰胺总含量的影响

Fig.3 Effect of ethanol dosage on total fagaramide

由图 3 可知,随着乙醇加量的增加,花椒酰胺总含量呈现先上升后下降的趋势,在乙醇加量为 20% 时,花椒酰胺总含量达到最高,为 4.44 mg/g。热乙醇是花椒酰胺的良好溶剂^[19],随着乙醇加量的提

高,花椒酰胺的浸出率逐步提升;但是乙醇加量过高,在进行减压蒸馏脱醇工序时,部分浸提物也将被带走,导致花椒酰胺总含量下降。综合考虑,选择20%作为最佳乙醇加量。

2.2 花椒调味油制备响应面实验

2.2.1 响应面实验设计及结果

在单因素实验的基础上,以花椒调味油中花椒酰胺总含量(Y)为响应值,超声温度(A)、超声时间(B)、乙醇加量(C)为实验因素,设计三因素三水平的 Box - Behnken 响应面实验^[20]。响应面实验因素与水平见表1,响应面实验设计与结果见表2。

表1 响应面实验因素与水平

Table 1 Factors and levels of response surface methodology

水平	A 超声温度/℃	B 超声时间/min	C 乙醇加量/%
-1	40	30	15
0	50	45	20
1	60	60	25

表2 响应面实验设计与结果

Table 2 Design and results of response surface methodology

实验号	A	B	C	$Y/(mg/g)$
1	1	1	0	3.74
2	-1	-1	0	3.67
3	0	-1	1	4.10
4	0	1	1	3.99
5	1	0	1	4.13
6	-1	0	-1	3.53
7	0	-1	-1	3.38
8	-1	0	1	3.95
9	1	0	-1	3.69
10	0	1	-1	3.81
11	1	-1	0	4.12
12	-1	1	0	3.90
13	0	0	0	4.71
14	0	0	0	4.62
15	0	0	0	4.59

2.2.2 模型建立与方差分析

使用 Design Expert 13 软件,对花椒酰胺总含量进行拟合分析,得到回归方程: $Y = 4.640 + 0.079A + 0.021B + 0.220C - 0.153AB + 0.005AC - 0.135BC - 0.389A^2 - 0.394B^2 - 0.426C^2$ 。该模型的方差分析结果如表3所示。

表3 回归模型方差分析结果

Table 3 Results of variance analysis of regression model

方差	平方和	自由度	均方	F	p	显著性
模型	2.170 0	9	0.240 9	33.53	0.000 6	**
A	0.049 6	1	0.049 6	6.91	0.046 7	*
B	0.003 6	1	0.003 6	0.50	0.051 0	
C	0.387 2	1	0.387 2	53.89	0.000 4	**
AB	0.093 0	1	0.093 0	12.95	0.015 6	*
AC	0.000 1	1	0.000 1	0.01	0.910 7	
BC	0.072 9	1	0.072 9	10.15	0.024 4	*
A^2	0.558 0	1	0.558 0	77.66	0.000 3	**
B^2	0.572 5	1	0.572 5	79.67	0.000 3	**
C^2	0.670 9	1	0.670 9	93.37	0.000 2	**
残差	0.035 9	5	0.007 2			
失拟项	0.028 1	3	0.009 4	2.40	0.307 3	不显著
净误差	0.007 8	2	0.003 9			
总误差	2.200 0	14				

注: * 表示差异显著($p < 0.05$); ** 表示差异极显著($p < 0.01$)

Note: * . $p < 0.05$; ** . $p < 0.01$

由表3可知:该模型 F 值为 33.53, p 值小于 0.01,表明回归模型极显著;回归模型的决定系数 (R^2) 为 98.37%,表明变量之间的线性关系程度较为密切;失拟项的 p 值大于 0.05,差异不显著,说明模型的拟合度良好,可较好地反映实际情况。对比 F 值大小可以分析选择的实验因素对考察指标的影响程度, F 值越大影响越显著^[21]。由表3可知,影响花椒酰胺总含量的因素主次顺序是 $C > A > B$,即乙醇加量 > 超声温度 > 超声时间,且乙醇加量对花椒酰胺总含量的影响程度远高于其他因素,说明乙醇加量在浸提过程中对酰胺类物质的溶出有很大作用。分析各因素及因素间交互作用的显著性显示,一次项 A 和交互项 AB 、 BC 影响显著,一次项 C 和二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 影响极显著,这说明各因素对花椒调味油中花椒酰胺总含量的影响是复杂的,交互作用影响也较大,较高的温度和较长的时间意味着酰胺类物质溶出的增多,但也意味着损失量的增加,这与江燕竹^[22]研究花椒麻味物质的分离、彭彰智等^[23]以感官评分为指标的花椒调味油工艺优化结果一致。

2.2.3 响应面实验优化最佳条件及验证

通过运行 Design Expert 13 软件,以使花椒酰胺总含量达到最大值进行优化,得到最佳条件为超声温度 51.1 °C、超声时间 44.4 min、乙醇加量 21.3%,在此条件下花椒调味油中花椒酰胺总含量

预测值为 4.67 mg/g。为方便操作,选择超声温度 51 ℃、超声时间 44 min、乙醇加量 21% 为最佳条件,进行 3 次验证实验,测得花椒调味油中花椒酰胺总含量为 (4.72 ± 0.08) mg/g,与理论值的相对误差为 1.07%,误差较小,说明响应面实验优化的条件是可靠的。

以优化工艺条件下制备的花椒调味油为混合浸

提组,相同工艺参数下不添加乙醇浸提制备的花椒调味油为单植物油浸提组(对照组),分别计算花椒酰胺提取率。得到混合浸提组的花椒酰胺提取率为 76.83%,相比对照组的 45.74% 有明显提升。

2.3 主要挥发性成分

混合浸提和单植物油浸提花椒调味油中主要挥发性成分及相对含量如表 4 所示。

表 4 花椒调味油的主要挥发性成分种类与含量

Table 4 Types and contents of main volatile components in *Zanthoxylum* flavored oil

化合物	混合浸提	单植物油浸提	化合物	混合浸提	单植物油浸提
醇类			酮类		
芳樟醇	28.50	21.40	侧柏酮	1.25	3.50
苯乙醇	0.92	1.14	胡椒酮	0.47	1.33
4-萜烯醇	0.85	0.94	(+)-香芹酮	0.57	2.12
2-呋喃甲醇	0.82	0.58	甲基环戊烯醇酮	0.21	0.32
α-松油醇	2.83	1.78	醛类		
(E)-异胡椒烯醇	0.55	ND	己醛	0.43	1.73
(Z)-香芹醇	0.74	0.38	香茅醛	0.86	0.44
桉油烯醇	0.73	0.59	柠檬醛	0.74	0.37
(Z)-辛-5-烯-3-醇	0.94	1.21	糖醛	0.44	0.96
β-桉叶醇	0.72	0.59	桃金娘烯醛	0.79	ND
(+)-柏木脑	0.76	ND	(E,E)-2,4-庚二烯醛	0.89	1.07
烯烃类			酯类		
蒎烯	2.58	3.29	乙酸芳樟酯	2.72	3.55
桉烯	2.92	1.03	乙酸龙脑酯	0.83	0.87
β-月桂烯	2.28	1.87	乙酸苯乙酯	1.75	3.27
柠檬烯	15.34	11.85	乙酸胡椒酯	1.94	1.26
γ-松油烯	2.16	2.32	α-乙酸松油酯	1.74	3.86
萜品油烯	1.21	0.97	乙酸香叶酯	0.37	ND
β-罗列烯	1.53	0.44	己酸-2-苯乙酯	0.47	ND
别罗列烯	0.76	ND	酸类		
3-甲基环己烯	0.79	ND	乙酸	0.62	1.41
律草烯	0.47	0.96	3-乙基丁酸	0.36	0.87
石竹烯	0.74	ND	其他类		
γ-衣兰油烯	1.05	1.06	苯代丙腈	0.87	1.23
γ-芹子烯	0.88	0.47	对伞花烃	0.32	1.26

注:ND 表示未检出

Note: ND. Not detected

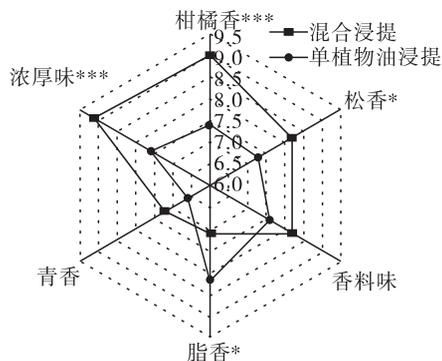
由表 4 可知,混合浸提和单植物油浸提花椒调味油中检测出的挥发性化合物分别有 45 种和 37 种,分为醇类、烯烃类、酯类、醛类、酮类、酸类及其他类,其中醇类、烯烃类为主要挥发性成分,这两类挥发性成分合计占混合浸提和单植物油浸提花椒调味油挥发性成分的 71.07% 和 52.87%。柠檬烯和芳樟醇是体现花椒特征风味最重要的 2 种芳香成

分^[24],二者在混合浸提花椒调味油中的含量明显高于单植物油浸提的。由此可以看出,添加乙醇混合浸提对花椒调味油的挥发性风味物质富集有正向作用。

2.4 风味评价

通过风味剖面分析得出花椒调味油的风味描述词汇^[25]为柑橘香、松香、香料味、脂香、青香、浓厚

味,其中:柠檬烯代表柑橘香; β -月桂烯代表松香;桉烯代表香料味;植物油及部分酯类代表脂香;青香是闻起来很清新,像草的味道;浓厚味是指令人愉悦,产生深刻记忆的风味。混合浸提和单植物油浸提花椒调味油的风味评价结果如图4所示。



注: * 表示 $p < 0.05$; ** 表示 $p < 0.01$; *** 表示 $p < 0.001$

Note: * . $p < 0.05$; ** . $p < 0.01$; *** . $p < 0.001$

图4 花椒调味油的风味评价结果

Fig.4 Sensory evaluation results of *Zanthoxylum* flavored oil

由图4可知,两组花椒调味油的香气强度存在差异。混合浸提调味油在柑橘香、松香、浓厚味方面的风味强度显著高于单植物油浸提花椒调味油的 ($p < 0.05$),青香和香料味方面两组花椒调味油无显著差异,单植物油浸提花椒调味油在脂香方面的风味强度显著高于混合浸提花椒调味油的 ($p < 0.05$)。综合来看,混合浸提花椒调味油整体香味浓郁,充分融合了花椒特征香气与风味,容易被评价小组接受。

3 结论

本文以大豆油为油基,添加乙醇混合超声浸提制备花椒调味油,通过单因素实验和响应面实验对超声辅助混合浸提制备花椒调味油的工艺条件进行优化,并对优化条件下制备的调味油的挥发性成分进行测定与分析,同时对制备的调味油呈香属性进行风味评价。结果表明:花椒调味油的最佳制备条件为超声温度 $51\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、超声时间 44 min 、乙醇加量 21% (以大豆油质量计)、花椒原料与大豆油质量比 $1:3$ 、超声功率 240 W ,在此条件下制备的调味油中花椒酰胺总含量为 $(4.72 \pm 0.08)\text{ mg/g}$ 。混合浸提和单植物油浸提的花椒调味油中检出的主要挥发性化合物分别为 45 种和 37 种,其主要挥发性成分均为烯烃类及醇类,混合浸提调味油中柠檬烯和芳樟醇的含量均高于单植物油浸提的;风味评价方面,混合浸提调味油在柑橘香、松香、浓厚味呈香属性方面风味强度显著强于单植物油浸提的,在脂香方面低于单植物油浸提的,但综合来看混合浸提调味油更

易被接受。本文以热乙醇与植物油混合浸提制备花椒调味油,在提高调味油中花椒酰胺总含量的同时有效避免了高温油炸、有机溶剂萃取、超临界 CO_2 萃取等方法的缺陷,优化后的工艺可操作性强,对花椒调味油提质降本具有明显的经济意义。

参考文献:

- [1] 胡航伟,朱玲,陈拾咏,等. 花椒产地溯源技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(13):110-116.
- [2] 王海帆,郭梦嫣,王玉洁,等. 辣椒、花椒等辛辣香料对肉制品风味影响的研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(15):389-395.
- [3] MA Y, LI J, TIAN M, et al. Authentication of Chinese prickly ash by ITS2 sequencing and the influence of environmental factors on pericarp quality traits[J/OL]. Ind Crops Prod, 2020, 155: 112770 [2023-08-31]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112770>.
- [4] WU T, ZHONG L, HONG Z, et al. The effects of *Zanthoxylum bungeanum* extract on lipid metabolism induced by sterols[J]. J Pharmacol Sci, 2015, 127(3): 251-259.
- [5] LI K, ZHOU R, JIA W, et al. *Zanthoxylum bungeanum* essential oil induces apoptosis of HaCaT human keratinocytes [J]. J Ethnopharmacol, 2016, 186: 351-361.
- [6] 林梅. 青花椒种植对土壤肥力的影响[D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2017.
- [7] 胡丽丽. 花椒调味油制备的研究[D]. 成都: 西华大学, 2013.
- [8] 张郁松. 花椒风味物质超临界萃取与有机溶剂萃取的比较[J]. 中国调味品, 2014, 39(2): 25-27.
- [9] XIA L, YOU J, LI G, et al. Compositional and antioxidant activity analysis of *Zanthoxylum bungeanum* seed oil obtained by supercritical CO_2 fluid extraction[J]. J Am Oil Chem Soc, 2011, 88(1): 23-32.
- [10] LIU R, QI N, SUN J, et al. Effects of frying conditions on volatile composition and odor characteristics of fried pepper (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.) oil[J/OL]. Foods, 2022, 11(11): 1661 [2023-08-31]. <https://doi.org/10.3390/foods11111661>.
- [11] 祝磊,黎江华,刘玉杰,等. 关于花椒中麻味物质“花椒素”的考证[J]. 中国调味品, 2018, 43(3): 173-177.
- [12] MA Y, WANG Y, LI X, et al. Sensory characteristics and antioxidant activity of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. pericarps [J/OL]. Chem Biodivers, 2019, 16(2): e1800238 [2023-08-31]. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201800238>.

(下转第104页)

- (31): 264 – 268.
- [38] 张明, 帅希祥, 杜丽清, 等. 澳洲坚果青皮多酚提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2017, 38(22): 195 – 199.
- [39] 徐斌, 万举河, 卢森. 一种澳洲坚果青皮舒眠药枕及其制备方法: CN106539946A[P]. 2017 – 03 – 29.
- [40] 覃振师, 罗莲凤, 王文林, 等. 一种澳洲坚果皮绿茶及其制备方法: CN109845851B[P]. 2022 – 01 – 18.
- [41] 石柳, 王金华, 熊智, 等. 澳洲坚果壳中纤维素和木质素成分分析[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(11): 2846 – 2848.
- [42] SCHÜLER P, SPECK T, BÜHRIG – POLACZEK A, et al. Structure – function relationships in *Macadamia integrifolia* seed coats: Fundamentals of the hierarchical microstructure [J/OL]. PLoS One, 2014, 9(8): e102913 [2023 – 03 – 21]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102913>.
- [43] 耿建建, 陶亮, 岳海, 等. 澳洲坚果果壳综合利用研究综述[J]. 热带农业科技, 2021, 44(2): 41 – 47.
- [44] 巫丹, 范方宇, 王昌命, 等. 温度对澳洲坚果壳生物炭特性影响[J]. 应用化工, 2021, 50(5): 1282 – 1286, 1291.
- [45] NEKHAVHAMBE H H, MUDZIELWANA R, GITARI M W, et al. Fluoride bio – sorption efficiency and antimicrobial potency of *Macadamia* nut shells [J/OL]. Materials, 2022, 15(3): 1065 [2023 – 03 – 21]. <https://doi.org/10.3390/ma15031065>.
- [46] 冯骞, 杨雯, 薛朝霞, 等. 一种硝化还原改性澳洲坚果壳吸附剂的制备方法: CN104258820B[P]. 2016 – 04 – 27.
- [47] 杨雯, 冯骞, 操家顺, 等. 新型多羟基澳洲坚果壳吸附处理印染废水[J]. 净水技术, 2016, 35(1): 77 – 82.
- [48] 王文林, 陈海生, 赵静, 等. 一种澳洲坚果壳泡酒酿造方法: CN108441374A[P]. 2018 – 08 – 24.
- [49] 徐斌. 一种澳洲坚果壳天然染发剂及其制备方法: CN106491421B[P]. 2019 – 11 – 15.
- [50] 徐斌. 一种利用澳洲坚果壳制备天然摩擦剂的方法: CN106309259A[P]. 2017 – 01 – 11.
- [51] 韩树全, 罗立娜, 范建新, 等. 澳洲坚果叶茶的品质特征及挥发性成分分析[J]. 热带作物学报, 2019, 40(8): 1645 – 1652.
- [52] 何凤平, 雷朝云, 范建新, 等. 水蒸气蒸馏法提取澳洲坚果叶精油工艺[J]. 食品工业, 2020, 41(1): 176 – 180.
- [53] 张燕, 范建新, 龚德勇, 等. 一种澳洲坚果花花茶的制备方法: CN109845861B[P]. 2022 – 03 – 11.
- [54] 欧华, 杨为海, 邹明宏, 等. 澳洲坚果花的挥发性成分分析[J]. 热带农业科学, 2011, 31(6): 58 – 60.
-
- (上接第 12 页)
- [13] 杨清山, 翟彦伟, 栗星, 等. 花椒及其提取物中花椒麻素的 HPLC 测定方法[J]. 食品工业, 2019, 40(8): 328 – 332.
- [14] QI D, MA C, WANG W, et al. Gas chromatography – mass spectrometry analysis reveals the differences in volatile components of royal jelly from different honeybee stocks [J/OL]. LWT – Food Sci Technol, 2020, 124: 109143 [2023 – 08 – 31]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109143>.
- [15] LIU Y, LI Q, YANG W, et al. Characterization of the potent odorants in *Zanthoxylum armatum* DC Prodr. pericarp oil by application of gas chromatography – mass spectrometry – olfactometry and odor activity value [J/OL]. Food Chem, 2020, 319: 126564 [2023 – 08 – 31]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126564>.
- [16] SUN J, SUN B, REN F, et al. Characterization of key odorants in Hanyuan and Hancheng fried pepper (*Zanthoxylum bungeanum*) oil [J]. J Agric Food Chem, 2020, 68(23): 6403 – 6411.
- [17] 李金林, 王维亚, 李鑫, 等. 基于雷达图与紫外 – 可见分光光度法建立鱼汤挥发性风味评价方法及其应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(8): 2103 – 2110.
- [18] 徐艳. 柄果花椒酰胺及其衍生物的设计、合成及活性评价[D]. 辽宁 大连: 大连理工大学, 2014.
- [19] 潘姝璇, 蒲彪, 付本宁, 等. 花椒麻味物质感官分级及其检测研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(18): 347 – 351.
- [20] 艾莉, 张萌萌, 赵容, 等. 星点设计 – 响应面法优化花椒中主要酰胺类成分提取工艺研究[J]. 中药与临床, 2020, 11(6): 13 – 17.
- [21] 朱凯, 郑飞洋, 郭丽平, 等. 模糊综合评价结合响应面法优化鹰爪虾滑加工工艺[J]. 中国食品学报, 2022, 22(2): 224 – 232.
- [22] 江燕竹. 花椒麻味物质的分离纯化以及抗氧化性能研究[D]. 成都: 西华大学, 2016.
- [23] 彭彰智, 彭超, 潘军辉, 等. 响应面法优化棕榈油基花椒调味油的生产工艺及其贮藏稳定性研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(9): 58 – 64.
- [24] 程小雪, 袁永俊, 胡丽丽, 等. 贮藏条件对花椒调味油中柠檬烯和芳樟醇含量的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 258 – 261.
- [25] 倪瑞洁. 花椒调味油特征香气物质解析及其呈香属性效应机制研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2022.