

微波预处理对山苍子油脂肪酸组成、活性成分及挥发性风味的影响

李佳灵, 杨舒曼, 牛阳雨, 张艳东, 朱依纯, 蒋黎艳, 肖新生

(湖南科技学院 化学与生物工程学院, 湖南 永州 425199)

摘要:旨在为山苍子油的高效加工和深度开发利用提供参考,以未经微波预处理的山苍子果为对照,对山苍子果进行微波预处理,考察微波预处理时间对压榨山苍子油得率、脂肪酸组成、活性成分和DPPH自由基清除率的影响,并对比分析挥发性风味成分的差异。结果表明:微波预处理能有效提高山苍子油得率,且对山苍子油的脂肪酸组成无影响;山苍子油总酚含量在10.48~13.06 mg/g之间,与对照组相比,微波预处理组山苍子油的总酚含量上升了3.25%~24.62%;微波预处理组山苍子油的角鲨烯、 α -生育酚和 β -谷甾醇含量均显著高于对照组,其中角鲨烯含量随微波预处理时间的延长而增加,而 α -生育酚和 β -谷甾醇含量先增加后下降;微波预处理组山苍子油的DPPH自由基清除率均高于对照组,且随着微波预处理时间的延长呈现先升高后降低的趋势;山苍子油中共鉴定出23种挥发性化合物,包括萜烯类11种、醛类4种、醇类3种、酮类1种、其他4种,与对照组相比,微波预处理组柠檬烯含量增加,月桂烯和柠檬醛含量降低;随着微波预处理时间的延长,山苍子油整体风味由浓郁的柠檬香转变为柑橘柠檬香。综上,适度微波预处理可以提高山苍子油的品质。

关键词:微波预处理;山苍子油;脂肪酸组成;活性成分;挥发性风味

中图分类号:TS224.2;TS225.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)10-0007-08

Effect of microwave pretreatment on fatty acid composition, active components and volatile flavor of *Litsea cubeba* oil

LI Jialing, YANG Shuman, NIU Yangyu, ZHANG Yandong,
ZHU Yichun, JIANG Liyan, XIAO Xinsheng

(College of Chemistry and Bioengineering, Hunan University of Science and Engineering,
Yongzhou 425199, Hunan, China)

Abstract: To provide reference for the efficient processing and deep development utilization of *Litsea cubeba* oil, with *Litsea cubeba* fruit without microwave pretreatment as control, the *Litsea cubeba* fruit was pretreated with microwave, and the effects of microwave pretreatment time on the oil yield, fatty acid composition, active components and DPPH free radical scavenging rate of pressed *Litsea cubeba* oil were studied, and the differences of volatile flavor components were compared and analyzed. The results showed that microwave pretreatment could effectively improve the yield of *Litsea cubeba* oil, and had no effect on the fatty acid composition. The total phenol contents of *Litsea cubeba* oil ranged from 10.48 mg/g to 13.06 mg/g. Compared

收稿日期:2024-04-18;修回日期:2024-07-25

基金项目:湖南省自然科学基金项目(2024JJ7192);湖南省大学生创新创业训练计划项目(湘教通[2023]237号-3683);永州市指导性科技计划项目(2023YZ022)

作者简介:李佳灵(2003),女,在读本科,食品质量与安全专业(E-mail)1780008211@qq.com。

通信作者:蒋黎艳,讲师(E-mail)lyj5423@163.com;肖新生,教授(E-mail)58022849@qq.com。

with the control group, the total phenol contents of *Litsea cubeba* oil in microwave pretreatment group increased by 3.25% - 24.62%. The contents of squalene, α -tocopherol and β -sitosterol in the microwave pretreatment group were significantly higher than those in the control group, and the content of squalene increased with the prolonging of microwave pretreatment time, while the content of

α -tocopherol and β -sitosterol first increased and then decreased. The DPPH free radical scavenging rate of *Litsea cubeba* oil in microwave pretreatment group was higher than that in control group, and the DPPH free radical scavenging rate increased first and then decreased with the prolonging of microwave pretreatment time. A total of 23 volatile compounds were identified in *Litsea cubeba* oil, including 11 terpenes, 4 aldehydes, 3 alcohols, 1 ketone and 4 others. Compared with the control group, the content of limonene increased in microwave pretreatment group, and the contents of myrcene and citral decreased. With the prolonging of microwave pretreatment time, the overall flavor of *Litsea cubeba* oil changed from rich lemon aroma to citrus lemon aroma. In conclusion, moderate microwave pretreatment can improve the quality of *Litsea cubeba* oil.

Key words: microwave pretreatment; *Litsea cubeba* oil; fatty acid composition; active component; volatile flavor

山苍子(*Litsea cubeba*),别名山鸡椒、辣姜子、木姜子,属樟科木姜子属,是我国特有的芳香油料植物,主要分布于我国湖南、广西和贵州等地,每年可生产350万t左右鲜果^[1]。山苍子果实富含油脂,含有4%~8%的精油和20%~50%的核仁油^[2]。山苍子精油中富含柠檬醛,柠檬醛在抑制植物病原菌、治疗心血管疾病、平喘镇咳和抗过敏等方面具有很好的作用^[3-5]。山苍子核仁油脂肪酸组成中月桂酸含量较高,其可以部分替代椰子油作为合成表面活性剂、食品添加剂和生物柴油等的重要原料^[2]。因此,山苍子油具有重要的开发利用价值。

微波预处理作为一种油脂制取预处理技术,具有加热速度快、能效高、对营养成分影响小、操作简单等优势^[6],近年来受到了越来越多的关注。研究表明,适度的微波预处理可以提高芝麻油的营养成分含量和氧化稳定性,赋予芝麻油浓郁的香气^[7],有助于提高葵花籽油中维生素E含量,同时可使菜籽油和花生油中杂环类物质吡嗪类和呋喃类增加^[8],还有助于改善花生油^[9]和浓香菜籽油^[10]的风味。

目前已有关于微波预处理对奇亚籽油^[11]、山核桃油^[12]品质,油茶籽油的抗氧化性^[13],菜籽油挥发性风味成分^[14]影响的研究,而将微波预处理应用于山苍子油的研究尚未见报道。本文以山苍子果为原料,研究微波预处理时间对压榨山苍子油得率、脂肪酸组成、总酚、角鲨烯、 β -谷甾醇、 α -生育酚、DPPH自由基清除率和挥发性风味成分的影响,旨在为山苍子油的高效加工和深度开发利用提供一定的数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

山苍子果:颗粒饱满,大小均匀,无病虫害,表面无腐败、无霉菌,水分含量为 $(8.48 \pm 0.25)\%$,脂肪

含量为 $(32.02 \pm 0.18)\%$ 。

37种脂肪酸甲酯标准品,角鲨烯标准品(纯度 $\geq 95\%$), β -谷甾醇标准品(纯度 $\geq 98\%$), α -生育酚标准品(纯度 $\geq 95\%$),正己烷(色谱纯),无水硫酸钠,石油醚,无水乙醚,无水乙醇,二氯甲烷,95%乙醇,百里香酚酞,酚酞,异丙醇,氯化钠,氢氧化钠,氢氧化钾,甲醇,50%三氟化硼甲醇溶液。

GCMS-QP2010S气相色谱-质谱(GC-MS)仪,GC-2010Plus气相色谱仪,日本岛津公司;ZYJ-9018榨油机,江门市贝尔斯顿电器有限公司;KH19A高速离心机,湖南凯达科学仪器有限公司;WG-20电热鼓风干燥箱,天津市泰斯特仪器有限公司;WD800CTL23-2H微波炉,佛山市顺德区格兰仕微波炉电器有限公司;50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头,美国Supelco公司;PK157330-U型手动SPME进样器,美国Agilent公司。

1.2 试验方法

1.2.1 山苍子果的微波预处理

参考Huang^[15]、Zhang等^[16]报道的微波预处理方法,并稍作修改。准确称取200g山苍子果于微波炉中,在480W功率下分别处理1、2、3、4、6、8、9、10min,冷却至室温后备用。

1.2.2 压榨山苍子油的制备

准确称取200g山苍子果,采用榨油机压榨制取原油,在6000r/min离心10min,取上层,即为压榨山苍子油,密封后置于4℃冷藏备用。

1.2.3 山苍子油脂肪酸组成的测定

参照GB 5009.168—2016对山苍子油脂肪酸组成进行测定。

1.2.4 山苍子油活性成分测定

1.2.4.1 总酚含量的测定

参考王璐^[17]的方法,以没食子酸为标准品,采用福林-酚试剂法测定样品总酚含量。

1.2.4.2 角鲨烯、生育酚和甾醇的测定

(1) 标准曲线绘制:分别精确称取 10 mg 角鲨烯、 α -生育酚和 β -谷甾醇标准品,加入无水乙醇溶解,使用 10 mL 棕色容量瓶定容,配制成 1.0 mg/mL 的混合对照标准储存液,再逐级稀释,配制成系列标准溶液,质量浓度范围在 0.002 ~ 1.0 mg/mL 之间。将系列标准溶液进行 GC-MS 分析,以标准品质量浓度(x)为横坐标,相应色谱峰面积(y)为纵坐标,绘制标准曲线,拟合分别得到角鲨烯、 α -生育酚和 β -谷甾醇的标准曲线方程: $y = 30\,000\,000x + 1\,000\,000$, $R^2 = 0.994$; $y = 20\,000\,000x - 38\,646$, $R^2 = 0.997$; $y = 20\,000\,000x - 84\,475$, $R^2 = 0.994$ 。

GC 条件:Inertcap 石英毛细管色谱柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m);升温程序为初始温度 80 $^{\circ}$ C,保持 2 min,以 10 $^{\circ}$ C/min 升温至 310 $^{\circ}$ C,保持 8.8 min;进样口温度 310 $^{\circ}$ C;载气为高纯 He (99.999%),流量 1.1 mL/min;分流比 20:1;进样量 5.0 μ L。

MS 条件:离子源温度 230 $^{\circ}$ C,接口温度 310 $^{\circ}$ C,质量扫描范围 45 ~ 500 u,溶剂延迟时间 2 min,电离方式为 EI,电子能量 70 eV。

(2) 样品处理及测定:参照 GB/T 5535.2—2008 提取样品中不皂化物。取 10 mg 不皂化物,加入二氯甲烷定容至 10 mL,取 1.5 mL 溶液过 0.45 μ m 有机微孔滤膜后,进行 GC-MS 分析。根据测得的峰面积,再利用上述标准曲线方程,计算样品中角鲨烯、 α -生育酚和 β -谷甾醇的含量。

1.2.5 山苍子油 DPPH 自由基清除率的测定

参照孔凡等^[18]的方法测定样品(质量浓度为 0.01 g/mL)的 DPPH 自由基清除率。

1.2.6 山苍子油中挥发性成分的测定

参照 Ren 等^[19]的方法并稍加改进。称取 1.0 g 山苍子油于 20 mL 顶空小瓶中,用聚四氟乙烯(PTFE)表面的硅树脂隔膜密封。待萃取头老化后,插入顶空瓶中,推出纤维头,吸附 30 min,取出萃取头并立即插入 GC-MS 仪进样口,解吸 5 min。

GC 条件:Inertcap 石英毛细管色谱柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m);分流比 100:1;升温程序为初始温度 40 $^{\circ}$ C,保持 5 min,以 4 $^{\circ}$ C/min 升至 150 $^{\circ}$ C,保持 1 min,以 8 $^{\circ}$ C/min 升至 250 $^{\circ}$ C,保持 6 min;进样口温度 250 $^{\circ}$ C;载气为 He,流量 6.0 mL/min。

MS 条件:全扫描模式,电子轰击电离源,电离能量 70 eV,扫描速率 0.2 Scan/s,扫描范围(m/z) 30 ~ 450,离子源温度 230 $^{\circ}$ C,传输线温度 250 $^{\circ}$ C,溶

剂延迟时间 2 min。

通过与 NIST14 质谱数据库比较,初步鉴定挥发性化合物,记录相似度大于 80% 的挥发性化合物,再结合 CAS 号、保留时间以及参考相应的文献进行人工分析,进一步确定挥发性化合物。采用峰面积归一化法定量。

1.2.7 数据统计与分析

试验重复 3 次,试验数据采用 Excel 2023 软件进行统计;采用 Origin 2021 软件和 SPSS 26.0 软件绘图和分析试验数据;通过单因素方差分析和 Duncan 多重比较检验判断样品之间是否具有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 微波预处理对山苍子油得率的影响

微波预处理对山苍子油得率的影响见图 1。

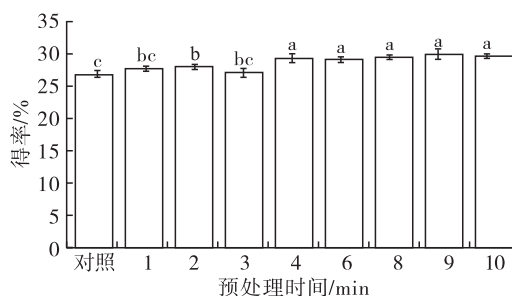


图 1 微波预处理对山苍子油得率的影响

Fig. 1 Effect of microwave pretreatment on the yield of *Litsea cubeba* oil

由图 1 可知:与对照组(未微波预处理)相比,微波预处理组山苍子油得率有不同程度的提高,这可能是由于微波预处理降低了油料的水分含量,机械压榨过程中其组织更易破裂,从而提高了油脂得率^[20];随着微波预处理时间的延长,山苍子油得率总体呈先增加后不变的趋势。

2.2 微波预处理对山苍子油脂肪酸组成的影响

不同微波预处理时间下压榨山苍子油的脂肪酸组成及含量见表 1。

由表 1 可知,山苍子油中脂肪酸组成以月桂酸(26.34% ~ 31.46%)、亚油酸(22.70% ~ 25.46%)、油酸(18.67% ~ 21.17%)和棕榈酸(15.87% ~ 16.55%)为主。山苍子油中饱和脂肪酸含量在 51.43% ~ 56.20% 之间,以月桂酸为主;山苍子油中不饱和脂肪酸含量在 43.80% ~ 48.57% 之间,以油酸和亚油酸为主。与对照组相比,微波预处理组山苍子油的饱和脂肪酸含量显著升高($p < 0.05$),不饱和脂肪酸含量除微波预处理 8 min 以外均显著降低($p < 0.05$)。Pop 等^[21]研究表明,经微

波预处理后芝麻油和大豆油不饱和脂肪酸含量降低,认为微波预处理加速了脂质的氧化分解,与本研究结果一致。

与对照组相比,微波预处理并未改变山苍子油的脂肪酸组成,这与 Zhou 等^[22]发现微波预处理对

核桃油脂肪酸组成影响不大的研究结果一致。但微波预处理使山苍子油的脂肪酸含量有不同程度的变化,如月桂酸和棕榈油酸含量升高,油酸和亚油酸含量降低。

表 1 不同微波预处理时间下压榨山苍子油脂肪酸组成及含量

Table 1 Fatty acid composition and content of *Litsea cubeba* oil under different microwave pretreatment time

脂肪酸	含量/%									
	对照	1 min	2 min	3 min	4 min	6 min	8 min	9 min	10 min	
癸酸	6.93 ± 0.50 ^a	6.56 ± 0.04 ^{ab}	6.56 ± 0.09 ^{ab}	6.65 ± 0.07 ^{ab}	6.52 ± 0.05 ^{ab}	6.53 ± 0.00 ^{ab}	5.82 ± 0.24 ^c	6.24 ± 0.07 ^{bc}	6.58 ± 0.04 ^{ab}	
月桂酸	26.34 ± 0.11 ^e	29.81 ± 0.05 ^c	28.95 ± 0.21 ^d	30.68 ± 0.11 ^b	31.46 ± 0.24 ^a	29.84 ± 0.01 ^c	28.06 ± 0.02 ^e	27.63 ± 0.28 ^f	27.97 ± 0.40 ^{ef}	
肉豆蔻酸	1.20 ± 0.10 ^b	1.34 ± 0.02 ^a	1.23 ± 0.05 ^{ab}	1.26 ± 0.08 ^{ab}	1.27 ± 0.03 ^{ab}	1.25 ± 0.01 ^{ab}	1.20 ± 0.03 ^b	1.15 ± 0.02 ^b	1.24 ± 0.01 ^{ab}	
棕榈酸	16.28 ± 0.02 ^{ab}	16.07 ± 0.08 ^{bc}	16.24 ± 0.12 ^b	16.26 ± 0.12 ^b	16.19 ± 0.07 ^b	15.87 ± 0.18 ^c	16.16 ± 0.01 ^{bc}	16.55 ± 0.19 ^a	16.35 ± 0.14 ^{ab}	
棕榈油酸	0.82 ± 0.19 ^b	1.15 ± 0.18 ^a	1.14 ± 0.03 ^a	1.28 ± 0.02 ^a	1.33 ± 0.05 ^a	1.30 ± 0.13 ^a	1.34 ± 0.10 ^a	1.33 ± 0.12 ^a	1.26 ± 0.11 ^a	
硬脂酸	0.68 ± 0.10 ^a	0.73 ± 0.03 ^a	0.74 ± 0.10 ^a	0.74 ± 0.07 ^a	0.77 ± 0.08 ^a	0.70 ± 0.04 ^a	0.75 ± 0.11 ^a	0.77 ± 0.01 ^a	0.74 ± 0.03 ^a	
油酸	21.17 ± 0.05 ^a	20.41 ± 0.25 ^b	20.34 ± 0.54 ^b	19.00 ± 0.25 ^{ef}	18.67 ± 0.26 ^f	19.42 ± 0.18 ^{de}	20.18 ± 0.01 ^{bc}	20.07 ± 0.33 ^{bc}	19.66 ± 0.03 ^{cd}	
亚油酸	25.46 ± 0.16 ^a	22.81 ± 0.04 ^{de}	23.63 ± 0.11 ^c	23.10 ± 0.36 ^d	22.70 ± 0.06 ^e	23.95 ± 0.18 ^c	25.15 ± 0.01 ^{ab}	25.00 ± 0.20 ^b	24.93 ± 0.07 ^b	
α-亚麻酸	1.12 ± 0.08 ^{bc}	1.13 ± 0.05 ^{bc}	1.17 ± 0.07 ^{bc}	1.05 ± 0.07 ^c	1.10 ± 0.05 ^{bc}	1.14 ± 0.09 ^{bc}	1.34 ± 0.01 ^a	1.26 ± 0.11 ^{ab}	1.28 ± 0.08 ^{ab}	
饱和脂肪酸	51.43 ± 0.21 ^b	54.51 ± 0.17 ^c	53.72 ± 0.47 ^d	55.58 ± 0.07 ^b	56.20 ± 0.41 ^a	54.19 ± 0.14 ^c	51.99 ± 0.1 ^e	52.35 ± 0.53 ^f	52.87 ± 0.28 ^e	
不饱和脂肪酸	48.57 ± 0.21 ^a	45.49 ± 0.17 ^c	46.28 ± 0.47 ^d	44.42 ± 0.07 ^f	43.80 ± 0.41 ^f	45.81 ± 0.14 ^{de}	48.01 ± 0.1 ^{ab}	47.65 ± 0.53 ^{bc}	47.13 ± 0.28 ^c	

注:同行上标字母不同表示差异显著($p < 0.05$)。下同

Note: Different letters in the same row indicate significant differences ($p < 0.05$). The same below

2.3 微波预处理对山苍子油活性成分的影响

2.3.1 对总酚含量的影响

微波预处理对山苍子油中总酚含量的影响见图 2。

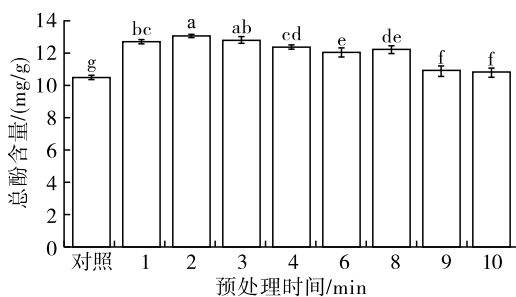


图 2 微波预处理对山苍子油中总酚含量的影响

Fig. 2 Effect of microwave pretreatment on total phenol content in *Litsea cubeba* oil

由图 2 可知:山苍子油的总酚含量在 10.48 ~ 13.06 mg/g 之间;与对照组相比,微波预处理组山苍子油的总酚含量都有所上升,上升幅度为 3.25% ~ 24.62%,其中微波预处理 2 min 时山苍子油的总酚含量最高,达 13.06 mg/g;随着微波预处理时间的延长,山苍子油的总酚含量呈先上升后下降的趋势,这与郭英等^[23]的研究结果一致。

2.3.2 对角鲨烯、α-生育酚和 β-谷甾醇含量的影响

微波预处理对山苍子油角鲨烯、α-生育酚和

β-谷甾醇含量的影响见表 2。

由表 2 可知:山苍子油中角鲨烯的含量在 1.00 ~ 38.83 mg/kg 之间;与对照组相比,除微波预处理 1 min 外,其他微波预处理组山苍子油的角鲨烯含量均显著增加,且随着微波预处理时间的延长,山苍子油中角鲨烯含量不断提高。Ye 等^[24]研究发现,水分含量 9% 的油茶籽经微波预处理后,压榨油茶籽油中的角鲨烯含量提高,与本研究结果相一致。

由表 2 可知:山苍子油中 α-生育酚的含量在 9.44 ~ 135.53 mg/kg 之间;与对照组相比,微波预处理组山苍子油的 α-生育酚含量均显著增加($p < 0.05$),且随着微波预处理时间的延长,山苍子油中 α-生育酚含量先升高后降低,这与黄颖等^[25]研究微波预处理芝麻籽对其油中生育酚含量影响的研究结果一致。分析原因可能是微波预处理破坏了山苍子果的细胞结构,使得生育酚的释放量增加;但随着微波预处理时间的延长,温度升高,导致生育酚发生了一定程度的氧化降解。

由表 2 可知:山苍子油中 β-谷甾醇的含量在 80.41 ~ 1 223.13 mg/kg 之间;与对照组相比,微波预处理组山苍子油的 β-谷甾醇含量均显著增加($p < 0.05$);随着微波预处理时间的延长,山苍子油

中 β -谷甾醇的含量呈先升高后降低的趋势,在微波预处理6 min时其含量达到最大,这与郭英等^[23]的研究结果一致。

表2 微波预处理对山苍子油角鲨烯、 α -生育酚和 β -谷甾醇含量的影响

Table 2 Effect of microwave pretreatment on the contents of squalene, α -tocopherol and β -sitosterol in *Litsea cubeba* oil

活性成分	含量/(mg/kg)									
	对照	1 min	2 min	3 min	4 min	6 min	8 min	9 min	10 min	
角鲨烯	1.00±0.06 ^h	1.18±0.12 ^{gh}	1.53±0.09 ^e	2.20±0.32 ^f	23.45±0.04 ^e	27.88±0.08 ^d	34.18±0.10 ^c	35.55±0.04 ^b	38.83±0.09 ^a	
α -生育酚	9.44±0.15 ⁱ	11.02±0.08 ^h	22.13±0.29 ^e	105.22±0.18 ^e	128.27±0.27 ^e	135.53±0.21 ^a	132.46±0.04 ^b	126.19±0.19 ^d	102.04±0.24 ^f	
β -谷甾醇	80.41±0.07 ⁱ	92.60±0.08 ^h	170.90±0.32 ^e	981.14±0.16 ^l	117.26±0.13 ^b	1223.13±0.14 ^a	967.52±0.25 ^d	930.53±0.27 ^e	803.81±0.10 ^f	

2.4 微波预处理对山苍子油 DPPH 自由基清除能力的影响

微波预处理对山苍子油 DPPH 自由基清除率的影响见图3。

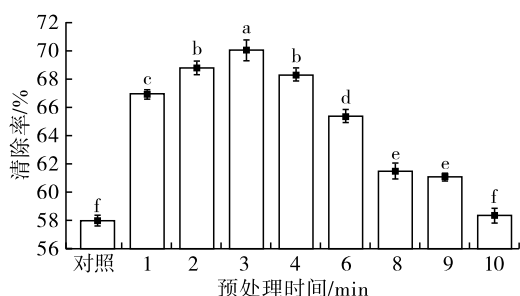


图3 微波预处理对山苍子油 DPPH 自由基清除率的影响

Fig.3 Effect of microwave pretreatment on DPPH radical scavenging rate of *Litsea cubeba* oil

由图3可知:山苍子油的 DPPH 自由基清除率在 58.01% ~ 70.09% 之间;与对照组相比,除微波预处理 10 min 外,其他微波预处理组山苍子油 DPPH 自由基清除率均显著提高($p < 0.05$);随着微波预处理时间的延长,山苍子油 DPPH 自由基清除率呈先升高后降低的趋势,微波预处理 3 min 时山苍子油 DPPH 自由基清除率最高。这与孔凡等^[18]发现在 550 W 微波功率下,随着微波预处理时间的延长,南瓜籽油的 DPPH 自由基清除能力呈先上升后下降的趋势相一致。

2.5 微波预处理对山苍子油挥发性风味成分的影响

微波预处理对山苍子油挥发性风味成分的影响见表3。

由表3可知,山苍子油中共鉴定出 23 种挥发性化合物,包括萜烯类 11 种(48.16% ~ 52.94%)、醛类 4 种(44.61% ~ 50.05%)、醇类 3 种(1.03% ~ 1.56%)、酮类 1 种(0.12% ~ 0.54%)、其他 4 种(0.20% ~ 0.53%)。

萜烯类物质主要由萜类代谢途径合成^[26-27],具有柑橘香、柠檬香、青香、树脂香、松木香。山苍子油中萜烯类物质种类最多且相对含量最高,主要以柠檬烯、月桂烯、 α -蒎烯、桉烯、 β -蒎烯为主,其中柠

檬烯含量最高。微波预处理组山苍子油的柠檬烯含量均比对照组高,因而微波预处理后山苍子油中柑橘柠檬香气增强;与对照组相比,微波预处理组山苍子油中 α -蒎烯、 β -蒎烯含量先降低后升高,即山苍子油的松节油味、松木香、树脂香先减弱后增强;微波预处理组山苍子油中月桂烯含量均比对照组低,说明微波预处理使山苍子油中清淡的香气、青草、柑橘香气减弱。

植物油中的醛类物质主要由不饱和脂肪酸在热预处理的过程中经过一系列氧化分解反应而产生^[28]。山苍子油中醛类物质相对含量较高,由香叶醛(柠檬醛 a)、橙花醛(柠檬醛 b)、香茅醛和 2,3-环氧柠檬醛 4 种物质组成,其中柠檬醛含量最高,其表现为浓郁的柠檬香味。与对照组相比,微波预处理组山苍子油中柠檬醛含量均下降,说明柠檬香味减弱;微波预处理 1 ~ 8 min 的山苍子油中香茅醛含量均比对照组低,说明香茅气味减弱。

山苍子油中醇类物质相对含量较低,不超过 2%,主要以芳樟醇为代表。芳樟醇被广泛用于香料中,具有花香、青香、木香和甜香。与对照组相比,微波预处理组山苍子油中芳樟醇含量在微波预处理 1 ~ 3 min 时均小于对照组,随后随着微波预处理时间的延长,芳樟醇含量出现少量的增加,且在微波预处理 9 min 时达到最高,微波预处理 10 min 时芳樟醇含量又降低,但微波预处理 4 ~ 10 min 的山苍子油中芳樟醇含量均高于对照组。

综上,与对照组相比,微波预处理组山苍子油中挥发性风味物质的相对含量虽然有所变化,但是挥发性风味物质的种类基本一致。Yin 等^[29]研究发现,在 900 W 微波预处理 3 min 以后,葵花籽油中才检测到具有芳香活性的杂环类化合物并呈指数增加,具有烘烤、坚果、甜味的香气;Zhang 等^[16]发现,在 800 W 微波预处理 5 min 之后,菜籽油中才能检测到杂环类化合物并以吡嗪类、吡啶类、噻吩类和噻唑类化合物居多。本研究经过 480 W 微波预处理 1 ~ 10 min 的山苍子油中未检测到杂环类化合物,可

能的原因:一是山苍子油中挥发性风味成分萜烯类和醛类物质的浓度太大,而顶空固相微萃取的探针容量有限,杂环类化合物相对含量过低,使其难以被检

测到;二是在此微波功率下不能赋予山苍子果足够的热量达到高温使其发生美拉德反应、Strecker 降解或焦糖化反应。

表 3 微波预处理对山苍子油挥发性风味成分的影响

Table 3 Effect of microwave pretreatment on volatile flavor substances in *Litsea cubeba* oil

成分	气味描述 ^[30-33]	相对含量/%								
		对照	1 min	2 min	3 min	4 min	6 min	8 min	9 min	10 min
萜烯类										
水芹烯	黑胡椒香、薄荷香	0.05 ± 0.02	0.05 ± 0.01	0.09 ± 0.06	0.02 ± 0.01	0.05 ± 0.06	0.06 ± 0.01	0.07 ± 0.07	0.11 ± 0.03	0.05 ± 0.00
α-蒎烯	松节油味	3.14 ± 0.10	2.65 ± 0.08	2.84 ± 0.08	3.08 ± 0.07	3.19 ± 0.23	3.51 ± 0.07	3.58 ± 0.04	3.47 ± 0.20	3.72 ± 0.13
蒎烯	樟香味	0.52 ± 0.06	0.42 ± 0.17	0.49 ± 0.04	0.49 ± 0.10	0.54 ± 0.04	0.52 ± 0.13	0.47 ± 0.17	0.49 ± 0.06	0.36 ± 0.11
桉烯	松节油味	3.42 ± 0.07	3.16 ± 0.01	3.23 ± 0.10	3.48 ± 0.14	3.39 ± 0.08	3.19 ± 0.08	3.39 ± 0.03	3.36 ± 0.28	2.91 ± 0.14
β-蒎烯	松木香、树脂香	2.25 ± 0.13	1.99 ± 0.13	2.05 ± 0.17	2.28 ± 0.23	2.39 ± 0.04	2.40 ± 0.38	2.30 ± 0.06	2.42 ± 0.20	2.56 ± 0.17
月桂烯	清淡的香脂气、青草、柑橘香气	4.64 ± 0.11	4.35 ± 0.01	4.28 ± 0.04	4.26 ± 0.18	4.27 ± 0.23	4.46 ± 0.16	4.39 ± 0.11	4.18 ± 0.07	4.54 ± 0.06
柠檬烯	柑橘柠檬香气	33.21 ± 0.06	35.37 ± 0.17	36.48 ± 0.04	37.37 ± 0.20	37.74 ± 0.18	35.96 ± 0.03	36.88 ± 0.18	37.95 ± 0.18	37.82 ± 0.07
萜品油烯	松木树脂、较温和的木香	0.07 ± 0.01	0.04 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.04 ± 0.01	0.01 ± 0.00	0.08 ± 0.07	0.04 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.05 ± 0.04
(-)-α-蒎烯	香料	0.16 ± 0.04	0.23 ± 0.03	0.17 ± 0.08	0.15 ± 0.04	0.14 ± 0.03	0.17 ± 0.11	0.14 ± 0.13	0.09 ± 0.01	0.16 ± 0.14
反式石竹烯	木香、似黄瓜味的青香	0.70 ± 0.14	0.62 ± 0.23	0.65 ± 0.04	0.63 ± 0.21	0.54 ± 0.06	0.65 ± 0.18	0.76 ± 0.07	0.63 ± 0.10	0.69 ± 0.10
α-石竹烯	木香、似黄瓜味的青香	-	-	-	-	-	0.01 ± 0.00	0.05 ± 0.04	0.06 ± 0.03	0.08 ± 0.07
总计		48.16 ± 0.30	48.88 ± 0.27	50.31 ± 0.23	51.80 ± 0.04	52.26 ± 0.33	51.01 ± 0.18	52.07 ± 0.38	52.83 ± 0.21	52.94 ± 0.10
醛类										
香茅醛	强烈的香茅气味	0.34 ± 0.06	0.33 ± 0.04	0.14 ± 0.13	0.24 ± 0.04	0.23 ± 0.14	0.28 ± 0.06	0.23 ± 0.18	0.36 ± 0.11	0.34 ± 0.03
2,3-环氧柠檬醛		0.03 ± 0.03	0.11 ± 0.11	0.29 ± 0.10	0.22 ± 0.08	0.01 ± 0.01	0.03 ± 0.03	0.06 ± 0.04	0.37 ± 0.03	0.37 ± 0.06
橙花醛 (柠檬醛 b)	浓郁柠檬香味	23.95 ± 0.24	23.19 ± 0.25	22.46 ± 0.17	22.33 ± 0.13	22.85 ± 0.17	23.25 ± 0.10	21.54 ± 0.21	20.12 ± 0.23	22.59 ± 0.11
香叶醛 (柠檬醛 a)	浓郁柠檬香味	25.73 ± 0.35	25.56 ± 0.11	25.43 ± 0.21	23.68 ± 0.04	22.81 ± 0.07	23.24 ± 0.16	24.07 ± 0.18	23.76 ± 0.07	21.74 ± 0.08
总计		50.05 ± 0.20	49.19 ± 0.21	48.32 ± 0.16	46.47 ± 0.21	45.90 ± 0.03	46.80 ± 0.34	45.90 ± 0.25	44.61 ± 0.30	45.04 ± 0.11
醇类										
β-松油醇		0.07 ± 0.03	0.07 ± 0.00	0.08 ± 0.06	0.07 ± 0.03	0.06 ± 0.08	0.08 ± 0.01	0.06 ± 0.06	0.09 ± 0.06	0.05 ± 0.01
芳樟醇	花香、青香、木香、甜香	1.13 ± 0.04	1.02 ± 0.10	0.84 ± 0.06	1.09 ± 0.00	1.32 ± 0.13	1.34 ± 0.11	1.35 ± 0.17	1.37 ± 0.08	1.18 ± 0.14
α-松油醇	水果味、薄荷味	0.11 ± 0.01	0.15 ± 0.03	0.11 ± 0.03	0.12 ± 0.04	0.12 ± 0.17	0.12 ± 0.00	0.10 ± 0.07	0.10 ± 0.06	0.10 ± 0.03
总计		1.31 ± 0.03	1.24 ± 0.07	1.03 ± 0.14	1.28 ± 0.01	1.50 ± 0.13	1.54 ± 0.13	1.51 ± 0.04	1.56 ± 0.20	1.33 ± 0.13
酮类										
甲基庚烯酮	油脂气味、木青香	0.15 ± 0.04	0.27 ± 0.01	0.12 ± 0.04	0.16 ± 0.13	0.14 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.29 ± 0.03	0.54 ± 0.08	0.29 ± 0.06
其他										
柠檬烯氧化物		0.09 ± 0.00	0.10 ± 0.01	0.09 ± 0.07	0.10 ± 0.06	0.09 ± 0.07	0.09 ± 0.01	0.07 ± 0.03	0.07 ± 0.04	0.05 ± 0.03
柠檬烯环氧化物		0.06 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.06 ± 0.04	0.04 ± 0.01	0.07 ± 0.07	0.04 ± 0.04	0.06 ± 0.03	0.04 ± 0.01
α-环氧蒎烷		0.06 ± 0.04	0.09 ± 0.04	0.02 ± 0.00	0.04 ± 0.03	0.02 ± 0.03	0.14 ± 0.08	0.05 ± 0.01	0.12 ± 0.07	0.12 ± 0.08
4,5-环氧蒎烷 - (1S,3R,4R,5S,6R) - (-) - (8CI)		0.12 ± 0.08	0.16 ± 0.07	0.06 ± 0.04	0.09 ± 0.08	0.05 ± 0.00	0.23 ± 0.07	0.07 ± 0.03	0.21 ± 0.10	0.19 ± 0.10
总计		0.33 ± 0.06	0.42 ± 0.11	0.22 ± 0.13	0.29 ± 0.04	0.20 ± 0.11	0.53 ± 0.24	0.23 ± 0.11	0.46 ± 0.04	0.40 ± 0.14

注: - 表示未检出

Note: " - " Not detected

3 结论

本文以山苍子果为原料,研究了微波预处理时间对山苍子油得率、脂肪酸组成、活性成分和挥发性风味成分的影响。结果发现:微波预处理能有效提高山苍子油得率,对山苍子油的脂肪酸组成没有影响,但会稍微降低其不饱和脂肪酸含量,增加饱和脂肪酸含量;同时微波预处理还能提高山苍子油的总酚、角鲨烯、 α -生育酚和 β -谷甾醇含量,增强山苍子油对 DPPH 自由基的清除能力。山苍子油中共鉴定出 23 种挥发性化合物,由萜烯类、醛类、醇类、酮类物质等组成,其中萜烯类物质和醛类物质相对含量高,为主要的呈香物质;微波预处理组山苍子油的挥发性化合物的含量与对照组存在一定的差异,随着微波预处理时间的延长,山苍子油整体风味由浓郁的柠檬香转变为柑橘柠檬香。综上,适度微波预处理可提高山苍子油的品质。

参考文献:

- [1] 张爱华, 赖鹏英, 何怡丹, 等. 山苍子果实亚临界低温制油的研究[J]. 湖南林业科技, 2020, 47(1): 54-58.
- [2] 刘汝宽, 唐松, 肖志红, 等. 制油工艺对山苍子核仁油组分含量的影响[J]. 湖南林业科技, 2017, 44(4): 68-71.
- [3] 朱辉, 孙家英, 彭林彩, 等. 响应面法优化微波辅助提取山苍子核仁油的研究[J]. 广西植物, 2017, 37(8): 1074-1082.
- [4] XIA S, LIN H, ZHU P, et al. Inhibitory effects of *Litsea cubeba* oil and its active components on *Aspergillus flavus* [J/OL]. J Food Quality, 2020, 2020: 8843251 [2024-04-18]. <https://doi.org/10.115/2020/8843251>.
- [5] 冷家归, 李靖锐. 中国出口精油之冠: 山苍子[J]. 生命世界, 2021(9): 30-31.
- [6] LI M, ZHOU C, WANG B, et al. Research progress and application of ultrasonic - and microwave - assisted food processing technology[J]. Compr Rev Food Sci Food Saf, 2023, 22(5): 3707-3731.
- [7] 赵宇航, 尹文婷, 汪学德, 等. 微波预处理对芝麻油风味、营养和安全品质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(9): 47-57.
- [8] 杨芙蓉, 王进英, 雷风, 等. 烘烤和微波预处理对植物油品质特性影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(10): 121-129.
- [9] HU H, LIU H, SHI A, et al. The effect of microwave pretreatment on micronutrient contents, oxidative stability and flavor quality of peanut oil[J/OL]. Molecules, 2018, 24(1): E62[2024-07-22]. <https://doi.org/10.3390/molecules24010062>.
- [10] ZHANG L, CHEN J, GUO X, et al. Microwave pretreatment effects on the aroma precursors, sensory characteristics and flavor profiles of fragrant rapeseed oil [J/OL]. Food Chem X, 2024, 22: 101381[2024-07-22]. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101381>.
- [11] 李娜, 钱风华, 邱斌, 等. 微波预处理对奇亚籽出油率及油脂品质的影响[J]. 中国油脂, 2020, 45(12): 1-5.
- [12] 罗凡, 许晓君, 杜孟浩, 等. 热预处理条件对山核桃油品质的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(11): 106-114.
- [13] 王龙祥, 罗凡, 许晓君, 等. 微波预处理对油茶籽毛油抗氧化性的影响[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(10): 179-186.
- [14] 张欢欢, 曾志红, 高飞虎, 等. 预处理技术对冷榨双低菜籽油品质及挥发性风味成分的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(18): 233-238.
- [15] HUANG J, CHEN C, SONG Z, et al. Effect of microwave pretreatment of perilla seeds on minor bioactive components content and oxidative stability of oil[J/OL]. Food Chem, 2022, 388: 133010 [2024-04-18]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133010>.
- [16] ZHANG W, FU Q, JIANG H, et al. Insight into the microwave pretreatment of rapeseeds on the flavor characteristics of rapeseed oils [J/OL]. LWT - Food Sci Technol, 2023, 184: 115045[2024-04-18]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115045>.
- [17] 王璐. 南瓜籽不同干燥方式及工艺对南瓜籽油功能性品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [18] 孔凡, 杨晨, 雷芬芬, 等. 微波预处理对压榨南瓜籽油品质的影响[J]. 中国油脂, 2021, 46(11): 1-6.
- [19] REN X, WANG L, XU B, et al. Influence of microwave pretreatment on the flavor attributes and oxidative stability of cold - pressed rapeseed oil [J]. Dry Technol, 2019, 37(3): 397-408.
- [20] UQUICHE E, JERÉZ M, ORTÍZ J. Effect of pretreatment with microwaves on mechanical extraction yield and quality of vegetable oil from Chilean hazelnuts (*Gevuina avellana* Mol)[J]. Innov Food Sci Emerg, 2008, 9(4): 495-500.
- [21] POP F, SEMENIUC C A, DAN M, et al. Impact of different processing methods and thermal behaviour on quality characteristics of soybean and sesame oils[J]. J Therm Anal Calorim, 2024, 149(4): 1403-1417.
- [22] ZHOU Y, FAN W, CHU F, et al. Improvement of the flavor and oxidative stability of walnut oil by microwave pretreatment[J]. J Am Oil Chem Soc, 2016, 93(11): 1563-1572.

- Bioresour Technol, 2008, 99(9): 3885 – 3889.
- [18] ZHAO Z M, YU W, HUANG C, et al. Steam explosion pretreatment enhancing enzymatic digestibility of overground tubers of tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) [J/OL]. Front Nutr, 2022, 9: 1093277 [2023 – 09 – 11]. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1093277>.
- [19] 张郡月, 韩祥, 杨帆, 等. 不同种源防风种子的萌发特性与鉴别[J]. 种子, 2023, 42(6): 26 – 33, 48.
- [20] LIU Z H, CHEN H Z. Xylose production from corn stover biomass by steam explosion combined with enzymatic digestibility[J]. Bioresour Technol, 2015, 193: 345 – 356.
- [21] YU G, GUO T, HUANG Q, et al. Preparation of high – quality concentrated fragrance flaxseed oil by steam explosion pretreatment technology [J]. Food Sci Nutr, 2020, 8(4): 2112 – 2123.
- [22] CHEN H Z. Gas explosion technology and biomass refinery[M]. Dordrecht: Springer, 2015.
- [23] WOOTEN J B, SEEMAN J I, HAJALIGOL M R. Observation and characterization of cellulose pyrolysis intermediates by ¹³C PMAS NMR. A new mechanistic model[J]. Energy Fuels, 2004, 18(1): 1 – 15.
- [24] ALVIRA P, TOMÁS – PEJÓ E, BALLESTEROS M, et al. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review [J]. Bioresour Technol, 2010, 101(13): 4851 – 4861.
- [25] 颜蕾, 李彩群, 谢君, 等. 酸 – 碱两段组合预处理对杨木发酵的影响[J]. 农业工程学报, 2023, 39(24): 254 – 263.
- [26] 董孝通, 王亚娟, 吴祖芳, 等. 乙醇再生微晶纤维素的分级及其结构表征[J]. 精细化工, 2023, 40(2): 343 – 348.
- [27] 冯成启. 利用对甲苯磺酸选择性提取蔗渣半纤维素和木质素的机制研究[D]. 南宁: 广西大学, 2022.
- [28] 陈慕华, 嵇震, 王芳, 等. 纤维素基共聚型聚羧酸减水剂的合成及其性能[J/OL]. 化工进展: 1 – 9 [2024 – 05 – 18]. <https://doi.org/10.16085/j.issn.1000-6613.2024-0139>.
- [29] 李冠华, 陈洪章. 汽爆秸秆漆酶协同作用提取木质素[J]. 生物工程学报, 2014, 30(6): 911 – 919.
- [30] 冉福, 雷赵民, 焦婷, 等. 汽爆处理对玉米 – 小麦型混合秸秆营养品质的影响[J]. 草业科学, 2019, 36(3): 878 – 887.
- [31] 李光磊, 张国丛, 刘本国, 等. 蒸汽爆破处理对籼米淀粉分子结构的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(7): 136 – 141.
- [32] 王丹凤, 祝梓淳, 高珊, 等. 蒸汽爆破对麦麸功能特性及美拉德反应程度的影响[J]. 中国食物与营养, 2023, 29(9): 16 – 21.
- [33] NI S, ZHAO W, ZHANG Y, et al. Efficient and eco – friendly extraction of corn germ oil using aqueous ethanol solution assisted by steam explosion [J]. J Food Sci Technol, 2016, 53(4): 2108 – 2116.
- [34] ZHANG S, PAN Y G, ZHENG L, et al. Application of steam explosion in oil extraction of camellia seed (*Camellia oleifera* Abel.) and evaluation of its physicochemical properties, fatty acid, and antioxidant activities[J]. Food Sci Nutr, 2019, 7(3): 1004 – 1016.
-
- (上接第13页)
- [23] 郭英, 赵荣敏. 不同微波预处理对压榨元宝枫籽油营养品质及抗氧化活性的影响[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(12): 139 – 145.
- [24] YE M, ZHOU H, HAO J, et al. Microwave pretreatment on microstructure, characteristic compounds and oxidative stability of camellia seeds[J/OL]. Ind Crop Prod, 2021, 161: 113193 [2024 – 04 – 18]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113193>.
- [25] 黄颖, 郭萍梅, 郑畅, 等. 微波预处理对芝麻油营养品质及抗氧化能力的影响[J]. 中国油脂, 2019, 44(2): 1 – 4.
- [26] YI X K, LIU G F, RANA M M, et al. Volatile profiling of two pear genotypes with different potential for white pear aroma improvement[J]. Sci Hort, 2016, 209: 221 – 228.
- [27] JIANG H, WANG X. Biosynthesis of monoterpenoid and sesquiterpenoid as natural flavors and fragrances[J/OL]. Biotechnol Adv, 2023, 65: 108151 [2024 – 04 – 18]. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2023.108151>.
- [28] ZHANG W, CAO X, LIU S Q. Aroma modulation of vegetable oils: A review [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2020, 60(9): 1538 – 1551.
- [29] YIN W, SHI R, LI K, et al. Effect of microwave pretreatment of sunflower kernels on the aroma – active composition, sensory quality, lipid oxidation, tocopherols, heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons of sunflower oil[J/OL]. LWT – Food Sci Technol, 2022, 170: 114077 [2024 – 04 – 18]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114077>.
- [30] 李丽, 蒋景龙, 胡佳乐, 等. HS – SPME – GC – MS 与 ROAV 相结合的 4 种柑橘果皮精油关键香气物质分析[J]. 现代食品科技, 2024, 40(5): 221 – 230.
- [31] 高颖, 李雪梅. 6 个不同产地小茴香精油香气成分及感官分析研究[J]. 中国调味品, 2024, 49(3): 157 – 160.
- [32] 高露, 赵镭, 史波林, 等. 气相色谱 – 质谱联用结合气味活度值分析红花椒油的关键香气物质特征[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(22): 295 – 301.
- [33] 肖作兵, 李静, 牛云蔚, 等. GC – O/AEDA 法结合 OAV 及香气重组试验鉴定玫瑰精油中特征香气化合物[J]. 中国食品学报, 2018, 18(4): 319 – 324.