

# 预处理技术对压榨山茶油品质及挥发性风味成分的影响

奉美桃,刘千千,刘智辉,夏楠,肖新生,蒋黎艳

(湖南科技学院 化学与生物工程学院,湖南 永州 425199)

**摘要:**为了对油茶籽高值化预处理技术的发展和附加值山茶油产品的开发提供参考,以油茶籽为实验材料,未经任何预处理的油茶籽作为对照组,直接进行压榨制油,研究微波(800 W,4 min)、烘烤(140 °C,30 min)、焙炒(120 °C,1 h)和红外(150 °C,55 min)预处理技术对油茶籽出油率,压榨山茶油酸值、过氧化值、脂肪酸组成及含量、总甾醇含量及挥发性风味成分的影响。结果表明:与对照组相比,微波、烘烤、焙炒和红外预处理使油茶籽的出油率分别提高了5.92、3.52、2.93、3.86百分点;不同预处理组山茶油的酸值(KOH)在0.20~2.00 mg/g之间,过氧化值在0.98~2.07 mmol/kg之间,均在山茶油国家标准范围内;4种预处理技术对山茶油的脂肪酸组成无显著影响;4种预处理技术在一定程度上降低了山茶油中总甾醇含量,但与对照组相比差异微小;5组山茶油中共检测出34种挥发性风味成分,其中醛类化合物含量均最高;5组山茶油挥发性成分的种类和含量差别较大,预处理技术可丰富山茶油特征风味物质种类,使山茶油整体风味由清淡的油脂香转变为浓烈的油脂香和坚果香。综上,4种预处理技术在不影响压榨山茶油品质的基础上,可提高出油率和山茶油整体风味,从省时、高效率角度考虑,微波为最佳预处理技术。

**关键词:**微波预处理;烘烤预处理;焙炒预处理;红外预处理;压榨山茶油;品质;挥发性风味成分

中图分类号:TS224.2;TS225.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)09-0015-09

## Effect of pretreatment techniques on the quality and volatile flavor components of pressed oil – tea camellia seed oil

FENG Meitao, LIU Qianqian, LIU Zhihui, XIA Nan,  
XIAO Xinsheng, JIANG Liyan

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

**Abstract:** In order to provide a reference for the development of high-value pretreatment technology and the development of high value-added oil-tea camellia seed oil products, the oil-tea camellia seeds were pressed directly for oil extraction using without any pretreatment as the control group, and the effects of microwave (800 W, 4 min), roasting (140 °C, 30 min), frying (120 °C, 1 h) and infrared (150 °C, 55 min) pretreatment techniques of oilseeds on the oil yield of oil-tea camellia seeds, acid value, peroxide value, fatty acid composition and content, total sterol content, and volatile flavor components of the pressed oil-tea camellia seed oil were investigated. The results showed that compared with the

control group, the oil yield of oil-tea camellia seeds increased by 5.92, 3.52, 2.93 and 3.86 percentage points by microwave, roasting, frying and infrared pretreatments, respectively. The acid values of oil-tea camellia seed oil with different pretreatment techniques ranged from 0.20 mgKOH/g to 2.00 mgKOH/g, and the peroxide values

收稿日期:2022-06-09;修回日期:2023-06-29

基金项目:湖南省自然科学基金面上项目(2021JJ30289);  
湖南科技学院2021年度科研项目(21XKY045)

作者简介:奉美桃(2001),女,在读本科,研究方向为食品化学(E-mail)3056624913@qq.com。

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

ranged from 0.98 mmol/kg to 2.07 mmol/kg, which were within the range of the national standard for oil - tea camellia seed oil. The fatty acid composition of oil - tea camellia seed oil was not significantly affected by the four pretreatment techniques. The four pretreatment techniques reduced the total sterol content of oil - tea camellia seed oil to some extent, but the difference was minimal compared with the control group. A total of 34 volatile flavor components were detected in the five groups of oil - tea camellia seed oils, of which the aldehydes content was the highest. The types and contents of volatile flavor components in the five groups of oil - tea camellia seed oils varied greatly, and the pretreatment techniques could enrich the characteristic flavor substances and change the overall flavor of oil - tea camellia seed oil from a light oily aroma to a strong oily and nutty aroma. In summary, the four pretreatment techniques can improve the oil yield and the overall flavor of oil - tea camellia seed oil without affecting the quality of the pressed oil - tea camellia seed oil, and microwave is the best pretreatment technique in terms of time saving and high efficiency.

**Key words:** microwave pretreatment; roasting pretreatment; frying pretreatment; infrared pretreatment; pressed oil - tea camellia seed oil; quality; volatile flavor component

山茶油,又名油茶籽油、山茶籽油,由山茶科植物的种子提取而成<sup>[1]</sup>,是我国特有的木本植物油。山茶油中不饱和脂肪酸含量高达80%,含有多种活性物质,如黄酮、植物甾醇、多酚、山茶皂苷、维生素E及角鲨烯等<sup>[2]</sup>,具有延缓衰老、抗癌、抗炎等功效<sup>[3]</sup>。另外,山茶油因其独特的风味成分,如壬醛、辛醛等,在烹饪时会使菜肴更加美味<sup>[4]</sup>。

微波、烘烤、焙炒和红外预处理是简便、高效、快捷的油料预处理技术,其对植物油的品质和风味均有一定的影响。从珊等<sup>[5]</sup>研究了微波预处理对芝麻油特征风味的影响,结果发现,微波预处理可使吡嗪类、酚类、呋喃类等特征风味物质的含量增多。梅小弟等<sup>[6]</sup>研究发现,经过高温烘烤预处理后,腊菜籽油的香味成分由以硫苷降解产物为主转变为以杂环类物质为主,感官品质得到了提高。赵赛茹等<sup>[7]</sup>研究了焙炒预处理对芝麻油风味的影响,结果发现,随着焙炒时间的延长,吡嗪类、吡咯类、吡啶和嘧啶类、含硫类、呋喃类、酚类物质的相对含量逐渐增多,醛类、醇类、烃类和环氧烃类等物质的相对含量逐渐减少,说明焙炒预处理对油脂的风味具有重要影响。于杰等<sup>[8]</sup>研究发现,经红外焙炒处理制得的菜籽油较传统炒籽处理制得的菜籽油风味有显著改善,油脂味和辛辣刺激味较后者更轻,而烤香味相对更浓,同时多环芳烃种类和含量也较少。因此,为改善山茶油的品质,赋予山茶油更独特的风味,选择适宜的预处理技术十分必要。

目前,对山茶油的研究主要集中在油脂提取工艺优化以及预处理技术对油脂品质影响方面,而不同预处理技术对山茶油挥发性风味成分的影响研究较少。因此,本文以油茶籽为研究对象,通过研究

适宜的预处理技术来提升山茶油品质并获得浓郁的山茶油,以期油茶籽高值化预处理技术的发展和高附加值山茶油产品的开发提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

油茶籽:选择颗粒饱满,大小均匀,无病虫害,新鲜健康,表面无腐败、无霉菌、无烂壳的当年产油料。

无水乙醇、石油醚、碘化钾、无水乙醚、浓硫酸、盐酸、浓磷酸、氢氧化钠、氯化钠、氢氧化钾、硫代硫酸钠、抗坏血酸、可溶性淀粉、酚酞、异丙醇、冰乙酸、三氯甲烷、氯化碘、50%三氟化硼甲醇溶液、无水硫酸钠、三氯化铁,均为分析级;正庚烷、甲醇,均为色谱级;豆甾醇标准品(纯度 $\geq 95\%$ )。

#### 1.1.2 仪器与设备

JA3003 电子天平,上海衡平仪器仪表厂;K10FK81 微波炉,浙江苏泊尔股份有限公司;电热烤箱,上海姚氏仪器设备厂;LG10-2.4A 电磁炉,美的电磁炉厂家;ET16KP01 炒锅,浙江苏泊尔股份有限公司;YXD-90C 红外电烤箱,广州市赛思达机械设备公司;ZYJ-9018 榨油机,江门市贝尔斯顿电器有限公司;UV2800 紫外可见分光光度计,上海美谱达仪器有限公司;GCMS-QP2010S 气相色谱-质谱仪,日本岛津公司;PK157330-U 型手动 SPME 进样器,美国 Agilent 公司;50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS 萃取头,美国 Supelco 公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 油茶籽预处理

微波预处理:参照文献[9],准确称取 200 g 切

碎的油茶籽于不锈钢方盘中,使用220 V、50 Hz微波炉在800 W功率下微波4 min,待样品冷却至室温备用。

烘烤预处理:参照文献[10],准确称取200 g切碎的油茶籽于烤盘中,使用电热烤箱在140℃下烘烤30 min,待样品冷却至室温备用。

焙炒预处理:参照文献[11],准确称取200 g切碎的油茶籽于厚底炒锅中,使用电磁炉设置温度为120℃进行加热焙炒1 h,待样品冷却至室温备用。

红外预处理:参照文献[12],准确称取200 g切碎的油茶籽于烤盘中,使用红外电烤箱在150℃下红外辐射55 min,待样品冷却至室温备用。

### 1.2.2 山茶油的制备

准确称取200 g切碎的油茶籽于榨油机中压榨,所得原油过滤后,得到山茶油,密封保存于4℃冰箱中(在2周内测定完所有指标)。

### 1.2.3 山茶油品质指标的测定

酸值的测定,参照GB 5009.229—2016;过氧化值的测定,参照GB 5009.227—2016;脂肪酸组成的测定,参照GB 5009.168—2016。

总甾醇含量的测定,参照曹子伦等<sup>[13]</sup>的方法并略作改动。样品处理:取2 g山茶油于100 mL圆底烧瓶中,加入5 mL质量浓度为0.1 g/mL的V<sub>C</sub>溶液,再加入20 mL浓度为1 mol/L的氢氧化钾乙醇溶液,在90℃下油浴回流30 min,冷却后转移到分液漏斗中,加入100 mL蒸馏水,用100 mL乙醚洗3次,放出下层后,再用水洗至乙醚层为中性。取乙醚层在35℃下旋蒸出乙醚,用无水乙醇定容至25 mL,得不皂化物样品溶液。标准曲线绘制:以豆甾醇为标准品绘制标准曲线。精确称取0.1 g豆甾醇标准品,用无水乙醇定容至100 mL,配制成标准母溶液,再分别配制成质量浓度为0.00、0.05、0.10、0.15、0.20、0.25 mg/mL的标准溶液。取2 mL标准溶液于10 mL试管中,先加入2 mL无水乙醇,再加入2 mL磷硫铁显色剂,室温下避光显色15 min,用紫外可见分光光度计在442 nm波长处测定其吸光度,以豆甾醇质量浓度( $x$ )为横坐标,吸光度( $y$ )为纵坐标绘制标准曲线,得到标准曲线方程: $y = 0.8349x + 0.0025$  ( $R^2 = 0.9994$ )。样品测定:取稀释100倍后的不皂化物样品溶液2 mL于10 mL试管中,先加入2 mL无水乙醇,再加入2 mL磷硫铁显色剂,室温下避光显色15 min,用紫外可见分光光度计在442 nm波长处测定其吸光度,再根据标准曲线方程计算山茶油中总甾醇含量。

### 1.2.4 山茶油挥发性风味成分的测定及分析

#### 1.2.4.1 挥发性风味成分测定

准确称取6.00 g山茶油于20 mL顶空瓶中,使用聚四氟乙烯隔膜将瓶口密封,涡旋混合仪混匀后于60℃的水浴中平衡20 min,然后将老化后的萃取头插入瓶中进行吸附,保持20 min后,立即将其转移到GC进样口250℃下解吸5 min,进行GC-MS分析。

GC条件:HP-5MS石英毛细管色谱柱(30 m × 0.25 mm, 0.25 μm);升温程序为起始柱温40℃,保持4 min,以5℃/min升至110℃,然后以4℃/min升至150℃,最后以10℃/min升至220℃,保持5 min;载气为高纯氦气(纯度≥99.999%);流速5 mL/min;进样口温度250℃;不分流进样。MS条件:电子轰击离子源(EI);电子能量70 eV;四极杆温度150℃,离子源温度230℃;传输线温度250℃;溶剂延迟时间3 min;全扫描模式,范围( $m/z$ ) 30~500。

使用系统自带软件(GC-MS solution)处理所得数据后,对山茶油样品采集到的数据在NIST14标准普库中检索,记录相似度大于80%的挥发性物质,并根据烷烃标准品(C7~C40)提供的保留时间计算保留指数,对鉴定的风味成分进行分析,通过各物质峰面积(面积归一化法)估算各物质相对含量。

#### 1.2.4.2 特征风味成分的确定

采用相对气味活度值(Relative odor activity value, ROAV)法<sup>[14]</sup>来衡量挥发性成分对风味的贡献,其中:ROAV≥1为特征风味成分,对样品总体风味起关键性作用;0.1≤ROAV<1为重要风味成分,对样品总体风味具有重要的修饰作用;ROAV<0.1为潜在风味成分。各挥发性风味成分ROAV按公式(1)计算。

$$V_{\text{ROAV}} = \frac{C_i}{C_{\text{stan}}} \times \frac{T_{\text{stan}}}{T_i} \times 100 \quad (1)$$

式中: $V_{\text{ROAV}}$ 为第*i*个挥发性组分的ROAV; $C_i$ 为第*i*个挥发性组分的相对含量; $T_i$ 为第*i*个挥发性组分的气味阈值; $C_{\text{stan}}$ 和 $T_{\text{stan}}$ 分别为对样品总体风味贡献最大组分的相对含量和气味阈值。

采用主成分分析,评价各挥发性风味成分对山茶油风味贡献的大小,并明确其特征风味成分。

#### 1.2.5 山茶油整体香气评价

将5.0 g山茶油倒入20 mL的玻璃小瓶中,选择10名经过专业培训的评估员(5名男性,5名女性,年龄18~25岁),在适宜环境和恒温(25℃)的实验室中对山茶油的感官进行评价。评价是基于油

脂香、烘烤香、花香、水果香和坚果香的气味描述进行的(具体见表1),分值范围从0(不可感知)到10(强烈可感知),最后取这10个评估员的感官得分的平均值。

表1 特征香气气味描述

特征香气	描述
油脂香	油的气味,带有油茶树及微弱油茶花的香气
烘烤香	烤面包时散发的香气,略微扑鼻
花香	甜的,芳香,类似于风信子的香气
水果香	橙子香气,混合果香
坚果香	杏仁、核桃的香气,略微带有油茶籽仁的气味

### 1.2.6 数据分析

采用 Origin 2019 软件进行挥发性风味测定实验结果数据处理和 ROAV 计算,采用 SPSS 19.0 软件进行特征风味成分的主成分分析及方差分析,采用 Origin 2019 软件对主成分图谱进行绘制。

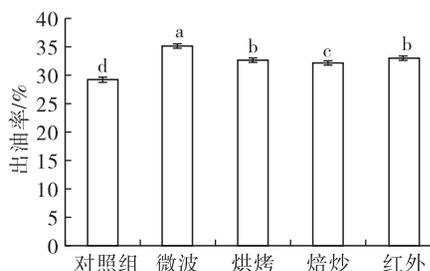
## 2 结果与讨论

### 2.1 预处理技术对油茶籽出油率的影响

预处理技术对油茶籽出油率的影响如图1所示。

从图1可以看出,对照组和微波、烘烤、焙炒、红外预处理油茶籽的出油率分别为29.21%、35.13%、

32.73%、32.14%、33.07%。与对照组相比,微波、烘烤、焙炒和红外预处理均可显著提高油茶籽出油率( $p < 0.05$ ),分别提高了5.92、3.52、2.93、3.86个百分点,其中以微波预处理组的出油率最高,原因可能是微波预处理使油茶籽的含水率降低,完全破坏细胞壁的结构和细胞内的脂质体,从而促进了油脂的释放<sup>[15]</sup>。这与罗凡等<sup>[16]</sup>研究结论即在含油率增加的效率方面微波略高于红外一致。



注:对照组为未经过预处理;不同字母表示有显著差异( $p < 0.05$ )。下同

图1 预处理技术对油茶籽出油率的影响

### 2.2 预处理技术对山茶油品质的影响

#### 2.2.1 对酸值、过氧化值的影响

预处理技术对山茶油酸值、过氧化值的影响如表2所示。

表2 预处理技术对山茶油酸值、过氧化值的影响

理化指标	对照组	微波	烘烤	焙炒	红外	一级山茶油
酸值(KOH)/(mg/g)	0.20 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.29 ± 0.02 <sup>d</sup>	0.50 ± 0.01 <sup>e</sup>	2.00 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.50 ± 0.02 <sup>b</sup>	≤2.0
过氧化值/(mmol/kg)	0.98 ± 0.02 <sup>d</sup>	1.57 ± 0.01 <sup>b</sup>	2.07 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.59 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.04 ± 0.03 <sup>e</sup>	≤6.0

注:一级山茶油的指标参照 GB/T 11765—2018;同行不同字母表示差异显著( $p < 0.05$ )

根据 GB/T 11765—2018 规定,压榨一级山茶油的酸值(KOH)不超过2.0 mg/g,过氧化值不超过6.0 mmol/kg。由表2可知:5组山茶油的酸值(KOH)在0.20~2.00 mg/g之间,其中对照组最低,焙炒预处理组最高,但均未超过2.0 mg/g;5组山茶油的过氧化值在0.98~2.07 mmol/kg之间,其中对照组的最低,烘烤预处理组的最高,但均未超过6.0 mmol/kg。与对照组相比,不同预处理组的酸值和过氧化值均呈上升趋势,分析原因可能是不同预处理组均经高温处理,促使甘油三酯水解生成游离

脂肪酸,从而使酸值升高,同时,油脂中游离脂肪酸越高,油脂的氧化速率越快,过氧化值也相应升高,本研究结果与龙婷等<sup>[17]</sup>的研究结果一致。综上,不同的预处理技术对山茶油的酸值和过氧化值均有一定影响,但其值均在压榨一级山茶油质量标准(GB/T 11765—2018)范围内。

#### 2.2.2 对山茶油脂肪酸组成的影响

预处理技术对山茶油脂肪酸组成及含量的影响见表3。

表3 预处理技术对山茶油脂肪酸组成及含量的影响

脂肪酸	对照组	微波	烘烤	焙炒	红外	%
十五碳酸	0.83 ± 0.03	0.78 ± 0.04	0.81 ± 0.02	0.81 ± 0.02	0.82 ± 0.02	
棕榈酸	11.88 ± 0.01	11.57 ± 0.01	11.89 ± 0.03	11.80 ± 0.01	11.68 ± 0.02	
棕榈烯酸	0.09 ± 0.01	0.10 ± 0.03	0.09 ± 0.04	0.09 ± 0.01	0.10 ± 0.02	
硬脂酸	0.77 ± 0.02	0.80 ± 0.02	0.78 ± 0.01	0.77 ± 0.03	0.80 ± 0.01	
油酸	75.15 ± 0.03	75.40 ± 0.04	75.24 ± 0.03	75.31 ± 0.01	75.34 ± 0.01	

续表 3

脂肪酸	对照组	微波	烘烤	焙炒	红外
亚油酸	10.91 ± 0.03	11.00 ± 0.03	10.81 ± 0.04	10.86 ± 0.02	10.92 ± 0.04
顺 11 - 二十碳烯酸	0.37 ± 0.02	0.35 ± 0.02	0.38 ± 0.03	0.36 ± 0.01	0.34 ± 0.01
SFA	13.48 ± 0.01	13.15 ± 0.03	13.48 ± 0.02	13.38 ± 0.01	13.30 ± 0.01
UFA	86.52 ± 0.03	86.85 ± 0.02	86.52 ± 0.03	86.62 ± 0.01	86.70 ± 0.02

由表 3 可知,山茶油的脂肪酸主要由油酸(75.15% ~ 75.40%)、亚油酸(10.81% ~ 11.00%)和棕榈酸(11.57% ~ 11.89%)组成,且 SFA 含量不超过 14%,5 组山茶油的脂肪酸组成和含量的差异较小,说明油茶籽经过不同预处理后对山茶油脂肪酸组成影响不大,这与张欢欢等<sup>[18]</sup>使用微波及烘烤预处理技术对冷榨双低菜籽油脂肪酸组成的影响结果一致。

### 2.2.3 预处理技术对山茶油总甾醇含量的影响

预处理技术对山茶油总甾醇含量的影响如图 2 所示。

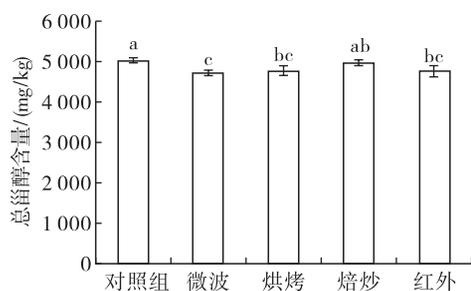


图 2 预处理技术对山茶油总甾醇含量的影响

由图 2 可知,对照组和微波、烘烤、焙炒及红外预处理山茶油的总甾醇含量分别为 5 003.09、4 703.66、4 753.56、4 953.19、4 753.56 mg/kg。与对照组相比,微波、烘烤、焙炒、红外预处理技术都在一定程度上降低了山茶油中总甾醇含量,其中微波预处理山茶油中的总甾醇含量降低最多(其值是对照组的 94.0%),其次是红外预处理和烘烤预处理,均具有显著差异( $p < 0.05$ ),而焙炒预处理与对照组相比差异不显著。油料预处理使山茶油中的总甾醇含量降低,这与马艳芳等<sup>[19]</sup>的研究结果一致,分析原因可能是油茶籽在加热条件下,甾醇发生热氧化,导致总甾醇含量降低。综上,不同预处理技术虽在一定程度上降低了山茶油中总甾醇含量,但降低幅度较小。

### 2.3 预处理技术对山茶油挥发性风味成分的影响

#### 2.3.1 对挥发性风味成分相对含量的影响

预处理技术对山茶油挥发性成分及相对含量的影响如表 4 所示。

表 4 预处理技术对山茶油挥发性成分及相对含量的影响

化合物	CAS 号	相对含量/%				
		对照组	微波	烘烤	焙炒	红外
<b>醛类</b>						
3-甲氧基丙醛	2806-84-0	-	4.54	10.19	-	40.00
异戊醛	590-86-3	-	-	25.74	9.99	-
2-甲基丁醛	96-17-3	-	6.58	-	7.84	-
特戊醛	630-19-3	-	-	-	6.38	-
己醛	66-25-1	50.12	3.58	4.37	15.96	8.81
糠醛	98-01-1	-	41.43	26.86	5.18	6.45
庚醛	111-71-7	13.92	-	-	2.42	1.42
(E)-2-庚烯醛	18829-55-5	-	-	-	-	0.84
5-甲基呋喃醛	620-02-0	-	9.27	4.73	2.41	1.61
正辛醛	124-13-0	-	-	2.01	3.49	3.48
苯乙醛	122-78-1	-	-	0.96	3.77	2.26
壬醛	124-19-6	-	5.22	4.62	18.06	11.48
反式-2-癸烯醛	3913-81-3	-	2.04	2.07	9.51	4.52
反式-2,4-癸二烯醛	25152-84-5	-	-	-	-	2.50
2,4-壬二烯醛	6750-03-4	-	-	-	7.31	0.61
反-2-辛烯醛	2548-87-0	-	-	-	-	1.21
合计		64.04	72.66	81.55	92.32	85.19

续表 4

化合物	CAS 号	相对含量/%				
		对照组	微波	烘烤	焙炒	红外
醇类						
异戊醇	123-51-3	22.56	-	-	-	-
糠醇	98-00-0	-	5.75	0.71	-	-
(S)-(+) -5-甲基-1-己醇	57803-73-3	-	-	-	3.12	-
2-甲基-3-己醇	617-29-8	-	-	0.56	-	-
4-甲基-3-戊醇	4325-82-0	-	-	-	0.30	-
合计		22.56	5.75	1.27	3.42	
酸类						
2-甲基庚酸	1188-02-9	-	-	-	0.81	-
反式-2-丁烯-1,4-二甲酸	4436-74-2	-	5.98	-	-	1.55
杜鹃花酸	123-99-9	8.86	-	-	-	-
合计		8.86	5.98		0.81	1.55
杂环类						
2-甲基吡嗪	109-08-0	-	3.15	2.77	2.21	0.77
2,5-二甲基吡嗪	123-32-0	-	-	-	-	6.66
2-乙基-3-甲基吡嗪	15707-23-0	-	2.66	4.40	-	-
2-正戊基呋喃	3777-69-3	-	-	0.62	-	0.76
合计			5.81	7.79	2.21	8.19
酮类						
2-甲基四氢呋喃-3-酮	3188-00-9	-	1.60	1.15	-	-
2,3-戊二酮	600-14-6	-	8.20	5.64	-	5.07
合计			9.80	6.79		5.07
其他						
1-氢过氧己烷	4312-76-9	4.54	-	-	-	-
1,1,3-三甲基环戊烷	4516-69-2	-	-	0.63	-	-
2-甲基-1-十一烯	18516-37-5	-	-	-	1.24	-
2-甲基-1,5-环己二烯	4049-81-4	-	-	1.97	-	-
合计		4.54		2.60	1.24	

注: - 表示未检出

由表 4 可知,对照组和不同预处理组的山茶油中共检测出 34 种挥发性成分,其中醛类 16 种,醇类 5 种,酸类 3 种,杂环类 4 种,酮类 2 种,其他 4 种。挥发性醛是山茶油在高温处理过程中产生的主体挥发性化合物;醇类物质是山茶油挥发性风味的主要成分,也是生成酯类香气物质的主要前体物质,可能由油脂中不饱和脂肪酸降解所产生,并且醇类物质的气味阈值普遍偏高,对山茶油的整体香味贡献较小;酸类物质是脂肪氧化或部分短链脂肪水解变为低级脂肪酸;酮类物质可能是非端位羟基醇的氧化产物,也可能是酯类物质的分解产物<sup>[20]</sup>;杂环类物质如吡嗪类、呋喃类化合物主要是美拉德反应的中间产物以及氨基酸及硫胺素的热降解产物<sup>[21]</sup>。5 组山茶油中均是醛类物质含量最高,这与王进英<sup>[22]</sup>

的研究结果一致。

由表 4 还可以看出,不同预处理组山茶油的挥发性成分检出数量均高于对照组,其中对照组共检测出 5 种成分,微波、烘烤、焙炒和红外预处理山茶油中分别检测出 13、18、17、18 种成分。另外,不同预处理技术产生了新的挥发性成分,如烘烤和焙炒预处理产生了主要香气成分异戊醛,焙炒和红外预处理产生了 2,4-壬二烯醛。

### 2.3.2 对特征风味成分的影响

挥发性成分相对含量与山茶油风味特征并没有直接的关系,所以其对总体风味的贡献由挥发性组分在风味体系中的浓度和感觉阈值共同决定<sup>[23]</sup>。按照 1.2.4.2 方法,计算山茶油中各风味成分的 ROAV,并进行归类,结果见表 5。

表5 不同预处理技术山茶油挥发性风味成分的 ROAV

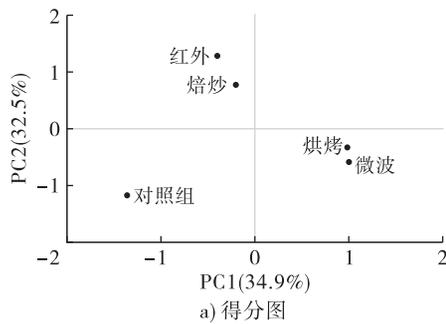
化合物	气味阈值/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	ROAV				
		对照组	微波	烘烤	焙炒	红外
己醛	4.5	100.00	0.86	2.05	11.19	4.89
庚醛	3	41.66			2.54	1.18
3-甲氧基丙醛	1		4.90	21.54		100.00
5-甲基呋喃醛	0.1		100.00	100.00	76.03	40.25
壬醛	1		5.63	9.77	56.97	28.70
反式-2-癸烯醛	0.3		7.34	14.59	100.00	37.67
2-乙基-3-甲基吡嗪	1.5		1.91	6.20		
2,3-戊二酮	0.3		29.49	39.75		42.25
异戊醛	13			4.19	2.42	
正辛醛	0.7			6.07	15.73	12.43
(S)-(+) -5-甲基-1-己醇	6				1.64	
2-甲基吡嗪	6		0.57	0.98	1.16	0.32
(E)-2-庚烯醛	0.3					7.00
反-2-辛烯醛	3					1.01
1-氢过氧己烷	130	0.31				
2-甲基丁醛	140		0.05		0.18	
特戊醛	78				0.26	
反式-2,4-癸二烯醛	41					0.15
苯乙醛	22			0.09	0.54	0.26
异戊醇	2 750	0.07				
糠醛	5 800		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
糠醇	400		0.02	<0.01		
2-甲基四氢呋喃-3-酮	170		0.01	0.01		
2-甲基-3-己醇	46			0.03		
2-正戊基呋喃	2 000			<0.01		<0.01
2-甲基-1,5-环己二烯	360			0.01		
2,4-壬二烯醛	2 500				<0.01	<0.01
4-甲基-3-戊醇	100				<0.01	
2-甲基庚酸	29 500				<0.01	
2-甲基-1-十一烯	230				0.02	
2,5-二甲基吡嗪	2 600					<0.01
反式-2-丁烯-1,4-二甲酸	-					
杜鹃花酸	-					
1,1,3-三甲基环戊烷	-					

注:气味阈值数据见文献[24-28];-表示未查到气味阈值数据或无法计算 ROAV

由表5可知,在山茶油中共鉴定出14种ROAV大于或等于1的关键香气化合物,分别为己醛、庚醛、3-甲氧基丙醛、5-甲基呋喃醛、壬醛、反式-2-癸烯醛、2-乙基-3-甲基吡嗪、2,3-戊二酮、异戊醛、正辛醛、(S)-(+) -5-甲基-1-己醇、2-甲基吡嗪、(E)-2-庚烯醛、反-2-辛烯醛。对照组山茶油中,己醛对其香味成分贡献最大;而在微波和烘烤预处理的山茶油中,5-甲基呋喃醛的贡献最大;在焙炒预处理的山茶油中,反式-2-癸烯醛的贡献最大;在红外预处理的山茶油中,3-甲氧

基丙醛的贡献最大。在14种关键香气化合物中,醛类物质如己醛、庚醛、3-甲氧基丙醛、5-甲基呋喃醛、壬醛、反式-2-癸烯醛、异戊醛、正辛醛、(E)-2-庚烯醛,主要呈现油脂味、清香味、水果味以及青草香;醇类物质(S)-(+) -5-甲基-1-己醇,主要呈现清香味和青草香;2-乙基-3-甲基吡嗪、2-甲基吡嗪等杂环类物质则呈现水果味以及焙炒香味;2,3-戊二酮则呈现水果味和花香味。对14种ROAV大于或等于1的主体风味物质进行主成分分析,其中主成分1和主成

分2的方差贡献率分别为34.9%和32.5%，累积方差贡献率为67.4%，即这两个主成分能够反映



主体风味物质的整体信息。主成分分析结果如图3所示。

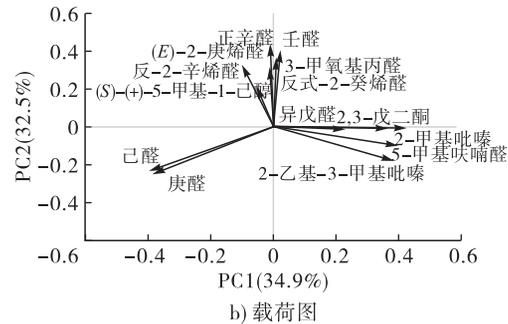


图3 山茶油主体风味物质的主成分分析

由图3可知,油茶籽经不同预处理后得到的山茶油风味存在较大差异。红外和焙炒预处理的山茶油位于第二象限,红外预处理的风味与反-2-辛烯醛、(E)-2-庚烯醛和正辛醛有较强的相关性,而焙炒预处理的风味与(S)-(+)-5-甲基-1-己醇和正辛醛有较强的相关性,两者都主要呈现油脂味、水果味和清香味;微波和烘烤预处理的山茶油位于第四象限,其风味与5-甲基呋喃醛、2-乙基-3-甲基吡嗪、2,3-戊二酮和2-甲基吡嗪密切相关,具有典型的油脂味、焙炒香和花香味;对照组山茶油位于第三象限,其风味与庚醛和己醛有较强的相关性,呈现较淡的油脂味和水果味。综上,对照组的山茶油特征风味不如其他4组明显,特征风味物质较其他组少,说明预处理技术会影响山茶油的特征风味成分。

#### 2.4 预处理技术对山茶油整体香气的影响

对山茶油的5种特征气味描述进行了评价,结果如图4所示。

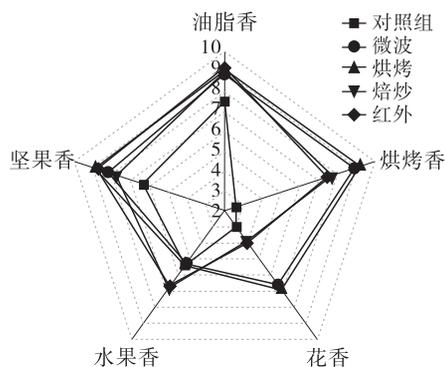


图4 山茶油整体香气评价图

由图4可知,红外、焙炒预处理的山茶油的花香评分较低,但水果香评分较高。水果香在焙炒预处理的山茶油中得分最高,烘烤香和坚果香在烘烤预处理的山茶油中得分最高,油脂香在红外预处理的山茶油中得分最高。5组山茶油整体香气均有一定

差别,其中:对照组山茶油整体呈清淡的油脂香;微波、烘烤预处理的山茶油整体呈烘烤香、坚果香、油脂香和花香;焙炒预处理的山茶油整体呈油脂香、烘烤香和坚果香;红外预处理的山茶油整体呈油脂香、坚果香和水果香。

### 3 结论

以油茶籽为原料,研究了微波、烘烤、焙炒和红外预处理技术对出油率,压榨山茶油品质及挥发性风味成分的影响,结果发现:不同预处理技术的油茶籽出油率不同,其中以微波预处理的出油率最高,为35.13%,相比对照组提高5.92个百分点。与对照组相比,不同预处理技术使山茶油的酸值和过氧化值上升,但均在压榨一级山茶油质量标准(GB/T 11765—2018)范围内。山茶油富含油酸、亚油酸和棕榈酸,4种预处理技术对山茶油的脂肪酸组成无显著影响。不同预处理技术在一定程度上降低了山茶油中总甾醇含量,但焙炒预处理与对照组山茶油中总甾醇含量无显著差异。不同预处理技术所得山茶油的挥发性成分的种类和含量差别较大,4种预处理技术使山茶油挥发性特征风味物质由单一醛类为主导转变为以醛类和杂环类化合物等多种风味成分为主导,整体风味由清淡的油脂香转变为浓烈的油脂香和坚果香。因此,微波、烘烤、焙炒和红外预处理技术在不影响山茶油理化品质的基础上,提高了油茶籽的出油率,改善了山茶油风味。从省时、高效率的基础上考虑,微波为最佳预处理技术。

#### 参考文献:

- [1] 龙婷, 林树真, 林树红, 等. 基于不同贮藏温度下油茶籽油氧化模型的建立[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(5): 105-109.
- [2] YE Y, GUO Y, WANG Y F. Free radical scavenging activity and anti-inflammatory property of the saponin from seeds of *Camellia oleifera* Abel[J]. Adv Mater Res, 2012, 550: 1262-1265.

- [3] 葛杭丽, 彭丽, 孟祥河, 等. 不同提取方法所得山茶油的品质比较[J]. 浙江农业学报, 2017, 29(7): 1195 - 1200.
- [4] 谭传波, 刘想, 杨友志. 山茶油饮食文化开发对我国油茶产业发展的影响分析[J]. 粮食科技与经济, 2020, 45(8): 138 - 141.
- [5] 从珊, 黄纪念, 张丽霞, 等. 微波焙烤温度对芝麻油特征风味物质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 265 - 268.
- [6] 梅小弟, 段卓, 黎丽华, 等. 不同预处理方式对腊菜籽油品质的影响[J]. 粮食科技与经济, 2017, 42(5): 70 - 72, 76.
- [7] 赵赛茹, 张丽霞, 黄纪念, 等. 焙炒时间对芝麻油风味及芝麻氨基酸含量的影响[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(8): 30 - 38.
- [8] 于杰, 周宇林, 刘元法, 等. 红外焙炒对菜籽油风味的影响机制[J]. 中国油脂, 2022, 47(1): 36 - 42.
- [9] HE J H, WU X H, YU Z L. Microwave pretreatment of camellia (*Camellia oleifera* Abel.) seeds: effect on oil flavor[J/OL]. Food Chem, 2021, 364: 130388 [2022 - 06 - 09]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130388>.
- [10] 周萍萍, 黄健花, 李佳, 等. 烘烤条件对葵花籽油风味和品质的影响[J]. 中国油脂, 2013, 38(12): 1 - 5.
- [11] 朱晓阳, 龙奇志, 钟海雁. 炒籽温度对茶油关键香气成分及感官品质的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(5): 48 - 54.
- [12] DENG B X, LI B, LI X D, et al. Using short - wave infrared radiation to improve aqueous enzymatic extraction of peanut oil: evaluation of peanut cotyledon microstructure and oil quality[J/OL]. Eur J Lipid Sci Tech, 2018, 120(2): 1700285 [2022 - 06 - 09]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700285>.
- [13] 曹子伦, 雷芬芬, 郑竟成, 等. 不同产地南瓜籽油组成及氧化稳定性的差异[J]. 食品科学, 2022, 43(12): 283 - 289.
- [14] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: “ROAV”法[J]. 食品科学, 2008(7): 370 - 374.
- [15] AKINOSO R, ABOABA S A, OLAJIDE W O. Optimization of roasting temperature and time during oil extraction from orange (*Citrus sinensis*) seeds: a response surface methodology approach[J/OL]. Afr J Food, Agric, Nutr Dev, 2011, 11(6): 10625 [2022 - 06 - 09]. <https://doi.org/10.18697/ajfand.47.10625>.
- [16] 罗凡, 王龙祥, 郭少海, 等. 微波和红外处理对油茶仁油组成和稳定性影响规律[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(1): 123 - 130.
- [17] 龙婷, 吴雪辉, 容欧, 等. 油茶籽预处理方法对茶油品质的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(7): 79 - 83.
- [18] 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.
- [19] 马艳芳, 朱志鑫, 梁梓豪, 等. 加热对花生油中植物甾醇含量影响研究[J]. 食品与营养科学, 2018, 7(2): 137 - 144.
- [20] 吕虹霞. 低温烘烤胡麻籽对胡麻油挥发性成分的影响[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(3): 94 - 98.
- [21] 康乐. 牛肉中 Maillard 反应风味前体肽的鉴定及其产物形成机理的研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2017.
- [22] 王进英. 油茶籽油热稳定性研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017.
- [23] 苏晓霞, 刘雄飞, 黄一珍, 等. 基于 GC - MS 和 GC - O 的浓香菜籽油特征风味物质分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(1): 239 - 245.
- [24] VAN GEMERT L J. 化合物香味阈值汇编[M]. 刘强, 冒德寿. 译. 北京: 科学出版社, 2015: 277 - 433.
- [25] MIYASAKI T, KITAMURA Y. Effect of feedstuff oil supplementation on flavor compounds of *Tilapia* [J]. Aquacult Sci, 2012, 60(3): 307 - 312.
- [26] LIU J, WAN P, XIE C, et al. Key aroma - active compounds in brown sugar and their influence on sweetness [J/OL]. Food Chem, 2021, 345: 128826 [2022 - 06 - 09]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128826>.
- [27] ZHU J C, CHEN F, WANG L Y, et al. Comparison of aroma - active volatiles in oolong tea infusions using GC - olfactometry, GC - FPD and GC - MS[J]. J Agric Food Chem, 2015, 63(34): 7499 - 7510.
- [28] VAN GEMERT L J. Compilations of odour threshold values in air, water and other media[M]. Amsterdam: Oliemans Punter & Partners BV, 2011: 383 - 469.