

# 焙炒和湿热预处理对5种植物油品质特性的影响

李应霞<sup>1</sup>,王进英<sup>1</sup>,董国鑫<sup>1</sup>,雷风<sup>1</sup>,苏学民<sup>2</sup>,白琴<sup>2</sup>,陈霞<sup>1</sup>

(1. 青海大学农牧学院, 西宁 810016; 2. 青海通达油脂加工有限责任公司, 青海海东 810500)

**摘要:**为有效提高油脂品质,以亚麻籽、油菜籽、花生、芝麻和葵花籽为原料,对其进行焙炒和湿热预处理并压榨制油,研究焙炒和湿热预处理对5种植物油感官品质、理化指标、主体组分、挥发性组分和微量营养组分的影响。结果表明:焙炒和湿热预处理对植物油的感官品质和理化指标均有影响,总体上可提高植物油的感官品质,但会使酸值和过氧化值有所增加;焙炒和湿热预处理对脂肪酸和甘油酯组成无显著影响( $p > 0.05$ );5种植物油中共检测出了82种挥发性风味成分,焙炒和湿热预处理后,菜籽油中硫苷降解产物明显增加,葵花籽油中杂环类化合物显著增加;焙炒和湿热预处理能有效提高植物油总酚含量,特别是湿热预处理芝麻油,其总酚含量是未处理的1.9倍;焙炒和湿热预处理葵花籽油的 $V_E$ 含量较未处理的分别增加了12.7%和19.2%,但对其他植物油的 $V_E$ 含量影响不显著( $p > 0.05$ )。综上,焙炒和湿热预处理在不影响油脂理化品质的基础上,提高了其营养品质和感官品质,是理想的油料预处理技术。

**关键词:**焙炒;湿热;植物油;感官品质;脂肪酸;挥发性组分;微量组分

中图分类号:TS224.2;TS225.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)07-0001-08

## Effects of roasting and wet – heating pretreatment on quality characteristics of five vegetable oils

LI Yingxia<sup>1</sup>, WANG Jinying<sup>1</sup>, DONG Guoxin<sup>1</sup>, LEI Feng<sup>1</sup>,  
SU Xuemin<sup>2</sup>, BAI Qin<sup>2</sup>, CHEN Xia<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China;  
2. Qinghai Tongda Oil Processing Co., Ltd., Haidong 810500, Qinghai, China)

**Abstract:** To effectively improve the quality of oils, flaxseed, rapeseed, peanut, sesame and sunflower seed were used as raw materials, they were pretreated by roasting and wet – heating and pressed to produce oil, and the effects of roasting and wet – heating pretreatment on sensory quality, physicochemical indexes, main components, volatile components and micronutrient components of five vegetable oils were studied. The results showed that roasting and wet – heating pretreatment had effects on the sensory quality and physicochemical indexes of the five vegetable oils. Overall, sensory quality was improved, but the acid value and peroxide value increased by roasting and wet – heating pretreatment. Roasting and wet – heating pretreatment had no significant effects on the composition of fatty acids and triglycerides ( $p > 0.05$ ). A total of 82 volatile compounds were detected in five vegetable oils. The content of thioside degradation products significantly increased in rapeseed oil, and heterocyclic compounds significantly increased in sunflower seed oil after roasting and wet – heating pretreatment. Roasting and wet – heating pretreatment could effectively increase the total phenol content in vegetable

收稿日期:2022-04-13;修回日期:2023-03-09

基金项目:青海省企业研究转化与产业化专项(2021-NK-C19)

作者简介:李应霞(1997),女,在读硕士,研究方向为油脂加工与利用(E-mail)3483824653@qq.com。

通信作者:王进英,副教授(E-mail) wangjinying0128@126.com。

oils, especially wet – heating pretreatment sesame oil, which was 1.9 times of that in untreated oil. The  $V_E$  content in roasting and wet – heating pretreatment sunflower seed oil increased by 12.7% and 19.2%, respectively compared with untreated oil, but they had no significant effect on

the  $V_E$  content of other vegetable oils ( $p > 0.05$ ). In summary, roasting and wet - heating pretreatment is an ideal pretreatment technology for oilseed to improve the nutritional quality and sensory quality of vegetable oil without affecting the physicochemical quality of the oils.

**Key words:** roasting; wet - heating; vegetable oil; sensory quality; fatty acid; volatile component; microcomponent

食用植物油是人类日常饮食的重要组成部分<sup>[1]</sup>,可为人类提供必需脂肪酸等营养物质。植物油中的不饱和脂肪酸具有调节人体脂质代谢、抗炎、抗癌、抗肥胖、预防和改善老年痴呆等功能<sup>[2]</sup>,植物油中的多酚类化合物具有抗氧化、降血脂、预防心脑血管疾病等生理功能<sup>[3]</sup>。目前,植物油主要由油料经机械压榨、溶剂浸提及超临界萃取等技术得到<sup>[4]</sup>,在植物油制取过程中适当的预处理技术不仅可以提高植物油的产率和品质,还能降低能耗,缩短加工时间。因此,有必要在提取植物油前对油料进行适当预处理。

油料预处理是制油之前对油料进行清理除杂,并将其制成具有一定结构性能的物料。目前,应用于机械压榨制油的预处理技术主要包括微波<sup>[5]</sup>、烘烤<sup>[6]</sup>、焙炒<sup>[7]</sup>、湿热<sup>[8]</sup>等,其目的是破坏细胞壁,打开油路通道,提高出油率,增加油中活性成分的含量。在多种预处理技术中,焙炒不仅能提高出油率,凝固蛋白质,灭活酶,赋予植物油特殊的风味和香气<sup>[9]</sup>,还可以增加酚类、色素的溶出率和抗氧化活性<sup>[10]</sup>。Zou 等<sup>[11]</sup>研究了焙炒对小麦胚芽油品质的影响,结果发现,脂肪酸组成无显著变化,总酚含量和美拉德反应显著增加。湿热预处理是在一定的压力下,系统加热而产生的蒸汽作用于油料种子,可造成种子的实质性结构损伤,如压碎细胞膜<sup>[12]</sup>。Lee 等<sup>[13]</sup>研究发现,湿热预处理不仅能获得更高的产油量、酚类含量和抗氧化活性,而且不引起特征风味的变化和油脂酸败,是一种高效的预处理方法。

目前,焙炒 - 压榨工艺仍然是我国普遍的制油工艺。因此,本研究以亚麻籽、油菜籽、花生、芝麻和葵花籽为原料,经过焙炒预处理,同时与湿热预处理作对比,通过压榨制取油脂,分析所得植物油的感官指标(色泽、气味、透明度、黏度、滋味)、理化指标(酸值、过氧化值、色泽、黏度、水分及挥发物)、主体组分(脂肪酸和甘油酯)、挥发性组分和微量营养成分(总酚、维生素 E),旨在为植物油品质鉴定、营养评价和油料预处理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

油菜籽(青杂 12 号),青海省农林科学院;亚麻籽(定亚 18 号),产自青海贵德;花生(豫花)、芝麻(小颗粒油麻),产自河南;葵花籽(油葵 562 号),产自内蒙古。

十一酸甲酯、棕榈酸甲酯、硬脂酸甲酯、油酸甲酯、亚油酸甲酯和亚麻酸甲酯对照品,西格玛奥德里奇贸易有限公司;维生素 E 标准品( $\alpha$ -生育酚),成都德思特生物技术有限公司;无水乙醇、95%乙醇、冰乙酸、三氯甲烷、福林酚试剂、正庚烷、碘化钾、氢氧化钾均为分析纯;乙腈、甲醇、异丙醇均为色谱纯。

#### 1.1.2 仪器与设备

XZ - Z505W 卧式榨油机,广州旭众食品机械有限公司;WSL - 2 比较测色仪,上海易测仪器设备有限公司;UV - 1780 紫外可见分光光度计、GC - 2030 气相色谱仪、GCMS - QP2020 NX 气相色谱质谱联用仪、SFC/U HPLC 高效液相色谱仪[配示差折光检测器(RID)],岛津仪器有限公司;1100 - VWD HPLC 高效液相色谱仪,安捷伦仪器有限公司。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 油料预处理及植物油制取

焙炒预处理:在 160 ~ 180 °C 下持续焙炒 20 min<sup>[14]</sup>。

湿热预处理:将油料置于 121 °C 灭菌锅中处理 15 min,之后平铺在 60 °C 烘箱中干燥,直至水分含量低于 10%<sup>[15]</sup>。

植物油制取:采用螺旋压榨机在压榨温度为 140 °C、压榨功率为 3 kW 条件下进行制油,原油在 4 000 r/min 下离心 15 min,将得到的植物油装入棕色瓶密封,并在 4 °C 冰箱保存。

### 1.2.2 植物油感官分析

参照 GB 2716—2018 中食用油应符合的感官指标,采取指标打分方式从色泽、气味、透明度、黏度、滋味 5 个方面进行感官评价。选择 20 名具备

相关专业知识的人员,采用双盲实验方法,不告诉其实验目的以及油样展示顺序,随机展示不同的植物油进行评价打分。

### 1.2.3 植物油理化指标分析

酸值参照 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》测定;过氧化值参照 GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》测定;水分及挥发物含量参照 GB 5009.236—2016《食品安全国家标准 动植物油脂水分及挥发物的测定》测定;色泽参照 GB/T 22460—2008《动植物油脂 罗维朋色泽的测定》,采用 10 mm 比色皿进行测定;黏度参照 GB/T 10247—2008《粘度测量方法》测定。

### 1.2.4 植物油主体组分分析

#### 1.2.4.1 脂肪酸

甲酯化:氢氧化钾-甲醇法<sup>[16]</sup>。

GC 条件:Wonda Cap WAX 色谱柱(60 m × 0.25 mm × 0.25 μm);进样口温度 250 °C;氢火焰离子化检测器(FID),检测器温度 250 °C;载气为氮气;流速 1 mL/min;分流比 46:1;进样量 1 μL;升温程序为 100 °C 保持 13 min,以 10 °C/min 速率升至 180 °C 保持 6 min,再以 1 °C/min 速率升至 200 °C 保持 20 min,再以 4 °C/min 速率升至 230 °C 保持 10.5 min。

定性与定量:根据脂肪酸甲酯混标对照溶液的保留时间定性,采用内标法定量。

#### 1.2.4.2 甘三酯

样品处理:取 1 g 油样置于 10 mL 容量瓶中,用流动相定容至刻度,涡旋 1 min 使油样充分溶解后经 0.45 μm 尼龙过滤膜过滤,注入进样瓶,进行 HPLC 分析。

HPLC 条件:C18 色谱柱(4.6 mm × 250 mm × 5.0 μm);柱温 40 °C;流动相为乙腈-异丙醇(体积比 3:7);洗脱时间 30 min;流速 0.5 mL/min;进样量 5 μL;检测器为示差折光检测器(RID),检测器温度 30 °C。

定性与定量:基于甘三酯按照碳原子当量(ECN)由小到大的顺序分离的规律划分 ECN 分区,通过出峰顺序定性;采用峰面积归一化法定量。

### 1.2.5 植物油挥发性组分分析

固相微萃取(SPME)条件:萃取温度 80 °C,平衡时间 20 min,萃取时间 40 min,解吸时间 5 min。

GC 条件:Inert Cap Pure-wax 色谱柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);升温程序为初始温度 40 °C,

保持 2 min,以 5 °C/min 升至 220 °C,保持 10 min;载气为高纯氦气(99.99%);流速 1.0 mL/min;分流比 50:1;进样口温度 250 °C。

MS 条件:电子电离源;离子源温度 150 °C;灯丝发射电流 200 μA;电子能量 70 eV;传输线温度 260 °C;质量扫描范围(*m/z*)35 ~ 350 u。

定性与定量:由 NIST 14 标准谱库检索各化合物,与标准谱图对照进行定性;采用峰面积归一化法定量。

### 1.2.6 植物油微量营养成分分析

#### 1.2.6.1 总酚含量

参照文献[17],采用福林酚法测定总酚含量。

#### 1.2.6.2 维生素 E 含量测定

标准曲线的绘制:取 0.4 mg 维生素 E 标准品,置于 10 mL 的棕色容量瓶中,加乙酸乙酯定容至刻度,得质量浓度为 40 μg/mL 的标准储备液,然后进行梯度稀释,得质量浓度分别为 20、10、5、2.5 μg/mL 的系列标准溶液,通过 HPLC 进行测定。以维生素 E 标准品质量浓度(*X*)为横坐标,峰面积(*Y*)为纵坐标,绘制的标准曲线回归方程  $Y = 1.3901X + 0.1644$ ,  $R^2 = 0.9999$ 。

HPLC 条件:Thermo Scientific Synchronis 色谱柱(250 mm × 4.6 mm × 5 μm);预柱(3.9 mm × 20 mm × 5 μm);检测器为可变波长扫描紫外检测器(VWD);检测波长 300 nm;柱温 30 °C;进样量 10 μL;流动相为甲醇-水(体积比 92:8);等度洗脱。

#### 1.2.7 数据分析

采用 SPSS 26.0 对数据进行差异显著性分析;用 Origin 2018 软件绘制图形;用 Microsoft Excel 2010 统计分析数据;所有实验重复 3 次。

## 2 结果与讨论

### 2.1 植物油的感官评价

对不同预处理方式所得植物油的色泽、气味、透明度、黏度、滋味进行评价,结果如图 1 所示。

由图 1 可知:湿热预处理能显著提高植物油的感官品质,亚麻籽油、菜籽油、花生油、芝麻油、葵花籽油感官评分(5 个指标分值加和)分别是未处理的 1.4、1.2、1.1、1.1、1.4 倍;焙炒预处理后,亚麻籽油、菜籽油和葵花籽油的滋味、色泽、气味、透明度、黏度得分都有所提升,但是,花生油和芝麻油的感官评分略低于未处理组,原因可能是对于花生和芝麻来说,焙炒预处理条件过于强烈,导致油脂色泽加深,出现青草味和焦糊味<sup>[18]</sup>。

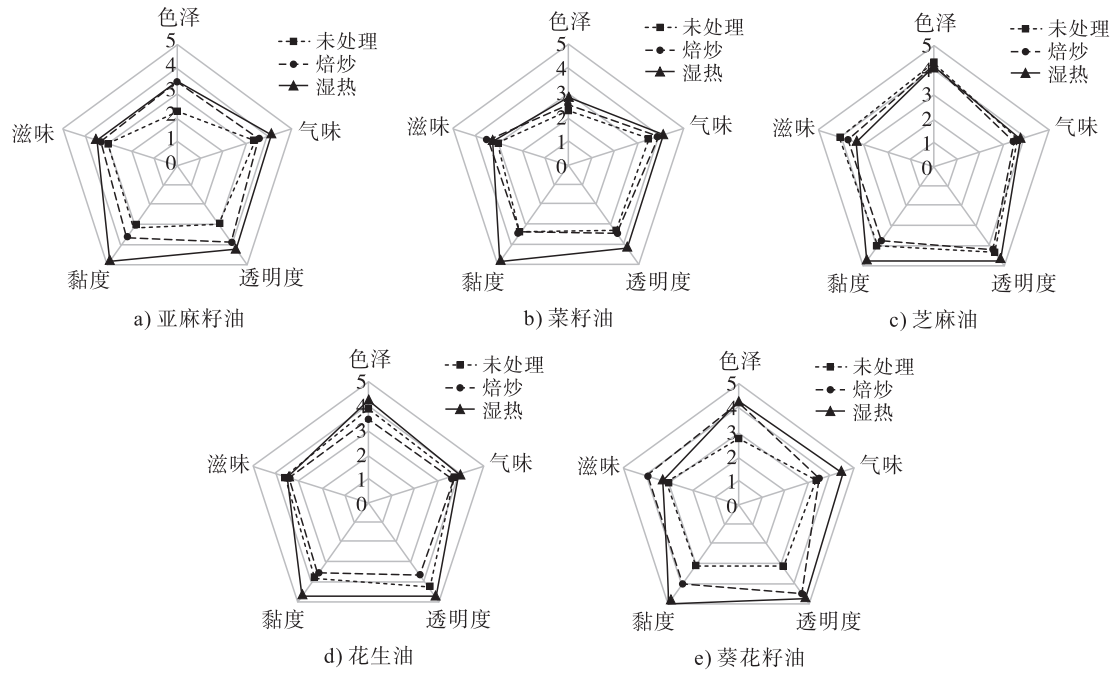


图1 5种植物油的感官评价

## 2.2 植物油的理化指标

测定,结果如表1所示。

对不同预处理方式所得植物油的理化指标进行

表1 5种植物油的理化指标

样品	预处理	酸值(KOH)/ (mg/g)	过氧化值/ (mmol/kg)	色泽(R, Y)	黏度/(mPa·s)	水分 及挥发物/%
亚麻籽油	未处理	1.40 ± 0.16 <sup>c</sup>	0.86 ± 0.04 <sup>c</sup>	R2.9, Y29.9	54.45 ± 0.07 <sup>c</sup>	0.14 ± 0.01 <sup>a</sup>
	焙炒	2.01 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.29 ± 0.00 <sup>b</sup>	R3.5, Y43.2	45.25 ± 0.21 <sup>f</sup>	0.10 ± 0.02 <sup>a</sup>
	湿热	1.80 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.92 ± 0.06 <sup>c</sup>	R3.1, Y10.4	50.00 ± 0.28 <sup>e</sup>	0.13 ± 0.02 <sup>a</sup>
菜籽油	未处理	0.56 ± 0.00 <sup>e</sup>	0.73 ± 0.12 <sup>d</sup>	R1.0, Y30.3	73.00 ± 0.56 <sup>a</sup>	0.08 ± 0.02 <sup>a</sup>
	焙炒	0.70 ± 0.04 <sup>d</sup>	1.16 ± 0.00 <sup>b</sup>	R1.2, Y29.9	66.30 ± 0.70 <sup>c</sup>	0.05 ± 0.00 <sup>a</sup>
	湿热	0.64 ± 0.04 <sup>d</sup>	1.14 ± 0.02 <sup>b</sup>	R2.5, Y23.4	70.10 ± 0.07 <sup>b</sup>	0.29 ± 0.01 <sup>a</sup>
花生油	未处理	0.18 ± 0.02 <sup>g</sup>	0.44 ± 0.07 <sup>e</sup>	R0.1, Y2.3	76.75 ± 0.64 <sup>a</sup>	0.12 ± 0.01 <sup>a</sup>
	焙炒	0.30 ± 0.02 <sup>f</sup>	1.47 ± 0.00 <sup>a</sup>	R0.1, Y2.9	47.65 ± 1.75 <sup>f</sup>	0.08 ± 0.02 <sup>a</sup>
	湿热	0.19 ± 0.04 <sup>g</sup>	0.44 ± 0.06 <sup>e</sup>	R0.7, Y2.8	63.30 ± 0.07 <sup>c</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>a</sup>
芝麻油	未处理	0.59 ± 0.04 <sup>d</sup>	0.33 ± 0.20 <sup>f</sup>	R0.1, Y2.9	68.50 ± 0.28 <sup>b</sup>	0.14 ± 0.01 <sup>a</sup>
	焙炒	0.62 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.41 ± 0.12 <sup>e</sup>	R1.9, Y3.9	65.10 ± 0.51 <sup>c</sup>	0.06 ± 0.01 <sup>a</sup>
	湿热	0.64 ± 0.04 <sup>d</sup>	0.29 ± 0.07 <sup>f</sup>	R0.4, Y2.4	60.00 ± 0.14 <sup>d</sup>	0.03 ± 0.01 <sup>a</sup>
葵花籽油	未处理	0.14 ± 0.48 <sup>g</sup>	0.47 ± 0.03 <sup>e</sup>	R0.1, Y2.9	74.10 ± 0.14 <sup>a</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>a</sup>
	焙炒	0.46 ± 0.02 <sup>e</sup>	0.96 ± 0.02 <sup>c</sup>	R0.9, Y9.4	68.95 ± 0.21 <sup>b</sup>	0.05 ± 0.00 <sup>a</sup>
	湿热	0.31 ± 0.04 <sup>f</sup>	0.48 ± 0.03 <sup>e</sup>	R0.5, Y2.4	69.80 ± 0.35 <sup>b</sup>	0.16 ± 0.02 <sup>a</sup>

注:同列中不同字母表示差异显著( $p < 0.05$ )

由表1可知,焙炒和湿热预处理后,除湿热预处理芝麻油和花生油的过氧化值略有下降和不变外,5种植物油的酸值和过氧化值均有所上升,湿热预处理芝麻油过氧化值下降的原因可能是处理时间过长,氢过氧化物分解。与未处理植物油相比,焙炒和湿热预处理后,5种油脂的黏度均下降,色泽红值均升高(除焙炒预处理的花生油红值不变外),焙炒预处理后,除菜籽油外,其余植物油色泽黄值也升高,油脂颜色偏黄偏暗,可能是由于高温使植物油料蛋

白质中氨基酸与还原糖的羰基发生美拉德反应,其产物使得油脂色泽加深。有研究表明<sup>[19]</sup>,采用焙烧、煎炸和微波加热等不同加热方式进行高温热处理,会使油脂黏度降低,颜色暗沉,主要是因为发生了美拉德褐变、焦糖化和氧化聚合反应。

## 2.3 植物油的主体组分

## 2.3.1 脂肪酸

对不同预处理方式所得植物油的脂肪酸组成及含量进行测定,结果如表2所示。

表2 5种植物油脂脂肪酸组成及含量

g/100 g

样品	预处理	C <sub>16:0</sub>	C <sub>18:0</sub>	C <sub>18:1</sub>	C <sub>18:2</sub>	C <sub>18:3</sub>	SFA	UFA
亚麻籽油	未处理	5.42 ± 0.05 <sup>a</sup>	4.96 ± 0.04 <sup>a</sup>	24.97 ± 0.25 <sup>a</sup>	13.72 ± 0.13 <sup>a</sup>	49.49 ± 0.39 <sup>a</sup>	10.39 ± 0.06 <sup>a</sup>	88.18 ± 1.42 <sup>a</sup>
	焙炒	5.39 ± 0.53 <sup>a</sup>	4.86 ± 0.09 <sup>a</sup>	24.33 ± 0.74 <sup>a</sup>	13.49 ± 1.13 <sup>a</sup>	50.77 ± 0.87 <sup>a</sup>	10.25 ± 0.63 <sup>a</sup>	88.59 ± 0.83 <sup>a</sup>
	湿热	5.27 ± 0.27 <sup>a</sup>	4.73 ± 0.49 <sup>a</sup>	24.47 ± 1.88 <sup>a</sup>	13.17 ± 0.59 <sup>a</sup>	49.46 ± 0.20 <sup>a</sup>	9.99 ± 0.54 <sup>a</sup>	87.10 ± 3.17 <sup>a</sup>
菜籽油	未处理	3.66 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.76 ± 0.02 <sup>a</sup>	67.20 ± 0.87 <sup>a</sup>	15.68 ± 0.15 <sup>a</sup>	10.48 ± 0.10 <sup>a</sup>	6.43 ± 0.06 <sup>a</sup>	93.36 ± 1.13 <sup>a</sup>
	焙炒	3.55 ± 0.05 <sup>a</sup>	2.61 ± 0.03 <sup>a</sup>	68.18 ± 0.61 <sup>a</sup>	15.80 ± 0.15 <sup>a</sup>	9.54 ± 0.20 <sup>a</sup>	6.16 ± 0.08 <sup>a</sup>	93.51 ± 0.95 <sup>a</sup>
	湿热	3.17 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.36 ± 0.03 <sup>a</sup>	63.07 ± 0.34 <sup>b</sup>	14.28 ± 0.11 <sup>a</sup>	8.30 ± 0.06 <sup>a</sup>	5.53 ± 0.00 <sup>a</sup>	85.64 ± 0.29 <sup>a</sup>
花生油	未处理	10.74 ± 0.09 <sup>a</sup>	3.70 ± 0.05 <sup>a</sup>	37.82 ± 0.39 <sup>a</sup>	43.20 ± 0.33 <sup>a</sup>	1.54 ± 0.01 <sup>a</sup>	14.45 ± 0.14 <sup>a</sup>	82.56 ± 0.73 <sup>a</sup>
	焙炒	10.20 ± 0.18 <sup>a</sup>	3.62 ± 0.07 <sup>a</sup>	35.87 ± 0.63 <sup>a</sup>	41.49 ± 0.74 <sup>a</sup>	1.18 ± 0.03 <sup>a</sup>	13.83 ± 0.25 <sup>a</sup>	78.53 ± 1.40 <sup>a</sup>
	湿热	10.33 ± 1.23 <sup>a</sup>	3.52 ± 0.52 <sup>a</sup>	36.24 ± 4.52 <sup>a</sup>	42.26 ± 4.56 <sup>a</sup>	1.39 ± 0.27 <sup>a</sup>	13.85 ± 1.75 <sup>a</sup>	79.89 ± 9.35 <sup>a</sup>
芝麻油	未处理	8.91 ± 0.07 <sup>a</sup>	4.63 ± 0.05 <sup>a</sup>	35.78 ± 0.38 <sup>a</sup>	49.68 ± 0.19 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.06 <sup>a</sup>	13.54 ± 0.11 <sup>a</sup>	85.85 ± 0.64 <sup>a</sup>
	焙炒	8.21 ± 0.48 <sup>a</sup>	4.24 ± 0.27 <sup>a</sup>	33.36 ± 0.73 <sup>a</sup>	48.09 ± 1.37 <sup>a</sup>	0.71 ± 0.01 <sup>a</sup>	12.45 ± 0.75 <sup>a</sup>	82.17 ± 4.30 <sup>a</sup>
	湿热	8.58 ± 0.65 <sup>a</sup>	4.35 ± 0.35 <sup>a</sup>	34.22 ± 2.53 <sup>a</sup>	47.62 ± 3.37 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.03 <sup>a</sup>	12.93 ± 1.00 <sup>a</sup>	82.26 ± 5.93 <sup>a</sup>
葵花籽油	未处理	3.91 ± 0.06 <sup>a</sup>	4.27 ± 0.50 <sup>a</sup>	51.94 ± 1.19 <sup>a</sup>	39.79 ± 0.93 <sup>a</sup>	0.46 ± 0.04 <sup>a</sup>	8.18 ± 0.44 <sup>a</sup>	90.20 ± 2.16 <sup>a</sup>
	焙炒	4.08 ± 0.10 <sup>a</sup>	4.57 ± 0.14 <sup>a</sup>	45.27 ± 1.19 <sup>a</sup>	39.46 ± 0.78 <sup>a</sup>	0.51 ± 0.01 <sup>a</sup>	8.65 ± 0.24 <sup>a</sup>	85.25 ± 1.99 <sup>a</sup>
	湿热	3.83 ± 0.10 <sup>a</sup>	4.06 ± 0.12 <sup>a</sup>	52.31 ± 0.20 <sup>a</sup>	37.03 ± 0.54 <sup>a</sup>	0.56 ± 0.00 <sup>a</sup>	7.90 ± 0.21 <sup>a</sup>	89.90 ± 0.74 <sup>a</sup>

注:SFA、UFA 分别表示饱和脂肪酸、不饱和脂肪酸;对于同一油脂同列不同字母表示不同处理间差异显著( $p < 0.05$ ),下同

由表2可知,焙炒和湿热预处理植物油的各脂肪酸含量(除湿热预处理的菜籽油 C<sub>18:1</sub>)与未处理植物油无显著差异,表明焙炒和湿热预处理方式对5种植物油脂脂肪酸组成均无显著影响,这与王未君等<sup>[20]</sup>采用干法炒籽预处理后对菜籽油脂肪酸组成

的影响结果一致,Zou 等<sup>[11]</sup>在研究焙炒对小麦胚芽油的影响时也得到了相似的结果。

### 2.3.2 甘三酯

对不同预处理方式所得植物油的甘三酯组成及含量进行测定,结果如表3所示。

表3 5种植物油甘三酯组成及含量

%

样品	预处理	LnLnLn	LLnLn	OLnLn	LLL	OLL	OOL	OOO	POO	SOO
亚麻籽油	未处理	15.77 ± 0.18 <sup>a</sup>	9.63 ± 0.12 <sup>a</sup>	22.03 ± 0.30 <sup>a</sup>	13.03 ± 0.30 <sup>a</sup>	17.06 ± 0.01 <sup>a</sup>	8.16 ± 0.06 <sup>a</sup>	7.51 ± 0.23 <sup>a</sup>	2.39 ± 0.05 <sup>a</sup>	ND
	焙炒	15.71 ± 0.04 <sup>a</sup>	9.29 ± 0.01 <sup>a</sup>	22.31 ± 0.68 <sup>a</sup>	13.43 ± 0.03 <sup>a</sup>	17.66 ± 0.06 <sup>a</sup>	8.57 ± 0.15 <sup>a</sup>	7.67 ± 0.29 <sup>a</sup>	2.36 ± 0.08 <sup>a</sup>	ND
	湿热	15.56 ± 0.05 <sup>a</sup>	9.34 ± 0.16 <sup>a</sup>	23.04 ± 0.45 <sup>a</sup>	13.56 ± 0.09 <sup>a</sup>	17.78 ± 0.07 <sup>a</sup>	8.47 ± 0.21 <sup>a</sup>	7.40 ± 0.44 <sup>a</sup>	2.46 ± 0.12 <sup>a</sup>	ND
菜籽油	未处理	ND	ND	2.41 ± 0.07 <sup>a</sup>	5.32 ± 0.03 <sup>a</sup>	18.27 ± 0.61 <sup>a</sup>	22.54 ± 0.68 <sup>a</sup>	40.82 ± 1.80 <sup>a</sup>	6.19 ± 0.06 <sup>a</sup>	ND
	焙炒	ND	ND	2.87 ± 0.05 <sup>a</sup>	5.50 ± 0.08 <sup>a</sup>	17.07 ± 0.20 <sup>a</sup>	21.90 ± 0.16 <sup>a</sup>	41.93 ± 0.11 <sup>a</sup>	6.13 ± 0.03 <sup>a</sup>	ND
	湿热	ND	ND	2.63 ± 0.02 <sup>a</sup>	5.47 ± 0.03 <sup>a</sup>	17.08 ± 0.14 <sup>a</sup>	21.87 ± 0.21 <sup>a</sup>	42.30 ± 0.36 <sup>a</sup>	6.07 ± 0.04 <sup>a</sup>	ND
花生油	未处理	ND	ND	2.67 ± 0.06 <sup>a</sup>	4.92 ± 0.04 <sup>a</sup>	24.36 ± 0.50 <sup>a</sup>	31.51 ± 1.81 <sup>a</sup>	20.11 ± 0.79 <sup>a</sup>	6.75 ± 0.79 <sup>a</sup>	4.53 ± 0.10 <sup>a</sup>
	焙炒	ND	ND	2.16 ± 0.08 <sup>a</sup>	4.24 ± 0.36 <sup>ab</sup>	24.97 ± 0.23 <sup>a</sup>	32.39 ± 1.06 <sup>a</sup>	20.45 ± 0.64 <sup>a</sup>	6.44 ± 0.64 <sup>a</sup>	4.22 ± 0.16 <sup>a</sup>
	湿热	ND	ND	2.17 ± 0.57 <sup>a</sup>	3.89 ± 2.14 <sup>b</sup>	24.71 ± 1.42 <sup>a</sup>	31.88 ± 1.08 <sup>a</sup>	21.66 ± 5.36 <sup>a</sup>	6.69 ± 5.36 <sup>a</sup>	4.48 ± 0.09 <sup>a</sup>
芝麻油	未处理	ND	ND	ND	12.08 ± 0.40 <sup>a</sup>	27.65 ± 0.11 <sup>a</sup>	30.76 ± 0.16 <sup>a</sup>	19.98 ± 0.02 <sup>a</sup>	4.75 ± 0.10 <sup>a</sup>	ND
	焙炒	ND	ND	ND	13.19 ± 0.06 <sup>a</sup>	28.40 ± 0.44 <sup>a</sup>	30.24 ± 0.74 <sup>a</sup>	19.45 ± 0.42 <sup>a</sup>	4.36 ± 0.02 <sup>a</sup>	ND
	湿热	ND	ND	ND	12.54 ± 0.03 <sup>a</sup>	27.70 ± 0.60 <sup>a</sup>	30.14 ± 1.58 <sup>a</sup>	19.72 ± 0.87 <sup>a</sup>	4.52 ± 0.15 <sup>a</sup>	ND
葵花籽油	未处理	ND	ND	ND	12.76 ± 0.06 <sup>a</sup>	17.83 ± 0.01 <sup>a</sup>	14.65 ± 0.09 <sup>a</sup>	41.56 ± 0.16 <sup>a</sup>	7.27 ± 0.07 <sup>a</sup>	ND
	焙炒	ND	ND	ND	11.16 ± 0.23 <sup>a</sup>	17.87 ± 0.18 <sup>a</sup>	15.93 ± 0.52 <sup>a</sup>	42.55 ± 0.53 <sup>a</sup>	7.76 ± 0.04 <sup>a</sup>	ND
	湿热	ND	ND	ND	11.30 ± 0.20 <sup>a</sup>	17.78 ± 0.12 <sup>a</sup>	15.67 ± 0.42 <sup>a</sup>	42.89 ± 0.15 <sup>a</sup>	7.41 ± 0.15 <sup>a</sup>	ND

注:ND表示未检出;P.棕榈酸;S.硬脂酸;O.油酸;L.亚油酸;Ln.亚麻酸

由表3可知:不同植物油甘三酯组成特征性很强,LnLnLn、OLnLn、OLL是亚麻籽油的主要特征甘三酯;菜籽油、花生油、芝麻油和葵花籽油都含有大量的油酸和亚油酸,主要的甘三酯是OOO、OLL、OOL,三者之和占总甘三酯含量的74.04%~81.63%,与文献[21]报道相符。显著性分析结果

显示,同一油脂不同预处理方式之间无显著差异( $p > 0.05$ ),而同一甘三酯在不同植物油间存在较大的差异。

### 2.4 植物油的挥发性组分

对不同预处理方式所得植物油的挥发性组分进行测定,结果如图2所示。

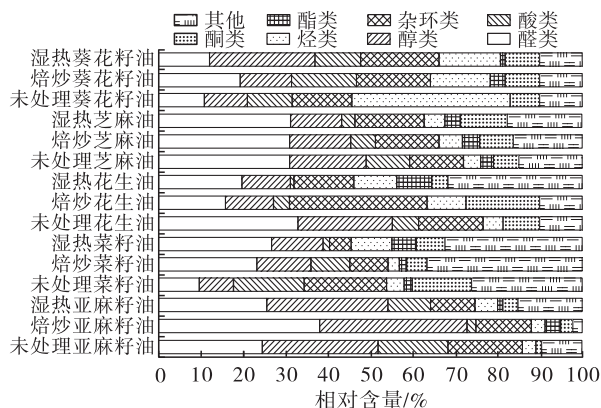
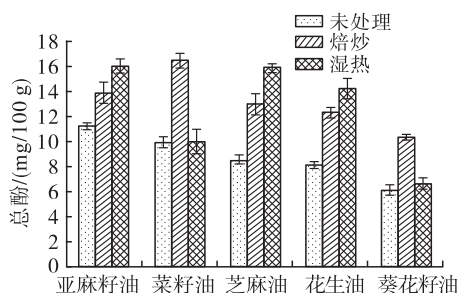


图2 5种植物油的挥发性组分

经测定,5种植物油中共检出了82种挥发性风味成分。由图2可知,未处理亚麻籽油、花生油和芝麻油中主要的挥发性物质为醛类,分别占挥发性物质总量的22.35%、32.02%和30.4%,含量较高的是(*E,E*)-2,4-癸二烯醛、(*E*)-2-壬烯醛、(*E*)-2-癸烯醛和己醛,它们是亚油酸的降解产物<sup>[22]</sup>,是甜味、榛子味和木香味的主要来源。未处理菜籽油中其他类挥发性物质含量较高,其中主要的挥发性物质为硫苷降解产物(24.91%),菜籽油是5种植物



油中唯一可提供含硫化合物的油,如5-甲硫基戊腈、3-丁烯基异硫氰酸酯和二甲基砷,这3种成分已被证明对样品的辛辣味具有重要贡献<sup>[23]</sup>。未处理葵花籽油中烃类物质含量较高,其中萜烯类化合物共9种,占总挥发性物质的31.16%,其中 $\alpha$ -蒎烯(25.29%)和白菖烯(4.14%)含量最为丰富。

由图2还可知,焙炒和湿热预处理后,菜籽油中醛类和其他类(主要是硫苷降解产物)挥发性物质含量明显增加。小分子醛类物质具有青草、果香等宜人香气<sup>[24]</sup>。焙炒花生油中主要的挥发性物质为酮类和杂环类,其中:酮类化合物一般被认为是不饱和脂肪酸的氧化降解产物,主要表现为油脂味,其阈值较高,对植物油风味的贡献不大;杂环类物质,如吡嗪,主要是由还原糖和氨基酸发生美拉德反应产生的,通常表现为烧烤味<sup>[25]</sup>。经过预处理后,葵花籽油中萜烯类化合物含量减少,吡嗪类化合物含量增加,这与Multari等<sup>[26]</sup>报道的结果相似。

## 2.5 植物油的微量营养组分

对不同预处理方式所得植物油的微量营养组分进行测定,结果如图3所示。

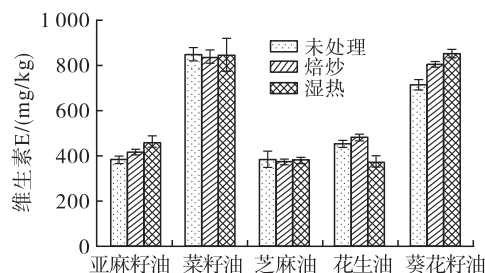


图3 5种植物油的微量营养组分

由图3可知,5种植物油的总酚含量介于6.13~16.44 mg/100 g之间,其中焙炒预处理菜籽油的总酚含量最高,未处理葵花籽油的总酚含量最低,该结果与刘慧敏<sup>[27]</sup>报道的一致。焙炒和湿热预处理后,植物油总酚含量均有所增加,其中湿热预处理芝麻油的总酚含量是未处理的1.9倍,这可能与油料细胞结构被破坏和结合酚类物质的释放有关<sup>[28]</sup>。

由图3还可知,5种植物油的 $V_E$ 含量为372.6~851.6 mg/kg,菜籽油和葵花籽油中 $V_E$ 含量整体较高,焙炒和湿热预处理对葵花籽油的 $V_E$ 含量有显著影响,分别增加了12.7%和19.2%,焙炒和湿热预处理对菜籽油、亚麻籽油、花生油和芝麻油 $V_E$ 含量影响不大,而且湿热预处理后花生油中 $V_E$ 含量略有下降,可能的原因是处理温度过高,造成 $V_E$ 分解损失<sup>[29]</sup>,这与温运启等<sup>[30]</sup>的研究结果一致。

## 3 结论

感官评价表明,湿热预处理能够获得比焙炒预处理更好的感官品质;焙炒和湿热预处理对植物油理化指标有影响,焙炒预处理亚麻籽油的酸值(KOH)最高,比未处理的高0.61 mg/g,焙炒预处理花生油的过氧化值最高,比未处理的高1.03 mmol/kg;焙炒和湿热预处理对5种植物油的脂肪酸和甘三酯组成无显著影响( $p > 0.05$ );焙炒和湿热预处理使植物油挥发性物质发生了一定的变化,对于菜籽油和葵花籽油的影响最为明显;焙炒和湿热预处理后植物油总酚含量均有所增加,特别是湿热预处理芝麻油,其总酚含量是未处理的1.9倍;焙炒和湿热预处理使葵花籽油 $V_E$ 含量显著增加,对其他植物油影响不大。综上,焙炒和湿热预处理既能提高植物油微量营养组分的含量,又能增加挥发性风味成分并提高感官品质,是理想的油料预处理方式。

## 参考文献:

- [1] YANG R N, ZHANG L X, LI P W, et al. A review of chemical composition and nutritional properties of minor vegetable oils in China[J]. Trends Food Sci Technol, 2018, 74: 26 – 32.
- [2] 张文超, 李会珍, 张志军, 等. 8 种不同植物油的脂肪酸组成及抗氧化性比较[J]. 中国油脂, 2021, 46(4): 68 – 71.
- [3] SEIQUER I, RUEDA A, OLALLA M, et al. Assessing the bioavailability of polyphenols and antioxidant properties of extra virgin argan oil by simulated digestion and Caco – 2 cell assays[J]. Food Chem, 2015, 188: 496 – 503.
- [4] 张欢欢, 高飞虎, 黄桃翠, 等. 预处理技术对冷榨双低菜籽油中脂质伴随物含量的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(8): 57 – 61.
- [5] REKAS A, SCIBISZ I, SIGER A, et al. The effect of microwave pretreatment of seeds on the stability and degradation kinetics of phenolic compounds in rapeseed oil during long – term storage[J]. Food Chem, 2017, 222: 43 – 52.
- [6] THANONKAEW A, WONGYAI S, MCCLEMENTS D J, et al. Effect of stabilization of rice bran by domestic heating on mechanical extraction yield, quality, and antioxidant properties of cold – pressed rice bran oil (*Oryza sativa* L.)[J]. LWT – Food Sci Technol, 2012, 48: 231 – 236.
- [7] MILDNER – SZKUDLARZ S, RÓZANSKA M, GACA A, et al. Changes in volatile compound profiles of cold – pressed berry seed oils induced by roasting[J/OL]. LWT – Food Sci Technol, 2021, 148: 111718[2022 – 04 – 13]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111718>.
- [8] MIZUTANI Y, SHIBATA M, YAMADA S, et al. Effects of heat treatment under low moisture conditions on the protein and oil in soybean seeds[J]. Food Chem, 2019, 275: 577 – 584.
- [9] SURI K, SINGH B, KAUR A. Impact of microwave roasting on physicochemical properties, Maillard reaction products, antioxidant activity and oxidative stability of nigella seed (*Nigella sativa* L.) oil[J/OL]. Food Chem, 2021, 368: 130777[2022 – 04 – 13]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130777>.
- [10] GHAFOR K, ÖZCAN M M, AL – JUHAIMI F, et al. Changes in quality, bioactive compounds, fatty acids, tocopherols, and phenolic composition in oven – and microwave – roasted poppy seeds and oil[J]. LWT – Food Sci Technol, 2019, 99: 490 – 496.
- [11] ZOU Y P, GAO Y Y, HE H, et al. Effect of roasting on physico – chemical properties, antioxidant capacity, and oxidative stability of wheat germ oil[J]. LWT – Food Sci Technol, 2018, 90: 246 – 253.
- [12] HEAD D S, CENKOWSKI S, ARNTFIELD S, et al. Superheated steam processing of oat groats[J]. LWT – Food Sci Technol, 2010, 43: 690 – 694.
- [13] LEE K Y, RAHMAN M S, KIM A N, et al. Effect of superheated steam treatment on yield, physicochemical properties and volatile profiles of perilla seed oil[J/OL]. LWT – Food Sci Technol, 2021, 135: 110240[2022 – 04 – 13]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110240>.
- [14] 黄颖, 郑畅, 葛正法, 等. 制油工艺对芝麻油脂肪酸和抗氧化物的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(8): 43 – 46.
- [15] 白明味, 孙泽威, 龙国徽, 等. 热处理对全脂大豆蛋白质分子结构特征、溶解度和体外消化率的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(11): 31 – 38.
- [16] WANG X G, HAN Y Z, WANG S Z, et al. Detection of Qinghai – Tibet plateau flaxseed oil adulteration based on fatty acid profiles and chemometrics [J/OL]. Food Control, 2021, 130: 108332 [2022 – 04 – 13]. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108332>.
- [17] 赵丹, 汪学德, 张润阳, 等. 制油工艺对油脂品质的影响研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(6): 11 – 15.
- [18] 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.
- [19] MAZAHERI Y, TORBATI M, AZADMARD – DAMIRCHI S, et al. Effect of roasting and microwave pre – treatments of *Nigella sativa* L. seeds on lipase activity and the quality of the oil[J]. Food Chem, 2019, 274: 480 – 486.
- [20] 王未君, 李文林, 刘昌盛, 等. 干法炒籽对油菜籽多酚和菜籽油品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(3): 98 – 103.
- [21] WEI W, SUN C, JIANG W D, et al. Triacylglycerols fingerprint of edible vegetable oils by ultra – performance liquid chromatography – Q – TOF – MS[J/OL]. LWT – Food Sci Technol, 2019, 112, 108261[2022 – 04 – 13]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108261>.
- [22] CHENG R Q, LIAO X Y, QIAN J N, et al. Effects of "nine steaming nine sun – drying" on proximate composition, oil properties and volatile compounds of black sesame seeds[J/OL]. Food Chem, 2021, 344: 128577[2022 – 04 – 13]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128577>.
- [23] 孙国昊, 刘玉兰, 连四超, 等. 油菜籽品种对浓香菜籽油风味及综合品质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 190 – 197.