

# 烘烤温度对浓香油莎豆油风味及综合品质的影响

陈璐<sup>1</sup>, 刘玉兰<sup>1</sup>, 朱文学<sup>1</sup>, 马宇翔<sup>1</sup>, 王会伟<sup>2</sup>, 李春鑫<sup>2</sup>

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 郑州 450001; 2. 河南省农业科学院经济作物研究所, 郑州 450002)

**摘要:**在浓香型油脂的生产中油料烘烤温度是影响产品风味的重要因素, 为了对浓香油莎豆油的产品开发和工艺条件优化提供支持, 采用不同温度对油莎豆进行烘烤并压榨制取浓香油莎豆油, 对油莎豆油的多个品质指标进行检测分析, 明确烘烤温度对油莎豆油风味及综合品质的影响。结果表明: 油莎豆经 140、150、160、170、180℃ 烘烤 25 min 后榨取的 5 个油样的酸值(KOH)为 1.36~2.31 mg/g, 过氧化值为 1.60~2.24 mmol/kg, 维生素 E 含量为 177.82~207.14 mg/kg, 甾醇含量为 208.73~230.01 mg/100 g; 烘烤温度对油莎豆油的脂肪酸组成影响不大, 但随温度升高反式脂肪酸含量从未检出升高至 0.029%, 3,4-苯并[a]芘(BaP)含量从 1.06 μg/kg 升高至 1.66 μg/kg, 多环芳烃(PAH16)含量从 63.67 μg/kg 升高至 72.50 μg/kg, 3-氯丙醇酯均未检出; 随烘烤温度升高, 5 个油样中挥发性成分的种类及含量分别为 60 种 16.46 mg/kg、87 种 33.07 mg/kg、81 种 22.36 mg/kg、78 种 17.71 mg/kg、57 种 21.78 mg/kg; 150℃ 烘烤时油莎豆油的挥发性成分的种类和含量最为丰富; 赋予浓香油莎豆油烘焙坚果味等正面风味属性的主要为杂环类物质, 包括 2,5-二甲基吡嗪和 2-正戊基咪喃, 其中 2,5-二甲基吡嗪在 140℃ 时的油莎豆油中未检出, 之后随烘烤温度升高, 在杂环类物质中的占比从烘烤温度 150℃ 时的 24.16% 升高至烘烤温度为 180℃ 的 34.06%。综合油莎豆油风味、安全品质、营养品质和质量指标, 浓香油莎豆油生产中以烘烤温度不超过 160℃、烘烤时间不超过 25 min 为佳。

**关键词:**油莎豆; 烘烤温度; 浓香油莎豆油; 挥发性成分; 综合品质

中图分类号: TS224.3; TS207.7 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)10-0001-07

## Effects of roasting temperature on the flavor and comprehensive quality of fragrant *Cyperus esculentus* oil

CHEN Lu<sup>1</sup>, LIU Yulan<sup>1</sup>, ZHU Wenxue<sup>1</sup>, MA Yuxiang<sup>1</sup>,  
WANG Huiwei<sup>2</sup>, LI Chunxin<sup>2</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China; 2. Industrial Crops Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** The roasting temperature of oilseeds is an important factor affecting the flavor of the product in the production of fragrant oil. In order to provide support for the product development and process optimization of fragrant *Cyperus esculentus* oil, the *Cyperus esculentus* was roasted under different temperature, and then pressed to prepare fragrant *Cyperus esculentus* oil. Multiple physicochemical indexes of pressed *Cyperus esculentus* oil were detected and analyzed to clear the effects of roasting temperature on the

收稿日期: 2022-06-23; 修回日期: 2022-08-16

基金项目: 国家重点研发计划项目“大豆及其替代作物产业链科技创新”(SQ2019YFD100114); 河南省重大科技专项“高产优质油莎豆新品种选育及产业化示范”(211100110100)

作者简介: 陈璐(1997), 女, 在读硕士, 研究方向为浓香油莎豆油的制取条件及品质(E-mail)994851580@qq.com。

通信作者: 刘玉兰, 教授, 硕士生导师(E-mail)liuy17446@163.com。

flavor and comprehensive quality of *Cyperus esculentus* oil. The results indicated that five *Cyperus esculentus* oil samples were extracted after roasting at 140, 150, 160, 170, 180℃ for 25 min had acid values of 1.36-2.31 mgKOH/g and peroxide values of 1.60-2.24 mmol/kg. The vitamin E and sterol contents were 177.82-207.14 mg/kg and 208.73-230.01 mg/100 g,

respectively. The fatty acid composition of *Cyperus esculentus* oil was not significantly affected by roasting temperature, but the *trans* - fatty acid content increased from undetectable to 0.029%, and 3,4-benzo[*a*]pyrene (BaP) content increased from 1.06  $\mu\text{g}/\text{kg}$  to 1.66  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . The content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH16) increased from 63.67  $\mu\text{g}/\text{kg}$  to 72.50  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , and 3-chloro-1,2-propanediol ester was not detected. The types and contents of volatile components in the five oil samples were 60 kinds of 16.46 mg/kg, 87 kinds of 33.07 mg/kg, 81 kinds of 22.36 mg/kg, 78 kinds of 17.71 mg/kg, and 57 kinds of 21.78 mg/kg, respectively. The most abundant volatile components were found in the oil extracted from the *Cyperus esculentus* roasted at 150 °C. The positive flavor attributes of the *Cyperus esculentus* oil with the roasted nutty flavor were mainly attributed to heterocyclic substances, including 2,5-dimethylpyrazine and 2-pentylfuran. The 2,5-dimethylpyrazine were not detected in the oil roasted at 140 °C, and then increased from 24.16% at 150 °C to 34.06% at 180 °C. According to the flavor, safety quality, nutritional quality and quality indicators, it is better that the roasting temperature should not exceed 160 °C and the roasting time should not exceed 25 min in the production of fragrant *Cyperus esculentus* oil.

**Key words:** *Cyperus esculentus*; roasting temperature; fragrant *Cyperus esculentus* oil; volatile component; comprehensive quality

油莎豆油不仅油酸含量高,且风味清香,是一种优质的高油酸型食用植物油脂<sup>[1-2]</sup>。之前对油莎豆制油工艺和油脂品质的研究主要集中于常温压榨和溶剂萃取及其所制取的油脂产品<sup>[3-4]</sup>,但制取油莎豆油风味比较清淡。然而很多消费者喜爱具有浓郁香味的植物油产品。浓香型油脂的生产是在压榨取油前先对油料进行高温烘烤或焙烤,使油料及其中油脂产生独特香味<sup>[5]</sup>,但不同的烘烤温度对风味的影响不同,温度过低形成的香味较淡,温度过高则易产生焦糊味,甚至还会产生一些有害成分如多环芳烃(PAH)、氯丙醇酯和反式脂肪酸等<sup>[6]</sup>,因此合适的烘烤温度是生产优质浓香型油脂的关键。目前,有关烘烤温度对植物油品质影响的研究多针对于花生油<sup>[7]</sup>、芝麻油<sup>[8]</sup>、葵花籽油<sup>[9]</sup>,而对油莎豆油的研究鲜有报道。为了较为准确地把握不同烘烤温度对油莎豆油风味以及综合品质的影响,本试验设置不同温度条件对油莎豆进行烘烤,之后压榨制取浓香油莎豆油,对油莎豆油中的脂肪酸组成、 $V_E$ 、甾醇、反式脂肪酸、多环芳烃、3-氯丙醇酯含量进行检测分析,并采用同时蒸馏萃取(SDE)和气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术对油莎豆油中的挥发性成分进行检测分析,研究烘烤温度对油莎豆油风味及综合品质的影响,为浓香油莎豆油的产品开发和工艺条件优化提供支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

油莎豆(豫油莎2号),由河南省农业科学院

提供。

$\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ - $\delta$ -生育酚和 $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ - $\delta$ -生育三烯酚标准品(纯度 $\geq 95.0\%$ ),Sigma-Aldrich公司; $\beta$ -谷甾醇(纯度99.5%)、豆甾醇(纯度95.0%)、菜油甾醇(纯度99.5%)、胆固醇(纯度99.0%)、 $5\alpha$ -胆甾烷醇(纯度 $\geq 95.0\%$ ),美国Sigma公司;PAH16混标(200  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,98%),o2si公司提供,其中有10种轻质多环芳烃和6种重质多环芳烃,包括萘、苊烯、苊、芴、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并[*a*]蒽、蒾、苯并[*b*]荧蒽、苯并[*k*]荧蒽、3,4-苯并[*a*]芘(BaP)、茚并[1,2,3-*c,d*]芘、二苯并[*a,h*]蒽、苯并[*g,h,i*]芘;16种氘代同位素内标(97%),Dr. Ehrenstorfer GmbH公司;3-油酸-2-氯丙醇酯和1,2-二亚油酸-3-氯丙醇酯标准品(97%)溶于甲醇-异丙醇(2  $\mu\text{g}/\text{mL}$ );1,2-二月桂酸-3-氯丙醇酯-d5和氘代油酸缩水甘油酯标准品(97%)溶于甲醇-异丙醇(2  $\mu\text{g}/\text{mL}$ );N,O-双三甲基硅基三氟乙酰胺(BSTFA)+1%三甲基氯硅烷(TMCS),Fluka公司;正己烷(分析纯)、异丙醇(色谱纯),美国VBS公司;冰乙酸、三氯甲烷、碘化钾、无水乙醇、硫代硫酸钠、无水硫酸钠、盐酸等,均为分析纯。

#### 1.1.2 仪器与设备

6YZ-180型全自动液压榨油机,郑州八方机械设备有限公司;7890B型气相色谱仪、7890B/5975B气相色谱-质谱联用仪,美国安捷伦科技有限公司;Waters e2695型高效液相色谱仪,美国Waters公司;T7-L3840D型电烤箱,广东美的厨房电器制造有限公司;MTN-2008W氮吹浓缩仪,天津奥特赛恩

斯仪器有限公司;WLS-2型罗维朋比色计,上海仪电物理光学仪器有限公司;同时蒸馏萃取装置,郑州兴华玻璃仪器厂。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 油样的制备

将新鲜油莎豆筛选除杂、清洗、晾干后,取1 kg油莎豆平铺于烤盘放入电烤箱,分别于140、150、160、170、180℃烘烤25 min,期间翻动3次,烘烤完成后取出冷却至室温,粉碎过0.85 mm(20目)筛,用脱脂纱布包裹放入液压榨油机中压榨(压力50 MPa),制得浓香油莎豆油。

### 1.2.2 油样主要指标检测

酸值测定参照GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》;过氧化值测定参照GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》;色泽测定参照GB/T 22460—2008《动植物油脂 罗维朋色泽的测定》; $V_E$ 测定参照GB/T 26635—2011《动植物油脂 生育酚及生育三烯酚含量测定 高效液相色谱法》和温运启等<sup>[10]</sup>方法;甾醇测定参照GB/T 25223—2010《动植物油脂

甾醇组成和甾醇总量的测定 气相色谱法》和邓金良等<sup>[11]</sup>的方法;脂肪酸组成测定参照GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》中的归一化法;多环芳烃测定参照GB/T 23213—2008《植物油中多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法》和张东东等<sup>[12]</sup>的方法;反式脂肪酸测定参照GB 5009.257—2016《食品安全国家标准 食品中反式脂肪酸的测定》;3-氯丙醇酯测定参照GB 5009.191—2016《食品安全国家标准 食品中氯丙醇及其脂肪酸酯含量的测定》中第三法及苗雨田等<sup>[13]</sup>的方法;挥发性风味成分测定参照刘玉兰等<sup>[14]</sup>的方法,采用同时蒸馏萃取(SDE)和气相色谱-质谱(GC-MS)技术对油莎豆油中挥发性风味成分进行定量检测分析。

### 1.2.3 数据处理

试验结果用Excel-2019处理,用GraphPad Prism 8绘图,使用IBM SPSS Statistics 25软件作单因素方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 烘烤温度对油莎豆油质量指标的影响(见表1)

表1 烘烤温度对油莎豆油质量指标的影响

项目	140℃	150℃	160℃	170℃	180℃
酸值(KOH)/(mg/g)	2.13 ± 0.03 <sup>ab</sup>	1.44 ± 0.11 <sup>c</sup>	1.36 ± 0.11 <sup>c</sup>	1.80 ± 0.24 <sup>b</sup>	2.31 ± 0.25 <sup>a</sup>
过氧化值/(mmol/kg)	1.60 ± 0.04 <sup>e</sup>	1.66 ± 0.17 <sup>d</sup>	1.80 ± 0.09 <sup>c</sup>	2.05 ± 0.22 <sup>b</sup>	2.24 ± 0.13 <sup>a</sup>
色泽					
红(R)	3.20 ± 0.05 <sup>d</sup>	3.65 ± 0.07 <sup>a</sup>	3.30 ± 0.04 <sup>c</sup>	3.15 ± 0.15 <sup>e</sup>	3.40 ± 0.11 <sup>b</sup>
黄(Y)	70.00 ± 0.00	70.00 ± 0.00	70.00 ± 0.00	70.00 ± 0.00	70.00 ± 0.00

注:同行不同肩标字母表示差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。下同

由表1可见,烘烤温度对油莎豆油的酸值和过氧化值具有显著性影响( $p < 0.05$ )。除140℃和150℃烘烤时油莎豆油的酸值之外,随着烘烤温度的升高,油莎豆油的酸值和过氧化值均持续升高,这可能是由于随着烘烤温度升高油脂中不饱和脂肪酸氧化酸败程度加深所致<sup>[15]</sup>。但5个烘烤温度下油莎豆油的酸值和过氧化值均符合LS/T 3259—2018

《油莎豆油》中的限量要求(酸值(KOH) ≤ 4 mg/g、过氧化值 ≤ 9.85 mmol/kg)。色泽是食用植物油最直观的感官品质,随着烘烤温度的升高,油莎豆油的色泽呈波动变化,其色泽与烘烤过程糖类焦化形成色素随油脂溶出有关。

### 2.2 烘烤温度对油莎豆油中 $V_E$ 含量的影响(见表2)

表2 烘烤温度对油莎豆油中 $V_E$ 含量的影响

$V_E$ 组分	含量/(mg/kg)				
	140℃	150℃	160℃	170℃	180℃
$\alpha$ -生育酚	140.68 ± 1.49 <sup>c</sup>	142.87 ± 1.05 <sup>b</sup>	146.22 ± 1.23 <sup>a</sup>	134.71 ± 0.97 <sup>d</sup>	123.68 ± 1.36 <sup>c</sup>
$\alpha$ -生育三烯酚	2.23 ± 0.88 <sup>c</sup>	2.31 ± 0.67 <sup>b</sup>	2.92 ± 0.13 <sup>a</sup>	1.08 ± 0.18 <sup>e</sup>	1.53 ± 0.20 <sup>d</sup>
$\beta$ -生育酚	41.46 ± 0.28 <sup>c</sup>	42.26 ± 1.36 <sup>a</sup>	41.51 ± 1.03 <sup>b</sup>	37.92 ± 0.32 <sup>d</sup>	37.51 ± 1.14 <sup>e</sup>
$\beta$ -生育三烯酚	3.81 ± 0.51 <sup>c</sup>	3.73 ± 1.05 <sup>d</sup>	4.65 ± 0.56 <sup>a</sup>	3.40 ± 0.18 <sup>e</sup>	4.07 ± 0.05 <sup>b</sup>
$\gamma$ -生育酚	3.03 ± 0.14 <sup>e</sup>	4.19 ± 0.96 <sup>b</sup>	4.36 ± 0.28 <sup>a</sup>	3.64 ± 0.39 <sup>d</sup>	4.11 ± 0.17 <sup>c</sup>
$\gamma$ -生育三烯酚	2.59 ± 0.25 <sup>b</sup>	2.27 ± 0.46 <sup>bc</sup>	2.98 ± 1.03 <sup>a</sup>	2.14 ± 0.05 <sup>c</sup>	2.78 ± 1.11 <sup>a</sup>
$\delta$ -生育酚	1.78 ± 0.21 <sup>d</sup>	1.67 ± 0.19 <sup>e</sup>	2.17 ± 0.26 <sup>b</sup>	2.38 ± 0.24 <sup>a</sup>	1.92 ± 0.23 <sup>c</sup>
$\delta$ -生育三烯酚	2.57 ± 0.52 <sup>b</sup>	2.83 ± 0.22 <sup>a</sup>	2.33 ± 0.43 <sup>d</sup>	2.49 ± 0.41 <sup>c</sup>	2.22 ± 0.25 <sup>e</sup>
合计	198.16 ± 3.01 <sup>c</sup>	202.13 ± 5.08 <sup>b</sup>	207.14 ± 2.87 <sup>a</sup>	187.75 ± 1.14 <sup>d</sup>	177.82 ± 5.18 <sup>e</sup>

$V_E$ 是植物油中的一种天然活性物质,也是一种重要的营养物质,具有抗氧化、抗衰老的功效。由表2可见,油莎豆油中共检出8种 $V_E$ 组分,分别是 $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -生育酚及其对应的生育三烯酚,烘烤温度对油莎豆油中 $V_E$ 含量具有显著影响( $p < 0.05$ )。5个烘烤温度下油莎豆油中 $V_E$ 总含量范围为177.82~207.14 mg/kg,8种组分中含量最高的是生物活性最强的 $\alpha$ -生育酚<sup>[16]</sup>,占 $V_E$ 总含量的69.55%~71.75%。随烘烤温度升高, $V_E$ 总含量呈先升高后降低的趋势。烘烤温度从140℃升高至

160℃时, $V_E$ 总含量由198.16 mg/kg增加至207.14 mg/kg,这可能是因为热处理使油料细胞被破坏,从而有利于 $V_E$ 随油脂溶出<sup>[17]</sup>。但随烘烤温度的持续升高,至180℃时 $V_E$ 总含量降低至177.82 mg/kg,这可能是过高温条件导致 $V_E$ 氧化分解所致。宋二立等<sup>[18]</sup>也从油莎豆油中检出8种 $V_E$ 组分,但含量高于本研究结果,这可能是由油莎豆品种和产地不同造成的。

### 2.3 烘烤温度对油莎豆油中甾醇含量的影响(见表3)

表3 烘烤温度对油莎豆油中甾醇含量的影响

甾醇	含量/(mg/100 g)				
	140℃	150℃	160℃	170℃	180℃
菜油甾醇	34.06 ± 0.09 <sup>b</sup>	30.52 ± 0.55 <sup>c</sup>	33.68 ± 1.38 <sup>b</sup>	35.79 ± 0.66 <sup>b</sup>	39.46 ± 0.9 <sup>a</sup>
豆甾醇	35.87 ± 0.2 <sup>bc</sup>	36.62 ± 0.99 <sup>ab</sup>	31.73 ± 1.4 <sup>d</sup>	34.06 ± 0.16 <sup>cd</sup>	38.34 ± 1.12 <sup>a</sup>
谷甾醇	143.15 ± 0.27 <sup>ab</sup>	141.94 ± 1.77 <sup>b</sup>	143.32 ± 7.57 <sup>ab</sup>	138.96 ± 0.85 <sup>b</sup>	152.19 ± 2.13 <sup>a</sup>
合计	213.08 ± 0.01 <sup>b</sup>	209.08 ± 3.31 <sup>b</sup>	208.73 ± 10.36 <sup>b</sup>	208.82 ± 1.35 <sup>b</sup>	230.01 ± 4.15 <sup>a</sup>

植物甾醇是一种广泛存在于植物体中的活性成分,具有多种生理功能,如抗高血脂症、预防心血管疾病、预防癌症等<sup>[19]</sup>。由表3可见,烘烤温度对油莎豆油中甾醇含量具有显著影响( $p < 0.05$ ),5个烘烤温度下油莎豆油中甾醇总含量范围为208.73~230.01 mg/100 g,油莎豆油中的主要甾醇为菜油甾醇、豆甾醇、谷甾醇,其中谷甾醇的含量占比最高,为66.17%~68.66%。刘玉兰等<sup>[3]</sup>报道了不同工艺制

取的油莎豆油甾醇总含量范围为119.91~174.76 mg/100 g,略低于本研究结果,可能与原料品种和产地不同有关。烘烤温度为180℃时油莎豆油甾醇含量最高,可能是因为温度升高对油料细胞的破坏程度大,有利于甾醇随油脂溶出<sup>[20]</sup>。

### 2.4 烘烤温度对油莎豆油脂肪酸组成及含量的影响(见表4)

表4 烘烤温度对油莎豆油脂肪酸组成及含量的影响

脂肪酸	含量/%				
	140℃	150℃	160℃	170℃	180℃
C16:0	13.76 ± 0.02 <sup>c</sup>	14.12 ± 0.10 <sup>a</sup>	13.62 ± 0.06 <sup>d</sup>	13.78 ± 0.07 <sup>c</sup>	14.07 ± 0.08 <sup>b</sup>
C16:1	0.28 ± 0.00	0.26 ± 0.01	0.28 ± 0.01	0.29 ± 0.02	0.29 ± 0.00
C18:0	2.18 ± 0.06 <sup>a</sup>	2.06 ± 0.10 <sup>d</sup>	2.11 ± 0.02 <sup>b</sup>	2.09 ± 0.02 <sup>c</sup>	2.00 ± 0.09 <sup>c</sup>
C18:1	72.00 ± 0.06 <sup>b</sup>	72.14 ± 0.12 <sup>b</sup>	72.41 ± 0.04 <sup>a</sup>	72.01 ± 0.01 <sup>b</sup>	72.05 ± 0.08 <sup>b</sup>
C18:2	11.57 ± 0.01 <sup>b</sup>	11.24 ± 0.02 <sup>c</sup>	11.41 ± 0.04 <sup>d</sup>	11.68 ± 0.07 <sup>a</sup>	11.45 ± 0.02 <sup>c</sup>
C18:3	0.21 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.18 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.17 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.15 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.14 ± 0.02 <sup>c</sup>
MUFA	72.28 ± 0.05 <sup>d</sup>	72.40 ± 0.12 <sup>b</sup>	72.69 ± 0.04 <sup>a</sup>	72.30 ± 0.03 <sup>d</sup>	72.34 ± 0.08 <sup>c</sup>
PUFA	11.78 ± 0.00 <sup>b</sup>	11.42 ± 0.01 <sup>d</sup>	11.58 ± 0.06 <sup>c</sup>	11.83 ± 0.01 <sup>a</sup>	11.59 ± 0.02 <sup>c</sup>
UFA	84.06 ± 0.04 <sup>c</sup>	83.82 ± 0.12 <sup>c</sup>	84.27 ± 0.06 <sup>a</sup>	84.13 ± 0.08 <sup>b</sup>	83.93 ± 0.10 <sup>d</sup>
SFA	15.94 ± 0.07 <sup>c</sup>	16.18 ± 0.01 <sup>a</sup>	15.73 ± 0.04 <sup>c</sup>	15.87 ± 0.05 <sup>d</sup>	16.07 ± 0.11 <sup>b</sup>

由表4可见,油莎豆油中的脂肪酸以油酸、棕榈酸、亚油酸为主,其中油酸和亚油酸的含量分别为72.00%~72.41%、11.24%~11.68%,棕榈酸含量为13.62%~14.12%。烘烤温度不同,对油莎豆油中棕榈酸、亚油酸、油酸含量造成差别,5个烘烤温度下油莎豆油中除硬脂酸和亚麻酸(除140℃)含量稍低于LS/T 3259—2018《油莎豆油》中规定的

2.4%~4.9%、0.2%~1.9%之外,其他基本在标准要求范围内。

### 2.5 烘烤温度对油莎豆油中反式脂肪酸和3-氯丙醇酯含量的影响(见表5)

反式脂肪酸是所有含反式非共轭双键的不饱和脂肪酸的总称,人体摄入过多的反式脂肪酸会导致或加重心血管疾病。由表5可见,在烘烤温度为

140℃时未检出反式脂肪酸,150℃以后则开始出现反油酸( $C_{18:1\Delta 9t}$ )和反亚油酸( $C_{18:2\Delta 9,12t}$ ),并且随烘烤温度升高反式脂肪酸含量增加。在5个烘烤温度下油莎豆油样品中均未检测出3-氯丙醇酯(所采用

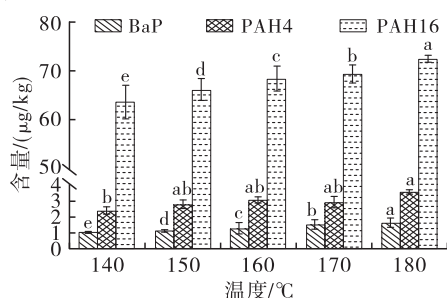
检测方法对3-氯丙醇酯的检出限为0.01 mg/kg,定量限为0.025 mg/kg),符合欧盟规定的一般食用植物油中3-氯丙醇酯的限量为1.25 mg/kg<sup>[21]</sup>。

表5 烘烤温度对油莎豆油中反式脂肪酸及3-氯丙醇酯含量的影响

项目	含量/%				
	140℃	150℃	160℃	170℃	180℃
反式脂肪酸					
$C_{18:1\Delta 9t}$	-	0.010 ± 0.000 <sup>d</sup>	0.012 ± 0.007 <sup>c</sup>	0.014 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.019 ± 0.003 <sup>a</sup>
$C_{18:2\Delta 9,12t}$	-	0.007 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.010 ± 0.005 <sup>a</sup>	0.011 ± 0.003 <sup>a</sup>	0.010 ± 0.002 <sup>a</sup>
$C_{18:3\Delta 9,12,15t}$	-	-	-	-	-
合计	-	0.017 ± 0.006 <sup>d</sup>	0.022 ± 0.007 <sup>c</sup>	0.025 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.029 ± 0.005 <sup>a</sup>
3-氯丙醇酯	-	-	-	-	-

注: -表示未检出。下同

## 2.6 烘烤温度对油莎豆油中多环芳烃含量的影响 (见图1)



注: 同指标不同字母表示具有显著性差异( $p < 0.05$ )

图1 烘烤温度对油莎豆油中多环芳烃含量的影响

多环芳烃是一类由两个或两个以上稠合芳香环构成的有毒污染物,大多具有致癌性,其中BaP是典型的致癌组分。GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》规定食用植物油中BaP限量为10 μg/kg;欧洲食品安全局(EFSA) No 835/2011 规定

直接供人类消费的食用油(不含可可油和椰子油)中BaP含量不超过2 μg/kg,PAH4(即苯并[a]芘、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽4种多环芳烃)限量为10 μg/kg<sup>[22]</sup>。PAH16则包含了10种轻质和6种重质多环芳烃,目前虽没有限量规定,但其含量常用于评价食用植物油在多环芳烃方面的安全风险程度。由图1可见,油莎豆油中BaP、PAH4、PAH16含量均随烘烤温度升高而增加,烘烤温度从140℃升高至180℃,BaP含量从1.06 μg/kg增加至1.66 μg/kg,PAH4含量从2.43 μg/kg增加至3.62 μg/kg,PAH16含量则由63.67 μg/kg增加至72.50 μg/kg,虽然BaP和PAH4均未超出欧盟限量指标,但180℃时的含量是140℃时的1.5倍左右。

## 2.7 烘烤温度对油莎豆油中挥发性成分的影响 (见表6)

表6 不同烘烤温度对油莎豆油中挥发性成分种类和含量的影响

挥发性成分	140℃		150℃		160℃		170℃		180℃	
	种类	含量/(mg/kg)	种类	含量/(mg/kg)	种类	含量/(mg/kg)	种类	含量/(mg/kg)	种类	含量/(mg/kg)
杂环类(吡嗪类)	0	0	9	2.16 ± 0.10	10	2.17 ± 0.11	10	1.88 ± 0.09	7	2.13 ± 0.02
杂环类(呋喃类)	2	2.26 ± 0.10	2	2.33 ± 0.21	2	2.99 ± 0.11	1	0.41 ± 0.00	2	0.80 ± 0.01
烷烃类	16	2.84 ± 0.12	19	6.05 ± 0.26	18	2.57 ± 0.86	12	3.64 ± 0.36	11	5.59 ± 1.21
烯烃类	7	0.46 ± 0.01	9	0.63 ± 0.10	9	0.52 ± 0.01	9	0.58 ± 0.01	4	0.32 ± 0.10
酯类	9	0.73 ± 0.10	8	0.89 ± 0.11	8	0.78 ± 0.01	6	0.49 ± 0.02	5	1.12 ± 0.20
醛类	15	9.27 ± 0.54	21	17.32 ± 1.21	19	11.02 ± 1.01	20	7.03 ± 0.10	13	9.80 ± 0.53
酮类	3	0.26 ± 0.10	7	0.63 ± 0.11	4	0.34 ± 0.01	8	1.82 ± 0.03	4	0.65 ± 0.01
酸类	2	0.15 ± 0.01	1	0.12 ± 0.00	3	0.73 ± 0.01	2	0.59 ± 0.01	3	0.63 ± 0.01
醇类	4	0.32 ± 0.01	8	2.07 ± 0.18	5	0.48 ± 0.01	6	1.16 ± 1.02	5	0.42 ± 0.00
其他类	2	0.16 ± 0.01	3	0.83 ± 0.01	3	0.77 ± 0.02	4	0.10 ± 0.01	3	0.31 ± 0.01
总量	60	16.46 ± 1.24	87	33.07 ± 1.81	81	22.36 ± 2.00	78	17.71 ± 1.53	57	21.78 ± 2.05

5个烘烤温度下油莎豆油中共检测出酯类、烷烃类、烯烃类、杂环类(呋喃类、吡嗪类)、醛类、醇类、酸类、酮类、苯类等11类142种挥发性成分。由表6可见,随烘烤温度升高,油莎豆油中挥发性成分的种类及含量分别为60种16.46 mg/kg、87种33.07 mg/kg、81种22.36 mg/kg、78种17.71 mg/kg、57种21.78 mg/kg,150℃时油莎豆油挥发性成分的种类和含量最为丰富。5个烘烤温度下油莎豆油挥发性成分中9类成分的占比分别为酯类2.68%~5.15%、烷烃类11.47%~25.65%、烯烃类1.46%~3.27%、杂环类12.88%~23.09%、醛类39.49%~56.46%、醇类1.94%~7.05%、酸类0.37%~3.31%、酮类1.52%~10.22%、其他类(苯、酚、醚等)0.57%~3.42%。

5个烘烤温度下油莎豆油挥发性成分中醛类物质含量和占比都最高。醛类物质是一种普遍存在于植物油中的挥发性成分,根据碳链结构可将其分为直链醛和支链醛,直链醛是不饱和脂肪酸的氧化产物,而支链醛来源于Strecker降解反应<sup>[23]</sup>。有些醛类物质表现出令人愉悦的气味,对于植物油风味的形成起着积极作用<sup>[24]</sup>。在150℃烘烤下油莎豆油中醛类物质含量最高,为17.32 mg/kg,之后随烘烤温度升高,醛类物质含量有所降低,这可能是由于醛类物质参与美拉德反应或其他化学反应而含量有所降低<sup>[25]</sup>。醛类物质中含量最高的成分是正己醛和壬醛,分别占醛类物质的30.06%~60.81%和6.68%~25.55%,正己醛浓度较低时一般表现为果香味和清香味,高浓度时则表现为腥味<sup>[26]</sup>,壬醛来源于油酸和亚油酸的氧化分解,气味特征表现为油脂味、青草香;正辛醛、糠醛、(E)-2-庚烯醛分别表现为橘子味、焦糖味、焦糊味。醛类物质中正辛醛和(E)-2-庚烯醛含量分别占3.34%~4.88%和0.10%~1.72%;此外,在烘烤温度为150、160、170℃的油莎豆油中检出糠醛(0.13%~1.24%),糠醛多表现出焦糖味。

油莎豆油挥发性成分中次于醛类物质含量的是杂环类物质或烷烃类物质,5个烘烤温度下油莎豆油中杂环类物质含量为2.26~5.16 mg/kg,占总挥发性成分的12.88%~23.09%。杂环类物质包括呋喃类和吡嗪类,在杂环类物质中占比较高的是2-正戊基呋喃和2,5-二甲基吡嗪,其中:2-正戊基呋喃占杂环类物质的14.21%~45.72%,其来源于焦糖化反应和脂质氧化反应,香气特征表现为焦糖味;2,5-二甲基吡嗪在烘烤温度为140℃时的油莎豆油中未检出,之后随烘烤温度升高其含量增加,

在杂环类物质中的占比从烘烤温度150℃时的24.16%升高至烘烤温度为180℃时的34.06%,2,5-二甲基吡嗪气味特征表现为烤坚果味。研究表明,吡嗪类物质的阈值较低,对风味整体贡献较大<sup>[27]</sup>。

5个烘烤温度下油莎豆油中烷烃类成分的含量为2.57~6.05 mg/kg,占挥发性成分总量的11.47%~25.65%。烷烃类物质来源于脂肪酸烷基自由基的均裂,这类物质的阈值普遍较高,对整体风味的贡献较小<sup>[28]</sup>。酯类物质含量为0.49~1.12 mg/kg,占总挥发性成分的2.68%~5.15%,酯类一般由脂质分解或者酸类、醇类的酯化反应生成,具有典型的花香、水果香,且阈值较低<sup>[29]</sup>。醇类物质含量为0.32~2.07 mg/kg,占挥发性成分总量的1.94%~7.05%,醇类物质的阈值普遍较高,虽然不能对风味产生直接贡献,但可以对其他风味成分产生辅助和增强的作用<sup>[30]</sup>。酮类物质含量为0.26~1.82 mg/kg,占挥发性成分总量的1.52%~10.22%,酮类物质主要来源于美拉德反应或者醛类物质的氧化分解,这类物质阈值较高,可通过与其他成分相互作用使油脂的整体风味得到增强<sup>[31]</sup>。

### 3 结论

通过对不同烘烤温度下的油莎豆压榨所制取浓香油莎豆油的综合品质分析,结果表明:随烘烤温度升高油莎豆油的过氧化值持续升高; $V_E$ 在160℃时含量最高,甾醇在180℃时含量最高;反式脂肪酸和多环芳烃含量随烘烤温度升高而增加,但5个烘烤温度下油莎豆油中均未检出3-氯丙醇酯。在150℃烘烤温度下油莎豆油中挥发性成分的种类和含量最为丰富,分别为87种和33.07 mg/kg,挥发性成分中醛类物质含量最高(17.32 mg/kg、占比52.44%),主要成分是正己醛和壬醛。综合油莎豆油风味、安全品质、营养品质和质量指标,浓香油莎豆油生产中以烘烤温度不超过160℃、烘烤时间不超过25 min为佳。本文研究结果可为浓香油莎豆油生产时综合品质的精准调控提供支持。

### 参考文献:

- [1] 张学昆. 我国油莎豆产业研发进展报告[J]. 中国农村科技, 2019(4):67-69.
- [2] 师茜, 田丽萍, 薛琳, 等. 油莎豆油与其他植物油主要脂肪酸的分析比较[J]. 食品工业, 2016, 37(1):52-54.
- [3] 刘玉兰, 田瑜, 王璐阳, 等. 不同制油工艺对油莎豆油品质影响的研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(7):1-5.
- [4] 王盈希, 吴苏喜, 周利平, 等. 油莎豆品质分析及加工

- 利用研究进展[J]. 食品工业, 2020, 41(10):273 - 276.
- [5] 刘玉兰. 现代植物油料油脂加工技术[M]. 郑州:河南科学技术出版社, 2015.
- [6] 刘春梅, 刘玉兰, 马宇翔, 等. 油菜籽炒籽温度对其油脂风味及综合品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(3):67 - 74, 83.
- [7] 刘云花, 杨颖, 胡晖, 等. 花生油风味物质解析及风味增强研究进展[J]. 中国油脂, 2017, 42(3):30 - 34.
- [8] 马雪婷, 尹文婷, 李诗佳, 等. 炒籽温度对芝麻油香气活性组分和感官品质的影响[J]. 中国油脂, 2021, 46(8):6 - 11.
- [9] 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.
- [10] 温运启, 刘玉兰, 王璐阳, 等. 不同食用植物油中维生素E组分及含量研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(3):35 - 39.
- [11] 邓金良, 刘玉兰, 肖天真, 等. 不同抗氧化剂对花生油和大豆油氧化稳定性及预测货架期的影响[J]. 中国油脂, 2019, 44(8):35 - 40.
- [12] 张东东, 刘玉兰, 马宇翔, 等. SPE净化-同位素稀释-GC-MS法检测食用油脂中16种多环芳烃[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(1):53 - 59.
- [13] 苗雨田, 杨悠悠, 王浩, 等. 气相色谱-质谱法测定食用油中3-氯丙醇酯[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(11):135 - 139.
- [14] 刘玉兰, 舒垚, 孙国昊, 等. 花生品种对花生酱风味及综合品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(9):15 - 21.
- [15] SURI K, SINGH B, KAUR A, et al. Impact of infrared and dry air roasting on the oxidative stability, fatty acid composition, Maillard reaction products and other chemical properties of black cumin (*Nigella sativa* L.) seed oil[J]. Food Chem, 2019, 295(15):537 - 547.
- [16] SHAHIDI F, CAMARGO A C. Tocopherols and tocotrienols in common and emerging dietary sources: occurrence, applications, and health benefits[J]. Int J Mol Sci, 2016, 17(10):1745 - 1773.
- [17] POTOČNIK T, CIZEJ M R, KOSIR I J. Influence of seed roasting on pumpkin seed oil tocopherols, phenolics and antiradical activity[J]. J Food Compos Anal, 2018, 69:7 - 12.
- [18] 宋二立, 刘玉兰, 朱文学, 等. 原料品质和制油方法对油莎豆油综合品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(3):99 - 103, 126.
- [19] HU Q, ZHAO Z, FANG S, et al. Phytosterols improve immunity and exert anti-inflammatory activity in weaned piglets[J]. J Sci Food Agric, 2017, 97(12):4103 - 4109.
- [20] 余盖文, 史训旺, 洪梦佳, 等. 压力炒籽技术在生产压榨亚麻籽油中的应用研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(8):6 - 10.
- [21] Oils & Fats International. EU considers maximum limits for 3-MCPD and 3-MPDEs in oils and fats[EB/OL]. (2019 - 07 - 23) [2022 - 06 - 23]. <https://www.ofimagazine.com/news/eu-considers-maximum-limits-for-3-mcpd-and-3-mpdes-in-oils-and-fats>.
- [22] DRABOVA L, TOMANIOVA M, KALACHOVA K, et al. Application of solid phase extraction and two-dimensional gas chromatography coupled with time-of-flight mass spectrometry for fast analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetable oils[J]. Food Control, 2013, 33(2):489 - 497.
- [23] BREWER M S. Irradiation effects on meat flavor: a review[J]. Meat Sci, 2009, 81(1):1 - 14.
- [24] GIUFFRÈ M, CAPOCASALE M, MACRÌ R, et al. Volatile profiles of extra virgin olive oil, olive pomace oil, soybean oil and palm oil in different heating conditions[J/OL]. LWT - Food Sci Technol, 2020, 117:108631 [2022 - 06 - 23]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108631>.
- [25] 周瑞宝. 芝麻香油风味成分[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(3):310 - 315.
- [26] 田淑琳, 周文红, 刘小玲, 等. 基于GC-O-MS和ROAV法的马氏珍珠贝挥发性风味成分及腥味特征物质分析[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(4):573 - 579.
- [27] YANG K M, CHAO L K P, WU C S, et al. Headspace solid-phase microextraction analysis of volatile components in peanut oil[J/OL]. Molecules (Basel, Switzerland), 2021, 26(11):3306 [2022 - 06 - 23]. <https://doi.org/10.3390/molecules26113306>.
- [28] DUFLOS G, COIN V M, CORNU M, et al. Determination of volatile compounds to characterize fish spoilage using headspace/mass spectrometry and solid-phase microextraction/gas chromatography/mass spectrometry[J]. J Sci Food Agric, 2006, 86(4):600 - 611.
- [29] SUN W Z, ZHAO Q Z, ZHAO H F, et al. Volatile compounds of cantonese sausage released at different stages of processing and storage[J]. Food Chem, 2010, 121(2):319 - 325.
- [30] 刘燕, 王雪梅, 陶璇, 等. 不同干燥方法对郫县豆瓣挥发性风味成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(9):110 - 116.
- [31] 常海军, 周文斌, 朱建飞. 重庆城口香肠挥发性风味成分的分离与鉴定[J]. 食品科学, 2016, 37(6):153 - 159.