

# 鸡油二次干法分提工艺优化 及其对脂肪酸组成的影响

李小红<sup>1</sup>, 郑茵<sup>2</sup>, 吴绍宗<sup>1</sup>, 郭宗林<sup>1</sup>, 刘文博<sup>3</sup>, 朱展鹏<sup>1</sup>, 吴楠<sup>1</sup>, 甘恬<sup>1</sup>, 林捷<sup>1,4</sup>

(1. 华南农业大学食品学院, 广州 510642; 2. 华南农业大学测试中心, 广州 510642; 3. 广州市江丰实业股份有限公司, 广州 510450; 4. 禽畜产品精准加工与安全控制国家地方联合工程研究中心, 广州 510642)

**摘要:**旨在为开发高附加值鸡油产品提供原料, 以黄羽肉鸡腹脂为原料, 利用二次干法分提技术提取富含不饱和脂肪酸的鸡液油。以鸡液油得率、碘值为评价指标, 通过单因素试验和正交试验对一次干法分提和二次干法分提工艺条件进行优化, 并对分提前后鸡油的脂肪酸组成进行分析。结果表明: 一次干法分提最优工艺条件为冷却速率 8 °C/h、结晶温度 24 °C、养晶时间 9 h, 在此条件下鸡液油得率为 77.71%, 碘值(I)为 75.89 g/100 g, 不饱和脂肪酸含量由原料粗鸡油的 63.87% 提高至 70.44%; 二次干法分提最优工艺条件为结晶温度 16 °C、冷却速率 2 °C/h、养晶时间 15 h, 在此条件下鸡液油得率为 78.85%, 碘值(I)为 81.52 g/100 g, 不饱和脂肪酸含量为 73.40%。综上, 与原料粗鸡油相比, 一次干法分提后鸡液油的不饱和脂肪酸含量有所提高, 二次干法分提后鸡液油的不饱和脂肪酸含量进一步提高。

**关键词:**鸡腹脂; 二次干法分提; 鸡液油; 碘值; 脂肪酸组成

中图分类号: TS224.6; TS225.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2024)10-0001-06

## Optimization of chicken oil secondary dry fractionation and its effect on fatty acid composition

LI Xiaohong<sup>1</sup>, ZHENG Yin<sup>2</sup>, WU Shaozong<sup>1</sup>, GUO Zonglin<sup>1</sup>, LIU Wenbo<sup>3</sup>, ZHU Zhanpeng<sup>1</sup>, WU Nan<sup>1</sup>, GAN Tian<sup>1</sup>, LIN Jie<sup>1,4</sup>

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Test Center of South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. Guangzhou Jiangfeng Industrial Co., Ltd., Guangzhou 510450, China; 4. National and Local Joint Engineering Research Center for Precision Processing and Safety Control of Livestock Products, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** In order to provide raw materials for developing high value-added chicken oil products, the chicken olein rich in unsaturated fatty acids was fractionated from yellow feather broiler belly fat by secondary dry fractionation technology. The extraction conditions of single and secondary dry fractionation were optimized by single factor test and orthogonal test with the yield and iodine value of the chicken olein as indexes. The fatty acid composition of chicken oil before and after fractionation was analyzed. The results showed that the optimal conditions for single dry fractionation were cooling rate 8 °C/h, crystallization temperature 24 °C, and crystallization time 9 h. Under these conditions, the yield of

chicken olein was 77.71%, the iodine value was 75.89 g/100 g, and the content of unsaturated fatty acids increased from 63.87% to 70.44%. Under the optimal conditions for secondary dry fractionation of cooling rate 2 °C/h, crystallization temperature 16 °C, and crystallization time 15 h, the yield of chicken olein was 78.85%, the

收稿日期: 2023-06-12; 修回日期: 2024-06-15

基金项目: 2023年广东省现代农业产业技术体系创新团队建设(2023KJ128)

作者简介: 李小红(1991), 女, 硕士研究生, 研究方向为禽畜产品加工与控制(E-mail)229509805@qq.com。

通信作者: 林捷, 副教授, 硕士(E-mail)13926450896@139.com。

iodine value was 81.52 gI/100 g, and the content of unsaturated fatty acids was 73.40%. In conclusion, compared with raw chicken oil, the content of unsaturated fatty acid of chicken olein increases after single dry fractionation, and the unsaturated fatty acid content of chicken olein can be further increased after the secondary dry fractionation.

**Key words:** chicken belly fat; secondary dry fractionation; chicken olein; iodine value; fatty acid composition

我国是肉鸡养殖和消费大国,据农业农村部统计,2022年我国黄羽肉鸡累计出栏37.3亿只,黄羽肉鸡累计肉产量468.8万t<sup>[1]</sup>,随着肉鸡生产及集中屠宰的推进,使得鸡腹脂得以集中收集和加工。鸡油属于动物油脂,因其特殊的香气和浅黄的色泽,在烹调中通常起增香亮色的作用,但鸡油中富含硬脂酸、棕榈酸等饱和脂肪酸,长期食用会引发高血压、高血脂、心脏病等疾病<sup>[2]</sup>,因此如何开发健康的低饱和脂肪酸鸡油产品是目前家禽畜副产物综合利用的研究热点之一。

目前,常见的油脂分提方法有表面活性剂分提法、溶剂分提法和干法分提等<sup>[3]</sup>,其中,干法分提因环保和低成本的优点,被广泛应用于油脂加工中。干法分提通过控制温度条件,使油脂中饱和程度高、熔点高的甘油酯结晶,结晶部分被分离后即可得到不饱和程度高的液油。邢田等<sup>[4]</sup>对牛油进行干法分提,得到不饱和脂肪酸含量为55.17%的牛油,不饱和脂肪酸含量比分提前提高了7.94个百分点。仇宏图等<sup>[5]</sup>采用干法分提技术有效降低了延边黄牛脂中的饱和脂肪酸含量。目前基于鸡油的干法分提技术多集中于鸡固脂的研究应用,对鸡液油的研究相对较少,如:Arnaud等<sup>[6]</sup>通过建立鸡脂肪干法分提冷却过程中的传热模型来预测鸡固脂的得率;魏超昆等<sup>[7]</sup>以鸡油分提固脂为原料开发起酥油,并用于焙烤面包,以增加面包风味,延缓面包老化。

干法分提时结晶温度过高则没有晶核的形成,温度过低则油脂呈固态,分提条件的局限导致一次干法分提的液油中仍会残留晶体细小的中等熔点甘油酯<sup>[8]</sup>,无法精细分离得到高碘值的液油<sup>[9]</sup>,因此有必要对一次干法分提所得的液油进行二次分提,以得到不饱和程度更高的液油。Hou等<sup>[10]</sup>对羊尾油采用两次干法分提工艺,结果表明,二次分提所得液油的不饱和脂肪酸含量高于一次分提所得液油的。朱向菊<sup>[11]</sup>对猪油采用二次干法分提工艺,结果表明,相较于一次分提所得猪液油,二次分提猪液油中长链饱和脂肪酸含量减少,不饱和脂肪酸含量增

加。目前,干法分步分提工艺在畜类油脂分离加工中应用较多,但对禽类油脂的研究较少。本文以黄羽肉鸡腹脂为原料制备粗鸡油,采用二次干法分提工艺分提鸡液油,通过单因素试验和正交试验优化一次分提和二次分提工艺,以为消费者提供饱和脂肪酸含量更低的鸡液油,同时为开发高附加值鸡油产品提供原料。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

冷冻黄羽肉鸡腹脂,由广州市江丰实业股份有限公司提供;正己烷、无水乙醇、无水甲醇、无水乙醚、硫代硫酸钠、碘化钾、异辛烷、三氯甲烷,分析纯;异丙醇、正己烷,色谱纯。

#### 1.1.2 仪器与设备

ART高速匀浆机,上海金达生化仪器厂;ME104分析天平,梅特勒-托利多仪器有限公司;生化培养箱,上海一恒科技有限公司;7890B-59770气相色谱-质谱联用仪,安捷伦科技有限公司;Avanti J-26 XP型落地式离心机,美国Beckman公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 粗鸡油的制备

将冷冻黄羽肉鸡腹脂在4℃冰箱中过夜(12±2)h解冻后,切成块状,用高速匀浆机搅碎至鸡腹脂呈“奶昔”状。称取300g搅碎的鸡腹脂,通过旋转蒸发仪减压(-0.09MPa)、80℃水浴中加热10min,经4层纱布过滤后得到粗鸡油。

#### 1.2.2 粗鸡油的干法分提

一次分提:称取100g粗鸡油于80℃水浴中加热20min以消除油脂结晶记忆,1min内迅速冷却至60℃,再以不同的冷却速率降至结晶温度,在结晶温度下养晶一定时间后,常温(25℃)、4000r/min下离心20min,取上清液即得一次分提鸡液油,沉淀为鸡固脂。

二次分提:称取100g一次分提鸡液油于60℃水浴中加热20min以消除油脂结晶记忆,1min内迅速冷却至40℃,再以不同冷却速率降至结晶温

度,在结晶温度下养晶一定时间后,常温(25℃)、4 000 r/min下离心 20 min,取上清液即为二次分提鸡液油,沉淀为鸡固脂。

以分提后鸡液油质量与分提前原料质量的比值表示鸡液油得率。

### 1.2.3 碘值测定

根据 GB/T 5532—2022 测定油样碘值。

### 1.2.4 脂肪酸组成测定

参考 GB 5009.168—2016 测定油样脂肪酸组成。样品处理:称取 60.0 mg(精确到 0.01 mg)油样至 10 mL 离心管内,依次加入 4 mL 异辛烷、200  $\mu$ L 氢氧化钾-甲醇溶液(2 mol/L),涡旋振荡 30 s,静置 5 min 后加入 1 g 硫酸氢钠,涡旋振荡 1 min,静置一夜后进行气相色谱-质谱测定。气相色谱条件:HP-5MS 色谱柱(30 m  $\times$  0.25 mm  $\times$  0.25  $\mu$ m);进样量 0.5  $\mu$ L;载气为氦气,流速 1.0 mL/min;汽化室温度 220℃;升温程序为起始温度 50℃,保持 1 min,

以 5℃/min 升温至 220℃,保持 30 min;分流进样,分流比 30:1。质谱条件:离子化方式 EI,电子能量 70 eV,发射电流 80  $\mu$ A,接口温度 250℃,离子源温度 230℃,质量扫描范围  $m/z$  35~450。

采用仪器自带的 NIST11 质谱数据库检索对各组分进行定性,保留匹配指数(SI)大于 80(最大值 100)的成分;根据峰面积归一化法进行定量。

### 1.2.5 数据处理

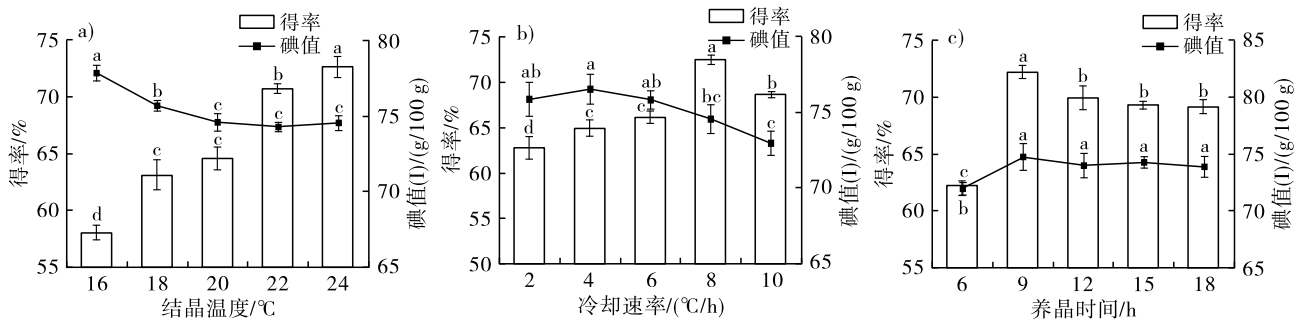
试验数据采用 Excel 及 SPSS 22.0 进行统计及单因素方差分析,结果以“平均值  $\pm$  标准差”表示, $p < 0.05$  表示有显著差异。

## 2 结果与讨论

### 2.1 一次干法分提工艺条件优化

#### 2.1.1 单因素试验

一次干法分提工艺条件对产物鸡液油得率和碘值的影响如图 1 所示。



注:基础条件为冷却速率 8℃/h、结晶温度 24℃、养晶时间 9 h。同一指标不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ ),下同

Note: The basic conditions are cooling rate 8℃/h, crystallization temperature 24℃, and crystallization time 9 h. Different lowercase letters of the same indicator indicate significant differences ( $p < 0.05$ ). The same below

图 1 一次干法分提工艺条件对产物鸡液油得率和碘值的影响

Fig. 1 Effect of the process conditions of single dry fractionation on the yield and iodine value of the product chicken olein

根据前期预试验可知,结晶温度高于 24℃时,鸡油无结晶形成。由图 1a 可知,随着结晶温度的升高,鸡液油得率显著增加,结晶温度与鸡液油得率呈正相关,在结晶温度 24℃时,鸡液油得率最高,为 72.61%,显著高于其他结晶温度的( $p < 0.05$ ),在结晶温度 16℃时,鸡液油得率(58.06%)最低。碘值的大小与油脂的不饱和程度呈正相关,不饱和脂肪酸越多,碘值越大。由图 1a 可知,鸡液油碘值随结晶温度的升高而降低,结晶温度 20~24℃时鸡液油的碘值无显著差异( $p > 0.05$ ),鸡液油的碘值(I)均大于粗鸡油的(67.64 g/100 g)。结晶温度较高时,高熔点的脂肪酸甘油酯仍是液体状态,因此鸡液油得率高,碘值低,相反,结晶温度较低时会导致晶核形成过度,体系黏度增大,分子流动性较小,使液相与固相分离困难,从而降低鸡液油得率,但此时的

鸡液油不饱和脂肪酸甘油酯含量较高,因此碘值较高,这与 Zaliha 等<sup>[12]</sup>研究棕榈油干法分提过程中结晶温度对分馏组分结晶、碘值的影响结果一致。

由图 1b 可知,在冷却速率 2~8℃/h 时,鸡液油得率呈增加趋势,在冷却速率为 8℃/h 时鸡液油得率(72.40%)最高,且显著高于其他冷却速率的( $p < 0.05$ )。在冷却速率 2~6℃/h 时,鸡液油的碘值无显著差异( $p > 0.05$ )。在过快的冷却速率下,因为成核过冷,在结晶初期容易形成大量晶核,这些晶核夹带部分不饱和脂肪酸甘油酯,且快速冷却导致晶体种群不均匀,从而造成分提不完全,液油得率、碘值降低<sup>[13]</sup>。反之,在较低冷却速率下,晶体较小,分布较均匀,但体系黏度较大,不利于不同熔点的甘油三酯分离,且低速降温耗时过长。

由图 1c 可知,随着养晶时间的延长,鸡液油得率呈先升高后缓慢降低的趋势,在养晶时间 9 h 时鸡液油得率(72.26%)最高,且显著高于其他养晶时间的( $p < 0.05$ )。在养晶时间 9 h 时鸡液油的碘值(I)(74.75 g/100 g)最高,显著高于养晶时间 6 h 的(71.95 g/100 g),养晶时间超过 9 h 后鸡液油的碘值没有显著变化( $p > 0.05$ ),表明体系中的晶体于 9 h 后趋于稳定,结晶停止。当养晶时间超过 9 h 后,继续延长养晶时间,会增加固脂夹带液油的比例,造成鸡液油得率降低,这与 Vanhoutte 等<sup>[14-15]</sup> 研究结果一致。

### 2.1.2 正交试验

在单因素试验的基础上,以结晶温度、冷却速率和养晶时间为因素,以鸡液油得率和碘值为指标,采用正交试验对一次干法分提工艺条件进行优化。一次干法分提正交试验因素水平如表 1 所示,一次干法分提正交试验设计及结果如表 2 所示。

表 1 一次干法分提正交试验因素水平

Table 1 Factor level for single dry fractionation orthogonal test

水平	A 结晶温度/°C	B 冷却速率/(°C/h)	C 养晶时间/h
1	20	6	6
2	22	8	9
3	24	10	12

表 2 一次干法分提正交试验设计及结果

Table 2 Single dry fractionation orthogonal test design and results

试验号	A	B	C	得率/%	碘值(I)/ (g/100 g)	综合 评分
1	1	1	1	64.65	72.42	68.54
2	1	2	2	71.18	74.93	73.05
3	1	3	3	72.27	73.46	72.87
4	2	1	2	73.41	73.63	73.52
5	2	2	3	73.97	74.45	74.21
6	2	3	1	74.39	72.48	73.44
7	3	1	3	74.70	72.74	73.72
8	3	2	1	75.45	73.27	74.36
9	3	3	2	75.73	73.99	74.86
$k_1$	71.49	71.93	72.11			
$k_2$	73.72	73.87	73.81			
$k_3$	74.31	73.72	73.60			
R	2.82	1.95	1.70			

注:综合评分为鸡液油得率和碘值的算术平均值。下同

Note: The comprehensive score is the arithmetic mean of the yield and iodine value of the chicken olein. The same below

由表 2 可知,各因素对鸡液油综合评分影响的强弱顺序为结晶温度 > 冷却速率 > 养晶时间,最优因素水平组合为  $A_3B_2C_2$ ,即结晶温度 24 °C、冷却速率 8 °C/h、养晶时间 9 h,在此条件下进行多次验证试验,分提所得鸡液油平均得率为 77.71%,平均碘值(I)为 75.89 g/100 g。

## 2.2 二次干法分提工艺条件优化

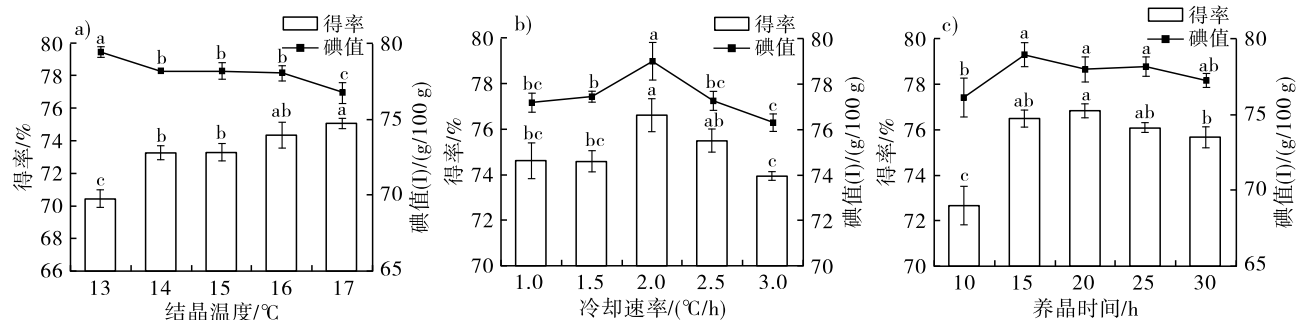
### 2.2.1 单因素试验

二次干法分提工艺条件对产物鸡液油得率和碘值的影响如图 2 所示。

由图 2a 可知,随着结晶温度的升高,鸡液油得率显著增加,结晶温度与鸡液油得率呈正相关,与一次干法分提时结晶温度对鸡液油得率影响的变化趋势一致。结晶温度 17 °C 时,鸡液油得率显著高于结晶温度 13 ~ 15 °C 的( $p < 0.05$ ),但与结晶温度 16 °C 的无显著差异( $p > 0.05$ )。随着结晶温度的升高,鸡液油的碘值呈下降趋势,在结晶温度 13 °C 时,鸡液油的碘值(I)(79.42 g/100 g)显著高于其他结晶温度的( $p < 0.05$ )。较高的结晶温度有利于提高液油得率,同时也导致熔点较高的甘油三酯进入液油中,使碘值降低。

由图 2b 可知,在冷却速率 2 °C/h 时,鸡液油得率为 76.62%,碘值(I)为 78.98 g/100 g,均达到最大值,冷却速率超过 2 °C/h 时,鸡液油得率和碘值均随着冷却速率的提高而降低,且变化趋势比较明显。过快与过慢的冷却速率可能会导致混合晶体的形成,使结晶的固脂夹带不饱和脂肪酸甘油酯,部分固脂晶体由完整变为破碎晶体,在过滤时进入液油中,从而降低最终液油的得率和碘值<sup>[16-17]</sup>。

由图 2c 可知,随着养晶时间的延长,鸡液油得率和碘值总体均呈先显著增加后缓慢降低的趋势。在养晶时间 15 h 时,鸡液油得率为 76.48%,碘值(I)为 78.90 g/100 g,与养晶时间 20、25、30 h 时的鸡液油得率和碘值均无显著差异( $p > 0.05$ )。本研究体系中的晶体生长速率于 15 h 趋于稳定,当养晶时间超过 15 h 后,可能是因为养晶时间延长,部分液油进入固脂晶体中,使固脂晶体由原来的完整状态变得破碎,导致悬浮液晶体过滤性能降低<sup>[18]</sup>,这与 Harrison 等<sup>[19]</sup> 研究棕榈油在一定结晶温度下,液油组分中结晶物质形成稳定后,生长速率随着时间的延长而逐渐降低的结果一致。



注:基础条件为冷却速率 2 °C/h、结晶温度 16 °C、养晶时间 15 h

Note: The basic conditions are cooling rate 2 °C/h, crystallization temperature 16 °C, crystal crystallization time 15 h

图2 二次干法分提工艺条件对产物鸡液油得率和碘值的影响

Fig. 2 Effect of the process conditions of secondary dry fractionation on the yield and iodine value of the product chicken olein

### 2.2.2 正交试验

在单因素试验基础上,采用正交试验优化二次干法分提工艺条件。二次干法分提正交试验因素水平如表3所示,二次干法分提正交试验设计及结果如表4所示。

表3 二次干法分提正交试验因素水平

Table 3 Factor level for secondary dry fractionation orthogonal test

水平	A 结晶温度/°C	B 冷却速率/(°C/h)	C 养晶时间/h
1	15	1.5	10
2	16	2.0	15
3	17	2.5	20

表4 二次干法分提正交试验设计及结果

Table 4 Secondary dry fractionation orthogonal test design and results

试验号	A	B	C	得率/%	碘值(I)/(g/100 g)	综合评分
1	1	1	1	72.79	78.97	75.88
2	1	2	2	75.56	80.39	77.98
3	1	3	3	74.59	79.20	76.89
4	2	1	2	76.20	77.72	76.96
5	2	2	3	77.14	80.09	78.62
6	2	3	1	75.23	77.12	76.17
7	3	1	3	76.18	76.06	76.12
8	3	2	1	78.60	77.22	77.91
9	3	3	2	77.40	76.25	76.83
$k_1$	76.92	76.32	76.65			
$k_2$	77.25	78.17	77.26			
$k_3$	76.95	76.63	77.21			
R	0.34	1.85	0.61			

由表4可知,各因素对综合评分影响的强弱次序为冷却速率>养晶时间>结晶温度。最优因素水平组合为A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>,即结晶温度16 °C、冷却速率2 °C/h、养晶时间15 h,在此条件下进行多次验证试验,二次

分提鸡液油平均得率为78.85%,平均碘值(I)为81.52 g/100 g。

### 2.3 分提前后鸡油的脂肪酸组成

分提前后鸡油的脂肪酸组成如表5所示。

表5 分提前后鸡油的脂肪酸组成

Table 5 Fatty acid composition of chicken olein before and after fractionation %

脂肪酸	粗鸡油	一次分提液油	二次分提液油
肉豆蔻酸	0.59 ± 0.07	0.67 ± 0.05	0.53 ± 0.04
棕榈酸	26.80 ± 0.83	20.80 ± 0.62	19.53 ± 0.75
棕榈油酸	5.20 ± 0.07	5.99 ± 0.08	6.17 ± 0.07
硬脂酸	8.74 ± 0.23	8.09 ± 0.17	6.54 ± 0.20
油酸	42.98 ± 0.29	47.32 ± 0.22	48.72 ± 0.15
亚油酸	15.63 ± 0.11	17.04 ± 0.13	18.40 ± 0.12
亚麻酸	0.06 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.11 ± 0.01
饱和脂肪酸	36.13	29.56	26.60
不饱和脂肪酸	63.87	70.44	73.40

由表5可知,鸡油的脂肪酸组成包括肉豆蔻酸、棕榈酸、棕榈油酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸,分提后鸡油脂肪酸种类未发生变化。粗鸡油的饱和脂肪酸含量为36.13%,不饱和脂肪酸含量为63.87%,这与潘金龙等<sup>[20]</sup>报道的鸡油中饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸占比结果基本一致。粗鸡油中不饱和脂肪酸含量最高的是油酸(42.98%),饱和脂肪酸含量最高的是棕榈酸(26.80%)。粗鸡油经一次干法分提后,所得鸡液油的饱和脂肪酸含量(29.56%)下降,不饱和脂肪酸含量(70.44%)增加,一次干法分提后不饱和脂肪酸含量增加6.57个百分点。二次干法分提后,所得鸡液油的不饱和脂肪酸油酸(48.72%)、亚油酸(18.40%)、棕榈油酸(6.17%)和亚麻酸(0.11%)含量相较于一次干法分提均有所提高,而饱和脂肪酸棕榈酸(19.53%)、硬脂酸(6.54%)、肉豆蔻酸(0.53%)相较于一次干法分提

均呈下降趋势,这与魏超昆<sup>[21]</sup>研究鸡油逐级分提可以不断降低鸡油饱和脂肪酸的含量,从而制备低熔点鸡液油的结果一致。

### 3 结论

通过单因素试验和正交试验对鸡油一次干法分提和二次干法分提工艺进行了优化,并对分提前后鸡液油的脂肪酸组成进行了测定。结果表明:一次干法分提最优条件为结晶温度 24℃、冷却速率 8℃/h、养晶时间 9 h,在此条件下一次分提鸡液油得率为 77.71%,碘值(I)为 75.89 g/100 g,饱和脂肪酸含量为 70.44%;二次干法分提鸡液油的最优条件为结晶温度 16℃、冷却速率 2℃/h、养晶时间 15 h,在此条件下二次分提所得鸡液油得率为 78.85%,碘值(I)为 81.52 g/100 g,饱和脂肪酸含量为 73.40%。相较于一次分提,二次分提所得鸡液油的碘值增加,饱和程度更高。鸡油经二次分提后产生 4 组分提产物,其熔点和性质差异较大,可应用于不同的产品中。

### 参考文献:

- [1] 郑麦青. 2022 年全国肉鸡生产信息统计监测报告[J]. 中国禽业导刊, 2023, 40(1): 32-34.
- [2] 严思思, 刘水平, 肖海思, 等. 植物油与猪油的调和油对小鼠血脂和肾功能的影响[J]. 中国油脂, 2017, 42(10): 80-83.
- [3] 孙美青. 牦牛乳脂肪干法分提及分提物性质研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [4] 邢田, 韩玲, 余群力, 等. 牛油的干法分提工艺优化及其对脂肪酸组成的影响[J]. 食品与发酵科技, 2020, 56(6): 1-6.
- [5] 仇宏图, 王家簇, 张华. 降低延边黄牛脂肪饱和脂肪酸含量的分提研究[J]. 延边大学农学学报, 2018, 40(4): 65-69.
- [6] ARNAUD E, TRYSTRAM G, RELKIN P, et al. Thermal characterization of chicken fat dry fractionation process[J]. J Food Eng, 2006, 72(4): 390-397.
- [7] 魏超昆, 赵宇慧, 刘敦华, 等. 鸡油基起酥油对面包感官、风味及老化特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(3): 101-106.
- [8] ELODIE A, PERLA R, MICHEL P, et al. Characterisation of chicken fat dry fractionation at the pilot scale[J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2004, 106(9): 591-598.
- [9] 张东明, 吴潇, 马美湖. 猪膘脂肪液化利用研究进展[J]. 肉类研究, 2009, 23(5): 75-83.
- [10] HOU C, WANG Z, ZHAO M, et al. Characterization of sheep tail fat dry fractionation at the pilot scale[J/OL]. Int J Food Eng, 2020, 17(4): 0160 [2023-06-12]. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2019-0160>.
- [11] 朱向菊. 猪油干法分提及起酥油的制备[D]. 江苏无锡: 江南大学, 2005.
- [12] ZALIHA O, CHONG C, CHEOW C, et al. Crystallization properties of palm oil by dry fractionation[J]. Food Chem, 2003, 86(2): 245-250.
- [13] ARNAUD E, PINA M, COLLTGNAN A. Suitable cooling program for chicken fat dry fractionation[J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2007, 109(2): 127-133.
- [14] VANHOUTTE B, DEWETTINCK K, VANLERBERGHE B, et al. Monitoring milk fat fractionation: Filtration properties and crystallization kinetics[J]. J Am Oil Chem Soc, 2003, 80(3): 213-218.
- [15] VANHOUTTE B, DEWETTINCK K, VANLERBERGHE B, et al. Monitoring milk fat fractionation: Effect of agitation, temperature, and residence time on physical properties[J]. J Am Oil Chem Soc, 2002, 79(12): 1169-1176.
- [16] CALLIAUW G, GIBON V, DE GREYT W, et al. Phase composition during palm olein fractionation and its effect on soft PMF and superolein quality[J]. J Am Oil Chem Soc, 2007, 84(9): 885-891.
- [17] GIBON V, DANTHINE S. Systematic investigation of co-crystallization properties in binary and ternary mixtures of triacylglycerols containing palmitic and oleic acids in relation with palm oil dry fractionation[J/OL]. Foods, 2020, 9(12): E1891 [2023-06-12]. <https://doi.org/10.3390/foods9121891>.
- [18] ARNAUD E, COLLTGNAN A. Chicken fat dry fractionation: Effects of temperature and time on crystallization, filtration and fraction properties[J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2008, 110(3): 239-244.
- [19] HARRISON P D, SMITH K W, BHAGGAN K, et al. Image analysis of palm oil crystallisation as observed by hot stage microscopy[J]. J Cryst Growth, 2016, 444: 28-38.
- [20] 潘金龙, 郑静, 王李平, 等. 禽类油脂研发现状与发展趋势[J]. 食品与发酵科技, 2022, 58(3): 153-158.
- [21] 魏超昆. 鸡油基起酥油的研制及其加工性能形成机理研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2018.