

# 羊毛脂的理化指标及主要成分分析

王蓓蓓<sup>1</sup>, 陈竞男<sup>1</sup>, 于元大<sup>2</sup>, 胡紫腾<sup>3</sup>, 毕艳兰<sup>1</sup>

(1. 河南工业大学 粮油食品学院, 郑州 450001; 2. 裕龙集团有限公司, 山东 青岛 266000;

3. 橡胶谷集团有限公司, 山东 青岛 266000)

**摘要:**羊毛脂的理化指标和组成对其使用性能影响较大,因而采用国标等方法对原料羊毛脂的熔点、水分及挥发物含量、灰分含量、酸值、过氧化值、碘值、色度等基本理化指标进行分析,并通过薄层色谱及柱层析对其主要成分进行分析鉴定,采用气质联用色谱对羊毛醇和羊毛酸进行定性定量分析。结果表明:与精制羊毛脂(药典级)相比,原料羊毛脂色泽较深,水分及挥发物含量、灰分含量、碘值与酸值略高;羊毛脂的主要组成成分为脂肪酸酯、羟基酸酯、游离甾醇及多羟基物残留物,分别占羊毛脂总质量的55.14%、25.57%、4.04%和13.15%;原料羊毛脂中甘油三酯未检出;羊毛醇的主要组成为胆甾醇与羊毛甾醇,相对含量分别为44.31%与14.62%,羊毛脂中胆甾醇和羊毛甾醇含量分别为10.41%、3.43%(以全样原料羊毛脂计);羊毛酸的主要组成为饱和脂肪酸,碳链长度为C13~C27,其中支链脂肪酸相对含量高达62.03%,异构支链脂肪酸相对含量为27.56%,反异构支链脂肪酸相对含量为34.47%。

**关键词:**羊毛脂;理化指标;羊毛醇;羊毛酸

中图分类号:TS225.2;TQ646 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2022)01-0022-06

## Physicochemical indexes and main components of lanolin

WANG Beibei<sup>1</sup>, CHEN Jingnan<sup>1</sup>, YU Yuanda<sup>2</sup>, HU Ziteng<sup>3</sup>, BI Yanlan<sup>1</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

2. Abundant Dragon Group Limited Company, Qingdao 266000, Shandong, China;

3. Rubber Valley Group Limited Company, Qingdao 266000, Shandong, China)

**Abstract:** The physicochemical indexes and composition of lanolin have a greater impact on its performance. Therefore, the basic physicochemical indexes including melting point, moisture and volatile content, ash content, acid value, peroxide value, iodine value and chroma of raw lanolin were determined by national standard and other methods. The main components of lanolin were separated and identified by thin-layer chromatography and column chromatography method. The qualitative and quantitative analysis of lanolin and lanolin fatty acids was carried out by GC-MS. The results showed that compared with refined lanolin (pharmacopoeia level), raw lanolin had darker color, slightly higher moisture and volatile content, ash content, iodine value and acid value. The main components of lanolin were fatty acid esters, hydroxy fatty acid esters, free sterols and polyols, which accounted for 55.14%, 25.57%, 4.04% and 13.15% of the total mass of lanolin, respectively. The triglycerides in raw lanolin were not detected. The main components of lanolin were cholesterol and lanosterol, with relative contents of 44.31% and 14.62%, respectively. Moreover, cholesterol and lanosterol in lanolin accounted for 10.41% and 3.43% of the whole raw lanolin. The main compositions of lanolin fatty acids were saturated fatty acids with the carbon chain length of C13-C27. In addition, the branched chain fatty acids content was as high

as 62.03%, while the isomeric branched chain and *trans*-isomeric branched fatty acids accounted for 27.56% and 34.47%, respectively.

**Key words:** lanolin; physicochemical index; lanolin; lanolin fatty acid

收稿日期:2021-04-26;修回日期:2021-08-21

作者简介:王蓓蓓(1991),女,硕士研究生,研究方向为脂质化学与品质(E-mail)1912567967@qq.com。

通信作者:毕艳兰,教授(E-mail)bylzry@126.com。

羊毛脂是羊皮脂腺的油状分泌物,外观为黄色半透明的软膏状半固体,黏性较大,且有微弱、奇特的臭味,熔点为 $38.42\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,是熔点最低的固体蜡。羊毛脂稍溶于石油醚、丙酮、 $\text{CCl}_4$ 等溶剂,难溶于冷乙醇,不溶于水,但在空气中能吸收自身质量2倍的水<sup>[1]</sup>,具有很好的渗透性,可渗入皮肤,故可用作纯天然的化妆品原料<sup>[2]</sup>。

羊毛脂与一般动植物油脂不同,主要是由多种羟基脂肪酸、脂肪酸与大致等量的脂肪醇、胆甾醇等所形成的酯(约95%)和少量游离酸、游离醇以及烷烃所组成<sup>[3]</sup>。羊毛醇和羊毛酸作为羊毛脂衍生物中最重要的产品,被广泛应用于化妆品中。羊毛醇的成分复杂,其中胆甾醇和羊毛甾醇的含量最高,胆甾醇在化妆品、医药、液晶材料方面具有广泛应用<sup>[4-6]</sup>。羊毛脂中还含有丰富的支链脂肪酸(BCFA),包含了胎脂中大部分种类的BCFA<sup>[7]</sup>。羊毛脂在用于化妆品时,其理化指标和主要成分均会对其使用性能造成影响,而现有研究缺少对羊毛脂理化指标及其主要成分的系统分析,因此本研究以羊毛脂为原料,对羊毛脂的主要理化指标及主要组分分别进行检测及分离,通过一价碱醇溶液及钙皂转化法对羊毛脂进行皂化及皂化产物分离,结合气质联用仪对所制备的羊毛醇和羊毛酸的组成进行分析,为羊毛脂在化妆品行业的应用提供一定的理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

羊毛脂,青岛裕东雍国际物流有限公司;胆甾醇、羊毛甾醇标准品,上海源叶生物科技有限公司;十七烷酸甲酯,阿拉丁试剂有限公司;大豆甾醇(纯度95%),武汉远成共创科技有限公司;大豆甾醇油酸酯(纯度>95%),实验室自制;大豆油,益海嘉里食品工业有限公司;正己烷(色谱纯),美国Fisher公司;N,O-双(三甲基硅烷基)三氟乙酰胺(BSTFA),阿拉丁试剂有限公司;正己烷、吡啶、氢氧化钾,天津市科密欧化学试剂有限公司;乙醚、盐酸、三氯甲烷,洛阳市化学试剂厂;冰乙酸、无水乙醇,天津市凯通化学试剂有限公司。

电热恒温水浴锅,北京科伟永兴仪器有限公司;顶置式搅拌器,大龙兴创实验仪器有限公司;IKA型旋转蒸发仪,艾伦仪器设备有限公司;7890A气相色谱仪(GC)、7890A-5975C气质联用仪(GC-MS),安捷伦科技有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 羊毛脂主要理化指标的分析

熔点测定,参考GB/T 12766—2008;水分及挥发物

含量测定,参考GB 5009.236—2016;灰分含量测定,参考GB 5009.4—2016;酸值测定,参考GB 5009.229—2016;过氧化值测定,参考GB 5009.227—2016;皂化值测定,参考GB/T 5534—2008;碘值测定,参考GB/T 5532—2008;羟值测定,参考《中国药典0713》;色度测定,采用Gardner(加德纳)比色法,称取适量羊毛脂于烧杯中,放入 $(105 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱加热,使羊毛脂充分熔化,然后快速倒入玻璃管中,与配制好的加德纳色标比对。

#### 1.2.2 原料羊毛脂的薄层色谱(TLC)分析

按照参考文献[8],选用展开剂正己烷-乙醚-冰乙酸(体积比90:10:2)对羊毛脂进行TLC分析。

#### 1.2.3 原料羊毛脂的主要组分含量分析

采用柱层析法对原料羊毛脂进行分离,洗脱条件为:①采用正己烷-乙醚-冰乙酸(体积比80:20:2)为洗脱剂,洗脱至游离甾醇全部流出(用TLC分析进行判断);②再采用丙酮对剩余大极性组分进行洗脱,至洗脱完全(用TLC分析进行判断)。

对不同组分进行收集鉴定(用TLC),分别得到脂肪酸酯、羟基酸酯、游离甾醇与多羟基物残留物。对各组分分别称重并计算其含量(以质量分数计)。

#### 1.2.4 羊毛脂中甘油三酯的分析

以大豆油为标准对原料羊毛脂进行TLC分析<sup>[7]</sup>,以确定甘油三酯谱带。将羊毛脂的甘油三酯谱带刮下,采用正己烷萃取,旋蒸后得甘油三酯,加入0.5 mL十七烷酸甲酯(0.799 2 g/100 mL)作为内标,氮气吹干后进行GC分析。

GC条件:DB-1ht色谱柱(28 m × 250 μm × 0.1 μm);升温程序为初温 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,保持1 min,以 $50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,保持2 min,以 $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 $290\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,保持2 min,以 $40\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,保持6 min,再以 $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 $360\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,保持8 min;进样量1 μL;进样口温度 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;氢火焰离子化检测器(FID),检测器温度 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;氮气流速4 mL/min;氢气流速40 mL/min;空气流速300 mL/min。

#### 1.2.5 羊毛脂中羊毛醇的组成及相对含量分析

##### 1.2.5.1 羊毛醇的提取

采用皂化→钙化→醇分离的方法提取原料羊毛脂中的羊毛醇,其中皂化参照张珏等<sup>[9]</sup>的方法,钙化参照陈洋等<sup>[10]</sup>的方法,醇分离参照沈涛<sup>[11]</sup>的方法,具体流程如图1所示。

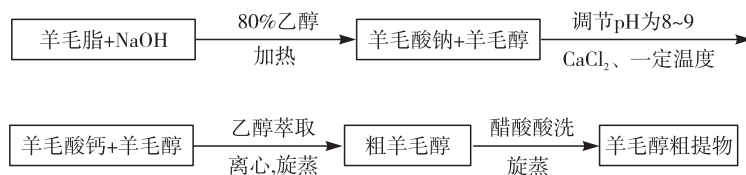


图1 羊毛脂中羊毛醇的提取工艺流程

### 1.2.5.2 羊毛醇组成及相对含量分析

取0.1 g羊毛醇粗提物,加入硅烷化试剂(200  $\mu\text{L}$  BSTFA 试剂 + 200  $\mu\text{L}$  吡啶),于65  $^{\circ}\text{C}$ 水浴中反应1.5 h以进行硅烷化处理,然后用氮气吹干,再加入正己烷溶解,过滤膜后进行GC-MS分析。GC条件:HP-5色谱柱(30 m  $\times$  320  $\mu\text{m}$   $\times$  0.25  $\mu\text{m}$ );载气为氮气,流速1.0 mL/min;柱温285  $^{\circ}\text{C}$ ,保持20 min;进样口温度300  $^{\circ}\text{C}$ ;FID检测器温度360  $^{\circ}\text{C}$ ;分流比20:1;进样量1  $\mu\text{L}$ 。MS条件:离子源温度230  $^{\circ}\text{C}$ ,四级杆温度150  $^{\circ}\text{C}$ ,电离电压70 eV,质量扫描范围33~650 u。

根据计算机谱库匹配和人工解析各组分质谱图确定各保留时间对应的化合物,采用面积归一化法对化合物进行定量。

### 1.2.5.3 羊毛脂中胆甾醇和羊毛甾醇含量的测定

采用外标法测定。

胆甾醇标准曲线的建立:准确称取50.0 mg胆甾醇于试管中,加入硅烷化试剂(400  $\mu\text{L}$  BSTFA 试剂 + 1 000  $\mu\text{L}$  吡啶),65  $^{\circ}\text{C}$ 水浴下反应1.5 h进行硅烷化处理,反应结束后用氮气吹干。用正己烷溶解于25 mL容量瓶中,并稀释定容,分别移取5.0、2.5、1.0、0.5 mL溶液于10 mL容量瓶中定容,得到2 000、1 000、500、200、100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 不同质量浓度梯度的溶液,通过GC分析建立标准曲线,GC条件同1.2.5.2。

样品测定:取20 mg羊毛醇粗提物(精确到0.1 mg)于试管中,按1.2.5.2进行硅烷化处理,用氮气吹干后用正己烷定容于10 mL容量瓶中,过滤膜后进行GC分析,根据所建立的标准曲线计算羊毛脂中胆甾醇含量,再以胆甾醇含量(作为内标物)计算羊毛甾醇的含量。

### 1.2.6 羊毛脂中羊毛酸的组成及相对含量分析

#### 1.2.6.1 羊毛酸的提取

采用皂化 $\rightarrow$ 钙化 $\rightarrow$ 醇洗 $\rightarrow$ 酸化、萃取、有机层旋转蒸发的工艺提取羊毛酸,其中:皂化、钙化同1.2.5.1的方法(皂化时间改为6 h,钙化温度改为50  $^{\circ}\text{C}$ );醇洗、酸化、萃取、有机层旋转蒸发具体操作步骤参考文献[10]。

#### 1.2.6.2 羊毛酸的组成及相对含量分析

取1~2滴羊毛酸,加入6 mL甲醇-NaOH溶

液煮沸,再加入7 mL三氟化硼-乙醚甲醇(体积比1:4)溶液煮沸3 min,加入2 mL正己烷煮沸1 min,然后加入适量饱和氯化钠溶液,振荡后静置分层,取出上清液加入适量无水 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,离心过滤膜后进行GC-MS分析。GC条件:HP-5色谱柱(30 m  $\times$  320  $\mu\text{m}$   $\times$  0.25  $\mu\text{m}$ );升温程序为初始温度120  $^{\circ}\text{C}$ ,保持0.5 min,以10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至240  $^{\circ}\text{C}$ ,保持45 min;进样口温度280  $^{\circ}\text{C}$ ;载气为 $\text{N}_2$ ,流速1.2 mL/min。MS条件:离子源温度230  $^{\circ}\text{C}$ ,四级杆温度150  $^{\circ}\text{C}$ ,电离电压70 eV,质量扫描范围50~500 u,溶剂延迟2 min。

根据计算机谱库匹配和人工解析各组分质谱图确定各保留时间对应的化合物,采用面积归一化法对化合物进行定量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 羊毛脂的主要理化指标

对原料羊毛脂的主要理化指标进行了测定,并与文献[12]中的精制羊毛脂(药典级)进行了对比,结果见表1。由表1可见,本文使用的原料羊毛脂的熔点、皂化值与过氧化值符合文献[12]的精制羊毛脂(药典级)要求,但其水分及挥发物含量、灰分含量、酸值与碘值均超过了文献标准。原料羊毛脂的色度为13,色泽较深。羟值一定程度上反映化合物的亲水能力,原料羊毛脂的羟值(KOH)为39.91 mg/g。另外,原料羊毛脂有较重的羊毛味道。

表1 羊毛脂的主要理化指标

项目	原料羊毛脂	精制羊毛脂(药典级) <sup>[12]</sup>
色度	13	-
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	41.2	36~42
水分及挥发物含量/%	0.84	$\leq 0.5$
灰分含量/%	0.33	$\leq 0.15$
酸值(KOH)/(mg/g)	2.59	$\leq 1.5$
皂化值(KOH)/(mg/g)	94.99	92~106
过氧化值/(mmol/kg)	11.56	$\leq 20$
碘值(I)/(g/100 g)	41.15	18~35
羟值(KOH)/(mg/g)	39.91	-

### 2.2 羊毛脂的TLC分析

按1.2.2采用TLC对原料羊毛脂样品进行组分分析,结果如图2所示。由图2可见,样品呈现清晰的7条色带。参考吴敦汉等<sup>[8]</sup>的研究可知,脂肪

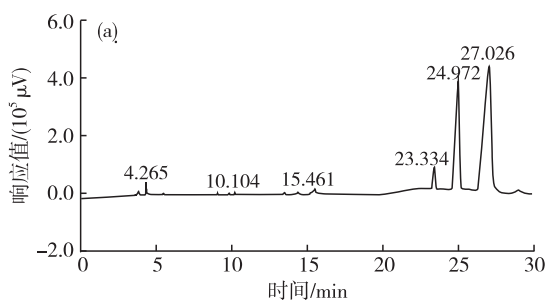
酸甾醇酯、羟基酸甾醇酯、游离甾醇经三氯化锑显色后呈紫色,脂肪酸脂肪醇酯显土黄色,羟基酸脂肪醇酯显黄色,游离脂肪醇显蓝色,多羟基物残留物显绿色。通过与大豆甾醇油酸酯、大豆甾醇等标准品进行对照后,可判断图2中7条色带由上至下依次为脂肪酸甾醇酯( $R_f = 0.71$ )、脂肪酸脂肪醇酯( $R_f = 0.67$ )、羟基酸甾醇酯( $R_f = 0.29$ )、羟基酸脂肪醇酯( $R_f = 0.27$ )、游离脂肪醇( $R_f = 0.24$ )、游离甾醇( $R_f = 0.15$ )、多羟基物残留物(游离脂肪酸、多羟基物、色素等)( $R_f = 0/0.03$ )。由图2还可以看出,脂肪酸酯、羟基酸酯、游离甾醇、多羟基物残留物分离度较好,故可通过柱层析对不同组分进行分离后,再定量分析。



图2 羊毛脂的TLC图谱

### 2.3 羊毛脂的主要组分含量

按1.2.3采用柱层析法对原料羊毛脂进行分



离,在上样量为2.0287 g时,分别得到1.1186 g 脂肪酸酯、0.5187 g 羟基酸酯、0.0819 g 游离甾醇、0.2668 g 多羟基物残留物,分别占羊毛脂总质量的55.14%、25.57%、4.04%和13.15%,其中脂肪酸酯及羟基酸酯的总含量为80.71%。通过对得到的4种组分进行薄层色谱分析可知(以大豆甾醇油酸酯标准品、大豆甾醇标准品作为对照),4种不同组分均无杂质,纯度较高,定量准确。

### 2.4 羊毛脂中甘油三酯的含量

以大豆油为标准对羊毛脂进行TLC分析,结果如图3所示。

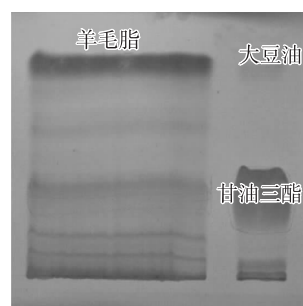


图3 羊毛脂和大豆油的TLC图谱

将图3中甘油三酯对应的谱带刮下,萃取后进行气相色谱分析,结果如图4所示。

由图4可见,大豆油的气相色谱图中22.5~28.0 min为甘油三酯的出峰位置,而羊毛脂的气相色谱图中只在3.999 min出现十七烷酸甲酯的出峰,而在22.5~28.0 min未有峰检出,说明羊毛脂中甘油三酯含量未达到检出限。

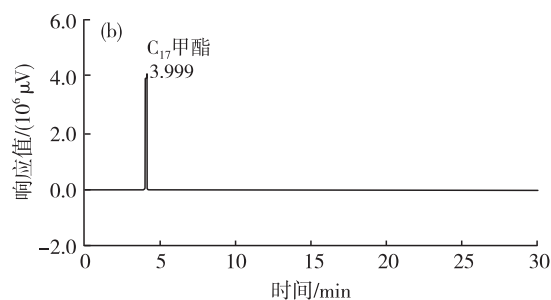


图4 大豆油(a)和羊毛脂(b)的GC图谱

### 2.5 羊毛脂中羊毛醇的组成及含量

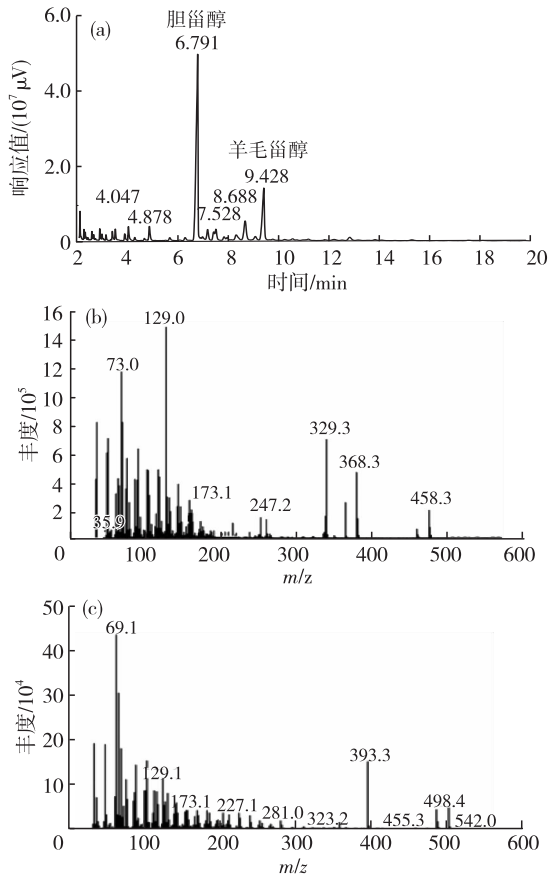
#### 2.5.1 羊毛醇的组成及相对含量

按照1.2.5.1方法对原料羊毛脂中的羊毛醇进行提取,羊毛醇粗提物得率为50.51%。羊毛醇衍生化后采用GC-MS进行分析,结果如图5所示。

由图5可见,胆甾醇与羊毛甾醇的出峰时间分别为6.791、9.428 min,胆甾醇衍生物的特征离子碎

片峰为 $m/z$  129、329.3和368.3,羊毛甾醇衍生物的特征离子碎片峰为 $m/z$  69.1、393.3<sup>[13]</sup>。根据羊毛醇的GC图谱,计算羊毛醇中各组分的相对含量,结果如表2所示。

由表2可见,羊毛醇的主要组成为胆甾醇、羊毛甾醇和二氢羊毛甾醇,相对含量分别为44.31%、14.62%和5.74%。



注:(a)为羊毛醇的气相色谱图,(b)为羊毛醇中胆甾醇衍生物的离子碎片图,(c)为羊毛醇中羊毛甾醇衍生物的离子碎片图。

图5 羊毛醇的GC-MS分析

表2 羊毛醇的组成及相对含量

保留时间/min	组分	相对含量/%
4.047	二十六烷醇	2.13
4.878	二十七烷醇	2.56
6.791	胆甾醇	44.31
7.528	3,5-二烯胆甾-7-酮	2.65
8.688	二氢羊毛甾醇	5.74
9.428	羊毛甾醇	14.62
-	其他醇类	27.99

### 2.5.2 羊毛脂中胆甾醇与羊毛甾醇的含量

由2.5.1中羊毛醇的组成分析可知,胆甾醇和羊毛甾醇是羊毛脂中的主要醇类。因此,对羊毛脂中胆甾醇与羊毛甾醇的绝对含量进行分析。按1.2.5.3方法建立胆甾醇的标准曲线,采用外标法对羊毛脂中的胆甾醇与羊毛甾醇进行定量。经分析计算,羊毛脂中胆甾醇与羊毛甾醇的含量分别为10.41%与3.43%。这与沈涛<sup>[11]</sup>报道的羊毛脂中胆甾醇和羊毛甾醇含量分别为12%与6%略有差异,可能与原料来源不同有关。

### 2.6 羊毛脂中羊毛酸的组成及含量

按照1.2.6.1的方法对原料羊毛脂中的羊毛酸

进行提取,羊毛酸的得率为28.37%。提取的羊毛酸经甲酯化后采用GC-MS进行分析,结果如图6和表3所示。

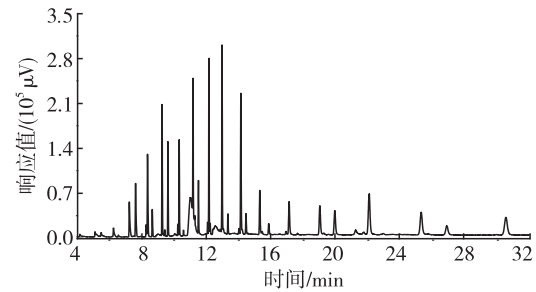


图6 羊毛酸的GC-MS图谱

表3 羊毛酸的脂肪酸组成及相对含量

保留时间/min	脂肪酸	相对含量/%
6.259	C13:0	0.82 ± 0.20
7.238	iso-C14:0	2.63 ± 0.30
7.623	C14:0	3.27 ± 0.30
8.279	iso-C15:0	0.61 ± 0.05
8.365	anteiso-C15:0	4.42 ± 0.23
8.656	C15:0	1.38 ± 0.12
9.291	iso-C16:0	5.65 ± 0.23
9.654	C16:0	4.16 ± 0.40
11.044	C16:0(-OH)	9.28 ± 0.44
10.265	iso-C17:0	0.50 ± 0.03
10.348	anteiso-C17:0	3.89 ± 0.20
11.202	iso-C18:0	7.83 ± 0.19
11.310	C18:0	2.39 ± 0.19
11.537	C18:1	1.92 ± 0.15
12.103	C19:0	0.56 ± 0.05
12.185	anteiso-C19:0	6.88 ± 0.04
12.574	C18:0(-OH)	1.18 ± 1.15
12.997	iso-C20:0	7.61 ± 0.23
13.359	C20:0	0.94 ± 0.01
14.157	anteiso-C21:0	7.21 ± 0.35
15.325	iso-C22:0	2.73 ± 0.17
15.879	C22:0	0.84 ± 0.02
17.139	anteiso-C23:0	2.74 ± 0.12
19.037	C24:0	2.84 ± 0.10
19.959	C24:0	2.90 ± 0.04
22.088	anteiso-C25:0	5.48 ± 0.41
25.279	C26:0	3.75 ± 0.30
26.880	C26:0	1.75 ± 0.09
30.521	anteiso-C27:0	3.85 ± 0.36
	BCFA	62.03 ± 0.27
	iso-BCFA	27.56 ± 0.50
	anteiso-BCFA	34.47 ± 0.77

注:BCFA为支链脂肪酸,iso-BCFA为异构支链脂肪酸,anteiso-BCFA为反异构支链脂肪酸。

由表3可知,羊毛酸中主要为饱和脂肪酸,碳链长度为C13~C27,其中支链脂肪酸的相对含量高达

62.03%, 异构支链脂肪酸的相对含量为 27.56%, 反异构支链脂肪酸的相对含量为 34.47%。这与陈洋等<sup>[10]</sup>的研究结果一致。

### 3 结论

与精制羊毛脂(药典级)相比,本研究的原料羊毛脂色泽较深,水分及挥发物含量、灰分含量、碘值与酸值略高。羊毛脂的主要组成成分为脂肪酸酯、羧基酯、游离甾醇及多羟基物残留物,分别占羊毛脂总质量的 55.14%、25.57%、4.04% 和 13.15%。羊毛脂中甘油三酯未检出。羊毛脂中羊毛醇的主要组成为胆甾醇与羊毛甾醇,相对含量分别为 44.31%、14.62%,胆甾醇和羊毛甾醇在羊毛脂中的含量分别为 10.41%、3.43%。羊毛脂中羊毛酸的主要组成为饱和脂肪酸,碳链长度为 C13 ~ C27,其中支链脂肪酸的相对含量高达 62.03%,异构支链脂肪酸的相对含量为 27.56%,反异构支链脂肪酸的相对含量为 34.47%。

### 参考文献:

- [1] 张星华. 羊毛脂中胆甾醇的分离提取工艺[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [2] 埃德加, 洛厄, 高大忻. 天然成份羊毛脂(英)[J]. 日用化学品科学, 1998(3): 20-21.
- [3] 沈一丁, 李小瑞, 任庆海. 改性羊毛脂加脂剂的制备及性能[J]. 精细化工, 1996(2): 12-16.
- [4] 陈小利, 林苗, 胡杰, 等. 进一步开发羊毛脂[J]. 化学世界, 2000, 41(1): 8-12.
- [5] 林吉文. 甾体化学基础[M]. 北京: 化学工业出版社, 1989: 21.
- [6] HARTONO D, HOD Y, YANG K L, et al. The effect of cholesterol on protein-coated gold nanoparticle binding to liquid crystal-supported models of cell membranes[J]. Biomaterials, 2010, 31(11): 3008-3015.
- [7] 揭良, 齐策, 余仁强, 等. 胎脂和羊毛脂中支链脂肪酸组成的研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(7): 27-31.
- [8] 吴敦汉, 刘德威, 岳秀枚, 等. 国产羊毛蜡分析[J]. 毛纺科技, 1981(1): 1-14.
- [9] 张珏, 华聘聘. 羊毛酸的提取[J]. 中国油脂, 2000, 25(3): 56-58.
- [10] 陈洋, 许乃恒, 王小三, 等. 羊毛脂制备羊毛酸的工艺研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(3): 27-31.
- [11] 沈涛. 羊毛脂中胆固醇的提取[D]. 北京: 北京化工大学, 2016.
- [12] 中华人民共和国卫生部药典委员会. 国家药典标准[M]. 北京: 化学工业出版社, 1985.
- [13] 向章敏, 张婕, 蔡凯, 等. 衍生化气相色谱质谱联用法同时测定烟叶多种植物甾醇[J]. 光谱实验室, 2011, 28(5): 2536-2540.
- [14] RIBEIRO S A O, NICACIO A E, ZANQUI A B, et al. Improvements in the quality of sesame oil obtained by a green extraction method using enzymes[J]. LWT - Food Sci Technol, 2016, 65: 464-470.
- [15] 李传欣, 程敬松, 吴琼, 等. 响应面优化水酶法提取人参子油工艺[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(9): 73-76.
- [16] 孙睿, 张永涵, 刘婧玮, 等. 响应面法优化超临界萃取花椒籽油及 $\alpha$ -亚麻酸的工艺研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(1): 51-56.
- [17] TOMAS C, OLIVER F. Comprehensive analysis of lipids in biological systems by liquid chromatography-mass spectrometry[J]. Trends Anal Chem, 2014, 61: 192-206.
- [18] LEE D Y, KIND T, YOON Y R, et al. Comparative evaluation of extraction methods for simultaneous mass-spectrometric analysis of complex lipids and primary metabolites from human blood plasma[J]. Anal Bioanal Chem, 2014, 406(28): 7275-7286.
- [19] XIE C, ZHONG D F, YU K, et al. Recent advances in metabolite identification and quantitative bioanalysis by LC-Q-TOF MS[J]. Bioanalysis, 2012, 4(8): 937-959.
- [20] ZHANG Y Y, QIN L, LIU Y X, et al. Evaluation of lipid profile in different tissues of Japanese abalone *Haliotis discus hannai* Ino with UPLC-ESI-Q-TOF-MS-based lipidomic study[J]. Food Chem, 2018, 265: 49-56.
- [21] HU X P, AN Q D, ZHOU D Y, et al. Lipid profiles in different parts of two species of scallops (*Chlamys farreri* and *Patinopecten yessoensis*)[J]. Food Chem, 2017, 243: 319-327.
- [22] YIN F W, LIU X Y, FAN X R, et al. Extrusion of Antarctic krill (*Euphausia superba*) meal and its effect on oil extraction[J]. Int J Food Sci Technol, 2015, 50(3): 633-639.
- [23] 白鑫华, 罗秦, 青维, 等. 响应面法优化大鲑鱼油水酶法提取工艺[J]. 食品工业科技, 2016, 37(17): 247-252.
- [24] FIORI L, SOLANA M, TOSI P, et al. Lipid profiles of oil from trout (*Oncorhynchus mykiss*) heads, spines and viscera; trout by-products as a possible source of  $\omega$ -3 lipids[J]. Food Chem, 2012, 134(2): 1088-1095.

(上接第16页)