

五种不同方法提取的藏羊油脂品质比较

赵玉欣, 韩丽娟*, 葛世鹏, 孙胜男, 桂林生, 侯生珍, 杨葆春, 王志有, 杨超
(青海大学农牧学院, 青海西宁 810016)

摘要: 以藏羊油脂内脏脂肪为原料, 通过五种不同提取方法, 即干法熬制、湿法熬制、水酶法、超声波辅助酶解法和索氏抽提法制备得到藏羊油脂, 并以其理化性质、脂肪酸组成和氧化稳定性等为指标, 研究了五种提取方法对藏羊油脂品质的影响。结果表明: 超声波酶辅助法提取藏羊油脂过氧化值最低, 为 0.02 g/100 g, 皂化值最高为 227.08 mg/g; 超声辅助酶解法所得藏羊油脂的氧化稳定性优于其他四种方法提取的藏羊油脂; 脂肪酸结果显示, 五种不同提取方法对藏羊油脂中共检测到 36 种脂肪酸, 其中, 硬脂酸 (34.75%)、棕榈酸 (34.03%)、油酸 (63.88%) 是这五种不同提取方法藏羊油脂种含量占比最高的脂肪酸。脂溶性维生素中 VA 的含量在五种藏羊油脂种最高, 平均高达 (131 389±17 903.49) ng/g, VE 含量在干法熬制 (5 079.79 ng/g) 和超声辅助酶解法 (4 911.25 ng/g) 所得藏羊油脂中较高 ($P<0.05$)。综合比较, 超声辅助酶解法提取藏羊油脂得率较高, 油脂品质最佳, 为藏羊油脂的开发与利用奠定了理论基础。

关键词: 藏羊; 油脂; 提取方法; 油脂品质; 氧化稳定性

文章编号: 1673-9078(2025)01-199-210

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.1.1501

Comparison on the Quality of Tibetan Sheep Fat Extracted by Five Different Methods

ZHAO Yuxin, HAN Lijuan*, GE Shipeng, SUN Shengnan, GUI Linsheng, HOU Shengzhen,
YANG Baochun, WANG Zhiyou, YANG Chao

(College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China)

Abstract: The visceral fat of Tibetan sheep fat was used as the raw material. Tibetan sheep fat was prepared by five different extraction methods, i.e. dry simmering, wet simmering, water enzymatic method, ultrasonic-assisted enzymatic hydrolysis and Soxhlet extraction. The effects of the five extraction methods on the quality of Tibetan sheep fat were investigated by taking the physicochemical properties, fatty acid composition and oxidative stability as the indexes. The results showed that the peroxide value of the Tibetan sheep fat extracted by the ultrasonic enzyme-assisted method was the lowest (0.02 g/100 g), and the saponification value was the highest (227.08 mg/g); the oxidative stability of the Tibetan sheep fat obtained by the ultrasonic-assisted enzyme hydrolysis method was superior to that of the Tibetan sheep fat extracted by the other four methods; the results of fatty acid analysis showed that a total of 36 fatty acids were detected in the Tibetan

引文格式:

赵玉欣, 韩丽娟, 葛世鹏, 等. 五种不同方法提取的藏羊油脂品质比较[J]. 现代食品科技, 2025, 41(1): 199-210.

ZHAO Yuxin, HAN Lijuan, GE Shipeng, et al. Comparison on the quality of tibetan sheep fat extracted by five different methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(1): 199-210.

收稿日期: 2023-12-17

基金项目: 青海省科技厅重大科技专项 (2022-NK-169)

作者简介: 赵玉欣 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 肉品加工, E-mail: 2906570101@qq.com

通讯作者: 韩丽娟 (1988-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 肉品科学, E-mail: hlj880105@163.com

sheep fats obtained by the five different extraction methods, among which stearic acid (34.75%), palmitic acid (34.03%), and oleic acid (63.88%) were the fatty acids with the highest content percentages in the Tibetan sheep fats prepared by the five different extraction methods. Among the fat-soluble vitamins, the content of VA was the highest in the five types of Tibetan sheep fats, with an average content as high as (131 389±17 903.49) ng/g, and the contents of VE were higher ($P<0.05$) in the Tibetan sheep fats obtained by the dry simmering (5 079.79 ng/g) and ultrasound-assisted enzymatic hydrolysis (4 911.25 ng/g) methods. Based on the comprehensive comparison, the ultrasound-assisted enzymatic hydrolysis method led to a Tibetan sheep fat product with a higher yield and the best fat quality, which laid a theoretical foundation for the development and utilization of Tibetan sheep fat.

Key words: Tibetan sheep; oil; grease extraction method; oil quality; oxidative stability

藏羊是我国三大原始绵羊品种之一，主要分布在青藏高原。青海是主要产区，藏羊分布较广，在家畜中比重最大^[1]，依其生态环境、结合生产、经济特点，可分为高原型、山谷型和欧拉型3类。随着社会的发展和科学技术的进步，养羊业面临着新的挑战 and 机遇，如何提高藏羊的生产性能、改善其肉质和毛质、减少油脂的浪费和保护其遗传多样性等问题急需解决^[1]。

目前，针对不同的动植物原料提取油脂的方法种类繁多，且不同的提取方法有各自的优缺点，但对采用不同的提取法提取藏羊油脂的研究鲜少。因此，研究提取藏羊油脂的最优提取方法，对提高油脂得率、降低对油脂理化性质和氧化稳定性的影响尤为重要，可为减少油脂资源的浪费，提高油脂的利用率，奠定理论基础。张雅婷等^[2]通过对比不同提取方法对草鱼内脏油脂基本理化指标的影响发现，酶解法更适用于草鱼内脏油脂提取，且油脂品质较好，符合食用国家标准。Zhang 等^[3]通过超声辅助提取的方法提取番木瓜籽油，优化后的提取工艺提取率较高，所得油熔点较高，氧化稳定性较好。刘丹^[4]对不同品种羊臀脂的理化性质和脂肪酸组成进行测定，发现品种不同，脂肪酸组成亦不相同，其中阿勒泰羊皂化值较高，酸值和熔点品种之间差异并不明显；3个品种间十五烷酸(C15:0)、十七烷酸(C17:0)、硬脂酸(C18:0)、饱和脂肪酸(SFA)、不饱和脂肪酸(UFA)有较大差异。

动物油脂与一般植物油脂相比，有不可替代的特殊香味，可以增进人们的食欲。它们作为食用油已经多年，只是近年来发现动物油脂（特别是猪油、羊油等）、中的胆固醇含量较高，使得食用的人群逐渐减少。李秀春^[5]报道，藏羊油脂中含有多种脂肪酸，且有些藏羊油脂中饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸的含量相当，具有较高的营养价值，可提供大量的能量。其次，动物油脂中存在维持生命所必需的

物质如脂溶性维生素（维生素A、维生素E、维生素D、维生素K），是一种天然的抗氧化剂，能够增强机体的抗氧化能力。油脂氧化稳定性能够用于评估样品质量，能够体现其抵御自动氧化的能力，并且能够反映食用油脂氧化劣变的敏锐程度^[6]。目前，对于藏羊油脂提取工艺的研究比较匮乏，因此，本试验采用不同的提取方法提取藏羊油脂，通过对比其理化指标、氧化稳定性、以及脂肪酸、维生素等营养品质，以期得到最优的提取方法，进而为提高藏羊油脂得率，促进藏羊油脂的开发与利用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 原料

藏羊脂（内脏脂肪），由青海库库诺尔食品有限公司提供；盐酸、石油醚、氢氧化钾、无水乙醇、酚酞、可溶性淀粉、硫代硫酸钠、碘化钾、碱性蛋白酶，分析纯。

1.2 主要仪器设备

DF-101S 恒温油浴锅，河南予华仪器有限公司；HH-6 数显恒温水浴锅，常州市金坛友联仪器研究所；SOx406 脂肪测定仪，山东海能科学仪器有限公司；DHG-9070A 电热鼓风干燥箱，上海一恒科学仪器有限公司；KQ-800D 超声波清洗机，东莞市科桥超声波设备有限公司；FA2004B 电子天平，上海佑科仪器仪表有限公司；7890B GC System 气相色谱，Agilent；5977B GC/MSD 质谱仪，Agilent。

1.3 试验方法

1.3.1 不同方法提取藏羊油脂

1.3.1.1 干法熬制提取

工艺流程^[7]：

藏羊内脏脂肪→预处理(解冻、清洗、沥水)→绞碎→称重→干法熬制→过滤→藏羊粗油脂

称取样品,置于恒温水浴锅中,以 100 °C 提取 90 min 至羊油熔化,过滤,待测。

1.3.1.2 湿法熬制提取

工艺流程:

藏羊内脏脂肪→预处理(解冻、清洗、沥水)→绞碎→称重→湿法熬制→油水分离→藏羊粗油脂

称取样品,添加样品质量分数为 30% 的水混合均匀后,放置在 95 °C 的恒温水浴锅中熬煮,熬煮完成后用分液漏斗分离,得到藏羊油脂。

1.3.1.3 酶解辅助超声波辅助提取

工艺流程^[8]:

藏羊内脏脂肪→预处理(解冻、清洗、沥水)→绞碎→称重→超声波辅助提取→过滤→蒸发→藏羊粗油脂

称取样品置于具塞试管,放在超声波清洗器中,设定功率为 200 W,以 55 °C 提取 2 h 至羊油熔化(料水比为 1:2(质量体积比, g/mL)、添加质量分数为 1% 的碱性蛋白酶、超声时间: 40 min、pH 值为 8),过滤,蒸发水分得液体油,待测^[9]。

1.3.1.4 水酶法提取

参照夏蕴实等^[10]方法,稍作修改。

1.3.1.5 索氏抽提法提取

将样品放入 250 mL 锥形瓶中,用盐酸溶液酸化,将戳上小孔的保鲜膜包在瓶口,放入水浴锅中加热至沸腾,并保持 1 h,每 10 min 旋转摇动一次。待锥形瓶中试样基本完全融化后,取出锥形瓶,混匀后过滤。用热水清洗锥形瓶数次,与样品一起过滤。将沉淀物和滤纸连同锥形瓶放入干燥箱干燥。将烘干好后的滤纸用新滤纸包好,用棉线扎紧后,放入装有石油醚的抽提筒内,启动机器加热(抽提时间 3.5 h,温度 80 °C),最后回收石油醚,抽提结束后放入烘箱中干燥,待石油醚挥发后剩余的便是粗羊油^[11]。

1.3.2 不同提取方法对藏羊油脂理化指标的测定

皂化值的测定参照 GB/T 5534-2008《动植物油脂皂化值的测定》;碘值的测定参照 GB/T 5532-2008《动植物油脂碘值的测定》;酸价的测定参照 GB 5009.229-2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》;过氧化值的测定参照 GB 5009.227-2016《食品中过氧化值的测定》。

水分含量的测定参照 GB/T 5009.3-2016《食品中水分的测定》方法进行测定。

熔点的测定参照 GB/T 24892-2010《动植物油脂在开口毛细管中熔点(滑点)的测定》中的烘干法进行测定。

TBARS 的测定参照 GB/T 35252-2017《动植物油脂 2-硫代巴比妥酸值的测定 直接法》方法进行测定。

色差测定:参照 Lamberts 等^[12]的方法。 L^* 值代表亮度(0 代表黑色,100 代表白色), a^* 值代表红绿(正代表红色加深,负代表绿色加深), b^* 值代表蓝黄(正代表黄色加深,负代表蓝色加深)^[12]。

1.3.3 不同提取方法对藏羊油脂稳定性的测定

采用 Schaal 烘箱加速试验测定^[13]。将样品置于 500 mL 带刻度棕色玻璃瓶中,设定贮藏温度为 80 °C 下连续氧化 15 d。每 12 h 更换一次样品位置,每天取样测定其过氧化值、硫代巴比妥酸值和酸价,重复 3 次取平均值。

1.3.4 不同提取方法对藏羊油脂脂肪酸组成的测定

在冰水浴中解冻后,将 20 mg 样品置于 2 mL 玻璃离心管中,然后向其中加入 1 mL 氯仿/甲醇溶液。随后将混合物超声处理 30 min,加入 2 mL 硫酸乙醇溶液($\phi=1\%$)后,在 80 °C 水浴中保持 30 min 进行甲酯化。然后用 1 mL 正己烷进行萃取,随后加入 5 mL 纯水进行洗涤。然后将 25 μ L 微升正十九酸甲酯添加到 500 μ L 该混合物中作为内标。混合后,使用气相色谱法分离样品,进样量为 1 μ L,分流比为 10:1。温度设置包括初始温度 80 °C,保持 3 min,然后以 20 °C/min 的速率升至 180 °C,并保持新温度 8 min。使用流量为 1.0 mL/min 的氦气作为载气。为了评估系统的稳定性和重复性,在样品队列中达到一定数量的样品后,每隔一段时间就加入一个 QC 样品。随后使用质谱进行分析,其中样品入口、离子源和传输线的温度分别设置为 280、230 和 250 °C。还应用了电子碰撞电离(EI)源、SIM 模式和 70 eV 的电子能量。

1.3.5 不同提取方法对藏羊油脂脂溶性维生素含量的测定

脂溶性维生素的测定参照 GB 5009.82-2016,并稍做修改。-80 °C 取出样本,液氮研磨后称量 100 mg 样本,加入 10 μ L 内标(IS-mix),500 μ L 预冷含 0.3% 甲酸的甲醇:乙腈:水(2:2:1, V/V)溶液,加入钢珠,匀浆 2 次(每次 20 s),涡旋混合并在 4 °C 下孵育 10 min,将蛋白沉淀,在 4 °C 下 14 000 r/min

离心 10 min 后, 取上清液 400 μL 加入 400 μL 预冷金标水, 涡旋混合 30 s, 吸取 800 μL 上清液过 Ostro SPE 板, 弃废液, 400 μL 异丙醇洗脱, 滤液吹干, $-80\text{ }^\circ\text{C}$ 保存。然后将样品置于 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 自动进样器中, 柱温为 $35\text{ }^\circ\text{C}$, 流动相 A 为 5 mmol/L 的甲酸铵和 0.3% 甲酸水溶液, 流动相 B 为纯甲醇, 流速为 600 $\mu\text{L}/\text{min}$, 进样量为 2 μL 。

1.4 数据分析

所有的实验数据均采用 SPSS 25.0 软件进行单因素方差分析, 多组间均数的比较采用单因素方差分析 (one-way ANOVA)。实验统计数据以平均值 \pm 标准差 ($\pm\text{SD}$) 表示, 以 $P < 0.05$ 表示显著性差异, $P < 0.01$ 表示极显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 不同提取方法对藏羊油脂理化指标的影响

2.1.1 不同提取方法对藏羊油脂基本理化指标的影响

理化特性是综合评价油脂的质量的典型指标。酸价是判断油脂质量好坏的重要指标。酸价越小, 说明油脂质量越好, 新鲜程度越好。由表 1 可知, 通过不同方法提取的藏羊油脂中, 湿法熬制所得油脂的酸价最高, 为 2.52 mg/g, 索氏抽提所得油脂酸价最低, 为 1.38 mg/g, 品质最好。不同方法提取对藏羊油脂酸价的影响, 水酶法、湿法熬制和索氏抽提法的影响较为显著 ($P < 0.05$)。超声波酶辅助法所得油脂的皂化值最高, 为 227.08 g/100 g, 显著高于其他三种提取方法 ($P < 0.05$), 分析可能是因为超声辅助酶解法和索氏抽提法提取的油脂中游离的

脂肪酸较多、皂化物和杂质含量较少, 而湿法熬制提取的油脂中游离的脂肪酸较少、皂化物和杂质含量较多, 导致了皂化值有所变化, 油脂的皂化值越高, 其氧化稳定性越好, 酸价越低^[14]。湿法熬制所得油脂的皂化值最低, 为 151.97 g/100 g。

过氧化值指 100 g 油脂中所含氢过氧化物的克数, 用于说明样品是否因已被氧化而变质。由表 1 可知, 通过不同方法提取的藏羊油脂, 索氏抽提法提取的油脂过氧化值最高, 为 0.11 g/100 g, 超声辅助酶解法提取的油脂最低, 为 0.02 g/100 g。索氏抽提法所得藏羊油脂过氧化值均显著高于其他四组 ($P < 0.05$), 其原因可能是索氏抽提法提取时所需温度较高, 提取时间较长, 暴露在空气中的时间也长, 脂肪和空气发生反应, 造成了油脂被氧化; 另一方面可能是提取时温度高, 加快了脂肪与空气发生反应的速率, 使得油脂被氧化的程度不一样。葛杭丽等^[15]研究结果表明, 水酶法提取山茶油过氧化值最低, 有机溶剂萃取法所得山茶油的过氧化值最高, 分析其原因是有机溶剂萃取法需要在高温下将油脂从有机溶剂中提取出来, 高温又会使部分油脂发生氧化, 导致过氧化值升高, 这与本文的研究结果相类似。

碘价过高会使油脂发生酸败^[16]。由表 1 可知, 通过不同方法提取的藏羊油脂中, 干法熬制所得油脂的碘价最高, 为 12.06 g/100 g, 因此该方法相比于其他提取方法提取的油脂品质较差; 湿法熬制所得油脂碘价最低, 为 11.25 g/100 g。不同方法提取对藏羊油脂碘价的影响, 湿法熬制与其他四种方法的影响较为显著 ($P < 0.05$)。王标诗等^[17]研究结果表明, 水酶法辣木籽原油的碘值最高为 65.64 g/100 g, 显著高于索氏抽提法和乙醇水法, 均高于本试验的结果, 这可能与提取的原料或预处理的方法有关。

表 1 不同提取方法对藏羊油脂基本理化指标的影响

Table 1 Effects of different extraction methods on the basic physicochemical indicators of Tibetan sheep oil

提取方法	酸价/(mg/g)	过氧化值/(g/100 g)	碘值/(g/100 g)	皂化值/(mg/g)
SM	2.39 \pm 0.13 ^a	0.03 \pm 0.005 ^c	12.04 \pm 0.04 ^a	195.59 \pm 1.86 ^c
GF	1.96 \pm 0.58 ^{ab}	0.04 \pm 0.005 ^c	12.06 \pm 0.03 ^a	212.03 \pm 7.90 ^b
SS	1.38 \pm 0.29 ^b	0.11 \pm 0.035 ^a	11.59 \pm 0.08 ^a	227.08 \pm 3.21 ^a
CS	1.84 \pm 0.50 ^{ab}	0.02 \pm 0.016 ^c	11.81 \pm 0.18 ^a	227.08 \pm 3.21 ^a
SF	2.52 \pm 0.22 ^a	0.07 \pm 0.018 ^b	11.25 \pm 0.37 ^b	151.97 \pm 4.83 ^d

注: 表中 SM 为水酶法, GF 为干法熬制, SS 为索氏抽提法, CS 为超声辅助酶解法, SF 为湿法熬制。表中同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 无字母或相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 下同。

表 2 不同提取方法对藏羊油脂其余理化指标的影响

Table 2 Effects of different extraction methods on the remaining physicochemical indexes of Tibetan sheep oils and fats

项目	提取方法				
	SF	SS	GF	CS	SM
水分含量/(g/100 g)	1.44±0.52 ^{bc}	2.35±0.58 ^b	1.03±0.19 ^c	1.08±0.12 ^c	3.19±0.41 ^a
熔点/℃	37.67±0.76 ^c	38.17±0.76 ^c	44.83±0.76 ^a	40.17±1.04 ^b	40.33±0.76 ^b
TBRAS	0.007±0.001 ^c	0.015±0.004 ^b	0.009±0.001 ^c	0.005±0.001 ^c	0.023±0.003 ^a
<i>L</i> *	86.15±0.36	87.41±1.07	87.41±1.07	84.99±1.24	86.05±1.43
<i>a</i> *	5.02±0.49 ^a	-2.09±3.39 ^b	2.73±2.54 ^{ab}	2.38±1.21 ^{ab}	3.68±5.56 ^{ab}
<i>b</i> *	-2.16±2.37 ^b	-0.41±0.40 ^{ab}	1.74±0.33 ^a	1.51±0.41 ^a	-0.11±1.84 ^{ab}

2.1.2 不同提取方法对藏羊油脂水分含量、熔点、TBARS和色差的影响

由表 2 可知, 通过不同方法提取所得油脂中, 水酶法所得油脂的水分含量最高, 为 3.19 g/100 g, 干法熬制所得油脂的水分含量最低, 为 1.03 g/100 g。不同方法提取对藏羊油脂水分含量的影响, 水酶法与其他四种方法的影响较为显著 ($P < 0.05$), 干法熬制和湿法熬制 (1.44 g/100 g)、超声波酶辅助法 (1.08 g/100 g) 的影响不显著 ($P > 0.05$)。前文提到湿法熬制和水酶法提取的藏羊油脂的酸价较高, 其原因是油脂提取过程中, 由于光、热、空气中的氧以及水和酶的作用, 引起油脂氧化; 而水酶法水分含量过高 (3.19 g/100 g), 因此也是导致油脂酸价过高并产生异味的的原因之一。王标诗等^[17]研究结果表明, 3 种提取方法中水酶法辣木籽原油和精炼油中水分及挥发物含量最高, 乙醇水法次之, 索氏抽提法最低, 这与本试验的研究结果无明显差异。通过不同提取方法所得油脂中, 干法熬制所得油脂的熔点最高, 为 44.8 °C。湿法熬制所得油脂的熔点最低, 为 37.7 °C。不同提取方法对藏羊油脂熔点的影响, 干法熬制与其他四种方法有较为显著的差异 ($P < 0.05$), 湿法熬制和索氏抽提法与水酶法和超声波酶辅助法有显著差异 ($P < 0.05$)。

通过测定 TBARS 含量来评估油脂的二次氧化产物。不同提取方法所得藏羊油脂硫代巴比妥酸值如表 2 所示, 水酶法的 TBARS 值最高, 为 0.023 0, 超声波酶辅助法的 TBARS 最低, 为 0.004 8。不同提取方法对藏羊油脂 TBARS 的影响较为显著 ($P < 0.05$)。

油的天然色素会影响其可见的颜色。赋予油颜色的主要色素是叶绿素 (绿色) 和类胡萝卜素 (红色、黄色和橙色)^[18]。由表 2 可知, 不同提取方法中, 干法熬制的 *L** 值和 *b** 值最高, 为 87.41 和 1.74,

湿法熬制的 *a** 值最高, 为 5.023。在不同方法下提取的藏羊油脂 *L** 值均为正数, 在 84 以上, 差异并不显著 ($P > 0.05$), 表明五种提取方法所得藏羊油脂均偏白; 湿法熬制的 *a** 值差异显著与其他四种油脂 ($P < 0.05$), 索氏抽提法所得油脂为负值, 偏绿色, 可能索氏抽提法对叶绿素的保留较好。五种方法提取的藏羊油脂的对色差 *L** 值无显著的影响, 因油脂在凝固状态下, 肉眼观察皆呈白色, 但对 *a** 值和 *b** 有显著影响, 可能是干法熬制和湿法熬制提取藏羊油脂时的温度较高, 在高温下脂肪内的单糖和氨基酸反应, 生成深色化合物^[19], 致使油脂的 *a** 值与 *b** 值受影响。

2.2 不同提取方法对藏羊油脂氧化稳定性的影响

2.2.1 不同提取方法对藏羊油脂氧化稳定性硫代巴比妥酸值的影响

脂肪氧化是影响油的保质期和质量属性的最关键因素之一。脂肪氧化导致食物的味道、气味、质地、风味和外观发生不良变化, 还会破坏脂溶性维生素。在油脂的加工和销售过程中, 油脂的保质期 (也就是直到油脂发生酸败的一段时间) 是一个重要的质量因素, 这是通过它的氧化稳定性来衡量的。Schaal 烘箱试验法, 是通过升高储存温度来破坏油的原始物理化学属性^[20]。

硫代巴比妥酸值 (TBA) 是检测油脂氧化的重要指标和有效方法, TBA 值越高, 反映样品的脂质氧化程度越大, 其腐败度越严重。不同提取方法对藏羊油脂氧化稳定性硫代巴比妥酸值的影响如图 1 所示, 不同提取方法所得藏羊油脂硫代巴比妥酸值在 0~5 d 期间起伏变化较大, 在第 5 天之后, 变化起伏较小, 比较平稳。湿法熬制藏羊油脂的硫代巴比妥酸值在第 2 天达到最高, 为 0.118 1, 随着

氧化时间的延长,又逐渐降低,氧化结束后第15天时为0.0187;干法熬制藏羊油脂在第3天达到最高值为0.0907,随后趋于平稳;超声辅助酶解法所得藏羊油脂硫代巴比妥酸值在0~8d内有所波动,但波动程度均小于其他四种方法提取所得藏羊油脂,在第8~15天区域平稳状态,氧化稳定性相对较好。五种油脂在氧化后期均趋于平稳,可能是醛类物质进一步氧化成有机醇和羧酸等物质。谢贞建等^[21]研究表明,大豆油硫代巴比妥酸值在氧化初期变化不明显,然而随着氧化时间的延长,各个组的硫代巴比妥酸值都有明显的上升趋势,但在第12天时,有了下降的趋势,这与本文的研究结果相类似。

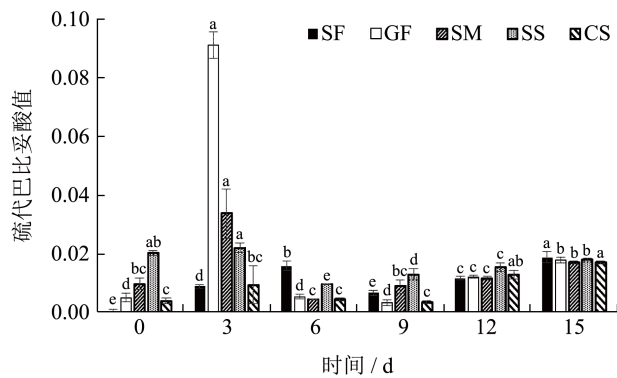


图1 不同提取方法对藏羊油脂氧化稳定性硫代巴比妥酸值的影响

Fig.1 Effect of different extraction methods on the oxidative stability of Tibetan sheep oil and thiobarbituric acid value

注:图中SF为湿法熬制,GF为干法熬制,SM为水酶法,SS为索氏抽提法,CS为超声辅助酶解法。图中同一系列字母不同表示差异显著($P < 0.05$),无字母或字母相同不显著($P > 0.05$),下同。

2.2.2 不同提取方法对藏羊油脂氧化稳定性过氧化值的影响

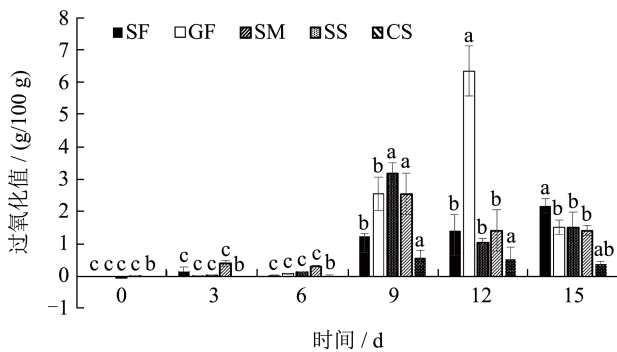


图2 不同提取方法对藏羊油脂氧化稳定性过氧化值的影响
Fig.2 Effect of different extraction methods on the oxidative stability and peroxide value of Tibetan sheep oil

过氧化值是油类氧化的初级产物,过氧化值越高,氧化稳定性越低。由图2可知,在0~3d,不同提取方法藏羊油脂均处于平稳状态,没有显著变化,在第4天时除湿法熬制藏羊油脂无变化外,其余方法所得藏羊油脂过氧化值均显著增加($P < 0.01$)。在第8天以后,各提取方法藏羊油脂过氧化值均有不同程度的增加,干法熬制藏羊油脂过氧化值变化幅度最大,即最不稳定,由第0天的-0.0024 g/100 g增加至1.52 g/100 g,超声辅助酶解法所得藏羊油脂过氧化值虽有不同程度的起伏变化,但其过氧化值均低于其他4种提取方法所得藏羊油脂,在第0天为-0.0046 g/100 g,氧化15d后为0.3877 g/100 g,氧化稳定性相对较好。在15d的储存期内,值得注意的是,五种不同提取方法藏羊油脂在第8天以后开始有不同程度的急剧增加,油脂储藏过程中,易受空气中的氧、光、热、水分等因素诱发油脂缓慢氧化,氢过氧化物的积累,多种酸败产物,从而致使过氧化值升高^[22],在第11天以后又开始下降,可能是由于不稳定的初级氧化产物(过氧化氢),这些不稳定的初级氧化产物容易分解,形成了羰基化合物^[23]。

2.2.3 不同提取方法对藏羊油脂氧化稳定性酸价的影响

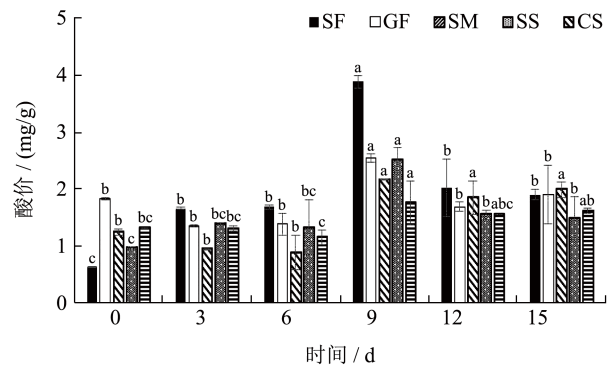


图3 不同提取方法对藏羊油脂氧化稳定性酸价的影响

Fig.3 Effect of different extraction methods on the oxidation stability and acid value of Tibetan sheep oil

图3是不同提取方法所得藏羊油脂连续氧化15d后酸价的变化情况。各提取方法所得藏羊油脂随着氧化时间的延长,其酸价均有不同程度的起伏变化,其中湿法熬制所得藏羊油脂酸价均高于其他四种提取方法所得藏羊油脂,在第9天时显著增高($P < 0.01$),为3.81 mg/g,干法熬制在第0天是1.83 mg/g,第15天时为1.9 mg/g,水酶法第0天为1.24 mg/g,第15天为1.99 mg/g,索氏抽提法第0天为0.97 mg/g,第15天时为1.49 mg/g,

超声辅助酶解法所得藏羊油脂酸价在第0天是1.32 mg/g, 第15天时为1.62 mg/g, 在这整个氧化期间, 起伏变化程度较小, 氧化程度较轻, 稳定性较好。酸价是衡量油脂品质的重要指标, 代表的是油脂中游离脂肪酸的含量。油脂储藏和食用过程中, 游离脂肪酸会因为外界因素而发生水解, 如光照、温度、酶等^[24]。在氧化过程中, 第9天时湿法熬制所得藏羊油脂的酸价显著升高, 研究表明, 高温过程会导致酶失活, 减少其对甘油三酯的降解作用, 因此在前期酸价控制在较低水平, 但长期过高的温度会使甘油三酯发生热降解, 因而酸价会迅速升高^[25]。

2.3 不同提取方法对藏羊油脂脂肪酸组成的影响

表3为五种不同提取方法所得藏羊油脂中共检测到36中脂肪酸的标准曲线结果, 表明个脂肪酸在各自的浓度范围内具有良好的线性关系, 即能够满足测定的要求。

五种不同提取方法藏羊油脂脂肪酸组成及含量分析结果见表4。五种不同提取方法对藏羊油脂中共检测到36种脂肪酸, 辛酸(C8:0)、己酸(C6:0)、十五碳烯酸(C15:1N5)和反油酸(C18:1TN9)未检测到。十七碳烯酸(C17:1N7)、棕榈油酸(C16:1N7)、亚油酸(C18:2N6)、十七烷酸(C17:0)、硬脂酸(C18:0)、棕榈酸(C16:0)、二十碳烯酸(C20:1N9)、肉蔻豆酸(C14:0)、油酸(C18:1N9)是这五种不同提取方法藏羊油脂种含量较高的脂肪酸。其中, 辛酸(C8:0)、癸酸(C10:0)和Total SFA的含量没有显著影响($P>0.05$)。彭常酶等^[26]研究结果表明, 不同提取方法提取牡丹籽油, 其脂肪酸组成相似, 主要的脂肪酸有油酸(C18:1N9)、亚油酸(C18:2N6)和 α -亚麻酸(C18:3N6), 但各脂肪酸的含量与本文有所差异, 可能是植物油与动物油自身的差异造成的。总单不饱和脂肪酸(Total MUFA)、总多不饱和脂肪酸(Total PUFA)、总N3多不饱和脂肪酸(Total_N3)、总N6多不饱和脂肪酸(Total_N6)的含量在湿法熬制(SF)藏羊油脂中显著高于其他四组($P<0.01$)。

从单一脂肪酸含量看, 湿法熬制(SF)藏羊油脂中棕榈油酸(C16:0)含量较其他四种提取方法藏羊油脂差异显著, 为47 504.17 $\mu\text{g/g}$, 其次为索氏抽提法(SS)、干法熬制(GF)和超声辅助酶解法(CS), 水酶法中含量最低。亚油酸(C18:2N6)在湿法熬制

(SF)藏羊油脂中含量最高为5 136.39 $\mu\text{g/g}$, 在索氏抽提法(SS)藏羊油脂中含量最低为3 985.3 $\mu\text{g/g}$; 亚麻酸(C18:3N3)在湿法熬制(SF)藏羊油脂中含量最高为816.43 $\mu\text{g/g}$, 而在索氏抽提法(SS)藏羊油脂中含量最低, 仅为627.41 $\mu\text{g/g}$ 。但硬脂酸(C18:0)含量在湿法熬制(SF)藏羊油脂中最低, 为41 961.88 $\mu\text{g/g}$, 在索氏抽提法(SS)和干法熬制(GF)中含量较高, 分别为48 270.63 $\mu\text{g/g}$ 和46 782.03 $\mu\text{g/g}$ 。亚油酸和亚麻酸是人体必需脂肪酸, 对人体脂质代谢具有重要作用, 可有效降低血清中各种胆固醇的含量, 具有溶解血栓, 预防高血压、高血脂及其它心脑血管疾病的作用。

图4为五种不同提取方法所得藏羊油脂脂肪酸含量。其中, 饱和脂肪酸(SFA)含量在五种不同藏羊油脂中没有显著差异, 均高达98 559~107 143 $\mu\text{g/g}$, 说明提取方法对饱和脂肪酸含量影响较小。但值得注意的是, 饱和脂肪酸中的硬脂酸含量和羊肉的膻味呈正相关, 即含量越高膻味越重^[27]。在本试验中, 硬脂酸含量在索氏抽提法中含量最高, 在湿法提取中含量最少, 膻味更少一些。有研究表明^[28], 多不饱和脂肪酸在肉制品贮藏、运输和加工过程中也更容易发生脂质氧化, 除了会降低其营养价值外, 还会对其风味、质地等感官品质产生负面影响, 从而影响消费者的接受程度^[29]。在五种不同藏羊油脂中, 湿法提取所得藏羊油脂中多不饱和脂肪酸(PUFAs)含量最高, 这也印证了在氧化稳定性试验中, 湿法提取藏羊油脂的硫代巴比妥酸值和酸价均高于其他四组, 说明脂质氧化程度较为严重。超声辅助酶解法(CS)和湿法熬制(SF)的单不饱和脂肪酸的含量显著高于其他三组($P<0.05$)。n-3多不饱和脂肪酸比如DHA、EPA等具有降低胆固醇、甘油三酯、促进体内代谢、大脑发育、改善视力^[30]和防止脂质氧化^[31]的功效; n-6多不饱和脂肪酸如花生四烯酸具有预防多种疾病、调节免疫系统、促进消化和降低血压的功能^[32]。在本试验中, n-3和n-6的含量在五种藏羊油脂中所占比例均较小, 但湿法熬制藏羊油脂种较其他四种提取方法差异显著($P<0.05$), 表明湿法熬制较好的保留了油脂中的各种功效成分。在本试验中, 硬脂酸含量在索氏抽提法中含量最高, 在湿法提取中含量最少, 膻味更少一些。多样化的脂肪酸种类, 高不饱和脂肪酸含量, 以及多不饱和脂肪酸等特征为5种方法提取藏羊油脂提供了坚实的营养价值保障^[33]。

表 3 36种脂肪酸标准曲线结果
Table 3 Results of 36 fatty acid standard curves

脂肪酸	标准曲线	R^2	线性范围/($\mu\text{g/mL}$)
C4:0	$y=0.309\ 327x+0.015\ 815$	0.997 2	0.002~50
C6:0	$y=0.833\ 712x+0.069\ 161$	0.991 8	0.002~50
C8:0	$y=2.275\ 884x+0.001\ 112$	0.998 6	0.002~50
C10:0	$y=3.151\ 829x+0.000\ 464\ 424\ 5$	0.997 8	0.004~100
C11:0	$y=3.132\ 747\ x+0.000\ 131\ 184\ 6$	0.997 3	0.002~50
C12:0	$y=1.750\ 582x+0.062\ 575$	0.996 4	0.004~100
C13:0	$y=2.207\ 527x+0.004\ 956$	0.999 1	0.002~50
C14:0	$y=1.295\ 390x+0.106\ 505$	0.991 9	0.002~50
C14:1N5	$y=0.486\ 424x+0.028\ 105$	0.999 5	0.002~50
C15:0	$y=1.230\ 396x+0.315\ 81$	0.994 1	0.002~50
C15:1N5	$y=0.452\ 754x+0.032\ 966$	0.993 7	0.002~50
C16:0	$y=1.235\ 014x+0.187\ 335$	0.994 8	0.004~100
C16:1N7	$y=0.359\ 154x+0.024\ 491$	0.994 7	0.002~50
C17:0	$y=1.162\ 300x+0.215\ 399$	0.990 6	0.004~100
C17:1N7	$y=0.393275x+0.025903$	0.994 6	0.002~50
C18:0	$y=1.175\ 714x+0.206\ 426$	0.991 4	0.004~100
C18:1TN9	$y=0.360\ 203x+0.021\ 194$	0.995 9	0.002~50
C18:1N9	$y=0.326\ 611x+0.054\ 827$	0.991 9	0.004~100
C18:2TTN6	$y=0.545\ 035x+0.022\ 371$	0.999 5	0.002~50
C18:2N6	$y=0.483\ 454x+0.030\ 405$	0.995 2	0.002~50
C18:3N6	$y=0.682\ 676x+0.011\ 141$	0.999 5	0.004~100
C18:3N3	$y=0.562\ 609x+0.105\ 021$	0.99 6	0.002~50
C20:0	$y=1.298\ 100x+0.196\ 687$	0.999 1	0.004~100
C20:1N9	$y=0.367\ 845x+0.071\ 606$	0.995 7	0.002~50
C20:2N6	$y=0.526\ 100x+0.020\ 267$	0.998	0.002~50
C21:0	$y=1.956\ 563x+0.001\ 575$	0.999 6	0.002~50
C20:3N6	$y=0.585\ 057x+0.003\ 621$	0.997 1	0.002~50
C20:4N6	$y=0.562\ 013x+0.009\ 165$	0.998 6	0.002~50
C20:3N3	$y=0.964\ 808\ x+0.000\ 489\ 512\ 9$	0.999 8	0.002~50
C22:0	$y=0.390\ 353\ x+0.001\ 411$	0.999 7	0.004~100
C20:5N3	$y=3.330\ 010\ x+0.009\ 494$	0.996 3	0.002~50
C22:1N9	$y=0.358\ 805x+0.095\ 178$	0.995 8	0.002~50
C22:2N6	$y=0.693\ 357\ x+0.000\ 683\ 339\ 3$	0.999 8	0.002~50
C23:0	$y=1.796\ 265x+0.000\ 738\ 686$	0.999 5	0.002~50
C22:4N6	$y=0.670\ 674\ x+0.000\ 865\ 510\ 4$	0.999 5	0.002~50
C22:5N6	$y=0.687\ 407\ x+0.000\ 362\ 407\ 8$	0.998 6	0.002~50
C24:0	$y=1.743\ 893\ x+0.001\ 079$	0.9996	0.004~100
C22:5N3	$y=0.767\ 336x+0.000\ 332\ 997\ 2$	0.998 3	0.002~50
C24:1N9	$y=0.032\ 089x+0.000\ 691\ 639\ 2$	0.996 2	0.002~50
C22:6N3	$y=0.463\ 097x+0.006\ 971$	0.999	0.002~50

表 4 不同提取方法对藏羊油脂脂肪酸组成的影响 (μg/g)

Table 4 Effects of different extraction methods on the fatty acid composition of Tibetan sheep oil (μg/g)

项目	组别					P-value
	CS	GF	SS	SF	SM	
C20:5N3	39.19 ^c	42.97 ^b	23.92 ^c	32.47 ^d	46.33 ^a	<0.01
C22:5N3	9.97 ^b	6.55 ^c	9.88 ^b	10.42 ^b	12.36 ^a	<0.01
C22:1N9	1 036.43 ^c	1 261.05 ^b	856.75 ^c	946.35 ^d	1 405.43 ^a	<0.01
C21:0	16.69 ^b	18.58 ^a	11.79 ^c	15.24 ^c	18.79 ^a	<0.01
C24:0	11.81 ^b	14.32 ^a	8.47 ^c	11.62 ^b	13.74 ^a	<0.01
C17:1N7	1 893.99 ^b	1 456.51 ^d	1 523.02 ^{cd}	2 377.59 ^a	1 608.54 ^c	<0.01
C23:0	11.29 ^b	13.67 ^a	8.32 ^d	10.53 ^c	13.07 ^a	<0.01
C22:4N6	23.24 ^b	16.86 ^d	23.02 ^b	26.02 ^a	20.90 ^c	<0.01
C20:0	769.22 ^b	852.53 ^a	618.00 ^d	712.57 ^c	887.79 ^a	<0.01
C16:1N7	5 538.55 ^b	4 657.80 ^c	4 233.52 ^c	6 270.53 ^a	4 559.34 ^c	<0.01
C15:0	1 393.85 ^b	1 175.12 ^c	1 079.26 ^c	1 628.99 ^a	1 051.25 ^c	<0.01
C22:0	31.53 ^b	24.24 ^d	28.70 ^c	36.61 ^a	34.64 ^a	<0.01
C22:2N6	6.97 ^d	8.41 ^b	7.07 ^c	7.39 ^c	10.33 ^a	<0.01
C14:1N5	477.31 ^b	349.87 ^c	264.86 ^c	610.27 ^a	295.40 ^c	<0.01
C15:1N5	ND	ND	ND	ND	ND	
C18:3N3	753.11 ^b	735.73 ^b	627.41 ^d	816.43 ^a	690.60 ^c	<0.01
C18:2TTN6	433.46 ^{bc}	456.16 ^b	428.3 ^{bc}	540.49 ^a	415.5 ^d	<0.01
C18:2N6	4 951.89 ^a	4 481.30 ^b	3 985.30 ^c	5 136.39 ^a	4 479.47 ^b	<0.01
C17:0	3 525.20 ^c	3 243.95 ^d	3 746.10 ^b	4 092.88 ^a	3 346.55 ^{cd}	<0.01
C20:3N6	44.80 ^a	37.37 ^b	38.20 ^b	47.48 ^a	38.33 ^b	<0.01
C22:6N3	77.67 ^b	60.22 ^c	97.00 ^a	63.41 ^c	96.69 ^a	<0.01
C18:3N6	39.47 ^a	35.99 ^b	36.75 ^b	40.86 ^a	34.74 ^b	<0.01
C20:2N6	163.84 ^{ab}	141.96 ^c	158.44 ^b	173.79 ^a	153.26 ^b	<0.01
C22:5N6	4.61 ^a	2.92 ^b	4.85 ^a	4.81 ^a	3.99 ^a	<0.01
C18:0	42 087.86 ^b	46 782.03 ^a	48 270.63 ^a	41 961.88 ^b	45 013.23 ^{ab}	<0.01
C24:1N9	106.53 ^{ab}	82.82 ^{bc}	116.63 ^b	72.49 ^c	121.27 ^a	<0.01
C20:4N6	108.79 ^a	87.66 ^b	119.54 ^a	122.76 ^a	104.10 ^a	<0.01
C13:0	22.37 ^{ab}	20.76 ^{ab}	14.07 ^{bc}	26.71 ^a	9.88 ^c	<0.01
C20:1N9	1 870.62 ^c	1 867.52 ^c	2 139.18 ^{ab}	1 990.99 ^{bc}	2 233.06 ^a	<0.01
C16:0	43 147.87 ^{bc}	43 227.85 ^{bc}	45 110.80 ^{ab}	47 504.17 ^a	40 767.90 ^c	<0.01
C14:0	9 194.13 ^{ab}	9 443.20 ^{ab}	8 051.05 ^{bc}	9 989.42 ^a	7 352.93 ^c	<0.01
C18:1N9	81 669.66 ^b	77 763.59 ^b	81 197.60 ^b	90 489.62 ^a	81 457.82 ^b	<0.01
C18:1TN9	ND	ND	ND	ND	ND	
C4:0	ND	ND	ND	ND	ND	
C6:0	ND	ND	ND	ND	ND	
C8:0	0.904 9	0.711 6	0.675 3	0.513 2	0.853 9	0.42
C10:0	11.88 5	9.136 6	0.866 9	3.906 8	0.270 2	0.17
C11:0	1.62 ^a	1.43 ^a	0.51 ^a	1.46 ^a	0.04 ^a	<0.05

续表 4

项目	组别					P-value
	CS	GF	SS	SF	SM	
C12:0	318.12 ^a	344.95 ^a	193.92 ^a	320.37 ^a	48.98 ^a	<0.05
C20:3N3	8.33 ^{ab}	7.95 ^b	8.42 ^{ab}	9.32 ^a	8.23 ^{ab}	<0.05
Total_SFA	100 544.36	105 172.47	107 143.15	106 316.80	98 559.91	0.07
Total_MUFA	92 593.10 ^b	87 439.15 ^b	90 331.56 ^b	102 757.85 ^a	91 680.86 ^b	<0.01
Total_PUFA	6 665.37 ^a	6 122.06 ^b	5 569.17 ^c	7 032.04 ^a	6 114.91 ^b	<0.01
Total_N3	888.29 ^a	853.43 ^b	767.64 ^c	932.05 ^a	854.21 ^b	<0.01
Total_N6	5 777.09 ^a	5 268.63 ^b	4 801.53 ^c	6 099.99 ^a	5 260.70 ^b	<0.01

表 5 脂溶性维生素标准曲线结果

Table 5 Results of standard curve for fat soluble vitamins

脂溶性维生素	标准曲线	R ²	线性范围/(ng/mL)
Vitamin K1	y=0.001 98x+0.002 33	0.999 87	0.5~2 500
Vitamin A	y=0.001 22x+ -0.109 64	0.999 28	0.5~2 500
Vitamin E	y=2.887 15e-5x+ -0.001 74	0.999 62	0.5~2 500
25OHVD3	y=0.006 61x+ -0.002 55	0.999 02	0.5~2 500
25OHVD2	y=0.009 76x+ -0.013 71	0.999 59	0.5~2 500

表 6 不同提取方法对藏羊油脂脂溶性维生素含量的影响 (ng/g)

Table 6 Effects of different extraction methods on the content of fat soluble vitamins in Tibetan sheep oil (ng/g)

	维生素 E	维生素 D2	维生素 A	维生素 D3	维生素 K
CS	4 911.25 ± 189.11 ^a	8.32 ± 0.96 ^b	179 375.67 ± 13 782.39 ^a	28.4 ± 2.81 ^{ab}	282.59 ± 35.26
GF	5 079.79 ± 85.6 ^a	6.24 ± 0.34 ^b	143 149.89 ± 34 626.92 ^{ab}	24.4 ± 2.01 ^b	253.03 ± 19.96
SS	1 606.03 ± 146.92 ^c	14.85 ± 1.95 ^a	105 389.38 ± 12 086.85 ^b	32.32 ± 0.59 ^a	257.97 ± 13.19
SF	2 529.76 ± 27.07 ^b	3.87 ± 0.73 ^c	109 032.29 ± 3 955.57 ^b	25.44 ± 4.03 ^b	269.88 ± 0.89
SM	2 514.72 ± 67.79 ^b	7.27 ± 0.92 ^b	120 046.18 ± 25 065.71 ^b	29.09 ± 0.87 ^{ab}	297.91 ± 11.49

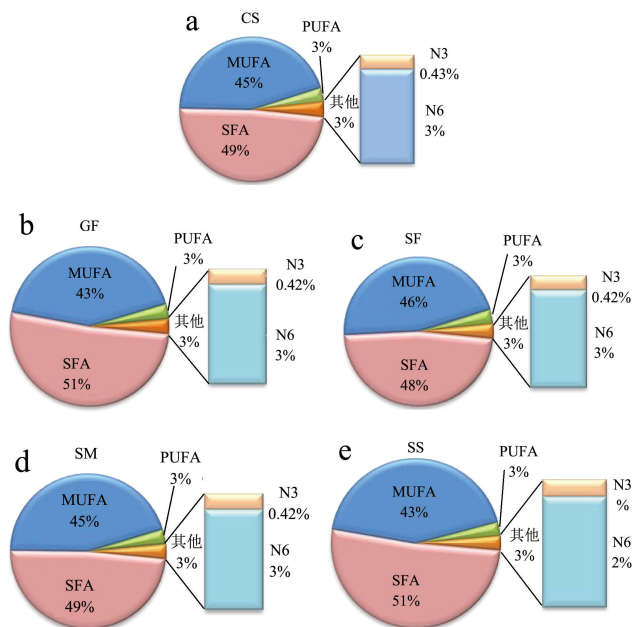


图 4 不同藏羊油脂中脂肪酸含量

Fig.4 Fatty acid content in different Tibetan sheep oils

2.4 不同提取方法对藏羊油脂脂溶性维生素含量的影响

表 5 为五种脂溶性维生素的标准曲线，表明各维生素在各自浓度范围内具有良好的线性关系，能够满足测定要求。

脂溶性维生素包括维生素 A、维生素 D、维生素 E、维生素 K。维生素 A 是一种维持人体正常代谢和机能的非常重要的微量营养素，其生理作用广泛，具有促进胚胎发育、脑发育、维护上皮健康、维持视觉功能和骨骼发育、调节免疫功能等多种重要生物学功能^[34]。

维生素 E 是一种天然的抗氧化剂，具有抗氧化、改善血液循环、促进维生素 A 的吸收和类胡萝卜素在肝脏的储存等功能^[6]。不同提取方法所得藏羊油脂维生素 E 含量如表 6 所示，五种不同提取方法藏羊油脂种维生素 E 含量范围在 1 606~5 079 ng/g 之间，

差异显著 ($P < 0.05$), 其中干法熬制和超声辅助酶解法所得藏羊油脂维生素 E 含量最高, 为 5 079 ng/g 和 4 911 ng/g, 索氏抽提法所得藏羊油脂维生素 E 含量最低, 为 1 606 ng/g。葛杭丽等^[15]研究表明, 水酶法提取山茶油中维生素 E 含量最高 (247.44 $\mu\text{g/g}$), 水代溶剂法次之, 有机溶剂法中维生素 E 的含量最低, 以上结果与本文的有所差异, 可能与原料、处理方式有关。维生素 D 是一种脂溶性维生素和很重要的类固醇激素, 可分为维生素 D2 和维生素 D3, 维生素 D2 (麦角钙化酚) 主要来源于植物, 维生素 D3 (胆钙化醇) 主要来源于动物, 在促进人体骨骼生长、机体免疫应答方面具有重要的作用^[35,36]。在本试验中, 五种不同提取方法藏羊油脂维生素 D2 含量在 3.87~14.85 ng/g, 维生素 D3 含量在 24.4~32.32 ng/g, 维生素 D3 的含量确实比维生素 D2 的含量高, 索氏抽提法所得藏羊油脂与超声辅助酶解法和水酶法所得藏羊油脂种维生素 D 的含量差异不显著 ($P > 0.05$), 但比超声辅助酶解法和水酶法组分别高出了 3.92 和 3.23 ng/g。维生素 A 含量在五种不同提取方法藏羊油脂中含量均较多, 其中超声辅助酶解法维生素 A 含量为多, 高达 179 375 ng/g, 维生素 K 含量在五种不同提取方法藏羊油脂中差异不显著 ($P > 0.05$), 范围在 253~297 ng/g 之间。

3 结论

综合分析得出, 超声波酶辅助法为最优提取方法, 皂化值为 227.08 g/100 g, 酸价为 1.84 mg/g, 水分含量为 1.08 g/100 g, 熔点为 40.2 g/100 g, TBA 值为 0.005, 此时油脂氧化稳定性最好, 脂溶性维生素含量最高。脂肪酸组成在不同提取方法所得油脂中各有差异, 多不饱和脂肪酸在超声辅助酶解法和湿法熬制中最为丰富。本研究确定了最佳的提取方法为超声酶辅助酶法, 本研究结果为提高藏羊油脂得率, 为藏羊油脂的精深加工利用奠定了理论基础。

参考文献

- [1] 王玉娟.全力推动藏羊产业“全产业链”发展[N].青海日报.2022-11-24(008).
- [2] 张雅婷,王芳,曹珍珍,等.草鱼内脏油脂的提取方法及贮藏特性研究[J].食品工业科技,2019,40(6):127-131.
- [3] ZHANG W, PAN Y G, HUANG W, et al. Optimized ultrasonic-assisted extraction of papaya seed oil from Hainan/Eksotika variety [J]. Food Science and Nutrition, 2019, 7(8): 2692-2701.
- [4] 刘丹.不同品种羊臀脂油提取方法及其分提产物理化性质和氧化稳定性研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2022.
- [5] 李秀春.藏羊高效养殖技术与发展思路[J].畜牧兽医科技信息,2022,10:118-120.
- [6] 孙佳宁.羊臀脂提取、分提及氧化稳定性研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2021.
- [7] 何鑫,刘丹,李涛,等.不同提取方法对羊尾油品质的影响[J].肉类研究,2019,33(2):7-12.
- [8] LIU X Y, OU H, GREGERSEN H, et al. Supercritical carbon dioxide extraction of *Cosmos sulphureus* seed oil with ultrasound assistance [J]. Journal of CO2 Utilization, 2023, 70: 10429.
- [9] 左笑,张东翔.超声波在油脂提取中的应用[J].粮油加工,2007,11:70-73.
- [10] 夏蕴实,刘畅,王梓,等.复合酶水酶法提取鹿油及其脂肪酸组成分析[J].食品工业,2021,42(12):108-112.
- [11] 王广婕,赵焕宇,苏成成,等.油脂体的组成、结构及氧化稳定性研究进展[J].食品科学,2023,44(21):293-302.
- [12] LAMBERTS L, DE B E, DERYCKE V, et al. Effect of processing conditions on color change of brown and milled parboiled rice [J]. Cereal Chemistry, 2006, 83(1): 80-85
- [13] WANG Y Z, FU S G, WANG S Y, et al. Effects of a natural antioxidant, polyphenol-rich rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract, on lipid stability of plant-derived omega-3 fatty acid rich oil [J]. LWT, 2018, 89: 210-216
- [14] 杨雅新,宿时,钱志伟,等.超声波辅助提取黄蜀葵籽油脂及品质分析[J].河南农业,2023,635(3):52-53,56.
- [15] 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.
- [16] 蒋平原,蒋将.花生油炸油条在高温加热过程中酸价及过氧化值的变化[J].山东食品科技,2004,6(6):9-9.
- [17] 王标诗,杜京蔚,刘淑敏,等.不同提取方法对辣木籽原油和精炼油品质的影响[J].中国油脂,2023,48(6):24-28,31.
- [18] TAN C X, CHONG G H, HAMZAH H, et al. Comparison of subcritical CO₂ and ultrasound-assisted aqueous methods with the conventional solvent method in the extraction of avocado oil [J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2018, 135: 45-51.
- [19] 闫舟.小米及方便小米粥贮存过程中油脂、蛋白特性及抗氧化性的研究[D].太原:山西农业大学,2019.
- [20] YANG Y, SONG X, SUI X, et al. Rosemary extract can be used as a synthetic antioxidant to improve vegetable oil oxidative stability [J]. Industrial Crops & Products, 2016, 80: 141-147.
- [21] 谢贞建,卢玉容,程锬,等.石榴皮提取物对大豆油的抗氧化作用研究[J].中国油脂,2019,44(8):82-86.
- [22] 曾晶,王卫飞,陈莹,等.不同加工工艺山茶油在储藏过程中品质变化[J].中国油脂,2023,48(11):8-13,24.

- [23] SHAHIDI F, ZHONG Y. ChemInform abstract: Lipid oxidation and improving the oxidative stability [J]. ChemInform, 2010, 39:4067-4079.
- [24] 于杰. 菜籽的红外预处理对其油脂氧化稳定性及风味的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
- [25] 压婷, 姬彦羽, 姚梦莹, 等. 棕油的热氧化稳定性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 195-200.
- [26] 彭常梅, 方锐琳, 赖敏, 等不同提取方法对牡丹籽油品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(3): 104-111.
- [27] 齐明江, 温红瑞, 周玉香, 等. 栗木单宁对滩羊生长性能、肉品质和肌肉脂肪酸组成的影响[J]. 动物营养学报, 2022, 34(6): 3857-3866.
- [28] SHAHIDI F, ABD A. Lipid-derived flavours and off-flavours in Food [M]. Encyclopedia of Food Chemistry, 2019
- [29] HOSSAIN A, DAVE D, SHAHIDI F. Northern sea cucumber (*Cucumaria frondosa*): A potential candidate for functional food, nutraceutical, and pharmaceutical sector [J]. Marine Drugs, 2020, 18(5): 274.
- [30] 王萍, 张银波, 江木兰. 多不饱和脂肪酸的研究进展. [J]. 中国油脂, 2008, 33(12): 42-46.
- [31] WEINBERGR L, BROOKR D, RUBENFIRE M, et al. Cardiovascular impact of nutritional supplementation with omega-3 fatty acids [J]. Journal of the American College of Cardiology, 2021, 77(5): 593-608.
- [32] 刘志国, 王丽梅, 王华林, 等. 多不饱和脂肪酸对大脑功能影响研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(21): 284-290.
- [33] 伍雅士, 刘佳丽, 闫荣玲, 等. 超声辅助提取3种植物中药种子油的脂肪酸组成及活性成分研究[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(12): 121-127.
- [34] 王斯. 维生素A缺乏对孤独症模型大鼠运动协调功能的影响及可能机制[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2021.
- [35] 李锦梦, 黄蕾, 王文媛, 等. 新生儿维生素A、D缺乏现状的研究进展[J]. 中国妇幼卫生杂志, 2023, 14(2): 70-75.
- [36] CHANGS W, LEE H C. Vitamin D and health-The missing vitamin in humans [J]. Pediatrics & Neonatology, 2019, 60(3): 237-244.