

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.07.010

# 青海牦牛乳脂肪 Sn-2 位脂肪酸组成分析

## Composition of Sn-2 fatty acids in yak milk fat from Qinghai province

冯西娅<sup>1,2</sup> 张 玉<sup>1,2</sup> 索化夷<sup>1,2</sup> 王洪伟<sup>1,2</sup>

FENG Xi-ya<sup>1,2</sup> ZHANG Yu<sup>1,2</sup> SUO Hua-yi<sup>1,2</sup> WANG Hong-wei<sup>1,2</sup>

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400700; 2. 西南大学食品科学与工程国家级教学示范中心, 重庆 400700)

(1. College of Food Science of Southwestern University, Chongqing 400700, China; 2. National Teaching Demonstration Center of Food Science and Engineering of Southwest University, Chongqing 400700, China)

**摘要:**以来自青海地区不同海拔高度的牦牛乳脂肪为研究对象,利用气相色谱仪及薄层层析法测定牦牛乳脂肪的 Sn-2 位脂肪酸的组成,并研究不同海拔高度的牦牛乳脂肪的 Sn-2 位脂肪酸组成是否存在显著性差异,并分析其原因。结果表明青海牦牛乳脂肪的甘油三酯的总脂肪酸共有 12 种,含量较高的为棕榈酸(31.35%~36.48%),油酸(24.91%~30.99%)和硬脂酸(9.82%~13.87%)。青海牦牛乳脂肪的 Sn-2 位脂肪酸组成为:己酸(0.66%~1.02%),癸酸(2.46%~3.98%),月桂酸(2.43%~4.88%),十四烷酸(14.66%~20.68%),十五烷酸(1.19%~1.76%),棕榈酸(39.91%~46.23%),棕榈油酸(2.81%~5.35%),硬脂酸(4.75%~8.31%),油酸(17.42%~20.81%),亚油酸(0.00%~1.72%),亚麻酸(0.00%~1.71%)。显著性分析显示:随着海拔的升高,结合在牦牛乳甘油三酯 Sn-2 位上的饱和脂肪酸(SFA)占比先逐渐升高,后显著降低( $P < 0.05$ )。不饱和脂肪酸(UFA)的占比先逐渐降低,趋于平缓后显著升高( $P < 0.05$ )。

**关键词:**牦牛;乳脂肪;甘油三酯;Sn-2 位;Sn-2 脂肪酸组成;位置分布

**Abstract:** The composition of Sn-2 fatty acids in yak milk fat was determined by gas chromatograph and TLC. The Sn-2 fatty acid composition of yak milk fat at different altitudes was studied to determine the effect of different altitudes on triglyceride structure. The results showed that there were 12 kinds of total fatty acids of triglyceride in Qinghai yak milk fat, and the highest contents were palmitic acid (31.35%~36.48%), oleic acid

(24.91%~30.99%) and stearic acid (9.82%~13.87%). The composition of Sn-2 fatty acids in Qinghai yak milk fat was as follows: hexanoic acid (0.66%~1.02%), decanoic acid (2.46%~3.98%), lauric acid (2.43%~4.88%), tetradecanoic acid (14.66%~20.68%), pentadecanoic acid (1.19%~1.76%), palmitic acid (39.91%~46.23%), stearic acid (4.75%~8.31%), oleic acid (17.42%~20.81%), linoleic acid (0.00%~1.72%), and linolenic acid (0.00%~1.71%). The significance analysis showed that the proportion of saturated fatty acids (SFA) binding to the Sn-2 of yak milk triglycerides increased gradually with the elevation, then decreased significantly; the proportion of unsaturated fatty acids (UFA) decreased gradually at first, then decreased gradually and then increased significantly.

**Keywords:** yak; milk fat; triglycerides; Sn-2; composition of Sn-2 fatty acids; location distribution

牦牛乳脂肪中主要含有棕榈酸(28%~34%)、油酸(21%~37%)和硬脂酸(9%~19%)<sup>[1]</sup>。相对于其他牛乳脂肪,牦牛乳脂肪中含有较高含量的功能性脂肪酸二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)<sup>[2]</sup>。目前,中国关于牦牛乳的研究<sup>[3-4]</sup>多是针对其蛋白质特性及总脂肪酸组成,但对牦牛乳甘油三酯的 Sn-2 位脂肪酸组成未有研究。甘油三酯是由 1 个甘油分子和 3 个脂肪酸分子组成,脂肪酸在甘油三酯中的位置分布是影响脂肪营养的重要因素,决定着甘油三酯的吸收代谢及油脂的应用价值<sup>[5]</sup>。甘油三酯 Sn-2 位脂肪酸分析可以帮助研究人员有效地剖析其结构,对牦牛乳的利用及产品营养学功能分析具有一定的科学参考价值<sup>[6]</sup>。

本试验拟通过胰脂肪酶对甘油三酯 Sn-1,3 位进行专一性水解,将 Sn-1,3 位置上的脂肪酸游离出来,经薄层层析分离得到甘油一酯<sup>[6]</sup>。再利用气相色谱分析方法研究牦牛乳脂肪的 Sn-2 位脂肪酸组成,以期为牦牛乳的开发利用提供理论参考。

**基金项目:**国家重点研发计划(编号:2018YFD0502404);中央高校基本业务费专项资金资助(编号:XDJK2019D030)

**作者简介:**冯西娅,女,西南大学在读本科生。

**通信作者:**张玉(1984—),女,西南大学副教授,博士。

E-mail: zhangyu\_512@sina.cn

**收稿日期:**2019-03-04

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与amp;仪器

#### 1.1.1 材料与amp;试剂

牦牛乳脂肪:采自青海地区海拔 2 000,2 500,3 000,3 500 m 处的牧民家;

37 种 C<sub>4</sub>~C<sub>24</sub> 脂肪酸甲酯混标:产品编号 18919-1AMP | SUPELCO,美国 Sigma-aldrich 公司;

猪胰脂肪酶:3 万 U/g,重庆市钛新化工有限公司;

胆酸钠、柱层析硅胶、氢氧化钾、氯化钙、甲醇、乙醚、石油醚、三羟甲基氨基甲烷(Tris):分析纯,重庆市钛新化工有限公司;

无水乙醚、石油醚:色谱纯,重庆市钛新化工有限公司。

#### 1.1.2 主要仪器设备

气相色谱仪:GC-2010 型,配备电子捕获检测器(ECD)及氢火焰离子化检测器(FID),日本岛津公司;

超声波清洗机:SB-3200DTDN 型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

旋转蒸发器:RE-52AA 型,上海亚荣生化仪器厂;

高效薄层层析硅胶板:GF254(20 cm×20 cm)型,北京贝洛生物科技有限公司;

硅胶柱:柱长 30 cm,内径 2 cm,重庆市钛新化工有限公司;

薄层色谱展开缸:200 mm×200 mm,上海信谊仪器厂。

### 1.2 方法

1.2.1 牦牛乳脂肪甘油三酯的制备 采用硅胶柱分离法。硅胶 30 g,用石油醚调成糊状填充层析柱。取牦牛乳脂肪 1 g,溶于 15 mL 三氯甲烷,加入层析柱,然后用 300 mL 洗脱液(石油醚—乙醚混合溶液,体积比 9:1)洗脱,流速 1.0~1.5 mL/min。收集液用旋转蒸发器减压除去溶剂,得纯甘油三酯,供气相色谱分析使用。

1.2.2 牦牛乳甘油三酯脂肪酸组成测定 根据文献[7],修改如下:取 100 mg 牦牛乳脂肪甘油三酯,装入 5 mL 离心管,加入石油醚—乙醚(体积比 1:1)混合溶液 2 mL,适当振摇,40 ℃水浴 40 min。再加氢氧化钾—甲醇(0.4 mol/L)溶液 1 mL 混匀,40 ℃水浴静置 30 min。沿瓶壁加入 1 mL 蒸馏水,静置,待分层后,吸取上清液并稀释 10 倍利用气相色谱仪检测。

1.2.3 胰脂肪酶水解甘油三酯方法 根据文献[8],修改如下:称取纯化过的甘油三酯 0.1 g 于 50 mL 离心管中,加入胰脂肪酶 40 mg 及 Tris-HCl 缓冲液(pH 8)4 mL,摇匀 1 min;依次加入 2 g/L 的胆酸钠溶液 1 mL 及 220 g/L 的 CaCl<sub>2</sub> 溶液 0.4 mL,摇匀 1 min;后置于 40 ℃恒温水浴锅 1 min 并不断摇动;在 40 ℃,18 kHz,80 W 超声波清洗机

中超声 2 min,加入 6 mol/L 的盐酸 1 mL 并摇匀,加入乙醚 1 mL,摇匀,吸取上清液。经薄层层析分离,显色确定甘油酯位置;刮取甘油酯,用乙醚提取后除去溶剂。

1.2.4 Sn-2 位脂肪酸分析方法 对甘油酯进行甲酯化后经气相色谱分析牦牛乳脂肪的 Sn-2 位脂肪酸组成及含量。根据脂肪酸甲酯混合标准品的保留时间确定脂肪酸的组成成分,并用面积归一法确定各组分的相对含量。

1.2.5 脂肪酸分布的测定或计算 以甘油三酯总脂肪酸和甘油三酯 Sn-2 位脂肪酸组成为基础,通过式(1)计算一种脂肪酸结合在甘油三酯 Sn-2 位的含量占其总量的比例<sup>[9]</sup>。

$$c = \frac{m_1}{3 \times m_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c——脂肪酸结合在甘油三酯 Sn-2 位占比,%;

m<sub>1</sub>——甘油三酯 Sn-2 位脂肪酸含量,g;

m<sub>2</sub>——总脂肪酸含量,g。

### 1.3 数据处理

采用统计分析软件 SPSS 对数据进行显著性检验。每组试验进行 3 次,结果用(平均值±标准偏差)表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 牦牛乳脂肪甘油三酯脂肪酸组成

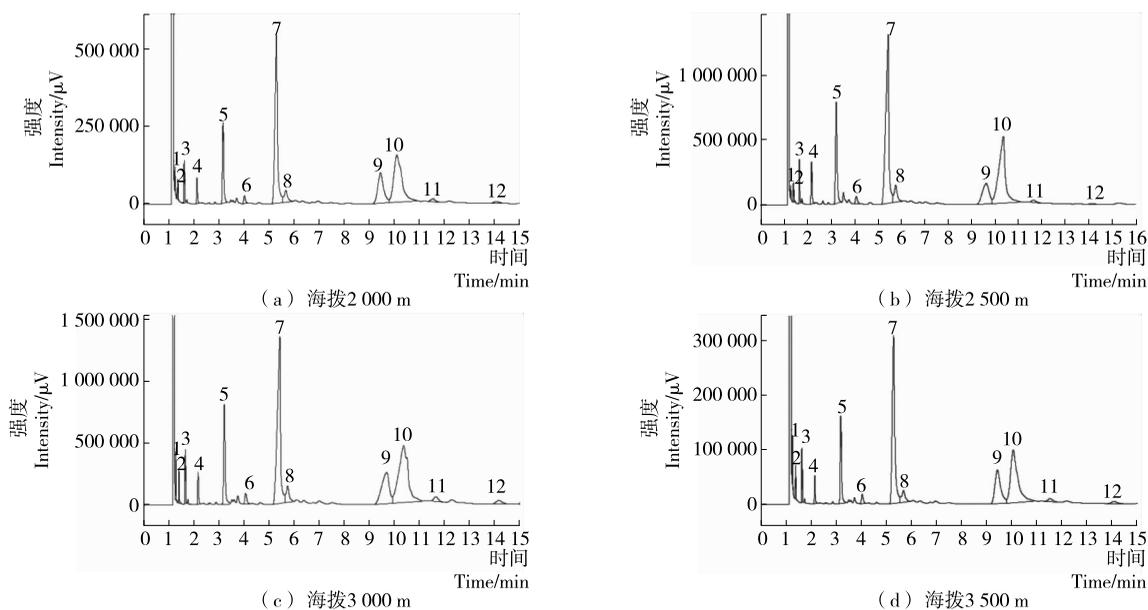
将提纯的牦牛乳甘油三酯甲酯化,然后进行气相色谱分析,得到总离子色谱图见图 1。所得图谱结合 37 种脂肪酸甲酯标样的保留时间比较分析定性,并采用峰面积归一法定量,结果如表 1 所示。由表 1 可得:牦牛乳甘油三酯的脂肪酸种类共 12 种,中链饱和脂肪酸含量为 2.18%~4.22%,饱和脂肪酸总量为 63.44%~69.28%,显著高于产自香格里拉地区及西藏拉萨地区的牦牛乳脂肪<sup>[1,10]</sup>。多不饱和脂肪酸含量为 1.01%~2.34%,单不饱和脂肪酸含量为 28.40%~34.21%,油酸(24.91%~30.99%)是含量最高的单不饱和脂肪酸。其次为棕榈酸(31.35%~36.48%)和硬脂酸(9.82%~13.87%)。随着海拔的升高,牦牛乳甘油三酯总脂肪酸中的 SFA 含量呈逐渐降低后升高的趋势,UFA 含量呈逐渐升高后降低的趋势。海拔 2 500 m 处牦牛乳甘油三酯的棕榈酸含量及 LA/ALA(油酸/亚油酸)的比值显著高于其他 3 个样品,硬脂酸显著低于其他 3 个样品(P<0.05)。海拔 3 000 m 处牦牛乳甘油三酯的油酸含量显著高于其他 3 个样品(P<0.05)。

### 2.2 牦牛乳脂肪 Sn-2 位脂肪酸组成

利用气相色谱法分析牦牛乳脂肪甘油三酯 Sn-2 位脂肪酸组成,所得气相色谱图见图 2。得到牦牛乳脂肪 Sn-2 位不同脂肪酸含量,结果见表 2。结合图 2 及表 2 可知:牦牛乳脂肪 Sn-2 位脂肪酸中含量较高的为棕榈酸

(39.91%~46.23%)和油酸(17.42%~20.81%),十四烷酸(14.66%~20.68%)。不同海拔牦牛乳的 Sn-2 位棕榈

酸的含量之间均有显著性差异(P<0.05)。海拔 2 000 m 处的 Sn-2 位棕榈酸含量最高(46.23%),显著高于其他



1. 丁酸甲酯 2. 己酸甲酯 3. 癸酸甲酯 4. 月桂酸甲酯 5. 十四烷酸甲酯 6. 十五烷酸甲酯 7. 棕榈酸甲酯 8. 棕榈油酸甲酯 9. 硬脂酸甲酯 10. 油酸甲酯 11. 亚油酸甲酯 12. 亚麻酸甲酯

图 1 不同海拔牦牛乳的甘油三酯的脂肪酸组成

Figure 1 Different altitude yak milk triglyceride fatty acid composition

表 1 不同海拔牦牛乳的甘油三酯的脂肪酸组成及含量<sup>†</sup>

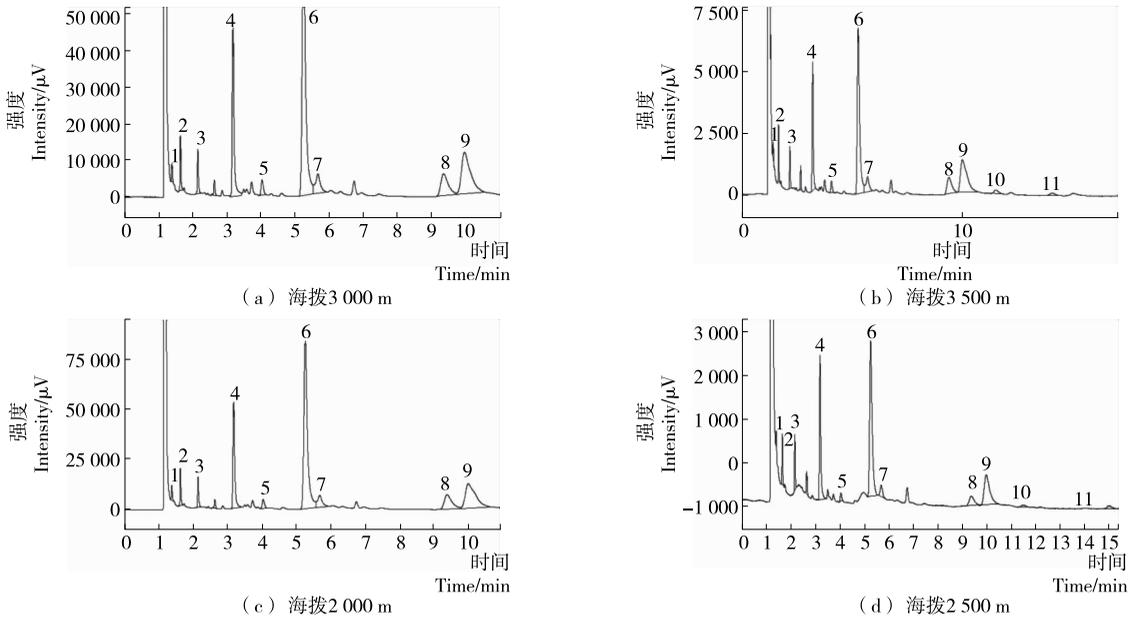
Table 1 Fatty acid composition and content of triglyceride in yak milk at different elevations %

脂肪酸	2 000 m	2 500 m	3 000 m	3 500 m
C <sub>4,0</sub>	0.62±0.38 <sup>c</sup>	1.10±0.66 <sup>b</sup>	1.87±0.45 <sup>a</sup>	1.96±0.43 <sup>a</sup>
C <sub>6,0</sub>	1.30±0.28 <sup>c</sup>	1.11±0.36 <sup>d</sup>	1.82±0.65 <sup>b</sup>	3.21±1.90 <sup>a</sup>
C <sub>10,0</sub>	3.53±1.18 <sup>a</sup>	2.18±0.13 <sup>c</sup>	2.99±0.81 <sup>b</sup>	4.22±1.85 <sup>a</sup>
C <sub>12,0</sub>	2.10±0.32 <sup>bc</sup>	2.76±0.05 <sup>a</sup>	2.00±0.28 <sup>c</sup>	2.32±0.66 <sup>b</sup>
C <sub>14,0</sub>	9.83±1.10 <sup>b</sup>	11.04±0.31 <sup>a</sup>	9.13±0.09 <sup>c</sup>	9.44±0.55 <sup>b</sup>
C <sub>15,0</sub>	1.30±0.18 <sup>a</sup>	0.65±0.43 <sup>b</sup>	0.71±0.53 <sup>b</sup>	1.24±0.02 <sup>a</sup>
C <sub>16,0</sub>	34.53±0.03 <sup>b</sup>	36.48±0.30 <sup>a</sup>	31.35±0.42 <sup>d</sup>	33.45±0.19 <sup>c</sup>
C <sub>16,1n-7</sub>	3.52±0.19 <sup>b</sup>	4.21±0.50 <sup>a</sup>	3.22±0.15 <sup>c</sup>	3.49±0.26 <sup>b</sup>
C <sub>18,0</sub>	13.87±0.10 <sup>a</sup>	9.82±0.20 <sup>c</sup>	13.57±0.52 <sup>b</sup>	13.45±1.27 <sup>b</sup>
C <sub>18,1n-9</sub>	27.48±2.78 <sup>c</sup>	29.64±0.87 <sup>b</sup>	30.99±0.62 <sup>a</sup>	24.91±4.73 <sup>d</sup>
C <sub>18,2n-6 (LA)</sub>	0.97±0.01 <sup>c</sup>	0.83±0.09 <sup>d</sup>	1.10±0.19 <sup>b</sup>	1.27±0.14 <sup>a</sup>
C <sub>18,3n-3 (ALA)</sub>	0.96±0.04 <sup>b</sup>	0.18±0.01 <sup>c</sup>	1.24±0.03 <sup>a</sup>	0.96±0.05 <sup>b</sup>
MUFA	31.00±2.59 <sup>c</sup>	33.85±0.37 <sup>b</sup>	34.21±0.46 <sup>a</sup>	28.40±4.47 <sup>d</sup>
PUFA	1.93±0.04 <sup>c</sup>	1.01±0.11 <sup>d</sup>	2.34±0.16 <sup>a</sup>	2.24±0.09 <sup>b</sup>
UFA	32.92±2.55 <sup>c</sup>	34.85±0.26 <sup>b</sup>	36.56±0.62 <sup>a</sup>	30.63±4.38 <sup>d</sup>
MCSFA	3.53±1.18 <sup>a</sup>	2.18±0.13 <sup>c</sup>	2.99±0.81 <sup>b</sup>	4.22±1.85 <sup>a</sup>
SFA	67.07±2.55 <sup>b</sup>	65.15±0.26 <sup>c</sup>	63.44±0.62 <sup>d</sup>	69.28±4.30 <sup>a</sup>
LA/ALA	1.02±0.04 <sup>c</sup>	4.63±0.18 <sup>a</sup>	0.89±0.14 <sup>d</sup>	1.33±0.17 <sup>b</sup>

<sup>†</sup> 同行小写字母不同表明具有显著性差异(P<0.05);MUFA:单不饱和脂肪酸,PUFA:多不饱和脂肪酸,UFA:不饱和脂肪酸,MCSFA:中链饱和脂肪酸,SFA:饱和脂肪酸。

3个海拔处采集的样品( $P < 0.05$ )。此外,青海地区牦牛乳 Sn-2 位棕榈酸含量(39.91%~46.23%)显著高于普通牛乳 Sn-2 位棕榈酸的含量(32.00%~34.74%)<sup>[11-12]</sup>。位于 Sn-2 位的棕榈酸被体内的胰脂酶水解形成 2-甘油一酯,与胆汁盐形成乳糜微粒而被机体吸收,而 Sn-1,3 位置上的棕榈酸被胰脂酶水解为游离脂肪酸,易与  $Ca^{2+}$  形成钙皂,不能被人体很好地吸收利用<sup>[13-15]</sup>。牦牛乳比普通牛乳更接近母乳中棕榈酸的分布情况,更容易吸收,可为开发相关产品如配方奶粉等提供理论参考<sup>[16-17]</sup>。海

拔 2 000 m 与海拔 3 000 m 的牦牛乳样品均未检出位于 Sn-2 位亚油酸与 Sn-2 位亚麻酸,而海拔 2 500 m 与 3 500 m 处的牦牛乳样品检出少量。所有牦牛乳脂肪样品的 Sn-2 位脂肪酸组成中均未检出丁酸,说明丁酸绝大部分结合于 Sn-1,3 位上。结合 2.1 节的结果可知,不同海拔的牦牛乳脂肪甘油三酯的总脂肪酸之间及 Sn-2 位脂肪酸之间大多有显著性差异,初步判断是牦牛在高原草甸自由放牧,不同海拔之间牧草组成不同,牧草的营养成分影响了牦牛乳脂肪的营养特性。



1. 己酸甲酯 2. 癸酸甲酯 3. 月桂酸甲酯 4. 十四烷酸甲酯 5. 十五烷酸甲酯 6. 棕榈酸甲酯 7. 棕榈油酸甲酯 8. 硬脂酸甲酯  
9. 油酸甲酯 10. 亚油酸甲酯 11. 亚麻酸甲酯

图 2 不同海拔牦牛乳脂肪的甘油三酯的 Sn-2 位脂肪酸组成

Figure 2 Sn-2 fatty acid composition of triglyceride in four kinds of yak milk fat

表 2 不同海拔牦牛乳脂肪的甘油三酯的 Sn-2 位脂肪酸组成及含量

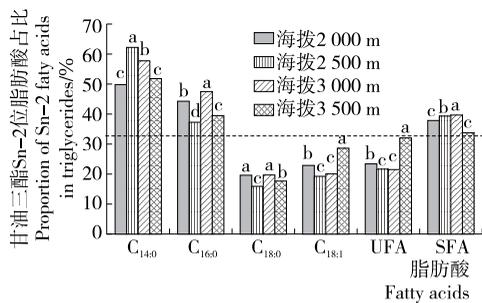
Table 2 Sn-2 Fatty acid composition and content of triglyceride in four kinds of yak milk fat %

Sn-2 位脂肪酸	2 000 m	2 500 m	3 000 m	3 500 m
己酸	1.04±0.07 <sup>a</sup>	0.66±0.12 <sup>c</sup>	0.82±0.06 <sup>b</sup>	1.02±0.14 <sup>a</sup>
癸酸	2.53±0.12 <sup>c</sup>	3.98±0.01 <sup>a</sup>	2.46±0.03 <sup>d</sup>	3.21±0.01 <sup>b</sup>
月桂酸	2.43±0.36 <sup>c</sup>	4.88±0.01 <sup>a</sup>	2.39±0.01 <sup>c</sup>	3.00±0.10 <sup>b</sup>
十四烷酸	14.66±1.06 <sup>c</sup>	20.68±1.26 <sup>a</sup>	15.91±1.88 <sup>b</sup>	14.71±1.36 <sup>c</sup>
十五烷酸	1.56±0.21 <sup>c</sup>	1.19±0.10 <sup>d</sup>	1.72±0.11 <sup>b</sup>	1.76±0.17 <sup>a</sup>
棕榈酸	46.23±0.81 <sup>a</sup>	40.96±1.03 <sup>c</sup>	44.66±2.01 <sup>b</sup>	39.91±1.17 <sup>d</sup>
棕榈油酸	4.32±0.91 <sup>c</sup>	2.81±0.77 <sup>d</sup>	4.97±0.06 <sup>b</sup>	5.35±0.61 <sup>a</sup>
硬脂酸	8.31±0.22 <sup>a</sup>	4.75±0.08 <sup>c</sup>	8.13±1.00 <sup>a</sup>	7.14±0.67 <sup>b</sup>
油酸	18.92±2.23 <sup>b</sup>	17.42±0.18 <sup>c</sup>	18.93±3.67 <sup>b</sup>	20.81±2.18 <sup>a</sup>
亚油酸	—	0.97±0.09 <sup>b</sup>	—	1.72±0.12 <sup>a</sup>
亚麻酸	—	1.71±0.19 <sup>a</sup>	—	1.38±0.27 <sup>b</sup>

† “—”表示含量很少或者未检出;同行小写字母不同表明具有显著性差异( $P < 0.05$ )。

### 2.3 不同海拔牦牛乳脂肪酸在甘油三酯结构中的位置分布

如图 3 所示,结合在牦牛乳甘油三酯 Sn-2 位上的 SFA 占比达 34.1%~40.0%,UFA 的占比达 21.8%~31.3%。结合在牦牛乳甘油三酯 Sn-2 位上的 C<sub>14:0</sub> 和 C<sub>16:0</sub> 占比分别达到了 50.0%~62.5% 和 37.4%~47.5%,而 C<sub>18:0</sub> 和 C<sub>18:1</sub> 占比达到了 16.1%~20.0% 和 19.6%~28.8%。随着海拔的升高,结合在牦牛乳甘油三酯 Sn-2 位上的 SFA 占比先逐渐升高,后显著降低(P<0.05)。结合在牦牛乳甘油三酯 Sn-2 位上的 C<sub>18:1</sub>、UFA 占比呈先逐渐降低,趋于平缓后显著升高的趋势(P<0.05)。结合在牦牛乳甘油三酯 Sn-2 位上的 C<sub>14:0</sub> 占比先显著性升高,后逐渐降低(P<0.05)。结合在牦牛乳甘油三酯 Sn-2 位上的 C<sub>16:0</sub>、C<sub>18:0</sub> 占比均是先显著降低后显著升高再显著降低的趋势(P<0.05)。



小写字母不同表示不同海拔间差异显著(P<0.05)

图 3 不同海拔牦牛乳脂肪中主要脂肪酸结合在甘油三酯 Sn-2 位上的占比

Figure 3 Proportion of various main fatty acids in yak milk fat at different altitudes in the Sn-2 position of triglyceride

### 3 结论

青海地区牦牛乳脂肪的脂肪酸种类共 12 种,其中饱和脂肪酸总量为 63.44%~69.28%,含量最高的脂肪酸为棕榈酸(31.35%~36.48%)。Sn-2 位脂肪酸种类共检测出 9~11 种,含量较高的为棕榈酸(39.91%~46.23%)和油酸(17.42%~20.81%),十四烷酸(14.66%~20.68%)。不同海拔的牦牛乳脂肪甘油三酯的总脂肪酸之间及 Sn-2 位脂肪酸之间大多有显著性差异。青海地区牦牛乳脂肪中 C<sub>14:0</sub>、C<sub>16:0</sub>、C<sub>15:0</sub>、C<sub>12:0</sub>、SFA 主要结合在甘油三酯 Sn-2 位上,而 C<sub>18:0</sub>、C<sub>18:1</sub>、C<sub>6:0</sub>、UFA 主要结合在甘油三酯 Sn-1,3 位上。此外,青海地区牦牛乳 Sn-2 位棕榈酸含量(39.91%~46.23%)显著高于普通牛乳 Sn-2 位棕榈酸的含量(32.00%~34.74%),比普通牛乳更接近母乳中棕榈酸的分布情况,更容易吸收,可为开发相关产品如配方奶粉等提供理论参考。

本研究明确了牦牛乳甘油三酯的 Sn-2 位脂肪酸组成及其分布情况。并对导致不同海拔 Sn-2 位脂肪酸组成有

显著性差异的原因进行了初步推断——不同海拔生长的牧草不同,其营养成分影响了牦牛乳脂肪的营养特性。目前牦牛乳的营养学研究有待加强,明确了牦牛乳甘三的结构对于研究其营养学特性及牦牛乳制品的开发有促进作用。

### 参考文献

- [1] 李婕妤, 马传国, 王英丹, 等. 6 种市售西藏酥油理化指标及物理特性分析[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2018, 39(3): 38-46.
- [2] 喻峰, 熊华, 吕培蕾. 西藏牦牛酥油脂肪酸成分分析及功能特性评价[J]. 中国油脂, 2006, 31(11): 35-38.
- [3] 妥彦峰. 甘肃天祝放牧白牦牛乳营养成分及脂肪酸研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2006: 27-36.
- [4] 张睿. 牦牛乳蛋白的多态性与牦牛乳蛋白质特性[J]. 现代食品, 2018(13): 22-24.
- [5] 魏婷婷, 杨虹, 董朝青, 等. 酶法醇解—气相色谱法分析中长碳链甘油三酯 Sn-2 脂肪酸[J]. 中国油脂, 2016, 41(7): 85-89.
- [6] 袁小武, 邓泽元, 李静, 等. 胰脂肪酶法测定食用油甘油三酯中脂肪酸的位置分布[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 544-547.
- [7] 洪晴悦, 张玉. 超声波辅助提取牡丹籽毛油的工艺优化及脂肪酸组成分析[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(3): 159-164.
- [8] 毛程鑫, 李桂华, 李普选, 等. 牡丹籽油的脂肪酸组成及理化特性分析[J]. 现代食品科技, 2014, 30(4): 142-146.
- [9] 何光华, 李归浦, 周兵, 等. 沪浙地区不同泌乳期母乳脂肪酸组成及分布研究[J]. 中国食品学报, 2019, 19(4): 249-257.
- [10] 张晶晶, 陶亮, 张亚丽, 等. 不同品种酥油理化特性及脂肪酸的研究[J]. 中国乳品工业, 2015, 43(4): 13-15.
- [11] 郭本恒. 乳品化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 247-267.
- [12] 韩瑞丽, 马健, 张佳程, 等. 牛乳脂肪甘油三酯中 Sn-2 位脂肪酸组成的分析[J]. 乳业科学与技术, 2009, 32(2): 71-73.
- [13] INNIS S M, DYER R, NELSON C M. Evidence that palmitic acid is absorbed as Sn-2 monoacylglycerol from human milk by breast-fed infants[J]. LIPIDS, 1994, 29(8): 541-545.
- [14] JENSEN C, BUIST N R, WILSON T. Absorption of individual fatty acids from long chain or medium chain triglycerides in very small infants[J]. Am J Clin Nutr, 1986, 43(5): 745-751.
- [15] LEWIS C T, DICKSON J A S, SWAIN V A J. Milk bolus obstruction in the neonate[J]. Arch Dis Child, 1977, 52(1): 68-71.
- [16] 韩瑞丽, 马健, 张佳程, 等. HPLC-ELSD 与 GC-MS 法测定牛乳甘油三酯 Sn-2 位脂肪酸组成[J]. 分析测试技术与仪器, 2009, 15(1): 30-34.
- [17] 刘彪, 叶文慧, 郭顺堂. 母乳及市售婴儿配方奶粉中脂肪酸结构分析[J]. 中国食品学报, 2018, 18(10): 246-251.