

肃南牦牛不同部位脂肪中脂肪酸组成分析

张娅俐^{1,2}, 洪晶^{1,2}, 张棚^{1,2}, 摆小琴^{1,2}, 田晓静^{1,2*}, 曹竑^{1,2}, 潘和平¹, 郭德³

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院, 兰州 730124; 2. 西北民族大学 生物医学研究中心 中国-马来西亚国家联合实验室, 兰州 730030; 3. 甘肃华膳食品工程有限公司, 金昌 737100)

摘要: **目的** 评价肃南牦牛不同部位脂肪品质。**方法** 采集肃南牦牛 5 个不同部位脂肪(肋条表面脂肪、臀肌脂肪、肾周脂肪、肠周脂肪及皮下脂肪), 测定牦牛不同部位脂肪酸价(acid value, AV)、过氧化值(peroxide value, POV), 并采用气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)对 5 个不同部位脂肪中脂肪酸含量进行测定, 采用面积归一化法进行定量, 探究肃南牦牛不同部位脂肪组成成分的差异性, 并结合多元统计分析讨论脂肪酸成分含量对不同部位脂肪品质的影响。**结果** 以脂肪酸种类及含量为评定指标, 在 5 个不同部位中均检出 36 种脂肪酸, 以硬脂酸为主; 其次是油酸、棕榈酸和亚油酸含量较高。对不同部位的饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFA)、单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA)、多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA)含量分析表明, 皮下脂肪的不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid/saturated fatty acids, UFA/SFA)比值较大, 风味较佳。主成分分析(principal component analysis, PCA)表明前 3 个主成分的累积贡献率高达 99.41%, 很好地实现了牦牛 5 个不同部位脂肪的区分。**结论** 牦牛脂肪中脂肪酸种类丰富, 富含多不饱和脂肪酸。不同部位脂肪酸含量有着显著性差异($P < 0.05$), 主成分分析对牦牛不同部位脂肪品质进行综合评价是客观、可行的, 为牦牛不同部位脂肪鉴别提供了有效的新方法。

关键词: 牦牛脂肪; 脂肪酸; 品质评价; 气相色谱-质谱法; 主成分分析法

Analysis of fatty acid composition in fat in different parts of Sunan yak

ZHANG Ya-Li^{1,2}, HONG Jing^{1,2}, ZHANG Peng^{1,2}, BAI Xiao-Qin^{1,2}, TIAN Xiao-Jing^{1,2*},
CAO Hong^{1,2}, PAN He-Ping¹, GUO De³

(1. College of Life Science and Engineering, Northwest Minzu University, Lanzhou 730124, China; 2. China-Malaysia National Joint Laboratory, Biomedical Research Center, Northwest Minzu University, Lanzhou 730030, China; 3. Gansu Huashan Food Products Engineering Co., Ltd., Jinchang 737100, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the fat quality of different parts of Sunan yak. **Methods** Fat from 5 different parts (rib surface fat, gluteal muscle fat, perirenal fat, periintestinal fat and subcutaneous fat) of Sunan yak were collected, the fatty acid value (AV) and peroxide value (POV) of different parts of yak were measured, and the fatty acids content in the fat of 5 different parts were determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), the

基金项目: 西北民族大学中央高校基本科研业务费资金资助项目(31920210006、31920190022)、西北民大华膳牦牛肉品研发中心项目(XBMU-2020-BC-29)

Fund: Supported by the Fund Support Project for Basic Scientific Research Business Expenses of Central Universities of Northwest Minzu University (31920210006, 31920190022), and the Huashan Yak Meat Research and Development Center Project of Northwest Minzu University (XBMU-2020-BC-29)

*通信作者: 田晓静, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品、农产品品质快速检测。E-mail: smile_tian@yeah.net

*Corresponding author: TIAN Xiao-Jing, Ph.D, Associate Professor, China-Malaysia National Joint Laboratory, Biomedical Research Center, Northwest Minzu University & College of Life Science and Engineering, Northwest Minzu University, No.99 Wuxie Yingshe, Xiaguanying Town, Yuzhong County, Lanzhou 730124, China. E-mail: smile_tian@yeah.net

area normalization method was used to explore the differences of fat components in different parts of Sunan yak, and combined with multivariate statistical analysis to discuss the effect of fatty acid content on fat quality in different parts. **Results** The type and content of fatty acids were used as evaluation indexes, 36 kinds of fatty acids were detected in 5 different parts, mainly stearic acid; this was followed by higher levels of oleic acid, palmitic acid and linoleic acid. Analysis of saturated fatty acids (SFA), monounsaturated fatty acids (MUFA) and polyunsaturated fatty acids (PUFA) content in different parts showed that the ratio of unsaturated fatty acid/saturated fatty acids (UFA/SFA) of the subcutaneous fat was larger, the flavor was better. Principal component analysis (PCA) showed that the cumulative contribution rate of the first 3 main components was as high as 99.41%, which made the distinction between fats in 5 different parts of yak. **Conclusion** There are many kinds of fatty acids in yak fat, which are rich in polyunsaturated fatty acids. There are significant differences in fatty acids content in different parts ($P < 0.05$), and it is objective and feasible for PCA analysis to evaluate the fat quality of different parts of yak, which provides an effective new method for fat identification of different parts of yak.

KEY WORDS: yak fat; fatty acids; quality evaluation; gas chromatography-mass spectrometry; principal component analysis

0 引言

牦牛(*Bos grunniens*)是主要分布于西藏、青海、甘肃等高山高原地的特有畜种^[1-2],我国牦牛数量占世界牦牛总数的 95%左右^[3]。研究表明,牦牛肉质鲜美,具有高蛋白、低脂肪、低胆固醇、低热量并富含对人体有益的不饱和脂肪酸等优点,符合当代消费者营养、健康及低脂的饮食理念^[4-8]。肉中脂肪含量作为评价优质牦牛的重要参数之一,不同程度地影响肉品风味、嫩度及其多汁性^[9]。通过调查发现,一些地区的牦牛肉具有一种特别的“膻味”^[10],在一定程度上影响了人们对牦牛肉的消费。

在畜牧生产领域,畜体脂肪的含量和分布是影响动物产肉性能和健康状况的重要因素^[11]。肉的风味物质主要是由脂肪氧化生成^[12],膻味和牦牛肉风味是决定烹调后牦牛肉适口性的重要指标,在脂肪组织中,脂肪和脂肪酸含量对肉品质发挥重要的作用^[13],是肉营养价值的中心成分。根据脂肪酸中不饱和键的数量,可将脂肪酸分为饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)、单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)。国内外关于牦牛脂肪酸组成和含量的研究多集中在肌肉脂肪方面,致力于牛肉品质及风味的改善^[14-16]。牛肉的风味与其肌肉脂肪的脂肪酸组成比例直接相关,脂肪酸的组成及含量在不同品种、同一品种不同部位上都有着显著性差异^[17-19]。不同部位牦牛肉的肥瘦也存在差异性,其脂肪含量及脂肪酸组成不同,对脂肪的硬度和柔软度有较大的影响,脂肪酸组成分析在食品品质判断与相关性分析等方面有着广泛应用。

本研究采用气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)测定肃南牦牛 5 个不同部位脂肪中的脂肪酸含量,并结合标准品色谱图鉴定脂肪中的脂

肪酸种类,以脂肪酸鉴定结果为指标,探究多元统计分析方法在牦牛脂肪不同部位判别中的效果。评价不同部位脂肪的品质差异,提供不同部位特色的产品,从而满足消费者的不同饮食需求,以期为牦牛脂肪品质评价、合理开发利用、生产高品质高原牦牛产品以及其产业化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品

样品采于甘肃省张掖市肃南裕固族自治县草原惠成公司,选择 3 岁龄圈养雄性牦牛。分别采肋条表面、臀肌、肾周、肠周和皮下 5 个部位脂肪,去筋膜分装,4 °C 冷藏运输,于-20 °C 冰箱冷冻备用。

1.1.2 实验试剂

石油醚、氯化钠(分析纯,天津市百世化工有限公司);15%三氟化硼甲醇、2%氢氧化钠甲醇溶液(分析纯,天津市恒兴化学试剂制造有限公司);正庚烷(优级纯,天津市科密欧化学试剂有限公司);无水硫酸钠(分析纯,津市大茂化学试剂厂);食用油酸价快速检测试剂盒、食用油过氧化值快速检测试剂盒(四川精卫食品检测科技有限公司)。

1.1.3 仪器与设备

7890B-7000D 型气相色谱-质谱联用仪(美国安捷伦公司);HH-S8 型恒温水浴锅(金坛市恒丰仪器厂);AR224CN 型电子分析天平(上海奥豪斯国际贸易有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 酸价和过氧化值的测定

提取油脂中的游离脂肪酸与显色剂发生显色反应,以计算出酸价(acid value, AV)的含量;利用过氧化物发生

氧化还原反应产生颜色,测定其吸光度,换算成过氧化值(peroxide value, POV)的含量。

1.2.2 脂肪的皂化、甲酯化

参照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》的方法重复 3 次实验,进行脂肪的皂化和脂肪酸的甲酯化^[20]。

1.2.3 脂肪酸成分及含量的测定

利用气相色谱/质谱联用仪参照 GB 5009.168—2016 方法中的外标法定量,以 37 种脂肪酸甲酯为标准进行校准,GC-MS 的运行条件如下。

(1)色谱条件:载气:氮气(纯度 $\geq 99.999\%$);色谱柱:DB-wax 柱(30 m \times 250 μ m, 0.25 μ m);进样量:1.0 μ L;进样口温度:240 $^{\circ}$ C;柱温:50 $^{\circ}$ C保持 4 min,以 12 $^{\circ}$ C/min 升温至 150 $^{\circ}$ C,保持 3 min,再以 3 $^{\circ}$ C/min 升温至 230 $^{\circ}$ C,保持 10 min,后以 5 $^{\circ}$ C/min 升温至 240 $^{\circ}$ C,保持 3 min;进样方式:分流模式(40:1, V:V)。

(2)质谱条件:离子源温度:230 $^{\circ}$ C;四极杆温度:150 $^{\circ}$ C;电子能量:70 eV;电离方式:电子轰击(electron impact, EI);扫描模式:全扫描模式;扫描范围: $m/z = 35\sim 600$ amu。

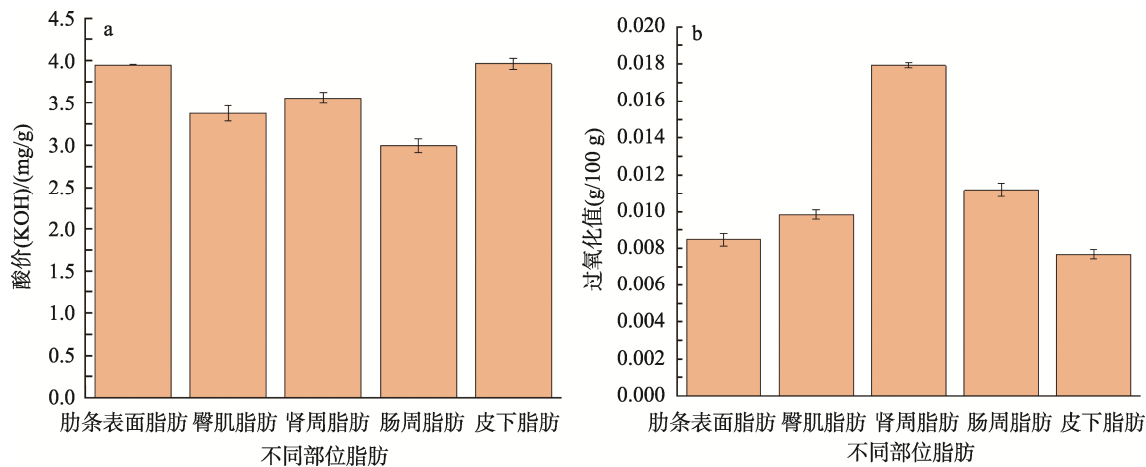
1.3 统计与分析方法

数据采用 SPSS 22.0 进行方差分析(analysis of variance, ANOVA),SAS V8 软件进行主成分分析(principal component analysis, PCA)用于分类判别,Origin 2019b 绘图。

2 结果与分析

2.1 酸价与过氧化值结果分析

AV 和 POV 是评价油脂品质的重要指标。油脂 AV 与 POV 越低,说明油脂越新鲜。油脂的脂肪 AV 和 POV 的大小与诸多因素有关,牦牛不同部位脂肪 AV 与 POV 结果见图 1。



注: a: 酸价; b: 过氧化值。

图 1 样品酸价和过氧化值测定结果($n=3$)

Fig.1 Determination results of the acid value and peroxide value of the samples ($n=3$)

由图 1 结果可知,肠周脂肪中 AV 最低,皮下脂肪与肋条表面的 AV 较高,5 个不同部位 AV 均低于 4.0 mg/g,符合国家标准。肾周脂肪的 POV 值较高,其余几组 POV 值显著低于肾周脂肪($P<0.05$),5 个不同部位 POV 均低于 0.2 g/100 g,符合国家标准。因此,牦牛不同部位脂肪较新鲜。

2.2 牦牛不同部位脂肪中脂肪酸成分分析

本研究通过 GC-MS 技术对牦牛肋条表面脂肪、臀肌脂肪、肾周脂肪、肠周脂肪及皮下脂肪 5 个不同部位脂肪的脂肪酸含量进行测定,采用面积归一化法进行定量,结果得到的 36 种脂肪酸甲酯分离情况良好。图 2 为主要的脂肪酸甲酯气相色谱图。牦牛不同部位脂肪主要脂肪酸组成及相对含量结果见表 1,脂肪酸含量对比结果如图 3 所示。

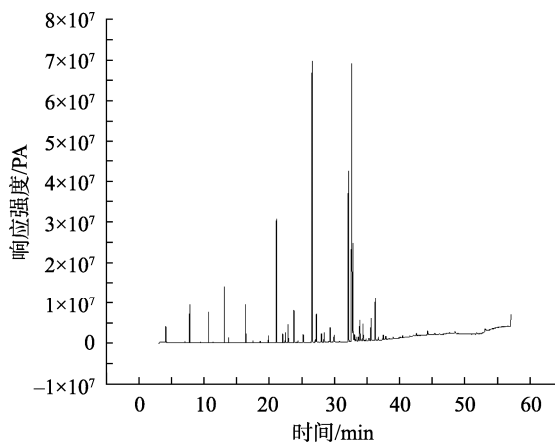


图 2 牦牛肋条表面脂肪中脂肪酸甲酯的气相色谱图

Fig.2 Gas chromatography of fatty acid methyl esters in the fat on the surface of yak ribs

表 1 牦牛不同部位脂肪主要脂肪酸组成及相对含量(g/100 g)
Table 1 Composition and relative content of the main fatty acids in different parts of yak fat (g/100 g)

脂肪酸简称	肋条表面脂肪	臀肌脂肪	肾周脂肪	肠周脂肪	皮下脂肪
C4:0 丁酸甲酯	0.92±0.20b	1.02±0.23b	1.90±0.29a	1.64±0.29a	1.45±0.23a
C6:0 己酸甲酯	0.86±0.18b	1.00±0.22b	1.87±0.29a	1.62±0.28a	1.42±0.23a
C8:0 辛酸甲酯	0.98±0.21b	1.05±0.24b	1.92±0.27a	1.66±0.28a	1.44±0.23a
C10:0 癸酸甲酯	1.56±0.24b	1.58±0.42b	2.55±0.32a	2.26±0.33a	1.80±0.29a
C11:0 十一碳酸甲酯	1.06±0.18b	1.10±0.24b	2.05±0.30a	1.77±0.31a	1.56±0.25a
C12:0 十二碳酸甲酯	1.18±0.24c	1.33±0.32b	2.30±0.43a	2.02±0.33a	1.72±0.28a
C13:0 十三碳酸甲酯	1.21±0.20c	1.24±0.29b	2.26±0.34a	1.96±0.33a	1.69±0.27a
C14:0 十四碳酸甲酯	10.54±2.03a	10.13±2.91a	12.26±1.49a	11.32±1.48a	9.63±1.97a
C14:1 顺-9-十四碳一烯酸甲酯	2.20±0.34a	1.93±0.38a	2.80±0.51a	2.52±0.45a	3.12±0.78a
C15:0 十五碳酸甲酯	3.86±0.62a	3.71±1.00a	4.88±0.56a	4.32±0.60a	3.40±0.54a
C15:1 顺-10-十五碳一烯酸甲酯	2.21±0.28a	1.26±0.30b	2.39±0.35a	2.01±0.35a	1.77±0.28a
C16:0 十六碳酸甲酯	66.74±9.43a	60.13±17.54a	77.49±9.18a	69.34±9.71a	55.52±9.50a
C16:1 顺-9-十六碳一烯酸甲酯	21.36±2.08a	16.70±3.66a	16.25±2.24a	14.65±1.92a	21.85±4.67a
C17:0 十七碳酸甲酯	9.83±0.65a	8.40±2.66a	10.46±1.18a	9.23±1.07a	6.10±0.70b
C17:1 顺-10-十七碳一烯酸甲酯	4.64±0.82a	3.92±1.02a	4.90±0.81a	4.32±0.67a	4.17±0.72a
C18:0 十八碳酸甲酯	136.78±8.94a	118.40±40.65a	160.05±15.97a	143.88±15.01a	72.18±7.16b
C18:1n9c 顺-9-十八碳一烯酸甲酯	115.86±8.75a	93.89±27.08a	100.80±12.65a	90.60±9.09a	81.53±12.17a
C18:2n6c 顺,顺-9,12-十八碳二烯酸甲酯	26.25±1.65a	18.90±6.18a	27.33±2.36a	24.41±2.63a	14.40±1.86b
C18:2n6t 反,反-9,12-十八碳二烯酸甲酯	20.23±3.26a	15.07±4.91a	21.87±1.93a	19.53±2.13a	11.64±1.51b
C18:3n6 顺,顺,顺-6,9,12-十八碳三烯酸甲酯	11.52±1.36a	9.27±2.82a	13.48±1.27a	12.02±1.58a	7.56±0.96b
C18:3n3 顺,顺,顺-9,12,15-十八碳三烯酸甲酯	2.58±0.54b	2.24±0.68b	3.83±0.46a	3.38±0.52a	2.46±0.39b
C20:0 二十碳酸甲酯	1.91±0.41b	1.82±0.46b	3.16±0.41a	2.80±0.42a	2.07±0.32b
C20:1 顺-11-二十碳一烯酸甲酯	2.01±0.40a	1.97±0.53a	3.00±0.33a	2.80±0.42a	2.07±0.32a
C20:2 顺,顺-11,14-二十碳二烯酸甲酯	1.42±0.30b	1.37±0.34b	2.54±0.42a	2.14±0.37a	1.88±0.29a
C20:3n6 顺,顺,顺-8,11,14-二十碳三烯酸甲酯	1.35±0.34b	1.35±0.27b	2.45±0.41a	2.10±0.36a	1.89±0.29a
C21:0 二十一碳酸甲酯	1.32±0.32b	1.35±0.32b	2.53±0.39a	2.21±0.37a	1.84±0.28a
C20:4n6 顺-5,8,11,14-二十碳四烯酸甲酯	2.25±0.40a	2.00±0.43a	3.14±0.50a	2.69±0.50a	2.40±0.36a
C20:3n3 顺-11,14,17-二十碳三烯酸甲酯	2.00±0.38b	1.83±0.42b	2.96±0.44a	2.55±0.36a	2.24±0.31a
C20:5n3 顺-5,8,11,14,17-二十碳五烯酸甲酯	1.24±0.20c	1.29±0.28c	2.66±0.05a	2.31±0.02a	1.81±0.29b
C22:0 二十二碳酸甲酯	1.34±0.32b	1.36±0.32b	2.55±0.37a	2.20±0.37a	1.84±0.28a
C22:1n9 顺-13-二十二碳一烯酸甲酯	1.25±0.28b	1.27±0.29b	2.42±0.28a	2.03±0.36a	1.80±0.29a
C22:2 顺-13,16-二十二碳二烯酸甲酯	1.24±0.31b	1.27±0.30b	2.41±0.31a	2.08±0.33a	1.84±0.28a
C23:0 二十三碳酸甲酯	1.25±0.33b	1.29±0.29b	2.41±0.35a	2.12±0.33a	1.76±0.26a
C24:0 二十四碳酸甲酯	1.25±0.29b	1.29±0.29b	2.39±0.36a	2.07±0.36a	1.80±0.29a
C22:6n3 顺-4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸甲酯	1.23±0.32c	1.28±0.26b	2.34±0.35a	2.01±0.35a	1.80±0.30a
C24:1 顺-15-二十四碳一烯酸甲酯	1.37±0.31b	1.34±0.30b	2.50±0.37a	2.16±0.37a	1.91±0.30a

注: a~c: 同行数据不同字母表示差异显著($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)。

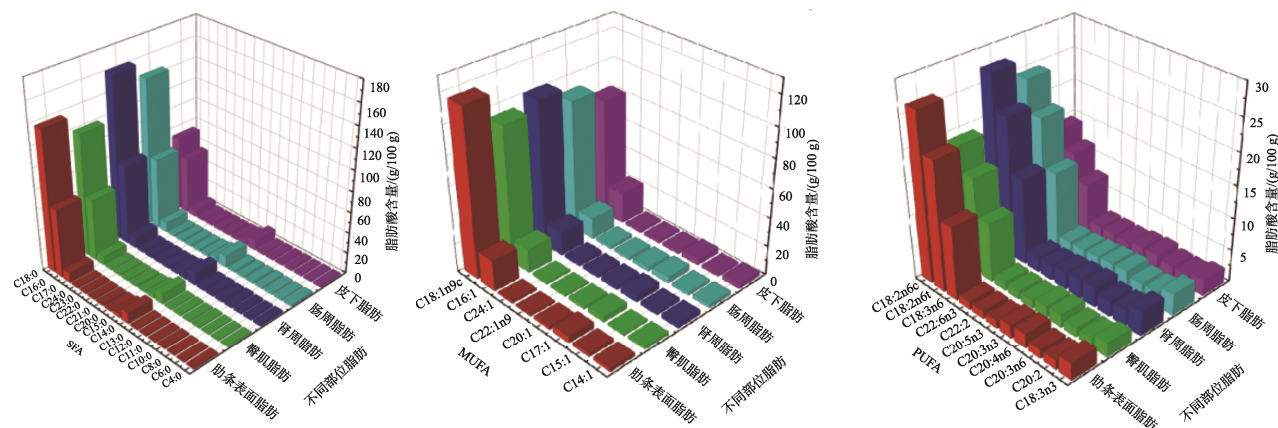


图 3 牦牛不同部位脂肪中不同类型脂肪酸含量分析结果

Fig.3 Analysis results of the different types of fatty acids content in different parts of yak fat

通过表 1 可知, 在 5 个部位脂肪中均检测出 36 种脂肪酸, 从图 3 可知得到 17 种 SFA、8 种 MUFA 和 11 种 PUFA。牦牛不同部位脂肪中, 脂肪酸都以十八碳酸甲酯为主, 其次是顺-9-十八碳一烯酸甲酯和十六碳酸甲酯。牦牛 5 个部位脂肪中 SFA 的含量显著高于 MUFA 和 PUFA 的含量 ($P < 0.05$)。SFA 氧化产生的挥发性物质是肉品重要的香味、风味来源, 不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid, UFA)能够很好地改善牛肉风味^[20]。

SFA 中硬脂酸(C18:0)、棕榈酸(C16:0)、肉豆蔻酸(C14:0)和十七碳酸甲酯(C17:0)的含量都显著高于其他饱和脂肪酸 ($P < 0.05$)。这与牛珺等^[21]对青海高原牦牛的研究结果较为一致。肋条表面脂肪、臀肌脂肪、肾周脂肪、肠周脂肪中硬脂酸(C18:0)和十七碳酸甲酯(C17:0)与皮下脂肪差异显著 ($P < 0.05$), 肉豆蔻酸(C14:0)、十五碳酸甲酯(C15:0)、棕榈酸(C16:0)的含量在 5 个不同部位脂肪之间差异不显著 ($P > 0.05$)。SFA 总含量在肠周脂肪中最高, 在皮下脂肪中最低。长链饱和脂肪酸会使血清胆固醇值升高, 已有报道称月桂酸和肉豆蔻酸升高血清胆固醇的效果特别强^[22]。总体来说, 过高的肌肉总 SFA 含量不利于人体健康, 将提升血液胆固醇水平, 易引起高血压^[23]。

MUFA 中油酸(C18:1n9c)和棕榈酸(C16:1)的含量都显著高于其他单不饱和脂肪酸 ($P < 0.05$), 在牦牛脂肪中单不饱和脂肪酸主要是油酸。本研究肋条表面脂肪的油酸含量最高, 5 个不同部位的脂肪之间油酸含量差异不显著 ($P > 0.05$)。肋条表面脂肪和皮下脂肪的棕榈酸含量较高, 肠周脂肪的含量最低。PUFA 中以亚油酸(C18:2n6c)为主, 肋条表面脂肪、臀肌脂肪、肾周脂肪、肠周脂肪中亚油酸显著高于皮下脂肪 ($P < 0.05$)。肾周脂肪的 PUFA 含量占比最高, 皮下脂肪的 PUFA 含量占比最低, 主要受亚油酸的含量所影响。油酸能较好地改善牛肉的风味, 肌肉中油酸与亚油酸含量的比值越高则表明风味越好^[24]。实验结果表明皮下脂肪的油酸与亚油酸含量的比值最高。不饱和脂肪酸

与饱和脂肪酸的比值(unsaturated fatty acid/saturated fatty acids, UFA/SFA)可以反映肉质的味道和口感, 在本研究 UFA/SFA 的比值从大到小依次排序为皮下脂肪、肋条表面脂肪、臀肌脂肪、肾周脂肪、肠周脂肪, 即表明皮下脂肪风味更好。

2.3 基于 PCA 分析牦牛不同部位脂肪

PCA 是一种能够用较少的指标反应较多信息的无监督的分析方法^[25]。36 种脂肪酸含量的 GC-MS 数据为输入, 采用 SAS 进行 PCA 分析, 对提取的 5 个不同部位脂肪数据进行有效分析, 其结果见图 4。

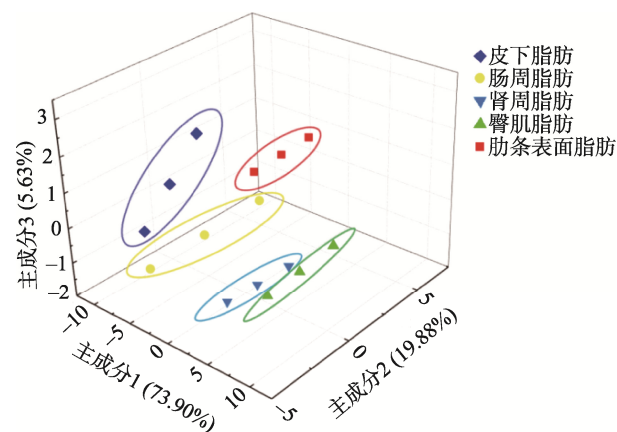


图 4 不同部位脂肪 PCA 结果

Fig.4 PCA results for the fat from different parts

由图 4 可知, 前 3 个主成分的累积贡献率高达 99.41%, 第一主成分 73.90%、第二主成分 19.88%、第三主成分 5.63%, 包含了原始信息的大部分信息。从 PCA 图可观察样品的聚集、离散程度。不同部位的样品分别集中于不同区域, 其中肾周脂肪与臀肌脂肪较接近, 没有区域重叠; 皮下脂肪、肋条表面与肠周脂肪位置相对分散, 样品之间有差异。PCA 很好地实现了牦牛 5 个不同部位脂肪的区分。

3 结论与讨论

目前越来越多的研究将脂肪酸作为评价牦牛肉品质的重要指标之一^[26]。本研究对牦牛不同部位脂肪品质差异研究分析, 采用外标方法对肃南牦牛不同部位脂肪中脂肪酸进行了定量。在肃南牦牛 5 个不同部位脂肪中均检测出 36 种脂肪酸, 但肃南牦牛不同部位脂肪的脂肪酸相对含量存在差异($P < 0.05$), 这可能与牦牛不同脂肪组织对脂肪酸的合成代谢不同有关。SFA 在脂肪酸总量上均占有重要比重, 且都以硬脂酸和棕榈酸为主, 这与周恒量等^[27]研究结果相同。其中肾周脂肪中 SFA 达到 58.06%, 这与梁瑜^[28]对西门塔尔杂种牛脂肪酸的研究中肾周脂肪的 SFA 占脂肪酸的 59.36%的研究结果接近。牦牛脂肪中 MUFA 主要是油酸, 这与侯成立等^[29]对牦牛脂肪酸的研究结果较为一致, 其中肋条表面脂肪的油酸含量最高。PUFA 含量占比在肾周脂肪中最高, 与刘婷^[30]的研究结果中肾周脂肪的 PUFA 含量较少相比存在差异, 可能与牦牛品种差异有关。UFA 种类丰富, 相对含量存在差异, 同张成福等^[31]对申扎牦牛肉品质分析的结果相似。皮下脂肪的 UFA/SFA 高于其他部位, 皮下脂肪组分更接近脂肪酸营养价值的指标, 表明皮下脂肪风味更好。

PCA 结果表明, 前 3 个主成分可以解释 99.41% 的信息量, 很好地实现了牦牛 5 个不同部位脂肪的区分。后续将进一步研究与牛肉品质相关的其他指标, 同时与其生理变化相联系, 建立更加全面准确的评价体系。本研究通过对牦牛不同部位脂肪中脂肪酸含量的测定, 为指导高品质牦牛产品加工和品质评价提供了依据。

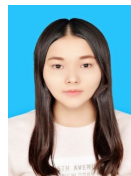
参考文献

- [1] 赵洪文, 安添午, 官久强, 等. 不同年龄麦洼牦牛肉品质分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2021, (1): 142-144, 148.
ZHAO HW, AN TW, GUAN JQ, *et al.* Meat quality analysis of Maiwa yak at different ages [J]. Heilongjiang Anim Sci Vet Med, 2021, (1): 142-144, 148.
- [2] 李国军, 张胜智, 吉哲君, 等. 玛曲草原牲畜生存的气候生态条件分析及预测模型[J]. 家畜生态学报, 2011, 32(3): 90-95.
LI GJ, ZHANG SZ, JI ZJ, *et al.* Analysis of animals subsistence based on ecological and climatic conditions and its model of predicting in Maqu grasslands [J]. J Domest Anim Ecol, 2011, 32(3): 90-95.
- [3] 罗楷, 柴林荣, 常生华, 等. 我国青藏高原地区牦牛草地放牧系统管理及优化[J]. 草业科学, 2017, 34(4): 881-891.
LUO D, CHAI LR, CHANG SH, *et al.* Yak grazing management systems and optimization on the Qinghai-Tibet plateau [J]. Pratacul Sci, 2017, 34(4): 881-891.
- [4] 尼玛群宗, 达瓦, 陈瑶, 等. 西藏雅江雪牛与牦牛肉质特性比较研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(11): 3642-3648.
NI MQZ, DA W, CHEN Y, *et al.* Comparison of meat quality characteristics of Tibetan Yajiang snow cattle and yak [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(11): 3642-3648.
- [5] XIE RQ, YANG PG. Meat quality test and analysis for different-age yak [C]. Proceeding of the fourth International Congress on Yak, 2004.
- [6] 焦小鹿, 刘海珍, 范涛. 青海牦牛肉的营养品质分析[J]. 中国草食动物, 2005, (6): 57-58.
JIAO XL, LIU HZ, FAN T. Nutritional quality analysis of Qinghai yak beef [J]. China Herbiv Sci, 2005, (6): 57-58.
- [7] 谢荣清, 罗光荣, 杨平贵, 等. 不同年龄牦牛肉肉质测试与分析[J]. 中国草食动物, 2006, (2): 58-60.
XIE RQ, LUO GR, YANG GP, *et al.* The meat quality test and analysis of beef meat of different ages [J]. Chin Herbiv Sci, 2006, (2): 58-60.
- [8] 郭宪, 阎萍, 曾玉峰, 等. 中国牦牛遗传资源现状分析[J]. 中国畜禽种业, 2008, (1): 60-62.
GUO X, YAN P, ZENG YF, *et al.* Analysis of the current situation of genetic resources of yak in China [J]. Chin Live Tock Poul Try Breed, 2008, (1): 60-62.
- [9] 孟影. 延边黄牛不同部位脂肪组织脂肪酸构成及脂代谢基因的差异表达分析[D]. 延吉: 延边大学, 2017.
MENG Y. The fatty acid composition and expression of lipid metabolism-associated genes in various adipose tissue of yanbian yellow cattle [D]. Yanji: Yanbian University, 2017.
- [10] 吕玉, 史智佳, 曲超, 等. 气相色谱-嗅闻-质谱联用分析牦牛肉的“膻味”成分[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 209-212.
LV Y, SHI ZJ, QU C, *et al.* Analysis of odor-active compounds of yak meat by GC-O-MS [J]. Food Sci, 2014, 35(2): 209-212.
- [11] 朱佳冉, 胡深强, 梁小虎, 等. 夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织脂肪酸组成及含量分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(1): 16-24.
ZHU JR, HU SQ, LIANG XH, *et al.* Fatty acids composition and content in subcutaneous and perirenal adipose tissues of Charolais Simmental yellow cattle [J]. J Northwest Agric Forest Univ (Nat Sci Ed), 2020, 48(1): 16-24.
- [12] 张贤. 西藏牦牛肉品质分析与评价[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2017.
ZHANG X. The quality analysis and evaluation of Tibet yak meat [D]. Xi'an: Northwest A & F University, 2017.
- [13] PEIRETTI PG, MEINER G. Effects on growth performance, carcass characteristics, and the fat and meat fatty acid profile of rabbits fed diets with chia (*Salvia hispanica* L.) seed supplements [J]. Meat Sci, 2008, 80(4): 1116-1121.
- [14] UTAMA DT, LEE CW, PARK YS, *et al.* Comparison of meat quality, fatty acid composition and aroma volatiles of Chiksoand Hanwoo beef [J]. Asian Australas J Anim Sci, 2018, 31(9): 1500-1506.
- [15] TURNER TD, JENSEN J, PILFOLD JL, *et al.* Comparison of fatty acids in beef tissues from conventional, organic and natural feeding systems in western canadad [J]. Canad J Anim Sci, 2015, 95(1): 49-58.
- [16] 张明, 刘婷, 曾金焱, 等. 安西杂交一代牛肉脂肪酸组成及含量研究[J]. 畜牧兽医学报, 2016, 47(5): 1049-1056.
ZHANG M, LIU T, ZENG JY, *et al.* Composition of fatty acid profiles in first filial generation form angus and crossbred simmental [J]. J Anim Sci Vet, 2016, 47(5): 1049-1056.
- [17] DÍAZ MT, PÉREZ C, SÁNCHEZ CI, *et al.* Feeding microalgae increases omega 3 fatty acids of fat deposits and muscles in light lambs [J]. J Food Compos Anal, 2017, 56: 115-123.

- [18] HOCQUETTE JF, GONDRET F, BAÉZA E, *et al.* Intramuscular fat content in meat-producing animals: Development, genetic and nutritional control, and identification of putative markers [J]. *Animal*, 2010, 4(2): 303–319.
- [19] 杨勤. 低海拔舍饲对牦牛产肉性能和肉质相关基因表达影响的研究[D]. 成都: 西南民族大学, 2020.
YANG Q. Effects of House-feeding at low-altitude on yak meat performance and genes expression related to mea quality [D]. Chengdu: Southwest Minzu University, 2020.
- [20] 郭同军, 臧长江, 王连群, 等. 去势对西门塔尔牛牛肉品质的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(1): 152–160.
GUO TJ, ZANG CJ, WANG LQ, *et al.* Effect of castration on ment quality of Simmental cattle [J]. *Pratacultural Sci*, 2017, 34(1): 152–160.
- [21] 牛琨, 张丽, 孙宝忠, 等. 青海高原牦牛肉宰后成熟过程中脂肪酸组成及含量变化分析[J]. 食品工业科技, 2017, 38(8): 338–345.
NIU J, ZHANG L, SUN BZ, *et al.* Analysis of fatty acid composition and content in different part of Qinghai Plateau yak with aging [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(8): 338–345.
- [22] 唐传核, 徐建祥, 彭志英. 脂肪酸营养与功能的最新研究[J]. 中国油脂, 2000, (6): 20–23.
TANG CH, XU JX, PENG ZY. Recent study on the nutrition and function of fatty acids [J]. *China Oils Fats*, 2000, (6): 20–23.
- [23] 余力, 贺雅非, 王兆明, 等. 肉中脂肪酸组成与健康关系的研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(22): 359–363.
YU L, HE ZF, WANG ZM, *et al.* Research progress in the relationship between fatty acid composition of meat and health [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, 35(22): 359–363.
- [24] ZHANG SG, LIU T, BROWN MA, *et al.* Comparison of longissimus dorsi fatty acids profiles in Gansu black yak and Chinese yellow cattle steers and heifers [J]. *Korean J Food Sci Anim Res*, 2015, 35(3): 286–290.
- [25] 陈焱洁, 刘嘉飞, 汪廷彩, 等. 高效液相色谱非靶向检测方法在干邑白兰地真伪鉴别中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(23): 8068–8075.
CHEN DJ, LIU JF, WANG TC, *et al.* Application of high performance liquid chromatography non-targeted detection methods in cognac identification [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(23): 8068–8075.
- [26] 拜彬强, 郝力壮, 柴沙驼, 等. 牦牛肉品质特性研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(17): 290–296.
BAI BQ, HAO LZ, CHAI ST, *et al.* Progress in understanding meat quality characteristics of yak [J]. *Food Sci*, 2014, 35(17): 290–296.
- [27] 周恒量, 李诚, 刘爱平, 等. 九龙牦牛不同部位肉中脂肪酸组成分析评价[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(11): 1225–1231.
ZHOU HL, LI C, LIU AIP, *et al.* Analysis and evaluation of fatty acid composition in different positions of Jiulong yak [J]. *J Food Sci Biotechnol*, 2017, 36(11): 1225–1231.
- [28] 梁瑜. 西门塔尔杂种牛脂肪酸营养特性及肉品质研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
LIANG Y. Fatty acids composition and quality of ment from hybrid Simmental bulls [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2012.
- [29] 侯成立, 李欣, 王振宇, 等. 不同部位牦牛肉氨基酸、脂肪酸含量分析与营养价值评价[J]. 肉类研究, 2019, 33(2): 52–57.
HOUE CL, LI X, WANG ZY, *et al.* Amino acids and fatty acid composition and nutritional value evaluation of different yak ment cuts [J]. *Meat Res*, 2019, 33(2): 52–57
- [30] 刘婷. 牦牛黄牛体脂脂肪酸营养特征及温度对其影响的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.
LIU T. Research on the nutritional characteristics and the impact of temperature on the fatty acids of yak and yellow cattle [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2010.
- [31] 张成福, 姜辉, 张强, 等. 申扎牦牛产肉性能和肉营养品质分析研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2020, (6): 129–133.
ZHANG CF, JIANG H, ZHANG Q, *et al.* study on ment produced performance and nutritional quality of Shenzha yak [J]. *Heilongjiang Anim Sci Vet Med*, 2020, (6): 129–133.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



张娅俐, 硕士研究生, 主要研究方向为特种经济动物饲养。

E-mail: 349566389@qq.com



田晓静, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品、农产品品质快速检测。

E-mail: smile_tian@yeah.net