

不同季节青海高原型牦牛乳营养成分的比较研究

贾宏信

(乳业生物技术国家重点实验室, 上海乳业生物工程技术研究中心, 光明乳业股份有限公司乳业研究院, 上海 200436)

摘要: 选择生活在高海拔(平均海拔4 200 m以上)的青海高原型牦牛(夏季, $n=18$; 冬季, $n=18$)分析季节对牦牛乳营养成分和脂肪酸组成的影响。结果表明: 蛋白质、乳糖、非脂乳固体、灰分、VA和主要反式脂肪酸(反-9- $C_{18:1}$ 和反-9,12- $C_{18:2\ n-6}$)含量冬季显著低于夏季($P<0.05$), 而脂肪和主要脂肪酸($C_{16:0}$ 、 $C_{17:0}$ 、 $C_{18:0}$ 、顺-9- $C_{16:1}$ 、顺-9- $C_{18:1}$ 和顺-9,12- $C_{18:2\ n-6}$)含量冬季显著高于夏季($P<0.05$), 说明青海高原型牦牛乳的营养成分和脂肪酸组成受季节的影响。

关键词: 牦牛乳; 营养成分; 脂肪; 脂肪酸; 季节

Comparative Study of Nutrient Composition of Yak Milk from Qinghai Plateau Yak in Different Seasons

JIA Hongxin

(Shanghai Engineering Research Center of Dairy Biotechnology, State Key Laboratory of Dairy Biotechnology, Dairy Research Institute, Bright Dairy and Food Co. Ltd., Shanghai 200436, China)

Abstract: This study analyzed the effect of season on the nutrient and fatty acid composition of yak milk. Yak milk samples from the Qinghai-Tibet Plateau in summer and winter ($n = 18$, each) were selected for this study. Results showed that the contents of protein, lactose, non-fat milk solid, ash, vitamin A and main trans fatty acids (*trans*-9 $C_{18:1}$ and *trans*-9,12 $C_{18:2\ n-6}$) were significantly lower in winter than in summer ($P < 0.05$), while the contents of fat and main fatty acids ($C_{16:0}$, $C_{17:0}$, $C_{18:0}$, *cis*-9 $C_{16:1}$, *cis*-9 $C_{18:1}$ and *cis*-9,12 $C_{18:2\ n-6}$) in yak milk were significantly higher in winter than in summer. This suggests that the nutrient and fatty acids composition of yak milk from the Qinghai-Tibet Plateau are influenced by season.

Keywords: yak milk; nutrient composition; fat; fatty acid; season

DOI:10.7506/rykxyjs1671-5187-20230423-020

中图分类号: TS252.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-5187(2023)03-0007-05

引文格式:

贾宏信. 不同季节青海高原型牦牛乳营养成分的比较[J]. 乳业科学与技术, 2023, 46(3): 7-11. DOI:10.7506/rykxyjs1671-5187-20230423-020. <http://www.dairyst.net.cn>

JIA Hongxin. Comparative study of nutrient composition of yak milk from Qinghai plateau yak in different seasons[J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2023, 46(3): 7-11. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/rykxyjs1671-5187-20230423-020. <http://www.dairyst.net.cn>

牦牛(*Bos grunniens*)生活在喜马拉雅山脉和青藏高原的高海拔地区, 世界上95%以上的牦牛分布在中国^[1-2]。生活在青藏高原上的人们依靠牦牛生存, 牦牛以牛乳、黄油、奶酪、酸乳和肉的形式为当地人提供食物^[3]。果洛藏族自治州位于青海省东南部, 其地理坐标为东经97°54'~121°50', 北纬32°31'~35°40', 平均海拔4 200 m以上, 海拔4 000~5 000 m的面积约占总面积的80%。大气含氧量仅为海平面的60%, 年平均气温低于-1.0℃, 极端最低气温为-48.1℃, 具典型的高原大陆性气候特

征(仅冬夏两季)^[4]。本区放牧牦牛为青海高原牦牛^[5], 放牧方式为天然草场放牧, 无补饲, 夏季牦牛能获得充足的牧草, 冬季牧草缺乏^[6]。这一放牧方式和牧草的季节性差异可能会导致牦牛乳营养成分的差异。

近年来, 关于牦牛乳营养成分的报道多集中在海拔3 000~4 000 m的牦牛。研究内容集中在对不同地区、不同品种、不同胎次牦牛的蛋白质^[7-9]、脂肪、乳糖、灰分等基本营养组分的研究^[9-11], 不同泌乳期营养组分的变化^[12-14], 以及牦牛乳贮藏过程中营养组分变化的研究^[15],

收稿日期: 2023-04-23

基金项目: 上海市国资委企业创新发展和能级提升项目(2022013)

作者简介: 贾宏信(1985—)(ORCID: 0000-0003-0914-1443), 男, 高级工程师, 硕士, 研究方向为乳品科学。

E-mail: jiahx0607@126.com

而对青海高原牦牛（生活在平均海拔4 200 m以上的地区）牦牛乳的报道较少。本研究有针对性地选择生活在高海拔（平均海拔4 200 m以上）地区的牦牛，分析季节对高原牦牛乳营养成分的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

采集36头牦牛乳样（每头采集1份乳样）（采样点为果洛州下属玛沁、班玛、甘德、达日、久治、玛多6个县的传统管理、开放、无围栏的自然放牧牧场），其中18个牦牛乳样品采集于夏季（8月），18个牦牛乳样品采集于冬季（11月），每个县采集3个牧场。牦牛乳采样时间为每天6:00—8:00，选择常乳期牦牛，手工挤奶，单次挤出全部牦牛乳，并将牦牛乳移至无菌的储奶袋，于收集后10 min内贮藏至-20℃冰箱内直至分析。

硫酸铜、硫酸钾、硫酸、硼酸、硝酸、盐酸、无水乙醇、甲醇、氢氧化钾、无水硫酸钠、正己烷、环己烷、正庚烷、异丙醇（均为分析纯） 中国医药集团有限公司；反-9-C_{14:1}、反-9-C_{16:1}、反-11-C_{20:1}、顺-13,16,19-C_{22:3 n-3} 美国NU-CHEK公司；脂肪酸甲酯混合标准品 美国Sigma公司。

1.2 仪器与设备

TE612-L电子天平 德国Sartorius公司；KJELTEC2300凯氏定氮仪 丹麦Foss公司；7890气相色谱仪（配备氢火焰离子化检测器、DB-23/Sil188毛细管柱（15 m×0.25 mm，0.25 μm）） 美国Agilent公司；U3000液相色谱仪（配备二极管阵列检测器、Accucore Polar Premium C₁₈色谱柱（4.6 mm×150 mm，2.6 μm）） 美国Thermo公司。

1.3 方法

牦牛乳样品在解冻过程中保持低温（4℃低温解冻），并在分析前搅拌。蛋白质含量按GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》测定，按氮转换系数6.38计算样品蛋白质含量；脂肪含量按GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》测定；乳糖含量按GB 5009.8—2016《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》进行检测，总固体和非脂乳固体含量按GB 5423.39—2010《食品安全国家标准 乳和乳制品中非脂乳固体的测定》测定；灰分含量按GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》方法测定，将3 g牛乳样品放置在瓷坩埚中550℃下干燥4 h；VA含量按GB 5009.82—2016《食品安全国家标准 食品中维生素A、D、E的测定》测定；钙（Ca）含量按

GB 5009.92—2016《食品安全国家标准 食品中钙的测定》方法分析；脂肪酸组成采用AOAC官方方法996.06进行分析^[16]。

1.4 数据处理

所有数据均在Excel软件（Microsoft Office 2010）中编目，统计结果为平均值±标准差，数据采用SPSS 21统计软件（IBM 2013）进行独立样本t检验分析，显著性差异水平P<0.05。

2 结果与分析

2.1 牦牛乳的营养组分

由表1可知，牦牛乳脂肪、蛋白质、乳糖、非脂乳固体和灰分含量在夏季和冬季之间存在显著差异（P<0.05），但是，牦牛乳的总固形物含量在夏季和冬季之间无显著差异。具体为冬季牦牛乳的脂肪含量（（8.49±1.17）g/100 g）显著高于夏季（（6.37±1.55）g/100 g），而蛋白质、乳糖、非脂乳固体和灰分含量夏季显著高于冬季。此外，脂肪含量是所有指标中最不稳定的。夏季和冬季个体间差异较大，夏季最高值（9.23 g/100 g）几乎是最低值（3.40 g/100 g）的3倍，冬季最高值（11.80 g/100 g）是最低值（6.77 g/100 g）的2倍。牦牛乳的脂肪含量冬季高于夏季这一结果与Ding Luming等^[17]的研究结果一致，造成这一结果的原因可能是牦牛在冬季的饮食增加了纤维的摄入量，进而导致瘤胃液中含有高浓度的醋酸盐，而醋酸盐是合成乳脂的主要底物。但是牦牛乳的蛋白质含量冬季低于夏季这一结果却与Ding Luming等^[17]的研究相反。另外，对于同一季节（夏季），同样的青海高原牦牛，Guo Xian等^[18]研究显示，牦牛乳中蛋白质含量为4.79 g/100 g，低于本研究结果（5.63 g/100 g）。研究显示，牦牛的品种、牧场牧草的种类等会影响牦牛乳脂肪、蛋白质等营养组分含量^[19-22]，这可能是不同研究中牦牛乳各营养组分存在较大差异的原因。

表1 不同季节牦牛乳的化学组分含量
Table 1 Chemical composition of yak milk in different seasons

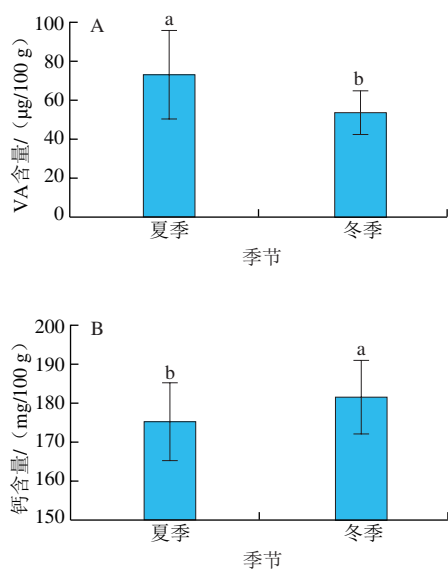
营养指标	夏季		冬季	
	平均值	范围	平均值	范围
脂肪含量/(g/100 g)	6.37±1.55 ^a	3.40~9.23	8.49±1.17 ^a	6.77~11.80
蛋白质含量/(g/100 g)	5.63±0.60 ^a	4.56~6.79	4.91±0.13 ^b	4.62~5.14
乳糖含量/%	4.86±0.52 ^a	4.20~5.70	3.79±0.14 ^b	3.60~4.10
总固形物含量/%	17.57±2.04 ^a	13.60~21.10	18.41±1.31 ^a	15.90~21.30
非脂乳固体含量/%	11.20±0.93 ^a	10.00~13.30	10.31±0.63 ^b	8.89~11.50
灰分含量/%	0.86±0.09 ^a	0.69~1.00	0.75±0.05 ^b	0.65~0.82

注：同行小写字母不同，表示差异显著（P<0.05）。表2同。

2.2 牦牛乳的VA和钙含量

由图1可知，VA含量夏季（72.7 μg/100 g）

显著高于冬季 ($52.7 \mu\text{g}/100 \text{ g}$)，夏季牦牛乳钙含量 ($175.2 \text{ mg}/100 \text{ g}$) 显著低于冬季牦牛乳 ($181.9 \text{ mg}/100 \text{ g}$)，且夏季牦牛乳个体间VA含量差异较大 (标准差较大)。VA的这一结果与常海军等^[23]关于甘肃白牦牛乳的研究相一致，其研究显示，甘肃白牦牛乳中VA含量夏季为 $46.1 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ，冬季为 $29.9 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ 。另外，与荷斯坦奶牛VA含量 ($34.7 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ，数据来自未公布的实验室数据) 相比，青海高原牦牛乳VA含量也远高于荷斯坦奶牛，青海高原牦牛乳夏季VA含量是荷斯坦奶牛的2.10倍，冬季是荷斯坦奶牛的1.52倍。关于牦牛乳VA含量冬季低于夏季的原因，可能是因为自然放牧、无饲补的牦牛在冬季摄入的VA前体 (β -胡萝卜素) 处于低水平^[23-24]，因为枯草的 β -胡萝卜素水平低于青草，进而会影响牦牛对于VA的合成。与VA的结果相反，牦牛乳中的钙含量在冬季高于夏季，并且比荷斯坦奶牛 (约 $106 \text{ mg}/100 \text{ g}$) 高出1.6倍^[25]，可能是在冬季干枯牧草植株高度更低，牦牛进食时会更多地摄入土壤。



小写字母不同，表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图1 不同季节牦牛乳中VA (A) 和钙 (B) 的含量 ($n=18$)

Fig. 1 VA (A) and calcium (B) contents of yak milk in different seasons ($n = 18$)

2.3 牦牛乳的脂肪酸组成

采用AOAC气相色谱法对44种脂肪酸进行分析，由表2可知，牦牛乳中的主要脂肪酸组成与文献报道^[17-19,26-27]的结果相似，牦牛乳中主要的脂肪酸为 $\text{C}_{14:0}$ (肉豆蔻酸)、 $\text{C}_{16:0}$ (棕榈酸)、 $\text{C}_{18:0}$ (硬脂酸)、顺-9 $\text{C}_{18:1}$ (油酸) 和反-9 $\text{C}_{18:1}$ 等。总体上，牦牛乳中主要脂肪酸 $\text{C}_{16:0}$ 、 $\text{C}_{17:0}$ 、 $\text{C}_{18:0}$ 、顺-9 $\text{C}_{16:1}$ 、油酸和亚油酸 (linoleic acid, LA) 含量冬季显著高于夏季，反式脂肪酸 (反-9 $\text{C}_{18:1}$ 和反-9,12 $\text{C}_{18:2 \text{ n-6}}$) 含量冬季显著低于夏季，其中反式

脂肪酸的种类与Ding Luming^[17]、Liu^[26]等报道的略有不同，但夏季和冬季反式脂肪酸含量变化基本相同。对于SFA，超过80%的SFA由 $\text{C}_{14:0}$ 、 $\text{C}_{16:0}$ 和 $\text{C}_{18:0}$ 组成。MUFA中，油酸分别占夏季牦牛乳和冬季牦牛乳MUFA总量的70.6%和82.9%。PUFA中，顺-9,12 $\text{C}_{18:2 \text{ n-6}}$ (LA)、顺-9,12,15 $\text{C}_{18:3 \text{ n-3}}$ (亚麻酸, linolenic acid, ALA)、反-9,12 $\text{C}_{18:2 \text{ n-6}}$ (反式亚油酸, *trans*-linoleic acid, TLA) 含量最高。其中LA和ALA含量占PUFA的75%以上，这一数值与四川牦牛乳^[28]和西藏牦牛乳^[27]相似，高于甘肃牦牛乳和荷斯坦奶牛乳的水平 (分别为46.6%和61.6%)^[29]。

LA和ALA的延伸和脱饱和度可形成必需的脂肪酸，如花生四烯酸 (顺-5,8,11,14 $\text{C}_{20:4 \text{ n-6}}$, arachidonic acid, ARA)、二十碳五烯酸 (顺-5,8,11,14,17 $\text{C}_{20:5 \text{ n-3}}$, eicosapentaenoic acid, EPA) 和二十二碳六烯酸 (顺-4,7,10,13,16,19 $\text{C}_{22:6 \text{ n-3}}$, docosahexenoic acid, DHA)。夏季和冬季青海高原牦牛乳中ARA、EPA和DHA都处于较低水平或未检出，ARA和DHA的这一结果与Ding Luming等^[17]的研究结果一致，而与Liu等^[26]的检测结果相反 (冬季和夏季， $\text{ARA} \geq 0.11 \text{ g}/100 \text{ g}$ ， $\text{DHA} \geq 0.04 \text{ g}/100 \text{ g}$)；而EPA的结果却与Ding Luming^[17]、Liu^[26]等的研究结果完全不一致，上述研究中EPA都有检出。

夏季牦牛乳中 $n-6$ PUFA 的总量显著高于冬季牦牛乳 ($P < 0.05$)，而夏季牦牛乳与冬季牦牛乳中 $n-3$ PUFA 的含量无显著差异。夏季样品中 $n-6$ PUFA 与 $n-3$ PUFA 的比例显著高于冬季样品 (分别为3.02和1.95)。进一步分析 $n-6$ PUFA，发现 $n-6$ PUFA 差异较大的原因是夏季乳样中反-9,12 $\text{C}_{18:2 \text{ n-6}}$ 含量显著高于冬季乳样，其平均值是冬季乳样的2倍以上。短链和中链脂肪酸 ($\text{C}_4 \sim \text{C}_{16}$) 可以从头合成，例如从瘤胃中的碳水化合物和动物的新陈代谢中合成，但长链脂肪酸 ($\text{C}_{18} \sim \text{C}_{24}$)，如顺-9 $\text{C}_{18:1}$ 、反-9 $\text{C}_{18:1}$ 、顺-9,12 $\text{C}_{18:2 \text{ n-6}}$ (LA) 和反-9,12 $\text{C}_{18:2 \text{ n-6}}$ 不能在体内合成，主要来源于膳食^[12,30]。结果表明，冬季主要长链脂肪酸LA含量高于夏季，这一结果与Ding Luming^[17]、Liu^[26]等的结果相反。造成以上不一致的结果可能与牦牛的品种、天然草场草的种类及海拔高度有关。

总体上，SFA和MUFA的含量随季节变化明显，都表现为冬季显著高于夏季 ($P < 0.05$) (表2)。不同季节牦牛乳总SFA、MUFA和PUFA含量，夏季样品的SFA和MUFA总量显著高于冬季样品 ($P < 0.05$)，尽管主要单体PUFA存在显著差异，但夏季和冬季样品的PUFA含量总体上无显著差异。另外，夏季样品的SFA/PUFA比值和MUFA/PUFA比值显著低于冬季样品 (分别为12.05、6.39和19.00、8.19)。对于SFA和MUFA的这种季节性变化，可能是由于牦牛在2个季节的饮食不同 (夏季饮食中含有鲜草，冬季饮食中不含鲜草)^[26]，另一个可能的原因是在冬季牦牛动员了其体内储备的脂肪^[17]。

表2 不同季节牦牛乳脂肪酸组成

Table 2 Fatty acid composition of yak milk in different seasons

脂肪酸	g/100 g			
	夏季		冬季	
	平均值	范围	平均值	范围
C _{4:0}	ND		ND	
C _{6:0}	0.12±0.03 ^b	0.07~0.17	0.14±0.02 ^a	0.09~0.21
C _{8:0}	0.06±0.02 ^a	0.03~0.10	0.07±0.01 ^a	0.04~0.10
C _{10:0}	0.10±0.04 ^b	0.05~0.18	0.12±0.02 ^a	0.08~0.18
C _{11:0}	ND		ND	
C _{12:0}	0.08±0.03 ^b	0.04~0.14	0.10±0.02 ^a	0.06~0.13
C _{13:0}	ND		ND	
C _{14:0}	0.39±0.10 ^b	0.22~0.56	0.53±0.08 ^a	0.40~0.74
C _{15:0}	0.08±0.02 ^b	0.05~0.12	0.13±0.03 ^a	0.08~0.20
C _{16:0}	1.40±0.29 ^b	0.82~1.96	2.22±0.34 ^a	1.76~3.06
C _{17:0}	0.09±0.02 ^b	0.05~0.11	0.14±0.03 ^a	0.10~0.19
C _{18:0}	0.95±0.21 ^a	0.59~1.26	1.08±0.21 ^a	0.79~1.68
C _{20:0}	0.03±0.01 ^b	0.02~0.05	0.06±0.01 ^a	0.04~0.08
C _{21:0}	ND		ND	
C _{22:0}	0.01±0.01 ^b	0.00~0.02 ^a	0.03±0.01 ^a	0.02~0.04
C _{23:0}	ND		ND	
C _{24:0}	0.00±0.00 ^b	0.00~0.01 [▽]	0.01±0.00 ^a	0.01~0.02
SFA总量	3.30±0.65 ^b	1.95~4.34	4.62±0.69 ^a	3.53~6.60
MCT总量	0.16±0.05 ^a	0.08~0.28	0.19±0.04 ^a	0.12~0.28
cis-9 C _{14:1}	0.02±0.01 ^a	0.00~0.05 ^a	0.02±0.00 ^a	0.02~0.03
trans-9 C _{14:1}	ND		ND	
cis-10 C _{15:1}	0.02±0.01	0.01~0.03	ND	
cis-9 C _{16:1}	0.09±0.03 ^b	0.05~0.19	0.14±0.03 ^a	0.08~0.17
trans-9 C _{16:1}	ND		ND	
cis-10 C _{17:1}	ND		ND	
cis-9 C _{18:1}	1.25±0.29 ^b	0.67~1.93	1.65±0.19 ^a	1.26~2.10
trans-9 C _{18:1}	0.39±0.10 ^a	0.23~0.59	0.19±0.04 ^b	0.12~0.29
cis-11 C _{20:1}	ND		ND	
trans-11 C _{20:1}	ND		ND	
cis-13 C _{22:1}	ND		ND	
cis-15 C _{24:1}	ND		ND	
MUFA总量	1.77±0.40 ^b	1.06~2.72	1.99±0.23 ^a	1.53~2.58
cis-9,12 C _{18:2 n-6}	0.07±0.02 ^b	0.05~0.11	0.10±0.02 ^a	0.07~0.16
trans-9,12 C _{18:2 n-6}	0.14±0.03 ^a	0.08~0.21	0.06±0.01 ^b	0.04~0.08
cis-6,9,12 C _{18:3 n-6}	ND		ND	
cis-9,12,15 C _{18:3 n-3}	0.07±0.02 ^a	0.04~0.11	0.07±0.01 ^a	0.05~0.10
cis-11,14 C _{20:2 n-6}	ND		ND	
cis-8,11,14 C _{20:3 n-6}	ND		ND	
cis-11,14,17 C _{20:3 n-3}	ND		ND	
cis-5,8,11,14 C _{20:4 n-6}	0.00±0.00 ^a	0.00~0.01 [*]	0.00±0.00 ^a	0.00~0.01 [*]
cis-5,8,11,14,17 C _{20:5 n-3}	ND		ND	
cis-13,16 C _{22:2 n-6}	ND		ND	
cis-13,16,19 C _{22:3 n-3}	ND		ND	
cis-7,10,13,16 C _{22:4 n-6}	ND		ND	
cis-4,7,10,13,16 C _{22:5 n-6}	ND		ND	
cis-7,10,13,16,19 C _{22:5 n-3}	0.01±0.00 ^b	0.00~0.02 [◇]	0.02±0.01 ^a	0.01~0.02
cis-4,7,10,13,16,19 C _{22:6 n-3}	ND		ND	
PUFA总量	0.28±0.07 ^a	0.17~0.45	0.25±0.04 ^a	0.19~0.36
n-3 PUFA总量	0.07±0.03 ^a	0.04~0.13	0.08±0.01 ^a	0.06~0.12
n-6 PUFA总量	0.21±0.05 ^a	0.13~0.32	0.16±0.03 ^b	0.11~0.24
n-6 PUFA/n-3 PUFA	3.02±0.59 ^a	2.22~4.75	1.95±0.29 ^b	1.38~2.38
LA/ALA	1.07±0.17 ^b	0.83~1.50	1.51±0.15 ^a	1.17~1.71
SFA/PUFA	12.05±1.70 ^b	8.96~14.76	19.00±2.53 ^a	15.45~24.38
MUFA/PUFA	6.39±0.74 ^b	5.05~7.88	8.19±0.89 ^a	6.89~10.00
TFA总量	0.53±0.13 ^a	0.32~0.80	0.24±0.05 ^b	0.16~0.37

注: ND. 未检出; SFA. 饱和脂肪酸 (saturated fatty acid); MCT. 中链甘油三酯 (medium chain triglycerides, C_{8:0}~C_{10:0}); MUFA. 单不饱和脂肪酸 (monounsaturated fatty acid); PUFA. 多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acid); △. 18 个样品中有16 个检出; ▽. 18 个样品中有4 个检出; *. 18 个样品中有1 个检出; ◇. 18 个样本中有10 个检出。

3 结 论

牦牛乳是青藏高原高海拔缺氧地区居民膳食蛋白质、脂肪和微量营养素的主要来源。以生活在高海拔 (平均海拔4 200 m以上) 的青海高原牦牛为研究对象, 分析季节对青海高原牦牛乳常规营养成分和脂肪酸组成的影响。结果表明, 冬季青海高原牦牛乳的蛋白质、乳糖、非脂乳固体、灰分、VA和主要反式脂肪酸 (反-9-C_{18:1}和反-9,12-C_{18:2 n-6}) 的含量显著低于夏季 ($P<0.05$), 但脂肪和主要脂肪酸 (C_{16:0}、C_{17:0}、C_{18:0}、顺-9-C_{16:1}、顺-9-C_{18:1}和LA) 的含量显著高于夏季 ($P<0.05$), 说明牦牛乳的化学成分和脂肪酸组成受季节的影响。

参考文献:

- [1] DING Luming, LONG Ruijun, SHANG Zhanhuan, et al. Feeding behaviour of yaks on spring, transitional, summer and winter pasture in the alpine region of the Qinghai-Tibetan plateau[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2008, 111(3/4): 373-390. DOI:10.1016/j.applanim.2007.06.008.
- [2] 高宇, 汪家琦, 戴智勇, 等. 牦牛乳营养组分及功能特性研究进展[J]. 乳业科学与技术, 2021, 44(3): 43-49. DOI:10.15922/j.cnki.jdst.2021.03.008.
- [3] RHODE D, MADSEN D B, BRANTINGHAM P J, et al. Yaks, yak dung, and prehistoric human habitation of the Tibetan Plateau[J]. Developments in Quaternary Science, 2007, 9: 205-224. DOI:10.1016/S1571-0866(07)09013-6.
- [4] 单斌, 马福全. 浅析果洛州牦牛肉产业状况及发展建议[J]. 青海农林科技, 2018(2): 42-45. DOI:10.3969/j.issn.1004-9967.2018.02.012.
- [5] 欧江涛, 钟金城, 白文林, 等. 中国牦牛的遗传多样性[J]. 中国牛业科学, 2002, 28(4): 42-46. DOI:10.3969/j.issn.1001-9111.2002.04.013.
- [6] XUE B, ZHAO X, ZHANG Y. Seasonal changes in weight and body composition of yak grazing on alpine-meadow grassland in the Qinghai-Tibetan plateau of China[J]. Journal of Animal Science, 2005, 83(8): 1908-1913. DOI:10.1111/j.1439-0396.2005.00529.x.
- [7] 席斌, 甘伯中, 高雅琴, 等. 3 个地区牦牛乳营养成分的比较研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(2): 115-118; 123. DOI:10.3969/j.issn.1003-4315.2011.02.023.
- [8] 马作霖, 甘伯中, 乔海军, 等. 不同胎次及产奶月份甘南黑牦牛乳常规营养成分比较研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(6): 6-10. DOI:10.3969/j.issn.1003-4315.2011.06.002.
- [9] 和占星, 黄梅芬, 赵刚, 等. 不同品种牛乳冰点及其与乳理化指标相关性分析[J]. 食品科学, 2017, 38(17): 94-100. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201717016.
- [10] HE Shenghua, MA Ying, WANG Jiaqi, et al. Milk fat chemical composition of yak breeds in China[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(2): 223-230. DOI:10.1016/j.jfca.2010.07.008.
- [11] 席斌. 不同地区牦牛乳营养成分比较研究[J]. 安徽农业科学, 2011(2): 1045-1046. DOI:10.3969/j.issn.0517-6611.2011.02.156.
- [12] 林忠荔, 张金灵, 蔡自建, 等. 牦牛哺乳期乳脂肪酸变化规律研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015(4): 5-8. DOI:10.13881/j.cnki.hljxmsy.2015.0485.
- [13] 孙万成, 罗毅皓, 刘祥军. 不同泌乳期牦牛乳中奇数与支链脂肪酸的分布[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 198-201. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201506037.

- [14] 胡志耘, 梁琪, 张卫兵, 等. 不同胎次和泌乳天数对牦牛初乳营养品质的影响[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(1): 38-42.
- [15] 杨晨, 罗小凤, 许世昌, 等. 不同预处理牦牛乳在冻藏期间脂肪酸品质变化研究[J]. 高原农业, 2022(3): 276-282. DOI:10.19707/j.cnki.jpa.2022.03.009.
- [16] AOAC (Revised 2001). Official method 996.06: fat (total, saturated, and unsaturated) in foods-hydrolytic extraction gas chromatographic method[S]. http://www.aocofficialmethod.org/index.php?main_page=product_info&products_id=1595.
- [17] DING Luming, WANG Yupeng, KREUZER M, et al. Seasonal variations in the fatty acid profile of milk from yaks grazing on the Qinghai-Tibetan plateau[J]. Journal of Dairy Research, 2013, 80(4): 410-417. DOI:10.1017/S0022029913000496.
- [18] GUO Xian, CHU Min, PEI Jie, et al. Chemical compositions and nutrients profiling of yak milk in Chinese Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Journal of Animal and Veterinary Advances, 2015, 14(10): 315-319. DOI:10.36478/javaa.2015.315.319.
- [19] PENG Y S, BROWN M A, WU J P, et al. Fatty acid profile in milk fat from Qinghai Plateau yak at different altitudes and parities[J]. Professional Animal Scientist, 2008, 24(5): 479-487. DOI:10.15232/S1080-7446(15)30890-1.
- [20] WU Xiaohe, ZHANG Luo, LI Yu, et al. A survey on composition and microbiota of fresh and fermented yak milk at different Tibetan altitudes[J]. Dairy Science and Technology, 2009, 89(2): 201-209. DOI:10.1051/dst/2009007.
- [21] 金素钰, 郑玉才. 全奶牦牛与半奶牦牛乳中氨基酸和脂肪酸组成的比较[J]. 畜禽业, 2018, 29(7): 5-6. DOI:10.19567/j.cnki.1008-0414.2018.07.003.
- [22] 席斌, 高雅琴, 郭天芬, 等. 天祝白牦牛乳与甘南牦牛乳理化性质比较[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(18): 3511-3514. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2017.18.030.
- [23] 常海军, 周文斌, 王强, 等. 季节和放牧地对天祝白牦牛乳中维生素含量影响的研究[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2011, 28(1): 75-79.
- [24] LINDQVIST H, NADEAU E, JENSEN S K. Alpha-tocopherol and β -carotene in legume-grass mixtures as influenced by wilting, ensiling and type of silage additive[J]. Grass and Forage Science, 2012, 67(1): 119-128. DOI:10.1111/j.1365-2494.2011.00827.x.
- [25] MCSWEENEY P, FOX P F. Advanced dairy chemistry: Volume 3: lactose, water, salts and minor constituents[M]. 3rd ed. Springer, 2009: 391-456.
- [26] LIU H N, REN F Z, JIANG L, et al. Short communication: fatty acid profile of yak milk from the Qinghai-Tibetan Plateau in different seasons and for different parities[J]. Journal of Dairy Science, 2011, 94(4): 1724-1731. DOI:10.3168/jds.2010-3749.
- [27] 喻峰, 熊华, 吕培蕾. 牦牛乳脂肪酸结构与功能特性分析[J]. 中国食品学报, 2006(1): 311-315. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2006.01.065.
- [28] 张莉, 张岩, 李键, 等. 牦牛乳与犏牛乳脂肪酸组分比较分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017(5): 187-189. DOI:10.13881/j.cnki.hljxmsy.2017.0913.
- [29] 苟钰姣, 丁路明, 王玉鹏. 牦牛乳及乳制品、犏牛和黑白花奶牛乳的脂肪酸组成分析[J]. 草业科学, 2013, 30(2): 274-280.
- [30] OR-RASHID M M, ODONGO N E, SUBEDI B, et al. Fatty acid composition of yak (*Bos grunniens*) cheese including conjugated linoleic acid and *trans*-18:1 fatty acids[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(5): 1654-1660. DOI:10.1021/jf0725225.