

不同品种牛乳冰点及其与乳理化指标相关性分析

和占星^{1,2}, 黄梅芬¹, 赵刚¹, 王向东³, 成玉梅⁴, 张继才¹, 杨凯¹, 王安奎^{1,*}

(1. 云南省草地动物科学研究院, 云南 昆明 650212; 2. 云南省肉牛工程技术研究中心, 云南 昆明 650212;

3. 香格里拉市畜牧兽医局, 云南 香格里拉 674401; 4. 云南省昆明市DHI检查中心, 云南 昆明 650041)

摘要: 测定中甸牦牛 ($n=38$)、犏牛 ($n=85$)、迪庆黄牛 ($n=18$) 和西门塔尔牛 ($n=20$) 原乳的冰点、体细胞数、尿素氮以及脂肪、蛋白、乳糖含量等理化指标, 并分析冰点与其他理化指标的相关性。结果表明: 中甸牦牛、犏牛和迪庆黄牛乳的冰点分别为 -0.589 、 -0.587 °C 和 -0.582 °C, 极显著低于西门塔尔牛的 -0.555 °C ($P<0.01$); 中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛的乳中体细胞数分别为 52.21×10^4 、 56.06×10^4 、 48.67×10^4 个/mL 和 45.45×10^4 个/mL, 相互间比较差异不显著 ($P>0.05$); 中甸牦牛的乳尿素氮含量为 11.70 mg/100 mL, 显著高于犏牛的 7.63 mg/100 mL ($P<0.05$), 极显著高于西门塔尔牛的 4.81 mg/100 mL ($P<0.01$), 高于迪庆黄牛的 8.51 mg/100 mL, 但差异不显著 ($P>0.05$)。Pearson 相关分析结果表明: 中甸牦牛和迪庆黄牛乳的冰点与其他理化指标间无明显的相关性 ($P>0.05$), 犏牛乳的冰点与乳脂肪含量、乳脂蛋白比和体细胞数呈极显著正相关 ($P<0.01$), 西门塔尔牛乳的冰点与乳糖和乳非脂固形物含量呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与乳总固形物呈显著正相关 ($P<0.05$); 对全部乳样 ($n=161$) 测定数据相关性分析结果, 冰点与乳脂肪、乳蛋白、乳总固形物含量和乳脂蛋白比均呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与体细胞数呈显著正相关 ($P<0.05$)。本研究完成对中甸牦牛、犏牛和迪庆黄牛原乳的冰点、体细胞数、尿素氮的测定, 可为今后制定生鲜乳收购按质论价标准提供参考。

关键词: 牛乳; 冰点; 理化指标; 相关性

Freezing Point of Milk from Yak, Cattle-Yak and Cattle and Its Correlation with Physicochemical Properties

HE Zhanxing^{1,2}, HUANG Meifen¹, ZHAO Gang¹, WANG Xiangdong³, CHENG Yumei⁴, ZHANG Jicai¹, YANG Kai¹, WANG Ankui^{1,*}

(1. Yunnan Academy of Grassland and Animal Science, Kunming 650212, China; 2. Beef Cattle Engineering and Technology Research Center of Yunnan, Kunming 650212, China; 3. Animal Husbandry and Veterinary Bureau of Shangri-La City, Shangri-La 674401, China; 4. DHI Inspection Center in Kunming of Yunnan, Kunming 650041, China)

Abstract: The freezing points (FP) of raw milk from Zhongdian yak (ZY, $n=38$), cattle-yak (CY, $n=85$), Diqing yellow cattle (DYC, $n=18$) and Simmental cattle (SC, $n=20$) were measured and correlated with other physicochemical properties including somatic cell count (SCC), and urea nitrogen (UN), fat, protein and lactose contents. The results showed that the milk freezing points (MFP) of ZY, CY and DYC were -0.589 , -0.587 and -0.582 °C, respectively, which were significantly lower than that of SC (-0.555 °C). The SCC in milk from ZY, CY, DYC and SC were 52.21×10^4 , 56.06×10^4 , 48.67×10^4 and 45.45×10^4 cells/mL, respectively, which were not significantly different from each other ($P>0.05$). Milk urea nitrogen (MUN) of ZY was 11.70 mg/100 mL, which was significantly higher than that of CY (7.63 mg/100 mL, $P<0.05$) and SC (4.81 mg/100 mL, $P<0.01$), and higher than that of DYC (8.51 mg/100 mL, $P>0.05$). No significant correlation was observed between MFP and any other physicochemical index for ZY and DYC ($P>0.05$). MFP was highly positively correlated with milk fat and SCC of CY ($P<0.01$), and milk lactose and non-fat solids of SC ($P<0.01$), and positively correlated with milk total solids of SC ($P<0.05$). The correlation between MFP and other physicochemical indexes of all 161 milk samples tested was analyzed using Pearson correlation. The results showed that significantly positive correlations between MFP and fat, lactose or total solids content ($P<0.01$), and between MFP and SCC ($P<0.05$) were found. The measurement of MFP, SCC and MUN in raw milk from ZY, CY and DYC can provide an important reference for pricing of fresh raw milk based on its quality in the future.

Key words: milk; freezing point; physicochemical indexes; correlation

收稿日期: 2016-07-04

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203008); 国家现代农业(肉牛牦牛)产业技术体系建设专项(CARS-38)

作者简介: 和占星(1963—), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为家畜繁殖与育种。E-mail: hezx81@126.com

*通信作者: 王安奎(1972—), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为动物营养与育种。E-mail: ynwak@126.com

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201717016

中图分类号: S823.9+1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 17-0094-07

引文格式:

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. <http://www.spkx.net.cn>HE Zhanxing, HUANG Meifen, ZHAO Gang, et al. Freezing point of milk from yak, cattle-yak and cattle and its correlation with physicochemical properties[J]. Food Science, 2017, 38(17): 94-100. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201717016. <http://www.spkx.net.cn>

水溶液由液态变成固态冰时的温度称为冰点 (freezing point, FP), 纯水的冰点为0.000 °C。乳的冰点 (milk freezing point, MFP) 比纯水低。由于乳中含有一定浓度的可溶性乳糖和氯化物等盐类, 其浓度能保持平衡, 故MFP相对稳定, 一般在很小的范围内波动。当乳中掺假 (如水或杂质) 时, 其冰点即刻发生变化, 并使乳的理化性质亦随之而变。因此, 冰点作为检测乳中是否掺假和掺假程度的重要指标被广泛用于食用牛乳链的质量监测^[1-2]并作为牛乳按质论价和拒收的重要依据之一^[3-4]。

在我国, 作为产乳用的牛种包括奶牛、奶水牛、犏牛和牦牛。其中, 牦牛和犏牛作为青藏高原地区特有的重要牛种, 是农牧民生产肉、酥油、乳渣等生活必需品的重要原料来源。冰点是重要的生鲜乳质量监测指标之一, 有关荷斯坦牛MFP的研究报道较多^[5-11], 水牛MFP^[12-15]、山羊MFP^[16-18]、绵羊MFP^[19]、骆驼MFP^[20-21]和驴乳MFP^[22]研究也已有报道。牦牛、犏牛乳中脂肪、蛋白质和总固形物含量等高于普通牛种 (荷斯坦乳牛和肉牛), 是优质乳源^[23-25], 但目前鲜见有关牦牛和犏牛MFP方面的研究文献报道。本研究通过采集中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛的原乳样, 测定MFP等理化指标, 旨在研究中甸牦牛、犏牛正常MFP值范围, 分析MFP与其他理化指标间的相关性, 为今后制定牦牛、犏牛生鲜乳收购标准等提供重要参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

中甸牦牛、犏牛和迪庆黄牛乳样采自云南省香格里拉县小中甸镇牧户; 肉用西门塔尔牛乳样采自云南省种畜繁育推广中心西门塔尔牛纯繁场。所采集乳样母牛的基本情况详见表1。

表1 乳样采集母牛的基本情况

Table 1 Basic information about raw milk samples collected in this study

牛种	中甸牦牛	犏牛	迪庆黄牛	西门塔尔牛
采样头数	38	85	18	20
年龄	7.84±2.14	8.52±3.13	9.33±4.27	5.90±2.02
胎次	2.58±1.31	4.08±2.77	5.33±3.68	3.40±1.60
泌乳时间/d	170.53±83.10	197.28±98.30	161.11±156.98	167.90±71.66

S-470清洗剂、S-6060 Zero浓缩液、Fossomatic™试剂D、Fossomatic™缓冲液 FOSS (中国) 有限公司; Broad Spectrum Microtabs® II 防腐剂 美国Advanced Instruments公司。

1.2 仪器与设备

Combi FT+乳成分-体细胞联机检测仪 丹麦Foss公司; 水浴锅 常州澳华仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 母牛的饲养管理

牦牛基本上终年昼夜放牧, 只有极少部分在冬季和初春昼牧夜圈, 夏、秋季几乎不补饲, 冬、春季节母牛补饲少量干草和秸秆; 泌乳犏牛和迪庆黄牛以放牧为主, 并补饲少量干草、秸秆和精料 (青稞面+盐的混合面粉); 肉用西门塔尔牛采用半舍饲, 饲喂酒糟、干草等, 自由饮水。

1.3.2 乳样处理与测定

采样瓶中事先放好防腐剂, 取样后放入冰箱冷藏保存, 放入装有冰块的密封泡沫箱运输, 在24 h内送至实验室。乳样采集时间为春季、秋季和冬季。乳样用Combi FT+乳成分-体细胞联机检测仪测定乳理化指标, 包括乳脂肪含量、乳蛋白含量、乳糖含量、乳总固形物含量、乳非脂固形物含量、MFP、乳体细胞数和乳尿素氮含量。

1.4 数据处理

实验数据经Excel 2007软件进行整理, 采用SPSS 18.0软件作One-way ANOVA方差分析, 均值以Duncan进行多重比较。乳理化指标之间的相关性采用Pearson进行分析。

2 结果与分析

2.1 中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛原乳的脂肪、蛋白含量比较

乳脂肪含量比较见表2。犏牛高于中甸牦牛0.87% ($P>0.05$), 极显著高于迪庆黄牛和西门塔尔牛2.36%和4.15% ($P<0.01$); 中甸牦牛亦高于迪庆黄

牛1.49% ($P>0.05$), 极显著高于西门塔尔牛3.28% ($P<0.01$); 迪庆黄牛显著高于西门塔尔牛1.79% ($P<0.05$)。中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛原乳脂肪含量的变异系数分别为35.21%、31.19%、68.16%和78.48%, 以西门塔尔牛最大, 犏牛最小。各牛种的乳脂肪含量均存在个体间差异较大的问题, 这可能与饲养管理和营养水平等因素有关。

表2 中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛乳的理化指标比较
Table 2 Comparison of physicochemical properties of raw milk among Zhongdian yak, cattle-yak, Diqing yellow cattle and Simmental cattle

项目	中甸牦牛 ($n=38$)	犏牛 ($n=85$)	迪庆黄牛 ($n=18$)	西门塔尔牛 ($n=20$)
乳脂肪含量/%	5.51±1.94 ^{abAB}	6.38±1.99 ^{AB}	4.02±2.74 ^{BC}	2.23±1.75 ^C
乳蛋白含量/%	4.67±0.50 ^{AB}	4.17±0.50 ^{AB}	3.94±0.97 ^{BC}	3.54±0.27 ^C
乳脂蛋白比	1.17±0.35 ^{AB}	1.53±0.45 ^{AB}	1.01±0.55 ^{BC}	0.65±0.51 ^C
乳糖含量/%	5.13±0.35 ^A	4.94±0.24 ^{ab}	5.04±0.33 ^{ab}	4.86±0.40 ^b
乳总固形物含量/%	18.80±2.81 ^A	17.89±3.23 ^A	14.46±4.30 ^B	12.32±2.66 ^B
乳非脂固形物含量/%	11.99±0.47 ^A	10.54±0.88 ^B	10.24±1.21 ^B	10.10±0.48 ^B
MFP/℃	-0.589±0.008 ^A	-0.587±0.022 ^A	-0.582±0.012 ^A	-0.555±0.008 ^B
乳体细胞数/(10^4 个/mL)	52.21±27.08	56.06±45.04	48.67±63.32	45.45±42.99
乳尿素氮含量/(mg/100 mL)	11.70±5.92 ^{AB}	7.63±4.92 ^{BCAB}	8.51±4.34 ^{AB}	4.81±1.10 ^B

注: 同行肩标小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$); 大写字母不同表示差异极显著 ($P<0.01$)。

乳蛋白含量比较见表2。中甸牦牛显著高于犏牛0.50% ($P<0.05$), 极显著高于迪庆黄牛和西门塔尔牛0.73%和1.13% ($P<0.01$); 犏牛极显著高于西门塔尔牛0.63% ($P<0.01$), 高于迪庆黄牛0.23% ($P>0.05$); 迪庆黄牛高于西门塔尔牛0.40% ($P>0.05$)。中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛原乳蛋白含量的变异系数分别为10.71%、11.99%、24.62%和7.63%, 以迪庆黄牛最大, 西门塔尔牛最小。

乳脂蛋白比(即乳脂含量与乳蛋白比值)由大至小依次为犏牛、中甸牦牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛。犏牛显著高于中甸牦牛 ($P<0.05$), 极显著高于迪庆黄牛和西门塔尔牛 ($P<0.01$); 中甸牦牛极显著高于西门塔尔牛 ($P<0.01$), 与迪庆黄牛比较差异不显著 ($P>0.05$); 迪庆黄牛显著高于西门塔尔牛 ($P<0.05$)。中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛原乳乳脂蛋白比的变异系数分别为29.91%、29.41%、54.46%和78.46%, 以西门塔尔牛最大, 犏牛最小。

2.2 中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛原乳的乳糖含量比较

乳糖含量比较见表2。中甸牦牛显著高于西门塔尔牛0.27% ($P<0.05$), 中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛间差异不显著 ($P>0.05$)。中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛原乳中乳糖的变异系数分别为6.82%、4.90%、6.55%和8.23%, 西门塔尔牛最大, 犏牛最小。表明不同牛品种的乳糖含量变幅较小。

2.3 中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛原乳的总固形物和非脂固形物含量比较

乳的总固形物含量比较见表2。中甸牦牛、犏牛的乳总固形物含量极显著高于迪庆黄牛和西门塔尔牛, 其中中甸牦牛分别比迪庆黄牛和西门塔尔牛高4.34%和6.48% ($P<0.01$), 犏牛分别比迪庆黄牛和西门塔尔牛高3.43%和5.57% ($P<0.01$), 中甸牦牛与犏牛比较、迪庆黄牛与西门塔尔牛比较差异不显著 ($P>0.05$)。中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛原乳总固形物含量的变异系数分别为14.95%、18.06%、29.74%和21.59%, 以迪庆黄牛最大, 中甸牦牛最小。

乳非脂固形物含量比较见表2。中甸牦牛的乳非脂固形物分别极显著高于犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛1.45%、1.75%和1.89% ($P<0.01$), 犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛比较差异不显著 ($P>0.05$)。中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛原乳非脂固形物含量的变异系数分别为3.92%、8.35%、11.82%和4.75%, 以迪庆黄牛变异最大, 中甸牦牛最小。

2.4 中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛MFP、体细胞数和尿素氮含量比较

MFP比较见表2。中甸牦牛、犏牛和迪庆黄牛的MFP比较差异不显著 ($P>0.05$), 但比西门塔尔牛分别极显著低0.034、0.032℃和0.027℃ ($P<0.01$)。中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛的MFP的变异系数分别为1.36%、3.75%、2.06%和1.44%, 以犏牛最大, 中甸牦牛最小。

对不同季节犏牛的MFP分析结果表明, 春、秋和冬季犏牛MFP分别为(-0.598 ± 0.023)、(-0.584 ± 0.008)℃和(-0.579 ± 0.014)℃, 以春季的MFP最低, 极显著低于其他两季节 ($P<0.01$), 但秋、冬季比较差异不显著 ($P>0.05$)。

乳中体细胞数(somatic cell count, SCC)比较见表2。SCC以犏牛最高, 其次是中甸牦牛和迪庆黄牛, 西门塔尔牛最低, 但差异不显著 ($P>0.05$)。中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛原乳中SCC的变异系数分别为51.87%、80.34%、130.10%和94.59%, 以迪庆黄牛最大, 中甸牦牛最小, 亦表明各牛种原乳中SCC变幅大。

乳尿素氮(milk urea nitrogen, MUN)含量比较见表2。MUN以中甸牦牛最高, 西门塔尔牛最低, 中甸牦牛分别比犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛高4.07 ($P<0.05$)、3.19 mg/100 mL ($P>0.05$)和6.89 mg/100 mL ($P<0.01$); 迪庆黄牛比西门塔尔牛高3.70 mg/100 mL ($P<0.05$)。中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛的MUN含量的变异系数分别为50.60%、64.48%、51.00%和22.87%, 以犏牛最大, 西门塔尔牛最小。

2.5 MFP与乳理化指标的相关性

表3 MFP与各理化指标Pearson相关性分析

Table 3 Pearson correlation coefficients between milk freezing point and other physicochemical properties

指标	MFP				
	中甸牦牛	犏牛	迪庆黄牛	西门塔尔牛	中甸牦牛+迪庆黄牛+犏牛+西门塔尔牛
乳脂肪含量	0.167	0.351**	-0.077	0.362	0.470**
乳蛋白含量	0.222	0.109	-0.044	-0.037	0.281**
乳脂蛋白比	0.090	0.349**	-0.128	0.341	0.444**
乳糖含量	-0.056	0.108	0.160	0.676**	-0.182*
乳总固形物含量	0.175	0.056	-0.173	0.459*	0.313**
乳非脂固形物含量	0.186	-0.125	-0.196	0.746**	0.090
乳体细胞数	0.056	0.288**	-0.294	-0.155	0.183*
乳尿素氮含量	0.396	-0.145	-0.222	0.364	-0.059

注: **极显著相关 ($P<0.01$); *显著相关 ($P<0.05$)。下同。

如表3所示, 中甸牦牛的MFP与乳糖含量呈不显著负相关, 与其他理化指标呈不显著正相关 ($P>0.05$); 犏牛的MFP与脂肪含量、乳脂蛋白比、SCC呈极显著的正相关 ($P<0.01$), 与乳蛋白、乳糖、乳总固形物含量不显著正相关 ($P>0.05$), 与乳非脂固形物和MUN含量呈不显著负相关 ($P>0.05$); 迪庆黄牛的MFP除与乳糖含量呈不显著正相关外, 与其他理化指标呈不显著负相关 ($P>0.05$); 西门塔尔牛的MFP与乳糖、乳非脂固形物含量呈极显著的正相关 ($P<0.01$), 与乳总固形物含量呈显著的正相关 ($P<0.05$), 与乳脂肪含量、乳脂蛋白比、MUN含量呈不显著正相关 ($P>0.05$), 与乳蛋白含量和SCC呈不显著负相关 ($P>0.05$)。对全部乳样 ($n=161$) 测定数据相关性分析结果表明, MFP与乳脂肪含量、乳蛋白含量、乳脂蛋白比、乳总固形物含量呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与SCC呈显著正相关 ($P<0.05$), 与乳非脂固形物含量呈不显著正相关 ($P>0.05$), 与乳糖含量呈显著负相关 ($P<0.05$), 与MUN含量呈不显著负相关 ($P>0.05$)。

2.6 乳体细胞数与乳理化指标的相关性

表4 乳体细胞数与各理化指标Pearson相关性分析

Table 4 Pearson correlation coefficients between milk SCC and other physicochemical properties

指标	SCC				
	中甸牦牛	犏牛	迪庆黄牛	西门塔尔牛	中甸牦牛+迪庆黄牛+犏牛+西门塔尔牛
乳脂肪含量	0.697**	0.427**	0.576**	0.107	0.406**
乳蛋白含量	0.180	0.210	0.240	0.521*	0.226**
乳脂蛋白比	0.689**	0.376**	0.534**	0.064	0.360**
乳糖含量	-0.404	-0.432**	-0.457	-0.693**	-0.440**
乳总固形物含量	0.635*	0.227**	0.482*	0.070	0.287**
乳非脂固形物含量	-0.169	-0.081	0.138	-0.330	-0.030
乳冰点	0.056	0.288**	-0.294	-0.155	0.183*
乳尿素氮含量	-0.048	-0.305**	-0.172	-0.224	-0.221**

不同品种牛乳中SCC与乳理化指标相关性结果见表4。中甸牦牛乳中SCC与乳脂肪含量、乳脂蛋白比呈极显著

正相关 ($P<0.01$), 与乳总固形物含量呈显著正相关 ($P<0.05$), 与乳蛋白含量、MFP呈不显著正相关 ($P>0.05$), 与乳糖、MUN含量呈不显著负相关 ($P>0.05$); 犏牛乳中SCC与乳脂肪含量、乳脂蛋白比、乳总固形物含量、MFP呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与乳蛋白含量呈不显著正相关 ($P>0.05$), 与乳糖、MUN含量呈极显著负相关 ($P<0.01$), 与乳非脂固形物含量呈不显著负相关 ($P>0.05$); 迪庆黄牛乳SCC与乳脂肪含量、乳脂蛋白比呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与总固形物含量呈显著正相关 ($P<0.05$), 与乳蛋白、乳非脂固形物含量呈不显著正相关 ($P>0.05$), 与乳糖含量、MFP、MUN含量呈不显著负相关 ($P>0.05$); 西门塔尔牛乳SCC与乳蛋白含量呈显著正相关 ($P<0.05$), 与乳脂肪含量、乳脂蛋白比和乳总固形物含量呈不显著正相关 ($P>0.05$), 与乳糖含量呈极显著负相关 ($P<0.01$), 与乳非脂固形物含量、MFP和MUN含量呈不显著负相关 ($P>0.05$); 对全部乳样 ($n=161$) 测定数据相关性分析结果表明, 乳SCC与乳脂肪、乳蛋白含量、乳脂蛋白比和乳总固形物含量呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与MFP呈显著正相关 ($P<0.05$), 与MUN含量和乳糖含量呈极显著负相关 ($P<0.01$), 与乳非脂固形物含量呈不显著负相关 ($P>0.05$)。

2.7 乳尿素氮与乳理化指标的相关性

表5 乳尿素氮与各理化指标Pearson相关性分析

Table 5 Pearson correlation coefficients between milk urea nitrogen and other physicochemical properties

指标	乳尿素氮含量				
	中甸牦牛	犏牛	迪庆黄牛	西门塔尔牛	牦牛+迪庆黄牛+犏牛+西门塔尔牛
乳脂肪含量	-0.321	-0.318**	-0.570*	0.212	-0.138
乳蛋白含量	-0.689**	0.073	-0.234	0.207	0.059
乳脂蛋白比	-0.134	-0.360**	-0.459	0.197	-0.144
乳糖含量	0.613**	0.313**	0.158	0.473*	0.367**
乳总固形物含量	-0.451	-0.173	-0.557*	0.307	-0.044
乳非脂固形物含量	-0.700**	0.233**	-0.197	0.678**	0.228**
乳体细胞数	-0.048	-0.305**	-0.172	-0.224	-0.221**
乳冰点	0.396	-0.145	-0.222	0.364	0.059

不同品种牛乳MUN含量与乳理化指标相关性结果见表5。中甸牦牛的MUN含量与乳糖含量呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与乳蛋白、乳非脂固形物含量呈极显著负相关 ($P<0.01$), 与乳脂肪含量、乳脂蛋白比、乳总固形物含量呈不显著负相关 ($P>0.05$); 犏牛的MUN含量与乳糖、乳非脂固形物含量呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与乳蛋白含量呈不显著正相关 ($P>0.05$), 与乳脂肪含量、乳脂蛋白比呈极显著负相关 ($P<0.01$), 与乳总固形物含量呈不显著负相关 ($P>0.05$); 迪庆黄牛的MUN含量与乳脂肪、乳总固形物含量呈显著负相关 ($P<0.05$), 与乳蛋白含量、乳脂蛋白比、乳非脂固形物含量呈不显著负相关 ($P>0.05$),

与乳糖含量呈不显著正相关 ($P>0.05$)；西门塔尔牛的MUN含量与乳非脂固形物含量极显著正相关 ($P<0.01$)，与乳糖含量呈显著正相关 ($P<0.05$)，与乳脂肪、乳蛋白含量、乳脂蛋白比、乳总固形物含量呈不显著正相关 ($P>0.05$)；对全部乳样 ($n=161$) 测定数据相关性分析结果表明，MUN含量与乳糖、乳非脂固形物含量呈极显著正相关 ($P<0.01$)，与SCC呈极显著负相关 ($P<0.01$)，与乳蛋白含量呈不显著正相关 ($P>0.05$)，与乳脂肪含量、乳脂蛋白比和乳总固形物含量呈不显著负相关 ($P>0.05$)。

3 讨论

牛MFP受“自然”和“技术”两大因素的影响，包括牛种、泌乳阶段、饲料营养、挤乳时间和次数、母牛健康状况^[5]、季节和气候^[6]、挤乳方式和牛乳贮存方法^[26]、挤乳设备和牛乳贮运、处理方法^[27-28]等。研究表明，不同哺乳动物原MFP存在一定的差异（表6），中甸牦牛、迪庆黄牛和犏牛MFP极显著低于西门塔尔牛，也低于前人研究的骆驼乳^[20-21]、驴乳^[22]、奶牛乳^[7-8,11,18,29]、绵羊和山羊乳^[2,12]、尼里-拉菲水牛、摩拉水牛及杂交水牛乳^[13-14]，但高于不丹水牛乳^[15]；西门塔尔牛的冰点与荷斯坦奶牛乳的比较接近^[18,29]。有研究还表明，同一牛种MFP也存在较明显的差异。一代杂交水牛（摩拉或尼里-拉菲×本地水牛）和三品种（摩拉×尼里-拉菲×本地水牛）杂交水牛MFP分别为 -0.537°C 和 -0.536°C ，均极显著低于纯种尼里-拉菲水牛和摩拉水牛乳的 -0.531°C ^[13]，表明杂种水牛MFP较纯种水牛乳低。普通牛种迪庆黄牛（*Bos taurus*）MFP极显著低于西门塔尔牛，同样也低于荷斯坦奶牛^[7-8,11,18,29]。犏牛为黄牛（*Bos taurus*）与牦牛（*Bos grunniens*）种间杂种，其MFP介于牦牛和迪庆黄牛间，且三者非常接近，与李玲等^[13]对水牛（*Bubalus bubalis*）乳的研究结果不完全一致。因此，根据不同的地域和牛种制定相应的乳质量标准可能更为合理。

表6 不同哺乳动物MFP比较

Table 6 Comparison of milk freezing point among different mammals

物种	冰点/ $^{\circ}\text{C}$	文献来源
骆驼	-0.490	[20]
新疆双峰驼	-0.576	[21]
驴	-0.520	[22]
尼里-拉菲水牛	-0.531	[13]
摩拉水牛	-0.531	[13]
三品种杂交水牛	-0.536	[13]
一代杂交水牛	-0.537	[13]
不丹水牛	-0.620	[15]
荷斯坦奶牛	$-0.546\sim-0.515$	[7-8,11,18,29]
绵羊	-0.559	[2]
山羊	-0.540	[12]
中甸牦牛	-0.589	本研究
犏牛	-0.587	本研究
迪庆黄牛	-0.581	本研究
西门塔尔牛	-0.555	本研究

测定MFP可估计牛乳中掺杂、掺水程度^[2]。有研究表明，掺水使MFP明显上升，加乳粉使MFP下降。全脂乳、全脂乳加水5%和全脂乳加水10%的冰点分别为 -0.515°C 、 -0.487°C 和 -0.463°C ^[11]，全脂乳的冰点比全脂乳加水5%和10%的冰点分别升高 0.028°C 和 0.052°C ；原乳加水4%和8%的冰点比原乳分别升高 0.026°C 和 0.044°C ，原乳加2%和5%的乳粉比原MFP分别降低 0.111°C 和 0.281°C ^[8]。牛、山羊和绵羊的乳样中添加防腐剂会显著或极显著影响MFP；乳样冷冻也会显著或极显著地影响牛和山羊的MFP，但绵羊乳样冷冻48 h对其MFP无显著影响^[19]；山羊乳经加温处理也可使其MFP升高 0.0025°C ^[16]。牛正常的MFP受地域和季节相互作用显著^[11]，奶牛MFP以冬季最高（ -0.521°C ），秋季最低（ -0.525°C ）^[29]。本研究中犏牛的MFP受季节影响明显，以冬季（ -0.579°C ）最高，春季最低（ -0.598°C ），冬季的MFP结果与Hanuš等^[29]的报道基本一致；其他牛种的MFP因乳样本数少，未进行季节间比较。

MFP作为重要牛乳质量指标，各国规定了各自的牛乳拒收标准：瑞典高于 -0.499°C 、英国高于 -0.511°C 、法国高于 -0.520°C 、日本高于 -0.512°C 、美国高于 -0.525°C 、荷兰高于 -0.510°C 、加拿大高于 -0.507°C ^[3]。我国GB 19301—2010《食品安全国家标准 生乳》中生乳的合格冰点范围为 $-0.560\sim-0.500^{\circ}\text{C}$ ，上海市生鲜牛乳收购按质论价办法规定：奶牛MFP以 $-0.546\sim-0.508^{\circ}\text{C}$ 为标准，高于 -0.508°C ，但低于或等于 -0.504°C ，减价0.02元；高于 -0.504°C ，但低于或等于 -0.500°C ，减价0.04元；高于 -0.500°C ，或低于 -0.546°C ，进行整改、复查等处理^[4]。中甸牦牛、犏牛和迪庆黄牛的MFP都低于国家标准，可能与牛种、气候环境、饲料种类等差异有关。提示根据不同牛种制定相应的MFP标准也是非常必要的，同时也需要排除可能影响检测结果的各种因素。

研究表明，不同品种牛的MFP与其他理化指标相关性和相关程度存在较明显的差异。荷斯坦牛和捷克弗莱维赫牛（Fleckvieh）的MFP与产乳量呈显著的正相关，与乳的总固形物、乳非脂固形物、蛋白、脂肪、乳糖含量、乳脂蛋白比、SCC呈显著负相关^[1]；水牛的MFP与乳的蛋白质、脂肪、总固形物含量、乳糖+灰分总量存在极显著负相关性，与水分含量呈极显著正相关^[13]；奶牛的MFP与乳糖呈极显著正相关，且MFP 12%是由乳糖含量变化引起的，5.4%是由酪蛋白含量的变化所致^[29]；绵羊的MFP与乳脂、乳蛋白、乳糖、乳非脂固形物和总固物含量呈极显著负相关^[12]；山羊MFP与乳非脂固形物含量呈极显著正相关^[16]。本研究结果，中甸牦牛和迪庆黄牛的MFP与乳其他理化指标间无明显的相关性；犏牛的

MFP与乳脂肪含量、SCC呈极显著正相关；西门塔尔牛的MFP与乳糖、乳非脂固形物含量呈极显著正相关，与乳总固形物含量呈显著正相关。中甸牦牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛MFP与SCC无明显的相关性，这与水牛、绵羊、驴的MFP与SCC无显著相关的报道一致^[12-13,22]，对全部乳样（ $n=161$ ）测定数据相关分析的结果表明，MFP与乳脂肪、乳蛋白、乳总固形物含量呈极显著正相关，与SCC呈显著正相关。提示MFP与其他理化指标的相关程度与牛种和所采集分析的乳样本数等有关。

SCC是衡量牛乳房健康状况和牛乳卫生状况的重要指标之一^[30-32]。国际上普遍将乳中SCC作为原料乳重要的质量指标及计价和拒收的依据之一^[33]，但各国规定的生鲜牛乳中SCC的标准差别较大，美国、加拿大和新西兰规定不得超过 75×10^4 个/mL，澳大利亚、欧共体分别规定不得超过 50×10^4 个/mL和 40×10^4 个/mL，荷兰和瑞士分别规定不得超过 20×10^4 个/mL和 10×10^4 个/mL^[34-35]，我国规定不得超过 50×10^4 个/mL^[36]。本研究所分析的中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛乳的平均SCC达到美国等国规定范围，迪庆黄牛和西门塔尔牛乳中SCC达到国内规定范围。众多研究表明，影响牛乳SCC的因素多而复杂，包括牛的年龄、品种、胎次、泌乳阶段、挤乳次数、季节和环境、乳房炎及致病菌种类等^[37-41]。尽管中甸牦牛、犏牛、迪庆黄牛和西门塔尔牛原乳中SCC相互比较无显著差异，但均存在变异系数大的问题，以迪庆黄牛乳和西门塔尔牛乳个体差异更为突出。因此，为获得更加准确的牦牛和犏牛乳中SCC正常值范围，有必要扩大样本数进行测定，并分析影响因素。

MUN是评定奶牛日粮蛋白质利用率和蛋白水平变化的一个重要指标^[42]，可反映奶牛蛋白与能量水平是否一致^[43]。MUN由营养和非营养两个因素决定，特别是受蛋白质摄入量与质量的影响作用最大^[44]。牛的平均值 $10 \sim 16$ mg/100 mL，荷斯坦牛的平均值 15.5 mg/100 mL^[45]，云南乳水牛的平均值 17.66 mg/100 mL^[46]。本研究中只有中甸牦牛的平均值 11.70 mg/100 mL达到相应的范围值，西门塔尔牛最低（ 4.81 mg/100 mL），犏牛和迪庆黄牛居中，这可能与精料饲喂量和质量以及产乳量等有关。

所有乳样各理化指标的平均变异系数由小到大依次为：MFP（2.15%）、乳糖含量（6.63%）、乳非脂固形物含量（7.21%）、乳蛋白含量（13.74%）、乳总固形物含量（21.09%）、MUN含量（39.74%）、乳脂肪含量（53.27%）和SCC（89.23%），前三者的变异系数较小，表明这些指标较为稳定，但后五者的变异系数大，这与样本采自不同牧户（养殖场）、母牛的泌乳期、饲养管理水平等差异有关，也表明这些指标更容易受各种因素的影响。

4 结 论

牦牛和犏牛作为肉乳兼用牛种，在青藏高原地区有着其特殊的地位和作用。牦牛乳和犏牛乳相对于普通牛乳（如奶牛）的营养价值更高，具有开发高原特色乳产品精品的潜力。MFP及其与乳理化指标的相关性及相关程度在各牛种间不尽一致，高原牛种（中甸牦牛、犏牛和迪庆黄牛）的MFP极显著低于西门塔尔牛，这可能与高原牛种为适应高原严寒气候环境而形成的机制有关，其机理机制值得研究。用所有牛乳的测定数据分析结果表明，MFP的变异系数小，且与乳的主要成分的相关性极强，与SCC的相关性也强，说明MFP亦能有效反映乳的品质。目前鲜见有关牦牛、犏牛乳理化指标的参考标准，本研究在传统放牧、手工挤乳饲养管理条件下采集中甸牦牛、犏牛和迪庆黄牛乳样分析，获得了MFP等理化指标及其相互间的相关性，为今后制定相关鲜乳收购按质论价的标准提供了参考。

参考文献：

- [1] HANUŠ O, FRELICH J, TOMÁŠKA M, et al. The analysis of relationships between chemical composition, physical, technological and health indicators and freezing point in raw cow milk effects on milk freezing point[J]. Czech Journal of Animal Science, 2010, 55(1): 11-29.
- [2] HANUŠ O, TOMÁŠKA M, HOFŘICOVA M, et al. Relationship between freezing point and raw ewes' milk components as a possible tool for estimation of milk adulteration with added water[J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2015, 54(4): 281-288.
- [3] 王海, 沈秋光, 邹明晖, 等. 各国乳品的生乳标准分析对比[J]. 乳业科学与技术, 2011, 34(6): 293-295. DOI:10.3969/j.issn.1671-5187.2011.06.012.
- [4] 中国农业网. 上海市生鲜牛奶收购按质论价办法[EB/OL]. [2006-04-29]. http://www.dairy-business.com/proclaim/proclaim1_060429_2.htm.
- [5] SOTGIU M R, PIRODDI A M, CERRONE A, et al. Indagine sull'indice crioscopico del latte prodotto nello stabilimento di arborea[J]. Il Latte, 1996(5): 86-90.
- [6] CASALI D, CONTARINI G, FRANCANI R, et al. Indagine sul punto crioscopico del latte prodotto in Lombardia nell'anno[J]. Il Latte, 1988(13): 584-592.
- [7] MERCEDES N, BELÉN R, WAJH A S. Freezing point of milk: a natural way to understand colligative properties[J]. Journal of Chemical Education, 2007, 84(10): 1673-1675. DOI:10.1021/ed084p1673.
- [8] PRAVEE V. Comparative evaluation of total solids, freezing point and specific gravity of raw milk using an ultrasonic milk analyzer versus standard methods[J]. Withthayan Kasetsart, 2008, 42(4): 732-738.
- [9] HENNO M, OTS M, JÖUDU I, et al. Factors affecting the freezing point stability of milk from individual cows[J]. International Dairy Journal, 2008, 18(2): 210-215. DOI:10.1016/j.idairyj.2007.08.006.
- [10] HANUŠ O, ZHANG Y, BJELKA M, et al. Chosen biotic factors influencing raw cow milk freezing point[J]. Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 2011, 59(5): 65-82. DOI:10.11118/actaun201159050065.

- [11] MONIKA K M, ZYGMUNT L, MARIUSZ F, et al. The effects of breed and other factors on the composition and freezing point of cow's milk in Poland[J]. International Journal of Dairy Technology, 2011, 64(3): 336-342. DOI:10.1111/j.1471-0307.2011.00682.x.
- [12] ROSENMAN J, GARRY E, NORWOOD M A. Base freezing point values of untainted goat, sheep, and water buffalo milk[C]// Association of Official Analytical Chemists(AOAC) Annual Meetin. Florida: AOAC, 2010: 1-7.
- [13] 李玲, 唐艳, 农皓如, 等. 水牛乳冰点与理化性质相关性的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(16): 170-173. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.16.076.
- [14] 诸葛莹, 李玲, 唐艳, 等. 水牛乳体细胞数与理化性质关系的研究[J]. 中国乳品工业, 2012, 40(4): 4-7. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2012.04.001.
- [15] WANGDI J, BHUJEL P, TIMSINA M P, et al. Performance of buffalo (*Bubalus bubalis*) under bhutanese conditions[J]. Global Journal of Dairy Farming and Milk production, 2014, 2(2): 67-73.
- [16] JANŠTOVÁ B, DRAČKOVÁ M, NAVRÁTILOVÁ P, et al. Freezing point of raw and heat-treated goat milk[J]. Czech Journal of Animal Science, 2007, 52(11): 394-398.
- [17] SANCHEZ A, SIERRA D, LUENGO C, et al. Evaluation of the milkoScan FT 6000 milk analyzer for determining the freezing point of goat's milk under different analytical conditions[J]. Journal of Dairy Science, 2007, 90(7): 3153-3161. DOI:10.3168/jds.2007-0038.
- [18] GENČUROVÁ V, HANUŠ O, VYLETĚLOVÁ M, et al. The relationships between goat and cow milk freezing point, milk composition and properties[J]. Analytical Biochemistry, 2008, 39(4): 324-328.
- [19] RADELJEVIC B, MIKULEC N, ZAMBERLIN S, et al. The influence of sample preservation and freezing of cow's, goat's and ewe's milk on the freezing point value[J]. Milchwissenschaft-Milk Science International, 2012, 67(2): 169-172.
- [20] AMIR M O. Milk composition, body conformation & management practices of camel (*Camelus dromedariu*) in Butana area[D]. Khartoum: Sudan University of Science & Technology, 2014: 1-74.
- [21] 徐敏, 陆东林, 罗晓红, 等. 新疆双峰驼乳成分及特性分析[J]. 中国奶牛, 2014(15): 49-52. DOI:10.3969/j.issn.1004-4264.2014.15.013.
- [22] CONTE F. Quality of donkey milk: correlations between electric conductivity, freezing point and composition parameters[J]. International Food Research Journal, 2013, 20(2): 711-714.
- [23] 于莉, 罗章, 孟云, 等. 西藏地区牦牛乳理化和微生物指标的检测分析[J]. 中国乳品工业, 2006, 34(9): 8-11. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2006.09.002.
- [24] 彤豪峰, 谈重芳, 李宗伟, 等. 青海湖地区几种乳制品营养成分的初步研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(8): 3234-3235. DOI:10.3969/j.issn.0517-6611.2008.08.087.
- [25] 和占星, 王向东, 黄梅芬, 等. 中甸牦牛、迪庆黄牛和犏牛的乳的主要营养成分比较[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(12): 1294-1301. DOI:10.3969/j.issn.1673-1689.2015.12.010.
- [26] CONTE F. Osservazioni sul punto crioscopico del latte d'asina[J]. Il Latte, 2005(12): 42-45.
- [27] SLAGHUIS B A. The freezing point of authentic and original farm bulk tank milk in the Netherlands[J]. International Dairy Journal, 2001, 11(3): 121-126. DOI:10.1016/S0958-6946(01)00043-7.
- [28] DILLIER-ZULAUF A. Crioscopia del latte Situazione delle conoscenze[J]. Scienza e Tecnica lattiero Casearia, 1985, 36: 473-507.
- [29] HANUŠ O, VYLETĚLOVÁ M, TOMÁŠKA M, et al. The effects of sample fat value manipulation on raw cow milk composition and indicators[J]. Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 2011, 59(1): 101-112. DOI:10.11118/actaun201159010101.
- [30] 丘通强, 林少宝, 吴焕贞. 鲜牛乳中体细胞数检测方法探讨[J]. 现代食品科技, 2005, 21(2): 158-160. DOI:10.3969/j.issn.1673-9078.2005.02.058.
- [31] 王德萍, 孙峰, 叶东东, 等. 影响牛乳中体细胞数的因素分析[J]. 中国奶牛, 2010(4): 29-30. DOI:10.3969/j.issn.1004-4264.2010.04.013.
- [32] 于洪远, 黄继卓, 沈新丽, 等. 奶牛乳体细胞数变化及影响因素调查[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2014, 26(1): 46-49.
- [33] SHARMA N, SINGH N K, BHADWAL M S. Relationship of somatic cell count and mastitis: an overview[J]. Asian Australasian Journal of Animal Sciences, 2011, 24(3): 429-438. DOI:10.5713/ajas.211.10233.
- [34] 周振峰, 王加启, 陈绍祐, 等. 我国规模牛场奶牛个体生乳体细胞数水平及影响因素探析[J]. 中国奶牛, 2011(12): 21-28. DOI:10.3969/j.issn.1004-4264.2011.12.006.
- [35] 唐永明, 王锡波. 浅谈牛奶体细胞数在奶牛饲养管理中的应用[J]. 草食家畜, 2006(1): 47-48. DOI:10.3969/j.issn.1003-6377.2006.01.017.
- [36] 杨红英, 高健, 刘修权, 等. 奶牛乳汁体细胞数的快速检测及其临床意义[J]. 中国兽医杂志, 2010, 46(8): 14-17. DOI:10.3969/j.issn.0529-6005.2010.08.005.
- [37] POUTREL B, RAINARD P. California mastitis test guide of selective dry cow therapy[J]. Journal of Dairy Science, 1981, 64(2): 241-248. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(81)82560-X.
- [38] 李波, 孔保华, 郑冬梅, 等. 体细胞数对乳的影响及其控制措施[J]. 中国乳品工业, 2005, 33(1): 57-59. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2005.01.016.
- [39] 马裴裴, 俞英, 张沅, 等. 中国荷斯坦牛SCC变化规律及其与产奶性状之间的关系[J]. 畜牧兽医学报, 2010, 41(12): 1529-1535.
- [40] 牛华锋, 薛增迪. 体细胞数指标在奶牛生产中的应用[J]. 畜牧兽医学报, 2011, 30(2): 60-62. DOI:10.3969/j.issn.1004-6704.2011.02.024.
- [41] 徐敏, 平富强, 陈仕毅, 等. *CXCR2*基因多态性与奶牛乳房炎和乳品质的关联[J]. 遗传, 2008, 30(4): 463-468. DOI:10.3724/SP.J.1005.2008.00463.
- [42] 翟少伟. 日粮蛋白质水平对奶牛乳尿素氮浓度及氮利用率的影响[J]. 乳业科学与技术, 2008, 31(6): 265; 266-268. DOI:10.3969/j.issn.1671-5187.2008.06.004.
- [43] 马广英, 高树, 徐清华, 等. 尿素氮检测在规模化奶牛场中的应用[J]. 中国奶牛, 2013(11): 7-11. DOI:10.3969/j.issn.1004-4264.2013.11.003.
- [44] ARUNVIPAS P, DOHOO I R, VANLEUWEN J A, et al. The effect of non-nutritional factors on milk urea nitrogen levels in dairy cows in Prince Edward Island, Canada[J]. Preventive Veterinary Medicine, 2003, 59(1/2): 83-93. DOI:10.1016/S0167-5877(03)00061-8.
- [45] JOHNSON R G, YOUNG A J. The association between milk urea nitrogen and DHI production variables in western commercial dairy herds[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(9): 3008-3015. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(03)73899-5.
- [46] 白文顺, 朱尤帅, 杨仕标, 等. 云南省水牛奶体细胞数及其与DHI其他指标的相关性分析[J]. 中国奶牛, 2013(4): 24-25. DOI:10.3969/j.issn.1004-4264.2013.04.006.