

解冻方式对牦牛乳品质的影响

秦楠

(许昌职业技术学院人文学院, 许昌 461000)

摘要: 牦牛乳营养丰富, 由于泌乳期较短人们常用冻藏的方式贮存, 但是不同解冻方式对牦牛乳的品质有一定的影响。本研究观察不同解冻方式 (4℃冷藏解冻、室温静水解冻、40℃水浴解冻、微波解冻) 下-20℃和-40℃冻藏乳的品质差异。结果显示, 静水解冻的冻结乳 pH 较低, 菌落总数最多, 在微生物的作用下营养成分含量也最低; 冷藏解冻的冻结乳脂肪聚集程度最明显, 稳定性最差; 由于微波温度较高, 使得微波解冻下牦牛乳的脂肪氧化度和蛋白水解度较高, 营养成分含量偏低。相比较而言, 40℃水浴解冻后乳的稳定性较高, 解冻时间快, 营养成分损失较少。此外, -40℃冻藏乳的蛋白和脂肪含量显著大于-20℃冻藏乳, 提示冻结速率越快解冻时对乳品质的影响越小。

关键词: 牦牛乳; 冷藏解冻; 静水解冻; 水浴解冻; 微波解冻; 品质

中图分类号: TS252.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-2513 (2023) 01-0180-07

doi: 10.19804/j.issn1006-2513.2023.01.021

Effect of thawing method on the quality of yak milk

QIN Nan

(Humanities College, Xuchang Vocational Technology College, Xuchang 461000)

Abstract: Yak milk is rich in nutrients and often has to be stored by freezing due to its short lactation period, but different thawing methods have certain effects on the quality of yak milk. The quality of frozen milk at -20 and -40℃ was investigated under different thawing methods (4℃ refrigerated thawing, room temperature hydrostatic thawing, 40℃ water bath thawing and microwave thawing). The results showed that the frozen milk thawed in still water had lower pH values and the highest number of colonies, and nutrient content was the lowest due to microbe influence. The frozen milk thawed in refrigeration had the most significant fat aggregation and the least stability. The frozen milk thawed by microwave, due to the higher microwave temperature, both fat oxidation and protein hydrolysis of yak milk were higher, the nutrient content was lower. In comparison, the frozen milk thawed in water bath had higher stability and less loss of nutrients, the frozen milk was more stable and its thawing was faster. In addition, protein and fat content of frozen milk thawed in water bath at -40℃ was significantly higher than that of frozen milk at -20℃, it hinted that the faster the freezing rate, the lower the impact on milk quality during thawing.

Key words: yak milk; cold thawing; hydrostatic thawing; water bath thawing; microwave thawing; quality

收稿日期: 2022-08-16

基金项目: 许昌市科技局2022年度许昌市软科学研究 (20220314063)。

作者简介: 秦楠 (1983-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 烹饪工艺与营养。

牦牛是一种牛亚科哺乳动物,生活在青藏高原地区^[1-2]。牦牛乳含有丰富的营养成分,可以为人体提供充足的营养物质^[3-7],满足雪域高原农牧民对各种营养物质的需求。牦牛日泌乳量为3.3 kg^[8],只有普通奶牛的14%。牦牛产奶季节性强,主要集中在温度较高的暖季^[9]。因此,由于牦牛分布以及产乳等特点导致牦牛乳面临较长时间的贮藏。

冷冻贮藏是克服牦牛乳生产的季节性、产量低、泌乳期短等问题的重要手段,当牦牛乳需要深加工时,解冻方式也尤为重要。解冻是食品中冰晶状态的水分转换为液态,使产品恢复到结晶前状态的过程,也是影响冻藏产品品质的一个重要因素。目前乳中常用的解冻方式有冷藏解冻、水浴解冻、微波解冻、室温空气解冻,不同的解冻方式对冻乳品质的影响也不同。

目前较多的研究集中在母乳的解冻上, Kim M H 等人^[10]分别探究母乳在室温解冻、微波解冻和瓶装保温器解冻中的变化,结果发现与鲜奶相比无水解冻组中营养素含量均显著降低,常温解冻中脂肪含量显著降低,微波解冻条件下脂肪无显著性变化,其蛋白质和碳水化合物含量增加,可能是由于微波解冻造成乳中结构变化引起的。Zhang 等人^[11]进一步探究了冷藏解冻、室温解冻、45℃水浴解冻对在-18℃、-60℃条件下冻藏30 d母乳中脂肪、蛋白质性能的影响,发现三种解冻方式下乳脂肪、蛋白质和活性成分无显著变化,同时水浴解冻过程中降低了蛋白质和脂肪球的聚集,相比于-18℃冻藏,在-60℃条件乳解冻后能够最大限度保持脂肪和蛋白质的特性。Miranda 等人^[12]分析了不同解冻温度下母乳中的乙醛含量,来探究解冻温度对乳中脂肪氧化的影响,研究发现相比于30℃、50℃下解冻,4℃解冻时乳中乙醛含量最低,即脂肪氧化程度最小。

此外,有研究学者探究了关于羊乳和牛乳的解冻方式对其品质的影响。Balthazar 等^[13]探究了在40、50、60、70℃下以及微波解冻对牛初乳中免疫球蛋白浓度的影响,发现在40℃解冻时,免疫球蛋白含量最高,微波解冻其次,超过60℃虽然乳在较短时间内完成解冻,但会产生凝

固现象。Chen 等人^[14]探究了空气解冻、流水解冻、微波解冻和超声波解冻对巴氏杀菌奶和浓缩乳的影响,结果表明用前三种方式解冻后两种乳的脂肪颗粒大小有所增加,热稳定性降低,蛋白质的二级结构被破坏,而超声波解冻则改善了这种情况。

本研究通过分析不同解冻方式对解冻效率、乳的新鲜度(pH、菌落总数)、乳液稳定性(稳定性、脂肪粒粒径以及显微结构)、营养成分的影响,探究解冻方式对乳品质的影响。本研究可为延长牦牛乳的货架期以及产品的加工提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

牦牛原料乳,新疆巴音布鲁克草原,将现挤的新鲜原料乳置于无菌袋中封装,4℃条件下冷藏,并于6 h内转进实验室中。

十二烷基苯磺酸钠(SDS):Sigma公司;四硼酸钠:天津市福晨化学试剂厂; β -巯基乙醇:Sigma公司;乙二醇四乙酸二钠:天津市天力化学试剂有限公司;三氯乙酸:上海阿拉丁生化科技股份有限公司;对羟基联苯:上海迈瑞尔化学技术有限公司;无水乳酸锂:上海源叶生物科技有限公司;硫酸:大连宝生物工程有限公司;MRS培养基:美国R&D公司。试剂均为分析纯,纯度均 $\geq 95\%$ 。

1.2 实验设备

TGL-16B 高速台式离心机:北京时代北利离心机有限公司;721-100 紫外分光光度计:瑞士梅特勒-托利多有限公司;YXQ-LS-70A 立式压力蒸汽灭菌器:上海博迅实业有限公司;UV-2401PC 紫外分光光度计:岛津(中国)有限公司;乳成分分析仪:哈尔滨市索飞永诚科技有限公司;SA402B 电子舌:日本 INSENT 公司;AlphaClean1300 超净工作台:HealForce 公司;高压均质机:上海智城分析仪器制造有限公司;TA discovery 旋转流变仪:深圳市广润自动化设备有限公司;立式超低温保存箱:青岛海尔特种电器有限公司;BCD-251WBSV 型可调温度电冰箱:青岛海尔股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 不同解冻方式及解冻效率的测定

将在-20℃和-40℃冰箱冻藏30 d的牦牛乳取出后放入杯中,进行四种不同解冻方式处理,即4℃冷藏解冻、室温静水解冻、40℃水浴解冻、微波解冻不同方式进行解冻,待牦牛奶完全融化为液体,记录其解冻时间,以解冻结束的时间表征解冻效率。

1.3.2 乳新鲜度的测定

1.3.2.1 pH及酸度 牦牛原料乳的pH及滴定酸度的测定参考国标GB 5009.237—2016^[15]《食品安全国家标准食品pH的测定》。

1.3.2.2 微生物 分别利用平板计数法对牦牛原料乳中菌落总数^[16]和嗜冷菌进行测定。培养基组成:胰蛋白胨5.0 g、酵母浸膏2.5 g、葡萄糖1 g、琼脂15 g、蒸馏水1000 mL。

1.3.3 乳液稳定性的测定

1.3.3.1 稳定性系数 稳定性系数参照田浩等^[17]的方法略做修改。取0.5 mL解冻后的牦牛乳稀释100倍,在546 nm处测定吸光度值 A_1 。取相同样品4000 r/min离心15 min后,取中间清液0.5 mL稀释100倍,测定其吸光度值 A_2 。稳定性系数的计算方法如下:

$$R = \frac{A_2}{A_1}$$

1.3.3.2 脂肪粒径 取1 mL牦牛原料乳加入等体积的EDTA/NaOH缓冲液(0.35 mmol/L, pH=7.0)和1% SDS以裂解酪蛋白胶束。使用HYL-1076型激光粒度分布仪测定粒径分布,设置折射率为1.46^[18]。

1.3.3.3 显微结构 脂肪球显微结构测定参考迟雪露等^[19]的方法略作修改。取0.1 mL牦牛原料乳与10 μL尼罗红染料混合,将染色后的乳液滴到载玻片上,4℃下静置24 h后采用倒置荧光显微镜观察并选取脂肪球分布均匀的位置进行拍照。

1.3.4 营养成分的测定

1.3.4.1 脂肪氧化度 脂肪氧化度的测定参考文献^[20]。取1 mL牦牛原料乳、3 mL 0.02 mol/L的硫代巴比妥酸溶液以及17 mL三氯乙酸-乙二胺四乙酸(TCA-EDTA)溶液置于50 mL离心管中混匀,沸水浴30 min后室温冷却。取4 mL上

清液与等体积氯仿混匀,3000 r/min离心15 min,取上清液分别在532 nm、600 nm波长下测定其吸光值,用蒸馏水作对照。TBRAS值以每Kg脂质氧化样品溶液丙二醛毫克数表示,其公式为:

$$\text{TBRAS} = (A_{532} - A_{600}) \times 9.48$$

1.3.4.2 蛋白水解度 参考韩雪兰^[21]的方法略作修改。取400 μL经不同冻结方式处理的牦牛原料乳与3 mL邻苯二甲醛混匀,以蒸馏水为对照,避光反应2 min,在340 nm波长下测其吸光度,以丝氨酸为标准蛋白,制作蛋白标准曲线。根据所测吸光度在标准曲线上算出 $C_{\text{Serine-NH}_2}$ (mmol/L),按下列公式计算水解度:

$$W_{\text{Serine-NH}_2} = C_{\text{Serine-NH}_2} \times \frac{VN}{XP\%}$$

$$h = \frac{W_{\text{Serine-NH}_2} - \beta}{\alpha}$$

$$\text{DH}\% = \frac{h}{h_{\text{tot}}}$$

式中: $W_{\text{Serine-NH}_2}$:每克蛋白质中含Serine-NH₂的量,mmol/g; X :样品质量,g; P :样品中蛋白质质量分数,%; V :样品水解液稀释倍数; h :水解过程中,每克蛋白质被断裂的肽键数; h_{tot} :每克蛋白中所含总肽键数;乳中的 α 和 β 分别为1.039、0.383。

1.3.4.3 营养成分含量的测定 使用乳成分分析仪测定乳中脂肪、蛋白质、乳糖、非脂乳固体的变化。

1.4 数据处理

每组试验均平行三次,试验数据通过Excel 2021、SPSS statistics 22.0分析,采用Origin 9.1软件进行作图。

2 结果与讨论

2.1 解冻效率的比较

如表1所示,冷藏解冻、室温静水解冻、40℃水浴解冻、微波解冻四种不同方式解冻牦牛冻藏乳的时间分别为1083、31、9和1.6 min,差异显著($P < 0.05$)。其中冷藏解冻所需时间最长(约18 h),微波解冻所需时间最短。

表 1 不同解冻方式下牦牛奶解冻时间的变化
Table 1 Thawing time of yak milk under different methods

解冻方式	冷藏解冻	室温静水 解冻	40℃水浴 解冻	微波解冻
解冻时间 / min	1083±2.49 ^a	31±1.62 ^b	9±0.47 ^c	1.6±0.14 ^d

注：不同小写字母代表数据差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 不同解冻方式对牦牛乳新鲜度的影响

如图 1A 所示，新鲜牦牛乳的 pH 为 6.58 ± 0.02 ，在同种解冻方式下， -20°C 冻藏组的 pH 均低于 -40°C 组，且静水解冻组中两者差异显著 ($P < 0.05$)。 -40°C 冻藏乳经四种解冻方式处理后，静水解冻组 pH 显著低于鲜奶乳 ($P <$

0.05)，而其他三组 pH 与鲜奶之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

如图 1B 所示，与鲜奶相比经冻融处理后的菌落总数均显著下降 ($P > 0.05$)。在同种解冻方式下， -20°C 冻藏乳中的菌落总数高于 -40°C 冻藏乳，两者具有显著性差异 ($P > 0.05$)，可能是由于冻藏温度越低，微生物及酶的活性被抑制。 -40°C 冻藏乳经四种解冻方式处理后，静水解冻组的菌落总数最多，其次为水浴解冻和冷藏解冻，微波解冻的菌落总数最少，可能是由于微波温度高，穿透力强，能够杀死部分微生物，这与万海伦^[22] 在研究不同解冻方式对生鱼片中微生物的影响结果一致。

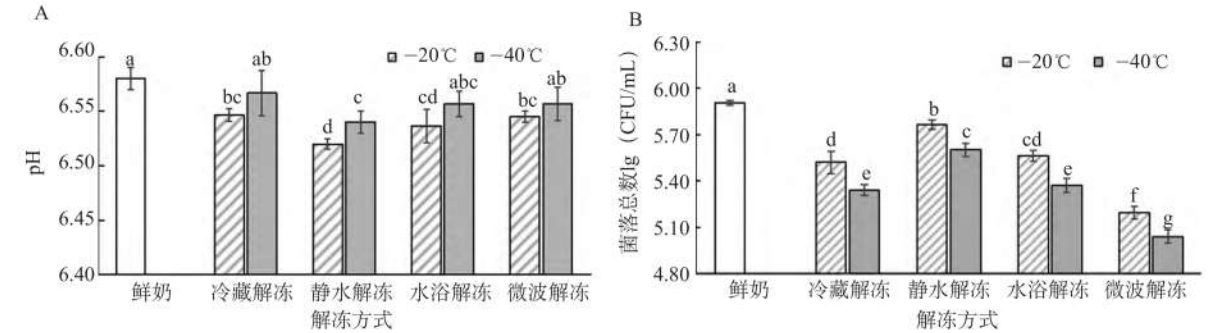


图 1 不同解冻方式对牦牛原料乳 pH、菌落总数的影响

Figure 1 Effect of different thawing methods on pH and total number of colonies of raw yak milk

注：图 A 是不同解冻条件下原料乳的 pH，图 B 是不同解冻条件下原料乳的菌落总数。不同小写字母代表数据差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 不同解冻方式对牦牛乳稳定性的影响

2.3.1 不同解冻方式对乳液稳定性的影响

如图 2 所示，与新鲜牦牛乳相比冻融乳的稳定性系数均显著降低 ($P < 0.05$)，在不同解冻方式下，冷藏解冻组的稳定性系数最低，其次为静水解冻，水浴解冻和微波解冻的稳定性最好，且两者之间差异不显著 ($P > 0.05$)。此外， -40°C 冻藏乳解冻后的稳定性显著高于 -20°C 组 ($P < 0.05$)，其中经水浴解冻后， -40°C 冻藏组的稳定性系数为 $31.41\% \pm 0.01\%$ ，显著高于 -20°C 冻藏乳的 $26.49\% \pm 0.05\%$ 。

2.3.2 不同解冻方式对牦牛乳脂肪粒径的影响

如表 2 所示，相比与鲜奶，经冻融处理后的牦牛乳平均粒径均呈增长趋势，在相同的解冻条件下， -40°C 冻结乳的平均颗粒大小约 13.11

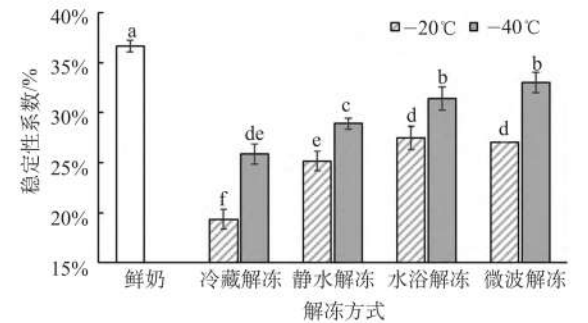


图 2 不同解冻方式对牦牛原料乳稳定性的影响

Figure 2 Effect of different thawing methods on the stability of raw yak milk

注：不同小写字母代表数据差异显著 ($P < 0.05$)。

$\pm 0.11 \mu\text{m}$ ， -20°C 冻结乳的平均颗粒大小约 $14.66 \pm 0.33 \mu\text{m}$ ，提示较快的冻结速率能减小冻融对乳的影响。

与鲜奶组比较, 牦牛乳经不同冻融处理后体积平均粒径 $D_{4,3}$ 和表面积平均粒径 $D_{3,2}$ 由小到大为: 水浴解冻、微波解冻、静水解冻和冷藏解冻组。其中, 冷藏解冻组的牦牛乳粒径最大, 可能是长时间解冻会促进乳脂肪聚集。同时, 牦牛乳在 4°C 时大多呈晶体形式, 也有利于脂肪聚结, 而在水浴解冻过程中由于加热后部分脂肪融化,

团簇颗粒之间的界面张力减弱导致的聚集程度降低^[23]。此外, 不同解冻方式对 D_{10} 无统计学影响, 但显著影响其 D_{50} 和 D_{90} 值, 提示不同解冻方式主要影响乳中大颗粒(脂肪)的大小。乳中颗粒的分布宽度也受解冻方式的影响, 其中冷藏解冻组增加值最大, 其他三组增加值较为缓慢。

表 2 不同解冻方式下牦牛乳粒径的变化
Table 2 Particle size of yak milk under different thawing methods

解冻方式	表面积平均粒径 $D_{3,2}/\mu\text{m}$	体积平均粒径 $D_{4,3}/\mu\text{m}$	$D_{10}/\mu\text{m}$	$D_{50}/\mu\text{m}$	$D_{90}/\mu\text{m}$	分布宽度
鲜奶	2.00 ± 0.03^f	5.18 ± 0.03^f	1.10 ± 0.02^{ab}	4.04 ± 0.01^f	10.38 ± 0.21^s	2.18 ± 0.02^f
-20°C	冷藏解冻	2.58 ± 0.01^a	7.04 ± 0.06^a	1.13 ± 0.01^a	5.15 ± 0.02^a	14.66 ± 0.33^a
	静水解冻	2.42 ± 0.02^b	6.59 ± 0.08^c	1.09 ± 0.01^{ab}	4.89 ± 0.09^{bc}	13.73 ± 0.07^b
	水浴解冻	2.34 ± 0.03^c	5.85 ± 0.21^d	1.01 ± 0.02^c	4.69 ± 0.01^{cd}	12.67 ± 0.25^d
	微波解冻	2.38 ± 0.01^{bc}	5.70 ± 0.18^d	0.99 ± 0.01^{cd}	4.63 ± 0.06^d	12.02 ± 0.33^e
-40°C	冷藏解冻	2.39 ± 0.01^b	6.82 ± 0.04^b	1.08 ± 0.03^b	5.00 ± 0.08^{ab}	13.11 ± 0.11^c
	静水解冻	2.22 ± 0.02^d	5.80 ± 0.08^d	1.03 ± 0.01^c	4.53 ± 0.35^d	12.32 ± 0.26^{de}
	水浴解冻	2.10 ± 0.02^e	5.31 ± 0.03^{ef}	0.86 ± 0.01^{de}	4.29 ± 0.04^e	11.55 ± 0.29^f
	微波解冻	2.09 ± 0.04^e	5.42 ± 0.06^e	0.72 ± 0.01^f	4.16 ± 0.03^{ef}	11.17 ± 0.08^f

注: 同列不同小写字母代表数据差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3.3 不同解冻方式对牦牛乳脂肪球显微结构的影响

经不同冻融处理牦牛乳脂肪球的显微结构如图 3 所示, 与鲜奶相比冻融后的脂肪球出现不同程度的聚集。其中经冷藏解冻组处理的牦牛乳

脂肪球聚集最为明显, 颗粒直径显著大于其他三组, 其次为静水解冻, 水浴解冻与微波解冻组基本相似, 与粒径结果一致。此外, -40°C 条件下冻藏的牦牛乳脂肪球聚集融合程度均小于 -20°C 冻藏组。

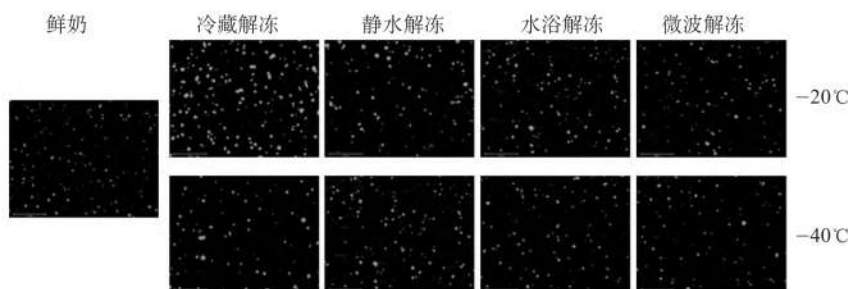


图 3 不同解冻方式下牦牛奶脂肪显微结构的变化
Figure 3 Microstructure of yak milk fat under different thawing methods

2.4 不同解冻方式对牦牛乳营养成分的影响

2.4.1 不同解冻方式对牦牛乳脂肪氧化度的影响

如图 4 所示, 首先在 -40°C 条件下冻藏的

牦牛乳其脂肪氧化度低于 -20°C 冻结乳, 其只有在冷藏和静水解冻条件下两者具有显著差异 ($P < 0.05$), 可能是由于在速冻过程中形成的冰晶

较小，对乳脂肪球的损伤较小，减缓脂肪球与空气接触面积^[24]。进一步对比四种不同解冻方式处理下-40℃的牦牛乳的脂肪氧化度变化，结果发现静水解冻的脂肪氧化度最高，其次为微波解冻，冷藏解冻和水浴解冻的脂肪氧化度最低，且两者不具有显著性差异($P > 0.05$)。

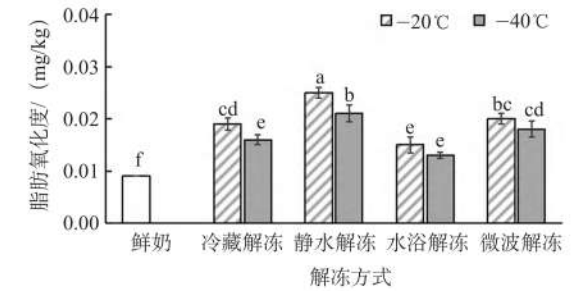


图4 不同解冻方式下牦牛奶脂肪氧化度的变化
Figure 4 Fat oxidation of yak milk under different thawing methods

注：不同小写字母代表数据差异显著 ($P < 0.05$)。

2.4.2 不同解冻方式对牦牛乳蛋白水解度的影响
如图5所示，经冻融处理后的牦牛乳水解度均显著增加 ($P < 0.05$)，其中冷藏解冻、水浴解冻两者之间无显著差异 ($P > 0.05$)，其次为微波解冻，经静水解冻处理的蛋白水解程度最高，显著高于其他三组 ($P < 0.05$)，可能是静水解冻促进乳中微生物的繁殖，进而导致蛋白水解度的增

加。此外，同一解冻方式下-20℃冻藏组的水解度均显著高于-40℃组 ($P < 0.05$)。

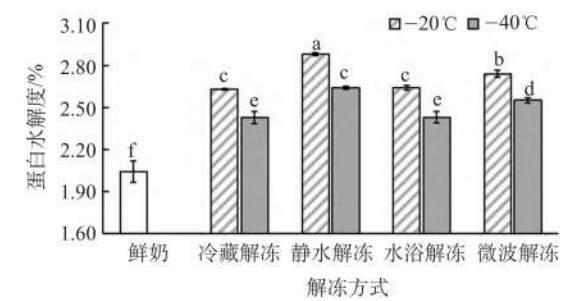


图5 不同解冻方式下牦牛奶蛋白水解度的变化
Figure 5 Protein hydrolysis of yak milk under different thawing methods

注：不同小写字母代表数据差异显著 ($P < 0.05$)。

2.5 不同解冻方式对牦牛乳营养成分的影响
如表3所示，经冻融后牦牛乳的营养成分均有所下降。在同种解冻方式下，-40℃冻藏乳的脂肪和蛋白质含量均高于-20℃冻藏乳 ($P < 0.05$)，但不同冻藏条件对乳糖和非脂乳固体影响不显著。再以-40℃冻藏组为观察对象，比对不同解冻方式的影响。结果发现，静水解冻对牦牛乳中营养成分的影响最大，蛋白和脂肪含量最低；其次为微波解冻，水浴解冻和冷藏解冻。其中冷藏解冻虽然优于水浴解冻，但两者之间不具有显著差异 ($P > 0.05$)。

表3 不同解冻方式下牦牛乳中营养成分的变化
Table 3 Nutrients of yak milk under different thawing methods

	解冻方式	脂肪 /%	蛋白质 /%	乳糖 /%	非脂乳固体 /%
-20℃	鲜奶	5.20 ± 0.02 ^a	4.56 ± 0.02 ^a	4.95 ± 0.07 ^a	9.00 ± 0.05 ^a
	冷藏解冻	5.08 ± 0.04 ^{bc}	4.46 ± 0.03 ^b	4.90 ± 0.10 ^{ab}	8.83 ± 0.06 ^b
	静水解冻	4.62 ± 0.13 ^f	4.29 ± 0.04 ^d	4.55 ± 0.04 ^e	8.23 ± 0.11 ^e
	水浴解冻	5.03 ± 0.06 ^c	4.37 ± 0.02 ^c	4.78 ± 0.03 ^c	8.71 ± 0.03 ^c
	微波解冻	4.83 ± 0.05 ^c	4.30 ± 0.06 ^d	4.65 ± 0.05 ^d	8.34 ± 0.03 ^{dc}
-40℃	冷藏解冻	5.17 ± 0.01 ^{ab}	4.50 ± 0.03 ^a	4.86 ± 0.02 ^{abc}	8.84 ± 0.12 ^b
	静水解冻	4.75 ± 0.04 ^e	4.35 ± 0.05 ^c	4.62 ± 0.06 ^{de}	8.35 ± 0.09 ^{de}
	水浴解冻	5.15 ± 0.02 ^{ab}	4.45 ± 0.02 ^b	4.81 ± 0.06 ^{bc}	8.69 ± 0.04 ^c
	微波解冻	4.92 ± 0.02 ^d	4.37 ± 0.02 ^c	4.73 ± 0.03 ^{cd}	8.41 ± 0.04 ^d

注：不同小写字母代表数据差异显著 ($P < 0.05$)。

3 结论

通过模拟家庭常用的解冻方式,并从方便性和经济性的角度考虑,选取慢速解冻(4℃冷藏解冻)、中速解冻(室温静水解冻)、快速解冻(40℃水浴解冻、微波解冻)四种解冻方式,观察不同解冻方式下牦牛乳新鲜度、稳定性以及营养成分的差异变化。将在-20℃和-40℃条件下冻藏30d的牦牛乳经不同解冻方式处理后,发现水浴解冻不仅解冻速率快,且乳的稳定性较高,营养成分损失较少,同时发现-40℃冻藏乳品质显著高于-20℃冻藏乳。本研究可为延长牦牛乳的货架期以及产品的加工提供一定的参考,有助于提升藏民社区牦牛乳制品的加工水平。

参考文献:

- [1] Chen Y, Qu S, Huang Z, et al. Analysis and comparison of key proteins in Maiwa yak and bovine milk using high-performance liquid chromatography mass spectrometry [J]. Journal of Dairy Science, 2021, 104 (8): 8661-8672.
- [2] 马静,王迅,孙璐,等.青海地区不同海拔高度牦牛乳微生物多样性研究[J].动物营养学报,2021,33(8):4491-4501.
- [3] Gottardo P, Penasa M, Righi F, et al. Fatty acid composition of milk from Holstein-Friesian, Brown Swiss, Simmental and Alpine Grey cows predicted by mid-infrared spectroscopy [J]. Italian Journal of Animal Science, 2017, 16 (3): 380-389.
- [4] 孙慧阳.西部特色小品种乳及其发酵乳蛋白质及氨基酸分析与评价[D].杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [5] Agyare A N, Liang Q. Nutrition of yak milk fat - Focusing on milk fat globule membrane and fatty acids [J]. Journal of Functional Foods, 2021, 83: 104404.
- [6] Luo J, Liu L, Liu T S, et al. Simulated *in vitro* infant gastrointestinal digestion of yak milk fat globules: A comparison with cow milk fat globules [J]. Food Chemistry, 2020, 314: 126160.
- [7] Jiang Y, Li N, Wang Q, et al. Microbial diversity and volatile profile of traditional fermented yak milk [J]. Journal of Dairy Science, 2020, 103 (1): 87-97.
- [8] 孙鹏飞.牦牛乳开发利用现状及产业化发展建议[J].中国畜牧学,2021(15):48.
- [9] 高宇,汪家琦,戴智勇,等.牦牛乳营养成分及功能特性研究进展[J].乳业科学与技术,2021,44(3):43-49.
- [10] Kim M H, Shim K S, Yi D Y, et al. Macronutrient analysis of human milk according to storage and processing in Korean mother [J]. Pediatric Gastroenterology, Hepatology & Nutrition, 2019, 22 (3): 262-269.
- [11] Zhang L N, Qu J Y, Huppertz T, et al. Effects of different freeze-thaw processes on the bioactivity and digestibility of human milk [J]. LWT, 2022, 156: 113025.
- [12] Miranda M, Muriach M, Almansa I, et al. Oxidative status of human milk and its variations during cold storage [J]. BioFactors: Oxford, England, 2004, 20 (3): 129-137.
- [13] Balthazar E, Doligez E, Leray O, et al. A comparison of thawing methods on IgG 1 concentration in colostrum of dairy cows [J]. Revue de Médecine Vétérinaire, 2015, 166 (11-12): 341-344.
- [14] Chen C, Mei J, Xie J. Impact of thawing methods on physico-chemical properties and microstructural characteristics of concentrated milk [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45 (9): e15642.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品pH的测定:GB 5009.237-2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定:GB 4789.2-2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [17] 田浩,何志勇,王召君,等.可溶性大豆多糖与果胶对酸化乳饮料的稳定机制对比[J].食品与生物技术学报,2022,41(5):66-73.
- [18] 王艳.黄芩破壁饮片质量标准提升研究[D].广州:广州中医药大学,2019.
- [19] 迟雪露,仝令君,潘明慧,等.乳脂肪含量对牛乳理化性质的影响[J].食品科学,2018,39(4):26-31.
- [20] 祁红学,刘秀萍,安静.硫代巴比妥酸法测定鱼体肌肉中脂质过氧化物含量的方法优化[J].安徽农业科学,2017,45(10):91-92.
- [21] 韩雪兰.乳清蛋白酶水解工艺及水解产物功能特性研究[D].天津:天津科技大学,2017.
- [22] 万海伦,应晓国,赵波,等.不同解冻方式对生食鱼片解冻品质的影响[J].食品科学,2022,43(15):227-235.
- [23] 袁娅楠,孙颜君,张娟,等.冷冻解冻过程中稀奶油特性的研究[J].食品科技,2019,44(8):52-57,64.
- [24] 石永祺.牦牛乳硬质干酪成熟过程中脂肪含量对干酪品质及脂肪降解的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2020.