

牦牛乳的研究进展

任卫合^{1,2}, 徐轶飞³, 罗龙龙¹, 魏嘉¹, 龙鸣¹, 丁功涛², 陈士恩^{1,2,*}

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院, 甘肃 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, 甘肃 兰州 730030; 3. 甘肃省食品检验研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 牦牛乳是由生活在高海拔地区的牛种——牦牛所产生的一种天然乳, 其乳中蛋白、脂肪、乳糖及干物质含量均高于其它牛种乳汁, 且富含氨基酸、钙、铁、锌、维生素等营养物质。该文主要对牦牛乳的营养成分、功效以及其主要乳制品研究现状进行阐述, 以期对牦牛乳及乳制品的开发和利用提供理论参考。

关键词: 牦牛乳; 乳蛋白; 乳脂肪; 乳功效; 乳制品

Research Progress of Yak Milk

REN Wei-he^{1,2}, XU Yi-fei³, LUO Long-long¹, WEI Jia¹, LONG Ming¹, DING Gong-tao², CHEN Shi-en^{1,2,*}

(1. School of Life Sciences and Engineering, Northwest Minzu University, Lanzhou 730124, Gansu, China; 2. China-Malaysia National Joint Laboratory, Biomedical Research Center, Northwest Minzu University, Lanzhou 730030, Gansu, China; 3. Gansu Institute of Food Inspection, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: Yak milk is a kind of natural milk, produced by yak, which live in high altitude areas. The protein, fat, lactose and dry matter content in yak milk are higher than that in milk from other cattle species, meanwhile, yak milk is rich in amino acids, calcium, iron, zinc, vitamins and other nutrients. The nutritional composition, function of yak milk and the research status of its main dairy products were discussed, providing theoretical reference for the development and utilization of yak milk and the dairy products.

Key words: yak milk; milk protein; milk fat; milk efficacy; dairy products

引文格式:

任卫合, 徐轶飞, 罗龙龙, 等. 牦牛乳的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(24): 219-224

REN Weihe, XU Yifei, LUO Longlong, et al. Research Progress of Yak Milk [J]. Food Research and Development, 2020, 41(24): 219-224

牦牛(*Bosgrunniens*)属草食性反刍家畜, 主要分布于青藏高原及其毗邻地区, 被称为“高原之舟”。牦牛生活于高海拔、无污染环境, 因此其乳汁有着普通牛乳所不能比拟的特点。与牛乳相比, 牦牛乳具有更为丰富的蛋白质(尤其是乳清蛋白)、氨基酸、脂肪、糖类和矿物质(除磷), 被称为天然浓缩乳^[1]。因其营养丰富, 牦牛乳也成为各种奶制品生产的原料, 乳制品黄

油与奶酪是藏区牧民维生素和主要营养物质的重要来源^[2]。近年来, 人们对于牦牛乳的关注逐渐增多, 涉及牦牛乳中蛋白质种类及功能研究、氨基酸及脂肪酸测定、牦牛乳发酵分析等, 本文主要对牦牛乳的营养成分、功效以及其主要乳制品研究现状进行阐述, 以期对牦牛乳及乳制品的开发和利用提供理论参考。

1 牦牛乳的营养成分研究

牦牛乳富含蛋白质、氨基酸、脂肪、糖类和矿物质。不同品种牦牛因其所处环境及海拔因素影响, 乳蛋白及乳脂肪含量不尽相同, 见表1。目前, 有关不同品种牦牛乳营养成分的对比分析、牦牛乳与其它哺乳动物乳汁营养成分的对比分析以及不同胎次牦牛乳汁中

基金项目: 甘肃省国际科技合作项目(17YF1WA166); 甘肃省科技计划(17JR7WA027); 科技部援助项目(KY201501005)

作者简介: 任卫合(1997—), 男(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品安全与质量控制。

* 通信作者: 陈士恩(1964—), 男, 教授, 本科, 研究方向: 食品安全与品质控制。

营养成分研究均有报道,主要集中于天祝牦牛、高山牦牛、玛曲牦牛、白牦牛、红原牦牛等。

表 1 不同品种牦牛及其他哺乳动物乳中乳蛋白及乳脂肪含量

Table 1 Milk protein and milk fat content in the milk of different breeds of yak and other mammal

品种	乳蛋白/%	乳脂肪/%
甘肃天祝 ^[3]	5.32	5.27
甘肃玛曲 ^[3]	5.67	6.73
青海天骏 ^[3]	5.82	7.04
白牦牛 ^[4]	6.83	5.64
黑牦牛 ^[5]	4.95	6.67
九龙牦牛 ^[5]	4.90	6.91
西藏牦牛 ^[5]	5.06	7.14
红原牦牛	4.96	4.80
水牛乳 ^[6]	4.46	7.01
山羊乳 ^[7]	4.38	6.22
骆驼乳 ^[8]	3.33	4.56
奶牛乳 ^[9]	3.09	3.91
马乳 ^[10]	2.07	2.15
驴乳 ^[11]	1.84	1.47
人乳 ^[12]	1.21	1.08

1.1 牦牛乳中蛋白质、氨基酸研究

蛋白质的多样性以及其结构的复杂性决定了它是乳中最复杂的组分,牦牛乳中蛋白质含量高于荷斯坦牛乳和黄牛乳。对于不同海拔、不同牧场草地资源及不同品种的牦牛,其蛋白质在理化特性方面存在较大差异,包括氨基酸组成及蛋白质种类^[13]。且乳蛋白含量受产奶月份^[5]、季节^[14]、品种^[3]、海拔^[3]等因素的影响,海拔越高乳中蛋白质含量越高,夏季乳中蛋白质含量最低。

不同海拔高度生长牦牛所产乳中乳蛋白成分存在差异^[3],对青海天骏、甘肃天祝、甘南玛曲 3 个地区牦牛乳样品分析后,发现其乳蛋白含量随着海拔高度的增加依次增加,玛曲牦牛乳蛋白含量最高,其次为天骏牦牛,最后为天祝牦牛;并且发现不同胎次对牦牛乳蛋白含量影响不大。为了适应高寒严酷生活环境,白牦牛乳中具有高乳蛋白特点,这是自然选择的结果,其乳中^[14]乳蛋白含量为 6.53 g/100g,比黑白花牛乳高 2.42 g/100g;必需氨基酸(essential amino acid, EAA)是黑白花牛乳的 2.36 倍,比黑白花牛乳高 1.51 g/100g。黑牦牛^[4]不同胎次所产乳中乳蛋白含量有所差异,从 1 胎至 5 胎均为 12 月份乳中乳蛋白含量最高,但每胎又均不同;1 胎中乳蛋白含量在 12 月份最高,且与其它产奶月份差异不显著($P>0.05$);2 胎乳中蛋白质含量在 12 月显著高于 6 月、8 月、9 月、10 月份($P<0.05$),虽

也高于 7 月、11 月,但差异不显著($P>0.05$);3 胎至 5 胎乳蛋白含量在 12 月显著高于其它各产奶月份($P<0.05$)。1 胎黑牦牛乳中乳蛋白含量最高为 5.87%,2 胎中含量最低为 5.59%;对比分析表明^[5],黑牦牛乳蛋白含量低于天祝白牦牛和西藏牦牛,但高于九龙牦牛,说明乳蛋白含量可能与生态环境和牧草质量有关。亮氨酸^[15]与赖氨酸^[16]分别在降低血糖与促进人体发育、增强免疫力、提高中枢神经功能方面具有重要作用,红原牦牛乳^[17]中不仅乳蛋白含量及氨基酸总量高于常乳,而且人体必需的亮氨酸、赖氨酸和非必需的谷氨酸、脯氨酸和天冬氨酸也高于常乳,因此推测食用红原牦牛乳可降低血糖及促进发育及增强免疫力。

不同哺乳动物乳汁中乳蛋白含量存在差异^[18],对比牦牛乳、水牛乳、山羊乳、骆驼乳、奶牛乳、马乳、驴乳、人乳中乳蛋白含量,发现牦牛乳中蛋白质含量最高(5.21%),马乳、驴乳、人乳中蛋白质含量接近且最低,牦牛乳中蛋白质含量是人乳中 4 倍以上,因此生产乳粉时可添加适量牦牛乳粉,以提高乳粉蛋白含量及质量。牦牛初乳与成熟乳汁中部分蛋白质表达也存在显著差异^[19],牦牛乳清中共发现了 183 种蛋白质,其中 86 种蛋白质的表达水平在牛初乳和牛乳之间有显著差异,血红蛋白表达出现最大变化,牛初乳明显高于成熟牛乳,且 Yang Y 等^[19]采用蛋白质组学功能分析表明这些差异蛋白与生物调控和应激刺激有关;他的这些发现不仅增加了对牦牛乳蛋白组成的认识,而且提出了差异表达蛋白的潜在功能。

1.2 牦牛乳脂肪、脂肪酸研究

牦牛乳脂肪是从牦牛乳中分离得到的脂肪,是牦牛乳中非常重要的组成成分,质量分数占牦牛乳的 5%~8%^[20]。牦牛脂肪中最主要的成分为甘油三酯,组成甘油三酯的各种脂肪酸中,长链脂肪酸为最主要的脂肪酸,含量在 90%以上,短链和中链脂肪酸的含量相对较少,其中最主要的脂肪酸为油酸、棕榈酸和硬脂酸,三者总含量约为总脂肪酸的一半以上^[21],且牦牛脂肪酸中的二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)和二十五碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)是普通牛乳脂肪酸中没有的^[22]。

天骏牦牛、甘肃牦牛、玛曲牦牛的乳脂肪含量变化存在显著性差异($P<0.05$)或极显著差异($P<0.01$),不同胎次间牦牛乳的脂肪差异显著($P<0.05$),且呈现初步递减的趋势^[4];白牦牛的乳脂为 5.64 g/100 g,比黑白花牛乳高 2.42 g/100 g^[4];红原牦牛乳脂肪含量为 4.80%,与奶牛乳进行对比,高于奶牛乳 1.65%^[15];甘南黑牦牛乳中脂肪含量在牧草的枯草期(11 月~12 月)和

返青期(6月)达到最高,这与乳中脂肪含量变化与牧草不同生长期营养成分变化有密切关系^[9]。在枯草期牧草蛋白质下降的同时,粗纤维含量上升,粗纤维消化后给产乳牦牛提供更多的乙酸、丁酸等,即给乳腺分泌细胞供应合成脂肪中短链脂肪酸的原料增多,致使乳脂肪含量上升,这种趋势与文献所述乳脂率随产奶量呈负相关相一致^[23]。西藏地区牦牛乳中的脂肪含量普遍高于其它地区,且与四川地区牦牛乳中的脂肪含量比较差异较小、与青海地区牦牛乳中的脂肪含量差异最大,表明乳脂肪含量与海拔有密切关系,海拔越高乳脂肪含量越高;牦牛乳与山羊乳中的脂肪含量接近且含量较高^[18]。另外泌乳月份也会影响乳脂肪含量,研究表明9月~10月乳脂肪含量最高,2月~3月乳脂肪含量最低^[9];但乳脂肪含量受初产和多产影响很小^[24]。

不同牧场牦牛乳中乳脂肪酸构成及含量差异不显著($P>0.05$),不同胎次牦牛乳中脂肪酸含量差异也不显著($P>0.05$),表明牧场环境对牦牛乳脂肪酸构成及含量、不同产接胎次牦牛在合成乳脂肪酸的生理机能方面并无显著影响。在枯草期、枯草末期、返青期和青草期,牦牛乳中饱和脂肪酸、不饱和脂肪酸比值不断减小,即随着气温的升高及牧草的成熟,牦牛乳中饱和脂肪酸含量逐渐降低,而不饱和脂肪酸的含量逐渐升高^[25]。

乳脂肪以脂肪球形式存在,脂肪球表面被生物膜包围,被称为脂肪球膜(milk fat globule membrane, MFGM),含有独特的极性脂质和膜特异性蛋白。MFGM中的磷脂、鞘磷脂、鞘糖脂、糖蛋白等具有治疗心肌梗塞,调控胆固醇代谢,及抑制某些肿瘤细胞的作用,其组成和含量与动物种类、季节、饲料、泌乳阶段和分离方法等有关。对牛、山羊、水牛、牦牛和骆驼乳中乳脂肪球膜进行分离及组分含量测定,表明各物种间MFGM各组分差异显著($P<0.05$)^[26]。

2 牦牛乳功效研究

目前研究表明,牦牛乳及其乳中成分具有抗氧化^[27]、抗炎^[27]、增加免疫力^[28]、改善肠道微生物^[28]、抑制癌细胞^[29]、增加耐力^[30]等作用。

牦牛乳中酪蛋白及其水解产物都具有一定的抗氧化活性^[27],但与完整的牦牛酪蛋白相比,用碱性蛋白酶水解制备的水解产物对1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基、超氧化物和过氧化氢的自由基清除作用更显著,因此牦牛酪蛋白水解物具有自由基清除和抗炎活性,可用于预

防氧化应激和炎症相关疾病。以普通牛乳和牦牛乳进行对比^[28],牦牛乳喂养增加了大鼠血清中干扰素、白细胞介素6和免疫球蛋白M(immunoglobulin M, IgM)含量,并且发现牦牛乳喂养的大鼠粪便微生物群有轻度转移,肠道内增加了短链脂肪酸生产菌的相对丰度,同时抑制了某些可造成健康问题的细菌,因此牦牛乳赋予了饮食者独特的生理价值。体外抗癌实验表明^[29],乳酸杆菌干酪SB27多糖的两个高分子量组分LW1和LW2,均可显著抑制HT-29结直肠癌细胞的增殖,而且上调Bad、Bax、Caspase-3和Caspase-8等与细胞凋亡相关基因的表达,因此表明LW1和LW2不仅具有功能性食品产品的应用潜力,而且可成为天然抗癌药物的来源。Zhang W等^[30]用强迫游泳实验的小鼠模型,研究牦牛乳粉(yak milk powder, YMP)的抗疲劳作用。结果表明,口服牦牛乳治疗5周后YMP组小鼠强迫游泳时间以剂量依赖式增加46%~112%,肝糖原含量增加26%~40%,血清甘油三酯水平降低30%;YMP组血乳酸和血清尿素氮的运动诱导积累比对照组低,与对照组相比,YMP组有较低的谷氨酸草酰乙酸转氨酶和乳酸脱氢酶水平。因此可知,牦牛乳可提高耐力能力、减轻疲劳。西藏居民对高海拔和缺氧环境的适应可能与长期食用牦牛奶有关。

3 牦牛乳产品工艺研究

牦牛乳含脂率高,脂肪颗粒小,是营养丰富的具有保健功能的产品,乳产品包括鲜乳系列产品、冻乳系列产品、发酵乳系列产品以及奶粉系列产品等。在高寒牧区,常见的乳产品主要包括鲜乳、乳粉、奶酪、酸奶、奶茶、奶渣、奶皮等^[31]。

3.1 乳粉工艺研究

喷雾干燥生产乳粉过程中,乳粉的营养成分损失小,且不易受到外来污染。因此,乳粉生产中普遍采用喷雾干燥方法来去除乳粉中的水分。靳玉强等^[32]表明牦牛奶粉最佳喷雾干燥工艺条件为进风温度为170℃、进料速度为10.4 mL/min,此时干物质含量为8.7 g/100g。

纪银莉等^[33]表明牦牛乳-牛乳蛋白营养粉配方的最佳配料比为:酪蛋白多肽16%、酪蛋白酸钠14%、脱脂奶粉32%、乳清蛋白25%、聚葡萄糖10%、苹果粉3%。

3.2 奶酪工艺研究

奶酪既是发酵的牛奶,又是浓缩的牛奶,被誉为乳品中的“黄金”^[34]。牦牛乳因其蛋白质、乳脂肪和干物质含量均较高,所以成为了理想的奶酪生产原料乳。奶酪品种很多,不同品种奶酪有不同的生产工艺。

软质鲜奶酪^[35]最佳工艺参数为:凝乳温度 35 ℃,凝乳酶添加量 0.003 g/100 mL, CaCl₂ 的添加量 0.03 g/100 mL; Gouda 奶酪是荷兰奶酪最具代表性、最有名的如同轮般大小的黄波奶酪,表面覆有一层标明口味的薄蜡,它口味温和、口感细腻柔滑、奶香浓郁且略带咸味,其最佳条件为^[36]:凝乳酶 0.001%,氯化钙 0.02%,食盐 20%,发酵温度 30%;牦牛脱脂乳再制奶酪^[37]最佳工艺条件:新鲜普通牛奶与脱脂牦牛乳添加质量比为(1.55:1),乳化盐添加量为 2.60%,融熔温度为 82 ℃;霉菌奶酪是以霉菌为发酵剂,表面长有霉菌,内部呈熔融状态,成熟由表向内渗透式进行,具有独特的霉菌奶酪风味^[38],其最佳工艺条件^[39]:毛霉添加量为 0.3%、发酵 6 d;马背奶酪^[40]属意大利融化性面食干酪,最佳工艺条件为:接种量 0.02%、热缩速率 2 min/℃, pH 值为 5.1,热烫拉伸温度 70 ℃~75 ℃。

牦牛“曲拉”是以牦牛乳为原料所制成的一种传统发酵乳制品,是将牦牛乳脱脂后,在自然发酵条件下使酪蛋白凝固、风干而制成的粗奶酪^[41]。牦牛“曲拉”不仅是传统的牧区休闲食品,而且因拥有丰富的菌种资源^[42]与低廉的价格^[43],成为发酵酸奶的发酵剂和干酪素加工原材料之一。目前为止,牧区依然多以传统手工工艺制作牦牛“曲拉”,因不同地区原料、工艺、环境的不同,所加工“曲拉”的品质也存在一定差异。不同地区牦牛“曲拉”在有色物质含量、营养成分及氧化褐变程度等方面均存在差异^[44];犏牛“曲拉”在发酵过程中的 pH 值、酸度、感官评价及质构特性与牦牛“曲拉”相近^[45]。

3.3 发酵乳研究

发酵牦牛酸奶是牧区非常传统的奶制品,也是牧民重要的经济收入来源。其营养价值高、组织细腻、风味独特,富含乳酸、乙酸、不饱和脂肪酸、低分子脂肪酸、V_C 和 B 族维生素、氨基酸、共轭亚油酸等物质^[46],在维持肠道菌群生态平衡、促进肠道蠕动、促进消化、抗衰老、抗癌、提高人体免疫力等方面有很好的效果^[47]。若将牦牛发酵乳进行大范围推广与生产,其发酵工艺与发酵菌种的研究至关重要。

3.3.1 发酵牦牛乳工艺优化研究

随着肥胖及糖尿病患者等特殊人群的增加,低糖及无糖酸奶迎来更广阔的市场^[48]。甜味剂对牦牛酸奶中乳酸菌活菌数及酸奶品质有一定影响,不同甜味剂发酵的牦牛酸奶品质有较大差异。低聚果糖作为甜味剂时,牦牛酸奶中乳酸菌含量最多且酸奶品质最佳^[49]。酸奶制作过程中,添加适当的稳定剂能有效改善酸奶的口感和质构,提高酸奶的黏稠度,从而延长保质

期^[50]。黄原胶、果胶及羧甲基纤维素钠(sodium carboxyl methyl cellulose, CMC-Na)都为酸奶制作中常见的稳定剂,但是对牦牛酸奶的感官、酸度及持水性有显著影响($P<0.05$),在一定程度上提高了酸奶的硬度^[51],其最佳复合配方为果胶 0.04%、黄原胶 0.02%、CMC-Na 0.03%。

青海牦牛酸乳最佳加工工艺为^[52]灭菌温度 90 ℃、接种量 1.0%、冷却温度 50 ℃、发酵温度 46 ℃、发酵时间 4 h 以上、冷藏温度 5 ℃、含脂率 3.2%。藏灵菇发酵牦牛酸奶最佳发酵条件为^[53]发酵温度 24 ℃、接种量 5%、发酵时间 24 h、蔗糖添加量 6%、牦牛奶添加量 50 mL。标准化法评估牦牛酸奶所得最佳加工工艺为^[54]90 ℃下杀菌 10 min,添加 0.15%混合乳酸菌发酵剂、在 43 ℃条件下发酵至凝固,4 ℃后酸化 24 h。

3.3.2 发酵牦牛乳发酵菌种研究

发酵乳质量的好坏取决于发酵剂的品质、类型及活力^[55]。目前市售乳酸菌发酵剂制作的牦牛发酵乳存在口感差、质构松散、黏聚性差等缺陷,寻找适合制作牦牛发酵乳的发酵剂迫在眉睫^[56]。

吴均等^[57]从西藏、川西青藏高原牧区自然发酵的牦牛酸奶样品中分离出 56 株乳酸菌菌株,通过初筛与复筛共得 4 株具有乳制品发酵剂开发潜力的菌株,其分别为 TG1-1、TG1-11、TG3-2 和 DLDQ2-1,分子鉴定表明 TG1-1 为干酪乳杆菌或副干酪乳杆菌、TG1-11 为副干酪乳杆菌、TG3-2 和 DLDQ2-1 为干酪乳杆菌。张靖晞等^[58]通过对传统发酵牦牛酸乳中分离、鉴定的 17 株马克斯克鲁维酵母菌进行性能筛选,选出了一株乳糖利用率高、产胞外多糖能力强的马克斯克鲁维酵母菌,并与发酵性能良好的干酪乳杆菌和嗜热链球菌进行组合发酵,发现马克斯克鲁维酵母菌与其它两株菌(浓度为 1×10^9 CFU/mL)体积比为 4:1:1、接种量为 4%、发酵温度 35 ℃、加糖量为 4 g/mL 时牦牛发酵乳品质最好。万金敏等^[59]将从西藏牦牛奶渣中经初筛、复筛得到的 4 株乳酸杆菌(B、C、D、E)与 1 株乳球菌(A)复配,进行组合发酵,感官评定分析表明,活菌数为 AB(1:1)发酵性能最佳。

4 结论与展望

本文对牦牛乳的营养成分、功效以及其主要乳制品研究现状进行综述,为牦牛乳的开发利用提供理论参考。牦牛乳营养价值丰富,乳中蛋白质、脂肪含量均高于其他牛种,且具有调节肠道菌群、抗癌、抗疲劳等功效。这些功效均在小鼠体内有一定研究,但对于人体是否存在相同作用,并未见报道,因此,牦牛乳对于人体的功效研究具有一定意义。牦牛乳虽然营养、医

药价值不菲,但终归为短期保存产品,不能进行长时间、长距离保存,这极大地限制了牦牛乳的发展。

乳产品相比于新鲜乳保存时间更长,因此牦牛乳产品的制作成为了牦牛乳发展的一个重要方向。因生产环境等因素影响,牦牛乳主要加工生产为乳粉,目前老年乳粉较为成熟,婴儿奶粉几乎为空白;因牧区交通条件限制,凝固型酸奶销售不便,常温酸奶主要做成益生元酸奶,可长时间、远距离保存。牦牛酸奶具有更高的营养价值、独特的风味和口感以及多种益生功能^[60]。其在发酵中发酵剂尤为重要,目前我国发酵剂菌种多由国外菌种供应商提供,且制作的牦牛发酵乳存在口感差、质构松散、黏聚性差等缺陷,寻找牦牛酸乳发酵效果优良的单一菌种与混合菌种成为一个重要研究方向。

参考文献:

- [1] Li H M, Ma Y, Li Q M, et al. The chemical composition and nitrogen distribution of Chinese yak (maiwa) milk[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2011, 12(8): 4885-4895
- [2] Dong S, Long R, Kang M. Milking performance of China yak (*Bos grunniens*): A preliminary report[J]. African Journal of Agricultural Research, 2007, 2(3):52-57
- [3] 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
- [4] 余群力,韩玲,蒋玉梅,等. 白牦牛乳营养成分及风味物质分析[J]. 营养学报, 2005, 27(4):333-335
- [5] 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
- [6] 张永云,张颖,王绍卿,等. 槟榔江水牛、摩拉水牛和荷斯坦牛乳成分比较分析[J]. 中国奶牛, 2012(7): 24-26
- [7] 孙晓卫,黄选洋,李凡,等. 大足黑山羊泌乳早期乳成分动态变化分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2014(5): 73-75
- [8] Konuspayeva G, Faye B, Loiseau G. The composition of camel milk: a meta-analysis of the literature data [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2009, 22(2): 95-101
- [9] 熊本海,易渺,杨琴,等. 中国北方荷斯坦奶牛乳成分及相关指标的季节性与胎次变化规律研究[J]. 畜牧兽医学报, 2013, 44(1): 31-37
- [10] 刘亚东. 马奶营养价值评定及在早产儿配方乳中的应用 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012
- [11] 陆东林,张丹凤,刘朋龙,等. 驴乳的化学成分和营养价值[J]. 中国乳业, 2006(5): 57-60
- [12] 张兰威,周晓红. 人乳营养成分及其变化[J]. 营养学报, 1997, 19(3):366-369
- [13] Li H M, Ma Y, Dong A J, et al. Protein composition of yak milk[J]. Dairy Science & Technology, 2010, 90(1): 111-117
- [14] 崔雯. 季节对牛乳成分的影响 [J]. 乳业科学与技术, 2009, 32(1): 39-41
- [15] 吕子全,郭非凡. 内源性代谢分子——亮氨酸调节机体生理功能[J]. 生理科学进展, 2012, 43(5): 337-340
- [16] 田颖,时明慧. 赖氨酸生理功能的研究进展 [J]. 美食研究, 2014, 31(3): 60-64
- [17] 黄世群,罗玲,毛建霏,等. 红原牦牛奶与常乳营养价值比较[J]. 山西农业科学, 2017, 45(10): 1617-1619, 1633
- [18] 李亚茹,郝力壮,刘书杰,等. 牦牛乳与其他哺乳动物乳常规营养成分的比较分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(2): 379-383, 388
- [19] Yang Y X, Zhao X W, Yu S M, et al. Quantitative proteomic analysis of whey proteins in the colostrum and mature milk of yak (*Bos grunniens*)[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(3): 592-597
- [20] 何胜华,马莺,崔艳华,等. 牦牛乳脂肪球膜组成分析及蛋白热稳定性[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2012, 44(10): 104-108
- [21] Feng Y. Study on the Structure and Speciality of Fatty Acids of Yak Milk[J]. Journal of chinese institute of food science and technology, 2006, 6(1):311-315
- [22] 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, 6(1):311-315
- [23] Luo X L, Zu J, Li Q, et al. Growth and milk performance of yak in southern Qinghai area (short communication)[J]. Archives Animal Breeding, 2005, 48(6): 555-561
- [24] Abeni F, Degano L, Calza F, et al. Milk quality and automatic milking: fat globule size, natural creaming, and lipolysis [J]. Journal of Dairy Science, 2005, 88(10): 3519-3529
- [25] 妥彦峰,甘伯中,杭锋,等. 甘肃天祝牧区白牦牛乳脂肪中脂肪酸的分析[J]. 乳业科学与技术, 2013, 36(4): 23-27
- [26] 姬晓曦,马莺. 5种乳源乳脂肪球膜的组成和性质 [J]. 中国乳品工业, 2017, 45(6): 19-23
- [27] Mao X Y, Cheng X, Wang X, et al. Free-radical-scavenging and anti-inflammatory effect of yak milk casein before and after enzymatic hydrolysis[J]. Food Chemistry, 2011, 126(2): 484-490
- [28] Wen Y P, He Q W, Ding J, et al. Cow, yak, and camel milk diets differentially modulated the systemic immunity and fecal microbiota of rats[J]. Science Bulletin, 2017, 62(6): 405-414
- [29] Di W, Zhang L W, Wang S M, et al. Physicochemical characterization and antitumour activity of exopolysaccharides produced by *Lactobacillus casei* SB27 from yak milk [J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 171: 307-315
- [30] Zhang W, Cao J L, Wu S Z, et al. Anti-fatigue effect of yak milk powder in mouse model [J]. Dairy Science & Technology, 2015, 95(2): 245-255
- [31] 郭宪,裴杰,王宏博,等. 牦牛乳及乳产品的研究与开发利用[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(19): 6256-6257
- [32] 靳义超,闫忠心,李升升,等. 喷雾干燥牦牛奶粉工艺优化[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2014, 44(6): 16-17
- [33] 纪银莉,罗丽,谢小冬,等. 响应面优化牦牛乳蛋白营养粉配方[J]. 食品工业, 2015, 36(4): 11-16
- [34] 刘利清. 奶酪的营养价值及发展现状 [J]. 农产品加工, 2014(2):

42-43

- [35] 青山,李宗文,曹效海,等. 牦牛奶软质鲜奶酪生产技术研究[J]. 中国乳品工业, 2014, 42(9): 55-58
- [36] 胡勇,冶成君. 用牦牛奶生产 Gouda 奶酪工艺技术的研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2010, 40(6): 3-4
- [37] 张雁平. 牦牛脱脂乳再制奶酪加工工艺[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(20): 82-85
- [38] 洪青. 类卡门贝尔奶酪的果香风味改善研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015
- [39] 李昂,陈炼红,李键,等. 雅致放射毛霉添加量对牦牛霉菌奶酪品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(24): 120-125
- [40] 冶成君,张雁平,马国壁,等. 青海特色牦牛乳加工意式马背奶酪工艺研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 199-201
- [41] 韩玲,许敬东,张福娟,等. 牦牛“曲拉”乳酸干酪素生产工艺研究[J]. 中国乳品工业, 2006, 34(2): 36-39
- [42] 张蓓. 藏族传统曲拉制作过程中乳酸菌群变化及曲拉中益生性乳杆菌的筛选和功能性评价[D]. 郑州: 郑州大学, 2017
- [43] 余群力,甘伯中,敏文祥,等. 牦牛“曲拉”精制干酪素工艺研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 140-144
- [44] 丁考仁青,王琳琳,韩玲,等. 不同地区牦牛曲拉的品质分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(1): 105-109
- [45] 王琳琳,王军,韩玲,等. 牧区牦牛“曲拉”优质发酵剂的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(12): 152-156
- [46] 金素钰,龚卫华,杨明,等. 家庭自制牦牛酸奶中脂肪酸组成的分析[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2007, 33(4): 794-796
- [47] 梁春年,阎萍,郭宪. 牦牛乳的特性及利用现状[C]. 南阳: 第四届中国牛业发展大会论文集, 2009: 368-371
- [48] 梁莹,崔炳群,黄建蓉,等. 高倍甜味剂在无蔗糖甜牛奶中的应用[J]. 食品工业科技, 2007, 28(11): 205-206, 239
- [49] 张岩,李键,陈炼红. 不同甜味剂对乳酸菌发酵以及牦牛酸奶品质的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(9): 118-121
- [50] 郭文奎. 优质酸奶风味图谱的建立[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012
- [51] 陈一萌,李思宁,唐善虎,等. 不同稳定剂对凝固型牦牛酸奶在冷藏后熟过程中品质及风味的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(4): 188-196
- [52] 雷有玲,俞树. 青海特色牦牛酸乳加工工艺的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2013(22): 67-68
- [53] 余闯闯,薛蓓. 藏灵菇发酵酸奶的制备及工艺条件优化[J]. 轻工科技, 2016, 32(12): 20-22
- [54] 李升升,靳义超. 基于标准化法评估的牦牛酸乳加工工艺[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(3): 297-302
- [55] 苏媛宁,夏玉,林捷,等. 乳酸菌蛋白降解及产香能力分析[J]. 中国酿造, 2014, 33(3): 36-39
- [56] 邢伟一,李键,陈炼红. 甘孜藏族自治州传统牦牛发酵乳中乳酸菌的分离鉴定及多样性分析[J]. 食品科技, 2018, 43(1): 15-21
- [57] 吴均,赵晓娟,陈佳昕,等. 西藏、川西青藏高原牧区自然发酵牦牛酸奶中优良乳酸菌的筛选及鉴定[J]. 食品科学, 2013, 34(17): 150-155
- [58] 张靖晞,廉桂芳,索化夷. 牦牛酸乳特色发酵剂的研发 [J]. 中国乳品工业, 2017, 45(7): 13-17
- [59] 万金敏,葛武鹏,杨丽娜,等. 西藏牦牛奶渣优良乳酸菌筛选及混合发酵优化[J]. 中国乳品工业, 2017, 45(6): 4-8
- [60] 杨超,丁学智,龙瑞军. 青藏高原地区牦牛鲜奶和酸奶营养价值及微生物组成[J]. 动物营养学报, 2018, 30(4): 1262-1270

收稿日期:2019-12-09

(上接第 199 页)

- [16] 张博,李喜宏,张新,等. 单双螺杆挤压工艺对大米粉营养复合米品质的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(5): 174-177
- [17] Li M, Zhu K, Sun Q J, et al. Quality characteristics, structural changes, and storage stability of semi-dried noodles induced by moderate dehydration: Understanding the quality changes in semi-dried noodles[J]. Food chemistry, 2016, 194: 797-804
- [18] Wu Y, Lin Q, Chen Z X, et al. Preparation of chitosan oligomers COS and their effect on the retrogradation of intermediate amylose rice starch[J]. Journal of food science and technology, 2012, 49 (6): 695-703
- [19] 何胜军,付赖鹏,张志明,等. 我国干湿米粉的标准探讨[J]. 粮食与饲料工业, 2019(2): 1-4, 7
- [20] Zhenni Li, Li Wang, Zhengxing Chen, et al. Impact of binding interaction characteristics on physicochemical, structural, and rheological properties of waxy rice flour[J]. Food Chemistry, 2018, 63(16): 266-273

收稿日期:2020-01-07