

冷藏对牦牛酸奶营养成分及挥发性物质的影响

Effect of refrigerated storage on nutritional composition and volatile substances of yak yogurt

李升升 刘书杰

LI Sheng-sheng LIU Shu-jie

(青海大学畜牧兽医科学院, 青海 西宁 810016)

(Academy of Animal and Veterinary Sciences, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China)

摘要:采用氨基酸分析、脂肪酸甲酯法和气相色谱质谱联用分析了冷藏前后牦牛酸奶中的营养成分和挥发性物质。结果表明,冷藏对牦牛酸奶中的蛋白质、脂肪、乳糖和水分等常规营养成分影响不显著($P>0.05$)。冷藏使牦牛酸奶中总氨基酸和鲜味氨基酸含量增加($P<0.05$),增幅分别为12.96%和8.51%;冷藏前后牦牛酸奶中的氨基酸营养评分分别为65.36和79.18。冷藏对牦牛酸奶中饱和脂肪酸无显著影响($P>0.05$),但使不饱和脂肪酸的相对含量降低。冷藏促进了牦牛酸奶中挥发性物质种类增加,尤其是酯类物质含量增加。综合表明,适度冷藏有利于牦牛酸奶营养成分和挥发性物质的形成。

关键词:牦牛酸奶;冷藏;氨基酸;脂肪酸;挥发性物质

Abstract: The purpose of this study was to investigate the nutritional composition and volatile substances changes of yak yogurt under refrigeration storage. The nutritional composition and volatile substance were measured by amino acid analysis, fatty acid methyl ester method and gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that yak yogurt had no significant difference on the contents of protein, fat, lactose and water content ($P>0.05$) under refrigeration storage. The total amino acid and flavour amino acid of yak yogurt significant increased after 7 d refrigeration storage ($P<0.05$), and the increased rate were 12.96% and 8.51%, respectively; the amino acids score of yak yogurt were 65.36 and 79.18, respectively. The content and kind of saturated fatty acid of yak yogurt had no significant difference after 7 d refrigeration storage ($P>0.05$), but the relative content of unsaturated fatty acid of yak yogurt decreased after 7 d

refrigeration storage. The kind of volatile substances of yak yogurt were significantly increased after 7 d refrigeration storage, especially in esters. In summary, it was beneficial to the formation of nutritional composition and volatile substances of yak yogurt under suitable refrigeration storage.

Keywords: yak milk yogurt; refrigerated storage; amino acid; fatty acid; volatile substances

牦牛酸奶是青藏高原牦牛奶的主要产品形式,也是深受广大消费者和农牧民喜爱的产品^[1]。长期以来,有关牦牛酸奶的研究主要集中在牦牛酸奶的加工工艺^[2-3]、牦牛酸奶加工菌种的分离^[4-5]、牦牛酸奶与其他酸奶的营养成分差异^[6-7]和牦牛酸奶的保健功能^[8-9]等方面。其中李升升等^[10]报道了基于标准化法评估的牦牛酸奶的加工工艺;陈娟等^[11]对比了牦牛酸奶与普通酸奶中的挥发性物质,指出牦牛酸奶中的乙醇、3-甲基-1-丁醇、乙酸乙酯与普通酸奶有显著差异;陈明等^[5]从牦牛酸奶中筛选出了一株具有抗氧化活性的乳酸菌(*L. plantarum* XM5)。相关的研究为牦牛酸奶的加工优化和发酵菌种选择提供了科学依据。

然而,牦牛酸奶主要是在冷藏条件下运输和销售的,相关文献^[3]报道和货架期试验^[8]表明,牦牛酸奶的冷藏期为7 d,在此过程中牦牛酸奶的蛋白质、脂肪、氨基酸、脂肪酸等营养成分和挥发性物质是否发生了显著变化,这些变化是否影响了牦牛酸奶的营养价值和感官品质等问题,尚未见报道。试验拟研究冷藏7 d前后牦牛酸奶蛋白质、脂肪、乳糖、水分、氨基酸、脂肪酸和挥发性物质的变化,并对牦牛酸奶的氨基酸、脂肪酸和挥发性物质进行分析和评价,旨在明确冷藏对牦牛酸奶营养品质和挥发性物质的影响,为牦牛酸奶的贮藏和保鲜提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新鲜牦牛奶:采自青海省海北藏族自治州天峻县;

基金项目:青海省科技合作专项资助(编号:2018-HZ-816);青海省牛产业科技创新平台项目资助(编号:QHNP-2020-05-09);青海省重点研发与转化计划(编号:2019-NK-109);国家自然科学基金(编号:31701625)

作者简介:李升升(1984—),男,青海大学副研究员,博士。

E-mail:lishsh123@163.com

收稿日期:2020-04-16

发酵剂:保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌 1:1 混合菌种,北京川秀科技有限公司。

1.2 主要设备

凯式定氮仪:ATN-100 型,上海皓庄仪器有限公司;
脂肪测定仪:SZC-C 型,上海纤检仪器有限公司;
干燥箱:101-3 型,上海科伟仪器有限公司;
恒温水浴锅:HH-6 型,上海百典仪器有限公司;
天平:PL203 型,瑞士 Mettler Toledo 公司;
高效液相色谱仪:Waters1525 型,美国 Waters 公司;
气相色谱仪:7890A 型,美国 Agilent 公司;
高速氨基酸分析仪:L-8900 型,日立高新技术株式会社;

气相色谱质谱联用仪:TRACE DSQ 型,美国 Finnigan 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 牦牛酸奶制作 牦牛奶在 90℃下杀菌 10 min,添加 0.15%混合乳酸菌发酵剂,在(43±1)℃条件下发酵至凝固,并在 4℃条件下贮藏 7 d。选择凝固后牦牛酸奶(A)和冷藏 7 d 后牦牛酸奶(B)两个样品,研究冷藏对牦牛酸奶营养和挥发性物质的影响。

1.3.2 营养成分测定

(1) 蛋白质:按 GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》执行。

(2) 粗脂肪:按 GB/T 14772—2008《食品中粗脂肪的测定》执行。

(3) 乳糖:按 GB 5413.5—2010《婴幼儿食品和乳品中乳糖、蔗糖的测定》方法中乳制品中乳糖的测定执行。

(4) 水分:按 GB/T 5009.3—2016《食品中水分的测定》执行。

(5) 氨基酸:色氨酸测定按 GB/T 15400—1994《饲料中色氨酸的测定》执行,其他氨基酸按 GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》执行。

(6) 脂肪酸:按 GB/T 17377—2008《动植物油脂脂肪酸甲酯的气相色谱分析》执行,采用面积归一法求得各脂肪酸组分的相对百分含量。

1.3.3 营养价值评价 参照李升升等^[12]报道的计算牦牛酸奶的氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI)。

1.3.4 牦牛酸奶挥发性物质的测定 参照 Cheng 等^[13]报道的方法。

1.4 数据处理

采用 SPSS 19.0 统计软件对数据进行方差分析(ANOVA),不同样品间采用 Duncan 多重比较进行差异显著性分析,其中 $P<0.05$ 为差异显著; $P<0.01$ 为差异极显著。每组有 3 个平行试验。

2 结果与分析

2.1 冷藏对牦牛酸奶常规营养成分的影响

冷藏对牦牛酸奶常规营养成分的影响见表 1。牦牛酸奶在经过 7 d 的冷藏后,蛋白质、脂肪、乳糖和水分无显著差异($P>0.05$),其中蛋白质、脂肪和乳糖含量呈下降趋势,水分含量呈增加趋势。说明冷藏对牦牛酸奶的蛋白质、脂肪、乳糖和水分等常规营养成分无显著影响。分析认为,冷藏条件下牦牛酸奶中的乳酸菌活性被抑制,不能够继续利用乳糖;同时,低温环境抑制了蛋白质和脂肪的氧化、降解等反应的发生;总的来看,冷藏 7 d 对牦牛酸奶的常规营养成分无显著影响。

2.2 冷藏对牦牛酸奶氨基酸组成及含量的影响

由表 2 可知,冷藏前后牦牛酸奶的氨基酸构成比较完整,含有 8 种必需氨基酸、2 种半必需氨基酸和 8 种非必需氨基酸共 18 种氨基酸。冷藏后牦牛酸奶总氨基酸含量显著增加($P<0.05$),增幅为 12.96%。冷藏后牦牛酸奶中必需氨基酸含量呈增加趋势,但与冷藏前相比差异不显著($P>0.05$)。冷藏前后牦牛酸奶的必需氨基酸/总氨基酸(EAA/TAA)分别为 41.13%和 42.76%;必需氨基酸/非必需氨基酸(EAA/NEAA)分别为 69.86%和 74.70%;均符合 FAO/WHO 推荐的理想模式^[14]。同时,天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸等鲜味氨基酸^[15-16]含量显著增加,增幅为 8.51%,表明适度冷藏有利于鲜味氨基酸含量增加。综合表明适度冷藏可提高牦牛酸奶氨基酸含量,但不能改变其氨基酸组成模式。冷藏环境抑制了微生物和酶的活性,但并没有完全使微生物和酶失活,在牦牛酸奶冷藏期间蛋白质和肽链的降解,促进了牦牛酸奶中氨基酸含量的变化。

2.3 冷藏对牦牛酸奶氨基酸营养价值的影响

如表 3 所示,牦牛酸奶冷藏前后氨基酸总量分别为 36.78%和 45.28%,均高于 FAO/WHO 所推荐的 36%,但均低于鸡蛋蛋白中必需氨基酸总量 49%。氨基酸和化学评分结果表明,冷藏前后牦牛酸奶中的第一限制氨基酸均为甲硫氨酸和半胱氨酸;第二限制氨基酸均为色氨酸,冷藏后牦牛酸奶的氨基酸的营养评分增加。表明适度冷藏有利于提高牦牛酸奶氨基酸的营养价值。这是由于冷藏条件抑制了微生物和酶的活性,但并没有完全使微生物和酶失活,牦牛酸奶中的蛋白质和肽链仍发生了一定程度的降解,促进了牦牛酸奶中氨基酸评分的提高。

表 1 冷藏对牦牛酸奶常规营养成分的影响

样品	蛋白质	脂肪	乳糖	水分
A	5.03±0.27	4.51±0.46	3.18±0.07	81.99±0.91
B	4.91±0.25	3.77±0.55	3.02±0.11	82.13±0.53

表 2 冷藏对牦牛酸奶氨基酸组成及含量的影响[†]

Table 2 Effect of refrigerated storage on the composition and content of amino acidsof yak milk yogurt

氨基酸	样品 A	样品 B	氨基酸	样品 A	样品 B
天冬氨酸	0.32±0.03 ^a	0.36±0.05 ^a	苯丙氨酸	0.21±0.02 ^a	0.31±0.01 ^b
谷氨酸	0.87±0.02 ^a	0.92±0.03 ^b	组氨酸	0.14±0.03 ^a	0.17±0.01 ^a
丝氨酸	0.33±0.04 ^a	0.33±0.02 ^a	色氨酸	0.03±0.01 ^a	0.04±0.02 ^a
甘氨酸	0.08±0.01 ^a	0.10±0.03 ^a	赖氨酸	0.41±0.04 ^a	0.46±0.06 ^a
精氨酸	0.14±0.02 ^a	0.15±0.03 ^a	酪氨酸	0.17±0.01 ^a	0.20±0.04 ^a
苏氨酸	0.19±0.05 ^a	0.21±0.05 ^a	TAA	4.32±0.17 ^a	4.88±0.32 ^b
脯氨酸	0.34±0.06 ^a	0.40±0.04 ^a	EAA	1.78±0.16 ^a	2.09±0.22 ^a
丙氨酸	0.14±0.01 ^a	0.16±0.02 ^a	DAA	1.41±0.02 ^a	1.53±0.06 ^b
缬氨酸	0.25±0.04 ^a	0.27±0.02 ^a	NEAA	2.54±0.03 ^a	2.79±0.13 ^b
甲硫氨酸	0.07±0.01 ^a	0.09±0.04 ^a	EAA/TAA	41.13	42.76
半胱氨酸	0.02±0.01 ^a	0.01±0.00 ^a	DAA/TAA	32.64	31.42
异亮氨酸	0.23±0.04 ^a	0.26±0.03 ^a	EAA/NEAA	69.86	74.70
亮氨酸	0.41±0.05 ^a	0.45±0.04 ^a			

† TAA 为氨基酸总量;EAA 为必需氨基酸总量;DAA 为呈味氨基酸;NEAA 为非必需氨基酸总量;字母不同表示差异显著,P<0.05;字母相同表示差异不显著,P>0.05。

表 3 冷藏对牦牛酸奶氨基酸营养价值的影响[†]

Table 3 Effect of refrigerated storage on the amino acids score of yak milk yogurt

氨基酸	FAO/WHO	鸡蛋	样品 A			样品 B		
			AA	AAS	CS	AA	AAS	CS
苏氨酸	4.00	4.70	3.78	0.94	0.80	4.13	1.03	0.88
缬氨酸	5.00	6.60	4.97	0.99	0.75	5.31	1.06	0.81
甲硫氨酸+半胱氨酸	3.50	5.70	1.79	0.51	0.31	1.97	0.56	0.35
异亮氨酸	4.00	5.40	4.57	1.14	0.85	5.12	1.28	0.95
亮氨酸	7.00	8.60	8.15	1.16	0.95	8.86	1.27	1.03
苯丙氨酸+酪氨酸	6.00	9.30	7.55	1.26	0.81	10.04	1.67	1.08
赖氨酸	5.50	7.00	5.37	0.98	0.77	9.06	1.65	1.29
色氨酸	1.00	1.70	0.60	0.60	0.35	0.79	0.79	0.46
EAAAs	36.00	49.00	36.78	7.59	5.60	45.28	9.31	6.84
EAAI				65.36			79.18	

† EAAAs 为必需氨基酸含量;EAAI 为必需氨基酸指数。

EAAI 指数是表明必需氨基酸与标准蛋白质相近程度的指标^[17],由表 3 可知,冷藏前后牦牛酸奶的 EAAI 分别为 65.36 和 79.18,表明冷藏可显著提高牦牛酸奶的必需氨基酸得分。

2.4 冷藏对牦牛酸奶脂肪酸种类及含量的影响

由表 4 可知,冷藏前后牦牛酸奶中分别检出 12 种脂肪酸,分别是肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸、花生酸和二十二碳 5 种饱和脂肪酸,肉豆蔻油酸、棕榈油酸、油酸和 11-二十碳一烯酸 4 种单不饱和脂肪酸,以及亚油酸、 α -亚麻酸和二十碳二烯酸 3 种多不饱和脂肪酸。从组成上看,冷藏前后牦牛酸奶中饱和和不饱和脂肪酸的种类变化不

显著(P>0.05);从含量上看,不饱和脂肪酸种类变化不显著(P>0.05),但冷藏后牦牛酸奶中不饱和脂肪酸含量显著降低(P<0.05)。表明冷藏后牦牛酸奶中的不饱和脂肪酸因发生氧化而减少。冷藏前后牦牛酸奶饱和脂肪酸含量分别为(54.86±1.44)%和(53.54±0.49)%;饱和和不饱和脂肪酸的含量分别为(22.86±0.58)%和(19.36±1.23)%;进一步表明冷藏使得牦牛酸奶的不饱和脂肪酸含量降低。对冷藏前后牦牛酸奶的脂肪酸含量和组成进行进一步分析可知,冷藏前后牦牛酸奶中 MUFA/SFA 分别为 0.38 和 0.33;PUFA/SFA 分别 0.04 和 0.03;n-6/n-3 PUFA 比值分别为 1.11 和 1.96,远低于 HMSO(UK

表 4 冷藏对牦牛酸奶脂肪酸种类和含量的影响[†]

Table 4 Effect of refrigerated storage on the composition and content of fatty acids of yak milk yogurt %

脂肪酸	样品 A	样品 B	脂肪酸	样品 A	样品 B
饱和脂肪酸 SFA	54.86±1.44	53.54±0.49	油酸 C _{18:1, n-9}	16.76±0.3 ^b	14.68±1.24 ^a
肉豆蔻酸 C _{14:0}	9.66±0.54 ^a	9.34±0.37 ^a	11-二十碳一烯酸 C _{20:1, n-11}	1.16±0.13 ^b	0.85±0.07 ^a
棕榈酸 C _{16:0}	31.59±0.59 ^a	31.68±1.01 ^a	多不饱和脂肪酸 PUFA	2.26±0.08	1.46±0.10
硬脂酸 C _{18:0}	13.13±0.38 ^a	12.33±0.86 ^a	亚油酸 C _{18:2, n-6}	1.19±0.02 ^b	0.96±0.06 ^a
花生酸 C _{20:0}	0.27±0.03 ^b	0.13±0.06 ^a	α-亚麻酸 C _{18:3, n-3}	0.68±0.05 ^b	0.30±0.01 ^a
二十二碳酸 C _{22:0}	0.21±0.02 ^b	0.06±0.03 ^a	二十碳二烯酸 C _{20:2, n-3}	0.39±0.01 ^b	0.19±0.06 ^a
不饱和脂肪酸 UFA	22.86±0.58	19.36±1.23	MUFA/SFA	0.38	0.33
单不饱和脂肪酸 MUFA	20.60±0.50	17.90±1.13	PUFA/SFA	0.04	0.03
肉豆蔻油酸 C _{14:1, n-3}	1.30±0.02 ^b	1.18±0.09 ^a	n-6/n-3	1.11	1.96
棕榈油酸 C _{16:1, n-7}	1.39±0.02 ^b	1.19±0.15 ^a	总脂肪酸	77.72±2.02	72.90±1.16

† 字母不同表示差异显著, P<0.05; 字母相同表示差异不显著, P>0.05。

Department of Health) 和中国推荐的人类食品中 $n-6/n-3$ PUFA 比值最大安全上限 4.0^[18]。综合来看, 冷藏使牦牛酸奶中的不饱和脂肪酸含量降低, 但冷藏后牦牛酸奶的营养价值未发生显著的变化, 仍具有较高的营养价值。

2.5 挥发性物质

由表 5、6 可知, 通过 GC-MS 分析, 从冷藏前后牦牛酸奶中分别鉴定出 14、43 种挥发性物质。其中, 冷藏后

牦牛酸奶中的醇类、酸类、酯类、烷烃类物质与冷藏前相比, 在数量和相对含量上均显著增加; 而烯类、醛类、酮类含量显著减少。

冷藏期间牦牛酸奶中的乳酸菌, 以及环境中的酵母菌、醋酸菌等菌种也会作用于牦牛酸奶, 并产生相应的物质^[19-20]。从表 5、6 中可以看出, 冷藏前牦牛酸奶中的醇类物质只有 1 种, 而经过 7 d 冷藏后醇类物质变成了

表 5 冷藏对牦牛酸奶挥发性物质的影响

Table 5 Contents of volatile substances of yak milk during fermentation

种类	保留时间/min	物质名称	相对含量/%	
			样品 A	样品 B
醇类	22.48	2-乙基-1-己醇		0.26±0.05
	32.79	十一醇		0.52±0.04
	44.82	十五醇		0.14±0.04
	47.87	3,7,11-三甲基-十二醇	1.12±0.09	0.52±0.03
	7.51	苯乙烯		0.31±0.02
	15.53	4-乙烯基-1,4-二甲基-环己烯		0.24±0.05
	41.76	丁子香烯		0.27±0.05
	48.56	3,7,11,15-四甲基-2-十六烯	1.58±0.13	0.80±0.06
	48.92	新植二烯		0.31±0.07
	57.31	角鲨烯	50.59±1.28	1.44±0.07
	10.12	己酸		1.02±0.09
	25.29	辛酸	6.94±0.08	3.83±0.13
	25.64	丙基丙酸		13.95±0.14
	35.05	9-癸酸		0.45±0.06
酸类	38.49	十一酸	10.85±0.75	15.60±0.38
	40.25	苯甲酸	12.94±0.53	32.78±1.16
	41.95	十三酸	2.16±0.07	0.77±0.04
	44.28	十四酸		4.70±0.18
	47.23	十六酸		1.00±0.04
	49.48	十八酸		0.66±0.06

续表 5

种类	保留时间/min	物质名称	相对含量/%	
			样品 A	样品 B
醛类	17.18	苯甲醛		0.29±0.04
	18.49	壬醛	1.48±0.08	0.37±0.04
	33.49	十二醛	2.20±0.16	0.73±0.08
	38.50	2,6-十二碳二烯醛	0.99±0.10	
	41.62	2-十四碳烯醛	2.63±0.20	
	41.64	2,4-癸二烯醛		0.38±0.07
	43.63	5-羟基甲基糠醛		1.09±0.05
酯类	16.71	4-甲基-戊酸乙酯		0.51±0.03
	28.93	己酸乙烯酯		0.62±0.09
	31.48	辛酸乙酯		0.69±0.02
	34.76	甲基氨基甲酸-3-甲基苯基酯		0.15±0.04
	36.30	2-乙基-丁酸-2-甲基丙酯		0.63±0.08
	51.43	棕榈酸异丙酯		1.36±0.11
	0.45	3-羟基-2-丁酮	3.93±0.04	
酮类	18.25	3,5-二甲基-环己酮		0.52±0.05
	35.25	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮		0.39±0.06
	36.71	3,5-二羟基-2-甲基-4H-吡喃-4-酮		0.36±0.06
	45.06	2-十五酮		0.17±0.05
	45.73	2,6-二(1,1-二甲基乙基)-4-羟基-4-甲基-2,5-环己二烯-1-酮	1.90±0.02	
	46.97	四氢-6-辛基-2H-吡喃-2-酮		0.79±0.06
	27.29	癸烷		0.62±0.04
烷烃类	43.20	十五烷	1.93±0.04	0.83±0.05
	45.19	十七烷		0.34±0.04
	46.69	十八烷		0.52±0.06
	55.48	2,2-二(P-乙酸苯酚基)丙烷		1.14±0.07
酰胺类	1.04	甲酰胺		6.21±0.17
其他	23.22	甲氧基-苯基-肟		1.24±0.08

表 6 冷藏前后牦牛酸奶中挥发性物质种类及含量的比较

Table 6 Comparison of volatile substances variety and relative content of yak milk during fermentation

种类	样品 A		样品 B	
	数量	含量/%	数量	含量/%
醇类	1	1.12±0.09	4	1.44±0.07
烯类	2	52.18±1.36	6	3.37±0.27
酸类	4	32.90±0.90	10	74.77±1.11
醛类	4	7.30±0.12	5	2.86±0.15
酯类	0	0.00±0.00	6	3.96±0.31
酮类	2	5.83±0.06	5	2.23±0.24
烷烃类	1	1.93±0.04	5	3.46±0.23
酰胺类	0	0.00±0.00	1	6.21±0.17
其他	0	0.00±0.00	1	1.24±0.08
合计	14	101.24±0.70	39	99.53±2.30

4 种,但其相对含量变化不大,分析认为牦牛酸奶发酵过程中未在严格的无菌环境中,环境中的酵母菌混入,使得牦牛酸奶中产生了醇类物质,这些醇类物质有利于牦牛酸奶中酯类物质的形成。烯类物质是一类不饱和物质,冷藏前牦牛酸奶中含有 2 种,51.07%的烯类物质,而冷藏后含有 6 种,3.06%的烯类物质,表明冷藏后烯类物质相对含量大幅度减少,可能是由于冷藏环境中的氧气使烯类物质发生了氧化反应变成酸、醛、酮类物质。酸类物质冷藏后的种类为 10 种,相对含量 74.4%,远高于冷藏前的 4 种,33.31%,表明牦牛酸奶在冷藏期间酸性物质大量积累,分析认为可能是醋酸菌等产酸性菌种作用于牦牛酸奶的结果,此外醇类、醛类、酮类等物质的氧化也会使冷藏后牦牛酸奶中的酸性物质含量增加;在挥发性物质的检测中,未检测到乳酸、乙酸、丁酸等酸性物质,分析认为这些酸性物质与牦牛奶中的蛋白结合使牦牛奶凝固,

还与醇类或醛类物质结合形成酯类物质使牦牛酸奶产生特殊的风味,从而使其相对含量减少;试验选用的是凝固后的酸奶和冷藏7 d后的酸奶样品,凝固后的酸奶中酸性物质主要与牦牛奶中的蛋白质结合使其含量减少,冷藏7 d后的酸奶中酸性物质与醇类物质发生酯化反应形成特殊风味物质而使其含量减少;所以在挥发性风味物质中未检测出乳酸、乙酸、丁酸等分子量较小的酸性物质,主要是分子量较大的酸性物质。冷藏后牦牛酸奶中的醛类物质含量减少,可能是因氧化形成了酸性物质。酯类是由醇类和酸类物质因酯化反应而生成的一类具有特殊风味的物质,冷藏后牦牛酸奶中的酯类物质为6种,相对含量3.66%,表明适度的冷藏有利于牦牛酸奶特殊风味物质的形成。牦牛酸奶冷藏后酮类物质种类增加而含量减少,可能是因氧化反应降低了其相对含量。牦牛酸奶中的烷烃类物质在冷藏后的含量和种类均显著增加,可能是由于烯醇类物质氧化造成的。

综合来看,冷藏使得牦牛酸奶中的风味物质种类增加,尤其是酯类物质含量增加,有利于牦牛酸奶风味的形成。同时,在冷藏期间也使得酸性、烷烃物质含量增加,表明适度的冷藏有利于其风味物质的形成但长时间的冷藏不利于牦牛酸奶感官品质的保持。

3 结论

冷藏对牦牛酸奶中的蛋白质、脂肪、乳糖、水分等常规营养成分无显著影响;但在一定程度上促进了牦牛酸奶中蛋白质的降解和风味物质的形成;同时,使得牦牛酸奶中不饱和脂肪酸的相对含量降低。综合来看,冷藏有利于牦牛酸奶营养成分和挥发性物质的形成,并且适度冷藏利于其营养价值和挥发性物质的保持。研究结果证实了牦牛酸奶经过7 d冷藏,营养品质未发生显著变化;然而,对于牦牛酸奶冷藏期间哪些微生物和酶促进了蛋白质的降解和不饱和脂肪酸的氧化未作深入研究,这将是下一步研究的重点和方向。

参考文献

[1] 曹兵海. 2015年肉牛牦牛产业发展趋势与政策建议[J]. 中国牛业科学, 2015, 41(1): 1-5.

[2] 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(4): 794-796.

[3] SALVADOR A, FISZMAN S M. Textural and sensory characteristics of whole and skimmed flavored set-type yogurt during long storage[J]. Journal of Dairy Science, 2004, 87(12): 4 033-4 041.

[4] AYENI F A, SANCHEZ B, ADENIYI B A, et al. Evaluation of the functional potential of *Weissella* and *Lactobacillus* isolates obtained from Nigerian traditional fermented

foods and cow's intestine[J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 147(2): 97-104.

[5] 陈明, 柯文灿, 张娟, 等. 青藏高原牦牛酸奶中具有抗氧化活性乳酸菌的体内外益生特性[J]. 食品科学, 2017, 38(23): 178-183.

[6] 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): 379-384.

[7] 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): 1 617-1 619.

[8] 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): 1 262-1 270.

[9] 丁武蓉. 青藏高原传统发酵牦牛奶中乳酸菌多样性及其益生功能研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2014: 25-28.

[10] 李升升, 靳义超. 基于标准化法评估的牦牛酸奶加工工艺[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(3): 297-302.

[11] 陈娟, 李健, 唐俊妮, 等. 川西高原牧区传统发酵牦牛酸奶挥发性风味成分的分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(14): 59-62.

[12] 李升升, 余群力. 牦牛骨骼肌、平滑肌和心肌氨基酸和脂肪酸组成分析及营养评价[J]. 营养学报, 2018, 40(2): 194-196.

[13] CHENG He-fa. Volatile flavor compounds in yogurt: A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2010, 50(10): 938-950.

[14] 朱羽庄, 梅光明, 严忠雍, 等. 舟山小黄鱼的营养成分测定与分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(5): 1 184-1 190.

[15] 梁亚丽, 秦礼康, 王何柱, 等. 红托竹荪及竹荪蛋各部位主要营养成分成分分析[J]. 食品与机械, 2020, 36(4): 72-77.

[16] 伍金华, 蔡春, 江黎明, 等. 3种国产牛奶中脂肪酸营养价值分析[J]. 中国公共卫生, 2006(12): 1 491-1 492.

[17] 周虹, 罗玲, 郭灵安, 等. 烟叶样品中18种氨基酸的微波水解分析方法研究[J]. 西南农业学报, 2014, 27(6): 2 629-2 634.

[18] BOURGEOIS P L, PASSERINI D, LAROUTE V, et al. New insights into *Lactococcus lactis* diacetyl and acetoin-producing strains isolated from diverse origins[J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 160(3): 329-336.

[19] 徐怀德, 李升升, 李钰金. 洋葱酒、醋抗氧化能力比较及其香气物质分析[J]. 中国食品学报, 2011, 11(5): 189-195.

[20] ROUTRAY W, MISHRA H N. Scientific and technical aspects of yogurt aroma and taste: A review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2011, 10(4): 208-220.