

网络出版时间:2016-10-09 10:08 DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2016.11.021
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20161009.1008.042.html

牛羊乳热处理蛋白质变性程度比较及机理分析

李林强¹,朱莉莉¹,万 威¹,王 亮¹,田苏辉²,田万强³

(1 陕西师范大学 食品工程与营养科学学院,陕西 西安 710119;2 西安宏兴乳业公司,陕西 临潼 710600;

3 杨凌职业技术学院 动物工程分院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】比较牛、羊乳热处理后蛋白质变性程度,探讨牛、羊乳蛋白质热稳定性差异机理。【方法】采用离心沉淀法、全自动色差仪和 SDS-PAGE 电泳法,以未热处理的常温(18~20 ℃)牛、羊乳为对照,测定不同温度(95,121 ℃)处理 15 min 后牛、羊乳蛋白质沉淀率、红值(a^*)和酪蛋白的组成;并采用考马斯亮蓝法、菲林试剂法和激光粒度仪测定牛羊鲜乳蛋白质、还原糖质量浓度及蛋白质粒度大小。【结果】羊乳蛋白质沉淀率显著高于牛乳($P<0.05$),牛乳酪蛋白的红值显著高于羊乳($P<0.05$),牛、羊乳酪蛋白主要均为 β -酪蛋白和 $\alpha s1$ -酪蛋白 2 种,分子质量分别约为 34 和 26 ku;羊乳蛋白质质量浓度((37.67 ± 1.67) g/L)显著高于牛乳((20.33 ± 1.20) g/L)($P<0.05$),还原糖质量浓度((421.77 ± 10.17) mg/L)显著低于牛乳((525.67 ± 14.98) mg/L)($P<0.05$);牛乳蛋白质粒度大小主要集中在 1 nm 以下,羊乳蛋白质粒度只有少部分在 1 nm 以下,主要分布于 1~1 000 nm。【结论】牛、羊乳蛋白质粒度和还原糖质量浓度分别是影响其蛋白质沉淀率和羰氨反应程度大小的主要因素。

【关键词】 牛乳;羊乳;蛋白质;热变性;变性机理

【中图分类号】 TS252.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2016)11-0149-06

Comparison and mechanism analysis of protein thermal denaturation degree of cow milk and goat milk

LI Linqiang¹, ZHU Lili¹, WAN Wei¹, WANG Liang¹, TIAN Suhui², TIAN Wanqiang³

(1 College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119, China;

2 Xi'an Hongxing Dairy Company, Lintong, Shaanxi 710600, China; 3 Animal Engineering Department,

Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 Thermal denaturation degree of protein from cow milk and goat milk was compared to investigate mechanisms in thermal stability of protein. 【Method】 Protein precipitation rate, redness value (a^*), and casein composition of cow milk and goat milk after 15 min treatment with different temperatures (95 ℃ and 121 ℃) were analyzed using centrifugal sedimentation method, full automatic colorimeter, and SDS-PAGE. Fresh cow milk and goat milk at room temperature of 18—20 ℃ were used as control. Protein content, reduced sugar content, and size of protein particle from fresh cow milk and goat milk were measured by Kaumas coomassie brilliant blue method, Fehling reagent method, and laser particle size analyzer, respectively. 【Result】 Precipitation rate of goat milk was significantly higher than that of cow milk ($P<0.05$), while a^* of cow milk was significantly higher than that of goat milk ($P<0.05$). Both cow milk and goat milk mainly had β -CN and $\alpha s1$ -CN, with molecular weights of 34 and 26 ku, respectively. The protein content of goat milk ((37.67 ± 1.67) g/L) was significantly higher than that of cow milk ((20.33 ± 1.20) g/L) ($P<0.05$), while the content of reduced sugar of goat milk ((421.77 ± 10.17) mg/L) was signifi-

【收稿日期】 2015-05-08

【基金项目】 陕西省农业科技创新与攻关项目(2016NY-212)

【作者简介】 李林强(1971—),男,陕西扶风人,副教授,博士,主要从事畜产品及功能食品研究。E-mail: lilingq@snnu.edu.cn

cantly lower than that of cow milk (525.67 ± 14.98) mg/L ($P < 0.05$). Particles of cow milk protein were mainly in 1 nm or less, while that of goat milk protein mainly distributed in 1—1 000 nm. 【Conclusion】 Particle size of milk protein and reduced sugar content were the main factors affecting protein precipitation rate and maillard reaction, respectively.

Key words: cow milk; goat milk; protein; thermal denaturation; denaturation mechanism

乳及乳制品是人们摄取动物性蛋白的重要来源,其中液态乳是其中消费量最大的一种,主要包括巴氏杀菌乳和常温奶(UHT 乳)2 类,而以 UHT 牛乳最为普遍,其保质期达 6 个月,但其在货架期会出现蛋白沉淀现象^[1],引起消费者的安全顾虑。现代营养科学证明,羊乳具有和母乳更为接近的营养组成^[2],生产实践证明羊乳热处理后蛋白质沉淀现象较为严重,成为液态羊乳生产的技术瓶颈,因此市场上羊乳产品主要以羊奶粉为主,产品单一,影响其消费量的增加和奶山羊产业的发展。

影响乳热稳定性的因素有酸度^[3-4]、pH 值^[5]、酪蛋白组成^[6-7]、乳清蛋白和酪蛋白的相互作用^[8-9]、热处理温度^[10-14]等,其中热处理是最为重要的影响因素。常规热处理对乳品体系沉淀率影响不大^[15-16],但高温处理对蛋白质稳定性的影响是目前工业生产一直存在的问题,特别是羊乳热稳定性更为脆弱。沉淀和色变是衡量蛋白质稳定性的重要指标^[17-19],目前尚缺乏对二者的定量研究及机理分析。为此,本研究主要探讨不同热处理对牛、羊乳蛋白质变性指标沉淀率和色值的影响,并分析热处理后牛、羊乳相关理化特征指标的变化,以期揭示牛、羊乳热变性机理,丰富牛、羊乳稳定性研究理论,进而为牛、羊乳稳定性热加工技术参数的确定提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

牛、羊乳分别采自于西北农林科技大学畜牧站荷斯坦牛和萨能奶山羊。

1.2 试 剂

硫酸铜、酒石酸钾钠、氢氧化钠、亚铁氰化钾、乙酸锌、葡萄糖,成都金山化学试剂有限公司产品;牛血清蛋白,上海永叶生物科技有限公司产品;考马斯亮蓝 G-250、蛋白 Mark, Fermentas 公司产品;干酪素,北京奥博星生物技术有限责任公司产品;三羟甲基氨基甲烷(Tris)、硝酸银、丙烯酰胺、十二烷基硫酸钠(SDS)、TEMED、甘氨酸、甘油、 β -巯基乙醇、溴酚蓝、盐酸、考马斯亮蓝 R250、氯化钠、三氯乙酸、戊二醛、碳酸钠、甲醛、柠檬酸、醋酸钠、氢氧化钠、醋

酸、体积分数 95%乙醇、乙醚,均为分析纯。

1.3 主要仪器

台式离心机 800B,上海安亭科学仪器厂;全自动色差计(SC-80C),北京康光光学仪器有限公司;722 型可见分光光度计,上海光谱仪器有限公司;电泳系统(PowerPac™ Universal),美国 Bio-rad;凝胶成像系统(Universal Hood II, XRS),美国 Bio-rad;激光粒度分析仪(MS2000),英国马尔文仪器公司。

1.4 方 法

1.4.1 蛋白质沉淀率的测定 牛、羊乳于 95, 121 °C 各处理 15 min,冷却至 2~4 °C 保存 60 h,每隔 12 h 取样液,400×g 离心 15 min,倾出上清液,称量沉淀蛋白的质量,每次平行测定 3 个样品,共测定 5 次,同时设置未热处理常温(18~20 °C)牛、羊乳为对照。按下式计算蛋白质沉淀率:

$$W = (m_1 / m) \times 100\%$$

式中:W 为蛋白质沉淀率,%; m_1 为沉淀蛋白质量,g; m 为样液质量,g。

1.4.2 酪蛋白提取及其红值测定 取常温、95 °C 加热 15 min 和 121 °C 加热 15 min 的牛、羊乳各 30 mL,200×g 离心 5 min,弃去上层脂肪;下层液体加入等体积 0.2 mol/mL 醋酸-醋酸钠缓冲液(pH 4.6),摇匀,加热至 40 °C,然后冷却至室温,放置 5 min,200×g 离心 5 min 倾出上层液体,沉淀物用蒸馏水洗涤,200×g 离心 5 min,重复洗涤 3 次,所得沉淀物即为粗酪蛋白。将粗酪蛋白置于 30 mL 体积分数 95%乙醇中洗涤 2 次,200×g 离心 5 min,再用乙醚洗涤 2 次,抽滤,将所得沉淀物摊开在表面皿上,使乙醚完全挥发,所得沉淀物即为酪蛋白。相机拍照,并利用全自动色差仪测定其红值(a^*)。

1.4.3 酪蛋白组成的 SDS-PAGE 分析 取酪蛋白 1 mg 溶于 1 mL 样品缓冲液中,沸水煮 5 min。配制质量分数 12%分离胶加入凝胶板中,凝固 40 min,加入质量分数 3%浓缩胶,凝固 40 min,在加样孔中加入样品 10 μ L,开始电泳,80 V 恒压 40 min,然后 100 V 恒压 2.5 h,停止电泳;体积分数 20%三氯乙酸浸泡凝胶板 8 h,150 mL 去离子水充分洗涤凝胶板 20 min,重复洗涤 3 次;体积分数 1%戊二醛

溶液 150 mL 避光浸泡凝胶板 6 h,去离子水洗涤 10 min,重复洗涤 3 次;氨银染液 100 mL 避光染色 20 min;去离子水 150 mL 洗涤凝胶表面 2 次,每次 1 min。加入显色液至显色清晰后弃去显色液,去离子水洗涤 2 次,每次 1 min,加入终止显色液终止显色,凝胶成像系统照相。

1.4.4 蛋白质质量浓度的测定 采用考马斯亮蓝法。用 0.15 mol/L NaCl 溶液配制 1 mL 质量浓度为 1 mg/mL 的标准牛血清蛋白溶液;称取 100 mg 考马斯亮蓝 G-250 溶于 50 mL 体积分数 95%乙醇中,加入 100 mL 850 g/L 磷酸,用蒸馏水定容至 1 000 mL,滤纸过滤并装入棕色瓶中保存。最终试剂中含 0.1 g/L 考马斯亮蓝 G-250、体积分数 4.7%乙醇、85 g/L 磷酸。以标准蛋白质质量浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线,根据标准曲线计算样液中蛋白质质量浓度。

1.4.5 还原糖质量浓度的测定 取牛、羊乳各 30 mL,加蒸馏水 50 mL,慢慢加入 5 mL 乙酸锌溶液(219 g/L 乙酸锌,30 mL/L 冰乙酸)和 5 mL 亚铁氰化钾(106 g/L)溶液,定容至 150 mL,静置 30 min,过滤,滤液备用;取碱性酒石酸铜甲液(15 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 及 0.05 g 次甲基蓝溶于 1 000 mL 水中)、乙液(50 g 酒石酸钾钠及 75 g 氢氧化钠溶于水中,加入 4 g 亚铁氰化钾,充分溶解后,用水稀释至 1 000 mL)各 5 mL,置于 150 mL 锥形瓶中,加蒸馏水 10 mL,然后加入玻璃珠 2 粒,2 min 内加热至沸,滴加试样溶液,并保持溶液沸腾状态,以每 2 s

1 滴的速度滴定至溶液蓝色刚好褪去为终点,记录消耗样液体积,每次平行测定 3 次,根据样液消耗体积计算还原糖质量浓度,计算公式为:

$$W=\frac{C\times V_1\times V}{V_2\times V_3\times 1\,000}\times 100。$$

式中: W 为试样中还原糖质量浓度,mg/L; C 为葡萄糖标准溶液的质量浓度,mg/mL; V_1 为滴定 10 mL 费林试剂消耗葡萄糖标准溶液的体积,mL; V_2 为滴定时平均消耗样品溶液的体积,mL; V_3 为样品体积,mL; V 为样品定容体积,mL。

1.4.6 粒度的测定 各取 50 mL 牛、羊乳加入等体积乙醚,静置 10 min,1 200× g 离心 15 min,倾去上层脂肪,用激光粒度分析仪测定粒度。

1.5 数据处理

运用 SPSS 软件进行数据处理,结果以“平均值±标准差($\bar{X}\pm SD$)”表示。

2 结果与分析

2.1 不同温度处理后牛、羊乳蛋白质沉淀率的变化

图 1 表明,不同处理温度和贮存时间对牛乳蛋白质沉淀率虽有一定程度影响,但影响均不显著($P>0.05$)。由图 2 可见,贮存时间对羊乳蛋白质沉淀率无显著影响($P>0.05$),但温度则不同,随着处理温度升高羊乳蛋白质沉淀率显著增加($P<0.05$)。图 1 和图 2 结果比较表明,羊乳的热稳定性低于牛乳。

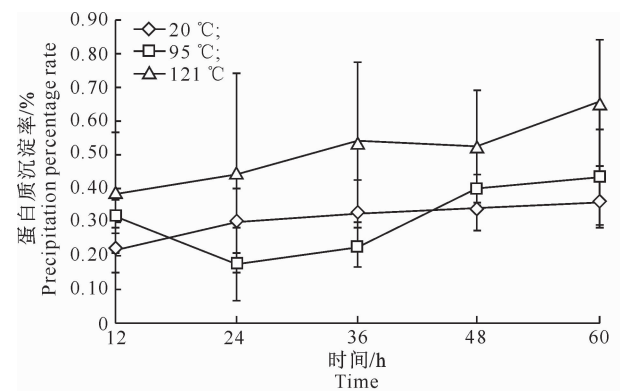


图 1 不同温度处理后牛乳蛋白质沉淀率的动态变化
Fig. 1 Dynamic changes of cow milk protein precipitation rate after heat treatment

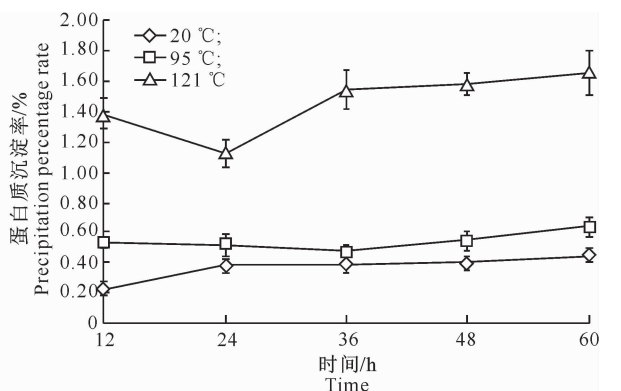
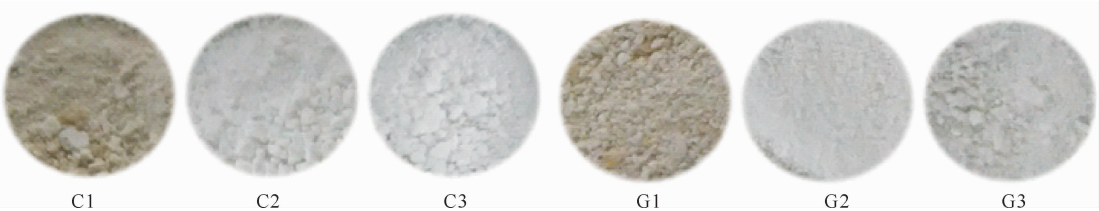


图 2 不同温度处理后羊乳蛋白质沉淀率的动态变化
Fig. 2 Dynamic changes of goat milk protein precipitation rate after heat treatment

2.2 不同温度处理后牛、羊乳酪蛋白颜色的变化

由图 3 可见,121 °C 处理的牛、羊乳酪蛋白明显呈红褐色。由图 4 可见,随着处理温度的提高,牛、羊乳酪蛋白的红值均显著增加($P<0.05$),但牛乳

酪蛋白的红值显著高于羊乳($P<0.05$)。该结果表明,牛、羊乳在热处理的过程中均发生一定程度的羰氨反应,牛乳发生羰氨反应的程度高于羊乳,表明牛、羊乳蛋白质和还原性糖的质量浓度有一定的差异。



C1~C3,G1~G3 分别为牛、羊乳于 121,95,20 °C 处理的酪蛋白
C1—C3 are casein from cow milk treated at 121,95,and 20 °C ,and G1—G3 are from goat milk

图 3 不同温度处理后牛、羊乳酪蛋白颜色的变化

Fig. 3 Color changes of casein from cow milk and goat milk treated at different temperatures

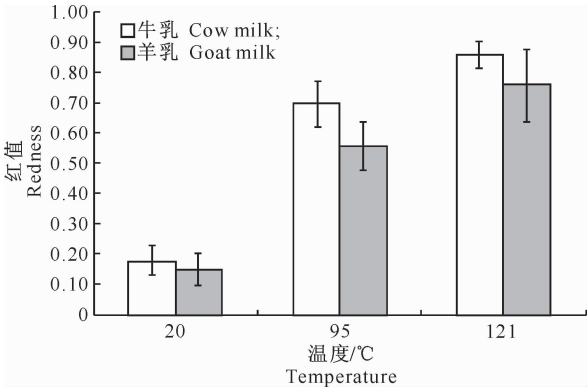


图 4 不同温度处理对牛、羊乳酪蛋白红值变化的影响
Fig. 4 Influence of different treatment temperatures on casein redness of goat milk and cow milk

2.3 牛、羊乳酪蛋白的 SDS-PAGE 分析

由图 5 可见,牛、羊乳酪蛋白主要有 β -酪蛋白和 α s1-酪蛋白 2 种蛋白,依据标准蛋白 Mark, β -酪蛋白和 α s1-酪蛋白的分子质量分别约为 34 和 26 ku,表明热处理对牛、羊乳酪蛋白分子大小影响不大。

2.4 牛、羊乳蛋白质和还原糖的质量浓度

图 6 表明,羊乳蛋白质质量浓度(37.67 ± 1.67) g/L 显著高于牛乳(20.33 ± 1.20) g/L($P < 0.05$),

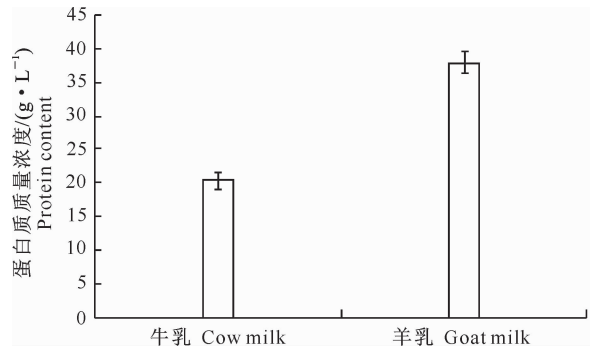
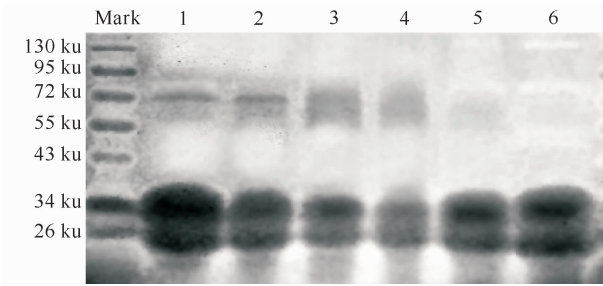


图 6 牛、羊乳蛋白质质量浓度的比较
Fig. 6 Comparison of protein contents of cow milk and goat milk

2.5 不同温度处理对牛、羊乳蛋白质粒度的影响

由图 8 和 9 可见,牛乳蛋白粒度大小主要集中在

该结果与文献[20]所得的牛、羊乳蛋白质含量的结果一致。图 7 表明,牛乳还原糖质量浓度(525.67 ± 14.98) mg/L 显著高于羊乳还原糖质量浓度(421.77 ± 10.17) mg/L($P < 0.05$),这与文献[21]的研究结果一致。



条带 1~3 依次为 20,95,121 °C 处理的牛乳酪蛋白,
6~4 依次为相同处理的羊乳酪蛋白

Band 1,2,and 3 are casein from bovine milk treated at 20,95,and 121 °C ,and 6,5 and 4 are from goat milk

图 5 不同温度处理牛、羊乳酪蛋白的 SDS-PAGE 分析
Fig. 5 SDS-PAGE analysis of casein from cow milk and goat milk treated at 20,95,and 121 °C

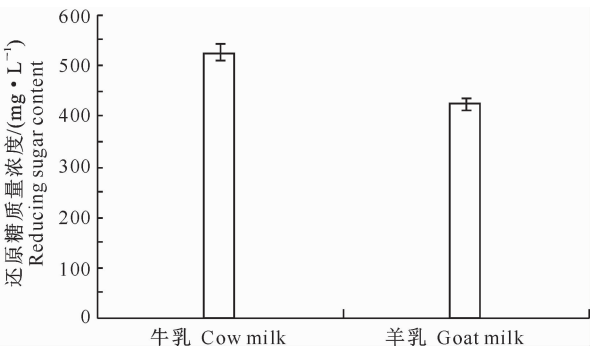


图 7 牛、羊乳还原糖质量浓度的比较
Fig. 7 Comparison of reduced sugar contents of goat milk and cow milk

在 1 nm 以下,而羊乳蛋白粒度只有少部分在 1 nm 以下,主要分布在 10~1 000 nm,其中以 100 nm 左

右最多。该结果表明羊乳蛋白粒度大于牛乳。

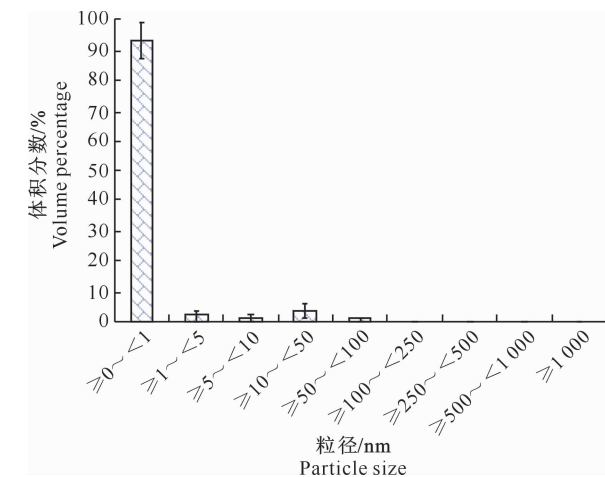


图 8 牛乳蛋白粒径的分布

Fig. 8 Particle size range of protein from cow milk

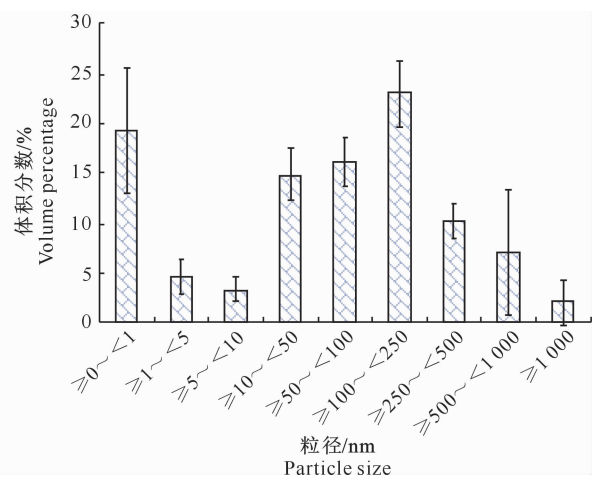


图 9 羊乳蛋白粒径的分布

Fig. 9 Particle size range of protein from goat milk

3 讨论

3.1 蛋白质和还原糖含量对羰氨反应的影响

羰氨反应的发生与乳中含有的蛋白质和还原糖有关,同时也受温度的影响,温度越高,羰氨反应越剧烈,红值越高^[17-19]。本研究结果也表明,随着热处理温度的升高,牛、羊乳红值均显著增加($P < 0.05$)。这是由于乳糖在 100 ℃ 以上的温度条件下可降解产生还原性的葡萄糖,其与蛋白质发生羰氨反应,羟甲基糠醛是羰氨反应的一种中间产物,而且加热时间越长,褐变就越严重^[22]。本研究表明,牛乳蛋白质含量低于羊乳,而发生羰氨反应的程度却高于羊乳,结合还原糖质量浓度测定结果表明,乳糖降解产生葡萄糖的多少是引起羰氨反应程度大小的主要原因。

3.2 蛋白结构对牛、羊乳稳定性的影响

本研究表明,牛、羊乳酪蛋白均主要含有 β -酪蛋白和 $\alpha s1$ -酪蛋白 2 种蛋白,这与 Bramanti 等^[23]、Crudden 等^[24] 和 Veloso 等^[25] 的研究结果一致,表明热处理对牛、羊乳酪蛋白分子量影响较小。章宇斌^[26]、李子超等^[27-28] 研究表明,热处理后乳酪蛋白二级结构 α -螺旋、 β -转角和 β -折叠数目均发生明显变化,牛、羊乳酪蛋白胶束结构有很大差异。上述结果提示,牛、羊乳热变性可能是由于其酪蛋白结构发生变化所致,但是牛、羊乳酪蛋白热处理结构的差异是基于二者本身结构的异同,还是仅仅由于热变性所致,尚待进一步研究。

本研究表明,牛乳蛋白粒度大小主要集中在 1 nm 以下。李子超等^[27] 采用纳米粒度仪对酪蛋白粒

径的测量结果表明,巴氏杀菌牛乳蛋白粒度集中分布于 105.7~1 106.0 nm, UHT 牛乳中粒径为 105.7~164.2 nm 和 255.0~458.7 nm,蛋白含量分别占 58.8% 和 41.1%,这与本研究牛乳粒度分析结果有一定的差异,可能是由于测定乳样是否进行加热和脱脂所致。综上所述表明,热处理后牛乳蛋白质粒度有所增大。本研究结果表明,羊乳蛋白粒度大于牛乳,而且羊乳在 121 ℃ 处理后可明显观察到沉淀,表明羊乳热稳定性较差。该结果显示,牛、羊乳蛋白质粒度大小是牛、羊乳热稳定性差异的直接影响因素。

4 结论

牛乳蛋白热稳定性显著高于羊乳($P < 0.05$),羊乳蛋白质粒度远大于牛乳,二者酪蛋白主要由 β -酪蛋白和 $\alpha s1$ -酪蛋白 2 种蛋白组成,其分子质量分别约为 34 和 26 ku,热处理对二者的分子质量影响不大,牛、羊乳蛋白质粒度大小是影响其稳定性的主要因素;牛乳热处理发生羰氨反应的程度显著大于羊乳($P < 0.05$),牛乳还原糖质量浓度(525.67 ± 14.98) mg/L 显著高于羊乳(421.77 ± 10.17) mg/L($P < 0.05$),羊乳蛋白质质量浓度(37.67 ± 1.67) g/L 显著高于牛乳(20.33 ± 1.20) g/L($P < 0.05$),还原糖质量浓度是影响羰氨反应程度大小的主要因素。

[参考文献]

- [1] 李林强,田万强,咎林森.超高温灭菌乳货架期理化特性变化及超滤对其品质稳定性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(5):185-189.

- Li L Q, Tian W Q, Zan L S. Studies on physicochemical properties change of ultra-high temperature sterilization milk during shelf-life and role of ultrafiltration on its quality stability [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2011, 39 (5): 185-189.
- [2] 田万强, 林清, 李林强, 等. 中国奶山羊产业发展现状和趋势 [J]. 家畜生态学报, 2014, 35(10): 80-84.
- Tian W Q, Lin Q, Li L Q, et al. Development status and trend of dairy goat industry in China [J]. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2014, 35(10): 80-84.
- [3] 赵正涛, 李全阳, 赵红玲, 等. 酪蛋白在不同 pH 值下特性的研究 [J]. 乳业科学与技术, 2009(1): 26-29.
- Zhao Z T, Li Q Y, Zhao H L, et al. Research on the characteristic of caseins at different pH [J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2009(1): 26-29.
- [4] 乔星, 张富新, 乌素, 等. 羊奶热稳定因素的研究 [J]. 农产品加工(学刊), 2012(1): 46-48.
- Qiao X, Zhang F X, Wu S, et al. Heat stability factors of goat's milk [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2012(1): 46-48.
- [5] 赵丽丽. 羊乳热稳定性及凝胶特性的研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2014: 27-41.
- Zhao L L. Study on heat stability and coagulation properties goat's milk [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014: 27-41.
- [6] Tziboula A. Casein diversity in caprine milk and its relation to technological properties; heat stability [J]. International Journal of Dairy Technology, 1997, 50(4): 134-138.
- [7] Horne D S, Muir D D. Alcohol and heat stability of milk protein [J]. Journal of Dairy Science, 1990, 73(12): 3613-3626.
- [8] Morgan F, Micault S, Fauquant J. Combined effect of whey protein and α s1-casein genotype on the heat stability of goat milk [J]. International Journal of Dairy Technology, 2001, 54 (2): 64-68.
- [9] Laurence D, Fanny G. Formation and properties of the whey protein/ κ -casein complexes in heated skim milk: a review [J]. Dairy Science Technology, 2009, 89(1): 3-29.
- [10] Harjinder S. Heat stability of milk [J]. International Journal of Dairy Technology, 2004, 57(2/3): 111-120.
- [11] 周洁瑾, 张列兵, 梁建芬. 加热及贮藏对牛乳脂肪及蛋白聚集影响的研究 [J]. 食品科技, 2010, 35(5): 72-76.
- Zhou J J, Zhang L B, Liang J F. Effect of heating and storage on aggregation of fat globule and protein in milk [J]. Food Science and Technology, 2010, 35(5): 72-76.
- [12] Heilig A, Celik A, Hinrichs J. Suitability of Dahlem Cashmere goat milk towards pasteurisation, ultrapasteurisation and UHT-heating with regard to sensory properties and storage stability [J]. Small Ruminant Research, 2008, 78 (1/2/3): 152-161.
- [13] Elfagm A A, Wheelock J V. Heat interactions between α -lactalbumin, β -lactoglobulin and casein in bovine milk [J]. Journal of Dairy Science, 1978, 61(2): 159-163.
- [14] Haque Z K, John E. Interaction between heated κ -casein and β -lactoglobulin: predominance of hydrophobic interactions in the initial stages of complex formation [J]. Journal of Dairy Research, 1988, 55(1): 67-80.
- [15] Garrett J M, Stairs R A, Annett R G. Thermal denaturation and coagulation of whey proteins: effect of sugars [J]. Journal of Dairy Science, 1988, 71(1): 10-16.
- [16] Needs E C, Capellas M, Bland A P, et al. Comparison of heat and pressure treatments of skim milk, fortified with whey protein concentrate, for set yogurt preparation: effects on milk proteins and gel structure [J]. Journal of Dairy Research, 2000, 67(3): 329-348.
- [17] 韩清波, 刘晶. 酪蛋白胶束结构及其对牛乳稳定性的影响 [J]. 中国乳品工业, 2007, 35(2): 43-44.
- Han Q B, Liu J. Casein micelle structure and its effects on the stability of milk [J]. China Dairy Industry, 2007, 35(2): 43-44.
- [18] 吴惠玲, 王志强, 韩春, 等. 影响美拉德反应的几种因素研究 [J]. 现代食品科技, 2010, 26(5): 440-444.
- Wu H L, Wang Z Q, Han C, et al. Factors affecting the maillard reaction [J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(5): 440-444.
- [19] 骆承庠. 喝牛奶还是喝巴氏杀菌奶比较好 [J]. 中国乳业, 2003(3): 26-28.
- Luo C X. Drink pasteurized milk is more better [J]. China Dairy, 2003(3): 26-28.
- [20] Silanikove N, Leitner G, Merin U, et al. Recent advances in exploiting goat's milk: quality, safety and production aspects [J]. Small Ruminant Research, 2010, 89(2/3): 110-124.
- [21] 张歌. 牛乳和羊乳蛋白质差异比较及检测方法的研究 [D]. 西安: 陕西科技大学, 2013: 17-18.
- Zhang G. Detection methods and comparison on protein difference of cow and goat milk [D]. Xi'an: Shaanxi University of Science & Technology, 2013: 17-18.
- [22] 中华人民共和国商业部教材编审委员会. 烹饪化学 [M]. 北京: 中国商业出版社, 1990: 136-148.
- Textbook compilation committee ministry of commerce of the People's Republic of China. Cuisine chemistry [M]. Beijing: China Commercial Press, 1990: 136-148.
- [23] Bramanti E, Sortino C, Onor M, et al. Separation and determination of denatured α s1-, α s2-, β - and κ -caseins by hydrophobic interaction chromatography in cows', ewes' and goats' milk, milk mixtures and cheeses [J]. Journal of Chromatography, 2003, 994(1/2): 59-74.
- [24] Crudden A, Afoufa-Bastien D, Fox P F, et al. Effect of hydrolysis of casein by plasmin on the heat stability of milk [J]. International Dairy Journal, 2005, 15(10): 1017-1025.
- [25] Veloso A C, Teixeira N, Ferreira I M. Separation and quantification of the major casein fractions by reverse-phase high-performance liquid chromatography and urea-polyacrylamide gel electrophoresis: detection of milk adulterations [J]. Journal of Chromatography, 2002, 967(2): 209-218. (下转第 160 页)

gy,2008,9(1):59-66.

[12] Holzberg S,Brosio P,Gross C,et al. Barley stripe mosaic virus-induced gene silencing in a monocot plant [J]. Plant Journal,2002,30:315-327.

[13] 康振生,李振岐,商鸿生,等. 小麦条锈菌吸器母细胞超微结构的研究 [J]. 真菌学报,1994a,13(1):52-57.
Kang Z S,Li Z Q,Shang H S,et al. Ultrastructure of haustorial mother cell of wheat stripe rust [J]. Mycosystema,1994a,13(1):52-57.

[14] 康振生,李振岐,Chong J,等. 小麦条锈菌吸器超微结构和细胞化学的研究 [J]. 真菌学报,1994b,13(1):52-57.
Kang Z S,Li Z Q,Chong J,et al. Ultrastructure and cytochemistry of haustorium of wheat stripe rust [J]. Mycosys-

tema,1994b,13(1):52-57.

[15] 康振生. 植物病原真菌的超微结构 [M]. 北京:中国科学技术出版社,1995.
Kang Z S. Ultrastructure of plant pathogenic fungi [M]. Beijing:Science and Technology of China Press,1995.

[16] 康振生,王 瑶,黄丽丽,等. 小麦品种对条锈病低反应型抗性的组织学和超微结构研究 [J]. 中国农业科学,2003,36(9):1026-1031.
Kang Z S,Wang Y,Huang L L,et al. Histology and ultrastructure of incompatible combination between *Puccinia striiformis* and wheat cultivars with resistance of low reaction type [J]. Scientia Agricultura Sinica,2003,36(9):1026-1031.

(上接第 154 页)

[26] 章宇斌. 酪蛋白多级结构及聚集行为的多尺度研究 [D]. 天津:天津大学,2007:35-46.
Zhang Y B. Multi-scale characterization on multilevel structural nature and aggregate on behavior of casein [D]. Tianjin: Tianjin University,2007:35-46.

[27] 李子超,徐明芳,向明霞,等. 巴氏杀菌与超高温灭菌牛乳酪蛋白结构差异性的研究 [J]. 华南农业大学学报,2013,34(2):192-196.
Li Z C,Xu M F,Xiang M X,et al. Research on the structural differences of the casein from milk by pasteurization and ultrahigh temperature sterilization [J]. Journal of South China Agricultural University,2013,34(2):192-196.

[28] 李子超,王丽娜,李昀锴,等. 3 种乳源酪蛋白粒径及胶束结构的差异性 [J]. 食品科学,2012,33(5):58-61.
Li Z C,Wang L N,Li Y K,et al. Differences in particle size and structure of casein micelle from different milk sources [J]. Food Science,2012,33(5):58-61.