

羊乳蛋白质稳定性的影响因素研究

王存芳^{1,2}, 史永翠¹, 李钰¹, 娄新曼¹

(1. 齐鲁工业大学食品与生物工程学院, 山东省微生物工程重点实验室, 山东济南 250353)

(2. 山东农业大学动物科技学院, 山东泰安 271018)

摘要: 本文研究了不同因素对崂山奶山羊初乳和成熟乳蛋白质稳定性的影响, 分析了温度、pH值、柠檬酸、钙离子、蔗糖及超高压处理下, 羊乳蛋白质离心沉淀率的变化, 并以此衡量乳液的稳定性。结果表明, 第1~3 d的乳对热最为敏感, 第1 d的乳65℃加热15 min即变得极为粘稠, 70℃加热15 min第1、2 d的乳均出现凝固结块; 第3 d的乳85℃加热15 min出现凝固结块。第4~7 d的乳加热到95℃未出现凝固结块。可见, 随着泌乳期的延长, 乳的热稳定性增强。pH6.9的羊乳蛋白质的稳定性最好; 蔗糖添加量低于1.0 mg/100 mL时, 降低乳的稳定性; 高于1.0 mg/100 mL时, 随着蔗糖浓度的增加, 酪蛋白胶束的稳定性增强; 羊乳蛋白质的稳定性随柠檬酸和钙离子浓度的增大而降低。300 MPa以下压力处理对蛋白质沉淀率的影响不大; 500 MPa超高压处理时, 沉淀率明显增加, 作用15 min沉淀率达最高值7.35%。超过500 MPa的压力处理会导致蛋白质的稳定性明显降低。

关键词: 羊乳蛋白质; 温度; 钙离子; 柠檬酸; 蔗糖; 超高压; 稳定性

文章编号: 1673-9078(2015)3-207-212

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.3.035

Factors Influencing the Stability of Goat Milk Proteins

WANG Cun-fang^{1,2}, SHI Yong-cui¹, LI Yu¹, LOU Xin-man¹

(1. College of Food and Biological Engineering, QILU University of Technology, Shandong Provincial Key Laboratory of Microbial Engineering, Jinan 250353, China) (2. College of Animal Science and Veterinary Medicine, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract: This study examined the effects of various factors on protein stability in the colostrum and mature milk of Laoshan dairy goats. The centrifugal sedimentation rate of goat milk proteins was analyzed under various conditions, including a range of temperatures and pH values, citric acid, calcium ion, sucrose, and ultra-high pressure, to evaluate the stability of the milk proteins. The results showed that colostrum was the most sensitive to heat during the first 1~3 days. On the first day, milk samples became extremely thick when heated up to 65℃ for 15 min, and both first-day and second-day milk samples caked and solidified when heated up to 70℃ for 15 min. The third-day milk samples caked and solidified when heated up to 85℃ for 15 min, and milk at 4~7 days did not cake or solidify when heated at 95℃. Therefore, as the lactation period was extended, the thermal stability of goat milk increased gradually. The goat milk had the highest stability at pH 6.9. When less than 1.0 mg/100 mL sucrose was added, the stability of the emulsion containing milk proteins was reduced, and when greater than 1.0 mg/100 mL was added, the milk stability increased with an increasing sucrose concentration, and the stability of milk casein micelles increased. The stability of goat milk protein decreased with increases in the citric acid and calcium ion concentrations. There was little effect of ultra-high-pressure processing at 300 MPa on the protein precipitation rate. At 500 MPa, the sedimentation rate significantly increased, reaching a maximal value of 7.35% after treatment for 15 min. Treatment with greater than 500 MPa caused a significant reduction in protein stability.

Key words: goat milk protein; temperature; calcium ion; citric acid; sucrose; ultra high pressure; stability

随着人们生活水平的提高及其对羊乳营养价值认识的深入, 羊乳已逐渐被人们列为日常生活中的营养保健佳品。羊乳的主要组分由乳蛋白、乳糖和乳脂肪构成, 而乳蛋白又是乳中最重要的成分。乳蛋白主

收稿日期: 2014-07-11

基金项目: 山东省科技发展计划项目(2013GNC11306); 山东省博士后创新项目(201303051)

作者简介: 王存芳(1977-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为食品生物技术和食品营养学; 史永翠, 并列第一作者

要包括酪蛋白(casein, CN)和乳清蛋白2大类, 酪蛋白是乳蛋白中主要的蛋白质, 由 α -CN、 β -CN和 κ -CN组成。羊乳和牛乳中酪蛋白的总含量没有显著的差异^[1], 但每种组分的含量略有不同。牛乳以 α -CN为主, 羊乳中却以 β -CN含量最多, 且羊乳中主要的 α -CN为 α 2-CN, 含较少的 α 1-CN, 而人乳不含 α 1-CN, 所以羊乳比牛乳更接近人乳^[2-3]。

乳酪蛋白是具有柔性和热稳定性的蛋白质, 其大部分以酪蛋白胶束状态而存在, 另外约有10%~20%

的酪蛋白是以溶解形式或者是非胶粒形式存在于乳中。与牛乳酪蛋白胶束相比,羊乳酪蛋白胶束具有较低的沉降速度、更大的 β -CN溶解性、较小的酪蛋白胶束、更多的钙和磷含量、更小的溶剂化作用和低的热稳定性^[3]。羊奶在进一步加工成羊奶粉、酸奶、奶酪产品时,要经过一系列的加工处理,包括加热处理,高压灭菌处理,添加乳化剂、稳定剂、酸度调节剂等等,在加工处理过程中,羊乳蛋白质稳定性极易受到影响,如过高的温度或是压力处理在灭菌的同时会导致蛋白质的变性,超高压处理可能会破坏酪蛋白胶束间的非共价键,导致乳蛋白质的稳定性降低。乳蛋白质稳定性的高低对乳品的加工处理具有最直接的影响。因此,本文探讨了加热温度、pH值、蔗糖浓度、柠檬酸浓度、钙离子含量及超高压处理对羊乳蛋白质稳定性的影响,以期对企业在羊奶及其产品的生产加工过程中提供一定的理论参考。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

羊乳取于泰安市三喜奶山羊养殖场的崂山奶山羊,初乳为泌乳期第1 d至第7 d的乳样,成熟乳为养殖场奶山羊泌乳15~200 d内分泌的乳汁,取样后立刻置于-40℃冰箱冷冻保存。

主要仪器:TGL16台式高速冷冻离心机、TG16-WS离心机、pHS-25型雷磁数显pH计、DK-98-II A数显恒温水浴锅、HPPL3-600/0.6超高压处理设备、METTLER TOLEDO精密电子天平、101-3型电热鼓风干燥箱、XL-1马弗炉、FOSS DT208消化炉、10 mL、50 mL离心管若干、移液器。所用试剂均为分析纯,包括蔗糖、氢氧化钠、浓盐酸、柠檬酸、氯化钙、乙二胺四乙酸二钠、碳酸钙、钙红指示剂、三乙醇胺。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理

取冷冻羊乳,室温条件下解冻,在4℃,6000 r/min条件下,离心15 min,除去上层脂肪及杂质即得脱脂乳。

1.2.2 温度对乳蛋白稳定性的影响

取一定量脱脂乳于离心管中,经65℃、70℃、75℃、85℃水浴加热15 min,取出后在冷水中立即冷却至室温,测定不同温度下蛋白质的离心沉淀率。

1.2.3 酸碱稳定性的测定

取适量脱脂羊乳,用1 mol/L HCl或1 mol/L NaOH调节pH值至6.3、6.5、6.7、6.9、7.1、7.3、7.5,室

温静置3 h,测蛋白质的离心沉淀率。

1.2.4 蔗糖浓度对蛋白质稳定性的影响

取适量脱脂羊乳于离心管中,加入质量浓度为0、0.25%、0.5%、0.75%、1%、2%的蔗糖,经55℃水浴加热30 min取出立即在冷水中冷却至室温,测蛋白质的离心沉淀率^[4]。

1.2.5 柠檬酸对蛋白质稳定性的影响

取适量脱脂羊乳于离心管中,加入质量浓度为0、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%的柠檬酸,经55℃水浴加热15 min取出立即放入冷水中冷却至室温,测蛋白质的离心沉淀率。

1.2.6 钙离子对蛋白质稳定性的影响

取适量脱脂羊乳于离心管中,加入质量浓度为0、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、1.0%、2.0%的氯化钙,经55℃水浴加热15 min取出立即放入冷水中冷却至室温,测定蛋白质的沉淀率。

1.2.7 超高压对羊乳蛋白质的影响

羊乳经200 MPa、300 MPa、500 MPa压力下分别作用10 min、15 min、20 min后,以沉淀率表示蛋白质稳定性的变化。

1.2.8 离心沉淀率的计算

羊乳中的蛋白质以酪蛋白为主,与乳中的钙、镁等二价金属离子牢固结合而保持稳定状态,其对周围的温度、盐类、离子、pH值等环境的变化非常敏感,当外界环境条件改变时,蛋白质胶粒的静电平衡及胶粒表面的水合作用遭到破坏,蛋白质胶粒会聚集形成沉淀,影响乳蛋白质的稳定性^[5-6]。因此通过测定蛋白质的离心沉淀率可以反应乳液蛋白质的稳定性。

先称取空离心管的质量 M_0 ,然后在离心管中加入一定量的羊乳样品后再次称量其质量,记为 M_1 ,样品经处理在7000 r/min条件下离心15 min,倒去离心管中的上层清液,将离心管倒置5 min后称量其质量记为 M_2 ,离心沉淀率由以下公式计算:

$$\text{沉淀率}/\% = (M_2 - M_0)/(M_1 - M_0) \times 100$$

1.2.9 羊乳中钙含量的测定

本实验采用EDTA滴定法测定羊乳中钙的含量,具体方法参考国标GB/T 5009.92-2003。

1.2.10 数据分析

实验数据采用EXCEL2003及SPSS Statistics 17.0进行处理。

2 结果与讨论

2.1 羊初乳与成熟乳化学成分的比较

初乳所含营养物质极为丰富,蛋白质、维生素和

矿物质均高于常乳好几倍。Aganga^[7]等人对博茨瓦纳奶山羊成熟乳的营养成分的分析研究指出,奶山羊产后 40~160 d 的乳中营养物质的含量分别为脂肪 4.40~5.42 g/100 g、粗蛋白 3.18~6.97 g/100 g、酪蛋白 2.24~4.01 g/100 g、乳清蛋白 0.29~0.40 g/100 g、钙 1.09~0.38 g/100 g、磷 0.38~0.24 g/100 g、铁 1.00~2.50 g/100 g、锌 8.78~7.04 g/100 g,其中酪蛋白和乳清蛋白两种蛋白约占总蛋白含量的 80%。Albanell^[8]等人通过近红外反射光谱法对取自西班牙当地的 166 只奶山羊的成熟乳的营养成分测定结果得出,羊乳中脂肪、蛋白质、酪蛋白、总固形物含量分别为 5.62%、3.45%、2.55%、14.06%。大马士革奶山羊第 1 d 的初乳中脂肪、粗蛋白、乳糖、灰分、总固形物的含量分别为 6.40、5.63、4.61、0.91、17.88 g/100 g,产后第 1 d 的乳中乳糖含量是最低的,第 2 d 的乳糖含量明显增加,第 3 d 后乳糖维持在平稳状态;总固形物、粗蛋白、灰分、脂肪含量在产后第 1 d 的乳中含量极高,之后含量逐渐下降,第 1 d 乳营养成分含量约为成熟乳相应成分含量的 2~3 倍^[9-10]。

2.2 温度对羊乳蛋白质稳定性的影响

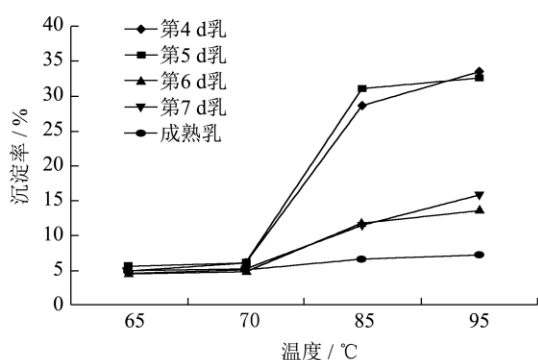


图1 羊乳蛋白质的热稳定性

Fig.1 Thermal stability of goat milk proteins

羊初乳和成熟乳蛋白质的热稳定性变化如图 1 所示。第 1 d 的初乳 65 °C 加热 15 min, 乳液变得极为粘稠; 70 °C 加热 15 min, 凝结成熟鸡蛋清似的块状固体。第 2 d 的初乳 65 °C 加热 15 min, 沉淀率为 5.36%; 70 °C 加热 15 min, 乳液凝固成松散的块状固体。第 3 d 的乳经 70 °C 加热 15 min 沉淀率为 6.94%, 85 °C 加热 15 min 后出现凝结成块的现象。第 4 d 以后的初乳在 65~95 °C 水浴中处理均未出现凝结成块现象, 且第 4 d、5 d 的乳加热到 85 °C 时沉淀率明显增大, 均达到了 30%, 第 6、7 d 的乳酪蛋白在 85 °C 下也有增大趋势。成熟乳酪蛋白的热稳定性明显高于初乳, 85 °C 时, 其沉淀率仍低于 8%。由此可知, 第 1~3 d 的初乳由于蛋白质含量高, 其热稳定性也差, 而随着泌乳时间的延

长, 乳中蛋白质含量的降低, 热稳定性逐渐增强。当对羊乳进行不同程度的加热处理时, 酪蛋白的物化性质及分子结构也会发生一定的变化。70 °C 以上能引起乳清蛋白的热变性, 特别是 β -乳球蛋白与酪蛋白胶束表面的 κ -酪蛋白结合形成复杂的配合物附着在胶束表面^[11-12], 引起蛋白质的絮凝沉淀。

2.3 酸碱度对羊乳蛋白质稳定性的影响

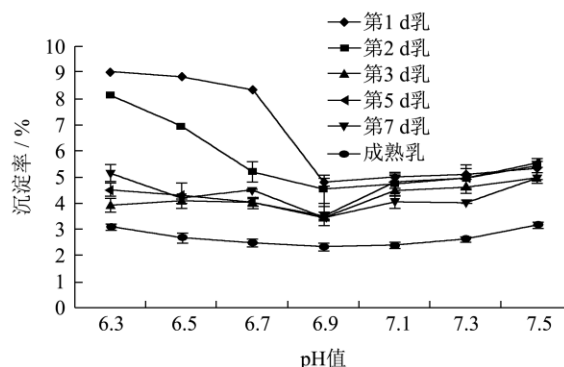


图2 pH对乳蛋白稳定性的影响

Fig.2 The effect of pH on the stability of goat milk proteins

由图 2 可知, 对于初乳及成熟乳, pH 为 6.9 时, 蛋白质的离心沉淀率最小, 即羊乳蛋白质稳定性最好。前两 d 的初乳在不同 pH 值条件下处理, 沉淀率均是最高的, 且在 pH 6.3~6.9 的范围内, 随 pH 的变化乳的沉淀率变化比较大。当 pH > 6.9 时, 随 pH 值的增加蛋白质的沉淀率增加比较缓慢。3~7 d 的初乳蛋白质的稳定性随 pH 的变化波动较小, 相比于前两 d 的乳, 稳定性更高。酪蛋白是一种明显偏酸性的两性电解质^[13], 在酸性 pH 值范围内, 蛋白质的沉淀率随 pH 值的变化波动范围较大。当 pH 值低于 6.9 时, β -乳球蛋白与酪蛋白粒子结合或部分与非粒子酪蛋白结合形成絮凝沉淀明显; pH 6.9~7.5 时, 这种结合明显降低^[14]。因此蛋白质的沉淀率也比酸性条件时明显变小。与初乳相比, 成熟乳受 pH 值的影响较小, 这是由于初乳蛋白质成分的含量比成熟乳高所造成的。羊乳初乳蛋白质含量高达 16% 左右, 约为常乳的 3 倍, 其中酪蛋白的含量比常乳高 2 倍以上^[9-10]。蛋白质含量高, 同样的 pH 值对其影响作用也更大。有研究表明, 羊乳在 pH 6.9 时稳定性最好^[15-16], 这与本实验的结论也是一致的。

2.4 蔗糖浓度对蛋白质稳定性影响

在乳品加工过程中经常会添加葡萄糖、蔗糖等成分以改善产品的品质和口感。而这些糖类物质对乳中酪蛋白稳定性的影响鲜有报道。图 3 为初乳及成熟乳添加蔗糖后, 经 55 °C 水浴加热 30 min 蛋白质沉淀率

的变化。如图3所示,第1、3 d的初乳随蔗糖添加量的变化趋势是一致的,蔗糖添加量在 0.75 g/100 mL 时,其沉淀率达最大值;第5、7 d的羊乳在蔗糖添加量为 1.00 g/100 mL 时,离心沉淀率达到最大值。成熟乳随着蔗糖浓度的变化,沉淀率在 2.27%~2.57% 范围内变化,明显低于初乳。由此可知,蔗糖浓度低于 2.00 g/100 mL 时,对成熟乳稳定性影响不大。添加少量的蔗糖且经低温长时间处理时,酪蛋白胶束会出现明显的絮凝沉淀,即少量的蔗糖分子将降低酪蛋白胶束的稳定性,大量的蔗糖分子能够增加酪蛋白胶束的稳定性^[4]。酪蛋白又是乳蛋白中的主要蛋白质,因此酪蛋白胶束稳定性的高低直接影响着乳蛋白的稳定性。

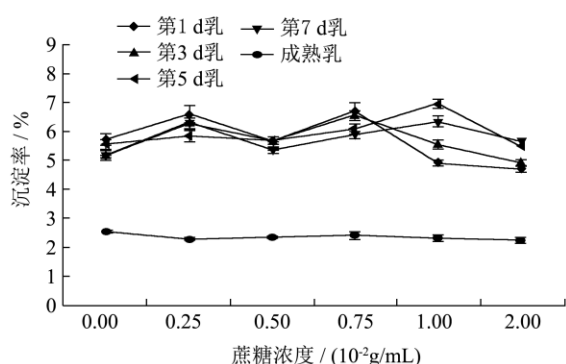


图3 蔗糖浓度对乳蛋白稳定性影响

Fig.3 The effect of sucrose concentration on the stability of goat milk proteins

2.5 柠檬酸浓度对蛋白质稳定性影响

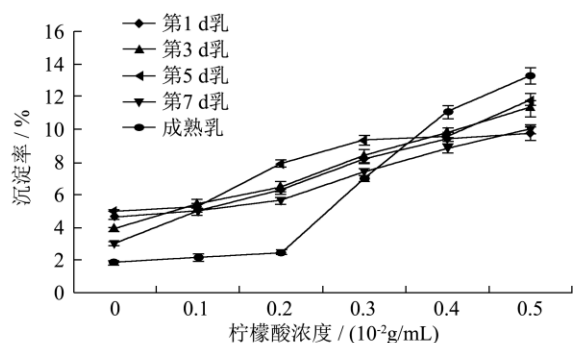


图4 柠檬酸浓度对羊乳初乳和成熟乳沉淀率的影响

Fig.4 The effect of citric acid concentration on the precipitation rate of goat colostrum and mature milk

酸乳及一些酸性乳饮料在制作过程中经常会添加到柠檬酸调节口味及口感,而柠檬酸添加的同时又影响了乳中蛋白质的稳定性,图4表示了二者的关系。由图4可知,初乳中添加柠檬酸,羊乳蛋白质的沉淀率均出现了明显的上升趋势,最高沉淀率达 11.81%;柠檬酸添加量的变化对成熟乳的影响与初乳极为相似,即随柠檬酸浓度的增大,其沉淀率逐渐增大。只

是在柠檬酸浓度低于 0.2 g/100 mL 时,成熟乳的沉淀率变化较为平缓,当柠檬酸浓度大于 0.2 g/100 mL 时,蛋白质的沉淀率显著增大,因此乳液稳定性也随之显著降低。由于初乳蛋白质含量明显高于成熟乳,所以少量柠檬酸的加入即会明显改变乳的稳定性。当柠檬酸添加量达 0.5 g/100 mL 时,离心后上清液的 pH 值已下降到 4.0 左右。可见,柠檬酸的加入,改变了乳的 pH 值,使得几乎为中性的乳液 pH 值明显降低,乳液明显呈酸性。柠檬酸添加量越多,会使得乳的 pH 值下降越多,当 pH 值下降到酪蛋白的等电点时,大量的酪蛋白胶束会发生絮凝沉淀,导致乳液的质量明显变差。因此在乳制品的生产中,柠檬酸的添加量不宜过多。

2.6 钙离子对蛋白质稳定性的影响

羊乳本身含有一定量的钙、磷、铁、锌等矿物质成分,由 EDTA 滴定法测得第 1、2、4、6 d 的初乳中钙含量分别为 112.49 mg/100 g、106.88 mg/100 g、101.92 mg/100 g、100.62 mg/100 g,成熟乳钙含量为 91.21 mg/100 g。对于一些特殊人群如老人和儿童都很需要钙质,老人的骨骼缺少钙质,比较脆,而儿童正处于成长时期,骨骼的生长离不开钙质。而牛奶、羊奶是老人和儿童摄入钙质的主要奶源,亦是比较普遍的营养品。因此,奶品加工中添加一定量的钙来生产高钙制品,以期适应特殊人群的需要。《食品营养标签管理规范》规定,当每 100 mL 液体食品钙含量≥120 mg 时,才可以标注“高钙”。但向奶中添加大量的钙,是一件技术难度较大的事情,其中的蛋白质和钙之间还有着微妙的平衡,人为地增加钙含量,很容易造成蛋白质体系不稳定。本文添加浓度为 0.1~2.0% 的钙离子(图5),对蛋白质的稳定性进行研究,以期对高钙羊乳制品的加工提供理论依据。

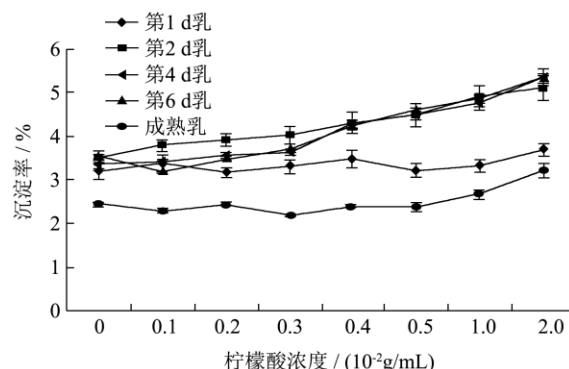


图5 羊乳蛋白质沉淀率随 Ca²⁺浓度的变化

Fig.5 The effect of Ca²⁺ concentration on the precipitation rate of goat milk proteins

如图5所示,随着钙离子浓度的增加,羊初乳及

成熟乳蛋白质的沉淀率逐渐增大, 稳定性逐渐降低, 在添加同样浓度的 Ca^{2+} 时, 初乳的沉淀率明显大于成熟乳, 且在 Ca^{2+} 浓度高于 $1.00 \text{ g}/100 \text{ mL}$ 时, 沉淀率明显增加。 Ca^{2+} 主要是通过和 αs -酪蛋白、 β -酪蛋白结合形成沉淀降低乳液中可溶性酪蛋白的含量。而酪蛋白胶束表面占主导地位的是 κ -酪蛋白, κ -酪蛋白能起到稳定酪蛋白胶束的作用, 当乳液中含有少量的 Ca^{2+} 时, κ -酪蛋白与其结合能对乳液中酪蛋白胶束的稳定性起到保护作用, 当 Ca^{2+} 浓度继续增大时, 过多的 Ca^{2+} 便与 αs -酪蛋白、 β -酪蛋白结合形成沉淀^[17]。当向乳中加入的钙离子含量达到饱和时, 过多的钙离子会与无机磷酸盐结合形成胶束再与可溶性的酪蛋白结合形成酪蛋白磷酸钙聚合物, 降低乳中可溶性酪蛋白的含量, 导致胶体体系不稳定^[18]。由于初乳中钙的含量明显高于成熟乳, 所以添加同样浓度的 Ca^{2+} , 初乳比成熟乳更为敏感。酪蛋白胶束表面带有的静电荷之间相互排斥, 使得酪蛋白胶束之间不易发生凝聚。 Ca^{2+} 的加入打破了原有的静电平衡, 使体系中的正电荷明显增多, 原有的静电斥力发生改变, 导致胶束空间结构稳定层受到破坏, 于是酪蛋白易于聚集沉淀^[19], 同时降低了乳液中可溶性蛋白的含量, 蛋白质出现沉淀, 乳液的稳定性也随之降低。

2.7 超高压对羊乳蛋白质稳定性的影响

超高压处理食品可以改变蛋白质的酶解特性, 产生多种活性多肽^[20]。超高压处理通过改变蛋白质的结构从而改变其溶解性、凝胶性、乳化性、起泡性等诸多加工特性, 但关于超高压对羊乳中蛋白质稳定性的影响还很少有研究。本文通过测定超高压处理后的羊乳的离心沉淀率, 分析了超高压处理对初乳中蛋白质稳定性的影响 (图 6)。

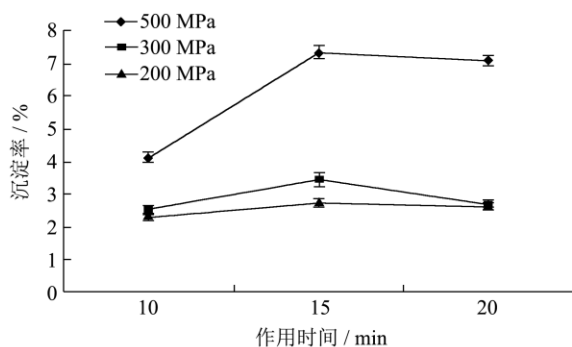


图 6 超高压对蛋白质稳定性的影响

Fig.6 The effect of ultra-high-pressure conditions on the stability of goat milk proteins

由图 6 可知, 压力在 200、300 MPa 时, 经相同时间的处理, 蛋白质的离心沉淀率没有明显的变化,

在相同压力下, 经不同时间处理后, 蛋白质的沉淀率也没有明显的增加趋势, 即当压力低于 300 MPa 时, 压力对蛋白质的影响作用很小。经 500 MPa 的压力处理时, 沉淀率明显增大, 10 min 处理后的样品中蛋白质的沉淀率为 4.12%, 而经 15 min 处理后, 沉淀率显著增加, 为 7.35%, 但经 20 min 处理后沉淀率没有再增加, 变化趋于平缓。王越男^[21]等人的实验也表明, 压力在 200 MPa 以下时, 其对酪蛋白直径的影响不显著。当经过 500 MPa 的压力处理时, 酪蛋白间的氢键、疏水作用力和离子键被打断, 酪蛋白变得不稳定。高压处理破坏了蛋白质分子间的化学键, 使得部分酪蛋白分子从酪蛋白胶束中解离出来发生了聚合; 高压处理也会使得一些乳清蛋白变性, 尤其是 β -乳球蛋白, 变性的 β -乳球蛋白与酪蛋白聚合, 也会增加蛋白质的沉淀率, 降低蛋白质的稳定性。200~250 MPa 的压力对酪蛋白胶束的解离度影响很小, 当压力增加到 300~400 MPa 时, 会使得酪蛋白胶束受到极大的破坏, 解离度急剧增大^[22]。酪蛋白胶束一旦解离, 其在乳中的稳定性状态受到破坏, 游离的酪蛋白极易发生聚凝沉淀, 降低乳的稳定性。

3 结论

3.1 羊产糕后前 2 d 的初乳, 70 °C 加热 15 min 后出现明显的凝块现象; 第 3 d 的乳经 85 °C 加热 15 min 出现明显的凝块现象; 对于第 4~7 d 的初乳及成熟乳, 当加热温度超过 70 °C 时, 沉淀率明显增加, 蛋白质稳定性变差。与初乳相比, 混合乳的热稳定性更好。

3.2 在 pH 6.9 时, 羊初乳、成熟乳的稳定性均是最好的。PH<6.9 时, 随着 pH 的降低, 沉淀率明显增大, 乳的稳定性急剧下降。

3.3 蔗糖添加量低于 $1.0 \text{ mg}/100 \text{ mL}$ 时, 降低乳的稳定性; 高于 $1.0 \text{ mg}/100 \text{ mL}$ 时, 随着蔗糖浓度的增加, 酪蛋白胶束的稳定性增强。

3.4 柠檬酸添加量在 $0\sim 0.5 \text{ mg}/100 \text{ mL}$ 范围内, 乳蛋白的稳定性随着柠檬酸浓度的增加而降低; Ca^{2+} 浓度在 $0.1\sim 2.0 \text{ mg}/100 \text{ mL}$ 范围内时, 乳酪蛋白胶束的稳定性随着 Ca^{2+} 浓度的增加而降低。

3.5 200 MPa、300 MPa 超高压处理对乳中蛋白质稳定性影响作用不大; 当压力达到 500 MPa 时, 酪蛋白胶束受到极大的破坏, 蛋白质的沉淀率明显变大, 乳液稳定性明显降低。

参考文献

- [1] Ceballos L S, Morales ER, Adarve G T, et al. Composition of goat and cow milk produced under similar conditions and

- analyzed by identical methodology [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2009, 22(4): 322-329
- [2] Recio I, Perez-Rodriguez M L, Amigo L, et al. Study of the polymorphism of caprine milk caseins by capillary electrophoresis [J]. *Journal of Dairy Research*, 1997, 64(4): 515-523
- [3] Clark S, Sherbon J W. Genetic variants of alphas1-CN in goat milk: breed distribution and associations with milk composition and coagulation properties [J]. *Small Ruminant Research*, 2000, 38(2): 135-143
- [4] 杨敏,梁琪,乔海军,等.葡萄糖对脱脂乳酪蛋白胶束稳定性的影响研究[J].*食品工业科技*,2012,33(24):81-84
YANG Min, LIANG Qi, QIAO Hai-jun, et al. Effect of glucose on the stability of skim milk casein micelles [J]. *Food Science and Technology*, 2012, 33(24): 81-84
- [5] 武建新.乳制品生产技术[M].北京:中国轻工业出版社,2000
WU Jian-xin. *Dairy production technology* [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2000
- [6] 谢继志.液态乳制品科学与技术[M].中国轻工业出版社,1999
XIE Ji-zhi. *Liquid dairy science and technology* [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1999
- [7] Aganga A A, Amarteifio J O, Nkile N. Effect of stage of lactation on nutrient composition of Tswana sheep and goat's milk [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2002, 15(5): 533-543
- [8] Albanell E, Caja G, Such X, et al. Determination of fat, protein, casein, total solids, and somatic cell count in goat's milk by near-infrared reflectance spectroscopy [J]. *Journal of Aoc International*, 2003, 86(4): 746-752
- [9] 杨晓宇.莎能奶山羊初乳理化性质及其免疫球蛋白(IgG)的研究[D].西安:陕西师范大学,2006
YANG Xiao-yu. Study on physicochemical properties and immunity globulin (IgG) of saanen goat colostrums [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2006
- [10] Hadjipanayiotou M. Composition of ewe, goat and cow milk and of colostrum of ewes and goats [J]. *Small Ruminant Research*, 1995, 18(3): 255-262
- [11] Corredig M, Dalgleish D G. The mechanisms of the heat-induced interaction of whey proteins with casein micelles in milk [J]. *International Dairy Journal*, 1999, 9(3): 233-236
- [12] Donato L, Alexander M, Dalgleish D G. Acid gelation in heated and unheated milks: interactions between serum protein complexes and the surfaces of casein micelles [J]. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 2007, 55(10): 4160-4168
- [13] Martinez-Ferez A, Rudloff S, Guadix A, et al. Goats' milk as a natural source of lactose-derived oligosaccharides: Isolation by membrane technology [J]. *International Dairy Journal*, 2006, 16(2): 173-181
- [14] Raynal Ljutovac K, Park Y W, Gaucheron F, et al. Heat stability and enzymatic modifications of goat and sheep milk [J]. *Small Ruminant Research*, 2007, 68: 207-220
- [15] Anema S G, Stanley D J. Heat-induced, pH-dependent behaviour of protein in caprine milk [J]. *International Dairy Journal*, 1998, 8(10): 917-923
- [16] 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
- [17] Harold M F J, Thomas F K, Edyth L M, et al. The caseins of milk as calcium-binding proteins [J]. *Methods in Molecular Biology*, 2002, 172: 97-140
- [18] Tsioulpas A, Koliandris A, Grandison A S, et al. Effects of stabiliser addition and in-container sterilisation on selected properties of milk related to casein micelle stability [J]. *Food Chemistry*, 2010, 122(4): 1027-1034
- [19] Lucey D. Formation and physical properties of milk protein [J]. *Journal of Dairy*, 2002, 85: 281-294
- [20] 王章存,徐贤.超高压处理对蛋白质结构及功能性质影响[J].*粮食与油脂*,2007,11:10-12
WANG Zhang-cun, XU Xian. Effect of ultra high pressure disposal on protein structure and property [J]. *Food and Grease*, 2007(11): 10-12
- [21] 王越男,德力格尔桑,钱宏光.超高压杀菌处理对乳中蛋白质的影响[J].*食品科学*,2004,3:46-48
WANG Yue-nan, DE Li-geersang, QIAN Hong-guang. Effect of ultra high pressure disposal on protein of milk [J]. *Food Science*, 2004, 3: 46-48
- [22] Huppertz T, Kelly A L, Kruijff C G. Disruption and reassociation of casein micelles under high pressure [J]. *Journal of Dairy Research*, 2006, 73(3): 294-298