低温诱导羊乳中β-酪蛋白从胶束中解离的研究

邵言蹊， 刘大松， 徐 姝， 李志宾， 周 鹏*
（食品科学与技术国家重点实验室，江南大学，江苏 无锡 214122）

摘要： 在羊乳酪蛋白胶束结构中，部分β-酪蛋白通过疏水作用结合到胶束骨架上，在低温条件下，蛋白质疏水作用减弱，部分β-酪蛋白从胶束中解离。以脱脂羊乳为原料，采用HPLC、SDS-PAGE、ICP-MS进行检测，研究温度、平衡时间、pH、NaCl、柠檬酸钠、$CaCl_2$对β-酪蛋白从胶束中解离的影响。低温诱导β-酪蛋白从胶束中的解离在120 min达到平衡。降低温度、降低pH、添加柠檬酸钠诱导胶束钙的解离，使胶束中通过疏水作用结合的β-酪蛋白含量增加，进一步促使低温条件下β-酪蛋白从胶束中解离。温度4 ℃、pH 6.0条件下平衡120 min，β-酪蛋白从胶束中的选择性解离效果较好，β-酪蛋白、κ-酪蛋白、α-酪蛋白的解离率分别达41.8%、19.9%、15.2%，3种酪蛋白解离部分的占比分别为68.2%、24.4%、7.4%。上述结果可应用于羊乳β-酪蛋白低温微滤分离的工艺优化。

关键词： 山羊乳；酪蛋白胶束；β-酪蛋白；胶束钙；低温解离
中图分类号：TS 252　**文章编号：**1673-1689(2021)08-0027-10　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2021.08.004

Dissociation of β-Casein from Casein Micelles in Skimmed Goat Milk at Low Temperature

SHAO Yanxi， *LIU Dasong*， *XU Shu*， *LI Zhibin*， *ZHOU Peng**
（State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China）

Abstract： Within goat casein micelles, part of β-casein is bound to the micelle skeleton through hydrophobic interaction. The protein hydrophobic bonds are weakened at low temperature, contributing to the dissociation of β-casein from the micelles. Goat skim milk was used in this study, and the effects of temperature, equilibration time, pH and the addition of NaCl, sodium citrate and $CaCl_2$ on the dissociation of β-casein from casein micelles were investigated, based on the indicators such as HPLC, SDS-PAGE and ICP-MS. The results showed that low-temperature induced the dissociation of β-casein from micelles, reaching an equilibrium state at 120 min. The reduction in temperature and pH, as well as the addition of sodium citrate induced the dissociation of colloidal calcium, also increasing the proportion of β-casein bound by hydrophobic bonds within the micelles, thus further promoting the dissociation of β-casein from the micelles at low temperature. The optimal selective dissociation of β-casein from micelles was achieved after 120 min of incubation at

收稿日期： 2021-01-07
基金项目： 国家自然科学基金青年科学基金项目(31901613)；国家“十三五”重点研发计划项目(2017YFD0400600)；中央高校基本科研业务专项资金资助项目(JUSRP121077)；江南大学食品科学与技术国家重点实验室自由创新探索资助课题项目(SKLF-ZZA-202004)。
* **通信作者：** 周 鹏(1975—)，男，博士，教授，博士研究生导师，主要从事乳制品和水产品加工研究。E-mail：zhoupeng@jiangnan.edu.cn

4 ℃ and pH 6.0. The dissociation rate of β-casein, κ-casein and α-casein reached 41.8%, 19.9% and 15.2%, with the proportions of the dissociated parts of the three caseins being 68.2%, 24.4% and 7.4%, respectively. The above results can be applied in process optimization of cold microfiltration for the goat β-casein fractionation.

Keywords: goat milk, casein micelles, β-casein, colloidal calcium, low-temperature induced dissociation

羊乳易消化[1]、不易产生乳糖不耐症和过敏反应,其诸多营养价值和功能特性均优于牛乳[2]。近年来,基于羊乳的液态奶、奶酪、酸奶、婴幼儿配方奶粉等乳制品的消费者接受度和市场份额正逐步扩大[3]。羊乳中乳清蛋白和酪蛋白的质量比为 30:70,其中酪蛋白部分主要包括 β、α_{s1}、α_{s2} 和 κ 型,其占比为 55%、6%、19%、20%;牛乳中乳清蛋白和酪蛋白的质量比例为 20:80,酪蛋白部分主要含 β、α_{s1}、α_{s2} 和 κ 型,其占比为 36%、40%、10%、14%;人乳中乳清蛋白与酪蛋白的质量比为 60:40,酪蛋白部分主要含 β、α_{s1}、κ 型,占比为 68%、12%、20%[4]。相较于牛乳,羊乳在蛋白质组成和配比方面与人乳更接近。α-酪蛋白为乳中主要的过敏原,羊乳中的 α-酪蛋白含量较少,且 β-酪蛋白含量较牛乳多[5]。因此,羊乳更适用于婴幼儿配方乳粉的生产。

目前,婴幼儿配方乳粉的母乳化研制主要集中在增加乳清蛋白含量方面,较少考虑酪蛋白配比的差异[6]。提高婴幼儿配方乳粉中 β-酪蛋白与乳清蛋白的含量,可使其与人乳蛋白组成更为接近,更有利于婴幼儿消化吸收。乳中的酪蛋白主要以胶束形式存在,而乳清蛋白游离在胶束外面的乳清中。在胶束中,部分 β-酪蛋白和 α-酪蛋白通过它们所带的磷酸基团和胶体磷酸钙相互作用,从而形成胶束骨架结构,还有部分 β-酪蛋白是通过疏水作用在胶束骨架上结合[7]。β-酪蛋白是疏水性较强的酪蛋白,在低温作用下,会减弱蛋白的疏水作用,使部分 β-酪蛋白从胶束中解离到乳清中,并以分子单体或者低相对分子质量聚集体形式存在[8]。Liu 等在 4 ℃条件下采用 30 nm 孔径陶瓷膜微滤处理脱脂牛乳,使游离的 β-酪蛋白和乳清蛋白同时富集到透过液中,进而通过超滤脱糖脱盐,再经喷雾干燥脱水,制备了富含 β-酪蛋白和乳清蛋白的乳蛋白配料[9]。

作者以山羊脱脂乳为原料,采用聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)、反相高效液相色谱(RP-HPLC)、电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)等分析方法,研究温度、平衡时间、pH、NaCl 浓度、柠檬酸钠浓度、$CaCl_2$ 浓度对 β-酪蛋白从胶束中解离的影响,旨在为羊乳 β-酪蛋白的低温微滤分离提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

生鲜羊乳:杭州云泉约牧业有限公司产品;二硫苏糖醇、三氟乙酸:美国 Sigma 公司产品;乙腈、甲醇:赛默飞世尔科技(中国)有限公司产品;丙烯酰胺、β-巯基乙醇、三羟甲基氨基甲烷、十二烷基硫酸钠、四甲基乙二胺、甲叉丙烯酰胺、过硫酸铵、尿素:上海生工生物工程股份有限公司产品。

1.2 主要仪器

CLARA 20LFCO 乳脂分离器:瑞典 Alfa Laval 公司产品;GCM-C-30 陶瓷膜分离系统:厦门国初科技有限公司产品;Optima L-100XP 超速离心机:美国 Beckman Coulter 公司产品;E2695 高效液相色谱分析仪:美国 Waters 公司产品;PROTEAN II XL 电泳系统、ChemiDoc XRS+化学发光成像系统:美国 Bio-Rad 公司产品;ICAP TQ 电感耦合等离子体质谱仪:德国 Thermo 公司产品;LRH-250CA 低温培养箱:上海一恒科学仪器有限公司产品。

1.3 实验方法

1.3.1 诱导解离及其分离 羊乳经乳脂分离器去除奶油,收集生鲜脱脂羊乳,使用 1.4 μm 孔径陶瓷膜进行除菌处理。取除菌脱脂羊乳,进行不同的 β-酪蛋白诱导解离处理,而后在100 000 *g* 下离心 60 min,取上清液进行后续组分分析。不同温度诱导处理:25、20、15、10、4 ℃,120 min;不同平衡时间处理:0、15、30、60、120、180、240 min,4 ℃;不同 pH 值处理:6.7、6.4、6.2、6.0、5.8、5.6、5.4,4 ℃,120 min;不同 NaCl 浓度处理:0、25、50、100、150、250 mmol/L,4 ℃,120 min;不同柠檬酸钠浓度处理:0、0.5、1.0、

2.0、3.0、5.0 mmol/L,4 ℃,120 min;不同 $CaCl_2$ 浓度处理:0、2.5、5.0、10.0、15.0、25.0 mmol/L,4 ℃,120 min。

1.3.2 电泳分析 取 1.3.1 中脱脂羊乳及超速离心上清液,采用超纯水稀释 8 倍,与样品缓冲液等体积混合,其中样品缓冲液中含有体积分数 5%的β-巯基乙醇,沸水条件下水浴 3 min,而后立即冷却,每个样品上样量均为 20 μL。浓缩胶和分离胶质量浓度分别为 4、13 g/dL,所采用的电流强度分别为 20、45 mA。

1.3.3 高效液相色谱分析 取 1.3.1 中脱脂羊乳及超速离心上清液,与缓冲液 1(0.1 mol/L Bis-Tris 丙烷,pH 7,质量分数 1.3% 柠檬酸钠、8 mom/L 尿素、20 mmol/L DTT)以体积比 1:1 进行混合,室温条件下,在旋转振荡器上振荡 1 h,然后在 10 000 *g* 条件下离心 5 min,将上清液与缓冲液 2(*V*(乙腈):*V*(水):*V*(三氟乙酸)=100:900:1)以体积比 1:3 进行混合,然后过 0.45 μm 的有机膜。采用 C8 色谱柱,上样量 40 μL,梯度洗脱所采用的流动相A、B 中乙腈、水、三氟乙酸的体积比分别为 100:900:1 和 900:100:0.7,流量 0.8 mL/min,检测波长为220 nm[10]。采用 Empower 软件对各个色谱峰的面积进行积分。

1.3.4 电感耦合等离子体质谱分析 取 1.3.1 中脱脂羊乳及超速离心上清液 1 mL 于消解管内,加入 3.2 mL 硝酸,进行微波消解,采用超纯水定容到 50 mL,采用 ICP-MS 进行钙含量的测定。脱脂乳钙含量减去超速离心上清液钙含量,所得到的差值,即是胶束钙含量。

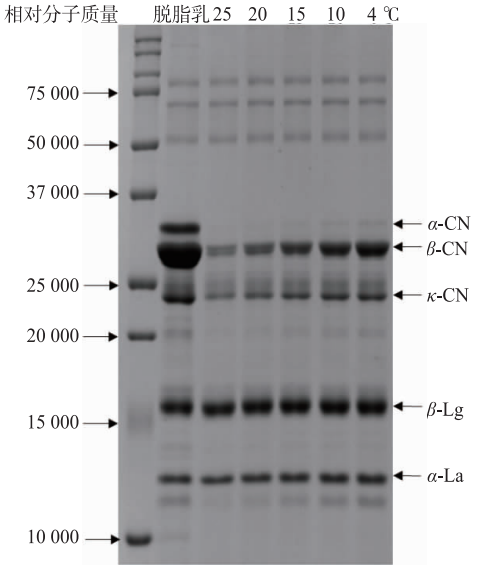
1.4 数据分析

采用 SPSS 20.0 进行数据统计及分析,用 Ducan'stest 比较均值之间的差异,$P<0.05$ 时表明存在显著差异。

2 结果与分析

2.1 不同温度对胶束态β-酪蛋白解离的影响

不同温度下平衡 120 min 后脱脂羊乳中游离蛋白的组成如图 1 所示。游离蛋白部分主要含有β-酪蛋白、β-乳球蛋白和 α-乳白蛋白,还含少量 κ-酪蛋白、α-酪蛋白以及一些高相对分子质量的蛋白质。随处理温度的降低,3 种游离酪蛋白所对应的条带强度均逐渐增加,两种主要游离乳清蛋白的条带强度无显著变化,都与脱脂羊乳中对应蛋白的条带强度相接近。



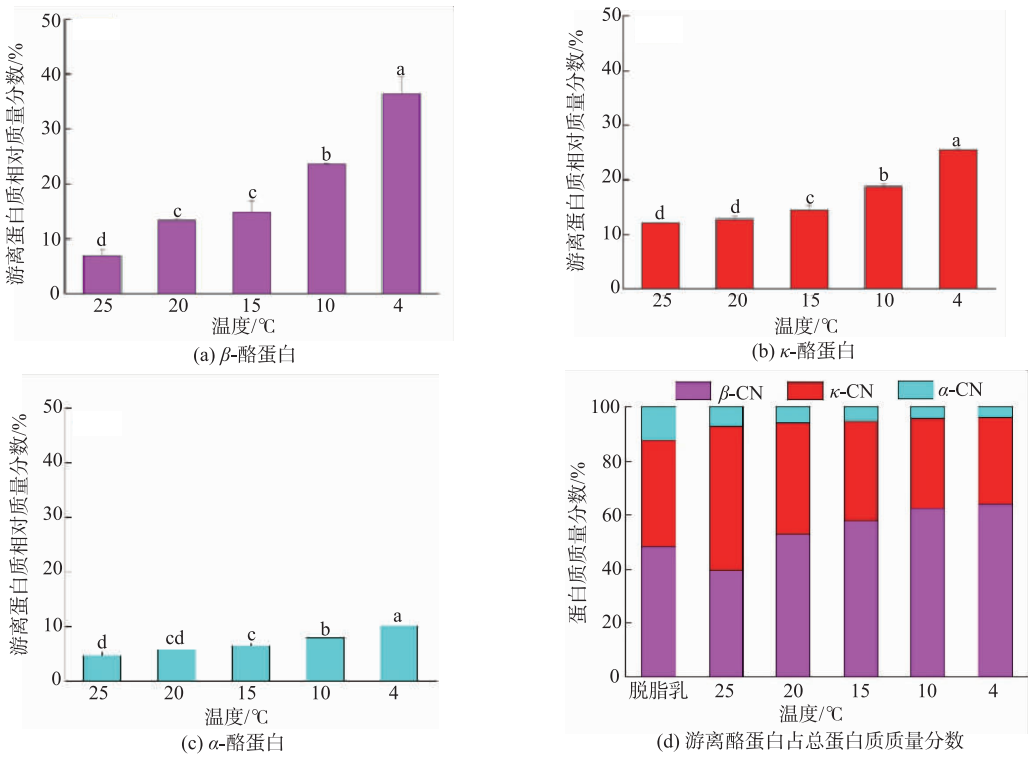
CN,酪蛋白;Lg,乳球蛋白;La,乳白蛋白

图 1 不同温度处理脱脂羊乳中游离蛋白质的电泳图

Fig. 1 SDS-PAGE patterns of free proteins in goat skim milk incubated at different temperature

不同温度下平衡 120 min 后脱脂羊乳中游离β-酪蛋白、κ-酪蛋白、α-酪蛋白的质量分数及各游离酪蛋白质量分数如图 2 所示。随处理温度从 25 ℃降低到 4 ℃,3 种游离酪蛋白的质量分数均逐渐增加,其中β-酪蛋白的质量分数由 6.9%增加至 36.5%,κ-酪蛋白的质量分数由 12.1%增加至 25.5%,α-酪蛋白的质量分数由 4.7%增加至 10.1%,3 种游离酪蛋白质量分数的增幅均在 15~4 ℃达最大。随处理温度的降低,3 种游离酪蛋白中,β-酪蛋白的质量分数逐渐增加,κ-酪蛋白和 α-酪蛋白的质量分数都逐渐降低。在 25 ℃时,各游离酪蛋白的占比以 κ-酪蛋白为主,β-酪蛋白略低,α-酪蛋白相对微少,其中游离 κ-酪蛋白的质量分数高于脱脂乳中 κ-酪蛋白所对应的质量分数,游离β-酪蛋白和 α-酪蛋白的质量分数都低于脱脂乳中各蛋白所对应的质量分数;在 20 ℃及以下时,游离β-酪蛋白的质量分数最大,且高于脱脂乳中β-酪蛋白所对应的质量分数。

不同温度下平衡 120 min 后脱脂羊乳中胶束钙的质量分数如图 3 所示。处理温度从 25 ℃降低到 4 ℃,胶束钙质量分数由 71.1%降低至 63.2%,降幅在 20~4 ℃较大。磷酸钙在脱脂羊乳的乳清中一直



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

图 2 不同温度处理脱脂羊乳中游离β-酪蛋白、κ-酪蛋白、α-酪蛋白及各游离酪蛋白质量分数

Fig. 2 Contents of free β-casein, κ-casein, α-casein and ratios of each free caseins in goat skim milk incubated at different temperature

处于饱和的溶解状态,且和胶束态酪蛋白中的胶体磷酸钙分布平衡[11]。乳清液中磷酸钙的饱和溶解度随温度降低而增加,进而促使胶体磷酸钙的解离,重新建立磷酸钙的饱和溶解状态。β-酪蛋白是疏水性最强的酪蛋白,在胶束结构中,一部分β-酪蛋白通过其所带的磷酸基团与胶体磷酸钙相互作用,参与胶束骨架结构形成,另一部分β-酪蛋白则通过疏水作用结合到胶束骨架上[12]。在低温作用下,会减弱蛋白之间的疏水作用,通过疏水作用结合的部分β-酪蛋白质将逐渐从胶束解离到乳清中。此外,低温条件下胶束钙含量的降低,使得胶束中通过疏水作用结合的β-酪蛋白的含量增加,进一步促使低温条件下β-酪蛋白从胶束中的解离[13]。

2.2 不同平衡时间对胶束态β-酪蛋白解离的影响

4 ℃下平衡不同时间后脱脂羊乳中各游离酪蛋白的质量分数及占比如图 4 所示。在平衡时间 0~120 min,3 种游离酪蛋白的质量分数均逐渐增加,在随后的 120~240 min 趋于平稳不变,其中β-酪蛋白的质量分数由 17.1%增加至 44.4%,κ-酪蛋白的质量分数由 8.1%增加至 33.7%,α-酪蛋白的质量分

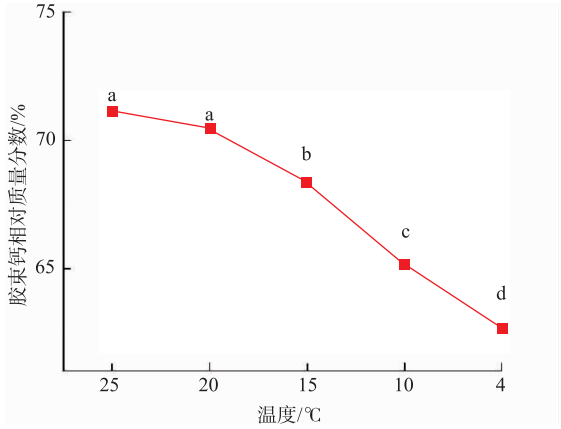


图 3 不同温度处理脱脂羊乳中胶束钙的质量分数

Fig. 3 Contents of colloidal calcium in goat skim milk incubated at different temperature

数由 6.7%增加至 14.8%,3 种游离酪蛋白质量分数的增幅均在 0~15 min 达最大。随平衡时间的增加,3 种游离酪蛋白中,β-酪蛋白的质量分数逐渐增加,κ-酪蛋白和 α-酪蛋白的质量分数逐渐降低。上述结果表明,低温诱导的羊乳酪蛋白胶束内部结构重排及胶束态β-酪蛋白的解离在 120 min 后达到平衡状态。

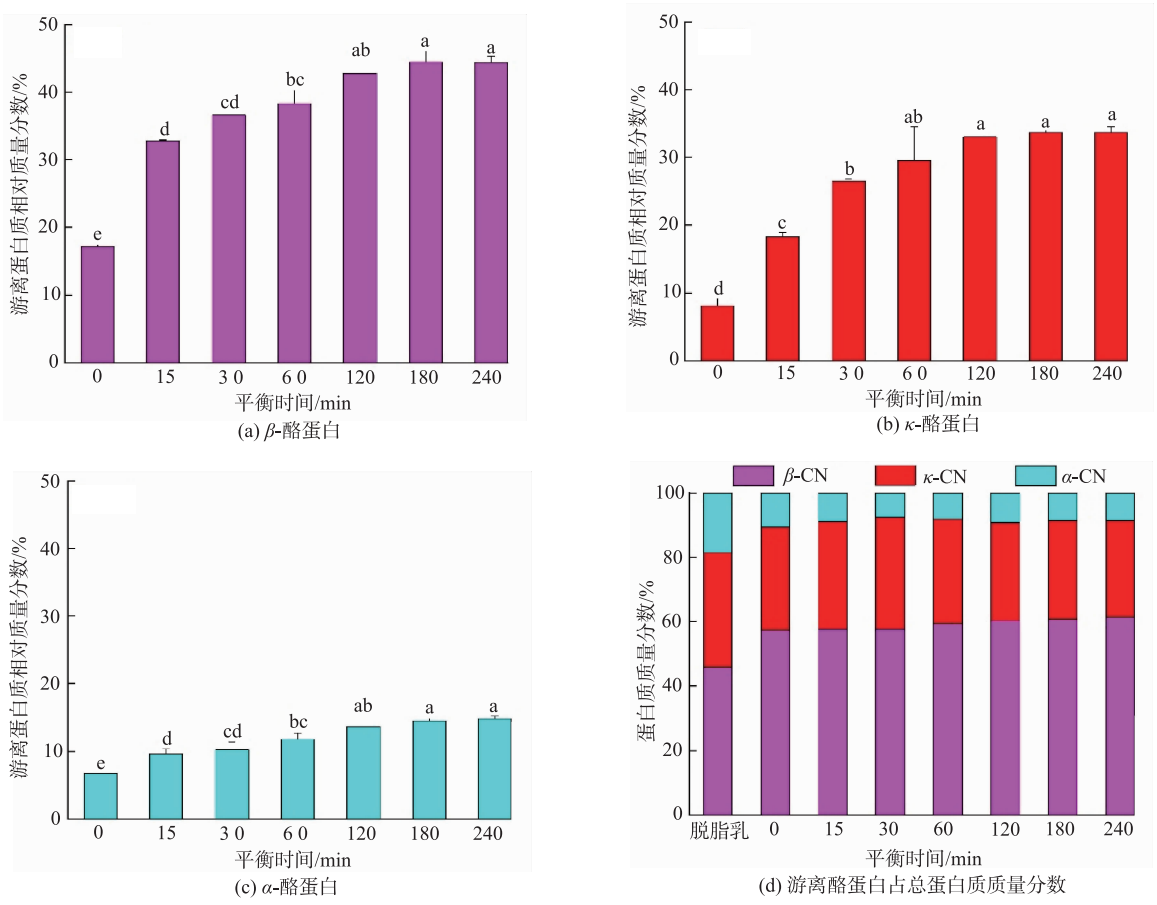


图 4　4 ℃下不同平衡时间处理脱脂羊乳中游离β-酪蛋白、κ-酪蛋白、α-酪蛋白及各游离酪蛋白质量分数

Fig. 4　Contents of free β-casein, κ-casein, α-casein and ratios of each free caseins in goat skim milk incubated for different time at 4 ℃

2.3　不同 pH 对胶束态β-酪蛋白解离的影响

4 ℃下不同 pH 脱脂羊乳中各游离酪蛋白的质量分数如图 5 所示。在 pH 6.7~5.8,3 种游离酪蛋白的质量分数均逐渐增加,在随后的 pH 5.8~5.4 趋于平稳不变,其中β-酪蛋白的质量分数由 31.4%增加至 47.2%,κ-酪蛋白的质量分数由 16.9%增加至 25.3%,α-酪蛋白的质量分数由 7.7%增加至 23.0%,β-酪蛋白质量分数的增幅在 pH 6.2~5.8 达最大,κ-酪蛋白和 α-酪蛋白质量分数的增幅均在 pH 6.0~5.8 达最大。在 pH 6.7~6.0,3 种游离酪蛋白中,β-酪蛋白的质量分数略有增加;在 pH 6.0~5.8,β-酪蛋白的质量分数显著降低;在 pH 5.8~5.4,β-酪蛋白的质量分数趋于稳定不变。游离 α-酪蛋白的质量分数在 pH 6.7~5.8 逐渐增加,在 pH 5.8~5.4 则趋于稳定不变。游离 κ-酪蛋白的质量分数在 pH 6.7~6.0 逐渐降低,在 pH 6.0~5.8 显著增加,在 pH 5.8~5.4 则趋于稳定不变。

4 ℃下不同 pH 脱脂羊乳中胶束钙的质量分数如图 6 所示。随 pH 从 6.7 降低到 5.4,胶束钙质量分数由 65.2%降低至 37.1%。磷酸根离子的质子化程度随 pH 降低而增加,从而导致磷酸钙饱和溶解度增加,使胶体磷酸钙解离,重新建立磷酸钙饱和溶解平衡。胶束态酪蛋白分子上,负电荷基团逐渐暴露(如磷酸基和羧酸基),然后发生质子化,且乳清离子强度的增加会增加负电荷基团所受的静电屏蔽作用,进而降低脱钙胶束内部邻近酪蛋白分子之间的静电排斥力,脱钙胶束主要在疏水作用的维持下保持一种相对稳定的状态[14]。这也使得胶束中通过疏水作用结合的β-酪蛋白的含量增加,促使低温条件下β-酪蛋白从胶束中的解离。

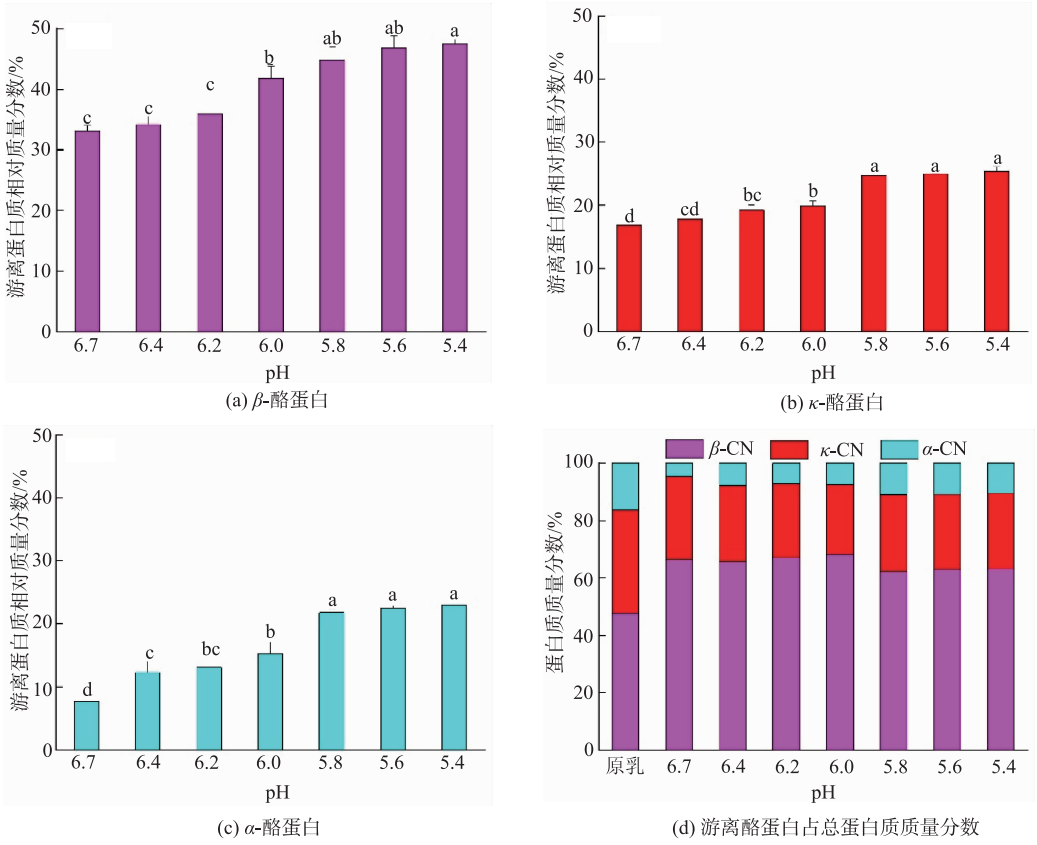


图 5 4 ℃下不同 pH 处理脱脂羊乳中游离 β-酪蛋白、κ-酪蛋白、α-酪蛋白及各游离酪蛋白质量分数

Fig. 5 Contents of free β-casein, κ-casein, α-casein and ratios of each free caseins in goat skim milk incubated at different pH at 4 ℃

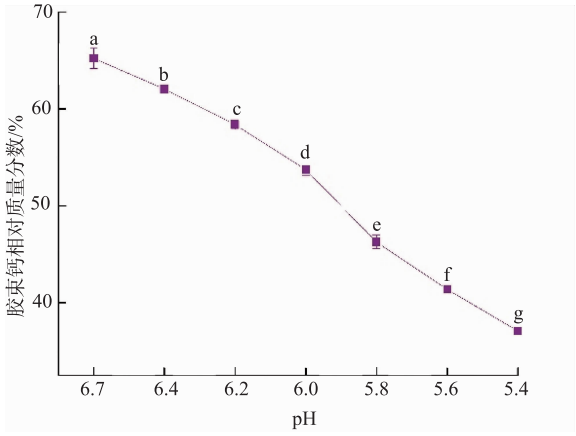


图 6 4 ℃下不同 pH 处理脱脂羊乳中胶束钙的质量分数

Fig. 6 Contents of colloidal calcium in goat skim milk incubated at different pH at 4 ℃

2.4 不同 NaCl 浓度对胶束态 β-酪蛋白解离的影响

4 ℃下不同 NaCl 浓度的脱脂羊乳中各游离酪蛋白的质量分数及占比如图 7 所示。随 NaCl 浓度从 0 mmol/L 增加到 250 mmol/L,3 种游离酪蛋白的质量分数均呈增加趋势,其中 β-酪蛋白的质量分数由 30.5%增加至 37.25%,κ-酪蛋白的质量分数由 19.7%增加至 26.4%,α-酪蛋白的质量分数由 7.3%增加至 19.3%。随 NaCl 浓度的增加,3 种游离酪蛋白中,β-酪蛋白的占比逐渐降低,κ-酪蛋白和 α-酪蛋白的占比逐渐增加。添加 NaCl 使脱脂羊乳乳清的离子强度增加[15],促使胶束钙的解离,胶束中通过疏水作用结合的 β-酪蛋白的质量分数增加,进而促使低温条件下 β-酪蛋白从胶束中的解离。

2.5 不同柠檬酸钠浓度对胶束态 β-酪蛋白解离的影响

不同柠檬酸钠浓度的脱脂羊乳中各游离酪蛋白的质量分数如图 8 所示,3 种游离酪蛋白的质量分数在柠檬酸钠浓度 0~3 mmol/L 时均呈增加趋势,在 3~5 mmol/L 时趋于平稳。β-酪蛋白的质量分数由 30.5%增加至38.1%,κ-酪蛋白的质量分数由19.7%

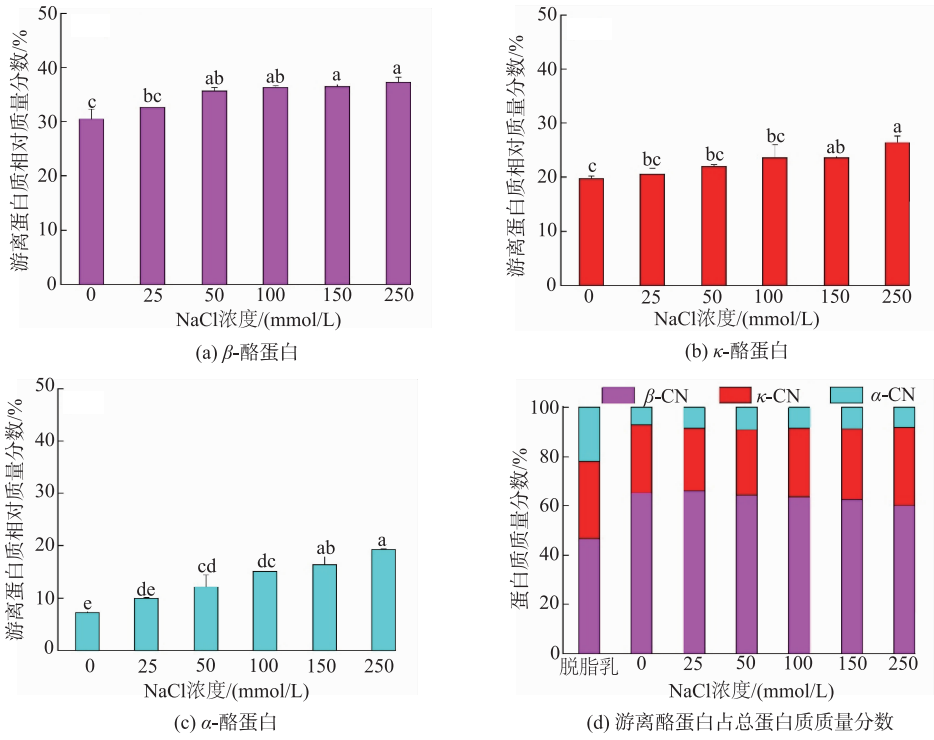


图 7　4 ℃下不同 NaCl 浓度处理脱脂羊乳中游离β-酪蛋白、κ-酪蛋白、α-酪蛋白及各游离酪蛋白质量分数

Fig. 7　Contents of free β-casein, κ-casein, α-casein and ratios of each free caseins in goat skim milk incubated with different added concentration of NaCl at 4 ℃

增加至 26.0,α-酪蛋白的质量分数由 7.3%增加至 13.8%。随柠檬酸钠添加浓度的增加,3 种游离酪蛋白中,β-酪蛋白和 α-酪蛋白的质量分数都略有增加,κ-酪蛋白的质量分数逐渐降低。

4 ℃下不同柠檬酸钠浓度处理脱脂羊乳中胶束钙的质量分数如图 9 所示。柠檬酸钠浓度从 0 mmol/L 增加到 5 mmol/L,胶束钙质量分数由 65.4%降低至 53.2%。添加的螯合剂与脱脂羊乳乳清中游离的钙离子相结合,从而使胶束钙解离到乳清中,磷酸钙的饱和溶解状态重新建立。胶束态酪蛋白分子上的负电荷基团随之暴露,增加了脱钙胶束内部邻近酪蛋白分子之间的静电排斥力,使胶束态酪蛋白解离到乳清中。胶束中通过疏水作用结合的β-酪蛋白的含量增加,进一步促使低温条件下β-酪蛋白从胶束中解离[16-17]。

2.6　不同 $CaCl_2$ 浓度对胶束态β-酪蛋白解离的影响

4 ℃下不同 $CaCl_2$ 浓度处理脱脂羊乳中各游离酪蛋白的质量分数如图 10 所示。$CaCl_2$ 浓度从 0 mmol/L 增加到 25 mmol/L,3 种游离酪蛋白的质量分数均呈降低趋势,其中β-酪蛋白的质量分数由 30.5%减少至 15.9%,κ-酪蛋白的质量分数由 19.7%减少至 6.8%;α-酪蛋白的质量分数由 7.3%减少至 4.8%,3 种游离酪蛋白中,β-酪蛋白和 κ-酪蛋白的质量分数呈逐渐减少趋势,α-酪蛋白的质量分数呈逐渐增加趋势。添加 $CaCl_2$ 使脱脂羊乳乳清中磷酸钙处于过饱和状态,促使游离钙离子结合到胶束中,增加胶束钙含量,胶束中通过疏水作用结合的β-酪蛋白的质量分数降低,从而减少低温条件下β-酪蛋白从胶束中的解离[18-19]。

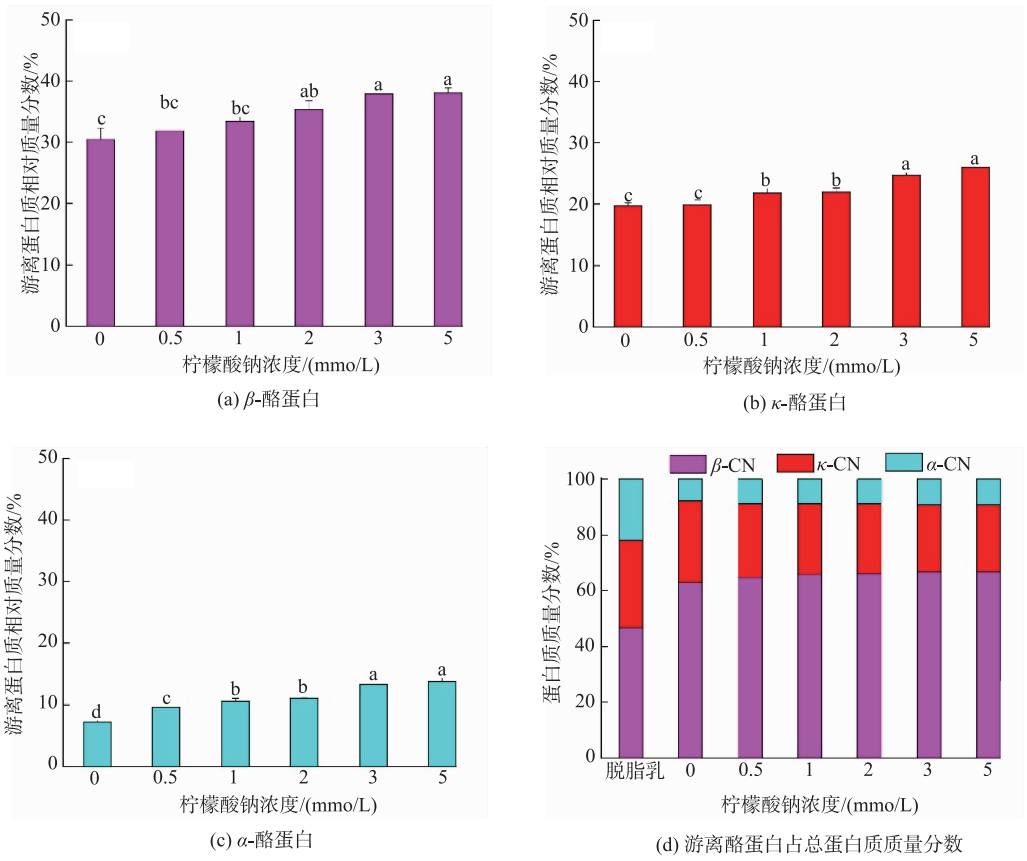


图 8　4 ℃下不同柠檬酸钠浓度处理脱脂羊乳中游离β-酪蛋白、κ-酪蛋白、α-酪蛋白及各游离酪蛋白质量分数

Fig. 8　Contents of free β-casein, κ-casein, α-casein and ratios of each free caseins in goat skim milk incubated with different added concentration of sodium citrate at 4 ℃

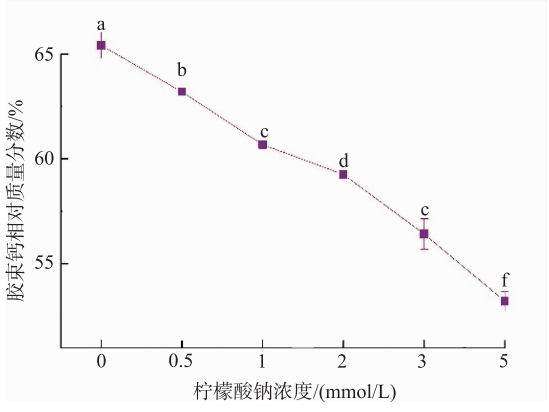


图 9　4 ℃下不同柠檬酸钠浓度处理脱脂羊乳中胶束钙的质量分数

Fig. 9　Contents of colloidal calcium in goat skim milk incubated with different added concentration of sodium citrate at 4 ℃

3 结　语

温度、平衡时间、pH、NaCl 浓度、柠檬酸钠浓度、$CaCl_2$ 浓度对羊乳中 β-酪蛋白从胶束中的解离有显著影响。在羊乳酪蛋白胶束结构中，部分 β-酪蛋白通过疏水作用与胶束骨架相结合，在低温作用下，会减弱蛋白质之间的疏水作用，通过疏水作用结合的部分 β-酪蛋白从胶束中解离。低温诱导胶束钙的解离，使得胶束中通过疏水作用结合的 β-酪蛋白的含量增加，促进低温条件下 β-酪蛋白从胶束中的解离。低温诱导胶束态 β-酪蛋白的解离在 120 min 后达到平衡状态。降低 pH 及添加柠檬酸钠和 NaCl 促进胶束钙的解离，增加胶束中通过疏水作用结合的 β-酪蛋白的含量，进一步促使低温条件下 β-酪蛋白从胶束中的解离。上述结果将为羊乳中 β-酪蛋白的低温微滤分离提供参考。

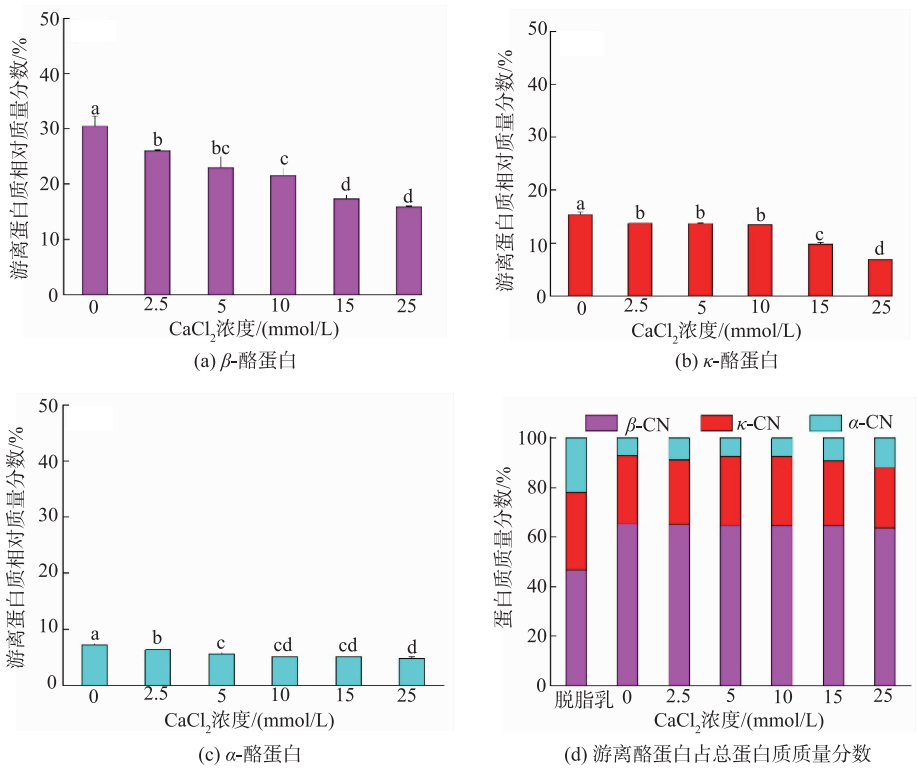


图 10　4 ℃下不同 $CaCl_2$ 浓度处理脱脂羊乳中游离β-酪蛋白、κ-酪蛋白、α-酪蛋白及各游离酪蛋白质量分数

Fig. 10　Contents of free β-casein, κ-casein, α-casein and ratios of each free caseins in goat skim milk incubated with different concentration of $CaCl_2$ at 4 ℃

参考文献:

[1] MANDALARI G, ADEL-PATIENT K, BARKHOLT V, et al. *In vitro* digestibility of beta-casein and beta-lactoglobulin under simulated human gastric and duodenal conditions: a multi-laboratory evaluation[J]. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, 2009, 55(3): 372-381.

[2] BOURLIEU C, MENARD O, CHEVASNERIE D L, et al. The structure of infant formulas impacts their lipolysis, proteolysis and disintegration during in vitro gastric digestion[J]. **Food Chemistry**, 2015, 182: 224-235.

[3] 白英, 母智深, 卢德勋, 等. 山羊β- 酪蛋白的分离及其含量的测定[J]. 中国乳品工业, 2007, 35(11): 53-56.

[4] ROY D, YE A Q, MOUGHAN P J, et al. Composition, structure, and digestive dynamics of milk from different species[J]. **Food Chemistry**, 2020, 7: 577-589.

[5] 杨宝雨. 基于陶瓷膜技术的羊乳膜分离工艺研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2019.

[6] PARK Y W, M JUAREZ, RAMOS M, et al. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk[J]. **Small Ruminant Research**, 2007, 68(68): 88-113.

[7] DALGLEISH D G, CORREDIG M. The structure of the casein micelle of milk and its changes during processing[J]. **Annual Review of Food Science and Technology**, 2012, 3(1): 449-467.

[8] BROYARD C, GAUCHERON, FREDERIC. Modifications of structures and functions of caseins: a scientific and technological challenge[J]. **Dairy Science & Technology**, 2015, 95(6): 831-862.

[9] LIU D S, ZHANG J, WANG L L, et al. Membrane-based fractionation, enzymatic dephosphorylation, and gastrointestinal digestibility of β-casein enriched serum protein ingredients[J]. **Food Hydrocolloids**, 2018, 88: 1-12.

[10] VISSER S, SLANGEN C J, ROLLEMA H S. Phenotyping of bovine milk proteins by reversed-phase high-performance liquid chromatography[J]. **Journal of Chromatography**, 1991, 548(1-2): 361-370.

[11] PIERRE A, BRULE G. Mineral and protein equilibria between the colloidal and soluble phases of milk at low temperature[J].

Journal of Dairy Research,1981,48(3):417-428.

[12] ZHANG Y,LIU D S,LIU X,et al . Effect of temperature on casein micelle composition and gelation of bovine milk[J]. **International Dairy Journal**,2018 ,78:20-27.

[13] SOOD S M,HERBERT P J,SLATTER C W. Structural studies on casein micelles of human milk:dissociation of β-casein of different phosphorylation levels induced by cooling and ethylenediaminetetraacetate[J]. **Journal of Dairy Science**,1997,80(4):628-633.

[14] MCSWEENEY P,FOX P F. Advanced dairy chemistry volume 3:lactose,water,salts and minor constituents[J]. **Advanced Dairy Chemistry**,2009(3):35-42.

[15] MAO X Y,TONG P S,GUALCO S,et al. Effect of NaCl addition during diafiltration on the solubility,hydrophobicity,and disulfide bonds of 80% milk protein concentrate powder[J]. **Journal of Dairy Science**,2012,95(7):3481-3488.

[16] YILSAY T O,LEE W J,HORNE D,et al. Effect of trisodium citrate on rheological and physical properties and microstructure of yogurt[J]. **Journal of Dairy Science**,2007,9(4):1644-1652.

[17] RAMCHANDRAN L,LUO X X,VASILJEVIC T. Effect of chelators on functionality of milk protein concentrates obtained by ultrafiltration at a constant pH and temperature[J]. **Journal of Dairy Research**,2017,84(4):1-8.

[18] GUINEE T P,O'KENNEDY B T,KELLY P M,et al. Micellar casein powders with different levels of calcium and cheeses prepared therefrom[J]. **PCT-Petent Cooperation Treaty**,2009,21(3):1-36.

[19] UDABAGE P,MCKINNON I R,AUGUSTIN M A. Mineral and casein equilibria in milk:effects of added salts and calcium-chelating agents.[J]. **Journal of Dairy Research**,2000,67(3):361-370.

科　技　信　息

韩国认定"重瓣金光菊(幼叶与茎)"为新食品原料

5月21日,韩国食品药品安全部与韩国农村振兴厅认定菊科植物"重瓣金光菊(幼叶与茎)"为新食品原料。

新食品原料认定制度:对韩国国内未曾作为食品食用的原料进行安全性等方面评估,若该原料被认定为新食品原料,则其可以在载入《食品法典》前暂时使用。

此前,部分国民通过加热、烹饪、凉拌等方式食用"重瓣金光菊"。随着最近农民对"重瓣金光菊"的栽培量增加,请求认定其为食品原料的呼声高涨,韩国农业振兴厅与韩国食品安全部通过对其进行生产方法统一化和安全性审查等过程,认定"重瓣金光菊(幼叶与茎)"为新食品原料。

"重瓣金光菊"的幼叶和干燥茎由44%碳水化合物、31%粗蛋白质、6%粗脂肪、11%无机物等均衡营养成分构成,具有特殊香味并可以作为野菜等多种用途使用。

[信息来源]食品伙伴网.韩国认定"重瓣金光菊(幼叶与茎)"为新食品原料[EB/OL]. (2021-6-18). http://news.foodmate.net/2021/06/596979.html