

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.03.015

闫清泉, 边燕飞, 赵中华, 等. 浓缩酪蛋白胶束成分的影响因素及其在奶酪生产中的应用[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(3): 106-111.

YAN Q Q, BIAN Y F, ZHAO Z H, et al. Influencing factors of micellar casein concentrate composition and its application in cheese production[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(3): 106-111.

浓缩酪蛋白胶束成分的影响因素 及其在奶酪生产中的应用

闫清泉, 边燕飞, 赵中华, 李玲玉, 赵悦, 宗学醒

(内蒙古蒙牛乳业(集团)股份有限公司, 内蒙古 呼和浩特 011500)

摘要: 目前, 采用膜过滤技术可从脱脂奶中分离酪蛋白, 随后通过浓缩、杀菌、干燥等工艺获得浓缩酪蛋白胶束。对浓缩酪蛋白胶束成分的影响因素及其在奶酪生产中的应用进行综述, 发现膜过滤期间的 pH 值、温度和洗滤条件均会影响浓缩酪蛋白胶束的成分, 使其具有不同浓度的酪蛋白、乳清蛋白、乳糖以及钙。而且可以利用浓缩酪蛋白胶束标准化原奶, 从而制备成分和品质一致的奶酪; 也可以利用不同成分的浓缩酪蛋白胶束获得不同的原奶组合物, 从而制备所需品质和功能的奶酪。总之, 在奶酪生产过程中添加浓缩酪蛋白胶束能够影响奶酪的成分、质地以及风味等, 但通过调整膜过滤和奶酪生产的工艺参数可以解决这些问题。未来还需获得一种经济有效的方式来保存浓缩酪蛋白胶束, 赋予其更长的保质期, 良好的凝乳酶凝乳特性, 从而保证奶酪的品质和产量。

关键词: 浓缩酪蛋白胶束; 膜过滤; 脱脂奶; 奶酪

中图分类号: TS252.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)03-0106-06

网络首发时间: 2023-04-26 14:12:37

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20230426.1309.006.html>

Influencing Factors of Micellar Casein Concentrate Composition and Its Application in Cheese Production

YAN Qing-quan, BIAN Yan-fei, ZHAO Zhong-hua, LI Ying-yu, ZHAO Yue, ZONG Xue-xing

(Inner Mongolia Mengniu Dairy Industry (Group) Co., Ltd, Hohhot, Inner Mongolia 011500, China)

Abstract: At present, casein can be isolated from skim milk by membrane filtration technology, and micellar casein concentrate could be obtained by concentration, sterilization, drying. In this paper, the factors affecting the composition of micellar casein concentrate and its application in cheese production were reviewed. It was found that pH value, temperature and diafiltrant during membrane filtration all affected the composition of micellar casein concentrate, resulting in different concentrations of casein, whey protein, lactose and calcium. It is also possible to standardize raw milk by micellar casein concentrate to produce cheese with the same composition and quality. It is also possible to obtain different raw milk compositions by micellar casein

收稿日期: 2023-01-24

基金项目: 2015 年和林格尔县重大科技专项 (2015-科技-0103)

Supported by: Major Science and Technology Project of Horinger County in 2015 (No. 2015-Technology-0103)

作者简介: 闫清泉, 男, 1985 年出生, 硕士, 高级工程师, 研究方向为乳品加工技术。E-mail: yanqingquan@mengniu.cn.

concentrate having different components to produce cheese with desired quality and function. In conclusion, the addition of micellar casein concentrate could affect the composition, texture and flavor of cheese during cheese production, but these problems could be solved by adjusting the process parameters of membrane filtration and cheesemaking. Further research will be still required to find an economic way to preserve micellar casein concentrate and give it extended shelf life, good rennet properties to ensure cheese quality and yield.

Key words: micellar casein concentrate; membrane filtration; skim milk; cheese

浓缩酪蛋白胶束(Micellar casein concentrate, MCC)是采用膜分离技术生产的蛋白产品,与传统酸凝或酶凝法制备的酪蛋白相比,MCC保留了酪蛋白的天然胶束结构,表现出优异的溶解性、起泡性和风味等特性^[1],可用于强化原奶中的酪蛋白浓度以及制备所需品质和功能的奶酪。MCC的主要成分包括酪蛋白胶束、乳清蛋白、乳糖、盐和小分子物质,酪蛋白(占蛋白质)含量在82%~99%之间变化,这主要取决于膜类型及工艺参数等。膜过滤期间不同的加工参数,如pH值、温度和过滤期间添加的水量,均会影响MCC的蛋白质分布和胶体钙含量,而过滤次数会影响MCC中乳糖和可溶性钙的浓度。

乳的成分,如酪蛋白、乳糖、可溶性钙和胶体钙是影响奶酪品质和产量的重要因素,因此,了解影响MCC成分的因素,以及MCC的原奶组合对奶酪的生产至关重要。本文对浓缩酪蛋白胶束成分的影响因素及其在奶酪生产中的应用进行综述,为浓缩酪蛋白胶束的开发及应用提供依据。

1 MCC成分的影响因素

1.1 pH值

在正常条件下,牛奶中的钙以两种形式存在:71%以胶体磷酸钙的形式存在于酪蛋白胶束中,29%以可溶性钙的形式存在。通过微滤技术,酪蛋白胶束中的胶体磷酸钙会保留在浓缩液中,而用柠檬酸或葡萄糖酸- δ -内酯预酸化脱脂奶后,酪蛋白胶束中的部分胶体磷酸钙溶解,并且流至渗透液。2019年,Schäfer等^[2]利用微滤技术验证不同pH值脱脂奶浓缩液中各成分的含量,结果发现,与正常pH牛奶相比,酸化处理使MCC中的乳清蛋白含量更高;在pH 6.2条件下,通过微滤

浓缩脱脂奶,将所得浓缩液酸化至pH 5.6,并用水溶液多次洗滤,最终浓缩液中的胶体磷酸钙含量可降低35%~52%,通过降低脱脂奶的pH值,可以使更多的钙进入到渗透液中。

大量研究表明,在微滤前酸化脱脂奶可以降低MCC中的矿物质含量,但导致酪蛋白胶束结构发生变化,从而影响奶酪的凝乳特性^[3-5]。2020年,Gaber等^[3]通过在洗滤水中添加不同的酸化剂,如乳酸、盐酸、柠檬酸和碳酸来降低微滤浓缩液的pH值,从而研究浓缩液的组成对奶酪凝乳特性的变化。结果发现,经过碳酸处理后MCC中的总磷和无机磷酸盐含量降低;柠檬酸处理后MCC中的镁和钠含量降低,此外,微滤浓缩液经酸化洗滤水处理后,使得奶酪的凝乳时间缩短。因此利用脱矿质MCC可以制备干物质更高的奶酪,但与传统奶酪相比,生产加工的预处理时间将会更长。

1.2 温度

在传统的膜分离过程中,分离工艺的温度通常为45~50℃,因为在此温度下膜通量较高,分离速率快,同时有效去除MCC中的乳清蛋白。而从脱脂奶中分离 β -酪蛋白,减少嗜热微生物的生长以及结构,则需要低温条件下进行微滤^[6]。

1.2.1 分离 β -酪蛋白

β -酪蛋白具有多种重要的生理功能,可以促进钙离子、磷离子等的吸收,此外, β -酪蛋白具有优良的消化特性,经过消化产生的 β -酪蛋白肽段具有抗氧化性、抗菌抑菌性及免疫调节活性等多种功能,因此 β -酪蛋白可被视为具有生物活性的不同肽的前体^[7]。2016年,李珺珂等^[6]采用聚丙烯酰胺凝胶电泳和高效液相色谱技术对蛋白做定性和定量分析,从而研究膜孔径、温度、洗滤

液和洗滤次数等条件对 β -酪蛋白分离效果的影响,结果发现采用 30 nm 陶瓷膜,在 25 °C 和 50 °C 条件下分离脱脂奶,渗透液中主要含乳清蛋白,几乎不含 β -酪蛋白;而在 4 °C 分离时,渗透液中含有较多的 β -酪蛋白,因此低温条件有利于 β -酪蛋白的分离。这是由于部分 β -酪蛋白是通过疏水作用结合在酪蛋白胶束中,当温度降低时,疏水作用变弱,这部分 β -酪蛋白会逐渐游离到乳清中。因此在微滤前冷藏脱脂奶可以有效去除 MCC 中的 β -酪蛋白。

1.2.2 抑制微生物生长

低温微滤可以抑制加工过程中微生物的生长,而提高温度不仅促进微生物生长,还增加清洗所需的时间和洗涤剂的用量,因此越来越多研究开始探究除热处理之外,可以利用低温微滤去除乳清蛋白而非 β -酪蛋白的方法。2021 年, Schiffer 等^[8]研究在低温诱导条件下,钙和 pH 值对渗透液中 β -酪蛋白含量的影响,结果发现当脱脂奶 pH 值在 6.3~7.3 之间,通过添加氯化钙,使钙含量增加到 7.5 mM,会降低渗透液中酪蛋白的含量。表明添加氯化钙,可有效减少酪蛋白胶束中 β -酪蛋白的解离,从而增加渗透液中乳清蛋白的纯度。

然而与普通微滤相比,低温使料液的粘度增加,在膜分离过程中容易产生浓差极化,造成膜孔径的堵塞,影响膜通量,从而导致渗透液中乳清蛋白含量降低,并且还需要消耗更多的能量以维持膜系统的低温环境,因此低温微滤有明显的局限性。

1.3 洗滤

在微滤过程中,脱脂奶中的酪蛋白胶束和结合的胶体磷酸钙保留在 MCC 中,而乳清中的水、乳清蛋白、乳糖、可溶性盐和其他小分子等进入渗透液。随着膜分离过程的进行, MCC 的浓度和粘度都会增加,导致膜通量和膜分离效率降低。通过向 MCC 中加入去离子水或超滤渗透液等洗滤液,可以降低 MCC 的浓度和粘度,增加膜通量,从而尽可能多的分离出 MCC 中的乳清蛋白,此外增加洗滤次数也可以提高乳清蛋白的分离率^[9]。

1.3.1 去离子水

MCC 中添加去离子水作为洗滤液时,乳清中的乳清蛋白、乳糖和可溶性盐等被稀释,并在洗滤期间部分分离至渗透液,随着洗滤次数的增加,可以从 MCC 中去除更多的乳清蛋白、乳糖和可溶性盐。2020 年, Xia 等^[9]对脱脂奶进行微滤,利用去离子水作洗滤液,在两次补水洗滤后,从脱脂奶中去除 94.14% 的乳糖和 22%~29.99% 的总钙,这种方法制备的 MCC 中乳糖和可溶性盐的含量非常低。正常脱脂奶的 pH 值为 6.55~6.76,但洗滤后 MCC 的 pH 值会升高,经过两次洗滤, pH 值可达到 6.96~7.30,造成这种情况的原因是去离子水的洗脱,促进胶体磷酸钙解离以及降低缓冲盐浓度。

与使用去离子水或软化水作为洗滤液相比,自来水由于其钙含量较高,可以减少酪蛋白胶束的变化。此外, Reitmaier 等^[10]还建议进一步研究使用乳制品厂产生的廉价副产物,如蒸发冷凝液、纳滤渗透液和反渗透渗透液作为微滤洗滤液的可能性,降低成本的同时还可以提高环境可持续性。

1.3.2 超滤渗透液

超滤渗透液是将脱脂奶或微滤渗透液采用超滤膜进行浓缩后得到的渗透液。Nelson 等^[11]在微滤浓缩液中添加超滤渗透液进行过滤,结果发现所制备的 MCC 中乳清蛋白浓度下降,而且随着洗滤次数的增加, MCC 中的乳清蛋白逐渐分离至渗透液中,乳糖和可溶性盐含量与脱脂奶相似。因此通过添加超滤渗透液,可以制备低乳清蛋白的 MCC,并可用于标准化奶酪加工工艺。

总之,通过调整洗滤液的类型和洗滤次数可以控制 MCC 中乳清蛋白、乳糖、可溶性盐的组成和含量,而对酪蛋白胶束几乎没有影响。通过使用水和超滤渗透液的混合物作为洗滤液,可以将 MCC 中的乳糖含量从 4.58% 降低到 3.2%~3.9%,从而使奶酪制造商能够在不清洗凝块的情况下生产出高质量的埃门塔尔奶酪^[12]。

1.4 其他因素

通常采用初始加工工艺以提高牛奶的卫生质量,如热处理或 1.4 μm 膜孔径的微滤。与膜孔径为 1.4 μm 的微滤相比,脱脂奶在微滤前的热处理

会导致乳清蛋白变性,从而降低渗透液中乳清蛋白的回收率^[13]。在微滤过程中,最常用的是陶瓷膜和聚合物膜,与陶瓷膜相比,聚合物膜从浓缩液中分离乳清蛋白的效率较低,并且对热的稳定性差,然而聚合物膜的成本和运行成本较低,且膜通量高。相比于较小孔径的陶瓷膜,较大孔径陶瓷膜分离的 MCC 酪蛋白含量更低。总体而言,奶酪制造商应根据加工条件,如 pH 值和温度以及 MCC 中所需酪蛋白含量和成本选择分离膜,如膜类型、膜孔径等。

2 浓缩酪蛋白胶束在奶酪中的应用

2.1 乳清蛋白含量

奶酪中主要的蛋白水解酶包括凝乳酶和纤溶酶,其中凝乳酶主要水解 $\alpha 1$ 酪蛋白,而纤溶酶同时水解 β -酪蛋白和 $\alpha 2$ 酪蛋白。纤溶酶原能够被纤溶酶原激活剂转化为纤溶酶,由于乳清蛋白能够抑制纤溶酶和纤溶酶原激活剂的活性,通过微滤和洗滤后 MCC 中的乳清蛋白含量降低,导致 MCC 中的纤溶酶活性增加^[12]。因此在酪蛋白含量相同的情况下,由 MCC 原料奶制备的奶酪在成熟过程中 β -酪蛋白分解和蛋白水解程度均高于由普通原料奶制成的奶酪。Aaltonen 等^[14]研究预测,由于 MCC 原料奶制备的奶酪蛋白水解程度高,因此奶酪产量将下降;然而,其他相关研究并未观察到此现象,这可能是由于在这些研究中,微滤后的 MCC 在 24 h 内即被制成奶酪^[7]。因此需要进一步研究,以确定在奶酪生产中使用 MCC 时,长时间的储存是否会促进酪蛋白的分解,并对奶酪产量造成影响。

2018 年, Gamlath 等^[15]利用不同乳清蛋白与酪蛋白比例的原料奶制备奶酪,从而研究天然乳清蛋白对凝乳酶凝乳的影响。结果表明,天然乳清蛋白抑制了凝乳酶的酶促反应,从而延迟了凝乳时间并降低了凝乳速率。此外,除了抑制凝乳酶外,天然乳清蛋白还是副酪蛋白聚集的物理屏障。因此,相比于普通原料奶, MCC 中天然乳清蛋白浓度的降低导致其凝乳速度加快。乳清蛋白在加热后变性并展开,变性乳清蛋白上暴露的游离巯基与其他乳清蛋白、游离 κ -酪蛋白、酪蛋白

胶束和纤溶酶结合,导致奶酪的凝乳特性和纤溶酶活性降低。由于 MCC 中乳清蛋白含量较低,因此,经过不同温度灭菌后 MCC 制成的奶酪凝乳特性和纤溶酶活性不存在显著性差异^[16]。总之,通过微滤控制 MCC 中的乳清蛋白含量,可以改变奶酪的蛋白水解程度和凝乳特性。

2.2 酪蛋白含量

牛奶中主要含有蛋白质、脂肪、乳糖、无机盐类及维生素等成分,且各种成分的含量随季节、饲料、哺乳期和品种等因素而变化。在生产半硬质奶酪时,凝乳温度、切割时间、热煮温度和时间等工艺参数通常是固定的,因此原料奶中蛋白质含量的变化会导致奶酪成分和产量的变化。通过增加原料奶中的酪蛋白含量,凝块达到最适合切割硬度时所需的时间将减少,最适合切割凝块的时间也将减少,导致奶酪产量降低^[17]。微滤不仅从脱脂奶中分离出酪蛋白胶束,而且将其浓缩到 MCC 中, MCC 中的酪蛋白含量可通过蒸发或喷雾干燥进一步增加,因此可以用 MCC 强化原料奶的酪蛋白含量,或直接用 MCC 制备高酪蛋白含量的原料奶。通过添加 MCC 将原料奶的酪蛋白含量进行标准化,不仅避免了牛奶成分差异导致的奶酪品质缺陷,而且还可以稳定奶酪的产量^[18]。

Govindasamy 等^[19]将 MCC (16.4%总固体、11.0%酪蛋白、0.4%脂肪)和全脂奶(12.1%总固体、2.4%酪蛋白、3.4%脂肪)混合后获得 MCC 原料奶,并且分别利用普通脱脂奶和 MCC 原料奶制备披萨奶酪,结果发现, MCC 原料奶制备奶酪的水分含量占比为 45%,比脱脂奶制备奶酪的水分含量低 2%~3%。2020 年, Xia 等^[9]利用 4 种不同类型的原料奶制备奶酪,结果发现,酪蛋白含量高的原料奶制备奶酪的水分和无脂干物质中的水分含量最低,这是由于在凝乳过程中,酪蛋白浓度高使得凝乳颗粒碰撞更加频繁,凝块更容易脱水收缩。因此利用 MCC 制备奶酪会造成产品水分含量下降,硬度增加等问题,当然,可以通过改变奶酪的工艺参数来解决,以更柔软的凝块硬度切割、将凝块切割成更大的尺寸或降低热煮温度等,可以使 MCC 奶酪中的水分、无脂干

物质中的水分含量以及硬度与标准奶制备的奶酪相似。

2.3 钙含量

研究表明,酪蛋白胶束和与之结合的胶体磷酸钙分别占脱脂奶缓冲性能的 32.7%和 20.9%^[20]。由于 MCC 原料奶的酪蛋白和胶体磷酸钙含量较高,导致其缓冲性能较强,这种高缓冲性能缓解了奶酪酸化过程中 pH 的降低,此外,还导致奶酪硬度增加,流动性和拉伸性能降低。与正常 MCC 相比,脱矿质 MCC 的胶体磷酸钙含量降低,缓冲性能下降,因此使用脱矿质 MCC 制备的奶酪可以有效改善马苏里拉奶酪的质地,增加其流动性和拉伸性。此外, Schäfer 等^[21]利用不同钙和蛋白比例的 MCC 制备新鲜奶酪,结果发现当钙:蛋白比例 ≤ 15.9 mg/g 时,奶酪的苦味和苦味肽含量显著降低,表明奶酪苦味与高的钙含量有关,使用脱矿质 MCC 制备的奶酪苦味明显下降。因此,脱矿质 MCC 是制备高酪蛋白含量和低缓冲性能奶酪的最佳选择。

3 结论

综上所述,通过控制微滤期间的 pH 值、温度以及洗滤条件等,可以获得不同浓度酪蛋白、乳清蛋白、乳糖和钙含量的浓缩酪蛋白胶束。而且可以利用浓缩酪蛋白胶束,标准化原奶,从而制备成分和品质一致的奶酪,也可以制备不同的原奶组合物及所需品质和功能的奶酪。但还需要进一步研究来获得一种经济有效的方式来保存浓缩酪蛋白胶束,赋予其更长的保质期,良好的凝乳酶凝乳特性,从而保证奶酪的品质和产量。

参考文献:

- [1] 张瑞华. 酪蛋白胶束粉的膜分离及超声改性研究[D]. 天津科技大学, 2017.
ZHANG R H. Study on membrane separation and ultrasound modification of micellar casein powder[D]. Tianjin University of Science and Technology, 2017.
- [2] SCHÄFER J, MESCH I, ATAMER Z, et al. Calcium reduced skim milk retentates obtained by means of microfiltration[J]. Journal of Food Engineering, 2019, 247: 168-177.
- [3] GABER S M, JOHANSEN A G, DEVOLD T G, et al. Minor acidification of diafiltration water using various acidification agents affects the composition and rennet coagulation properties of the resulting microfiltration casein concentrate[J]. Journal of Dairy Science, 2020, 103(9): 7927-7938.
- [4] BOIANI M, MCLOUGHLIN P, AUTY M A E, et al. Effects of depleting ionic strength on 31P nuclear magnetic resonance spectra of micellar casein during membrane separation and diafiltration of skim milk[J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(9): 6949-6961.
- [5] KORT E D, MINOR M, SNOEREN T, et al. Effect of calcium chelators on physical changes in casein micelles in concentrated micellar casein solutions[J]. International Dairy Journal, 2011, 21(12): 907-913.
- [6] 李珺珂, 刘大松, 赖瑞业, 等. 低温微滤技术制备富含 β -酪蛋白和乳清蛋白的新型功能性乳蛋白配料[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(6): 11-18.
LI J K, LIU D S, LAI R Y, et al. Whey protein and p-casein enriched new functional milk protein by microfiltration at low temperature[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(6): 11-18.
- [7] 陈文亮, 苏米亚, 贾宏信, 等. β -酪蛋白的功能特性及其在婴儿配方乳粉中的应用研究进展[J]. 乳业科学与技术, 2020, 43(2): 38-43.
CHEN W L, SU M Y, JIA H X, et al. Functional characteristics and application in infant formula of β -casein[J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2020, 43(2): 38-43.
- [8] SCHIFFER S, SCHEIDLER E, KIEFER T, et al. Effect of temperature, added calcium and pH on the equilibrium of caseins between micellar state and milk serum[J]. Foods, 2021, 10(4): 822.
- [9] XIA X, TOBIN J T, SHARMA P, et al. Application of a cascade membrane filtration process to standardise serum protein depleted cheese milk for Cheddar cheese manufacture[J]. International Dairy Journal, 2020, 110: 104796.
- [10] REITMAIER M, BACHMANN I, HEIDEBRECHT H, et al. Effect of changes in ionic composition induced by different diafiltration media on deposited layer properties and separation efficiency in milk protein fractionation by microfiltration[J]. International Dairy Journal, 2021, 120: 105089.
- [11] NELSON B K, BARBANO D M. A microfiltration process to maximize removal of serum proteins from skim milk before cheese making[J]. Journal of Dairy Science, 2005, 88(5): 1891-1900.
- [12] HEINO A, UUSI-RAUVA J, OUTINEN M. Microfiltration of milk I: Cheese milk modification by micro- and ultrafiltration and the effect on Emmental cheese quality[J]. Milchwissenschaft-milk Science International, 2008, 63(3): 279-283.
- [13] MANON G, NADINE L, FABIENNE G, et al. Transmembrane pressure and recovery of serum proteins during microfiltration of

- skimmed milk subjected to different storage and treatment conditions[J]. *Foods*, 2020, 9(4): 390.
- [14] TERHI A, PIA O. Effect of microfiltration of milk on plasmin activity[J]. *International Dairy Journal*, 2010, 21(4): 193-197.
- [15] GAMLATH C J, LEONG T S H, ASHOKKUMAR M, et al. The inhibitory roles of native whey protein on the rennet gelation of bovine milk[J]. *Food Chemistry*, 2018, 244: 36-43.
- [16] XIA X, KELLY A L, TOBIN J T, et al. Effect of heat treatment on whey protein-reduced micellar casein concentrate: A study of texture, proteolysis levels and volatile profiles of Cheddar cheeses produced therefrom[J]. *International Dairy Journal*, 2021: 105280.
- [17] RRPAB C, ALK B, JJS A, et al. Influence of protein concentration and coagulation temperature on rennet-induced gelation characteristics and curd microstructure[J]. *Journal of Dairy Science*, 2019, 102(1): 177-189.
- [18] SOODAM K, GUINEE T P. The case for milk protein standardisation using membrane filtration for improving cheese consistency and quality[J]. *International Journal of Dairy Technology*, 2018, 71(2).
- [19] GOVINDASAMY-LUCEY S, JAEGGI J J, JOHNSON M E, et al. Use of cold microfiltration retentates produced with polymeric membranes for standardization of milks for manufacture of pizza cheese[J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(10): 4552-4568.
- [20] LUCEY J A, HAUTH B, GORRY C, et al. The acid-base buffering properties of milk[J]. *Milchwissenschaft-milk Science International*, 1993, 48(5): 268-272.
- [21] SCHÄFER O, SEBALD K, DUNKEL A, et al. A feasibility study on the pilot scale manufacture of fresh cheese from skim milk retentates without acid whey production: Effect of calcium content on bitterness and texture[J]. *International Dairy Journal*, 2019, 93: 72-80. 完