

乳固形物浓度对酸羊乳品质的影响

张哲源,王银,高佳媛,徐连应,张富新*

(陕西师范大学 食品工程与营养科学学院,陕西 西安,710119)

摘 要 采用真空浓缩方法,获得固形物含量为 12%、14%、16%、18% 的羊乳,用其生产酸羊乳,探索不同乳固形物浓度对酸羊乳品质的影响。从凝乳特性、质构特性、风味物质、乳酸菌数等方面对不同固形物浓度的酸羊乳进行分析,并且采用扫描电镜对其微观结构进行比较。结果显示,随着羊乳固形物浓度的提高,酸羊乳的凝乳时间显著降低,酸度逐渐增大,持水性显著增高;酸羊乳的双乙酰浓度和乙醇浓度在乳固形物含量为 16% 时达到最高;随着羊乳固形物浓度的提高,酸羊乳的黏度增加了 149.07%,酸羊乳的硬度、黏性、胶黏度显著增加,凝聚力显著降低;乳酸菌总数在羊乳固形物含量为 16% 时达到最大值 6.35×10^9 CFU/mL;羊乳固形物含量为 16% 时,酸羊乳的微观结构非常致密,空隙直径最小为 2.85 μm 。羊乳固形物含量为 16% 时,酸羊乳风味最佳,凝乳质地较硬,黏度较高,乳酸菌总数最高,品质最好。

关键词 酸羊乳;浓缩;固形物含量;品质

羊乳富含蛋白质、脂肪、乳糖、矿物质以及多种维生素^[1],可用于生产奶酪、酸奶等多种乳制品。酸羊乳是以羊乳为原料,经过灭菌、发酵、后熟等工艺制成的一种半固体乳制品,羊乳的营养性使得酸羊乳具有很高的营养价值。研究发现,酸羊乳有改善肠道菌群,降低胆固醇,促进营养成分吸收利用的作用,且特别适合乳糖不耐症人群食用^[2]。

羊乳中的蛋白质主要为酪蛋白和乳清蛋白,构成酸羊乳凝胶的基本单位是酪蛋白胶束^[3],国内外研究发现,牛乳中 α_{s1} -酪蛋白含量占总蛋白的 43%,而在羊乳中, α_{s1} -酪蛋白含量只占总蛋白的 1% ~ 3%^[4],正是因为羊乳与牛乳之间存在这样的差异,导致在实际生产中,酸羊乳产品易表现出凝固性差,乳清易析出,凝乳时间长的缺陷^[5]。然而改变羊乳中酪蛋白的组成和结构难度较大,不易在具体生产过程中实行,因此如何有效改善酸羊乳的凝乳特性和提升质量品质成为现阶段研究重点。赵新淮^[6]发现卡拉胶与槐豆胶复配组合对酸乳的质地、持水性产生了显著的改善作用;YAZICI^[7]等利用向原料乳添加脱脂乳粉的方式来改变其总干物质含量,达到了改善其

感官特性以及质构特性的效果;SANDRA^[8]等人利用超滤技术改变了牛乳的酪蛋白浓度。研究发现,不同酪蛋白浓度的酸牛乳其硬度之间的差异显著。可见,提高乳固形物浓度和使用食品添加剂是一个改善酸乳品质的有效方法。但稳定剂与脱脂乳粉本身所具有的气味在一定程度上影响了酸乳的风味和质量,均不利于工业生产。

本试验采用真空浓缩方法改变原料羊乳的固形物含量,探索不同的乳固形物浓度对酸羊乳品质的影响。

1 材料与方法

1.1 样品采集

羊乳来自西北农林科技大学奶山羊场当日生产的混合鲜羊乳,固形物含量为 12.01%。

1.2 材料与仪器

YO-MIX187 型发酵剂,丹尼斯克公司,由保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌组成;Lactoscan MCC 乳成分分析仪,Lactoscan 公司;RE-52 旋转蒸发器,上海安亭实验仪器有限公司;PHSJ-4A 实验室 pH 计,上海仪电科学仪器股份有限公司;HH-S4 型电热恒温水浴锅,北京科伟永兴仪器有限公司;赛福智能生化培养箱,宁波海曙赛福实验仪器厂;BSA2202S 电子天平,赛多利斯科学仪器有限公司;DV2TLVT 黏度计,BROOKFIELD 公司;TA.XT.Plus 质构仪,英国 Stable Micro System 公司设计生产;S-3400N 扫描电子显微镜,株式会社,日立高新技术,那珂事业所;T6 新世纪

第一作者:硕士研究生(张富新教授为通讯作者,E-mail: fuxinzh@snnu.edu.cn)。

基金项目:陕西省科技成果转化专项资金(2016KTCG01-12);“中央高校基本科研业务费专项资金资助”(GK201603097, GK201703063);陕西省科技计划项目(2012K02-06,2016NY-207)

收稿日期:2017-06-13,改回日期:2017-07-14

紫外分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司。

1.3 实验方法

1.3.1 羊乳的浓缩

利用 RE-52 旋转蒸发器对原料羊乳进行真空浓缩,浓缩温度为 55 ℃,真空度为 0.90 MPa。并用乳成分分析仪进行实时检测,得到乳固形物含量为 12%、14%、16% 和 18% 的原料羊乳。

1.3.2 酸羊乳的制备

不同乳固形物浓度的羊乳→添加 8% 蔗糖→混合→65 ℃,30 min 杀菌→冷却→接种 3% 活化后的发酵剂→分装→42 ℃ 发酵→4 ℃ 冷藏后熟 24 h→成品

1.3.3 测定方法

1.3.3.1 凝乳时间的测定

以接种发酵剂后放入培养箱时刻为发酵起点,以酸羊乳 pH 值为 4.5 时记为发酵终点,记录凝乳时间。

1.3.3.2 酸度的测定

依据 GB 541334—2010 方法,对酸羊乳凝乳完成时和后熟 24 h 后的酸度进行检测。

1.3.3.3 黏度的测定

利用 DV2TLVT 黏度计对后熟 24 h 后的酸羊乳成品进行测定,根据黏度范围,选用 63 号转子,转速 12 r/min,在室温下测试,第 30 s 时记录数据,分别测量 3 次数据后取平均值,黏度单位为 mPa·s。

1.3.3.4 持水性的测定

酸羊乳持水性的测定采用 CELIK^[9] 的方法,在 4 ℃ 下,取 5 mL 后熟 24 h 后的酸羊乳于 5 000 r/min 离心 20 min,取出离心管,倾去上清液,测出残余物的质量,计算其持水性。每个样品取 3 个平行样。

$$\text{酸乳持水性}/\% = \frac{\text{离心沉淀物质量}}{\text{样品质量}} \times 100$$

1.3.3.5 质构特性的测定

酸羊乳质构特性的测定采用 SANTO^[10] 的方法,稍作调整,测定模式和选项:T. P. A;测定前探头速度:1.00 mm/s;测定时探头速度:1.00 mm/s;测定后探头速度:1.00 mm/s;测定距离:酸乳厚度的 30%;探头型号:P/36R。

1.3.3.6 双乙酰和乙醛的测定

依据刘宁宁的文献^[11],对后熟 24 h 后的酸羊乳中双乙酰和乙醛的含量进行检测。

1.3.3.7 乳酸菌数的测定

依据 GB 4789.35—2016 方法对后熟 24 h 后酸羊乳成品中的乳酸菌数进行测定。

1.3.3.8 微观结构的测定

在酸羊乳成品表面下深 1 cm 处取 3 mm × 3 mm × 1 mm 大小的酸乳小样,置入浓度为 2.5%、pH7.4 的戊二醛磷酸盐缓冲溶液中固定 3 d,用 pH7.4 磷酸缓冲液冲洗 3 次,每次 10 min。然后用液氮将其冷冻,用刀片切割成 3 mm × 1 mm × 1 mm 大小,使用乙醇进行梯度(20%、40%、60%、80%)脱水 1 次,每次 10 min,100% 乙醇脱 3 次,每次 10 min。用 V(乙酸异戊酯):V(100% 乙醇)=1:2、V(乙酸异戊酯):V(100% 乙醇)=1:1、100% 乙酸异戊酯的溶液分别置换乙醇 10 min。将样品置于二氧化碳超临界干燥仪中干燥 1.5 h,采用离子溅射仪镀铂金膜 3 min,上镜观察^[12]。

1.3.4 数据处理

采用 Origin9.1 绘图软件绘制图像,使用 DPSv9.01 数据分析系统进行方差分析及显著性分析。

2 结果与分析

2.1 乳固形物浓度对酸羊乳凝乳情况的影响

酸羊乳的凝乳时间以及凝乳状态对工业生产的影响重大,生产凝乳时间快且凝乳状态良好的酸羊乳可以有效提高生产效率。由图 1 可见,随着乳固形物浓度的升高,酸羊乳的凝乳时间呈显著下降趋势($p < 0.05$),固形物含量为 18% 时,酸羊乳的凝乳时间最快达到 6 h,这可能是由于羊乳中酪蛋白浓度提高,导致酪蛋白的胶束形成速度变快,从而使得酸乳凝胶结构更快地形成。

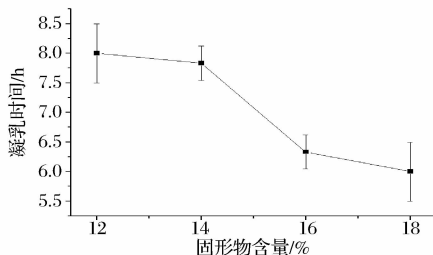


图 1 不同乳固形物浓度对酸羊奶的凝乳时间的影响

Fig. 1 Effect of different total solids content/concentration of goat yogurt on fermentation time

由表 1 知,随着原料羊乳固形物浓度的升高,在固形物含量为 16% 和 18% 时,酸羊乳凝乳状态好,无

乳清析出,这可能是因为高浓度的酸羊乳凝胶中酪蛋白的胶束更多,导致胶束更加致密,其包裹乳中水分的能力更强,因此乳清无析出。

表 1 不同乳固形物浓度的酸羊奶的乳清析出情况

Table 1 Effect of total solids of goat milk yogurt on situation of whey precipitate

固形物含量/%	乳清析出情况
12	少量乳清析出
14	少量乳清析出
16	无乳清析出
18	无乳清析出

2.2 乳固形物浓度对酸羊乳凝乳酸度的影响

酸度能够在一定程度上影响酸羊乳的感官品质,适宜的酸度更容易使消费者接受^[13]。由图 2 可见,不同乳固形物浓度的酸羊乳凝乳完成时的酸度并无显著差异($p > 0.05$),但是后熟 24 h 后的酸度差异极显著($p < 0.01$),随着乳固形物浓度的提高,酸羊乳后熟 24 h 后的酸度明显升高,这可能是因为乳浓度过高,抑制了微生物的生长,使得乳酸菌代谢缓慢,产酸不强;固形物含量为 16% 和 18% 的酸羊乳在后熟阶段增加的酸度明显高于 12% 和 14% 的酸羊乳,这可能是由于浓缩使得原料羊乳中乳糖浓度升高,在凝乳完成时,固形物含量为 16% 和 18% 的酸羊乳中仍有一部分乳糖并没有完全分解,在后熟阶段,未被分解的乳糖继续被利用,导致酸度明显增加。

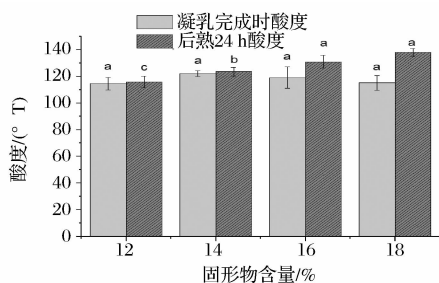


图 2 不同乳固形物浓度对酸羊乳的滴定酸度的影响

Fig. 2 Effect of different total solids content/concentration of goat yogurt on acidity

2.3 乳固形物浓度对酸羊乳持水性的影响

持水性是表示酸乳在生产过程与贮藏过程中是否容易出现析水现象的指标,也是反映酸乳品质的一项重要因素。由图 3 可见,不同乳固形物浓度对酸羊乳的持水性有着极显著的影响($p < 0.01$),当乳固形物浓度从 14% 增加到 16% 时,酸羊乳的持水性有大幅提高,达到 58.58%,但固形物含量为 18% 的酸羊

乳与 16% 的酸羊乳的持水性之间差异不显著($p > 0.05$),这与 HARWALKAR^[14] 的研究结果相似。持水性出现增长趋势,这可能是因为羊乳固形物含量越高,羊乳中的酪蛋白颗粒越多,颗粒之间的作用力增强,酪蛋白结构孔穴变小,酪蛋白链变短,使得酪蛋白凝胶结构的密度越来越大,同时,羊乳中乳糖浓度的增加,使得酪蛋白的水化作用降低,导致酪蛋白的颗粒变小以及酪蛋白胶束之间的缝隙变小^[15],因此酸羊乳所保持的水分更加不易析出;还有研究表示,高浓度的乳蛋白其表面的活性成分能够通过氢键结合更多的水分^[16],使酸乳的持水性得到增强。

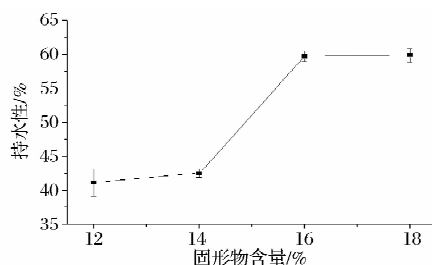


图 3 不同乳固形物浓度对酸羊乳的持水性的影响

Fig. 3 Effect of different total solids content/concentration of goat yogurt on water holding capacity

2.4 乳固形物浓度对酸羊乳黏度的影响

酸乳的黏度值是一个相对指标,能够反映酸乳样品是否具有连续的稳定性,也能够反映酸乳的组织状态是否良好。本试验采用黏度计对酸羊乳的黏度进行测定,由图 4 可见,不同固形物含量的酸羊乳之间,其黏度有着极显著的差异($p < 0.01$)。随着乳固形物浓度的提高,酸羊乳的黏度明显增高,但固形物含量为 16% 和 18% 的酸羊乳的黏度之间无显著差异($p > 0.05$)。固形物含量从 12% 到 18% 的过程中,酸羊乳的黏度增加了 149.07%,这与 WACHERRO-DARTE^[17] 和 GUZMANGONZALEZ^[18] 等人的结果相似。酸乳产生黏度的主要原因是酪蛋白胶束作用的结果,所以乳浓度越高,酸羊乳中酪蛋白之间的作用可能越强;有研究表示,胞外多糖也是产生黏度的重要原因^[19],高浓度的酸羊乳可能更适合菌株产生高黏度的胞外多糖,导致酸羊乳黏度随着固形物含量的提高而升高。在实际生产中,高黏度有助于延长酸乳货架期,增强酸乳品质^[20],因此在固形物含量为 16% 和 18% 时,酸羊乳的质量最好。

2.5 乳固形物浓度对酸羊乳质构特性的影响

质构仪能够根据酸乳的物性特点做出数据化的准确表达,并客观地评价酸乳的质地品质。本试验采

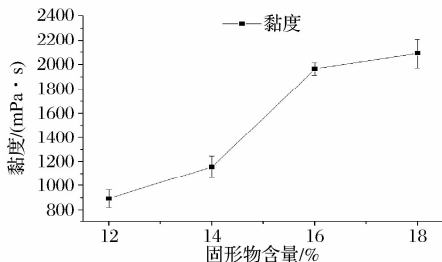


图4 不同乳固形物浓度对酸羊乳的黏度的影响

Fig. 4 Effect of different total solids content/concentration of goat yogurt on viscosity

用质构仪模拟人的触觉对酸羊乳的质构特性进行测定,由图5可见,随着乳固形物浓度的提高,不同乳浓度的酸羊乳其硬度呈显著性增长($p < 0.05$),黏性和胶黏度呈极显著性增长($p < 0.01$),弹性几乎不变,凝聚力呈显著性降低($p < 0.05$),但乳固形物浓度为16%和18%的酸羊乳的弹性差异不显著($p > 0.05$)。乳固形物浓度从12%到18%的过程中,硬度增加了169.3%,黏性增加了309.9%,胶黏度增加了83.77%,凝聚力降低了17.6%,这与CLARK等人^[21]的研究结果相似。硬度、黏性和胶黏度反映酸乳的稠厚程度,凝聚力反映酸羊乳的细腻度和爽滑性^[22],所以随着原料羊乳固形物含量的提高,酸羊乳的口感变得越来越浓稠,细腻度和爽滑性也变得原来越好。

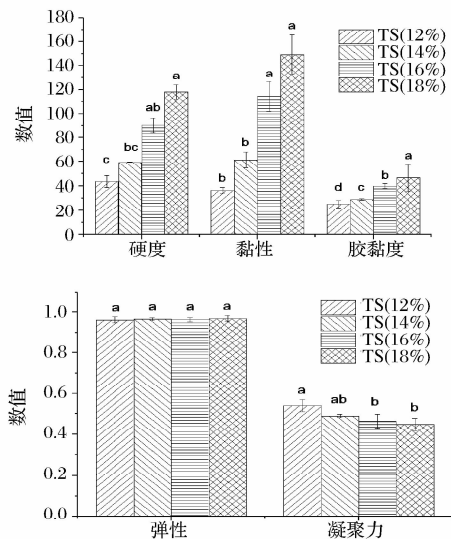


图5 不同乳固形物浓度对酸羊乳的质构特性的影响

Fig. 5 Effect of different total solids content/concentration of goat yogurt on the texture

2.6 乳固形物浓度对酸羊乳风味物质的影响

风味是影响酸羊乳品质的重要因素,研究发现乙醛与双乙酰被认为是构成酸羊乳风味的主要物质,因

此本试验对酸羊乳中乙醛和双乙酰含量进行测定。由图6可见,随着原料羊乳固形物含量的提高,酸乳中的乙醛含量和双乙酰含量均存在极显著差异($p < 0.01$),乙醛含量增幅较大,在固形物含量为12%到16%的过程中,乙醛含量增加了11.79 mg/L,但当固形物含量为18%时,乙醛含量略有降低;双乙酰含量虽有显著提高,但增幅较小,在固形物含量从12%~18%的过程中,双乙酰含量增加了2.86 mg/L,但固形物含量为16%和18%的酸羊乳之间双乙酰含量差异不显著($p > 0.05$)。研究发现,乙醛可由氨基酸、核酸及丙酮酸代谢产生^[23],随着乳固形物浓度的提高,其代谢底物的浓度逐渐升高,因此乙醛含量的增加显著。另有文献表示,使用保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌同时发酵时,可产生更多含量的乙醛,所以说乙醛含量的增加或者降低可能也与保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌的共生作用有关^[24];双乙酰一般由嗜温乳酸球菌生产,包括乳酸乳球菌、链球菌等^[25],所以双乙酰的含量可能与球菌的数量和产香能力有关,当羊乳固形物含量升高时,酸羊乳中球菌的活力提高,因此其双乙酰含量也有所上升。乙醛被认为是对传统发酵酸乳风味贡献最大的一种风味物质,BRAIN^[26]等人认为乙醛质量浓度在20~40 mg/L时酸乳风味最佳,所以固形物含量为16%和18%的酸羊乳风味较好,固形物含量为16%的酸羊乳风味最浓郁。

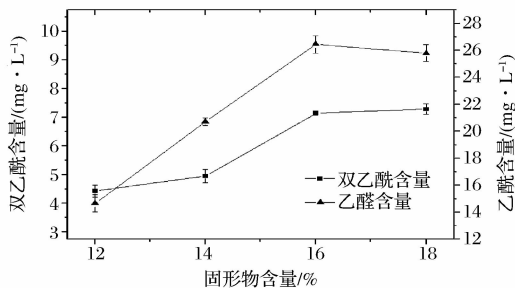


图6 不同乳固形物浓度对酸羊乳的风味物质的影响

Fig. 6 Effect of different total solids content/concentration of goat yogurt on (flavouring substances content flavor substance)

2.7 乳固形物浓度对酸羊乳乳酸菌数的影响

酸乳的品质好坏及营养价值很大程度上取决于乳酸菌总数的多少。由表2可以看出,不同乳固形物浓度对酸羊乳中的乳酸菌总数有极显著性差异($p < 0.01$),其中保加利亚乳杆菌数有极显著性差异($p < 0.01$),嗜热链球菌数有显著性差异($p < 0.05$),当羊乳固形物含量为14%时,酸羊乳中保加利亚乳杆菌

数量达到最高,当羊乳固形物含量为 16% 时,酸羊乳中嗜热链球菌数和乳酸菌总数最高,在羊乳固形物含量为 18% 时,酸羊乳中乳酸菌总数略有降低,不同乳固形物浓度的酸羊乳均达到了国标所要求的乳酸菌总数水平(乳酸菌总数 $\geq 1 \times 10^6$ CFU/mL);嗜热链球菌的生长和生存能力较高可能是由于与保加利亚乳杆菌菌株相比,它的蛋白水解活性和乳糖利用率较高^[27]。随着原料羊乳固形物含量的提高,乳酸菌总数逐渐升高的原因可能是因为酸羊乳中可供乳酸菌利用的代谢底物浓度提高,促进了乳酸菌的生长,而

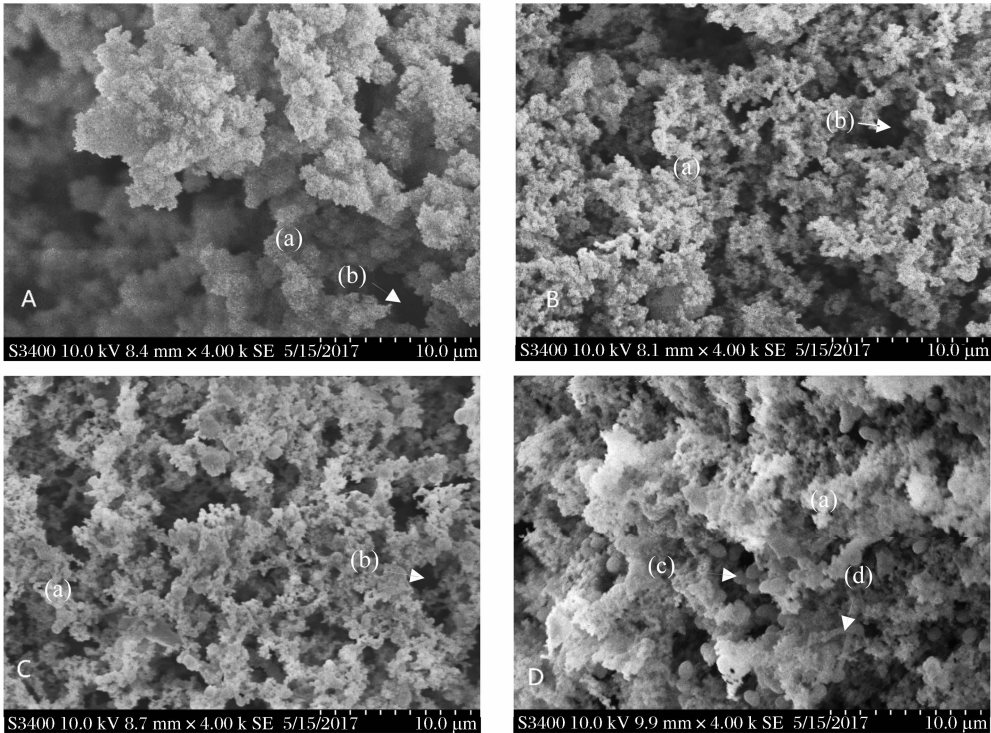
表 2 不同乳固形物浓度对酸羊乳乳酸菌的影响
Table 2 Effect of different total solids content/concentration of goat yogurt on the viable counts of lactic acid bacteria

固形物 含量/%	保加利亚乳杆菌/ $\times 10^8 /(\text{CFU} \cdot \text{mL}^{-1})$	嗜热链球菌/ $\times 10^9 (\text{CFU} \cdot \text{mL}^{-1})$	乳酸菌总数/ $\times 10^9 (\text{CFU} \cdot \text{mL}^{-1})$
12	1.41 ± 0.02^b	3.05 ± 0.35^c	3.19 ± 0.35^b
14	1.87 ± 0.08^a	4.07 ± 0.43^{bc}	4.25 ± 0.43^b
16	1.18 ± 0.12^{bc}	6.23 ± 0.61^a	6.35 ± 0.61^a
18	0.86 ± 0.33^c	5.13 ± 0.76^{ab}	5.22 ± 0.74^{ab}

乳浓度为 18% 的酸羊乳中乳酸菌总数发生降低,这可能是因为乳糖浓度过高会对乳酸菌产生明显的生长延迟现象^[28],导致乳酸菌总数降低。

2.8 乳固形物浓度对酸羊乳微观结构的影响

使用扫描电子显微镜(SEM)在放大 4 000 倍率下观察不同乳固形物浓度的酸羊乳的微观结构。从图 7 中可以看出,不同乳固形物浓度的酸羊乳都形成了酪蛋白颗粒聚集的网状结构,但固形物含量高的酸羊乳凝胶明显比固形物含量低的酸羊乳凝胶的网络结构更致密且交联更多,随着酸羊乳固形物含量的增高,酸羊乳凝胶微观结构中的空隙逐渐变得小而规则;由图 7 可知,不同固形物含量的酸羊乳凝胶之间,其空隙大小差异很大,原料羊乳固形物含量从 12% 到 18% 的变化过程中,酸羊乳凝胶间的空隙直径从 6.23 μm 变为 2.85 μm 。综上,随着乳固形物含量的升高,酸羊乳凝胶的微观结构逐渐形成了空隙更小,结构更加规则,交联度更大的三维网状结构,这也从微观结构解释了原料羊乳固形物浓度越大,酸羊乳的黏度,持水性以及质构特性更好的原因。



(A) 固形物含量为 12% ;(B) 固形物含量为 14% ;(C) 固形物含量为 16% ;(D) 固形物含量为 18% ;
(a) 酪蛋白胶束;(b) 间隔空隙;(c) 嗜热链球菌;(d) 保加利亚乳杆菌

图 7 不同乳固形物浓度对酸羊乳的微观结构的影响

Fig. 7 Effect of different total solids of goat milk yogurt on the microstructure (A:TS = 12% ;B:TS = 14% ;C:TS = 16% ;D:TS = 18% ;(a) Casein content/concentration micelles (b) Numerous interspaced voids (c) *Streptococci* (d) *Lactobacilli*)

3 结论

本试验通过真空浓缩,得到乳固形物浓度不同的酸羊乳,并对其凝乳特性、质构特性、风味物质、乳酸菌数、微观结构进行了研究,分析了不同酸羊乳的凝乳时间、凝乳状态、凝乳酸度、持水性、黏度、硬度、乙醛、双乙酰含量、保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌的数量之间的差异,由试验结果得出,乳固形物浓度对于酸羊乳的品质有着显著的影响。随着原料羊乳固形物浓度的提高,酸羊乳形成凝乳的时间变快,凝乳状态变好,持水性与黏度增大,酸羊乳的质构特性包括硬度、黏性、胶黏度,凝聚力也越好,同时,在乳固形物浓度为16%和18%时,酸羊乳都形成了非常致密稳定的微观结构;但乳浓度为18%的酸羊乳与乳浓度为16%的酸羊乳相比,黏度与持水性差异不显著,且在18%的乳固形物浓度下,酸羊乳的酸度过高,其风味物质的含量较16%的酸羊乳有所降低,一定程度上影响了酸羊乳的感官品质,乳酸菌总数也在乳固形物浓度为16%时达到最高,综上所述,当乳固形物浓度为16%时,酸羊乳的品质最好。

参 考 文 献

- [1] 王引泉,郝丽霞,石刚. 羊奶的营养与食疗特性[J]. 畜牧兽医杂志,2010,29(1):66-67.
- [2] 王攀. 凝固型羊奶酸奶加工技术的研究[D]. 西安:陕西师范大学,2010.
- [3] PHADUNGATH C. The mechanism and properties of acid-coagulated milk gels[J]. Songklanakarin Journal of Science & Technology,2005,27(2):433-448.
- [4] 邵国峰,兰毅楠,曲晟,等. 羊奶与牛奶比较有何优缺点[J]. 农家之友(理论版),2009,16(6):75-75.
- [5] 魏怡. 搅拌型酸羊奶加工关键技术的研究[D]. 西安:陕西师范大学,2011.
- [6] 赵新淮,王微. 复合增稠剂对凝固型原味酸奶质地及微观结构的影响[J]. 东北农业大学学报,2010,41(1):107-111.
- [7] CATARINO I, APL M, DUARTE E, et al. Rennet coagulation of sheep milk processed by ultrafiltration at low concentration factors[J]. Journal of Food Engineering,2013,114(2):249-254.
- [8] SANDRA S, COOPER C, ALEXANDER M, et al. Coagulation properties of ultrafiltered milk retentates measured using rheology and diffusing wave spectroscopy[J]. Food Research International,2011,44(4):951-956.
- [9] CELIK S, BAKIRCI I. Some properties of yoghurt produced by adding mulberry pekmez (concentrated juice)[J]. International Journal of Dairy Technology,2003,56(1):26-29.
- [10] SANTO A P D E, PEREGO P, CONVERTI A, et al. Influence of milk type and addition of passion fruit peel powder on fermentation kinetics, texture profile and bacterial viability in probiotic yoghurts[J]. LWT-Food Science and Technology,2012,47(2):393-399.
- [11] 刘宁宁,郭红敏,葛春美,等. 酸奶中乙醛和双乙酰含量对其风味的影响[J]. 中国食品添加剂,2012,93(s1):269-273.
- [12] DOMAGAŁA J, WSZOLEK M, TAMIME A Y, et al. The effect of transglutaminase concentration on the texture, syneresis and microstructure of set-type goat's milk yoghurt during the storage period[J]. Small Ruminant Research,2013,112(1-3):154-161.
- [13] 肖英. 酸奶制品的酸度控制[J]. 中国食品添加剂,2009,79(4):150-154.
- [14] HARWALKAR V R, KALAB M. Relationship between microstructure and susceptibility to syneresis in yoghurt made from reconstituted nonfat dry milk[J]. Food Microstructure,1986,5(2):287-294.
- [15] 郭本恒,刘振民. 发酵乳[M]. 北京:化学工业出版社,2016.
- [16] 王攀,张富新. 乳固形物浓度对羊奶酸奶发酵特性的影响[J]. 食品工业科技,2010,232(7):154-156.
- [17] WACHERRODARTE C, GALVAN M V, FARRES A, et al. Yogurt production from reconstituted skim milk powders using different polymer and non-polymer forming starter cultures[J]. Journal of Dairy Research,1993,60(2):247-254.
- [18] GUZMANGONZALEZ M, MORAIS F, AMIGO L. Influence of skimmed milk concentrate replacement by dry dairy products in a low-fat set-type yoghurt model system. use of caseinates, co-precipitate and blended dairy powders[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture,2000,80(4):433-438.
- [19] BULDO P, BENFELDT C, FOLKENBERG D M, et al. The role of exopolysaccharide-producing cultures and whey protein ingredients in yoghurt[J]. LWT-Food Science and Technology,2016,72(10):189-198.
- [20] 杨爱君,方培生,余保宁,等. 影响发酵酸奶粘度的因素及控制[J]. 现代食品科技,2005,21(4):45-47.
- [21] CLARK S, SHERBON J W. α s1-Casein, milk composition and coagulation properties of goat milk[J]. Small Ruminant Research,2000,38(2):123-134.
- [22] 林芳栋,蒋珍菊,廖珊,等. 质构仪及其在食品品质评价

- 中的应用综述[J]. 生命科学仪器, 2009, 7(5): 61 - 63.
- [23] COMPANY C R. Critical reviews in food science and nutrition[J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 2012, 49(9): 741 - 781.
- [24] ROURAY W, MISHRA H N. Scientific and technical aspects of yogurt aroma and taste: a review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2011, 10(4): 208 - 220.
- [25] 王红叶, 李丽华, 陆淳, 等. 乙醛、丁二酮对发酵乳风味的影响[J]. 中国乳品工业, 2010, 38(10): 32 - 34.
- [26] BRIANJ B WOOD, 徐岩. 发酵食品微生物学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- [27] MARAFON A P, SUMI A, ALCÂNTARA M R, et al. Optimization of the rheological properties of probiotic yoghurts supplemented with milk proteins[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(2): 511 - 519.
- [28] 李艾黎, 杜鹏. 初始乳糖浓度对酸奶菌株分批发酵的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(9): 149 - 151.

Effects of different total solids of goat milk on quality of goat milk yogurt

ZHANG Zhe-yuan, WANG Yin, GAO Jia-yuan, XU Lian-ying, ZHANG Fu-xin *

(College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xian 710119, China)

ABSTRACT In this study, goat milk was concentrated by vacuum concentration to study the effect of different concentration of goat milk (12%, 14%, 16% and 18%) on the quality of yogurt. The quality of goat milk yogurt was analyzed by determination of the coagulation characteristics, texture, flavor substances, and viable counts of lactic acid bacteria. Meanwhile, the microstructure of yogurt fermented with different concentration goat milk was observed by scanning electron microscope. The results showed that the fermentation time decreased with the increase of goat milk concentration, accompanied by the increment in acidity and water holding capacity. High concentrations of 2,3-butanedione and acetaldehyde were recorded in yogurt fermented with goat milk with solids of 16%. The viscosity of goat milk yogurt increased by 149.07% with the total solids of goat milk increased. Yogurt fermented with goat milk with solids of 16% displayed good texture characteristics evaluated by the hardness, adhesiveness and gumminess and cohesiveness. The viable counts of lactic acid bacteria in the yogurt was 6.35×10^9 CFU/mL, which was the highest among different milk concentration. The most compact microstructure was measured in yogurt fermented with 16% goat milk with pore diameter of 2.85 μm . In conclusion, when the concentration of goat milk was 16%, goat milk yogurt showed the best quality measured by the flavor and texture characteristics, and viable counts of lactic acid bacteria.

Key words goat milk yogurt; concentrate; total solids; quality