

# 低脂发酵乳品质改善研究进展

高鑫, 李博\*

(上海城建职业学院, 上海 201415)

**摘要:** 发酵乳制品以营养丰富及其保健功能受广大消费者欢迎, 随着人们对脂肪摄入后产生的心脑血管疾病的重视, 公众对于低脂或脱脂发酵乳的需求逐渐增多。综述了低脂发酵乳的相关研究进展及未来发展方向, 以为低脂发酵乳在品质、感官及营养功能等方面的发展提供理论基础和新思路。

**关键词:** 低脂; 发酵乳制品; 品质; 功能

## Progress in Improving the Quality of Low-Fat Fermented Dairy Products

GAO Xin, LI Bo\*

(Shanghai Urban Construction Vocational College, Shanghai 201415, China)

**Abstract:** Fermented dairy products are popular among consumers because of their rich nutrition and health care functions. With people's attention to cardiovascular and cerebrovascular diseases caused by fat intake, the public's demand for low-fat or skim fermented milk is gradually increasing. In this paper, the research progress and future development direction of low-fat fermented milk were reviewed, which provided theoretical basis and new ideas for the development of low-fat fermented milk in aspects of quality, sensory and nutritional functions.

**Key words:** low fat; fermented dairy products; quality; function

中图分类号: TS252.54

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6221.2023.09.012

乳制品中的各类维生素与矿物质可以使机体的营养更加均衡, 同时具有调节人体免疫机能和提高抵抗心脑血管疾病的能力<sup>[1]</sup>。发酵乳是以乳或乳制品为原料, 经过标准化、均质、灭菌、接种发酵等工序加工而成的一种食品。加工过程主要是通过乳酸菌的发酵, 在发酵过程中, 蛋白质水解为短肽及人体必需的氨基酸, 为乳制品提供了独特的质地及风味<sup>[2]</sup>。发酵乳种类繁多, 营养丰富, 长期食用对人体有一定的保健功能。例如: 发酵乳中的双歧杆菌可以减少肠胃中的有毒有害物质以调整菌群结构; 3-羟基-3-甲基戊二酸和乳酸可以通过降低胆固醇在小肠的吸附能力, 使血液中的胆固醇浓度降低<sup>[3]</sup>。

近些年乳制品由于营养丰富、易于吸收等特点逐渐成为大众不可或缺的食品, 随着社会的发展和食品科技的进步, 人们越来越重视食品给健康带来的影响, 大众对乳制品的消费方向也随之变化<sup>[4]</sup>。2018年, 我国乳制品市场发酵乳销售额首次超过牛乳, 标志着进入发酵乳时代<sup>[5]</sup>。由于从饮食中摄入大量脂肪会产生患肥胖症、高血脂、冠心病、高血压等疾病的风险<sup>[6-7]</sup>, 公众对于低脂或脱脂发酵乳的需求逐渐增多, 这促进了我国发酵乳产业的加速发展, 对发酵乳的研究逐渐成为热点。低脂发酵乳一般是牛奶经过标准化处理, 将其中的脂肪分离出去, 将剩下的低脂牛奶再经过发酵得到的产品。在乳制品发酵

基金项目: 上海城建职业学院教育科学研究项目(cjky202202)

作者简介: 高鑫(1982—), 男, 汉族, 博士, 副教授, 研究方向: 食品安全。

\*通信作者: 李博, 博士, 副教授, 研究方向: 食品保鲜。

的过程中,脂肪为发酵乳制品提供了良好的口感和风味,相比一般的乳制品,低脂或脱脂乳发酵在产品的口感、风味和感官等方面的差异一定程度上限制了低脂发酵乳的推广。综上所述,如何对低脂发酵乳制品进行感官上的改良,逐渐成为研究者和乳制品企业重点关注的问题。

## 1 低脂发酵乳风味、品质及营养价值的研究进展

在发酵过程中,乳脂肪作为风味化合物的前体物质和携带者,它的缺乏将直接影响产品的最终口感与风味。并且,乳脂肪的缺少会导致酪蛋白更易于聚集而产生沉淀,在产品中表现为乳清析出、外观不佳等现象。以上所述问题,都在一定程度上限制了低脂发酵乳的推广。为了寻求该方面的突破,科学研究主要集中于以下几个方面。

### 1.1 发酵菌种及发酵方式对低脂发酵乳影响的相关研究

嗜热链球菌是乳制品常用的发酵菌种之一,在发酵过程中,嗜热链球菌不仅可以缩短发酵所需时间,而且还可通过产生胞外多糖等黏性物质提高发酵乳的黏度,从而改善低脂发酵乳感官和风味,并且嗜热链球菌不同菌株对脱脂乳的发酵性能之间存在差异<sup>[8-9]</sup>。除了常用的一些发酵菌种外,随着益生菌产业的迅速发展,很多研究人员将注意力转向了应用益生菌协同传统发酵剂发酵原料乳的研究上,在原有发酵乳功能的基础上,益生菌的功能也得以体现,使发酵乳具备更高的营养价值<sup>[10]</sup>。Mohammadi等<sup>[11]</sup>将益生菌发酵乳添加至大鼠食物中,发现与未添加益生菌的对照组相比较,大鼠的体重、腹部脂肪含量、肝重、血清丙氨酸氨基转移酶水平及碱性磷酸酶水平均显著下降,说明益生菌发酵乳具有较好的抗肥胖效果。Tian等<sup>[12]</sup>研究表明:添加长双歧杆菌CCFM5871可以加强发酵乳的酸化和凝固,并且与未使用长双歧杆菌CCFM5871发酵的酸奶相比,其在风味和口感上无显著差异,确定了长双歧杆菌CCFM5871是发酵乳的一个合适的共培养物,可以作为发酵辅助菌株。此外,开菲尔粒也是近些年发酵乳的热点研究方向之一,开菲尔发酵乳饮料是一种功能性食品,具有多种有益作用,包括抗炎和抗氧化。Karina等<sup>[13]</sup>用葡聚糖硫酸钠诱导大鼠产生结肠炎,然后让大鼠饮用开菲尔发酵乳饮料,发现开菲尔发酵乳饮料能显著减少葡聚糖硫酸钠诱导的结肠炎所产生的肠道损伤,开菲尔发酵乳

饮料可能具有抗炎作用。也有一些研究发现,通过菌种或菌株的选择,使发酵乳营养更加丰富,如有研究使用产核黄素的植物乳杆菌菌株和标准酸奶培养物进行发酵,发现其可以提高酸奶发酵乳中的核黄素含量,满足人体对核黄素的需求<sup>[14]</sup>。除此之外,新型发酵菌种<sup>[15]</sup>、新型发酵剂<sup>[16-18]</sup>(如干制发酵剂、浓缩发酵剂和冻藏发酵剂)及新型发酵方式<sup>[19]</sup>均可应用于脱脂发酵乳,以探讨其对发酵乳的品质影响。也有报道称,混合乳酸菌发酵剂发酵乳制品中的脂肪酸可以减轻葡聚糖硫酸钠诱导的结肠炎的严重程度,并增强小鼠肠道中益生菌的丰度<sup>[20]</sup>,这也为低脂发酵乳提供了新的研究方向。综上所述,不同菌种及发酵方式可以为低脂发酵乳带来风味和口感等感官上的变化,同时,菌种的改变还影响着低脂乳制品的营养价值,不同菌株进行发酵时,还会使低脂发酵乳具备一些生理功能。因此,不同的发酵菌种和发酵方式将成为未来低脂发酵乳品质研究的热点方向之一。

### 1.2 脂肪替代物对低脂发酵乳影响的相关研究

脂肪替代物在低脂发酵乳中主要有两方面的作用:一是可以降低食品中的热量,满足消费者对低脂健康饮食的要求;二是可以提供低脂发酵乳丰富的口感与优良的质地。目前研究较多、应用较广的脂肪替代物主要是碳水化合物类和蛋白质类。

多糖是碳水化合物类中应用较多的脂肪替代物。有研究表明,在低脂发酵乳中添加低量的银耳多糖有助于提升其感官品质,在银耳多糖添加量为0.37 mg/mL时,酸奶的持水力、硬度及脆度显著提高,活菌数增加,发酵时间缩短<sup>[21]</sup>。孙敏等<sup>[22]</sup>利用低聚果糖作为脂肪替代物,有效改善了低脂凝固型发酵乳pH值偏高、滴定酸度偏低的问题,增加低脂凝固型发酵乳的硬度,利于凝固型酸奶发酵过程中的成型,降低低脂凝固型发酵乳的黏度,增加持水率和降低脱水收缩率,提高低脂凝固型发酵乳的稳定性,避免了由脂肪氧化产生的变红现象。陆婷婷等<sup>[23]</sup>利用茶多糖作为脂肪替代物制备褐色乳饮料,结果表明,茶多糖在一定程度上能促进发酵菌种产酸,显著改善褐色乳饮料的风味、口感、色泽及组织状态等感官品质,并提高了饮料的持水力和抗氧化活性。也有研究使用酶改性马铃薯淀粉作为脂肪替代品<sup>[24]</sup>,发现添加淀粉酶和地衣芽孢杆菌淀粉酶改性淀粉后的低脂酸奶的特性与天然淀粉非常相似。王雪杭等<sup>[25]</sup>利用其自制的植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*) JLAU103胞外多糖0.1%(质量分数)和鱼明胶0.6%

(质量分数)混合后添加到低脂酸奶中,使低脂酸奶的持水力、pH值、活菌数及挥发性风味物质双乙酰、2-壬酮、2,3-戊二酮等含量得以提高,黏度趋于正常酸奶,并降低了低脂酸奶的滴定酸度和触变环面积,使低脂酸奶的品质得到了明显改善。Elsanhoty<sup>[26]</sup>研究了富含大麦 $\beta$ -葡聚糖的益生菌发酵低脂酸奶在5℃冷藏21 d期间的品质特性,发现大麦 $\beta$ -葡聚糖的添加改善了酸奶中的风味物质,并且用大麦 $\beta$ -葡聚糖替代脂肪显著提高了酸奶的感官特性,大麦 $\beta$ -葡聚糖可以安全地用于功能性乳制品。

除碳水化合物外,蛋白也可以改善低脂发酵乳。田慧青等<sup>[27]</sup>通过对不同未变性蛋白含量的乳粉进行检测,发现未变性蛋白含量越低,脱脂乳粉热变性程度越大,产品的动力学稳定性指数值越高,粒径越大,背散射光强变化值也越大,饮料体系的稳定性越差。赵强忠等<sup>[28]</sup>发现,经木瓜蛋白酶水解的酪蛋白水解物能够缩短低脂发酵乳的发酵时间,对其发酵有显著的促进作用。也有研究表明,添加了芝士乳清中提取的浓缩乳清蛋白的脱脂发酵乳在理化、质地、微观结构及感官特性几个方面与低脂发酵乳无明显差异,可以在脱脂发酵乳中作为脂肪替代物使用<sup>[29]</sup>。李红娟等<sup>[30]</sup>制备了乳清蛋白-黄油乳液凝胶颗粒,改善了低脂发酵乳的质构特性,如硬度、稠度、黏聚性及胶着度等和感官品质,可以将其作为脂肪替代物使用。Neslihan等<sup>[31]</sup>利用乳清蛋白粉和酪乳粉代替脱脂乳粉,探究其在发酵过程中的品质特性,结果表明,由于丰富的蛋白质和磷脂含量,这两者可以提高产品的营养价值和感官品质。此外,乳清蛋白粉和酪乳粉在食品中的使用降低了副产物对环境的污染。Sánchez-Obando等<sup>[32]</sup>将微乳清蛋白在干酪膨化和小猪乳中的应用与未添加脂肪替代物的对照相比,在感官评价上具有相似性。微乳清蛋白的应用有助于开发具有较高营养价值的降脂乳制品。Zhao等<sup>[33]</sup>研究发现,添加1%白脱牛奶的低脂发酵乳不仅具有类似全脂牛奶的风味,其酯类、醛类、醇类和酸类等挥发性化合物的含量也有提高,除此之外,还发现了独特的酸、醛、酮、芳烃、酯、醇和硫化物等物质。综上所述,在现有研究的基础上,未来发酵乳制品的脂肪替代物的研究热点将向不但能够满足人们感官的需求,并且可以改善低脂发酵乳制品的营养价值与品质的方向发展。

### 1.3 其他功能性添加物对低脂发酵乳影响的研究

除了多糖类和蛋白质以外,还有将其他功能性添加物,如植物及其提取物应用于低脂发酵乳的研

究。侯彩云等<sup>[34]</sup>向低脂发酵乳中添加少量(0.015%~0.025%)天然芦丁提取物,制得的低脂发酵乳的持水力、抗氧化能力均有所提高,感官品质也得到了改善。孙月娥等<sup>[35]</sup>研究表明,在低脂低乳糖酸奶中添加黑蒜、黑洋葱、桑葚汁、葡萄汁等食品辅料后,低脂发酵乳的酸度、抗氧化性能、储藏性及感官品质均得到了改善。Zhao等<sup>[36]</sup>报道称山药汁的添加使脱脂发酵乳发酵时间缩短了约1 h,并使酸奶在4℃储藏时的后酸化率更高、活菌数增加,山药汁还降低了预成型酸奶储藏过程中的脱水程度,导致硬度、黏附性、内聚性、黏度、弹黏模量等质地和流变指标的数值增加,使预成型酸奶的微观结构更加细腻致密,使酸奶质地较硬,提高了酸奶的营养价值。也有研究表明,将植物甾醇添加至低脂发酵乳中可有效降低中度高胆固醇血症患者的低密度脂蛋白胆固醇,且对氧化应激生物标志物无有害影响<sup>[37]</sup>。其他研究也证明了将植物甾醇添加至牛乳后,确实有降低甘油三酯的作用<sup>[38]</sup>。也有一些报道称,表没食子儿茶素没食子酸酯可以改善发酵乳的质构特性,增强其抗氧化活性和稳定性,从而提高发酵乳制品的整体品质<sup>[39]</sup>。另有研究报道,在奶山羊的平衡日粮中长期添加40%青花菜和洋蓟植物副产品的青贮饲料可以生产适合酸奶和奶酪发酵的牛奶,青花菜青贮的添加增强了发酵乳的抗氧化特性,而植物洋蓟的添加增强了脂肪酸健康指数<sup>[40]</sup>。此外,也有研究人员称,由于水果副产物含有大量的膳食纤维和多酚,可以将水果副产物作为一种新的成分用来提高发酵乳的营养、功能价值及益生菌的生存能力,并且增强发酵乳的物理和感官特性<sup>[41]</sup>。另有研究人员综述了不同类型的基于水胶体的脂肪替代物及其对低脂乳制品质构和感官品质的影响<sup>[42]</sup>。这些新思路、新方法都将成为未来低脂发酵乳产品的研究方向,而找到天然、健康并且兼具功能和营养价值的添加物更会成为未来低脂发酵乳制品的研究热点。

## 2 低脂发酵乳发展趋势

随着人民群众物质、精神生活水平的进一步提高以及当代经济社会、科技的持续发展,消费者对于食品的健康、风味和口感的追求越来越高,这给低脂发酵乳带来了广阔的发展空间。低脂发酵乳的研究趋势在于低脂发酵乳制品给人们的营养与感官上的满足。后续可以向发酵工艺的研究、菌种改良研究、底物多样化研究、低脂发酵乳营养成分研究、功能性研究、风味和感官等方面的研究。



### 3 结束语

低脂发酵乳因其营养丰富、具有健康及功能价值而备受消费者喜爱,为提高其营养价值和消费者的食用感受,科研人员通过对菌种、发酵工艺、脂肪替代物、天然功能性添加物进行研究,以寻找能够满足消费者感官需求,又具备丰富营养物质的优质低脂发酵乳制品,从而为低脂发酵乳制品的生产加工及品质控制提供有力的支撑。

#### 参考文献:

- [1] 曹旺. 乳制品对人体健康的重要作用[J]. 中国乳业, 2021(2):12-13.
- [2] DAN T, REN W, LIU Y, et al. Volatile flavor compounds profile and fermentation characteristics of milk fermented by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*[J/OL]. Frontiers in Microbiology, 2019, 10[2023-01-15]. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02183>. DOI: 10.3389/fmicb.2019.02183.
- [3] 胡妹敏,赵臻,巩燕妮. 浅谈发酵乳的发展及创新趋势[J]. 中国乳业, 2020(10):74-76. DOI: 10.16172/j.cnki.114768.2020.10.025.
- [4] BINTSIS T, PAPADEMAS P. The evolution of fermented milks, from artisanal to industrial products: A critical review [J/OL]. Fermentation, 2022, 8(12)[2023-01-15]. <https://doi.org/10.3390/fermentation8120679>. DOI: 10.3390/fermentation8120679.
- [5] 李楠,刘振民. 益生菌与功能发酵乳开发研究进展[J]. 乳业科学与技术, 2020, 43(3):31-38. DOI: 10.15922/j.cnki.jdst.2020.03.007.
- [6] PEI R S, DIMARCO D M, PUTT K K, et al. Low-fat yogurt consumption reduces biomarkers of chronic inflammation and inhibits markers of endotoxin exposure in healthy premenopausal women: A randomised controlled trial[J]. The British Journal of Nutrition, 2017, 118(12): 1043-1051. DOI: 10.1017/S0007114517003038.
- [7] LUBBERS S, DECOURCELLE N, MARTINEZ D, et al. Effect of thickeners on aroma compound behavior in a model dairy gel[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(12): 4835-4841. DOI: 10.1021/jf0628375.
- [8] DELGADO-FERNÁNDEZ P, CORZO N, OLANO A, et al. Effect of selected prebiotics on the growth of lactic acid bacteria and physicochemical properties of yoghurts[J]. International Dairy Journal, 2019, 89: 77-85. DOI: 10.1016/j.IDAIRYJ.2018.09.003.
- [9] 刘清霞,林伟锋,陈中. 嗜热链球菌在脱脂乳中发酵特性的研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(3):122-126. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.03.015.
- [10] HADJIMBEI E, BOTSARIS G, CHRYSOSTOMOU S. Beneficial effects of yoghurts and probiotic fermented milks and their functional food potential[J/OL]. Foods, 2022, 11(17)[2023-01-15]. <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/17/2691>. DOI: 10.3390/foods11172691.
- [11] MOHAMMADI H, GHAVAMI A, FAGHIHIMANI Z, et al. Effects of probiotic fermented milk on management of obesity studied in high-fat-diet induced obese rat model[J/OL]. Food Production, Processing and Nutrition, 2023, 5(1)[2023-01-10]. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104494>. DOI: 10.1016/j.jff.2021.104494.
- [12] TIAN R C, YU Z M, YU L L, et al. Effects of *Bifidobacterium longum* CCFM5871 as an adjunct starter culture on the production of fermented milk[J/OL]. Food Bioscience, 2022, 50[2023-01-10]. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102167>. DOI: 10.1016/j.fbio.2022.102167.
- [13] KARINA N S, ALINE G F, WILLIAM R, et al. Effects of kefir fermented milk beverage on sodium dextran sulfate (DSS)-induced colitis in rats[J/OL]. Heliyon, 2023, 9(1)[2023-01-10]. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12707>. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e12707.
- [14] VIKRAM K, AMRUTHA R, JAYESH J A, et al. Techno-functional assessment of riboflavin-enriched yogurt-based fermented milk prepared by supplementing riboflavin-producing probiotic strains of *Lactiplantibacillus plantarum*[J/OL]. Probiotics and Antimicrobial Proteins, 2022[2023-01-10]. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12602-022-10026-6>. DOI: 10.1007/s12602-022-10026-6.
- [15] MOHAMEDFATIEH I, GU Y X, CUI Y L, et al. Lactic acid bacteria isolated from Chinese traditional fermented milk as novel probiotic strains and their potential therapeutic applications[J/OL]. 3 Biotech, 2022, 12(12)[2023-02-25]. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13205-022-03403-z>. DOI: 10.1007/s13205-022-03403-z.
- [16] 杨香艳,胡文忠,杨晓哲,等. 新型发酵剂在发酵食品中应用的研究进展[C]//中国食品科学技术学会第十五届年会论文摘要集. 2018:503-504.
- [17] 张亦,王亮,吕自力,等. 一种新型开菲尔风味复合发酵剂的研制[J]. 现代食品科技, 2022, 38(11): 80-89. DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.11.0021.
- [18] 食品配料家. 杜邦推出新型 Yo-Mix M11 发酵剂 提供更优质的酸奶口感和质地[EB/OL]. (2018-09-06)[2023-01-10]. <http://www.ifooday.cn/233-103538-1.html>.
- [19] Megmilk Snow Brand Co., Ltd.. "Novel fermented milk product and method for producing the same" in patent application approval process (USPTO 20190313658)[P]. 2015-02-07[2023-01-10]. <https://www.freepatentsonline.com/y2015/0182557.html>.
- [20] LAO L F, YANG G, ZHANG A, et al. Anti-inflammation and gut microbiota regulation properties of fatty acids de-

- rived from fermented milk in mice with dextran sulfate sodium-induced colitis[J]. Journal of Dairy Science, 2022, 105(10): 7865–7877. DOI: 10.3168/jds.2022-21877.
- [21] 卢玉容,郭秀兰,唐仁勇,等. 银耳多糖对低脂酸奶发酵、质构及感官品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019,40(10):73–77. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2019.10.013.
- [22] 孙敏,李博,梅俊. 低聚果糖对低脂凝固型发酵乳品质的影响研究[J]. 中国酿造, 2021,40(3):84–89. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2021.03.015.
- [23] 陆婷婷,丁霄,张泽,等. 茶多糖对褐色乳饮料品质及其抗氧化活性的影响[J]. 常熟理工学院学报, 2021,35(2):92–96. DOI:10.3969/j.issn.1008-2794.2021.02.022.
- [24] NIKITINA E, RIYANTO R A, VAFINA A, et al. Effect of fermented modified potato starches to low-fat yogurt[J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2019, 7(7): 549–553. DOI: 10.12691/jfnr-7-7-10.
- [25] 王雪杭,李瑞东,蒋云龙,等. 植物乳杆菌胞外多糖协同鱼明胶改善低脂酸奶品质特性[J]. 食品科学, 2023,44(10):73–81. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20220816-187.
- [26] ELSANHOTY R M. Changes in the physicochemical and microbiological properties of probiotic-fermented low-fat yoghurt enriched with barley  $\beta$ -glucan during cold storage[J]. Mljekarstvo: časopis za unapređenje proizvodnje i prerade mlijeka, 2018, 68(4): 295–309. DOI: 10.15567/mljekarstvo.2018.0405.
- [27] 田慧青,于景华,王攀,等. 不同WPNI脱脂乳粉对发酵乳饮料稳定性的影响[J]. 中国乳品工业, 2017,45(9):26–29. DOI: 10.3969/j.issn.1001-2230.2017.09.006.
- [28] 赵强忠,赵谋明,冯立科,等. 不同酪蛋白水解物对低脂发酵乳发酵参数的影响[J]. 食品与发酵工业, 2007,33(5):133–136. DOI:10.3321/j.issn:0253-990X.2007.05.032.
- [29] FANG T Q, SHEN X, HOU J C, et al. Effects of polymerized whey protein prepared directly from cheese whey as fat replacer on physicochemical, texture, microstructure and sensory properties of low-fat set yogurt[J/OL]. Food Science and Technology, 2019, 115[2023-03-10]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108268>. DOI:10.1016/j.lwt.2019.108268.
- [30] 李红娟,刘婷婷,邹璇,等. 乳清蛋白-黄油乳液凝胶对低脂酸奶理化特性及品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021,47(7):71–77. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025857.
- [31] NESLIHAN Y, IHSAN B. Investigation of the use of whey powder and buttermilk powder instead of skim milk powder in yogurt production[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56(10): 4429–4436. DOI: 10.1007/s13197-019-03953-w.
- [32] SÁNCHEZ-OBANDO J, CABRERA-TRUJILLO M A, OLIVARES-TENORIO M L, et al. Use of optimized microparticulated whey protein in the process of reduced-fat spread and petit-suisse cheeses[J/OL]. Food Science and Technology, 2020, 120[2023-03-10]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108933>. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108933.
- [33] ZHAO L L, FENG R, REN F Z, et al. Addition of buttermilk improves the flavor and volatile compound profiles of low-fat yogurt[J]. Food Science and Technology, 2018, 98:9–17. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.08.029.
- [34] 侯彩云,郭秀兰,彭家宣,等. 芦丁对低脂酸奶品质和抗氧化能力的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 37–41. DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.04.007.
- [35] 孙月娥,王卫东,丁晓茂. 黑蒜黑洋葱低脂低乳糖酸奶的研制[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(22):68–74. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2016.22.017.
- [36] ZHAO J L, MA C M, ZHAO X H, et al. Effects of yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) juice on fermentation and textural attributes of set-style skimmed yoghurt[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021, 15(3): 2220–2230. DOI:10.1007/s11694-021-00830-z.
- [37] BORIS H, CATHERINE N, FLORENT L, et al. Effect of low-fat, fermented milk enriched with plant sterols on serum lipid profile and oxidative stress in moderate hypercholesterolemia[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2007, 86(3): 790–796. DOI: 10.1093/ajcn/86.3.790.
- [38] OLIVARES J A B, MARTÍN I S M, CALLE M E, et al. Low-fat, fermented milk enriched with plant sterols, a strategy to reduce hypertriglyceridemia in children, a double-blind, randomized placebo-controlled trial[J]. Nutricion Hospitalaria, 2015, 32(3):1056–1060. DOI: 10.3305/nh.2015.32.3.9319.
- [39] CHEN X Q, ZHAO Z F, ZHANG C Y, et al. Effect of epigallocatechin gallate on the fermentative and physicochemical properties of fermented milk[J]. Journal of dairy science, 2022, 105(9): 7322–7333. DOI: 10.3168/jds.2021-21709.
- [40] MUELAS R, ROMERO G, DÍAZ J R, et al. Quality and functional parameters of fermented milk obtained from goat milk fed with broccoli and artichoke plant by-products[J/OL]. Foods, 2022, 11(17)[2023-03-10]. <https://doi.org/10.3390/foods11-172601>. DOI: 10.3390/foods11172601.
- [41] DE OLIVEIRA F L, ARRUDA T Y P, MORZELLE M C, et al. Fruit by-products as potential prebiotics and promising functional ingredients to produce fermented milk[J/OL]. Food Research International, 2022, 161[2023-03-10]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111841>. DOI:10.1016/j.foodres.2022.111841.
- [42] ZHAO Y G, HODA K, HE J, et al. Application of different hydrocolloids as fat replacer in low-fat dairy products: Ice cream, yogurt and cheese[J/OL]. Food Hydrocolloids, 2023, 138[2023-03-10]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108493>. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.108493.

收稿日期:2023-06-02