

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2025.02.010

王沿皓, 李春梅, 付红岩, 等. 水牛乳搅打稀奶油品质的影响因素研究进展[J]. 粮油食品科技, 2025, 33(2): 67-74.

WANG Y H, LI C M, FU H Y, et al. Research progress on the influencing factors of buffalo milk whipping cream quality[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2025, 33(2): 67-74.

水牛乳搅打稀奶油品质的影响因素研究进展

王沿皓¹, 李春梅^{2,3}✉, 付红岩¹, 陈洁⁴, 李春⁵

(1. 黑龙江东方学院, 黑龙江 哈尔滨 150066;

2. 广西职业技术学院, 广西 南宁 530226;

3. 广西壮族自治区健康茶饮工程研究中心, 广西 南宁 530226;

4. 广西农垦西江乳业有限公司, 广西 贵港 537104;

5. 东北农业大学食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 水牛乳脂肪含量高, 丁酸比例大, 乳化能力强, 适合用于稀奶油分离和奶油搅拌。搅打稀奶油作为现代食品行业的新兴乳制品, 其发展前景广阔。如何提高搅打稀奶油品质, 是乳品行业不断追求的目标。本文主要对搅打稀奶油乳液体系的失稳作用、搅打特性和影响水牛乳搅打稀奶油品质的因素(主要成分、其他成分、工艺条件)进行综述, 以期对国内水牛乳行业发展及研发高品质稀奶油产品提供参考。

关键词: 水牛乳; 搅打稀奶油; 失稳作用; 搅打特性; 工艺条件

中图分类号: TS225.23 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2025)02-0067-08

网络首发时间: 2025-02-28 11:08:38

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20250228.1035.002>

Research Progress on the Influencing Factors of Buffalo Milk Whipping Cream Quality

WANG Yan-hao¹, LI Chun-mei^{2,3}✉, FU Hong-yan¹, CHEN Jie⁴, LI Chun⁵

(1. East University of Heilongjiang, Harbin, Heilongjiang 150066, China; 2. Guangxi Vocational & Technical College, Nanning, Guangxi 530226, China; 3. Guangxi Zhuang Autonomous Region Health Tea Beverage Engineering Research Center, Nanning, Guangxi 530226, China; 4. Guangxi Agricultural Reclamation Xijiang Dairy Co.Ltd, Guigang, Guangxi 537104, China; 5. College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: Buffalo milk has a high fat content, a large proportion of butyric acid, strong emulsifying ability, and is suitable for cream separation and cream whipping. As an emerging dairy product in the modern food

收稿日期: 2024-10-28; 修回日期: 2024-11-26; 录用日期: 2024-11-27

基金项目: 中央引导地方科技发展资金专项“特色水牛乳蛋白基料研发及功能乳制品创制”贵科中引专项(2023-3)

Supported by: Central Guidance for Local Science and Technology Development Fund Special Project “Research and Development of Special Buffalo Milk Protein Base Material and Creation of Functional Dairy Products” (No. 2023-3)

第一作者: 王沿皓, 男, 1999年出生, 在读硕士生, 研究方向为乳品加工, E-mail: 13982844604@163.com

通信作者: 李春梅, 女, 1977年出生, 博士, 教授, 研究方向为乳品深加工, E-mail: lcm19771996@163.com

industry, whipped cream has broad development prospects. Enhancing the quality of whipped cream is a constantly pursued goal in the dairy industry. This paper provides a comprehensive review including the destabilizing effect of whipped cream lotion, whipping characteristics and factors affecting the quality of whipped cream of buffalo milk (main ingredients, other ingredients, process conditions), with a view to providing a theoretical reference for the development of domestic buffalo milk industry and the research and development of high-quality whipped cream products.

Key words: buffalo milk; whipping cream; destabilizing effect; whipping characteristics; process conditions

搅打稀奶油是以无水奶油为主要原料制作的搅打充气食品,脂肪含量通常在 30%~40%,主要用于蛋糕、冰淇淋、新式奶盖茶等食品中。搅打稀奶油的特点是要求乳液在静置时保持稳定,而在搅打时又要促使脂肪球发生部分聚结的失稳作用,以此形成一个由蛋白质和脂肪球共同稳定的泡沫体系^[1]。因此如何提高搅打稀奶油的乳液稳定性,同时维持搅打后的良好品质是推动行业发展的难点以及关键。

国内在研究搅打稀奶油方面,更多的是用氢化植物油为原料研究,产品缺乏天然动物奶油本身的营养价值和品质,且长期食用对人体有害。水牛乳具有比普通牛乳更高的营养成分,本身具有独特的动物奶香,且水牛乳脂肪球水平及固脂肪比例较高,乳化能力较强,因而更容易分离和搅打稀奶油^[2]。为提高水牛乳产品附加值,引导地方特色乳制品发展,本文总结了水牛乳搅打稀奶油的组成成分以及工艺参数等对稀奶油乳液稳定性和搅打特性的影响,希望能为特色乳制品行业发展提供理论参考。

1 稀奶油乳液体系的失稳作用

搅打稀奶油是一种不稳定体系,体系中乳滴的数量以及空间位置,会随着储存时间的延长不断地发生变化,从而导致体系不稳定。引起这些不稳定现象发生的常见因素有乳析、絮凝、聚结、部分聚结、Ostwald 熟化等^[3]。找到引起搅打稀奶油失稳作用的原因,有助于针对性地提高稀奶油乳液品质。

1.1 乳析

乳析主要是由搅打稀奶油体系中的连续相和脂肪球之间的密度差引起的,是静置状态下最容

易发生失稳作用的因素之一。乳析容易导致体系中的油相析出,影响乳液体系的稳定性。降低乳析速率可通过添加乳化剂、调节乳液体系粘度和脂肪球大小,从而降低乳析速率,提高乳液稳定性^[5]。

1.2 絮凝

絮凝是搅打稀奶油在储存过程中较为常见的失稳现象,通常是指两个及以上的脂肪球相互聚集形成一个较大的脂肪球团,不引起界面膜破裂,且其中的每个脂肪球结构都保持不变^[6]。通常在实际应用中,絮凝是可逆的过程,可以通过搅打作用使其再次分散均匀。

1.3 聚结与部分聚结

絮凝发生后脂肪球之间会产生一层液膜,当此膜破裂时,脂肪球聚集合并形成一个更大的脂肪球,如图 1 所示,此过程称为聚结。聚结是搅打稀奶油制备过程中最主要的失稳作用,是不可逆的过程。通常情况,聚结发生在絮凝的乳液中以及有外力的作用下。比如,在外界剪切力的作用下,相互靠近的脂肪球之间的界面膜更容易被结晶的脂肪刺破,导致油相流出,脂肪球之间形

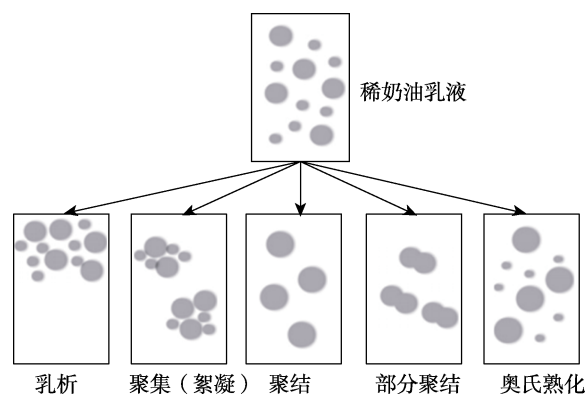


图 1 奶油乳液常见的表现形式示意图^[4]

Fig.1 Schematic diagram of the common manifestations of cream emulsions^[4]

成桥梁,如图 1 部分聚结所示,这时发生的聚结称为部分聚结^[7]。部分聚结是搅打稀奶油中的典型不稳定机制,它会引起乳液稳定性下降,但会提高搅打后稀奶油的泡沫稳定性^[4]。通过增加一些表面活性剂的含量,可以促进乳液的部分聚结,使搅打后的稀奶油形成牢固的泡沫结构,进而增加体系硬度^[8]。

1.4 Ostwald (奥氏) 熟化

Ostwald (奥氏) 熟化是指由于分散相中大小液滴在连续相中的溶解度存在差异,导致体积较小的脂肪球不断减小直到消失,体积较大的脂肪球不断增大的过程^[9]。Ostwald 熟化是乳液不稳定的关键机制。为了形成稳定的乳液,奥氏熟化的成熟速率应尽可能小。

2 搅打稀奶油的搅打特性

搅打稀奶油的搅打过程是乳液在搅打时发生去稳定的过程,在结晶脂肪和外界剪切力的作用下,乳液从水包油液体体系转变为油包水泡沫固态体系,搅打中产生的空气被脂肪球吸收裹入,形成泡沫,整个搅打过程分为 3 个阶段^[10]。

第一阶段(蛋白质起泡阶段):如图 2A,由于蛋白质具有起泡性,通过搅打作用可以引入大气泡混入乳浊液中并有少量分解成较小的气泡。第二阶段(中间阶段):如图 2B,大气泡破裂成小气泡,小气泡合并成大气泡,并保持动态平衡,起泡率增加的速率降低或保持不变。连续破裂合并的气泡增加了其表面积,以便脂肪球能够更好的吸附在界面上。第三阶段(脂肪球急剧附聚阶段):如图 2C,是搅打过程的最后一步,脂肪球

急剧附聚形成一个搅打的聚集体,并稳定气泡,泡沫基本成型。

3 影响水牛乳搅打稀奶油品质的因素

3.1 主要成分对搅打稀奶油品质的影响

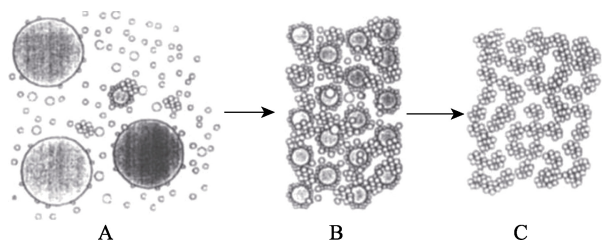
3.1.1 脂肪

搅打稀奶油中的脂肪是影响乳液稳定性和搅打特性的重要因素之一。要想更好地提升产品品质,脂肪种类的选择十分重要,它不仅会影响乳液脂肪球的部分聚结程度,也会影响搅打后泡沫结构的感官。目前,搅打稀奶油的脂肪可分为植物脂肪和动物脂肪,在常温条件下,脂肪都以液态和固态混合物形式存在。液体脂肪通过降低脂肪球之间的排斥力或降低界面膜空间位阻,来促进脂肪球之间的黏附;固态脂肪则可以阻止脂肪球聚结出一个新的脂肪球^[11]。在常温状态下,脂肪球能否发生部分聚结以及部分聚结的程度由固态脂肪质量分数(Solid fat content, SFC)决定。有研究表明,SFC 在范围为 10%~50%,部分聚结的程度可以达到最大化,从而提高搅打稀奶油的打发率和硬度,饱和度相对高的油脂也更适合生产搅打起泡产品^[12]。通常将搅打稀奶油的脂肪含量控制在 35%左右,使其具有良好的膨胀性和稳定性。

水牛乳脂肪含量约为 8%,是普通牛乳的 2 倍左右^[13],且水牛乳的固态脂肪含量较高,分离出来的水牛乳稀奶油中的脂肪球部分聚结程度可以达到最大化,从而提高水牛乳稀奶油的打发率和硬度。水牛乳稀奶油的脂肪中含有更多的饱和脂肪酸,包括棕榈酸、亚麻酸、共轭亚麻酸等,其脂肪球平均直径约为 5.6 μm ,高于普通牛乳的脂肪球平均粒径 3.9 μm ,更有利于稀奶油的自然奶油化,因此水牛乳稀奶油更容易搅打^[2]。水牛乳稀奶油中含有多种脂肪酸,部分脂肪酸提高了水牛乳稀奶油体系中晶体的精密度,从而增强了水牛乳稀奶油体系结构的紧密度和稳定性,其中的丁酸、月桂酸、肉豆蔻酸、棕榈酸和硬脂酸含量高于牛乳,并且还富含具有保健功能的共轭亚油酸,使水牛乳稀奶油的营养价值更高^[14]。

3.1.2 蛋白质

水牛乳中的蛋白质含量是普通牛乳的 1.5 倍^[13],



注: A 蛋白质起泡阶段; B 中间阶段; C 脂肪球急剧附聚阶段

Note: A: protein whipping phase; B: intermediate stage; C: rapid agglomeration stage of fat globules

图 2 泡沫体系的形成^[10]

Fig.2 Formation of foam systems^[10]

在水牛乳稀奶油中,脂肪球膜上的蛋白质和磷脂形成脂蛋白使脂肪球稳定地存在于乳液中,脂肪球膜的存在也保护了稀奶油,减少了乳液失稳现象的发生。蛋白质可以通过降低水相和油相之间的界面张力来促进乳液基质的形成,使乳液在长期货架储存期间保持稳定。蛋白质也可以在脂肪球周围形成粘弹性界面膜,保护它们免受聚结和聚集^[15]。

蛋白质主要分为酪蛋白和乳清蛋白,在蛋白质总量不变的条件下,酪蛋白的用量增加会使稀奶油的持水性变好,搅打后泡沫的硬挺性和稳定性有较明显的增加,膨胀率降低;乳清蛋白用量的增加会使稀奶油的口感变好,但使搅打后泡沫硬挺性和泡沫稳定性变差,搅打时间也会延长。也有研究发现,乳清蛋白用量的增加,会使乳液体系粘度增加,脂肪球减小,乳析速率下降,乳液稳定性提高^[16]。水牛乳稀奶油的酪蛋白存在 4 种单体形式, β -酪蛋白(β -casein, β -CN)是水牛乳中含量最高的酪蛋白,含量高达 35.4%,能赋予稀奶油良好的乳化性能。除了 β -CN 具有独特性外, κ -酪蛋白(κ -casein, κ -CN)对酪蛋白胶束稳定性起着重要作用,其主要位于水牛乳中酪蛋白胶束的表面。水牛乳稀奶油中的高酪蛋白,赋予稀奶油良好的乳化性能,和较高的起泡率。

3.1.3 乳化剂

乳化剂对搅打稀奶油体系的影响:(1)在搅

打稀奶油制备过程中,通过均质加工,破碎的脂肪球使乳化剂快速吸附到脂肪球表面,由乳化剂组成的界面膜相对较薄,这使得油水界面膜的张力下降,有效阻止脂肪球再次聚集,减小因脂肪球碰撞而产生的不稳定现象,从而提高乳液稳定性^[17]。(2)在稀奶油搅打时,乳化剂能与脂肪球表面的界面吸附蛋白发生竞争作用,被竞争取代下来的蛋白质提高了产品的打发率,同时由乳化剂和蛋白质共同稳定的界面膜降低了脂肪球界面膜的稳定性,从而控制脂肪球的部分聚结速率,形成稳定的泡沫结构^[18]。(3)部分乳化剂能改变脂肪结晶的晶型,从而提升搅打稀奶油的泡沫稳定性。如单、双甘油脂肪酸酯能将脂肪结晶从 α 型转变为 β 型,增强晶体的刚性,提升搅打后的泡沫稳定性^[19]。在光学显微镜下观察加入乳化剂后脂肪球的聚集状态,如图 3 所示,没有加入乳化剂的空白对照组乳液完全由蛋白质稳定,脂肪球的絮凝现象严重,视野内几乎无游离的脂肪球。而自制加入乳化剂的产品未发现脂肪球絮凝或聚集,说明在这两种产品内,乳化剂和蛋白质共同形成的界面吸附膜起到了良好的稳定作用以及保护作用,能有效防止絮凝、聚结等失稳作用的发生^[20]。这更加证实了加入乳化剂有利于提升稀奶油乳液稳定性以及搅打品质。

乳化剂的种类,对稀奶油品质的影响也不同。乳化剂可分为亲油性和亲水性,通常采用“亲水

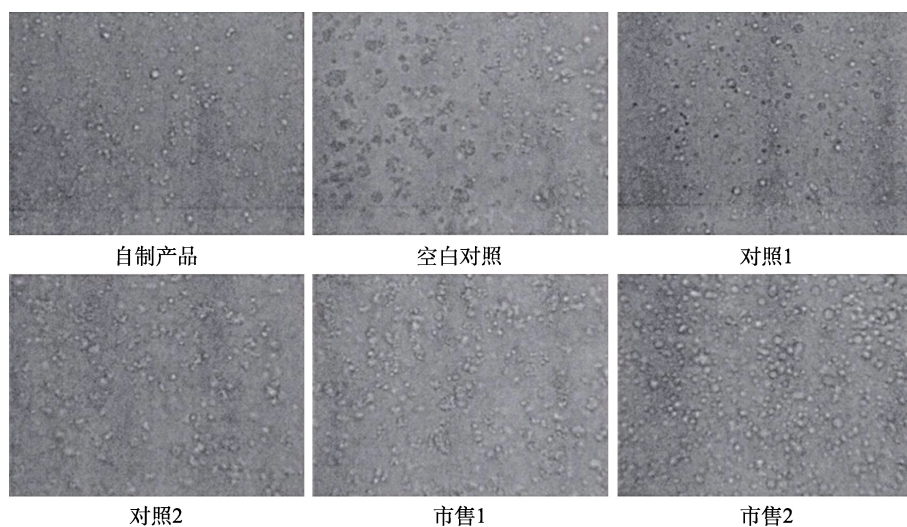


图 3 黄油基搅打稀奶油与对照产品的脂肪球聚集状态光学显微镜观察^[20]

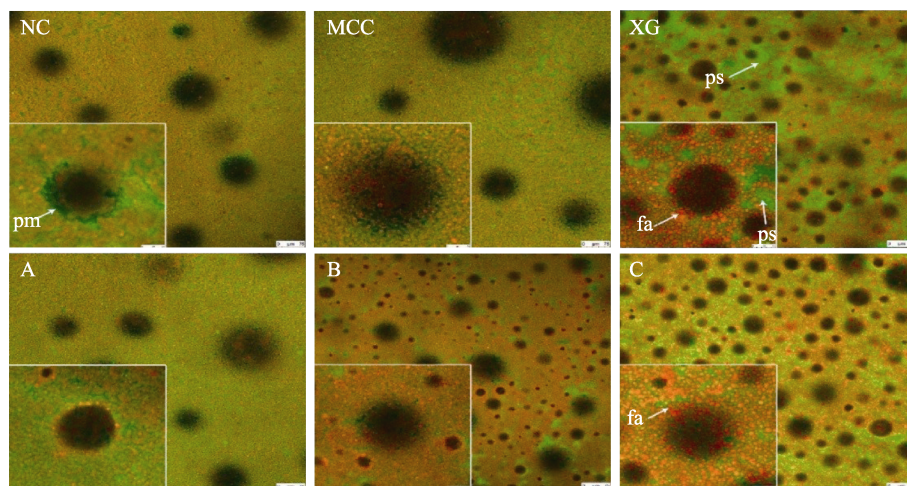
Fig. 3 Observation of fat globule aggregation state between butter based whipped cream and control product under optical microscope^[20]

亲油平衡值 (HLB 值)” 衡量, HLB 值越低, 乳化剂的亲油性越强; 反之, 亲水性越强。在搅打稀奶油体系中, 亲油性乳化剂可加速脂肪结晶并获得更高的泡沫硬度, 亲水性乳化剂有更多的部分聚结和更小的球体粒径, 从而获得更高的乳液粘度^[21]。因此 HLB 的比值, 对稀奶油品质的提升尤为重要。

3.1.4 稳定剂

在搅打稀奶油体系中, 常用的稳定剂有黄原胶、瓜尔胶、微晶纤维素等, 由于它们分子结构中含有氢键, 氢键的作用会使分子间的接触增加而相互纠缠, 从而导致搅打稀奶油体系的表观粘度显著提高, 体系粘度的增加会促进凝胶网络结构的形成, 锁住体系中的水分, 防止乳液不稳定现象的发生, 以提高产品的贮藏稳定性^[22]。此外

稳定剂还能与蛋白质发生相互作用来形成网络结构, 通过控制蛋白质层的吸附以及与酪蛋白胶束形成络合物, 来增强脂肪球膜和酪蛋白的内聚力, 使蛋白质分子运动减慢, 降低蛋白质的相互结合几率和沉降速率, 从而提高体系粘度, 降低产品打发率^[23]。Wang 等^[24]研究分别加入稳定剂黄原胶 (Xanthan gum, XG) 和微晶纤维素 (Microcrystalline cellulose, MCC) 后稀奶油的微观结构如图 4。通过 CLSM 获得的微观结构, 观察到含有 XG 和 MCC 的样品具有许多致密且相互靠近的小气泡, 该现象表明, 添加稳定剂可以改善泡沫结构内的液体蛋白质聚集和过多脂肪的堆积, 导致蛋白质和乳脂球簇在其周围分布更均匀, 从而形成更加稳定的气泡网络, 提高稀奶油搅打后的品质。



注: NC 正常控制无 XG 和 MCC 的稀奶油; MCC 含 0.3% 含量 MCC 的稀奶油; XG 含 0.3% 含量 XG 的稀奶油; A 复合组 A 含各 0.15% 的 XG 和 MCC 的稀奶油; B 复合组 B 含 0.1% MCC 和 0.2% XG 的稀奶油; C 复合组 C 含 0.075% MCC 和 0.225% XG 的稀奶油。

Note: NC refers to the normal control of cream without XG and MCC; MCC refers to cream containing 0.3% MCC; XG refers to cream containing 0.3% XG; A refers to compound group A cream containing 0.15% each of XG and MCC; B refers to compound group B cream containing 0.1% MCC and 0.2% XG; C refers to compound group C cream containing 0.075% MCC and 0.225% XG.

图 4 具有不同稳定剂配方的稀奶油的 CLSM 显微照片^[24]

Fig.4 CLSM photomicrographs of creams with different stabilizer formulations^[24]

3.2 工艺条件对稀奶油品质的影响

3.2.1 均质

均质是生产水牛乳搅打稀奶油的重要步骤, 因为水牛乳稀奶油的脂肪球大, 均质将稀奶油体系中的脂肪球破碎, 减小稀奶油的气泡粒径, 并同时增加表观粘度。稀奶油体系中的脂肪球被破碎后, 蛋白质或乳化剂就能更容易吸附到脂肪球的油水界面, 通过降低脂肪球界面膜的张力, 防

止脂肪球再次聚结, 使水牛乳搅打稀奶油体系更加稳定^[25]。均质压力大小会影响乳液稳定性, 一般条件下, 均质压力增大, 会使脂肪球粒径减少, 乳液变得稳定。但均质压力过高, 脂肪球的部分聚结和聚集减少而产生不利的泡沫, 导致打发成型所需要的时间增加, 因此控制好均质压力, 是提升搅打稀奶油乳液稳定性的重要条件。有研究表明, 经过超高温瞬时杀菌 (Ultra-high temperature

instantaneous sterilization, UHT) 后的搅打稀奶油, 二级均质压力在 4~6 Mpa 下, 产品的打发率、泡沫稳定性最佳^[26]。

3.2.2 温度

温度对水牛乳搅打稀奶油体系的影响主要分为搅打温度和杀菌温度。研究表明搅打时间、膨胀率和气泡直径均随搅打温度的升高而减小, 脂肪球的聚集率随温度的升高有增大的趋势。搅打温度的升高更多地促进了脂肪球的聚集, 减少了达到相同硬度的时间^[27]。通常建议在 7.5~12.5 °C 的温度范围内制作质地良好的搅打稀奶油, 但要注意温度在超过 25 °C 时稀奶油不再具有发泡性能^[28]; 杀菌的作用是杀死其中的病原微生物、最大限度地保持食品原有的风味及品质, 并能延长产品的货架期, 但是搅打稀奶油的搅打性能会因为过高的杀菌温度而受到不利影响, 过高的杀菌温度会导致乳液具有更大的液滴尺寸和更致密的网络结构, 也从而导致乳液具有更高的粘度和更像固体的结构^[29]。

水牛乳搅打稀奶油密度高, 粘度大, 对热处理相对敏感, 在高温处理下容易使稀奶油中的蛋白质发生变性沉淀。有研究表明, 高温下会使易变性的乳清蛋白同酪蛋白产生凝胶化而聚集, 使得酪蛋白胶束粒径增大, 强化了酪蛋白胶体之间的空间位阻, 进而影响水牛乳搅打稀奶油的表观粘度以及蛋白质的稳定性^[30]。

3.2.3 剪切乳化

在搅打稀奶油体系中, 剪切乳化能将稀奶油乳状液在高速剪切力的作用下, 大的脂肪球变成细小的脂肪球均匀稳定地分散在体系中。在水牛乳搅打稀奶油体系中, 脂肪球上的蛋白质和乳化剂共同作用, 形成均匀稳定的乳状液体系。剪切乳化能使这个乳液体系内部的液滴逐渐形成最佳的定向取向, 脂肪球粒径减小, 乳液表观粘度增加、乳液稳定性提高^[31]。

3.3 其他成分对搅打稀奶油品质的影响

3.3.1 盐类

水牛乳钙含量是普通牛乳的 1.5 倍, 磷含量是人乳的 7 倍, 水牛乳稀奶油中的钙、磷等盐类

以胶体形式存在, 其存在形式和含量变化可直接影响酪蛋白胶束的稳定性, 进而可以影响水牛乳稀奶油的乳化性、粘度、凝胶性等功能特性^[2]。

3.3.2 糖类

糖类是奶油食品中常见的原料, 无论是发酵稀奶油还是搅打稀奶油, 通常都要添加糖, 赋予产品甜味。对于搅打稀奶油而言, 糖类可以改善体系中固体成分的溶解性, 在稀奶油中添加麦芽糖, 在搅打后会使稀奶油的泡沫变得更加细腻、硬挺。而蔗糖能够增加气泡之间膜的粘度, 减缓气泡的排液过程, 增强气泡稳定性^[32]。

3.3.3 挥发性风味物质

以稀奶油为原料, 利用酶法生产乳脂风味基料, 通过脂肪酶将乳脂肪水解, 从而得到风味增强的酶解物质, 这样得到的酶解增香基料, 使稀奶油香味更浓, 口感更丰富、柔和。水牛乳搅打稀奶油中主要的挥发性风味物质为甲基酮类, 利用酶解法生产的水牛乳搅打稀奶油酶解后的酯类化合物总类更加丰富, 可赋予搅打稀奶油特殊的酯香风味^[33]。

4 结语

搅打稀奶油是一个复杂的体系, 如何提高乳液在静置状态下的稳定性, 以及搅打后产品的品质是行业研究的热点。国外已有相对成熟的搅打稀奶油制备工艺, 且产品众多, 如瑞士的雀巢、新西兰的安佳、法国的铁塔等, 而我国的搅打稀奶油研究起步较慢, 产品较少, 缺乏竞争力。因此我国开发高品质的搅打稀奶油需要更多的理论参考和实验研究。

国内在研究搅打稀奶油方面, 更多的是用氢化植物油为原料研究, 虽然植物稀奶油的成本更低、搅打性和稳定性较好, 但植物油会产生反式脂肪酸, 缺乏天然动物奶油本身的营养价值和品质, 且长期食用对人体有害, 而水牛乳这种脂肪含量高、丁酸比例大、乳化能力强的特色乳, 适合用于稀奶油的制作的乳品, 但因本身成本高、产量少的特点, 对此的研究较少。因此, 采用水牛乳制备高稳定性和高品质的稀奶油产品以提高产品的营养价值, 助力推动中国乳制品行业发展。

参考文献:

- [1] XIE P, JIN J, XU H, et al. Effects of sucrose esters on whipping capabilities of aerated emulsions[J]. *Food Hydrocolloids*, 2023, 144: 108933.
- [2] 裴昱博, 于森, 张国芳, 等. 水牛奶营养物质及其制品研究现状[J]. *食品工业科技*, 2024, 45 (18): 344-354.
PEI Y B, YU M, ZHANG G F, et al. Research status of nutrients and products of buffalo milk[J]. *Science and Technology for the Food Industry*, 2024, 45(18): 344-354
- [3] FARAHMANDFAR R, ASNAASHARI M, SALAHI M R, et al. Effects of basil seed gum, cress seed gum and quince seed gum on the physical, textural and rheological properties of whipped cream[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017.
- [4] KUPIKOWSKA-STOBBA B, DOMAGAŁA J, KASPRZAK M M. Critical review of techniques for food emulsion characterization[J]. *Applied Sciences*, 2024.
- [5] LOI C C, EYRES G T, SILCOCK P, et al. Application of a novel instantized glycerol monooleate ingredient in a protein-stabilized oil-in-water emulsion[J]. *Foods*, 2020, 9(9): 1237.
- [6] DICKINSON E. Strategies to control and inhibit the flocculation of protein-stabilized oil-in-water emulsions[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 96 209-223.
- [7] 魏雪丽. 乳脂基搅打稀奶油的品质稳定性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023.
WEI X L. Study on the quality stability of milk fat-based whipping cream[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2023.
- [8] LI Y, LIAO T, LIU T, et al. The quality of whipped cream: Effect of polyglycerol ester on the crystallization of fat blend and the properties of interface[J]. *Food Hydrocolloids*, 2023, 145: 109145.
- [9] KOROLEVA M YU, YURTOV E V. Ostwald ripening in macro- and nanoemulsions[J]. *Russian Chemical Reviews*, 2021, 90(3): 293-323.
- [10] 赵强忠, 赵谋明, 林伟锋, 等. 搅打稀奶油的搅打机理研究[J]. *食品与发酵工业*, 2005, (6): 12-15.
ZHAO Q Z, ZHAO M M, LIN W F, et al. Study on the whipping mechanism of whipping cream[J]. *Food & Fermentation Industry*, 2005, (6): 12-15.
- [11] LI S, YE A, SINGH H. Seasonal variations in the characteristics of milk fat and the whipping properties of cream[J]. *International Dairy Journal*, 2022, 127: 105288.
- [12] GAO Z, XU H, FAN Q, et al. Effects of fat unsaturation degree on whipping performance and foam stability of fat - reduced aerated emulsions[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2024, 59(5): 3114-3125.
- [13] 李春梅, 钟璇, 韩佳临, 等. 水牛乳成分、理化特性及其干酪产品研究进展[J]. *食品科技*, 2023, 48 (8): 44-50.
LI C M, ZHONG X, HAN J L, et al. Research progress on composition, physicochemical properties and cheese products of buffalo milk[J]. *Food Technology*, 2023, 48(8): 44-50.
- [14] PEGOLO S, STOCCO G, MELE M, et al. Factors affecting variations in the detailed fatty acid profile of Mediterranean buffalo milk determined by 2-dimensional gas chromatography[J]. *Journal of Dairy Science*, 2017, 100(4): 2564-2576.
- [15] LI Y, LI Y, YUAN D, et al. The effect of caseins on the stability and whipping properties of recombined dairy creams[J]. *International Dairy Journal*, 2020.
- [16] ZHOU X, SALA G, SAGIS L M C. Bulk and interfacial properties of milk fat emulsions stabilized by whey protein isolate and whey protein aggregates[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020.
- [17] LIU Z, CAO Z, ZHAO M, et al. Synergistic influence of protein particles and low-molecular-weight emulsifiers on the stability of a milk fat-based whippable oil-in-water emulsion[J]. *Food Hydrocolloids*, 2022, 127: 107520.
- [18] YONG H L, TAO L, TONG X L, et al. Effect of stearic and oleic acid-based lipophilic emulsifiers on the crystallization of the fat blend and the stability of whipped cream[J]. *Food Chemistry*, 2023, 428.
- [19] 陈雅丽, 冯文慧, 剧柠, 等. 单、双脂肪酸酯与吐温 80 复配亲水亲油平衡值对搅打稀奶油品质的影响[J]. *食品科学*, 2024, 45(13): 1-7.
CHEN Y L, FENG W H, JU N, et al. Effect of hydrophilic-lipophilic balance value of mono- and di-fatty acid esters combined with tween 80 on the quality of whipped cream[J]. *Food Science*, 2024, 45(13): 1-7.
- [20] 宋志鑫. 复配乳化剂对黄油基搅打稀奶油品质影响机制的研究及其应用[D]. 扬州: 扬州大学, 2024.
SONG Z X. Study on the effect mechanism of compound emulsifier on the quality of butter-based whipped cream and its application[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2024
- [21] WANG Y, HARTEL R W, ZHANG L. The stability of aerated emulsions: Effects of emulsifier synergy on partial coalescence and crystallization of milk fat[J]. *Journal of Food Engineering*, 2021, 291: 110257.
- [22] XU H, YANG L, CHEN Y, et al. Withdrawn: Effects of MCC to CMC ratios on room temperature-storage stabilities and whipping capabilities of whipping creams[J]. *LWT*, 2021: 112932.
- [23] 李扬, 李妍, 李栋, 等. 搅打稀奶油品质及其影响因素的研究进展[J]. *食品科学*, 2022, 43(15): 327-335.
LI Y, LI Y, LI D, et al. Progress in research on whipping cream quality and the factors influencing it[J]. *Food Science*, 2022, 43(15): 327-335.
- [24] JI D W, ZHEN M L, YUAN Y Z, et al. Synergistic effects of microcrystalline cellulose and xanthan gum on the stability of milk fat-based UHT whipping cream[J]. *LWT*, 2023, 184.
- [25] 王吉栋, 郑远荣, 刘振民. 二次均质处理对 UHT 搅打稀奶油品质的影响[J]. *乳业科学与技术*, 2023, 46(5): 12-17.
WANG J D, ZHENG Y R, LIU Z M. Effect of Secondary homogenization on the quality of ultra-high temperature

- sterilized whipped cream[J]. Dairy Science and Technology, 2023, 46(5): 12-17.
- [26] BLANKART M, WEISS J, HINRICHS J. Understanding the effect of homogenisation pressure on emulsion and foam properties of aerosol whipping cream[J]. International Dairy Journal, 2022, 129: 105332.
- [27] NILOOFAR B, ALI R, AHMAD S S, et al. Rheological, textural and structural properties of dairy cream as affected by some natural stabilizers[J]. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2022, 9(1).
- [28] NANIK P, A. S H, A. V M, et al. Effect of pasteurisation and foaming temperature on the physicochemical and foaming properties of nano-filtered mineral acid whey[J]. International Dairy Journal, 2022, 133.
- [29] LONG Z, ZHAO M, SUN-WATERHOUSE D, et al. Effects of sterilization conditions and milk protein composition on the rheological and whipping properties of whipping cream[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 52: 11-18.
- [30] T. C M, THOM H, JAYANI C. Effect of calcium-sequestering salts and heat treatment on the rheological and textural properties of acid gels from blends of skimmed buffalo and bovine milk[J]. International Dairy Journal, 2024, 149.
- [31] HUI N, WEN D W, ZU M D, et al. Multiscale combined techniques for evaluating emulsion stability: A critical review[J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2023, 311 102813-102813.
- [32] YONG C Z, DI Z, TONG X L, et al. Effects of glucose and corn syrup on the physical characteristics and whipping properties of vegetable-fat based whipped creams[J]. Foods, 2022, 11 (9): 1195-1195.
- [33] 冯玲, 农皓如, 黄丽, 等. 水牛乳稀奶油及其酶解产物挥发性风味物质分析[J]. 食品科技, 2018, 43(3): 251-254.
- FENG L, NONG H R, HUANG L, et al. Analysis on the volatile flavor substance of buffalo milk cream and their enzymatic hydrolyzed product[J]. Food technology, 2018, 43(3): 251-254. 完

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。