

二段均质压力对黄油基搅打稀奶油品质的影响

宋志鑫, 王文琼, 袁佩佩, 瓦云超, 顾瑞霞*

(扬州大学食品科学与工程学院, 江苏省乳品生物技术与安全控制重点实验室, 江苏扬州 225127)

摘要: 该文在黄油基搅打稀奶油经高压均质、热处理后分别使用 1.0~5.0 MPa 压力进行二段均质处理, 并以未经二段均质处理的产品为对照, 比较经不同二段均质压力处理后产品稳定性及搅打品质的变化。实验发现, 对照产品脂肪球粒度分布出现明显双峰现象, 乳液稳定性差, 搅打时间为 372.00 s, 起泡率仅 193.70%, 并且在光学显微镜下观察到大量絮凝的脂肪球簇; 当二段均质压力在 1.0~3.0 MPa 范围内增大, 产品脂肪球平均粒径减小, 产品稳定性增强, 搅打时间缩短, 打发率上升, 絮凝的脂肪球簇的数量明显减少; 当二段均质压力达到 3.0 MPa, 产品粒度分布趋于稳定, 搅打时间仅需 306.50 s, 起泡率达 235.10%, 光学显微镜下未观察到明显絮凝现象。相比对照组, 经 3.0 MPa 压力处理后的产品稳定性更好, 搅打成型时间由 372.00 s 缩短至 306.50 s, 起泡率由 193.70% 提高至 235.10%, 实验结果表明, 在搅打稀奶油生产中使用 3.0 MPa 压力进行二段均质可有效阻止乳液脂肪球絮凝, 提高产品的稳定性及搅打品质, 可满足工业生产高品质搅打稀奶油的要求。

关键词: 二段均质压力; 絮凝; 显微结构; 粒度分布; 搅打品质

文章编号: 1673-9078(2023)10-194-200

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.10.1316

Effects of Second-stage Homogenization Pressure on the Quality of Butter-based Whipped Cream

SONG Zhixin, WANG Wenqiong, YUAN Peipei, WA Yunchao, GU Ruixia*

(Jiangsu Key Lab of Dairy Biological Technology and Safety School, College of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127 China)

Abstract: After high-pressure homogenization and heat treatment, the butter-based whipped cream was subjected to a second round of homogenization at different pressures ranging from 1.0 to 5.0 MPa. Products that did not undergo a second homogenization step served as the control to compare the changes in stability and whipping properties. The results showed that the particle size distribution of fat globules in the control followed an obvious bimodal distribution, emulsion stability was poor, and whipping time required was 372.00 s, whereas the foaming rate was only 193.70%. Additionally, numerous flocculated fat globules were observed under a light microscope. In contrast, following a second pressured homogenization step at 1.0 to 3.0 MPa, the average size of the fat globules decreased, stability and foaming rate were higher, and a shorter wiping time was required. Furthermore, the number of flocculated fat globules was significantly reduced. Compared with the control, the application a pressure of 3.0 MPa during the second homogenization improved the stability of the product, reduced the whipping time from 372.00 s to 306.50 s, and increased the foaming rate from 193.70% to 235.10%. Moreover, the second homogenization at 3.0 MPa effectively prevented the flocculation of emulsion fat globules. Thus, this second homogenization step improved the overall stability and quality of the produce. Therefore, by applying this protocol, the requirements of industrial production for high-quality whipped cream can be fulfilled.

Key words: second-stage homogenization pressure; flocculation; microstructure; particle size distribution; whipping properties; whipping cream

引文格式:

宋志鑫,王文琼,袁佩佩,等.二段均质压力对黄油基搅打稀奶油品质的影响[J].现代食品科技,2023,39(10):194-200

SONG Zhixin, WANG Wenqiong, YUAN Peipei, et al. Effects of second-stage homogenization pressure on the quality of butter-based whipped cream [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(10): 194-200

收稿日期: 2022-10-15

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31972094); 江苏省科技计划项目-苏北科技专项(XZ-SZ202042)

作者简介: 宋志鑫(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工, E-mail: a19847382317@163.com

通讯作者: 顾瑞霞(1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 乳品科学, E-mail: rxgu@yzu.edu.cn

乳脂搅打稀奶油是一类以奶油、生牛乳为原料制成的总脂肪含量 30%~40%的搅打充气类食品,相比植脂奶油,乳脂奶油风味自然浓郁,营养价值高,深受消费者喜爱。李杨等^[1]表明我国搅打稀奶油行业起步较晚,工业生产中亟待解决的问题是提高产品品质,使产品拥有良好的乳液稳定性的同时兼具搅打时间短、打发率高、泡沫不易塌缩等特性。Blankrat 等^[2]表明合理的工艺流程及参数是生产高品质搅打稀奶油的关键,典型的搅打稀奶油生产工艺包括混料、乳化和杀菌,高压均质是最常用的提升乳化效果的工艺,但实际生产中发现,产品经高压均质、杀菌处理后,在冷却贮藏过程中极易出现黏度上升、油层上浮等现象。王筠钠等^[3]表明这是因为高压均质后形成大量小粒径的脂肪球,油、水两相接触面的总面积大大增加,部分脂肪球的界面无法及时被蛋白质吸附,容易发生聚结,它们之间依靠酪蛋白胶束连接形成聚集体,即桥联絮凝,最终会导致脂肪上浮,产品失稳。

针对此问题,王筠钠等^[3]表明目前工业生产中常在高压均质、杀菌后进行第二次较低压力的无菌均质,分散絮凝的脂肪球簇,增强产品乳液稳定性。近年来,李扬等^[4,5]实验证明二次均质可以提高蛋白含量(质量分数 2.0%)再制稀奶油的稳定性;Matsumiya 等^[6]发现第二次均质使乳状液中脂肪球表面吸附的蛋白质质量分数显著下降,进而使产品物理稳定性和打发能力变化;二者均发现第二段均质对产品品质有显著影响。

综上所述,第二段均质工艺对搅打稀奶油稳定性及搅打品质有显著影响,但上述文献中作者实验所使用的二段均质压力均为固定值,未将二段均质压力作为主要研究对象,因此二段均质压力与乳液性质和产品品质的关联尚不明确。本文在上述研究的基础上,采用二段均质工艺制备黄油基搅打稀奶油,产品经一段高压均质、杀菌后,分别使用压力为 1.0~5.0 MPa 的无菌低压二段均质处理,通过测定乳液液相蛋白质质量分数、粒度分布、脂肪部分聚结率等指标,揭示二段均质工艺对搅打稀奶油产品稳定性和搅打品质的影响机制,为工业生产高品质搅打稀奶油提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

无水奶油,新西兰安佳集团;生牛乳,扬州市扬大康源乳业有限公司;复配乳化剂(主要成分为单甘酯、吐温-80、大豆磷脂),江苏省乳品生物技术与安全控制重点实验室提供;复配稳定剂(主要成分为微晶纤维素),江苏省乳品生物技术与安全控制重点实验室

提供;金龙鱼玉米油,益海嘉里金龙鱼粮油食品股份有限公司;油红 O 色素,生工生物工程(上海)股份有限公司。

1.2 实验仪器

APV-1000 高压均质机,德国 APV 公司;TMS-Pro 食品质构仪,美国 FTC 公司;Nano ES90 马尔文粒子分析仪,英国马尔文仪器有限公司;MalvernKinexus Pro 旋转流变仪,英国马尔文仪器有限公司;UDK159 全自动凯氏定氮仪,北京盈盛恒泰科技有限公司;H2500R-2 高速冷冻离心机,长沙湘仪仪器有限公司;ELX800 酶标仪,美国宝特公司。

1.3 实验方法

1.3.1 黄油基搅打稀奶油制备

无水奶油加热至完全融化,生牛乳预热至 60℃后加入复配添加剂,搅拌至完全溶解,将熔化后的无水奶油缓缓倒入生牛乳与复配添加剂组成的水相中,高速剪切 10 min,60℃下搅拌乳化 30 min,使用 18 MPa 压力进行第一段高压均质,随后 85℃维持 15 min 杀菌,实验组产品杀菌后冷却至室温分别使用 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 MPa 压力进行第二段无菌均质,对照组杀菌后急冷,不进行第二次均质。所述均质压力均为总压力,无二级压力。所有产品在 4℃冰箱老化 24 h 后测试数据。

1.3.2 乳液稳定性测定

1.3.2.1 粒度分布测定

采用马尔文粒子分析仪测定搅打稀奶油乳状液粒度分布,称取 1.0 g 乳状液,使用去离子水以 1:1 000 的比例稀释,每个样品测试三次。

1.3.2.2 表观黏度测定

参考袁佩佩等^[7]实验方法,使用 Kinexus Pro 型旋转流变仪测定乳液表观黏度,取适量乳液样品平铺于测试台上,选择转子型号 CP4/40,测试温度 4℃,剪切速率变化范围为 0.1~100 s⁻¹,以线性取点方式采集数据。

1.3.3 显微结构观察

准确称取 1.0 g 乳液,使用去离子水以 1:50 的比例稀释,移取 20 μL 于载玻片中心,盖上盖玻片,使用光学显微镜观察脂肪球絮凝情况,目镜 10×,物镜 100×。

1.3.4 液相蛋白质质量分数

称取 30.0 g 乳液于 50 mL 离心管,使用高速冷冻离心机于 4℃,10 000 g 条件下离心 30 min,吸取中层清液,使用全自动凯氏定氮仪测定液相中蛋白质质

量分数,结果从仪器直接读取,每个样品测试三次,结果取平均值。

1.3.5 脂肪部分聚结率测定

准确称取油红 O 色素粉末 0.01 g 加入 1 000 g 玉米油中,室温慢速搅拌 13 h 以使色素充分溶解。称取待测样品 30.0 g 于 50 mL 离心管,加入 15.0 g 油红 O 色素溶液,涡旋 30 s 混匀,使用高速冷冻离心机在 4 ℃,8 800 g 条件下离心 30 min,使用酶标仪测定上层澄清油液在 520 nm 下吸光度值。每个样品测试三次,结果取平均值。脂肪部分聚结率计算公式如下:

$$C = \frac{m_0 \left(\frac{A_1}{A_2} - 1 \right)}{m_e M} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

C——部分聚结率, %;

M——待测样品脂肪质量分数, %;

m_0 ——油红 O 色素溶液质量, g;

m_e ——称取乳液/泡沫质量, g;

A_1 ——油红 O 色素溶液离心前的吸光度值;

A_2 ——油红 O 色素溶液离心后的吸光度值。

1.3.6 搅打品质测定

1.3.6.1 搅打时间测定

准确称取 200.0 g 乳液于搅打缸中,使用搅打器在 160 r/min 条件下搅打,记录从开始搅打直至形成坚挺峰形所需的时间,单位 s,每个样品测试三次,结果取平均值。

1.3.6.2 起泡率测定

使用 25 mL 铝盘测试同体积静态乳液和搅打泡沫的质量,计算搅打起泡率,每个产品测试三次,结果取平均值。计算公式如下:

$$F = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

F——搅打起泡率, %;

M_1 ——未搅打的稀奶油质量, g;

M_2 ——搅打后泡沫的质量, g。

1.3.6.3 泡沫析水率测定

准确称取 30.0 g 搅打泡沫于铜丝网,下置一个已恒重的烧杯接取析水,放于 25 ℃ 恒温箱中,静置 2 h 后取出称量烧杯质量,每个产品重复测试三次,结果取平均值。计算公式如下:

$$W = \frac{m_1}{m_2} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

W——泡沫析水率, %;

m_1 ——2 h 后析出水相质量, g;

m_2 ——称取的搅打泡沫的质量, g。

1.4 数据分析

各个测试指标的平行实验数据使用 SPSS 22 软件进行差异分析,结果使用(平均值±标准差)的形式表示, $P < 0.05$, 差异显著。数据使用 Origin 2018 软件绘图。

2 结果与讨论

2.1 二段均质压力对黄油基稀奶油乳液稳定性的影响

乳液稳定性是搅打稀奶油的重要品质指标,直接决定产品的货架期,本文通过测定产品粒度分布和表观黏度评价产品稳定性。由斯托克斯定律可知,脂肪球粒径小,沉降速率低,乳液稳定性好;乳液中较高的表观黏度可以减缓脂肪球上浮速率,可以反应产品长期稳定性,但杨永龙等^[8]表明脂肪球平均粒径过小或表观黏度过高都会导致乳液过于稳定难以打发。由图 1a 可知,未经二段均质处理的产品粒度分布范围最宽,达 459.00~5 560.00 nm,并有明显双峰分布;当二段均质压力在 1.0~3.0 MPa 内增大,粒度分布范围缩小,主峰峰值升高,拖尾峰逐渐消失;当压力达到 3.0~5.0 MPa 时产品粒度分布曲线相近,粒度分布范围较窄,仅 712.00~1 480.00 nm,且曲线只有一个主峰。左侧的峰是脂肪球的粒度分布范围,右侧的拖尾峰是脂肪球絮凝或聚结形成,可推测,未经二段均质处理的产品中含有大量絮凝的脂肪球簇。当二段均质压力增大,拖尾峰逐渐变小直至消失, Maldonado 等^[9]表明这可能是由于在二段均质的作用下,脂肪球簇被分散,乳化剂和蛋白质分子在界面上吸附、重排,界面膜机械强度上升,空间斥力增大,有效阻止脂肪球絮凝,因此双峰现象消失,直至脂肪球的粒度分布达到平衡。

由图 1b 可知,所有测试产品表观黏度随着剪切速率升高而降低,并且趋向于定值。相同剪切速率下未经二段均质处理的产品表观黏度最高;2.0 MPa 压力处理的产品表观黏度最低;经 3.0~5.0 MPa 压力处理的产品表观黏度相近。由图 1a 可知未经二段均质处理的产品平均粒径最大, Zhao 等^[10]表明平均粒径较大的脂肪球形成更紧密的晶体网格结构,并有形成固态结构的趋势,因此未经二段均质处理的产品表观黏度较高;当压力在 0.0~2.0 MPa 范围内增大时,絮凝的脂

脂肪球簇逐渐被分散, 脂肪球晶体网格被破坏, 固态结构消失, 表观黏度下降; 当压力为 3.0~5.0 MPa 时产品表观黏度相近, 且高于经 2.0 MPa 压力处理产品的表观黏度, 根据 Kováčová 等^[11]及 Mezger 等^[12]的论述, 这样的现象可能的原因是: 脂肪球簇被充分分散, 一方面体系内游离脂肪球数量变多, 脂肪球间距变小, 小脂肪球进一步堆积形成具有一定空间结构的颗粒网格, 导致乳液表观黏度上升; 另一方面, 油-水总接触面积变大, 乳化剂与蛋白质分子在界面处吸附、重排, 界面膜性质发生变化, 脂肪球间相互作用变强, 根据李杨等^[1]的论述, 这样的现象可能会使乳液表观黏度升高。从提高乳液稳定性的角度考虑, 二段均质压力应为 3.0 MPa。

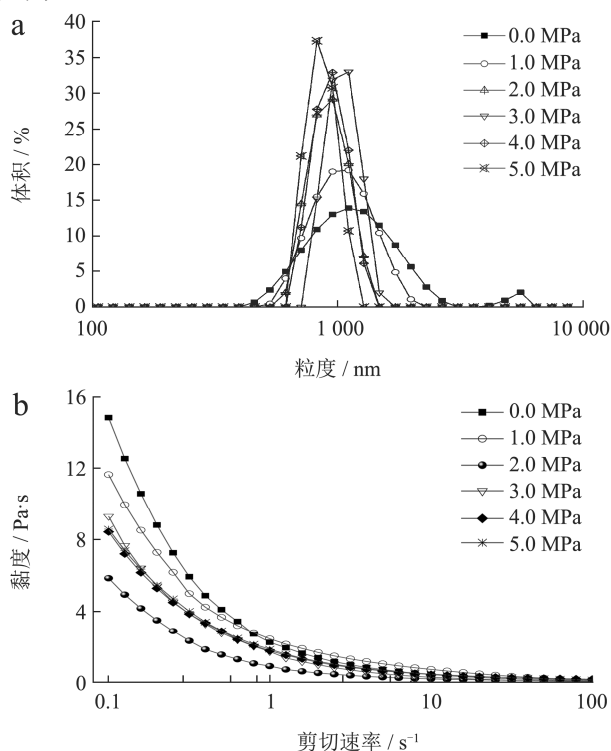


图1 二段均质压力对黄油基搅打稀奶油乳液粒度分布(a)和表观黏度(b)的影响

Fig.1 Effect of two-stage homogenization pressure on particle size distribution (a) and apparent viscosity (b) of butter base whipped cream

2.2 二段均质压力对稀奶油显微结构的影响

由图2可知, 在光学显微镜下可以明显观察到未经二段均质处理的产品(0.0 MPa)大量小脂肪球粘附形成脂肪球群集; 经 1.0 MPa 二段均质压力处理的产品内大的脂肪球群集被分散, 形成很多较小的脂肪球群集; 经 2.0 MPa 压力处理的产品脂肪球群集数量大大减少, 视野内游离小脂肪球的数量增加; 经 3.0~5.0 MPa 压力处理的产品几乎观察不到明显的脂肪球

群集。显微镜下观察到的脂肪球群集可能是絮凝的脂肪球簇, Yang 等^[13]表明絮凝是乳液一种不稳定形式, 絮凝使得乳液中脂肪球平均粒径增大, 加快脂肪球上浮, 最终导致乳液失稳。随着二段均质压力增大, 脂肪球簇的数量减少, 当二段均质压力达到 3.0~5.0 MPa 时, 絮凝的脂肪球簇被有效分散, 大部分脂肪球游离于乳液中。

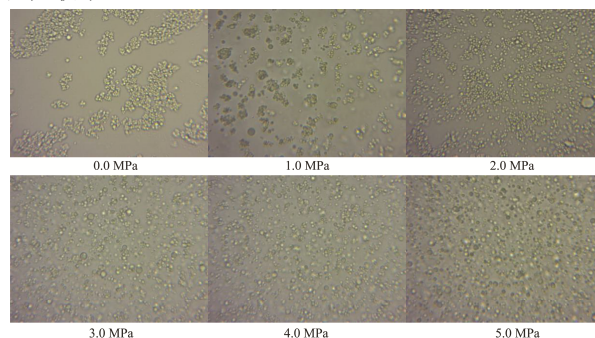


图2 二段均质压力对黄油基搅打稀奶油显微结构的影响

Fig.2 Effect of two-stage homogenization pressure on microstructure of butter base whipped cream

2.3 二段均质压力对黄油基稀奶油液相蛋白质质量分数的影响

脂肪球界面膜处吸附的蛋白质被乳化剂取代, 界面处的蛋白质膜被破坏, 蛋白质游离在液相中。根据 Lent 等^[14]及 Börjesson 等^[15]的论述, 在搅打稀奶油产品中游离的蛋白质具有良好的包裹空气的能力, 在搅打充气的初始阶段, 乳液中充入许多大气泡, 连续相中游离的蛋白质吸附大气泡的表面, 降低气-水界面的界面张力, 作为表面活性剂稳定气泡, 使其不易逸散, 达到提高产品起泡率的目的。因此提高液相蛋白质质量分数有利于提高产品的起泡率。但液相蛋白质质量分数过高, 说明界面吸附蛋白质被取代的程度过大, 这会导致界面膜空间稳定性变差、搅打泡沫持水力下降。由图3可知, 未经二段均质处理的产品液相蛋白质质量分数最低, 仅有 0.88%, 当压力在 1.0~3.0 MPa 范围内增大, 液相蛋白质质量分数显著上升 ($P < 0.05$); 当压力为 3.0~5.0 MPa 时液相蛋白质质量分数无明显变化 ($P > 0.05$), 实验结果与 Matsumiya 等^[6]发现的乳液经第二次均质后界面吸附蛋白质质量分数显著下降的结论相符。液相蛋白质质量分数上升可能有两方面原因: 一方面, 絮凝的脂肪球簇中有部分脂肪球通过共享蛋白质吸附层而连接在一起, 即桥联絮凝^[16,17], 导致游离于液相的蛋白质质量分数降低; 另一方面, 絮凝的脂肪球簇在二段均质的作用下分散, 乳化剂分子在暴露出来的脂肪球表面吸附, 将部分界

面吸附蛋白质竞争性取代下来^[6], 游离于液相的蛋白质质量分数增加, 二者共同导致产品液相蛋白质质量分数上升; 当二段均质压力由 3.0 MPa 增大至 5.0 MPa, 产品液相蛋白质质量分数无明显变化, 由图 2 可知, 产品经 3.0~5.0 MPa 压力处理后絮凝的脂肪球簇被有效分散, 脂肪球分布及界面膜性质趋于稳定, 因此液相蛋白质质量分数不再明显变化。

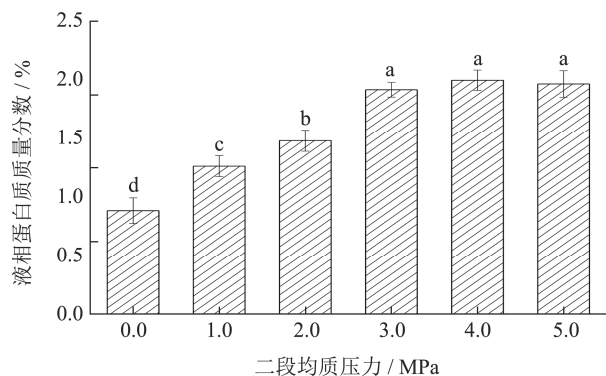


图3 二段均质压力对黄油基搅打稀奶油液相蛋白质质量分数的影响

Fig.3 Effect of two-stage homogenization pressure on protein concentration in liquid phase of butter base whipped cream

注: 各图中不同字母代表各实验组存在显著性差异, $P < 0.05$ 。

2.4 二段均质压力对黄油基搅打稀奶油脂肪部分聚结率的影响

乳液搅打过程中结晶脂肪刺破界面膜互相连接, 形成新的不规则的脂肪聚集体, 即部分聚结, Liu 等^[17]及范瑞等^[18]均表明部分聚结会导致乳液不稳定, 但它是乳液可以形成搅打泡沫结构的关键^[1]。由图 4 可知, 所有产品搅打过程中脂肪部分聚结率的变化趋势一致, 从搅打开始迅速增加, 到达最大程度后曲线变平缓; 当均质压力在 0.0~3.0 MPa 内增大, 产品部分聚结的最大程度上升; 经 3.0~5.0 MPa 压力处理的产品部分聚结最大程度相近。这样的实验结果与 Liu 等^[17]所论述的界面膜蛋白质被解离, 搅打过程中部分聚结程度上升的结论相符, 这是因为结晶脂肪发生部分聚结需要不稳定的界面膜, 界面吸附蛋白质质量分数较高时, 蛋白质在界面膜周围形成的粘弹性蛋白质膜有抵抗搅打过程中的剪切作用的能力^[19], 这可能会导致结晶脂肪难以刺穿界面膜, 部分聚结的速率及最大程度低。由图 3 可知, 当二段均质压力在 0.0~3.0 MPa 范围内增大, 相应产品液相蛋白质质量分数增大, 即界面吸附蛋白质质量分数下降, 界面膜变薄弱, 结晶脂肪部分聚结的难度下降, 因此部分聚结速率及最大

程度上升; 当二段均质压力增大至 3.0~5.0 MPa 时, 体系趋于稳定, 搅打过程中脂肪部分聚结的速率和最大程度无明显差异。

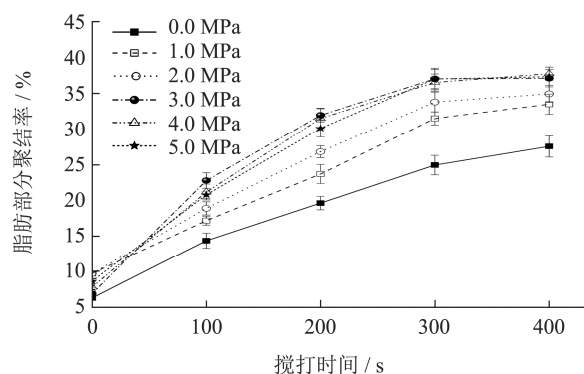


图4 二段均质压力对产品搅打过程中脂肪部分聚结率的影响

Fig.4 Effect of two-stage homogenization pressure on the partial coalescence rate during product stirring

2.5 二段均质压力对黄油基搅打稀奶油搅打品质的影响

高品质黄油基搅打稀奶油应具有易搅打成型、打发率高、且泡沫持水力强等特性。由图 5a、b、c 可知, 二段均质压力对产品搅打品质的影响可分为两个阶段, 当压力在 0.0~3.0 MPa 内增大, 产品搅打时间、泡沫析水率显著下降 ($P < 0.05$), 搅打起泡率显著上升 ($P < 0.05$)。当压力在 3.0~5.0 MPa 内增大时三种品质指标无显著差异 ($P > 0.05$)。当二段均质压力为 3.0 MPa 时搅打时间最短仅需 306.50 s, 起泡率最高达到 235.10%, 此时泡沫析水率为 24.90%。

产品搅打时间与结晶脂肪部分聚结的速率有关, 在搅打充气过程中, 结晶脂肪刺破界面膜形成部分聚结, 构成搅打泡沫的骨架。当界面处吸附的蛋白质越少, 粘弹性的蛋白质膜越弱, 则形成部分聚结的难度低, 搅打时间越短。由搅打时间先下降、后无明显变化的趋势可推测: 界面处吸附的蛋白质质量分数随着二段均质压力增大先减小、后无明显变化; 而起泡率的上升与液相蛋白质质量分数和部分聚结的最大程度有关, 界面处吸附的蛋白质被取代后游离于液相, 一方面, 根据 Whitman 等^[16]所述, 产品液相蛋白质质量分数上升, 搅打过程中包裹空气的能力增强, 起泡率上升; 另一方面, Xie 等^[20]表明较高的脂肪部分聚结程度可以更好的包裹气泡, 使其不易逸散, 因此产品起泡率上升; 由图 5c 可知, 泡沫析水率受二段均质影响显著 ($P < 0.05$), 随着压力增大, 泡沫析水率先上升、后下降, 达到 4.0 MPa 后无明显变化。泡沫的持水力受到界面膜粘弹性、乳液黏度、部分聚结最大程

度等多种因素影响,由图 1b 可知,均质压力增大,产品表观黏度下降,导致泡沫抗析水能力降低; Moens 等^[21]及 Goibier 等^[22]表明部分聚结最大程度上升可以赋予泡沫更坚实的脂肪骨架,提高搅打泡沫的硬度,从而提高泡沫稳定性。综上所述,从产品搅打品质角度考虑,二段均质的压力应控制为 3.0 MPa。

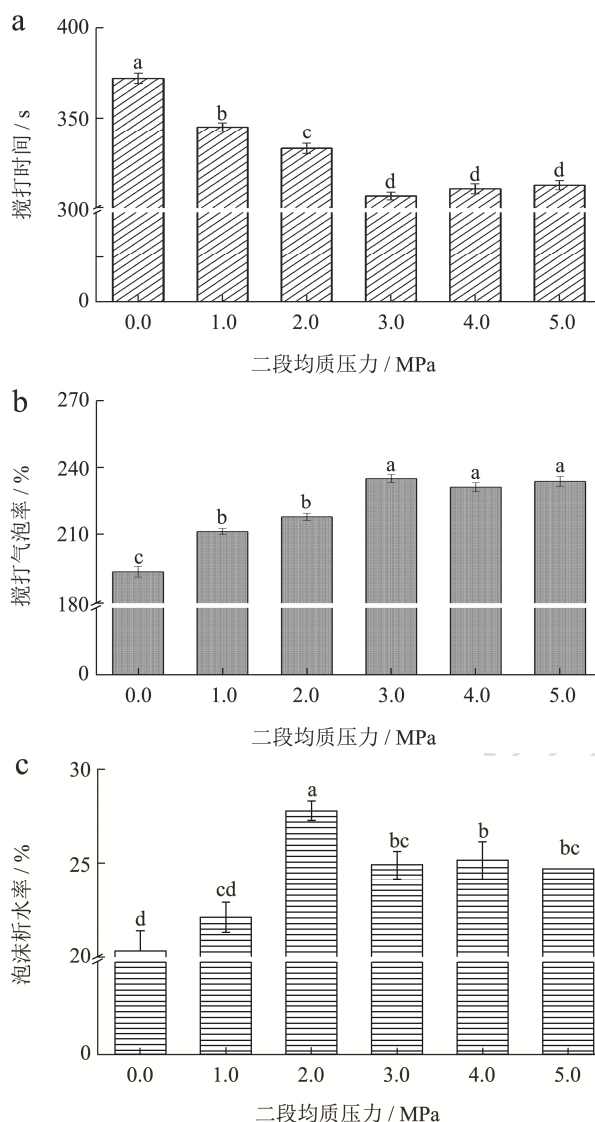


图5 二段均质压力对黄油基搅打稀奶油搅打时间(a)、搅打起泡率(b)、泡沫析水率(c)的影响

Fig.5 Effect of two-stage homogenization on stirring time, overrun, water separation rate of butter base whipped cream

注:各图中不同字母代表各实验组存在显著性差异, $P < 0.05$ 。

3 结论

本文以产品粒度分布、表观黏度为稳定性指标,搅打时间、起泡率、泡沫析水率为品质指标,设计实验研究适合应用于工业生产高品质黄油基搅打稀奶油的二段均质压力,并通过测定乳液微观结构、液相蛋

白质量分数、脂肪部分聚结率等指标研究了二段均质处理对黄油基搅打稀奶油乳液性质的影响机理。实验发现,未经二段均质处理的产品内脂肪球絮凝情况严重,产品表观黏度高,搅打品质差;随着二段均质压力增大,絮凝的脂肪球簇被分散,脂肪球平均粒径减小,表观黏度下降,此变化使得产品稳定性增强;液相蛋白质质量分数上升,脂肪部分聚结速率、最大程度均上升,此变化使产品搅打时间缩短、打发率提高。经测定,未经二段均质处理的产品脂肪球粒径范围处于 459.00~5 560.00 nm 之间,搅打时间长达 372.00 s,搅打起泡率仅有 193.70%,当二段均质压力为 3.0 MPa 时,产品内脂肪球粒度分布范围缩短至 712.00~1 480.00 nm,即产品稳定性提高;搅打时间缩短至 306.50 s,搅打起泡率上升至 235.10%,搅打时间缩短,起泡率提升,实际应用价值更高。据查阅文献,多达 18 种市售搅打稀奶油产品的起泡率均在 92.30%~202.50% 内,低于本研究产品 235.10% 的起泡率,即本产品相比市售产品具有较明显的实际应用优势。综上所述,搅打稀奶油工业生产二段均质压力为 3.0 MPa 时可满足工业生产高品质搅打稀奶油的要求。

参考文献

- [1] 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.
- [2] Blankart M, Kratzner C, Link K, et al. Technical emulsifiers in aerosol whipping cream - compositional variations in the emulsifier affecting emulsion and foam properties [J]. International Dairy Journal, 2019, 102: 104578.
- [3] 王筠钠,李妍,韩洁,等.搅打稀奶油制备技术与影响因素研究进展[J].中国乳品工业,2016,44(11):24-28.
- [4] 李扬,李妍,王筠钠,等.酪蛋白和工艺对再制稀奶油稳定性的影响[J].食品科学,2020,41(15):1-7.
- [5] 李扬,李妍,王筠钠,等.酪蛋白种类和二次均质工艺对再制稀奶油搅打特性的影响[J].食品科学,2021,42(7):106-112.
- [6] Matsumiya K, Horiguchi S, Kosugi T, et al. Effects of heat treatment and homogenization on milk fat globules and proteins in whipping creams [J]. Food Structure, 2017, 12: 94-102.
- [7] 袁佩佩,王文琼,周吉阳,等.二次均质工艺中一次均质压力对黄油基搅打稀奶油品质的影响[J].现代食品科技,2021, 37(10):180-187.
- [8] 杨永龙,高增丽,刘彦宏.加工工艺条件对稀奶油搅打特性的影响[J].中国油脂,2019,9:143-146.
- [9] Julia Maldonado-Valderrama, Juan M Rodríguez Patino. Interfacial rheology of protein-surfactant mixtures [J].

- Current Opinion in Colloid Interface Science, 2010, 15(4): 271-282.
- [10] Zhao Long, Zhao Mouming, Dongxiao Sun-Waterhouse, et al. Effects of sterilization conditions and milk protein composition on the rheological and whipping properties of whipping cream - Science Direct [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 52(1): 11-18.
- [11] R Kováčová, J Štětina, L Čurda. Influence of processing and κ -carrageenan on properties of whipping cream [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 99(4): 471-478.
- [12] Mezger Thomas G. Das Rheologie Handbuch: Für Anwender von Rotations- und Oszillations-Rheometern [M]. Vincentz Network: 2019-05-17.
- [13] YANG Jingqi, LIU Guangyu, ZENG Hongbo, et al. Effects of high pressure homogenization on faba bean protein aggregation in relation to solubility and interfacial properties [J]. Food Hydrocolloids, 2018, 83: 275-286.
- [14] Katrien van Lent, Cao Thu Le, Brecht Vanlerberghe, et al. Effect of formulation on the emulsion and whipping properties of recombined dairy cream [J]. International Dairy Journal, 2008, 18(10-11): 1003-1010.
- [15] J Börjesson, P Dejmek, RLöfgren, et al. The influence of serum phase on the whipping time of unhomogenised cream [J]. International Dairy Journal, 2015, 49: 56-61.
- [16] Williams P A. Advances in food emulsions and foams, E. Dickinson, G. Stainsby (Eds.), Elsevier Applied Science Publishers, Barking (1987), Price £52.00, ISBN: 1-85166-200-6 [J]. Food Hydrocolloids, 1988, 2(6): 507-508.
- [17] Liu Pingli, Huang Lihua, Liu Tongxun, et al. Whipping properties and stability of whipping cream: The impact of fatty acid composition and crystallization properties [J]. Food Chemistry, 2021, 347(15): 128997.
- [18] 范瑞. 乳状液的脂肪球部分聚结机理及其搅打性能的研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2004.
- [19] Thivilliers-Arvis Florence, Laurichesse Eric, Schmitt Véronique, et al. Shear-induced instabilities in oil-in-water emulsions comprising partially crystallized droplets. [J]. Langmuir: the ACS Journal of Surfaces and Colloids, 2010, 26(22): 16782-16790.
- [20] Xie P K, Ji G Z, Jin J, et al. Partial coalescence and whipping capabilities of dairy aerated emulsions as affected by inclusion of monoglycerides with different fatty acid species [J]. Int J Dairy Technol, 2023, 76(1): 81-92.
- [21] Kim Moens, A K M Masum, Koen Dewettinck. Tempering of dairy emulsions: Partial coalescence and whipping properties [J]. International Dairy Journal, 2016, 56: 92-100.
- [22] Lucie Goibier, Sophie Lecomte, Fernando Leal-Calderon, et al. The effect of surfactant crystallization on partial coalescence in O/W emulsions [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2017, 500(15): 304-314.