

搅打稀奶油的乳液特征和打发性能研究

陈雨杭, 谢朋凯, 范沁源, 徐 华, 金 俊, 金青哲, 王兴国

(江南大学 食品学院, 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏省食品安全与质量控制协同创新中心, 国家功能食品工程技术研究中心, 江苏 无锡 214122)

摘要: 为了对搅打稀奶油的科学应用提供参考, 以 19 款市售代表性搅打稀奶油(常温型、冷藏型和冷冻型产品)为研究对象, 通过分析乳液的离心乳析率、黏度、粒径和微观结构研究其乳液的质量, 通过分析打发时间、起泡率、泄漏率和裱花性能研究其打发性能。结果显示: 常温型产品的离心乳析率为 22.17% ~ 32.68%, 显著高于冷藏型产品的离心乳析率(1.36% ~ 13.09%)和冷冻型产品的离心乳析率(2.97% ~ 12.87%); 常温型和冷藏型产品的黏度、粒径分布特征接近, 呈流动性较好且脂肪球分布较均匀的乳液, 而冷冻型产品相对黏稠且乳液中无明显脂肪球结构; 常温型产品和冷藏型产品的打发时间在 132.44 ~ 291.28 s 之间(只有 1 款冷藏型产品打发时间为 79.49 s), 起泡率在 111.49% ~ 202.50% 之间(只有 2 款冷藏型产品起泡率分别为 92.30%、328.25%), 部分有泡沫泄漏, 裱花维持能力较弱; 而冷冻型产品打发时间为 89.91 ~ 158.52 s, 起泡率在 240.39% ~ 278.15%, 无泡沫泄漏, 裱花维持能力强。综合而言, 常温型搅打稀奶油的乳液相对不稳定, 打发性能与冷藏型搅打稀奶油接近, 而冷冻型搅打稀奶油的打发性能最强。

关键词: 搅打稀奶油; 乳液稳定性; 打发性能; 乳脂; 植物油

中图分类号: TS252.5; TS201.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-7969(2021)12-0032-07

Emulsion properties and whipping capabilities of commercial whipping creams

CHEN Yuhang, XIE Pengkai, FAN Qinyuan, XU Hua,

JIN Jun, JIN Qingzhe, WANG Xingguo

(National Engineering Research Center for Functional Food, Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, State Key Laboratory of Food Science and Technology, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

Abstract: To provide references for scientific usages of commercial whipping creams, 19 representative samples with different storage requirements, mainly room temperature, refrigerated and frozen, were evaluated for their emulsion and whipping characteristics. The emulsion qualities were analyzed by centrifugation stability index, viscosity, particle size and microstructure, and the whipping capabilities were detected by the whipping time, overrun, leakage rate and whipped appearance. The results showed that centrifugation stability index of the creams stored at room temperature was 22.17% - 32.68%, which was significantly higher than 1.36% - 13.09% of refrigerated products and 2.97% - 12.87% of frozen products. The viscosity and particle size distribution of room temperature - stored and refrigerated products were similar, with good fluidity and uniform distribution of fat globules; whereas frozen products

were relative viscous and had no obvious fat globule structures. The whipping time of room temperature - stored and refrigerated creams were generally 132.44 - 291.28 s (79.49 s for only one refrigerated product), and the overrun were 111.49% - 202.50% (only two refrigerated product was 92.30%, 328.25% respectively), some of their foams might leak during the tests,

收稿日期: 2021-07-20; 修回日期: 2021-10-05

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(JUSRP12004); 中国博士后科学基金面上资助(2021M691291)

作者简介: 陈雨杭(1997), 男, 硕士研究生, 研究方向为专用油脂制品(E-mail) 18821675486@163.com。

通信作者: 金 俊, 副研究员, 博士(E-mail) junjin@jiangnan.edu.cn。

and their ability to maintain whipped appearance was weak. In contrast, frozen products only took 89.91–158.52 s to be beatable, and the overrun was 240.39%–278.15% without leakage and with strong ability to maintain whipped appearance. In conclusion, room temperature-stored whipping creams showed the lowest emulsion stabilities but its whipping capabilities were close to those of refrigerated whipping creams; in contrast, frozen whipping creams were more suitable to be beaten due to their excellent whipping abilities.

Key words: whipping cream; emulsion stability; whipping capability; milk fat; vegetable oil

搅打稀奶油是一款经典的富油食品,普遍含油20%~40%,广泛用于制作糕点的裱花、咖啡和奶茶的奶盖。近年来,我国休闲食品市场快速增长,年复合增长率高达12%,呈现长期稳定的增长趋势^[1-2],因此搅打稀奶油的市场前景广阔。根据存放温度,搅打稀奶油可分为冷藏型、冷冻型和常温型三大类。冷藏型主要为传统稀奶油,以脱脂奶生产中富含黄油的副产物为原料制得,含脂肪30%~40%,产品需全程冷链。相比于欧美,我国脱脂奶市场规模小,因此这类稀奶油无法满足日益增长的市场需求。冷冻型主要以植物油为油基,含油15%~20%,通过调配蛋白粉、糖等制成,可长距离运输且具长保质期,但仍需全程冷链。常温型主要以牛乳蛋白(粉)、黄油、复合添加剂调制而成,既不受限于奶源地,也可满足缺乏冷链地区的市场需求^[3-4]。

搅打稀奶油属热力学不稳定体系,打发前是O/W型乳液^[5],在运输、储存和静置期间均易失稳,易发生析水、析油、轻微结块等现象,严重影响稀奶油的外观品质;而在严重结块时无法倾倒和打发,使产品丧失了使用价值^[6]。若乳液过于稳定,则打发性能降低甚至无法打发。搅打稀奶油的上述问题均与所用油脂的组成和结晶性能密切相关,由不同晶体形成的部分聚结是诱发乳液失稳和打发形成的关键因素,需控制在一定程度方可实现产品在储存期和打发时的双稳定^[7]。不同品类的搅打稀奶油应有其适合的应用场景,而有关三大类搅打稀奶油的乳液稳定性和打发性能的比较研究还较少。

本文筛选出常温型、冷藏型和冷冻型三大类19款市售代表性搅打稀奶油产品,通过分析离心乳析率、黏度、粒径和微观结构评价乳液的质量,通过分析打发时间、起泡率、泄漏率和裱花性能评价打发性能,探明三大类搅打稀奶油的特征质量参数,为搅打稀奶油精准化应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料

19款市售代表性搅打稀奶油。其中:常温型黄

油基3款,分别标记为RO-1、RO-2和RO-3;冷藏型9款,其中CL-1、CL-2、CL-3、CL-4、CL-5、CL-6、CL-7均为黄油基产品,CL-8、CL-9分别为动植物油混基和植物油基产品;冷冻型植物油基7款,分别标记为CD-1、CD-2、CD-3、CD-4、CD-5、CD-6和CD-7,是椰子油和棕榈仁油及其氢化油脂基产品。实验前各产品按要求温度储藏。

1.1.2 仪器与设备

激光共聚焦扫描显微镜,德国蔡司公司;离心机,德国Eppendorf公司;S3500激光粒度分析仪,美国Microtrac公司;NDJ-8S数字显示黏度仪,中国力辰邦西仪器科技有限公司;打发器,中国小熊电器股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 搅打稀奶油的组分测定

1.2.1.1 搅打稀奶油的基本组成

脂肪含量的测定参照GB/T 14772—2008;蛋白质含量的测定参照GB 5009.5—2010;碳水化合物含量的测定参照GB 28050—2011。

1.2.1.2 搅打稀奶油的脂肪酸组成

称取9 mL稀奶油溶于60 mL氯仿-甲醇(体积比2:1)中,旋涡振荡3 min,而后加入9 mL NaCl,静置一段时间后收集下层氯仿;再通过旋转蒸发去除溶剂,并用乙醚将脂质转移至5 mL离心管中,利用氮气挥发溶剂,获得总脂质。称取50 mg提取的脂质,用正己烷溶解,再加入0.5 mL 2 mol/L氢氧化钾-甲醇,充分混匀后将溶液转移至离心管,10 000 r/min离心3 min后去上层清液,用无水硫酸钠吸收水分,过0.22 μm滤膜,参考GB 5009.168—2016采用气相色谱仪分析搅打稀奶油的脂肪酸组成。

1.2.2 搅打稀奶油乳液的质量评价

1.2.2.1 离心乳析率测定

取10 mL稀奶油乳液(体积记为 V_0)。其中,常温型与冷藏型产品分别放置于20℃培养箱和4℃冰箱,可直接取样(下同);冷冻型产品参照打发预处理要求,先放置于冷藏条件下解冻,待冰晶全部融

化后再取样(下同)。将样品加入到刻度离心管中,在 4 000 r/min 下离心 8 min,测量析出乳清的体积(V_1),根据下式计算离心乳析率(Y)。

$$Y = V_1/V_0 \times 100\% \quad (1)$$

1.2.2.2 黏度测定

采用黏度仪测定稀奶油乳液的黏度,测定时采用 2 号转子,转速为 12 r/min。为反映乳液在储藏条件下的性状,常温型产品测定温度为 15 ~ 20 °C,冷藏型产品测定温度为 5 ~ 10 °C,冷冻型产品测定温度为 5 ~ 10 °C。

1.2.2.3 粒径测定

采用激光粒度分析仪测定稀奶油乳液的粒径分布和大小。使用去离子水作为分散相,取 20 μ L 稀奶油乳液于样品池中,然后进行测定。样品的吸收率和折射率分别设置为 0.001 和 1.590,连续相的折射率设置为 1.330,每个测试样品重复 3 次,结果取平均值。

1.2.2.4 微观结构测定

采用激光共聚焦扫描显微镜观测稀奶油乳液的微观结构。取 100 μ L 乳液于 2 mL 离心管中,加入 10 μ L 尼罗红(质量浓度 0.02 g/100 mL),轻微振荡混匀,再用去离子水稀释 10 倍。观测时,选用 20 \times 目镜,激发光源为 Ar 灯,激发光波长为 488 nm,接收波长为 500 ~ 755 nm。

1.2.3 搅打稀奶油打发性能的评价

1.2.3.1 打发时间计算

常温型产品打发前需置于 6 ~ 8 °C,5 h 后打发;冷藏型产品直接打发;冷冻型产品需先置于冷藏条件下解冻,待冰晶完全融化后打发。打发时,取 150 g 样品置于不锈钢搅打盆中,在 900 r/min 下进行打发,当打发至奶油可以在打发棒上形成坚挺的山峰形态时,停止打发,并记录打发所需时间。

1.2.3.2 起泡率测定

分别取打发前和打发后的奶油,置于相同型号的塑料培养皿中,测定质量,按下式计算起泡率(F)。

$$F = (m_0 - m_1)/m_1 \times 100\% \quad (2)$$

式中: m_0 为打发前奶油质量,g; m_1 为打发后奶油质量,g。

1.2.3.3 泄漏率测定

称取 10 g 打发至最大起泡率的奶油样品于 0.30 mm(50 目)筛,在 25 °C 培养箱中储放 2 h,用培养皿收集泄漏的乳清,按下式计算泄漏率(S)。

$$S = m_2/m_3 \times 100\% \quad (3)$$

式中: m_2 为析出乳清质量,g; m_3 为取样质量,g。

1.2.3.4 裱花性能观测

将打发后的奶油置于裱花袋,选择型号为 SN7142 的中号花嘴塑形,在 20 °C 稳定 2 h 后,观察奶油表面的光泽、纹路清晰程度和形态变化。

2 结果与分析

2.1 搅打稀奶油的组成

2.1.1 搅打稀奶油的基本组分(见表 1)

样品	脂肪	蛋白质	碳水化合物
常温型黄油基稀奶油	32.75 \pm 2.25	1.90 \pm 0.70	2.60 \pm 0.60
冷藏型黄油基稀奶油	35.07 \pm 1.30	2.16 \pm 0.18	3.05 \pm 0.28
冷冻型植物油基稀奶油	18.61 \pm 0.66	0.66 \pm 0.18	23.06 \pm 2.65

由表 1 可知:黄油基稀奶油的脂肪含量均在 30% 以上,冷冻型植物油基稀奶油的脂肪含量不足 20%;冷冻型植物油基稀奶油的蛋白质含量低于常温型和冷藏型稀奶油,但其碳水化合物含量占比高达 20% 以上。

2.1.2 搅打稀奶油的脂肪酸组成(见表 2)

脂肪酸	常温型黄油基稀奶油	冷藏型黄油基稀奶油	冷冻型植物油基稀奶油
C6:0	1.06 \pm 0.27	1.32 \pm 0.37	0.48 \pm 0.07
C8:0	1.15 \pm 0.15	1.01 \pm 0.02	6.21 \pm 0.33
C10:0	2.14 \pm 0.25	3.17 \pm 0.32	1.14 \pm 0.05
C12:0	3.32 \pm 0.40	3.12 \pm 0.17	50.42 \pm 2.11
C14:0	12.89 \pm 0.19	11.19 \pm 0.17	18.26 \pm 0.66
C16:0	36.21 \pm 3.10	36.31 \pm 2.71	9.81 \pm 0.64
C16:1	1.52 \pm 0.77	1.51 \pm 0.28	-
C18:0	13.92 \pm 1.94	12.67 \pm 0.42	12.71 \pm 0.27
C18:1	24.1 \pm 0.35	25.12 \pm 0.69	-
C18:2	2.94 \pm 0.59	2.79 \pm 0.77	-
C18:3	0.55 \pm 0.01	0.72 \pm 0.11	-
MCSFA	7.67	8.62	58.25
LCSFA	63.02	60.17	40.78
MUFA	25.62	26.63	-
PUFA	3.49	3.51	-

注:MCSFA 为中碳链饱和脂肪酸;LCSFA 为长碳链饱和脂肪酸;MUFA 为单不饱和脂肪酸;PUFA 为多不饱和脂肪酸。下同

由表 2 可知:冷冻型植物油基稀奶油的脂肪酸组成以中碳链脂肪酸为主,其中月桂酸含量高达 50.42%;而黄油基稀奶油的脂肪酸分布广泛,但以长碳链脂肪酸为主。

2.2 搅打稀奶油乳液的质量

2.2.1 离心乳析率

乳液的离心乳析率一般可反映乳液的稳定性,数值低者表明乳液更稳定,但相应的打发性能可能低^[7]。三大类搅打稀奶油乳液的离心乳析率见表3。

表3 搅打稀奶油乳液的离心乳析率 %

样品	离心乳析率	样品	离心乳析率
RO-1	22.17 ± 0.83 ⁱ	CL-8	10.92 ± 0.04 ^g
RO-2	24.77 ± 0.57 ^j	CL-9	1.36 ± 0.06 ^a
RO-3	32.68 ± 0.32 ^k	CD-1	7.32 ± 0.03 ^e
CL-1	4.10 ± 0.01 ^c	CD-2	8.76 ± 0.06 ^f
CL-2	6.84 ± 0.10 ^e	CD-3	7.40 ± 0.01 ^e
CL-3	5.56 ± 0.00 ^d	CD-4	12.87 ± 0.01 ^h
CL-4	13.05 ± 0.05 ^b	CD-5	7.29 ± 0.01 ^e
CL-5	13.09 ± 0.01 ^b	CD-6	7.27 ± 0.08 ^e
CL-6	5.38 ± 0.10 ^d	CD-7	2.97 ± 0.03 ^b
CL-7	5.17 ± 0.09 ^d		

注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

由表3可知,常温型搅打稀奶油乳液的离心乳析率为22.17%~32.68%,显著高于冷藏型搅打稀奶油乳液的离心乳析率(1.36%~13.09%)和冷冻型搅打稀奶油乳液的离心乳析率(2.97%~12.87%),可见常温型搅打稀奶油乳液的稳定性较低。

2.2.2 黏度

黏度可在一定程度上反映乳液稳定的变化趋势,三大类搅打稀奶油乳液的黏度如图1所示。由图1可知,常温型和冷藏型搅打稀奶油乳液的黏度较低,为100~750 mPa·s,而冷冻型搅打稀奶油乳液的黏度高达1500~2500 mPa·s。通过成分和加工方式比较可知:常温型和冷藏型产品主要以黄油为油基,为避免过度加工而影响其乳液流动性和打发性,通常均质压力较低,因而可保持低黏度^[8-9];而冷冻型产品多以椰子油、氢化棕榈仁油等植物油为油基,所形成的结晶致密且尖锐,易刺破界面膜形成脂肪球的部分聚集,整体黏度较大^[10]。

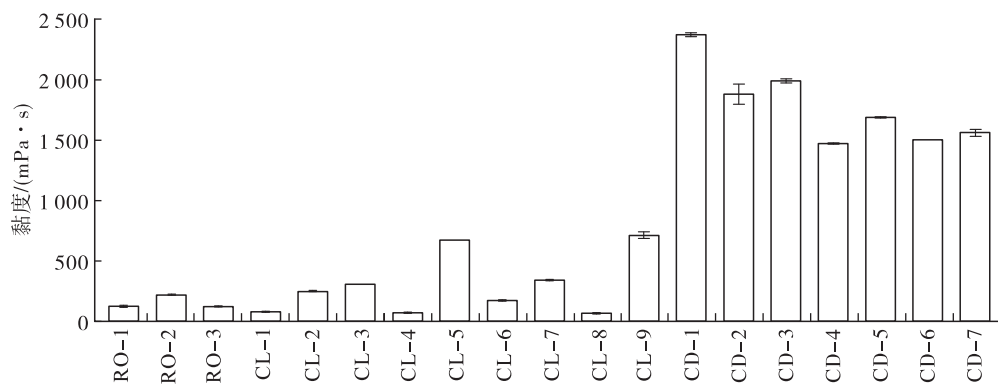


图1 搅打稀奶油乳液的黏度

2.2.3 粒径分布和微观结构

脂肪球的分布状态是乳液性状的微观表征,三大类搅打稀奶油乳液的粒径分布和微观结构分别如图2和图3所示。其中,微观结构根据脂肪球分布的特点选取了具有代表性的样品,RO-1和RO-3为目前食品加工和终端市场上占主导的常温型搅打稀奶油,CL-1、CL-3、CL-4和CL-9是供终端市场的4款主流冷藏型搅打稀奶油,CD-4、CD-5和CD-7是供饮品店的3款主要冷冻型搅打稀奶油。

由图2A可见,常温型产品的粒径主要分布于1~100 μm,平均粒径为3.54~16.19 μm,呈单峰形、双峰形甚至多峰形。多种峰形形态可能与常温下稀奶油乳液易失稳相关,如图3中RO-3(多峰形)的脂肪球相比于RO-1(单峰形)大,可能已发生了脂肪球的聚结或部分聚结。由图2B可见,冷藏型产品的粒径主要分布于1~10 μm,平均粒径为1.34~3.56 μm,主要呈单峰形,相比于常温型产品

其粒径分布更为均匀(图3中CL-1和CL-3),即冷藏型乳液更稳定。然而,冷藏虽然降低了脂肪球的布朗运动,减少了组分的碰撞机会,但低温下更多的脂肪晶体会促进部分聚集的发生^[11]。在冷藏环境中,这一过程的发生和发展较为缓慢,故经过一定时间的储放,冷藏型产品易出现较大且不规则的脂肪球簇(图3中CL-4和CL-9)。此外,图2C的两款冷藏型产品的粒径分布较为特殊,两者分别为动植物油脂混基和植物油基搅打稀奶油,其粒径受油脂种类和含量影响大。由图2D可见,冷冻型产品的粒径主要分布于0.1~1 μm,平均粒径不足1 μm,且总体呈单峰分布,这与其较高的均质压力(约为常温型和冷藏型产品均质压力的5~10倍)有关^[12-13]。然而,冷冻型产品蛋白质含量通常很低甚至不含蛋白质,无法为油脂提供界面膜,故未观测到完整的脂肪球结构(图3中CD-4、CD-5和CD-7),这类体系的稳定主要依靠高含量的碳水化合物实现。

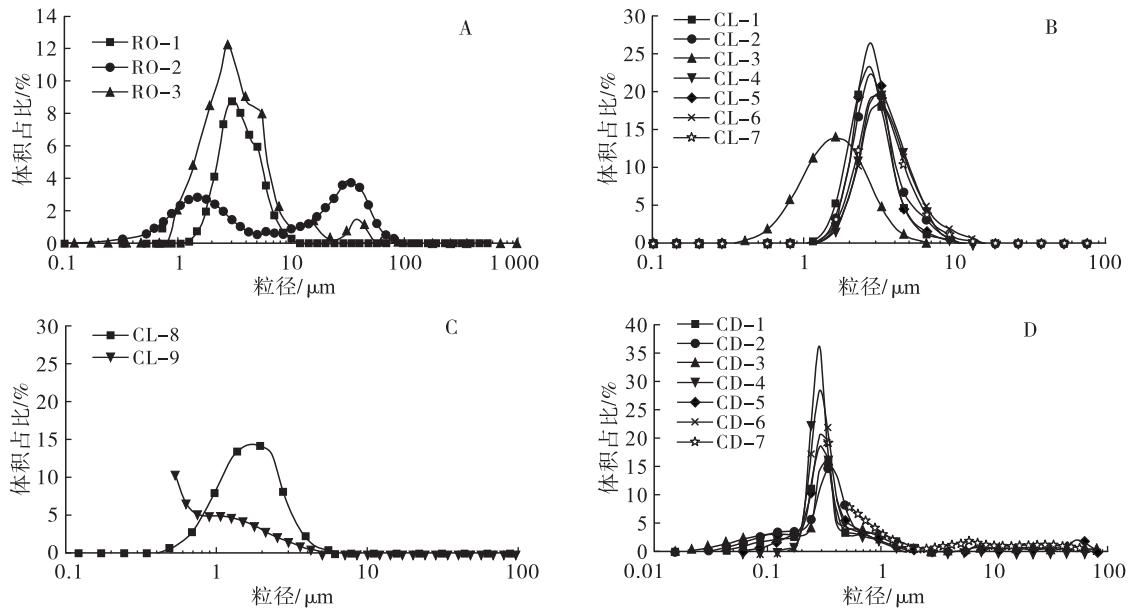


图2 搅打稀奶油乳液的粒径分布

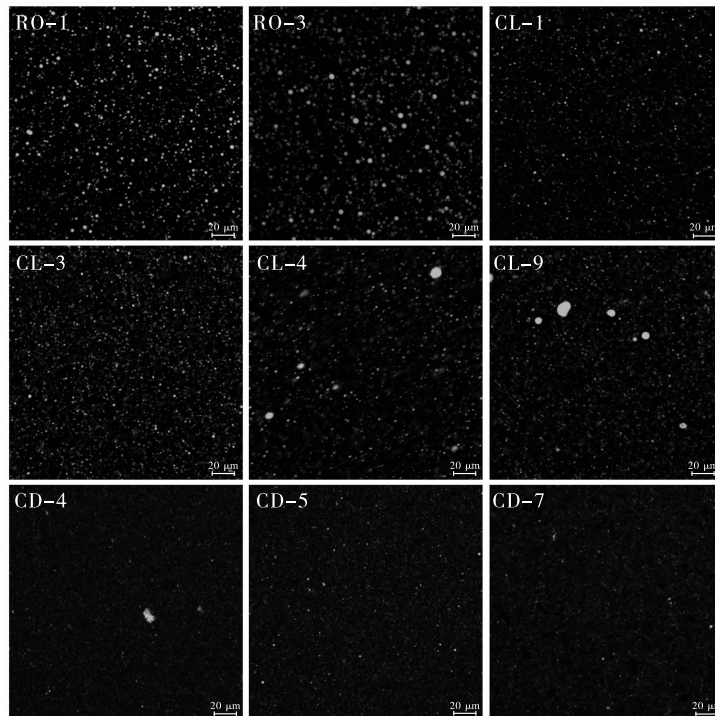


图3 部分搅打稀奶油乳液的微观结构

2.3 搅打稀奶油的打发性能

2.3.1 打发时间

在打发过程中,首先空气会进入稀奶油乳液形成大气泡,进而破碎成为小气泡,紧接着与脂肪球碰撞,并吸附于脂肪球上;待稀奶油中脂肪球通过部分聚结逐步形成稳定的网状结构,便实现了成功的打发^[14]。三大类搅打稀奶油的打发时间见表4。

由表4可见,常温型产品的打发时间为156.16~236.80 s,与大部分冷藏型产品(132.44~291.28 s)(CL-9除外)接近,整体显著长于冷冻型产品(89.91~158.52 s)。

表4 搅打稀奶油的打发参数

样品	打发时间/s	起泡率/%	泄漏率/%
RO-1	156.16 ± 10.16 ^{cd}	155.70 ± 1.30 ^e	0.06 ± 0.01 ^b
RO-2	180.13 ± 10.53 ^d	202.50 ± 4.50 ^g	0.00 ± 0.00 ^a
RO-3	236.80 ± 7.80 ^{ef}	178.85 ± 1.15 ^f	0.00 ± 0.00 ^a
CL-1	170.11 ± 3.11 ^d	137.50 ± 2.50 ^d	0.05 ± 0.00 ^b
CL-2	221.50 ± 5.50 ^{ef}	111.49 ± 1.01 ^b	0.09 ± 0.00 ^c
CL-3	210.18 ± 11.18 ^e	114.85 ± 1.35 ^{bc}	0.14 ± 0.01 ^d
CL-4	214.90 ± 4.90 ^e	118.35 ± 0.34 ^{bc}	0.00 ± 0.00 ^a
CL-5	291.28 ± 12.28 ^g	151.00 ± 1.00 ^e	0.26 ± 0.00 ^c
CL-6	139.76 ± 6.76 ^{bc}	124.85 ± 9.85 ^c	0.00 ± 0.00 ^a
CL-7	248.05 ± 11.05 ^f	92.30 ± 0.70 ^a	0.00 ± 0.00 ^a

续表 4

样品	打发时间/s	起泡率/%	泄漏率/%
CL-8	132.44 ± 7.44 ^{bc}	150.81 ± 2.01 ^e	0.33 ± 0.01 ^f
CL-9	79.49 ± 4.49 ^a	328.25 ± 0.25 ^k	0.00 ± 0.00 ^a
CD-1	133.43 ± 14.43 ^{bc}	240.39 ± 0.11 ^h	0.00 ± 0.00 ^a
CD-2	130.35 ± 3.35 ^{bc}	262.31 ± 2.31 ⁱ	0.00 ± 0.00 ^a
CD-3	125.81 ± 7.81 ^b	258.90 ± 1.40 ⁱ	0.00 ± 0.00 ^a
CD-4	118.37 ± 3.37 ^b	255.96 ± 0.76 ^j	0.00 ± 0.00 ^a
CD-5	158.52 ± 14.52 ^{cd}	272.97 ± 1.66 ^j	0.00 ± 0.00 ^a
CD-6	137.96 ± 2.96 ^{bc}	261.81 ± 2.91 ⁱ	0.00 ± 0.00 ^a
CD-7	89.91 ± 10.91 ^a	278.15 ± 3.15 ^j	0.00 ± 0.00 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.3.2 起泡率

起泡率指在打发过程中进入奶油中的空气含量,与搅打奶油的裱花特性密切相关^[15]。稀奶油通过打发由 O/W 型乳液转为 W/O 型体系。三大类稀奶油打发时的起泡率见表 4。

由表 4 可见,常温型产品打发后的起泡率为 155.70% ~ 202.50%,与大部分冷藏型产品的起

率 111.49% ~ 151.00% 接近 (CL-7 和 CL-9 除外),显著低于冷冻型产品的起泡率 240.39% ~ 278.15% (CL-9 除外)。冷冻型产品的油基主要是氢化棕榈仁油、棕榈仁油和椰子油,属中碳链油脂。由此推测,相比于黄油基常温型和冷藏型产品,以中碳链脂肪酸甘油酯为主的结晶可形成更高部分聚集程度的泡沫结构,提高冷冻型产品的起泡率。

2.3.3 泄漏率

泄漏率反映打发体系的稳定性,是其量化的表征^[16]。三大类稀奶油的泄漏率见表 4。

由表 4 可知,常温型和冷藏型产品在 25 °C 储放 2 h 后偶有泄漏,而冷冻型产品无泄漏问题,这也说明冷冻型产品打发后形成的充气结构更为牢固。

2.3.4 裱花性能

裱花性能可认为是搅打稀奶油打发体系的定性表征^[17]。根据 2.2.3 微观结构样品的选择依据,选取 9 种搅打稀奶油,考察其打发后的裱花性能,结果如图 4 所示。

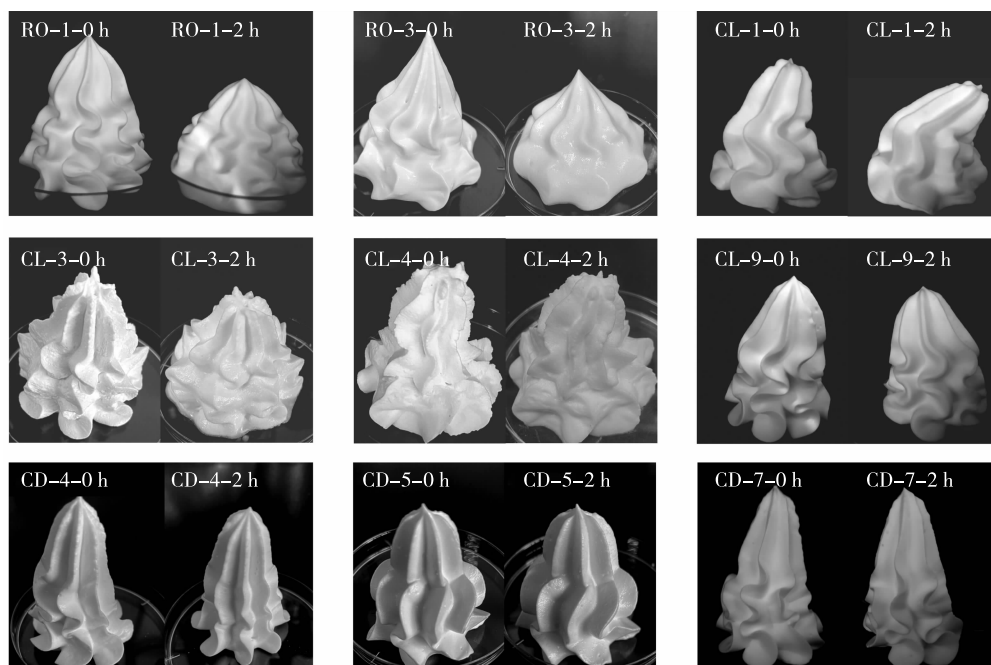


图 4 部分搅打稀奶油的裱花性能

由图 4 可见,在 20 °C 稳定 2 h 后,冷冻型产品的充气体系无明显变化 (CD-4、CD-5、CD-7),纹路清晰,而常温型 (RO-1、RO-3) 和冷藏型 (CL-1、CL-3、CL-4、CL-9) 产品均出现塌陷,部分裱花纹路模糊 (RO-1、RO-3)。

2.4 打发性能与脂肪酸组成的相关性分析

稀奶油油基脂肪酸组成与打发性能之间的相关性见表 5。

从表 5 可知:稀奶油的打发时间与 MCSFA 含量

呈显著负相关关系 ($P < 0.05$),与 LCSFA、MUFA 和 PUFA 的含量呈正显著相关关系 ($P < 0.05$);起泡率与 MCSFA 呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$),与 LCSFA、MUFA 和 PUFA 的含量呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$)。据皮尔逊相关性分析推测,相比于脂肪酸分布广泛的黄油基常温型和冷藏型稀奶油,以中碳链脂肪酸甘油酯为主的结晶较易形成更高部分聚集程度的泡沫结构,提高冷冻型产品的起泡率。

表5 稀奶油的打发性能与油基脂肪酸组成之间的皮尔逊相关系数

项目	MCSFA	LCSFA	MUFA	PUFA
打发时间	-5.600*	0.558*	0.559*	0.559*
起泡率	0.708**	-0.695**	-0.712**	-0.710**

注: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

3 结论

常温型和冷藏型搅打稀奶油均呈流动性较好且粒径分布均匀的乳液,但前者的乳液较不稳定,两者的打发性能接近,打发后的体系偶有泡沫泄露,裱花维持能力较弱。冷冻型搅打稀奶油乳液黏稠,无明显脂肪球结构,打发性能优于常温型和冷藏型产品,打发后的泡沫体系无泄漏,裱花纹理清晰。

参考文献:

- [1] ZHAO Q Z, KUANG W M, FANG M, et al. Frozen, chilled and spray dried emulsions for whipped cream: influence of emulsion preservation approaches on product functionality[J]. LWT - Food Sci Technol, 2015, 62(1):287-293.
- [2] PENG F S, HE S H, YI H X, et al. Physical, textural, and rheological properties of whipped cream affected by milk fat globule membrane protein[J]. Int J Food Prop, 2018, 21(1): 1190-1202.
- [3] FREDRICK E, HEYMAN B, MOENS K, et al. Monoacylglycerols in dairy recombined cream: II. The effect on partial coalescence and whipping properties[J]. Food Res Int, 2013, 51(2): 936-945.
- [4] WU S Z, WANG G, LU Z, et al. Effects of glycerol monostearate and Tween 80 on the physical properties and stability of recombined low-fat dairy cream[J]. Dairy Sci Technol, 2016, 96(3):377-390.
- [5] BIASUTTI M, VENIR E, MARCHESINI G, et al. Rheological properties of model dairy emulsions as affected by high pressure homogenization [J]. Innov Food Sci Emerg, 2010, 11(4): 580-586.
- [6] KOVACOVA R, STETINA J, CURDA L. Influence of processing and κ -carrageenan on properties of whipping cream[J]. J Food Eng, 2010, 99(4): 471-478.
- [7] LI Y, LI Y, YUAN D D, et al. The effect of caseins on the stability and whipping properties of recombined dairy creams [J/OL]. Int Dairy J, 2020, 105: 104658 [2021-07-20]. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104658>.
- [8] FOX P F, MCSWEENEY P L H. Advanced dairy chemistry: Volume 2 Lipids [M]. 3rd ed. New York: Springer, 2006.
- [9] FREDRICK E, MOENS K, HEYMAN B, et al. Monoacylglycerols in dairy recombined cream: I. The effect on milk fat crystallization[J]. Food Res Int, 2013, 51(2):892-898.
- [10] LIU P L, HUANG L H, LIU T X, et al. Whipping properties and stability of whipping cream: the impact of fatty acid composition and crystallization properties [J/OL]. Food Chem, 2021, 347: 128997 [2021-07-20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128997>.
- [11] LIU C H, ZHENG Z J, CAO C, et al. The partial coalescence behavior of oil-in-water emulsions: comparison between refrigerated and room temperature storage[J/OL]. Food Chem, 2019, 300(12):125219 [2021-07-20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125219>.
- [12] ZHAO Q Z, KUANG W M, LONG Z, et al. Effect of sorbitan monostearate on the physical characteristics and whipping properties of whipped cream[J]. Food Chem, 2013, 141(3):1834-1840.
- [13] ZENG D, CAI Y J, LIU T X, et al. Effect of sucrose ester s370 on interfacial layers and fat crystals network of whipped cream [J/OL]. Food Hydrocolloid, 2021, 113(1): 106541 [2021-07-20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106541>.
- [14] DHUNGANA P, TRUONG T, BANSAL N, et al. Effect of fat globule size and addition of surfactants on whippability of native and homogenised dairy creams [J/OL]. Int Dairy J, 2020, 105: 104671 [2021-07-20]. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104671>.
- [15] 袁佩佩, 王文琼, 周吉阳, 等. 复配蛋白质添加量对黄油基搅打稀奶油稳定性及搅打性能的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(12):161-165.
- [16] 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.
- [17] CAO Z Y, LIU Z L, ZHANG H J, et al. Protein particles ameliorate the mechanical properties of highly polyunsaturated oil-based whipped cream: a possible mode of action [J/OL]. Food Hydrocolloid, 2019, 99: 105350 [2021-07-20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105350>.