

3 种市售搅打奶油的流变特性比较研究

王良君, 赵强忠

(华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

摘要: 本文针对稳定性存在显著差异的 3 种市售搅打奶油, 对其进行了基本成分、感官评定、流变学特性和质构特性分析实验。静态流变测试表明: 搅打奶油呈现出假塑性与触变性; 动态流变学测试表明: 搅打呈现出凝胶特征。振荡温度扫描中复数模量 G^* 呈现减小的趋势; 而稳定性较差 1 号与 2 号样品温度扫描中有一个明显的临界温度 15 °C。在振荡时间扫描与频率扫描中, 3 号样品的弹性模量 G' 大于其他两个样品且相位角正切 $\tan\delta$ 最小, 其值小于 0.3, 故而表明 3 号样品的弹性成分比例最高。结合感官评定、稳定性实验和流变学分析可知, 弹性模量 G' 可以有效表征搅打奶油的稳定性; 搅打奶油的软硬程度可用触变环面积和屈服应力进行表征; 其油腻感和口感分别与 $|\Delta G'|$ 和相对恢复率有关; 贮藏的稳定性则与 J_e 和 λ 相关。

关键词: 搅打奶油; 感官分析; 流变特性; 凝胶特性

文章编号: 1673-9078(2016)12-234-240

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.12.036

Rheological Properties of Three Types of Commercially Available Whipped Cream

WANG Liang-jun, ZHAO Qiang-zhong

(School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Composition, organoleptic properties, rheology, and texture of three types of commercial whipped cream with significant differences in stability were analyzed. Static rheological tests showed that whipped cream was thixotropic and pseudoplastic, while dynamic rheological tests showed gel-like properties. The complex modulus (G^*) of the oscillating temperature sweep showed a decreasing trend, whereas the temperature sweep of the less stable first and second samples showed a clear critical temperature of 15 °C. In both oscillatory time sweep and oscillatory frequency sweep tests, the third sample, with the highest G' and lowest $\tan\delta$ (<0.3), had the highest elastic component fraction. Combined analysis of organoleptic evaluation and storage experiments with rheological analysis showed that G' can effectively characterize stability and thixotropic loop area and yield stress could characterize the hardness and softness of whipped cream. In addition, greasiness and mouthfeel were closely related to $|\Delta G'|$ and relative recovery rate, and storage stability was closely related to creep compliance J_e and retardation time λ .

Key words: whipped cream; organoleptic properties; rheological properties; gel-like properties

搅打奶油是一种含脂肪的泡沫食品, 主要应用于面包和蛋糕等烘焙食品, 作为其表面装饰、裱花料与夹心料等, 深受消费者喜爱。它主要由油脂(氢化植物油和稀奶油等)、蛋白质、乳化剂、亲水胶体和无机盐制成, 属于搅打充气乳状体系。乳浊液在未搅打前是典型的 O/W 型乳浊液, 经过搅打后转变成 W/O 型泡沫体系。

搅打奶油在国外是一种常见的传统乳制品, 拥有完整成熟的加工工艺, 而国内的搅打奶油产业起步较

收稿日期: 2015-10-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(31571883)

作者简介: 王良君(1992-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 乳浊体系稳定化

通讯作者: 赵强忠(1976-), 男, 教授, 博导, 研究方向: 食品生物技术、

乳浊体系稳定化

晚。搅打奶油自上世纪 90 年代进入我国市场以来生产总值逐年增长, 至今已经形成一定的产业规模。目前, 国内比较缺乏关于搅打奶油品质的相关研究作为国家标准的基础, 关于搅打奶油的食品标准只有 SB/T 10419-2007 植脂奶油一项; 与之相关的感官评价标准暂时空白, 只有一项关于原料奶油的感官质量评价的行业规范(RHB 401-2004)。因此, 建立适合搅打奶油品质评价的有效手段与方法是当前亟需解决的重要课题。

目前, 已有研究者对搅打奶油品质影响因素进行了研究, 主要是从搅打性能、感官品质、质构特性和亚微观性质等方面进行评价^[1-5], 其中感官评定依然是评价搅打奶油品质的主要手段, 但这种方法容易受到参评人的主观意志决定, 难以满足定量和精确的基本

要求。

流变学分析与感官评定最大的区别在于前者是以仪器为主体,是客观的评价方式,避免了人为因素对食品品质评价的主观影响。食品与流变学之间有着紧密且重要的联系,在350多种描述食品品质的术语中,约有1/4与食品的流变特性有关,例如硬度、柔软度、嫩度、脆度、咀嚼性和酥性等,通过流变特性的测定可以准确定量地把握食品品质变化。然而,从流变学特性角度构建评价搅打奶油品质的研究只有零星报道,缺乏基于流变学特性的搅打奶油品质评价的系统研究。适用于评价搅打奶油品质的流变学指标主要有表观粘度、屈服应力、触变性、蠕变行为和粘弹性等。本文主要从流变学角度出发,结合感官评定、贮藏实验和质构分析,以三种稳定性存在显著差异的搅打奶油为研究对象,探讨了搅打奶油的流变特性与其品质与稳定性之间的内在联系,以期为国内的搅打奶油品质评价体系建立与发展提供些许参考。

1 材料与方法

1.1 原料

选择10种具有鲜明特点的市售搅打奶油搅打至终点并进行测量,通过预实验动态时间扫描结果进行

聚类分析,选择了三种具有代表性的典型产品,对它们以1~3号标记,分别是:金钻为1号、清恬为2号和爱护为3号。三个样品生产厂家均为维益食品有限公司。使用前冷冻保藏(-18℃),作为实验原料备用。

1.2 仪器与设备

电热恒温鼓风干燥箱DH4-9090A,上海精宏实验设备有限公司;脂肪测定仪SZC-C,上海纤检仪器有限公司;质构分析仪TA-XT2i,英国SMS公司;高速搅拌机RW20,德国IKA公司;哈克旋转流变仪HAAKE MARS III,德国赛默飞世尔公司。

1.3 实验方法

1.3.1 基本成分测定

水分含量采用直接干燥法测量;粗蛋白含量采用微量凯氏定氮法测量;粗脂肪含量采用氯仿-甲醇法测定。

1.3.2 感官评定

感官评定由10名受过基本培训的评定人员进行(5男5女),具体评分项目如表1所示,所有样品皆是新鲜制备的样品;实验采用双盲法,1为最差,10为最好,即采用十分制对样品进行评定。

表1 搅打奶油的感官评定标准

Table 1 Standards for whipped cream organoleptic evaluation

项目	品质特征
入口即化感	口感顺滑的为好(最高10分),粘稠糊口的为差
油腻度	无油腻感为好(最高10分),有油腻感为差
挺立度	裱出的圆锥形不弯曲,直直挺立为好(最高10分),否则为差
细腻度	组织纹理细腻为好(最高10分),组织纹理粗糙为差

1.3.3 搅打奶油的稳定性测定

用专用裱花袋将搅打好的奶油裱花成圆锥形,置于20℃的室温条件下,间隔10min用刀片斜切,通过切面观察搅打奶油内部变粗的时间。

1.3.4 静态流变学测定

采用哈克旋转流变仪,测试温度均为 20 ± 0.5 ℃,选用P35 TiL型号转子(抛光型平板,直径为35mm),测试间距为1mm。

1.3.4.1 表观粘度的测定

表观粘度的测试模式为控制速率模式,剪切速率为 $0.1\sim 10$ s⁻¹,测试时长为300s,以线性取点的方式采集数据,采集数据60。

1.3.4.2 触变性的测定

目前关于触变性测定的常用方法主要有两种,一种是触变环模式(流动曲线模式),主要利用触变环面

积来表征流体的触变性大小;另一种是三段测量模式(动态振荡+稳态剪切+动态振荡),亦成为时间曲线模式,主要用于衡量流体在结构破坏后的恢复速率。而测定恢复速率比测定破坏速率和破坏量具有更重要的技术意义,因为早期的回复速率对于搅打奶油样品的垂挂和流平等过程起着关键性作用。本实验同时采用了以上两种方式。

触变环模式:测试模式为控制速率模式,分为三个阶段:(1)剪切速率为 $0.1\sim 200$ s⁻¹,测试时长200s;(2)剪切速率保持在 200 s⁻¹,测试时长为60s;(3)剪切速率为 $200\sim 0.1$ s⁻¹,测试时长为200s。每阶段均以线性取点方式采集数据,采集数为60。

三段测量模式:测试分为三个阶段:(1)测试模式为振荡时间扫描模式,扫描频率为1Hz,控制应力为10Pa,测试时长为60s,以对数取点方式采集数据,

采集数为 20; (2) 测试模式为旋转剪切时间扫描模式, 剪切速率保持在 100 s^{-1} , 时长为 100 s, 以线性取点方式采集数据, 采集数为 40; (3) 测试模式为振荡时间扫描模式, 扫描频率为 1 Hz, 控制应力为 10 Pa, 测试时长为 300 s, 以对数取点方式采集数据, 采集数为 20。

1.3.4.3 蠕变-回复实验

测试分为蠕变和回复两个阶段。(1) 蠕变: 施加恒定的剪切应力 30 Pa, 测定其形变随时间的变化, 测试时长为 200 s, 采集数为 30; (2) 回复: 瞬间撤去施加的剪切应力, 测定其形变随时间的变化, 测试时长为 420 s。描述蠕变回复行为常用指标参数如下:

$$\text{蠕变柔量: } J_e = \frac{\gamma_e}{\tau}$$

$$\text{回复率: } \phi = \frac{\gamma_r}{\gamma_{\max}} \times 100\%$$

其中, τ 是施加的恒定剪切应力; γ_e 是平衡形变, 指在恒定剪切应力下作用蠕变过程中达到的平衡状态 (即形变的斜率不再发生变化) 时的弹性形变, 可以反映内部结构的强度; J_e 是弹性模量的倒数, 与样品的柔性相关; γ_r 代表了回复阶段中可以恢复的形变; γ_{\max} 表示蠕变过程中的最大形变; 推迟时间 λ 指形变达到最大形变的 $(1-1/e)$ 所需要的时间, 与样品的松弛有关。

1.3.5 动态流变性质测定

1.3.5.1 动态屈服应力的测定

测试模式为振荡应力扫描模式, 扫描频率为 1 Hz, 施加幅度逐渐增加的正弦波应力, 应力范围为 10~300 Pa。以对数取点方式采集数据, 采集数为 20。

1.3.5.2 动态扫描测定

线性粘弹区是指施加的应力能产生成比例的应变: 应力增大一倍, 应变增大一倍。只有在线性粘弹区的测量才可以获得物质的特性常数, 因此必须首先确定线性粘弹区, 以选择合适的应力。实验设定频率在 1 Hz 进行应力扫描, 可得到复数模量 G^* 和所施加应力的图谱, 线性粘弹区可限定在复数模量 G^* 恒定的应力区域内, 测得线性粘弹区范围为 0~1.0 Pa。

温度扫描: 采用控制应力模式, 设定应力值为 $\tau=0.8 \text{ Pa}$, 控制温度在 4~25 °C 内变化, 以 1 °C/min 升温, 以线性取点方式方式采集数据, 采集数为 100。

频率扫描: 采用控制应力模式, 设定应力值为 $\tau=0.8 \text{ Pa}$, 控制温度恒定在 $20 \pm 0.1 \text{ °C}$, 施加频率逐渐增加的恒定正弦波应力, 扫描频率为 10~0.1 Hz。以对数取点方式采集数据, 每隔一个数量级的频率取点数为 6。

时间扫描: 采用控制应力模式, 设定应力值为

$\tau=0.8 \text{ Pa}$, 控制扫描频率为 1 Hz 和温度恒定在 $20 \pm 0.1 \text{ °C}$, 测试时长为 30 min, 以对数取点方式采集数据, 采集数为 30。

1.3.6 质构特性的测定

采用 TA-XT 2i 质构分析仪, 测试模式为测定压缩模式, 选择 A/BE 35 探头。测试距离为 25 mm, 触发力为 Auto-20 g, 数据获取速度为每秒 200 个。测试前、测试中以及测试后的探头速度分别为 2.0 mm/s、1.0 mm/s 和 2.0 mm/s。通过测定压力随着时间变化的曲线可得到样品的硬度、稠度、粘结性和粘性指数等数据。

1.3.7 数据统计分析

数据以平均值±标准差表示。利用 SPSS 软件 21.0 作单因素方差分析、Duncan 氏多重比较和相关性分析, 对于所有的流变测量数据均采用软件 Rheowin Date Manager 4.30 进行分析处理, 利用 Excel 进行作图。

2 结果与讨论

2.1 基本成分

由表 2 可知, 蛋白含量 1 号最高, 2 号与 3 号并无显著性差异; 脂肪含量则相反, 3 号的脂肪含量最高, 高达 25.5%, 而 1 号与 2 号并无显著性差异; 碳水化合物三者差异性显著, 含量从高到低依次是: 1 号>2 号>3 号; 三者的水分含量差异并不显著, 其中 2 号样品的水分含量最高 (53.51%), 3 号水分含量最低 (51.05%)。

表 2 基本化学成分

样品名称	含量/%			
	蛋白质	脂肪	碳水化合物	水分
1	5.46±0.14 ^a	20.5±0.11 ^a	23.0±0.04 ^a	52.18±0.03 ^a
2	3.56±0.12 ^b	20.2±0.15 ^a	18.1±0.09 ^b	53.51±0.07 ^a
3	3.79±0.09 ^b	25.5±0.21 ^b	19.2±0.07 ^c	51.05±0.09 ^a

注: 同列小写字母不同表示差异显著 ($p<0.05$)。下同

2.2 感官评价以及稳定性

搅打奶油和稳定性如表 3 所示。三种搅打奶油的感官指标和稳定时间存在着显著性差异, 其中挺立度和稳定时间的变化趋势一致, 从大到下依次是: 3 号>2 号>1 号, 这是由于搅打奶油特殊的三维网络结构强度与界面蛋白的浓度和脂肪聚结程度紧密相关。3 号样品的稳定性能好是因为其高脂肪含量导致的较高脂肪聚结率; 而表 2 得之 3 号样品的蛋白含量却并非最高,

这可能与蛋白和脂肪的比例以及其他乳化剂种类和含量有关,适当的比例才能形成强度高、外膜包裹稳定泡沫结构。而2号与3号样品的脂肪含量无差异,但稳定性却存在显著性差异,表明在脂肪含量基本相同的情况下,适当提高蛋白的含量有助于增强搅打奶油的稳定性。入口即化感与油腻感的变化趋势则相反,从大到小的顺序依次是:1号>2号>3号,脂肪含量高的样品一般其油腻感也较高,这与文献报道的搅打奶油的热稳定性与其口感呈负相关相符合。

表3 搅打奶油的感官评价和稳定性

Table 3 Organoleptic properties and stability of whipped cream samples

样品号	入口即化感	油腻感	挺立度	稳定时间/min
1	8.54±0.89 ^a	8.27±0.76 ^a	7.34±0.41 ^a	95.71±5.50 ^c
2	7.89±0.71 ^b	7.68±0.67 ^b	8.17±0.24 ^b	120.15±8.58 ^b
3	7.01±0.74 ^c	7.41±0.90 ^b	9.04±0.40 ^c	165.18±10.75 ^a

2.3 搅打奶油的表观粘度的变化

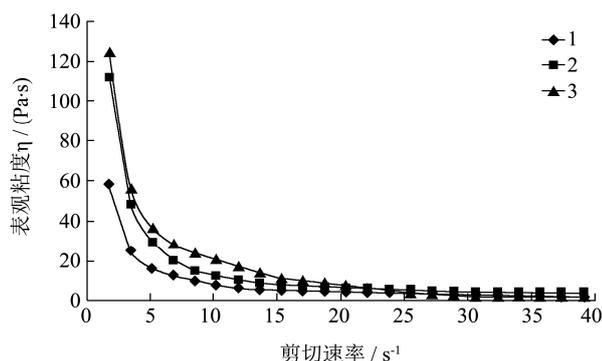


图1 搅打奶油表观粘度的变化

Fig.1 Changes in apparent viscosity of whipped cream

搅打后表观粘度变化曲线如图1所示,随着剪切速率的增加,所有样品的表观粘度均呈现下降的趋势和剪切变稀的特性,剪切变稀的原因在于:分子布朗运动所产生的随机化作用小于了分子间顺着流动方向的取向或排列作用,或者是聚合物原来缠绕的链状分子结构被拉直、取向及解缠绕,从而降低了粘度^[6]。当剪切速率大于40 s⁻¹时,表观粘度趋于定值(故而部分数据未在图中显示)。在剪切速率小于20 s⁻¹时,

表4 搅打奶油的屈服应力及触变性

Table 4 Yield stress and thixotropy of whipped cream

样品序号	屈服应力	触变性		
		触变环面积/(Pa·s)	\Delta G' /Pa	相对恢复率/%
1	72.59±7.21 ^a	11073.33±1091.87 ^b	2852.51±75.11 ^c	35.89±3.45 ^a
2	87.51±6.18 ^b	6794.67±463.21 ^c	5553.79±43.17 ^a	17.48±2.38 ^c
3	121.85±9.35 ^c	3808.11±262.68 ^a	11137.34±99.51 ^b	6.99±0.76 ^b

相同的剪切速率下,表观粘度按照从大到小的排列顺序为:3号>2号>1号;而当剪切速率继续增大时,3号样品的表观粘度突降且低于1号和2号样品。这表明热稳定性好的样品,其稳定性是相对的,当剪切速率超过一定范围,而且可以破坏内部的分子结构时,粘度便会突降。结合表2可知,3号样品的碳水化合物的含量并非最高,这表明搅打奶油样品的表观粘度的影响因素除了碳水化合物的含量,还与脂肪含量和蛋白含量有关。

2.4 屈服应力与触变性

搅打至终点的市售搅打奶油的屈服应力以及触变性如表4所示。屈服应力以及|\Delta G'|的变化趋势一致,按照从大到小的顺序依次是:3号>2号>1号,这可能是因为搅打奶油属于泡沫体系,其结构的强弱主要脂肪聚结率的高低以及蛋白所形成的膜的强弱,由基本成分表可知,3号的脂肪含量最高导致了其屈服应力最高;而相对恢复率和触变环面积的变化趋势与前两者相反,按照从大到小的排列顺序为:1号>2号>3号,这是由于泡沫结构强度大的样品内部的脂肪已经高度聚结,剪切作用的破坏是其恢复变得更加困难。结合表3的感官评价结果,可知搅打奶油的稳定性和触变环面积和屈服应力呈现显著性相关^[7]。其触变环面积较小,表明此裱花体系被挤压成型后,能立即恢复成固态,说明其具有良好的成型特性。同时,其触变环也不能完全没有,否则口感很差;屈服应力反映了使得样品流动所需要的最小应力,只有当剪切应力超过屈服应力才会发生流动出现变形、水析出现象。故而一般热稳定性良好的产品其屈服应力值较大,利于裱花后的产品保形。

口感较硬实的搅打奶油其屈服应力较高,口感较为柔软的样品其屈服应力较低。而口感粘稠糊口的搅打奶油其相对恢复率越小,口感顺滑的样品其相对恢复率较大。油腻感是搅打奶油自身的粘稠度决定的,油腻感较厚重的搅打奶油其|\Delta G'|相应搅打,相反地,油腻感较轻微的样品其屈服应力和|\Delta G'|相应较小。

2.5 蠕变-回复

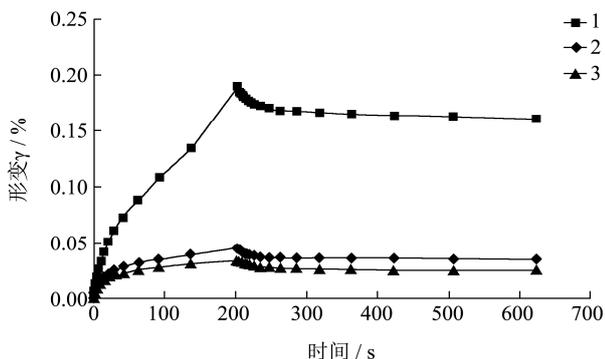


图2 搅打奶油的蠕变-回复行为的变化

Fig.2 Change in creep recovery behaviors of whipped cream

搅打奶油的蠕变-回复行为的变化如图2所示。蠕变-回复测量是确定样品粘弹性行为的静态实验方法，可以区分被测样品的粘弹性响应，它是以非破坏性手段测定粘弹性物质的粘性部分和弹性部分，它与动态振荡实验互为补充^[8]。蠕变-回复测量可用于模拟搅打奶油以重力为动力的低剪切速率过程如垂挂与塌落等过程。蠕变阶段考察样品对恒定加载的应力产生相应的形变，而回复阶段则是考察样品在撤去加载应力后的形变变化。由图可知，在蠕变阶段，形变程度按照从大到小的顺序排列为：1号>2号>3号，表明3号样品的内部结构较强或者较为僵硬，其保形行最好，品质稳定。选择 Burgers 四元模型对蠕变曲线拟合，得出具体参数如表5所示：

表5 搅打奶油的蠕变-回复行为参数

Table 5 Parameters of creep-recovery behaviors of whipped cream

样品	平衡形变 $\gamma_e \times 10^{-2}$	$J_e \times 10^{-3} \text{Pa}^{-1}$	延迟时间 λ/s	回复率 $\phi/\%$
1	4.28	1.43	58.93	15.34
2	2.62	8.72	265.45	24.08
3	2.15	7.16	297.38	27.72

由表5可知，平衡形变与蠕变柔量的变化趋势一致；而延迟时间与回复率的变化趋势一致。 γ_e 与 J_e 可以反映内部结构的强弱，样品的平衡形变越小或蠕变柔量越小，反映样品内部的结构较强；而平衡形变或蠕变柔量越大，则内部的结构较弱。回复率按照从大到小的顺序排列为：3号>2号>1号，表明3号样品的弹性成分最高，1号样品的粘性成分最高。一般弹性成分越大，搅打奶油的蠕变时的延迟时间越长，其保形性越高。这与后文的动态振荡实验结果相一致。一般搅打奶油的平衡形变与脂肪聚结率紧密相关，脂肪聚结率高的样品说明其内部的三维网络结构良好，抵

抗形变的能力越大；故而表明3号样品的脂肪聚结率高于其他两个样品。

2.6 时间扫描

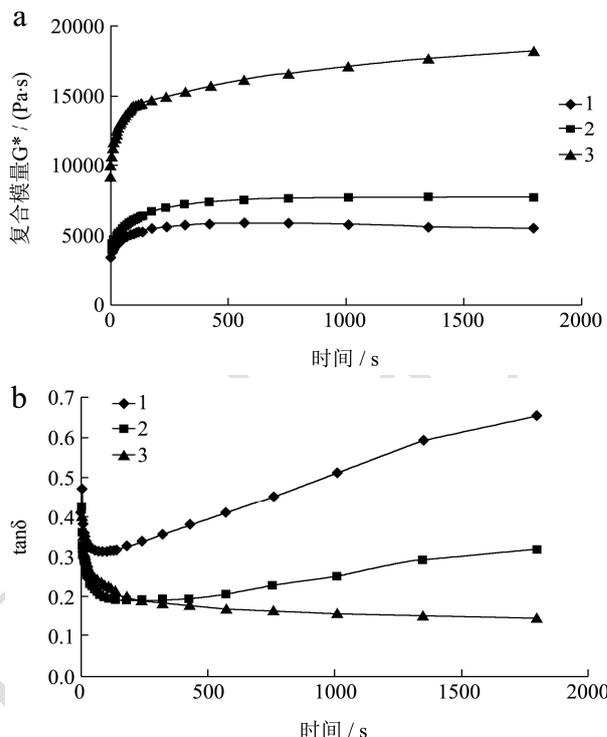


图3 搅打奶油的振荡时间扫描结果

Fig.3 Results of oscillation time sweep of whipped cream

通过动态时间扫描可以反映搅打奶油在时间尺度下的性能变化，从而表征样品的稳定性能。复数量 G^* 与弹性模量 G' 和粘性模量 G'' 的关系如下：

$$G^* = \sqrt{G'^2 + G''^2} = \frac{G'}{\cos \delta} = \frac{G''}{\sin \delta}$$

G^* 可以表征样品反抗施加应变的总阻力，同时反映了样品弹性和粘性组分对其刚性的贡献。弹性模量 G' 反映了材料贮存能量的能力，粘性模量 G'' 模量反映了材料释放能量的能力，相位角正切 $\tan\delta$ 定义为粘性模量和弹性模量的比值，直接表征了材料的粘弹特性。由图3a可知，样品的随复合模量在前200s内逐渐增长，随后基本保持不变；三者的复合模量按照从大到小的排列顺序为：3号>2号>1号，最终的大小还是取决于搅打后泡沫结构的强弱程度，3号样品复数量 G^* 也佐证了3号样品的泡沫结构比较稳固，其脂肪聚结程度和界面蛋白含量较高。这是由于随着贮存时间的延长，导致内部的泡沫结构变粗糙，导致体系的模量上升。

由图3b可知，三者样品的 $\tan\delta$ 的值均小于1，表明三个样品中的弹性模量 G' 大于粘性模量 G'' ，表现出凝胶特征^[9,10]。1号与2号样品随着时间的延长， $\tan\delta$

逐渐增长,但增加幅度1号明显大于2号样品;而3号样品则相反,随着时间的延长 $\tan\delta$ 逐渐减小至0.1,凝胶特性越来越明显,这是由于2号和1号样品在贮藏过程中内部气体的溢出或破裂造成的结构强度变弱,3号样品由于稳定性高其内部的气泡稳定基本没有气体的溢出或小气泡的聚结。综上可知,三个样品的凝胶特性强弱从大到小依次是:3号>2号>1号,这与静态流变学的触变性和动态测量的屈服应力变化规律以及稳定性时间规律相一致。

2.7 频率扫描

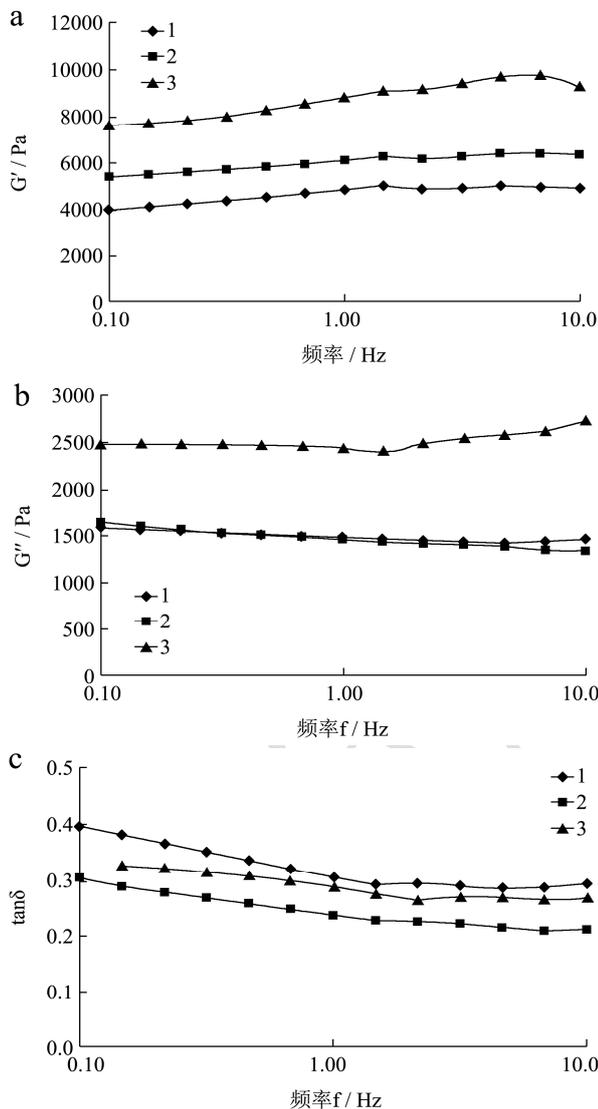


图4 搅打奶油的振荡频率扫描结果

Fig.4 Results of oscillation frequency sweep of whipped cream

频率扫描研究了搅打奶油逐渐加载荷的粘弹性响应,同时也可以间接地模拟人类的咀嚼反映食品的口感,三种样品的动态振荡频率扫描结果如果所示如图4所示。由图4可知,在整个频率范围内,搅打奶油的弹性模量 G' 和粘性模量 G'' 基本不随频率的变化而改

变,而且相位角正切 $\tan\delta$ 始终小于0.5,即弹性模量 G' 大于粘性模量 G'' ,呈现出凝胶特征,表明搅打奶油的稳定性可以用弹性模量 G' 的大小进行表征。由图4a可知,在相同的频率下, G' 的大小顺序为:3号>2号>1号,和时间扫描的结果一致,两种测试下的弹性模量有显著性相关 ($p<0.05$)。这与样品的脂肪含量呈现出显著性正相关 ($p<0.05$),这是由于脂肪含量越高,所形成的泡沫结构中的脂肪聚结率较大,材料在遭受形变后,能量恢复能力越强,从而有较高的弹性模量^[11]。

利用 SPSS 21.0 分析可知,样品的口感与样品咀嚼过程中的粘弹性比例并无相关性,而与搅打奶油自身的弹性模量 G' 和粘性模量 G'' 的大小有显著性的相关 ($p<0.05$),一般需要弹性模量 G' 和粘性模量 G'' 的值不能太大,故而要想提高稳定性好的产品口感需要在保证自身的粘弹性比例不变的条件下,适当降低弹性模量 G' 和粘性模量 G'' 的大小^[12]。

2.8 温度扫描

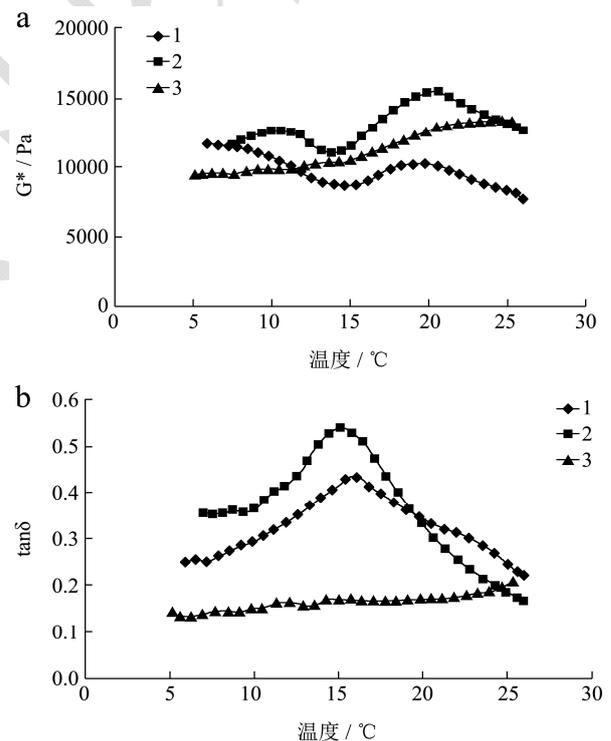


图5 搅打奶油的温度扫描

Fig.5 Temperature sweep of whipped cream

由图5可知,2号与3号稳定性较好的样品随着温度的升高,相位角正切 $\tan\delta$ 始终小于0.6,说明弹性模量 G' 大于粘性模量 G'' ,呈现出凝胶特征;但随着温度变化,3号样品的复数模量 G^* 与其他两个样品不同,表现为逐渐上升的趋势,从而使得抗性变的能力变得更强,表明温度的升高变化,气泡的破裂的速

度小于新气泡的形成速度,从而获得了更强的抗性变能力;2号样品存在一个明显的临界温度 15 °C,在 5~15 °C 范围内,随着温度的升高,复数模量 G^* 略有下降,而在 15~25 °C 范围内复数模量 G^* 则呈现出随着温度升高而增加的趋势,这表明 2 号样品的贮藏温度不宜超过 15 °C,因为超过 15 °C 其内部的泡沫结构已经破坏而且组织变得粗糙从而影响到最终感官评价的口感。而稳定性最差的 1 号样品与 2 号样品一样也存在一个临界温度 15 °C,但总体还是表现为下降

的趋势,这表明 1 号样品对温度相当敏感,随着温度的升高反而促使其内部的气泡的破裂和小气泡聚结成为大气泡,从而使得内部的泡沫结构变得脆弱。复数模量 G^* 基本不随温度改变的搅打奶油可以保持较好的品质,不会因为温度的变化而影响最终的口感与感官评定的结果。

2.9 搅打奶油的质构特性

表 6 搅打奶油的质构特性

Table 6 Textural properties of whipped cream

样品编号	硬度/g	稠度/(g·s)	粘结性/g	粘性指数/(g·s)
1 号	330.10±3.81 ^a	3827.57±38.54 ^a	-211.16±11.87 ^a	-2417.41±58.11 ^a
2 号	379.43±1.45 ^b	4353.83±45.66 ^b	-278.63±12.50 ^b	-2665.08±43.82 ^b
3 号	494.74±3.23 ^c	5506.45±57.57 ^c	-370.08±14.64 ^c	-3748.82±67.16 ^c

质构特性是评价搅打奶油品质的重要指标,搅打奶油的只够特性变化如表 6 所示。三个样品的硬度、稠度、粘结性和粘性指数均按照 1 号<2 号<3 号的顺序显著增加,搅打奶油的硬度、稠度、粘结性和粘性指数与其内部的脂肪聚结率和界面蛋白浓度有关。这与流变学的测量结果相一致,流变学测量中的弹性模量、屈服应力的变化趋势与质构特性的测量结果存在显著性相关 ($p<0.05$)。

3 结论

本文以 3 种市售搅打奶油产品为研究对象,测定其基本成分与流变特性,并结合感官实验和贮藏实验,探讨了搅打奶油的流变特性与其感官品质和稳定性之间的内在联系,得到以下结论:

3.1 3 种搅打奶油样品呈现出触变性、假塑性和凝胶特性,其稳定性按照从大到小的顺序排列为 3 号>2 号>1 号。

3.2 搅打奶油的油膩感与口感分别与 $|\Delta G|$ 和相对恢复率相关,油膩感轻微的样品其 $|\Delta G|$ 相应较小;口感顺滑的样品其相对恢复率较大。

3.3 稳定性高的 3 号搅打奶油在振荡时间扫描、频率扫描和温度扫描中都表现出很高的弹性模量 G' ,而且三种情况下的弹性模量 G' 存在显著性相关 ($p<0.05$),故而可以利用弹性模量 G' 表征搅打奶油的稳定性;稳定性较差的 1 号与 2 号样品的温度扫描表明存在一个临界温度 15 °C,表明稳定性差的样品其贮藏温度不宜超过 15 °C。结合感官评定、质构特性分析和贮藏实验分析可知,触变环面积与屈服应力 τ_0 一样,可以定量表征搅打奶油的软硬程度;其贮藏的稳定性可通过蠕变-回复实验中的蠕变柔量 J_e 和延迟时间 λ

进行表征。

参考文献

- [1] Allen K E, Dickinson E, Murray B. Acidified sodium caseinate emulsion foams containing liquid fat: A comparison with whipped cream [J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, 39(3): 225-234
- [2] Kirsty E Allen, Brent S Murray, Eric Dickinson. Development of a model whipped cream: Effects of emulsion droplet liquid/solid character and added hydrocolloid [J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22: 690-699
- [3] K Ihara, K Habara, Y Ozaki. Influence of whipping temperature on the whipping properties and rheological characteristics of whipped cream [J]. Journal of Dairy Science, 2010 93(7): 2887-2895
- [4] Wang C, He X, Huang Q. Physicochemical properties and application of micronized cornstarch in low fat cream [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(4):881-888
- [5] Jakubczyk E, Niranjana K. Transient development of whipped cream properties [J]. Journal of Food Engineering. 2006, 77(1): 79-83
- [6] Schramm G. 实用流变测量学[M].北京:石油工业出版社, 2009
Schramm G. A Practical approach to rheology and rheometry [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009
- [7] Mewis J, Wagner N J. Thixotropic [J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2009, 147-148: 214-227
- [8] Sozer N. Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(3): 849-855

- [9] Zhao Q, Kuang W, Fang M, Effect of sorbitan monostearate on the physical characteristics and whipping properties of whipped cream [J]. Food Chemistry, 2013, 141: 1834-1840
- [10] Zhao Q, Kuang W, Fang M, et al. Frozen, chilled and spray dried emulsions for whipped cream: Influence of emulsion preservation approaches on product functionality [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(1): 287-293
- [11] 赵强忠. 搅打稀奶油的搅打性能和品质的变化规律及其机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2006
- ZHAO Qiang-zhong. Change and mechanism of whipping properties and qualities of whipped cream. [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2006
- [12] Zhao Long, Qiang-zhong Zhao, Tong-xun Liu. Influence of xanthan gum on physical characteristics of sodium caseinate solutions and emulsions [J]. LWT-Food Hydrocolloids, 2013, 32(1): 123-129