

10种市售搅打奶油稳定性的多元分析

王良君, 赵强忠

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640)

摘要: 为了探明如何利用流变学特性指标对搅打奶油稳定性进行准确、快速的判断分析, 本文通过相关性分析选取了 8 个与稳定性显著相关 ($p < 0.05$) 的流变学特性指标针对 10 种稳定性存在显著差异的市售搅打奶油进行了因子分析(FA)和聚类分析(CA)。因子分析表明: 存在三个主因子“主要稳定因子”、“触变环因子”和“平衡形变因子”; 由载荷分析可知时间扫描 G' 、触变环面积 S 和平衡形变 r 是影响搅打奶油稳定性的关键流变学指标; 总因子得分表达式为 $TFS = f_1 \times 0.38476 + f_2 \times 0.25671 + f_3 \times 0.22858$, 总因子得分排名可以反映出不同搅打奶油稳定性之间的差异。聚类分析表明: 10 种搅打奶油可以分成 3 类, 第一类聚集了 7 个搅打奶油样品, 即 5 号、6 号、1 号、10 号、8 号、9 号和 2 号; 第二类聚集了 2 个搅打奶油样品, 即 3 号和 4 号搅打奶油样品; 7 号搅打奶油自成一类。

关键词: 搅打奶油; 稳定性; 流变特性; 因子分析(FA); 聚类分析(CA)

文章编号: 1673-9078(2016)8-302-308

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.8.046

Multivariate Statistical Analysis of the Stability of Ten Commercially Available Whipped Creams

WANG Liang-jun, ZHAO Qiang-zhong

(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: To study how to use rheological properties to quickly and accurately determine the stability of whipped cream, eight rheological parameters that were significantly correlated to stability ($P < 0.05$) were selected by the correlation analysis in this paper, to conduct factor analysis (FA) and cluster analysis (CA) on ten commercially available whipped creams with significant differences in stability. The FA results showed that there were three main factors in stability: "main stability factor", "thixotropic loop factor", and "strain equilibrium factors". The loading analysis suggested that time scanning G' , the area of thixotropic loop S , and the strain equilibrium r were the key rheological indicators affecting whipped cream stability. In addition, the total factor score (TFS) expression was $TFS = f_1 \times 0.38476 + f_2 \times 0.25671 + f_3 \times 0.22858$. The TFS ranking reflected differences in the stability of whipped cream. The CA results showed that the ten whipped creams examined could be classified into three clusters. The first kind included seven samples: samples 5, 6, 1, 8, 9, 10, and 2. Samples 3 and 4 were classified into the second cluster and sample 7 was classified into another cluster.

Key words: whipped cream; stability; rheological properties; factor analysis; cluster analysis

搅打奶油是一种含脂肪的泡沫食品, 它主要由油脂(氢化植物油、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。然而, 国内的搅打奶油生产企业专业化程度不高, 自主研发创新实力有待加强, 成为制约行业发展的瓶颈。目前, 我国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

收稿日期: 2015-10-23

基金项目: 国家自然科学基金(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

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^[1]。

1990 年时婴等^[2]研究了人造奶油的流变性(表观黏度、触变性和屈服应力)、固体脂肪含量和涂抹性三者之间的关系, 发现触变性越大, 其涂抹性越好; 而静态屈服值与固体脂肪含量呈线性关系, 说明固态脂肪含量是影响屈服值的重要因素。姚怀芝等^[3]则在此基础上提出将弹性模量、黏性模量两个黏弹性参数作为评价搅打奶油品质的指标之一。Allen 等^[4-6]比较了酸性酪蛋白酸钠乳浊液经搅打充气后形成的泡沫与搅打奶油在微观结构、搅打性能及流变特性等的差异, 结果表明两者在断裂应变、弹性模量等参数上均有显著性差异。邝婉涓等^[7,8]研究了搅打过程对其流变特性

与稳定性的影响,结果表明其表观黏度、屈服应力、黏弹性(G' 、 G'')与质构特性均随着搅打进行而增大;其触变性随着搅打进行而增大(触变环面积 S 和 $\Delta G'$ 增大);蠕变测试中,平衡形变随着搅打逐渐减小,而延迟时间先增大后减小。于甜^[9]研究了以蛋黄酱、果酱为代表的软质液态类食品的流变特性,分别确定了其黏度、屈服应力、流动活化能、相位角和复数模量等流变特征参数。

但运用流变学分析方法对搅打奶油的进行品质评价的系统方法至今尚未形成。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。为了探明如何利用流变学特性指标对搅打奶油稳定性进行准确、快速的判断分析,本文通过相关性分析选取了8个与稳定性显著相关($p < 0.05$)的流变学特性指标针对10种稳定性存在显著差异的市售搅打奶油进行了因子分析(FA)和聚类分析(CA)。通过因子分析寻找到对这10种搅打奶油稳定性有最高因子载荷的流变学指标,用来表征搅打奶油稳定性能;并通过线性回归拟合求出可以用来判断搅打奶油稳定性能的总因子得分公式,以期做到对搅打奶油稳定性的快速、定量地判断分析。

1 材料与方法

1.1 原料

选择10种稳定性能存在显著性差异的市售搅打奶油,对其分别以序号1~10标记(高脂肪含量 $>20\%$:2号、3号、6号、7号和9号;低脂肪含量 $<20\%$:1号、4号、5号、8号和10号)。使用前冷冻保藏($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$),作为实验原料备用。

1.2 仪器与设备

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 搅打奶油的稳定性测定^[10]

用专用裱花袋将搅打好的奶油裱花成圆锥形,放在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的室温条件下,观察搅打奶油内部变粗的时间。

1.3.2 表观黏度的测定

采用哈克旋转流变仪,测试温度均为 $20 \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,选用P35 TiL型号转子(抛光型平板,直径为 35 mm),测试间距为 1 mm 。表观黏度的测试模式为控制速率模式,剪切速率为 $0.1\sim 10\text{ s}^{-1}$,测试时长为 300 s ,以

线性取点的方式采集数据,采集数据60。

1.3.3 流动活化能的测定

在 $4\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内,测定样品的黏度在剪切速率 10 s^{-1} 下随温度的变化情况。根据贮藏过程以及消费过程中温度的差异,实验选用的温度范围为 $4\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。搅打奶油的黏温曲线可以采用Arrhenius流动方程拟合:

$$\eta = K \exp(E / RT)$$

其中 K 为材料常数, $K = \eta_0$ (当 $T = \infty / ^{\circ}\text{C}$),而 R 为摩尔气体常数,大小为 $8.314\text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$, T 为开尔文温度(K)。流动活化能 E 是描述材料黏度-温度依赖性的物理量。既反映着材料流动的难易程度,更重要的是反映了材料黏度变化的温度敏感性。

1.3.4 屈服应力的测定

测试模式为振荡应力扫描模式^[11,12],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 $10\sim 100\text{ Pa}$ 。以对数取点方式采集数据,采集数为20。

1.3.5 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),亦称为时间曲线模式,主要用于衡量流体在结构破坏后的恢复速率。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 $0.1\sim 200\text{ s}^{-1}$,测试时长 200 s ;(2)剪切速率保持在 200 s^{-1} ,测试时长为 60 s ;(3)剪切速率为 $200\sim 0.1\text{ s}^{-1}$,测试时长为 200 s 。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 1 Hz ,控制应力为 10 Pa ,测试时长为 60 s ,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。

1.3.6 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:

$$J_e = \frac{\gamma}{\tau}$$

其中, τ 是施加的恒定剪切应力; γ 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。

1.3.7 动态流变性质测定

线性黏弹区是指复合模量 G^* 随振荡应变的变化而恒定的振荡应变区。在进行动态流变试验测定时, 需要在线性黏弹区域内。

温度扫描: 以 $1\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 升温, 控制在线性黏弹区范围内, 对其进行 $4\sim 25\text{ }^\circ\text{C}$ 的温度扫描, 以线性取点方式采集数据, 采集数为 100。

频率扫描: 在线性黏弹区内, 施加频率逐渐增加的恒定正弦波应力, 扫描频率为 $0.1\sim 10\text{ Hz}$ 。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: 在线性黏弹区内, 控制扫描频率为 1 Hz , 测试时长为 30 min , 以对数取点方式采集数据, 采集数为 30。

1.3.8 数据统计分析

对于所有的流变测量数据均采用软件 Rheowin Date Maneger 4.30 进行分析处理, 利用 SPSS 21.0 进行了相关性分析、因子分析和个案的聚类分析, 利用 Excel 进行作图。

2 结果与讨论

2.1 流变试验条件的确定

在线性范围内, 黏弹性质有一些共同的特征。线性黏弹区是指复合模量 G^* 不随振荡应力或应变发生变化的区域。对 10 种市售搅打奶油进行测试模式为振

荡应力扫描, 施加幅度逐渐增加的正弦波应力, 应力范围为 $10\sim 300\text{ Pa}$, 得到其复合模量 G^* 随着应力变化的规律如图 1 所示。由图 1 可知, 在振荡应力为 $10\sim 25\text{ Pa}$ 的范围内, 所有样品的复合模量 G^* 与其呈线性关系。因此, 试验选择 20 Pa 的振荡应力作为测定搅打奶油动态流变性质和蠕变性质的条件。

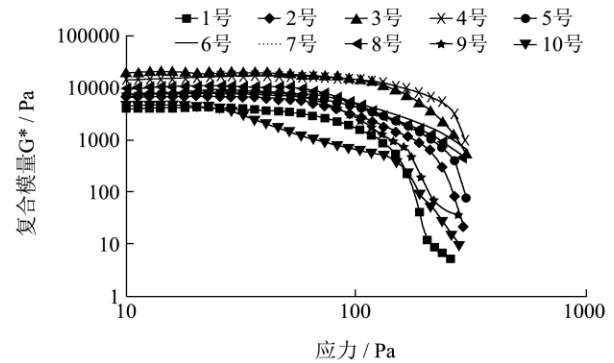


图 1 10 种搅打奶油的线性黏弹区域

Fig.1 Linear viscoelastic region of ten kinds of whipped creams

2.2 流变指标的选取

由表 1 可知本实验所采用的 8 个流变学特性指标与搅打奶油的稳定性都在 0.05 水平上存在显著性相关, 说明本实验所采用的这 8 个流变学特性指标可以很好地对搅打奶油稳定性能进行表征。与传统的通过裱花袋挤压裱成圆锥形, 置于 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 的恒定温度下观察其内部组织变粗的时间来表征稳定性相比, 其中的流动活化能 E 和温度扫描 G' , 研究了搅打奶油样品随温度变化的效应, 反映出了样品的普适性。这两个流变学指标恰好可以弥补传统方法的不足, 而且操作快捷、方便。

表 1 流变学特性与稳定性的相关性分析

Table 1 Rheological properties and stability correlation analysis

	平衡形变 r	流动活化能 E	屈服应力 τ_0	$ G' $	触变环面积 S	频率扫描 G'	温度扫描 G'	时间扫描 G'
Pearson 相关性	0.673*	-0.703*	0.83**	0.951**	0.656*	0.909**	0.707*	0.728*
显著性(双侧)	0.035	0.018	0.003	0	0.047	0	0.022	0.017
样本数 N	10	10	10	10	10	10	10	10

注: **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。*在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

2.3 因子分析

对 10 种稳定性存在显著性差异的搅打奶油的流变特性指标进行测定分析, 得出样本数据如表 2 所示。对原始的样本数据进行因子分析, 因子分析就是用降低维度的思想, 通过研究众多研究影响搅打奶油稳定性的流变学变量之间内部依赖关系, 探求观测数据中的基本结构, 并以期利用少数几个“抽象”的公

因子来表示其基本的数据结构。通过对样本数据的分析, 寻找表征搅打奶油稳定性的潜在变量指标。利用 SPSS 软件分析, 采用主成份分析方法抽取得到原始变量指标的共同度表 3 和总方差解释表 4。

由表 3 可知, 所有变量的变量共同度均高于 0.7 , 其中时间扫描 G' 和频率扫描 G' 的变量共同度都高达 0.9 以上, 除了流动活化能指标意外其余变量指标的变量共同度也都达到了 0.85 左右。这说明所抽取的因子

是可以反映原有变量的大部分信息的(80%以上), 仅 有较少的信息丢失, 因子分析的效果良好。

表 2 搅打奶油的流变学稳定性指标

Table 2 Rheological stability of whipped cream

样品编号	平衡形变 $r/\%$	流动活化能 E	屈服应力 τ_0	$ G' $	触变环面积 S	频率扫描 G'
1	4.28±0.18	53.22±3.18	78.59±5.14	2852.51±50.23	3808.48±13.21	4656.00±78.01
2	2.62±0.09	34.22±2.45	87.51±5.87	5553.79±108.12	11073.33±204.27	5998.62±80.13
3	2.15±0.08	9.91±0.98	111.85±7.11	11137.34±320.53	6794.67±29.04	8728.85±103.78
4	1.52±0.09	27.97±1.97	123.36±6.97	13092.10±371.29	12140±233.71	11287.69±196.03
5	2.02±0.07	31.11±2.31	78.21±2.98	2393.71±48.93	4423.75±99.40	5461.23±79.04
6	2.44±0.10	30.92±2.48	85.14±3.05	5438.66±99.08	7319.01±32.73	6261.31±86.14
7	8.66±0.25	26.25±1.56	65.45±2.36	2142.62±53.96	8853.33±44.58	3168.38±51.27
8	2.66±0.11	33.38±2.73	66.4±2.14	1627.15±42.04	12570.00±241.09	2679.77±39.88
9	4.25±0.20	33.36±2.39	94.97±4.08	1132.45±80.71	11146.33±229.78	6545.31±99.38
10	3.24±0.16	42.37±3.38	25.91±1.98	521.29±23.75	4978.52±78.03	2113.41±39.06

样品编号	温度扫描 G'	时间扫描 G'
1	9307.83±14.54	4692.34±55.76
2	12154.47±120.09	5838.52±49.33
3	11092.43±134.05	13556.08±122.98
4	16178.67±98.47	14499.03±201.78
5	12650.83±135.77	8641.34±99.36
6	8409.87±87.93	8204.70±101.25
7	8835.07±79.99	11431.75±99.30
8	13126.32±161.132	9259.58±88.35
9	11234.5±132.86	9133.08±97.03
10	3424.22±73.09	802.68±34.11

表 3 共同度表

Table 3 Table of communalities

变量指标	初始	提取
平衡形变 r	1.000	0.834
流动活化能 E	1.000	0.787
屈服应力 τ_0	1.000	0.884
$ G' $	1.000	0.874
触变环面积 S	1.000	0.867
频率扫描 G'	1.000	0.909
温度扫描 G'	1.000	0.864
时间扫描 G'	1.000	0.941

由表 4 前三个因子成分旋转前特征值分别为 4.782、1.240 和 0.938, 特征值均大于 0.9, 而且其累计方差贡献率高达 87.004%, 能比较全面解释 10 种市售搅打奶油的所有信息即使用新的低维变量代替原始高维变量能够较为客观地反映各变量指标作为评价搅打奶油稳定性指标的品质。这与图 2 的碎石图结果一致, 横坐标位因子序号, 纵坐标为各个因子对应的特征值。其中 1 和 2 点连线比较陡, 表明了这两点对应的因子特征值差值大, 1 号因子 FAC1 的重要程度明

显要大于其他因子, 这与其方差贡献率高达 59.781% 占据绝对优势有关, 其可以解释样本数据总变异信息的将近 60%; 而抽取的 2 号主因子 FAC2 和 3 号主因子 FAC3 的方差贡献率分别为 15.494% 和 11.729%, 明显小于 FAC1。从此, 可以看出仅仅利用 FAC1 也可以粗略快速的对搅打奶油的稳定性做一个初步的评判。

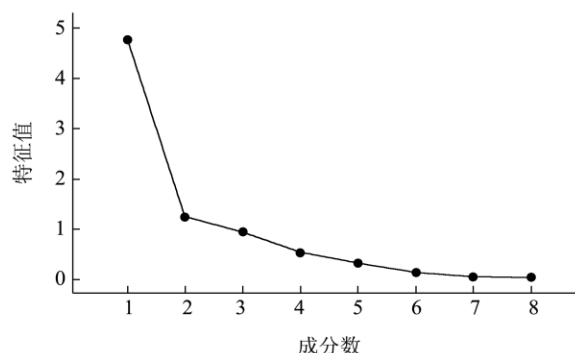


图 2 碎石图

Fig.2 Scree plot

为了更好地解释主因子, 寻找到影响搅打奶油稳定性的关键工艺指标, 故而在利用主成分抽取方

法得到因子载荷矩阵后，使用最大方差法 (Varimax) 进行旋转，目的在于可以使得最终的因子负荷矩阵两端集中，可以直观有效地解释哪个变量在主因子上有更大的载荷。旋转在 6 次迭代后收敛。其旋转后的因子载荷矩阵表 5 和旋转后的因子载荷散点图 3。

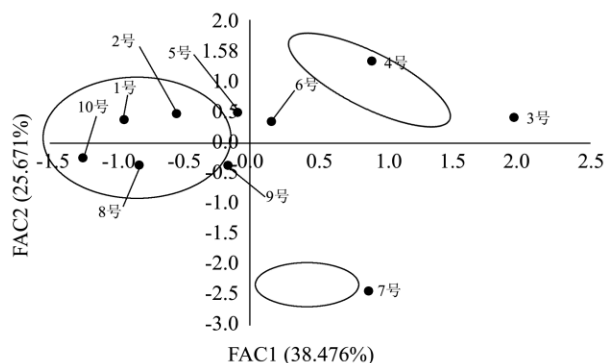


图 3 因子载荷散点图

Fig.3 Scatter plot of loading factors

由 4 和表 5 可知，1 号主因子 FAC1 主要综合了

除了平衡形变 r 和触变环面积 S 外所有稳定性指标的信息，其中流动活化能 E 在 FAC1 上呈负向分布，其余变量指标呈正向分布；而时间扫描 G' 具有最高的载荷 0.912 与 FAC1 关系最为紧密，鉴于大部分变量指标在 FAC1 上都有较高的载荷 (>0.656)，因此将 FAC1 称之为“主要稳定因子”。2 号主因子 FAC2 主要综合了平衡形变 r 和频率扫描 G' 的信息，其中平衡形变 r 在 FAC2 上呈负向分布，频率扫描 G' 呈正向分布；而其中的平衡形变 r 载荷最高达 -0.912，与 FAC2 关系最为紧密，故而将 FAC2 命名为“平衡形变因子”。3 号主因子 FAC3 主要综合了触变环面积 S 和温度扫描 G' 的信息，且在 FAC3 上呈正向分布，而其中的触变环面积 S 具有最高的载荷 0.920 与 FAC3 关系最为紧密，因此将 FAC3 称为“触变环因子”。综上可知，时间扫描 G' 、平衡形变 r 和触变环面积 S 三个流变学指标具有较高载荷，是可以表征搅打奶油稳定性的关键流变学指标。

表 4 总方差解释表

Table 4 Total variance explained

成份	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差的/%	累积/%	合计	方差的/%	累积/%	合计	方差的/%	累积/%
1	4.782	59.781	59.781	4.782	59.781	59.781	3.078	38.476	38.476
2	1.240	15.494	75.275	1.240	15.494	75.275	2.054	25.671	64.146
3	0.938	11.729	87.004	.938	11.729	87.004	1.829	22.858	87.004
4	0.523	6.536	93.540						
5	0.316	3.949	97.489						
6	0.125	1.557	99.046						
7	0.047	0.588	99.634						
8	0.029	0.366	100.000						

表 5 旋转成份矩阵

Table 5 Rotated component matrix

变量	成份		
	1	2	3
平衡形变 r	0.040	-0.912	-0.023
流动活化能 E	-0.882	0.037	-0.094
屈服应力 τ_0	0.677	0.516	0.400
$ G' $	0.722	0.583	0.115
触变环面积 S	0.135	-0.042	0.920
频率扫描 G'	0.656	0.654	0.225
温度扫描 G'	0.358	0.428	0.743
时间扫描 G'	0.912	0.049	0.443

FAC1 和 FAC2 的载荷图 3 所示，如果可以直观

看出每个市售搅打奶油稳定性与 FAC1 和 FAC2 的关系：10 号、8 号和 1 号样品都落在了 FAC1 的负向区间，因为流动活化能在 FAC1 上呈负向分布，表明这两个奶油的流动活化能都较大；而 3 号和 4 号样品都落在了 FAC1 的正向区间，因为时间扫描 G' 在 FAC1 上呈正向分布，故而表明这两个样品的时间扫描 G' 较大。7 号样品落在了 FAC2 的负向区间，因为平衡形变在 FAC2 呈负向分布，所以表明 7 号样品的搅打奶油平衡形变量较大。这与原始样本数据的结果相一致吻合。

取前三个主因子代替原来的八个因子，其因子得分系数如表 6。建立前三个主因子的线性回归方程如下：

$$f_1 = 0.262 \times \text{平衡形变}r - 0.487 \times \text{流动活化能}E + 0.130 \times \text{屈服应力} \tau_0 + 0.231 \times |G'| - 0.210 \times \text{触变面积}S + 0.140 \times \text{频率扫描}G' - 0.144 \times \text{温度扫描}G' + 0.340 \times \text{时间扫描}G'$$

$$f_2 = -0.630 \times \text{平衡形变}r + 0.257 \times \text{流动活化能}E + 0.145 \times \text{屈服应力}\tau_0 + 0.204 \times |G'| - 0.143 \times \text{触变面积}S + 0.259 \times \text{频率扫描}G' + 0.136 \times \text{温度扫描}G' - 0.224 \times \text{时间扫描}G'$$

$$f_3 = 0.047 \times \text{平衡形变}r + 0.206 \times \text{流动活化能}E + 0.064 \times \text{屈服应力}\tau_0 - 0.191 \times |G'| + 0.717 \times \text{触变面积}S - 0.085 \times \text{频率扫描}G' + 0.458 \times \text{温度扫描}G' + 0.080 \times \text{时间扫描}G'$$

旋转后，第一主因子方差贡献率为0.47374，第二主因子方差贡献率为0.24079，第二主因子方差贡献率为0.14332。按照三个主因子方差贡献率作为权重系数建立总因子得分TFS (total factor scores)，表达式如下：

$$TFS = f_1 \times 0.34876 + f_2 \times 0.25671 + f_3 \times 0.22858$$

综合得分参见表7。由表7可知，TFS得分前两名为4号与3号样品以及第5名，位于载荷图的第一象限之间；TFS得分第3名、第6名和第9名的样品位于载荷图的第二象限；TFS得分第4、第7名和第10名的搅打奶油样品位于载荷图的第三象限；第8名的7号样品在载荷图第四象限。总因子得分TFS排名先后反映出不同搅打奶油见稳定性的差异，得分越高代表该搅打奶油的稳定性能优良；反之，则稳定性能较差。

表6 因子得分系数矩阵

变量	成份		
	1	2	3
平衡形变r	0.262	-0.630	0.047
流动活化能E	-0.487	0.257	0.206
屈服应力 τ_0	0.130	0.145	0.064
G'	0.231	0.204	-0.191
触变环面积S	-0.210	-0.143	0.717
频率扫描G'	0.140	0.259	-0.085
温度扫描G'	-0.144	0.136	0.458
时间扫描G'	0.340	-0.224	0.080

稳定时间是一种用于评价搅打奶油稳定性能的常用指标，通过裱花袋挤压裱成圆锥形，置于20℃的恒定温度下观察其内部组织变粗的时间，时间越长代表稳定性能越好；反之，则稳定性能越差。该法对操作人员要求较高，需要有熟练的裱花技巧；其次，对于温度控制要求比较苛刻。而且该指标没有考虑到温度变化对搅打奶油产品的稳定性能的影响。稳定时间测试和多元分析法的测试结果比较见表8。由实验结果可以看出，使用多元分析评分的结果与稳定时间测试基本相一致，除了9号样品的排序不一致。这是由于稳定时间测试方法只是衡量了在恒定室温20℃下搅打奶油样品组织结构的稳定性，没有综合涉及到温度变化对搅打奶油样品稳定性的影响。可见使用多元分析评分法的确为判断搅打奶油稳定性提供了一种新的思路。多元分析方法是开放体系，可根据实际情况选择参数，可以增加或减少参数，一旦参数适合，描述可以更准

确。多元分析评分法操作相比稳定时间测试更为快捷简便，易于操作；此外最重要的是，该方法综合考虑温度对于搅打奶油产品稳定性能的影响，对产品的稳定性能表征更为全面、客观和精确。

表7 搅打奶油的总因子得分

样品编号	FAC1	FAC2	FAC3	TFS
1	-0.94948	0.37409	-0.71988	-0.43
2	-0.55694	0.47585	0.72693	0.07
3	1.96118	0.42392	-0.92589	0.65
4	0.8997	1.34283	1.11527	0.95
5	-0.1025	0.49216	-0.53064	-0.03
6	0.1532	0.34405	-0.61453	0.01
7	0.87641	-2.43659	0.08716	-0.27
8	-0.84377	-0.37505	1.4577	-0.09
9	-0.17811	-0.37942	0.90254	0.04
10	-1.25971	-0.26182	-1.49865	-0.89

表8 不同方法排名比较

样品编号	TFS	稳定时间/min
4	0.95	195±4.12
3	0.65	150±3.56
2	0.07	120±5.12
9	0.04	85±2.79
6	0.01	105±3.18
5	-0.03	94±3.06
8	-0.09	89±4.07
7	-0.27	75±2.98
1	-0.43	65±4.08
10	-0.89	58±2.48

2.4 聚类分析

由因子分析结果可得，搅打奶油稳定性可以由三个方面来综合体现。故而使用 SPSS Statistics 21.0 分析软件，以样品的因子得分作为分层聚类的变量进行系统聚类，这是因为在少数几个综合指标或维度的此基础上实行聚类分析，这样的效果会更简洁、明了。聚类方法为 Ward 联接，度量标准为平方的欧氏距离，进行个案系统聚类分析，结果如图4所示。由图4可知，当分类距离为20时，可以将10种搅打奶油样品

分为3类,这与载荷图3的结果相一致吻合,表明对搅打奶油的因子分析是有效的。第一类聚集了7个搅打奶油样品,即5号、6号、1号、10号、8号、9号和2号。该类搅打奶油各稳定性流变指标整体处于中间水平,无明显差异。第二类聚集了2个搅打奶油样品,即3号和4号搅打奶油样品,该类搅打奶油具有较高的时间扫描模量 G' ,这与因子分析中的FAC1分析的结果相一致。7号搅打奶油自成一类,位于在载荷图3的第四象限;其平衡形变 r 最高,而流动活化能 E 、屈服应力 τ_0 和频率扫描 G 指标居中,这与因子分析的FAC2分析结果相一致。

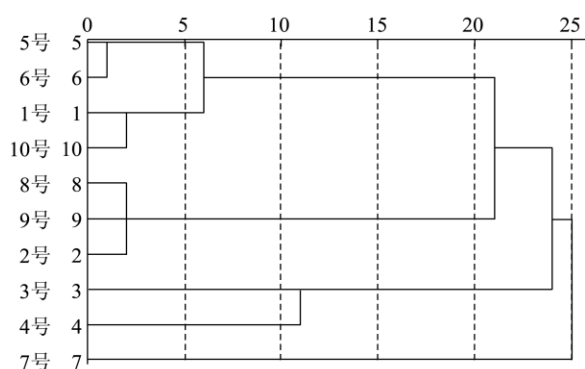


图4 聚类分析

Fig.4 Cluster analysis

3 结论

3.1 本文通过相关性分析寻找了8流变学特性指标对10种稳定性存在明显差异的搅打奶油进行了因子分析。因子分析结果表明,三个主因子“主要稳定因子”、“触变环因子”和“平衡形变因子”即可以解释原始搅打奶油稳定性数据的87.004%的差异;旋转载荷矩阵表明时间扫描 G' 、触变环面积 S 和平衡形变 r 这三个变量是搅打奶油稳定性的关键流变学指标,可以利用这三个指标对搅打奶油稳定性进行快速判定;得到总因子得分表达式为 $TFS=f_1 \times 0.38476+f_2 \times 0.25671+f_3 \times 0.22858$,可利用TFS计算公式对搅打奶油稳定性进行快速、准确和定量的判断,TFS得分前两名分别为4号与3号样品以及第5名,位于载荷图的第一象限之间;TFS得分第3名、第6名和第9名的样品位于载荷图的第二象限;TFS得分第4、第7名和第10名的搅打奶油样品位于载荷图的第三象限;第8名的7号样品在载荷图第四象限。

3.2 聚类分析结果表明当分裂间距为20时,可以将这10种搅打奶油分为三类。第一类聚集了7个搅打奶油样品,即5号、6号、1号、10号、8号、9号和2号;第二类聚集了2个搅打奶油样品,即3号和4号搅打奶油样品;7号搅打奶油自成一类,每一类之间

的稳定性存在着明显的差异。

参考文献

- [1] 邝婉涓.流变学分析在搅打奶油品质评价中的应用[D].广州:华南理工大学,2014
KUANG Wan-mei. Application of rheological analysis in quality evaluation of whipped cream [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014
- [2] 许时婴,梁梅.人造奶油的流变性质与涂抹性的关系[J].食品与发酵工业,1990,1: 23-27
XU Shi-ying, LIANG Mei. Rheological properties of margarine and sexual relationship [J]. Food and Fermentation Industries, 1990, 1: 23-27
- [3] 姚怀芝,涂清荣,李柱,等.裱花体系流变学性质研究[J].食品工业,2003,6:33-34
YAO Huai-zhi, TU Qing-rong, LI Zhu, et al. The rheology of whip topping [J]. Food Industry, 2003, 6: 33-34
- [4] 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
- [5] Wang C, He X, Huang Q, Fu X, Liu S. Physicochemical properties and application of micronized comstarch in low fat cream [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(4): 881-888
- [6] K. Ihara, K. Habara, Y. Ozaki, K. Influence of whipping temperature on the whipping properties and rheological characteristics of whipped cream [J]. Journal of Dairy Science, 2010, 93(7): 2887-2895
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 于甜.软质食品流变学特性及测量方法的研究[D].青岛:中国海洋大学,2012
YU Tian. Study on rheological properties of semi-solid food and determinant method [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012
- [10] 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

- [11] 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
- [12] Weaire D, Hutzler S, Drenckhan W, et al. The rheology of
foams [J]. Colloid and Polymer Science, 2006, 133: 100-105

现代食品科技