

8种市售蛋黄酱理化指标检测及分析

曹昕琪¹, 马传国¹, 杨瑞楠¹, 刘君¹, 司天雷¹, 刘志军²

(1. 河南工业大学 粮油食品学院, 郑州 450001; 2. 唐山润泽粮油食品有限公司, 河北 唐山 064000)

摘要: 为了对蛋黄酱产品的开发及品质评价提供数据支持和参考, 以8种市售蛋黄酱为原料, 对其主要成分、粒径、微观结构、流变特性、质构特性、色泽、乳液稳定性和热稳定性进行了测定。结果表明: 市售蛋黄酱粗脂肪含量为49.00%~73.70%, pH为3.37~4.08, 粒度 $[D(4,3)]$ 分布在4~12 μm 之间; 蛋黄酱以乳滴的形式存在, 为典型的水包油型结构; 蛋黄酱的流变学性质表明蛋黄酱为剪切变稀的假塑性流体, 弹性模量(G')远大于黏性模量(G''), 呈现出类弹性固体性质; 质构分析表明蛋黄酱具有较高的黏度和良好的涂抹性; 市售蛋黄酱的亮度(L^*)、红值(a^*)、黄值(b^*)和总色差(ΔE^*)差异显著; 8种蛋黄酱的乳液稳定性和热稳定性高, 有利于蛋黄酱的储存和使用。

关键词: 蛋黄酱; 理化指标; 流变学; 质构; 稳定性

中图分类号: TS264.2; TQ646.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2023)04-0124-08

Detection and analysis of physical and chemical indexes of eight kinds of commercially available mayonnaise

CAO Xinqi¹, MA Chuanguo¹, YANG Ruinan¹,
LIU Jun¹, SI Tianlei¹, LIU Zhijun²

(1. College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;
2. Tangshan Runze Cereals, Oils and Foodstuffs Co., Ltd., Tangshan 064000, Hebei, China)

Abstract: In order to provide data support and reference for the development and quality evaluation of mayonnaise products, the main components, particle size, microstructure, rheological properties, textural properties, color, emulsion stability and thermal stability were determined using eight kinds of commercially available mayonnaise as raw materials. The results showed that the crude fat content of commercially available mayonnaise was 49.00%–73.70%, the pH was 3.37–4.08, and the particle size distribution $[D(4,3)]$ was 4–12 μm . Mayonnaise existed in the form of emulsions, a typical oil-in-water structure. The rheological properties of mayonnaise showed that mayonnaise was a shear-thinning pseudoplastic fluid, and its elastic modulus (G') was much larger than its viscous modulus (G''), showing an elastic solid-like property. The texture analysis showed that mayonnaise had high viscosity and good spreadability. The commercially available mayonnaise differed significantly in brightness (L^*), red value (a^*), yellow value (b^*) and total color difference (ΔE^*). The emulsion stability and thermal stability of eight kinds of mayonnaise were high, which was beneficial to the storage and use of mayonnaise.

Key words: mayonnaise; physical and chemical index; rheology; texture; stability

收稿日期: 2022-05-16; 修回日期: 2022-12-29

基金项目: “十四五”国家重点研发计划课题——食品工业专用油脂高值化新产品研发与示范(2021YFD2100304)

作者简介: 曹昕琪(1998), 男, 硕士研究生, 研究方向为脂质化学与品质(E-mail) cxqhgd@163.com。

通信作者: 马传国, 教授, 博士(E-mail) mcg@huat.edu.cn。

蛋黄酱(Mayonnaise)是一种稳定的水包油型(O/W)乳状液, 由植物油、乳化剂(鸡蛋卵磷脂)、酸性成分(醋酸、柠檬酸)、调味品(糖、盐、芥末等)、质

构稳定剂和抗氧化剂混合而成^[1]。蛋黄酱作为传统调味品,因其奶油般的口感和独特的味道深受消费者的喜爱,常用于果蔬沙拉、面包、汉堡等西式食品中。随着中西文化交融和饮食方式的改变,蛋黄酱逐渐走上了国人的餐桌。就全球调味品消费和市场收入而言,蛋黄酱占到61%以上的市场份额^[2]。相对而言,我国的蛋黄酱产业还处于发展初期,应用范围和食用人群相对固定,蛋黄酱的发展还有较大的市场空间^[3]。

随着消费者对饮食和健康认识的提高,他们愈加偏好更健康和更绿色的食品。传统的蛋黄酱含有65%~80%的脂肪,尽管这有助于其质地、外观、风味和货架期^[4-5],但由于其高胆固醇和高脂肪含量,常引发健康相关话题的讨论。此外,与其他高脂肪食物类似,蛋黄酱易发生自动氧化^[6]。因此,研究人员使用乳清蛋白^[7]、蚕豆蛋白^[8]、鹰嘴豆水(aquafaba)^[9]等作为蛋黄的替代品来降低胆固醇含量,使用改性竹芋淀粉^[10]、玉米醇溶蛋白^[11]、颗粒状冷水膨胀淀粉(GCWS)^[12]等替代脂肪,添加荞麦壳黄酮提取物^[13]、黑孜然油^[14]、小米种皮多酚^[15]等天然抗氧化剂来制备蛋黄酱以满足消费者的健康

需求。天然替代品的加入在一定程度上影响了蛋黄酱的色泽、质构和稳定性等,大部分研究人员使用自制全脂蛋黄酱作为试验对照,缺乏与市售蛋黄酱的对比。

蛋黄酱的结构、外观和流变特性对其感官特性、质地以及物理稳定性具有突出的重要性,这些指标是影响消费者选择和满意度的关键因素^[16]。国内外研究人员对于蛋黄酱的研究主要集中在其物理特性(粒径、色泽、流变特性和质构特性等)、氧化稳定性(酸值、过氧化值、*p*-茴香胺值等)和感官特性3个方面。本文通过对8种市售蛋黄酱的主要成分和各项理化指标进行检测及分析,以期对蛋黄酱产品的开发及品质评价提供数据支持和参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

蛋黄酱:从本地大型超市购买的8种包装产品,编号为M1~M8,配料见表1。硫酸铜、硫酸钾、浓硫酸、硼酸、氢氧化钠、三氯甲烷、甲醇、盐酸、乙醇、无水乙醚、石油醚均为分析纯;尼罗红、尼罗蓝,上海麦克林生化科技有限公司。

表1 8种市售蛋黄酱配料

样品	油	乳化剂	酸化剂	食品添加剂	其他配料
M1	大豆油	鸡蛋	冰醋酸、乳酸	乙二胺四乙酸二钠、 β -胡萝卜素、山梨酸钾、乙酸钠、黄原胶	水、白砂糖、食用盐、香辛料
M2	大豆油	冰全蛋	酿造食醋、冰醋酸、浓缩柠檬汁	乙二胺四乙酸二钠、食用香精、山梨酸钾、黄原胶	水、白砂糖、食用盐
M3	大豆油	蛋黄	食醋、浓缩柠檬汁	乙二胺四乙酸二钠钙	水、白砂糖、食用盐、芥末、大蒜粉、洋葱粉、辣椒粉
M4	植物油	鸡蛋黄	食醋	乙二胺四乙酸二钠、黄原胶、谷氨酸钠	水、白砂糖、食用盐、香辛料
M5	大豆油	冰鸡蛋黄液(鸡蛋黄、食用盐)	食醋、柠檬汁饮料	丁基羟基茴香醚、二丁基羟基甲苯、乙二胺四乙酸二钠、食用香精、山梨酸钾、黄原胶、麦芽糊精、羟丙基二淀粉磷酸酯	水、白砂糖、食用盐
M6	菜籽油、葵花籽油	鸡蛋、鸡蛋黄	酿造食醋、浓缩柠檬汁	乙二胺四乙酸二钠、辣椒油树脂	水、白砂糖、食用盐、食用香料
M7	菜籽油、大豆油、玉米油	鸡蛋	酿造食醋(酿造食醋、葡萄醋、谷物醋、米醋)、浓缩柠檬汁	麦芽糖浆、谷氨酸钠	食用盐、香辛料
M8	菜籽油	巴氏杀菌蛋黄	食醋、浓缩柠檬汁	乙二胺四乙酸二钠钙、 β -胡萝卜素、黄原胶、乙酰化双淀粉己二酸酯、辣椒油树脂	白砂糖、食用盐、食用香料

1.1.2 仪器与设备

Kjeltec 8400 全自动凯氏定氮仪,MASTERSIZER 3000 激光粒度仪,Zeiss 光学显微镜,TCS SP5 激光

共聚焦显微镜,HAAKE MARS 60 流变仪,TA-XT Plus 质构分析仪,CR-400 色度计,HH-4 恒温数显水浴锅。

1.2 试验方法

1.2.1 主要成分的测定

粗蛋白质含量测定,采用凯氏定氮法(GB 5009.5—2010);粗脂肪含量测定,采用氯仿-甲醇法(GB 5009.6—2016);灰分含量测定,采用干法灰化法(GB 5009.4—2016);水分及挥发物测定,采用电热干燥箱法(GB 5009.236—2016);pH测定,使用pH计测定(GB/T 10786—2006);碳水化合物含量的测定,参考文献[17]采用差值法。

1.2.2 粒度分布测定

取0.2 g 蛋黄酱样品,用20 mL 质量浓度1 g/100 mL的十二烷基硫酸钠(SDS)溶液稀释,然后以2 500 r/min的速度加入装有蒸馏水的Hydro 2000分散装置中,直到达到5%~6%的遮盖度,然后采用激光粒度仪测定粒度分布。

1.2.3 流变特性分析

利用流变仪平板(P35 Ti)对样品的表观黏度、频率、应力、触变等性质进行测定,分析样品的流变、触变特性。应力扫描:应力范围0.1~1 000 Pa,频率1.0 Hz,温度25℃。频率扫描:频率范围1~100 Hz,温度25℃。触变扫描:在剪切速率0.1、10、0.1 s⁻¹间交替进行。黏度扫描:剪切速率范围30~100 s⁻¹,温度25℃,使用公式(1)幂律方程对表观黏度曲线进行拟合。

$$\eta = K \cdot \gamma^{n-1} \quad (1)$$

式中: η 为表观黏度,Pa·s; K 为稠度系数,Pa·s ^{n} ; γ 为剪切速率,s⁻¹; n 为流动指数。 K 值越大,整个蛋黄酱体系就越黏稠; $n < 1$,表明体系为假塑性流体。

1.2.4 质构特性分析

使用质构分析仪,用5 kg的称重传感器对蛋黄酱进行质构分析。使用直径为35 mm压缩盘进行反挤压测试。将样品小心地舀入丙烯酸圆柱形容器(内径50 mm,高度75 mm,深度50 mm)。以1 mm/s的恒定十字头速度对40 mm的样品深度施加一个周期,然后返回。从所得的力-时间曲线中,使用Texture Expert for Window Version 6.1.16.0设备软件获得质地属性的值,即硬度、稠度、内聚性、黏度。使用类型为P45C 45°锥度PERSPEX的探头对样品涂抹性进行测定。

1.2.5 色泽测定

使用色度计测量蛋黄酱的色泽(L^* 、 a^* 、 b^* ,其中 L^* 表示亮度, a^* 表示红值, b^* 表示黄值),测试前相对于白色瓷砖进行校准,按公式(2)计算总色差(ΔE^*)。

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2)$$

1.2.6 微观结构观测

使用少量蒸馏水对蛋黄酱进行稀释,轻微搅拌以取得少量蛋黄酱试样。取一滴蛋黄酱试样,使用光学显微镜观察其微观结构。

使用激光共聚焦扫描显微镜(CLSM)在室温下表征乳液的微观结构。使用无水乙醇分别制备尼罗红和尼罗蓝染料(10 mg定容到10 mL),将两种染料等比例混合制备荧光染色溶液,然后在黑暗中4℃保存。在分析前,用50 μL荧光染料对0.5 mL样品进行染色,混合均匀后涂抹在单凹载玻片上。将样品固定在CLSM载物台上,选择发射波长为488 nm的氩氦激光和激发波长为633 nm的氩氦激光进行激光预扫描,采集荧光图像,扫描密度为256×256。使用LAS AF Lite软件对图像进行处理与分析。

1.2.7 乳液稳定性和热稳定性分析

根据Mun等^[18]的方法测定蛋黄酱的乳液稳定性,并稍作修改。将5 g样品转移到带盖试管中用塑料盖紧闭,在50℃下水浴保存48 h,然后在3 000 r/min下离心10 min,分离油相。

根据Nikzade等^[19]的方法测定蛋黄酱的热稳定性。将蛋黄酱样品置于80℃下水浴30 min,然后在5 000 r/min下离心30 min,分离油相。

用公式(3)计算乳液稳定性/热稳定性。

$$Y = (m_0 - m_1) / m_0 \times 100\% \quad (3)$$

式中: Y 为乳液稳定性/热稳定性; m_0 为初始样品质量; m_1 为离心分离油相的质量。

1.2.8 数据处理

采用SPSS 21.0统计分析软件进行数据的差异性分析(ANOVA),显著性差异采用95%的置信区间,采用Origin 2021绘制图形。所有样品至少重复测定3次,数据用“平均值±标准差”表示。

2 结果与讨论

2.1 主要成分

8种市售蛋黄酱的主要成分见表2。由表2可见,8种市售蛋黄酱的pH在3.37~4.08之间,较低的pH是由于添加酸化剂(食醋、浓缩柠檬汁等)导致的。酸化剂的加入为蛋黄酱带来良好的口感,且当pH达到蛋黄蛋白等电点时,蛋黄酱的稳定性和黏弹性达到最高^[20]。市售蛋黄酱粗脂肪含量为49.00%~73.70%。油脂作为蛋黄酱的主要成分之一,对于改善蛋黄酱的风味、质地、外观有着重要作用^[18]。市售蛋黄酱粗蛋白质含量为0.55%~

2.53%。蛋黄具有很高的乳化能力,这与其所含有的磷脂、脂蛋白及非结合蛋白有关^[21-22]。市售蛋黄酱水分及挥发物含量为13.13%~27.47%,灰分含量为1.30%~2.26%,这与杨述等^[23]的研究结果基本一致。市售蛋黄酱碳水化合物含量在4.82%~

20.70%之间,这与蛋黄酱的配料和食品添加剂有关。根据SB/T 10754—2012对蛋黄酱理化指标的要求($\text{pH} \leq 4.2$,油脂含量 $\geq 65\%$),M1和M5的粗脂肪含量低于该标准,倾向于低脂/减脂蛋黄酱,所有蛋黄酱的pH均达到标准的要求。

表2 8种市售蛋黄酱的主要成分

样品	pH	粗脂肪/%	粗蛋白质/%	水分及挥发物/%	灰分/%	碳水化合物/%
M1	3.54 ± 0.01e	62.63 ± 0.27e	0.88 ± 0.04bc	26.10 ± 0.04a	1.88 ± 0.04b	8.47 ± 0.13d
M2	3.88 ± 0.02b	65.16 ± 0.48d	0.77 ± 0.06cd	20.07 ± 0.44c	1.76 ± 0.00c	12.24 ± 0.85c
M3	3.69 ± 0.01d	65.39 ± 0.55d	0.55 ± 0.05e	16.71 ± 0.03d	1.30 ± 0.04f	16.05 ± 0.40b
M4	4.08 ± 0.00a	69.25 ± 0.50b	2.53 ± 0.11a	13.53 ± 0.04e	1.83 ± 0.01b	12.85 ± 0.42c
M5	3.53 ± 0.00e	49.00 ± 0.42f	0.57 ± 0.05de	27.47 ± 0.99a	2.26 ± 0.02a	20.70 ± 0.62a
M6	3.77 ± 0.00c	73.70 ± 0.43a	1.00 ± 0.02b	18.82 ± 0.38c	1.66 ± 0.05d	4.82 ± 0.74e
M7	3.88 ± 0.02b	66.89 ± 0.52c	1.04 ± 0.09b	13.13 ± 0.14e	1.70 ± 0.00cd	17.24 ± 0.33b
M8	3.37 ± 0.01f	66.60 ± 0.51c	0.60 ± 0.03de	22.43 ± 0.73b	1.49 ± 0.03e	8.88 ± 0.38d

注:同列不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同

2.2 粒度分布

8种市售蛋黄酱的粒度分布见图1和表3。

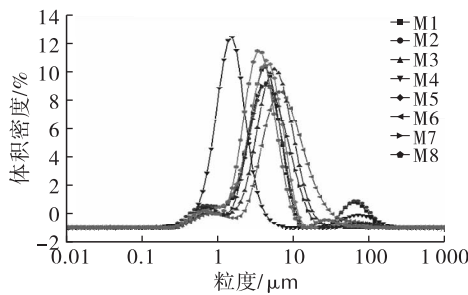


图1 8种市售蛋黄酱的粒度分布

表3 8种市售蛋黄酱的 $D(4,3)$ 和 $D(3,2)$ μm

样品	$D(4,3)$	$D(3,2)$
M1	10.70 ± 0.30b	2.76 ± 0.02d
M2	11.80 ± 0.35a	2.50 ± 0.05e
M3	6.17 ± 0.06d	3.44 ± 0.00b
M4	5.74 ± 0.31d	1.32 ± 0.08f
M5	4.97 ± 0.37e	2.71 ± 0.02d
M6	10.23 ± 0.06b	4.28 ± 0.07a
M7	6.87 ± 0.37c	2.85 ± 0.03c
M8	4.34 ± 0.15f	2.49 ± 0.01e

由图1可见,部分蛋黄酱粒度呈双峰分布,Ghazaei等^[24]研究认为这是由于使用增稠剂(如黄原胶)造成的。由表3可知,8种市售蛋黄酱的粒度 $D(4,3)$ 分布在4~12 μm 之间,与Laca等^[22](3~12 μm)和Worrasinchai等^[5](1~9 μm)的研究结果类似。研究表明,蛋黄酱粒径与其生产时的乳化强度有关^[25]。粒径大小是乳状液体系的重要参数,它影响乳状液的流变性、稳定性、储存期、质地和口

感^[26],较小粒径的乳液远小于舌头识别的阈值,可给予蛋黄酱润滑、细腻的口感。

2.3 流变特性

8种市售蛋黄酱的表观黏度随剪切速率的变化如图2所示。

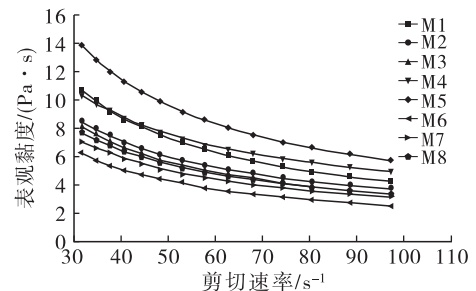


图2 8种市售蛋黄酱的表观黏度扫描

由图2可知,8种蛋黄酱的表观黏度均随着剪切速率的增加而降低,说明其均为剪切变稀的假塑性流体^[27]。使用幂律方程对8种蛋黄酱的表观黏度曲线进行了拟合,结果见表4。由表4可知,8种蛋黄酱的稠度系数(K)在87.40~197.41之间,相较于现磨芝麻酱(6~19)具有更高的稠度系数^[28]。

表4 8种市售蛋黄酱的幂律方程参数和触变恢复率

样品	K	n	R^2	触变恢复率/%
M1	166.04 ± 9.64b	0.18 ± 0.01e	0.999 8	93.17 ± 1.92b
M2	106.13 ± 3.56cde	0.26 ± 0.01bc	0.998 0	94.72 ± 1.06b
M3	110.08 ± 8.56cd	0.24 ± 0.02cd	0.998 9	98.34 ± 0.78a
M4	90.33 ± 6.96de	0.36 ± 0.02a	0.998 7	98.68 ± 1.18a
M5	197.41 ± 9.36a	0.22 ± 0.01d	0.999 3	88.71 ± 0.32cd
M6	119.50 ± 17.46c	0.22 ± 0.02de	0.998 4	71.69 ± 1.05e
M7	87.40 ± 3.96e	0.28 ± 0.01b	0.998 2	87.04 ± 0.84d
M8	102.24 ± 3.64cde	0.26 ± 0.01bc	0.998 5	90.08 ± 1.27c

触变性可以很好地模拟食品原料在加工和搬运过程中的瞬时剪切应力或剪切速率的改变^[29]。通过七段循环触变试验对 8 种市售蛋黄酱的触变性进行了考察,结果见图 3 和表 4。

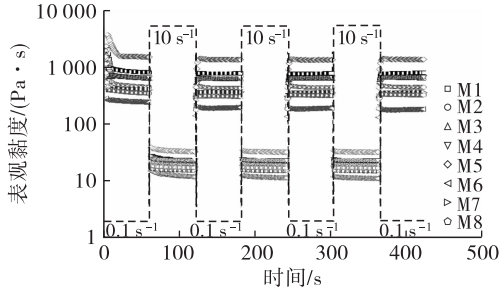


图 3 8 种市售蛋黄酱的触变扫描

根据参考文献[30]并结合图 3 可知,所有样品均表现出显著的触变性。在 0.1 s^{-1} 的剪切速率下,样品表观黏度较大,剪切速率变为 10 s^{-1} 时,表观黏度下降,再施加 0.1 s^{-1} 的剪切速率时,表观黏度恢复到接近于原来的水平,经过 7 次交替剪切,所有样品均表现出较高的触变恢复率 ($>70\%$, 见表 4),具有良好的结构恢复能力。剪切过程中静电力和疏水键很容易被破坏,剪切产生的流体动力使得蛋黄酱的三维网络结构变形和被破坏,从而导致样品的黏度或流动阻力降低^[26]。因此,为了保持样品的结构,在混合或均质过程中应避免高剪切速率的使用。

对 8 种市售蛋黄酱进行了应力扫描,结果见图 4。

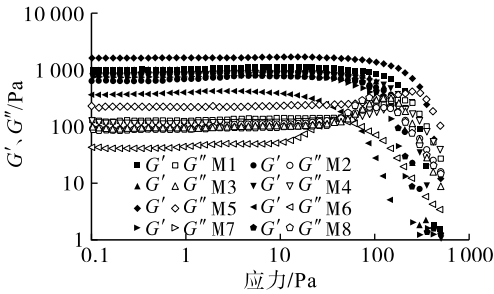


图 4 8 种市售蛋黄酱的应力扫描

由图 4 可见:在线性黏弹区(LVR)内,所有样品的弹性模量(G')均远大于黏性模量(G''),说明 8 种市售蛋黄酱均表现出类弹性固体性质;随着应力的

继续增加, G' 迅速下降,从而达到屈服应力点($G' = G''$),随后蛋黄酱结构遭到破坏,流变学行为发生转换,以黏性为主。频率扫描主要是用来了解样品对高频或低频的响应,8 种市售蛋黄酱频率扫描结果如图 5 所示。

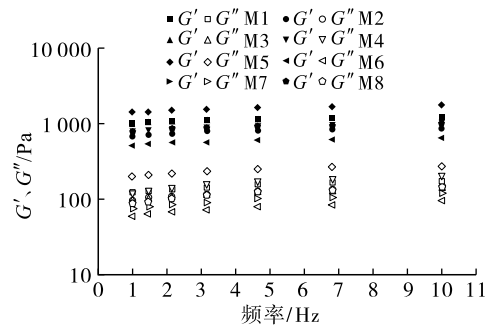


图 5 8 种市售蛋黄酱的频率扫描

由图 5 可见,与应力扫描结果一致,所有样品的 G' 均大于 G'' 。这种行为是浓缩乳状液的典型表现,正如之前报道的商用或模型蛋黄酱^[5,17-18,22]。损失正切值($\tan\delta$)能直观显示样品呈现固体(弹性)或液体(黏性)^[17]。据报道,当 δ 小于 15° ($\tan\delta = 0.268$) 时,凝胶具有堆积性^[31], $\tan\delta$ 越低,凝胶强度越高,堆积性越好。8 种市售蛋黄酱的损失正切值如图 6 所示。由图 6 可知,所有样品的 $\tan\delta$ 均小于 0.25,说明所有市售蛋黄酱具有堆积性,内部结构紧密。

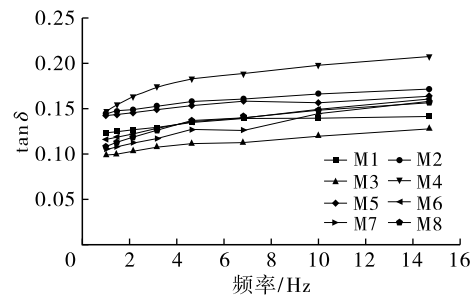


图 6 8 种市售蛋黄酱的损失正切值

2.4 质构特性

8 种市售蛋黄酱的质构参数如表 5 所示。

表 5 8 种市售蛋黄酱的质构参数

样品	硬度/g	稠度/(g·s)	内聚性/g	黏度/(g·s)	涂抹性/(kg·s)
M1	289.42 ± 6.15b	6 576.78 ± 19.38b	-325.39 ± 1.77f	718.12 ± 6.99b	0.62 ± 0.05b
M2	190.52 ± 5.27d	4 713.19 ± 1.26e	-243.02 ± 0.19c	547.52 ± 2.80e	0.42 ± 0.01c
M3	188.14 ± 2.88d	4 642.74 ± 15.62f	-224.23 ± 0.46b	481.85 ± 9.36f	0.39 ± 0.09c
M4	189.93 ± 0.96d	5 130.02 ± 3.08d	-276.60 ± 5.48d	600.75 ± 5.67d	0.47 ± 0.04bc
M5	322.39 ± 4.54a	8 126.02 ± 27.90a	-401.61 ± 1.42g	888.06 ± 7.20a	0.80 ± 0.02a
M6	228.96 ± 1.04c	5 992.96 ± 23.74c	-301.48 ± 3.84e	641.87 ± 7.17c	0.39 ± 0.02c
M7	143.48 ± 1.04f	3 614.20 ± 8.32h	-189.98 ± 0.12a	423.13 ± 0.94g	0.37 ± 0.06c
M8	165.15 ± 2.50e	4 250.26 ± 14.60g	-222.12 ± 0.81b	490.17 ± 6.01f	0.35 ± 0.05c

硬度是影响蛋黄酱口感的重要因素之一,它会影响消费者的认可度^[32]。由表5可见,8种市售蛋黄酱的硬度在143.48~322.39 g之间,其中M5的硬度显著高于其他样品。M1、M5、M6的稠度和黏度均显著高于其他样品。蛋黄酱作为一种涂抹类调味品,涂抹性也不能忽略。涂抹性的值越低,涂抹性能越好^[33]。M8、M7、M3、M6涂抹性较好,而反挤压测试中各项指标较高的M1和M5涂抹性最差,说明M1和M5内部结构过于紧密。但8种市售蛋黄酱涂抹性的值均远低于奶油奶酪涂抹性的值^[34],可见8种市售蛋黄酱涂抹性总体均较好。无论是反挤压测试还是涂抹性测试,M5对应各项指标的绝对值均显著高于其他样品($p < 0.05$),这与其添加较多的稳定剂(黄原胶、麦芽糊精、羟丙基二淀粉磷酸酯)有关,此外,其高达20.70%的碳水化合物含量也间接证明了这一点($p < 0.05$)。

2.5 色泽

8种市售蛋黄酱色泽参数如表6所示。由表6可见,所有蛋黄酱的亮度(L^*)在77.13~79.93之间。 L^* 的差异可能是由于样品之间光散射不同造成的。8种蛋黄酱的红值(a^*)、黄值(b^*)及总色差(ΔE^*)存在较大差异,这与蛋黄酱所使用的油脂有着较大的关系。此外,蛋黄酱的色泽也与食品添加剂有关,例如M1和M8使用 β -胡萝卜素来改善

产品的外观。另外,随着储存期的延长,蛋黄酱的色泽也会发生显著的变化^[35]。

表6 8种市售蛋黄酱的色泽参数

样品	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
M1	79.64 ± 0.37ab	1.75 ± 0.07d	9.37 ± 0.04b	7.26 ± 0.06b
M2	79.93 ± 0.60a	1.71 ± 0.02d	4.55 ± 0.47e	2.56 ± 0.32d
M3	79.50 ± 0.22ab	2.26 ± 0.00c	2.95 ± 0.03f	1.34 ± 0.02e
M4	78.49 ± 0.04c	0.90 ± 0.02f	12.82 ± 0.02a	10.75 ± 0.02a
M5	78.78 ± 0.21bc	1.48 ± 0.07e	4.37 ± 0.09e	2.43 ± 0.15d
M6	77.31 ± 0.76d	2.29 ± 0.05c	7.93 ± 0.19d	6.38 ± 0.48c
M7	77.13 ± 0.05d	2.51 ± 0.02b	8.94 ± 0.07c	7.38 ± 0.05b
M8	79.40 ± 0.04ab	3.69 ± 0.02a	9.34 ± 0.02b	7.62 ± 0.03b

蛋黄酱中油脂的色泽在很大程度上决定了蛋黄酱的外观色泽,M1、M4、M6、M7和M8在外观上呈黄色,主要是因为使用了除大豆油以外的油脂,如菜籽油、葵花籽油、玉米油等,也与使用 β -胡萝卜素等色素有关。M4外观上相较于其他蛋黄酱色泽最深,与其黄值(12.82)结果相一致($p < 0.05$)。

2.6 微观结构

蛋黄酱是一种复杂的乳液体系,为了观察蛋黄酱内部各部分之间的结合与分布,使用光学显微镜和激光共聚焦显微镜对蛋黄酱的内部结构进行观察,结果见图7。

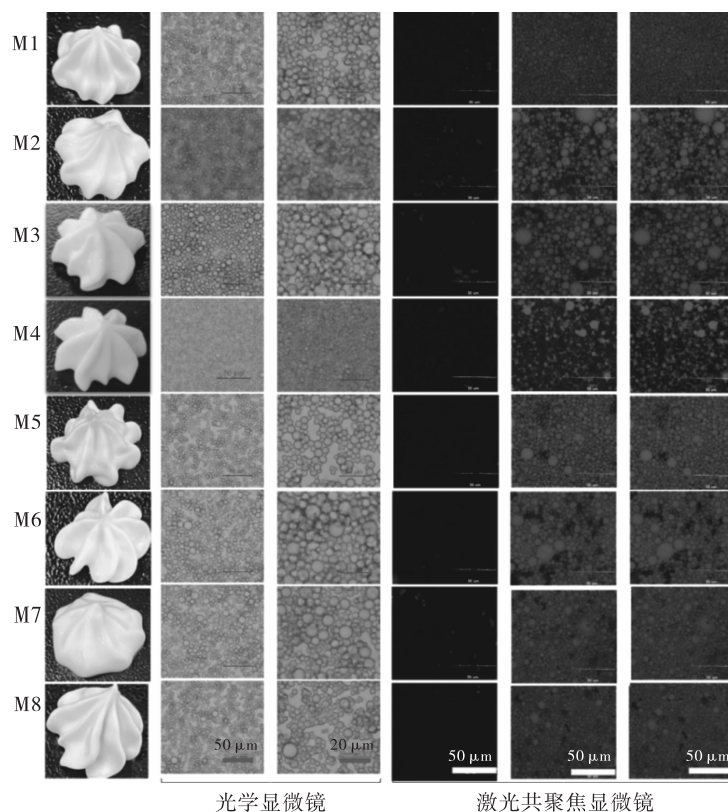


图7 8种市售蛋黄酱的外观和微观结构

由图 7 光学显微镜图片可知,蛋黄酱基本上都以球形乳滴的形式存在,乳滴粒径与粒度分布结果基本一致。由图 7 激光共聚焦图片可以看出:蛋黄酱为水包油型(O/W)结构,内部乳滴紧密堆积,蛋白质分布在乳滴周围,这与 Teklehaimanot^[36]、Liu^[37]等观察到的全脂蛋黄酱内部结构相一致;M4 中蛋白质广泛分布在油滴之间,这与其较高的蛋白质含量(2.53%)有关。M5 的表观黏度、 G' 、 G'' 、质构各项指标绝对值均大于其他样品($p < 0.05$),这与其紧密的三维结构密切相关,M5 虽然粗脂肪含量仅有 49.00%,但碳水化合物含量达到了 20.70%,黄原胶、麦芽糊精等稳定剂的加入使得乳滴间作用力加强,这一点也从 M5 的激光共聚焦图片中得到了证明。乳滴之间的紧密堆积使得它们之间的作用力(范德华力)非常强烈,黄原胶等稳定剂在蛋黄酱中形成的网络结构也限制了乳滴的流动,这些因素赋予了市售蛋黄酱的高黏度。

2.7 乳液稳定性和热稳定性

8 种市售蛋黄酱在 50℃ 下水浴 48 h,表面均无明显油脂析出,再经 3 000 r/min 离心后,蛋黄酱仍然非常稳定,说明蛋黄酱具有较强的乳液稳定性。8 种市售蛋黄酱在 80℃ 下水浴 30 min,再经 5 000 r/min 离心 30 min 后,其热稳定性均在 94% 以上(图 8),其中 M4 有较为明显的油脂析出。市售蛋黄酱的高稳定性一方面与其内部紧密的三维网状结构有关,另一方面也与添加的稳定剂(黄原胶、麦芽糖浆等)有着密切的关系。黄原胶等稳定剂的加入可以抑制乳滴聚合,增加水相的黏度来减缓乳滴的运动,从而提高蛋黄酱的稳定性。

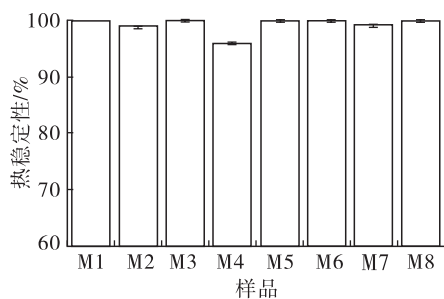


图 8 8 种市售蛋黄酱的热稳定性

3 结论

本研究对 8 种市售蛋黄酱的主要成分、粒径、微观结构、流变特性、质构特性、色泽、稳定性等理化指标进行了测定。蛋黄酱以油脂为主要成分,含有少量蛋白质,且为低 pH 的食品。蛋黄酱以球状乳滴形式存在且结构紧密,较小的粒径增大了乳滴间的接触面积,使得蛋黄酱拥有较高的黏度。蛋黄酱的流变学性质表明,蛋黄酱为剪切变稀的假塑性流体,呈现出类弹性固体性质。质构特性结果表明蛋黄酱

具有良好的涂抹性。此外,8 种市售蛋黄酱均具有良好的色泽。蛋黄酱的高稳定性与蛋黄酱稳定的三维结构和黄原胶等稳定剂的使用有关。这些基本理化性质的数据可为进一步研究蛋黄酱的性质提供理论基础,也为低脂蛋黄酱产品的开发提供数据支持。

参考文献:

- [1] AGANOVIC K, BINDRICH U, HEINZ V. Ultra - high pressure homogenisation process for production of reduced fat mayonnaise with similar rheological characteristics as its full fat counterpart[J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2018, 45: 208 - 214.
- [2] KATSAROS G, TSOUKALA M, GIANNOGLOU M, et al. Effect of storage on the rheological and viscoelastic properties of mayonnaise emulsions of different oil droplet size[J/OL]. *Heliyon*, 2020, 6 (12): e05788 [2022 - 05 - 16]. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05788>.
- [3] 尹明雨,柳泽琢也,松冈亮辅,等. 香甜味沙拉酱脂肪酸差异与品质相关性研究[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47 (14): 70 - 75.
- [4] SUN C C, LIU R, LIANG B, et al. Microparticulated whey protein - pectin complex: a texture - controllable gel for low - fat mayonnaise[J]. *Food Res Int*, 2018, 108: 151 - 160.
- [5] WORRASINCHAI S, SUPHANTHARIKA M, PINJAI S, et al. β - Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise[J]. *Food Hydrocolloid*, 2006, 20 (1): 68 - 78.
- [6] MIRZANAJAFI - ZANJANI M, YOUSEFI M, EHSANI A. Challenges and approaches for production of a healthy and functional mayonnaise sauce[J]. *Food Sci Nutr*, 2019, 7 (8): 2471 - 2484.
- [7] SATRIAWAN T U, EVANUARINI H, THOHARI I. Development of low fat mayonnaise using whey protein as a natural emulsifier[J]. *Jurnal Ilmu Teknologi Hasil Ternak*, 2022, 17(1): 34 - 40.
- [8] OURAJI M, ALIMIM, MOTAMEDZADEGAN A, et al. Faba bean protein in reduced fat/cholesterol mayonnaise: extraction and physico - chemical modification process[J]. *J Food Sci Technol*, 2020, 57(5): 1774 - 1785.
- [9] HE Y, PURDY S K, TSE T J, et al. Standardization of aquafaba production and application in vegan mayonnaise analogs[J/OL]. *Foods*, 2021, 10(9): 1978 [2022 - 05 - 16]. <https://doi.org/10.3390/foods10091978>.
- [10] PARK J J, OLAWUYI I F, LEE W Y. Characteristics of low - fat mayonnaise using different modified arrowroot starches as fat replacer[J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 153: 215 - 223.
- [11] MIGUEL G A, JACOBSEN C, PRIETO C, et al. Oxidative stability and physical properties of mayonnaise

- fortified with zein electrosprayed capsules loaded with fish oil[J]. *J Food Eng*, 2019, 263: 348 – 358.
- [12] HEDAYATI S, SHAHIDI F, KOOCHEKI A, et al. Influence of pregelatinized and granular cold water swelling maize starches on stability and physicochemical properties of low fat oil – in – water emulsions [J/OL]. *Food Hydrocolloid*, 2020, 102: 105620[2022 – 05 – 16]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105620>.
- [13] PARK B I, KIM J, LEE K, et al. Flavonoids in common and tartary buckwheat hull extracts and antioxidant activity of the extracts against lipids in mayonnaise [J]. *J Food Sci Technol*, 2019, 56(5): 2712 – 2720.
- [14] OZDEMIR N, KANTEKIN – ERDOGAN M N, TAT T, et al. Effect of black cumin oil on the oxidative stability and sensory characteristics of mayonnaise [J]. *J Food Sci Technol*, 2018, 55(4): 1562 – 1568.
- [15] VELUR BALASUBRAMANIAM G, SUKUMAR S, ALAGARSAMY M, et al. Inhibition of lipid oxidation in mayonnaise by finger millet seed coat polyphenols [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2022, 99(1): 79 – 90.
- [16] DI MATTIA C, BALESTRA F, SACCHETTI G, et al. Physical and structural properties of extra – virgin olive oil based mayonnaise [J]. *LWT – Food Sci Technol*, 2015, 62(1): 764 – 770.
- [17] LIU H, XU X M, GUO S D. Rheological, texture and sensory properties of low – fat mayonnaise with different fat mimetics [J]. *LWT – Food Sci Technol*, 2007, 40(6): 946 – 954.
- [18] MUN S, KIM Y L, KANG C G, et al. Development of reduced – fat mayonnaise using 4 α GTase – modified rice starch and xanthan gum [J]. *Int J Biol Macromol*, 2009, 44(5): 400 – 407.
- [19] NIKZADE V, TEHRANI M M, SAADATMAND – TARZJAN M. Optimization of low – cholesterol – low – fat mayonnaise formulation: effect of using soy milk and some stabilizer by a mixture design approach [J]. *Food Hydrocolloid*, 2012, 28(2): 344 – 352.
- [20] DEPREE J A, SAVAGE G P. Physical and flavour stability of mayonnaise [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2001, 12(5/6): 157 – 163.
- [21] MOROS J E, FRANCO J M, GALLEGOS C. Rheological properties of cholesterol – reduced, yolk – stabilized mayonnaise [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2002, 79(8): 837 – 843.
- [22] LACA A, SÁENZ M C, PAREDES B, et al. Rheological properties, stability and sensory evaluation of low – cholesterol mayonnaises prepared using egg yolk granules as emulsifying agent [J]. *J Food Eng*, 2010, 97(2): 243 – 252.
- [23] 杨述, 高昕, 于甜, 等. 4 种蛋黄酱的流变特性比较研究 [J]. *食品科学*, 2011, 32(15): 121 – 125.
- [24] GHAZAEI S, MIZANI M, PIRAVI – VANAK Z, et al. Particle size and cholesterol content of a mayonnaise formulated by OSA – modified potato starch [J]. *Food Sci Technol(Campinas)*, 2015, 35(1): 150 – 156.
- [25] OLSSON V, HÅKANSSON A, PURHAGEN J, et al. The effect of emulsion intensity on selected sensory and instrumental texture properties of full – fat mayonnaise [J/OL]. *Foods*, 2018, 7(1): 9[2022 – 05 – 16]. <https://doi.org/10.3390/foods7010009>.
- [26] MCCLEMENTS D J. *Food emulsions: principles, practices, and techniques* [M]. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2005.
- [27] PATIL U, BENJAKUL S. Physical and textural properties of mayonnaise prepared using virgin coconut oil/fish oil blend [J]. *Food Biophys*, 2019, 14(3): 260 – 268.
- [28] 刘怡真, 马传国, 陈小威, 等. 凝胶剂对芝麻酱稳定性及感官特性的影响 [J]. *食品科学*, 2021, 42(22): 61 – 69.
- [29] TOKER O S, KARASU S, YILMAZ M T, et al. Three interval thixotropy test (3ITT) in food applications: a novel technique to determine structural regeneration of mayonnaise under different shear conditions [J]. *Food Res Int*, 2015, 70: 125 – 133.
- [30] LI A Q, GONG T, HOU Y J, et al. Alginate – stabilized thixotropic emulsion gels and their applications in fabrication of low – fat mayonnaise alternatives [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 146: 821 – 831.
- [31] GHOLAMIPOUR – SHIRAZI A, NORTON I T, MILLS T. Designing hydrocolloid based food – ink formulations for extrusion 3D printing [J]. *Food Hydrocolloid*, 2019, 95: 161 – 167.
- [32] HABASHI V, ELHAMIRAD A H, PEDRAMNIA A. Textural properties of low fat mayonnaise with whey protein concentrate and Tragacanth gum as egg and fat substitutes [J]. *Foods Raw Mater*, 2021, 9(1): 19 – 23.
- [33] 莫蓓红, 郑远荣, 高红艳, 等. 不同酸化剂对再制奶油干酪品质的影响 [J]. *食品研究与开发*, 2012, 33(1): 66 – 71.
- [34] 莫蓓红. 不同乳化盐及添加量对再制奶油奶酪品质的影响 [J]. *食品研究与开发*, 2013, 34(18): 36 – 41.
- [35] HANIFF M, YAHAYA S A, AZIZ N S, et al. Development of carotenoid – rich mayonnaise using Carotino oil [J/OL]. *J Food Process Pres*, 2020, 44(9): 14688[2022 – 05 – 16]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14688>.
- [36] TEKLEHAIMANOT W H, DUODU K G, EMMAMBUX M N. Maize and teff starches modified with stearic acid as potential fat replacer in low calorie mayonnaise – type emulsions [J]. *Starch – Stärke*, 2013, 65(9/10): 773 – 781.
- [37] LIU X, GUO J, WAN Z L, et al. Wheat gluten – stabilized high internal phase emulsions as mayonnaise replacers [J]. *Food Hydrocolloid*, 2018, 77: 168 – 175.