

抹竹和抹茶对戚风蛋糕糊流变学特性的影响

赵利平^{1,2}, 苗保军¹, 黄李成³, 孟智鹏³, 刘国琴^{3*}

(1. 广州酒家集团利口福食品有限公司, 广东广州 511442) (2. 广州酒家集团股份有限公司, 广东广州 510170) (3. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

摘要: 蛋糕糊的流变学特性是决定蛋糕品质的关键因素之一, 该研究以替代比为 (0%、5%、10%、15% 和 20%, m/m) 的抹竹和抹茶添加到戚风蛋糕糊中替代低筋小麦粉, 在增加膳食纤维的同时, 以期降低蛋糕中面筋蛋白的含量为面筋蛋白过敏的消费者提供更多的选择, 并通过流变仪研究不同替代比的抹竹和抹茶对蛋糕糊流变学特性的影响。结果表明在替代比为 0%~15% 范围内, 随着抹竹替代比的增加, 蛋糕糊粘度, 弹性模量 G' 和粘性模量 G'' 都呈现下降趋势, 此时糊中可以裹入更多的空气, 有利于糊的搅打和膨发; 而抹茶与抹竹相比其流变学性质的变化趋势截然相反, 随着抹茶替代比的增加, 蛋糕糊的粘度, G' 和 G'' 都随之升高, 当替代比为 5% 时, 其糊粘度是添加抹竹蛋糕糊的 2.28 倍, 这时对糊的流变学性质影响不大, 然而, 若替代比继续增加到 20% 时, 其糊粘度是抹竹的 133 倍, 这时糊中无法裹入空气, 糊硬度急剧增加导致膨发困难, 严重影响后期蛋糕的烘焙品质, 因此与抹茶相比, 抹竹不仅可以有更高的替代比, 还可以降低糊的粘度、减少膨发难度, 提高蛋糕品质。后期将进一步研究其结构和性质差异对烘焙品质的影响。

关键词: 抹竹; 抹茶; 蛋糕糊; 流变学特性; 影响

文章编号: 1673-9078(2025)06-226-232

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.6.1125

Effects of Matzhu and Matcha on the Rheological Properties of Chiffon Cake Batter

ZHAO Liping^{1,2}, MIAO Baojun¹, HUANG Licheng³, MENG Zhipeng³, LIU Guoqin^{3*}

(1. Guangzhou Restaurant Group Likoufu Food, Co. Ltd., Guangzhou 511442, China)

(2. Guangzhou Restaurant Group, Co. Ltd., Guangzhou 510170, China)

(3. College of Food Sciences and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Rheological properties of cake batter are critical determinants of final cake quality. Matzhu (bamboo leaf powder) and matcha were incorporated into chiffon cake batter at substitution ratios of 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% (m/m) to partially replace low-gluten wheat flour. This substitution increased dietary fiber content while reducing gluten protein content, offering more alternatives for consumers with gluten sensitivities. The results indicated that the viscosity, elastic modulus (G'), and viscous modulus (G'') of matzhu-substituted cake batters decreased as substitution ratios increased from 0% to 15%. This reduction enhanced air incorporation, facilitating batter expansion during whipping. In contrast, matcha

引文格式:

赵利平, 苗保军, 黄李成, 等. 抹竹和抹茶对戚风蛋糕糊流变学特性的影响[J]. 现代食品科技, 2025, 41(6): 226-232.

ZHAO Liping, MIAO Baojun, HUANG Licheng, et al. Effects of matzhu and matcha on the rheological properties of chiffon cake batter [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(6): 226-232.

收稿日期: 2024-08-02

基金项目: 广东省重点研发计划项目 (2019B020212001)

作者简介: 赵利平 (1971-), 男, 硕士, 经济师, 研究方向: 食品科学, E-mail: lkfkjxm@126.com

通讯作者: 刘国琴 (1962-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 油脂营养与安全研究, E-mail: guoqin@scut.edu.cn

exhibited the opposite effect on rheological properties. As the matcha substitution ratio increased, the viscosity, G' , and G'' of the batter increased. Specifically, at 5% substitution, the viscosity of matcha-substituted batter was 2.28 times that of matzhu-substituted batter, exerting minimal influence on rheological behavior. However, at 20% substitution, matcha-substituted batter exhibited a viscosity 133 times higher than that of matzhu-substituted batter, preventing air incorporation. Consequently, the batter hardened considerably, hindering expansion and negatively affecting the baking quality of the cake. Therefore, compared with matcha, matzhu allowed for a higher substitution ratio, while reducing batter viscosity, facilitating expansion, and improving cake quality. The effects of the structural and compositional differences of matzhu on baking quality will be investigated in future studies.

Key words: matzhu; matcha; cake batter; rheological properties; influence

戚风蛋糕以其色泽、口感等深受消费者喜爱。低筋小麦粉是戚风蛋糕的主要原料之一，但其淀粉含量高，长期食用会引起血糖、体质量的升高，严重时还会引发糖尿病和肥胖症^[1-3]，并且还会造成对面筋蛋白过敏者的伤害。因此，近年来，研究开发能替代低筋小麦粉，并且不影响烘焙品质的戚风蛋糕原料成为研究热点。

膳食纤维由于其可以被肠道微生物菌群酵解产生短链脂肪酸，促进肠道内有益菌群的增殖赋予了很强的保健作用，使其在功能食品中发挥着重要作用^[4,5]。但大量的研究表明，常见的一些膳食纤维添加到蛋糕中虽然能提高其保健功效，但同时也会对蛋糕的烘焙品质带来不利影响^[6,7]。如 Arora 等^[8]的研究中，将平菇粉添加到海绵蛋糕中会导致蛋糕比容、膨胀率的降低以及蛋糕糊比重和蛋糕硬度的增加。因此，探寻既有保健功效又不对戚风蛋糕的流变学性质产生影响的膳食纤维尤为重要。

众所周知，抹茶总膳食纤维含量一般 $\geq 50\%$ ，由于其赋予食品特有的颜色和口感在食品领域非常盛行，在众多配方食品中均有应用^[9]。抹竹是中国2022年新批的新资源食品原料，是抹茶潜在的替代品。与抹茶相比，抹竹的总膳食纤维含量更高，一般不低于60%，并且其色泽与抹茶相比更翠绿鲜艳，受热稳定性也更高，可将其作为一种天然、绿色、营养的食品功能配料添加到烘焙食品中也成为当今研究的热点^[10-12]。众所周知戚风蛋糕的品质既受原料配方的影响，也与蛋糕糊的流变学特性密切相关^[13]。因此，本研究以戚风蛋糕糊为研究对象，通过添加抹竹和抹茶替代低筋小麦粉，探究不同替代比对戚风蛋糕糊流变学特性影响的差异，为开发低面筋蛋白含量和高膳食纤维的戚风蛋糕奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 原材料

抹竹（食品级）、抹茶（一级抹茶），苏州荟萃源生物科技有限公司；低筋小麦粉，上海枫未实业有限公司；糖粉，东莞市宝象食品有限公司；鸡蛋、牛奶、玉米油均购买于当地超市。

1.2 实验仪器

ME802E 精密电子天平，梅特勒－托利多仪器；MARS60 哈克流变仪，美国 Thermo Fisher 公司；DF-101S 恒温水浴锅，巩义市予华仪器有限责任公司；TA.XT Express 质构仪，英国 Stable Micro Systems 公司。

1.3 方法

1.3.1 蛋糕糊的制备

表 1 空白组和实验组戚风蛋糕配方及用量
Table 1 Formula and dosage of chiffon cake in blank group and experimental group

组别	低筋小麦粉/g	糖粉/g	玉米油/g	牛奶/g	鸡蛋/g	抹竹/g	抹茶/g
Control	35	35	20	25	100	/	/
5% MZ	33.25	35	20	25	100	1.75	/
10% MZ	31.5	35	20	25	100	3.5	/
15% MZ	29.75	35	20	25	100	5.25	/
20% MZ	28	35	20	25	100	7	/
5% MC	33.25	35	20	25	100	/	1.75
10% MC	31.5	35	20	25	100	/	3.5
15% MC	29.75	35	20	25	100	/	5.25
20% MC	28	35	20	25	100	/	7

(1) 按上表配方准确称取低筋小麦粉与抹竹或抹茶混合均匀, 得到抹竹或抹茶混合粉, 并过 80 目筛备用;

(2) 按上表准确称取 20 g 植物油, 将步骤 (1) 得到的抹竹混合粉或抹茶混合粉与植物油混合均匀;

(3) 按上表准确称取 25 g 牛奶和 35 g 鸡蛋液 (蛋黄), 与步骤 (2) 所得面糊混合均匀, 得到均匀的蛋黄糊;

(4) 按配方准确称取 70 g 蛋清和 35 g 蔗糖, 打发蛋清至干性发泡状态时, 停止打发, 期间三等份加入蔗糖, 得到打发蛋清;

(5) 取 1/3 步骤 (4) 所得打发蛋清与步骤 (3) 所得蛋黄糊混合均匀, 随后将混合均匀的面糊与剩余的 2/3 蛋清混合均匀, 期间用刮刀由容器底部向上翻拌, 不可转圈搅拌, 以免蛋清消泡, 得到新鲜制备的蛋糕糊。

1.3.2 比重测定

取 50 mL 比重杯备用, 准确称量其净重, 然后用比重杯量取 50 mL 1.3.1.1 新鲜制备的蛋糕糊, 从而得到 50 mL 蛋糕糊的质量。同时测定 50 mL 水的质量, 由下面公式计算得到蛋糕糊比重, 每个样品平行测定 3 次, 取其平均值。

$$A = \frac{M_1}{M_0} \times 100\%$$

式中:

A——比重, %;

M₁——50 mL 蛋糕糊的质量, g;

M₀——50 mL 水的质量, g。

1.3.3 流变学行为测试

采用具有温度控制装置的哈克流变仪对蛋糕糊的流变学行为进行测试。

振幅扫描: 在进行流变学测试时, 需要通过振幅扫描来确定蛋糕糊的线性粘弹性区域 (LVR)。测试条件为: 恒定剪切频率 $f=1$ Hz, 平板直径为 60 mm, 间隙设置为 1 mm, 测试温度为 25 ℃, 选用 P60 探头。取适量蛋糕糊样品置于平板上, 应变扫描范围设置为 0.01% 到 100%, 测定对应的储能模量 (Storage Modulus, G') 与损耗模量 (Loss Modulus, G'') 的变化。

频率扫描: 在线性粘弹区域内, 测试条件为: 恒定的应变水平下, 应变 γ 设置为 0.1%, 平板直径为 60 mm, 间隙设置为 1 mm, 测试温度为 25 ℃, 选用 P60 探头。取适量蛋糕糊样品置于平板上测试得到

频率 f 在 0.1~100 Hz 之间 G' 与 G'' 随频率变化的曲线。

流动曲线: 测试条件为: 平板直径为 60 mm, 间隙设置为 1 mm, 测试温度为 25 ℃, 选用 P60 探头, 应变 γ 设置为 0.1%, 频率为 1 Hz。取适量 1.3.1.1 制备的蛋糕糊样品置于平板上, 剪切速率在 0.01~1 000 s⁻¹ 之间测定样品粘度 η 的变化, 并将得到的数据拟合到幂律方程中:

$$\eta = K \times \dot{\gamma}^{-n}$$

式中:

η ——表观粘度, Pa·s;

K——稠度指数, Pa·sn;

$\dot{\gamma}$ ——剪切速率, s⁻¹;

n——流动指数。

1.4 数据分析

所有实验平行进行三次, 实验数据用 Excel 统计计算, 表示为三次数据的平均值 ± 标准偏差。数据显著性分析利用 SPSS 软件中的 Duncan's 分析法, $P<0.05$ 表示差异显著, 图形绘制采用 Origin Pro 9.8.0.200。

2 结果与分析

2.1 抹竹和抹茶粉料特性的分析

2.1.1 抹竹和抹茶的主要成分对比

由表 2 可看出, 抹竹的总膳食纤维含量为 70.60%, 显著高于抹茶的 61.41%。另外, 抹竹的膳食纤维主要以不溶性膳食纤维为主, 占总膳食纤维的 97.21%, 而抹茶的不溶性膳食纤维仅占总膳食纤维的 49.08%, 这从侧面反映抹竹比抹茶对水分的保持能力更强, 这是因为不溶性膳食纤维结构中有多种功能基团, 如羟基、羧基、乙酰基等, 这些功能性基团有很强的亲水性、亲油性、膨胀性^[14]。

表 2 抹竹和抹茶的化学成分含量对比 (% , 干基)

Table 2 Comparison of chemical components content of Matzhu and Matcha (dry basis)

化学成分	抹竹	抹茶
总膳食纤维	70.60 ± 1.16 ^a	61.41 ± 0.87 ^b
可溶性膳食纤维	1.68 ± 0.03 ^b	31.65 ± 0.48 ^a
不溶性膳食纤维	68.63 ± 1.30 ^a	30.14 ± 0.15 ^b
总黄酮含量	2.56 ± 0.14	—
总酚含量	—	11.76 ± 0.24

注: 同一行中不同字母表示有显著性差异 ($P<0.05$); —表示未测定。下表同。

2.1.2 抹竹和抹茶的理化性质对比

表 3 抹竹和抹茶的持水率、持油率和膨胀率

Table3 Water-holding capacities, oil-holding capacities and swelling capacities of Matzhu and Matcha

样品名	持水率/(g/g)	持油率/(g/g)	膨胀率/(mL/g)
抹竹	2.50 ± 0.05 ^a	1.73 ± 0.01 ^a	4.02 ± 0.04 ^a
抹茶	2.30 ± 0.03 ^b	1.47 ± 0.04 ^b	3.48 ± 0.05 ^b

由表 3 可知，抹竹和抹茶的持水率分别为 2.50 g/g 和 2.30 g/g，膨胀率分别为 4.02 mL/g 和 3.48 mL/g。这表明抹竹和抹茶均具有良好的持水性和膨胀率，且抹竹的持水力和膨胀率明显高于抹茶，这是因为膳食纤维的持水力和膨胀力主要与不溶性膳食纤维表面积、表面亲水性基团、蜂窝状的多孔结构及密度有关，其可持水量一般为自身重量的 1.5~25 倍，而其持油力主要与膳食纤维的表面性质、电荷密度、厚度及纤维化学结构中的疏水基团数量以及不同组分之间相互交联形成的孔状结构有关^[15,16]。

2.2 蛋糕糊特性的分析

2.2.1 抹竹和抹茶对蛋糕糊比重的影响

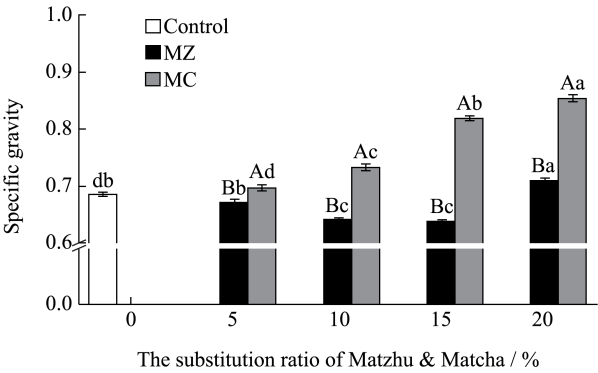


图 1 抹竹和抹茶对蛋糕糊比重的影响差异

Fig.1 Influence difference of Matzhu and Matcha on the specific gravity of cake batter

注：Control：空白组；MZ：抹竹；MC：抹茶。不同的大写字母表示组内有显著性差异 ($P<0.05$)，不同的小写字母表示组间有显著性差异 ($P<0.05$)。

由图 1 可知，相比于对照组，随着抹竹替代比的增加使得蛋糕糊的比重呈现先下降后上升的趋势，这是因为在替代比 $\leq 15\%$ 时，在蛋糕糊搅打过程更易裹挟空气使得蛋糕糊粘度降低，比重下降，但当抹竹的替代比达到 20% 时，蛋糕糊的粘度继

续降低稳定性下降，蛋糕糊无法保留空气，因而比重上升；而随着抹茶的添加蛋糕糊的比重随之上升，这是因为蛋黄糊的粘度增加使得蛋清中所裹挟的空气无法融入到蛋黄糊中，从而使得蛋糕糊的比重上升。还可以看出与抹茶相比，抹竹对蛋糕糊比重的影响更小，20% 抹竹替代组的蛋糕糊比重相对于对照组仅从 0.672 上升至 0.710，仅仅增加了 5.65%，而 20% 的抹茶替代组的蛋糕糊比重增加了 22.8%，这说明戚风蛋糕中不易过多添加抹茶，否则会使得蛋糕糊在后期烘烤过程中难以膨胀，影响蛋糕品质。抹竹更适宜高比例替代低筋小麦粉应用到戚风蛋糕湖中，这也是抹竹中的优势所在。

2.2.2 抹竹和抹茶对蛋糕糊流变学特性的影响对比

蛋糕糊的流变学特性是决定蛋糕品质关键指标之一，因为它与糊的粘度、比重以及糊内部的气泡数量及分布均有关系。研究不同替代比的抹竹和抹茶对蛋糕糊流变学特性的影响，有利于更好的预测戚风蛋糕的品质^[2,17]。

2.2.3 抹竹和抹茶添加对蛋糕糊流动曲线影响的比较

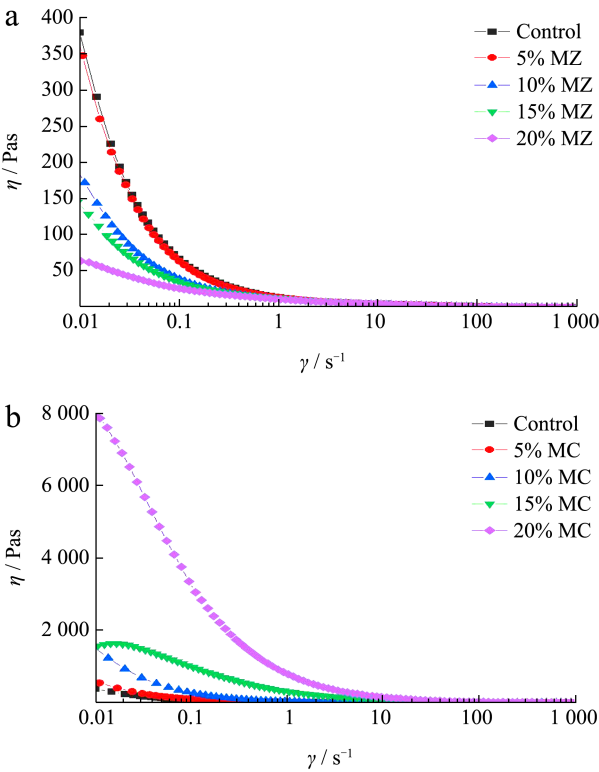


图 2 蛋糕糊的流动曲线

Fig.2 Flow curves of cake batter

注：(a) 抹竹；(b) 抹茶。图 4、5 同。

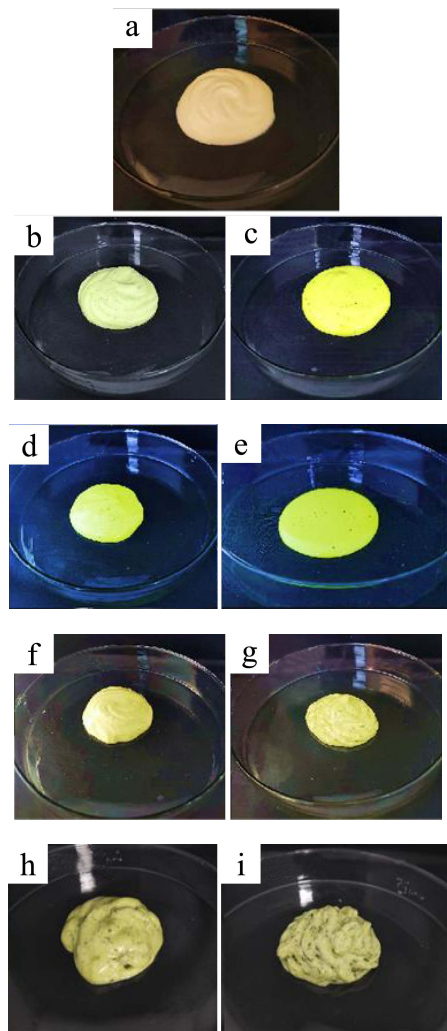


图 3 蛋糕糊的实物图

Fig.3 The physical images of cake batter

注：a 为 Control，b 为 5% MZ，c 为 10% MZ，d 为 15% MZ，e 为 20% MZ，f 为 5% MC，g 为 10% MC，h 为 15% MC，i 为 20% MC。

表 4 抹竹和抹茶对蛋糕糊流变学参数的影响

Table 4 Effects of Matzhu and Matcha on rheological parameters of chiffon cake batter

样品名	$K(\text{Pas}\cdot\text{s}^n)$	n	R^2
Control	1.220 ± 0.061^d	$0.605\ 0 \pm 0.007^d$	0.985\ 8
5% MZ	1.199 ± 0.073^c	$0.611\ 2 \pm 0.006^d$	0.986\ 8
10% MZ	1.074 ± 0.020^f	$0.565\ 4 \pm 0.002^c$	0.984\ 1
15% MZ	1.072 ± 0.052^f	$0.536\ 6 \pm 0.003^f$	0.980\ 7
20% MZ	0.972 ± 0.090^f	$0.484\ 5 \pm 0.005^g$	0.970\ 8
5% MC	1.294 ± 0.041^d	$0.636\ 5 \pm 0.003^c$	0.985\ 8
10% MC	1.515 ± 0.084^c	$0.690\ 2 \pm 0.004^b$	0.974\ 0
15% MC	2.316 ± 0.112^b	$0.691\ 0 \pm 0.001^b$	0.959\ 6
20% MC	2.648 ± 0.103^a	$0.705\ 4 \pm 0.006^a$	0.968\ 7

图 2 展现了在 25 ℃ 条件下抹竹和抹茶的添加蛋糕糊粘度随剪切速率变化的流动曲线。由图 2a 可看出，随着剪切速率的上升，添加抹竹的蛋糕糊的粘度随之下降，表现出剪切稀化，这说明添加抹竹的蛋糕糊和对照组一样均属于典型的非牛顿流体。另外从图 2a 可看出 5% 抹竹替代组蛋糕糊的初始粘度与对照组基本一致，均大于 350 Pas，10% 和 15% 替代组的初始粘度均低于 200 Pas，20% 替代组的初始粘度最小，这表明 5% 的抹竹替代不会对蛋糕糊的初始粘度造成显著的影响；10% 抹竹替代组和 15% 抹竹替代组的流动曲线相近，说明 10% 和 15% 的抹竹替代量对蛋糕糊的影响相近，而 20% 抹竹替代组蛋糕糊的初始粘度下降幅度过大，蛋糕糊的稳定性显著降低。而从图 2b 可看出抹茶对蛋糕糊的影响与与抹竹比有显著差异，添加抹竹的蛋糕糊的初始粘度随抹茶替代比的增加显著上升，任何一个替代比的抹茶都比添加抹竹的高，当替代比达到 20% 时，添加抹茶蛋糕糊的初始粘度是抹竹的 133 倍，这说明抹竹和抹茶对蛋糕糊粘度影响差异很大，这可能是蛋糕糊的粘度与其水分含量和空气裹挟量有关^[18]。由于添加抹茶的蛋糕糊在搅打过程中裹挟的空气的能力降低，因此其粘度过大^[19]。图 3 蛋糕糊的实物图也验证了上述结论。

将蛋糕糊的流动曲线参数拟合到幂律方程中，得到拟合曲线的稠度系数 K 和流动指数 n 。由表 4 可以看出，添加抹竹和抹茶的蛋糕糊的流动曲线均符合幂律方程模型（所有曲线的 R^2 在 0.959 6~0.986 8），流动指数 $n < 1$ ，这说明均属于非牛顿流体，因此表现出剪切变稀行为。由表 4 还可看出，相对于空白组，随着抹竹添加量的增加，抹竹替代组的流动指数 n 显著小于对照组，20% 抹竹替代组的 n 值比对照白低了约 20%，这表明当剪切速率增大时，抹竹的添加使得蛋糕糊的表现粘度下降得更明显，流动性更好。而抹茶替代组的流动指数 n 则随替代比的增加而逐渐增大，这说明抹茶的添加使得蛋糕糊的流动性更差。稠度系数 K 是反应流体粘性特性的指标，由表 4 可知，抹竹替代组的 K 值随着抹竹添加量的增加而下降，这是因为抹竹的添加破坏了蛋糕糊中维持糊结构的粘合剂^[20]面筋的网络结构所致。而抹茶替代组的 K 值随着抹茶添加量的增加而上升，20% 抹茶替代组的 n 值比对照组高了约 117%，这可能是由于抹茶的束水能力强，减少了蛋糕糊中的自由水，提高了稠度指数。

2.2.4 振幅扫描

振幅扫描可以获得蛋糕糊的线性粘弹性区域 (LVR), 通过比较弹性模量 G' 和粘性模量 G'' 在应变扫描范围内的变化关系可以确定蛋糕糊的变化情况^[21], 结果如图4所示。

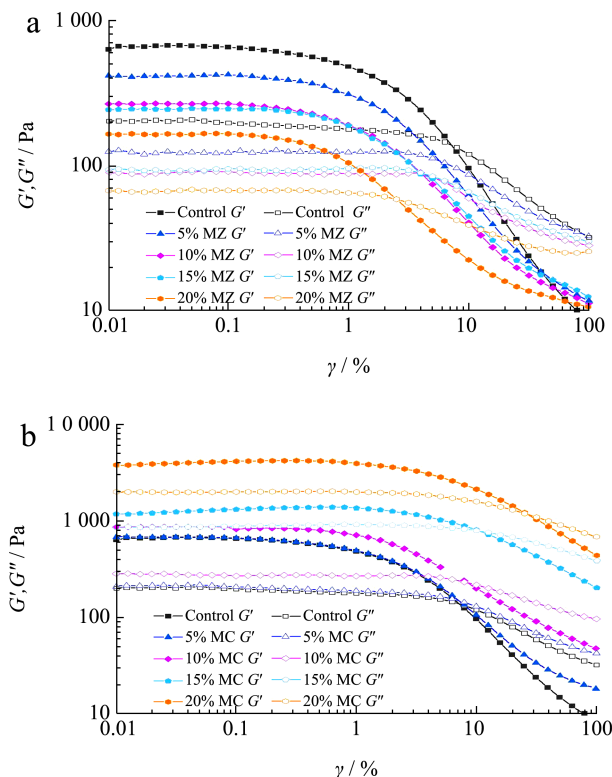


图4 蛋糕糊的应变扫描曲线

Fig.4 Strain sweep curves of cake batter

由图4可看出, 在振幅扫描中添加抹竹和抹茶的蛋糕糊的 G' 和 G'' 都随替代比的增加而变化, 但二者呈现截然相反的变化趋势, 从图4a可看出, 与对照组相比, 随抹竹替代比的增加其 G' 随之减少, 当抹竹替代比小于15%时, 其 G' 下降不到50%, 但如果继续增加到20%时, 其 G' 下降约166%, 由于粘弹性下降过多其结构坍塌不利于在搅打过程裹挟空气, 而从图4b可看出, 与对照组相比, 随抹茶替代比的增加其 G' 和 G'' 随之增加, 当抹茶替代比为5%时, 其 G' 增加约30%, 若继续增加替代比, 当替代比为20%时 G' 上升约350%, 这时的蛋糕糊类似固体, 无法裹挟空气。结合图3可看出, 抹竹的替代比为10%最好, 最大可达15%; 而抹茶的替代比5%最好, 最多不超过10%, 否则将影响后期膨发难度降低品质。

2.2.5 频率扫描

由图5可以看出, 不同替代比的抹竹和抹茶在

频率变化过程中对蛋糕糊的 G' 和 G'' 均有影响。与振幅扫描的结果相同, 相比于空白组, 10%、15%和20%替代比的抹竹添加显著降低了蛋糕糊的 G' , 而10%、15%和20%替代比的抹茶添加则使得蛋糕糊的 G' 显著增加。此外, 随着抹茶替代比的增加, 蛋糕糊的频率依赖性也随之降低, 15%和20%抹茶替代组的蛋糕糊在振动频率达到100 Hz时仍能保持粘弹性, 相比于空白组表现得更加稳定, 这也验证了流动曲线和振幅扫描所得的结果。随着扫描频率 f 的增加, 蛋糕糊的 G' 均有所增加, 表现出弹性特性, 这说明蛋糕糊内部的网络结构均由非共价键通过物理方式交联。损耗角正切 ($\tan\delta=G''/G'$) 表示所测物体中粘性和弹性的比例, 蛋糕糊的 $\tan\delta$ 始终小于1, 说明样品的弹性大于粘性, 且始终保持弱的频率依赖性, 这表明抹茶的添加使得蛋糕糊的性质更贴近于固体。

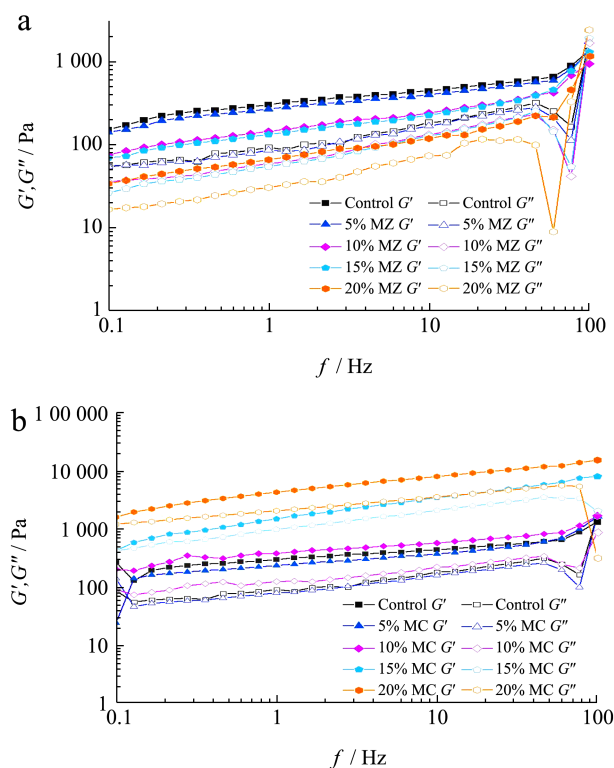


图5 蛋糕糊的频率扫描曲线

Fig.5 Frequency sweep curves of cake batter

3 结论

抹竹和抹茶的添加对蛋糕糊流变学性质影响很大。随着抹竹替代比的增加, 对照组相比糊的比重下降, 粘度降低, 在线性粘弹区范围进行频率扫描时, 其弹性模量和粘性模量也随之降低, 这些变化有利于蛋糕糊中裹入更多的空气, 从而降低膨发难

度,提高后期的烘焙品质,因此抹竹的替代比可以增大到15%;相反,随着抹茶替代比的增加,与对照组相比其糊比重增大、粘度上升,在线性粘弹区范围进行频率扫描时,其弹性模量和粘性模量也随之升高,不利于裹入更多的空气,增大糊的膨发难度,降低蛋糕的烘焙品质,因此抹茶的替代比不宜超过5%。这说明抹竹不仅比抹茶有更高的替代比,并且可以降低粘度和粘弹性,从而降低蛋糕糊的搅打和糊的膨发难度,提高烘烤品质。

参考文献

- [1] ZENG X, WANG M, CHEN L, et al. Impact of using whole chestnut flour as a substitute for cake flour on digestion, functional and storage properties of chiffon cake: A potential application study [J]. Food Chemistry, 2024, 432: 137016.
- [2] LIU Y, HUANG S, MENG T, et al. Effects of steam explosion on the nutritional and functional properties of black-grained wheat bran and its application [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2023, 103(4): 2175-2185.
- [3] HUANG Y, LI C, ZHENG S, et al. Influence of three modification methods on the structure, physicochemical, and functional properties of insoluble dietary fiber from *Rosa roxburghii* Tratt pomace [J]. Molecules, 2024, 29(9): 2111.
- [4] KHORASANIHA R, OLOF H, VOISIN A, et al. Diversity of fibers in common foods: key to advancing dietary research [J]. Food Hydrocolloids, 2023, 139: 108495.
- [5] LI L, YAN S, LIU S, et al. In-depth insight into correlations between gut microbiota and dietary fiber elucidates a dietary causal relationship with host health [J]. Food Research International, 2023, 172: 113133.
- [6] 裴丽娜,罗登林,李佩艳,等.改性膳食纤维在面制品中的应用研究进展[J].食品与机械,2024,40(2):221-226.
- [7] 翟会生,李俏,刘廷辉,等.青稞蒸蛋糕与小麦蒸蛋糕的品质差异[J].应用与环境生物学报,2022,28(4):982-988.
- [8] ARORA B, SHWET K, VED P S. Sensory, nutritional and quality attributes of sponge cake supplemented with mushroom (*Agaricus bisporus*) powder [J]. Nutrition and Food Science, 2017, 47(4): 578-590.
- [9] YE J H, FANG Q T, ZENG L, et al. A comprehensive review of matcha: production, food application, potential health benefits, and gastrointestinal fate of main phenolics [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2024, 64(22): 7959-7980.
- [10] 付诗尧.抹竹的研究与开发[D].杭州:浙江大学,2018.
- [11] 黄李成.抹竹对戚风蛋糕品质和储藏稳定性的影响及机理研究[D].广州:华南理工大学,2023.
- [12] 付诗尧,陈亮,张艳雯,等.抹竹在食品工业中的应用研究[J].食品与生物技术学报,2019,38(8):60-70.
- [13] RUAN Z, ZHANG C, SUN-WATERHOUSE D, et al. Chiffon cakes made using wheat flour with/without substitution by highland barley powder or mung bean flour: correlations among ingredient heat absorption enthalpy, batter rheology, and cake porosity [J]. Food and Bioprocess Technology, 2019, 12(7): 1232-1243.
- [14] ZAFAR M N, ASLAM I, NADEEM R, et al. Characterization of chemically modified biosorbents from rice bran for biosorption of Ni(II) [J]. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2015, 46: 82-88.
- [15] ELLEUCH M, BEDIGIAN D, ROISEUX O, et al. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: a review [J]. Food Chemistry, 2011, 124(2): 411-421.
- [16] ABBASZADEH F, AALAMI M, KADKHODAEI R, et al. Effect of pickering emulsion stabilized by soy protein nanoparticles on physical and rheological properties of gluten-free cake batter [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2023, 2023(1): 3348944.
- [17] MA Y, XU D, XU X. The effect of wheat flour treated with superheated steam on the microstructure and rheological behaviors of batter and cake quality [J]. Journal of Food Process Engineering, 2023, 46(3): e14273.
- [18] 孙梦.大米淀粉-甘油单棕榈酸酯复合物的制备及其对米蛋糕品质的影响[D].哈尔滨:哈尔滨商业大学,2024.
- [19] 马永帅.小麦粉过热蒸汽处理对蛋糕品质的影响及其机理研究[D].无锡:江南大学,2023.
- [20] WILDERJANS E, LUYTS A, BRIJS K, et al. Ingredient functionality in batter type cake making [J]. Trends in Food Science & Technology, 2013, 30(1): 6-15.
- [21] WEI X, REN G, LIU W, et al. Effects of component ratios on the properties of sweet potato-oat composite dough and the quality of its steamed cake [J]. Journal of Food Science, 2024, 89(6): 3248-3259.