

不同乳化剂在中日两国面粉重油蛋糕面糊体系中的比较研究

Comparative research on different emulsifiers in Chinese and Japanese flour based pound cake batter systems

王凤^{1,2}, 陈诚¹, 杨紫璇¹, 郝月慧², 金卫泽², 陈军民², 黄卫宁¹, 小川晃弘³

(1. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏无锡 214122;

2. 无锡麦吉贝可生物食品有限公司, 江苏无锡 214131;

3. 三菱化学食品株式会社, 日本东京 100-8251)

WANG Feng^{1,2}, CHEN Cheng¹, YANG Zi-xuan¹, HAO Yue-hui², JIN Wei-ze²,

CHEN Jun-min², HUANG Wei-ning¹, Akihiro Ogawa³

(1. State Key of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. MagiBake International Co., Ltd., Wuxi 214131, China;

3. Mitsubishi-Kagaku Foods Corporation, Tokyo 100-8251, Japan)

摘要: 探究使用 MFC-68 (5%、7.5%、10%) 和 SP (5%) 两种乳化剂对中国和日本两国面粉的面糊流变学特性、面糊气泡分布、烘焙学特性以及热力学特性的影响, 并对蛋糕进行感官评定测试。结果表明: 添加 10% MFC 的蛋糕面糊比重变化最大, 随着 MFC 的添加量的增加, 蛋糕的比容出现了明显的上升。MFC 面糊的气泡分布更加均匀, 乳化体系有很好的稳定性。当 MFC 产品的添加量达到了 7.5% 的时候, 其产品的硬度和添加了 5% 的 SP 的蛋糕的产品的硬度相似。含有 10% MFC 的重油蛋糕有最佳的感官品质以及最佳的抗老化效果。相比于日本面粉, 使用中国面粉作为面糊基质的蛋糕老化速率更低。

关键词: 乳化剂, MFC, 面糊流变学特性, 蛋糕烘焙

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31071595, 31571877); 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 项目 (2012AA022207C); 江苏省产学研联合创新基金——前瞻性联合研究项目 (BY2014023-16); 苏州市科技支撑计划项目 (SNG201401)

烘焙食品是全世界的主流食品^[1], 其中蛋糕类产品在烘焙食品行业具有举足轻重的地位^[2-5]。同时, 传统的重油蛋糕产品因为口感风味俱佳, 色泽诱人, 从而深受消费者喜爱^[6]。

从胶体化学的角度, 蛋糕面糊是一种典型的水油气三相乳化体系^[7]。乳化剂在蛋糕起泡过程中起着至关重要的作用, 可以为蛋糕面糊提供必须的通气性和气泡的稳定性, 直到蛋糕烘烤定型阶段^[8-9]。工业上 SP 作为常用的复配乳化剂, 通过改善乳化体系的三相界面特性从而增加面糊起泡性和稳定性, 这样不仅可以缩短起泡时间, 也能减少鸡蛋用量^[10-16]。近年来, 开始受到工业界欢迎的以蔗糖酯作为主要组分的 MFC 是一种新型的高效复配乳化剂, 但还没有看到关于其在蛋糕体系中的系统的应用研究。

使用不同类型的面粉会影响重油蛋糕面糊体系的特性, 但是关于中日两国的面粉在不同蛋糕体系中的系统研究未见报道。因此, 本文系统比较研究了不同乳化剂和中日两国面粉

对重油蛋糕体系的烘焙和流变学特性等性质的影响, 探讨包括蛋糕的质构、流变、气泡分布、损失率和风味以及蛋糕的老化参数等, 为现代烘焙食品工业应用提供了基础理论信息。

1. 材料和方法

1.1 材料与试剂

新鲜鸡蛋, 白砂糖, 盐, 奶粉, 麦芽糖浆均购自无锡本地市场。商业日本面粉 J 是由合作公司提供, 美玫牌中国面粉 II, 购自香港面粉有限公司 (中国深圳), 粗蛋白含量 8.2%。好运黄油购自东海粮油公司 (ADM 合资公司, 张家港, 中国)。泡打粉购自天富 (中国) 食品添加剂有限公司 (徐州, 中国)。实验用试剂均为分析纯。RTOYO 菱友 MFC-68, 新型蛋糕起泡乳化剂由三菱化学食品株式会社合作提供。早苗 SP 购自早苗有限公司 (上海, 中国)。

1.2 主要仪器和设备

5K5SS 搅拌机: 美国厨宝 Kitchen Aid; AR-G2 旋转流变

仪：美国 TA 仪器公司；烤箱 (SM-503+1S)、切片机 (SM-302N)；新麦机械 (无锡) 有限公司；Brookfield CT3 质构分析仪 (Brookfileld 工程实验室, 斯托顿, 马萨诸塞州, 美国)；JY20002 电子天平：上海良平仪器有限公司；Pyrissi 差示扫描量热仪 (DSC)；美国 PerkinElmer 公司；Motic 显微镜照相仪；麦克奥迪实业集团有限公司。

1.3 方法

1.3.1 重油蛋糕配方

重油蛋糕的配方如下所示 (表格 1)

表 1 重油蛋糕配

原料(g)	空白	*5% SP	5% MFC	7.5% MFC	10% MFC
鲜鸡蛋	100	100	100	100	100
蔗糖	80	80	80	80	80
SP/MFC	0	5	5	7.5	10
麦芽糖浆	20	20	20	20	20
水	10	10	10	10	10
黄油	80	80	80	80	90
面粉	100	100	100	100	100
奶粉	10	10	10	10	10
盐	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
泡打粉	1	1	1	1	1

*5%SP, 5%MFC, 7.5%MFC, 10%MFC=蛋糕中5%SP, 5%MFC, 7.5%MFC, 10% (w/w, 基于小麦粉的重量) MFC的含量。

1.3.2 重油蛋糕制备

首先, 新鲜鸡蛋倒入搅拌缸中, 采用搅拌设备和打蛋器将鸡蛋打匀 (K5SS, KitchenAid), 采用的速度为 4 档, 时间为 30s。将蔗糖, SP/MFC, 麦芽糖浆, 水混合添加到搅拌缸中, 采用 2 档的速度, 混匀 3min。然后将人造黄油融化之后, 加入到搅拌缸中, 其速度为 4 档, 时间为 2min。加入过筛之后的小麦粉, 奶粉以及泡打粉, 搅拌均匀之后, 采用快速打发, 添加 SP 的产品打发时间为 5min, 添加 MFC-68 的蛋糕面糊则需要 4min。将蛋糕面糊 (150g) 倒入到预先准备好的烤盘中, 将蛋糕面糊铺平, 放入已经预热的烤箱。烘焙条件为 180℃, 40min。经过烘焙后, 立即从烤箱中取出, 室温放凉, 放凉时间为 2h。最后将产品放在聚丙烯袋子进行保鲜实验。保鲜实验为在 25℃ 的情况下为 7 天。以上实验均为一式三份。

1.3.3 重油蛋糕面糊比重

取一个比重杯, 称重, 质量记为 W_0 ; 在比重杯中装满蒸馏水质量记为 W_1 ; 在比重杯中装满面糊质量记为 W_2 , 蒸馏水比重为 $1\text{g} / \text{cm}^3$, 按下式计算面糊比重^[6]。

$$SG = (W_2 - W_1) / (W_1 - W_0)$$

1.3.4 蛋糕流变特性

取适量新鲜制备的面糊在 25℃ 条件下用流变仪测定面糊流变特性。平板直径选用 40mm, 夹缝距离为 1mm。样品的剪切速率在 5min 内从 0.01s^{-1} 线性增加到 100s^{-1} ^[6]。

1.3.5 面糊气泡分布

将搅拌好的面糊分别 60℃ 水浴静置 0 min、10 min 和 30 min, 采用带有拍摄功能的光学显微镜观察面糊气泡分布, 将面糊置于载玻片上。在 $\times 4$ 放大倍数下, 观察气泡分布。调节焦距视野亮度及位置, 对面糊的微观结构进行观测并拍摄。

1.3.6 重油蛋糕的物理特性

1.3.6.1 蛋糕的水分含量

蛋糕水分含量通过 AACC 方法 44-40 (2010) 进行测量^[27]。

1.3.6.2 蛋糕的比容

蛋糕的体积和质量分别采用了菜籽替代法以及电子天平进行测量。蛋糕的比容可以通过蛋糕的体积和质量进行计算。^[6]

1.3.6.3 蛋糕损失率

蛋糕的损失率根据以下的公式进行计算。

1.3.6.4 蛋糕芯结构和截面高度

将蛋糕切片, 用量尺测量每组蛋糕截面的最大高度。实验采用一式三份进行测定。

1.3.7 蛋糕质构分析

蛋糕瓤的质构分析采用的是 Brookfield CT3 质构分析仪 (Brookfield 工程实验室, 斯托顿, 马萨诸塞州, 美国)。其中实验使用的探头为 25mm 的圆柱形探头进行全质构分析, 采用双重压缩的测试过程, 测试速度为 3mm/s, 下压程度为 8mm。两次压缩之间的时间间隔为 10s。蛋糕的硬度可以通过全质构图像进行计算。为了精确测定蛋糕的质构, 将两片蛋糕进行重叠形成蛋糕组合, 蛋糕组合的厚度为 2.2cm。实验采用一式三份进行测定。

1.3.8 蛋糕老化分析

采用 DSC 研究不同乳化剂对蛋糕老化性质的影响。将蛋糕置于 4℃ 恒温冷藏冰箱中进行储藏, 7 天以后, 取蛋糕芯约 16.0 mg 左右, 用坩埚密封后进行测定。以空坩埚作为空白进行测试。实验测试条件为: 扫描温度范围 20℃ ~ 120℃, 扫描速率为 10℃ / min, 实验记录老化焓值 ΔH ^[17]。

1.3.9 蛋糕感官评价

采用了由江南大学食品科学与工程专业的 10 位经验丰富的感官评定人员 (之前经过训练的用于感官评定的人员) 对蛋糕的品质进行产品的感官评定。感官评定评分标准如下。湿润程度: 1= 干燥, 5= 湿润; 柔软度: 1= 十分坚硬, 5= 十分柔软; 口感: 1= 十分粗糙, 5= 十分滑腻, 可以融化在口中; 体积: 1= 很小, 5= 很大。蛋糕在经过了室温 ($25 \pm 1^\circ\text{C}$) 的储存之后, 将蛋糕分成多块, 每个人一片, 每个蛋糕片都被标有随机的三位数字代码。

1.3.10 统计分析

数据的统计分析采用是 Microsoft Office Excel 2007, 通过 Microsoft Office Excel 2007 对数据的平均值, 标准差进行分析 (微软公司, Redmond, WA)。

2. 结果与讨论

2.1 乳化剂对蛋糕面糊的比重影响

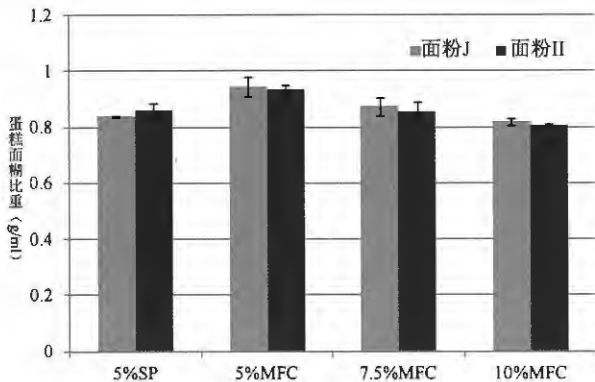


图1 乳化剂 (SP 和 MFC) 对重油蛋糕比重的影响

面糊比重是蛋糕的重要物理特性之一。面糊比重大小受到鸡蛋液黏度和鸡蛋液表面张力的影响, 它代表了搅拌过程中混入面糊中气泡的保存率。从图1可以看出添加了 SP/MFC 会降低蛋糕面糊的比重。随着 MFC 的含量的增加, 蛋糕面糊的比重减小, 添加 10% 的 MFC 的蛋糕面糊有最小的产品比重, 其中使用日本面粉 J 的面糊比重为 0.82, 中国面粉制作的蛋糕面糊的比重为 0.81。用日本面粉和中国面粉打发的面糊之间的比重差异并不明显, 基本持平。同等添加量 5% 的条件下, 用 MFC 乳化剂打发的面糊比重高于用 SP 乳化剂打发的面糊比重。在其他的研究中, 实验也发现随着乳化剂的含量的增加, 面糊的比重会出现下降的趋势^[18]。

2.2 面糊流变学测定

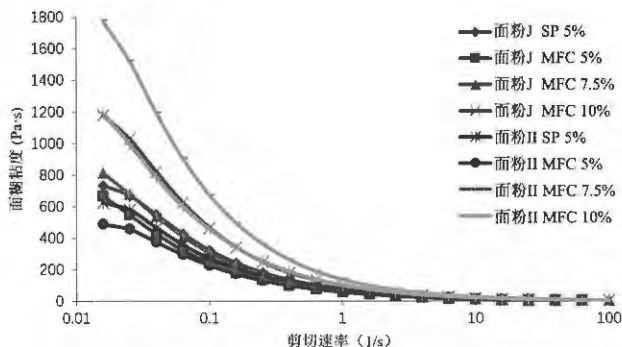


图2 乳化剂 (SP 和 MFC) 和中日两国面粉对面糊黏度的影响

面糊黏度会影响面糊搅打过程中气体的融入量和搅打完成后气泡的移动和融合, 所以对最终蛋糕品质起到了关键性作用。在蛋糕制作中, 较高的面糊黏度十分重要, 因为当面糊的黏度较大时, 气泡的扩散和迁移较慢。其他研究人员也发现, 乳化剂的加入会显著的影响面糊黏度 [19,20]。较低的剪切的速率时, 面糊剪切变稀。这和其他研究的结果也是类似 [21-24]。

在中国面粉体系中 MFC 添加量为 10% 时, 面糊的黏度是最大的, 而且显著性地增加; MFC 添加量为 5% 时黏度是最小的。SP 添加量为 5% 时的面糊黏度要大于 MFC 添加量为 5% 的面糊黏度。SP 添加量为 5% 时的面糊黏度和 MFC 添加量为 7.5% 时的面糊黏度类似。在日本面粉体系中 MFC 添加量为 10% 时, 面糊的黏度是最大的, 而且随着 MFC 添加量增加显著性地增加, MFC 添加量为 5% 时黏度最小。SP 添加量为 5% 时的黏度要大于 MFC 添加量为 5% 时的黏度。总体趋势和中国面粉一致。但 MFC 在日本面粉中的效果优于中国面粉。

2.3 面糊气泡分布

面糊微观结构主要是指面糊中气泡的数量和大小分布的均匀性。气泡是蛋糕面糊的重要组成部分, 通过对面糊中气泡的分布、平均大小以及其大小的一致性可以对面糊的品质特性进行判定。[25] 面糊微观结构的变化则可以反映面糊中气泡的稳定性。

2.3.1 乳化剂对中国面粉蛋糕面糊气泡分布的影响

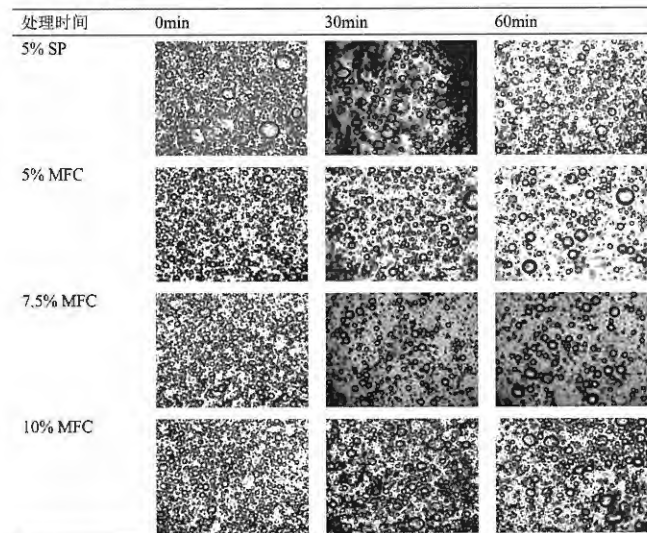


图3 乳化剂对中国面粉蛋糕面糊气泡分布的影响

在中国面粉的面糊中, 随着 MFC 添加量的增加, 气泡更加致密, 气泡数量也不断增加。实验结果表明, 随着 MFC 添加量的增加, 面糊体系的稳定性越强。而且随着加热时间延长,

添加较多 MFC 的面糊气泡减少的较少。添加了 5%SP 乳化剂的面糊中大气泡比较 MFC5% 更明显一些,而且在经过水浴处理后,蛋糕面糊气泡数量急剧下降,在水浴 60min 后气泡已经基本消失。而在 MFC 添加的三组中在水浴 30min 和水浴 60min 两组中面糊气泡数量没有很大差别,说明 MFC 乳化剂在中国面粉中形成的面糊具有较好的稳定性。

2.3.2 乳化剂对日本面粉蛋糕面糊气泡分布的影响

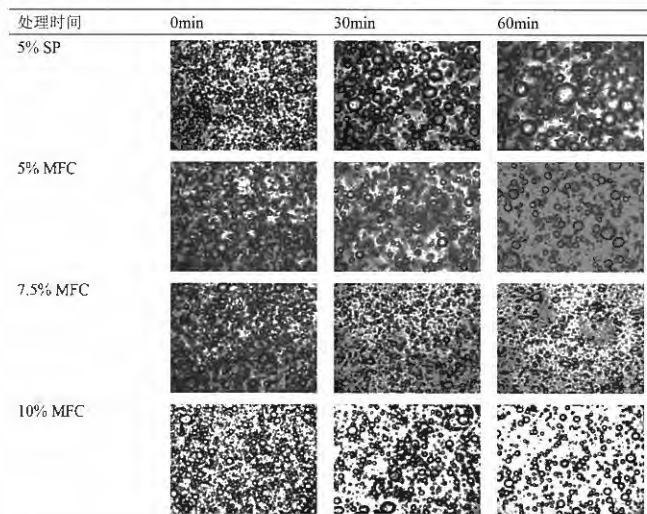


图 4 乳化剂对日本面粉蛋糕面糊气泡分布的影响

在日本面粉的试验中,实验的结果类似。但是添加了 5%SP 乳化剂的含有中国面粉的面糊稳定性较好。在采用日本面粉的面糊中,经过加热之后大气泡非常明显,说明 SP 并不适合日本面粉体系。在加热过程中,采用 10%MFC 的面糊气泡减少,气泡的大小变化不明了,气泡没有明显的增大趋势。MFC 在日本面粉中的效果非常好,气泡较小,而且 30min 到 60min 气泡数量基本保持不变。关于随着乳化剂添加量的增加,会使得产品的稳定性和起泡性提高,与之前的研究人员得到的结果相类似^[18]。

2.4 蛋糕面糊的物理特性

2.4.1 乳化剂对蛋糕水分含量影响

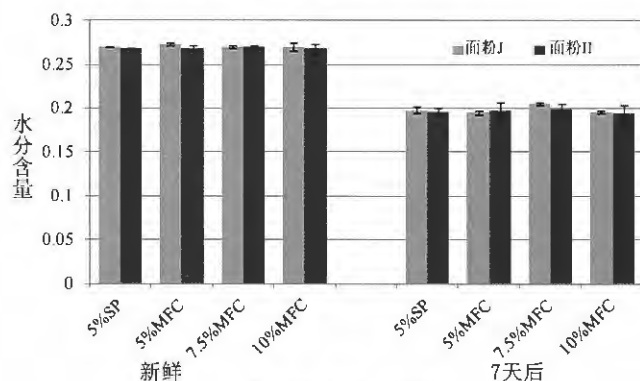


图 5 乳化剂对蛋糕的水分含量的影响

蛋糕在储藏期间的老化速率与蛋糕内水分含量的变化密切相关。在图 5 中,添加了 MFC 或者 SP 的产品,不管是添加了日本面粉还是中国面粉的产品均没有表现出明显的差异。在经过了 7 天的保存之后,所有样品的水分含量均发生了下降,但个体间的差异并不大。

2.4.2 乳化剂对蛋糕比容影响

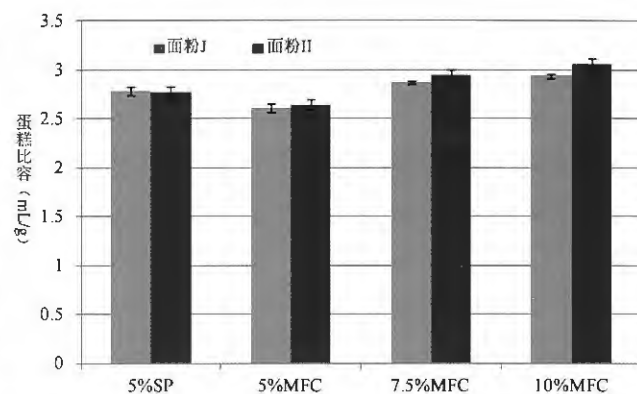


图 6 乳化剂对重油蛋糕的比容的影响

乳化剂的加入会增加重油蛋糕产品的体积。乳化剂有助于面糊搅拌过程中产生的气泡稳定性增加,因此对蛋糕比容有正面影响。对于两种不同的面粉来说,当 MFC 的添加量达到了 7.5% 的时候,蛋糕比容已经和添加 SP 组的蛋糕比容类似。随着 MFC 添加量的增加,蛋糕比容明显增加,添加 10%MFC 的蛋糕比容最大。日本面粉组的蛋糕的比容达到了 2.94mL/g,中国面粉组的蛋糕的比容则为 3.06mL/g。

2.5 乳化剂对蛋糕损失率的影响

	损失率%			
	5%SP	5%MFC	7.5%MFC	10%MFC
面粉 I	9.84±0.01 ^b	10.16±0.03 ^b	8.82±0.02 ^a	8.08±0.01 ^a
面粉 II	8.69±0.04 ^b	7.88±0.00 ^a	8.00±0.03 ^a	8.62±0.03 ^b

表 2 乳化剂对重油蛋糕损失率的影响

蛋糕在烘焙过程中损失的重量主要集中在水分部分,当烘烤条件相同时,蛋糕的烘焙损失率主要受到面糊持水性、面糊体系中的气-水界面面积的影响。使用中国面粉的蛋糕损失率随着 MFC 的加入而减少,添加量为 10%MFC 为最佳效果。5%SP 组的损失率介于 5%MFC 和 7.5%MFC 的损失率之间。使用日本面粉的蛋糕损失率随着 MFC 的加入反而增加了,但总体差异不大。除 10%MFC 组外,同样的乳化剂添加量在日本面粉中的损失率比在中国面粉中的损失率更小。

2.6 蛋糕芯结构和截面高度分析

2.6.1 乳化剂对蛋糕芯结构影响

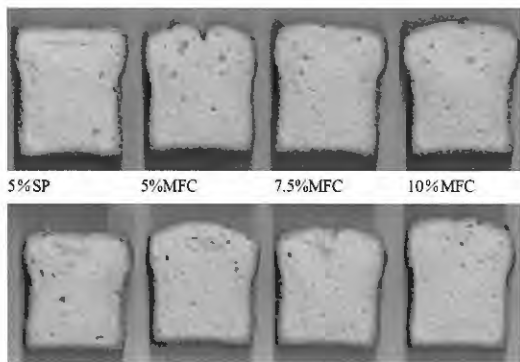


图7 重油蛋糕图

图7展示了含有乳化剂和空白组的蛋糕截面图。添加较高含量MFC的蛋糕结构更加精细，同时蛋糕体积更大。从蛋糕芯结构来看，MFC在中国面粉中形成的孔洞结构更加细密均匀，出现大气泡的情况很少。这说明MFC在中国面粉中面糊的乳化更加完全稳定。

	截面高度 cm			
	5%SP	5%MFC	7.5%MFC	10%MFC
面粉 J	6.34±0.04 ^b	5.73±0.01 ^a	6.54±0.03 ^b	6.71±0.05 ^c
面粉 II	5.30±0.04 ^a	5.31±0.05 ^a	5.44±0.02 ^b	5.62±0.07 ^c

表3 乳化剂对重油蛋糕截面高度的影响

采用中国面粉的蛋糕高度随着MFC的增加而增加，5%SP和5%MFC的截面高度几乎一样。在日本面粉组中，蛋糕的高度也随着MFC添加量增加而增加，含有5%SP的蛋糕截面高度比含有5%MFC的截面高度高。同样的乳化剂添加量的情况下，使用日本面粉的蛋糕截面高度比使用中国面粉的蛋糕截面高度高1cm。

2.7 蛋糕质构分析

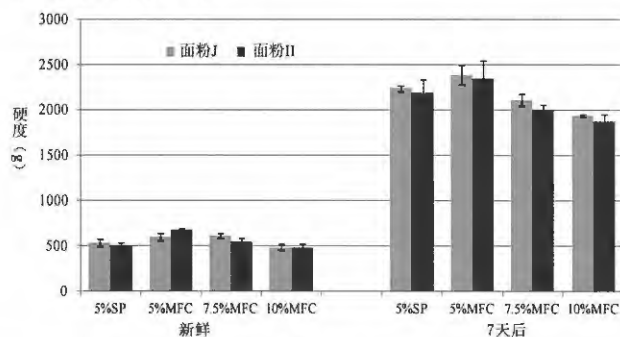


图8 乳化剂对蛋糕的硬度的影响

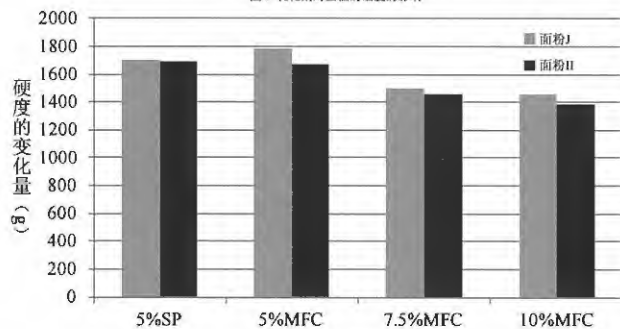


图9 7天之后蛋糕的硬度的增加量

图8展示了蛋糕在0天和在7天时的蛋糕产品的硬度。对于这两种不同产地的面粉来看，当MFC的添加量为7.5%的蛋糕硬度和添加了5%的SP的蛋糕硬度类似。添加量为10%的MFC的产品硬度最小。随着储藏时间的增加，蛋糕发生老化，导致了蛋糕硬度大幅增加[26]。添加乳化剂可以减缓蛋糕老化。当乳化剂添加量相同的时候，使用不同面粉的产品老化程度没有明显差异。图9展示了7天之后的硬度增加量，MFC添加量在较高的水平的情况下，蛋糕变硬的速率有一定程度的减小。

2.8 蛋糕的老化分析

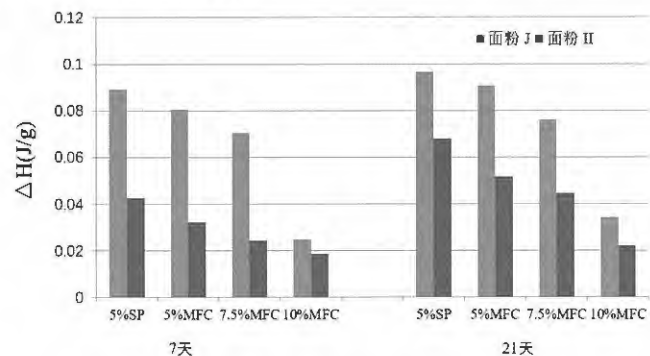


图10 乳化剂对重油蛋糕老化焓值的影响

添加5%SP乳化剂的蛋糕比空白组的蛋糕抗老化效果好，添加5%SP的蛋糕在储存7天时老化焓值是添加5%MFC的蛋糕2倍。说明MFC的抗老化效果比SP的抗老化效果更加显著。随着MFC添加量增加，老化焓显著减小，说明抗老化效果与添加量成正相关，10%MFC添加量的实验组有最好的抗老化效果。储藏期从一周到三周，老化焓显著增加。随着储藏时间增加延长，在中国面粉中添加5%SP的蛋糕老化焓增量最大。采用日本面粉的蛋糕老化焓值明显高于使用中国面粉的蛋糕。

2.9 感官评

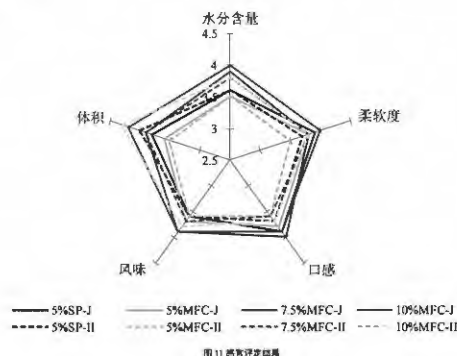


图11 感官评定结果

相比于添加了5%的SP蛋糕，添加了5%MFC产品的多方面得分更低(其中包括水分含量，柔软程度，口感，体积)。

但是添加了7.5%MFC的产品具有可比性,甚至部分得分更高。添加了10%MFC的产品品质最佳。

3. 结论

从面糊流变学特性的研究结果表明,SP和MFC的加入均可以显著降低蛋糕面糊比重,添加量为10%的MFC蛋糕比重最小。随着MFC使用量的增加,面糊黏度随之增加,使用量为10%时面糊黏度达到最大。相比于中国面粉,使用日本面粉作为基质的面糊黏度较高。

面糊显微结构研究结果表明添加MFC的面糊气泡分布更加均匀,气泡变化较小,乳化体系稳定性较好。而含有SP的面糊的乳化体系稳定性较差。

蛋糕烘焙特性的研究表明,随着MFC使用量的增加,蛋糕比体积随之增加。无论在新鲜时和7天保存之后,含有10%MFC的蛋糕的硬度和老化焓值较小,因此其抗老化效果优于含有5%的SP蛋糕,同时具有较高的感官评定得分。

4. 致谢

作者感谢日本三菱化学食品有限公司的国际合作项目并感谢小川晃弘博士及其团队的积极参与学术交流和指导。

参考文献

- [1] 陈洁, 孙定红. 蛋糕油的制作及其稳定性的研究[J]. 食品工业科技, 2004(6):137-139.
- [2] Jia C, Huang W, Ji L, et al. Improvement of hydrocolloid characteristics added to angel food cake by modifying the thermal and physical properties of frozen batter[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 41(20):227 - 232.
- [3] 贾春利, 汤晓娟, 黄卫宁, 等. 冷冻蛋糕的微波烘焙技术特性[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(4):62-66.
- [4] 郝月慧, 汤晓娟, 黄卫宁, 等. 糖醇对鸡蛋液功能特性及无糖海绵蛋糕烘焙品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(3):49-53.
- [5] 贾春利, 汤晓娟, 黄卫宁, 等. 羧甲基纤维素改善冷冻蛋糕体系热力学与烘焙特性研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(16):327-331.
- [6] 汤晓娟, 王凤, 贾春利, 等. 含Olestra低脂休闲蛋糕体系的流变学、微结构与烘焙特性[J]. 食品科学, 2013, 34(1):1-7.
- [7] Sakiyan O, Sumnu G, Sahin S, et al. Influence of fat content and emulsifier type on the rheological properties of cake batter[J]. European Food Research & Technology, 2004, 219(6):635-638.
- [8] Rodr í guez-Garc í a J, Sahi S S, Hernando I. Functionality of lipase and emulsifiers in low-fat cakes with inulin[J]. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 2014, 58(1):173-182.
- [9] Prabhasankar P, Rajiv J, Indrani D, et al. Cake composition with an emulsifier: US, US20060286278[P]. 2006.
- [10] 宫艳艳, 徐学明. 酵母 β -葡聚糖脂肪替代品在重油蛋糕中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(12):40-43.

- [11] 邢明, 王展, 舒腾飞, 等. 燕麦淀粉为基质的脂肪替代品在重油蛋糕中的应用[J]. 食品科学, 2012(1):49-53.
- [12] 朱丹实, 刘贺, 徐学明. 以桔皮果胶为基质的脂肪替代品在重油蛋糕中的应用[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(5):73-77.
- [13] 王春艳, 钟耕. 海绵蛋糕复合乳化剂研究[J]. 粮食与油脂, 2006(5):9-11.
- [14] 杨铭铨, 孙兆远, 侯会绒, 等. 几种乳化剂对小麦粉品质特性影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(11):17-21.
- [15] 王耀鑫, 赵仁勇, 崔言开, 等. 乳化剂对夹层蛋糕坯质地的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2015, 36(3):39-44.
- [16] Massey A H, Khare A S, Niranjani K. Air Inclusion Into a Model Cake Batter Using a Pressure Whisk: Development of Gas Hold-up and Bubble Size Distribution[J]. Journal of Food Science, 2001, 66(6):1152-1157.
- [17] 郝月慧, 贾春利, 王凤, 等. 三种糖醇对海绵蛋糕面糊流变学、热力学及烘焙特性影响的比较研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(6):298-302.
- [18] Chesterton A K S, Abreu D A P D, Moggridge G D, et al. Evolution of cake batter bubble structure and rheology during planetary mixing[J]. Food & Bioproducts Processing, 2013, 91(3):192-206.
- [19] Hancock B C, Zografis G. Characteristics and significance of the amorphous state in pharmaceutical systems.[J]. Journal of Pharmaceutical Sciences, 1997, 86(1):1-12.
- [20] Lakshminarayan S M, Rathinam V, Krishnarau L. Effect of maltodextrin and emulsifiers on the viscosity of cake batter and on the quality of cakes[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2006, 86(5):706 - 712.
- [21] Chesterton A K S, Meza B E, Moggridge G D, et al. Rheological characterisation of cake batters generated by planetary mixing: Elastic versus viscous effects[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 105(2):332-342.
- [22] Meza B E, Chesterton A K S, Verdini R A, et al. Rheological characterisation of cake batters generated by planetary mixing: Comparison between untreated and heat-treated wheat flours[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104(4):592-602.
- [23] Ew. L, Hm. M, Sdr. W. The rheology of a bubbly liquid.[J]. Proceedings of the Royal Society A Mathematical Physical & Engineering Sciences, 2002, 458(2020):987.
- [24] Chesterton A K S, Moggridge G D, Sadd P A, et al. Modelling of shear rate distribution in two planetary mixtures for studying development of cake batter structure. J Food Eng[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 105(2):343-350.
- [25] D í az - Ram í rez M, Chanona - P é rez J J, Janovitz - Klapp A, et al. Modelling sorption kinetic of sponge cake crumb added with milk syrup[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2013, 48(8):1649 - 1660.
- [26] Hao Y, Wang F, Huang W, et al. Sucrose substitution by polyols in sponge cake and their effects on the foaming and thermal properties of egg protein[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 57:153-159.
- [27] AOAC International. 2010. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Methods 44-40,10-91. Available online only. AOAC I, St. Paul, MN.