



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
WANG Feng^{1,2} CHEN Cheng¹ YANG Zi-xuan¹ HAO Yue-hui²
金卫泽² 陈军民² 黄卫宁¹ 小川晃弘³

JIN Wei-ze² CHEN Jun-min² HUANG Wei-ning¹ AKIHIRO Ogawa³

(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)
(1. State Key of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;
2. MagiBake International Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu 214131, China;
3. Mitsubishi-Kagaku Foods Corporation, Tokyo 100-8251, Japan)

摘要:探究使用 MFC 和 SP 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% 时,其产品的硬度与添加了 5% SP 的蛋糕产品的硬度相似。含有 10% MFC 的重油蛋糕的感官品质以及抗老化效果最佳。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

Abstract: The effect of the different emulsifiers on rheological and thermodynamical properties of the Chinese and Japanese flour based pound cake batter systems was investigated. Results showed that the specific gravity of cake batter containing 10% MFC changed the most. The specific volume of cake increased significantly as the addition of

MFC increased. The bubble distribution of cake batter containing MFC was more uniform, and the emulsion system had greater stability. The hardness of the cake containing 7.5% was equivalent to that of the cake containing 5% SP. The cake product with 10% MFC addition had best sensory scores and best anti-retrogradation effect. In addition, retrogradation rate of Chinese flour was lower than that of Japan flour. Compared to the Japan flour, retrogradation rate of cake with Chinese flour as batter matrix was lower.

Keywords: emulsifier; MFC; batter rheological properties; cake baking.

烘焙食品是全世界的主流食品,其中蛋糕类产品在烘焙食品行业具有举足轻重的地位^[1]。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^[2]。

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^[3]。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^[4]。工业上 SP 作为常用的复配乳化剂,主要成分是单甘油酯等^[5]。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^[6-7]。近年来开始广受企业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,但迄今未见关于其在蛋糕体系中系统的应用研究报道。

使用不同类型的面粉会影响蛋糕面糊体系的特性^[8],但是关于中日两国的面粉在不同蛋糕体系中的系统研究也未见报

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

作者简介:王凤,女,无锡麦吉贝可生物食品有限公司工程师,硕士。
通信作者:黄卫宁(1963-),男,江南大学教授,博士。

E-mail: wnhuang@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2016-12-11

道。因此,本试验拟通过系统比较研究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理论参考依据。

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;

面粉 J:三菱食品化学株式会社;

面粉 II:美玫瑰牌,粗蛋白含量 8.2%,香港面粉有限公司;

好运黄油:东海粮油公司;

泡打粉:天富(中国)食品添加剂有限公司;

试验用试剂:均为分析纯;

蛋糕起泡乳化剂:RTOYO 菱友 MFC,三菱化学食品株

式会社;

早苗 SP:早苗有限公司。

1.2 主要仪器和设备

旋转流变仪:AR-G2 型,美国 TA 仪器公司;

烤箱:SM-503+1S 型,新麦机械(无锡)有限公司;

切片:SM-302N 型,新麦机械(无锡)有限公司;

质构分析仪:Brookfield CT3 型, Brookfield 工程实验室(斯托顿,马萨诸塞州,美国);

电子天平:JY2000 型,上海良平仪器有限公司;

差示扫描量热仪(DSC):Pyris1 型,美国 PerkinElmer 公司;

显微镜照相机:Motic 型,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 重油蛋糕的配方见表 1。

表 1 重油蛋糕配方[†]

Table 1 Pound cake formulation

组别	SP/MFC /g*	全蛋液/g	蔗糖/g	麦芽糖浆/g	水/g	黄油/g	低筋粉/g	奶粉/g	盐/g	泡打粉/g
空白	0.0	100	80	20	10	80	100	10	0.7	1
5.0% SP	5.0	100	80	20	10	80	100	10	0.7	1
5.0% MFC	5.0	100	80	20	10	80	100	10	0.7	1
7.5% MFC	7.5	100	80	20	10	80	100	10	0.7	1
10.0% MFC	10.0	100	80	20	10	80	100	10	0.7	1

† * 基于小麦粉的重量。

1.3.2 重油蛋糕制备工艺 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(采用的速度为 4 档,时间为 30 s)。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 3 min。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 2 min。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 5 min,添加 MFC 的蛋糕面糊则需要 4 min。将蛋糕面糊(150 g)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 °C,40 min。经过烘焙后,立即从烤箱中取出,室温放凉,放凉时间为 2 h。最后将产品放在聚丙烯袋子进行保鲜试验。保鲜试验为 25 °C 下贮藏 7 d。以上试验均重复 3 次。

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 g/cm³,按式(1)计算面糊比重^[9]。

$$SG = (W_2 - W_0) / (W_1 - W_0), \quad (1)$$

式中:

SG——面糊比重, g/mL;

W_0 ——比重杯质量, g;

W_1 ——比重杯中装满蒸馏水质量, g;

W_2 ——比重杯中装满面糊质量, g。

1.3.4 蛋糕流变特性 取适量新鲜制备的面糊在 25 °C 条件下用流变仪测定面糊流变特性。平板直径选用 40 mm,夹缝

距离为 1 mm。样品的剪切速率在 5 min 内从 0.01 s⁻¹线性增加到 100 s⁻¹^[2]。

1.3.5 面糊气泡分布 将搅拌好的面糊分别于 60 °C 水浴静置 0, 10, 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×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) 蛋糕的水分含量:通过 AACC 方法 44-40(2010)^[10]进行测量。

(2) 蛋糕的比容:蛋糕的体积和质量分别采用菜籽替代法以及电子天平进行测量。蛋糕的比容按式(2)进行计算^[11]。

$$SV = V/m, \quad (2)$$

式中:

SV——蛋糕比容, mL/g;

V——蛋糕体积, mL;

m——蛋糕质量, g。

(3) 蛋糕损失率:根据式(3)进行计算^[11]。

$$L = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

L——烘焙损失率, %;

m_1 ——烘焙前加入模具的面糊质量, g;

m_2 ——烘焙后蛋糕的质量, g。

(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。

试验均重复 3 次。

1.3.7 蛋糕质构分析 采用 Brookfield CT3 质构分析仪。其中试验使用探头为 25 mm 的圆柱形探头进行全质构分析,采用双重压缩测试过程,测试速度为 3 mm/s,下压程度为 8 mm。两次压缩之间时间间隔为 10 s。蛋糕硬度通过全质构图像进行计算。为了精确测定蛋糕质构,将两片蛋糕进行重叠形成蛋糕组合,蛋糕组合厚度为 2.2 cm。试验均重复 3 次^[11]。

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 °C 恒温冷藏冰箱中进行储藏,7 d 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。测试条件为:扫描温度范围 20 ~ 120 °C,扫描速率 10 °C/min,试验记录老化焓值 ΔH ^[12]。

1.3.9 蛋糕感官评价 由江南大学食品科学与工程专业 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)对蛋糕品质进行产品感官评定。感官评定评分标准,湿润程度:1 为干燥,5 为湿润;柔软度:1 为十分坚硬,5 为十分柔软;口感:1 为十分粗糙,5 为十分滑腻,可以融化在口中;体积:1 为很小,5 为很大。蛋糕在经过室温(25 °C ± 1 °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 3 位数字代码。

1.3.10 数据统计分析 采用 Microsoft Office Excel 2007。

2 结果与讨论

2.1 乳化剂对蛋糕面糊比重的影响

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 SP/MFC 会降低蛋糕面糊比重。随着 MFC 含量增加,蛋糕面糊比重减小,添加 10% 的 MFC 蛋糕面糊有最小的产品比重,其中使用面粉 J 的面糊比重为 0.82,面粉 II 制作的蛋糕面糊比重为 0.81。用面粉 J 和面粉 II 打发的面糊之间的比重差异并不明显。同等添加量(5%)的条件下,用 MFC 乳化剂打发的面糊比重要高于用 SP 乳化剂打发的。在其他的研 究^[13]中,也发现随着乳化剂含量的增加,面糊比重会出现下降的趋势。

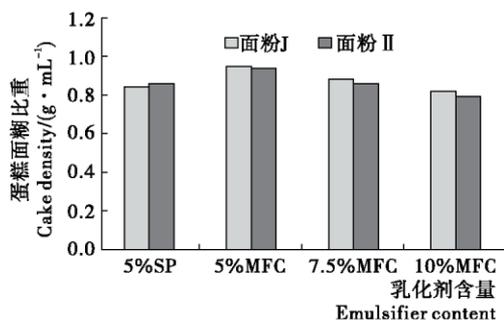


图 1 乳化剂(SP 和 MFC)对重油蛋糕比重的影响

Figure 1 Effect of emulsifiers content on pound cake batter density

2.2 面糊流变学测定

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,因为当面糊黏度较大时,气泡扩散和迁移较慢。其他研究人员^[14-15]也发现,乳化剂的加入会显著地影响面糊黏度。较低的剪切速率时,面糊剪切变稀,这与其他研究^[16-17]的结果类似。

在面粉 II 体系中 MFC 添加量为 10% 时,面糊黏度是最大的;MFC 添加量为 5% 时黏度是最小的。SP 添加量为 5% 时面糊黏度要大于 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。在面粉 J 体系中 MFC 添加量为 10% 时,面糊黏度最大,而且随着 MFC 添加量增加显著性增加,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。总体趋势和面粉 II 一致。但 MFC 在面粉 J 中的效果优于面粉 II。乳化剂(SP 和 MFC)及面粉对面糊黏度的影响见图 2。

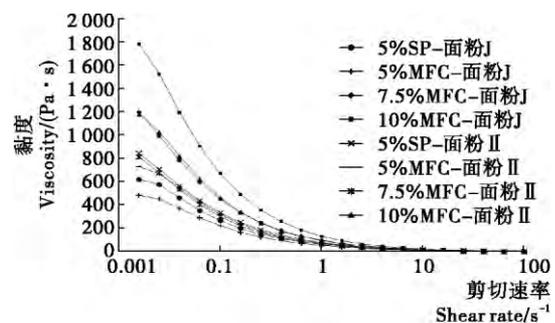


图 2 乳化剂(SP 和 MFC)及面粉对面糊黏度的影响

Figure 2 Effect of emulsifiers content on cake batter viscosity

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^[18]。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 乳化剂对面粉蛋糕面糊气泡分布的影响 在含有面粉的面糊中,随着 MFC 添加量增加,气泡更加致密,气泡数量也不断增加。图 3 结果表明:随着 MFC 添加量增加,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 的面糊气泡减少得较少。添加 5% SP 乳化剂的面糊中大气泡比 5% MFC 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 60 min 后气泡已经基本消失。而 MFC 添加的 3 组在水浴 30 min 和水浴 60 min 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 乳化剂对面粉 J 蛋糕面糊气泡分布的影响 图 4 结果表明:在面粉 J 的试验中,试验结果类似。但是添加 5%

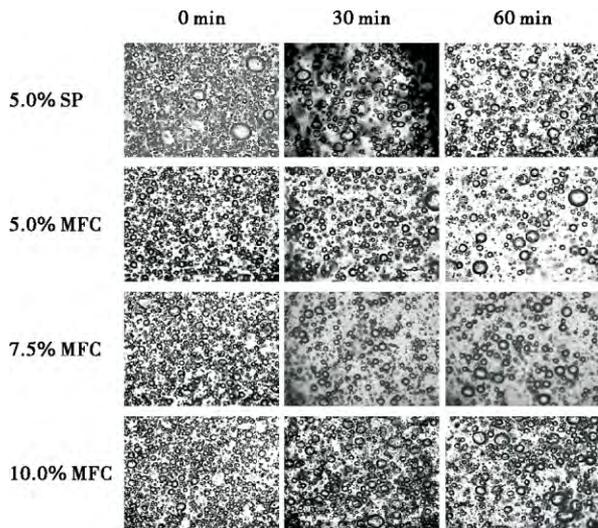


图 3 乳化剂对中国面粉蛋糕面糊气泡分布的影响
Figure 3 Effect of emulsifiers content on cake batter with Chinese flour bubble size distribution

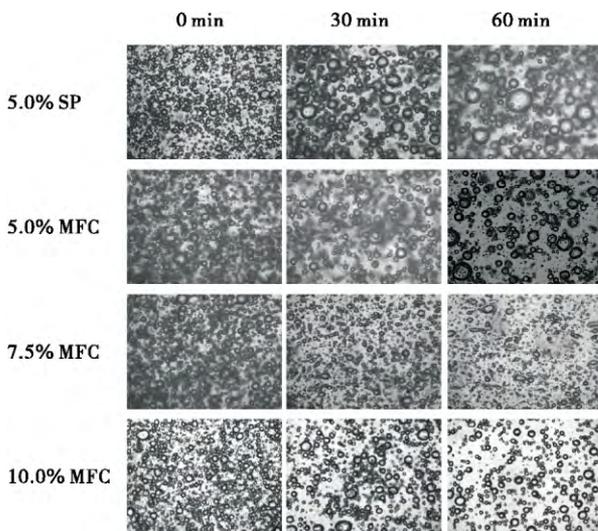


图 4 乳化剂对面粉 J 蛋糕面糊气泡分布的影响
Figure 4 Effect of emulsifiers content on cake batter with Japan flour bubble size distribution

SP 乳化剂的含有面粉 II 面糊稳定性较好。在面粉 J 的面糊中,经过加热之后,大气泡非常明显,说明 SP 并不适合面粉 J 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显。MFC 在面粉 J 中的效果非常好,气泡较小,而且 30 min 到 60 min 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^[13]。

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 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,不管是添加了面粉 J 还是面粉 II 的产品均没有表现出明显的差异。在经过 7 d 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。

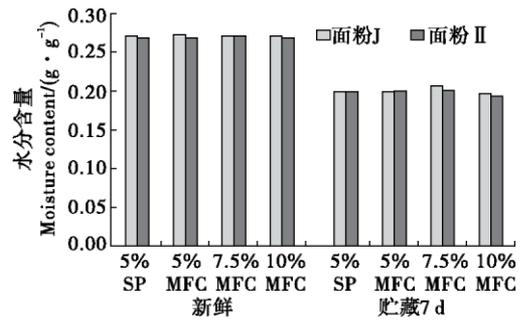


图 5 乳化剂对蛋糕的水分含量的影响
Figure 5 Effect of emulsifiers content on cake moisture content

2.4.2 乳化剂对蛋糕比容影响 乳化剂的引入会增加重油蛋糕产品的比容。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。乳化剂对重油蛋糕比容的影响见图 6。对于两种不同的面粉来说,当 MFC 添加量达到 7.5% 时,蛋糕比容已经和添加 SP 组的蛋糕比容类似。随着 MFC 添加量增加,蛋糕比容明显增加,添加 10% MFC 的蛋糕比容最大。面粉 J 组的蛋糕比容达到了 2.94 mL/g,面粉 II 组的蛋糕比容则为 3.06 mL/g。

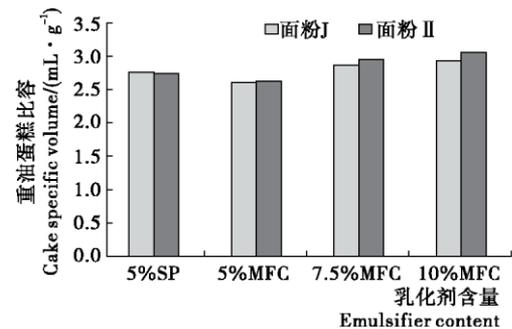


图 6 乳化剂对重油蛋糕比容的影响
Figure 6 Effect of emulsifiers content on cake specific volume

2.5 乳化剂对蛋糕损失率的影响

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。由表 2 可知,使用面粉 II 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。使用面粉 J 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面粉 J 中的损失率比在面粉 II 中的损失率更小。

表 2 乳化剂对重油蛋糕烘焙损失率的影响

Table 2 Effect of emulsifiers content on cake baking loss ratio

面粉	5% SP	5% MFC	7.5% MFC	10% MFC
面粉 J	9.84±0.01	10.16±0.03	8.82±0.02	8.08±0.01
面粉 II	8.69±0.04	7.88±0.00	8.00±0.03	8.62±0.03

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的影响 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 在面粉 II 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 在面粉 II 中面糊的乳化更加完全稳定。

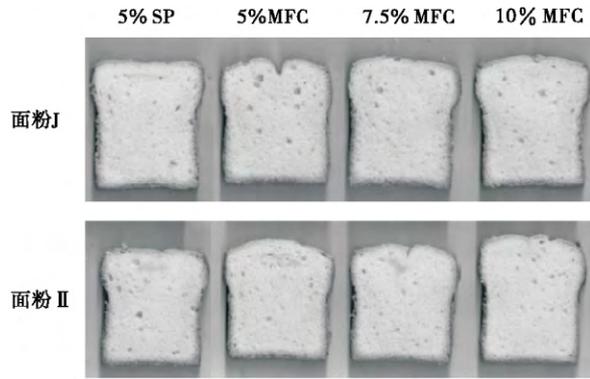


图 7 重油蛋糕图

Figure 7 Image of pound cake

2.6.2 乳化剂对蛋糕截面高度的影响 采用面粉 II 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。在面粉 I 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 的高。同样的乳化剂及添加量的情况下,使用面粉 I 的蛋糕截面高度比使用面粉 II 的蛋糕截面高度高 1 cm。

表 3 乳化剂对重油蛋糕截面高度的影响

Table 3 Effect of emulsifiers content on pound cake height cm

面粉	5% SP	5% MFC	7.5% MFC	10% MFC
面粉 I	6.34±0.04	5.73±0.01	6.54±0.03	6.71±0.05
面粉 II	5.30±0.04	5.31±0.05	5.44±0.02	5.62±0.07

2.7 蛋糕质构分析

图 8 展示了在 0 d 和 7 d 时的蛋糕产品的硬度。对于这两种不同产地的面粉来看,添加 7.5% MFC 的蛋糕硬度和添加 5% SP 的蛋糕硬度类似。添加 10% MFC 的产品硬度最小。随着贮藏时间的增加,蛋糕发生老化,导致蛋糕硬度大幅增加^[12]。添加乳化剂可以减缓蛋糕老化。当乳化剂添加量相同时,不同面粉产品的老化程度没有明显差异。图 9 展示了贮藏 7 d 之后的产品硬度增加量,MFC 添加量在较高水平的情况下,蛋糕变硬的速率有一定程度的减小。

2.8 蛋糕的老化分析

乳化剂对重油蛋糕老化焓值的影响见图 10。添加 5% SP 的蛋糕比空白组的抗老化效果好,添加 5% SP 的蛋糕在贮藏 7 d 时老化焓值是添加 5% MFC 的 2 倍。说明 MFC 的抗老化效果比 SP 的更加显著。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呈正相关,添加 10%

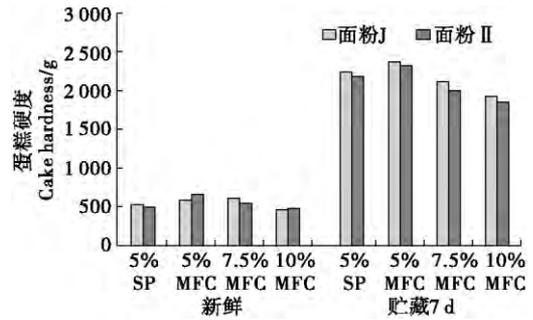


图 8 乳化剂对蛋糕的硬度的影响

Figure 8 Effect of emulsifiers content on cake hardness

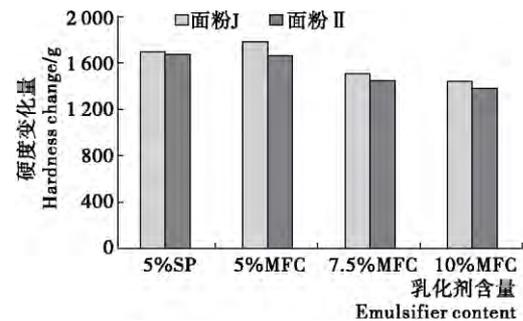


图 9 贮藏 7 d 后蛋糕硬度的增加量

Figure 9 Effect of emulsifiers content on cake hardness change

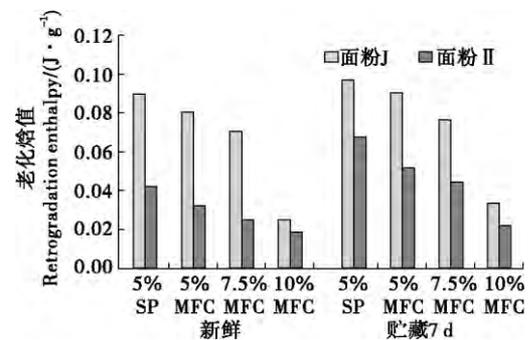


图 10 乳化剂对重油蛋糕老化焓值的影响

Figure 10 Effect of emulsifiers content on cake retrogradation enthalpy

MFC 的试验组有最好的抗老化效果。储藏期从 1~3 周,老化焓显著增加。随着储藏时间延长,在面粉 II 中添加 5% SP 的蛋糕老化焓增量最大。采用面粉 I 的蛋糕老化焓值明显高于使用面粉 II 的蛋糕。

2.9 感官评价

感官评定结果见图 11。相比于添加 5% SP 的蛋糕,添加 5% MFC 的多方面得分更低(其中包括水分含量,柔软程度,口感,体积)。添加 7.5% MFC 的产品具有可比性,甚至部分得分更高。添加 10% MFC 的产品品质最佳。

3 结论

以蔗糖酯为主要成分的新型起泡乳化剂——MFC 在蛋糕面糊体系中具有较好的乳化作用,在 10% 的添加量下,其

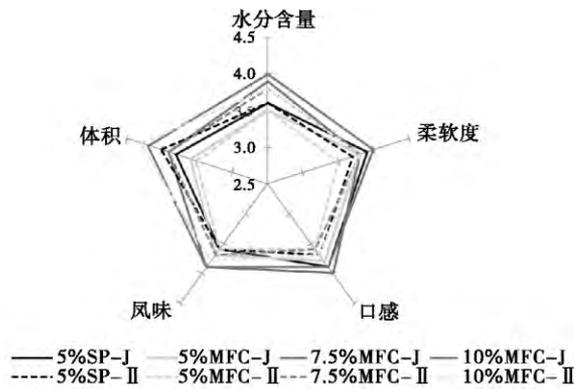


图 11 感官评定结果

Figure 11 Sensory evaluation results of pound cake

起泡和保持气泡的能力均与 SP 相当。相比于 SP, MFC 的热稳定性更强, 面糊体系的乳化稳定性会很大程度地影响蛋糕产品质量。MFC 通过增加面糊稳定性和延缓蛋糕老化速率, 来改善以日本面粉为原料的蛋糕品质。本试验仅探究了 MFC 在重油蛋糕体系中的特性, 以 MFC 为代表的蔗糖酯在其他蛋糕体系中的特性还需要进一步验证。

致谢:感谢日本三菱化学食品有限公司的国际合作项目, 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] JIA Chun-li, HUANG Wei-ning, JI Lin, 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.

[2] 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.

[3] 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.

[4] RODRÍGUEZ-GARCÍA 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.

[5] 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.

[6] MASSEY A H, KHARE A S, NIRANJAN 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(8): 1 152-1 157.

[7] 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.

[8] 姜薇莉, 孙辉. 小麦粉海绵蛋糕烘焙试验方法探讨[J]. 粮油食品

科技, 2009, 17(5): 8-10.

[9] 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.

[10] AACC International. Approved Methods of Analysis[M]. 11th Ed. St. Paul; AACC I, 2010: 10-91.

[11] 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.

[12] HAO Yue-hui, WANG Feng, HUANG Wei-ning, 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.

[13] 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.

[14] HANCOCK B C, ZOGRAFI G. Characteristics and significance of the amorphous state in pharmaceutical systems[J]. Journal of Pharmaceutical Sciences, 1997, 86(1): 1-12.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] DÍAZ-RAMÍREZ M, CHANONA-PÉREZ 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): 1 649-1 660.

启事

我刊于 2016 年第 11 期第 183 页刊登的《海藻糖合酶基因工程菌玉米浆培养基配方优化》一文, 因作者原因漏掉一基金项目: 农业部财政部项目(编号: 农办财函[2016]6 号), 特此说明。

《食品与机械》编辑部