

乳化剂和保泡型流态起酥油对海绵蛋糕面糊及其烘焙特性的影响

Effect of different emulsifiers and bubble-retaining type liquid shortening on batter and baking characteristics of sponge cake

邹奇波^{1,2,3}

王家宝¹

陈 诚^{1,2,3}

梁丽婷¹

ZOU Qi-bo^{1,2,3}

WANG Jia-bao¹

CHEN Cheng^{1,2,3}

LIANG Li-ting¹

曹伟超¹

陈军民⁴

黄卫宁¹

小川晃弘⁵

CAO Wei-chao¹

CHEN Jun-min⁴

HUANG Wei-ning¹

AKIHIRO Ogawa⁵

(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. 江南大学福临门烘焙研究所, 江苏 无锡 214122; 3. 张家港福吉佳食品股份有限公司, 江苏 苏州 215600; 4. 无锡麦吉贝可生物食品有限公司, 江苏 无锡 214131; 5. 三菱化学食品株式会社, 日本 东京 1008251)

(1. State Key of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. Jiangnan University Fulinmen Baking Research Institute, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 3. Zhangjiagang Fortunebakery Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu 215600, China; 4. MagiBake International Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu 214131, China; 5. Mitsubishi-Chemical Foods Corporation, Tokyo 1008251, Japan)

摘要:比较了单甘酯型乳化剂和蔗糖酯型乳化剂与保泡型流态起酥油联用对海绵蛋糕面糊特性及其烘焙特性的影响。结果表明,采用蔗糖酯型乳化剂与保泡型流态起酥油联用组的面糊比重显著下降,面糊黏度和表面张力增加,从而提升了面糊的稳定性,此时蛋糕比容较大,达 4.01 mL/g,比仅含单甘酯型乳化剂的蛋糕提高了 68.5%,可显著减少薄层海绵蛋糕的表面气泡。蛋糕贮藏期研究表明,贮藏 28 d 后,含有蔗糖酯型乳化剂和保泡型流态起酥油的蛋糕硬度减小了 37.8%。

关键词:乳化剂;保泡型流态起酥油;海绵蛋糕;丙二醇酯;烘焙特性

Abstract: The effects of monoglyceride emulsifier and sucrose ester emulsifier combined with bubble-retaining type liquid shortening on batter and baking characteristics of sponge cake were studied. The results showed that compared with the cake containing only the monoglyceride type emulsifier, the density of the

batter containing the sucrose ester type emulsifier combined with the bubble-retaining type liquid shortening decreased, the viscosity and surface tension of cake batter increased, and stability of cake batter was improved. The cake specific volume was 4.01 mL/g, compared with the cake containing only the monoglyceride type emulsifier, the specific volume of the sponge cake containing the sucrose ester type emulsifier and bubble-retaining type liquid shortening increased by 68.5%, while the surface blister of cake decreased. In the cake storage period study, after 28 days, the hardness of the cake containing sucrose ester type emulsifier and bubble-retaining type liquid shortening reduced by 37.8% compared with the control.

Keywords: emulsifier; bubble-retaining type liquid shortening; sponge cake; propylene glycol esters; baking characteristics

基金项目:“十三五”国家重大专项(编号:2016YFD0400500);国家自然科学基金(编号:31071595,31571877);江苏省现代农业重点及面上项目(编号:BE2018318)

作者简介:邹奇波,男,张家港福吉佳食品股份有限公司高级工程师。

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:2019-06-17

蛋糕柔软可口,由于其特殊的风味和口感深受消费者喜爱^[1]。海绵蛋糕由鸡蛋、低筋小麦粉、糖、油脂、泡打粉等制备而成^[2],在海绵蛋糕的工业化生产中,乳化剂有助于改善海绵蛋糕面糊充气性能和持气稳定性^[3]。流态起酥油(LS)是一类乳化剂悬浮分散在液态油之中、具有流动性的油脂,在工业生产中可通过泵送与面糊混合,大大提高了操作便捷性,是烘焙行业的新兴原料,功能性的保泡型流态起酥油 LS03 中含有丙二醇酯^[4],丙二醇酯通

过改善油脂晶型从而增加面糊稳定性。蔗糖酯型乳化剂是一种以蔗糖酯为主要成分的新型高效复配乳化剂^[5],可以增加气泡数量,近年来在中国市场得以推广。

陈诚等^[6]研究表明蔗糖酯型乳化剂可改善海绵蛋糕的储藏特性,同时也可以减少薄层海绵蛋糕的表面气泡数量^[7],但流态起酥油与蔗糖酯型乳化剂联用在海绵蛋糕体系中的应用研究较少,同时仅使用蔗糖酯型乳化剂的海绵蛋糕体积相对较小。而在海绵蛋糕的实际生产过程中,如何获得表面平整且表面气泡凸起数量减少的海绵蛋糕,为工业化生产中亟待解决的关键质量问题之一。试验拟比较两种类型的乳化剂与含有丙二醇酯的流态起酥油 LS03 联用对海绵蛋糕面糊特性及烘焙特性的影响,以期为烘焙加工工业化应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜白砂糖、鸡蛋:市售;

低筋小麦粉:美玫牌,粗蛋白含量 8.2%,江苏南顺面粉有限公司;

菜籽油:中粮粮油工业(巢湖)有限公司;

双效泡打粉:配料为焦磷酸二氢钠(<40%)、碳酸氢钠(<25%)、碳酸钙(<5%)、淀粉,广州焙乐道食品有限公司;

流态起酥油:LS03,内含丙二醇酯,三菱化学食品株式会社合作;

蔗糖酯型乳化剂:菱友 MFC-68,三菱化学食品株式会社合作;

单甘酯型乳化剂:SP 蛋糕油,上海早苗食品有限公司。

1.2 仪器与设备

面糊搅拌机:5K5SS 型,美国厨宝 Kitchen Aid 公司;

烤箱:SM-503 型,新麦机械(无锡)有限公司;

旋转流变仪:DHR-3 型,美国沃特世公司;

平板扫描仪:KX-MB228CN 型,松下电器(中国)有限公司;

食品质构分析仪:Brookfield CT3 型,美国 Brookfield 工程实验室;

表面张力测定仪:DCAT21 型,德国德菲公司。

1.3 试验方法

1.3.1 海绵蛋糕配方 海绵蛋糕基础配方如表 1 所示。不同乳化剂的使用量根据推荐量来进行添加,其中每组的基础配料相同,分别是全蛋液 200 g,白砂糖 190 g,低筋小麦粉 200 g,泡打粉 2 g,水 60 g^[6]。

1.3.2 海绵蛋糕面糊的制备 根据文献^[6]修改如下:取蛋液将其 30 s 中速(速度 4)分散,将糖加入蛋液,慢速(速度 2)搅拌 2 min 至糖完全溶化,加入单甘酯型乳化剂或

表 1 海绵蛋糕配方[†]
Table 1 Sponge cake formulation g

配料	流态 起酥油	菜籽油	蔗糖酯型 乳化剂	单甘酯型 乳化剂
S0	0	70	0	10
S20	15	55	0	10
S40	30	40	0	10
M0	0	70	20	0
M20	15	55	20	0
M40	30	40	20	0

[†] S 代表单甘酯型乳化剂,M 代表蔗糖酯型乳化剂,数字代表流态起酥油对菜籽油的替代率。

蔗糖酯型乳化剂慢速搅拌 1 min,加入菜籽油或菜籽油和流态起酥油混合物慢速搅拌 2 min,然后加入过筛低筋粉和双效泡打粉,高速(速度 6)打发起泡 3 min,低速(速度 1)搅拌 1 min,取 450 g 面糊缓慢倒入 28 cm×28 cm 烤盘中,然后放入 190 ℃烤箱中烘焙 23 min,出炉后于室温冷却 1 h 进行后续试验^[6]。

1.3.3 海绵蛋糕面糊表面张力的测定 根据王家宝等^[4]的方法。

1.3.4 海绵蛋糕面糊比重分析 参考汤晓娟等^[8]的方法,按式(1)计算海绵蛋糕面糊比重。

$$\rho = 1 \times (m_2 - m_0) / (m_1 - m_0), \tag{1}$$

式中:

ρ ——海绵蛋糕面糊比重,g/mL;

m_0 ——容器质量,g;

m_1 ——容器装满蒸馏水的质量,g;

m_2 ——容器中装满面糊的质量,g。

1.3.5 海绵蛋糕面糊流变特性曲线分析 参考汤晓娟等^[8]的方法,取适量蛋糕面糊于 25 ℃下用流变仪流动模式测定面糊流变特性。海绵蛋糕面糊曲线符合幂律模型:

$$\eta = K\gamma^{n-1}, \tag{2}$$

式中:

η ——表观黏度,Pa·s;

K ——稠度系数,Pa·s^{*n*};

γ ——剪切速率,s⁻¹;

n ——流动系数。

1.3.6 海绵蛋糕面糊微观结构分析 采用王家宝等^[7]的方法。使用 Image Pro Plus 软件进行气泡计数,进而获得气孔密度值(CD 值)和气泡面积分数(AF 值)。

1.3.7 海绵蛋糕比容的测定 采用 Hao 等^[9]的方法。20 ℃冷却 1 h 后,测定海绵蛋糕体积与质量,按式(3)计算海绵蛋糕比容。

$$SV = V/m, \tag{3}$$

式中:

SV——海绵蛋糕比容, mL/g;

V——海绵蛋糕体积, mL;

m——海绵蛋糕质量, g。

1.3.8 海绵蛋糕质构分析 将室温冷却 2 h 后的海绵蛋糕分割成圆形均匀蛋糕薄片(直径为 35 mm),进行质构分析。质构仪探头 P/36,样品进行 2 次压缩测试。试验参数设定为:测前速率 1.0 mm/s,测试速率 1.0 mm/s,测后速率 1.0 mm/s,样品压缩程度 40%,2 次压缩间隔时间 15 s,根据 Hao 等^[9]的方法进行质构分析,其中测定的主要指标为硬度。

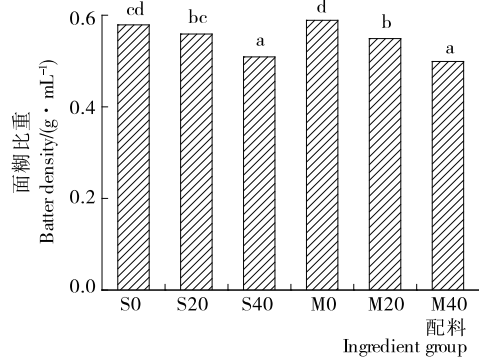
1.4 统计分析

采用 Excel 2016 进行数据处理分析。用 SPSS 16.0 数据分析软件对海绵蛋糕面糊和烘焙特性参数进行显著性分析,显著差异水平取 $P<0.05$,每次测试均设 3 次平行试验。使用 Origin 8.5 软件进行图像绘制。

2 结果与分析

2.1 海绵蛋糕面糊特性分析

2.1.1 比重 由图 1 可知,随着流态起酥油替代率的增加,单甘酯型乳化剂、蔗糖酯型乳化剂组面糊比重显著减小,说明流态起酥油有助于面糊体系充入空气。



字母不同表示差异显著($P<0.05$)
图 1 乳化剂对海绵蛋糕比重的影响
Figure 1 Effect of emulsifier on the density of sponge cake

2.1.2 流变特性 由图 2 可知,面糊黏度随流态起酥油替代率的增加而上升,由于丙二醇酯有助于面糊充气,面糊内气泡数量越多,面糊黏度越大。面糊黏度增加可阻碍乳化体系液膜排液,减缓液膜变薄速率,从而提高乳化体系稳定性。

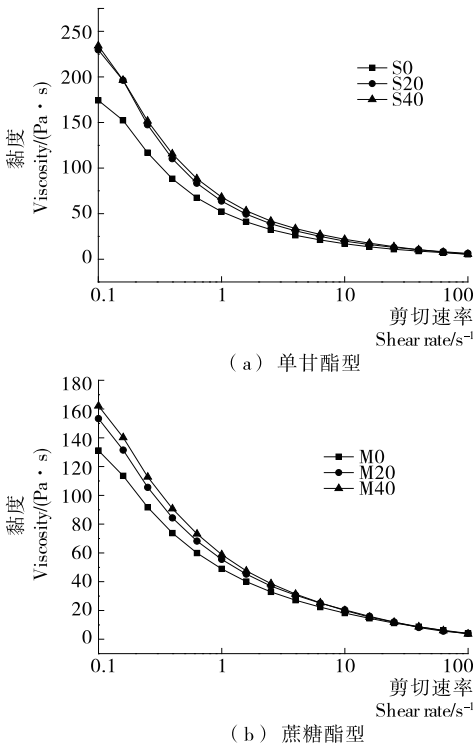


图 2 乳化剂对海绵蛋糕面糊黏度的影响
Figure 2 Effect of different emulsifiers on the viscosity of sponge cake batter

图 2 表明,所有样品均显示剪切稀化和假塑性,随着剪切速率的增加,表观黏度逐渐降低。采用幂律模型对流变曲线进行拟合,结果见表 2。由表 2 可知,幂律模型对海绵蛋糕面糊体系的拟合度较好,决定系数 $R^2>0.99$ 。Sun 等^[10]指出面糊的假塑性可归因于淀粉分子的定向排列,以及剪切作用下直链淀粉分子间的氢键断裂。在低剪切速率时,面糊体系中的链状大分子与气泡相互缠绕,

表 2 乳化剂对海绵蛋糕面糊特性的影响[†]

Table 2 Effect of different emulsifiers on batter properties

配料	稠度系数 $K/(Pa \cdot s^n)$	流体特征指数 n	R^2	$25 s^{-1}$ 黏度 $/(Pa \cdot s)$
S0	54.91 ± 0.12^{ab}	0.494 ± 0.018^{ab}	0.999	11.25 ± 0.47^a
S20	64.18 ± 4.53^{bc}	0.458 ± 0.008^a	0.998	12.94 ± 0.01^{bc}
S40	70.08 ± 1.33^c	0.486 ± 0.023^{ab}	0.999	13.78 ± 0.02^c
M0	51.24 ± 1.98^a	0.522 ± 0.035^{ab}	0.996	11.03 ± 0.23^a
M20	58.81 ± 2.69^{ab}	0.532 ± 0.016^b	0.996	11.97 ± 0.06^{ab}
M40	63.41 ± 5.81^{bc}	0.527 ± 0.017^{ab}	0.998	13.16 ± 0.97^{bc}

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

体系黏度表现较为黏稠;当剪切速率增大时,流动层之间的剪切作用使散乱分子链和气泡沿剪切方向变形,缠绕现象减少,从而黏度下降。

所有面糊的流体特征指数 $n < 1$, 表现为典型的假塑性流体, 流体特征指数 n 偏离 1 越远, 流体越偏离牛顿理想状态。具有柔性的高分子流体一般为假塑性流体, 其流体特征指数 n 越小表示其流体分子柔性越大, 流体越偏离牛顿流体, 蔗糖酯型乳化剂组的 n 均大于单甘酯型乳化剂组的。稠度系数 K 是黏度的量度, 通常黏度越大, K 值越大。结合图 2、表 2 可知, 黏度与稠度系数均随流态起酥油添加量的增加而增大, 与 Jyotsna 等^[11] 研究结果相同。丙二醇酯的乳化效果主要由于其能在两相界面形成具有一定机械强度的结晶膜, 并随油脂吸附于气泡外层, 从而防止气泡聚结, 维持气泡数量使得黏度提高。

2.2 海绵蛋糕面糊微观气泡结构及乳化剂协同作用机理

2.2.1 微观气泡结构 由图 3、表 3 可知, 含有保泡型流态起酥油的海绵蛋糕面糊气泡相对较小且密集, 气泡大小与分布更加均匀, 有助于烘焙过程中形成细密的气泡核, 从而使蛋糕结构得以扩展; 气泡数量随保泡型流态起酥油替代率的增加逐渐增加, 与黏度结果相同; 联用蔗糖酯和含丙二醇酯保泡型流态起酥油的海绵蛋糕面糊气泡数量最多, 说明蔗糖酯和含丙二醇酯保泡型流态起酥油联用能提高面糊起泡性和气泡稳定性, 有助于烘焙后蛋糕结构更加细腻。气相面积分数 (AF 值) 越大, 说明面糊搅拌过程中充入的气体越多^[12]。随着流态起酥油添加量的增加, AF 值增大, 表明保泡型流态起酥油的引入能促进面糊整体充气性和气泡稳定性, 从而获得组织蓬松、比容大的蛋糕。

结合面糊气泡数及气相面积分数, 蔗糖酯型乳化剂结合含丙二醇酯的流态起酥油的起泡能力增加, 由于丙二醇酯进入气泡蛋白质表面, 面糊气泡厚度及刚性增加^[13], 添加丙二醇酯保泡型起酥油使油脂对面糊的消泡能力减弱, 从而增加面糊气泡稳定性。研究^[7] 表明, 蛋糕面糊的气泡直径分布整体呈对数正态分布。仅含单甘酯

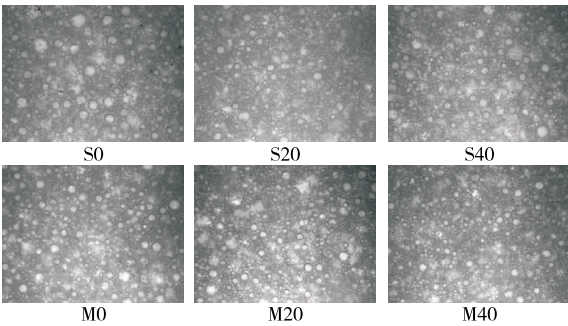


图 3 不同乳化剂的海绵蛋糕面糊微观结构图
Figure 3 Microstructure images of sponge cake batter with different emulsifiers

表 3 乳化剂对海绵蛋糕面糊气泡的影响[†]

Table 3 Effect of different emulsifiers on the bubbles of sponge cake batter

配料	CD 值/ (cells · cm ⁻²)	AF 值/ %	平均直径/ μm
S0	136.0±11.3 ^a	37.0±3.3 ^a	16.59
S20	134.5±17.7 ^a	39.9±4.6 ^a	12.88
S40	196.0±1.4 ^{bc}	44.5±0.3 ^{ab}	9.54
M0	168.5±7.8 ^{ab}	38.5±0.7 ^a	10.47
M20	217.5±9.2 ^{bc}	40.5±2.5 ^{ab}	9.33
M40	235.5±27.6 ^c	49.4±0.1 ^b	4.07

† 同列字母不同表示差异显著 (P<0.05)。

型乳化剂的海绵蛋糕面糊气泡平均直径为 16.59 μm, 平均直径随着含丙二醇酯保泡型流态起酥油替代率的增加逐渐减小到 9.54 μm, 降低了 20%; 在保泡型流态起酥油添加量相同的情况下, 蔗糖酯型乳化剂组的平均直径小于单甘酯型乳化剂组的, 表明蔗糖酯型乳化剂和含丙二醇酯保泡型流态起酥油联用有助于维持小气泡结构, 从而抑制气泡歧化、聚结。

2.2.2 表面张力 液体油脂会显著影响蛋糕面糊乳化体系稳定性, 油脂引入面糊体系后, 包裹在气泡表面, 由于其与水相的不溶性和表面张力差异, 从而起到面糊消泡的作用。而海绵蛋糕面糊气泡形成和稳定得益于乳化剂的加入, 乳化剂通过降低液相和气相之间的表面张力来帮助充气, 减少产生更大界面区域所产生的能量^[14]。试验结果表明, 不含乳化剂的面糊表面张力为 37.071 mN/m, 添加乳化剂后表面张力显著降低; 加入单甘酯或蔗糖酯可有效降低表面张力, 提高起泡性, 但面糊表面张力过小容易导致消泡, 加入丙二醇酯反而能提高单甘酯组和蔗糖酯组的表面张力, Murray 等^[15] 研究指出, 在不同大小气泡的拉普拉斯压降梯度的影响下, 气泡有朝着相同大小

表 4 乳化剂对海绵蛋糕面糊表面张力的影响[†]

Table 4 Surface tension of sponge cake batter containing different emulsifiers and bubble-retaining type liquid shortening mN/m

配料	表面张力	△表面张力
CG	37.071±0.011 ^e	—
S0	33.100±0.012 ^a	3.348
S20	40.483±0.004 ^e	7.383
S40	47.388±0.009 ^g	14.288
M0	36.448±0.012 ^b	3.971
M20	40.159±0.007 ^d	7.059
M40	44.680±0.015 ^f	11.580

† CG. 未加乳化剂; 同列字母不同表示差异显著 (P<0.05)。

发展的趋势,从而导致面糊气泡发生歧化现象。结合图 3 可知,丙二醇酯可通过提高面糊表面张力而提高面糊稳定性。

2.2.3 丙二醇酯与蔗糖酯协同作用机理探究 保泡型流态起酥油中含有一定的丙二醇酯,试验结果表明,流态起酥油和蔗糖酯型乳化剂联用的 M40 面糊气泡数量多、气相面积分数大,可能是流态起酥油中的丙二醇酯与蔗糖酯间存在一定的协同效应。有研究^[16]表明两种或多种乳化剂可大大增强泡沫的稳定性。

蔗糖酯大量地分散于面糊中增加了表面膜的黏度,且其良好的起泡性能使得面糊更好地充气;研究^[17]表明疏水性的乳化剂可加速乳液中脂肪结晶,丙二醇酯作用机理可通过“楔形定向排列”模型解释。如图 4 所示,丙二醇酯随油脂吸附于气泡外层,以 α 晶体存在,其晶粒由于具有较高的表面能,能稳定粘附在气泡表面,与油脂形成的结晶膜具有黏性甚至刚性,表现为面糊表面张力提高从而维持稳定性。由于气泡表面是弯曲的,不规则的晶粒大的一端朝向液面,小的一端朝向气相,在界面形成类似于“砖墙”结构紧密的楔形定向排列,从而降低气液的接触面积。这层砖墙结构阻碍了气泡接触和气体通过液膜扩散,因此抑制气泡聚结。此外,砖墙结构降低了液膜的排液速度,提高了气泡的稳定性。综上,丙二醇酯的亲油性和蔗糖酯的双亲性有助于水油两相的乳化体系形成更细腻的气泡结构。

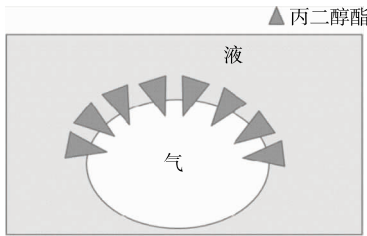


图 4 气液界面丙二醇酯楔形定向排列模型

Figure 4 Wedge oriented range model of propylene glycol ester at gas-liquid interface

2.3 海绵蛋糕烘焙特性

2.3.1 比容 蛋糕最终体积不仅取决于面糊中的初始充气量,还取决于烘烤过程中面糊乳化体系的持气能力和稳定性^[7]。流态起酥油有助于提高面糊黏度,当面糊黏度较大时气泡的扩散和迁移速度较慢,烘焙后制得的蛋糕比容更大,组织结构也较为松软。

表 5 结果表明,添加保泡型流态起酥油能显著提高蛋糕比容,与单甘酯型乳化剂联用可使蛋糕比容增加 8.8%,与蔗糖酯型乳化剂联用可使蛋糕比容增加 5.5%;流态起酥油的引入使得面糊搅拌过程中形成更多更细密的气泡,其气泡大小均匀,气泡稳定性较好,因此蛋糕比容较大;S40 与 M40 蛋糕比重无显著差异,M40 蛋糕比容显著大于 S40 ($P<0.05$)。研究^[4]表明,蛋糕比容与烘焙过程中面糊持气能力有关。综上可知,使用蔗糖酯型乳化剂的面糊气泡数量多、体积小、受热膨胀潜力大,而丙二醇酯具有维持油脂的 α 晶型特性,两者联用有助于保持烘焙传热过程中的气泡稳定性,从而促进烘焙后的蛋糕比容增大。

2.3.2 硬度 随着贮藏时间的增加,蛋糕发生了淀粉结晶而造成硬度增大,口感变差。由表 5 可知,海绵蛋糕硬度随保泡型流态起酥油替代率的增大逐渐减小,由于直链淀粉与乳化剂形成复合物,延缓了直链淀粉形成晶核的时间,从而延缓了淀粉回生^[18];乳化剂亦可吸附在淀粉表面^[19],通过丙二醇酯对水的不亲和性,阻碍水分移动,促使蛋糕保持柔软;蔗糖酯型乳化剂海绵蛋糕在贮藏期内变硬速率较缓慢,由于蔗糖酯与直链淀粉相互作用形成络合物能力较强,且多羟基结构与周围水分子形成氢键,通过调整构象增加了化学键连接和缠绕点,使聚合物网络结构得以稳定^[20]。

2.3.3 表面气泡 由图 5 可知,无论单甘酯型乳化剂组还是蔗糖酯型乳化剂组,保泡型流态起酥油添加量的增加都有助于减少薄层海绵蛋糕表面气泡数。联用蔗糖酯型乳化剂和保泡型流态起酥油的海绵蛋糕表面最为平整,表面无明显的气泡。由于烘焙过程中异常过大的气

表 5 贮藏过程中乳化剂对蛋糕比容和硬度的影响[†]

Table 5 Effect of different emulsifiers on cake specific volume and hardness during storage (4 °C)

配料	比容/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	硬度/g				
		0 d	7 d	14 d	21 d	28 d
S0	2.38 ± 0.09^a	575 ± 22^c	772 ± 15^d	$1\ 362 \pm 82^c$	$1\ 238 \pm 131^d$	$1\ 310 \pm 190^b$
S20	2.33 ± 0.09^a	547 ± 14^{bc}	630 ± 22^c	$1\ 078 \pm 93^b$	$1\ 002 \pm 45^c$	$1\ 095 \pm 110^{ab}$
S40	2.59 ± 0.02^b	484 ± 29^{ab}	580 ± 42^{bc}	769 ± 5^a	805 ± 80^{ab}	862 ± 45^a
M0	3.80 ± 0.08^c	566 ± 9^c	538 ± 14^{ab}	862 ± 26^a	956 ± 17^{bc}	970 ± 20^a
M20	3.83 ± 0.07^c	536 ± 23^{bc}	588 ± 7^{bc}	870 ± 11^a	921 ± 44^{abc}	885 ± 106^a
M40	4.01 ± 0.07^d	429 ± 33^a	515 ± 8^a	761 ± 23^a	758 ± 45^a	815 ± 37^a

[†] 同列字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。

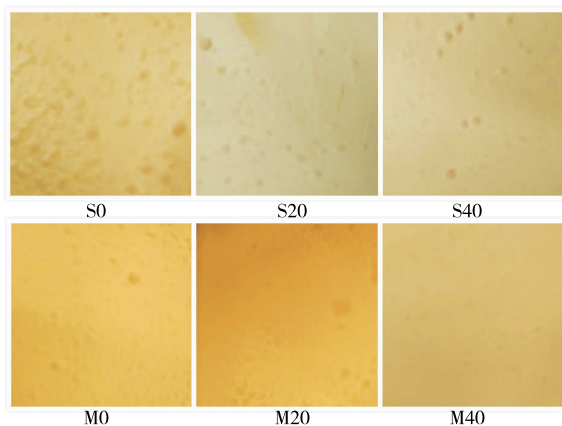


图5 不同乳化剂与保泡型流态起酥油对蛋糕表面气泡的影响

Figure 5 Effect of monoglyceride emulsifier, sucrose ester type emulsifier and bubble-retaining type liquid shortening on blisters of sponge cakes

泡是乳化不完全的,烤炉升温使面糊黏度下降,此时体积过大的气泡浮力较大,易从乳化体系中发生聚结、上浮到蛋糕表面^[7]。在传热过程中,薄层蛋糕的表层面糊温度上升较快,淀粉糊化和蛋白质变性的结构定型时间较早,而内层面糊大气泡上浮到表皮未能溢出表面从而形成表面隆起气泡。结合面糊微观气泡结构分析结果,联用蔗糖酯型乳化剂和保泡型流态起酥油的面糊气泡数量最多,气泡平均直径较小,小气泡的上升浮力较小。另一方面丙二醇酯的亲油特性使其附着于气泡外表面的油脂层中,维持烘焙受热过程中气泡的稳定,抑制了气泡间的聚结,维持了乳化体系的稳定性。

3 结论

通过研究保泡型流态起酥油和蔗糖酯型乳化剂、单甘酯型乳化剂对薄层海绵蛋糕的面糊特性及烘焙特性的影响,表明含丙二醇酯的保泡型流态起酥油与蔗糖酯型乳化剂联用可显著减小面糊的密度,增加面糊的黏度与表面张力,从而增加面糊的稳定性,并减少薄层海绵蛋糕的表面气泡。同时发现,流态起酥油能显著提高海绵蛋糕比容($P < 0.05$),含有保泡型流态起酥油与蔗糖酯型乳化剂的海绵蛋糕比容比空白组增加了 68.5%,达 4.01 mL/g;保泡型流态起酥油与蔗糖酯型乳化剂联用有助于降低贮藏期硬度,贮藏 28 d 后,蔗糖酯型乳化剂与保泡型流态起酥油联用的海绵蛋糕硬度比单甘酯型乳化剂组减小了 37.8%。试验中乳化剂使用量较多,在合理范围内,可考虑引入食品胶体对面糊品质进行改善。

参考文献

[1] CEPEDA-V Z M, REGA B, DESCHARLES N, et al. How ingredients influence furan and aroma generation in sponge

cake[J]. Food Chemistry, 2018, 245: 1 025-1 033.

- [2] CAUVAIN S P. Chapter 5: Cakes, sponges and muffins[M]. Baking Problems Solved: Second Edition. United Kingdom: Woodhead Publishing, 2017: 235-298.
- [3] SAKIYAN O, SUMNU G, SAHIN S, et al. Influence of fat content and emulsifier type on the rheological properties of cake batter[J]. Eur Food Res Technol, 2004, 219(6): 635-638.
- [4] 王家宝, 陈诚, 王凤, 等. 含丙二醇酯低脂蛋糕的流变学、气泡微结构和烘焙特性研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(5): 1-13.
- [5] 王凤, 陈诚, 杨紫璇, 等. 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[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 1-6.
- [6] 陈诚, 张宾乐, 王家宝, 等. 蔗糖酯与淀粉酶改善海绵蛋糕品质特性[J]. 食品科学, 2018, 39(24): 1-6.
- [7] 王家宝, 陈诚, 王凤, 等. 搅拌时间和乳化剂对海绵蛋糕表面气泡的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 8-13, 70.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] SUN D S, YOO B. Rheological and thermal properties of blend systems of rice flour and potato starch[J]. Food Science and Biotechnology, 2011, 20(6): 1 679-1 684.
- [11] JYOTSNA R, PRABHASANKAR P, INDRANI D, et al. Improvement of rheological and baking properties of cake batters with emulsifier gels[J]. J Food Sci, 2004, 69(1): 16-19.
- [12] DIAZ-RAMIREZ M, CALDERON-DOMINGUEZ G, GARC A-GARIBAY M, et al. Effect of whey protein isolate addition on physical, structural and sensory properties of sponge cake[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 61: 633-639.
- [13] MACIERZANKA A, SZELAG H. Microstructural behavior of water-in-oil emulsions stabilized by fatty acid esters of propylene glycol and zinc fatty acid salts[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2006, 281(1): 125-137.
- [14] MURRAY B S. Interfacial rheology of food emulsifiers and proteins [J]. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 2002, 7(5): 426-431.
- [15] MURRAY B S. Stabilization of bubbles and foams[J]. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 2007, 12(4/5): 232-241.
- [16] 穆泉. 三相泡沫稳定性与消泡研究[D]. 长沙: 中南大学, 2005: 52-53.

落总数值分别为7.9分,19.12 mg/100 g,5.23 lg (CFU/g)。而对照组鱼片的感官得分、TVB-N值及菌落总数值分别为5.4分,24.52 mg/100 g,6.25 lg (CFU/g),说明该复合保鲜剂具有较好的保鲜效果。

3 结论

壳聚糖、茶多酚、柠檬汁作为保鲜剂均对虹鳟鱼片具有保鲜效果,在单因素试验基础上,利用Box-Behnken响应面设计对筛选出的3种保鲜剂较优浓度进行组合优化确定最佳配比浓度为:1.75%壳聚糖,0.25%茶多酚,4.98%柠檬汁。通过验证实验表明复配保鲜剂对冷藏虹鳟鱼片具有良好的保鲜效果,可延缓贮藏期间鱼片的感官变化及鱼肉蛋白质等含氮物质的分解,同时对微生物的生长具有一定的抑制作用。

参考文献

- [1] 吴永俊,王玉涛,施文正,等.不同产地虹鳟鱼肉风味物质的比较[J].上海海洋大学学报,2017,26(6):889-899.
- [2] 王玉婷.复合生物保鲜剂在大黄鱼保鲜中的应用研究[D].济南:山东轻工业学院,2011:37-43.
- [3] QIU Xu-jian, CHEN Sheng-jun, LIU Guang-ming, et al. Inhibition of lipid oxidaxion in frozen farmed ovate pompano (*Trachinotus ovatus* L.) fillets stored at -18°C by chitosan cotaing incorporated with citric acid or licorice extract[J]. J Sci Food Agric, 2016, 96: 3 374-3 379.
- [4] 李双双.金枪鱼的保鲜技术研究[D].舟山:浙江海洋学院,2013:21-42.
- [5] LI Ting-ting, HU Wen-zhong, LI Jian-rong. Coating effects of

tea polyphenol and rosemary extract combined with chiosan on the storage quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*)[J]. Food Control, 2012(25): 101-106.

- [6] 王当丰,李婷婷,国竞文,等.茶多酚-溶菌酶复合保鲜剂对白鲢鱼丸保鲜效果[J].食品科学,2017,38(7):224-229.
- [7] 沈秋霞,李明元,胡永正,等.包装方式对三文鱼片贮藏品质的影响[J].食品与机械,2018,34(6):133-138.
- [8] 李圣艳,李学英,靳春秋,等.保鲜剂对冰藏三文鱼品质变化的影响[J].河南农业科学,2017,46(4):128-133.
- [9] 汪之和.水产品加工与利用[M].北京:中国农业出版社,1999:21-25.
- [10] ZAHRA Ramezani, MEHDI Zarei, NEDA Raminnejad. Comparing the effectiveness of chitosan and nanochitosan coatings on the quality of refrigerated silver carp fillets[J]. Food Control, 2015(51): 43-48.
- [11] 刘琳.纳米壳聚糖安全性评价及其对南美白对虾涂膜保鲜的效果研究[D].杭州:浙江工商大学,2014:22-23.
- [12] 国际食品微生物规格委员会(ICMSF).微生物检验与食品安全控制[S].北京:中国轻工业出版社,2012:110-122.
- [13] 林静.茶多酚处理对微冻泥鳅保鲜效果的影响[D].重庆:西南大学,2017:19-22.
- [14] 吴圣彬,谢晶,苏辉,等.茶多酚对冻藏带鱼品质变化的影响[J].食品工业科技,2014,35(23):315-318,322.
- [15] 鞠健,汪超,李冬生,等.不同浓度的茶多酚对冷藏鲈鱼品质的影响[J].食品工业,2017,38(6):42-46.
- [16] SERAP Cosansu, SUHENDAN Mol, DIDEM Uçok Alakavu, et al. The Effect of lemon juice on shelf life of sous vide packaged whiting (*Merlangius merlangus euxinus*, Nordmann, 1840)[J]. Food Bioprocess Technol, 2013, 6: 283-289.

(上接第21页)

- [13] 刘施琳,朱丰,林圣楠.琼脂凝胶强度及弛豫特性的研究[J].食品工业科技,2017,38(13):85-100.
- [14] 王丹丹,毛晓英,孙领鸽,等.蛋白质氧化对核桃蛋白质结构的影响[J].食品工业科技,2018,39(12):32-38.
- [15] LIU Qian, LU Yan, HAN Jian-chun, et al. Structure-modification by moderate oxidation in hydroxyl radical-generating systems promote the emulsifying properties of soy protein isolate[J]. Food Structure, 2015(6): 21-28.
- [16] XIE Meng-xia, LIU Yuan. Studies on the Hydrogen bonding of aniline's derivatives by FT-IR [J]. Spectrochimica

Acta Part Amolecular and Biomolecular Spectroscopy, 2002, 58(13): 2 817-2 826.

- [17] CHEN Nan-nan, ZHAO Mou-ming, SUN Wei-zheng, et al. Effect of oxidation on the emulsifying properties of soy protein isolate[J]. Food Research International, 2013, 52(1): 26-32.
- [18] 赵润泽,蒋将,李进伟,等.烘烤对核桃蛋白二级结构、表面疏水性及乳化性的影响[J].食品工业科技,2016,37(16):157-166.
- [19] 尧思华.鸭血制各肉味风味物质的研究[D].南昌:南昌大学,2014:3-4.

(上接第33页)

- [17] JIANG Jiang, JING Wei-qin, XIONG You-ling, et al. Interfacial competitive adsorption of different amphipathicity emulsifiers and milk protein affect fat crystallization, physical properties, and morphology of frozen aerated emulsion [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 87: 670-678.
- [18] STAMPFLI L, NERSTEN B. Emulsifiers in bread making[J].

Food Chemistry, 1995, 52(4): 353-360.

- [19] ALI T M, HASNAIN A. Effect of emulsifiers on complexation and functional properties of oxidized white sorghum (*Sorghum bicolor*) starch[J]. Journal of Cereal Science, 2013, 57(1): 107-114.
- [20] BASEETH S S. Monoglyceride and emulsifier compositions and processes of producing the same: US, 20070009643 [P]. 2007-07-07.