

# 4 种功能性低聚糖对海绵蛋糕的面糊性能和烘焙品质的影响

Effects of four kinds of functional oligosaccharides on the batter and the baking quality of sponge cake

王永俊<sup>1</sup>

邓雯婷<sup>1</sup>

郑建仙<sup>1</sup>

黄卫宁<sup>2</sup>

WANG Yong-jun<sup>1</sup> DENG Wen-ting<sup>1</sup> ZHENG Jian-xian<sup>1</sup> HUANG Wei-ning<sup>2</sup>

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东 广州 510640;

2. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122)

(1. College of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510640, China; 2. State Key School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

**摘要:**针对海绵蛋糕的高糖问题,选用 4 种功能性低聚糖完全替代海绵蛋糕中的蔗糖,分别比较了它们对海绵蛋糕的面糊性能和烘焙品质的影响。结果表明:低聚异麦芽糖、低聚果糖、低聚半乳糖的面糊性能与蔗糖组较为接近,显示出良好的替代性,使用这 3 种糖制作的海绵蛋糕贮藏 3 d 后依然是可接受的。而菊粉因为吸湿性极强,其海绵蛋糕成品比容小,硬度大,咀嚼时粉质感强烈,可接受度最低。

**关键词:**功能性低聚糖;海绵蛋糕;面糊;烘焙品质

**Abstract:** To avoid various issues brought by high-sugar intake from sponge cake, we explored the feasibility of completely replacing sucrose in sponge cake with four kinds of functional oligosaccharides, whose effects on the batter and the baking quality were compared with each other. The results showed that the batters of isomaltooligosaccharide, fructooligosaccharide, and galactooligosaccharide were similar to that of the sucrose group, illustrating promises of introducing healthier formula without sacrificing product quality. The sponge cakes of the three substitute candidates maintained good taste after three-day storage. However, the fourth candidate, inulin, was too strong in water absorption, resulting in low quality of sponge cakes in the sense of smaller sizes, higher hardness, and powder-like taste, usually regarded as not desirable.

**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);比利时国际合作项目(编号:BE110021000)

**作者简介:**王永俊,男,华南理工大学在读硕士研究生。

**通信作者:**郑建仙(1966—),华南理工大学教授,博士。

E-mail: feixzhen@scut.edu.cn

**收稿日期:**2018-12-26

**Keywords:** functional oligosaccharide; sponge cake; batter; baking quality

蛋糕是一款深受消费者欢迎的美食,结构松软,口感与风味俱佳。但蛋糕也是一种高糖食品,现代社会许多疾病如肥胖症、糖尿病、高脂血症等,与高糖饮食直接或间接相关<sup>[1-4]</sup>。如何降低蛋糕的含“糖”量,一直是烘焙领域的研究热点<sup>[5]</sup>,目前,普遍采用糖醇、高倍甜味剂等低热量甜味剂代替蛋糕中的蔗糖,但使用纽甜、三氯蔗糖等高倍甜味剂完全替代蛋糕中的蔗糖时,会使蛋糕比容降低,组织发硬,可接受度降低<sup>[6-9]</sup>。Ronda 等<sup>[10]</sup>发现,木糖醇海绵蛋糕在风味、回味等方面超过蔗糖海绵蛋糕,但是木糖醇价格高,且不能参与美拉德反应而影响产品色泽。

功能性低聚糖,如大豆低聚糖、低聚果糖、菊粉、低聚半乳糖、水苏糖、低聚木糖等,因不被人体消化吸收可直接进入大肠成为双歧杆菌的增殖因子,带来润肠通便、促进矿物质元素吸收、增强免疫力等多种益处,是重要的功能性食品原料<sup>[11]</sup>。同时,功能性低聚糖在甜度、水分活度、黏度等方面具有与蔗糖相似的性质<sup>[12]7,38,104</sup>,可在食品制作过程中代替蔗糖发挥相同的作用。因此,将功能性低聚糖应用到蛋糕当中,可降低蛋糕热值的同时,并带来保健功能。

本研究拟选用低聚异麦芽糖、低聚果糖、低聚半乳糖和天然菊粉完全代替海绵蛋糕中的蔗糖,分别分析它们对面糊性能和蛋糕烘焙品质的影响,旨在为功能性低聚糖蛋糕的开发提供理论依据,以满足消费者的需求。

# 1 材料与方法

## 1.1 材料与仪器

### 1.1.1 试验材料

低聚异麦芽糖:IMO-900 型,山东百龙创园生物科技有限公司;

低聚果糖:P95 型,比利时 Beneo-Orafti 公司;

低聚半乳糖:900P 型,云浮市新金山生物科技有限公司;

菊粉:GR 型,比利时 Beneo-Orafti 公司;

低筋面粉、玉米油、白砂糖、鸡蛋:优级品,市售。

### 1.1.2 主要仪器设备

电烤箱:HK-60 型,广东省中山市豪通有限公司;

布拉本德糊化黏度仪:803202 型,德国 Brabender 公司;

旋转流变仪:HAKKE RS600 型,热电(Karlsruhe)公司;

色彩色差仪:CR-400 型,柯尼卡美能达有限公司;

质构仪:TA-XTPlus 型,英国 Stable Micro System 有限公司。

## 1.2 试验方法

1.2.1 海绵蛋糕的制作方法 海绵蛋糕配方见表 1。制作步骤:将全蛋液置于打发盆中,中速打发 3 min,加入蔗糖/功能性低聚糖,中速打发 5 min,转高速打发 10 min。加入过筛的低筋粉,搅拌混合 5 min,加入玉米油和水,拌合 3 min,即成蛋糕面糊。注模,烘烤条件:上下火 190 ℃,25 min。

1.2.2 蛋液打发效果的测定 分别测定蔗糖、4 种功能性低聚糖的全蛋液打发效果,采用式(1)计算蛋液的起泡能力<sup>[13]</sup>。

$$FC = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

FC——起泡能力,%;

$V_1$ ——100 g 全蛋蛋液的体积,mL;

$V_2$ ——打发后的体积,mL。

表 1 海绵蛋糕配方

Table 1 The recipe of cake g

| 原料     | 功能性低聚糖组 | 蔗糖对照组 |
|--------|---------|-------|
| 全蛋     | 100     | 100   |
| 低筋面粉   | 50      | 50    |
| 蔗糖     | —       | 30    |
| 功能性低聚糖 | 30      | —     |
| 玉米油    | 15      | 15    |
| 水      | 20      | 20    |

1.2.3 面粉—糖混合粉糊化特性的测定 按 GB/T 14490—2008 的方法,采用布拉本德糊化黏度仪测定面粉—糖(1:1)混合粉的糊化特性。称量若干克的混合粉至布拉本德黏度仪测量杯中,加水至 100 g,配制 15% 的浓度(按干基算),以 7.5 ℃/min 速率从 30 ℃升温至 95 ℃,保温 5 min,以同样速度降温到 50 ℃保温 5 min。测定条件:扭矩 0.068 6 N·m,转速 250 r/min。

1.2.4 面糊相对密度的测定 面糊按照 1.2.1 的配方与步骤制作,取一个平底容器并测定其质量为  $m_0$ ;然后盛满纯水,记录容器与水的重量为  $m_1$ ;再将平底容器装满面糊,拍打三下并确保容器里的面糊不留有大气泡,抹平表面,此时记录容器与面糊的重量为  $m_2$ 。按式(2)计算出面糊的相对密度。

$$\rho_{\text{面糊}} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times \rho_{\text{水}}, \quad (2)$$

式中:

$\rho_{\text{面糊}}$ ——相对密度,g/mL;

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度,1 g/mL;

$m_0$ ——容器质量,g;

$m_1$ ——容器与水的质量,g;

$m_2$ ——容器与面糊的质量,g。

1.2.5 面糊流变学特性的测定 面糊按照 1.2.1 配方与步骤制作,5 min 后取适量的面糊放置旋转流变仪测试板中心。该流变仪配置有 Universal Peltier 和水浴控温系统,流变仪平板直径 27.83 mm,间隙 1.0 mm,测试前调零。在恒温 25 ℃、频率 1 Hz 的条件下,剪切速率在 5 min 内从 0.1 s<sup>-1</sup>线性增加至 100 s<sup>-1</sup>,记录面糊黏度的变化。

1.2.6 海绵蛋糕比容的测定 海绵蛋糕比容的测定,参照 GB/T 14611—2008,蛋糕烘烤冷却后,去除表皮,切成边长约为 2 cm 的立方块,测定其质量为  $m$ ,用菜籽置换法测量其体积,蛋糕比容采用式(3)计算。每组蛋糕重复测量 6 次,去除最大值最小值后计算平均值。

$$v = \frac{V}{m}, \quad (3)$$

式中:

$v$ ——蛋糕比容,mL/g;

$m$ ——蛋糕块的质量,g;

$V$ ——蛋糕块的体积,mL。

1.2.7 海绵蛋糕色差的测定 去除海绵蛋糕表皮后,使用便携式色差仪测定蛋糕芯的色差。每组测量 5 次取平均值。

1.2.8 海绵蛋糕质构特性的测定 海绵蛋糕烘烤完成后,冷却至室温,去除表皮并切成边长为 2 cm 的立方测试块。测试参数设置:使用 P/36R 平底圆柱探头,触发值 5 g,压缩比 75%,循环数 2,测试前速度 5 mm/s,试验速度 1 mm/s,返回速度 5 mm/s。每个样品平行测定 6 次,去除最大值和最小值,取 4 个数的平均值。

1.2.9 海绵蛋糕感官分析 参考 GB/T 16290—1996 并略加修改,选取色泽、风味、口感、甜度、回味、整体可接受度 6 个指标,采用 9 分标度法进行评价,即:符合需求的 7~9 分,尚好的 4~6 分,不符合需求的 1~3 分。参加感官评分的人员共 11 人(男:女=4:7),评分前均经过简单的培训,分别评价焙烤后放置 1,24,72 h 的海绵蛋糕。5 组试验样品随机编号,所得结果去除最大值和最小值后,取平均值进行分析。评分标准见表 2。

1.2.10 数据分析 试验所得数据用微软 EXCEL 2013 与 SPSS 22.0 进行统计与分析。

表 2 感官评价标准

| Table 2 Criteria for sensory evaluation |                       |
|-----------------------------------------|-----------------------|
| 特性                                      | 要求                    |
| 色泽                                      | 外观金黄色,颜色均匀一致,无焦糊,剖面淡黄 |
| 风味                                      | 具有蛋糕应有的香气,无异味         |
| 口感                                      | 入口软绵,松软可口,无粉质感和粘牙感    |
| 甜度                                      | 甜味纯正,甜度适中             |
| 回味                                      | 回味纯正愉快,无异味            |
| 整体可接受度                                  | 可接受的程度                |

表 3 面糊的起泡能力、相对密度、稠度系数和流动特性指数<sup>†</sup>

| Table 3 Consistency coefficient and flow characteristic index of batter |                     |                            |                          |                          |                           |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 糖种类                                                                     | 起泡能力/%              | 相对密度/(g·mL <sup>-1</sup> ) | 稠度系数 <i>K</i>            | 流动特性指数 <i>n</i>          | 相关性 <i>R</i> <sup>2</sup> |
| 蔗糖                                                                      | 506±5 <sup>b</sup>  | 0.62±0.01 <sup>c</sup>     | 4.59±0.55 <sup>c</sup>   | 0.727±0.007 <sup>a</sup> | 0.998                     |
| 低聚异麦芽糖                                                                  | 446±6 <sup>c</sup>  | 0.65±0.00 <sup>b</sup>     | 10.04±0.17 <sup>b</sup>  | 0.629±0.001 <sup>b</sup> | 0.999                     |
| 低聚果糖                                                                    | 521±4 <sup>a</sup>  | 0.62±0.00 <sup>c</sup>     | 5.84±0.32 <sup>c</sup>   | 0.708±0.013 <sup>a</sup> | 0.995                     |
| 低聚半乳糖                                                                   | 417±5 <sup>d</sup>  | 0.62±0.00 <sup>c</sup>     | 12.79±0.38 <sup>b</sup>  | 0.611±0.023 <sup>b</sup> | 0.999                     |
| 菊粉                                                                      | 324±11 <sup>e</sup> | 0.94±0.02 <sup>a</sup>     | 136.67±4.16 <sup>a</sup> | 0.277±0.002 <sup>c</sup> | 0.994                     |

<sup>†</sup> 同列字母不同表示显著性差异( $P<0.05$ )。

低聚果糖、低聚半乳糖面糊的相对密度与蔗糖组相比无显著性差异( $P>0.05$ ),而低聚异麦芽糖、菊粉组的面糊相对密度比蔗糖组分别高 5.6%和 52.3%( $P<0.05$ )。试验还发现,面糊的相对密度与该糖蛋液的起泡能力呈显著负相关,Pearson 相关系数为-0.911( $P<0.05$ ),即起泡能力越强,面糊相对密度越小。

2.1.2 流变学特性 5 种面糊的表现黏度随剪切速率变化的结果见图 1。结果表明,在剪切速率变化范围内,5 种面糊的表现黏度很好地拟合了幂律方程( $\mu = K \times \gamma^{n-1}$ ),试验组和对照组的  $R^2>0.99$ ,稠度系数 *K* 和流动特性指数 *n* 见表 3。面糊的流变学性质是影响蛋糕体积和质构的主要因素之一<sup>[15]</sup>,其中又以面糊黏度最为重要,它与焙烤制品最终质量密切相关,面糊的初始黏度和加热过程中黏度的变化分别决定了气泡的结合能力和气泡的稳定性<sup>[16]</sup>。

试验结果表明,用低聚果糖代替海绵蛋糕中的蔗糖,

2 结果与分析

2.1 4 种功能性低聚糖对海绵蛋糕面糊性能的影响

2.1.1 蛋液起泡能力与面糊相对密度 4 种功能性低聚糖对全蛋液起泡能力、面糊相对密度的影响结果见表 3。起泡能力是蛋液在打发过程中体积的增加率,即泡沫的生成能力。由表 3 可见:低聚果糖的起泡能力最强,比蔗糖高 3%( $P<0.05$ ),而低聚异麦芽糖、低聚半乳糖、菊粉分别比蔗糖组低 10%,18%,36%( $P<0.05$ )。理想的起泡体系,应具备以下特点:① 蛋白质分子在搅打时快速移动至界面并重排定向;② 体系有中等强度的黏度并形成能抵挡剪切的膜。纯蛋液因为黏度过小,直接打发起泡效果不好,而加入糖后可以提高体系黏度,经搅打得到蓬松稳定的泡沫体系。低聚果糖水溶液的黏性与蔗糖相当<sup>[12]</sup><sup>[104]</sup>,所以两者打发效果较为接近。而菊粉最不利于蛋液打发起泡,可能是天然菊粉的聚合度与其他 4 种糖相比比较高,分子中具有较多活性羟基,具有良好的亲水性,与蛋白质分子竞争性结合蛋液里的水分子<sup>[14]</sup>,减缓蛋白质分子在界面上扩散与重新排列的速度,黏度过大,空气不易进入内部形成气泡。

两者面糊稠度系数、流动特性指数在统计上无显著性差异( $P>0.05$ ),显示出良好的替代性。这可能是低聚果糖的黏性、吸湿性、保湿性等食品应用特性都与蔗糖相近<sup>[12]</sup><sup>[38]</sup>。用低聚异麦芽糖代替蔗糖则会显著提高面糊的黏度( $P<0.05$ ),与窦光朋等<sup>[17]</sup>的研究结果一致,低聚异麦芽糖、低聚半乳糖、菊粉面糊的黏度分别是蔗糖组的 2.19,2.79,29.76 倍( $P<0.05$ ),可能与低聚异麦芽糖、低聚半乳糖、菊粉的多羟基结构有关,表现出与水分子有较强的结合能力,从而限制水的活度,增加了面糊黏度。试验还发现,面糊的相对密度与面糊的稠度系数呈极显著正相关关系( $P<0.01$ ),即相对密度大的面糊拥有较高的黏度。

2.1.3 糊化特性 使用布拉本德微型糊化黏度仪测定面粉—糖 1:1 混合粉的糊化特性,结果见表 4。结果表明,4 种功能性低聚糖和蔗糖一样,都可以显著地提高低筋粉的糊化起始温度( $P<0.05$ ),而使峰值黏度、恒温阶段起

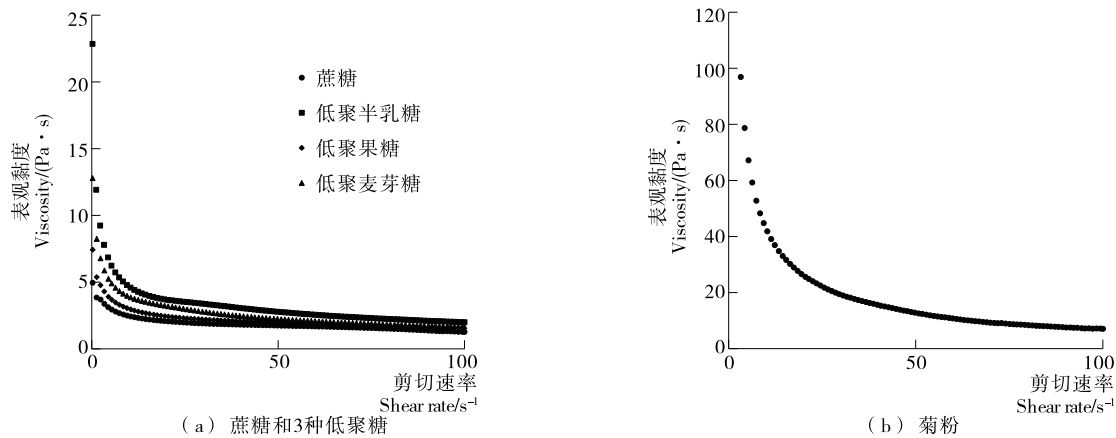


图1 面糊表观黏度随剪切速率的变化图  
Figure 1 Change in batter viscosity with shear rate

表4 4种功能性低聚糖对面粉糊化特性的影响<sup>†</sup>

Table 4 Effects of four functional oligosaccharides on the gelatinization properties of flour

| 组号 | 糊化起始<br>温度/℃          | 峰值黏度/<br>BU        | 恒温阶段起始<br>黏度/BU    | 冷却阶段起始<br>黏度/BU    | 崩解值/<br>BU         | 回升值/<br>BU         | 恒温阶段结束<br>黏度/BU    | 冷却阶段结束<br>黏度/BU    |
|----|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1  | 58.9±0.2 <sup>d</sup> | 632±3 <sup>a</sup> | 507±6 <sup>a</sup> | 373±3 <sup>a</sup> | 260±3 <sup>a</sup> | 171±2 <sup>a</sup> | 580±3 <sup>a</sup> | 543±3 <sup>a</sup> |
| 2  | 68.8±0.1 <sup>b</sup> | 148±1 <sup>b</sup> | 143±1 <sup>b</sup> | 100±2 <sup>b</sup> | 48±1 <sup>b</sup>  | 72±1 <sup>b</sup>  | 186±2 <sup>b</sup> | 173±2 <sup>b</sup> |
| 3  | 70.7±0.1 <sup>a</sup> | 133±2 <sup>d</sup> | 124±1 <sup>d</sup> | 89±1 <sup>d</sup>  | 44±1 <sup>c</sup>  | 54±1 <sup>f</sup>  | 169±1 <sup>d</sup> | 144±2 <sup>f</sup> |
| 4  | 70.7±0.1 <sup>a</sup> | 140±2 <sup>c</sup> | 128±1 <sup>c</sup> | 92±1 <sup>c</sup>  | 47±1 <sup>b</sup>  | 58±1 <sup>d</sup>  | 176±2 <sup>c</sup> | 150±2 <sup>e</sup> |
| 5  | 67.5±0.3 <sup>c</sup> | 145±1 <sup>b</sup> | 131±2 <sup>c</sup> | 100±1 <sup>b</sup> | 46±1 <sup>b</sup>  | 62±1 <sup>e</sup>  | 178±2 <sup>c</sup> | 161±1 <sup>d</sup> |
| 6  | 70.6±0.2 <sup>a</sup> | 100±2 <sup>e</sup> | 86±1 <sup>e</sup>  | 82±1 <sup>e</sup>  | 18±1 <sup>d</sup>  | 50±1 <sup>c</sup>  | 154±1 <sup>e</sup> | 132±1 <sup>c</sup> |

<sup>†</sup> 同列字母不同表示有显著性差异( $P<0.05$ );组号1~6分别表示纯小麦粉、蔗糖混合粉、低聚异麦芽糖混合粉、低聚果糖混合粉、低聚半乳糖混合粉、菊粉混合粉。

始黏度、冷却阶段起始黏度、冷却阶段结束黏度、恒温阶段结束黏度、崩解值、回升值显著下降( $P<0.05$ )。说明4种功能性低聚糖、蔗糖分子可与淀粉颗粒竞争性结合水分子,从而降低水分活度和利用率<sup>[18]</sup>,或与淀粉链之间形成交联作用“糖桥”,限制淀粉膨胀并稳定结晶区,因此需要更多的能量(外部加热)才能使其分开<sup>[19]</sup>。面糊的糊化起始温度升高后,可以延迟烘焙时气泡的溢出,从而帮助蛋糕形成疏松多孔的结构。低聚异麦芽糖、低聚果糖、菊粉3组的糊化起始温度比蔗糖组高约2℃( $P<0.05$ ),展现出良好的替代性,而低聚半乳糖组则比蔗糖组低1.3℃( $P<0.05$ )。

2.2 4种功能性低聚糖对海绵蛋糕烘焙品质的影响

2.2.1 比容、色差和质构特性 使用色差仪测定5种海绵蛋糕芯的色差,结果见表5。从表5中可以看出,使用4种功能性低聚糖替换海绵蛋糕中的蔗糖,蛋糕芯的亮度会显著降低( $P<0.05$ ),低聚异麦芽糖、低聚果糖、低聚半乳糖、菊粉组的亮度分别比蔗糖组低5.52%,5.19%,3.79%,17.65%,说明它们美拉德反应和焦糖化反应较为强烈。蔗糖组偏绿的倾向较大,低聚异麦芽糖、低聚果糖

组与蔗糖组相比在统计上没有显著性差异( $P>0.05$ ),而低聚半乳糖、菊粉海绵蛋糕的偏绿倾向较小( $P<0.05$ )。低聚异麦芽糖、低聚半乳糖、菊粉组蛋糕的 $b^*$ 值比蔗糖组高( $P<0.05$ ),而低聚果糖比蔗糖组低( $P<0.05$ )。

海绵蛋糕的比容、质构特性数据见表6。结果表明,使用低聚果糖代替海绵蛋糕中的蔗糖,两者的比容数据在统计学上无显著性差异( $P>0.05$ ),低聚异麦芽糖、低聚半乳糖组的比容分别比对照组低11.75%和14.10%( $P<0.05$ )。对于松软可口的海绵蛋糕而言,其烘焙品质

表5 4种功能性低聚糖对海绵蛋糕色差的影响<sup>†</sup>

Table 5 Effects of four functional oligosaccharides on the color difference of sponge cake

| 糖种类    | $L^*$                   | $a^*$                   | $b^*$                   |
|--------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 蔗糖     | 85.35±0.83 <sup>a</sup> | -4.37±0.13 <sup>b</sup> | 25.95±1.85 <sup>b</sup> |
| 低聚异麦芽糖 | 80.63±1.83 <sup>b</sup> | -4.12±0.31 <sup>b</sup> | 29.98±0.96 <sup>a</sup> |
| 低聚果糖   | 80.92±1.19 <sup>b</sup> | -4.12±0.20 <sup>b</sup> | 21.44±0.53 <sup>c</sup> |
| 低聚半乳糖  | 82.11±1.69 <sup>b</sup> | -3.55±0.23 <sup>a</sup> | 28.89±0.56 <sup>a</sup> |
| 菊粉     | 70.91±0.90 <sup>c</sup> | -3.68±0.21 <sup>a</sup> | 28.87±2.23 <sup>a</sup> |

<sup>†</sup> 同列字母不同表示有显著性差异( $P<0.05$ )。



高低与硬度、胶黏性、咀嚼性大小是负相关的关系,而与内聚性、弹性、回复性大小呈正相关关系。因此,结合质构特性数据可以看出,低聚异麦芽糖、低聚果糖、低聚半乳糖海绵蛋糕的硬度、胶黏性、咀嚼性均比蔗糖海绵蛋糕低,而内聚性、弹性、回复性与蔗糖组相近,展现出良好的替代性。菊粉海绵蛋糕比容最低,比对照组低 30.89%,蛋糕的硬度

最大,弹性和回复性差,罗登林等<sup>[14,20]</sup>认为菊粉的聚合度相对较高,分子中活性羟基较多,吸水极强,因此面糊黏度大,阻碍了水蒸气的形成和气体的散失,不利于面糊体积的膨胀,增加焙烤食品的硬度。试验结果还发现,海绵蛋糕比容与面糊的相对密度呈显著负相关,Pearson 相关性系数为-0.879( $P<0.05$ ),即面糊密度越大,蛋糕比容越小。

表 6 海绵蛋糕的比容、质构数据<sup>†</sup>

Table 6 Specific volume and texture data of sponge cake

| 组号 | 比容/(mL·g <sup>-1</sup> ) | 硬度/g                   | 胶黏性                  | 咀嚼性                 | 内聚性                     | 弹性                      | 回复性                     |
|----|--------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1  | 3.83±0.09 <sup>a</sup>   | 453±37 <sup>b</sup>    | 293±23 <sup>b</sup>  | 218±19 <sup>a</sup> | 0.65±0.01 <sup>ab</sup> | 0.76±0.02 <sup>ab</sup> | 0.20±0.00 <sup>ab</sup> |
| 2  | 3.38±0.08 <sup>b</sup>   | 401±55 <sup>b</sup>    | 245±24 <sup>bc</sup> | 168±9 <sup>b</sup>  | 0.62±0.04 <sup>b</sup>  | 0.73±0.04 <sup>b</sup>  | 0.19±0.01 <sup>b</sup>  |
| 3  | 3.78±0.09 <sup>a</sup>   | 323±35 <sup>b</sup>    | 207±20 <sup>c</sup>  | 168±14 <sup>b</sup> | 0.64±0.01 <sup>ab</sup> | 0.81±0.01 <sup>a</sup>  | 0.21±0.00 <sup>a</sup>  |
| 4  | 3.29±0.08 <sup>c</sup>   | 364±35 <sup>b</sup>    | 240±21 <sup>bc</sup> | 176±15 <sup>b</sup> | 0.66±0.01 <sup>a</sup>  | 0.74±0.02 <sup>ab</sup> | 0.20±0.01 <sup>ab</sup> |
| 5  | 2.86±0.10 <sup>d</sup>   | 2 028±157 <sup>a</sup> | 431±38 <sup>a</sup>  | 138±18 <sup>c</sup> | 0.21±0.02 <sup>c</sup>  | 0.41±0.02 <sup>c</sup>  | 0.06±0.00 <sup>c</sup>  |

<sup>†</sup> 同列字母不同表示有显著性差异( $P<0.05$ )。组号 1~5 分别表示蔗糖海绵蛋糕、低聚异麦芽糖海绵蛋糕、低聚果糖海绵蛋糕、低聚半乳糖海绵蛋糕、菊粉海绵蛋糕。

2.2.2 感官评价 采用 9 分标度法对 5 种海绵蛋糕进行感官评价,结果见图 2。由图 2 可知:菊粉海绵蛋糕在 72 h 贮藏期内 6 个维度的得分都是最低的,新鲜出炉的菊粉海绵蛋糕可接受度仅为 4.23 分,远远低于蔗糖组的 8.32 分,贮藏 72 h 的菊粉海绵蛋糕可接受度变得更低,为 3.23 分。由于菊粉具有极强的吸水性,其海绵蛋糕成品口感较差,咀嚼时粉质感强烈,让人觉得干燥而难以下咽。Fernanda 等<sup>[21]</sup>的研究也认为,含有菊粉的蛋糕比对照组硬度更大和更脆,最终降低菊粉蛋糕的可接受度。使用低聚异麦芽糖、低聚果糖、低聚半乳糖制作的海绵蛋糕,其在 1 h 时成品色泽、风味、口感三方面与蔗糖组相近,这 3 种蛋糕外观金黄色,颜色均匀,具有蛋糕应有的香气,入口软绵,回味纯正愉快,但是在甜度方面远远落后于蔗糖组,三者的可接受度分别为 6.93,7.05,6.58 分,蔗糖组为 8.12 分。低聚异麦芽糖、低聚果糖、低聚半乳糖贮藏 72 h 后整体可接受度分别为 5.84,6.48,6.37 分。因此,从整体上看,使用低聚异麦芽糖、低聚果糖、低聚半乳糖完全代替海绵蛋糕中的蔗糖,在 72 h 的贮藏期内,应用效果是可以接受的(可接受度>5 分)。

3 结论

本试验探究了 4 种功能性低聚糖对海绵蛋糕的面糊性能和烘焙品质的影响,结果表明:低聚异麦芽糖、低聚果糖、低聚半乳糖的面糊性能与蔗糖组较为接近,显示出良好的替代性;同时,海绵蛋糕的比容、色差、质构特性和感官数据说明,使用这 3 种糖制作的海绵蛋糕贮藏 3 d 后依然是可接受的,但是甜度方面仍有待加强。菊粉由于吸湿性极强,其海绵蛋糕成品比容小,硬度大,咀嚼时粉质感强烈,可接受度最低。

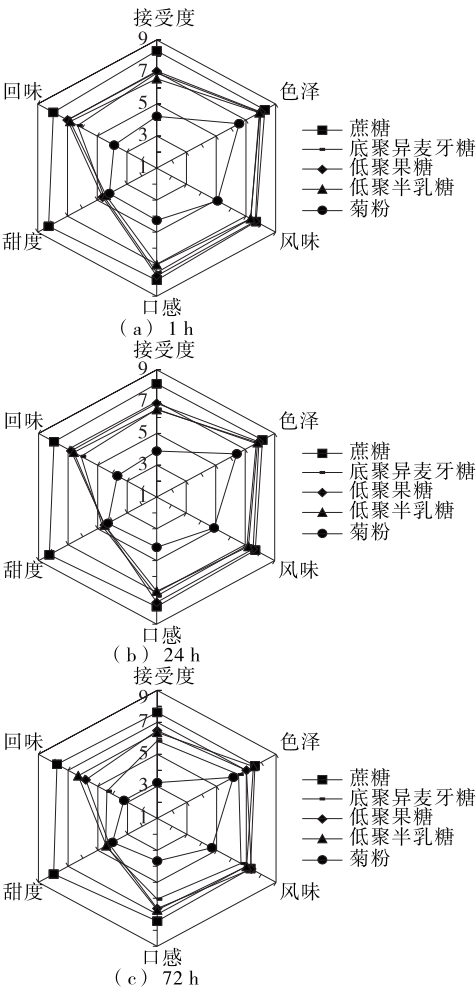


图 2 海绵蛋糕的感官评价结果

Figure 2 Sensory evaluation results of sponge cake

本研究仅涉及降低海绵蛋糕的糖热值问题,菊粉完全代替海绵蛋糕中的蔗糖虽不可取,但它可以提供类似脂肪的口感,后续可尝试将其他功能性低聚糖代替蔗糖、菊粉代替蛋糕中的脂肪,从而得到风味性良好的低糖低脂蛋糕。

### 参考文献

- [1] POTUKUCHI A, ADDEPALLY U, SINDHU K, et al. Increased total DNA damage and oxidative stress in brain are associated with decreased longevity in high sucrose diet fed WNIN/Gr-Ob obese rats [J]. Nutritional neuroscience, 2018, 21(9): 648-656.
- [2] BUSSEEROLLES J, ROCK E, GUEUX E, et al. Short-term consumption of a high-sucrose diet has a pro-oxidant effect in rats[J]. British Journal of Nutrition, 2002, 87(4): 337-342.
- [3] SVERDLOV A L, ELEZABY A, BEHRING J B, et al. High fat, high sucrose diet causes cardiac mitochondrial dysfunction due in part to oxidative post-translational modification of mitochondrial complex II[J]. Journal of Molecular and Cellular Cardiology, 2015, 78: 165-173.
- [4] SINGH S, NETTICADAN T, RAMDATH D D. Expression of cardiac insulin signalling genes and proteins in rats fed a high-sucrose diet: Effect of bilberry anthocyanin extract[J]. Genes & Nutrition, 2016, 11(1): 8.
- [5] 张丽君. 糖醇及低聚糖在烘焙食品中的应用及差异[J]. 食品工业科技, 2014, 35(23): 38-41.
- [6] 晏日安, 林楠, 遂与运, 等. 组甜在蛋糕中应用的研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(15): 134-136.
- [7] MARTÍNEZ-CERVERA S, SANZ T, SALVADOR A, et al. Rheological, textural and sensorial properties of low-sucrose muffins reformulated with sucralose/polydextrose[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 45(2): 213-220.
- [8] CAVALCANTE R S, SILVA C E M. Effects of sucrose reduction on the structural characteristics of sponge cake[J]. Revista Ciência Agronômica, 2015, 46(4): 718-723.
- [9] ATTIA E S A, SHEHATA H A, ASKAR A. An alternative formula for the sweetening of reduced-calorie cakes[J]. Food Chemistry, 1993, 48(2): 169-172.
- [10] RONDA F, GÓMEZ M, BLANCO C A, et al. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes[J]. Food chemistry, 2005, 90(4): 549-555.
- [11] 郑建仙, 耿立萍. 功能性低聚糖析论[J]. 食品与发酵工业, 1997(1): 39-46.
- [12] 郑建仙. 功能性低聚糖[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [13] YANG Xin, FOEGEDING E A. Effects of sucrose on egg white protein and whey protein isolate foams: factors determining properties of wet and dry foams (cakes)[J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(2/3): 227-238.
- [14] 罗登林, 武延辉, 徐宝成, 等. 菊粉在面制品中的应用现状及展望[J]. 食品科学, 2014, 35(3): 253-258.
- [15] PSIMOULI V, OREOPOULOU V. The effect of fat replacers on batter and cake properties[J]. Journal of Food Science, 2013, 78(10): C1 495-C1 502.
- [16] MARTÍNEZ-CERVERA S, SANZ T, SALVADOR A, et al. Rheological, textural and sensorial properties of low-sucrose muffins reformulated with sucralose/polydextrose[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 45(2): 213-220.
- [17] 窦光朋, 杨腾腾, 邵先豹, 等. 低聚异麦芽糖在蛋糕中的应用[J]. 农产品加工, 2018(6): 10-11, 17.
- [18] HOOVER R, SENANAYAKE N. Effect of sugars on the thermal and retrogradation properties of oat starches[J]. Journal of Food Biochemistry, 1996, 20(6): 65-83.
- [19] SPIES R D. Effect of sugars on starch gelatinization[J]. Cereal Chem, 1982, 59: 128-131.
- [20] RODRÍGUEZ-GARCÍA J, PUIG A, SALVADOR A, et al. Optimization of a sponge cake formulation with inulin as fat replacer: structure, physicochemical, and sensory properties[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(2): C189-C197.
- [21] VOLPINI-RAPINA L F, SOKEI F R, CONTI-SILVA A C. Sensory profile and preference mapping of orange cakes with addition of prebiotics inulin and oligofructose [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 48(1): 37-42.

### 信息窗

## 欧盟批准解脂耶氏酵母生物质作为新型食品投放市场

据欧盟官方公报消息,2019年5月14日,欧盟委员会发布(EU) 2019/760号条例,批准解脂耶氏酵母生物质(*Yarrowia lipolytica* yeast biomass)作为新型食品投放市场,并修订实施细则(EU)2017/2470的附件。

主要修订如下:将解脂耶氏酵母生物质将列入实施法规(EU)2017/2470中建立的授权新型食品清单中。规定在指定食品类别“指令 2002/46/EC 中定义的

食品补充剂(不包括婴儿和幼儿食品补充剂)”中,该物质最大使用限量为:10岁以上儿童、青少年和一般成年人 6 g/d,3~9 岁儿童 3 g/d,产品标签需标识产品含有“解脂耶氏酵母灭活生物质”,同时制定了解脂耶氏酵母生物质的规范。本条规定的授权不得影响指令 2002/46/EC 的规定。

(来源: <http://news.foodmate.net>)