

文章编号:2095-7386(2022)02-0006-07

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2022.02.002

壳寡糖对戚风蛋糕品质的影响及抗老化研究

郑卓¹,唐梦琦^{1,2},肖甚圣¹,吴艳¹,丁贝贝¹,陈挚³,付阳¹,王学东¹

(1. 武汉轻工大学 食品科学与工程学院 湖北 武汉 430048;

2. 宜昌市西陵区市场监督管理局 湖北 宜昌 443000;

3. 武汉市仟吉食品有限公司 湖北 武汉 430399)

摘要:为保持戚风蛋糕的品质并延缓其老化,测定添加0%、0.04%、0.06%、0.08%(质量分数)的壳寡糖对蛋清液打发性质及戚风蛋糕比容、水分含量、质构特性、切面气孔性质和感官品质的影响。结果表明:壳寡糖添加量为0.04%的蛋清液起泡性和泡沫稳定性最好,与对照组相比,添加量为0.06%的戚风蛋糕比容显著增大($P < 0.05$),水分含量显著升高($P < 0.05$),硬度较小、弹性较大,切面气孔性质改善,感官品质保持较好。在储藏期间,与对照组相比,壳寡糖添加量为0.06%的戚风蛋糕硬度显著降低($P < 0.05$)。因此,在戚风蛋糕制作过程中加入适量壳寡糖能够维持产品品质,有效延缓产品老化,提升产品效益。

关键词:壳寡糖;戚风蛋糕;品质;淀粉;抗老化

中图分类号:TS 201.1

文献标识码:A

Effects of Chitooligosaccharide on the quality characteristics of chiffon cake and anti-retrogradation research

ZHENG Zhuo¹, TANG Meng-qi^{1,2}, XIAO Shen-sheng¹, WU Yan¹, DING Bei-bei¹, CHEN Zhi³, FU Yang¹, WANG Xue-dong¹

(1. School of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430048, China;

2. Yichang Xiling District Market Supervision Administration, Yichang 443000, China;

3. Wuhan Kengee Food Co., Ltd, Wuhan 430399, China)

Abstract: To maintain the quality of chiffon cake and delay its retrogradation, the foaming property of egg white liquid, the specific volume, moisture content, texture properties, and porosity properties of chiffon cake were determined by adding 0%, 0.04%, 0.06%, and 0.08% (mass fraction) of chitooligosaccharide. and sensory quality during storage. The results showed that; the egg white liquid with 0.04% chitooligosaccharide added has the best foamability and foam stability. Compared with the control group, the specific volume of the chiffon cake with chitooligosaccharide content of 0.06% was significantly increased ($P < 0.05$), the moisture content was significantly increased ($P < 0.05$), the hardness was lower and the enthalpy value was higher than that of the control group. The porosity of the cut surface was improved, and the sensory quality was maintained well. During the storage period, compared with the control group, the hardness of the chiffon cake with 0.06% chitooligosaccharide addition decreased significantly ($P < 0.05$). Therefore, adding an appropriate amount of chitooligosaccharide in the production process of

收稿日期:2022-03-30.

作者简介:郑卓(1996-),男,硕士研究生,923197395@qq.com.

通信作者:王学东(1974-),男,博士,教授,E-mail:249873197@qq.com.

基金项目:武汉轻工大学湖北省健康粮油加工与技术转化创新平台建设(2019ZYDD036).

chiffon cake can maintain product quality, effectively delay product retrograding, and improve product benefits.

Key words: Chitooligosaccharide, chiffon cake, quality, starch, anti-retrogradation

1 引言

蛋糕作为一种具有松软口感与良好风味的点心,深受全世界消费者的喜爱。蛋糕通常以低筋小麦粉、白糖和鸡蛋液为主要原料,配以其他辅料通过打发、调制面糊、装模烤制而成。戚风蛋糕作为一种常见的蛋糕类型,具有水分充足、组织蓬松、质地柔软及良好香气等特点^[1]。然而,作为一种淀粉基食物,在储藏过程中,蛋糕会发生淀粉老化等现象,影响其品质和货架期。因此,在蛋糕的生产、销售和储存过程中,需要在保证蛋糕品质的前提下,寻找解决淀粉老化的方法。王永俊等^[2]研究发现,将低聚果糖、低聚异麦芽糖和低聚半乳糖加入海绵蛋糕中替代其中的蔗糖,贮藏 3 d 品质保持良好,有较好的应用效果。

壳寡糖(Chitooligosaccharide, COS)由壳聚糖通过酶法、物理或化学法等水解制备获得,是一种由 D-氨基葡萄糖通过 β -1,4-糖苷键连接而成的低聚糖。中国在 2014 年批准 COS 作为新食品原料用于食品。COS 带有柔和甜味,可以改善食品的口感并提高其保水能力。魏新林等^[3]通过研究发现,将 COS 加入淀粉基食品中,可以有效抑制淀粉老化,并延长其货架期。

本研究选用 COS 加入戚风蛋糕的制备过程中,以不加 COS 的戚风蛋糕作为对照,通过试验探究 COS 对戚风蛋糕品质的影响及其抗老化作用。为戚风蛋糕产品的开发与推广提供一些思路。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

COS(摩尔质量 340.33 g/mol,纯度 $\geq 80\%$):武汉盛泽食品配料有限公司;蛋清液、纯蔗糖、盐、低筋小麦粉、玉米淀粉、黄油、大豆油、蛋黄液由武汉市仟吉食品有限公司提供。

2.2 仪器与设备

SM101 小型打蛋机,广东德焙机械科技有限公司;backcombi 烤箱,德国 MIWE 公司;QBB 比重杯,祈鑫仪器仪表有限公司;TA. XCT 质构仪,上海保圣实业发展有限公司;C-CELL 食品图像分析仪,瑞

典波通有限公司;H0347 数字鼓风干燥箱,河北德科机械科技有限公司;Empyrean 锐影高分辨率衍射仪,荷兰帕纳科公司;Q2000 差式扫描量热仪,美国 TA 公司;FD-1A-50 真空冷冻干燥机,北京博医康实验仪器有限公司;FV100 万能高速粉碎机,郑州科丰仪器设备有限公司。

2.3 试验方法

2.3.1 戚风蛋糕的制作

(1)戚风蛋糕的配方

戚风蛋糕的配方如下:低筋小麦粉 150.00 g;蛋清液 717.50 g;蛋黄液 286.00 g;蔗糖 275.00 g;黄油 74.00 g;大豆油 74.00 g;玉米淀粉 30.00 g;盐 3.75 g。

(2)戚风蛋糕制备工艺

准确称取低筋小麦粉和玉米淀粉,充分混合过筛得到混合粉;然后准确称取大豆油和黄油于容器中,将容器水浴加热至 65℃;同时,将蛋清液、纯蔗糖和食盐置于小型打蛋机中进行搅打;然后将加热至 65℃ 的液体混合物取出,加入此前过筛后的混合粉与蛋黄液,朝同一方向进行轻度混合均匀;最后加入蛋清蛋白泡沫,以“丁字”手法将二者搅拌均匀得到蛋糕糊。将蛋糕糊注入 5 寸模具,放入提前预热的烤箱,上火 160℃、下火 145℃ 烘烤 27 min 得到戚风蛋糕。将制备完成并冷却的蛋糕样品密封编号,置于 4℃ 冰箱中冷藏时间 1 周得到储藏期样品。

另外,分别按照低筋小麦粉质量的 0%、0.04%、0.06%、0.08% 称取 COS,并将其加入上述蛋清液中,按照上述步骤制备戚风蛋糕。

2.3.2 蛋清液打发性能的测定

将 COS 以合适的比例加入蛋清液中,用打蛋机将其打发,并将蛋清液打发泡沫转移至烧杯中,表面用刮刀轻轻刮平,记录此时的样品高度,蛋清液打发性通过如下公式进行计算:

$$\text{蛋清液打发性}(\%) = \frac{100 \times (m_i - m_f)}{m_f}$$

其中, m_i 为未打发样品溶液的质量,g; m_f 为与 m_i 同体积样品溶液打发后的质量,g。

2.3.3 泡沫稳定性的测定

以上述打发后的蛋清液泡沫为样品,分析样品

的液体析出情况得到泡沫稳定性。具体操作如下:将打发后的蛋清液泡沫置于同一环境下,常温静置 30 min,观察底部液体析出的情况,采用毛细导管缓慢地将底部析出液体引出,并防止带出泡沫,测定析出液体的质量,泡沫稳定性通过如下公式进行计算:

$$\text{泡沫稳定性}(\%) = \frac{100 \times m_d}{m_f}$$

其中, m_d 为析出液体的质量; m_f 为泡沫初始质量。

2.3.4 戚风蛋糕比容的测定

蛋糕的体积用排小米法测定,蛋糕比容用如下公式计算:

$$\text{蛋糕比容}(\text{mL/g}) = \text{蛋糕体积}(\text{mL}) / \text{蛋糕质量}(\text{g})$$

重复测定 3 次,结果取平均值。

2.3.5 戚风蛋糕水分含量的测定

戚风蛋糕烘烤出炉冷却 3 h 后,按照 GB/T 5009.3-2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》的直接干燥法测定其含水量,每个样品重复测定 3 次,结果取平均值。

2.3.6 戚风蛋糕质构特性的测定

戚风蛋糕烘烤出炉冷却 3 h 后,切割成 $4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ 的均匀薄片,进行质构测定。

储藏期戚风蛋糕的硬度测定如下:将制备的戚风蛋糕于 4°C 条件下分别冷藏 0、1、3、5、7 d 后,切割成 $4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ 的均匀薄片。

质构仪参数:P/36 探头,测前速度 1 cm/s ,测中速度 2 cm/s ,测后速度 1 cm/s ,压缩比 40%,测试时间 3 s。

每组测试重复进行 3 次,每次取 6 个平行,结果取平均值。

2.3.7 戚风蛋糕切面气孔性质的测定

戚风蛋糕烘烤出炉冷却 3 h 后,从中间高度一致的位置进行切片,将其置于食品图像分析仪的采集盒内合适位置,进行拍照得到蛋糕切片组织结构的成像图与阈值转化图,利用软件统计分析切片的气孔数目及其分布情况。

2.3.8 戚风蛋糕感官评价

参照 SB/T10142-93《蛋糕用小麦粉》中蛋糕感官评定的方法进行感官评定,感官评定人员为 10 名(男 5 人,女 5 人)武汉轻工大学食品专业的学生,感官评定前经过培训,有相关经验。测试前对产品进行随机编号,感官评定人员分别对编号后的产品

色泽、滋味、口感、组织状态、外观以及总体可接受度进行评分。总体可接受度指标分值范围设定为 0 分~9 分,0 分为非常不喜欢;5 分为既不喜欢也不讨厌;9 分为非常喜欢。结果舍弃最高值与最低值后取平均值。

2.3.9 数据处理

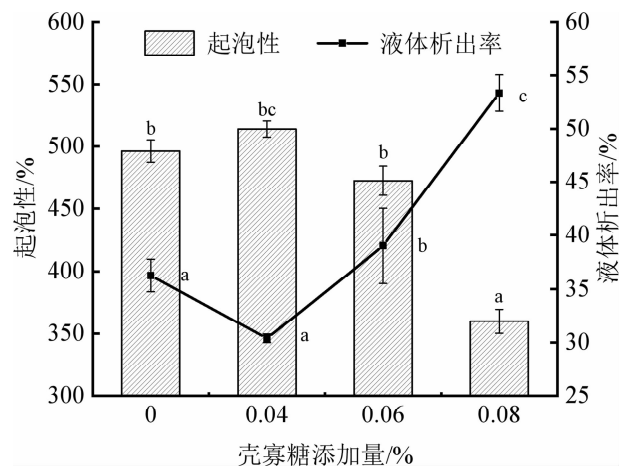
运用 Excel 和 SPSS17.0 进行数据统计分析,运用方差分析法进行显著性分析,运用 Origin8.5 进行制图。

3 结果与分析

3.1 COS 对蛋清液打发性和泡沫稳定性的影响

起泡性和泡沫稳定性是评价蛋清液打发性质的指标。COS 对蛋清液的打发性质的影响如图 1。

由图 1 可知当 COS 的添加量为 0.04% 时,其蛋清蛋白打发泡沫体系的起泡性优于蔗糖,即展示出更高效的打发程度;伴随添加量的增大,其打发性能逐渐劣化,当添加量达到 0.08% 时,展现出最弱的蛋清液起泡能力。初步原因推测 COS 的分子量与结构性质使之与蛋白接触面更广,结合后发生诸多改变使得在高速搅拌过程中蛋清液物化性质发生转变。当 COS 的添加量为 0.04% 时,蛋清蛋白打发泡沫体系的液体析出率低于蔗糖组,即表现出与蔗糖组能力相当的起泡性兼具更优的泡沫稳定性,说明此时的泡沫体系中泡沫消失形成气孔,而析出的纯液体部分占比很少。随着壳寡糖继续添加,其泡沫稳定程度则失去优势。当壳寡糖浓度达到 0.08% 时,其泡沫体系最不稳定、易于消泡。



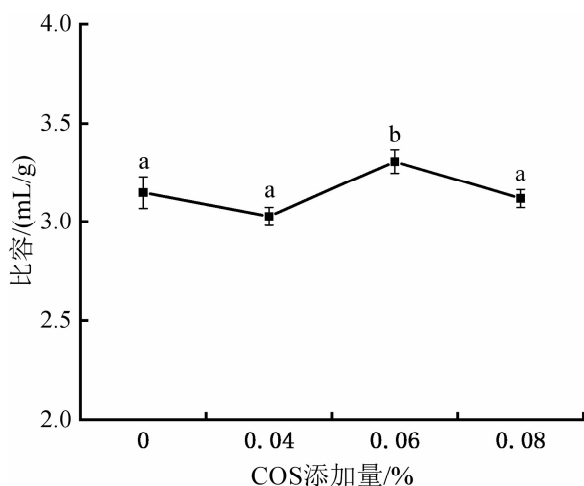
注:不同小写字母表示显著差异($P < 0.05$),相同字母表示无显著差异($P > 0.05$)。

图 1 COS 对蛋清液打发性质的影响

3.2 COS 对戚风蛋糕比容的影响

对于发泡类型蛋糕而言,比容是评价其品质特性的重要指标。比容越大,蛋糕品质越好。蛋糕的比容与蛋糕糊初始充气量和气泡稳定能力有关^[4]。面糊搅拌过程中产生的气泡越多,气泡稳定性越高,受热膨胀后,面糊体积越大,对应的蛋糕成品比容也越大。

COS 对戚风蛋糕的比容如图 2 所示。添加 COS 的样品中,随着 COS 添加量的增加,戚风蛋糕的比容出现先升后降的趋势。COS 添加量为 0.04% 和 0.08% 的样品比容与对照组没有显著性差异($P > 0.05$)。与其他三组样品相比,COS 添加量为 0.06% 的样品的比容显著增大($P < 0.05$),说明加入适量的 COS 会使蛋糕糊形成更多均匀致密的气泡,且气泡的稳定性较好^[5]。



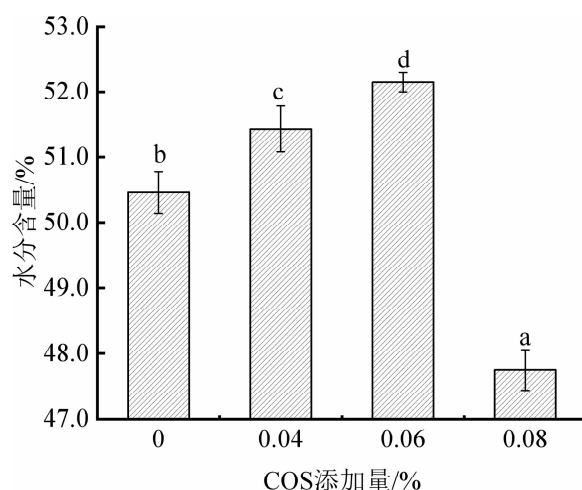
注:不同小写字母表示显著差异($P < 0.05$),
相同字母表示无显著差异($P > 0.05$)。

图2 COS对戚风蛋糕比容的影响

3.3 COS 对戚风蛋糕水分的影响

水分含量是影响戚风蛋糕柔软程度的因素之

一,水分含量低会导致蛋白质与淀粉之间的氢键增多,使蛋糕变硬,内部组织被破坏等^[6]。COS 对戚风蛋糕的水分含量影响如图 3 所示。



注:不同小写字母表示显著差异($P < 0.05$),
相同字母表示无显著差异($P > 0.05$)。

图3 COS对戚风蛋糕水分含量及烘焙损失率的影响

由图3可以看出,COS添加量为不超过0.06%时,随着COS添加量增加,戚风蛋糕的含水量显著增加($P < 0.05$),当COS添加量为0.06%时,戚风蛋糕水分含量为最大。可能是水溶性的COS具有良好的吸湿保湿性使蛋糕内部水分均匀分布,阻碍了水分散失^[7]。而COS添加量从0.06%增加到0.08%时,戚风蛋糕芯部的水分含量显著下降($P < 0.05$),且显著低于对照组($P < 0.05$)。可能是COS会使面糊中的自由水含量降低,面糊持水性降低,面糊中的气-水界面面积增大,导致水分散失增加^[8]。

3.4 COS 对戚风蛋糕质构特性的影响

质构特性是衡量蛋糕品质的重要依据。硬度、弹性和咀嚼性是分析蛋糕质构的重要指标。COS对戚风蛋糕的质构特性的影响如表1所示。

表1 COS对戚风蛋糕质构特性的影响

COS添加量(%)	硬度/gf	弹性	咀嚼性/gf	回复性
0	435.82 ± 13.59 ^b	0.94 ± 0.01 ^a	332.84 ± 8.61 ^b	0.39 ± 0.01 ^{ab}
0.04	421.51 ± 22.84 ^a	0.94 ± 0.01 ^a	316.73 ± 16.12 ^a	0.38 ± 0.01 ^a
0.06	416.23 ± 14.1 ^a	0.95 ± 0.01 ^b	322.12 ± 12.5 ^a	0.40 ± 0.01 ^b
0.08	421.14 ± 8.81 ^a	0.94 ± 0.01 ^a	321.26 ± 7.52 ^a	0.38 ± 0.01 ^a

注:同列肩标不同小写字母表示显著差异($P < 0.05$),相同字母表示无显著差异($P > 0.05$)。

由表1可知,加入COS会使戚风蛋糕的硬度显著下降($P < 0.05$),且随着COS添加量的增加,戚风蛋糕的硬度没有显著性变化($P > 0.05$)。COS添加量为0.06%的戚风蛋糕硬度最低,比对照组降低了

4.49%。可能是添加COS的蛋糕糊体系捕捉水分子的能力略强于对照组,同时COS对蛋糕糊体系的小气泡捕捉能力优于对照组。戚风蛋糕的咀嚼性与其品质呈负相关^[9]。由表1可知,戚风蛋糕的咀嚼性变

化与硬度相似。加入 COS 后,戚风蛋糕的弹性在添加量为 0.06% 时达到最大,其他两组(添加量为 0.04% 和 0.08%)与对照组弹性差别不大($P > 0.05$)。同时,由表 1 可以看出,添加 0.06% COS 的戚风蛋糕回复性较对照组有所增加,但效果不显著($P > 0.05$),说明 COS 对戚风蛋糕回复性影响不大。

3.5 COS 对戚风蛋糕切面气孔分布及切片组织结构的影响

在戚风蛋糕的制备过程中,脂类经过搅拌均匀地分布于面糊中。烤制时,随着烤箱温度逐渐上升,面糊混合时分散于流动界面的部分脂肪晶体受热融化,由脂肪形成并固定的分布均匀的小

气泡发生膨胀。在烤制过程中受温、湿度的影响,部分气泡受热膨胀直至破裂,影响了蛋糕的组织结构及最终的体积。切片气孔结构及内部纹理组织是反应蛋糕优劣程度的指标,部分国家将面制品的芯部纹理结构图像与质构特性相结合作为评价面制品的关键因素。国家标准《小麦粉面包烘焙品质试验》(GB/T 16411-2008)也明确指出:面包、蛋糕等烘焙制品中,内部切片组织及纹理结构评价不得低于综合感官评分内容的 30%。

通过气孔的指标测定能够侧面反应出蛋糕切片的气孔壁厚度、气孔数目、直径等诸多方面。表 2 表示 COS 对戚风蛋糕切面气孔分布的影响。

表 2 COS 对戚风蛋糕切面气孔分布的影响

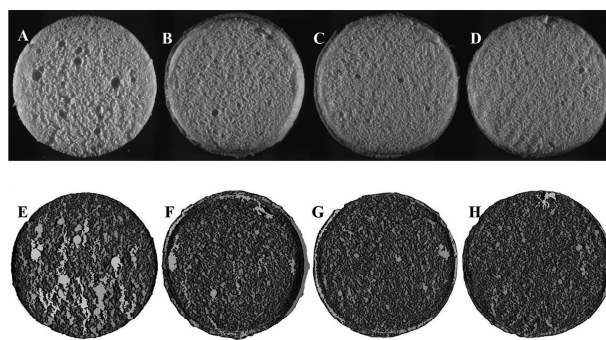
COS 添加量(%)	气孔直径(mm)	粗细气孔比	粗气孔体积	气孔数量	孔壁厚度(mm)
0	3.03 ± 0.06^c	0.06 ± 0.00^b	17.84 ± 0.92^c	5961 ± 109.79^a	0.47 ± 0.00^b
0.04	2.30 ± 0.16^{ab}	0.03 ± 0.00^a	9.63 ± 0.26^a	6336 ± 75.70^b	0.45 ± 0.00^a
0.06	2.05 ± 0.04^a	0.04 ± 0.00^a	9.81 ± 0.35^a	6902 ± 84.18^c	0.44 ± 0.01^a
0.08	2.45 ± 0.06^b	0.05 ± 0.00^b	12.77 ± 0.40^b	5959 ± 69.24^a	0.45 ± 0.00^a

注:同列肩标不同小写字母表示显著差异($P < 0.05$),相同字母表示无显著差异($P > 0.05$)。

由表 2 能够看出,添加 0.04% 和 0.06% 的 COS 能够增加蛋糕切面的气孔数量,而 0.08% 的 COS 添加使得蛋糕切片的气孔数量略微减少。可能与蛋清液打发性质及泡沫稳定性有关,添加量为 0.08% 的 COS 对蛋清液的起泡性质具有削弱作用,同时具有不稳定的泡沫保持性。因此,添加量为 0.08% 的 COS 蛋糕糊体系泡沫形成能力不足且易于消泡,烘焙过程中已经成型的小气泡逐渐消失,导致气孔数目减少。与其他组相比,COS 添加量 0.06% 的戚风蛋糕气孔数量最多,说明此时的蛋糕内部多均匀多孔。

样品的气孔大小包含气孔面积和气孔体积,能准确反映样品切面纹理结构特征。粗细气孔比反映出粗气孔数目占据整个切面气孔中的比例,粗气孔体积则反映出整个组织中粗气孔的大小情况,个数愈多,会导致切面结构气孔不够细腻、分布不均,造成不良的直观体验。孔壁厚度表示气孔与气孔之间的阻隔程度,由表 2 可知,添加 COS 能够减小蛋糕切片的孔壁厚度,说明此时的蛋糕内部组织结构较为疏松,具有良好的弹性与松软度。孔壁越薄,戚风蛋糕内部质地越细腻^[10]。戚风蛋糕切片的粗细气孔比也并未随 COS 的加入具有明显的线性波动,这可能由于蛋糕糊烘烤时部分已形成的大气泡散失^[8]。与此同时,COS 的添加使蛋糕切片的粗气孔体积减少,说明蛋糕糊中的气泡稳定性不够强,与之相对应的是较为紧密的内部组织结构。

图 4 为由食品图像分析仪摄取的不同添加量 COS 戚风蛋糕样品切面图。由图 4 可以看出,对照组的切片表面气孔分布相对不均匀、且存在较大的孔洞,能够直观地看出其内部组织不够紧密、且存在不良的组织。添加 COS 后能够大大减少蛋糕切片的气孔数量,通过图 4 可以看出 COS 组戚风蛋糕内部组织较为致密,对照组则趋于松散。纵观来看,COS 参与烘焙后对原蔗糖蛋糕样品组织的分布情况均有所改善,具体表现为更加紧密的内部组织。



注:A~D 分别为添加 0%、0.04%、0.06%、0.08% COS 戚风蛋糕的切面原始图片,E~H 为其对应的阈值转化图。

图 4 不同 COS 添加量戚风蛋糕的切面图

3.6 COS 对戚风蛋糕感官的影响

采用 9 分标度法对 COS 分别对应的戚风蛋糕组进行感官评价。结果如图 5 所示,COS 添加量为 0.08% 的戚风蛋糕的色泽、甜度、口感、风味、回味和

可接受度得分均为最小值。由图 5 可知,所有添加 COS 组的戚风蛋糕色泽评分均低于对照组,且 COS 添加量越高,色泽评分越低。蛋糕的色泽可能与 COS 本身的颜色有关。戚风蛋糕产品一般呈现诱人的金黄色。COS 颜色接近棕褐色,加入少量 COS 会使蛋糕样品颜色略微加深。另外,烘烤过程发生的美拉德反应和焦糖化反应的程度不同也会导致戚风蛋糕色泽不同^[2]。随着 COS 添加量增加,戚风蛋糕的甜度评分略微下降($P > 0.05$)。从整体感官评分来看,0.06% 的 COS 所对应的戚风蛋糕的产品整体效果是能够接受、具有可替代意义的。

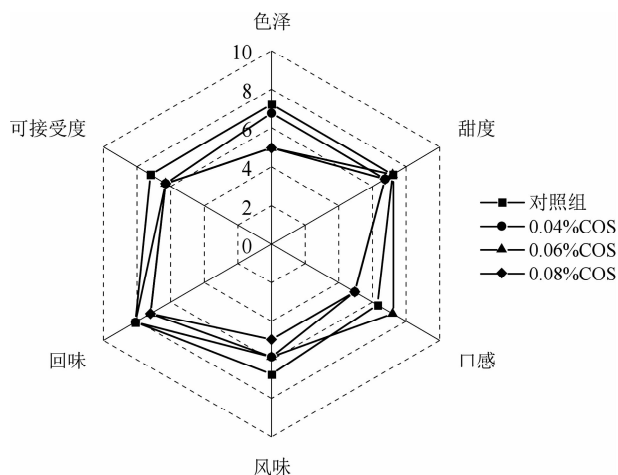


图5 COS对戚风蛋糕感官差异的影响

3.7 COS对不同冷藏天数戚风蛋糕硬度的影响

戚风蛋糕等淀粉基食品在储藏期间芯部水分不断向表面迁移,而表面的水分会不断散失,导致其硬度逐渐增加^[11]。硬度的变化能反映蛋糕老化的程度^[12]。图6为COS对储藏期间戚风蛋糕芯硬度的影响。

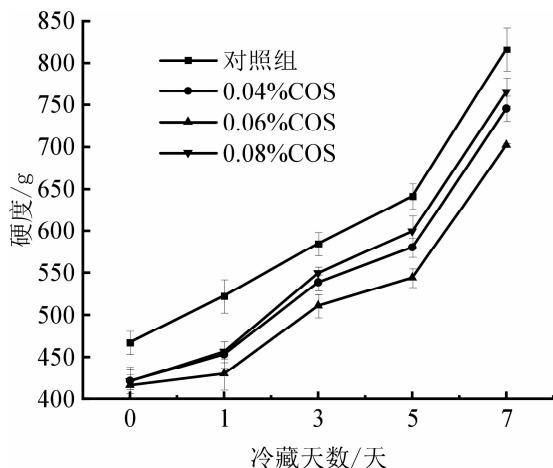


图6 COS对储藏期间戚风蛋糕芯硬度的影响

如图6所示,0 d时,添加 COS 的样品硬度均小

于对照组,说明添加 COS 会降低戚风蛋糕的硬度。储藏期间,对照组与添加 COS 的戚风蛋糕硬度随着储藏天数的延长而显著增大($P < 0.05$)。储藏 5 至 7 d,添加 COS 的蛋糕硬度增幅最大,表明戚风蛋糕储藏后期硬度增加较快。COS 对戚风蛋糕的储藏期硬度影响如图 6,可以看出在储藏前 3 d,添加量为 0.04% 和 0.08% 的 COS 硬度变化趋势较为接近,储藏后期 COS 添加量为 0.08% 的样品硬度增幅则高于添加量为 0.06% 之时。在前 5 d,添加量为 0.04% 和 0.08% 的 COS 硬度数值均低于对照组,表现出优于对照组的硬度特性,COS 添加量为 0.06% 的戚风蛋糕的硬度在储藏期间始终小于其他组,表明其能够阻碍戚风蛋糕硬度的下降。这与戚风蛋糕的水分含量相对应。

4 结论

研究了不同添加量的 COS 对蛋清液打发性质及戚风蛋糕品质的影响,确定了 COS 的最佳添加量,并对储藏期戚风蛋糕的老化现象进行了探讨。结果表明:添加 0.06% 的 COS 能够改善蛋清液打发性和泡沫稳定性,添加 0.04% 的 COS 能够提高戚风蛋糕的比容和水分含量、减少烘焙损失率,有效改善戚风蛋糕的硬度和弹性,同时对切面气孔分布及切片组织结构有一定的改善。在储藏期间,COS 能够降低戚风蛋糕的硬度并一定程度延缓老化。总之,在戚风蛋糕中适量添加 COS,为新资源食品的应用提供了理论新依据,对指导生产具有一定的现实意义。

参考文献:

- [1] 傅释仪,王维民,谌素华,等. 青香蕉粉戚风蛋糕的研究[J]. 食品科技,2019,44(01):217-222.
- [2] 王永俊,邓雯婷,郑建仙,等. 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[J]. 食品与机械,2019,35(05):8-13.
- [3] 魏新林,夏文水. 甲壳低聚糖的特性研究[J]. 水产科学,2004(02):15-19.
- [4] 邹奇波,王家宝,陈诚,等. 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[J]. 食品与机械,2019,35(11):28-33,151.
- [5] 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(05):1-7.

- [6] Rodriguez G J, Sahi S S, Hernando I. Functionality of lipase and emulsifiers in low-fat cakes with inulin[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 58(1):173-182.
- [7] 潘珣璠, 张方东, 卜鑫, 等. 改性壳寡糖中羧基含量对其吸湿保湿和抗氧化性能的影响[J]. 日用化学工业, 2020, 50(10):687-692.
- [8] 尹国友, 孙婕, 孔敏雪, 等. 大豆油体蛋糕的制作及品质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(14):5808-5814.
- [9] 孙辉, Macritchie F. 利用图像分析技术评价发酵面食品品质的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2011, 32(04):59-62+67.
- [10] Liu Y, Guan E, Li M, et al. Improvement of cake quality by superheated steam treatment of wheat [J]. Journal of Cereal Science, 2020, 95:103046.
- [11] 曹征南, 刘建福, 马亚茹, 等. 豌豆膳食纤维粒径对面包面团及面包品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(19):8-12.
- [12] Niu H, Han Q, Cao C, et al. Short-term retrogradation behavior of corn starch is inhibited by the addition of porcine plasma protein hydrolysates[J]. International journal of biological macromolecules, 2018, 115:393-400.

(上接第 5 页)

- [16] 季小荣, 刘钦钰, 陈晓蔚. 调味面制品中蜡样芽胞杆菌污染状况调查分析[J]. 检验检疫学刊, 2019, 29(2):36-38.
- [17] 郭旭光, 郑子栋, 郭毅. 2017 年河南省调味面制品安全监督抽检不合格项目及危害分析[J]. 河南预防医学杂志, 2019, 30(2):80-82, 85.
- [18] 曹荣, 刘淇, 赵玲, 等. 基于高通量测序的牡蛎冷藏过程中微生物群落分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(20):275-280.
- [19] 李晓然, 龚福明, 李洁, 等. 基于混合培养和高通量测序分析云南传统发酵豆豉中活性细菌群落[J]. 食品科学, 2014, 35(7):90-94.
- [20] 杨恒, 王学东, 丁贝贝, 等. 不同糖醇对辣条坯体品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(13):8.
- [21] Ke Y, Ding B, Zhang M, et al. Study on inhibitory activity and mechanism of chitosan oligosaccharides on *Aspergillus Flavus* and *Aspergillus Fumigatus* [J]. Carbohydrate Polymers, 2022, 275:118673.
- [22] Ke Y, Ding B, Fu Y, et al. Effects of chitosan oligosaccharide and hyriopsis cumingii polysaccharide on the quality of wheat flour and extruded flour products[J]. Food Science and Biotechnology, 2021, 30(7):911-919.
- [23] Yang H, Fu Y, Zhang Y, et al. Evaluation of mannitol and xylitol on the quality of wheat flour and extruded flour products[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2021, 56(8):4119-4128.