硬脂酰乳酸钠对冻融循环发酵面团及其油炸甜甜圈品质的影响

张文雅[1]，徐 丹[1,2]，吴凤凤[1,2]，洪婷婷[1]，徐学明[*1,2]
（1. 江南大学 食品学院，江苏 无锡 214122；2. 江南大学 食品科学与技术国家重点实验室，江苏 无锡 214122）

摘要：作者研究了硬脂酰乳酸钠(Sodium stearyl lactate，SSL)对预醒发冷冻面团及其油炸甜甜圈品质的影响。将SSL加入自制发酵面团中，通过测定4次冻融循环后发酵面团的拉伸特性、流变学特性、可冻结水含量，以及冻融循环发酵面团油炸甜甜圈的比容、质构特性、表皮色泽、内部纹理结构、吸油率和水分损失率及感官评分，研究SSL对冻融循环发酵面团及油炸甜甜圈品质的影响。结果显示，与空白组对比，随着SSL添加量增加，冻融循环发酵面团拉伸性能和弹性模量先增加后降低，损耗角正切tanδ和可冻结水质量分数先降低后升高，冻融循环发酵面团油炸甜甜圈的硬度、黏度、咀嚼性先降低后升高，弹性、比容和感官评分先升高后降低，吸油率和水分损失率先降低后升高，其中最优SSL添加质量分数为0.2%，可使可冻结水质量分数降低8.16%，甜甜圈比容增加22.73%，吸油率降低5.39%。

关键词：硬脂酰乳酸钠；冷冻；融化；发酵面团；品质
中图分类号：TS 217.1　**文章编号：**1673-1689(2022)02-0073-09　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2022.02.010

Effects of Sodium Stearyl Lactate on Quality of Freeze-Thaw Circulating Fermented Dough and Its Fried Donuts

ZHANG Wenya[1]，*XU Dan*[1,2]，*WU Fengfeng*[1,2]，*HONG Tingting*[1]，*XU Xueming*[*1,2]
（1. School of Food Science and Technology，Jiangnan University，Wuxi 214122，China；2. State Key Laboratory of Food Science and Technology，Jiangnan University，Wuxi 214122，China）

Abstract：The quick detection of the effect of sodium stearyl lactate (SSL) on the quality of pre-proofed frozen dough and its fried doughnuts was carried out.SSL was added into the homemade fermented dough and the characterization wasdone after 4 freeze-thaw cyclesstorage.The effect of SSL on the quality of freeze-thaw fermented dough and its deep-fried doughnut was determined by the extension and rheological properties, freezable water content of the dough, and the specific volume, texture characteristics, crust color, internal texture structure, oil absorption capability, moisture loss rate, and sensory score of its fried donuts. Compared with the blank group, the results showed that with SSLdose increased, the extension properties and elastic modulus of pre-proofed doughincreased at first and then decreased, while its loss tangent (tanδ)and freezable water contentdecreased atfirst and then increased.The hardness, viscosity and chewiness offried donutsdecreased at first and then increased, while the elasticity, specific volume and sensory scores

收稿日期：2021-01-06
基金项目：国家重点研发计划项目(2018YFD0400604)。
***通信作者：**徐学明(1968—)，男，博士，教授，博士研究生导师，主要从事食品组分与物性方面的研究。E-mail：xmxu@jiangnan.edu.cn

first increased and then decreased, and the oil uptake and moisture loss rate of donuts first decreased and then increased. The optimal amount of SSL was 0.2%, which could reduce the freezable water content of dough by 8.16%, increase the specific volume of donut by 22.73%, and reduce the oil uptake by 5.39%.
Keywords: Sodium stearyl lactate, freezing, melting, proof dough, quality

冷冻面团技术源于欧美国家,随后在全世界得到迅速发展,近些年来我国对冷冻面团技术的需求也越来越高。冷冻面团为消费者提供了新鲜的产品,实现了标准化、分工化生产,极具方便性,利于存储、运输;又能依据需要控制生产,节约资源,减少浪费。但是目前研究表明,冷冻面团品质仍不稳定,冰重结晶是主要原因之一,通过引起面团关键组分的劣变,从而导致冷冻面团或冷冻面制品品质变化。目前,为了减小由冷冻导致的面团或面制品品质劣变程度,添加改良剂已成为一种常见的方法[1]。许多研究表明,食品乳化剂性能良好、应用广泛,能有效改善冷冻面团的品质。乳化剂通过与面团中的成分相互作用来改善其品质。与油脂相互作用,降低油的表面张力,形成稳定的乳化液,充分扩散到面团中从而使制品疏松; 与蛋白质相互作用,增强面筋结构,形成更为细致有弹性的网络,增加持气性,增大制品体积;与直链淀粉相互作用,增加面筋网络的延展性,降低面团黏度,提高制品柔软度,延缓制品老化。其中,硬脂酰乳酸钠(Sodium stearyl lactate,SSL)是一种较为常用的离子型乳化剂,安全无毒且性能优良,与蛋白质和淀粉结合,强化面筋网络结构,增强面团持气性[2-4],增加面筋蛋白质的保水性,改善水分状态,减少冻藏过程中的水分迁移及冰晶的形成[5]。

甜甜圈(Donuts)是一种常见的甜食,由面粉、糖、鸡蛋等原料混合后经油炸而成,又称唐纳滋、多拿滋,因酥软可口、香气扑鼻、能增进食欲而深受大众的喜爱。目前市场上常见的为现炸型甜甜圈和预油炸冷冻甜甜圈, 现炸型甜甜圈在门店现做现卖,需要较长的操作时间;预油炸冷冻甜甜圈在冷冻储藏的过程中存在油脂氧化风险,复热后口感及风味与新鲜甜甜圈差距大,且极具油腻感。而甜甜圈面团是高油面团, 油脂对冷冻面团有一定的保护作用,在较短的冻藏期内,品质劣变不明显。因此,采用冻融循环的方法,研究添加硬脂酰乳酸钠对预醒发冷冻面团品质及油炸甜甜圈品质的影响,从而为开发高品质非预炸冷冻甜甜圈提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

高筋面包粉(烘焙专用):益海嘉里食品有限公司产品;起酥油:天津南侨食品有限责任公司产品;绵白糖、食盐:市售;耐高糖活性干酵母:安琪酵母股份公司产品;鸡蛋、油菜籽:购于欧尚超市;硬脂酰乳酸钠(SSL):郑州大河食品科技有限公司产品。

1.2 仪器与设备

ARA520 型电子天平:奥豪斯有限公司;SM-25 型搅拌机、SM-32S 型醒发箱、SM-302N 型切片机:新麦机械(无锡)有限公司;油炸机:广州越昇餐饮设备有限责任公司;TA.XT Plus 型质构分析仪:英国 Stable Micro System 公司;UltraScan Pro1166 型高精度分光测色仪: 美国 Hunterlab 公司;77530 型冷冻干燥机: 美国 LABCONCO 公司;SII 差示扫描量热仪:日本精工纳米科技有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 冻融面团及其甜甜圈样品制备 由预实验得到优化的甜甜圈配方,其中高筋粉 100 g、耐高糖酵母 0.6 g、白砂糖 8 g、盐 0.8 g、起酥油 10 g、鸡蛋 10 g、水 46 g。除起酥油外,将其他原料按比例混合入和面机,低挡搅拌 4 min,形成面团,加入起酥油,高速搅拌 8 min, 使面筋网络完全形成; 将面团取出,静置 10 min,用压面机将其压成约 5 mm 厚的薄片,快速成型装盘;置于醒发箱(温度 35 ℃,相对湿度 75%)醒发一定时间;于-40 ℃冰箱中速冻 30 min,待用。

参照叶晓枫等[6]方法并作适当改进,取出冷冻样品,于醒发箱(温度 25 ℃,相对湿度 75%)中解冻 1 h,将此记为初始冻融循环,此时的面团记为初始冻融循环样品(F0)。再将 F0 样品转入-20 ℃冰箱冷藏 1 d,再于醒发箱(温度 25 ℃,相对湿度 75%)中解冻 1 h,将此记为第 1 次冻融循环样品(F1),重复

4 次得到的样品即为本试验面团样品(F4)。

将 F4 面团进行油炸,温度 180 ℃,时间 3 min,即得到本试验油炸甜甜圈样品。

依据 GB2760 规定及预实验结果,确定本试验中 SSL 添加质量分数(以面粉质量计)为 0.1%、0.2%、0.3%。

1.3.2 面团的拉伸测定 面团的拉伸测试方法是采用 Verbruggen 等报道的方法[7]。拉伸测试所用面团为 F4 面团,被切成 19 cm 长的面条,截面为 6 mm×6 mm 的正方形。面团拉伸曲线使用 TA.XTPlus 质构仪测定,配备有 Kieffer 构件。在拉伸模式下,面团条以 3.30 mm/s 的速率从 80 mm 拉伸至 230 mm。拉伸曲线的横坐标为相对长度(取值范围为 0~150 mm),纵坐标为拉力(单位为 mN),其拉伸曲线在顶点处对应的力和拉伸距离分别定义为最大阻抗力和拉伸长度。

1.3.3 面团的流变学特性测定 在 25 ℃下,用直径 2 cm 平板夹具进行测定。取适量中心部位的面团于载物台上,将夹缝距离调为 2 mm,用刮刀快速切去多余的面团,并用盖子迅速盖住样品以防止水分散失。在 1 Hz 下进行应变扫描测试(0.01%~100%),以确定样品的黏弹性区间。在应变为 0.02%、频率扫描范围为 0.1~10 Hz 下进行实验。

1.3.4 面团可冻结水质量分数的测定 利用差示扫描量热仪(DSC)测定面团样品的可冻结水质量分数。在 DSC 铝盒中快速称取 10 mg 左右面团,压盖密封。以空铝盒作为对照,将其放入 DSC 样品板上进行测定。测试过程温度设置如下:从 20 ℃以 10 ℃/min 的速度降温至−40 ℃,恒温 5 min,再以 10 ℃/min 的速度升温至 20 ℃,得到结果并分析面团解冻吸热的融化焓(ΔH)。参照 Lu 等[8]的方法并作适当调整,可冻结水质量分数的计算公式如下:

$$W=\frac{\Delta H}{\Delta H_0\times T_W}\times 100\% \quad (1)$$

式中:ΔH 为样品的融化焓,J/g;ΔH_0 为冻结水的融化焓,J/g;T_W 为面团样品中水的质量分数,%。

1.3.5 甜甜圈比容测定 将 F4 面团油炸得到甜甜圈,冷却至室温后称质量,并用菜籽替换法测定其体积[9]。比容计算公式如下:

$$\text{比容(mL/g)}=\frac{\text{体积(mL)}}{\text{质量(g)}} \quad (2)$$

1.3.6 甜甜圈质构测定 采用物性质构仪(TPA)分析冻融循环后制成的甜甜圈的全质构特征。参照 Mohamed 等[10]的方法做适当调整。用切片机将甜甜圈样品切成 12.5 mm 厚的薄片,取两片甜甜圈薄片堆叠至 P/0.5 圆柱形探头下进行 TPA 测试。测试条件如下:测前速度为 1.0 mm/s,测定速度为 1.0 mm/s,测后速度为 3.0 mm/s,感应力为 5 g,压缩程度为 35%,两次压缩时间间隔为 5 s。分析硬度、黏度、弹性和咀嚼性等质构特征值。

1.3.7 甜甜圈表皮色度测定 甜甜圈室温冷却 2 h 后,用高精度分光测色仪测定各甜甜圈外皮的色差值。选取 L^*,a^*,b^* 为测试指标。L^* 表示明暗度(黑白);a^* 代表红绿色,正值表示物质偏红,负值表示偏绿;b^* 代表黄蓝色,正值表示物质偏黄,负值表示物质偏蓝。色差 ΔE^* 计算如下:

$$\Delta E^*=\sqrt{(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

式中:ΔL^*、Δa^* 和 Δb^* 分别是样品和标品(L^*=100,a^*=0,b^*=0)间的 L^*,a^* 和 b^* 的差值。

1.3.8 甜甜圈吸油质量分数及水分损失质量分数测定 甜甜圈的吸油质量分数通过索氏抽提法来测定,参照 Kim 等[11]的方法做适当调整。油炸过程中的吸油质量分数通过以下公式计算:

$$\text{吸油质量分数}=\frac{(W_D\times F_D-W_d\times F_d)}{W_D}\times 100\% \quad (4)$$

式中:W 表示质量,g;F 表示含油质量分数,%;D 表示甜甜圈;d 表示面团。

根据 GB5009.3—2016 中的直接干燥法测定甜甜圈的水分质量分数。油炸过程中的水分损失率通过以下公式计算:

$$\text{水分损失率}=\frac{(W_d\times M_d-W_D\times M_D)}{W_d}\times 100\% \quad (5)$$

式中:W 表示质量,g;M 表示水分质量分数,%;D 表示甜甜圈;d 表示面团。

1.3.9 甜甜圈的感官评分 甜甜圈的感官品质通过嗜好评分法进行测定。测试前,将感官评定人员进行简单的培训,按男女比例 4:7 进行测试人员的选定,并对产品进行随机编号。

测试指标为产品的色泽、质地、表观油腻感、风味、口感、回味以及整体感官接受度,指标分值设定为 1~9 分。1 分表示非常不喜欢;5 分表示既不喜欢也不讨厌;9 分表示非常喜欢。去掉最大值和最小值后的平均值即为评分结果。

1.4 数据处理与统计分析

运用 SPSS 25.0 分析软件，通过单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan 检验(P<0.05)手段分析数据的差异性,结果以 $\bar{x}\pm s$ 表示。运用 Origin2018 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 SSL 对冻融下发酵面团拉伸特性的影响

面团的拉伸阻抗力代表面筋网络的强度、弹性和面团的持气能力，可以用来表示面筋结构的强弱;拉伸长度代表面筋和面团的延伸性,表示面团的膨胀能力[12]。由质构仪测试的面团拉伸曲线见图1,其中最大抗阻力(mN)和拉伸长度(mm)数据见表 1。

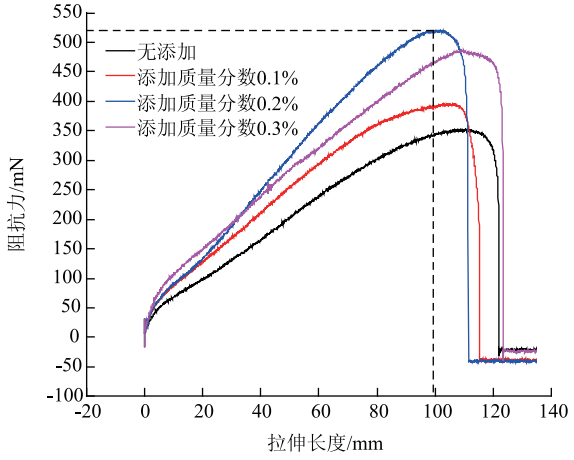


图 1 面团条(190 mm×6 mm×6 mm)的拉伸曲线图

Fig. 1 Extension test curves of dough strips(190 mm×6 mm×6 mm)

表 1 面团条(190 mm×6 mm×6 mm)的拉伸特性参数

Table 1 Extension properties of dough strips(190 mm×6 mm×6 mm)

添加质量分数/%	最大阻抗力/mN	拉伸长度/mm
0	364.19±8.82^{d}	112.76±1.32^{a}
0.1	409.12±11.42^{c}	107.68±1.00^{b}
0.2	527.19±5.78^{a}	101.62±0.99^{c}
0.3	483.59±3.80^{b}	109.30±0.62^{b}

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

与对照组比较,添加了 SSL 的面团的最大阻抗力先增加后降低(P<0.05),而其对应的拉伸长度先降低后增加(P<0.05),这可能同乳化剂 SSL 的疏水亲水性相关。添加 SSL 后,SSL 的亲水基团外露,提高面团的吸水率,SSL 的疏水基团与面筋蛋白质结合,形成更为稳定的复合体,强化面筋网络结构,增强面团的面筋结构强度和抗拉伸力,增大冷冻面团的拉伸性。SSL 作为一种离子型乳化剂,能分别吸附在油水两相相互排斥的界面上,极大地降低两相的界面张力,提高乳化效率,形成均质状态的分散体系,得到粒径细小且均匀的分散液滴,在冻结时更容易形成小晶粒[13],从而在冻融循环时不易破坏面筋结构。当 SSL 添加量达到 0.3%时,面团的抗拉伸力下降，这可能是由于 SSL 添加过多使面团发黏,减弱了面筋网络结构的强度[14]。

2.2 SSL 对冻融下发酵面团流变特性的影响

黏弹性是面团的固有性质。黏性模量(G'')代表的是物质的黏性流体本质,弹性模量(G')代表的是物质的弹性固体本质。损耗角正切 tan δ 是黏性模量与弹性模量的比值,可以反映面团粘弹体系的黏性及弹性的变化趋势。tan δ 越小,则表示相对于黏性成分来说,弹性成分更占据主导地位,体系更具有明显的固体特征。

如图 2 所示,与空白面团相比,添加 SSL 的面团弹性模量和黏性模量均增大,tan δ 值均减小。除 SSL 外,制作面团的其他原料均相同,且频率扫描结果反映的主要是面筋网络对面团的影响,所以可能是由于 SSL 与面筋蛋白质、水和油等组分相互作用强化了面筋网络结构,从而使模量增大。Kenny 等研究抗坏血酸和 DATEM 对面团的影响时也得到了类似的结果[15]。然而诸多研究表明,SSL 对冷冻面团流变学特性仍没有统一的结论,如 Kokelaar 等[16]认为 SSL 并不能显著影响面团动态模量，也有一些研究认为 SSL 能使面团弹性模量和黏性模量均降低。

2.3 SSL 对冻融下发酵面团中可冻结水含量的影响

诸多研究表明,冰重结晶引起的面团关键组分的劣变是导致冷冻面团品质劣变的主要原因。其中冷冻面团品质劣变的最主要因素是面筋结构和酵母细胞的破坏,而面筋结构和酵母细胞的破坏主要是由冰的重结晶引起的。冰重结晶破坏了面筋结构使面团持气性下降,破坏酵母细胞使酵母的活性和产气能力下降。而冰重结晶主要是由可冻结水产生的,所以冷冻面团中可冻结水质量分数的降低对冷冻面团有着重要的意义。

由表 2 可以看出,添加了 SSL 的面团的冻结溶液融化焓及面团可冻结水质量分数均低于空白面团，添加质量分数为 0.2%时最低，添加质量分数

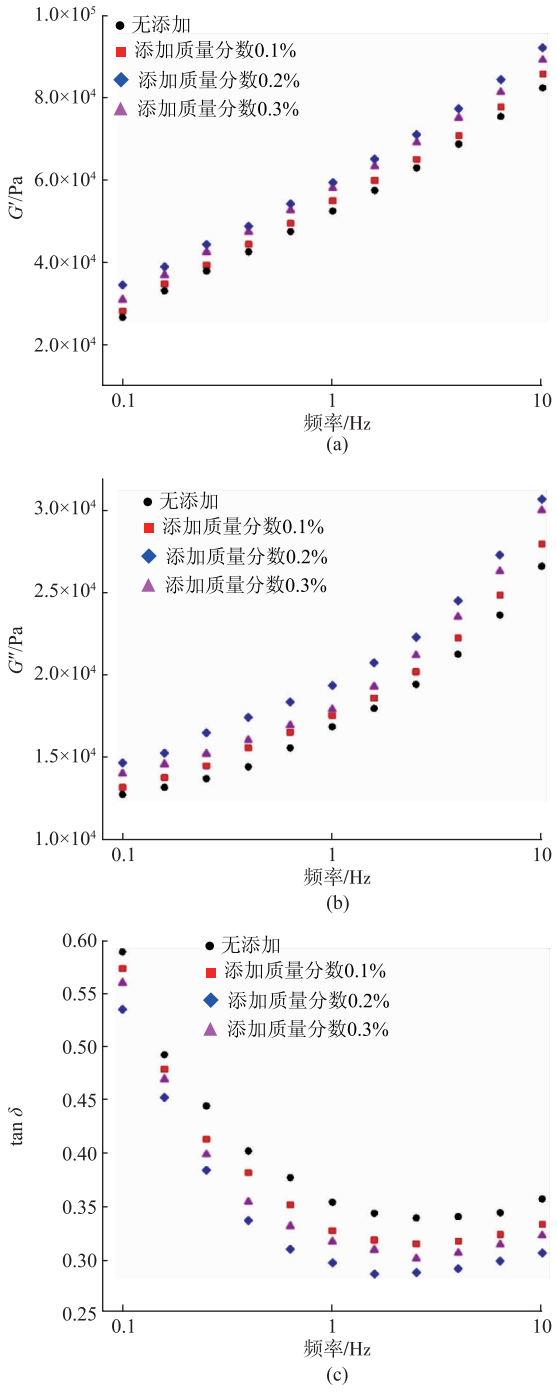


图 2 频率变化过程中 SSL 对冻融下发酵面团弹性模量(G')、黏性模量(G'')和 tan δ 的影响

Fig. 2 Influence of SSL on the elastic modulus (G'), viscosity modulus (G'') and tanδ of freeze-thaw fermented dough

0.2%SSL 的面团可冻结水质量分数比空白组下降 8.16%。由图 3 可以看出,添加质量分数 0.2%SSL 面团的曲线明显偏右,代表结晶溶液融化温度最高,即添加质量分数 0.2%SSL 的抗冻活性最高。添加 SSL 面团的 ΔH 降低的原因[17]主要由于体系中可冻结水质量分数的降低或体系中原本的水分降低。SSL 添加到冷冻面团中能增加面筋蛋白质的保水性,改善水分状态,减少冻藏过程中的水分迁移及冰晶的形成。

表 2 不同 SSL 添加质量分数对冻融发酵面团可冻结水质量分数的影响

Table 2 effect of SSL on the freezing water content of freeze-thaw fermented dough

添加质量分数/%	ΔH/(J/g)	可冻结水质量分数/%
0	59.29±0.27^{a}	52.57±0.24^{a}
0.1	56.60±0.16^{b}	50.82±0.15^{b}
0.2	50.33±0.15^{d}	44.41±0.13^{d}
0.3	54.41±0.16^{c}	49.15±0.14^{c}

注:同列同小写字母表示差异显著(P<0.05)

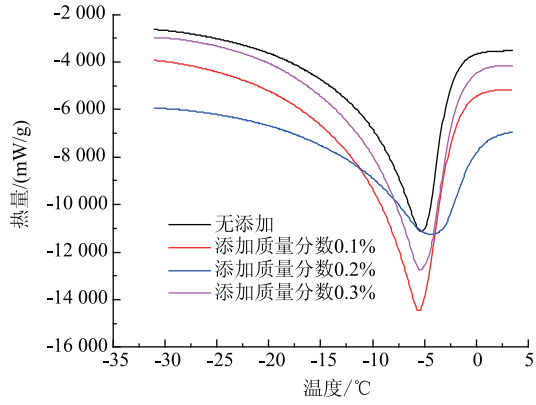


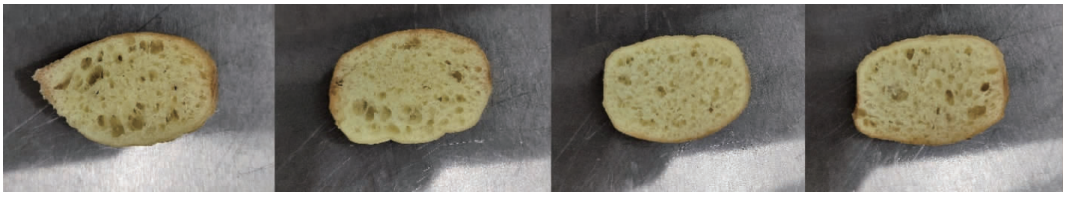
图 3 不同 SSL 添加质量分数的冻融发酵面团的 DSC 曲线

Fig. 3 DSC curves of freeze-thaw fermented dough with different amounts of SLL

2.4 SSL 对冻融发酵面团甜甜圈形态和比容的影响

将冻融循环 4 次的面团进行油炸得到甜甜圈,截取不同 SSL 添加质量分数的甜甜圈截面,得到甜甜圈切片,见图 4。可以看出,添加一定量 SSL 的甜甜圈与空白对比,内部结构更均一细密。这可能是由于 SSL 使水油两相的界面张力降低,渗透压增强,促进油脂充分扩散到面团中,形成光滑薄膜层结构,增强面团的润滑作用,形成更为细致的面筋网络结构,从而改善甜甜圈的内部组织结构,使其更为细密柔软。Tsen 等[18]研究发现,乳化剂也会影响面粉的粉质特性、面团酵母的产气量等,这也可能是 SSL 影响甜甜圈品质特性的原因。

从表 3 可以看出,添加 SSL 甜甜圈比容均比空白组大。当 SSL 添加质量分数达到 0.3%时,比容值又呈下降趋势,说明添加过高的 SSL 可能会降低甜甜圈的品质。添加 SSL 甜甜圈比容的变化趋势与其面团拉伸性能的变化趋势相一致。这主要是因为 SSL 作为一种乳化剂,与面团中的面筋蛋白质相互作用从而增强面筋网络结构的强度和面团的抗拉伸力,增大冷冻面团的拉伸性能,降低冷冻及冻藏过程对面筋的损伤,维持面团的保气性,从而使甜甜圈的比容升高。EL-Hady 等人[19]发现,卵磷脂可以显著增加冻藏 4 周的冷冻面团面包的体积,与本实验中的结果类似。



(a) 无添加 (b) SSL添加质量分数为0.1% (c) SSL添加质量分数为0.2% (d) SSL添加质量分数为0.3%

图 4 不同 SSL 添加质量分数的甜甜圈切片图

Fig. 4 Slices of donuts with different amounts of SSL

表 3 不同 SSL 添加质量分数对甜甜圈比容的影响

Table 3 Influence of SSL on donuts specific volume

添加质量分数/%	比容/(mL/g)
0	2.42±0.10^{c}
0.1	2.69±0.02^{b}
0.2	2.97±0.12^{a}
0.3	2.75±0.06^{b}

注:同行不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

2.5 SSL 对冻融发酵面团甜甜圈质构特性的影响

食品质构在一定程度上可以反映食品的组织结构、状态及感官质量等,是衡量食品品质的重要指标之一,SSL 对冻融循环面团油炸甜甜圈质构特性的影响见表 4。可以看出,添加 SSL 后冻融循环面团油炸甜甜圈的质构特性变得优良,硬度、黏度和咀嚼性下降,弹性升高。随着 SSL 添加质量分数的增加,冻融循环面团油炸甜甜圈的硬度、黏度和咀嚼性呈现先下降后增加的趋势,弹性呈现先增加而下降的趋势。与 SSL 添加质量分数 0.2%的甜甜圈对比,SSL 添加质量分数 0.3%的甜甜圈硬度、黏度和咀嚼性增大,弹性降低。探究冻融发酵面团的拉伸性能和流变学性质可得,当 SSL 添加质量分数达到 0.3%时,面团的抗拉伸力下降,tan δ 值增加,面团发黏,冷冻面团易在冷冻及醒发过程中塌陷,导致甜甜圈比容降低,体积下降,硬度增加。SSL 添加质量分数为 0.2%时,冻融循环面团油炸甜甜圈的硬度、黏度、弹性和咀嚼性的出现峰值。

表 4 不同 SSL 添加质量分数对甜甜圈质构特性的影响

Table 4 Effects of SSL on the texture properties of donuts

添加质量分数/%	硬度/g	黏度/(g·s)	弹性	咀嚼性
0	160.80±5.15^{a}	−0.81±0.09^{c}	0.91±0.02^{c}	129.73±16.32^{a}
0.1	136.97±11.99^{b}	−1.43±0.17d	0.92±0.01^{bc}	107.30±9.11^{ab}
0.2	116.70±14.51^{c}	−0.33±0.02^{a}	0.99±0.01^{a}	85.55±8.43^{b}
0.3	161.84±7.07^{a}	−0.60±0.07^{b}	0.94±0.02^{b}	100.52±12.24^{b}

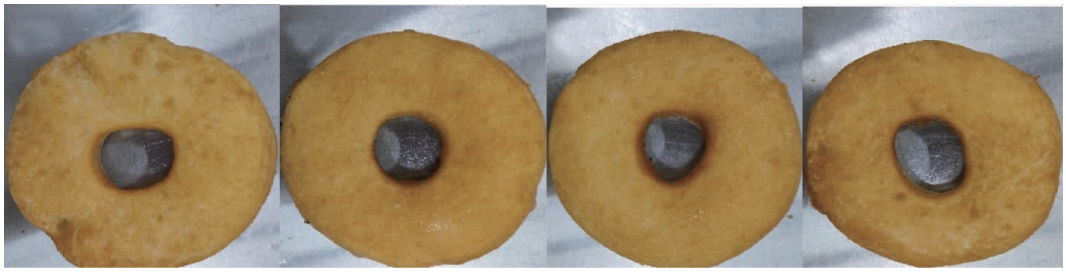
注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

2.6 SSL 对冻融发酵面团甜甜圈表皮色度的影响

如表 5 所示,甜甜圈表皮的 L^* 值随 SSL 添加质量分数的增加先增加后降低,且存在显著性差异(P<0.05),而 a^*、b^* 值随添加质量分数的增加呈先降低后增加的趋势(P<0.05)。甜甜圈表皮颜色的形成主要是由蛋白质与还原糖之间发生的美拉德反应产生[20],猜测这种变化产生的原因是 SSL 的疏水基团与麦谷蛋白作用,亲水基团与麦胶蛋白作用,这种“架桥作用”使生产过程中因机械作用散落的小分子变成大分子,使面团中游离的蛋白质显著减少,从而减弱美拉德反应,使甜甜圈表皮亮度提高,这与夏玉琳[21]的研究结果类似。另外,ΔE^* 值随添加质量分数的增加呈先下降后增加的趋势(P<0.05),这表明 SSL 添加质量分数对甜甜圈表皮色泽的影

响是显著的。

从图 5 可以看出,添加 SSL 的甜甜圈表皮色泽均优于空白组。这可能是由于面团在形成过程中,SSL 与面粉中的蛋白质、淀粉、脂类等之间发生了复杂的相互作用,促使面团形成了较为坚韧的网状结构,提高了面团的面筋强度和弹性,使甜甜圈在炸制过程中有更加具有持气性,表面光滑,不易形成斑点,结构形状良好。



(a) 无添加 (b) SSL添加质量分数为0.1% (c) SSL添加质量分数为0.2% (d) SSL添加质量分数为0.3%

图 5 不同 SSL 添加质量分数甜甜圈的外观图

Fig. 5 Pictures of donut with different levels of SSL

表 5 不同 SSL 添加质量分数对甜甜圈表皮色泽的影响

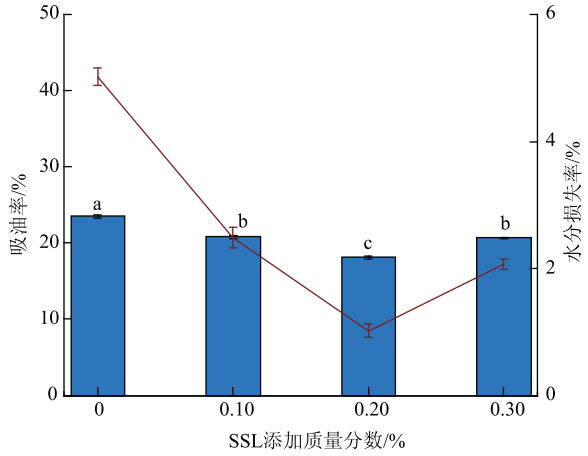
Table 5 Effect of SSL on the color of donut skin

添加质量分数/%	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
0	51.12±0.25^{c}	14.3±0.31^{a}	36.64±0.20^{a}	62.74±0.04^{a}
0.1	52.67±0.33^{b}	13.19±0.07^{c}	34.88±0.78^{ab}	60.25±0.72^{bc}
0.2	54.71±0.11^{a}	12.12±0.05^{d}	33.90±0.20^{b}	58.44±0.03^{c}
0.3	51.80±1.52^{bc}	13.65±0.21^{b}	35.63±1.79^{ab}	61.48±1.98^{ab}

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

2.7 SSL 对冻融发酵面团甜甜圈吸油率及水分损失率的影响

如图 6 所示,甜甜圈的吸油率随 SSL 添加质量分数的增加呈现先下降后升高的趋势,水分损失率与此趋势相同。有研究表明,在油的吸收中水起着至关重要的作用,这主要是由于凝结作用和毛细作用机理的结合[22]。通常,较高的水分损失率会造成较高的吸油量[23-24]。在油炸过程中食物对油脂的吸附方式主要有 2 种:一是油与食物表面的直接接触和吸附;二是“水油置换”,即在高温炸制过程中食物中的水分被快速大量蒸发,许多孔隙,炸用油从而通过这些孔隙进入到食品中[25-26]。当添加质量分数为 0.2%时,甜甜圈的吸油率显著降低(P<0.05),原因可能为:一是由于 SSL 的添加强化了面筋网络结构,使甜甜圈的外壳不易破裂,油脂很难与食物内部直接接触;二是 SSL 可与蛋白质、淀粉作用,阻止水分移出,从而保持了水分,面团持水性增加,水分不易在煎炸时蒸发逸出,油脂也更不易进入到食品中。



图中不同小写字母表示差异显著(P<0.05)

图 6 不同 SSL 添加质量分数甜甜圈的吸油率(柱)和水分损失率(线)

Fig. 6 Oil uptake (bar) and moisture loss (line) of donuts with different amounts of SSL

2.8 SSL 对冻融发酵面团甜甜圈感官品质的影响

SSL 添加质量分数对甜甜圈感官品质的影响见图 7。可以看出,添加质量分数为 0.2%时,甜甜圈的

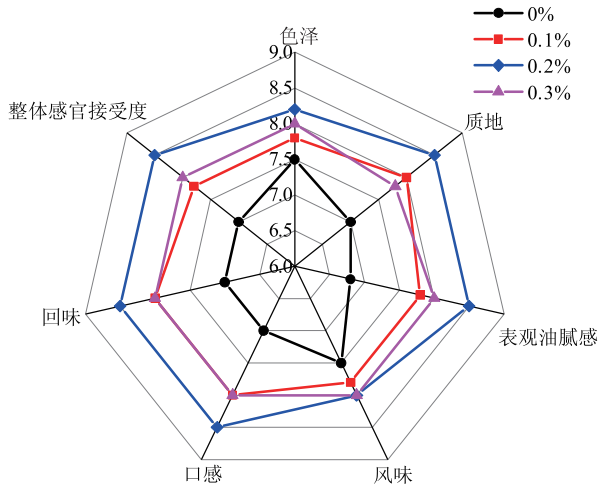


图 7　不同 SSL 添加质量分数甜甜圈感官评分雷达图

Fig. 7　Radar chart of the sensory quality of donuts with different amounts of SSL

感官评分最高。煎炸食品色泽形成的主要原因是氨基化合物(氨基酸和蛋白质)及羰基化合物(还原糖类)之间发生的美拉德反应[27]。SSL 添加质量分数增加,游离蛋白质减少,美拉德反应减弱,表皮亮度提高。经过感官人员评定发现,甜甜圈的风味并无明显差异,这可能是由于风味主要跟醒发时间有关。而回味和口感除了跟风味有关以外,还与甜甜圈的含油量有很大关系。油腻感也是评价甜甜圈的一个重要指标,从感官评分来看,表观油腻感和吸油率呈正相关,油腻感度越低,消费者越易接受。

3　结　语

作者研究了 SSL 对冻融循环发酵面团品质及其油炸甜甜圈品质的影响。结果显示,添加一定量的 SSL 可影响冻融循环发酵面团的拉伸性能、弹性模量、可冻结水质量分数,并影响冻融循环发酵面团油炸甜甜圈的硬度、黏度、咀嚼性、弹性、比容、吸油率、水分损失率和质构品质。添加质量分数为 0.2%时,面团及油炸甜甜圈的品质改善最佳,此时甜甜圈外观更光滑细腻,内部纹理结构最好,感官评分最高。

参考文献:

[1] YADAV D N,PATKI P E,KHAN M A,et al. Effect of freeze-thaw cycles and additives on rheological and sensory properties of ready to bake frozen chapaties[J]. **International Journal of Food Science and Technology**,2008,43(9):1714-1720.
[2] 高坦,梁建芬,张欣哲. 复合品质改良剂对冷冻面团面包品质影响的研究[J]. 食品科技,2017,42(7):142-146.
[3] 滕晓焕,章银良,虎晓明,等. 海藻糖及硬脂酰乳酸钠对面包品质的影响[J]. 食品科技,2015,40(1):172-177.
[4] 黄伟志,黄桂东,钟先锋. 冷冻面团馒头研究进展[J]. 食品工业科技,2019,40(14):314-319,324.
[5] 龚维. 水分分布与冷冻面团质构关系研究及一种冷冻面团改良剂的研制[D]. 南昌:江西农业大学,2019.
[6] 叶晓枫,韩永斌,赵黎平,等. 冻融循环下冷冻非发酵面团品质的变化及机理[J]. 农业工程学报,2013,29(21):271-278.
[7] VERBRUGGEN I M,DELCOUR J A. Extension properties of wheat flour dough fortified with characterised wheat gluten fractions[J]. **Journal of Cereal Science**,2003,37(2):151-156.
[8] LU Z,SEETHARAMAN K. ^{1}H nuclear magnetic resonance(NMR) and differential scanning calorimetry(DSC) studies of water mobility in dough systems containing barley flour[J]. **Cereal Chemistry**,2013,90(2):120-126.
[9] 杨天一. 小麦谷蛋白对面包品质影响的研究[D]. 无锡:江南大学,2017.
[10] MOHAMED S,LAJIS S M M,HAMID N A. Effects of protein from different sources on the characteristics of sponge cakes,rice cakes(apam),doughnuts and frying batters[J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**,1995,68(3):271-277.
[11] KIM J,CHOI I,SHIN W K,et al. Effects of HPMC (Hydroxypropyl methylcellulose) on oil uptake and texture of gluten-free soy donut[J]. **LWT–Food Science and Technology**,2015,62(1):620-627.
[12] 熊政委,谢跃杰,王存,等. 菊糖对面团粉质拉伸特性和面包品质的影响[J]. 食品工业科技,2018,39(10):35-39,45.
[13] 刘倩. 馒头冷冻面团制作关键工艺及品质改良研究[D]. 上海:上海应用技术大学,2020.
[14] 唐语轩,蔡勇建,邓欣伦,等. 硬脂酰乳酸钠对冷冻面团及其烘烤面包品质的影响[J]. 现代食品科技,2018,34(9):38-44,87.
[15] KENNY S,WEHRLE K,DENNEHY T,et al. Correlations between empirical and fundamental rheology measurements and baking performance of frozen bread dough[J]. **Cereal Chemistry**,1999,76(3):421-425.

[16] KOKELAAR J J，VANVILET T，PRINS A. Strain hardening properties and extensibility of flour and gluten doughs in relation to breadmaking performance[J]. **Cereal Chemistry**，1996，24(3)：199-214.
[17] HWANG J Y，SHYU Y S，HSU C K. Grape wine less improves the rheological and adds antioxidant properties to ice cream[J]. **LWT–Food Science and Technology**，2009，42(1)：312-318.
[18] TSEN C C，WEBER J. Dough properties and proof times of yeasted doughs affected by surfactants[J]. **Food Chemistry**，1981，58(53)：180-181.
[19] EL-HADY E A A，SHOUK A A，YASEEN A A E. Effects of lipids and emulsifiers on frozen bread dough quality[J]. **Egyptian Journal of Food Science**，2002，30(1)：77-94.
[20] 陈丽. 小麦品种对油条加工品质的影响及油条色泽形成机理初步研究[D]. 合肥：合肥工业大学，2015.
[21] 夏玉琳. 改良剂对全麦馒头品质的影响[D]. 南京：南京财经大学，2019.
[22] MELLEMA M. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods[J]. **Trends in Food Science & Technology**，2003，14(9)：364-373.
[23] CHEN L，TIAN Y Q，SUN B H. Measurement and characterization of external oil in the fried waxy maize starch granules using ATR-FTIR and XRD[J]. **Food Chemistry**，2018，242：131-138.
[24] MEHTA U，SWINBURN B. A review of factors affecting fat absorption in hot chips[J]. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**，2001，41(2)：133-154.
[25] 施帅，李志方，陈桃桃. 水油混合式油炸方式对泰州龙香芋丸品质的影响[J]. 食品科技，2020，45(5)：168-173.
[26] DANA D，SAGUY I S. Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth[J]. **Advances in Colloid and Interface Science**，2006，128-130：267-272.
[27] 高杰. 羟丙基甲基纤维素(HPMC)对面团加工性质和油条品质的影响及相关机理研究[D]. 合肥：合肥工业大学，2018.

科　技　信　息

欧盟修订货架稳定的含乳复合食品进入欧盟动物健康要求

2022 年 1 月 6 日，欧盟官方公报发布(EU)2022/7 号法规，修订(EU)2020/2235 号法规，即货架稳定的含乳复合食品进入欧盟动物健康要求。修订的主要内容为：

1)货架稳定的含乳复合食品中所含乳制品的风险较低，同时考虑到第三国或原产地的乳制品健康状况，修订货架稳定的含乳复合食品进入欧盟的私人健康证明模板；将(EU)2020/2235 附件 V 中规定的健康证明更新为最新版本；

2)健康证明内容：可以在常温下储存或运输；除明胶、胶原蛋白外不含任何其他加工肉类；动植物源加工成分清单符合欧盟原产地要求；含乳制品经过特定的风险缓解处理。

该法规自欧盟官方公报发布之日后生效。

[信息来源]厦门 WTO/TBT-SPS 通报咨询工作站.欧盟修订货架稳定的含乳复合食品进入欧盟动物健康要求[EB/OL].(2022-1-20).http://swj.xm.gov.cn/xmtbt-sps/show.asp?id=66232