

# 不同结构的非离子型乳化剂对冷冻面团及其面包品质的变化

刘娟<sup>1</sup>, 吴玥琦<sup>2</sup>, 张小薇<sup>1</sup>, 吴磊燕<sup>1</sup>, 涂瑾<sup>1\*</sup>, 周锦枫<sup>1,3\*</sup>

(1. 江西农业大学食品科学与工程学院, 江西南昌 330045) (2. 南昌启华双语学校, 江西南昌 330103)

(3. 广东佳焙食品股份有限公司, 广东东莞 523000)

**摘要:** 该研究将三类共八种极性 (HLB 值) 不同的非离子型乳化剂添加到冷冻面团中, 通过核磁共振测定冷冻面团的水分状态及变化, 用流变仪测定冷冻面团的流变学特性, 质构仪和扫描仪分析面包的结构与品质, 研究乳化剂的结构对冷冻面团及其面包品质的影响。结果表明: 8 种乳化剂对冷冻面团及其面包的品质均有改善, 司盘类乳化剂改善效果最好。冷冻过程中, 面团中的结合水分 T21 均降低, 自由水 T23 增加; 对照组冷冻面团的结合水比例由 14.60% 降至 11.73%, 结构差异使添加三类乳化剂的面团中的水分分布和状态变化各异, 司盘类面团中结合水分降至 13.25%、13.35% 和 13.15%。同时, 与对照组损耗角正切值 ( $\tan\delta$ ) 由 0.39 增至 0.46 相比, 含司盘 60、司盘 65 和司盘 80 冷冻面团的  $\tan\delta$ , 分别由 0.36、0.37 和 0.37 增至 0.40。研究结果表明添加该三种司盘的冷冻面团品质更加稳定, 它们的面包比容更大, 质地更柔软, 面包的组织纹理结构更好, 为冷冻面团产品的研究和工业化生产提供理论依据。

**关键词:** 甘油酯; 司盘; 吐温; 冷冻面团

文章编号: 1673-9078(2022)12-281-289

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.12.1399

## Non-ionic Emulsifiers with Different Structures Influence the Quality of Frozen Dough and Bread

LIU Xu<sup>1</sup>, WU Yueqi<sup>2</sup>, ZHANG Xiaowei<sup>1</sup>, WU Leiyang<sup>1</sup>, TU Jin<sup>1\*</sup>, ZHOU Jinfeng<sup>1,3\*</sup>

(1. School of Food Science and Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China) (2. Qihua Academy Nanchang, Nanchang 330103, China) (3. Guangdong Jiabei Food Stock Corporation, Dongguan 523000, China)

**Abstract:** Three types of non-ionic emulsifiers with eight different polarities (hydrophilic-lipophilic balance values) were added to frozen dough to evaluate their effects on the quality of dough and bread. The moisture state and rheological properties of the frozen dough were determined using nuclear magnetic resonance and a rheometer, respectively, whereas texture analyzers and scanners were used to analyze the structure and quality of the bread to investigate the effect of the emulsifier structure on the quality of frozen dough and bread. The quality of frozen dough and the bread produced from this dough was improved by the eight types of emulsifiers, with the Span emulsifier showing the best improvement effect. During the freezing process, the proportion of bound water T21 in the dough decreased and free water T23 increased. Additionally, the proportion of bound water in frozen dough in the control group decreased from 14.60% to 11.73%. Structural differences led to different moisture distributions and changes in the state of dough containing the three types of added emulsifiers, and bound water in the Span dough decreased to 13.25%, 13.35% and 13.15%. Furthermore, compared with the increase in the loss tangent value ( $\tan\delta$ ) in the control group from 0.39 to 0.46,  $\tan\delta$  of frozen dough containing Span 60, Span 65, and Span 80 increased from 0.36, 0.37, and 0.37, respectively, to 0.40. The

引文格式:

刘娟, 吴玥琦, 张小薇, 等. 不同结构的非离子型乳化剂对冷冻面团及其面包品质的变化[J]. 现代食品科技, 2022, 38(12): 281-289

LIU Xu, WU Yueqi, ZHANG Xiaowei, et al. Effect of nonionic emulsifiers with different structures on the quality of frozen dough and bread [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(12): 281-289

收稿日期: 2022-11-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (32060583); 抚州市“揭榜挂帅”项目 (XMBH00054)

作者简介: 刘娟 (1999-), 女, 研究方向: 应用化学, E-mail: Lx1891225@163.com

通讯作者: 涂瑾 (1973-), 女, 副教授, 研究方向: 烘焙加工及品质控制, E-mail: tujin@163.com; 共同通讯作者: 周锦枫 (1989-), 男, 硕士, 研究方向:

食品乳化剂及应用, E-mail: ZhoujinfengAU@outlook.com

quality of frozen dough containing the three types of added Span was highly stable, and the bread had a large specific volume, soft texture, and favorable structure. These results provide a theoretical basis for further research and industrial production of frozen dough products.

**Key words:** glyceryl ester; Span; Tween; frozen dough

冷冻面团技术是一种新兴的食品加工技术,是指对面团进行低温处理,使面团制作和后续产品加工的过程分离,为烘焙食品行业带来新的活力和商机<sup>[1]</sup>。低温处理后的面团生产出的面制品质量稳定。但冷冻面团技术也面临一些挑战,如面团的面筋网络结构会在冷冻过程中容易被破坏,酵母的生命活动降低甚至死亡,使面团的产气和持气性能受到影响,导致最终产品的品质下降<sup>[2]</sup>。添加合适的改良剂是改善冷冻面团品质最常见有效的方法。Li等<sup>[3]</sup>研究发现高聚合麦芽糊精的面团在冷冻8周后,具有较高的粘结水比和弹性模量,以及较低的淀粉结晶度。Tao等<sup>[4]</sup>研究发现将糖酯、硬脂酰乳酸钠(SSL)、木聚糖和抗坏血酸复配并加入到冷冻面团中,面团二级结构不变,而 $\alpha$ -螺旋含量在对照冷藏面团中下降了7.00%。

乳化剂本质是具有表面活性的物质,这种物质具有亲水、亲油结构并且能够与面团中不同的成分结构结合,形成均匀稳定的分散体系<sup>[5]</sup>。乳化剂能改善面团的性质,提高面包的品质。我国被允许添加的食品乳化剂可以分为盐类、磷脂及其衍生物、多元醇脂肪酸类和其它四大类。多元醇脂肪酸类是目前市场上品种最多,需求量最大的食品乳化剂,大家所熟知的单脂肪酸甘油酯、司盘和吐温都属于此类。根据乳化剂的亲水基团,乳化剂还可以被分为非离子型和离子型两种。从安全角度考虑,冷冻面团中加入的多为非离子型乳化剂,单脂肪酸甘油酯、司盘和吐温也都是属于非离子型乳化剂。即使是属于同一种乳化剂,其结构也是十分不同的,从而对面团的作用机理、产生效果也不同<sup>[6]</sup>。由一个甘油分子跟不同的脂肪酸链结合,形成单甘酯类乳化剂(见图1中a~c),如果将甘油分子换成山梨酸醇,就是司盘类乳化剂(见图1中d~f),在司盘的基础上加成环氧乙烷,用聚氧乙烯基团代替了自由羟基就形成吐温类乳化剂(见图1中g和h)。这几类乳化剂在焙烤食品中能较好地改善产品的质构,对它们的研究很多,但主要集中在工艺合成和与其他改良剂的复配<sup>[4,7,8]</sup>,鲜有从化合物结构角度解释乳化剂对冷冻面团及其面包改良效果。

本文选择甘油脂肪酸酯、司盘类、吐温3类8种(辛、癸酸甘油酯、松香甘油酯、单辛酸甘油酯、司盘60、司盘65、司盘80、吐温60、吐温80)具有不同结构的食品乳化剂作为研究对象,以面团的水分分

布及其迁移特性、流变学特性及面包的质构、比容、纹理等为指标,研究不同结构的乳化剂对冻藏期间面团及其面包品质的影响,为冷冻面团产品的研究和工业化生产提供理论依据。

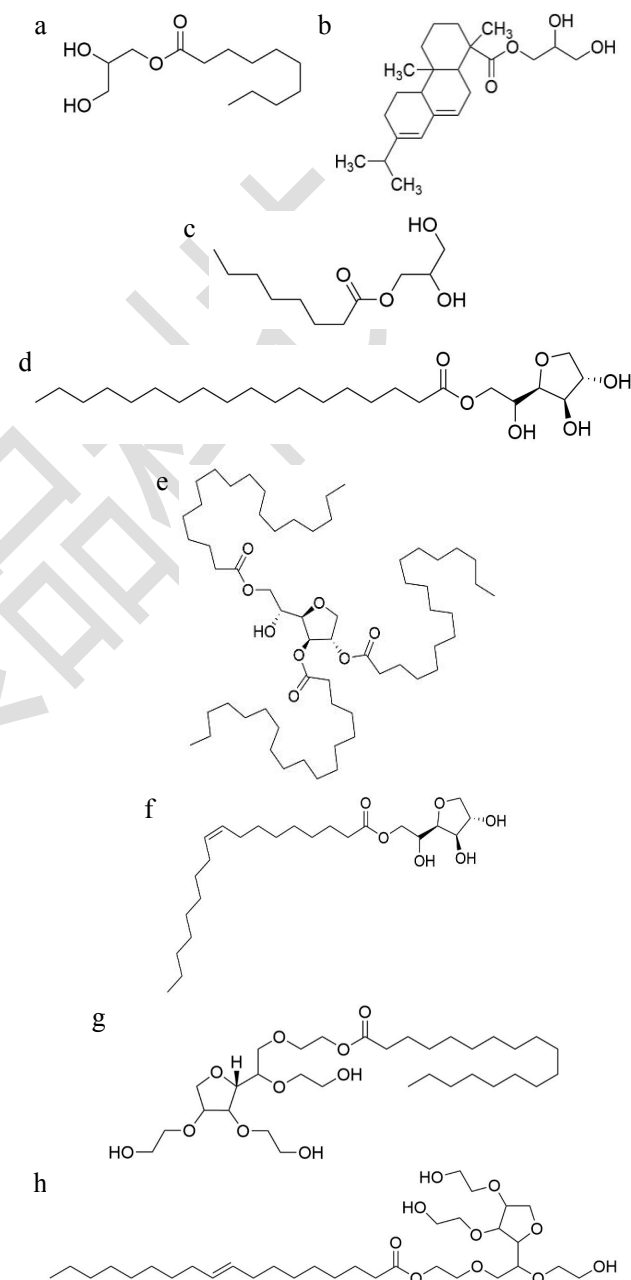


图1 不同乳化剂的结构式

Fig.1 Chemical structure of different emulsifiers

注: a: 辛、癸酸甘油酯; b: 松香甘油酯; c: 单辛酸甘油酯; d: 司盘60; e: 司盘65; f: 司盘80; g: 吐温60; h: 吐温80。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

金像牌高筋粉(蛋白质 13.72%,  $m/m$ , 同下、水分 13.52%), 南顺(山东)食品有限公司; 辛、癸酸甘油酯、松香甘油酯、单辛酸甘油酯、司盘 60、司盘 65、司盘 80、吐温 60、吐温 80, 广东佳焙食品股份有限公司; 高活性干酵母, 安琪酵母股份有限公司。

### 1.2 仪器与设备

Farinograph-E 自动型粉质仪, 德国布拉本德公司; MicroMR-25 核磁共振成像分析仪, 上海纽迈电子科技有限公司; Discovery HR-1 型流变仪, 美国 TA 仪器有限公司; TA-XT Plus 质构仪, 英国 Stable Micro Systems 公司, Perfection V330 Photo 扫描仪。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 冷冻面团的制备

冷冻面团的基本配方: 小麦粉 100 g、蒸馏水 55 g、白砂糖 10 g、高活性干酵母 2 g、食盐 1 g、乳化剂 0.5 g、黄油 5 g。除黄油外, 其它原料全部加入 Farinograph-E 粉质仪的揉面钵中, 60 r/min, 5 min; 加入黄油, 继续揉制 20 min; 对揉制好的面团进行切分, 30 g/个, 放于-18 °C 冰箱中备用; 对揉制好的面团进行切分, 2 g/个, 置于容量为 10 mL 的玻璃瓶中, -18 °C 冰箱冻藏, 备用。

#### 1.3.2 冷冻面团的水分分布特性测定

冷冻面团在 4 °C 条件下解冻 2 h 后, 进行水分分布及其迁移特性的测定实验。主要试验参数: 回波个数 NECH=5 000, 重复采样点 TD=156 992, 主频 SF=21 MHz, 偏移值 O1=79 676.7 Hz (面团), 重复采样时间 TW=1 500 ms, 90°脉冲时间 P1=7 μs, 累加采样次数 NS=64, 180°脉冲时间 P2=14 μs。反演拟合后得到  $T_{21}$ 、 $T_{22}$  和  $T_{23}$ <sup>[9]</sup>。

#### 1.3.3 冷冻面团的流变学特性测定

根据 Silvas 等<sup>[10]</sup>的方法, 并稍作修改。将 3 g 解冻好的面团置于 Discovery HR-1 型流变仪平板上, 放置 4 min 以平衡面团中的应力, 并在测定过程采用二甲硅油密封以防止测定过程中面团水分的蒸发。使用 40 mm 直径的平板模具, 设置参数: 温度 25 °C, 夹缝距离为 2 mm, 频率扫描应变力 0.1%, 扫描频率 0.1~10.0 Hz。

#### 1.3.4 面包比容测定

将冷冻面团解冻、发酵和烘烤(180 °C、15 min),

室温下进行 1 h 的冷却后, 使用置换法进行面包比容的测定。面包比容按如下公式计算:

$$P = \frac{V}{m} \quad (1)$$

式中:

$P$ ——面包比容, mL/g;

$V$ ——面包体积, mL;

$m$ ——面包质量, g。

#### 1.3.5 面包质构特性测定

厚度为 25 mm 的均匀薄片取自面包中心位置, 进行面包质构性质的测定。参数: 探头 P36/R, 形变 50%, 测前速度 4 mm/s, 测中速度和测后速度 2 mm/s, 感应力 5 g, 压缩间隔时间 5 s<sup>[11]</sup>。

#### 1.3.6 面包内部纹理结构测定

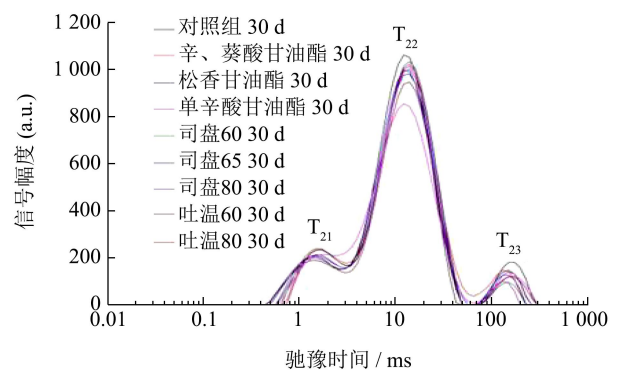
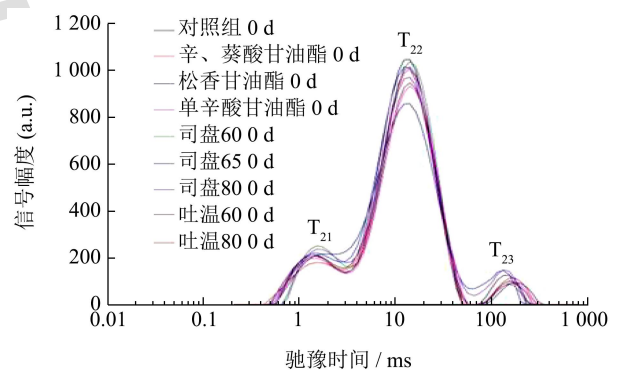
根据 Zapata 等<sup>[12]</sup>的方法并稍作修改。厚度为 25 mm 的均匀薄片取自面包中心位置, 放置在扫描仪在进行扫描仪, 截取大小为 50 mm×50 mm、分辨率为 300 dpi 的图片, 再利用 Image J 进行切面分析。

#### 1.3.7 数据处理和分析

数据处理使用 SPSS 20.0、Excel, 软数据和作图使用 Origin 8.5。

## 2 结果与讨论

### 2.1 乳化剂对冷冻面团水分分布的影响



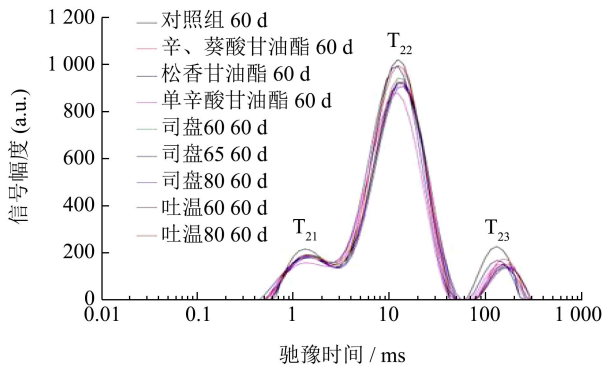


图2 不同冻藏时间内乳化剂对冷冻面团 T2 分布的影响

Fig.2 Effects of emulsifiers on T2 distribution of frozen dough during different storage time

核磁共振 (NMR) 可用来研究物体的水分分布, 由图 2 可知, 冷冻面团的水分分布及状态 T2 图谱有三个峰区,

分别代表冷冻面团结合水 T<sub>21</sub>、束缚水 T<sub>22</sub> 和自由水 T<sub>23</sub>, 峰面积比代表各种水的比例<sup>[13]</sup>。不同的水分可随着面团环境改变可以相互转换<sup>[14]</sup>。由表 1 可知, 与对照组相比, 冷冻 60 d 的司盘系列 (司盘 60、司盘 65 和司盘 80) 和吐温系列 (吐温 60 和吐温 80) 的冷冻面团结合水显著高于对照组 (11.73%), 自由水比例 (6.70%左右) 显著低于对照组 (10.33%) ( $p < 0.05$ )。朱蝶等<sup>[15]</sup>研究发现司盘、吐温能改良面团性质; 与对照组相比, 添加甘油酯的冷冻面团 (第 0 天) 的结合水、束缚水和自由水比例无显著性差异, 而冷冻 60 d 后, 含有甘油酯类乳化剂面团束缚水占比显著高于对照组, 自由水占比显著低于对照组 ( $p < 0.05$ )。甘油酸酯类乳化剂亲油基为脂肪酸, 亲水基为甘油, 其亲油能力较强, 常用于 W/O 型体系, 因此, 在面团形成初期 (未冷冻) 对面团的水分分布和状态改变效果不明显。

表 1 乳化剂对不同冷冻时间内面团水分分布的影响

Table 1 Effects of emulsifiers on T2 area ratio of frozen dough during different storage time

样品	时间/d	T <sub>21</sub> /%	T <sub>22</sub> /%	T <sub>23</sub> /%
对照组		14.60±0.30 <sup>bc</sup>	80.50±0.10 <sup>bc</sup>	4.90±0.30 <sup>a</sup>
辛、癸酸甘油酯		14.10±0.50 <sup>cd</sup>	81.00±0.60 <sup>bc</sup>	4.90±0.10 <sup>a</sup>
松香甘油酯		15.00±0.10 <sup>b</sup>	80.30±0.20 <sup>c</sup>	4.70±0.10 <sup>a</sup>
单辛酸甘油酯		14.45±0.35 <sup>bc</sup>	81.00±0.10 <sup>bc</sup>	4.55±0.25 <sup>ab</sup>
司盘 60	0	15.85±0.45 <sup>a</sup>	81.05±0.35 <sup>bc</sup>	3.10±0.10 <sup>d</sup>
司盘 65		13.55±0.85 <sup>d</sup>	82.10±0.80 <sup>a</sup>	4.35±0.15 <sup>b</sup>
司盘 80		15.85±0.45 <sup>a</sup>	81.25±0.75 <sup>b</sup>	2.90±0.30 <sup>d</sup>
吐温 60		15.25±0.35 <sup>ab</sup>	81.05±0.15 <sup>bc</sup>	3.70±0.20 <sup>c</sup>
吐温 80		15.05±0.15 <sup>ab</sup>	81.20±0.10 <sup>bc</sup>	3.75±0.05 <sup>c</sup>
对照组		13.10±0.50 <sup>ef</sup>	79.75±0.25 <sup>e</sup>	7.15±0.25 <sup>a</sup>
辛、癸酸甘油酯		14.05±0.15 <sup>cd</sup>	79.95±0.55 <sup>de</sup>	6.00±0.40 <sup>b</sup>
松香甘油酯		14.50±0.30 <sup>bc</sup>	80.85±0.05 <sup>bc</sup>	4.65±0.35 <sup>d</sup>
单辛酸甘油酯		12.65±0.65 <sup>f</sup>	81.35±0.45 <sup>ab</sup>	6.00±0.20 <sup>b</sup>
司盘 60	30	14.90±0.10 <sup>ab</sup>	81.50±0.40 <sup>ab</sup>	3.60±0.30 <sup>e</sup>
司盘 65		13.60±0.20 <sup>de</sup>	81.00±0.20 <sup>abc</sup>	5.40±0.40 <sup>c</sup>
司盘 80		15.15±0.25 <sup>a</sup>	81.70±0.40 <sup>a</sup>	3.15±0.15 <sup>e</sup>
吐温 60		14.05±0.05 <sup>cd</sup>	80.80±0.10 <sup>bc</sup>	5.15±0.15 <sup>cd</sup>
吐温 80		14.35±0.35 <sup>bc</sup>	80.55±0.75 <sup>cd</sup>	5.10±0.40 <sup>cd</sup>
对照组		11.73±0.86 <sup>b</sup>	77.93±0.32 <sup>e</sup>	10.33±0.60 <sup>a</sup>
辛、癸酸甘油酯		11.75±0.15 <sup>b</sup>	81.40±0.40 <sup>a</sup>	6.85±0.25 <sup>cde</sup>
松香甘油酯		13.35±0.35 <sup>a</sup>	79.40±0.30 <sup>d</sup>	7.25±0.05 <sup>c</sup>
单辛酸甘油酯		11.20±0.17 <sup>b</sup>	80.57±0.25 <sup>ab</sup>	8.23±0.32 <sup>b</sup>
司盘 60	60	13.25±0.45 <sup>a</sup>	80.45±0.75 <sup>bc</sup>	6.30±0.30 <sup>f</sup>
司盘 65		13.35±0.35 <sup>a</sup>	79.50±0.40 <sup>d</sup>	7.15±0.05 <sup>cd</sup>
司盘 80		13.15±0.55 <sup>a</sup>	80.15±0.85 <sup>bcd</sup>	6.70±0.30 <sup>def</sup>
吐温 60		13.80±0.30 <sup>a</sup>	79.60±0.50 <sup>cd</sup>	6.60±0.20 <sup>ef</sup>
吐温 80		13.40±0.30 <sup>a</sup>	79.55±0.25 <sup>cd</sup>	7.05±0.05 <sup>cde</sup>

注: 同一列上标英文字母不同代表均值之间存在显著性差异 ( $p < 0.05$ ), 下同。

周锦枫等<sup>[6]</sup>也研究发现甘油酯对冷冻面团水分分布改良的趋势随着冻藏时间的增加愈发明显。虽然辛、癸酸甘油酯、松香甘油酯和单辛酸甘油酯都属于甘油酯类乳化剂，但是冻藏 60 d 后它们的  $T_{21}$ 、 $T_{22}$ 、 $T_{23}$  还是存在部分显著差异的，说明同类乳化剂，结构不一样，对面团中的水分作用也不同。

### 2.2 乳化剂对冷冻面团粘弹性的影响

流变性质是面团性质的一个重要方面，客观反映面团的网络结构<sup>[17]</sup>。由表 2 可以看出，在冻藏期间，含有乳化剂的冷冻面团与对照组一样，弹性模量 ( $G'$ )、黏性模量 ( $G''$ ) 降低， $\tan\delta$  增大。不同的是，随着冻藏时间的增加，含有乳化剂冷冻面团的  $G'$  均显著高于对照组的  $G'$  ( $p < 0.05$ )， $\tan\delta$  均显著低于对照组 ( $p < 0.05$ )。乳化剂的加入并没有改变面团结构的变化趋势，而是

延缓。这可能是由于随着温度的降低，面团组分子间相互作用力减小，水分更易发生转移，形成的大冰晶的对面团结构造成破坏，但乳化剂能改善面团中的水分分布及状态，从而延缓了面团的劣变<sup>[18]</sup>，这与上文乳化剂对面团水分分布的影响结果一致。

乳化剂除了能影响面团中的水分分布和状态外，还能与面团中的脂类、蛋白质和淀粉类物质发生相互作用，比如乳化剂的亲油端（脂肪酸基团）与面筋蛋白网络结构链接，增强面团强度，提高面团的弹性。通过与面团中成分形成氢键或络合物，起到改善面团的性质。乳化剂结构不同，这种改善效果也不一样，其中司盘的效果最好。冷冻 60 d 后，含司盘 60 冷冻面团的  $\tan\delta$  仅为 0.40，而含单辛酸甘油酯的冷冻面团的  $\tan\delta$  为 0.44 ( $p < 0.05$ )。

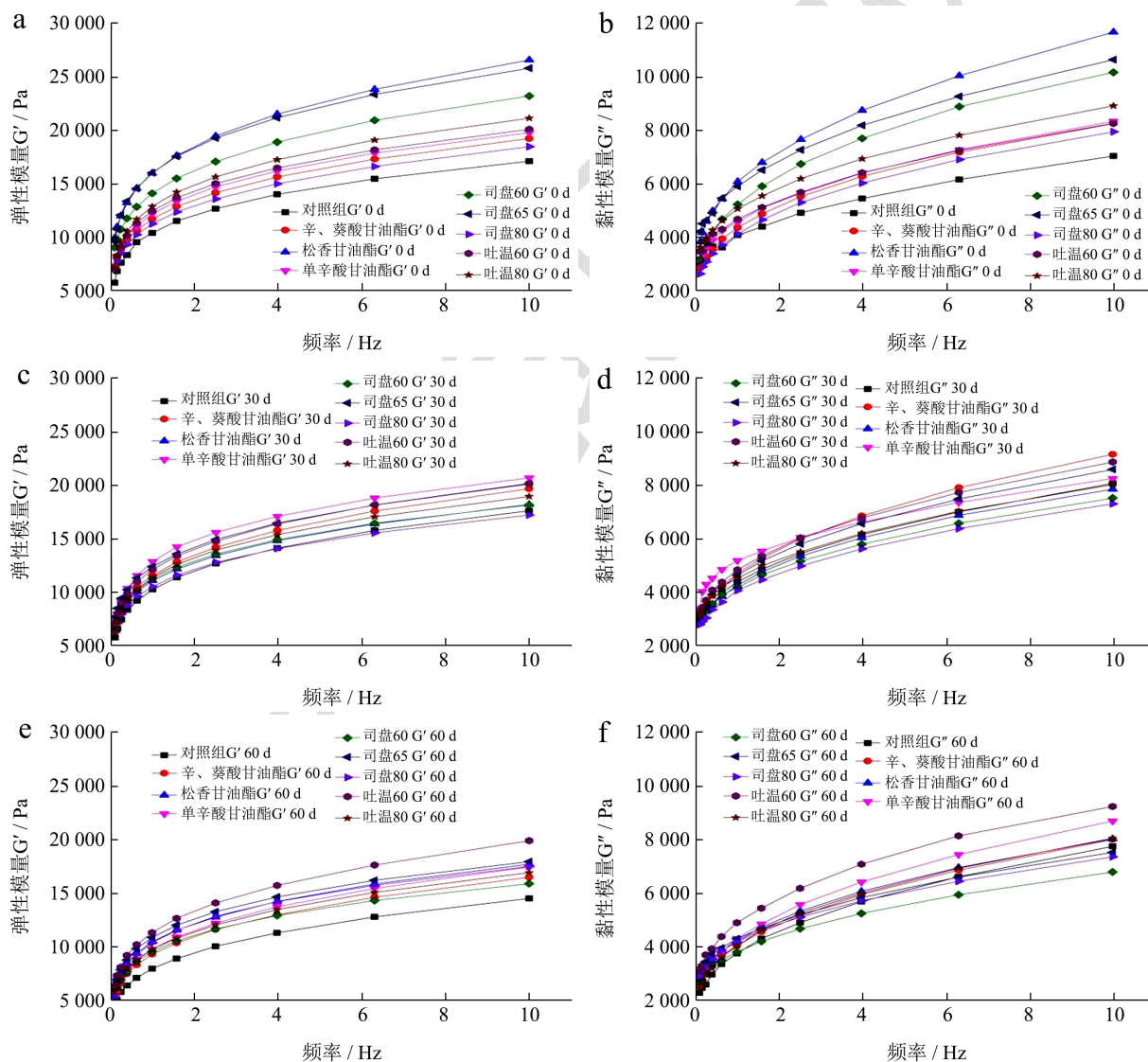


图3 乳化剂对不同冻藏天数冷冻面团粘弹性的影响

Fig.3 Effects of emulsifiers on the viscoelasticity of frozen dough during different storage time

注：a、b：冻藏 0 d；c、d：冻藏 30 d；e、f：冻藏 60 d。

表 2 不同冻藏时间内乳化剂对冷冻面团粘弹性的影响

Table 2 Effects of emulsifiers on the viscoelasticity of frozen dough during different storage time

样品	时间/d	$G'$ (kPa)	$G''$ (kPa)	$\tan\delta$
对照组	0	10.35±0.07 <sup>g</sup>	4.04±0.06 <sup>g</sup>	0.39±0.00 <sup>a</sup>
辛、癸酸甘油酯		11.83±0.12 <sup>e</sup>	4.38±0.01 <sup>e</sup>	0.37±0.00 <sup>cd</sup>
松香甘油酯		15.94±0.07 <sup>a</sup>	6.04±0.05 <sup>a</sup>	0.38±0.00 <sup>abc</sup>
单辛酸甘油酯		12.05±0.16 <sup>de</sup>	4.60±0.02 <sup>d</sup>	0.38±0.01 <sup>ab</sup>
司盘 60		14.36±0.25 <sup>b</sup>	5.11±0.13 <sup>c</sup>	0.36±0.02 <sup>e</sup>
司盘 65		15.84±0.19 <sup>a</sup>	5.79±0.13 <sup>b</sup>	0.37±0.01 <sup>de</sup>
司盘 80		11.37±0.11 <sup>f</sup>	4.23±0.09 <sup>f</sup>	0.37±0.01 <sup>bcd</sup>
吐温 60		12.26±0.20 <sup>d</sup>	4.60±0.09 <sup>d</sup>	0.37±0.01 <sup>bcd</sup>
吐温 80		13.11±0.22 <sup>c</sup>	5.11±0.04 <sup>e</sup>	0.39±0.00 <sup>a</sup>
对照组	30	10.27±0.04 <sup>f</sup>	4.35±0.02 <sup>d</sup>	0.42±0.01 <sup>a</sup>
辛、癸酸甘油酯		11.58±0.02 <sup>c</sup>	4.64±0.06 <sup>c</sup>	0.40±0.01 <sup>bc</sup>
松香甘油酯		11.35±0.29 <sup>cd</sup>	4.35±0.12 <sup>d</sup>	0.38±0.00 <sup>d</sup>
单辛酸甘油酯		12.75±0.12 <sup>a</sup>	5.14±0.03 <sup>a</sup>	0.40±0.00 <sup>b</sup>
司盘 60		11.15±0.12 <sup>d</sup>	4.15±0.01 <sup>e</sup>	0.37±0.01 <sup>c</sup>
司盘 65		12.63±0.26 <sup>a</sup>	4.68±0.07 <sup>bc</sup>	0.38±0.01 <sup>de</sup>
司盘 80		10.68±0.18 <sup>e</sup>	4.08±0.03 <sup>e</sup>	0.38±0.01 <sup>de</sup>
吐温 60		12.08±0.03 <sup>b</sup>	4.79±0.03 <sup>b</sup>	0.40±0.01 <sup>bc</sup>
吐温 80		11.18±0.22 <sup>d</sup>	4.32±0.19 <sup>d</sup>	0.39±0.01 <sup>cd</sup>
对照组	60	8.04±0.04 <sup>f</sup>	3.71±0.03 <sup>d</sup>	0.46±0.01 <sup>a</sup>
辛、癸酸甘油酯		9.61±0.27 <sup>de</sup>	4.19±0.16 <sup>b</sup>	0.44±0.01 <sup>bc</sup>
松香甘油酯		10.45±0.05 <sup>c</sup>	4.26±0.08 <sup>b</sup>	0.41±0.01 <sup>ef</sup>
单辛酸甘油酯		9.81±0.03 <sup>d</sup>	4.31±0.02 <sup>b</sup>	0.44±0.00 <sup>bg</sup>
司盘 60		9.56±0.03 <sup>e</sup>	3.82±0.04 <sup>d</sup>	0.40±0.01 <sup>g</sup>
司盘 65		10.75±0.14 <sup>bc</sup>	4.26±0.03 <sup>b</sup>	0.40±0.01 <sup>g</sup>
司盘 80		10.54±0.13 <sup>b</sup>	4.23±0.07 <sup>b</sup>	0.40±0.00 <sup>f</sup>
吐温 60		11.26±0.09 <sup>a</sup>	4.79±0.11 <sup>a</sup>	0.43±0.01 <sup>cd</sup>
吐温 80		9.67±0.16 <sup>de</sup>	4.05±0.04 <sup>e</sup>	0.42±0.01 <sup>de</sup>

### 2.3 乳化剂对冷冻面团面包比容的影响

表 3 乳化剂对冷冻面团面包比容的影响 (mL/g)

Table 3 Effects of emulsifiers on the specific volume of frozen dough bread

样品	第 0 天	第 30 天	第 60 天
对照组	4.33±0.20 <sup>cd</sup>	3.48±0.11 <sup>fg</sup>	2.32±0.05 <sup>e</sup>
辛、癸酸甘油酯	4.30±0.38 <sup>cd</sup>	3.43±0.18 <sup>g</sup>	2.82±0.09 <sup>bcd</sup>
松香甘油酯	4.80±0.05 <sup>b</sup>	4.15±0.09 <sup>cd</sup>	2.88±0.04 <sup>abcd</sup>
单辛酸甘油酯	4.06±0.23 <sup>d</sup>	3.99±0.13 <sup>de</sup>	2.71±0.08 <sup>d</sup>
司盘 60	4.54±0.13 <sup>bc</sup>	4.37±0.16 <sup>bc</sup>	3.22±0.43 <sup>a</sup>
司盘 65	4.89±0.17 <sup>b</sup>	4.71±0.12 <sup>a</sup>	3.14±0.08 <sup>ab</sup>
司盘 80	5.29±0.20 <sup>a</sup>	4.57±0.43 <sup>ab</sup>	3.08±0.06 <sup>abc</sup>
吐温 60	4.21±0.11 <sup>cd</sup>	3.78±0.08 <sup>ef</sup>	2.77±0.25 <sup>cd</sup>
吐温 80	4.28±0.15 <sup>cd</sup>	3.31±0.07 <sup>g</sup>	2.92±0.20 <sup>abcd</sup>

一般来说,大比容的面包更容易受到消费者的青睐。由表 3 可以看出,冻藏时间增加,所有面包的比容都下降,其中对照组面包比容下降最大,从 4.33 mL/g 下降至 2.32 mL/mg ( $p < 0.05$ )。冻藏 0 d,含乳化剂面包的比容与对照组相差不大(除松香甘油酯、司盘 65、司盘 80);冻藏 60 d 后,含乳化剂面包的比容在下降,但均显著大于对照组。冻藏时,面团中的大冰晶会破坏面团的持气结构及产气酵母,导致烘烤后的成品面包比容下降<sup>[19]</sup>。虽然乳化剂可以分散到面团气泡的表面,并与不溶性颗粒接触,改善面团的网络结构以及面团中的水分分布及状态,但随着冷冻时间延长,冷冻对面筋网络结构的破坏增大,水分发生迁移和重新分布,影响了乳化剂稳定气泡的作用,这也是添加了乳化剂的面包的比容变化趋势与对照组相同却又优于对照组的原因。当乳化剂与面团中可移动水分及面筋-

淀粉网络的成分的结合达到一个平衡时，面团中的气泡才能稳定，这就需要乳化剂具有合适的HLB值。不同结构的乳化剂，其HLB不同，最后面包比容呈现的差异也是巨大的。

### 2.4 乳化剂对冷冻面团面包质构的影响

由表4、5可知，无论是否添加乳化剂，冷冻后面团制成的面包硬度增加，弹性降低。这是因为随着冻藏时间的增加，面团结构被破坏，面包品质在劣化<sup>[20]</sup>。添加乳化剂后的面包（未冷冻时）比不加乳化剂的面包硬度小，弹性大。随着冷冻时间的延长，虽然面包硬度增加，弹性降低，但与同期的对照组面包比，硬度更小，弹性更大，说明加入乳化剂能显著改善面包产品的质量。冷冻60d后，添加司盘类乳化剂面团烘烤出的面包弹性最好，均大于0.70 ( $p < 0.05$ )，其次是吐温类和甘油酯类。

表4 乳化剂对不同冻藏时间面团面包硬度的影响 (g)

Table 4 Effects of emulsifiers on hardness of frozen dough bread during storage time

样品	第0天	第30天	第60天
对照组	395.09±5.91 <sup>a</sup>	1 332.96±58.52 <sup>a</sup>	2 987.81±53.33 <sup>a</sup>
辛、癸酸甘油酯	389.51±2.94 <sup>a</sup>	867.71±49.46 <sup>d</sup>	785.20±32.08 <sup>b</sup>
松香甘油酯	252.84±5.53 <sup>de</sup>	883.90±38.73 <sup>cd</sup>	246.60±69.05 <sup>d</sup>
单辛酸甘油酯	301.44±15.70 <sup>c</sup>	1 097.15±27.18 <sup>b</sup>	2 658.04±72.91 <sup>c</sup>
司盘60	261.00±6.72 <sup>d</sup>	696.93±22.34 <sup>e</sup>	2 051.13±21.74 <sup>e</sup>
司盘65	215.84±2.86 <sup>f</sup>	717.38±27.40 <sup>e</sup>	2 054.73±43.84 <sup>e</sup>
司盘80	239.05±14.32 <sup>e</sup>	699.40±11.59 <sup>e</sup>	2 037.52±91.33 <sup>e</sup>
吐温60	295.10±5.25 <sup>c</sup>	943.15±35.84 <sup>e</sup>	2 237.53±95.25 <sup>d</sup>
吐温80	342.84±4.57 <sup>b</sup>	1 038.88±52.43 <sup>b</sup>	2 066.50±87.04 <sup>e</sup>

表5 乳化剂对不同冻藏时间面团面包弹性的影响

Table 5 Effects of emulsifiers on elasticity of frozen dough bread during different storage time

样品	第0天	第30天	第60天
对照组	0.89±0.01 <sup>d</sup>	0.70±0.2 <sup>e</sup>	0.62±0.02 <sup>e</sup>
辛、癸酸甘油酯	0.94±0.01 <sup>abc</sup>	0.81±0.01 <sup>ab</sup>	0.67±0.03 <sup>bc</sup>
松香甘油酯	0.94±0.02 <sup>abc</sup>	0.85±0.03 <sup>a</sup>	0.67±0.06 <sup>ab</sup>
单辛酸甘油酯	0.93±0.01 <sup>bc</sup>	0.72±0.03 <sup>de</sup>	0.65±0.01 <sup>bc</sup>
司盘60	0.95±0.02 <sup>ab</sup>	0.83±0.02 <sup>ab</sup>	0.73±0.02 <sup>a</sup>
司盘65	0.95±0.02 <sup>ab</sup>	0.83±0.02 <sup>ab</sup>	0.73±0.01 <sup>a</sup>
司盘80	0.95±0.01 <sup>a</sup>	0.82±0.03 <sup>ab</sup>	0.70±0.02 <sup>ab</sup>
吐温60	0.93±0.01 <sup>bc</sup>	0.79±0.02 <sup>bc</sup>	0.69±0.02 <sup>ab</sup>
吐温80	0.92±0.01 <sup>c</sup>	0.76±0.05 <sup>cd</sup>	0.68±0.05 <sup>ab</sup>

### 2.5 乳化剂对面包内部纹理结构的影响

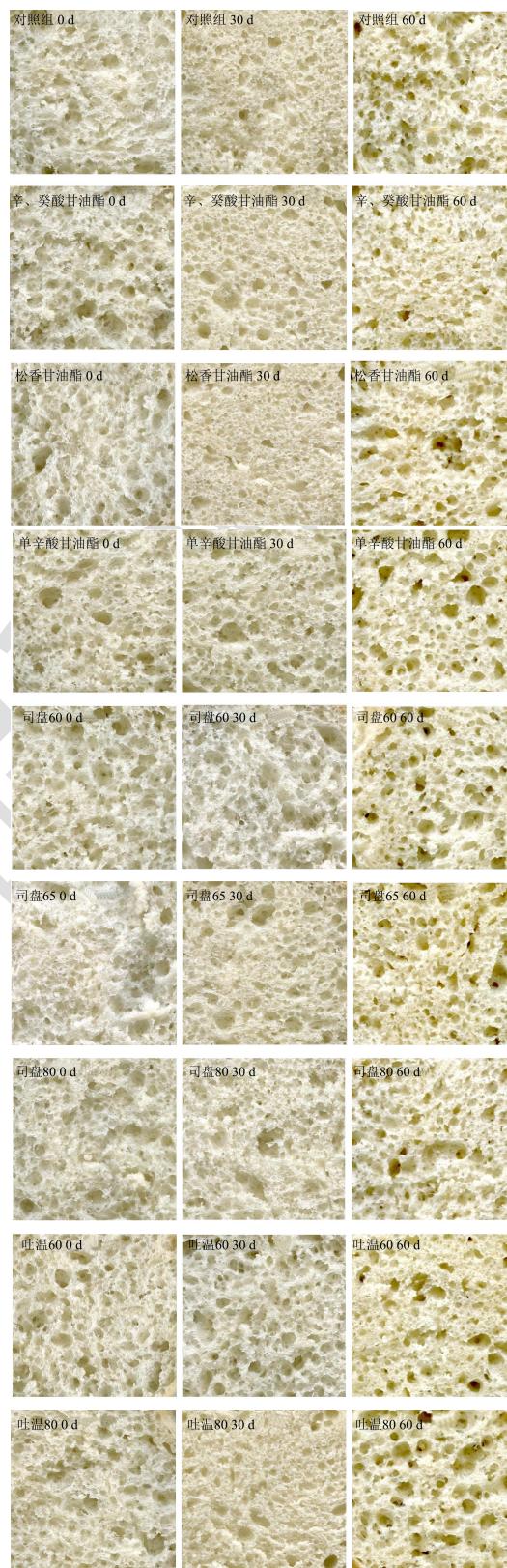


图3 乳化剂对不同冻藏时间面团面包内部纹理结构的影响  
Fig.3 Effects of emulsifiers on the internal texture of frozen dough bread during different storage time

表6和表7是冷冻面团做成面包后的气孔密度和

气孔直径数据表, 分别代表面包中气体的量及其直径

大小。从表可以看出, 不论是否添加乳化剂, 随着冷冻时间的延长, 面包的孔隙直径增大, 孔隙密度减小。这与 Zapata 等<sup>[12]</sup>的研究结果一致, 冻藏时间的延长会使面包的孔隙尺寸和分布逐渐不均匀。但乳化剂加入面团后, 能降低气泡表面张力, 同时, 增加气泡表面的粘弹性, 起到稳定气泡作用<sup>[21]</sup>。因此, 与对照组面团相比, 冷冻 30 d、60 d 后, 添加乳化剂的面团(除冷冻 30 d 含司盘 60 的面团), 泡沫破裂及融合相对较少, 面包中气泡直径较小 ( $p < 0.05$ )。

表 6 乳化剂对不同冻藏时间面团面包气孔密度的影响 (个/cm<sup>2</sup>)

样品	第 0 天	第 30 天	第 60 天
对照组	72.64±4.32 <sup>a</sup>	52.36±2.03 <sup>a</sup>	30.24±1.04 <sup>a</sup>
辛、癸酸甘油酯	70.03±1.37 <sup>a</sup>	42.91±2.34 <sup>b</sup>	26.05±0.68 <sup>b</sup>
松香甘油酯	61.83±0.91 <sup>b</sup>	45.40±1.48 <sup>b</sup>	20.20±1.18 <sup>c</sup>
单辛酸甘油酯	61.68±3.88 <sup>b</sup>	42.51±3.72 <sup>b</sup>	20.20±0.60 <sup>c</sup>
司盘 60	38.88±2.39 <sup>c</sup>	35.59±0.23 <sup>d</sup>	15.51±1.68 <sup>d</sup>
司盘 65	47.48±1.70 <sup>d</sup>	37.56±3.87 <sup>cd</sup>	19.96±1.04 <sup>c</sup>
司盘 80	48.12±1.55 <sup>d</sup>	41.49±3.24 <sup>bc</sup>	15.79±1.51 <sup>d</sup>
吐温 60	53.11±1.78 <sup>c</sup>	40.80±1.93 <sup>bc</sup>	18.84±0.35 <sup>c</sup>
吐温 80	51.67±2.38 <sup>cd</sup>	41.53±0.70 <sup>bc</sup>	19.95±0.73 <sup>c</sup>

表 7 乳化剂对冷冻面团面包气孔均直径的影响 (mm)

样品	第 0 天	第 30 天	第 60 天
对照组	1.28±0.06 <sup>d</sup>	1.61±0.02 <sup>a</sup>	2.56±0.13 <sup>a</sup>
辛、癸酸甘油酯	1.34±0.06 <sup>cd</sup>	1.48±0.04 <sup>bc</sup>	2.14±0.11 <sup>cd</sup>
松香甘油酯	1.38±0.10 <sup>cd</sup>	1.49±0.01 <sup>b</sup>	2.32±0.08 <sup>bc</sup>
单辛酸甘油酯	1.34±0.02 <sup>cd</sup>	1.39±0.05 <sup>c</sup>	2.38±0.12 <sup>b</sup>
司盘 60	1.74±0.10 <sup>a</sup>	1.66±0.02 <sup>a</sup>	2.19±0.14 <sup>cd</sup>
司盘 65	1.44±0.02 <sup>c</sup>	1.50±0.07 <sup>b</sup>	2.17±0.10 <sup>cd</sup>
司盘 80	1.61±0.08 <sup>b</sup>	1.51±0.10 <sup>b</sup>	2.14±0.06 <sup>cd</sup>
吐温 60	1.40±0.05 <sup>cd</sup>	1.50±0.06 <sup>b</sup>	2.07±0.07 <sup>d</sup>
吐温 80	1.35±0.03 <sup>cd</sup>	1.43±0.05 <sup>bc</sup>	2.27±0.02 <sup>bc</sup>

### 3 结论

随着冻藏时间的延长, 冷冻面团中的冰晶逐渐破坏面团的面筋蛋白网络结构和使酵母细胞的活性变弱, 导致面团的自由水比例增加和结合水比例减少, 面团的流变特性劣化, 面包的比容变小, 口感变硬和失去弹性。这八种乳化剂的亲水基团中, 吐温的亲水性最好, 增加冷冻面团的结合水比例和降低自由水比

例, 延缓冻藏过程中冰晶对冷冻面团的面筋蛋白的破坏。冷冻 60 d 后, 含吐温 60 面团的 T21、T23 占比在 13.80%、6.60%, 而对照组的 T21、T23 为 11.73%、10.33% ( $p < 0.05$ )。司盘和吐温等含 C18 脂肪酸基团(硬脂酸和油酸)能与面筋蛋白有较好的络合能力, 提高面筋蛋白的凝聚程度, 提高冷冻面团的黏弹性, 同时, 其脂肪酸长链与直链淀粉螺旋结构络合, 形成不溶性复合物, 使得冷冻面团所烤面包的比容更大, 面包质地更柔软, 冰延缓直链淀粉的再结晶, 从而起到抗老化的作用。八种乳化剂的相比, 司盘组面包品质最好。在冷冻 60 d 后, 含司盘乳化剂的面包,  $\tan\delta$  最低, 为 0.40, 比容最大, 均大于 3.00 mL/g, 硬度最低, 弹性最大且孔隙分布均匀 ( $p < 0.05$ )。

### 参考文献

- [1] 臧梁, 傅宝尚, 姜鹏飞, 等. 海藻酸丙二醇酯对全麦冷冻面团冻藏稳定性和烘焙特性的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(21): 83-91
- [2] Yang J J, Zhang B, Zhang Y Q, et al. Effect of freezing rate and frozen storage on the rheological properties and protein structure of non-fermented doughs [J]. Journal of Food Engineering, 2021, 293: 110377
- [3] Li Y, Zhao F F, Li C M, et al. Fine structures of added maltodextrin impact stability of frozen bread dough system [J]. Carbohydrate Polymers, 2022, 298: 120028
- [4] Tao H, Xiao Y D, Wu F F, et al. Optimization of additives and their combination to improve the quality of refrigerated dough [J]. Lwt - Food Science and Technology, 2018, 89: 482-488
- [5] Shu Q, Wei T Y, Liu X Y, et al. The dough-strengthening and spore-sterilizing effects of mannosylerythritol lipid-A in frozen dough and its application in bread making [J]. Food Chemistry, 2022, 369: 131011
- [6] Gómez M, Del Real S, Rosell C M, et al. Functionality of different emulsifiers on the performance of breadmaking and wheat bread quality [J]. European Food Research and Technology, 2004, 219(2): 145-150
- [7] Eduardo M, Svanberg U, Ahme L. Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the shelf-life of composite cassava-maize-wheat bread after storage [J]. Food Sci Nutr, 2016, 4(4): 636-644
- [8] Yesil S, Levent H. The effects of emulsifiers on quality and staling characteristics of gluten-free bread containing fermented buckwheat, quinoa, and amaranth [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(7): e16668
- [9] Wang H W, Xiao N Y, Wang X T, et al. Effect of pregelatinized starch on the characteristics, microstructures, and quality



- attributes of glutinous rice flour and dumplings [J]. Food Chemistry, 2019, 283: 248-256
- [10] Silvas-Garcia M I, Ramirez-Wong B, Torres-Chavez P I, et al. Effect of freezing rate and storage time on gluten protein solubility, and dough and bread properties [J]. Journal of Food Process Engineering, 2014, 37(3): 237-247
- [11] 钟雅云,吴磊燕,周锦枫,等.藜麦粉对冷冻面团特性及其面包品质的影响[J].现代食品科技,2019,35(12):112-121
- [12] Zapata F, Zapata E, Rodriguez-Sandoval E. Influence of guar gum on the baking quality of gluten-free cheese bread made using frozen and chilled dough [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2019, 54(2): 313-324
- [13] Lu L, Yang Z, Guo X N, et al. Effect of NaHCO<sub>3</sub> and freeze-thaw cycles on frozen dough: From water state, gluten polymerization and microstructure [J]. Food Chemistry, 2021, 358: 129869
- [14] Tang X J, Liu N, Huang W N, et al. Syneresis rate, water distribution, and microstructure of wheat starch gel during freeze-thaw process: Role of a high molecular weight dextran produced by *Weissella confusa* QS813 from traditional sourdough [J]. Cereal Chemistry, 2018, 95(1): 117-129
- [15] 朱蝶,胡蓝,汪师帅.乳化剂分类、作用及在食品工业中应用[J].现代食品,2019,9:7-10,13
- [16] 周锦枫,吴磊燕,钟雅云,等.三种甘油酯对冷冻面团及其面包品质的对比分析[J].现代食品科技,2020,36(3):38-47,112
- [17] Shao L F, Guo X N, Li M, et al. Effect of different mixing and kneading process on the quality characteristics of frozen cooked noodle [J]. Lwt - Food Science and Technology, 2019, 101: 583-589
- [18] Luo W H, Sun D W, Zhu Z W, et al. Improving freeze tolerance of yeast and dough properties for enhancing frozen dough quality - A review of effective methods [J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 72: 25-33
- [19] 张娜,武娜,杨杨,等.影响冷冻面团因素及其品质改良研究进展[J].现代食品科技,2022,38(10):320-328
- [20] 陈嘉茹,牛丽亚,周庆红,等.不同分子量甘薯蛋白水解物对冷冻面团和面包品质的影响[J].中国粮油学报,2022,37(10):76
- [21] Selomulyo V O, Zhou W. Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers [J]. Journal of Cereal Science, 2007, 45(1): 1-17