

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.06.015

田金河, 王艳婕, 吴悦, 等. 鲢鱼蛋白酶解物对冷冻面团及面包品质特性的影响[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(6): 125-133.

TIAN J H, WANG Y J, WU Y, et al. Effect of silver carp protein hydrolysate on quality properties of frozen dough and bread[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(6): 125-133.

鲢鱼蛋白酶解物对冷冻面团及面包品质特性的影响

田金河¹, 王艳婕²✉, 吴悦^{1,2}, 郭瑞瑞¹, 王立龙¹, 孙雨博²

(1. 新乡学院 生物工程学院, 河南 新乡 453003;

2. 河南科技学院 生命科学学院, 河南 新乡 453003)

摘要: 为拓展鲢鱼蛋白酶解物在冷冻面团中的应用, 研究了鲢鱼蛋白酶解物对冻藏过程中冷冻面团可冻结含水量、水分分布及迁移、微观结构、流变学特性、发酵特性的影响, 分析了其制作面包的比容、质构特性和感官评分。差示扫描量热仪和低场核磁结果表明, 添加鲢鱼蛋白酶解物抑制了冻藏过程中面团可冻结水含量的增加和水分流动。扫描电镜、动态流变学和发酵特性结果表明, 鲢鱼蛋白酶解物的加入减轻了面筋蛋白网络结构受到的机械破坏作用, 增大了冻藏过程中面团的弹性性质占比和发酵体积。比容、质构及感官评价结果表明, 添加鲢鱼蛋白酶解物增大了面包的比容和弹性, 减小了其硬度和咀嚼性, 提高了其感官评分。综上可知, 鲢鱼蛋白酶解物可有效改善冷冻面团及面包的品质。

关键词: 鲢鱼蛋白酶解物; 冷冻面团; 水分; 面包

中图分类号: TS213.2 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)06-0125-09

网络首发时间: 2024-09-04 14:02:26

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240904.1016.002>

Effect of Silver Carp Protein Hydrolysate on Quality Properties of Frozen Dough and Bread

TIAN Jin-he¹, WANG Yan-jie²✉, WU Yue^{1,2}, GUO Rui-rui¹, WANG Li-long¹, SUN Yu-bo²

(1. School of Biological Engineering, Xinxiang University, Xinxiang, Henan 453003, China;

2. School of Life Sciences, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, Henan 453003, China)

Abstract: In order to expand the application of silver carp protein hydrolysate in frozen dough, this paper investigated the effects of silver carp protein hydrolysates on the freezable water content, water distribution and migration, microstructure, rheological properties, fermentation properties of frozen dough during frozen storage, and analyzed specific volume, textural properties and sensory score of bread. The DSC and LF-NMR

收稿日期: 2024-07-22

基金项目: 河南省科技攻关计划项目(222102110100); 河南省研究生教育改革与质量提升工程项目(YJS2024JD51); 国家级大学生创新项目(202310467033); 新乡学院博士科研启动基金项目(1366020058)

Supported by: Science and Technology Research Project of Henan Province (No. 222102110100); Postgraduate Education Reform and Quality Improvement Project of Henan Province (No. YJS2024JD51); National College Student Innovation Project (No. 202310467033); Xinxiang University Doctoral Research Foundation Project (No. 1366020058)

第一作者: 田金河, 男, 1977年出生, 博士, 讲师, 研究方向为面制品加工, E-mail: 52071051@xxu.edu.cn

通信作者: 王艳婕, 女, 1978年出生, 博士, 副教授, 研究方向为食品微生物学, E-mail: mailyanjie@163.com

results showed that the addition of silver carp protein hydrolysate inhibited the increase of freezable water content and water fluidity of dough during the frozen storage. The SEM, rheological and fermentation properties results showed that the addition of silver carp protein hydrolysate reduced the mechanical damage of gluten network structure, and increased the proportion of elastic properties and fermentation volume of dough during frozen storage. The results of specific volume and texture showed that the addition of silver carp protein hydrolysate improved the specific volume and elasticity of bread, and reduced its hardness and chewability. Silver carp protein hydrolysate also improved sensory score of bread. In conclusion, it can be seen that silver carp protein hydrolysate can effectively improve the quality of frozen dough and bread.

Key words: silver carp protein hydrolysate; frozen dough; water; bread

随着连锁经营概念的日益普及与广泛应用,冷冻面团技术在全世界得到迅速发展。它分离了产品的前期加工和后期熟制,较好地解决了传统生产模式中产品工艺繁琐、标准化低、生产成本低、生产规模小等问题^[1]。但是,冻结及冻藏过程中冰晶的生成和生长会破坏蛋白质及淀粉的结构并降低酵母的活性,从而产生一系列品质劣变问题,如:结构易塌陷、持气能力弱、发酵时间长等^[2]。前人研究表明,通过添加各种抗冻性物质,如多糖类、蛋白类、乳化剂等,可有效减轻冰晶对面团结构的破坏,改善其产品品质^[3]。

近年来,水解鱼类蛋白作为一种新型食品改良剂而备受瞩目,其不仅具有良好的抗冻性,还具有抗氧化、预防高血压等潜在功效^[4]。目前,市场上在售的食品级鱼类蛋白肽产品主要集中在保健品领域。鲢鱼是我国四大淡水养殖鱼类之一,其具有生长快、可混养、疾病少、产量高等特点^[5]。因此,鲢鱼蛋白(Silver carp protein, SCP)来源广泛,价廉易得,适合用于生产鱼类蛋白酶解物。朱碧英等^[6]分析了鲢鱼蛋白酶解物的分子组成,发现其相对分子质量在 12 500 u 以下,其中相对分子质量在 1 900 u 以下的小分子肽占 68.5%。鲢鱼肉酶解物对于冷冻面团品质的改善作用已经明确。例如,刘伟等^[7]研究发现,鲢鱼肉酶解物可缩短冷冻面团的醒发时间,强化其微观结构,增大其制作出面包的比容。熊思佳等^[8]研究发现,鲢鱼肉酶解物有效提升酵母菌的抗冻性,其作用效果随酶解时间的延长而增强。但是,鲢鱼蛋白酶解物(Silver carp protein hydrolysate, SCPH)对冷冻面团品质的影响尚未探明。

因此,本文研究了鲢鱼蛋白酶解物对冻藏过程中冷冻面团品质特性的影响,并对其制备出面包的品质进行评价,旨在为鲢鱼蛋白酶解物在冷冻面团中的应用提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

新鲜鲢鱼(每条质量控制在 1 500 g 左右):新乡市红旗区洪门农贸市场;复合蛋白酶:天津诺维信生物技术有限公司;小麦高筋粉:河南郑州益海嘉里食品工业有限公司;酵母、白砂糖、黄油:湖北宜昌安琪酵母股份有限公司;食盐:中国盐业股份有限公司;其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

FJ-200 高速分散均质机:上海标本模型厂;HA-3480A 和面机:深圳克莱美斯机电科技有限公司;BCD-269WDGB 型冰箱:青岛海尔电冰箱有限公司;Q200 差示扫描量热仪:美国 TA 仪器公司;PQ001 台式核磁共振分析仪:上海纽迈科技有限公司;Alpha1-4LDplus 真空冷冻干燥机:德国 Christ 公司;QUANTA FEG 250 电子扫描显微镜:美国 FEI 公司;MCR302 动态流变仪:奥地利 Anton Paar 公司;SPR-18S 醒发箱:江苏三麦食品机械有限公司;SINMAG SM-901C 电烤炉:无锡新麦机械有限公司;TA 质构仪:上海保圣实业发展有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 鲢鱼蛋白酶解物的制备

SCP 的提取:参考田金河等^[9]的方法提取 SCP,并稍作修改。在调节鱼肉匀浆液过程中,

采用均质机代替搅拌器对匀浆液进行搅拌, 并采用筛网(筛孔 0.5 mm × 0.5 mm)分离上层脂肪层、和下层沉淀层, 将中间蛋白溶液调节至等电点离心分离即得 SCP。分别依据 GB5009.5—2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》^[11]、GB5009.5—2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》^[12]、GB5009.5—2016《食品安全国家标准食品中总灰分的测定》^[13]测定出 SCP 中的蛋白质含量为 86.53%, 脂肪含量为 2.42%, 灰分含量为 8.35%。

SCPH 的制备: 参考叶伟昌^[10]的方法制备 SCPH, 稍作修改。具体操作如下: 首先, 向 10 g SCP 中加入 50 g 的蒸馏水并混合均匀; 之后, 再向 SCP 液中加入 0.3 g 的复合蛋白酶, 并在 50 °C、pH 6.5 的条件下酶解 60 min; 最后, 经灭酶(90 °C、15 min)、离心(4 °C、4 000 g、15 min)、冷冻干燥后即得 SCPH。参照芦江会等^[14]的方法测定出 SCPH 的水解度为 12.32%。

1.3.2 样品的制备

冷冻面团的制备: 空白组配方: 100 g 高筋小麦粉、1.5 g 干酵母、1 g 食盐、8 g 白砂糖、50 g 蒸馏水、5 g 黄奶油; SCPH 组配方: 以 SCPH 替代 1% 的高筋小麦粉, 其他原料与空白组相同; 先将高筋小麦粉、干酵母、食盐、白砂糖加入和面机混合均匀, 然后加入蒸馏水搅拌 10 min 成团, 加入黄油继续搅拌 5 min 至面团表面光滑, 将其分割成 30 g 小面团并用保鲜膜包裹后放入 -40 °C 冰箱中快速冷冻 1 h, 最后将其放入 -18 °C 冰箱中分别冻藏 1、3、5 周。将冻藏后面团置于室温下自然解冻 1 h 用于面团指标的测定。

面包的制备: 将解冻后的面团揉圆放入发酵箱(温度为 35 °C、湿度为 85%)中发酵 2 h, 之后将其置于上下火均为 180 °C 的烤箱中烤制 15 min, 再于室温下冷却 30 min 用于面包指标的测定。

1.3.3 可冻结含水量的测定

参考 ZHU 等^[15]的方法, 稍作修改, 将 15 mg 样品密封于铝制坩埚内测定, 测定条件为: 温度降至 -30 °C 平衡 5 min, 再以 4 °C/min 升温至 30 °C。可冻结水含量通过下方公式计算。可冻结

水含量通过下方公式计算。

可冻结水含量 (%) = $Hw / (Hm \times Tw) \times 100$ 式 (1)

式中: Hw 为样品的冰晶融化焓, J/g; Hm 为水的吸热焓, 333.3 J/g; Tw 为样品的水分含量, %。

1.3.4 水分分布及迁移的测定

参考 LOU 等^[15]的方法, 稍作修改, 取 2 g 样品用保鲜膜包裹放入测试管中, 测定水分弛豫时间。测定参数: 温度 25 °C, 主频 SF=20 MHz, 接收带宽 SW=100 kHz, 测试重复间隔 TW=4 500 ms, 回波时间 TE=0.6 ms, 重复扫描 8 次。

1.3.5 微观结构的测定

不经解冻, 将冷冻面团直接进行真空冷冻干燥。之后, 将断面喷金后, 采用电子扫描显微镜 (Scanning electron microscopy, SEM) 观察其截面结构, 加速电压为 20 KV, 放大倍数为 2 500 倍。

1.3.6 流变学特性的测定

参考 ZHOU 等^[17]的方法, 稍作修改, 将 2 g 样品置于流变仪的感应板上测试, 测定参数: 温度保持在 25 °C, 间隙为 2 000 μm, 频率范围为 0.1~40 Hz, 应变量为 0.1%。记录储能模量 (G')、损耗模量 (G'') 和损耗角正切值 ($\tan \delta$)。

1.3.7 发酵特性的测定

参考李素云等^[18]的方法, 稍作修改, 将 5 g 样品放入 100 mL 量筒后置于发酵箱(温度为 35 °C, 湿度为 85%)中发酵 2 h, 每隔 30 min 记录一次面团体积。

1.3.8 比容的测定

参考陈永莹等^[19]的方法, 稍作修改, 用菜籽装满一只烧杯后, 将菜籽注入装有面包的另一只相同烧杯并刮平, 测定多余菜籽的体积即为面包的体积; 最后, 按照下方公式计算面包的比容。

比容 (mL/g) = V / w 式 (2)

式中: V —面包的体积, mL; w —面包的质量, g。

1.3.9 质构特性的测定

参考尚珊等^[20]的方法, 稍作修改, 采用 P₅₀ 探头, 测速均为 1 mm/s, 触发力为 5 g, 压缩比为 75%, 间隔时间为 2 s。

1.3.10 感官评价

挑选经过培训的 10 名食品专业背景评审员

(5 男 5 女) 组成感官评定小组, 根据表 1 对面包进行感官评价。

表 1 面包感官评定标准
Table 1 Sensory evaluation standard of bread

评分项目	评分标准	分值/分
表皮色泽	金黄色或淡棕色, 颜色均匀	21~25
	泛黄、灰白, 颜色均匀	16~20
	发暗, 发黑, 颜色不均匀	0~15
面包芯色泽	洁白, 乳白, 颜色均匀	21~25
	灰白, 颜色较为均匀	16~20
	发暗, 颜色不均匀	0~15
组织状态	气孔细密, 孔壁薄, 切片后不易断裂	21~25
	气孔大, 孔壁较薄, 切片后易断裂	16~20
	气孔大, 孔壁厚, 切片后极易断裂	0~15
滋味与口感	有面包香味, 无异味, 味醇厚, 口感细腻	21~25
	有面包香味, 有轻微异味, 味适中, 口感适中	16~20
	无面包香味, 无异味, 味微酸, 口感粗糙	0~15

1.4 数据处理

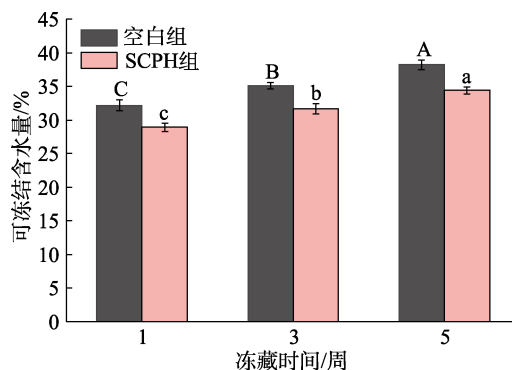
数据为 3 次平行测量的平均值; 采用 SPSS 26.0 数据分析软件进行显著性分析 (Duncan); 图表采用 Origin2024 和 Word 2016 进行绘制。

2 结果与分析

2.1 面团的可冻结含水量

冻结及冻藏过程中, 与面团组分结合较弱的一部分水会形成冰晶, 这会破坏面团中的面筋蛋白网络结构和酵母细胞, 造成产品品质下降; 而另一部分与面团组分的结合能力较强的水则无法形成冰晶^[21]。由此可见, 降低可冻结含水量对保持冷冻面团品质有积极作用。如图 1 所示, 随着冻藏时间的延长, 空白组与 SCPH 组的可冻结含水量均呈现逐渐增大的趋势; 相同冻藏时间下, SCPH 组的可冻结含水量低于空白组。DSC 结果表明, 添加 SCPH 可有效抑制冻藏过程中冷冻面团可冻结含水量的增加。一方面, SCPH 中的亲水性小分子肽增强了水分子受到的束缚作用, 从而抑制了冰晶生成及生长^[22]。另一方面, SCPH 对冰晶的修饰减轻了面筋蛋白网络结构受到的破坏作用, 降低了其疏水基团的暴露数量^[23]。这与张艳杰等^[24]的研究结果类似, 她们报道称, 燕麦抗冻蛋白通过限制水分的流动和增强面筋蛋白结

合水分的能力来降低冻藏过程中饺子皮的可冻结含水量。



注: 图中不同大写字母为空白组内、不同小写字母为 SCPH 组内有显著差异 ($P < 0.05$), 下同。

Note: Different uppercase letters indicated significant difference ($P < 0.05$) in the control group, different lowercase letters indicated significant difference ($P < 0.05$) in the SCPH group, same as below.

图 1 冷冻面团的可冻结含水量

Fig. 1 Freezable water content of frozen dough

2.2 面团的水分分布及迁移

LF-NMR 可用于检测面团中水分状态的变化。 T_2 值指样品中不同种类水分的弛豫时间, 包含结合水 (T_{21})、半结合水 (T_{22}) 和自由水 (T_{23}) (如图 2 所示), 其值越小, 代表水分与亲水性物质结合的越强, 水分流动性越差; 信号幅度峰面积占总面积的比例 (%), 分别为 A_{21} 、 A_{22} 、 A_{23} (如图 3 所示), 其值越大, 说明此种水的占比越高^[21]。如图 3 所示, 随着冻藏时间的延长, 各组的 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 、 A_{22} 、 A_{23} 均呈现逐渐增大的趋势, A_{21} 均呈现逐渐减小的趋势; 相同冻藏时间下, SCPH 组的 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 、 A_{22} 、 A_{23} 小于空白组, 其 A_{21} 大于空白组。LF-NMR 结果表明, 随着冻藏时间的延长, 冷冻

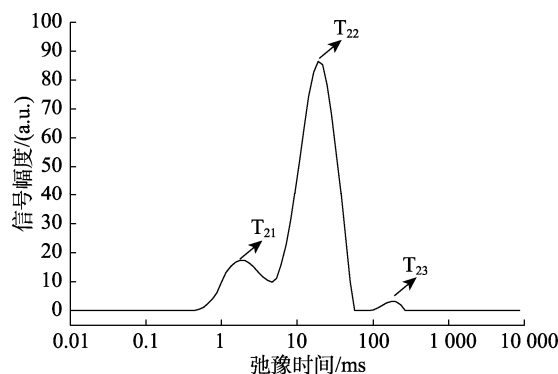


图 2 冷冻面团的弛豫图谱

Fig. 2 Relaxation time diagram of frozen dough

面团的水分流动性逐渐增强,其结合水逐渐向其非结合水方向转化;而添加 SCPH 可以有效抑制这一现象。这与 2.1 可冻结水含量的变化相一致。SCPH 中的亲水性小分子肽增强了水分受到的束缚力,降低了面团的水分流动性^[7]。此外,SCPH 通过限制大冰晶的形成来抑制面筋蛋白的降解,从而提升了其结合水分的能力^[25]。ZHOU 等^[17]曾报道称,添加脱盐蛋清蛋白增强了水分受到的束缚力,从而提升了冷冻面团的结合水占比,本

研究与其结果类似。

2.3 面团的微观结构

面团形成后,淀粉颗粒会附着在连续的面筋蛋白网络上,形成稳定的结构^[26]。如图 4 所示,随着冻藏时间的延长,各组面团中面筋蛋白网络结构的断裂结构依次增多,暴露出的淀粉颗粒数目依次增多;相同冻藏时间下,SCPH 组的面筋蛋白网络结构的连续性强于空白组,其暴露出的淀粉颗粒数目少于空白组;尤其是冻藏 5 周后,

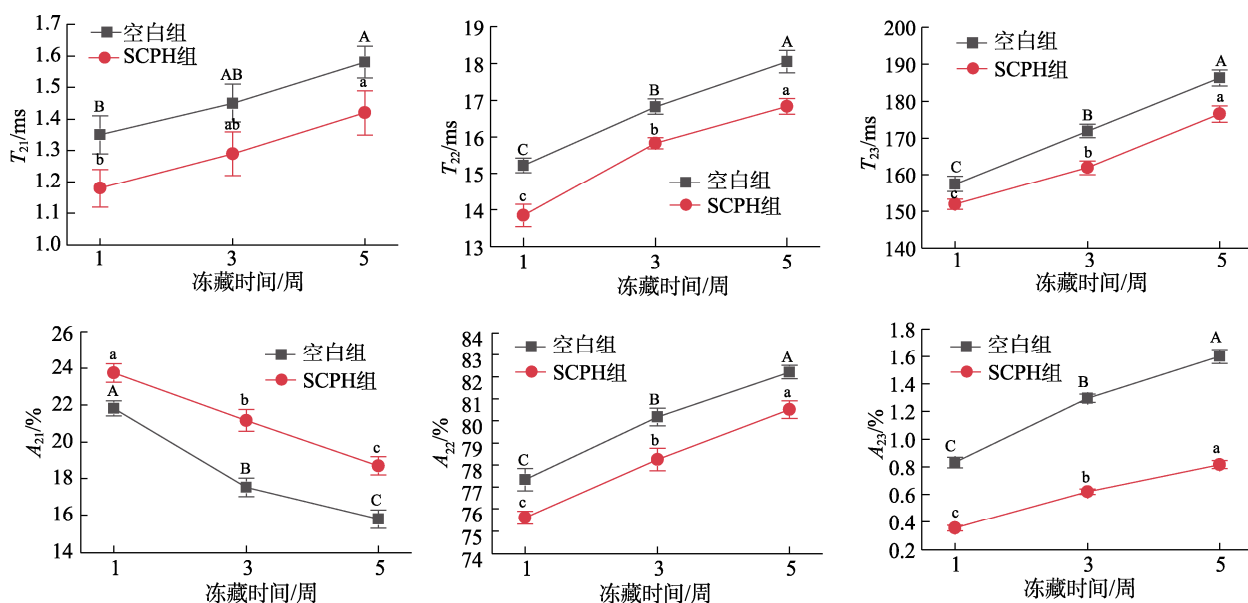
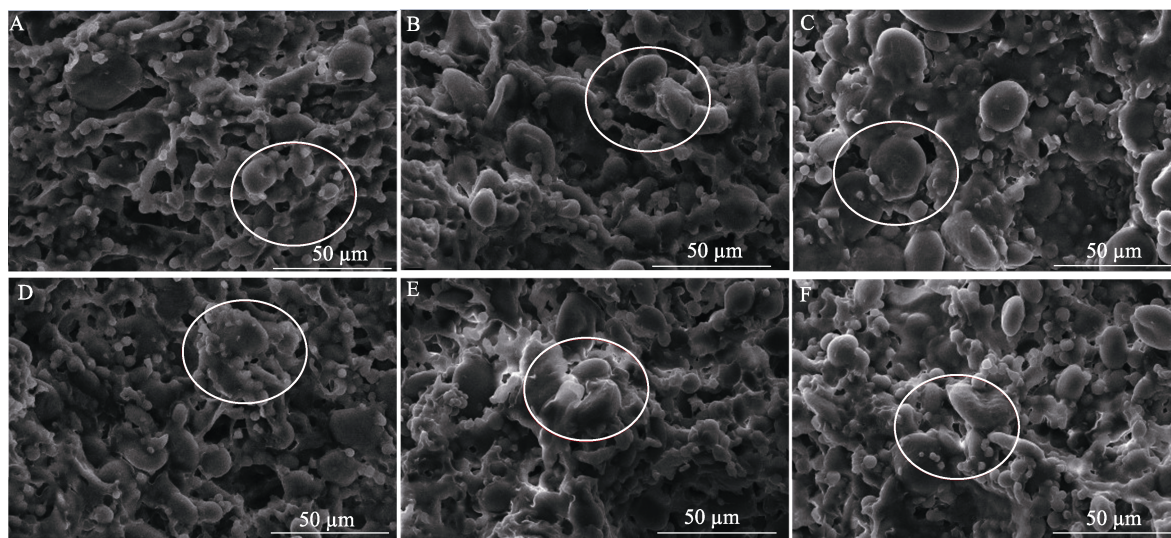


图 3 冷冻面团的 LF-NMR 弛豫参数

Fig. 3 LF-NMR relaxation parameters of frozen dough



注: A: 空白组-1 周; B: 空白组-3 周; C: 空白组-5 周; D: SCPH 组-1 周; E: SCPH 组-3 周; F: SCPH 组-5 周。白圈表示裸露出来的淀粉颗粒。

Note: A: blank group-1 week; B: blank group-3 weeks; C: blank group-5 weeks; D: SCPH group-1 week; E: SCPH group-3 weeks; F: SCPH group-5 weeks. White circles refer to the exposed starch granule.

图 4 冷冻面团的微观结构

Fig. 4 Microstructure of frozen dough

空白组产生了较多的断裂结构,存在较多的裸露淀粉颗粒(图 4-C);而 SCPH 组的淀粉颗粒仍被连续的面筋蛋白网络结构所包裹(图 4-F)。SEM 结果表明,添加 SCPH 可以强化面筋蛋白网络结构,提升冻藏过程中冷冻面团结构的稳定性。冻结和冻藏过程中,不受束缚的水分子会迁移至冰晶表面进行重结晶,从而增大冰晶的尺寸,导致面团的面筋蛋白网络结构受到破坏^[27]。前人研究表明,蛋白质酶解物中的强吸水性小分子肽可以通过抑制水分的自由流动来抑制大冰晶的形成,从而提升面团结构的稳定性^[18]。SCPH 与酶解魔芋葡甘聚糖的作用机制类似。崔婷婷等^[28]研究发现,酶解魔芋葡甘聚糖产生的亲水性小分子糖通过抑制面团中水分的自由移动来抑制冰晶的重结晶,从而减轻面筋蛋白网络结构受到的破坏作用。

2.4 面团的流变学特性

G' 和 G'' 分别反映面团的弹性和粘性;而 $\tan\delta$ 为 G'' 与 G' 的比值,反映粘性和弹性在面团中的贡献^[29]。如图 5 所示,各组的 G' 均大于 G'' , $\tan\delta$ 始终小于 1,这表明冷冻面团是为弹性为主的固态体系^[30]。随着冻藏时间的延长,空白组与 SCPH 组的 G' 和 G'' 均呈现逐渐减小的趋势,而 $\tan\delta$ 均呈现逐渐增大的趋势;同一时间点下,SCPH 组的 G' 和 G'' 大于空白组,其 $\tan\delta$ 小于空白组。动

态流变学结果表明,添加 SCPH 可以缓解面团在冻藏过程中的弹性和粘性降低趋势,提升其弹性性质占比。这可归因于 SCPH 对面筋蛋白网络结构的强化作用。前人研究表明,冰晶对面筋蛋白网络结构的降解会使得面团的 G' 和 G'' 减小, $\tan\delta$ 增大^[31]。SCPH 对冰晶的修饰抑制了此现象,这与陈嘉茹等^[32]的研究结果类似,他们发现,甘薯蛋白酶解物增大了冻藏过程中面团的 G' 和 G'' ,减小了 $\tan\delta$ 。

2.5 面团的发酵特性

如图 6 所示,各发酵时间点上,冻藏 1、3、5 周后冷冻面团的发酵体积依次减小;相同冻藏时间下,SCPH 组在各发酵时间点上的体积均大于空白组。这说明,随着冻藏时间的延长,面团的发酵特性逐渐变差,而添加 SCPH 可改善其发酵特性。面团的发酵特性与酵母的活性、面筋蛋白网络结构的强度密切相关。提升酵母活性可以增强面团产气能力,而强化面筋蛋白网络结构则可以增强其持气能力^[33]。SCPH 中的小分子肽类不仅可以减轻面筋蛋白网络结构和酵母细胞结构受到的破坏,还可以为酵母菌提供更多的氮源,提升其活力^[34]。李素云等^[18]有类似发现,他们报道称,大米多肽可以显著增大冻藏后冷冻面团的发酵体积。

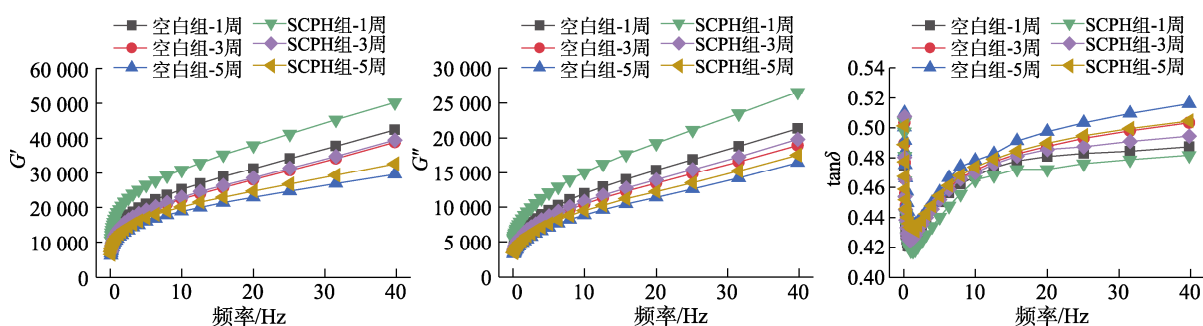


图 5 冷冻面团的动态流变学特性

Fig.5 Dynamic rheological properties of frozen dough

2.6 面包的比容及质构特性

面包的比容和质构特性是反映其品质特性的重要指标。如图 7 所示,随着冻藏时间的延长,冷冻面团制备出面包的比容逐渐减小,硬度和咀嚼性逐渐增大,弹性逐渐减小;相同冻藏时间下,

与空白组相比,SCPH 组的比容和弹性更大,硬度和咀嚼性更小。这表明,随着冻藏时间的延长,冷冻面团制作出面包的比容逐渐减小,其柔软与弹性质地逐渐丧失;而添加 SCPH 可以明显抑制这一品质劣变趋势。

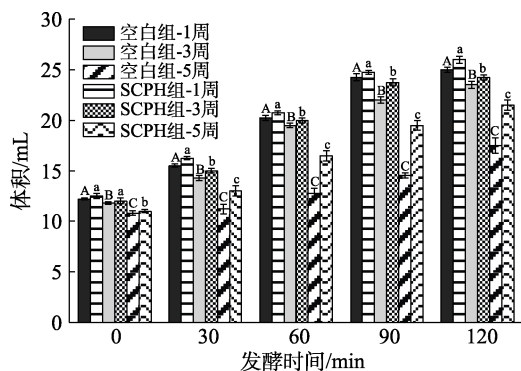


图 6 冷冻面团的发酵特性

Fig.6 Fermentation properties of frozen dough

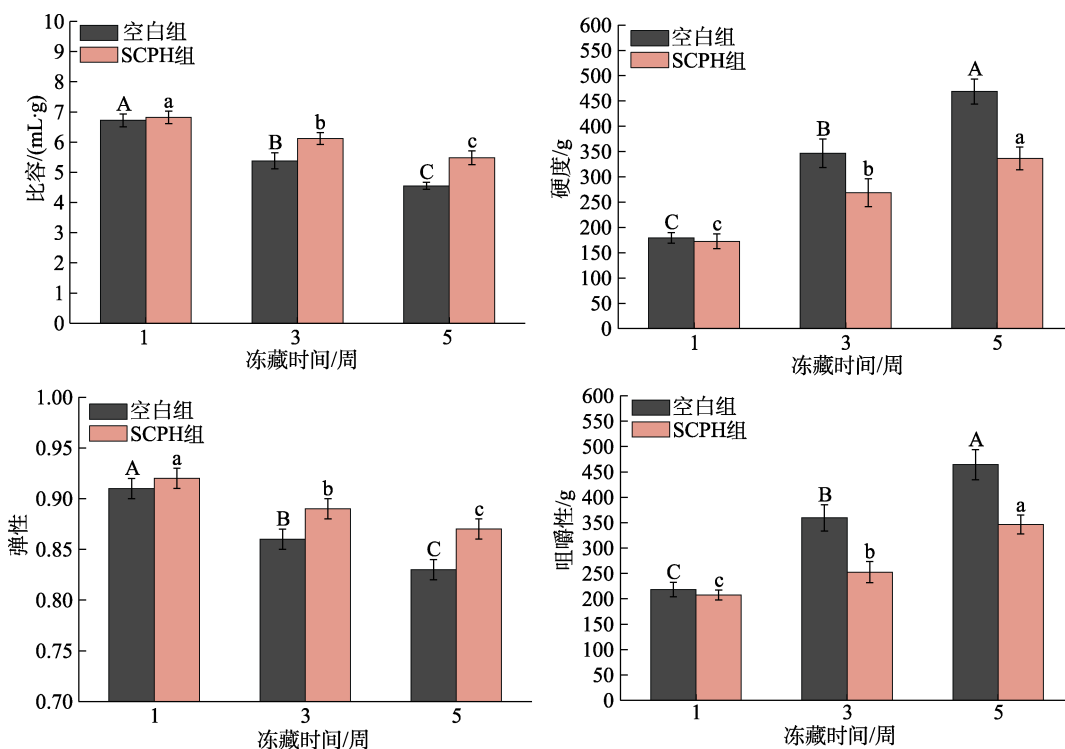


图 7 面包的比容和质构特性

Fig.7 Specific volume and texture properties of bread

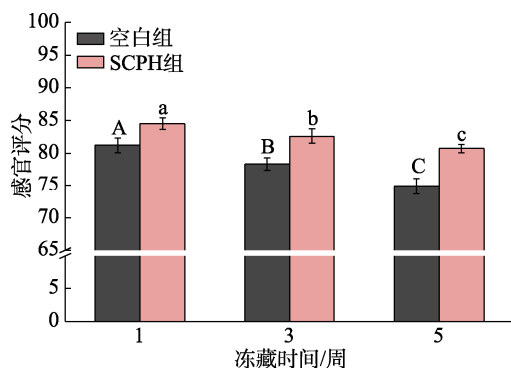


图 8 面包的感官评分

Fig.8 Sensory score of bread

2.7 面包的感官评分

如图 8 所示，冻藏 1、3、5 周后冷冻面团制备出面包的感官评分呈现逐渐减小的趋势；相同冻藏时间下，SCPH 组的感官评分均高于空白组。这说明，添加 SCPH 可以明显提高冻藏后面团制备出面包的感官评分。这也与 2.6 中面包的比容和质构特性变化相一致。SCPH 对面筋蛋白网络结构的强化和酵母活力的提升有效改善了冻藏后面团制作出面包的品质特性。

性的影响。结果表明，SCPH 可以通过降低水分流动性来抑制大冰晶的形成，减轻冰晶对面筋蛋白网络结构和酵母细胞的破坏，从而改善冻藏过程中面团的流变学和发酵特性。另外，与空白样相比，添加 SCPH 冷冻面团制作出的面包具有更大的比容、更为软弹的质地、更高的感官评分。综上，SCPH 可通过修饰冰晶来改善冷冻面团及面包的品质。本研究可为鲢鱼蛋白酶解物在冷冻面团中的应用提供一定的参考。

3 结论

本文研究了 SCPH 对冷冻面团及面包品质特

参考文献：

[1] 赵亚歆, 樊铭聪, 钱海峰, 等. 冷冻面团品质改良剂研究进展

- [J/OL]. 食品与发酵工业, 1-9.
- ZHAO Y X, FAN M C, QIAN H F, et al. Research progress of quality improvers for frozen dough [J/OL]. Food and Fermentation Industry, 1-9.
- [2] 杨雪, 郭金英, 鲁鹏, 等. 食品多糖对冷冻面团特性的影响及作用机理研究进展[J/OL]. 食品与发酵工业, 1-8.
- YANG X, GUO J Y, LU P, et al. Research progress on effects of food polysaccharide on properties of frozen dough and its mechanism [J/OL]. Food and Fermentation Industries, 1-8.
- [3] 徐芊, 汪丽萍, 沈汪洋, 等. 冷冻面制品品质改良研究进展[J]. 中国粮油学报, 2024, 39(2): 206-217.
- XU Q, WANG L P, SHEN W Y, et al. Research progress on quality improvement of frozen flour products[J]. Journal of Cereals and Oils, 2024, 39(2): 206-217.
- [4] 郭星辛, 王发祥, 俞健, 等. 鲢鱼酶解产物和鱼胶原蛋白对冷冻面团品质的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 16-19.
- GUO X X, WANG F X, YU J, et al. Effects of Enzymatic hydrolysis products of silver carp and fish collagen peptide on Quality of frozen dough[J]. Food and Machinery, 2018, 34(11): 16-19.
- [5] 冯瑞方, 张修身, 洪惠, 等. 鲢全鱼蛋白酶解产物制备及风味评估[J]. 科学养鱼, 2021, 10: 75-76.
- FENG R F, ZHANG X S, HONG H, et al. Preparation and flavor evaluation of protease hydrolysates of silver carp whole fish[J]. Scientific Fish Culture, 2021, 10: 75-76.
- [6] 朱碧英, 毛秀珍. 鲢鱼蛋白酶解肽分子组成及其降血脂作用的初步研究[J]. 营养学报, 2005, (5): 76-78.
- ZHU B Y, MAO X Z. A preliminary study on the molecular composition of proteolytic peptides of silver carp and its effect on lowering blood lipids[J]. Chinese Journal of Nutrition, 2005, (5): 76-78.
- [7] 刘伟, 符禹婷, 俞健, 等. 鲢鱼酶解产物对冷冻面团品质特性的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 9-14.
- LIU W, FU Y T, YU J, et al. Effect of enzymatic hydrolysis products of silver carp on quality characteristics of frozen dough [J]. Food Science, 2022, 43(8): 9-14.
- [8] 熊思佳, 王发祥, 俞健, 等. 鲢鱼酶解产物对酵母菌的抗冻保护作用[J]. 食品与机械, 2018, 34(2): 180: 116-119.
- XIONG S J, WANG F X, YU J, et al. Antifreeze protection of enzymatic hydrolysis products of silver carp against yeast[J]. Food and Machinery, 2018, 34(2): 180: 116-119.
- [9] 田金河, 王艳婕, 朱志伟, 等. pH 值对碱溶法罗非鱼鱼糜制备及凝胶性质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 163-169.
- TIAN J H, WANG Y J, ZHU Z W, et al. Effect of pH value on preparation and gel properties of tilapia surimi by alkaline solution method[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(11): 163-169.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission, People's Republic of China. Determination of protein in food of National Food Safety Standard: GB 5009.3—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission, People's Republic of China. Determination of fat in food under National Standard for Food Safety: GB 5009.3 — 2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Determination of ash in food of National Standard for Food Safety: GB 5009.3 — 2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [13] 叶伟昌. 红鱼蛋白酶解物在调节肠道菌群缓解慢性应激诱发的小鼠抑郁样行为中的作用[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2022.
- YE W C. The role of redfish protease hydrolysate in regulating intestinal flora and alleviating depression-like behavior in mice induced by chronic stress[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2022.
- [14] 芦江会, 陈跃文, 付晶晶, 等. 超声辅助酶解对龙头鱼蛋白肽理化性质及风味特性的影响[J]. 食品与机械, 2023, 39(11): 38-44.
- LU J H, CHEN Y W, FU J J, et al. Effects of ultrasound-assisted enzymatic hydrolysis on physicochemical properties and flavor characteristics of protein peptides of *Longhead Fish*[J]. Food & Machinery, 2023, 39(11): 38-44.
- [15] ZHU X, YUAN P, ZHANG T, et al. Effect of carboxymethyl chitosan on the storage stability of frozen dough: State of water, protein structures and quality attributes[J]. Food Research International, 2022, 151(11): 110863.
- [16] LOU X, YUE C, LUO D, et al. Effects of natural inulin on the rheological, physicochemical and structural properties of frozen dough during frozen storage and its mechanism[J]. LWT, 2023, 184(5): 114973.
- [17] ZHOU B, DAI Y, GUO D, et al. Effect of desalted egg white and gelatin mixture system on frozen dough[J]. Food Hydrocolloids, 2022, 132(4): 107889.
- [18] 李素云, 李星科, 张华, 等. 大米多肽对冷冻面团发酵特性及馒头品质对影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(8): 162-166.
- LI S Y, LI X K, ZHANG H, et al. Effects of rice peptides on fermentation characteristics of frozen dough and quality of steamed bread [J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(8): 162-166.
- [19] 陈永莹, 曹家宝, 王霞, 等. 甘油二酯对面团特性及面包品质的影响[J/OL]. 食品与发酵工业, 1-11.
- CHEN Y Y, CAO J B, WANG X, et al. Effects of diglycerol on dough properties and bread quality [J/OL]. Food and Fermentation Industry, 1-11.
- [20] 尚珊, 于书蕾, 臧梁, 等. 海藻糖和卡拉胶寡糖对冷冻面团冻

- 藏稳定性和烘焙特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(11): 207-216.
- SHANG S, YU S L, ZANG L, et al. Effects of trehalose and carrageenan oligosaccharides on frozen storage stability and baking characteristics of frozen dough[J]. Food and Fermentation Industry, 2023, 49(11): 207-216.
- [21] LIU M, LIANG Y, ZHANG H, et al. Production of a recombinant carrot antifreeze protein by *Pichia pastoris* GS115 and its cryoprotective effects on frozen dough properties and bread quality[J]. LWT, 2018, 96: 543-550.
- [22] XIN C, NIE L, CHEN H, et al. Effect of degree of substitution of carboxymethyl cellulose sodium on the state of water, rheological and baking performance of frozen bread dough[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 80: 8-14.
- [23] JIANG Y, ZHAO Y, ZHU Y, et al. Effect of dietary fiber-rich fractions on texture, thermal, water distribution, and gluten properties of frozen dough during storage[J]. Food Chemistry, 2019, 297: 124902.
- [24] 张艳杰, 王金慧, 刘胜男, 等. 燕麦抗冻蛋白对冻藏期间速冻饺子皮品质的影响[J]. 农业工程学报, 2022, 38(2): 316-322.
- ZHANG Y J, WANG J H, LIU S N, et al. Effect of oat antifreeze protein on the quality of quick-frozen dumpling skin during frozen storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(2): 316-322.
- [25] DING X, ZHANG H, WANG L, et al. Effect of barley antifreeze protein on thermal properties and water state of dough during freezing and freeze-thaw cycles[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 47: 32-40.
- [26] LOU X, YUE C, LUO D, et al. Effects of natural inulin on the rheological, physicochemical and structural properties of frozen dough during frozen storage and its mechanism[J]. LWT, 2023, 184(May): 114973.
- [27] WANG P, TAO H, JIN Z, et al. Impact of water extractable arabinoxylan from rye bran on the frozen steamed bread dough quality[J]. Food Chemistry, 2016, 200, 117-124.
- [28] 崔婷婷, 刘锐, 吴涛, 等. 酶解魔芋葡甘聚糖对冷冻面团拉伸特性的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(20): 7-15.
- CUI T T, LIU R, WU T, et al. Effect of enzymatic hydrolysis of Konjac glucomannan on tensile properties of frozen dough[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(20): 7-15.
- [29] YANG J, ZHANG B, ZHANG Y, 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.
- [30] GUO J, LIU F, GAN C, et al. Effects of Konjac glucomannan with different viscosities on the rheological and microstructural properties of dough and the performance of steamed bread[J]. Food Chemistry, 2022, 368: 130853.
- [31] 杨作乾, 陈学亭, 王曼, 等. 亲水胶体对马铃薯冷冻面团及烘焙特性的作用[J/OL]. 食品与发酵工业, 1-9.
- YANG Z Q, CHEN X T, WANG M, et al. Effect of hydrophilic colloid on frozen potato dough and baking characteristics [J/OL]. Food and Fermentation Industry, 1-9.
- [32] 陈嘉茹, 牛丽亚, 周庆红, 等. 不同分子质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): 76-83.
- CHEN J R, NIU L Y, ZHOU Q H, et al. Effects of different molecular weights of sweet potato protein hydrolysates on the quality of frozen dough and bread [J]. China Journal of Cereals and Oils, 2022, 37(10): 76-83.
- [33] ZHANG Y, WANG B, WANG W, et al. Study on the mechanism of ultrasonic treatment impact on the dough's fermentation capability[J]. Journal of Cereal Science, 2021, 100(2): 103191.
- [34] ZHANG Y, WANG W, LIU Y, et al. Cryoprotective effect of wheat gluten enzymatic hydrolysate on fermentation properties of frozen dough[J]. Journal of Cereal Science, 2022, 104(136): 103423. 