冷冻华夫面团保质期内品质提升的研究

陈晶晶[1]，孙 卿[2]，张 慜[*2]

（1. 海通食品集团有限公司，浙江 慈溪 315300；2. 食品科学与技术国家重点实验室，江南大学，江苏 无锡 214122）

摘要：研究了冷冻华夫面团冻藏期间的水分质量分数、水分分布、酵母含量、产气能力、持气能力等指标的变化，阐明冷冻面团品质变化的机制。实验表明，冷冻华夫面团冻藏时间对产品品质具有显著影响，当冻藏时间为 3 个月时，酵母含量、产气能力、持气能力分别下降了 28%、23%和 36%。通过研究不同类型添加剂（谷朊粉、黄原胶、羟丙基甲基纤维素、结冷胶）对冷冻面团冻藏期间品质的影响，发现适量加入添加剂对于产品品质的提升具有一定效果，其中谷朊粉和黄原胶在降低冰晶体机械损伤、提高面团发酵能力方面效果显著。与对照相比，谷朊粉提升酵母含量 131%，发酵能力 210%，黄原胶提升酵母含量 107%，发酵能力 181%。

关键词：冷冻；华夫面团；品质

中图分类号：TS 201.7　**文章编号：**1673-1689(2021)08-0054-08　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2021.08.007

Study on Quality Improvement of Frozen Waffle Dough during Shelf Life

CHEN Jingjing[1]，*SUN Qing*[2]，*ZHANG Min*[*2]

(1. Haitong Food Group Company, Cixi 315300, China; 2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: This paper systematically studied the changes of water content, water distribution, yeast content, gas production capacity and gas holding capacity of frozen waffle dough during frozen storage period, and clarified the mechanism of quality change of frozen waffle dough. The experiment showed that the frozen storage time of frozen waffle dough had a significant influence on the product quality. When the storage time was 3 months, the yeast content, gas production capacity and gas holding capacity decreased by 28%, 23% and 36%, respectively. The different types of modifier (gluten, xanthan gum, HPMC, gellan gum) affected the frozen dough quality during frozen storage. The proper addition of the modifier effectively improved the products quality. The gluten and xanthan gum remarkably reduced the ice crystal mechanical damage and improved the dough fermentation ability. Compared with the control group, gluten powder increased yeast content by 131% and fermentation capacity by 210%, while xanthan gum increased yeast content by 107% and fermentation capacity by 181%.

Keywords: frozen, waffle dough, quality

收稿日期：2020-09-25

基金项目：国家“十三五”重点研发计划项目(2018YFD0400801)。

作者简介：陈晶晶(1980—)，女，硕士，工程师，主要从事生鲜食品加工与贮藏研究。E-mail：jj@haitonggroup.com

*通信作者：张 慜(1962—)，男，博士，教授，博士研究生导师，主要从事农产品贮藏与加工研究。E-mail：min@jiangnan.edu.cn

冷冻面团[1]主要是指以面粉为原料经揉制、速冻等加工后形成的半成品,广泛应用于糕点、馒头等产业。随着中央厨房等全新商业模式的出现,冷冻面团具有独特的优势。根据市场需要,面团生产商可以生产出不同标准的产品,配送至不同的门店,提高效率,减少人力资源的浪费。与欧美相对发达的冷冻面团生产技术相比[2-3],我国相关技术研发起步较晚,但冷冻面团技术的优越性已经引起了相关企业和社会的广泛关注。

随着贮藏时间的延长,冷冻面团出现发酵能力下降、醒发时间延长、水分散失严重、产品口感变差等问题。阐明品质劣变机理,延长冷冻面团保质期,提升产品品质成为当前冷冻面团研究中迫切需要解决的问题。

作者通过对冷冻华夫面团贮藏期间不同指标的系统性研究,探明品质劣变机制,确定关键控制因素;同时,对产品配方进行优化改良,复配出适合高油体系冷冻面团的保护剂配方,以期为冷冻华夫面团的品质改良提供新的研究思路和方法,扩大冷冻面团技术在食品领域中的应用范围。

1 材料与方法

1.1 实验材料

预拌粉(小麦粉):上海金山日粉食品有限公司产品;珍珠糖:品元实业有限公司产品;高活性干酵母:日本钟渊化学工业公司产品;纯牛奶:青岛快利行食品有限公司产品;黄油:恒天然集团产品;马铃薯葡萄糖琼脂培养基:国药集团化学试剂有限公司产品;盐酸:国药集团化学试剂有限公司产品;谷朊粉:上海维景科技有限公司产品;羟丙基甲基纤维素(甲基取代度为 28%~30%,羟丙基取代度为 7%~12%):上海麦克林生化科技有限公司产品;结冷胶(高酰):郑州欧宝生物科技有限公司产品;黄原胶:卓觉商贸(上海)有限公司产品。

1.2 仪器与设备

BSA124S 电子分析天平:德国 Sartorius 公司产品;C21-KT2134 电磁炉:广东美的生活电器制造有限公司产品;R3 旋转流变仪:美国 TA 公司产品;SPX-250B-Z 型生化培养箱:上海博讯实业有限公司医疗设备厂产品;5K5SS 升降式搅拌机:美国惠而浦资产公司产品;DSC-3 型差示扫描量热仪:瑞士梅特勒-托利多公司产品;WJ-DW-100 冷冻柜:深圳长旭制冷设备有限公司产品;800Y 高速多功能粉碎机:永康市铂欧五金制品有限公司产品;核磁共振分析仪:上海纽迈电子科技有限公司产品。

1.3 实验方法

1.3.1 冻华夫面团制作与加工 冷冻面团制作:将预拌粉、黄油、牛奶、鸡蛋等配料按一定比例混合,充分搅打至混合均匀,将调制完成的面团,分割成(50±5) g 的小面团,搓圆后放置于自封袋,放入-65 ℃冰箱中冷冻 120 min,使面团中心温度达到-20 ℃,后将面团放入-18 ℃冰箱冷冻保存。

冷冻面团解冻:将面团从自封袋中取出,放置于托盘中,在 25 ℃、相对湿度 80%条件下解冻 30 min,使面团中心温度达到 5 ℃。

冷冻面团醒发:将解冻后的面团置于醒发箱中,醒发温度 37 ℃、湿度 80%、时间 2 h。

1.3.2 冻藏时间对冷冻华夫面团体系指标的影响试验 取冻藏时间为 0、90、120、150 d 的冷冻面团,分别测定冷冻华夫面团的水分含量、水分分布、酵母含量、产气能力、持气能力、DSC,研究不同冷藏时间对冷冻华夫面团体系指标的影响。

1.3.3 冻藏时间对冷冻华夫面团体系指标的影响试验 按照试验方法 1.3.1 方法,制备不同添加剂种类和质量分数的冷冻华夫面团。谷朊粉(1%、2%、3%、4%、5%),黄原胶(0.2%、0.4%、0.6%、0.8%),羟丙基甲基纤维素(HPMC)(0.0%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%),结冷胶(0.2%、0.4%、0.6%、0.8%)。取冷冻华夫面团在 4 ℃条件下解冻 12 h,后将样品放入-65 ℃条件下冷冻 120 min,放入-18 ℃条件下冷冻储存 10 h,此为冻融一次。反复冻融 5 次后测定冷冻华夫面团的水分分布、酵母含量、产气能力、持气能力。

1.3.4 冷冻华夫面团水分质量分数测定 参考 GB 5009.3—2016 方法[4],直接干燥法。取洁净的玻璃制扁形称量瓶,置于 101~105 ℃干燥箱中,瓶盖斜支于瓶边,加热 1 h,取出盖好,置干燥器内冷却 0.5 h,称量,并重复干燥至前后两次质量差不超过 2 mg,即为恒重。称取 5 g(精确至 0.000 1 g)解冻后的冷冻华夫面团,放入此称量瓶中,均匀铺满底部,加盖,精密称量后,置于 101~105 ℃干燥箱中,瓶盖斜支于瓶边,干燥 12 h 后,盖好取出,放入干燥器内冷却 0.5 h 后称量。然后再放入 101~105 ℃干燥箱中干燥 1 h 左右,取出,放入干燥器内冷却 0.5 h 后再称量。并重复以上操作至前后两次质量差不超过

2 mg,即为恒重,计算出面团的水分质量分数。每个样品重复 3 次。

1.3.5 冷冻华夫面团酵母含量测定 参考 GB 4789.15—2016 方法[5],酵母平板计数法,并结合实际做出略微改动。称取 1 g 解冻后样品,加入 9 mL 蒸馏水,充分振摇,制成体积比为 1:10 的样品匀液。取 1 mL 样品匀液注入含有 9 mL 蒸馏水的试管中,在旋转混合器上混匀,得到 1:100 的样品匀液。重复上述操作,直至得到适宜稀释倍数的样品匀液。分别吸取两个浓度的样品匀液各 1 mL 于无菌平皿内。同时分别吸取 1 mL 蒸馏水加入 2 个无菌平皿作空白对照。将 15~20 mL 冷却至 46 ℃的马铃薯葡萄糖琼脂倾注平皿,并转动平皿使其混合均匀。置水平台面待培养基完全凝固。后转至(28±1) ℃培养箱培养 3 d,观察并记录菌落总数。

1.3.6 冷冻华夫面团水分分布测定 利用低场核磁共振技术(LF-NMR)对冷冻面团的水分进行研究[6],测定结合水、半结合水、自由水。试验参数:重复采样等待时间 TW=2 000 ms、回波时间 TE=1 ms、采样点数 TD=300 028、回波次数 NECH=3 000、重复扫描次数 NS=8。每个样品重复 3 次。

1.3.7 冷冻华夫面团产气能力测定 冷冻面团产气能力测定[7],装置如图 1 所示,测定前,将 25 g 冷冻面团在 25 ℃、相对湿度 80%的条件下解冻 30 min。当面团中心温度达到 5 ℃左右时,取出面团。立即将面团放入锥形瓶中置于 37 ℃水浴锅中水浴加热,将导管插入盛有稀酸溶液的倒立量筒中,记录面团投入后 5 min 的气体体积为 V_1,60 min 后记录气体体积为 V_2,产气能力 F 按公式(1)计算,每个样品重复 3 次。

$$F=\frac{(V_2-V_1)}{m_1} \quad (1)$$

式中:F 为面团产气能力,mL/g;m_1 为称取的面团质量,g;V_1 为 5 min 时气体体积,mL;V_2 为 60 min 时气体体积,mL。

1.3.8 冷冻华夫面团持气能力的测定 冷冻华夫面团持气能力的测定步骤如下:将冷冻面团在 25 ℃、相对湿度 80%的条件下解冻 30 min。当面面团中心温度达到 5 ℃左右时,取出面团。取 5 g 面团铺满 10 mL 量筒底部,记录此时面团体积为 V_3,将量筒放入(37±1) ℃恒温培养箱中醒发 60 min,后记录此时面团体积为 V_4,面团持气能力 C 按公式(2)计算,每个样品重复 3 次。

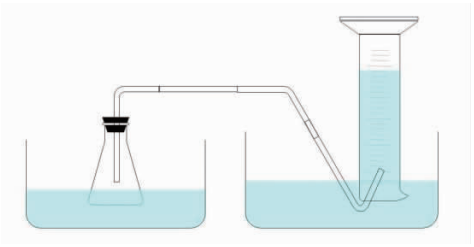


图 1 排水法测定产气能力装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of measuring gas production capacity by drainage method

$$C=\frac{(V_4-V_3)}{m_2} \quad (2)$$

式中:C 为面团持气能力,mL/g;m_2 为称取的面团质量,g;V_4 为 60 min 时面团体积,mL;V_3 为 0 min 时面团体积,mL[8]。

2 结果与分析

2.1 冻藏时间对冷冻华夫面团品质特性的影响

2.1.1 冻藏时间对水分质量分数的影响 由图 2 可知,高油脂冷冻面团的吸水过程主要集中冻藏初期。当冻藏时间为 90 d 时,水分质量分数为 25.36%,与对照组相比,增幅高达 13.62%。120、150 d 的水分质量分数分别为 25.40%和 25.44%,变化不大,趋于稳定。在冷冻面团速冻过程中,冷冻环境中的水分在浓度差的作用下迁移至面团内部,因此,冻藏初期是水分质量分数变化的主要阶段。在整个冻藏过程中,水分质量分数的变化处于酵母发酵最适水分含量范围,因此,冻藏过程中水分质量分数的变化不是导致面团品质变化的主要影响因素。

2.1.2 冻藏时间对水分分布的影响 在低场核磁方法分析中,横向弛豫时间(T_2)和弛豫强度(A_2)是分析水分在物料中分布情况的重要指标。T_2 一般指示质子与物料结合的难易程度,常常分为结合水、半结合水和自由水。其中,自由水可用其含量表征冰晶体对面团机械损伤的程度[9-12]。T_2 分别为 T_{21}(0.1~4 ms)、T_{22}(4~100 ms)和 T_{23}(100~1 000 ms)。由图 3 可知,冷冻面团中的水分分布主要以半结合水为主,冻藏时间对结合水的影响不大,但对半结合水和自由水的影响显著。随着冻藏时间的延长,半结合水出现右移现象,同时质量分数降低,0、90、120、150 d 的 A_{22} 相对含量分别为 0.79%、0.77%、

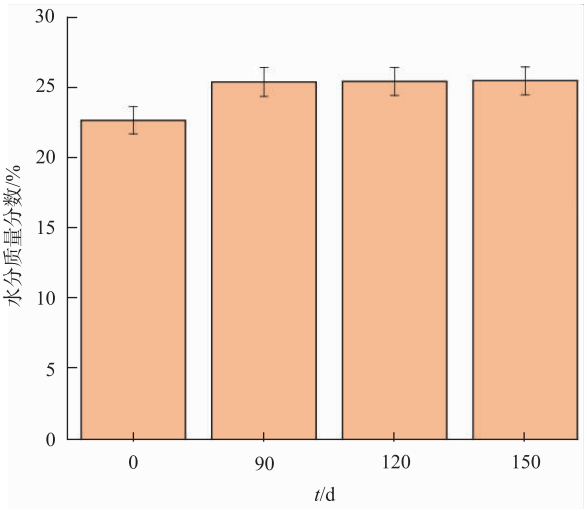


图 2　冻藏时间对水分质量分数的影响

Fig. 2　Effect of freezing time on moisture content

0.74%和 0.72%。冷冻导致自由水质量分数的增加,与空白对照相比,90、120、150 d 的自由水质量分数分别增加了 0.60%、3.27%和 4.45%。这是因为冻藏过程中,伴随着重结晶作用,面团网络结构和成分遭到破坏使得部分不可冻结水转变成可冻结水,因而增加了可冻结水质量分数。由此可知,自由水造成的冰晶体机械损伤是导致面团品质变化的重要因素。

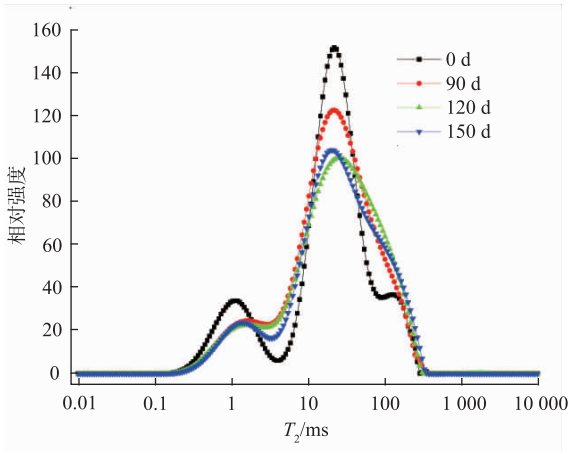


图 3　冻藏时间对水分分布的影响

Fig. 3　Effect of freezing time on water distribution

2.1.3　*冻藏时间对酵母含量的影响*　由图 4 可知,0、90、120、150 d 冷冻面团酵母含量分别为 125、98、90、74 CFU/g,可以看出,酵母含量变化显著,5 个月内减少了 40.8%,并且在 120 d 后,降速加快,这是由于面团在冻藏过程中,随着冰晶的形成与成长(结晶与重结晶过程),面团的面筋结构受到破坏,酵母受到冰晶体挤压[13-16],低活力酵母的死亡和冰晶体的机械损伤导致酵母含量减少,活性降低。随着冷冻时间的延长,特别是冻融次数的增加,冰晶体造成的机械损伤成为酵母含量减少的主要原因,因此,控制冰晶机械损伤,减缓酵母死亡是解决冷冻面团品质降低的重要方法。

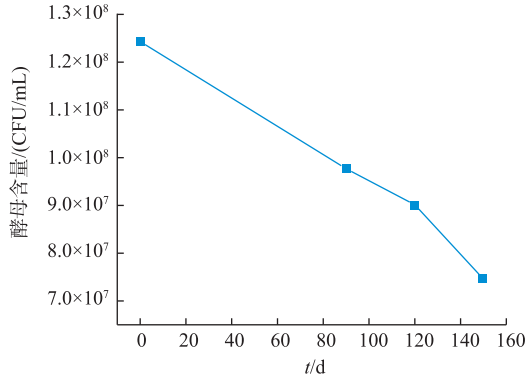


图 4　冻藏时间对酵母含量的影响

Fig. 4　Effect of freezing time on yeast quantity

2.1.4　*冻藏时间对产气能力的影响*　与酵母含量趋势一致,随着冻藏时间的延长,酵母的产气能力也呈现了下降的趋势,冻藏 150 d 的面团的发酵能力相比新鲜面团发酵力下降约 40%(见图 5)。这是因为酵母含量的减少,降低了产气效率。与酵母数量在 150 d 开始出现数量降速增大的现象不同,从 90 d 开始,酵母的产气能力就开始下降,说明,随着冷冻时间的延长,酵母不仅在数量上减少,酵母活力也有所下降,并且从 90 d 开始就出现活力降速增大的现象。

2.1.5　*冻藏时间对持气能力的影响*　由图 6 可知,随着冷冻时间的延长,面团的持气能力显著降低,在经过冷冻加工后面团的持气能力下降约 30%,并且发现,面团持气能力的下降速率大于面团产气能力的下降速率,说明除了酵母活力和数量降低造成的面团持气力降低外,还有别的因素影响影响面团品质。小麦淀粉通过与蛋白质相互作用,即大分子上的部分基团可以相互键合,从而赋予了面团独特的网络结构。冷冻处理增大了面筋蛋白和小麦淀粉的破损程度,造成网络结构不充分,持气能力下降,因此,提高面团中蛋白质含量有助于提升面团的持气性能。

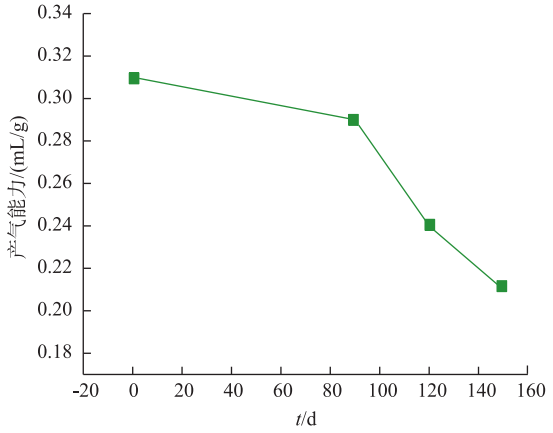


图 5 冻藏时间对产气能力的影响

Fig. 5 Effect of freezing time on gas production capacity

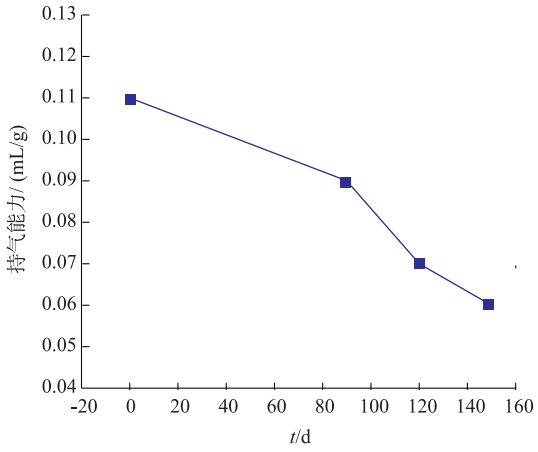


图 6 冻藏时间对持气能力的影响

Fig. 6 Effect of freezing time on gas holding capacity

2.1.6 冻藏时间对持气能力的影响 由 DSC 结果可知,在 85~100 ℃时出现峰,可能为淀粉糊化所需要的焓值,随着冻藏时间的增加,焓变逐渐变小,淀粉糊化所需要的能量变小,可说明随着冷冻面团的冻藏期的增加,对淀粉有损伤,使得淀粉更易糊化,因此焓值变小。通过焓变值发现在长期储存时,淀粉的老化现象才有所体现,但依旧影响很小。同时,未经糊化过程,淀粉的老化更取决于自身的淀粉种类影响。

2.2 不同添加剂对冷冻华夫面团品质特性影响

2.2.1 不同添加剂对水分分布的影响 与空白对照相比,添加剂的加入强化的质子与物料结合的亲密程度,使得 T_2 左移,其中对半结合水和自由水的影响较为显著[17]。HPMC、谷朊粉、结冷胶和黄原胶的 T_{22} 时间由对照组的 22.22 ms 分别左移至 20.73、16.83、19.34、20.72 ms。由于添加剂的加入增加了氢键的结合位点,强化了质子与物料相互作用的强度,使得部分自由水向半结合水和结合水迁移[6]。HPMC、谷朊粉、结冷胶和黄原胶的自由水水分质量分数相对于对照组分别减少了 1.25%、0.29%、1.00%和 1.55%。因此,单从对水分分布的影响来看,谷朊粉和黄原胶具有更大的效果,结果见图 7。

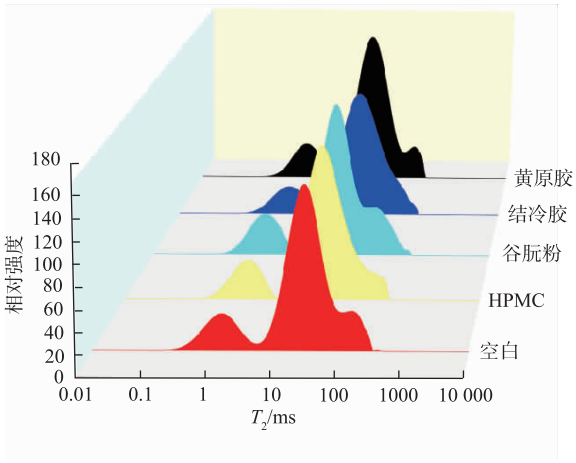


图 7 不同种类添加剂对水分分布的影响

Fig. 7 Effect of different modifiers on water distribution

2.2.2 不同添加剂对酵母含量的影响 在冻藏过程中,冰晶体的机械损伤是造成酵母含量减小的主要原因,配方中添加剂可强化网络结构,限制水分迁移,降低冰晶体的增大,有利酵母的保护和活性的提高。由图 8 可知,结冷胶作用效果不显著,谷朊粉、黄原胶、HPMC 对酵母的保护作用效果明显,随着添加量的增加酵母含量呈现增加的趋势[18]。以质量分数计,当谷朊粉 4%、黄原胶 0.6%、HPMC1.5%,酵母含量达到最大值,分别为 1.87×10^8、1.68×10^8、1.72×10^8 CFU/mL,与对照组相比,酵母数量分别增加了 130.94%、107.48%和 112.63%。但是,过高浓度容易导致酵母含量的减小,这可能是过量的添加剂超过了醇溶蛋白和麦谷蛋白形成面筋的最适比例,导致其对面筋起到弱化作用,面筋空间结构变得松散,各指标呈下降趋势[19]。黄桂东[7]也发现添加剂过量时容易导致面团品质变差的现象。另外,添加剂含量过高时,面团的吸水量和渗透压增加,也会导致酵母细胞生长缓慢甚至死亡[20-21]。

2.2.3 不同添加剂对酵母产气能力的影响 影响面团产气能力的因素较多,一般包含酵母含量和活性、面团蛋白网络结构、可利用糖含量等[20]。由图 9 可知,添加剂的加入对于酵母的产气能力具有一定

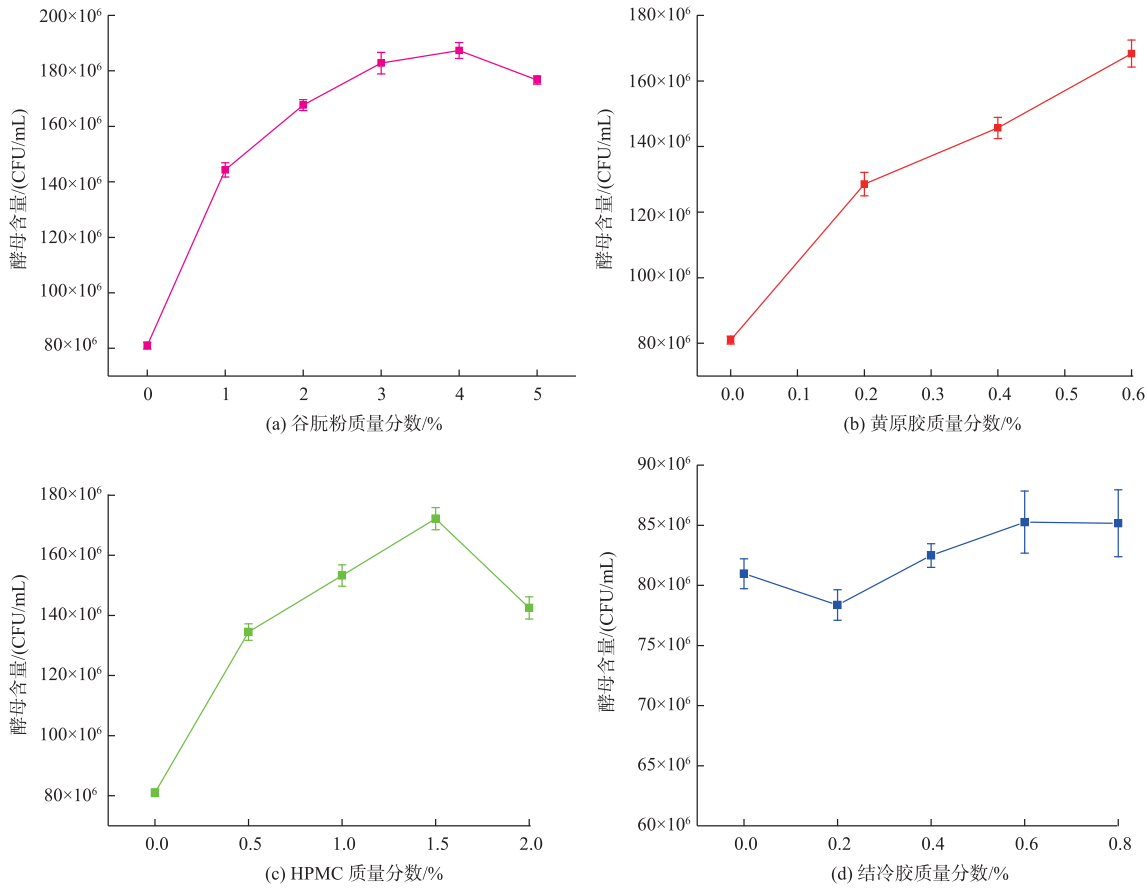
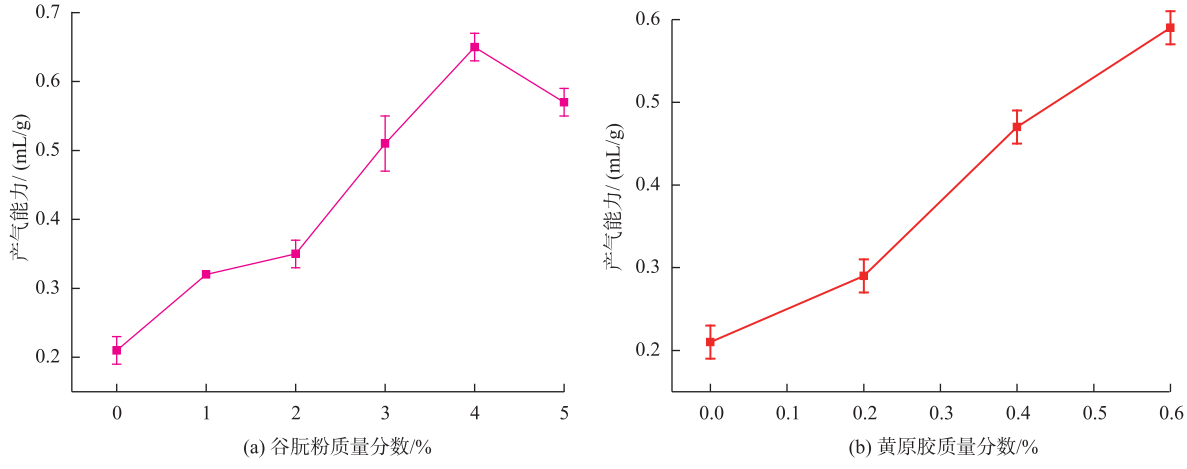


图 8　不同种类添加剂对酵母含量的影响

Fig. 8　Effect of different modifiers on yeast quantity

提升作用[22],随着添加剂含量的增加呈现先增大后降低的趋势,其中谷朊粉质量分数为 4%时,酵母产气能力最大为 0.65 mL/g,HPMC 质量分数为 1%时,酵母产气能力最大为 0.57 mL/g,结冷胶质量分数为 0.6%时,酵母产气能力最大为 0.35 mL/g。在添加黄原胶时,冷冻华夫面团的产气能力随添加量的增加而增加,当黄原胶质量分数为 0.6%时,酵母产气能力最大为 0.59 mL/g。谷朊粉、黄原胶、HPMC 对酵母产气能力的影响较大,同时按影响程度,谷朊粉>黄原胶>HPMC>结冷胶。

2.2.4　不同添加剂对面团持气能力的影响　由图 10 和图 11 可知,4 种添加剂的加入均可提高冷冻面团的持气能力。其中,谷朊粉对冷冻面团的持气能力影响最为显著,与对照组相比,持气能力由



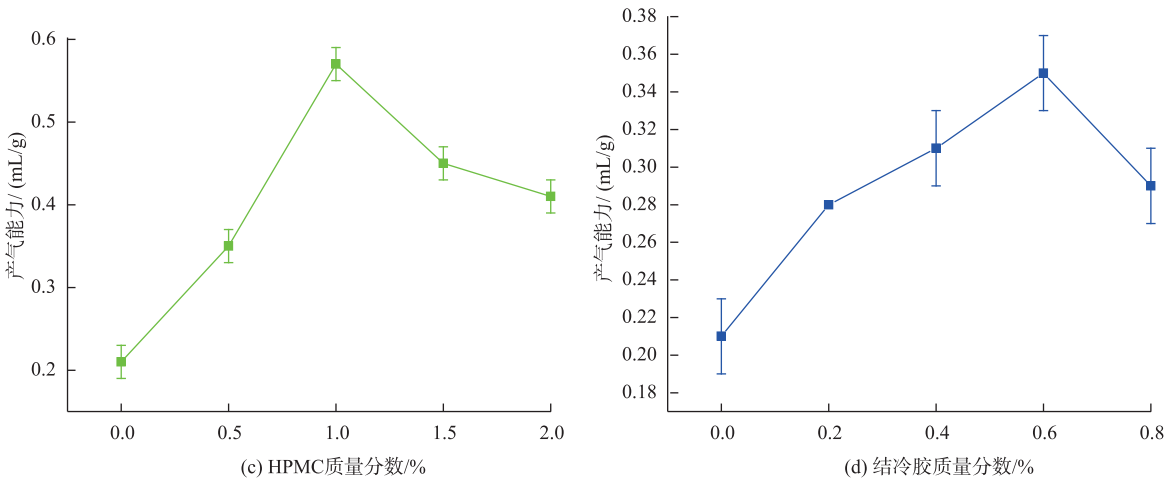


图 9　不同种类添加剂对产气能力的影响

Fig. 9　Effect of different modifiers on gas production capacity

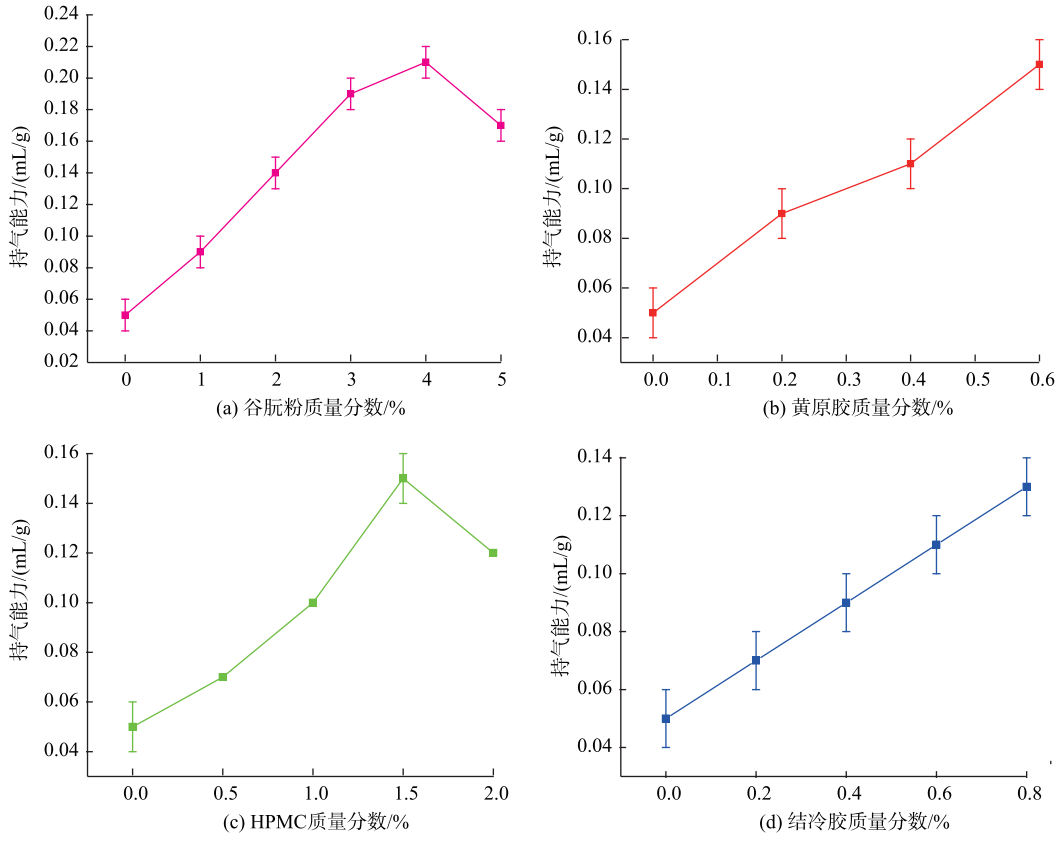


图 10　不同种类添加剂对持气能力的影响

Fig. 10　Effect of different modifiers on gas holding capacity

0.05 mL/g 提升至 0.21 mL/g。黄原胶、HPMC 的加入使冷冻面团的持气能力分别由 0.05 mL/g 提升至 0.15 mL/g 和 0.15 mL/g。鲍宇茹等人[23],唐语轩等人[24]的研究也有相似规律,黄原胶、HPMC 对冷冻面团的持气能力提升有促进作用[22]。结冷胶对冷冻面团持气能力的影响较其他 3 种添加剂相比提升效果不明显,仅由 0.05 mL/g 提升至0.13 mL/g。

3 结 语

通过对不同冻藏时间(0、90、120、150 d)的冷冻华夫面团水分质量分数、水分分布、酵母含量、酵母产气能力、面团持气能力等指标性能的研究,发现水分迁移和重结晶形成的机械损伤导致酵母活性降低、面团持气能力下降,产品品质变差,降低冰晶体机械损伤和提升面团网络结构是改善冷冻面团品质的重要方法。研究了 4 种不同类型的添加剂(谷朊粉、黄原胶、HPMC、结冷胶)对冷冻面团冻藏期间品质的作用效果,发现谷朊粉和黄原胶的效果较佳,与对照相比,谷朊粉提升酵母含量131%,提升产气能力 210%,黄原胶提升酵母含量 107%,提升产气能力 181%。

参考文献:

[1] 杨丽媛,孙玥,田野,等. 冷冻面团技术的研究进展[J]. 粮食加工,2018,43(6):26-9.
[2] 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.
[3] WANG X,PEI D D,TENG Y F,et al. Effects of enzymes to improve sensory quality of frozen dough bread and analysis on its mechanism[J]. **J Food Sci Tech Mys**,2018,55(1):389-398.
[4] 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—食品中水分的测定[M]. 北京:中国标准出版社,2016.
[5] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品微生物学检验 霉菌酵母菌[M]. 北京:中国标准出版社,2016.
[6] 龚维,吴磊燕,钟雅云,等. 刺槐豆胶对冷冻面团水分分布及面包品质的影响[J]. 现代食品科技,2018,34(12):67-73.
[7] 黄桂东,黄伟志,钟先锋,等. 复合改良剂对冷冻面团馒头品质影响研究[J]. 食品研究与开发,2018,341(16):87-95.
[8] 王沛. 冷冻面团中小麦面筋蛋白品质劣变机理及改良研究[D]. 无锡:江南大学,2016.
[9] WANG S Q,LIN Z Y,XIA K X,et al. Dynamics of water mobility and distribution in *Sur clam* (Mactra chinensis) during dehydration and rehydration processes assessed by low-field NMR and MRI[J]. **J Food Meas Charact**,2017,11(3):1342-1354.
[10] SHAO J H,DENG Y M,JIA N,et al. Low-field NMR determination of water distribution in meat batters with NaCl and polyphosphate addition[J]. **Food Chem**,2016,200:308-314.
[11] CHENG S S,ZHANG T,YAO L,et al. Use of low-field-NMR and MRI to characterize water mobility and distribution in pacific oyster(Crassostrea gigas) during drying process[J]. **Drying Technology**,2018,36(5):630-636.
[12] ZANG X,LIN Z Y,ZHANG T,et al. Non-destructive measurement of water and fat contents,water dynamics during drying and adulteration detection of intact small yellow croaker by low field NMR[J]. **J Food Meas Charact**,2017,11(4):1550-1558.
[13] 励振. 用冷冻面团制作新鲜面包工艺参数和品质研究[D]. 无锡:江南大学,2004.
[14] 汪星星. 冷冻面制品的研究现状及改良进展[J]. 粮食与油脂,2015,28(7):5-8.
[15] KECHINSKI C P, CASTRO M G, FLECK R J, et al. Leavening cells viability in frozen French bread dough [J]. **Ciencia Rural**, 2010, 40(5): 1193-1198.
[16] 范会平,李瑞,郑学玲,等. 酵母对冷冻面团发酵特性及馒头品质的影响[J]. 农业工程学报,2016,32(20):298-305.
[17] 刘玫. 重组抗冻蛋白对冷冻面团品质劣变的干预及其机制研究[D]. 无锡:江南大学,2018.
[18] 刘飞龙,缪冶炼,陈介余,等. 谷朊粉和支链淀粉对冷冻面团酵母活力的改善作用[J]. 生物加工过程,2018,16(6):99-106.
[19] 任顺成,李绍虹,范永超,等. 增稠剂对冷冻面团品质影响的研究[J]. 粮食加工,2010,35(3):46-50.
[20] MEZIANI S,KACI M,JACQUOT M,et al. Effect of freezing treatments and yeast amount on sensory and physical properties of sweet bakery products[J]. **J Food Eng**,2012,111(2):336-342.
[21] 叶鹏,王学东,宋劲松,等. 冷冻面团中酵母抗冻保护剂的优选[J]. 中国酿造,2015,34(8):72-76.
[22] 宣以锋. 羟丙基甲基纤维素(HPMC)对冷冻面团加工性质的影响及相关机制研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2016.
[23] 鲍宇茹,王显伦. 食品胶对冷冻面团馒头品质的影响研究[J]. 粮食与饲料工业,2011,12(1):12-15.
[24] 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.