

复合改良剂对后发酵馒头冷冻面团冻藏品质的影响

周一鸣¹, 张亚园¹, 吕欣东¹, 刘倩¹, 李云龙², 蒋晴怡¹, 周小理^{1,3*}

(1. 上海应用技术大学 香料香精技术与工程学院, 上海 201418; 2. 山西省农业科学院农产品加工研究所, 太原 030031;
3. 美丽中国与生态文明研究院, 上海高校智库, 上海 201418)

摘要: 冷冻面团加工技术作为一种面食生产新工艺, 是目前较先进的面制品保鲜技术。冷冻处理会对酵母活力、面团品质、面团筋结构等产生不良影响。为了提高冷冻面团品质, 明确不同食品改良剂对后发酵冷冻面团馒头品质的影响, 该研究优化了复配增稠剂(卡拉胶、瓜尔豆胶、海藻酸钠)、复配乳化剂(双乙酰酒石酸单双甘油酯、羧甲基纤维素)、复配酶制剂(谷氨酰胺转氨酶、葡萄糖氧化酶)和海藻糖对后发酵冷冻面团馒头品质的作用, 通过单因素和响应面试验设计, 考察了不同复合改良剂对冷冻面团馒头比容、质构和感官品质的影响。研究表明: 海藻糖、酶制剂对冷冻面团馒头比容的影响极其显著($p < 0.01$)。在添加量为0.4%乳化剂、0.8%增稠剂、45 mg/kg 酶制剂、2%海藻糖的复配工艺下, 冷冻面团馒头的比容达到最佳水3.15 mL/g, 其硬度和弹性也达到较优值, 分别为926.832 g、0.912 8。同时对未添加和添加复合改良剂冻藏0~2.5个月的冷冻面团进行扫描电镜观察, 发现未添加复配改良剂的冷冻面团中大多数小淀粉颗粒裸露在外, 颗粒分明, 内部组织结构不均匀, 而添加复合改良剂的冷冻面团淀粉颗粒镶嵌在面筋网络之间, 蛋白网络结构清晰完整, 冷冻面团内部组织结构均匀紧密, 面团的抗冻性较强。

关键词: 冷冻; 贮藏; 质量控制; 复合品质改良剂; 冷冻面团; 馒头

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.16.033

中图分类号: TS213.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2020)-16-0274-09

周一鸣, 张亚园, 吕欣东, 等. 复合改良剂对后发酵馒头冷冻面团冻藏品质的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(16): 274-282. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.16.033 http://www.tcsae.org

Zhou Yiming, Zhang Yayuan, Lyu Xindong, et al. Effect of compound quality improver on the frozen quality of frozen dough for steamed bread[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(16): 274-282. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.16.033 http://www.tcsae.org

0 引言

中国是一个以发酵面食为主食的国家, 其中, 馒头是中国传统的发酵面食制品, 在膳食结构中占有主要的地位。近年来, 随着人们生活水平的提高、生活节奏的加快, 馒头类传统发酵面食已成为消费者欢迎的速食产品, 逐渐由家庭制作走向工业化生产^[1]。但馒头货架期短且极易老化, 这在很大程度上影响了馒头的工业化生产。而冷冻面团技术可以为提供一条经济有效的技术途径。

冷冻面团技术是应用食品的冷冻原理来处理面团成品或半成品, 它的出现使部分面食制品的生产分为两个独立环节, 即面团制作和熟制^[2-3]。冷冻面团技术改革了馒头类传统发酵面食生产模式, 工厂将冷冻馒头半成品运往各连锁店, 门店根据需要合理安排蒸制的时间和数量, 这样既可以减少人力资源的浪费, 又能更好地控制库存^[4-5]。但

冷冻面团技术在亚洲地区起步较晚, 且研究程度较浅, 目前市面上出现的冷冻面团中式发酵面制品常用的生产工艺是冷冻熟坯面团解冻后复蒸, 这样会使面制品特有的口感、风味和质感下降, 而冷冻生胚面团可以对此进行改善, 消费者或连锁店铺根据需要合理的安排蒸制的数量和时间, 面团不经历复蒸, 能够最大限度的保持面制品的新鲜和口感, 同时面团速冻前不发酵更利于面团的储存和运输, 也可以减少人力和成本^[6]。

然而, 相关研究报道指出^[7-8], 面团在冻藏过程中面团中的水形成冰晶, 因温度波动会发生再结晶, 破坏面筋网络结构, 使面团冷冻后出现裂纹、持气能力降低, 影响冷冻面团及其熟制品的品质。同时, 冰晶还会导致酵母细胞损伤、破裂, 使其呼吸系统受损, 导致酵母活力降低、产气不足, 从而使面团比容下降、质地和感官等品质变差^[9-10]。杜浩冉等^[6]的研究中, 利用复合食品添加剂抑制冰晶的重结晶, 减弱冰晶对混合发酵剂和面筋网络结构的破坏, 从而提高了面团的加工品质和成品的质量。但复合食品添加剂对于面团长期存储的品质变化并未研究说明。

面团品质改良剂的使用可以增强面筋网络结构、保护酵母活力、改善面团的品质、延长冷冻面团的贮藏期^[10-13]。研究不同改良剂对冷冻面团及其熟制品品质的影响, 筛选出对产品品质有较好改善作用的复合品质改良剂, 在实际生产中具有一定的现实意义。本研究选取卡拉胶、瓜尔豆胶、海藻酸钠、双乙酰酒石酸单双甘油酯、羧甲基纤维素、

收稿日期: 2020-04-19 修订日期: 2020-06-12

基金项目: 国家现代农业(燕麦荞麦)产业体系建设专项(CARS-07-E-2); 国家自然科学基金面上基金项目(31871805); 上海市自然科学基金项目(20ZR1455800)上海市“化学工程与技术(香料香精技术与工程)”高原学科资助

作者简介: 周一鸣, 博士, 副教授, 研究方向: 功能食品开发, 食品加工与工艺。Email: zhouyimsit@163.com

*通信作者: 周小理, 教授, 研究方向: 食品新资源深度开发与利用。

Email: zhoulx@sit.edu.cn

谷氨酰胺转氨酶、葡萄糖氧化酶和海藻糖进行单因素实验，通过响应面优化试验，研究复配改良剂对冷冻面团馒头比容、质构特性和感官品质的影响，以期改进冷冻过程中冰晶对面团结构的破坏和酵母的损伤，为改善冷冻面团品质提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

高筋粉 江苏南顺面粉有限公司；中筋粉 中粮东海粮油工业（张家港）有限公司；S 品牌酵母市售；细砂糖 太古糖业（中国）有限公司；卡拉胶 河南恩苗食品有限公司；瓜尔豆胶 深圳振芯嘉贸易有限公司；海藻酸钠 安徽中旭生物科技有限公司；双乙酰酒石酸单双甘油酯 河南兴泰实业有限公司；羧甲基纤维素钠 河南兴泰实业有限公司；谷氨酰胺转氨酶 河南兴泰实业有限公司；葡萄糖氧化酶 河南兴泰实业有限公司；海藻糖 安徽中旭生物科技有限公司。均为食品级。

1.2 仪器与设备

TA-XT plus 物性测定仪 英国 Stable Micro System 有限公司；S-3400N II 型扫描电子显微镜（Scanning Electron Microscope，SEM）日本 HITACHI 公司；K-544AF 速冻机 上海科麦食品机械有限公司；JM-7LG 和面机 新麦机械（无锡）有限公司；LC-LG601 冰箱 海信电器有限公司；SPC-40FP 醒发箱 上海龙跃仪器设备公司；AL204 电子分析天平 梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 冷冻面团馒头配方设计

面团的基本配方（以面粉 100% 计算）：面粉（中筋粉：高筋粉 2：1）100%，水 52%，即发干酵母 1.2%，细砂糖 5%，其中改良剂添加量如表 1

表 1 冷冻面团改良剂添加量
Table 1 Additive amount of frozen dough improver

改良剂 Types of improver	添加量 Amount of improver					
复合增稠剂（卡拉胶：瓜尔豆胶：海藻酸钠 2：3：1） Compound thickener (Carrageenan: Guar Gum: Sodium Alginate 2:3:1) /%	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
复合乳化剂（双乙酰酒石酸甘油酯：羧甲基纤维素钠 1：4） Compound emulsifier (glyceryl diacetate: sodium carboxymethyl cellulose 1:4) /%	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
复合酶制剂（谷氨酰胺转氨酶：葡萄糖氧化酶 1：1） Compound enzyme preparation (glutamine transaminase: glucose oxidase 1:1) / (mg·kg ⁻¹)	0	30	60	90	120	150
海藻糖 Trehalose /%	0	1	2	3	4	-

1.3.2 冷冻面团及后发酵馒头的制作流程

辅料混匀→和面→切割→整型→速冻（-30℃，30 min）→袋封→冻藏（-18℃，7 d）→冷冻面团成品→解冻（25℃，相对湿度 70%，30 min）→醒发（35℃，相对湿度 70%，42 min）→蒸制（20 min，焖 3 min）→馒头成品

1.3.3 冷冻面团复合改良剂响应面优化试验

通过分析影响冷冻面团馒头品质的单因素试验，得到乳化剂（A）、增稠剂（B）、酶制剂（C）和海藻糖（D）的较优值，以比容（Y）为响应值对每个因素做响应面分析。

1.3.4 馒头品质测定

1) 比容测定

参照刘燕琪^[7]的方法采用小米置换法测定馒头比容。将蒸制后的馒头于室温下冷却 30 min 后测量其质量 M，用小米替换法测量馒头体积 V，比容 λ 公式如下：

$$\lambda = V/M \tag{1}$$

2) 质构测定

参照杨二林^[13]的方法作如下修改，利用质构仪测定馒头芯的硬度、弹性等指标。馒头常温下冷却 1 h，将其切成厚度为 1.5 cm 的均匀薄片，取中部两片，采用 P36R 探头，进行 TPA 测试。参数设定如下：测试前速度：3.00 mm/s，测试速度：1.00 mm/s，测试后速度：2.00 mm/s，下压程度：50 %。

3) 感官评价

参照 GBT17320—1998 设计馒头感官评分标准（如表 2）。评价小组由 10 人组成，对馒头每项感官性质进行分级评分，结果取平均值。

表 2 馒头感官评分表
Table 2 Steamed bun sensory rating scale

项目 Evaluation items	满分 Full marks	评分标准 Scoring criteria
表面色泽 Surface color	10	白，乳白（9~10 分）；浅黄，黄（6~8 分）；灰暗（2~5 分）
比容 Specific volume	20	比容≥2.3 为满分，每少 0.1 mL·g ⁻¹ 扣 1 分；比容≤1.7（4~8 分）
外观形状 Appearance shape	15	表面光滑无裂纹，饱满（13~15 分）；表面有少量裂纹，皱缩（8~12 分）；表面有气泡、大量裂纹、塌陷（1~7 分）
组织结构 Organizational structure	15	气孔细小均匀（13~15 分）；气孔过于细密但均匀（9~12 分）；有大气孔，结构粗糙（1~8 分）
弹性 Resilience	20	手指按压回弹性好，咬劲强（16~20 分）；手指按压回弹性弱，咬劲弱（10~15 分）；手指按压困难，感觉较硬，切时掉渣（1~9 分）
黏性 Viscosity	10	爽口不粘牙（8~10 分）；稍黏或黏（3~7 分）
气味 Odour	10	具有麦香，无异味（9~10 分）；味道平淡（6~8 分）；有异味（1~5 分）

1.3.5 后发酵馒头冷冻面团扫描电子显微镜观察微观结构

参照忻晨^[14]的方法，将冷冻 7 d 的改良面团切成 1 cm 长的正方形，放入冷冻干燥机中干燥，然后固定，喷金，置于扫描电子显微镜（SEM）下观察，与空白组进行对照。

1.3.6 数据处理

采用 SPSS20 和 Excel 软件进行数据处理分析，并采用 Origin 2018 软件制图。

2 结果与讨论

2.1 复合乳化剂对冷冻面团馒头品质的影响

乳化剂对冷冻面团馒头品质的影响见图 1。由图 1 可

知,随着乳化剂添加量的增加,馒头感官评分、比容和弹性先升高后降低,馒头的弹性先下降后上升。当添加量为 0.4% 时,冷冻面团馒头挺立度、手指按压复原性较好,冷冻面团馒头的比容、感官评分和弹性达到较大值,分别为 3.21 mL/g、91 分、0.939,而馒头硬度也达到较小值,为 1 338.523 g,与空白组相比,硬度减小了 25.63%。这是因为适宜的乳化剂可延长淀粉糊化时间,提高面团的耐柔性,使面团具有更好的弹韧性和可膨胀度,从而提升冷冻面团馒头的比容和弹性,改善冷冻面团馒头的品质^[15]。

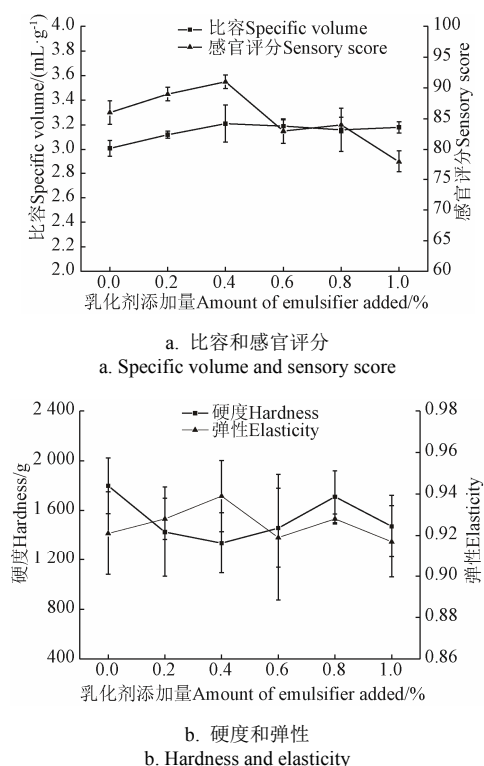


图 1 乳化剂对冷冻面团馒头品质的影响

Fig.1 Effect of emulsifier on the quality of frozen dough

综合以上指标分析,添加 0.4% 乳化剂,能获得较好品质的冷冻面团馒头,因此选取 0.2%~0.6% 水平进行响应面试验方案。

2.2 复合增稠剂对冷冻面团馒头品质的影响

复合增稠剂对冷冻面团馒头品质的影响见图 2。由图 2 可知,随着增稠剂添加量的增加,馒头评分总体呈现先升高后降低的趋势。当添加量为 0.8% 时,冷冻面团馒头比容、弹性及感官评分均达到较大值,分别为 3.17 mL/g、0.898、91 分,同时硬度也达到较小值,为 1 557.452 g,与空白组相比,硬度减小了 13.47%。这主要是由于面团在速冻过程中,增稠剂分子中的亲水基团与水、淀粉、蛋白质等发生作用形成等复合体,从而使冷冻面团中的面筋网络结构处于最佳水合状态,改变了面团的流变特性^[16],同时,适宜的增稠剂可以增强蛋白质与淀粉的粘合,减少面团中自由水的迁移,控制面团中冰晶的生长,从而减小了冻藏对酵母和面筋结构的损害,加强了面筋的网络结构,提高了面团的持气能力,改善了冷冻面团品质^[17-18]。但随着增稠剂增多,过量的

增稠剂会使面团面筋弱化,网络结构松散,从而使冷冻面团馒头各指标值下降^[19-20]。

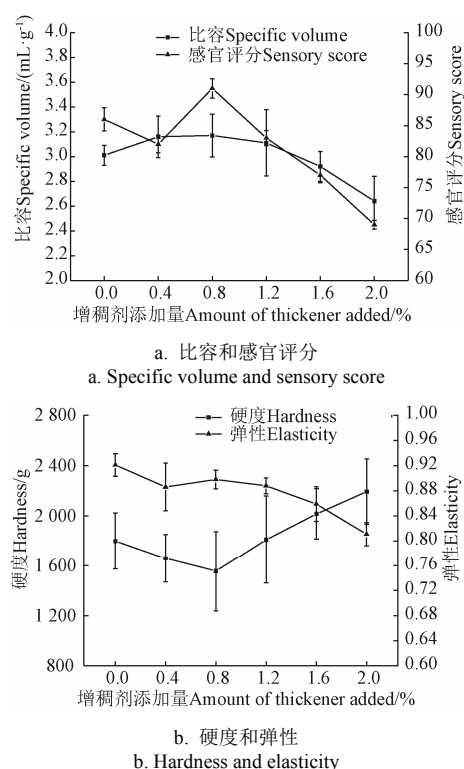


图 2 增稠剂对冷冻面团馒头品质的影响

Fig.2 Effect of thickener on the quality of frozen dough

综合以上指标分析,添加 0.8% 的增稠剂,能获得较好品质的冷冻面团馒头,因此选取 0.4%~1.2% 水平进行响应面试验方案。

2.3 酶制剂对冷冻面团馒头品质的影响

酶制剂对冷冻面团馒头品质的影响见图 3。由图 3 可知,当酶制剂添加量为 60 mg/kg 时,由于酶制剂与面筋蛋白结合,从而增强了冷冻面团的网络结构,提升了面团的持气能力,改善了面团内部组织^[21-23],从而使冷冻面团馒头的比容较大,馒头体积大、挺立度好,且感官评分较高,比容和感官评分分别为 3.15 mL/g、92 分。随着酶制剂添加量的增加,冷冻面团馒头的硬度先下降后上升,当添加量为 60 mg/kg 时,冷冻面团馒头的硬度达到较低值,为 1 072.865 g,与空白组相比,硬度减小了 40.39%,而弹性无明显变化。

综合以上指标分析,添加 60 mg/kg 酶制剂,能获得较好品质的冷冻面团馒头,因此选取 30 mg/kg~90 mg/kg 水平进行响应面试验方案。

2.4 海藻糖对冷冻面团馒头品质的影响

海藻糖对冷冻面团馒头品质的影响见图 4。海藻糖是一种新型冷冻保护剂,可以提升冷冻条件下酵母的耐受力^[23],由图 4 可知,随着海藻糖添加量的增加,馒头感官评分总体呈现先升高后降低的趋势。在 0~2% 的范围内,由于海藻糖具有较好的水溶解性,可以改善面团的流动性和灰黏性,使面团面筋的弹性和延伸性增强^[24],因此,随着海藻糖添加量的增加,冷冻面团馒头的硬度逐渐减小;当添加量为 2% 时,冷冻面团馒头比容、弹性

及感官评分均达到较大值，分别为 3.11 mL/g、0.901、89 分，硬度也达到较小值，为 1122.302 g，与空白组相比，硬度减小了 37.64 %。

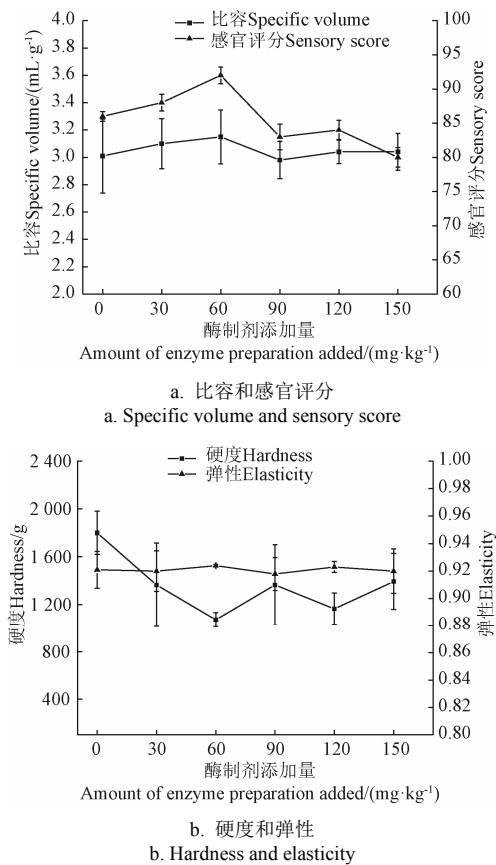


图 3 酶制剂对冷冻面团馒头品质的影响

Fig.3 Effect of enzyme preparation on the quality of frozen dough

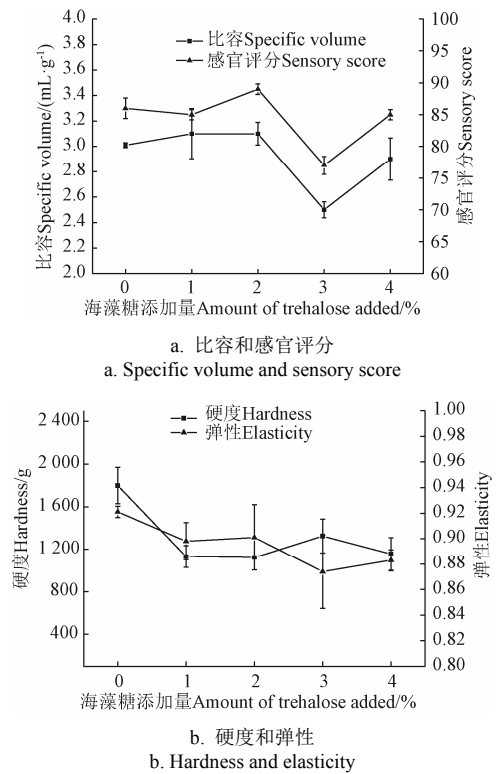


图 4 海藻糖对冷冻面团馒头品质的影响

Fig.4 Effect of trehalose on the quality of frozen dough

综合以上指标分析，添加 2%海藻糖，能获得较好品质的冷冻面团馒头，因此选取 1%~3%水平进行响应面试验方案。

2.5 响应面试验设计

通过分析影响冷冻面团馒头品质的单因素试验，得到了乳化剂 (A)、增稠剂 (B)、酶制剂 (C) 和海藻糖 (D) 的较优值，以比容 (Y) 为响应值对每个因素做响应面分析。响应面分析因素及水平见表 3，试验设计方案及结果见表 4。

表 3 冷冻馒头复配改良剂响应面试验设计因素及水平

因素 Factors	水平 Levels		
	-1	0	1
复合乳化剂 Composite emulsifier A /%	0.2	0.4	0.6
复合增稠剂 Compound thickener B /%	0.4	0.8	1.2
复合酶制剂 Complex enzyme preparation C /(mg·kg ⁻¹)	30	60	90
海藻糖 Trehalose D /%	1	2	3

表 4 冷冻馒头复配改良剂响应面试验设计方案及结果

序号 Code	A /%	B /%	C /(mg·kg ⁻¹)	D /%	比容 Specific volume/ (mL·g ⁻¹)
1	0.40	0.40	60.00	3.00	3.2
2	0.40	0.80	60.00	2.00	3
3	0.20	0.80	60.00	3.00	3
4	0.40	0.80	60.00	2.00	2.9
5	0.60	0.80	30.00	2.00	3
6	0.40	1.20	90.00	2.00	3
7	0.20	0.40	60.00	2.00	3.2
8	0.40	0.40	60.00	1.00	2.9
9	0.40	0.80	90.00	1.00	3.1
10	0.40	0.80	60.00	2.00	2.9
11	0.40	1.20	60.00	3.00	3
12	0.40	0.40	30.00	2.00	3
13	0.40	0.40	90.00	2.00	3.2
14	0.40	1.20	30.00	2.00	3
15	0.60	0.40	60.00	2.00	3
16	0.60	0.80	60.00	1.00	3
17	0.60	0.80	90.00	2.00	3
18	0.20	0.80	30.00	2.00	3.1
19	0.20	0.80	90.00	2.00	2.9
20	0.60	0.80	60.00	3.00	2.9
21	0.40	0.80	30.00	1.00	3.1
22	0.20	1.20	60.00	2.00	2.9
23	0.40	0.80	30.00	3.00	2.9
24	0.40	0.80	60.00	2.00	3.2
25	0.40	0.80	60.00	2.00	3.1
26	0.40	0.80	90.00	3.00	2.9
27	0.60	1.20	60.00	2.00	2.9
28	0.40	1.20	60.00	1.00	3
29	0.20	0.80	60.00	1.00	2.9

2.5.1 响应面回归模型的建立与分析

利用 Design-Expert 软件对试验数据进行回归分析, 经过拟合得到的比容 (Y) 回归方程为:

$$Y=3.16+0.017A-8.333\times10^{-3}B-0.042C-0.050D-0.025AB$$
$$+0.050AC-0.025AD+0.050BC+0.025CD-0.12A^2$$
$$-0.10B^2-0.055C^2-0.12D^2$$

(2)

对回归模型作显著检验及方差分析, 结果见表 5。

表 5 回归模型方差分析
Table 5 Regression model analysis of variance

方差来源 Source of variance	回归系数 Sum of squares	自由度 DF	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value	显著性 Significance
模型	0.27	14	0.019	10.82	<0.000 1	**
A	3.333×10^{-3}	1	3.333×10^{-3}	1.90	0.189 2	
B	8.333×10^{-4}	1	8.333×10^{-4}	0.48	0.501 4	
C	0.021	1	0.021	11.90	0.003 9	**
D	0.030	1	0.030	17.14	0.001 0	**
AB	2.500×10^{-3}	1	2.500×10^{-3}	1.43	0.251 9	
AC	0.010	1	0.010	5.71	0.031 4	*
AD	2.500×10^{-3}	1	2.500×10^{-3}	1.43	0.251 9	
BC	0.010	1	0.010	5.71	0.031 4	*
BD	0.000	1	0.000	0.000	1.000 0	
CD	2.500×10^{-3}	1	2.500×10^{-3}	1.43	0.251 9	
A ²	0.090	1	0.090	51.17	<0.000 1	**
B ²	0.072	1	0.072	40.86	<0.000 1	**
C ²	0.020	1	0.020	11.21	0.004 8	**
D ²	0.090	1	0.090	51.17	<0.000 1	**
误差 Residual	0.025	14	1.750×10^{-3}	3		
失拟项 Lack of fit	0.012	10	1.250×10^{-3}	0.42	0.880 8	不显著
纯误差 Pure error	0.012	4	3.000×10^{-3}	3.1		
总和 Cor total	0.29	28		2.9		

注: *表示差异显著 ($P<0.05$); **表示差异极显著 ($P<0.01$)。
Note: * means significant difference($P<0.05$); ** means highly significant difference($P<0.01$).

由表 5 可以看出, 回归方差分析显著性表明该模型 $P<0.000\ 1$, 响应值的拟合度达到了极其显著的水平, 失拟项 $P=0.888>0.05$, 不显著, 说明该模型方程极其显著, 且对优化冷冻面团馒头品质改良有实际意义。该回归模型的相关系数 $R^2=0.915\ 4$, 校正决定系数 $\text{Adj}R^2=0.830\ 8$, 表明单因素值与响应值关系显著, 该模型拟合程度较好, 试验误差小, 适合用于预测和分析冷冻面团馒头的品质改良。

同时由表 5 可知, 酶制剂 (C) 和海藻糖 (D) 对冷冻面团馒头比容的影响极其显著 ($P<0.01$), 乳化剂 (A) 和增稠剂 (B) 对冷冻面团馒头比容的影响不显著 ($P>0.05$), 所以对冷冻面团馒头比容因素的影响顺序为海藻糖 (D)>酶制剂 (C)>乳化剂 (A)>增稠剂 (B)。同时可知因素 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 对冷冻面团馒头比容的曲面效应极显著 ($P<0.01$)。

2.5.2 响应面图分析

三维响应面图见图 5。由响应面试验的原理可知, 三

维响应面图的弯曲度越大, 表明两因素间影响越显著, 从而反映各因素对响应值的影响程度。

由图 5a 可知, 当固定乳化剂或增稠剂时, 冷冻面团馒头的比容随增稠剂或乳化剂添加量的增加, 都会呈现先增加后减少的趋势, 结合等高线图和表 5 可知, 乳化剂和增稠剂两者的交互作用对冷冻面团馒头比容的影响不显著 ($P>0.05$)。由图 5b 可知, 当固定乳化剂时, 随着酶制剂添加量的增加, 冷冻面团馒头的比容呈一定的增长趋势; 当固定酶制剂时, 冷冻面团馒头的比容随着乳化剂添加量的增加, 呈现先增加后减少的趋势, 结合表 5 可知, 乳化剂和酶制剂两者的交互作用对冷冻面团馒头的比容有显著影响 ($P<0.05$)。

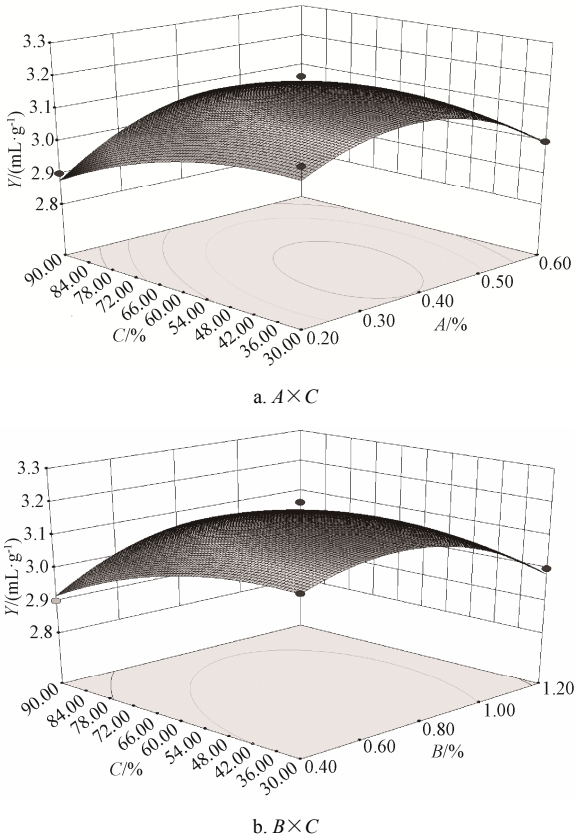


图 5 冷冻面团馒头响应面图

Fig.5 Three-dimensional resPonse surface of frozen dough taro

综合以上分析可知, 海藻糖和酶制剂对冷冻面团馒头的比容影响极其显著 ($P<0.01$), 这可能是因为面团冷冻过程中, 海藻糖可以代替水, 缓解因冷冻失水导致的蛋白质变性; 酶制剂因其交键作用可以与蛋白质键合, 增强面筋的网络结构, 保持冷冻面团的稳定性, 使冷冻面团馒头的品质得到改善。

2.5.3 验证试验

利用 Design ExPert 8.06 软件综合乳化剂、增稠剂、酶制剂及海藻糖对冷冻面团馒头的比容的影响, 分析得出各因素最优添加量的预测值, 即 0.4%乳化剂、0.74%增稠剂、44.69 mg/kg 酶制剂、1.73%海藻糖, 冷冻面团馒头比容的理论值为 3.18 mL/g。

考虑到实际操作的可性, 选择最佳参数为 0.4%乳化剂、0.8%增稠剂、45 mg/kg 酶制剂、2%海藻糖。根据

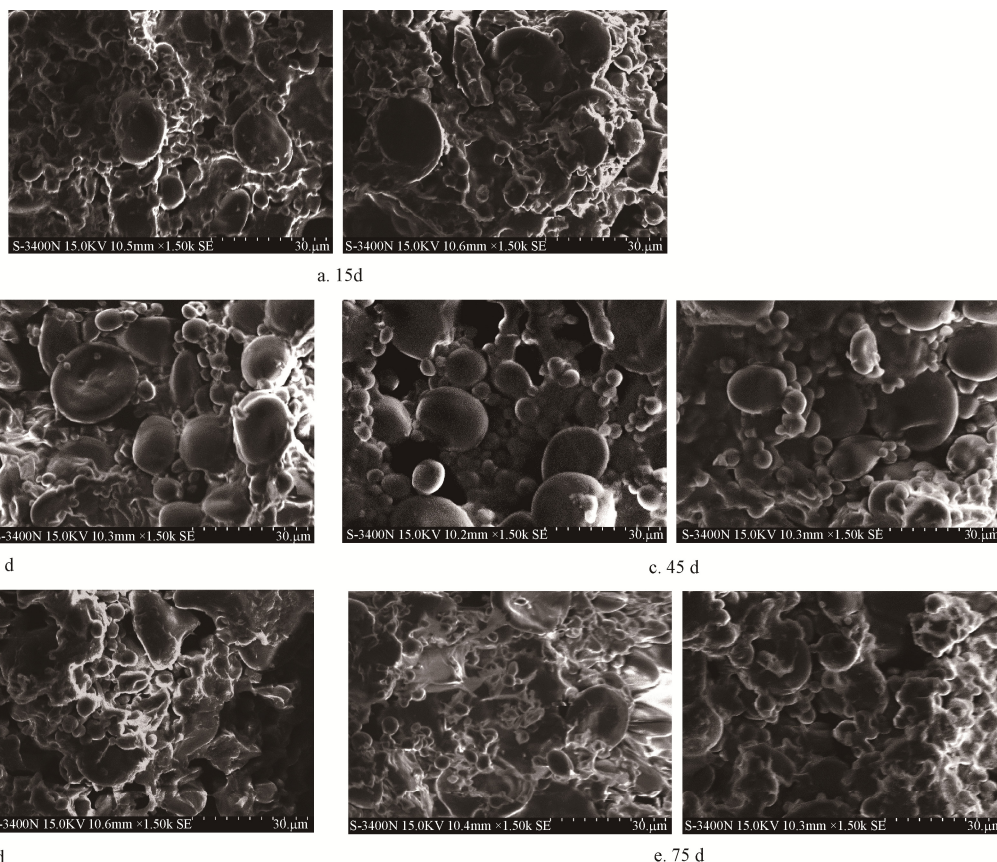
以上条件进行验证, 试验进行 3 次重复测定, 结果表明, 冷冻面团馒头的比容为 3.15 mL/g, 与预测值较为接近, 同时冷冻面团馒头的硬度也达到较优值, 为 926.832 g, 与空白组相比减少了 52.70%。

2.6 复配改良剂对后发酵馒头冷冻面团微观结构的影响

通过扫描电子显微镜研究馒头冷冻面团微观结构的变化, 由图 6 可知, 网络结构为面筋蛋白, 圆形或椭圆形的为淀粉颗粒, 淀粉颗粒镶嵌在面筋蛋白中, 支撑面筋网络结构。由图 6a 可以看出, 未添加复合冷冻改良剂的馒头冷冻面团在 -18°C 储存 0.5 个月时, 大部分淀粉颗粒包裹在面筋网络结构中, 小的淀粉颗粒依附在面筋蛋白上, 内部有少许空洞, 可能是面团制作时, 酵母产气所致, 面团网络结构破坏性不大。由图 6b 可以看出, 未添加复合冷冻改良剂的馒头冷冻面团在 -18°C 储存 1 个月时, 面团内部不规则空洞增多, 这可能是由于冰晶升华导致, 从图中还可以看出, 淀粉颗粒排列较稀疏, 面团内部组织不均匀。由图 6c 可以看出, 未添加复合冷冻改良剂的馒头冷冻面团在 -18°C 储存 1.5 个月时, 面团内部空洞变大, 淀粉颗粒裸露在外面, 面筋网络结构稀薄。由图 6d 可以看出, 未添加复合冷冻改良剂的馒头冷冻面团在 -18°C 储存 2 个月时, 面筋网络结构破裂, 空隙变多, 淀粉颗粒不明显。由图 6e 可以看出, 未添加复合冷冻改良剂的馒头冷冻面团在 -18°C 储存 2.5 个月时, 面团内部组织较混乱, 淀粉颗粒稀疏、裸

露在外面零散分布, 面筋网络结构破裂, 蛋白膜状不明显。由此说明馒头冷冻面团在冻藏过程中, 面团微观结构逐渐恶化, 主要是面筋网络结构遭到破坏, 影响馒头品质。

与空白组对比, 添加复合冷冻改良剂的馒头冷冻面团微观结构较好。图 6a 中, 右图添加复合冷冻改良剂的馒头冷冻面团在 -18°C 储存 0.5 个月时, 面筋网络结构更紧密, 膜状结构清晰可见, 淀粉颗粒镶嵌在面筋网络结构中, 且面团中的空隙较少。图 6b 中, 右图颗粒排列紧凑, 仅少数淀粉颗粒分离, 且面团内部空洞较少。由图 6c 可知, 当添加复合冷冻改良剂的馒头冷冻面团在 -18°C 储存 1.5 个月时, 大部分淀粉颗粒镶嵌在面筋网络结构中, 部分淀粉颗粒分离出来, 但添加复合冷冻改良剂后, 面团中的空洞明显减少, 组织状态比较均匀。由 6d 可知, 冻存 2 个月改良面团中有少许空隙, 淀粉颗粒较稀疏, 但与添加复合冷冻改良剂前相比, 仍能看到大的淀粉颗粒存在。图 6e 添加复合冷冻改良剂的馒头冷冻面团在 -18°C 储存 2.5 个月时, 淀粉颗粒分离, 面筋网络结构被破坏, 但与添加复合冷冻改良剂前相比, 淀粉颗粒较清晰。由此可知当面团冻存时间相同时, 添加复合冷冻改良剂的冷冻面团微观结构优于空白组, 说明复合冷冻改良剂可以减轻冰晶的面团蛋白网络结构的破坏, 增强面团抗冻性, 改善冷冻面团品质。



注: 左图为未添加复合冷冻改良剂的馒头冷冻面团; 右图为添加复合冷冻改良剂的馒头冷冻面团。

Note: The picture on the left is the frozen dough of steamed bread without compound freezing improver; the picture on the right is the frozen dough of steamed bread with compound freezing improver.

图 6 不同储存时间下馒头冷冻面团扫描电镜图 ($\times 1.50\text{ k}$)
Fig.6 Frozen dough taro scanning electron micrograph ($\times 1.50\text{ k}$)

3 结 论

冷冻处理会使面团的发酵力降低,馒头的比容和感官评分降低,硬度增加,使馒头的品质下降。而食品添加剂可以增强面筋的网络结构、提高酵母抗冻性、改善冷冻面团品质。然而使用单一食品添加剂具有一定的局限性,在实际生产使用中,往往通过复配添加剂的形式提升产品的品质。本研究通过响应面试验优化改良剂配方来提高冷冻面团馒头品质,研究表明:0.4%乳化剂、0.8%增稠剂、45 mg/kg 酶制剂、2%海藻糖的复配工艺下,冷冻面团馒头的比容达到较佳水平 3.15 mL/g,有效提高了冷冻面团馒头品质,同时冷冻面团馒头的硬度也达到较优值,为 926.832 g,与空白组相比减少了 52.70%。通过扫描电子显微镜研究馒头冷冻面团在冻存期间微观结构的变化,发现复合冷冻改良剂能够减少冰晶对面筋网络结构的破坏,增强面团抗冻性,改善面团品质。

[参 考 文 献]

- [1] 胡家勇. 冷冻馒头面团冷冻工艺参数及品质改良研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2015.
HU Jiayong. Study on the Freezing Parameters and Quality Improvement of Frozen Steamedbread Dough[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2015. (in Chinese with English abstract)
- [2] 黄武江, 石莹, 黄丽娟, 等. 冷冻面团现状及应用发展[J]. 轻工科技, 2017, 33(8): 24-25.
- [3] 王世新, 杨强, 李新华. 水分对冷冻小麦面团质构及面筋蛋白二级结构的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 156-162.
Wang Shixin, Yang Qiang, Li Xinhua. Effect of moisture on texture and gluten protein secondary structure in frozen wheat dough[J]. Journal of Food Science, 2017, 38(9): 156-162. (in Chinese with English abstract)
- [4] 陈志伟, 徐顾榕, 陈坤, 等. 响应面优化混合发酵剂制作冷冻面团馒头的生产工艺[J]. 食品科技, 2016, 41(10): 120-126.
Chen Zhiwei, Xu Gurong, Chen Kun, et al. Optimization of producing process of frozen dough steamed bread made with mixed fermentation starters by response surface method[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(10): 120-126. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘爽, 王研, 何新益, 等. 黑米小麦粉馒头冷冻面团品质的研究[J]. 农产品加工(学刊), 2014(14): 16-19.
Liu Shuang, Wang Yan, He Xinyi, et al. Process frozen dough of steamed bread added black rice[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2014(14): 16-19. (in Chinese with English abstract)
- [6] 杜浩冉, 郑学玲, 韩小贤, 等. 冷冻条件和解冻方式对酵母子冷冻面团馒头品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2015, 12(5): 50.
Du Haoran, Zheng Xueling, Han Xiaoxian, et al. Effects of freezing conditions and thawing methods on the qualities of emptins frozen dough for steamed bread[J]. Journal of Grain and Feed Industry, 2015, 12(5): 50. (in Chinese with English abstract)
- [7] 刘燕琪. 预醒发冷冻面团馒头工艺优化及冷冻保护剂影响的研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2015.
Liu Yanqi. The Optimization of the Re-proofed Frozen Steam Bread and Researching the Effects of Croprotectants[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2015. (in Chinese with English abstract)
- [8] 黄桂东, 黄伟志, 冯结铎, 等. 冻藏时间对冷冻面团馒头品质的影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(8): 44-49.
Huang Guidong, Huang Weizhi, Feng Jiehua, et al. Effect of refrigeration time on the quality of frozen dough steamed bread[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(8): 44-49. (in Chinese with English abstract)
- [9] 杜浩冉, 郑学玲, 韩小贤, 等. 响应面法优化混合发酵剂制作冷冻面团馒头的复合食品添加剂配方[J]. 食品科学, 2015, 36(12): 36-43.
Du Haoran, Zheng Xueling, Han Xiaoxian, et al. Optimization of compound food additives for frozen dough steamed breads made with mixed starters by response surface methodology[J]. Journal of Food Science, 2015, 36(12): 36-43. (in Chinese with English abstract)
- [10] 石媛媛, 刘燕琪, 李梦琴, 等. 冷冻保护剂对冷冻面团馒头品质及水分状态的影响[J]. 河南农业大学学报, 2017.
Shi Yuanyuan, Liu Yanqi, Li Mengqin, et al. Effects of cryoprotectants on moisture status and quality of frozen dough[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [11] 孙丽洁. 鱼皮抗冻多肽的制备及其提高冷冻面团抗冻性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
Sun Lijie. Study on the Preparation of Antifreeze Peptide from Fish Skin and Its Cryoprotective Effects on Frozen Doughs[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [12] Wang P, Yang R, Gu Z, et al. Comparative study of deterioration procedure in chemical-leavened steamed bread dough under frozen storage and freeze/thaw condition[J]. Food Chemistry, 2017, 229: 464-471.
- [13] 杨二林. 荞麦冷冻面团馒头的研发[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2017.
Yang Erlin. Research and Development of Frozen Dough Steamed Bread of Buckwheat[D]. Handan: Hebei University

- of Engineering, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [14] 忻晨. 不同结构羧甲基纤维素钠影响冷冻面团品质及其机制探究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
- Xin Chen. Effect on Sodium Carboxymethyl Cellulose with Different Structures on Quality of Frozen Dough and its Mechanism[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018. (in Chinese with English abstract)
- [15] 唐语轩. 改良剂对冷冻面团及其烘烤面包品质的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- Tang Yuxuan. Effect of Improver on the Quality of Frozen Dough and Baked Bread[D]. Guangzhou: South China University of Science and Engineering, 2018. (in Chinese with English abstract)
- [16] Seonkyeong Yang, Sungmin Jeong, Suyong Lee. Elucidation of rheological properties and baking performance of frozen doughs under different thawing conditions[J]. Journal of Food Engineering, 2020, 284. 110084.
- [17] 汪星星. 冻融冻藏过程中三种食品胶对面筋蛋白结构影响的研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- Wang Xingxing. Effects of Hydrocolloids on Protein Structure of Gluten during Freeze-thaw Cycles Storage[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016. (in Chinese with English abstract)
- [18] 王岸娜, 施桂林, 吴立根, 等. 食品添加剂对冷冻面团品质影响的研究综述[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2018, 39(5): 127-132.
- Wang Anna, Shi Guilin, Wu Lingen, et al. Review on effects of food additives on frozen dough[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2018, 39(5): 127-132. (in Chinese with English abstract)
- [19] 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.
- Xuan Yifeng. Evaluation and Mechanism of Hydroxypropylmethylcellulose Addition Affecting Performance of Frozen Dough[D]. Hefei: Hefei Polytechnic University, 2016. (in Chinese with English abstract)
- [20] 艾青, 赵莹, 曹慧, 等. 胶原抗冻肽的制备及在冷冻面团中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(7): 147-152.
- Ai Qing, Zhao Ying, Cao Hui, et al. The preparation of antifreeze collagen peptide and its application in frozen dough[J]. Food Science and Technology, 2016, 42(7): 147-152. (in Chinese with English abstract)
- [21] Wang P, Jin Z, Xu X. Physicochemical alterations of wheat gluten proteins upon dough formation and frozen storage- A review from gluten, glutenin and gliadin perspectives[J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 46(2): 189-198.
- [22] 姬成宇, 石媛媛, 李梦琴, 等. 抗冻蛋白对预发酵冷冻面团发酵流变特性和馒头品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(4): 68-72.
- Ji Chengyu, Shi Yuanyuan, Li Mengqin, et al. Influence of antifreeze proteins on rheology characteristics and the quality of steamed bread in pre-proofing frozen dough[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(4): 68-72. (in Chinese with English abstract)
- [23] Feng Wenjuan, Ma Sen, Wang Xiaoxi. Quality deterioration and improvement of wheat gluten protein in frozen dough[J]. Grain & Oil Science and Technology, 2020, 3(1): 29-37.
- [24] 靳文斌, 李克文, 胥九兵, 等. 海藻糖的特性、功能及应用[J]. 精细与专用化学品, 2015, 23(1): 30-33.
- Jin Wenbin, Li Kewen, Xu Jiubing, et al. The character and function of trehalose and its application[J]. Fine and Specialty Chemicals, 2015, 23(1): 30-33. (in Chinese with English abstract)
- [25] Ban C, Yoon S, Han J, et al. Effects of freezing rate and terminal freezing temperature on frozen croissant dough quality[J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 73: 219-225.
- [26] Luo Wenhua, Sun Dawen, Zhu Zhiwei, 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.
- [27] 朱建. 冻融循环对小麦 HMW-GS 近等基因系面筋蛋白的物理性能及结构的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- Zhu Jian. Effects of Freeze-thaw Cycles on the Physical and Structural Properties of Wheat Gluten with Variations in the HMW-GS at the Glu-B1 Locus[D]. Yangling: North West Agriculture and Forestry University, 2019. (in Chinese with English abstract)
- [28] Li Y, Zhang Y, Liu X, et al. Effect of ultrasound-assisted freezing on the textural characteristics of dough and the structural characterization of wheat gluten[J]. Journal of Food Science and Technology -Mysore-, 2019, 56(7): 1-11.
- [29] Liu Xingli, Zhao Shuangli, Wei Qingqing, et al. Effects of vacuum degree on the water status, physicochemical properties and microstructure of fast frozen dumpling wrappers[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 54(6): 2075-2083.
- [30] Wang Bingrui, Li Yinli, Wang Hongwei, et al. In-situ analysis of the water distribution and protein structure of dough during ultrasonic-assisted freezing based on miniature Raman spectroscopy[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2020, 67: 105149.

Effect of compound quality improver on the frozen quality of frozen dough for steamed bread

Zhou Yiming¹, Zhang Yayuan¹, Lyu Xindong¹, Liu Qian¹, Li Yunlong², Jiang Qingyi¹, Zhou Xiaoli^{1,3*}

(1. School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China; 2. Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China; 3. University Think Tank of Shanghai Municipality, Institute of Beautiful China and Ecological Civilization, Shanghai 201418, China)

Abstract: Steamed bread is a traditional fermented pasta product in China, which plays an important role in the dietary structure. With the improvement of people's living standards and the acceleration of life pace in recent years, steamed bread has become a popular fast food product for consumer. However, the shelf life of steamed bread is short and easy to be aged, which greatly affects the industrialized production of steamed bread. Frozen dough technology can provide an economic and effective technical way. However, the relevant research reports pointed out that the water in the dough formed ice crystals in the process of frozen storage. Because of the temperature fluctuation, recrystallization will occur, which will destroy the network structure of the dough, make the dough appear cracks after freezing, reduce the gas holding capacity, as well as affect the quality of frozen dough and its cooked products. At the same time, ice crystal will also lead to the damage and rupture of yeast cells, such as the damage of its respiratory system, the reduction of yeast vitality and the lack of gas production, which will cause the decline of dough specific volume, texture and sensory quality. The use of dough quality improver can enhance the structure of gluten network, protect yeast activity, improve the quality of dough, and prolong the storage period of frozen dough. To study the effect of different improvers on the quality of frozen dough and its cooked products, and to select the compound improvers which can improve the quality of the products better, it has a certain practical significance in the actual production. In order to improve the quality of frozen dough and to clarify the effect of different food improvers on the quality of unwrapped frozen dough, this paper studied compound thickeners (carrageenan, guar gum, sodium alginate) and compound emulsifier (diacetyl tartrate monoglyceride, carboxymethyl cellulose), complex enzyme preparations (glutamine transaminase, glucose oxidase) and trehalose on the quality of unwrapped frozen dough steamed bread, through single factor and response surface experimental design, the effect of different compound quality improver on the specific volume, texture and sensory quality of frozen dough. Studies have shown that the effect of trehalose and enzyme preparation on the specific volume of frozen dough is extremely significant ($P < 0.01$). Under the compounding process of adding 0.4 % emulsifier, 0.8 % thickener, 45 mg/kg enzyme preparation and 2 % trehalose, the specific volume of the frozen dough steamed bread reached the level of 3.15 mL/g, and its hardness and the springiness also reached a superior value of 926.832 g and 0.912 8, respectively. At the same time, the frozen dough which was not added and added with the compound quality improver for 0-2.5 month was observed by scanning electron microscopy. It was found that most of the small starch granules in the frozen dough without the addition of the modifier were exposed outside, the particles were distinct, and the internal structure was uneven. The frozen dough starch granules with the compound quality improver added in the gluten network, the protein network structure is clear and complete, the internal structure of the frozen dough is even and tight.

Keywords: freezing; storage; quality control; compound quality improver; frozen dough; steamed bread