

# 改良剂对冷冻面团品质影响的研究进展

## Research progress on the effect of different improvers on the quality of frozen dough

忻晨<sup>1</sup> 周锐丽<sup>1</sup> 龚方圆<sup>2,3,4</sup>

XIN Chen<sup>1</sup> ZHOU Rui-li<sup>1</sup> GONG Fang-yuan<sup>2,3,4</sup>

(1. 中国人民解放军陆军勤务学院训练基地, 重庆 401311; 2. 重庆第二师范学院生物与化学工程学院, 重庆 400067; 3. 重庆第二师范学院儿童营养与健康发展协同创新中心, 重庆 400067; 4. 重庆第二师范学院现代大健康产业学院, 重庆 400067)

(1. Training Base, Army Logistics University of PLA, Chongqing 401311, China; 2. College of Biological and Chemical Engineering, Chongqing University of Education, Chongqing 400067, China; 3. Collaborative Innovation Center for Child Nutrition and Health Development, Chongqing 400067, China; 4. College of Modern Health Industry, Chongqing University of Education, Chongqing 400067, China)

**摘要:** 冷冻面团被广泛应用于食品工业中, 但冻藏过程中会出现面团性质变劣、发酵能力降低等问题。冷冻面团改良剂是解决这些问题的重要方法。目前常用的改良剂有多糖、乳化剂、蛋白质及其他类等。文章阐述了目前冷冻面团技术应用过程中存在的主要问题及其影响因素, 综述了不同改良剂对冷冻面团品质影响的作用机理和应用效果, 并展望了改良剂的研究与发展趋势。

**关键词:** 冷冻面团; 改良剂; 速冻面制品; 品质

**Abstract:** Frozen dough is widely used in the food industry. But there are several problems arising such as: the deterioration of dough and the reduction of fermentation activity properties during frozen storage. Frozen dough improvers are important way to solve these problems. Currently, the commonly used improvers are polysaccharides, emulsifiers, proteins and others. This paper summarizes the main problems and influencing factors in the application of frozen dough, and the mechanism and application of different improvers on the quality of frozen dough were reviewed. The paper also prospects the research and development trend of improvers.

**Keywords:** frozen dough; improvers; frozen food; quality

**基金项目:** 重庆市教委科学技术研究项目(编号: KJQN202201627); 陆军勤务学院青年科研资助项目(编号: 科函[2022]105号)

**作者简介:** 忻晨, 男, 中国人民解放军陆军勤务学院训练基地助教, 硕士。

**通信作者:** 龚方圆(1993—), 女, 重庆第二师范学院讲师, 硕士。  
E-mail: gongfy@cque.edu.cn

**收稿日期:** 2022-08-27 **改回日期:** 2022-11-28

冷冻面团通常不是特指某种类型的面团, 而是在整个生产过程中根据不同的产品需求引入急速冷冻环节制备的半成品, 即速冻面制品, 例如超市售卖的速冻水饺、速冻馒头等, 面包店常用的速冻预醒发面团等。随着冷链物流技术水平的提高以及消费者生活节奏的加快, 速冻面制品需求量呈现出旺盛的增长态势, 冷冻面团技术也得到了大规模应用。该方法具有省时、省料、省工和省地的优点。根据冷冻环节在整个加工中介入的节点不同, 冷冻面团大致分成预成型冷冻面团、预发酵冷冻面团、预烘烤面团以及成品冷冻品等<sup>[1]</sup>。然而, 无论是哪种类型的冷冻面团, 在冻藏和冷链运输过程中, 冷冻面团会出现表皮开裂、酵母失活、产品变色等不良现象, 并影响产品品质<sup>[2-3]</sup>, 限制了冷冻面团的运用。因此, 很多研究都致力于提高冷冻面团品质、延长产品冻藏期, 其中比较成熟的改良方法为加入改良剂。国内外很多学者都致力于开发新型改良剂, 常用的改良剂包括多糖、乳化剂、蛋白质和其他类。但改良剂种类较多, 应用于冷冻面团的效果有一定差异, 在实际使用中难以把握改良剂使用种类和用量, 且改良剂使用有一定限制。文章拟综述不同改良剂对冷冻面团品质影响的研究进展, 以期对冷冻面团技术的发展提供参考依据。

## 1 影响冷冻面团品质的主要因素

### 1.1 冷冻面团品质下降机理

冷冻面团生产过程中导致品质下降的机理较为复杂, 其中最主要的是冰晶理论(如图 1 所示)。水是面团中最主要的成分之一, 在冻结及贮藏期间, 面团中的水结

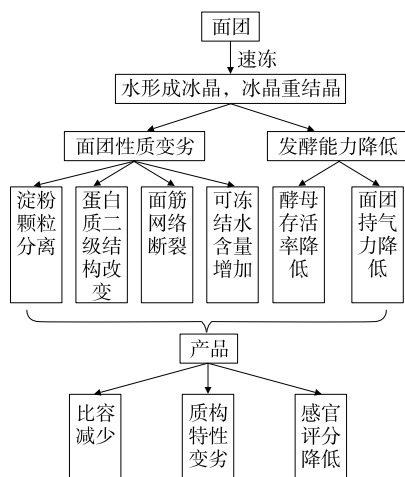


图 1 冷冻面团品质下降机理图

Figure 1 The mechanism map of the quality decline of frozen dough

晶固化形成冰晶,引起面团的不均匀收缩,并出现不均匀的孔洞<sup>[4-5]</sup>。面团中的毛细管束缚水和多层水结晶,形成大的冰晶体,导致面团内部三维网络状结构被破坏,冻藏后部分淀粉分子从面筋网络中分离出来,蛋白质二级结构改变,二硫键断裂,面团受到机械损伤,导致面团持气力下降<sup>[6]</sup>,黏弹性降低<sup>[7]</sup>,流变学性质产生了较为明显的变化,面团的加工性能下降<sup>[8]</sup>。

此外,对于速冻发酵面制品来说,冰晶还会引起酵母细胞损伤、破裂,导致酵母活力降低甚至死亡,产气能力下降<sup>[6]</sup>。破裂的酵母释放出的谷胱甘肽等物质,会进一步加剧面筋网络状结构的破坏<sup>[9]</sup>。随着冻藏时间的逐渐延长,面团的持气力和面团强度持续降低,发酵时间延长,产品比容下降,质地和感官等品质变差<sup>[10]11-23</sup>。冷冻面团中的酵母比直接冷冻的酵母更容易失活,这是因为冷冻面团中的酵母处在高渗透压、高氧化性的环境中<sup>[11]</sup>。

## 1.2 影响冷冻面团及其制品品质的因素

影响冷冻面团及其制品品质的因素主要有面粉品质和酵母品质、面团水分、冷冻工艺、改良剂等。

**1.2.1 面粉品质** 面粉筋力大小是影响冷冻面团品质的关键因素,面筋蛋白能形成网状结构,对维持面团黏弹性、吸水性、延展性和持气性等起到决定性作用,其品质优劣也直接决定了面制品的最终食用品质<sup>[12]</sup>。如使用筋力较高的面粉,则可以给面团提供足够的面筋强度和弹性,从而减弱冷冻冷藏条件对面团持气性的破坏程度<sup>[13]</sup>。刘思彤<sup>[14]</sup>发现当面粉中谷蛋白与醇溶蛋白质量比为 1:2 时,制作的馒头比容、硬度及感官评分最佳,且馒头劣变速度明显低于其他组别,这是由于适量的面筋蛋白组分能起到加强馒头内部结构稳定性的作用。

**1.2.2 酵母品质** 酵母在低温下的生存能力与冷冻面团的发酵时间、面制品的比容、硬度、咀嚼性和内部的疏松

结构具有相关性<sup>[15]</sup>,对速冻发酵类面制品的质量影响较大。酵母在冷冻过程中经受着渗透压、温度和氧化等环境胁迫,遭受损伤,甚至破裂死亡并释放谷胱甘肽,导致面团结构被破坏,面团内部不能形成较好的海绵状结构<sup>[10]50-64</sup>。使用干酵母能有效减少冷冻前的发酵,有利于冷冻面团冻藏稳定,且酵母一般多添加 0.5 倍左右<sup>[16]</sup>。此外,选育耐冷冻酵母也可提高面团的冻藏稳定性。

**1.2.3 面团水分** 面团中水分的状态、含量和分布与面筋网络结构的形成密切相关,对冷冻面团内部结构、物化性质及熟制后感官品质有着很大的影响<sup>[17]</sup>。面粉需要充分吸水形成蛋白网络状结构,但加水量过多,多余的水分不会被吸收,导致可冻水含量增加,冻藏后形成大冰晶,会损害酵母和面团结构<sup>[18]</sup>;加水量过少则会导致面筋结构变脆,稳定性变差<sup>[19]</sup>。

**1.2.4 冷冻工艺** 冷藏温度越低、冷冻速度越快时,形成的冰晶颗粒越小越均匀,面筋网络结构被破坏的程度就越低;慢速冷冻时则会形成大小不一和分布不均的冰晶,对冷冻面团品质的影响较大<sup>[20]</sup>。如果贮藏过程中温度波动幅度超过 5℃,面团品质就会显著降低<sup>[21]</sup>。Choongjin 等<sup>[22]</sup>认为最佳冷冻速率为 -3.19℃/min,最佳冷冻温度为 -20℃。如果冷冻速率大于最佳速率,酵母损伤的原因主要为胞内冷冻,如果冷冻速率小于最佳速率,主要原因则为溶液效应,冷冻温度低于 -20℃ 时容易造成大量酵母死亡。

**1.2.5 改良剂** 改良剂能够改善面团及其制品品质、延长食品货架期,在速冻面制食品的生产过程中发挥着重要的作用。大部分添加剂都是通过改变面团的组成或者结构来实现改善面团品质的目的<sup>[23]</sup>。常见的冷冻面团改良剂有多糖类、蛋白质类、乳化剂和其他类等,作用机理各不相同,实际运用中通常将多种改良剂复配使用。

## 2 改良剂对冷冻面团品质的影响

### 2.1 多糖

多糖可以与淀粉颗粒和面筋网络充分结合,吸收面团中多余水分,起到保持水分、减缓淀粉老化速率作用<sup>[24]</sup>,还可以提高面筋蛋白冻藏稳定性,避免冻藏过程中面筋网络的破坏。由表 1 可知,绝大部分多糖添加到冷冻面团中均可以起到积极作用,这些多糖的添加量虽然很大,但因其本身并无毒性,所以基本不会对食品安全造成影响,还可以减少乳化剂等的使用。

**2.1.1 天然多糖** Li 等<sup>[25]</sup>发现添加量为 0.2%~1.0% 时,瓜尔豆胶和刺槐豆胶能提高面团强度,而果胶和魔芋葡甘聚糖则会产生相反的效果;果胶、瓜尔豆胶和木耳多糖能提高面团持气力;果胶、瓜尔豆胶和琼脂均对面团发酵有积极作用等等。魔芋葡甘聚糖具有极强的亲水性,对提高冷冻淀粉和面筋蛋白冻藏稳定性都有保护作用,

表 1 冷冻面团改良剂对冷冻面团及其产品的影响<sup>†</sup>

Table 1 Effects of frozen dough improver on frozen dough and its products

种类	添加物	速冻产品	添加量	改良效果		
				面团结构	发酵能力	产品品质
多糖	瓜尔豆胶 <sup>[25]</sup>	面包	0.2%~1.0%	+	+	+
	刺槐豆胶 <sup>[25]</sup>	面包	0.2%~1.0%	+	N	/
	果胶 <sup>[25]</sup>	面包	0.2%~1.0%	-	+	/
	魔芋葡甘聚糖 <sup>[25]</sup>	面包	0.2%~1.0%	-	+	/
	木耳多糖 <sup>[25]</sup>	面包	0.2%~1.0%	-	+	/
	纤维素 <sup>[26]</sup>	面包	1%~2%	+	/	/
	海藻糖 <sup>[27]</sup>	面包	1%	+	/	+
	秋葵多糖 <sup>[28]</sup>	馒头	0.5%~1.5%	+	+	+
	海藻酸钠 <sup>[29]</sup>	面包	0.3%	/	/	+
	瓜尔豆胶 <sup>[29]</sup>	面包	0.3%	/	/	+
	黄原胶 <sup>[29-30]</sup>	包子	0.1%	/	/	+
		面包	0.3%	/	/	+
	菊粉 <sup>[30]</sup>	包子	0.25%	/	/	+
	羧甲基纤维素钠 <sup>[31]</sup>	馒头	0.1%~0.9%	+	/	+
	羧甲基纤维素钠 <sup>[32]</sup>	面包	0.5%	+	/	+
	果胶 <sup>[33]</sup>	馒头	1%	+	+	+
	变性淀粉 <sup>[34]</sup>	面包	5%~15%	+	/	/
	玉米微孔淀粉 <sup>[35]</sup>	面包	3%	+	+	+
	乳化剂	硬脂酰乳酸钠 <sup>[36]</sup>	预醒发甜甜圈	0.2%	+	/
脂肪酸酯、甘油醇 <sup>[37]</sup>		面包	油酸甘油酯 0.3%~1.2%	+	/	+
			司盘 20 0.3%~0.9%			
			吐温 20 0.3%~0.9%			
			甘油醇 2%~6%			
海藻酸丙二醇酯 <sup>[38]</sup>		面包	0.3%	+	+	+
速冻专用脂肪 <sup>[39]</sup>		饺子皮	4%	+	/	+
阿魏酸淀粉酯 <sup>[40]</sup>		馒头	0.15%~0.25%	+	/	+
醋酸淀粉酯 <sup>[41]</sup>		面包	20%	+	/	/
辛烯基琥珀酸淀粉酯 <sup>[41]</sup>		面包	15%	+	/	+
蛋白质	抗冻蛋白 <sup>[42-44][45]53-54[46]</sup>	面包、馒头	0.1%~0.6%	+	+	+
	甘薯蛋白水解物 <sup>[47]</sup>	面包	1%	+	/	+
	$\gamma$ -聚谷氨酸 <sup>[48]</sup>	全麦面包	1%	/	+	+
	谷朊粉 <sup>[49]</sup>	华夫面团	1%~5%	/	+	/
	明胶 <sup>[50]</sup>	面包	0.5~1.5%	+	/	+
其他类	木聚糖酶、纤维素、葡萄糖氧化酶、脂肪酶 <sup>[51]</sup>	面包	6~60 mg/kg	+	+	+
	$\alpha$ -淀粉酶 <sup>[52]</sup>	面包	0.025%	/	+	+
	有机酸 <sup>[53]</sup>	面包	0.3%	+	+	+
	抗坏血酸 <sup>[54]</sup>	面包	0.05%	/	/	+
	麦麸粉 <sup>[55]</sup>	馒头	5%	+	-	-
	酒酿汁 <sup>[56]</sup>	馒头	61%	+	+	+
	豆奶 <sup>[57]</sup>	面条	48%	+	/	+

† “+”表示有正面效果;“-”表示有负面效果;“N”表示无明显效果;“/”表示未做研究。

但添加量都 $>3.5\%$ <sup>[58-59]</sup>,因此 Li 等<sup>[25]</sup>发现添加魔芋葡甘聚糖使面团强度降低可能与添加量较少有关。

面团的三维结构在冻藏过程中会被破坏,表现为面筋网络断裂,淀粉颗粒剥离。从竹子中提取的纤维素<sup>[26]</sup>、海藻糖<sup>[27]</sup>都可以起到保护面团三维网络的作用,这与多糖可降低冷冻面团中可冻结水含量有关。刘科文等<sup>[28]</sup>发现加入 $0.5\% \sim 1.5\%$ 的秋葵多糖也可以降低冷冻面团中可冻结水含量,抑制冷藏期间可冻结水含量的升高,还能使面团黏弹性增大,减缓面团在冷藏过程中黏弹性降低程度,适量添加秋葵多糖还可增大面团持气率和馒头比容,减缓馒头硬度和弹性的劣变。

从提高产品品质角度进行分析,Kang 等<sup>[29]</sup>发现,冷冻面团中添加 $0.3\%$ 的黄原胶、瓜尔豆胶和海藻酸钠后,焙烤出的面包比容增加,并减缓了冻藏后焙烤的面包质构特性的劣变。刘思宇等<sup>[30]</sup>发现在包子面团中添加 $0.1\%$ 的黄原胶或 $0.25\%$ 的菊粉,蒸出的包子的质构特性和感官评分指标最高。这也与这些多糖能保护面团结构有关。

**2.1.2 改性多糖** 多糖引入新的官能团可显著影响其对冷冻面团的改良效果。添加羧甲基纤维素钠可以提高面团的冻藏稳定性及冷冻面团的质构品质,维持面团流变性<sup>[31]</sup>。Xin 等<sup>[32]</sup>进一步发现高取代度的羧甲基纤维素钠在抑制面团可冻结水含量增加和流变学性质劣变,提高产品品质上效果更佳。翟健安<sup>[33]</sup>比较了不同酯化度果胶对速冻馒头的影响,发现不同酯化度的果胶都能显著提高面团拉伸性能和发酵能力,但相比高酯化度果胶, $20\%$ 和 $40\%$ 酯化度果胶对提高面团产气能力效果更好,低酯果胶还可有效提高馒头的感官评分。因此工业上可针对不同用途制备不同酯化度的果胶。

淀粉是自然界来源最丰富的一种可再生物质,淀粉改性后有利于扩大淀粉的利用范围。王亚楠等<sup>[34]</sup>发现醋酸酯马铃薯淀粉加入到冷冻面团中可增加面团持水力,减弱水分子的移动性,从而减轻冻结过程中面团的结构损伤。黄忠民等<sup>[35]</sup>发现添加玉米微孔淀粉使面粉糊化特性各指标均呈下降趋势,有利于面团的冻藏稳定性,提高冷冻面团的质构品质。这与微孔淀粉增大了吸水率,制约了面筋蛋白-淀粉复合体系的糊化过程有一定关联。变性淀粉原料来源广、成本低,并且多种变性淀粉复合使用会取得更好的效果。

## 2.2 乳化剂

乳化剂能与面粉中的淀粉和蛋白质发生结合作用,使面团多相体系中各组分相互融合,改进内部组织结构,提高面团弹性和韧性;催化-SH 转化为-S-S-,强化面筋强度;降低水的表面张力,使水不易聚积,冻藏时形成细密的晶体,降低面筋结构损伤<sup>[6]</sup>。由表 1 可知,乳化剂在面团冻藏稳定性和产品品质上效果较好。

**2.2.1 离子型乳化剂** 张文雅<sup>[36]</sup>发现预醒发冷冻甜甜圈中加入 $0.2\%$ 的硬脂酰乳酸钠能显著改善产品品质,与空白组相比,加入硬脂酰乳酸钠的甜甜圈冻藏后内部孔隙更为均一,表皮更为光滑,且不易产生斑点,吸油率更低。这可能与硬脂酰乳酸钠增加了面筋及淀粉的润滑作用有关。

**2.2.2 非离子型乳化剂** 脂肪酸酯和糖醇为常用乳化剂,周锦枫<sup>[37]</sup>发现脂肪酸酯(油酸甘油酯、吐温 20 和司盘 20)和糖醇(麦芽糖醇、山梨糖醇和乳糖醇)降低了冻藏过程中面筋网络的破坏,使得冻藏后所烤面包依然保持均匀空隙,司盘 20 和乳糖醇的添加改善效果更好。

臧梁等<sup>[38]</sup>研究显示海藻酸丙二醇酯加入到全麦冷冻面团中,可以减缓冷冻面团冻藏期间 $\beta$ -折叠含量的上升和 $\beta$ -转角相对含量的下降,使冻藏过程中产生的面团孔隙洞数目减少,维持冷冻面团的稳定性并提高面包的烘焙特性。Zhu 等<sup>[39]</sup>采用酯交换技术制备了速冻专用脂肪,能减缓面团中淀粉的老化速率,降低可冻结水含量,提高面团柔软度。聂卉等<sup>[40]</sup>发现冷冻面团中加入阿魏酸淀粉酯有助于改善馒头韧性和硬度,使内部结构紧致,提高馒头比容,这是因为阿魏酸淀粉酯能抑制冰晶的再结晶,减弱冰晶对面筋结构蛋白的破坏。Tian 等<sup>[41]</sup>发现醋酸淀粉酯、辛烯基琥珀酸淀粉酯也可以用于冷冻面团中,起到保护面团结构、降低老化程度,提高透明度的作用。

## 2.3 蛋白质

蛋白质是一种安全无毒的冷冻改良剂,在速冻面团中可以吸附冰晶,保护面团大分子,能有效提高面团的弹性、韧性和持气性。由表 1 可知,在食品中添加少量的抗冻蛋白即有显著的改良效果。

**2.3.1 抗冻蛋白** 抗冻蛋白(AFPs)是一类具有提高生物抗冻能力的蛋白质类化合物的总称。其来源广泛,包括胡萝卜、黑麦草、燕麦、女贞叶、苜蓿、深海鱼皮、鳕鱼血液、酵母提取物等,并且这些蛋白都可用于冷冻面团改良剂,起到提高产品品质、延长冻藏时间的作用<sup>[42-44][45]53-54[46]</sup>。孟延飞<sup>[45]3-5</sup>认为鱼类抗冻蛋白是通过抑制冰晶生长来维持面团结构,而植源性抗冻蛋白则通过重结晶抑制效应保持面筋网络的完整性。张艳杰等<sup>[60]</sup>认为抗冻蛋白能减少面筋网络中不规则空洞的形成,降低蛋白结构的破坏。马豪等<sup>[61]</sup>认为抗冻蛋白能有效降低冰晶对淀粉有序结构的损伤,减缓小麦淀粉的再生倾向。刘玫等<sup>[62]</sup>认为抗冻蛋白减缓面团可冻结水含量的增加,提高面团的持气能力,降低冻融循环中面团发酵能力的损失,最终使冻藏后的产品比容和质构特性保持较好。总之,抗冻蛋白虽在冷冻食品中具有广阔的发展空间,然而现阶段生产成本高,工业化难度大,这是需要解决的首要问题<sup>[63]</sup>。

**2.3.2 其他蛋白** 与抗冻蛋白相比,另一些蛋白更容易

获得。陈嘉茹等<sup>[47]</sup>发现添加甘薯蛋白水解物可使冷冻面团的自由水含量增加的趋势减缓,面包硬化和比容减小的程度逐渐减缓。王家宝等<sup>[48]</sup>发现 $\gamma$ -聚谷氨酸加入到全麦冷冻面团中,其酵母存活率提高,发酵高度和面包比容增大,硬度减小。陈晶晶等<sup>[49]</sup>发现谷朊粉加入到冷冻华夫饼干中能提升酵母含量和产气能力,这是因为最适比例的面筋能起到强化组织的作用。余文杰<sup>[50]</sup>发现猪皮明胶能延缓冷冻面团贮藏期淀粉的老化,减缓面包的品质劣变速度,这是因为猪皮明胶通过非共价键作用,使面筋形成更为柔韧致密的网状结构,降低了冰晶的生长和重结晶对面筋网络的破坏程度。

## 2.4 其他改良剂

### 2.4.1 酶制剂

酶制剂是一种天然、安全的食品添加剂。Wang等<sup>[51]</sup>比较了 $\alpha$ -淀粉酶、木聚糖酶、纤维素酶、葡萄糖氧化酶和脂肪酶对冷冻面团的影响,发现除了 $\alpha$ -淀粉酶,其余均可提高产品的感官品质,木聚糖酶、纤维素酶和脂肪酶能提高面团发酵能力;酶类还能降低面团可冻结水含量,降低面团三维网络在冻藏过程中的受损程度。Koki等<sup>[52]</sup>在面团中加入0.025% $\alpha$ -淀粉酶(1 500 U/g),发现与未添加组比较,面团持气能力显著增强,面包比容增加了14.7%,但 $\alpha$ -淀粉酶添加量不恰当,反而降低了面包体积,因此在实际使用时要严格控制剂量。

### 2.4.2 有机酸

Su等<sup>[53]</sup>发现冷冻面团中加入乙酸、乳酸、苹果酸、延胡索酸和柠檬酸后,均可以提高焙烤面包比容、增加面包的柔软度。这可能是由于有机酸能提高酵母和酶的活性,降低蛋白和淀粉分子量,从而增加氨基和游离巯基含量的缘故。推测加入果汁也能起到类似效果。

### 2.4.3 抗氧化剂

冻藏期间酵母细胞破裂释放的谷胱甘肽导致面包芯干硬,结构粗糙<sup>[10]11-23</sup>,L-抗坏血酸能与谷胱甘肽发生作用,使蛋白酶失活,减弱面筋蛋白质的水解作用,同时巯基转化为二硫键,增强了面筋蛋白质的主体网络结构,能较好地维持面团品质<sup>[64]</sup>。张康逸等<sup>[54]</sup>发

现,添加0.05%的L-抗坏血酸的面团冻藏7 d后,焙烤的面包比容、硬度、弹性和感官评分相比空白组均有显著提高,这是因为抗坏血酸影响了面团面筋蛋白巯基基团,提升了面筋网络强度。

### 2.4.4 工业产物

工业加工副产物加入冷冻面团中,有利于副产品的重复利用,同时起到改良剂的作用。姬成宇<sup>[55]</sup>发现麦麸粉加入冷冻面团中会引起面团体系中水分的重新分布,能够促进低相对分子质量蛋白的聚合,降低冻藏中面筋蛋白结构被破坏的程度;随着冷冻时间的延长,麦麸粉冷冻面团产气量、持气力和比容下降速率略低于空白组。

杨树芬<sup>[56]</sup>研究结果显示酒酿汁能显著提高冷冻面团中酵母菌数量,显著增加酒酿馒头的比容、弹性和回复性,还能降低馒头的硬度,这是因为发酵产生的可溶性膳食纤维提高了馒头的持气能力。He等<sup>[57]</sup>发现,豆奶替代水加入到冷冻面团中,可以减少自由水含量,形成的冰晶体积更小,使得面团结构保存更加完整,速冻面条的感官和质构特性更加优良。

## 2.5 改良剂的复配

实际生产中,单一的改良剂已经不能较好地满足当前行业的需求,食品添加剂的复合使用,可以减少单一添加剂的用量,既增强了效果,又减少了副作用,尤其是面包等烘焙制品通常不会使用单一的改良剂。由表2可知,复配改良剂通常使用多糖、乳化剂、酶制剂和抗氧化剂等,因改良剂使用的种类和添加量的不同,所达到的实际效果略有差异。由于受到表征手段、产品配方差异限制,复配后的改良效果难以直接比较。一般而言,多糖能很好地吸收面团中的自由水,减少冰晶对面团的破坏;乳化剂可以使面团多相体系中各组分相互融合;抗氧化剂和酶制剂添加量虽然很少,但在维持面团冻藏稳定性上起到了很好的作用,不同添加剂在冷冻面团中的作用机理不尽相同,适当比例添加剂的复配就可以起到“1+1>2”的效果。

表2 冷冻改良剂的复配及其对产品的影响

Table 2 Comparing of compound frozen dough improvers and its influence on products

研究者	速冻产品	改良剂复配及添加量	产品特性
杨树芬 <sup>[56]</sup>	馒头	碳酸钾 0.2%、单甘酯 0.3%、海藻酸钠 0.4%	硬度降低 59.5%,比容提升 50.0%(冻藏 6 周)
龚维 <sup>[23]</sup>	面包	真菌 $\alpha$ -淀粉酶 0.02%、刺槐豆胶 0.04%、六偏磷酸钠 0.08%、维生素 C 0.1%、硬脂酰乳酸钠 0.2%、玉米淀粉 0.2%、海藻糖 1%	硬度降低 9.6%(冻藏 3 d)
金鑫等 <sup>[65]</sup>	馒头	海藻糖 4%、磷酸二氢钠 0.15%、黄原胶 0.05%、羧甲基纤维素钠 0.04%	硬度降低 14.4%,比容提升 12.7%(冻藏 22 d)
黄桂东等 <sup>[66]</sup>	馒头	冰结构蛋白 0.01%、黄原胶 0.04%、蛋白酶 0.01%、水苏糖 2.68%	硬度降低 49.5%,比容提升 32.2%(冻藏 12 h)

### 3 结论与展望

在制作冷冻面团及其制品时,急速冷冻处理会给面团中的酵母和蛋白带来很大影响,合理使用冷冻面团改良剂可有效缓解和改善冷冻面团品质劣变的问题。多糖类改良剂来源广泛,可用于提高冷冻面团的冻融稳定性及持水性,但其添加量通常较高;乳化剂类改良剂效果较好,可改善面团强度、耐力和组织结构,在解冻和醒发过程中能够控制水分移动,增加产品体积,但大部分乳化剂有一定毒性,添加量受到限制,通常复配乳化剂的改良效果也比单一乳化剂要好,应充分利用复配乳化剂协同效应,提升产品内部结构,改善制品口感;蛋白类改良剂成本较高,实际使用较少,但因其改善效果显著,仍具有良好的应用前景;其他改良剂包括酶制剂、有机酸、抗氧化剂及各类工业产物等,具有天然、安全、高效等优势,实际使用中往往与其他添加剂复配使用。

改良剂的使用,改善了冷冻面团的机械可操作性,降低了冷冻面团的生产成本,延长了面团冻藏周期,提高了冷冻面团品质,应用前景广泛。随着人们生活水平的不断提高,冷冻面团及其制品会逐渐成为一种趋势,但目前冷冻面团技术研究还不够系统。对于未来改良剂的研究与应用,未来还可以从以下几个方向进行加强:① 开发效果显著、安全无害且价格低廉的改良剂是提升冷冻面团技术的关键方向,如多糖类改良剂往往经过适当改性后效果更加显著,蛋白质类改良剂可利用微生物发酵,解决生产成本过高问题;② 根据实际生产需要,优化不同改良剂的复配比例,将会是现阶段及未来相当一段时间内冷冻面制品行业主要应用的技术;③ 目前对改良剂作用机制的研究不多,亟需进一步的探索,为新产品开发提供理论指导;④ 冷冻面团中添加高分子活性物,既能延长冻藏时间,还兼具营养、健康等优势,是未来研究的热点。

#### 参考文献

[1] 张宾乐. 红豆酸面团乳酸菌发酵及其提高冷冻面团烘焙品质机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021: 1.  
ZHANG B L. Red bean sourdough fermented by lactic acid bacteria and its mechanism studies on improving frozen dough baking properties[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021: 1.

[2] 潘燕, 钟昔阳, 罗水忠, 等. 可溶性大豆多糖对春卷皮冻融循环过程中品质变化的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 59-65.  
PAN Y, ZHONG X Y, LUO S Z, et al. Effect of soluble soybean polysaccharide on the quality of spring roll wrapper during freeze-thaw cycles[J]. Food Science, 2022, 43(8): 59-65.

[3] 袁婷婷, 张栩, 向小青, 等. 冷冻面团品质劣变及改良研究进展[J]. 农业工程学报, 2021, 37(8): 296-306.  
YUAN T T, ZHANG X, XIANG X Q, et al. Research progress in the deterioration and improvement of frozen dough quality [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,

2021, 37(8): 296-306.

[4] CHAROENREIN S. Microstructural changes and their relationship with quality and stability of frozen foods[J]. Food Microstructure and its Relationship with Quality and Stability, 2018: 123-138.

[5] 岳宗阳. 冷冻面团在冻结及贮藏期间品质变化机理研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2012: 7-9.  
YU Z Y. The research on the changing mechanism of frozen dough quality in the freezing and storage period[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2012: 7-9.

[6] 张云焕, 赵文华, 马军涛, 等. 速冻面制食品品质改良剂的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(4): 295-302.  
ZHANG Y H, ZHAO W H, MA J T, et al. Advance study on quality improving additives for quick frozen flour products[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(4): 295-302.

[7] WANG P, YANG R, GU Z, et al. Comparative study on the freeze stability of yeast and chemical leavened steamed bread dough[J]. Food Chem, 2017, 221: 482-488.

[8] AKBARIAN M, KOOCHEKI A, MOHEBBI M, et al. Rheological properties and bread quality of frozen sweet dough with added xanthan and different freezing rate[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(10): 3 761-3 769.

[9] BHATTACHARYA M, LANGSTAFF T M, BERZONSKY W A. Effect of frozen storage and freeze-thaw cycles on the rheological and baking properties of frozen doughs [J]. Food Research International, 2003, 36(4): 365-372.

[10] 郭璐楠. 面团冻藏过程中酵母稳定性变化及其对面团品质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2021.  
GUO L N. Changes in yeast stability and its effect on dough quality during frozen storage[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.

[11] TSOLMONBAATAR A, HASHIDA K, SUGIMOTO Y, et al. Isolation of baker's yeast mutants with proline accumulation that showed enhanced tolerance to baking-associated stresses[J]. Int J Food Microbiol, 2016, 238: 233-240.

[12] 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: 49-54.  
WANG P. Gluten deterioration in frozen dough: Mechanism and improvement study[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016: 49-54.

[13] YAMAUCHI H, NISHIO Z, TAKATA K, et al. The quality of extra strong flour used in bread production with frozen dough[J]. Food Science and Technology Research, 2001, 7(2): 135-140.

[14] 刘思彤. 不同筋力面筋蛋白组分对馒头加工品质和冻藏品质影响的研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2021: 43-50.  
LIU S T. Study on the effects of different gluten protein components on the processing and frozen storage quality of steamed bread[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2021: 43-50.

[15] 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.  
HUANG W Z, HUANG G D, ZHONG X F. Research progress of frozen dough steamed bread[J]. Science and Technology of Food

- Industry, 2019, 40(14): 314-319.
- [16] 郭雪阳, 贾春利. 我国冷冻面团技术的应用和发展综述[J]. 中国食物与营养, 2013, 19(2): 41-44.  
GUO X Y, JIA C L. Application and development advancement of frozen dough technology in China[J]. Food and Nutrition in China, 2013, 19(2): 41-44.
- [17] LUO W, SUN D W, ZHU Z, 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.
- [18] HE Y, GUO J, REN G, et al. Effects of konjac glucomannan on the water distribution of frozen dough and corresponding steamed bread quality[J]. Food Chemistry, 2020, 330: 127243.
- [19] 宁娜静. 冷冻面团馒头制作关键工艺及品质改良研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2011: 19-20.  
NING N J. Study on the critical technology and quality improvement of frozen dough steamed bread [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2011: 19-20.
- [20] BIGNE F, FERRERO C, PUPPO M C. Effect of freezing and frozen storage on mesquite-wheat dough for panettone-like breads [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2019, 13(4): 2 853-2 861.
- [21] YUTHANA P, UBONRAT S, VANNA T, et al. Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 84(1): 48-56.
- [22] CHOONGJIN B, SANGEUN Y, JUNGWOO H, 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.
- [23] 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: 46-48.  
GONG W. Study on the relationship between moisture distribution and texture of frozen dough and development a frozen dough improver[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2019: 46-48.
- [24] QIU S, YADAV M P, ZHU Q, et al. The addition of corn fiber gum improves the long-term stability and retrogradation properties of corn starch[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 76: 92-98.
- [25] LI J, ZHU Y, YADAV M P, et al. Effect of various hydrocolloids on the physical and fermentation properties of dough [J]. Food Chemistry, 2019, 271: 165-173.
- [26] ZHANG H, ZHANG Y, WANG X, et al. Effects of bamboo shoot dietary fiber on mechanical properties, moisture distribution, and microstructure of frozen dough [J]. Journal of Chemistry, 2017, 2 017: 1-7.
- [27] HALAGARDA M. Effects of trehalose and dough additives incorporating enzymes on physical characteristics and sensory properties of frozen savory Danish dough[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 86: 603-610.
- [28] 刘科文, 关二旗, 李萌萌, 等. 秋葵多糖对冷冻面团贮藏稳定性的影响[J/OL]. 食品与发酵工业. (2022-03-22) [2022-11-09]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.030133>.
- LIU K W, GUAN E Q, LI M M, et al. Effects of okra polysaccharide on storage stability of frozen dough[J/OL]. Food and Fermentation Industries. (2022-03-22) [2022-11-09]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.030133>.
- [29] KANG N, REDDY C K, PARK E Y, et al. Antistaling effects of hydrocolloids and modified starch on bread during cold storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 96: 13-18.
- [30] 刘思宇, 舒琴, 娄行行, 等. 改良剂对冷冻面团及其蒸制包子品质的影响[C/OL]// 中国食品科学技术学会第十八届年会. (2022-04-06) [2022-11-09]. <http://dx.doi.org/10.26914/c.cnkihy.2022.002199>.
- LIU S Y, SHU Q, LOU X X, et al. Effect of modifiers on the quality of frozen dough and steamed Baozi[C/OL]// Abstracts of the 18th Annual Meeting of CIFST. (2022-04-06) [2022-11-09]. <http://dx.doi.org/10.26914/c.cnkihy.2022.002199>.
- [31] 韩可阳, 刘亚伟, 刘洁. 羧甲基纤维素钠对冷冻面团及馒头品质的影响研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2021, 42(3): 24-31.  
HAN K Y, LIU Y W, LIU J. Effect of sodium carboxymethyl cellulose on the qualities of frozen dough and steamed bread[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2021, 42(3): 24-31.
- [32] 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.
- [33] 翟健安. 不同酯化度的果胶对冷冻面团制成馒头品质的影响[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2021: 32-43.  
ZHAI J A. Effect of pectin with different esterification degree on the quality of steamed bread made from frozen dough[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2021: 32-43.
- [34] 王亚楠, 侯召华, 檀琮萍, 等. 变性淀粉对冷冻面团水分特性的影响[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(6): 63-65.  
WANG Y N, HOU Z H, TAN Z P, et al. Effect of modified starch on water characteristic of frozen dough[J]. Cereals & Oils, 2017, 30(6): 63-65.
- [35] 黄忠民, 白璐璐, 艾志录, 等. 玉米微孔淀粉对冷冻面团品质特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(4): 169-174.  
HUANG Z M, BAI L L, AI Z L, et al. Effect of corn microporous starch on quality characteristics of frozen dough[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(4): 169-174.
- [36] 张文雅. 醒发时间及硬脂酰乳酸钠对预醒发冷冻甜甜圈品质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2021: 32-38.  
ZHANG W Y. Effects of proofing time and sodium stearyl lactate on the quality of pre-proofed frozen donuts[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021: 32-38.
- [37] 周锦枫. 脂肪酸酯和糖醇类对冷冻面团品质及其产品特性的

- 影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2020: 27-45.
- ZHOU J F. Effects of fatty acid esters and sugar alcohols on the quality of frozen dough and its product characteristics [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2020: 27-45.
- [38] 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.
- ZANG L, FU B S, JIANG P F, et al. Effect of propylene glycol alginate on storage stability and baking properties of frozen whole wheat flour dough[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(21): 83-91.
- [39] ZHU T, ZHANG X, LI B, et al. Effect of interesterified blend-based fast-frozen special fat on the physical properties and microstructure of frozen dough [J]. Food Chemistry, 2019, 272: 76-83.
- [40] 聂卉, 闵玉涛, 李玉玲, 等. 阿魏酸淀粉酯制备与表征及其对馒头预发酵冷冻面团物化性质的影响研究[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(11): 123-128.
- NIE H, MIN Y T, LI Y L, et al. Effect of starch ferulate on physicochemical properties of pre-fermented frozen dough and steamed bread[J]. China Food Additives, 2021, 32(11): 123-128.
- [41] TIAN S, CHEN Y, CHEN Z, et al. Preparation and characteristics of starch esters and its effects on dough physicochemical properties[J]. Journal of Food Quality, 2018, 2 018: 1-7.
- [42] 程毛, 刘清枫, 李兴霞, 胡萝卜抗冻蛋白对冷冻面团及其馒头品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(1): 51-54.
- CHENG M, LIU Q F, LI X X. Effect of carrot antifreeze protein on the quality of frozen dough and steamed bread[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(1): 51-54.
- [43] 杨震. 黑麦草抗冻蛋白对冷冻面团品质改良的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017: 59.
- YANG Z. Effects of ryegrass antifreeze protein on the quality of frozen dough [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017: 59.
- [44] 张艳杰. 燕麦抗冻蛋白的分离纯化及对冻藏面团品质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 68-69.
- ZHANG Y J. Isolation and purification of oat (*Avena sativa* L.) antifreeze proteins and their effects on frozen dough[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017: 68-69.
- [45] 孟延飞. 抗冻蛋白的抗冻性能及对速冻面食品质改良的研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2021.
- MENG Y F. Research on the antifreeze properties of antifreeze protein and its effect on quality improvement of frozen food made from wheat flour[D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology, 2021.
- [46] MEI L, YING L, HUI Z, 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-Food Science and Technology, 2018, 96: 543-550.
- [47] 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. Effect of sweet potato protein hydrolysates with different molecular weights on the quality of frozen dough and bread [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(10): 76-83.
- [48] 王家宝, 何松, 苏子良, 等.  $\gamma$ -聚谷氨酸对全麦冷冻面团烘焙特性的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(2): 9-13.
- WANG J B, HE S, SU Z N, et al. Effects of  $\gamma$ -polyglutamic acid on baking properties of whole wheat frozen dough [J]. Food & Machinery, 2021, 37(2): 9-13.
- [49] 陈晶晶, 孙卿, 张愨. 冷冻华夫面团保质期内品质提升的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2021, 40(8): 54-61.
- CHEN J J, SUN Q, ZHANG M. Study on quality improvement of frozen waffle dough during shelf life[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2021, 40(8): 54-61.
- [50] 余文杰. 猪皮明胶对冷冻面团及其面包品质的影响与机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020: 34-40.
- YU W J. Effect of pigskin gelatin on frozen dough and its bread quality and mechanistic study[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020: 34-40.
- [51] WANG X, PEI D, TENG Y, et al. Effects of enzymes to improve sensory quality of frozen dough bread and analysis on its mechanism[J]. J Food Sci Technol, 2018, 55(1): 389-398.
- [52] KOKI M, DENNIS M S, TATSUYA N, et al. The bread making qualities of bread dough supplemented with whole wheat flour and treated with enzymes[J]. Food Science and Technology Research, 2017, 23(3): 403-410.
- [53] SU X, WU F, ZHANG Y, et al. Effect of organic acids on bread quality improvement[J]. Food Chem, 2019, 278: 267-275.
- [54] 张康逸, 郭东旭, 何梦影, 等. 响应面法优化青麦仁冷冻面团面包复配改良剂的研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(8): 66-72.
- ZHANG K Y, GUO D X, HE M Y, et al. Optimization of compound improver of green wheat kernel frozen dough bread by response surface methodology [J]. Food Research and Development, 2021, 42(8): 66-72.
- [55] 姬成宇. 麦麸粉对冷冻面团中主要成分特性及馒头品质影响的研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2018: 28-33.
- JI C Y. The effect of wheat bran powder on the main components of frozen dough and the quality of steamed bread[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2018: 28-33.
- [56] 杨树芬. 冷冻生胚酒酿馒头加工工艺与品质改良研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021: 14-23.
- YANG S F. Study on the processing technology and quality improvement of frozen dough steamed bread made with fermented glutinous rice[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021: 14-23.
- [57] HE L, GUO X, ZHU K. Effect of soybean milk addition on the quality of frozen-cooked noodles[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 87: 187-193.



- [58] 王承彦. 魔芋葡甘聚糖与冷冻小麦淀粉相互作用研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2020: 21-27.  
WANG C Y. Research on interaction between konjac glucomannan and frozen wheat starch[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2020: 21-27.
- [59] 郭金英, 贺亿杰, 韩四海, 等. 魔芋葡甘聚糖对冷冻小麦面团筋蛋白结构和功能特性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 33-39.  
GUO J Y, HE Y J, HAN S H, et al. Effects of konjac glucomannan on the structural and functional properties of gluten in frozen wheat dough[J]. Food Science, 2019, 40(24): 33-39.
- [60] 张艳杰, 王金慧, 艾志录, 等. 植物源抗冻蛋白对面筋蛋白性质影响研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(9): 267-273.  
ZHANG Y J, WANG J H, AI Z L, et al. Effects of plant-derived antifreeze protein on properties of gluten: A review[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(9): 267-273.
- [61] 马豪, 刘玫, 郑学玲, 等. 冷冻温度及龙柏叶抗冻蛋白对小麦淀粉结构和理化特性的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2022, 43(3): 35-42.  
MA H, LIU M, ZHENG X L, et al. Effects of freezing temperature and antifreeze protein from *Sabina chinensis* (Linn.) Ant. cv. Kaizuca leaves on structure and physicochemical properties of frozen wheat starch[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2022, 43(3): 35-42.
- [62] 刘玫, 马豪, 郑学玲, 等. 植物抗冻蛋白特性及其在冷冻面团中应用研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2021, 42(4): 115-122.  
LIU M, MA H, ZHENG X L, et al. Research progress on characteristics of antifreeze proteins from plants and its application in frozen dough[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2021, 42(4): 115-122.
- [63] 嵯悦, 张士凯, 王敏, 等. 冷冻面团的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(4): 177-184.  
ZHUO Y, ZHANG S K, WANG M, et al. Research progress of frozen dough [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(4): 177-184.
- [64] 姜丽华, 应欣, 谷静涵, 等. 食品添加剂在面包中的应用研究进展[J]. 粮食加工, 2021, 46(5): 21-25.  
JIANG L H, YING X, GU J H, et al. Research progress on the application of food additives in bread[J]. Grain Processing, 2021, 46(5): 21-25.
- [65] 金鑫, 廖卢艳, 樊少飞, 等. 复配品质改良剂对南方馒头冷冻面团冻藏品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(4): 6-11.  
JIN X, LIAO L Y, FAN S F, et al. Effect of compound quality improver on the frozen quality of frozen dough for southern-style steamed bread [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(4): 6-11.
- [66] 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, 39(16): 79-87.  
HUANG G D, HUANG W Z, ZHONG X F, et al. Effect of compound improver on the quality of frozen dough steamed bread [J]. Food Research and Development, 2018, 39(16): 79-87.
- 
- (上接第 43 页)
- [9] MAO X J, ZHONG Y, YAN A P, et al. Simultaneous determination of organochlorine and pyrethroid pesticide residues in the Chinese patent medicines by gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Environ Sci Heal B, 2017, 54(2): 126-134.
- [10] VAISHNAV L, CHANDAN R S, REDDY M, et al. Analytical and bio-analytical method development and validation of dichlorvos pesticide using RP-HPLC method[J]. Int J Pharm Sci & Res, 2020, 11(4): 5 650-5 658.
- [11] 沈霞. 分散固相萃取/超高效液相色谱-串联质谱法测定食用菌中 19 种杀虫剂、杀菌剂及其代谢物[J]. 分析测试学报, 2020, 39(9): 1 105-1 111.  
SHEN X. Determination of 19 insecticides, fungicides and their metabolites in edible fungi by ultra performance liquid chromatography - tandem mass spectrometry with dispersed solid phase extraction[J]. J Instr Anal, 2020, 39(9): 1 105-1 111.
- [12] 张璇, 王娜娜, 马瑞莹, 等. 高效液相色谱-质谱联用仪测定食用菌中甲胺磷、乙酰胺磷、甲拌磷及其衍生物等 5 种有机磷农药残留量[J]. 农药科学与管理, 2022, 43(4): 53-60.  
ZHANG X, WANG N N, MA R Y, et al. Simultaneous determination of five organophosphorus pesticides residues in edible fungi by high performance liquid chromatography-mass spectrometry[J]. Pesticide Science and Administration, 2022, 43(4): 53-60.
- [13] 陈锦杭, 冯城婷, 林秋凤, 等. QuEChERS-固相萃取-气相色谱/四极杆飞行时间质谱法快速测定牛奶中的 11 种有机磷[J]. 中国乳品工业, 2021, 49(1): 51-54.  
CHEN J H, FENG C T, LIN Q F, et al. Rapid determination of eleven organic phosphorus in milk by QuEChERS-SPE coupled with gas chromatography-quadrupole time of flight mass spectrometry[J]. China Dairy Industry, 2021, 49(1): 51-54.
- [14] 邓颖, 林青兰, 杜伟锋, 等. 分散固相萃取-气相色谱-四极杆-飞行时间质谱法快速测定鲜鱼中的 5 种酚类麻醉剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(21): 8 488-8 493.  
DENG Y, LIN Q L, DU W F, et al. Rapid determination of five phenolic anesthetics in fresh fishes by dispersive solid phase extraction coupled with gas chromatography-quadrupole time of flight mass spectrometry[J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(21): 8 488-8 493.
- [15] 蔡振辉. QuEChERS 结合 GC-MS/MS 检测食用菌中 20 种有机磷农药的基质效应[J]. 亚热带农业研究, 2022, 18(2): 136-141.  
CAI Z H. Matrix effect of 20 kinds of organophosphorus pesticides in edible fungi by GC-MS/MS combined with QuEChERS [J]. Subtropical Agriculture Research, 2022, 18(2): 136-141.