

文章编号:2095-7386(2023)05-0026-08

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2023.05.004

面制品减盐技术及其应用

李婉冰¹, 蒋晓宇¹, 刘颖¹, 卢玥¹, 邹爱军², 伍金娥¹

(1. 武汉轻工大学 食品科学与工程学院, 武汉 430023; 2. 武汉慧康利兹食品有限公司, 武汉 432200)

摘要:食盐是食品工业和居民日常生活中广泛使用的调味品,具有提供咸味,改善食品风味、质构和延长食品货架期等作用。但摄入过量的食盐会增加患高血压、冠心病等心血管疾病的风险。因此,在不影响食品口味和品质的条件下,减盐不减咸是目前研究的热点。面制品作为我国居民的日常主食之一,尽快推进减盐策略的实施对居民的健康有着重要的促进作用。本文探讨食盐在面团形成中的作用以及减盐给面制品带来的挑战,同时重点综述了无机盐替代技术、亲水胶体减盐技术、酶处理减盐技术、氧化还原减盐技术等面制品减盐策略,以为减少居民膳食盐摄入量、提高居民的健康水平及开发减盐健康食品提供一定的技术参考。

关键词:面制品;减盐;替代盐;亲水胶体;酶;氧化剂与还原剂

中图分类号:TS 215

文献标识码:A

Salt reduction technology of flour products and its application

LI Wanbing¹, JIANG Xiaoyu¹, LIU Ying¹, LU Yue¹, ZOU Aijun², WU Jine¹

(1. School of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2. Wuhan Huikang Leeds Food Co., Ltd., Wuhan 432200, China)

Abstract: Salt is a condiment widely used in the food industry and residents' daily life, which has the functions of providing salty taste, improving food flavor, texture and extending the shelf life of food. However, excessive salt intake increases the risk of cardiovascular diseases such as high blood pressure and coronary heart disease. Therefore, under the condition of not affecting the taste and quality of food, salt reduction without salt reduction is a hot spot in current research. As one of the daily staple foods of Chinese residents, flour products must promote the implementation of its salt reduction strategy as soon as possible. This paper discusses the role of salt in dough formation and the challenges brought by salt reduction to flour products, and focuses on reviewing the salt reduction strategies of flour products, such as inorganic salt substitution technology, hydrocolloidal salt reduction technology, enzymatic treatment salt reduction technology, redox salt reduction technology, etc., in order to provide a certain technical reference for reducing residents' salt intake, improving resident's health level and developing salt reduction healthy foods.

Key words: flour product; salt reduction; salt substitute; hydrophilic colloid; enzyme; oxidants and reducing agents

收稿日期:2023-09-25.

作者简介:李婉冰(1998-),女,硕士研究生,研究方向为食品质量与安全。E-mail:2439584618@qq.com.

通信作者:伍金娥(1977-),女,博士,教授,硕士生导师,研究方向为食品质量与安全控制技术。E-mail:wujinec@163.com.

基金项目:武汉慧康利兹食品有限公司委托项目(编号:whpu-2022-kj-304).

1 引言

食盐的主要成分是氯化钠(NaCl),具有咸味,被广泛用于食品工业和居民日常饮食。氯化钠是人体必需电解质之一,钠离子在维持人体内血浆容量、酸碱平衡、神经冲动传递和正常细胞功能中发挥着重要的作用^[1]。食盐是食品加工中必不可少的辅料,能够通过增加咸味和整体风味,抑制人们对食品中苦味的感知^[2]。此外,食盐对食品加工特性及特有品质的形成也具有重要作用。因此,食盐一方面能够赋予食品风味、改善保水性、提高加工品质;另一方面,食盐可以作为食品防腐保鲜助剂提高食品的贮藏品质,抑制有害微生物和腐败菌的生长,从而延长货架期^[3]。

虽然食盐在食品中发挥着重要的作用,但人若过量摄入会导致高血压、心肌梗死、中风及其他慢性疾病。减少盐的摄入可以降低血压、中风和心血管疾病的风险。研究表明,过量的钠摄入还会导致骨质疏松症、肾衰竭和胃癌^[4]。目前我国人均食盐摄入量约为 11g/d,是世界卫生组织和《中国居民膳食指南(2022)》推荐每日食盐摄入量(5 g)的 2 倍以上^[5]。过高的食盐摄入量严重危害着人体健康,

因此,世界卫生组织商定了一项自愿全球卫生战略:到 2025 年将人口平均盐摄入量减少 30%,以此改善人体健康^[6]。食品行业 and 消费者都认识到降低饮食中钠含量的必要性,但由于钠在食品中所起作用的复杂性,在实现钠含量低于政府目标的加工食品方面仍然存在挑战^[7]。

在许多国家,盐大多来自调味品(酱油、鸡精、味精等),加工食品(如即食食品、腊肉、火腿、香肠等加工肉类、奶酪、咸味小吃等),或通常大量食用的食物(如面包、面条、饼干等)。我国不同区域居民的食盐摄入量来源如表 1 所示。以小麦为原料生产的面制品是我国居民主要的日常主食之一,且面制品种类繁多,为了在面制品生产中形成良好的面筋结构来赋予产品独特的加工性能,很多产品会涉及到食盐的使用,因此,关注面制品中的减盐问题对于我国整体减盐对策的实施是有必要的。本文对食盐在面团形成中的作用以及减盐给面制品带来的挑战进行了讨论,同时重点综述了无机盐替代技术、亲水胶体减盐技术、酶处理减盐技术、氧化还原减盐技术等面制品减盐策略,以期减少居民膳食中盐的摄入量,提高居民的健康水平及开发减盐健康食品,提供一定的技术参考。

表 1 我国不同区域居民食盐摄入来源^[8]

Table 1 Sources of salt intake for residents in different regions of China

食物组	大城市		中小城市		普通农村		贫困农村	
	占比/%	顺位	占比/%	顺位	占比/%	顺位	占比/%	顺位
盐	57.3	1	65.4	1	70.8	1	75.2	1
酱油	9.7	2	8.9	2	7.8	2	5.6	2
面类	5.4	4	5.3	3	5.1	3	5.5	3
味精/鸡精	6.6	3	4.5	4	4.1	4	4.0	4
蔬菜	3.2	6	2.8	5	2.1	5	2.5	5
畜肉	3.4	5	2.2	6	1.8	6	1.5	6

注:表中数据来源于中国疾病预防控制中心营养与健康所中国营养学会编著的《中国食品工业减盐指南》,2020.

2 食盐在面团形成中的作用与减盐对面制品带来的挑战

2.1 食盐在面团形成中的作用

2.1.1 改善面团流变学特性

食盐可使面团的强度明显提高,可增加面团承受的拉力。钠离子和氯离子分布在面筋蛋白周围可以固定水分,有利于面筋蛋白快速吸水以形成彼此联系更加紧密的面筋结构,使面筋的弹性和延伸性得到加强^[9]。王欣^[10]研究证实,1.5%~2%的 NaCl 对面团的抗拉伸性能和稳定性有明显

改善。NaCl 可以促进面粉与水更快结合,并增加面团的筋力和延展性。Day^[11]研究发现,添加 NaCl 会增强面团的弹性和稳定性,减少面团的黏性,使其更容易处理。结果表明 NaCl 能增强面团的弹性和延展性,改善食品质地,增强了面团的加工性能^[12]。总之,加入 NaCl 一方面能够提高面团的强度,增强面筋的弹性和延伸性;另一方面也明显改善了面团的抗拉伸性和稳定性,减少了面团的黏性。

2.1.2 改变面筋结构

如图 1 所示^[13],食盐的加入可以改善面团面筋的空间结构,增强韧性,使面团弹性变得更加理性,

有助于面团组织延伸和体积的增加^[14]。食盐还是面制品重要的改良剂,适量的食盐可以延长面团形成时间,提高耐搅拌性,优化面筋网络结构^[15]。张毅^[16]研究发现,适量添加食盐可促进氢键的形成,当食盐添加量为 2% 时,可以使面筋蛋白构象发生改变。Hu^[17]研究表明,含盐量小于 3% 时,随着含盐量的增加,面团的成型时间、稳定时间逐渐增大,且内部网络结构随着盐含量的增加而细化。McCann^[18]等研究发现,食盐对面团网络结构形成产生一定的影响。随着食盐添加量(2% 以下)的增加,抑制了面筋蛋白的水合速度,面团形成时间延长,加盐面团中形成更多纤维状的面筋网络结构,提高面团的筋力。

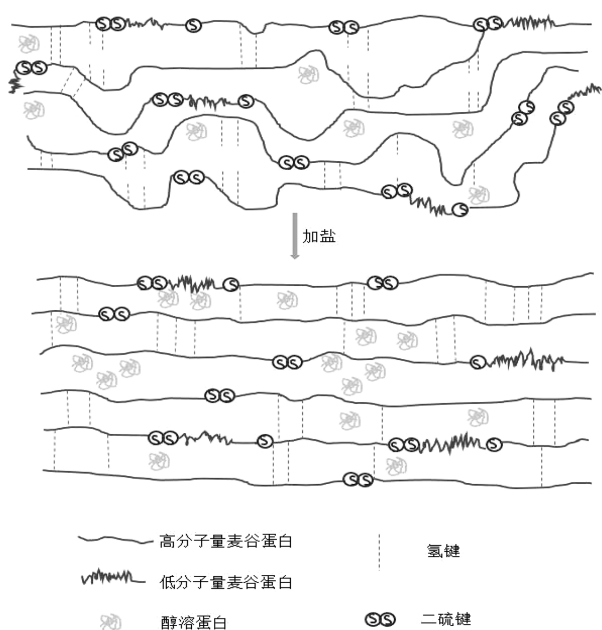


图 1 加盐后面筋网络结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of gluten network structure before and after adding salt

2.1.3 调节面团发酵

面团发酵过程中有复杂的微生物活动与化学变化,酵母在面团中生长繁殖,产生大量的二氧化碳气体和其他成分,使面团膨松而富有弹性,并赋予产品特殊的色、香、味及多孔性结构。发酵过程中形成的乳酸和醋酸会使面团的酸度发生一定的变化,一定程度上能够改善其口感和风味。食盐对面团的发酵存在一定的抑制作用,主要是食盐提高了渗透压,抑制了酵母菌的生长繁殖,减弱了酵母的新陈代谢,从而减少了酸的产生^[14]。Wang^[19]研究表明,食盐(1%~2%)可以增强小麦面粉面团的混合耐受性、延长发酵时间。

2.1.4 改善面团色度

食盐具有渗透作用,可以调节面筋,使其内部产生细密的组织结构,让光线很容易透过较薄的组织壁膜,使食品色泽较为白亮。研究表明,与未添加食盐的全麦面片相比,添加食盐组全麦面片的亮度较高,可能是因为食盐的添加优化了面筋蛋白结构,麸皮均匀分布其中使面片亮度增强^[15]。

2.2 减盐对面制品带来的挑战

2.2.1 影响食品质地及感官品质

NaCl 可以改善食品的整体香气和风味,增强甜度,并掩盖苦味。因此 NaCl 的减少将会给食品质地及感官品质带来一定的负面影响。不充足的 NaCl 会导致面包颗粒疏松,质地变差,影响口感。NaCl 的减少还会引起面团的酸味或酵母味,从而引起不良风味。在较低剂量的 NaCl 下,面团发酵速率加快,不成比例地扩大气泡,损害产品质地^[20]。在甜饼干中,减少 NaCl 会降低水活性并影响产品的质地,减盐饼干与普通饼干相比,内部产生的气泡更大、更多,且硬度降低,最终使饼干易碎^[21]。

2.2.2 影响面团的加工特性

NaCl 可以提高小麦粉面团的稳定时间、拉伸阻力、最大拉伸阻力,降低小麦粉面团的吸水率和延伸性,是面制品加工中必不可少的成分^[22]。NaCl 的添加在面包制作过程中起着关键作用,除感官影响外,减少或去除盐会对面团的性能和面包的质量造成一些负面影响,例如面团的混合阻力和强度降低,面团黏性降低,面团松散不易成形等^[23]。减盐对面团的加工性能有一定的负面影响,使面制品在加工过程中的操作难度加大,并且影响食品品质。

2.2.3 影响面团发酵

NaCl 在面团发酵过程中起着重要作用,NaCl 的添加可以使面团实现更好的发酵,从而利于面制品的加工。而 NaCl 添加量的减少会导致酵母繁殖过快、面团发酵速度过快、酵母产气量增加,从而使面团发生“过度发酵”,之后面团破裂、跑气、塌陷,导致其制品组织不均匀,有大气孔,表面粗糙无光泽^[24]。Israr^[25]等的研究证实,如果 NaCl 含量降低到最佳水平以下,就会导致酵母生长加快,发酵速度加快,使生产的面包质地变差。

3 面制品减盐的策略

3.1 无机盐替代技术

一些金属元素(如钾、钙等)与钠元素具有类似的理化性质,采用这类咸味矿物盐部分替代氯化钠

是一种广泛使用的减盐策略,包括金属离子的盐酸盐、乳酸盐和磷酸盐等^[26]。过量添加钾盐、钙盐、镁盐等会导致不良风味的引入。因此,在不影响产品接受度的前提下采用替代盐达到减盐效果有待进一步研究,表 2 阐释了替代盐的优缺点及应用。

低钠盐(氯化钾+氯化钠)被认为是一种有前景的钠替代品,有研究表明,低钠盐的加入显著提高了面团的稳定性、发酵时间和拉伸面积,降低了面团的吸水率。总体而言,低钠盐有效地改变了面团的物理化学和流变学性质,其方式与 NaCl 和 KCl 非常相似^[27]。因此,在面团成型过程中添加低钠盐是缓解高钠的可行途径。Tan^[28]研究了 NaCl 和商品盐替代品(SS2 和 SS4)对生面团和白盐面(WSN)的影响,SS2 由氯化钾、海盐和米粉组成;SS4 由氯化钾、重酒石酸钾、己二酸、二氧化硅、矿物油和富马酸组成,结果表明:同时加入 NaCl 和 SS 的面团微观结

构呈现出更致密、连续的面筋网络结构;添加 1.5% 的 NaCl、1% 的 SS2 和 SS4 比添加其他浓度的盐具有更好的品质,可以替代 NaCl。Reißner 等^[29]观察到,用 KCl 替代 50% 的 NaCl 不会影响面团的加工性能和面包的感官,最终的产品与标准产品相似。此外,该研究还评估了钙和镁盐的效果。添加少量的氯化镁(0.15 g/100 g 面粉)不影响面包的特性,可以作为增加风味的良好替代品。在配方中加入 CaCl₂ 会削弱面团的蛋白质结构,从而使面包体积更大,外壳和面包屑更柔软。根据 Kral^[30]等的研究,用海盐和 SS 代替 0.15%~0.4% 的 NaCl 可以得到比 NaCl 更软的酵母发酵面团。这是由于 NaCl 的取代对面筋蛋白构象的削弱作用,也导致面团吸水率提高。以上研究表明,替代盐可以达到减盐效果,当然人们对其安全性存在争议,可以作进一步探究。

表 2 不同替代盐的优缺点及应用

Table 2 Advantages and disadvantages of different salt substitutes and their applications

替代盐	优点	缺点	应用
氯化钾	传递咸味效果最好	在高浓度下,通常会导致苦味、金属味,特定人群不能过多摄入钾离子	(1)披萨饼皮中 KCl 代替 30% NaCl,不会显著降低咸味 ^[31] 。(2)面包中 KCl 替代 37.5% NaCl 具有与对照面包样品相似的感官特性,且对面团特性(延展性、黏性)没有显著影响 ^[32] 。
氯化钙	人体钙源	在高浓度下,通常会导致刺激性涩味和金属味	(1)用 1:1 比例的 CaCl ₂ 和 CaCO ₃ 代替 50% NaCl 后,面包的质地、感官和颜色属性与对照面包相似 ^[33] 。(2)含 Na ⁺ 和 Ca ²⁺ (1.0%) 的阿拉伯木聚糖预水合掺入可使面包含盐量降低 30% ^[34] 。
氯化镁	调节人体元素平衡	在高浓度下,通常会导致苦味、化学味和金属味	(1)添加少量的氯化镁(0.15 g/100 g 面粉)不影响面包的特性,可以作为增加风味的良好替代品 ^[35] 。(2)用氯化镁、硫酸镁和氯化钾的混合物代替 32% 的氯化钠生产黑面包 ^[36] 。
磷酸盐	螯合金属离子、稳定 pH、促进面筋网络结构形成、增强持水性	影响钙的吸收,引起骨质疏松	(1)复合磷酸盐降低了面团的吸水率,提高了其形成时间和稳定时间 ^[37] 。(2)磷酸盐的加入促进了面筋网络的形成,增强了面团的弹性和韧性,降低了断条率,并且面条的味道变好 ^[9] 。
碳酸盐	改善了面团混合稳定性、强度、延展性和弹性	增加面条的烹饪损失	(1)碱性盐(Na ₂ CO ₃ +K ₂ CO ₃)的加入增加了面条的硬度、胶着性、回复性、黏聚性和咀嚼性 ^[38] 。(2)添加复合碳酸盐后的小麦粉面团拉力明显增加,延伸度下降 ^[39] 。

3.2 亲水胶体减盐技术

亲水胶体是食品工业中最常见的成分之一,用于增稠、凝胶形成、乳化和稳定,广泛应用于面包、馒头、面条、黄层饼等食品中。替代盐的一个主要缺陷是给产品引入异味,对食品味道产生负面影响的同时严重影响消费者的感官体验。而亲水胶体减盐技

术的出现可以缓解此类问题,基于其在面团中发挥的有益作用,亲水胶体已被应用到减盐面制品中,改善因减盐带来的品质问题。

亲水胶体可以影响面筋蛋白、面团和面粉制品的结构和性质,极大地改善面团在发酵过程中的稳定性^[40]。胡子宁^[41]等研究表明,卡拉胶的添加有效

掩盖了 KCl 添加带来的金属苦涩味,在一定程度上改变了蒸煮后面条的色泽,同时提高了面条的硬度、弹性和咀嚼性,但对面条的最佳蒸煮时间无显著影响,且蒸煮后结构更为致密,在面条中实现了 50% 减盐。Tan^[42] 等研究表明,WSN(白盐面条)-SS(商品盐替代品)-水胶体的最佳蒸煮时间比 WSN-NaCl 短。WSN-SS2-LBG(刺槐豆胶)和 WSN-SS4-LBG 比 WSN-NaCl 的织构更坚固,微观结构更致密,钠含量更低,是 WSN-NaCl 的合适替代品。Li^[34] 等利用水溶性阿拉伯木聚糖(WEAX)与小麦粉不同混合方式实现盐在面包中不均匀分布从而达到减盐的目的。结果显示,将 WEAX 在盐水中预先水合可实现面包中盐的不均匀分布,可以减盐 20%。在面包面团中加入可水萃取的 WEAX,可以增强面筋分子与面团液相之间水的黏度,并对面团结构及其稳定性产生积极影响。同时,WEAX 的高黏度增强了面团气泡周围的谷蛋白淀粉膜的强度和弹性,从而减缓烘焙过程中面团内二氧化碳的扩散速度,最终获得更大的面包体积和更优的面包屑结构^[43]。亲水胶体的使用在面团形成中产生了积极影响,改善了食盐减少对面制品造成的不良影响,同时有效避免了化学添加剂的使用,是接受度较高的面制品减盐方法。

3.3 酶处理减盐技术

酶技术作为一种清洁工艺,能够提供低能耗及安全条件,与化学修饰不同,酶技术不影响小麦面筋的营养价值。酶是可生物降解的蛋白质,通常在烘焙过程中变性,它们是更优选的清洁标签,是化学试剂的良好替代品^[44]。因此,酶法处理在面制品减盐中有较为广阔的前景。

酶的使用可提高面筋网络的持水能力,增强面团的柔软性、延展性、黏弹性和流变特性,并改善面团和面包质量^[45]。面团中引入酶,可以实现面团的水合作用来优化面包的制作过程,改善面包的风味、体积、质地、面包屑孔隙的大小和面包皮的质量^[46]。Hopkins^[47] 等研究表明,有机酸的添加增加了面团的黏性,降低了面团强度,而加入葡萄糖氧化酶能够减轻对面团流变性和黏性的一些影响,可将其作为低钠面包改良剂使用。Dellaney^[48] 等发现,氧化酶的加入产生了更强的面团,其中添加 HOX(己糖氧化酶)的面团具有最低的黏度值,而添加 GOX(葡萄糖氧化酶)的面团具有最高的阻力与延伸性。总体而言,通过添加氧化酶(GOX 和 HOX)观察到了优异的面团加工性能,这表明发生的交联增加可以帮

助改善低钠面包面团的性能。Hopkins^[49] 等研究了转谷氨酰胺酶(TG)和葡萄糖氧化酶(GO)对模拟面包面团加工特性的影响,表明添加 GO(0.001%和 0.01%)或 TG(0.5%)可提高面团强度,降低黏性。在同等浓度下,GO 比 TG 更有效地改善面团处理特性,如降低黏性、提高在较低盐浓度下生产的面包面团的强度。因此,酶处理是面制品减盐的有效方法,并且酶作为清洁标签替代化学添加剂有非常广阔的应用前景。

3.4 氧化剂还原剂减盐技术

氧化剂是指能够增强面团筋力、改善面粉色泽、促进面粉成熟,使面团具有良好的弹性、韧性和持气性的一类物质。面团增筋剂、面粉增白剂、面粉熟化剂均是以氧化剂为主的一类产品。还原剂是指能够降低面团筋力,使面团具有良好的可塑性和延伸性的一类化学合成物质。面团中常用的还原剂有 L-半胱氨酸和焦亚硫酸钠等。

氧化剂可以提供更大的面包体积和更软的面包屑,并改进面包屑的结构,主要反应是游离 SH 基团氧化为 SS,增加蛋白质之间交联的数量,L-抗坏血酸(AA)是一种还原剂,通过其氧化产物脱氢-L-抗坏血酸(DHA)发挥类似于氧化剂的作用。研究发现,少量的添加 AA 可引起面团强度的显著增加,使面包的体积比对照组高出 20%^[50]。还原剂的作用原理是与面团中的 SS 键反应,使其断裂,同时还还原为 SH 基团,还原剂 L-半胱氨酸和焦亚硫酸钠具有相似的性质,可以减少面团的发育时间和稳定性,增加面团的延展性,并改善产品的形状和品质^[50]。Ooms^[51] 等在研究多层糕点面团分层时发现,氧化剂不仅能显著提高面团的强度,对层的完整性和层厚均匀性有积极的影响,而且还能增强层压和发酵过程中的面团后坐力。对此,将氧化还原剂应用于减盐面制品可以改善减少食盐而造成的负面影响。值得注意的是,随着生活水平的提高,人们对食品添加剂的安全性有了更深层次的要求,如溴酸钾作为一种强氧化剂,在面团发酵、醒发、烘焙过程中起着慢性氧化的作用,能与小麦蛋白的面筋组织发生反应,增加面筋的强度和弹性,形成良好的面筋网络,从而显著改善面粉的烘焙效果^[52],但研究发现,溴酸钾具有一定的毒性和致癌作用,现已被禁用。因此,在面制品减盐的同时更要考虑其健康安全性。

4 总结与展望

不可否认,添加食盐可以在面团形成过程中发

挥重要作用。然而高盐饮食不仅与心血管疾病密切相关,还会导致自身免疫系统破坏、肠道菌群紊乱等诸多健康问题,开发低盐面制品有利于我国居民的健康。为此,我国已经制定了面制品减盐的规划和目标(表 3)。

表 3 我国面制品减盐目标和阶段规划^[8](单位:mg/100g)

Table 3 Salt reduction target and stage planning of flour products in China (unit:mg/100 g)

食品分类	2016 年现状		2025 年目标		2030 年目标	
	平均钠含量	最大钠含量	平均钠含量	最大钠含量	平均钠含量	最大钠含量
面包	321	1 091	290	980	260	870
方便面	1 930	2 894	1 740	2 600	1 540	2 320
挂面	515	1 200	460	1 080	410	960
速冻饺子	432	621	390	560	350	500
膨化食品	1 002	2 440	900	2 200	810	1 950
糕点	189	1 000	170	900	150	800
饼干	667	2 148	600	1 940	540	1 720

注:表中数据来源于中国疾病预防控制中心营养与健康所中国营养学会编著的《中国食品工业减盐指南》,2020。

值得注意的是,贸然减盐会给面制品带来诸多挑战,当前的减盐方法各有特点,减少食盐添加量最为直接、简便,但该方法对食品整体可接受性影响较大。非钠盐替代的研究较为成熟,但其添加易产生不良风味,降低产品的可接受性,同时存在安全性争议问题。其中水胶体替代法和酶处理减盐有较好的效果。对于面制品减盐来说,上述方法有较为广阔的发展前景。今后的研究应该加强以下几个方面:(1)开发面制品非无机盐替代减盐新技术,尽可能保留加工产品的风味和品质;(2)推进联合方法的实施,获得更优质量的减盐产品;(3)在减盐的同时赋予产品更丰富的营养价值,使其满足人们日常的营养需求;(4)采用喷雾技术,制备更具咸味的中空盐。

参考文献:

[1] 公奕夫,李星,刘斌等. 基于固体食盐结构及成分设计的减盐策略及其研究进展[J]. 食品科学,2023,44(9):202-210.

[2] Monteiro A R G, Nakagawa A, Pimentel T C, et al. Increasing saltiness perception and keeping quality properties of low salt bread using inhomogeneous salt distribution achieved with salt agglomerated by waxy starch[J]. LWT-Food Science & Technology,2021,146:111451.

[3] 张彦慧,郑红霞,刘楠等. 胶体结构设计在减盐食品中的应用[J]. 食品科学,2022,43(1):213-222.

[4] Cheng Y, Tristan L, Tsai M L, et al. Spray-dried chitosan/acid/NaCl microparticles en-

hance saltiness perception[J]. Carbohydrate Polymers,2017,172:246-254.

[5] 王琦,娄海伟,赵仁勇等. 酵母抽提物对面团、面片和减盐挂面品质的影响[J/OL]. 河南工业大学学报(自然科学版):1-14[2023-05-18]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail41.1378.N.20230518.112.002.html>.

[6] Zhang L L, Gould J, Wolf B, et al. Formulation engineering of water-in-oil-in-water emulsions for salt reduction with sucrose oleate as a PGPR-alternative lipophilic emulsifier[J]. Food Structure 2023,35:100309.

[7] Chiu N, Hewson L, Fisk I, et al. Programmed emulsions for sodium reduction in emulsion based foods[J]. Food & Function, 2015, 6(5):1428-1434.

[8] 中国疾病预防控制中心营养与健康所,中国营养学会. 中国食品工业减盐指南[M]. 北京:人民卫生出版社,2019.

[9] 张梦迪,陆启玉. 不同盐的添加对面条品质影响的研究进展[J]. 中国调味品,2020,45(3):176-179.

[10] 王欣,刘宝林,苏朋等. 食品添加剂对面团流变学特性影响的初步实验研究[J]. 食品科学,2006(10):171-173.

[11] Day L. Cereal Food Production with Low Salt[J]. Encyclopedia of Food Grains (Second Edition),2016,3:396-402.

[12] Wang X, Liang Y, Wang Q, et al. Rheologi-

- cal properties of wheat dough mediated by low-sodium salt [J]. *Food hydrocolloids*, 2023, 137: 108432.
- [13] Tuhumury H, Small D, Day L. The effect of sodium chloride on gluten network formation and rheology [J]. *Journal of Cereal Science*, 2014, 60(1): 229-237.
- [14] 朱妞, 郑成红. 面包面团发酵性能研究 [J]. *中国果菜*, 2020, 40(4): 12-15.
- [15] 蔡梦迪, 沈春霞, 李玉辉等. 食盐对石磨全麦粉及其挂面品质的影响 [J]. *食品工业科技*, 2023, 44(3): 102-107.
- [16] 张毅. 制面过程小麦面团特性及面筋网络结构影响机理的研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2021.
- [17] Hu Y, Wei J, Chen Y. The impact of salt on the quality of fresh wheat noodle [J]. *Acta Universitatis Cibiniensis*, 2017, 21(2): 53-61.
- [18] McCann T H, Day L. Effect of sodium chloride on gluten network formation, dough microstructure and rheology in relation to breadmaking [J]. *Cereal Chemistry*, 2013, 57: 444-452.
- [19] Wang J R, Guo X N, Xing J J, et al. Revealing the effect mechanism of NaCl on the rheological properties of dough of Chinese traditional hand-stretched dried noodles [J]. *Food Chemistry*, 2020, 320 (Aug. 1): 126606.
- [20] Ferrari G T, Proserpio C, Stragliotto L K, et al. Salt reduction in bakery products: A critical review on the worldwide scenario, its impacts and different strategies [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2022, 129: 440-448.
- [21] Ayed C, Lim M, Nawaz K, et al. The role of sodium chloride on the sensory and physicochemical properties of sweet biscuits [J]. *Food Chemistry X*, 2021, 9: 100115.
- [22] 邢亚楠, 张影全, 刘锐等. 无机盐对小麦粉面团流变学特性的影响 [J]. *中国食品学报*, 2016, 16(9): 77-86.
- [23] Chen G J, Hu R J, Li Y H. Potassium chloride affects gluten microstructures and dough characteristics similarly as sodium chloride [J]. *Journal of Cereal Science*, 2018, 82: 155-163.
- [24] Silow C, Axel C, Zannini E, et al. Current status of salt reduction in bread and bakery products-A review [J]. *Journal of Cereal Science*, 2016, 72: 135-145.
- [25] Israr T, Rakha A, Sohail M, et al. Salt reduction in baked products: Strategies and constraints [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 51: 98-105.
- [26] 公奕夫, 李星, 刘斌, 等. 基于固体食盐结构及成分设计的减盐策略及其研究进展 [J]. *食品科学*, 2023, 44(9): 202-210.
- [27] Wang X H, Liang Y, Wang Q, et al. Effect of low-sodium salt on the physicochemical and rheological properties of wheat flour doughs and their respective gluten [J]. *Journal of Cereal Science*, 2021, 102: 103371.
- [28] Tan H L, Tan T C, Easa A M. Effects of sodium chloride or salt substitutes on rheological properties and water-holding capacity of dough and hardness of noodles [J]. *Food Structure*, 2020, 26: 100154.
- [29] Reißner A M, Wendt J, Zahn S, et al. Sodium-chloride reduction by substitution with potassium, calcium and magnesium salts in wheat bread [J]. *Lebensmittel Wissenschaft Und Technologie*, 2019, 108: 153-159.
- [30] Kral M, Pospiech M, Behalova H, et al. Substitution of sodium chloride by salt microspheres in dough: Effect on dough rheological properties [J]. *Journal of texture studies*, 2018, 49(4): 456-463.
- [31] Mueller E, Koehler P, Scherf A K. Applicability of salt reduction strategies in pizza crust [J]. *Food Chemistry*, 2016, 192: 1116-1123.
- [32] Sayar S, Erdo ğdu F, Eydemir G, et al. Partial substitution of sodium chloride by potassium chloride in bread: effect on dough and bread properties [J]. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 2016, 8(4):

- 609-615.
- [33] Bassett M N, Perez-Palacios T, Cipriano I, et al. Development of bread with NaCl reduction and calcium fortification: study of its quality characteristics. [J]. Journal of Food Quality, 2014, 37(2): 107-116.
- [34] Li Y L, Han K N, Feng G X, et al. Salt reduction in bread via enrichment of dietary fiber containing sodium and calcium [J]. Food & Function, 2021, 12(6): 2660-2671.
- [35] Reißner A, Wendt J, Zahn S, et al. Sodium-chloride reduction by substitution with potassium, calcium and magnesium salts in wheat bread [J]. LWT, 2019, 108: 153-159.
- [36] Charlton E, Macgregor E, Vorster N H, et al. Partial replacement of NaCl can be achieved with potassium, magnesium and calcium salts in brown bread. [J]. International journal of food sciences and nutrition, 2007, 58(7): 508-521.
- [37] 刘紫鹏. 冷冻熟面品质改良研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.
- [38] 范会平, 陈月华, 卞科等. 碱性盐对面团流变特性及面条品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(4): 97-103.
- [39] 石林凡, 陈洁, 吕莹果等. 复合碳酸盐对拉面面团延伸性影响研究[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(3): 59-62.
- [40] Zhang H, Liu S, Feng X, et al. Effect of hydrocolloids on gluten proteins, dough, and flour products: A review [J]. Food research international (Ottawa, Ont.), 2023, 164: 112292.
- [41] 胡子宁, 麦世学, 鲁伟, 等. 卡拉胶对低钠面条品质的影响[J]. 南方水产科学, 2022, 18(2): 90-97.
- [42] Tan H L, Tan T C, Easa A M. The use of selected hydrocolloids and salt substitutes on structural integrity, texture, sensory properties, and shelf life of fresh no salt wheat noodles-Science Direct [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 108: 105996.
- [43] Koegelenberg D, Chimphango A F A. Effects of wheat-bran arabinoxylan as partial flour replacer on bread properties [J]. Food Chemistry, 2017, 221(Pt. 2): 1606-1613.
- [44] Kiana P, Elahe A. Enzymatic modifications of gluten protein: Oxidative enzymes [J]. Food Chemistry, 2021, 356: 129679.
- [45] Dahiya S, Bajaj B K, Kumar A, et al. A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making [J]. Process biochemistry, 2020, 99(1): 290-306.
- [46] Houben A, Höchstötter A, Becker T. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview [J]. European Food Research and Technology, 2012, 235(2): 195-208.
- [47] Hopkins E J, Hucl P, Scanlon M G, et al. Effects of glucose oxidase and organic acids on the properties of a model low sodium dough prepared from Harvest and Pembina CWRS wheat [J]. Journal of Cereal Science, 2019, 89: 102802.
- [48] Dellaney K, Pierre H, et al. Enzymatic cross-linking to improve the handling properties of dough prepared within a normal and reduced NaCl environment [J]. Journal of texture studies, 2020, 51(4): 567-574.
- [49] Hopkins E J, Hucl P, Scanlon MG, et al. Effect of enzymatic crosslinking on the Handling property of the levering property as a function of NaCl levels for CWRS types, Pembina and Harvest [J]. Journal of Texture Studies, 2019, 50(4): 350-358.
- [50] Cauvain S P. The use of redox agents in breadmaking [J]. Breadmaking (Third Edition), 2020, 13: 391-413.
- [51] Ooms N, Pareyt B, Jansens J K, et al. The impact of redox agents on further dough development, relaxation and elastic recoil during lamination and fermentation of multilayered pastry dough [J]. Journal of Cereal Science, 2017, 75: 84-91.
- [52] 顾建华. 面粉中溴酸钾的气相色谱测定[J]. 粮食储藏, 2020, 49(5): 45-50.