

肉制品中减盐替盐研究进展

张琳静¹, 范雯清¹, 宋思羽¹, 郝建雄², 淑英^{1*}

¹河北农业大学食品科技学院, 河北 保定

²河北科技大学食品与生物学院, 河北 石家庄

收稿日期: 2025年4月10日; 录用日期: 2025年5月13日; 发布日期: 2025年5月22日

摘要

高盐饮食已成为公共卫生领域的重大危机, 过量摄入食盐会增加高血压风险以及心血管疾病死亡率。在“健康中国”战略及“体重控制年”活动背景下, 降低食盐摄入量对防治疾病及体重控制意义重大。我国居民膳食中约有16%~25%的钠盐来源于肉类和肉类产品, 传统加工肉制品含盐量较高。因此, 降低钠含量摄入并且采用合适的减盐替盐方法用于加工肉制品行业是当前的重中之重。本文综述了目前主要应用在肉制品中的减盐替盐策略, 阐述了氯化钾替代、咸味肽替代、酵母提取物替代以及其他替代方法在肉制品中的研究进展, 并对其未来发展进行展望, 旨在为低盐肉制品研发提供理论依据, 实现低盐肉制品从“减盐不减味”到“减盐更美味”的跨越, 推动全球公共卫生目标及食品产业升级。

关键词

肉制品加工, 氯化钠, 低盐, 减盐技术, 研究进展

Research Progress on Salt Reduction and Salt Substitution in Meat Products

Linjing Zhang¹, Wenqing Fan¹, Siyu Song¹, Jianxiong Hao², Ying Shu^{1*}

¹College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding Hebei

²College of Food Science and Biology, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei

Received: Apr. 10th, 2025; accepted: May 13th, 2025; published: May 22nd, 2025

Abstract

High-salt diets have become a major public health crisis, and excessive salt intake increases the risk of hypertension and mortality from cardiovascular disease. In the context of the “Healthy China”

*通讯作者。

文章引用: 张琳静, 范雯清, 宋思羽, 郝建雄, 淑英. 肉制品中减盐替盐研究进展[J]. 食品与营养科学, 2025, 14(3): 398-405. DOI: 10.12677/hjfn.2025.143045

strategy and the “Year of Weight Control” campaign, reducing salt intake is of great significance for disease prevention and weight control. About 16% to 25% of the sodium in the diet of China’s residents comes from meat and meat products, and traditional processed meat products are high in salt. Therefore, reducing sodium intake and adopting appropriate salt reduction and salt replacement methods for the processed meat industry is a top priority. In this paper, we reviewed the salt reduction and salt substitution strategies mainly applied in meat products, described the research progress of potassium chloride substitution, salty peptide substitution, yeast extract substitution, and other substitution methods in meat products, and looked forward to their future development. The aim is to provide a theoretical basis for the research and development of low-salt meat products, to realize the leap from “less salt, no less flavor” to “less salt, more flavor”, and to promote the global public health goal and the upgrading of the food industry.

Keywords

Meat Product Processing, Sodium Chloride, Low Salt, Salt Reduction Technology, Research Progress

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

随着“健康中国”战略的深入推进,我国健康委员会等16个部门于2024年共同开展为期三年的“体重控制年”活动,其核心目标是通过普及全民参与的健康生活方式,降低超重肥胖率及相关慢性病风险。这一行动明确提出“平衡膳食、总量控制”的指导原则,并将减盐作为实现健康体重的重要抓手。在此大背景下,降低食盐摄入量作为防治高血压和心血管疾病的重要措施,与体重控制具有协同作用。世界卫生组织研究表明,我国居民日平均盐摄入量远远超过建议值,而肉制品作为高盐食品的代表,其加工环节的钠盐贡献率高达20%~30%。在此背景下,如何实现在肉制品领域减盐替盐的技术突破,不仅符合我国人民的健康战略,也是我国食品产业转型升级的重要任务。

近年来,肉制品减盐策略呈现多元化发展:其一,钠盐替代品如氯化钾、磷酸钾、乳酸盐等通过离子互补作用实现钠含量降低,但易引发苦味、金属味等感官缺陷[1];其二,超高压等物理技术通过改变盐晶体分布或加速渗透,可在减盐30%的同时维持质构与风味[2];其三,酵母提取物等风味增强剂与膳食纤维复配使用,既能掩蔽异味又可提升咸味感知。值得注意的是,我国低盐肉制品研发仍面临关键技术瓶颈,如替代盐比例失衡导致产品货架期缩短,超高压设备成本高昂制约产业化应用,这亟需通过跨学科协同创新实现突破。随着“体重管理年”对食品工业减盐需求的强化,未来的研究需进一步量化减盐对体重管理的贡献度,探索个性化减盐策略,并建立覆盖“农田到餐桌”的全链条钠盐监控体系,最终形成可持续的健康膳食生态。本文系统回顾了国内外减盐技术的研究进展,旨在构建适合中国肉类加工业特点的减盐理论体系,为实现“三减三健”的国家健康目标提供科学依据。

2. 传统肉制品高盐摄入的健康风险

2.1. 全球高盐饮食引发的公共卫生危机

全球高盐饮食已成为公共卫生领域的一大危机。世界卫生组织指出,过量摄入钠每年导致全球约300万人死亡,占总死亡人数的5.3% [3]。作为世界上盐消费量最高的国家之一,中国的每日盐摄入量达到

10.5 克, 远远超过了世界卫生组织建议的 5 克限制。加工食品中“隐性盐”的贡献率持续攀升至 20% 以上, 位居全球前列[4]。流行病学研究证实, 膳食钠每增加 10 克/天, 高血压的风险就会增加 17%, 心血管疾病的死亡率就会增加 12%。儿童尤其容易受到伤害, 中国 7~13 岁儿童的每日盐摄入量为 5.8 克, 超过标准 93%, 严重时可能影响智力发育。区域饮食文化加剧了这场危机, 例如东亚的腌制传统、欧洲和美洲对加工食品的依赖, 以及发展中国家在经济转型期间的双重饮食负担。尽管许多国家采取了措施, 如英国自愿通过将面包盐含量降低 20% 来减少食品行业的盐摄入量、《健康中国行动(2019-2030)》明确将“成人每日盐摄入量降低 20%”作为核心目标, 并要求食品行业加快发展减盐技术[5], 南非实施了强制性钠含量上限政策, 将方便面中的盐含量降低了 18%, 芬兰的“低盐认证”制度将中风死亡率降低了 80%, 但全球只有 5% 的国家实施了两项或两项以上的强制性政策。

2.2. 肉制品中的高盐摄入状况及潜在消费量

我国居民膳食中约有 16%~25% 的钠盐来源于肉类和肉类产品, 肉制品中含盐量的高低对人们食盐的摄入总量有较大的影响。目前市场上销售的肉制品中盐的添加量多在 2.5%~3.0% 之间, 单份(100 g)钠含量在 600~750 mg 之间, 高含盐量很大程度上限制了我国传统肉制品的消费和食用。因此, 世界肉制品市场正向低盐化和功能性方向发展, 据 2023 年市场报告, 亚太地区的低盐肉制品年复合增长率预计达 8.2%, 远高于常规肉制品。我国居民购买低盐型肉类食品的消费意愿是普通肉类食品的 1.5 倍[6]。这促使肉制品企业寻找合适的减盐替盐方法来降低加工肉制品中盐的含量。

3. 减盐替盐技术的分类与研究进展

为了解决高盐肉类产品的安全问题, 人们提出了各种减盐和替盐策略。根据其不同的技术原理和作用机制, 现有的减盐技术可分为以下几类: 无机盐替代, 即通过钾和镁离子的化学替代降低钠含量; 咸味肽替代, 即利用生物酶解或发酵技术模拟或强化鲜咸味觉信号; 酵母提取物替代, 即依赖于天然成分的协同作用, 以实现盐的减少和效率的提高, 还有其他替代方式。目前的研究表明, 由于原材料成本和消费者可接受性等因素, 各种工艺在工业应用中具有互补的竞争模式。下文将分析和总结这几种替代方法, 为肉类产品中的盐替代提供理论依据。

3.1. 氯化钾替代

氯化钾(KCl)是目前使用最广泛的钠盐替代品。氯化钾替代盐是一种通过用氯化钾替代部分或全部盐来降低食物中钠含量的方法。氯化钾的咸味与食盐相似, 但钠含量较低, 因此成为一种有效的减盐策略。其减盐机制是用 K^+ 部分替代 Na^+ , 降低钠离子的浓度。

氯化钾的减盐替盐在食品行业中得到了广泛应用。在干腌肉制品中, 氯化钾部分替代氯化钠对风味不会产生明显变化, 并且可以降低总盐分和亚硝酸盐含量[7][8]。俞佳等人研究发现, 将氯化钾、乳酸钙和谷氨酸钙复配后替代氯化钠, 肉制品的食用品质同样未发生显著变化[9]。黄元相等人研究了用氯化钾替代氯化钠、大豆组织蛋白部分替代瘦肉、赤藓糖醇部分替代白砂糖的广味香肠。研究表明, 当在广味香肠中添加 7.0% 的大豆组织蛋白、30% 赤藓糖醇且氯化钾替代量 45% 时, 不仅保持了原有香肠的基本风味, 还减少了香肠热能值和钠盐含量。其中, 氯化钾的添加量对广味香肠的综合评分影响显著($P < 0.05$) [10]。氯化钾减盐替盐会对肉制品的质构有影响。刘峥等, 对氯化钾部分替代氯化钠的风干金鲳鱼进行了各种品质指标的测定。试验结果表明, 氯化钾替代氯化钠的最佳比例为 30%, 并且随着氯化钾替代比例的增加, 风干后产品的胶黏性、咀嚼性及硬度均显著提高; 腌制后和风干后产品除过氧化值外, 水分含量、pH 值、色泽均发生了明显的差异, 且呈现出不同的变化规律[11]。任昌娟等人研究了用氯化钾减盐

的低盐腊肉发现, 氯化钾替代比例对腊肉的剪切力和蒸煮损失有显著影响, 最终确定了最优的氯化钾替代比例为 30% [12]。吴强等人研究了不同钠盐替代物对水煮鸡肉丸的品质影响, 同样发现采用氯化钾减盐对水煮鸡肉丸的剪切力和蒸煮损失有显著影响[13]。甘潇等人研究发现, 用 70% 的钾盐替代氯化钠可明显改善牛肉的硬度、弹性、胶着性和咀嚼性[14]。研究得出, 适宜的替代比例能改善制品的加工品质和质构特性, 并且对产品的其他品质无显著影响。

KCl 的离子强度与 NaCl 相似, 可以保持肉制品的保水性、乳化稳定性和蛋白质溶解度。研究表明, 当 KCl 的替代比例控制在 20%~50% 时, 可以显著降低钠含量 30%~60%, 同时保持产品的结构特性。例如, Frangopoulos 等人通过调整脂肪含量(10~20 g/100g)和 KCl/NaCl 比例(1:1 至 3:1)开发了低盐发酵香肠。他们发现, KCl 替代率和脂肪含量之间的相互作用显著影响了苦味感知。当脂肪含量为 15%, KCl 替代率为 50% 时, 产品的感官接受度最佳[15]。此外, Nachtigall 等人发现, 用 KCl 和 CaCl₂ 部分替代 NaCl 可以改变腌肉的脂质解离途径, 抑制氧化产物的产生, 从而延长保质期[16]。Jin 等人证实, 与对照组相比, 30% KCl 替代对猪肉乳化香肠的硬度和弹性没有显著影响($P > 0.05$), 但当替代率增加到 50% 时, 剪切力降低了 12%~15% [17]。KCl 的抗菌活性与 NaCl 相当。Stanley 等人指出, 50% 的 KCl 替代可以抑制肉制品中李斯特菌和沙门氏菌的生长, 使细菌总数减少 1.5~2 log CFU/g [18]。这为延长 KCl 减盐食品的保质期提供了指导。

3.2. 咸味肽替代

咸味肽作为一种新型的减盐策略引起了广泛关注。其通过模拟或增强咸味感知, 可以在保持产品风味的同时降低钠含量, 这已成为肉制品减盐技术的研究热点。与氯化物等无机盐替代品相比, 咸味肽具有以下优点: 它们不会激活苦味受体 TAS2R7, 使产品具有更高的感官接受度; 不引入额外的钠离子, 符合“健康中国”减盐目标; 一些含盐肽具有抗氧化和抗菌的生物活性。

目前, 已经有人将咸味肽运用在肉制品中减盐。赵立等发现 1% NaCl+1% 咸味猪骨肽能够有效替代 2% NaCl, 实现了低盐香肠减盐不减咸的效果[19]。王欣等人使用 1% 的木瓜蛋白酶及中性蛋白酶双酶水解哈氏仿对虾蛋白, 将咸度提升到 55 mmol/L [20]。李迎楠等人研究表明, 以牛骨头为原料制作的牛骨源咸味肽, 在添加量 0.1~0.5 g/100 mL 范围内, 其咸度高于同等添加量的食盐的咸度[21]。李微等人以大黄鱼为原料, 利用蛋白酶解技术制备咸味肽, 结果表明, 利用胰酶酶解大黄鱼 3 h 制备的咸味增强肽具有较好的咸味效果, 且制备的咸味增强肽兼具有一定的抗氧化能力, 可以应用与食品加工中部分替代氯化钠[22]。咸味肽部分替代氯化钠对产品风味有显著影响。侯婷婷等采用 63% 氯化钠、30% 氯化钾、7% 咸味肽的复合工艺, 研制出一种新型的低盐干腌猪肉块, 可有效地掩盖产品的不良风味[23]。古汶玉等人采用感官评价和电子舌技术, 对鱼露中两种肽的单体呈味和二肽与谷氨酸钠、氯化钠相互作用的呈味特性进行研究。结果表明, Val-Hyp 与氯化钠有显著协同作用, 使溶液咸味提高且整体有厚味[24]。此外, 咸味肽还有一些特殊功能, 如弱化酸味和甜味, 强化咸味和鲜味, 部分短肽还具有较强的抗氧化性, 同时具有保健价值[25]。然而, 由于其制备效率低、反应条件不稳定等问题, 在低盐肉制品加工中并未得到广泛应用。

3.3. 酵母提取物替代

酵母提取物(Yeast Extract, YE)是通过自溶或酶水解过程从酵母细胞中释放的可溶性成分。它富含 5'-核苷酸、游离氨基酸、多肽和 B 族维生素, 具有鲜味增强、掩盖异味和抗氧化等特点。其鲜味强度可达味精的 6~10 倍, 可以显著减少盐的用量, 而不影响咸味的感知。

YE 中的呈味物质可以与钠离子协同激活味觉受体, 增强咸味感知, 改善产品特性。例如, 在低盐香

肠中添加 0.5% 的 YE 可以将咸味恢复到全盐水平[26]。李大宇等人提出将 YE 与超声技术相结合, 通过空化效应加速 YE 渗透到肌肉组织中, 在保持质地稳定性的同时减少 25% 的食盐用量[27]。YE 替盐对于产品的风味具有显著影响。张杰等人研究了一款采用氯化钾、乳酸钙和酵母抽提物复配的低钠复合盐。并将复配盐用于盐焗鸡腿, 研究复配盐对盐焗鸡腿的感官评价、色泽、咀嚼性的影响。研究表明, 使用该配方制作盐焗鸡腿, 能显著降低钠含量($P < 0.05$), 增加重要风味物质(如 2-庚酮、苯甲醛单体、壬醛等)含量, 并且保证其原有风味与品质[28]。毛欢等人研究表明, YE 中含有的氨基酸和核苷酸能增加香肠的风味、掩盖外来风味, 并且通过响应面试验确定了酵母抽提物最佳添加量为 5.64 g [29]。王永丽发现, YE 和茶多酚的组合可以抑制低盐干腌培根中生物胺的形成, 同时改善其抗氧化性能[30]。李智团队进一步利用高压均质技术将 YE 纳米化, 将其均匀分散在低盐肉糜中, 将烹饪损失减少了 15% [31]。牛沁雅等人在低盐发酵火腿中添加了 1.2% 的 YE, 使其感官评分与传统配方相似, 保质期延长了 20% [32]。

不少国外研究表明, 添加 YE 还可以提高产品的感官评分。Rysová 等发现 YE 与 KCl 结合可有效掩盖 KCl 的金属苦味, 使低钠香肠的消费者接受度提高 30% [33]。Barbieri 等人在炖肉中将盐含量降至 1-1.2%, 并添加海藻提取物和 YE, 发现 YE 通过掩盖海藻的腥味, 使产品整体风味评分提升 15% [34]。类似地, Fellendorf 在白布丁中使用 KCl 与甘氨酸组合, 辅以 YE, 成功将盐含量降至 0.6%, 且脂肪含量同步减少至 10%, 产品接受度未受显著影响[35]。

酵母提取物作为天然减盐增效剂, 对改善低钠肉制品的风味、质构和安全性方面具有重要意义。国外的研究已经由单一的代替发展到多技术的协同。但目前该技术的推广还存在着成本和地域口味差异等问题。未来, 结合多学科交叉融合和精准消费洞察, 以 YE 为核心的减盐战略, 将促进我国肉制品产业持续健康发展。

3.4. 其他替代方式

除以上三种常用的肉制品减盐替盐方式外, 还可以通过添加磷酸盐、添加乳酸盐、添加谷氨酰胺转氨酶、超高压处理等方式达到肉制品减盐的目的。磷酸盐虽含有钠, 但其钠含量显著低于氯化钠。例如, 三聚磷酸钠的钠含量约为 31.2%, 而氯化钠含钠约 39.3%。通过部分替代氯化钠, 可直接减少钠的总摄入量。如果使用磷酸钾盐, 则能进一步降低钠含量。磷酸盐可以通过螯合金属离子、增加离子强度、促进肌球蛋白溶解等机制提高改善肉的持水性和凝胶特性, 可有效减少蒸煮损耗, 改善制品感官品质, 从而降低因减盐导致的质地劣化。

乳酸盐减盐技术在肉类加工中的应用已成为当前食品工业降低钠含量、提高产品安全性和感官质量的重要策略。乳酸钾和乳酸钙作为主要替代品, 通过各种途径实现减盐目标。首先, 乳酸盐可以直接替代氯化钠以减少钠的摄入。研究发现, 将乳酸钾添加到咸牛肉中, 不仅没有影响产品感官属性, 还降低了蒸煮损失, 提高了咸牛肉的持水能力[36]。赵岑研究发现不同替代比的乳酸钙对里脊肉色泽、硬度、多汁性以及总体可接受度都无显著影响, 并且猪肉中氯化钙:乳酸钙为 2:1 时可以替代 40% 的食盐[37]。在干腌火腿中添加乳酸钾不仅可以降低钠含量, 还可以保持火腿的风味、质地和微生物稳定性[38]。此外, 乳酸钙已被证明可以用于增强肉色稳定性。邵晶晶等人研究发现, 乳酸盐可以通过乳酸-乳酸脱氢酶体系促进烟酰胺腺嘌呤二核苷酸的再生进而提高高铁肌红蛋白的还原, 从而达到稳定肉色的作用。乳酸盐还可通过间接影响脂质氧化调控肉色[39]。乳酸盐还可以与风味增强剂协同作用, 通过鲜味受体激活和苦味掩蔽机制, 抵消钾盐可能带来的金属味或苦味。

超高压处理是通过破坏蛋白质三级和四级结构中的非共价键, 导致蛋白质变性并形成熔球态。这种结构变化释放了最初与蛋白质结合的钠离子, 增加了游离钠离子的浓度, 从而增强了咸味的感知。Wang 等人的研究表明, 当压力小于 300 MPa 时可以增强金线鱼肌球蛋白凝胶的保水性和网络结构, 当压力大

于 450 MPa 时可能会导致蛋白质过度变性, 从而削弱其性能[40]。张鑫等人的研究表明, UHP 处理可以改善低盐牛肉乳化香肠的质量特性。当压力为 200 MPa 时, 产品的感官评定、质地特征和保水性都表现出良好的性能[41]。Tintchev 等人发现, 在 600 MPa 的压力下, 与对照组相比, 低盐法兰克福香肠的失水率显著降低[42]。这表明, 超高压处理可以显著提高低盐肉制品的保水性和凝胶性能, 从而减少减盐的影响。然而, 超高压处理也有其缺点。研究发现, 超高压处理并不能显著改善低盐肉制品的颜色, 甚至可能对肉制品的色彩产生不利影响[43]。目前, 超高压技术主要用作辅助工艺, 其他减盐替盐方法复配进行, 可以有效促进低盐凝胶体系的建设, 弥补低盐对产品质量的不利影响[44]。然而, 由于生产成本等问题, 超高压技术尚未广泛应用于低盐肉制品的加工。

谷氨酰胺转氨酶(glutamine transaminase, TG 酶)可以通过蛋白质交联增强保水性, TG 酶通过催化蛋白质分子间或分子内的赖氨酸 ϵ -氨基与谷氨酸 γ -羟酰胺基形成共价交联, 构建致密的蛋白质凝胶网络, 容纳更多水分, 并且蛋白质的胶凝性、持水性、咀嚼性、弹性等等都会得到改善[45][46]。在盐含量降低时, TG 酶通过交联作用维持乳化香肠、肉丸等产品的致密结构, 避免海绵状或松散质地。高红梅等人研究表明, 在鱼丸中添加 TG 酶, 可以提高鱼丸的持水性, 增加凝胶强度[47]。吴晨昕等人发现, 适量添加 TG 酶能增加预制鱼牛肉排的凝胶强度、硬度、胶着性和咀嚼性[48]。同样的, 李琳等人发现, 适量添加 TG 酶对鱼丸的凝胶强度、持水性、综合评分都有显著影响[49]。康壮丽等人研究表明, 添加 TG 酶能够提高低盐鸡肉糜乳化稳定性和蒸煮得率, 改善鸡肉糜的质构特性, 添加量为 0.67% 时效果最好[50]。因此可将 TG 酶作为食盐替代物来弥补氯化钠减少给产品品质带来的缺陷。

4. 总结及展望

随着人们健康意识的不断提高, 传统肉制品的高盐问题已构成重大公共卫生威胁, 而减盐技术的创新为行业转型提供了关键突破口。目前减少肉制品中钠含量主要有三种方法: 氯化钾部分替代氯化钠、咸味肽部分替代氯化钠、酵母提取物部分替代氯化钠, 还有其他替代方法。但这些方法在减盐的同时会对产品的加工性能、质地等造成一定的影响, 因此需要注意替代物的添加量。现有的减盐策略大多采用单一方法, 但是单一减盐技术难以同时兼顾成本、风味及功能要求。例如, 单一使用氯化钾替代氯化钠, 加入量不当会产生金属、苦味等问题, 既存在安全性上的争论, 也会对食物的口感产生影响; 单一使用咸味肽替代氯化钠, 存在产量低、成本高等问题。因此可以采用多组分协同替代, 突破单一组分感知阈值的局限。用 YE 的鲜味或咸味肽的鲜咸平衡中和 KCl 的苦味。或者采用高压处理与盐替代协同, 使用 600 MPa 高压处理将肌原纤维蛋白结构展开, 促进 K^+ 和咸味肽的结合位点暴露, 从而在降低 30% 盐用量的同时提升咸味强度。但是, 目前的相关技术还不够成熟, 有待于进一步的改进。

未来, 随着多组分协同替代和高压处理与盐替代协同等手法的成熟, 低盐肉制品将实现从“减盐不减味”到“减盐更美味”的跨越, 为全球公共卫生目标与食品产业升级提供双重驱动力。

基金项目

河北省现代农业产业体系肉禽创新团队肉品加工及品质评价(HBCT2024270206); 河北省现代农业产业体系羊创新团队(HBCT2024270205); 河北省专创融和课程建设项目“食品工艺学”(2023-2025); 河北农业大学线上线下混合式一流课程建设项目(2023-2025); 河北农业大学第十二批教改项目(202359); 河北省高等教育教学改革研究与实践项目(2023GJJG115); 保定市科技项目计划(2494N001)。

参考文献

- [1] 王卫, 张锐, 张佳敏, 等. 肉制品加工中的减盐技术: 研究进展与应用展望[J]. 肉类研究, 2022, 36(7): 54-60.
- [2] Kim, T., Yong, H.I., Jung, S., Kim, H. and Choi, Y. (2021) Effect of Reducing Sodium Chloride Based on the Sensory

- Properties of Meat Products and the Improvement Strategies Employed: A Review. *Journal of Animal Science and Technology*, **63**, 725-739. <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e74>
- [3] World Health Organization (WHO) (2020) Guideline: Sodium Intake for Adults and Children. WHO Press.
- [4] 刘世炜, 蔡玥, 曾新颖, 等. 2013 年中国居民高盐膳食对死亡和期望寿命的影响[J]. 中华高血压杂志, 2018, 26(6): 600.
- [5] 健康中国行动(2019-2030) [J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(36): 5905.
- [6] Hong, X., Li, C., Bai, J., Gao, Z. and Wang, L. (2021) Chinese Consumers' Willingness-to-Pay for Nutrition Claims on Processed Meat Products, Using Functional Sausages as a Food Medium. *China Agricultural Economic Review*, **13**, 495-518. <https://doi.org/10.1108/caer-06-2020-0160>
- [7] 蔡玉玲, 王伟, 倪来学. 低盐低糖功能型发酵香肠加工工艺研究[J]. 肉类工业, 2021(5): 11-15.
- [8] 洪文龙, 吕周, 戴照琪, 等. KCl 部分替代 NaCl 协同强化高温对干腌羊火腿品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2023, 23(10): 37-49.
- [9] 俞佳, 张远绿, 谢启文, 等. 低钠滩羊肉粒替代盐配方优化研究[J]. 农产品加工, 2024(14): 13-21+26.
- [10] 黄元相, 赵声兰, 马雅鸽, 等. 低热能低钠盐广味香肠的配方优化及其质构特性研究[J]. 肉类工业, 2019(8): 16-24.
- [11] 刘峥, 王琦, 周敏, 等. 氯化钾部分替代氯化钠对风干金鲳鱼品质的影响[J]. 武汉轻工大学学报, 2021, 40(4): 8-13.
- [12] 任昌娟, 王荣兰, 许振兴, 等. 减盐腊肉制作工艺及加工过程中挥发性成分变化分析[J]. 中国调味品, 2022, 47(2): 165-168.
- [13] 吴强, 万振雄, 卜俊芝. 钠盐替代物对水煮鸡肉丸热特性及食用品质的影响[J]. 中国调味品, 2022, 47(6): 73-77+89.
- [14] 甘潇, 李洪军, 王兆明, 等. KCl 部分替代 NaCl 对腊肉蛋白质氧化、降解及质构的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(4): 167-173.
- [15] Frangopoulos, T., Andreopoulos, D., Tsitlakidou, P., Mourtziinos, I., Biliaderis, C.G. and Katsanidis, E. (2020) Development of Low Fat: Low Salt Processed Meat Products. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, **24**, 89-94. <https://doi.org/10.5937/jpea24-29762>
- [16] Nachtigall, F.M., Vidal, V.A.S., Pyarasani, R.D., Domínguez, R., Lorenzo, J.M., Pollonio, M.A.R., et al. (2019) Substitution Effects of NaCl by KCl and CaCl₂ on Lipolysis of Salted Meat. *Foods*, **8**, Article No. 595. <https://doi.org/10.3390/foods8120595>
- [17] Jin, S., Hwang, J., Hur, S.J. and Kim, G. (2018) Quality Changes in Fat-Reduced Sausages by Partial Replacing Sodium Chloride with Other Chloride Salts during Five Weeks of Refrigeration. *LWT*, **97**, 818-824. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.004>
- [18] Stanley, R.E., Bower, C.G. and Sullivan, G.A. (2017) Influence of Sodium Chloride Reduction and Replacement with Potassium Chloride Based Salts on the Sensory and Physico-Chemical Characteristics of Pork Sausage Patties. *Meat Science*, **133**, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.05.021>
- [19] 赵立, 曹雨欣, 宋子伟, 等. 咸味猪骨肽部分替代 NaCl 对低盐香肠品质和风味的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(1): 70-78.
- [20] 王欣, 安灿, 陈美龄, 等. 酶水解哈氏仿对虾蛋白提高咸味的研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(5): 12-16.
- [21] 李迎楠, 刘文莹, 张顺亮, 等. 色谱纯化和质谱分析法研究牛骨源咸味肽[J]. 肉类研究, 2016, 30(3): 25-28.
- [22] 李微, 苏国万, 孙为正. 酶解大黄鱼制备咸味增强肽的研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(6): 184-190.
- [23] 侯婷婷, 刘鑫, 崔福顺, 等. 低钠发酵肉制品理化特性及风味分析[J]. 食品与机械, 2019, 35(10): 126-130, 205.
- [24] 古汶玉, 孙金玲, 顾华蓉, 等. 鱼露中 Gly-Pro 和 Val-Hyp 呈味特性研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(20): 262-265.
- [25] Kęska, P. and Stadnik, J. (2017) Taste-Active Peptides and Amino Acids of Pork Meat as Components of Dry-Cured Meat Products: An *In-Silico* Study. *Journal of Sensory Studies*, **32**, e12301. <https://doi.org/10.1111/joss.12301>
- [26] Li, X., Kong, B., Wen, R., Wang, H., Li, M. and Chen, Q. (2022) Flavour Compensation Role of Yeast Strains in Reduced-Salt Dry Sausages: Taste and Odour Profiles. *Foods*, **11**, Article No. 650. <https://doi.org/10.3390/foods11050650>
- [27] 李大宇, 张苏苏, 董学文, 等. 低盐肉制品降盐与品质改良加工技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(6): 1947-1953.
- [28] 张杰, 董华发, 冯美琴, 等. 响应面法优化盐焗鸡腿的低钠复合盐配方及挥发性风味物质分析[J]. 食品工业科技,

- 2022, 43(11): 208-217.
- [29] 毛欢, 田慧敏, 龙敏, 等. 响应面法优化低盐发酵香肠配方[J]. 食品安全导刊, 2022(17): 126-128+132.
- [30] 王永丽. 植物多酚及盐替代对干腌培根生物胺及亚硝酸胺调控机制研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [31] 李智, 牛超杰, 邹爱军, 等. 肉制品加工减盐技术及其应用[J]. 武汉轻工大学学报, 2023, 42(4): 31-38.
- [32] 牛沁雅, 魏可君, 张慧琴, 等. 新型肉制品研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(4): 207-212.
- [33] Rysová, J. and Šmídová, Z. (2021) Effect of Salt Content Reduction on Food Processing Technology. *Foods*, **10**, Article No. 2237. <https://doi.org/10.3390/foods10092237>
- [34] Barbieri, G., Barbieri, G., Bergamaschi, M., Francheschini, M. and Berizi, E. (2016) Reduction of NaCl in Cooked Ham by Modification of the Cooking Process and Addition of Seaweed Extract (*Palmaria palmata*). *LWT*, **73**, 700-706. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.057>
- [35] Fellendorf, S., O'Sullivan, M.G. and Kerry, J.P. (2015) Impact of Varying Salt and Fat Levels on the Physicochemical Properties and Sensory Quality of White Pudding. *Meat Science*, **103**, 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.12.010>
- [36] Conroy, P.M., O'Sullivan, M.G., Hamill, R.M. and Kerry, J.P. (2019) Sensory Optimisation of Salt-Reduced Corned Beef for Different Consumer Segments. *Meat Science*, **154**, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.015>
- [37] 赵琴. 猪肉低钠替代盐的研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [38] Fulladosa, E., Serra, X., Gou, P. and Arnau, J. (2009) Effects of Potassium Lactate and High Pressure on Transglutaminase Restructured Dry-Cured Hams with Reduced Salt Content. *Meat Science*, **82**, 213-218. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.01.013>
- [39] 邵晶晶, 张玉斌, 吴仕达, 等. 乳酸盐对冷却肉护色机理的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(12): 279-284.
- [40] Wang, J., Li, Z., Zheng, B., Zhang, Y. and Guo, Z. (2019) Effect of Ultra-High Pressure on the Structure and Gelling Properties of Low Salt Golden Threadfin Bream (*Nemipterus virgatus*) Myosin. *LWT*, **100**, 381-390. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.053>
- [41] 张鑫, 闫玉雯, 朱迎春. 超高压处理对低盐牛肉乳化肠品质的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(10): 2352-2360.
- [42] Tintchev, F., Bindrich, U., Toepfl, S., Strijowski, U., Heinz, V. and Knorr, D. (2013) High Hydrostatic Pressure/Temperature Modeling of Frankfurter Batters. *Meat Science*, **94**, 376-387. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.02.012>
- [43] 杨柳, 付君, 王燕, 等. 高压腌制条件对兔肉食盐渗透规律及品质影响[J]. 食品科技, 2016, 41(7): 141-145.
- [44] 任倩, 张广峰, 雷激, 等. 低温猪肉火腿肠降盐工艺探究[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(11): 150-158.
- [45] 蒋雨含, 张贞炜, 余杰, 等. 基于清洁标签的植物基鸡排配方优化及蛋白质营养学评价[J]. 现代食品科技, 2025, 1-12.
- [46] 舒雄辉, 张晨曦, 杜涓, 等. 基于 TG 酶介导的莲藕鸭肉复合乳化肠配方及工艺优化研究[J]. 中国调味品, 2024, 49(9): 130-137.
- [47] 高红梅, 丁志刚, 唐世涛, 等. 无磷酸盐鱼丸品质改良剂研究[J]. 安徽科技学院学报, 2018, 32(3): 46-53.
- [48] 吴晨昕, 兰娇娇, 官辉扬, 等. 谷氨酰胺转氨酶预制鱼肉牛排配方的优化[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(6): 121-129.
- [49] 李琳, 代媛媛, 李美莹, 等. TG 酶复合物对巴沙鱼鱼丸品质特性的影响[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(6): 72-80.
- [50] 康壮丽, 李想, 李斌, 等. 谷氨酰胺转氨酶对低盐鸡肉糜保水性和蛋白质二级结构的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(20): 130-133.