

肉制品低钠盐工艺研究进展

甄宗圆^{1,2}, 陈旭², 万双菊², 王童童², 季君珂²

(1.安徽科技学院食品药品学院, 安徽 滁州 233100; 2.枣庄学院食品科学与制药工程学院, 山东 枣庄 277160)

摘要: 肉制品在饮食结构中占有重要地位, 钠盐在其风味、质构形成及贮藏过程中起着重要作用。随着日益增长的低盐饮食健康需求, 肉制品钠盐含量较高的问题受到广泛关注。本文从钠盐替代物、品质改良剂、低钠盐加工工艺角度出发, 综述近几年有关低钠盐肉制品研发和加工的研究进展, 探讨降低肉制品中钠盐含量且尽量减小品质下降的有效措施。未来降盐研究应采用多种方法组合, 从多个方向寻求突破, 在安全、营养、品质、成本等维度寻找平衡点和探索方向。

关键词: 低钠盐; 钠盐替代物; 品质改良剂; 低钠盐肉制品加工; 质构

Progress in the Development and Production of Low-Sodium Meat Products

ZHEN Zongyuan^{1,2}, CHEN Xu², WAN Shuangju², WANG Tongtong², JI Junke²

(1.College of Food and Drug, Anhui Science and Technology University, Chuzhou 233100, China;

2.College of Food Science and Pharmaceutical Engineering, Zaozhuang University, Zaozhuang 277160, China)

Abstract: Meat products are an important part of many people's diets. Sodium chloride plays an important role in meat processing and preservation. With increasing health demand for low-salt diets, the high sodium content in meat products is an issue of widespread concern. In this paper, we summarize recent progress in the development and production of low-sodium meat products from the following aspects: sodium salt substitutes, quality improvers and processing technologies for low-sodium meat products, and we also discuss effective measures to reduce the sodium content in meat products and simultaneously minimize quality deterioration. Finally, we propose that in future studies, a combination of various methods should be used to seek breakthroughs in multiple directions, find a balance point among safety, nutrition, quality and cost, and explore new directions.

Keywords: low-sodium salt; sodium salt substitute; quality modifier; low-sodium meat products processing; texture

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200131-029

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2020) 04-0100-07

引文格式:

甄宗圆, 陈旭, 万双菊, 等. 肉制品低钠盐工艺研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(4): 100-106. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200131-029. <http://www.rlyj.net.cn>

ZHEN Zongyuan, CHEN Xu, WAN Shuangju, et al. Progress in the development and production of low-sodium meat products[J]. Meat Research, 2020, 34(4): 100-106. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200131-029. <http://www.rlyj.net.cn>

肉制品加工中添加的钠盐包括氯化钠等重要调味品, 同时也存在于一些常规添加剂中。适量添加钠盐可增加肉制品持水能力, 改善肉制品嫩度和多汁性^[1], 同时减少微生物滋生^[2], 起到防腐作用^[3-4]。一定浓度的盐离子可以提高肌原纤维中肌球蛋白的溶解度, 与脂肪颗粒相互作用, 增强肉的乳化性^[5]。另外, 钠盐还对肉制品的色泽、质地、滋味及风味等起着非常重要的作用^[6]。从

饮食健康角度考虑, 过量摄入钠盐会危及健康。《中国居民营养与健康状况调查报告》显示, 我国居民钠盐摄入量严重超标^[7-8]。肉制品是饮食中钠的重要来源, 主要以食盐形式加入, 其他配料中也含钠盐^[9], 但使用量较少。直接减少食盐用量会使肉制品风味、品质变差, 而且由于钠盐自身的多功能特性, 在实际生产中尚无完全等效的替代物, 因此食品加工中减少钠盐用量比较困

收稿日期: 2020-01-31

基金项目: 安徽省重大科技专项 (18030701212); 枣庄市科学技术发展计划项目 (2019NS09); 枣庄学院博士科研基金项目 (1020704)

第一作者简介: 甄宗圆 (1978—) (ORCID: 0000-0002-7443-5598), 男, 讲师, 博士, 研究方向为食品科学。

E-mail: zongyuanzhen@163.com

难。本文对近年低盐肉制品相关研究进行综述,归纳各种钠盐替代物及工艺方法的效果及问题,以期为新产品和新工艺研发提供思路。

1 肉制品中的钠盐

1.1 来源及作用

肉制品中的钠盐大部分来源于食盐的添加,小部分来源于猪、牛、羊等家禽体内天然存在的盐和肉制品加工中的食品添加剂,如常见的三聚磷酸钠、硝酸钠、亚硝酸钠等。食盐除具有调味及防腐作用外^[10],还具有提高肉制品保水性、促进脂肪结合能力、调节肉制品结构等作用^[11]。钠离子能延长肉制品保质期、减少烹饪损失、保证产品的口感、风味和多汁性^[12-13]。食盐对人体还有十分重要的生理功能,氯离子参与合成胃酸,使肌原纤维蛋白发挥其加工功能特性,且能够调节人体渗透压、维持血液酸碱体系平衡及神经冲动的传递等^[10]。

常见的肉制品丰富多样,各具独特的口感和风味,但盐含量普遍很高^[14]。一般肉制品盐含量为2%左右,干腌肉制品甚至高达6%~12%^[15]。在肉制品加工过程中,除了添加大量食盐外,还会加入各种食品添加剂或风味增强剂,其中也会存在小部分钠离子,增加钠盐的摄入量^[16]。

1.2 问题及危害

持续过量摄入钠盐会造成人体内钠的累积,对人体健康造成危害。成人每天的食盐摄入量不应超过6 g,但据调查中国人每天的食盐摄入量约为12 g,是正常摄入量的2倍^[17]。随着食品工业的快速发展,由于食盐廉价且具有多种功能,为降低成本,许多生产商在肉制品中添加大量食盐^[5],尤其是腌腊肉制品等盐含量较高的肉制品,使钠盐摄入总量日益增加^[7]。长期摄入过量钠盐将大幅增加人体患高血压、癌症、骨质疏松等疾病的几率^[18-19]。适量的钠离子摄入会调控人体处于某一稳定状态,体内钠的稳态平衡主要通过肾脏对钠的排泄和重吸收进行调节。正常情况下,每日摄入的钠只有少部分会被人体利用,其他大部分会通过尿液和汗液排泄^[20]。高盐摄入会打破人体渗透压平衡,血管内累积大量钠离子,血管阻力增加,导致高血压^[21]。若人体长期积累过量钠离子,心血管和肾脏等器官或组织负荷增大,极有可能诱发心血管疾病和肾病^[22]。大量钠离子通过肾脏排出的同时会消耗过多钙离子,造成骨骼中钙质的损失。另外,有调查显示,食盐摄入量过高的国家或地区,胃癌发病率和死亡率偏高^[23]。日常饮食中,人体摄入的钠20%来自肉类和肉类产品,开发低钠肉制品符合健康饮食趋势和消费者的迫切需求^[24]。

2 肉制品降钠盐途径

降低肉制品中钠盐的含量必须在加工过程中减少钠盐的添加量,同时还要尽量避免减盐对肉制品品质、风味等产生不良影响^[25]。目前,降低肉制品中钠盐含量的主要途径有使用氯化钠替代物^[26]、品质改良剂^[27]以及减盐工艺^[28]等。

2.1 氯化钠替代物

氯化钠替代物是指性质或功能与氯化钠相似的物质,通过置换食盐中的氯化钠或优化食盐的物理形态,代替部分或全部钠盐。氯化钠替代物主要分为2种:一种是非钠盐与氯化钠混合,降低食品钠盐含量;另一种是从天然动植物中萃取具有咸味的物质替代氯化钠,满足人们对咸味产品口感与健康的双重需求^[29]。目前,肉制品中应用和研究较多的氯化钠替代物有盐酸盐、乳酸盐、咸味肽和天然替代物等,这些物质均具有咸味,能够部分替代食盐调味。食盐在食品中除了起到调味作用外,对食品的质构、色泽、防腐等性质同样有着重要作用^[30],通常还需与其他物质或工艺配合使用。

2.1.1 盐酸盐

氯化钾、氯化钙、氯化镁等盐酸盐与氯化钠具有相似的理化特性,可以替代食盐中部分氯化钠,复配可提高替代比例和效果。氯化钾是应用最多的氯化钠替代物,其对于肉制品中可移动水和自由水的含量及保水性没有显著影响^[31],并且钾盐有降血压、保护血管壁的功能^[32],可改善人体因高钠盐摄入造成的钠、钾平衡状态失调,有效降低高血压、心脏病等心血管疾病的发病率^[33]。但添加过量钾盐会使肉制品呈现苦味和涩味。在肉脯加工中氯化钾替代比例达40%时,不良影响就会突显,主要表现为肉脯保水能力下降、水分含量降低且出现金属味和后苦味^[34]。酱卤肉制品中氯化钾的替代比例为20%~30%较为合适^[35]。广式香肠相关研究中,使用氯化钾替代45%氯化钠可将产品中钠含量降低40.23%^[36]。将氯化钾、氯化钙、氯化镁按照质量比5:3:1复配后添加到食盐中,替代45%氯化钠,腌制风鸡,产品的感官特性无显著变化^[37]。盐酸盐与其他物质,如氨基酸、乳酸盐复配显示出较好的提升感官品质、抑菌效果。使用氯化钾和氨基酸与食盐复配加工风干草鱼,钠含量降低幅度最高可达47.64%^[38]。在牛肉丸加工中,将氯化钾、氯化镁、乳酸钾及酵母提取物复配添加,可减少50%氯化钠使用量,产品冻藏60 d后的质构特性、色差、水分活度及菌落总数相比未减盐产品没有显著差异^[39]。此外,一些盐酸盐还可解决因减盐引起的肉凝胶品质劣变问题。如适量氯化镁可提高肉制品凝胶保水性,同时降低凝胶硬度^[40]。这为调控混合肉凝胶的硬度、满足不同的产品需求提供了可能性,如可用于开发适于老年人等特定人群的低钠盐、多汁性肉制品。

2.1.2 乳酸盐

乳酸盐除调味外还具有抑制微生物和抗氧化作用,可部分代替钠盐,起到抑菌保鲜作用^[41],多用作复配钠盐替代物的组分。缓冲乳酸由纯天然高品质乳酸和乳酸盐按不同比例混合而成,具有pH值缓冲能力,且二者都具有良好的抑制病原菌能力,同时使用可以发挥协调作用^[42]。在目前的研究中,乳酸盐作为氯化钠替代物,常与氯化钾配合使用,其中的金属离子具有降低风干肉水分活度的作用,能够延长产品保质期。针对低钠盐风干香猪肉的研究显示,将40%氯化钠用氯化钾(26.7%)和乳酸钙(13.3%)替代,咸味无显著差异,且肉质得到改善^[43]。此外,乳酸盐具有抗氧化和护色效果,可以抑制牦牛肉糜色度的下降,显著延缓牦牛肉贮藏过程中的氧化^[44]。因此,乳酸盐可以提供其他盐酸盐不具备的抑菌和抗氧化等功能,辅助其他氯化钠替代物或降盐工艺使用,进一步减小降低钠盐添加量对产品品质的影响。

2.1.3 咸味肽

咸味肽为呈味肽的一种,呈味肽包括多种寡肽,结构中同时含有氨基和羟基,具有缓冲能力,因此咸味肽味感柔和细腻、醇厚浓郁,效果优于盐类和氨基酸类咸味剂。呈味肽一般由蛋白酶解后提取得到,其中咸味肽大多是二肽,其咸味强度与分子构象、碳端和氮端疏水性有一定关系^[45]。天然产物咸味肽的品类十分丰富,例如,利用粉碎后的牛骨获取的牛骨源咸味肽,在添加量0.1~0.5 g/100 mL范围内,比相同添加量的食盐咸味强度高^[46];以大黄鱼为原料,利用胰酶酶解3 h制备的咸味增强肽不仅具有较好的咸味效果,还兼具一定的抗氧化能力^[47]。咸味肽除了可以利用单一酶酶解得到外,多种酶混合使用具有更好的酶解效果。王欣等^[48]使用木瓜蛋白酶及中性蛋白酶双酶水解海虾,不仅可以充分水解蛋白,也最大限度释放了咸味肽,相同条件下的水解产物咸度比单酶水解产物大幅提高。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,一些短肽还具有较强的抗氧化性,使其同时具有保健价值^[49]。目前,利用食品级生物酶试剂有限水解蛋白获得咸味肽的费用太过昂贵,尚未被市场认可,但是咸味肽可以从海洋渔业资源中获得,也可以采用化合法进行工业化生产,具有替代食盐的潜力,并且咸味肽对于开发适用于高血压患者等人群的低钠盐食品或特殊医学用途配方食品具有重要意义。

2.1.4 天然替代物

随着安全、健康、营养的饮食理念日益强化,天然物质作为钠盐替代物能够满足消费者的迫切需求,具有市场潜力,相关研究逐渐增多。用于钠盐替代物主要是天然动植物及其提取物,许多天然动植物可提取出呈现咸味的物质,例如,海蓬子是一种盐生植物,利用海

蓬子提取的咸味物质不仅可以降低钠盐含量,还具有抗氧化、抗糖尿病和降血脂作用,已成为良好的食盐替代品^[50];将香菜提取物添加到香肠中,不仅可以减少因降盐导致的微生物风险,还可使产品中亚硝酸盐含量降低40%^[51]。动物中的提取物主要来自其骨壳,如利用水提取牡蛎壳和乌贼骨中的咸味物质,提取液的咸度相当于0.6 g/100 mL氯化钠,且乌贼骨提取液的钠含量比相同浓度的氯化钠溶液低27%^[52],是理想的钠盐替代物。从畜禽副产物中提取的VB₄(腺嘌呤)也可以起到替代盐的作用,感官测试表明,VB₄可以强化消费者对低盐面包的咸味感受^[53]。除了天然提取物,将一些天然物质直接加入食品中也可以有效减少钠盐添加。例如,将蘑菇掺入牛肉馅中,在食盐添加量减少45%条件下,产品外观和质构无明显变化,感官评定结果优于高盐对照组,同时,蘑菇的加入还降低了产品脂肪含量^[54]。天然物质配合添加剂使用可提供更强的凝胶和乳化稳定性。例如,在低脂低盐肉糜体系中添加海芥菜和磷酸盐,可将钠盐含量从肉糜质量的1.5%降至1.2%,且肉糜体系的蒸煮损失和乳化液稳定性、硬度、弹性、内聚性与钠盐含量1.5%的肉糜相似^[55]。天然物质用作钠盐替代物安全健康,且口味更加丰富醇厚,在有机食品、保健食品和特殊医学用途配方食品等领域发展前景广阔。

2.2 品质改良剂

氯化钠在肉制品加工中除了调味,还会影响产品的凝胶、乳化等特性,进而形成一定的感官性质。改良剂是指能够改良产品品质及性能的人工或天然物质,将其应用于肉制品加工中主要具有提高肉的黏结性、改善肉制品切片性能、提高产品持水性、减少营养成分流失等作用^[56]。合理使用品质改良剂可代替钠盐的部分功能,减少钠盐的添加。用于减盐的品质改良剂本身应不含钠,或虽然含钠但添加量少,使产品总体钠含量显著降低。目前,应用于低盐肉制品中的品质改良剂有胶体类物质、酶类物质和磷酸盐等。

2.2.1 胶体类物质

肉制品加工中使用的亲水胶体物质,如海藻酸钠、卡拉胶等,能够与肌肉蛋白相互作用形成网状结构^[57],具有类似钠盐保水性的性质。卡拉胶是肉制品加工中最常用的胶类物质之一,它有多种形式,可提高肉制品的弹性和保水性。其中, κ -卡拉胶对降低脂肪和盐含量具有补偿作用,在低钠盐条件下,可以使多汁肉制品的保水能力增强,硬度减小^[58]。卡拉胶凝胶还可以提高肉制品的盐溶性蛋白结合能力^[59],从另一方面促进肉制品保水性的提高。除了单一凝胶外,复合型凝胶可以更好解决胶体物质的理化特性对肉制品的影响。例如,使用魔芋胶、 κ -卡拉胶与黄原胶按照质量比1.3:1.0:0.3复配形成的凝胶,仅需0.12%氯化钠即可使肉丸的质感和口感得到改善^[60]。



2.2.2 酶类物质

在肉制品加工过程中，谷氨酰胺转氨酶（transglutaminase, TG）通过催化作用使肌肉蛋白分子间形成共价键，使蛋白质更紧密地结合，形成致密的三维网状结构，提高肉制品的保水性及凝胶特性。TG不含钠元素，可形成接近盐溶性蛋白凝胶的结构和口感，替代部分钠盐。肉制品中添加少量TG可以提高产品内聚力，如明显提升干腌火腿凝胶组织能力^[61]，还能够一定程度上改善产品口感，如添加到重组猪排中可改善其硬度、咀嚼性和保水性，与一定量氯化钠、复合磷酸盐配合使用效果更佳^[62]。由于TG较好的保水性和热稳定性，将其应用于水产品加工中能够显著降低钠盐添加量。将TG用作鱼丸的保水剂时发现，TG处理后的鱼丸口感适口，感官品质和质构特性均较好^[63]，因此TG可替代肉制品加工中使用较多的含钠保水剂。

2.2.3 磷酸盐

磷酸盐广泛应用于肉制品加工过程中，以改善肉制品的保水性和凝胶稳定性^[64]，抑制肉类脂质氧化^[65]。虽然常用的磷酸盐多为钠盐（少数为钾盐，如三聚磷酸钾、焦磷酸钾^[66]），但是磷酸盐在肉制品中用量很少（ $< 5 \text{ g/kg}$ ^[67]），合理使用可显著改善肉制品口感，接近盐溶性蛋白凝胶效果，因此可大幅减少氯化钠使用量。以灌肠为例，六偏磷酸钠可以提高肉制品持水率，且当六偏磷酸钠和焦磷酸按一定比例混合时，灌肠弹性明显提高^[68]。酸式焦磷酸钠（sodium acid pyrophosphate, SAPP）是目前磷酸盐类研究的一大热点。研究发现，SAPP与氯化钠混合腌制牛肉能够改善牛肉亮度，维持牛肉红度、饱和度和色度，其中添加4%氯化钠+6% SAPP的牛肉比单独添加氯化钠时光泽度更高^[69]。除了单一磷酸盐外，复合型磷酸盐也应用广泛。在重组牛肉制品加工过程中，产品黏结度、pH值、出品率、红度值等指标均随复合磷酸盐添加量的增加而升高^[70]。肉制品中添加原料肉质量0.3%的复合磷酸盐可以得到较好的感官品质，蒸煮损失较低^[71-72]，而在配方中掺入磷酸盐和海芥菜可同时减少最终肉制品中的脂肪和盐含量^[55]。磷酸盐作为食品添加剂，添加量有明确规定，按照国标适量使用，在保证食品安全的前提下，降低产品钠盐含量，达到低盐又健康的目的。

2.3 低钠盐肉制品加工工艺

传统的肉制品加工技术通常采用添加大量食盐，经过长时间腌制达到盐分渗入的效果，盐含量高且出品率低。而低钠盐肉制品需要采用特殊加工工艺，加速盐分渗透，同时保证产品风味和口感，并提高出品率。目前主要的降盐技术有超声波技术、超高压技术以及打浆、滚揉等传统腌制技术的改良。

2.3.1 超声波技术

超声波技术是一种非热食品加工技术，其降盐作用主要体现在两方面：一是缩短腌制时间，提高腌制效率。在肉的腌制过程中，经超声波处理可以增加盐分的扩散系数，强化渗透过程的质量传递，破坏肌肉组织结构，加速食盐渗透^[73]；二是改善肉制品色泽和口感。对肉制品口感的影响主要是通过增加肌纤维小片化和促进肌原纤维蛋白降解，改变肉制品嫩度和保水性^[74-75]。超声波技术一般用于肉类前处理，如在鸡胸肉真空滚揉腌制中加入超声波辅助工艺，采用超声波和真空相结合的方式，腌渍液吸收率显著提高，且盐分向鸡肉组织的渗透加快，嫩度得到改善^[76]；盐渍时间明显缩短，生产效率提高，且处理后的肉制品色泽良好、肉质更鲜嫩，产品品质得到提高^[77]。在腌制过程中增加超声工艺，效果优于静止湿腌。与静止湿腌相比，超声波腌制速率大大提高，腌制时间最多可缩短1/3，牛肉嫩度可提高38%^[78]。超声波技术的问题是较高强度的超声波可能会造成肌肉蛋白质变性，甚至肌纤维组织松散，降低肉制品品质。因此，利用超声波技术加工肉制品时应严格控制工艺条件。

2.3.2 超高压技术

超高压技术利用液体或气体将产品加压到100 MPa以上，可应用于众多食品工艺中。超高压技术的应用可以显著改变肉的分子组成，增强肉凝胶的稳定性，改变蛋白质、脂肪、多糖等生物大分子的结构和结合状态，从而达到仅用少量的盐即可保持肉品持水力和改善质地的目的。另外，超高压还可以起到一定杀菌作用^[79]。超高压处理效果与原料、配方、其他工艺及作用对象有关。在100 MPa压力下，添加氯化钾和氯化钙的肌肉蛋白凝胶硬度和咀嚼性显著提高，而在300~400 MPa压力下保水性升高，凝胶强度降低^[80]。脂肪在高压下也会发生变化，最终影响肉制品品质。脂肪团受压形成更小的脂肪球，分散到肌纤维网状结构中，提高肉制品嫩度^[81]。在实际应用中，可根据不同需要，结合配料和其他工艺采用不同压力。目前，超高压技术多用于肉糜类产品，主要作为辅助工艺，配合低钠盐腌制配方和工艺，起到促进低盐凝胶体系构建的作用^[82]。考虑到工艺成本，未来超高压技术可作为高档低盐肉制品的辅助技术应用。

2.3.3 传统腌制技术改良

对于常规的腌制、斩拌工艺，通过改良其中的技术或设备也可以一定程度上加快盐分渗透，改善产品口感，提高出品率，因此能够降低钠盐添加量并保持产品品质。例如，在贡丸产品加工中，将斩拌替换为打浆，可在氯化钠添加量1%（占原料肉质量百分比）条件下，达到氯化钠添加量2%的凝胶效果；微观结构显示，打浆主要影响蛋白质二级结构，产生较多 β -折叠和 β -转角，大

部分肌球蛋白尾部得以保留,有助于改善乳化稳定性、感官品质和质构^[83]。腌制常用的滚揉工艺,可通过优化参数进一步降低产品剪切力,改善口感^[84]。如通过设备实现脉动真空滚揉,比真空滚揉腌制时间更短,腌制液吸收率更高,腌制后的产品蒸煮损失和剪切力更小,腌制效果优于常压和真空滚揉^[85]。此外,各种新技术或新工艺的组合使用可能产生协同作用,取得比单独使用更理想的效果。如高静水压力技术和超声波技术,有望用于提高低钠肉产品的微生物安全性^[86]。目前,传统加工技术中仍有很多环节有待研究和改良,未来可用于减少钠盐添加,提高低钠盐肉制品品质。

3 结语

随着低盐健康理念深入人心,降低钠盐含量日益成为国内外肉制品研究的热点。通过前期的探索,很多可代替钠盐的物质和工艺技术被发掘和研究,很多成果已应用于生产实践中,取得良好效果。目前仍存在许多问题亟待解决,主要包括:1)单一钠盐替代物会使产品出现苦味、涩味、组织疏松等问题,而混合盐替代物的最佳复配比例还需系统研究;2)目前应用的钠盐替代物主要针对咸味的补偿,无钠或低钠品质改良剂种类较少,且功能比较单一,无法全面替代钠盐在凝胶、乳化、保水、护色及防腐方面的功能;3)较为理想的钠盐替代物或降盐工艺成本普遍较高,适用于常规肉制品生产的降盐工艺有待研究和探索。展望未来,低盐肉制品的研究与探索应采用多种方法组合方案,从多个方向寻求突破,尝试新物质、新材料和新技术,基于安全、营养、品质、成本等要求,逐步实现降低钠盐摄入量的目的。

参考文献:

- [1] 李龙祥,赵欣欣,夏秀芳,等.食盐对调理重组牛肉制品品质及水分分布特性的影响[J].食品科学,2017,38(19):149-154. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201719023.
- [2] DELGADO-PANDO G, FISCHER E, ALLEN P, et al. Salt content and minimum acceptable levels in whole-muscle cured meat products[J]. Meat Science, 2018, 139: 179-186. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.01.025.
- [3] 张东,李洪军,王鑫月,等.食盐添加量对腊肉品质的影响[J].食品与发酵工业,2017,48(11):159-164. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.014096.
- [4] SCOURBOUTAKOS M, MURPHY S, L'ABBE M. Association between salt substitutes/enhancers and changes in sodium levels in fast-food restaurants: a cross-sectional analysis[J]. CMAJ Open, 2018, 6(1): 118-125. DOI:10.9778/cmajo.20170137.
- [5] MARIUTTI L, BRAGAGNOLO N. Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: a review[J]. Food Research International, 2017, 94: 90-100. DOI:10.1016/j.foodres.2017.02.003.
- [6] TANG Jing, ZHANG Yingyang, WU Haizhou, et al. Recent progress on volatile flavor compounds of traditional Chinese cured meat products[J]. Food Science, 2014, 35(15): 283-288. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201415057.
- [7] 杨月欣,高超,王竹,等.《中国食品工业减盐指南》解读[J].中华预防医学杂志,2019,53(6):549-552. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2019.06.002.
- [8] SUBASINGHE A K, ARABSHAH I, BUSINGYE D, et al. Association between salt and hypertension in rural and urban populations of low to middle income countries: a systematic review and meta-analysis of population based studies[J]. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, 2016, 25(2): 402-413. DOI:10.6133/apjcn.2016.25.2.25.
- [9] 袁蒲,李杉,杨丽,等.低钠盐:从饮食上防控高血压[J].中国卫生产业,2017,14(20):23-25. DOI:10.16659/j.cnki.1672-5654.2017.20.023.
- [10] LEE J, ALFORD L, KANNAN G, et al. Curing properties of sodium nitrite in restructured goat meat (chevon) jerky[J]. International Journal of Food Properties, 2016, 20(3): 526-537. DOI:10.1080/10942912.2016.1168833.
- [11] SCHMIDT U S, PIETSCH V L, RENTSCHLER C, et al. Influence of the degree of esterification on the emulsifying performance of conjugates formed between whey protein isolate and citrus pectin[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 56: 1-8. DOI:10.1016/j.foodhyd.2015.11.015.
- [12] MARCHETTI L, ANDRÉS S C, CALIFANO A N. Physicochemical, microbiological and oxidative changes during refrigerated storage of n-3 PUFA enriched cooked meat sausages with partial NaCl substitution[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(3): 1-11. DOI:10.1111/jfpp.12920.
- [13] ZHANG Wenmin, DONG Qingli, SONG Xiaoyu, et al. Progress of sodium lactate as a preservative in meat and meat products[J]. Food Science, 2016, 37(1): 235-240. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201601041.
- [14] 张露,张雅玮,惠腾,等.低钠盐对干腌肉制品加工过程中理化特性的影响[J].食品科学,2014,35(17):77-82. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201417016.
- [15] 刘成花,李顺,张雅玮,等.低钠干腌肉加工过程中肌内结缔组织特性[J].食品科学,2018,39(1):91-98. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201801014.
- [16] DE MARCHI M, MANUELIAN C L, TON S, et al. Prediction of sodium content in commercial processed meat products using near infrared spectroscopy[J]. Meat Science, 2017, 125: 61-65. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.11.014.
- [17] 付丽,张秀凤,党美珠,等.低钠盐对牛肉丸加工品质的影响[J].肉类研究,2017,31(11):32-37. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201711006.
- [18] 张欢,齐鹏辉,陈倩,等.KCl和CaCl₂部分替代NaCl对哈尔滨红肠品质特性的影响[J].肉类研究,2017,31(9):1-7. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201709001.
- [19] BLUMENTHAL J A, SHERWOOD A. Missing ingredients for a lifestyle recipe to treat hypertension[J]. Journal of Thoracic Disease, 2018, 10(2): 653-656. DOI:10.21037/jtd.2018.01.06.
- [20] 蒋琦,纪桂元,洪晓敏,等.食盐与健康[J].华南预防医学,2018,44(1):79-82. DOI:10.13217/j.scjpm.2018.0079.
- [21] CHAU P, NGAI H, LEUNG A, et al. Preference of food saltiness and willingness to consume low-sodium content food in a Chinese population[J]. Journal of Nutrition Health and Aging, 2015, 21(1): 1-8. DOI:10.1007/s12603-016-0732-z.
- [22] KABIR Z, HARRINGTON J M, BROWNE G, et al. Changing dietary patterns and associated risk factors on trends in blood pressure levels in middle-aged Irish adults: a population-based study[J]. Journal of Human Hypertension, 2016, 30(2): 147-148. DOI:10.1038/jhh.2015.36.



- [23] JACKSON S L, COLEMAN KING S M, PARK S, et al. Health professional advice and adult action to reduce sodium intake[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2016, 50(1): 30-39. DOI:10.1016/j.amepre.2015.04.034.
- [24] ZHANG Yawei, GUO Xiuyun, LIU Tongtong, et al. Effects of substitution of NaCl with KCl, L-histidine, and L-lysine on instrumental quality attributes of cured and cooked pork loin[J]. *CyTA-Journal of Food*, 2018, 16(1): 877-883. DOI:10.1080/19476337.2018.1493538.
- [25] 范丽萍, 张立彦. NaCl对猪肉干燥过程中质构特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(6): 43-47. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.06.008.
- [26] 葛宝宝. 食盐替代物的风味评估及复配研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 31-44.
- [27] 王吉人. 品质改良剂对香肠水分分布及品质的影响研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2017: 1-3.
- [28] HASTAOGLU E, VURAL H. New approaches to production of turkish-type dry-cured meat product "Pastirma": salt reduction and different drying techniques[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2018, 38(2): 224-239. DOI:10.5851/kosfa.2018.38.2.224.
- [29] 祝桂林, 彭莱. 低钠盐用食品添加剂氯化钾质量研究[J]. *盐科学与化工*, 2017, 46(6): 7-9. DOI:10.16570/j.cnki.issn1673-6850.2017.06.002.
- [30] CHEN Chen, DENG Shaolin, HUANG Ming. Application of composite salt keeps flavor of dry-cured duck and reduce additive amount of sodium salt[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(13): 297-306. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2013.13.037.
- [31] 张立彦, 胡嘉颖, 王仕钰. 食盐添加量对微波加热鸡胸肉糜凝胶品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(3): 183-188. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.030.
- [32] PENG Yaguang, LI Wei, WEN Xiaoxiao, et al. Effects of salt substitutes on blood pressure: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2014, 100(6): 1448-1454. DOI:10.3945/ajcn.114.089235.
- [33] 马西忠, 孙鹏, 许建岭. 绿色低钠盐生产技术研究[J]. *中国井矿盐*, 2015, 46(1): 1-2. DOI:10.3969/j.issn.1001-0335.2015.01.001.
- [34] 陈佳新, 逢晓云, 夏秀芳, 等. KCl部分替代NaCl对低钠盐肉脯质量的影响[J]. *肉类研究*, 2017, 31(6): 24-28. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201706005.
- [35] 宋文敏, 匡威, 王海滨, 等. 不同KCl和NaCl组成的减盐配方对卤鸭制品品质特性的影响[J]. *肉类研究*, 2018, 32(6): 22-28. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201806005.
- [36] 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, 40(8): 16-24. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2019.08.004.
- [37] 林静, 刘斌, 李松林. 氯化钾、氯化钙和氯化镁部分替代食盐腌制对风鸡品质影响的研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(3): 105-109. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.03.013.
- [38] 尹敬, 任晓璞, 钱烨, 等. 含KCl、氨基酸的低钠盐替代食盐对风干草鱼加工过程中理化特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(3): 12-19; 24. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2019.03.003.
- [39] 付丽, 张秀凤, 党美珠, 等. 低钠盐对牛肉丸加工品质的影响[J]. *肉类研究*, 2017, 31(11): 32-37. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201711006.
- [40] 谢婷婷, 姚静, 李月双, 等. MgCl₂对低钠盐κ-卡拉胶-肌球蛋白凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(1): 35-40. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201701006.
- [41] 刘金鑫. 不同包装体系中乳酸钙对冷却牛肉肉色稳定性的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018: 3-5.
- [42] 姚远, 董庆利. 乳酸钠对肉及肉类食品中腐败菌和致病菌的抑制作用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(7): 378-383. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.07.073.
- [43] 唐悠, 刘娜, 朱秋劲, 等. KCl、乳酸钙替代钠盐对风干香猪肉的品质改善[J]. *肉类研究*, 2017, 31(3): 7-11. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201703002.
- [44] 张玉斌, 张巨会, 余群力, 等. 乳酸盐对冷却牦牛肉色泽稳定性及高铁肌红蛋白还原的影响[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(9): 281-286. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.09.046.
- [45] 苗晓丹, 刘源, 仇春洪, 等. 呈味肽构效关系研究进展[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(6): 357-363. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.06.060.
- [46] 李迎楠, 刘文萱, 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. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.03.006.
- [47] 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. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.6.024.
- [48] 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. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2017.05.004.
- [49] KEŠKA P, STADNIK J. Taste-active peptides and amino acids of pork meat as components of dry-cured meat products: an in-silico study[J]. *Journal of Sensory Studies*, 2017, 32(6): 1-9. DOI:10.1111/joss.12301.
- [50] KIM J, SUK S, JANG W, et al. Salicornia extract ameliorates salt-induced aggravation of nonalcoholic fatty liver disease in obese mice fed a high-fat diet[J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(7): 1765-1774. DOI:10.1111/1750-3841.13777.
- [51] RIEL G, BOULAABA A, POPP J, et al. Effects of parsley extract powder as an alternative for the direct addition of sodium nitrite in the production of mortadella-type sausages: impact on microbiological, physicochemical and sensory aspects[J]. *Meat Science*, 2017, 131: 166-175. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.05.007.
- [52] ZHANG Yawei, CHENG Qiaofen, YAO Yao, et al. A preliminary study: saltiness and sodium content of aqueous extracts from plants and marine animal shells[J]. *European Food Research and Technology*, 2014, 238(4): 565-571. DOI:10.1007/s00217-013-2136-1.
- [53] CRUCEAN D, DEBUCQUET G, RANNOU C, et al. Vitamin B₄ as a salt substitute in bread: a challenging and successful new strategy. Sensory perception and acceptability by French consumers[J]. *Appetite*, 2019, 134: 17-25. DOI:10.1016/j.appet.2018.12.020.
- [54] WONG K M, DECKER E A, AUTIO W R, et al. Utilizing mushrooms to reduce overall sodium in taco filling using physical and sensory evaluation[J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(10): 2379-2386. DOI:10.1111/1750-3841.13838.
- [55] KIM C J, HWANG K E, SONG D H, et al. Optimization for reduced-fat/low-NaCl meat emulsion systems with sea mustard (*Undaria pinnatifida*) and phosphate[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2015, 35(4): 515-523. DOI:10.5851/kosfa.2015.35.4.515.
- [56] CEPANEC K, VUGRINEC S, CVETKOVIĆ T, et al. Potassium chloride-based salt substitutes: a critical review with a focus on the patent literature[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2017, 16(5): 881-894. DOI:10.1111/1541-4337.12291.
- [57] 袁超, 付腾腾, 朱新亮, 等. 卡拉胶的性质及在食品中的应用[J]. *粮食与油脂*, 2016, 29(6): 5-8. DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2016.06.002.
- [58] 王欣, 王志永, 陈利华, 等. 注胶肉糜的低场核磁弛豫特性及与近红外光谱技术判别效果的比较[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(2): 155-161. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201602027.

- [59] 解丹, 陈季旺, 曾恒, 等. 亲水胶体对油炸外裹糊鱼块油脂含量及品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(23): 53-58. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201623008.
- [60] 陈哲敏, 万剑真, 魔芋胶、卡拉胶与黄原胶复配胶的特性及在肉丸中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2012(4): 191-195. DOI:10.3969/j.issn.1006-2513.2012.04.026.
- [61] JIRA W, SADEGHI-MEHR A, BRÜGGEMANN D A, et al. Production of dry-cured formed ham with different concentrations of microbial transglutaminase: mass spectrometric analysis and sensory evaluation[J]. Meat Science, 2017, 129: 81-87. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.02.021.
- [62] 付智星, 王卫, 侯薄, 等. 响应面法优化冷保鲜重组猪排配方工艺[J]. 食品科技, 2018, 43(1): 115-121; 128. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2018.01.021.
- [63] 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. DOI:10.19608/j.cnki.1673-8772.2017.0514.
- [64] 廖梓羽, 刘福权, 何强, 等. 磷酸盐对全蛋液凝胶特性及色度参数的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(2): 259-264. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2018.02.048.
- [65] KILIÇ B, ŞİMŞEK A, CLAUS J R, et al. Impact of added encapsulated phosphate level on lipid oxidation inhibition during the storage of cooked ground meat[J]. Journal of Food Science, 2016, 81(2): 359-368. DOI:10.1111/1750-3841.13205.
- [66] 张芸, 卞春丽, 张亚娟, 等. 磷酸盐对乳化肠持水性的影响[J]. 现代食品, 2017, 3(19): 104-106. DOI:10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2017.19.030.
- [67] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准: GB 2760—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [68] 林钗, 蒋高强. 肉制品复合磷酸盐保水剂的优化[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(10): 1746-1748. DOI:10.16178/j.issn.0528-9017.20171023.
- [69] 许道光, 程金妹, 戴四发. 焦磷酸盐与氯化钠腌制对牛肉色泽品质的影响[J]. 肉类工业, 2016, 37(5): 15-21. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2016.05.006.
- [70] 李龙祥, 赵欣欣, 孔保华. 复合磷酸盐添加量对调理重组牛肉品质特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(2): 1-5; 85. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2017.02.001.
- [71] 聂晓开, 邓绍林, 周光宏, 等. 复合磷酸盐、谷氨酰胺转氨酶、大豆分离蛋白对新型鸭肉火腿保水特性和感官品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 50-55. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201601010.
- [72] GLORIEUX S, GOEMAERE O, STEEN L, et al. Phosphate reduction in emulsified meat products: impact of phosphate type and dosage on quality characteristics[J]. Food Technology and Biotechnology, 2017, 55(3): 390-397. DOI:10.17113/ftb.55.03.17.5089.
- [73] 陈星, 沈清武, 王燕, 等. 新型腌制技术在肉制品中的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(2): 345-351. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2020.02.055.
- [74] 韦田, 梅林, 王志耕, 等. 超声波对猪肉腌制效率及其品质特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(11): 176-180. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201511032.
- [75] 贾娜, 刘丹, 李博文, 等. 超声波辅助腌制及煮制温度对酱牛肉品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(9): 115-118. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2016.09.026.
- [76] 冯婷, 孙京新, 徐幸莲, 等. 超声波辅助变压滚揉对鸡肉腌制品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(5): 248-254; 315. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.5.039.
- [77] 黄月, 黄菁, 陈宇, 等. 真空结合超声波加速盐渗透鸡翅的方法研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(19): 8-11. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2015.19.003.
- [78] 付丽, 郑宝亮, 高雪琴, 等. 牛肉的超声波快速腌制与嫩化工艺优化[J]. 肉类研究, 2017, 31(12): 23-29. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201712005.
- [79] RODRIGUES I, TRINDADE M A, CARAMIT F R, et al. Effect of high pressure processing on physicochemical and microbiological properties of marinated beef with reduced sodium content[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2016, 38(Part B): 328-333. DOI:10.1016/j.ifset.2016.09.020.
- [80] MA Fei, CHEN Conggui, ZHENG Lei, et al. Effect of high pressure processing on the gel properties of salt-soluble meat protein containing CaCl₂ and κ-carrageenan[J]. Meat Science, 2013, 95(1): 22-26. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.04.025.
- [81] YANG Huijuan, HAN Minyi, BAI Yun, et al. High pressure processing alters water distribution enabling the production of reduced-fat and reduced-salt pork sausages[J]. Meat Science, 2015, 102: 69-78. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.10.010.
- [82] 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. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.019387.
- [83] KANG Zhuangli, WANG Peng, XU Xinglian, et al. Effect of a beating process, as a means of reducing salt content in Chinese-style meatballs (kung-wan): a dynamic rheological and Raman spectroscopy study[J]. Meat Science, 2014, 96(2): 669-674. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.09.024.
- [84] 赖彩如, 张志刚, 苏永裕, 等. 真空滚揉腌制对同安封肉品质的影响及参数优化[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(7): 208-214. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201507039.
- [85] 张东, 李洪军, 李少博, 等. 不同腌制方式对猪肉腌制速率及肉质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(12): 88-92. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.014293.
- [86] INGUGLIA E S, ZHANG Z, TIWARI B K, et al. Salt reduction strategies in processed meat products: a review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2017, 59: 70-78. DOI:10.1016/j.tifs.2016.10.016.