

食盐对肉制品品质形成的作用及减盐技术研究进展

芮李彤, 李海静, 张婷婷, 郭琦, 李子豪, 夏秀芳*

(东北农业大学食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 食盐在改善肉制品的风味、质地及延长保质期等方面发挥着重要作用, 是目前肉品加工过程中最广泛使用的添加剂之一。但盐分摄入过多会增加多种疾病的发病率, 如胃癌、骨质疏松症、肾病、糖尿病和心脑血管疾病等。因此, 合理减少食盐的摄入量并采用适当的减盐技术在肉制品加工领域至关重要。本文综述食盐对肉制品品质的影响, 重点总结生产低盐肉制品的常规减盐方法(直接降低食盐的添加量、改变食盐的物理形态、应用食盐替代物、添加风味增强剂或品质改良剂等)和新型加工工艺(超声波技术、超高压技术、脉冲电场技术和微粉化技术等), 为提高低盐肉制品品质及低盐肉制品的加工提供理论参考。

关键词: 肉制品; 食盐; 减盐方法; 新技术; 品质特性

Progress in Research on the Effect of Sodium on Meat Product Quality and Sodium Reduction Technologies

RUI Litong, LI Haijing, ZHANG Tingting, GUO Qi, LI Zihao, XIA Xiufang*

(College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Sodium plays an important role in improving the flavor and texture as well as prolonging the shelf life of meat products. It is one of the most widely used food additives in the processing of meat products. However, excess sodium intake can increase the incidence of many diseases such as stomach cancer, osteoporosis, nephropathy, diabetes and cardiovascular diseases. Therefore, reasonable reduction of sodium use and the application of appropriate sodium reduction technologies are essential for the field of meat processing. In this paper, the effects of sodium on the quality of meat products are reviewed and the conventional sodium reduction methods (such as directly reducing the addition of sodium, changing the physical form of sodium, using sodium substitutes, and adding flavor enhancers or quality improvers) and the novel processing technologies (such as ultrasound, ultra-high pressure, pulsed electric field and micronization) for the production of low-sodium meat products are summarized. This review is expected to provide a theoretical reference for improving the quality and processing of low-sodium meat products.

Keywords: meat products; sodium; sodium reduction methods; novel technologies; quality characteristics

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220526-063

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2022) 07-0061-07

引文格式:

芮李彤, 李海静, 张婷婷, 等. 食盐对肉制品品质形成的作用及减盐技术研究进展[J]. 肉类研究, 2022, 36(7): 61-67.

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220526-063. <http://www.rlyj.net.cn>

RUI Litong, LI Haijing, ZHANG Tingting, et al. Progress in research on the effect of sodium on meat product quality and sodium reduction technologies[J]. Meat Research, 2022, 36(7): 61-67. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220526-063. <http://www.rlyj.net.cn>

《说文》中记载“古者, 宿沙初作煮海盐。”大约在炎黄时代, 古人即开始煮盐。如今, 食盐已是人们日

常生活中最常用的调味品之一。在肉制品加工过程中, 食盐除了能提供肉品所需的咸味, 还能起到增效和防腐

收稿日期: 2022-05-26

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32172273)

第一作者简介: 芮李彤(1999—)(ORCID: 0000-0003-1093-781X), 女, 硕士研究生, 研究方向为畜产品加工工程。

E-mail: ruilitong0625@126.com

*通信作者简介: 夏秀芳(1973—)(ORCID: 0000-0003-3780-3707), 女, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工工程。

E-mail: Xxfang524@163.com

的作用。此外,食盐能够有效促进盐溶性肌原纤维蛋白的溶解析出,进而促使肌原纤维蛋白与脂肪结合形成乳液,使肉在烹饪时产生稳定的凝胶结构^[1]和独特的感官特征^[2]。食盐的主要成分是氯化钠(NaCl),其中含有39.3%的钠,钠是人体中一种重要的无机元素,它的离子形式能够参与水的代谢,保持神经和肌肉应激性,在细胞膜通透性上起重要作用,此外,钠还可以维持心血管功能正常运作^[3]。

食盐对维持人体生理功能正常运转具有积极作用,但长期过量摄入食盐可使多种疾病发病率提高。根据美国心脏协会发布的数据,每年将近1 730万人死于高盐饮食引起的中风和一些心脑血管疾病以及这些疾病引发的并发症^[4]。高盐摄入会造成机体内水盐代谢不平衡,肾脏负担加重,进而导致罹患肾脏疾病的风险增加,可能还会伴有骨质疏松症和胃癌的发生^[5-6]。世界卫生组织建议成人的食盐摄入量应小于5 g/d(Na摄入量小于2 g/d)^[7]。然而,中国国家食品安全风险评估中心日前在《美国医学会期刊》报道,中国居民的高盐饮食情况十分严重,每个成人平均盐摄入量为9.1 g/d,远远高于5 g/d的推荐量^[8]。我国《“健康中国2030”规划纲要》对居民饮食习惯、可接受食盐摄入量等进行了评估,提议每人每天食盐摄入量应低于6 g^[9]。在日常生活中,人们从肉制品中摄入的食盐约占总摄入食盐的25%,肉制品已成为食盐的第二大摄入来源^[10],然而直接降低食盐添加量会导致肉制品整体风味水平下降,对其品质产生负面影响,而且还会缩短肉制品的保质期。因此,在减少食盐摄入量的同时保障肉制品的感官属性、品质特性和贮藏性质尤为重要。

本文综述食盐对肉制品品质形成的作用、常规减盐方法和低盐肉制品加工工艺,以期为低盐肉制品的研发及质量调控提供理论参考及研究方向,对推动我国低盐肉制品产业的健康发展具有重要意义。

1 食盐对肉制品品质形成的作用

食盐作为影响肉制品品质的关键因素,有助于提取肌原纤维蛋白,以提高肉制品嫩度和多汁性,不但改善了肉制品风味和保水能力,而且降低了水分活度,抑制了腐败微生物的生长代谢,延长了肉制品的保存期限^[11]。由此可见,食盐在肉制品加工中起着至关重要的作用。

1.1 增强肉制品风味

食盐能够赋予肉制品咸味并起到增鲜的作用,另一方面还可调节蛋白质和脂质等营养物质的水解和氧化,进而促进相应风味物质的产生^[12]。食盐的咸味主要来自NaCl中的Na⁺,Cl⁻则起到助味剂的作用,一些味觉活性化合物会赋予肉制品不同的口感,例如:加入天冬氨酸

和谷氨酸后,可提升肉品鲜味和咸味;甘氨酸和丝氨酸的添加会使肉制品甜味增加;精氨酸和异亮氨酸等加入到肉制品后会增加其苦味。干腌猪肉中游离氨基酸的种类和浓度随NaCl含量的增加而增加,NaCl的增加在一定程度上削弱了肉制品的酸味,增强了甜味和鲜味以及口感^[13]。

脂肪氧化形成的脂肪族醛、酮、烷烃及其相应的酸、酯和醇等挥发性物质是肉制品特有气味和风味形成的关键因素^[14]。低盐对肉制品脂肪氧化有促进作用,而相对较高的食盐添加量对脂肪氧化有一定的抑制作用^[15]。肉制品在盐腌后,在NaCl的作用下,肌原纤维蛋白溶解,对肌丝结构进行修饰,削弱了蛋白质-蛋白质相互作用的空间和结构障碍,蛋白质的去折叠和反应基团的暴露导致肉制品中蛋白质发生交联或聚集^[16]。此外,在加入食盐后,NaCl能通过芬顿反应将氧肌蛋白中的Fe²⁺转化成Fe³⁺,进而使亲氧化电位升高,随之活性氧含量增加,蛋白质的氧化被激发,并伴随着特殊风味物质的生成^[17]。

1.2 改善肉制品质地

食盐的加入增强了提取和溶解肌原纤维蛋白的能力,促进了蛋白质基质之间的相互作用,随后形成的蛋白质基质会在加热蒸煮后转变为更硬的凝胶,在胶凝化作用下,水合作用和结合水的能力增强,黏稠的渗液会使肉糜联结^[15],进而脂肪混合以形成稳定的乳状物,肉制品的黏结力提高,肉品质地得到很大程度的改善^[18]。高盐含量的肉制品中肌原纤维结构致密,NaCl对钙蛋白酶活性的抑制作用会增加肉品的硬度、嫩度、弹性、内聚性和适口性,使成品形态完整,质量提高^[19]。Ros-Polski等^[20]也证实,NaCl的添加显著增加了鸡肉的内聚性、黏性和咀嚼性。而且,较高浓度的NaCl将导致提取的肌原纤维蛋白数量增加,致使肉品质地变硬。

1.3 提高肉制品保水性

在肉和肉制品中,肌肉中的水分通过肌纤维晶格产生的毛细管作用力保持,水分子保留在肌肉纤维的肌丝之间,肌丝之间空间的大小决定了肉制品的保水性。蛋白质的空间结构影响肌丝之间的空间大小,蛋白质网状结构越疏松,保持的水分越多。加入食盐后,Cl⁻选择性地与肌原纤维蛋白结合,Na⁺在肌丝周围形成离子“云”,导致蛋白质分子所带净电荷增加,分子间静电斥力增加,使蛋白质结构松弛,肌丝膨胀,从而影响保水能力^[21]。

莫然等^[15]研究发现,加入NaCl提高了离子强度,肌肉蛋白质的溶解性随之增加,进而促进了蛋白质三维网络结构的形成,水分子能够通过物理作用嵌入到凝胶结构中,从而提高了对水分的束缚力,发酵牦牛肉的保水性增加^[22],蒸煮损失降低,而且这种保水性的增加对于确保肉制品的嫩度和多汁性至关重要。Jiang Qingqing等^[23]

在金枪鱼中加入适量的食盐时发现, 由于肌丝晶格的膨胀和肌原纤维蛋白的提取和溶解, 肌肉组织保水性增加, 金枪鱼肉质变得嫩滑。然而, 若在肉制品加工中加入过量食盐, 将导致肌肉细胞胞质分离, 食盐中NaCl中的Cl⁻结合到肌肉蛋白质带正电的侧基上, 导致正电荷减少, 蛋白质结构因此展开, Na⁺迁移速率增加, 促使肌肉脱水, 水分含量降低, 细胞内外渗透压增大, 更加快了水分的散失, 肉制品的保水性下降^[24]。

1.4 抑制肉制品中微生物

食盐主要通过降低水分活度、提高渗透压、水分子的化学吸引及Cl⁻的直接作用来抑制腐败和有害微生物生长, 从而延长肉制品保质期^[25]。由于NaCl的存在, 细胞内外渗透压增加, 水分流失引起细胞渗透性休克, 质壁分离, 细胞生长变慢直至停止, 大分子的生物合成受到抑制, 使细菌细胞严重损伤甚至死亡。而且水分子被固定在Na⁺和Cl⁻周围, 无法用于化学反应或微生物生长, 导致微生物生长受到抑制^[24]。汤兴宇等^[26]研究发现, 肉制品发酵前期, 蛋白质在微生物作用下发生降解, 为细菌生长繁殖提供了充足营养, 而发酵后期水分活度降低, NaCl质量浓度上升, 供给微生物生长的营养物质和自由水量随之减少, 导致微生物数量显著降低。

2 常规减盐方法

肉制品减盐的同时需要保障其色、香、味, 因此, 合理控制食盐的添加量至关重要。当前常规的减盐方法主要有: 直接降低食盐的添加量、改变食盐的物理形态、应用食盐替代物、添加风味增强剂或品质改良剂等^[27] (表1)。

表1 常规减盐技术的优缺点

Table 1 Advantages and disadvantages of conventional sodium reduction technologies

常规减盐技术	优点	缺点	参考文献
直接降低食盐的添加量	简单有效; 未引入其他添加剂; 无明显感官差异	耗时; 盐量的减少有限; 肉制品货架期缩短	[2]
改变食盐的物理形态	食盐溶解速度快, 提高咸味感知	成本较高; 技术不成熟; 应用范围有限	[28]
应用食盐替代物	改善因食盐含量降低而引起的肉制品品质劣变问题; 成本较低; 提供抗氧化功能; 延长肉制品保质期	过量会产生异味, 质地和色泽发生劣变	[29]
添加风味增强剂	增强咸味感知; 掩盖异味; 抑制微生物生长繁殖	成本较高; 摄入过量可能会诱发多动症、偏头痛、痛风等疾病	[30]
添加品质改良剂	改善肉制品的感官品质, 提高保水性、减少营养成分损失	用法、用量尚未完善, 毒副作用有待进一步探究	[31]

2.1 直接降低食盐的添加量

减少肉制品中食盐含量不仅会影响肉制品咸味, 而且会影响肉制品的嫩度和风味等感官特性^[32]。因此, 在不影响消费者口感和可接受度的情况下, 逐渐减少配方中的食盐添加量, 使消费者逐渐适应低盐肉制品的口

味, 是一种简单有效且有利于消费者健康的方法^[3], 这种渐进的方法不但可以降低产品的感知咸度, 而且还使消费者无法明显察觉咸度的变化^[33]。

然而, 这种方法存在一定的局限性。由于加入食盐可以防止肉品腐败, 遵循这种减少策略可能会导致肉制品保质期缩短, 引起肉制品品质劣变等现象^[21]。Stringer等^[34]发现, 原培根产品 (食盐添加量3.5%) 的保质期为56 d, 而减盐培根 (食盐添加量2.3%) 的保质期只有28 d。因此, 只通过降低食盐含量来达到肉制品减盐目的的方法, 应用在整个肉制品行业范围内并不是最佳选择。

2.2 改变食盐的物理形态

食盐的大小和形状在肉制品中起着重要作用, 因此, 控制食盐晶体的大小和形状成为一种有效且操作简单的减盐技术^[2]。研究表明, 更小的盐颗粒可以更快溶解, 进而更容易被味觉器官感知到, 这归因于较小的颗粒与较大的接触面积^[35]。Vinitha等^[36]研究发现, 将食盐颗粒尺寸降低到纳米级时, 由于其在唾液中的溶解速度快而显示出更高的咸度。Rama等^[28]利用不同粒径 (<106 μm、106~425 μm、425~710 μm) 的食盐对油炸薯片进行调味, 结果表明, 粒径小的食盐颗粒可以快速溶解在唾液中, 便于获得最大感知咸度。

此外, 改变食盐的形状同样可以减少肉制品中食盐的使用量, 而且不会影响咸味。晶体的溶解速率在很大程度上取决于其形态, 如圆度、纵横比和面积/周长比。与颗粒状食盐相比, 片状食盐具有更大的表面积和更小的堆积密度, 增加了其在口腔中的溶解速率, 从而产生更强的咸味感知^[9]。而且与表面光滑、密度高、裂缝和孔隙少的立方盐相比, 片状食盐可以改善水和脂肪的结合特性, 减少肉制品的烹饪损失^[2]。金字塔状海盐由于具有中空的金字塔结构和相对粗糙的表面, 其圆度较小, 导致表面积增大, 溶解速率加快, 咸味感知增强^[37]。

2.3 应用食盐替代物

由于食盐的主要成分为NaCl, 因此选择合适的钠盐替代物来弥补低盐肉制品咸味的缺失是提高低盐肉制品适口性的常用手段。常用的替代物有钾盐 (氯化钾、乳酸钾)、镁盐 (氯化镁) 和钙盐 (氯化钙、乳酸钙) 等, 它们在具备咸味的同时还能产生与钠盐类似的质量特性^[32]。与Na⁺相似, K⁺、Mg²⁺和Ca²⁺可以在凝胶化过程中增强肌原纤维蛋白的溶解能力, 进而形成有序的凝胶网络结构, 使肉制品品质得到改善^[38]。

Collins^[39]报道, 使用氯化钾或氯化镁替代切片和成型火腿中的30% NaCl, 制成的火腿风味、质地和整体可接受性与完全使用NaCl相比并无显著差别。Gou等^[40]也指出, 在干腌腰肉中利用氯化钾和乳酸钾替代40%的NaCl, 最后制得的产品风味没有太大改变。Devlieghere等^[41]将乳酸钾、乳酸钠和乳酸钙混合应用于包装熟肉制品

中,不但保持了产品的感官质量和货架期,而且使NaCl含量减少40%。但若是食盐替代品复配比例不合适可能导致肉品保质期缩短,对产品的口感、总体接受度等造成负面影响^[2]。

2.4 添加风味增强剂

风味增强剂通过激活口腔和喉咙中的受体来改变或增加人们所感知的食物味道或气味强度,其有助于补偿减盐所带来的感官缺陷^[3],常用的风味增强剂包括酵母提取物、水解植物蛋白、氨基酸、味精和核苷酸等^[32]。Santos等^[42]发现,用氯化钾替代50%和75%的NaCl生产的发酵熟食香肠具有苦味,而添加肌苷酸二钠、鸟苷酸二钠和牛磺酸等可以掩盖氯化钾替代比例过高所导致的苦味。值得注意的是,酵母提取物和水解植物蛋白本身含有相当于40%食盐的盐含量,味精等成分与多动症和偏头痛等有关,因此,需要严格控制这3种风味增强剂的用量^[2]。

2.5 添加品质改良剂

在肉制品加工过程中降低食盐用量会对肉制品质地、保水性和风味等产生负面影响,因此,可以在加工过程中添加一些品质改良剂,以获得与正常食盐含量肉制品相同的品质特性,提高肉制品可接受性^[21]。目前,应用于肉制品的改良剂有酶(谷氨酰胺转氨酶)、胶体类(卡拉胶、魔芋胶等)、糖醇类(山梨糖醇、丙二醇等)和海藻类(海藻、紫菜等)物质^[43]。Tseng等^[44]指出,在鸡肉丸中加入谷氨酰胺转氨酶不仅可以减少食盐含量,还可以使其持水性得到提高。Pappa等^[45]认为,添加果胶可以使低盐低脂法兰克福香肠的质地有所改善。糖醇类物质能够与肉制品中水分结合,不仅提高了低盐肉制品的保水性,还降低了系统的水分活度^[19]。将海藻类物质加入到低盐肉制品中可以使产品中的氨基酸、钾和钙等含量增加,并使其烹饪损失降低^[46]。

3 低盐肉制品加工工艺

肉类行业不断尝试应用新型技术手段来改善低盐肉制品品质,包括超声波技术、超高压技术、脉冲电场技术和微粉化技术等^[32]。这些加工工艺具有绿色环保、加工时间短、保持肉制品感官和营养品质等优点^[21],此外,还具有一定的杀菌防腐作用,可以延长肉制品的货架期。

3.1 超声波技术

超声波技术是利用其作用于液体时产生的空化效应加速肉制品的成熟和传质过程、延长肉品保质期的一种绿色、非热加工技术^[11]。在肉类工业中使用超声波来减少食盐用量是由于其可以改变细胞膜通透性并促进传质过程,从而有利于组织的腌制和嫩化等过程^[2]。Alarcon-Rojo等^[47]指出,在腌制过程中使用超声波可以使盐在肉

中分布更均匀,即使食盐添加量较低也能获得较大的咸味感知。此外,超声可以破坏肌原纤维的结构,增加纤维间空隙和肌动球蛋白解离程度,从而产生加速盐离子在盐析过程中流动的通道,使盐水和肉组织之间的浓度梯度迅速达到平衡状态,防止盐在肉表面的积累,从而减少盐的含量^[48]。

康大成^[49]发现,超声波辅助腌制处理可以加速盐水向牛肉的渗透,从而减少食盐的使用量,产生更高的咸味感知,缩短牛肉腌制时间,并改善牛肉嫩度、持水能力和质构特性。钟赛意^[50]也发现了相似的结果:与传统湿法腌制相比,应用超声波技术进行腌制明显加快盐水鸭盐分渗透,提高了腌制效率,并改善了肌肉颜色。但是由于不同微生物物种对超声波的抗性差异很大,例如,某些致病微生物的芽孢和真菌对超声波灭活的抗性更高,因此超声波技术不能杀灭全部微生物,将导致肉制品腐败^[8]。而且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^[29]。

3.2 超高压技术

超高压技术是指在温和的温度($<45^{\circ}\text{C}$)下对食品施加300~600 MPa压力的一种非热加工技术,其可以杀灭肉制品中的沙门氏菌、大肠杆菌和单核细胞增生李斯特菌等多种有害病原体以及酵母、假单胞菌和乳酸菌等营养腐败微生物,使肉制品最大程度保留原有的风味^[51]和色泽^[52]等。此外,超高压加工能使蛋白质结构伸展,其变性和聚集方式将发生变化,以达到类似添加食盐的效果,所以超高压技术可以减少肉制品中盐的添加量^[53]。不仅如此,利用超高压技术还可以极大提高腌制肉制品的腌制效率,延长肉制品货架期,有助于减盐肉制品的开发。

Clariana等^[54]发现,超高压(约600 MPa)处理的干腌猪肉里脊和火腿的咸味感知增强,这是由于钠离子和蛋白质结构之间相互作用的变化,这种变化的相互作用可能会导致更多的钠离子释放到味觉感受器,进而感受到较强的咸味。因此,超高压技术有助于减少肉制品中的食盐用量。

3.3 脉冲电场技术

脉冲电场技术是一种在不损害食品属性的前提下,对食品基质中的生物细胞进行破坏的新型非热杀菌技术,在保证食品营养和感官质量以及延长保质期方面有很好的应用潜力^[55]。它以较高的脉冲频率(0~2 000 Hz)、较短的脉冲宽度(0~100 μs)和较高的电场强度(10~50 kV/cm)对放置在2个电极之间的液态或半固态食品进行处理,导致细胞膜的结构变化和快速破裂,这种现象被称作电穿孔^[56],电穿孔导致膜中孔的形成和细胞膜渗透性的增加^[57],允许膜成分与细胞

环境交换, 并产生积极影响, 包括促进盐的扩散和 Na^+ 在肉基质中的输送、分布和释放、更有效的化合物提取或物理性质的变化, 从而在咀嚼过程中获得更强的咸味感知^[8]。电穿孔通过增加肌肉中的细胞外空间, 作为盐水扩散的额外通道, 促进肉品对盐的吸收^[58]。而且脉冲电场会影响蛋白质结构和功能, 这可能会改变蛋白质和盐之间的相互作用, 并影响咀嚼过程中 Na^+ 的释放和感知。

低盐肉制品经过脉冲电场处理后, 盐在肉基质中的扩散和分布更加均匀, 提高了肉制品的咸度, 而且食盐添加量的减少不会对产品的感官品质、蒸煮损失、脂质氧化和微生物稳定性产生任何不利影响, 还会使肉制品的嫩度增加。然而, 脉冲电场技术的应用仅限于低导电性和无气泡的产品, 以避免介质被击穿, 因此食品本身的特性和脉冲电场的处理强度和时间可能会造成产品品质的差异^[59]。

3.4 微粉化技术

微粉化技术是通过使用流体动力和机械方法来破坏内部连接并导致材料破裂, 随着所用材料结构、物理化学和功能性质的变化, 颗粒尺寸减小到微米级($<10\ \mu\text{m}$)。由于盐颗粒表面积增加且密度降低, 肉制品的溶解性、口感、吸水性、反应速率和风味释放等性能在微米级得到改善^[60]。食品材料可以通过使用机械研磨机、超临界流体技术、均质机或其他技术进行微粉化, 其中机械研磨机是肉品加工中最常见的微粉化技术^[61]。味蕾所感受到的咸味与盐输送到唾液的方式密切相关, 减小食盐颗粒的大小, 盐微球能够与口腔中更多的受体结合, 可以使它们在口腔中溶解得更快, 促进产生更强的咸味感知^[62], 而不参与味觉受体结合并被保留在食物中的盐微球更少, 使消费者能够更快、更强烈地感知到咸味^[32]。

Rios-Mera等^[63]将1.0%的微粉化盐与猪背部脂肪部分混合制成汉堡, 发现汉堡的pH值、颜色和基于消费者的感官评价与食盐含量为1.5%的汉堡相当, 表明使用微粉化盐比普通食盐更能强化咸味这种感官属性。虽然使用微粉化盐减少了食盐的用量且咸味没有发生改变, 但Galvão等^[62]发现, 最终获得的火鸡鸡腿变得干燥、易碎, 这是由于肉制品含有较多水分, 大部分微粉化食盐溶解在肉制品基质中, 造成肉中水分减少。因此, 建议在微粉化的食盐晶体上使用疏水涂层剂^[64]。

4 结 语

随着人们健康意识的提高, 降低食盐摄入量日渐成为人们的一种生活理念, 人们对低盐肉制品的需求日益增多。然而, 如何在不影响肉制品品质的情况下减少食盐添加量是一个巨大的挑战。目前一些低盐肉制品加工

工艺, 如超声波及超高压技术在降低肉制品中食盐含量并提高低盐肉制品品质等方面应用广泛, 然而, 越来越多的研究发现, 超声波技术和超高压技术这类非热加工工艺无法杀灭肉制品中全部微生物, 反而会影响低盐肉制品的保质期。而且, 不同加工工艺的适用条件不同, 只有深入了解这些工艺的适用环境并优化其工艺参数, 才能尽早实现商业化。

由于咸味的感知是由多种因素决定的, 仅采用单一的减盐手段可能会对肉制品品质产生不利影响, 适当将常规减盐技术与低盐肉制品加工工艺组合起来, 将有效提高低盐肉制品的品质。与此同时, 要不断尝试新的食盐替代物、风味增强剂和品质改良剂, 探索新型低盐肉制品加工工艺, 以期生产出高品质的低盐肉制品, 对提升消费者健康水平具有重要意义。

参考文献:

- [1] VIDAL V A S, LORENZO J M, MUNEKATA P E S, et al. Challenges to reduce or replace NaCl by chloride salts in meat products made from whole pieces: a review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, 61(13): 1-13. DOI:10.1080/10408398.2020.1774495.
- [2] 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.
- [3] 张东, 李洪军, 吴练军, 等. 减少肉制品中氯化钠含量的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(11): 238-243. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.014561.
- [4] BENJAMIN O, DAVIDOVICH-PINHAS M, SHPIGELMAND A, et al. Utilization of polysaccharides to modify salt release and texture of a fresh semi hard model cheese[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 75: 95-106. DOI:10.1016/j.foodhyd.2017.08.033.
- [5] VINITHA K, SETHUPATHY P, MOSES J A, et al. Conventional and emerging approaches for reducing dietary intake of salt[J]. *Food Research International*, 2022, 152: 11093. DOI:10.1016/j.foodres.2021.110933.
- [6] CAPPUCIO F P, BEER M, STRAZZULLO P. Population dietary salt reduction and the risk of cardiovascular disease. A scientific statement from the European Salt Action Network[J]. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 2019, 29: 107-114. DOI:10.1016/j.numecd.2018.11.010.
- [7] World Health Organization. Who issues new guidance on dietary salt and potassium[R]. Geneva: WHO, 2013.
- [8] HIPGRAVE D B, CHANG Suying, LI Xiaowei, et al. Salt and sodium intake in China[J]. *Journal of the American Medical Association*, 2016, 315(7): 703-705. DOI:10.1001/jama.2015.15816.
- [9] 余涛, 许倩, 牛希跃, 等. 低盐肉制品加工技术研究进展[J]. *食品与机械*, 2019, 35(12): 208-214. DOI:10.13652/j.jissn.1003-5788.2019.12.038.
- [10] 詹飞丽, 李苗云, 赵改名, 等. 食盐对肉制品风味影响及降盐技术研究进展[J]. *中国调味品*, 2020, 45(3): 180-182; 187. DOI:10.3969/j.jissn.1000-9973.2020.03.037.
- [11] GÓMEZ J A, GALVÁN A, LORENZO J M, et al. Ultrasound effect on salt reduction in meat products: a review[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2021, 38: 71-78. DOI:10.1016/j.cofs.2020.10.030.

- [12] 李永杰, 唐月, 李慧瑶, 等. 基于智能感官和气相色谱-质谱联用技术研究食盐添加量对风干肠风味特征的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(4): 1-7. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210221-221.
- [13] TIAN Xing, LI Zongjun, CHAO Yuzhou, et al. Evaluation by electronic tongue and headspace-GC-IMS analyses of the flavor compounds in dry-cured pork with different salt content[J]. Food Research International, 2020, 137: 109456. DOI:10.1016/j.foodres.2020.109456.
- [14] CHEN Qian, KONG Baohua, HAN Qi, et al. The role of bacterial fermentation in lipolysis and lipid oxidation in Harbin dry sausages and its flavour development[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 77: 389-396. DOI:10.1016/j.lwt.2016.11.075.
- [15] 莫然, 唐善虎, 李思宁, 等. NaCl添加量对发酵牦牛肉灌肠成熟过程中理化品质及挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(4): 69-79. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210315-191.
- [16] JIANG Qingqing, NAKAZAWA N, HU Yaqin, et al. Evolution of tissue microstructure, protein properties, and oxidative stability of salted bigeye tuna (*Thunnus obesus*) meat during frozen storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 149: 111848. DOI:10.1016/j.lwt.2021.111848.
- [17] 任锐, 颜铃, 王浩东, 等. 肉及肉制品蛋白质氧化机理及其抑制途径的研究进展[J]. 肉类工业, 2020(8): 50-56.
- [18] DE OLIVEIRA PAULAA M M, DE BARROS SILVA HADDADA G, RODRIGUES L M, et al. Effects of PSE meat and salt concentration on the technological and sensory characteristics of restructured cooked hams[J]. Meat Science, 2019, 152(6): 96-103. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.02.020.
- [19] YALÇIN M Y, ŞEKER M. Effect of salt and moisture content reduction on physical and microbiological properties of salted, pressed and freeze dried turkey meat[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 68: 153-159. DOI:10.1016/j.lwt.2015.12.032.
- [20] ROS-POLSKI V, KOUTCHMA T, XUE J, et al. Effects of high hydrostatic pressure processing parameters and NaCl concentration on the physical properties, texture and quality of white chicken meat[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2015, 30: 31-42. DOI:10.1016/j.ifset.2015.04.003.
- [21] 田文广, 张琼琼. 减盐对肉制品质量特性的影响及改善策略[J]. 肉类工业, 2022, 43(3): 44-49. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2022.03.008.
- [22] 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.
- [23] JIANG Qingqing, NAKAZAWA N, HU Yaqin, et al. Changes in quality properties and tissue histology of lightly salted tuna meat subjected to multiple freeze-thaw cycles[J]. Food Chemistry, 2019, 293(30): 178-186. DOI:10.1016/j.foodchem.2019.04.091.
- [24] ZHANG Yawei, GUO Xiuyun, PENG Zengqi, et al. A review of recent progress in reducing NaCl content in meat and fish products using basic amino acids[J]. Trends in Food Science and Technology, 2022, 119: 215-226. DOI:10.1016/j.tifs.2021.12.009.
- [25] FRAQUEZA M J, LARANJO M, ELIAS M, et al. Microbiological hazards associated with salt and nitrite reduction in cured meat products: control strategies based on antimicrobial effect of natural ingredients and protective microbiota[J]. Current Opinion in Food Science, 2020, 38: 32-39. DOI:10.1016/j.cofs.2020.10.027.
- [26] 汤兴宇, 王浩东, 吴念, 等. 食盐对传统发酵肉成熟过程中微生物菌群、理化性质及盐溶性蛋白特性的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(10): 1-7. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200701-166.
- [27] 蒯艳婷. 不同类型膳食纤维对低盐香肠食用品质的影响[D]. 锦州: 渤海大学, 2019: 9-17.
- [28] RAMA R, CHIU N, DA SILVA M C, et al. Impact of salt crystal size on in-mouth delivery of sodium and saltiness perception from snack foods[J]. Journal of Texture Studies, 2013, 44(5): 338-345. DOI:10.1111/jtxs.12017.
- [29] 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.
- [30] 王栋, 张琦, 陈玉峰, 等. 干腌肉制品低盐加工技术及其减盐机制研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(7): 222-231. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210123-256.
- [31] 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.
- [32] 皮若冰, 李大鹏, 洪惠, 等. 肉制品中减盐策略研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 43(13): 408-415. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2021060248.
- [33] LIEM D G, MIREMADI F, KEAST R S J. Reducing sodium in foods: the effect on flavor[J]. Nutrients, 2011, 3(6): 694-711. DOI:10.3390/nu3060694.
- [34] STRINGER S C, WEBB M D, PECK M W. Lag time variability in individual spores of *Clostridium botulinum*[J]. Food Microbiology, 2011, 28(2): 228-235. DOI:10.1016/j.fm.2010.03.003.
- [35] DESMOND E. Reducing salt: a challenge for the meat industry[J]. Meat Science, 2006, 74(1): 188-196. DOI:10.1016/j.meatsci.2006.04.014.
- [36] VINITHA K, LEENA M M, MOSES J A, et al. Size-dependent enhancement in salt perception: spraying approaches to reduce sodium content in foods[J]. Powder Technology, 2021, 378: 237-245. DOI:10.1016/j.powtec.2020.09.079.
- [37] SUN Cuixia, ZHOU Xuelian, HU Zining, et al. Food and salt structure design for salt reducing[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2020, 67(1): 102570. DOI:10.1016/j.ifset.2020.102570.
- [38] ANDRETTA-GORELKINA I V, GREIFF K, RUSTAD T, et al. Reduction of salt in haddock mince: effect of different salts on the solubility of proteins[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2015, 25(4): 518-530. DOI:10.1080/10498850.2013.879241.
- [39] COLLINS J E. Reducing salt (sodium) levels in processed meat, poultry and fish products[M]. Springer US, 1997.
- [40] GOU P, GUERRERO L, GELABERT J, et al. Potassium chloride, potassium lactate and glycine as sodium chloride substitutes in fermented sausages and in dry-cured pork loin[J]. Meat Science, 1996, 42(1): 37-48. DOI:10.1016/0309-1740(95)00017-8.
- [41] DEVLIEGHERE F, VERMEIREN L, BONTENBAL E, et al. Reducing salt intake from meat products by combined use of lactate and diacetate salts without affecting microbial stability[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010, 44(2): 337-341. DOI:10.1111/j.1365-2621.2008.01724.x.
- [42] SANTOS B A D, CAMPAGNOL P C B, MORGANO M A, et al. Monosodium glutamate, disodium inosinate, disodium guanylate, lysine and taurine improve the sensory quality of fermented cooked sausages with 50% and 75% replacement of NaCl with KCl[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 509-513. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.08.024.
- [43] 郑海波, 徐幸莲, 周光宏. 肉制品低钠盐加工技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(4): 370-375. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.04.072.
- [44] TSENG T F, LIU D C, CHEN M T. Evaluation of transglutaminase on the quality of low-salt chicken meatballs[J]. Meat Science, 2000, 55(4): 427-431. DOI:10.1016/S0309-1740(99)00172-2.
- [45] PAPPA I C, BLOUKAS J G, ARVANITOYANNIS I S. Optimization of salt, olive oil and pectin level for low-fat frankfurters produced by

- replacing pork backfat with olive oil[J]. *Meat Science*, 2000, 56(1): 81-88. DOI:10.1016/S0309-1740(00)00024-3.
- [46] SCIESZKA S, KLEWICKA E. Algae in food: a general review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2018, 59(21): 3538-3547. DOI:10.1080/10408398.2018.1496319.
- [47] ALARCON-ROJO A D, JANACUA H, RODRIGUEZ J C, et al. Power ultrasound in meat processing[J]. *Meat Science*, 2015, 107: 86-93. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.04.015.
- [48] GÓMEZ-SALAZAR J A, OCHOA-MONTES D A, CERÓN-GARCÍA A, et al. Effect of acid marination assisted by power ultrasound on the quality of rabbit meat[J]. *Journal of Food Quality*, 2018, 2018(1): 1-6. DOI:10.1155/2018/5754930.
- [49] 康大成. 超声波辅助腌制对牛肉品质的影响及其机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017: 56-59.
- [50] 钟赛意. 超声波在盐水鸭加工中的应用研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2007: 27-28.
- [51] CHEFTEL J C, CULIOLI J. Effects of high pressure on meat: a review[J]. *Meat Science*, 1997, 46(3): 211-236. DOI:10.1016/s0309-1740(97)00017-x.
- [52] KAMENÍK J, SALÁKOVÁ A, HULÁNKOVÁ R, et al. The effect of high pressure on the microbiological quality and other characteristics of cooked sausages packed in a modified atmosphere or vacuum[J]. *Food Control*, 2015, 57: 232-237. DOI:10.1016/j.foodcont.2015.04.010.
- [53] 杨慧娟. 超高压处理改善低脂低盐猪肉糜制品乳化凝胶特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2019: 71-72.
- [54] CLARIANA M, GUERRERO L, SÁRRAGA C, et al. Influence of high pressure application on the nutritional, sensory and microbiological characteristics of sliced skin vacuum packed dry-cured ham. Effects along the storage period[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2011, 12(4): 456-465. DOI:10.1016/j.ifset.2010.12.008.
- [55] GOMEZ B, MUNEKATA P E S, GAVAHIAN M, et al. Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: an overview[J]. *Food Research International*, 2019, 123: 95-105. DOI:10.1016/j.foodres.2019.04.047.
- [56] BHAT Z F, MORTON J D, MASON S L, et al. Current and future prospects for the use of pulsed electric field in the meat industry[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2019, 59(10): 1660-1674. DOI:10.1080/10408398.2018.1425825.
- [57] OSTERMEIER R, GIERSEMEHL P, SIEMER C, et al. Influence of pulsed electric field (PEF) pre-treatment on the convective drying kinetics of onions[J]. *Journal of Food Engineering*, 2018, 237: 110-117. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2018.05.010.
- [58] CROPOTOVA J, TAPPI S, GENOVESE J, et al. Study of the influence of pulsed electric field pre-treatment on quality parameters of sea bass during brine salting[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2021, 70: 102706. DOI:10.1016/j.ifset.2021.102706.
- [59] MCDONNELI C K, ALLEN P, CHARDONNEREAU F S, et al. The use of pulsed electric fields for accelerating the salting of pork[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 59(2): 1054-1060. DOI:10.1016/j.lwt.2014.05.053.
- [60] DHIMAN A, PRABHAKAR P K. Micronization in food processing: a comprehensive review of mechanistic approach, physicochemical, functional properties and self-stability of micronized food materials[J]. *Journal of Food Engineering*, 2021, 292: 110248. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2020.110248.
- [61] YIN Sijia, LIANG Tisong, JIAO Shunshan, et al. Improvement effects of micronization on morphology, functional and nutritional attributes of stabilized rice bran[J]. *Food Research International*, 2022, 157: 111328. DOI:10.1016/j.foodres.2022.111328.
- [62] GALVÃO M, MOURA D B, BARRETTO A C D S, et al. Effects of micronized sodium chloride on the sensory profile and consumer acceptance of turkey ham with reduced sodium content[J]. *Food Science and Technology*, 2014, 34(1): 189-194. DOI:10.1590/S0101-20612014005000009.
- [63] RIOS-MERA J D, SALDANA E, CRUZADO-BRAVO M, et al. Reducing the sodium content without modifying the quality of beef burgers by adding micronized salt[J]. *Food Research International*, 2019, 121: 288-295. DOI:10.1016/j.foodres.2019.03.044.
- [64] RIOS-MERA J D, SELANI M M, PATINHO I, et al. Modification of NaCl structure as a sodium reduction strategy in meat products: an overview[J]. *Meat Science*, 2021, 174: 108417. DOI:10.1016/j.meatsci.2020.108417.