

# 低盐肉制品贮藏特性研究进展

徐梅, 黄攀, 陈从贵, 徐宝才, 李沛军\*

(1. 合肥工业大学农产品生物化工教育部工程研究中心, 安徽合肥 230009; 2. 合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽合肥 230009)

**摘要:** 低盐化是肉制品加工的发展趋势, 但降低食盐含量会引发产品贮藏品质的劣变。综述国内外肉制品减盐策略, 从肉制品低盐化影响其理化特性、微生物特性、风味及感官品质几个方面, 系统讨论降低食盐使用对产品贮藏特性的影响, 旨在为低盐肉制品的贮藏保鲜提供理论参考。

**关键词:** 低盐; 肉制品; 贮藏品质; 理化特性; 微生物特性; 挥发性风味物质; 感官品质

## Research Progress on the Storage Properties of Low-Salt Meat Products: A Review

XU Mei, HUANG Pan, CHEN Cong-gui, XU Bao-cai, LI Pei-jun\*

(1. Engineering Research Center of Bio-process, Ministry of Education, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China; 2. School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China)

**Abstract:** Salt-reducing is a developing trend in meat manufacturing, however, it would lead to deterioration of storage qualities of the products. This paper summarizes strategies for sodium reduction in meat products and discusses the effects on the storage properties of low-salt meat products from the aspects of physicochemical property, microbial property, flavor and sensory quality. It provides theoretical reference for the storage and preservation of low-salt meat products.

**Key words:** low-salt; meat product; storage quality; physicochemical property; microbial property; volatile flavor compound; sensory quality

引文格式:

徐梅, 黄攀, 陈从贵, 等. 低盐肉制品贮藏特性研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(16): 192-197

XU Mei, HUANG Pan, CHEN Conggui, et al. Research Progress on the Storage Properties of Low-Salt Meat Products: A Review[J]. Food Research and Development, 2019, 40(16): 192-197

食盐(氯化钠)作为重要的防腐剂在肉制品加工中起多种关键作用, 它不仅可以通过降低肉制品中的水分活度(water activity, AW)抑制其中有害微生物的生长<sup>[1]</sup>; 同时还具有提供咸味、增强风味、提取肉中的肌原纤维蛋白并改善肉制品质地等重要功能<sup>[2-3]</sup>。目前, 我国人均食盐的摄入量大大超过世界卫生组织

(world health organization, WHO)推荐摄入量, 而加工肉制品是消费者摄入食盐的重要来源<sup>[4-5]</sup>。研究证实, 高盐饮食会引起高血压、冠心病等心血管疾病, 而适度的减少食盐摄入量可以使这些疾病的发病率显著降低<sup>[6]</sup>。另一方面, 降低肉制品中的食盐含量势必会引起其贮藏品质的劣变。本文综述了肉制品中的减盐策略及减盐对肉制品贮藏特性的影响, 旨在为低盐肉制品保鲜技术开发提供理论依据。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0401205); 安徽省科技重大专项(18030701168)

作者简介: 徐梅(1993—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 肉品加工及贮藏。

\* 通信作者: 李沛军(1986—), 男(汉), 副教授, 博士, 研究方向: 肉品加工及贮藏。

## 1 高盐膳食危害

目前我国人均食盐的摄入量是 WHO 推荐摄入量的 2.4 倍, 其中约 25% 的食盐是来自加工肉制品<sup>[6]</sup>。高

盐饮食已被证明与高血压及冠心病等疾病有直接关系,因此亟需在加工肉制品中减少食盐的添加量以满足广大消费者对健康的需求<sup>[7]</sup>。值得注意的是,我国政府已将减盐作为中国健康发展计划(健康中国 2030)中的关键部分,中英减盐行动(action on salt China,ASC)也制定了有效的国家间减盐方案,以期实现世卫组织提出的到2025年减少全球居民30%食盐摄入量的目标<sup>[8]</sup>。

## 2 肉制品的减盐策略

为了满足消费者对低盐食品日益增长的消费需求,国内外学者针对肉制品减盐策略进行了广泛研究,主要策略包括改变食盐的形态和分布、使用食盐替代物和利用新型加工技术等。

肉制品减盐策略见表1。

表1 肉制品减盐策略  
Table 1 Salt reduction strategy in meat product

减盐策略	品种	食盐降低量	参考文献
改变食盐形态和分布	Alberger <sup>®</sup> 片状盐	火腿	25 % [1]
	食盐分布不均	凝胶、香肠	取决于产品 [9]
使用食盐替代物	氯化钾	干腌培根	40 % [10]
	氯化钾(25 %)、氯化钙(15 %)和氯化镁(5 %)	干腌肉	45 % [9]
	氯化钾、乳酸钾	烟熏火腿	100 % [11]
	乳酸钾、抗坏血酸钠	法兰克福香肠	40 % [2]
	混合盐(硝酸盐、磷酸盐、抗坏血酸)	腊肉	33 % [12]
	卡拉胶、黄原胶	低脂乳化肠	取决于产品 [13]
	海藻;谷氨酰胺酶/酪蛋白酸盐	重组禽肉	66 % [14]
	矿物盐	香肠	40 % [15]
	燕麦β-葡聚糖浓缩物	鸡胸肉	60 % (取决于产品) [16]
	天然风味增强剂	法兰克福香肠	33 % [17]
利用新型加工技术	酱油	法兰克福香肠	24 % [18]
	HPP	蒸煮火腿	42 % [19]
	超声波	重组火腿	57 % [20]

### 2.1 改变食盐的形态和分布

改食盐形态更容易被消费者的味觉器官所感知,片状食盐因其具有较大的表面积而更易溶解的特性,因此改变食盐的形态和分布是降低肉制品中食盐添加量的策略之一,表1中列出了相关的研究进展。溶解速度快的片状盐已被广泛商业应用<sup>[9]</sup>。Mosca等<sup>[9]</sup>研究表明,香肠中食盐的分布不均会增强消费者对咸味的感知,消费者也会偏爱因食盐分布不均而增强咸味感知的食品。

### 2.2 使用食盐替代物

#### 2.2.1 金属盐替代物

目前,使用食盐替代物是降低肉制品中食盐含量的最常见选择。常见的金属盐替代物包括氯化钾、氯化钙和氯化镁等<sup>[21]</sup>。使用替代盐来降低肉制品的食盐含量时,应考虑不同的替代盐对肉制品品质的影响。氯化钾是公认的最佳替代盐,这是因为氯化钾具有与氯化钠相似的理化性质,且添加氯化钾可以降低消费者患高血压和心血管等疾病的风险<sup>[22]</sup>。一些研究表明,

使用氯化钾会对肉制品的质地、风味、外观以及保质期等产生负面影响<sup>[8]</sup>。Aliño等<sup>[23]</sup>研究发现,高氯化钾替代比会引起肉制品颜色和质地的劣变。与乳制品、蔬菜以及坚果等食品相比,肉制品中钙含量较低。因此添加钙盐不仅可以达到减盐的目的,同时还可以提高肉制品中钙含量,有助于丰富肉制品营养。然而,使用钙盐(如氯化钙)替代还需重点关注其对肉制品质地和风味的影响<sup>[24]</sup>。Horita等<sup>[25]</sup>研究发现,氯化钙作为替代盐会降低低脂意式肉肠的乳化稳定性、蒸煮出品率、弹性和粘合性。镁是人体必须的金属元素,对人体的生理过程起着不可替代的作用。研究发现,人们在各个年龄阶段都易缺乏镁元素,因此利用氯化镁替代肉制品中的食盐,既能达到减少钠的摄入,又能增加人体对镁的摄入<sup>[26]</sup>。Totosaus等<sup>[27]</sup>研究发现,氯化镁及氯化钾作为食盐替代物,有利于形成稳定的肉糜。Kim等<sup>[28]</sup>研究表明,使用氯化镁替代25%的食盐,可以提高猪肉肠的持水性和颜色。研究表明,一些其他非氯替代盐,如磷酸盐、矿物混合盐等<sup>[7]</sup>,也可作为食盐替

代物。

### 2.2.2 其它替代物

肉制品中食盐添加量的减少会引起产品风味降低和质地变差等变化,添加风味增强剂可以弥补减盐对肉制品风味的负面影响。这类物质主要是通过激活味觉受体来增强咸味感知,最后达到肉制品低盐化的目的,具体物质可参见表 1<sup>[1]</sup>。另外,添加一些大分子物质(纤维素等)和一些常见的食用胶类(黄原胶、卡拉胶、葡聚糖等)可以增强蛋白质的结合作用,从而提高肉制品的保水性和粘合性,改善低盐肉制品的质地,降低低盐肉制品的蒸煮损失<sup>[1,16]</sup>。

### 2.2.3 利用新型加工技术

目前,超高压处理(high pressure processing, HPP)和超声波是常被应用于低盐肉制品的加工技术<sup>[29]</sup>。一些研究表明,HPP 可以通过增强肉制品中的咸味感知和改善肉制品的质地,最终达到肉制品低盐化的目的<sup>[30-31]</sup>。然而,过高的压力水平会对肉制品的品质产生负面影响,如:促进脂肪氧化、质地变差和感官品质劣变等<sup>[32]</sup>。超声波技术可以通过加速食盐的渗透速率提高肉制品的腌制效率,从而达到减盐的目的<sup>[20]</sup>。

## 3 减盐对肉制品贮藏特性的影响

随着我国居民消费水平的逐步提高,消费者对绿色、健康饮食的要求也越来越高,因此消费者对低盐食品,特别是低盐肉制品的需求日益剧增<sup>[33-34]</sup>。然而,减少食盐含量会影响产品的理化特性、微生物特性、风味和感官品质等贮藏特性,缩短肉制品的保质期。

### 3.1 物理特性

食盐可以改善肉制品的质地及提高肉制品的保水性,同时对产品的色泽也有积极影响,因此降低食盐添加量会对肉制品的质地、保水性及  $a_w$  等物理特性产生负面影响<sup>[35]</sup>。Bower 等<sup>[36]</sup>研究发现减少火鸡肉和牛肉中的食盐含量,会对产品贮藏期间的硬度、黏结性和蒸煮产率产生负面影响。Cluff 等<sup>[37]</sup>研究也表明,降低猪肉肠中食盐含量,可能会引起贮藏末期猪肉肠的硬度显著增加。Bampi 等<sup>[38]</sup>使用氯化钾替代牛肉中 25% 的氯化钠,发现氯化钾在牛肉腌制过程中的扩散速度大于氯化钠,并且氯化钾替代会导致牛肉中  $a_w$  降低的较小。因此降低肉制品中的食盐含量,可能会引起产品贮藏期间某些物理品质的劣变。

### 3.2 化学特性

目前研究发现,氯化钠在肉制品中既可能是促氧化剂,也有可能起着抗氧化的作用<sup>[39]</sup>。Rhee 等<sup>[40]</sup>研究表明,在猪肉中较低浓度的食盐含量促进脂肪氧化,而

当食盐浓度大于 2% 时则抑制猪肉中的脂肪氧化,这与 Sharedeh 等<sup>[41]</sup>的结论相一致。然而,张平<sup>[42]</sup>以不同食盐含量的四川腊肉(3%~7%,质量分数)为研究对象,却发现其脂肪氧化程度会随着食盐含量的增加而加剧。研究表明,相比氯化钾和氯化镁,氯化钠可能会加速肉制品的酸败<sup>[34]</sup>。然而,Wu 等<sup>[24]</sup>发现当氯化钾的替代比例大于 40% 时,会显著影响干腌培根的蛋白氧化和脂肪氧化,这也与 Hernández 等<sup>[43]</sup>的结论不一致。虽然氯化钠相比氯化钾可以明显抑制谷胱甘肽过氧化物酶的活性从而促进脂肪氧化,但是这也取决于氯化钾和氯化钠的离子强度和肉制品的类型。Santos 等<sup>[44]</sup>发现添加氯化钙可以促进干腌发酵香肠的脂肪氧化,这与 Flores 等<sup>[45]</sup>的研究结论一致。而 Horita 等<sup>[25]</sup>研究发现,在减脂香肠中使用氯化钾和氯化钙替代食盐时,其脂肪氧化被显著抑制,这可能是由于肉制品的种类不同,抑或是肉制品中的某些成分及添加剂的抗氧化作用不同导致的。因此,针对不同种类肉制品,不同盐种类及含量对肉制品脂肪和蛋白质氧化具有重要影响,从而影响产品的贮藏特性。

## 3.3 微生物特性

### 3.3.1 腐败菌

食盐作为最古老的食物防腐剂,可以通过降低肉制品的  $a_w$  来抑制有害微生物的生长并延长肉制品的货架期。Martínez Sepúlveda<sup>[46]</sup>研究表明,蒸煮肠中食盐含量的降低会引起产品微生物菌群的变化,同时影响产品的货架期。Bower 等<sup>[36]</sup>发现,在贮藏过程中食盐含量的降低会引起烤牛肉中乳酸菌的生长,且食盐含量较低(1.5%)的烤牛肉具有最低的 pH 值和最高的乳酸菌菌数。张平<sup>[42]</sup>也得出相似的研究结论,四川腊肉中食盐含量的降低(从 6% 降至 3%)会引起产品贮藏期间乳酸菌的显著生长。Laranjo 等<sup>[47]</sup>发现葡萄牙传统血肠中食盐含量的降低(从 6% 降至 3%)会促进嗜温性微生物的生长。Aaslyng 等<sup>[48]</sup>发现,热狗中食盐含量的降低不会显著影响贮藏过程中乳酸菌及需氧微生物的生长;相反,培根中的食盐含量的降低会促进贮藏过程中乳酸菌及需氧微生物的生长,缩短产品的货架期。同样,Delgado-Pando 等<sup>[49]</sup>发现在培根和火腿中分别降低 34% 和 19% 的食盐使用量,都会促进微生物的生长。上述研究结果表明,食盐含量对不同肉制品中微生物生长的影响不尽相同。Raccach 等<sup>[50]</sup>研究发现在猪肉肠中使用氯化钙和氯化钾部分替代氯化钠时,需氧嗜温性细菌的生长得到了抑制。这与 Samapundo 等<sup>[51]</sup>的结论一致:使用氯化钙、氯化镁、氯化钾和硫酸镁替代熟制火腿中的食盐,发现二价氯化物(尤其氯

化钙)具有最强的抑菌作用。因此,肉制品中食盐含量的降低会对肉制品中菌群结构产生显著影响。

### 3.3.2 致病菌

食盐被认为是食品中最有效、用途最广泛的抗菌成分<sup>[52]</sup>。Bidlas 等<sup>[53]</sup>研究发现,等摩尔浓度的氯化钾和氯化钠对嗜水气单胞菌、阪崎肠杆菌、福氏志贺菌、小肠结肠炎耶尔森菌和金黄色葡萄球菌等致病菌的有相似的抑菌效果。而 Boziaris 等<sup>[54]</sup>研究表明,等摩尔浓度的氯化钾和氯化钠在 MRS 肉汤中对单增李斯特菌生长繁殖的影响无显著差别,这可能是因为氯化钾和氯化钠具有相似的理化性质。有学者发现食盐和亚硝酸钠盐可以协同抑制腌制肉制品中的肉毒梭状芽孢杆菌,但是其它替代盐与亚硝酸钠盐之间的相互作用尚未被研究过<sup>[55]</sup>。Stollewerk 等<sup>[11]</sup>研究发现,用氯化钾和乳酸钾全部替代烟熏火腿中食盐会促进产品中单增李斯特菌的生长,降低产品的贮藏稳定性和微生物安全性。因此,降低肉制品中的食盐含量,可能会引起产品中致病菌生长,从而引发微生物安全性问题。

### 3.4 挥发性风味物质

肉制品中的挥发性风味物质主要来源于其脂肪分解和蛋白水解。脂肪分解产生的游离脂肪酸(free fatty acid, FFA) 经过脂肪氧化而产生多种挥发性化合物,包括:醛类、甲基酮类和醇类等。蛋白质水解产生的肽和游离氨基酸通过氨基肽酶的作用生成游离氨基酸(free fatty acid, FAA)<sup>[42]</sup>。研究表明,食盐的含量可以影响肉中一些内源酶的活性从而改变脂肪分解的程度,而降低食盐含量又会影响肉制品脂肪氧化的程度,因此减少食盐含量对肉制品中的挥发性风味物质有很大影响<sup>[56-57]</sup>。张平<sup>[42]</sup>以不同食盐含量的四川腊肉为研究对象,发现食盐含量升高会促进腊肉风味物质的形成。使用一些常见的金属替代盐也会影响其脂肪分解酶的活性,而改变 FFA 的组成;同时,使用这些替代盐也会影响肉制品的脂肪氧化程度。因此,使用这些的金属替代盐也会通过影响肉制品的脂肪分解和脂肪氧化程度而影响肉制品的挥发性风味物质<sup>[52]</sup>。Santos 等<sup>[44]</sup>研究发现添加氯化钾作为替代盐不会显著影响干腌发酵香肠挥发性风味物质的生成,但是添加氯化钙作为替代盐会促进干腌发酵香肠的脂肪氧化,有利于发酵香肠挥发性风味物质的生成。Santos 等<sup>[56]</sup>发现添加氯化钙也会加剧发酵香肠的脂肪氧化程度而促进一些挥发性风味物质的生成,例如:己醛和(E)-庚-2-烯醛。唐静<sup>[58]</sup>研究发现,氯化钾部分替代干腌火腿中的食盐,可以显著提高终产品的硫代巴比妥酸(TBARS)

值和不饱和脂肪酸含量,最终促进产品贮藏期间挥发性物质的产生,包括乙醇、硫化物、烷烃类等物质。肉制品中食盐含量的降低,可能会引起产品贮藏期间挥发性风味物质的减少;使用某些替代盐可能会促进肉制品的脂肪水解及氧化,从而促进肉制品挥发性物质的形成。

### 3.5 感官品质

食盐可以提供咸味以及增强肉制品的风味,同时食盐对肉制品的质地也有积极作用,因此降低食盐含量会对肉制品的感官品质会有较大的负面影响。吴海舟等<sup>[59]</sup>用氯化钾(0~60%)替代干腌肉制品中的食盐,发现氯化钾替代比例小于40%时对各产品的各项感官指标无显著影响,同时干腌肉制品中的食盐含量降至3.14%时不会显著影响其贮藏期间的感官品质。Campagnol 等<sup>[60]</sup>发现在发酵香肠中使用氯化钾替代50%的食盐时,其感官品质较差,这是因为氯化钾替代50%的食盐会产生金属苦涩味,同时促进了贮藏期间的蛋白质水解和异味产生。因此,肉制品中食盐含量的降低可能会影响终产品的感官品质。

## 4 结语

目前,在肉制品加工中亟需减少食盐添加量以满足消费者对健康饮食的需求。而降低食盐含量会给肉制品的贮藏品质带来一系列负面影响,包括产品质地的劣变、脂肪和蛋白质的过度氧化、产品货架期的缩短、微生物安全性的降低及风味变差,最终影响产品的感官品质使其不被消费者所接受。因此,我们需要关注低盐肉制品贮藏过程中存在的品质劣变问题,积极开展产品贮藏保鲜新技术研究,在降低肉制品中的食盐含量的同时,保持产品贮藏品质。相信随着低盐肉制品贮藏品质保持技术的不断成熟,我国将会协助 WHO 实现在 2025 年减少全球居民 30% 食盐摄入量的目标。

### 参考文献:

- [1] INGUGLIA E S, ZHANG Z H, TIWARI B K, et al. Salt reduction strategies in processed meat products—a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 59: 70–78
- [2] CHOI Y M, JUNG K C, JO H M, et al. Combined effects of potassium lactate and calcium ascorbate as sausage[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 21–25
- [3] YOTSUYANAGI S E, CONTRERAS-CASTILLO C J, HAGUIEARA M H, et al. Technological, sensory and microbiological impacts of sodium reduction in frankfurters[J]. Meat Science, 2016, 115(1): 50–59

- [4] 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
- [5] ZHANG P H, HE F J, LI Y, et al. Salt reduction in China: from evidence to action[J]. The Lancet, 2018, 392:S29 [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673618326588]
- [6] CAPPUCCIO 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(2): 107-114
- [7] 吴海舟,张迎阳,唐静,等.降低肉制品中氯化钠含量研究进展[J].肉类研究,2014,28(6):22-26
- [8] 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
- [9] MOSACA A C, BULT J H F, STIEGER M. Effect of spatial distribution of tastants on taste intensity, fluctuation of taste intensity and consumer preference of (semi-)solid food products[J]. Food Quality and Preference, 2013, 28(1): 182-187
- [10] WU H Z, YAN W J, ZHUANG H, et al. Oxidative stability and antioxidant enzyme activities of dry-cured bacon as affected by the partial substitution of NaCl with KCl[J]. Food Chemistry, 2016, 201: 237-242
- [11] STOLLEWERK K, JOFRE A, COMAPOSADA J, et al. The effect of NaCl-free processing and high pressure on the fate of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* on sliced smoked dry-cured ham[J]. Meat Science, 2012, 90(2): 472-477
- [12] 王志耕,张延松.配制混合盐腌制传统腊肉的研究[J].肉类工业,1995(4):22-23
- [13] 钱毅玲,赵谋明,赵强忠.卡拉胶/黄原胶和K<sup>+</sup>浓度对低脂低盐乳化肠凝胶品质影响的研究[J].现代食品科技,2009,25(7):734-737
- [14] COFRADES S, LOPEZ-LOPEZ I, RUIZ-CAPILLAS C, et al. Quality characteristics of low-salt restructured poultry with microbial transglutaminase and seaweed[J]. Meat Science, 2011, 87(4): 373-380
- [15] PIRES M A, MUNEKATA P E S, BALDIN J C, et al. The effect of sodium reduction on the microstructure, texture and sensory acceptance of Bologna sausage[J]. Food Structure, 2017,14: 1-7
- [16] OMANA D A, PLASTOW G, BETTI M. The use of  $\beta$ -glucan as a partial salt replacer in high pressure processed chicken breast meat[J]. Food Chemistry, 2011, 129: 768-776
- [17] MCGOUGH M M, TAKUYA S, RANKIN S A, et al. Reducing sodium levels in frankfurters using a natural flavor enhancer[J]. Meat Science, 2012, 91(2): 185-194
- [18] MCGOUGH M M, TAKUYA S, RANKIN S A, et al. Reducing sodium levels in frankfurters using naturally brewed soy sauce[J]. Meat Science, 2012, 91(1): 69-78
- [19] TAMM A, BOLUMAR T, BAJOVIC B, et al. Salt (NaCl) reduction in cooked ham by a combined approach of high pressure treatment and the salt replacer KCl[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 36: 294-302
- [20] LUIS B T, RODRIGUES P M A, JAVIER T R, et al. Improving sensory acceptance and physicochemical properties by ultrasound application to restructured cooked ham with salt (NaCl) reduction[J]. Meat Science, 2018, 145: 55-62
- [21] ALINO M, GRAU R, TOLDRA F, et al. Physicochemical properties and microbiology of dry-cured loins obtained by partial sodium replacement with potassium, calcium and magnesium[J]. Meat Science, 2010, 85(3): 580-588
- [22] MARTINEZ-ALVAREZ O, BORDERIAS J, GOMEZ-GUILLEN C. Sodium replacement in cod (*gadus morhua*) muscle salting process[J]. Food Chemistry, 2005,93(1): 125-133
- [23] ALINO M, GRAU R, TOLDRA F, et al. Influence of sodium replacement on physicochemical properties of dry-cured loin[J]. Meat Science, 2009, 83(3): 423-430
- [24] CACERES E, GARCIA M L, SELGAS M D. Design of a new cooked meat sausage enriched with calcium[J]. Meat Science, 2006, 73(2): 368-377
- [25] HORITA C N, MORGANO M A, CELEGHINI R M S, et al. Physico-chemical and sensory properties of reduced-fat mortadella prepared with blends of calcium, magnesium and potassium chloride as partial substitutes for sodium chloride[J]. Meat Science, 2011, 89(4): 426-433
- [26] BARAT J M, PEREZ-ESTEVE E, ARISTOY M C, et al. Partial replacement of sodium in meat and fish products by using magnesium salts. A review[J]. Plant and Soil, 2013, 368(1/2): 179-188
- [27] TOTOSAUS A, PEREZ-CHABELA M L. Textural properties and microstructure of low-fat and sodium-reduced meat batters formulated with gellan gum and dicationic salts[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(2): 563-569
- [28] JIN S K, JEONG H J, CHOI J S, et al. Quality characteristics of fat-reduced emulsion-type pork sausage by partial substitution of sodium chloride with calcium chloride, potassium chloride and magnesium chloride[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 89: 140-147
- [29] HYGREEVA D, PANDEY M C. Novel approaches in improving the quality and safety aspects of processed meat products through high pressure processing technology-A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 54: 175-185
- [30] PIETRASIK Z, GAUDETTE N J, JOHNSTON S P. The use of high pressure processing to enhance the quality and shelf life of reduced sodium naturally cured restructured cooked hams[J]. Meat Science, 2016, 116: 102-109
- [31] CLARIANA M, GUERRERO L, SARRAGA 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 & Emerging Technologies, 2011, 12(4): 456-465
- [32] PATTERSON M F, MCKAY A M, CONNOLLY M, et al. Effect of high pressure on the microbiological quality of cooked chicken during storage at normal and abuse refrigeration temperatures[J]. Food Microbiology, 2010, 27(2): 266-273

- [33] DESMOND E. Reducing salt: A challenge for the meat industry[J]. *Meat Science*, 2006, 74(1): 188–196
- [34] RUUSUNEN M, PUOLANNE E. Reducing sodium intake from meat products[J]. *Meat Science*, 2005, 70(3): 531–541
- [35] 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
- [36] BOWER G, STANLEY R E, FERNANDO S C, et al. The effect of salt reduction on the microbial community structure and quality characteristics of sliced roast beef and turkey breast[J]. *LWT—Food Science and Technology*, 2018, 90: 538–591
- [37] CLUFF M, KOBANE I A, BOTHMA C, et al. Intermediate added salt levels as sodium reduction strategy: Effects on chemical, microbial, textural and sensory quality of polony[J]. *Meat Science*, 2017, 133: 143–150
- [38] BAMPI M, DOMSCHKE N N, SCHMIDT F C, et al. Influence of vacuum application, acid addition and partial replacement of NaCl by KCl on the mass transfer during salting of beef cuts[J]. *LWT—Food Science and Technology*, 2016, 74: 26–33
- [39] ALBARRACIN W, SANCHEI C, GRAU R, et al. Salt in food processing; usage and reduction: a review[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2011, 46: 1329–1336
- [40] RHEE K S, SMITH G C, TERRELL R N. Effect of reduction and replacement of sodium chloride on rancidity development in raw and cooked ground pork[J]. *Journal of Food Protection*, 1983, 46(7): 578–581
- [41] SHAREDEH D, GATELLIER P, ASTRUC T, et al. Effects of pH and NaCl levels in a beef marinade on physicochemical states of lipids and proteins and on tissue microstructure[J]. *Meat Science*, 2015, 110: 24–31
- [42] 张平. 食盐用量对四川腊肉加工及贮藏过程中品质变化的影响[D].雅安:四川农业大学, 2014: 1–60
- [43] HERNANDEZ P, PARK D, RHEE K S. Chloride salt type/ionic strength, muscle site and refrigeration effects on antioxidant enzymes and lipid oxidation in pork[J]. *Meat Science*, 2002, 61(4): 405–410
- [44] SANTOS B A D, CAMPAGNOL P C B, FAGUNDES M B, et al. Adding blends of NaCl, KCl, and CaCl<sub>2</sub> to low-sodium dry fermented sausages: effects on lipid oxidation on curing process and shelf life[J]. *Journal of Food Quality*, 2017, 8: 1–8
- [45] MONICA F, NIETO P, JOSE M F, et al. Effect of calcium chloride on the volatile pattern and sensory acceptance of dry-fermented sausages[J]. *European Food Research and Technology*, 2005, 221(5): 624–630
- [46] MARTINEZ SEPULVEDA M F. Evaluation of microbial dynamics on low-sodium cooked bologna under different packaging conditions[D]. Saskatoon: University of Saskatchewan, 2014: 1–21
- [47] LARANJO M, GOMES A, AGULHEIRO-SANTOS A C, et al. Impact of salt reduction on biogenic amines, fatty acids, microbiota, texture and sensory profile in traditional blood dry-cured sausages[J]. *Food Chemistry*, 2017, 218: 129–136
- [48] AASLYNG M D, VESTERGAARD C, KOCH A G. The effect of salt reduction on sensory quality and microbial growth in hot-dog sausages, bacon, ham and salami[J]. *Meat Science*, 2014, 96(1): 47–55
- [49] 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
- [50] RACCACH M, HENNINGEN E C. The effect of chloride salts on *Yersinia enterocolitica* in meat. *Food Microbiology*[J]. 1997, 14: 431–438
- [51] SAMAPUNDOO S, AMPOFO-ASIAMA J, ANTHIERENS T, et al. Influence of NaCl reduction and replacement on the growth of *Lactobacillus sakei* in broth, cooked ham and white sauce[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2010, 143(1): 9–16
- [52] TAORMINA P J. Implications of salt and sodium reduction on microbial food safety[J]. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 2010, 50(3): 209–227
- [53] BIDLAS E, LAMBERT R J W. Comparing the antimicrobial effectiveness of NaCl and KCl with a view to salt/sodium replacement[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2008, 124(1): 98–102
- [54] BOZIARIS I S, SKANDAMIS P N, ANASTASIADI M, et al. Effect of NaCl and KCl on fate and growth/no growth interfaces of *Listeria monocytogenes* Scott A at different pH and nisin concentrations[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2007, 102(3): 796–805
- [55] SOFOS J N. Antimicrobial effects of sodium and other ions in foods: a review[J]. *Journal of Food Safety*, 1984, 6(1): 45–78
- [56] SANTOS B A D, CAMPAGNOL P C B, FAGUNDES M B, et al. Generation of volatile compounds in Brazilian low-sodium dry fermented sausages containing blends of NaCl, KCl, and CaCl<sub>2</sub> during processing and storage[J]. *Food Research International*, 2015, 74: 306–314
- [57] RIPOLLÉS S, CAMPAGNOL P C B, ARMENTEROS M, et al. Influence of partial replacement of NaCl with KCl, CaCl<sub>2</sub> and MgCl<sub>2</sub> on lipolysis and lipid oxidation in dry-cured ham[J]. *Meat Science*, 2011, 89(1): 58–64
- [58] 唐静. KCl 部分替代 NaCl 对干腌火腿脂肪氧化及风味物质形成的影响[D].南京:南京农业大学, 2015: 1–29
- [59] 吴海舟,张迎阳,黎良浩,等. KCl 部分替代 NaCl 腌制对干腌肉制品蛋白质水解和感官品质的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(1): 39–43
- [60] CAMPAGNOL P C B, SANTOS B A D, WAGNER R, et al. The effect of yeast extract addition on quality of fermented sausages at low NaCl content[J]. *Meat Science*, 2011, 87(3): 290–298