

# 低盐肉制品加工技术研究进展

## Research progress on processing technology of low-salt meat products

余涛 许倩 牛希跃 于静 尹雁玲 卢野

YU Tao XU Qian NIU Xi-yue YU Jing YIN Yan-ling LU Ye

(塔里木大学生命科学学院, 新疆阿拉尔 843300)

(College of Life Sciences, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China)

**摘要:** 阐述了近些年来国内外低盐肉制品加工技术现状, 从低盐加工的必要性、肉制品减盐途径及减盐工艺 3 个方面论述了肉制品的低盐加工研究进展, 就研发当中出现的问题提出了建议, 并对该技术在未来的研究方向作了展望。

**关键词:** 低盐; 肉制品; 食盐替代品

**Abstract:** This article described the current status of low-salt meat processing technology at home and abroad in recent years, and discussed the research progress of low-salt processing of meat products from three aspects: necessity, route and process of salt reduction processing. Some suggestions was given for the problems arisen in the studies, and the technology had been prospected in the future research progress.

**Keywords:** low salt; meat products; salt substitutes

食盐作为日常生活中不可缺少的调味料, 在食品中发挥着不可替代的作用。受传统加工技术影响, 中国传统肉制品含盐量普遍过高<sup>[1]</sup>。有相关研究证明, 长期过量摄入高钠的食物容易引起高血压<sup>[2]</sup>, 增加心血管疾病的风险<sup>[3-4]</sup>。2013 年, 世界卫生大会商定了预防控制非传染性疾病的 9 个自愿性全球目标, 其中包括到 2025 年将盐摄入量相对降低 30%, 《“健康中国 2030”规划纲要》明确: 到 2030 年, 全国人均每日食盐摄入量降低 20%。伴随着中国首次提出食品工业减盐策略<sup>[5]</sup>, 低盐肉制品加工技术的研究日益成为热点。

目前, 国内外对于肉制品的减盐技术正在积极研发当中。由于直接减少食盐添加量会对产品风味、口感、质构、货架期产生不利影响。通过寻找食盐替代品, 改变盐

晶体物理状态, 优化加工工艺等方法可以达到减盐的目的。但食盐的替代品如氯化钾、磷酸钾的使用也可能给肉制品带来苦味或金属味<sup>[6-7]</sup>。

相对国外而言, 中国肉类工业减盐技术研究较少<sup>[1]</sup>。随着国外技术的引进, 中国低盐肉制品的加工技术从简单的食盐替代向减盐技术多元化发展, 如用胶类物质与食盐替代品合用, 可起到保持良好的感官品质效果<sup>[8]</sup>, 超声波技术、超高压技术的应用也日益广泛。

文章对近些年来国内外低盐肉制品加工技术现状进行综述, 以期对相关减盐技术的研发提供一定的理论依据。

## 1 低盐加工的必要性

### 1.1 世界各国食盐摄入情况

日常生活中, 人们需要摄入一定量的食盐来满足生理需要。2007 年世界卫生组织公布了全球范围内各国居民的食盐摄入情况(见表 1)。在 2002 年中国居民摄入日均总钠和食盐摄入的报告(表 2)显示, 膳食钠摄入量远远高于 10~20 mmol/d(230~460 mg/d)的生理需求<sup>[9]</sup>。随着经济的发展, 人们生活水平的提高, 食盐的摄入量相对之前呈现下降趋势。但是, 这种形势依旧不容乐观。如, 英国居民食盐摄入量在 2011 年降至 8.1 g/d<sup>[10]</sup>, 2017 年斐济居民食盐摄入量 8.9 g/d<sup>[11]</sup>, 一项社区平均钠、钾摄入量与心血管疾病、死亡率之间的关系调查<sup>[12]</sup>中, 中国 103 个社区中 82 个(80%)的平均钠摄入量 > 5 g/d(12.5 g/d 的食盐), 而在其他国家 266 个社区中 224 个(84%)的平均钠摄入量为 3~5 g/d。这些数据距离世界卫生组织建议的每天 5 g 的食盐摄入量<sup>[13]</sup>仍然遥远。世界各国的肉制品如熏肉(1 500 mg/100 g)、加工鱼(400 mg/100 g)、烤牛肉(48 mg/100 g)<sup>[14]</sup>钠含量总体偏高, 对于中国肉制品钠含量可能会更高。

### 1.2 高盐饮食的危害

据世界卫生组织报告<sup>[14]</sup>, 高血压、心血管疾病和中风与钠摄入量升高有关, 而低钠摄入量可降低患高血压和

**基金项目:** 南京农业大学—塔里木大学联合基金项目(编号: TDNNLH201701)

**作者简介:** 余涛, 男, 塔里木大学在读硕士研究生。

**通信作者:** 许倩(1980—), 女, 塔里木大学教授, 博士。

E-mail: xuqiantaru@126.com

**收稿日期:** 2019-08-25

表 1 不同国家人口尿钠排泄量<sup>†</sup>[9]

Table 1 Urinary sodium excretion in different countries

国家	采样数	尿钠排泄量/(mmol·d <sup>-1</sup> )	国家	采样数	尿钠排泄量/(mmol·d <sup>-1</sup> )
中国(北京)	100	222.6	波兰(华沙)	100	210.3
中国(南京)	100	177.2	俄罗斯联邦	97	176.1
阿根廷	100	175.6	美国(芝加哥)	97	158.6
哥伦比亚	96	177.6	津巴布韦	100	141.2
德国(科特布斯)	99	232.2	英国(伯明翰)	100	166.3
德国(海德尔堡)	97	193.6	西班牙	100	199.9
印度(新德里)	100	178.0	马耳他	100	184.6
意大利(古比奥)	99	189.8	墨西哥	91	144.2
日本(大阪)	100	191.0	荷兰	100	171.7
肯尼亚	90	60.5	韩国	100	232.4

† 1 mmol=23 mg。

表 2 2002 年中国健康与营养调查参与者的总钠、食盐钠和酱油钠的平均摄入量<sup>[9]</sup>

Table 2 Mean intake of total sodium, sodium from cooking salt, and sodium from soy sauce by area, for the participants of the China health and nutrition survey, 2002

地区	平均总钠摄入量/ (mg·d <sup>-1</sup> )	烹调中食盐钠		酱油钠	
		含量/(mg·d <sup>-1</sup> )	占比/%	含量/(mg·d <sup>-1</sup> )	占比/%
城市	6 007	4 291	71.4	610	10.2
农村	6 368	4 882	76.7	472	7.4
全部(城市+农村)	6 268	4 724	75.4	512	8.2

相关非传染性疾病的风险,慢性摄入高盐可导致高血压和相关靶器官损害<sup>[15]</sup>。D'elia 等<sup>[16]</sup>研究发现,摄入过量食盐的危害与心血管疾病、肾功能不全、肾结石和骨质疏松等流行病有关。Zhong 等<sup>[17]</sup>以济南市居民相关病例对照研究,通过对病例和对照组的问卷调查,获得胃癌潜在危险因素的数据,测量所有受试者的盐味偏好,并应用幽门螺杆菌抗体评估感染情况,结果显示,胃癌的危险因素主要是幽门螺杆菌和饮食方式,高盐摄入者感染幽门螺杆菌后胃癌风险升高。综合上述,科学界普遍认为减少食盐摄入可以降低大多数人的血压和心血管疾病风险<sup>[13]</sup>。

## 2 肉制品减盐途径

### 2.1 盐晶的物理形态

优化盐晶的大小和形状可以作为降低盐量的一种方法,味觉感与食盐的晶体大小和形状有关<sup>[18-19]</sup>。Rama 等<sup>[20]</sup>在研究了用不同颗粒大小的氯化钠对炸土豆片进行调味时盐晶体对钠的输送到舌头的速率及其影响,通过优化盐晶颗粒粒径后发现,晶体溶解并扩散到口腔唾液中的速度相对较快,咸味刺激更加显著。盐对炸土豆片表面的黏附力随盐晶粒径的减小而显著增加,可以减少盐分的损失,通过优化晶体颗粒大小,增大咸度感知度,或可减少食盐的用量<sup>[21]</sup>。优化盐晶大小来减少食盐量的

方法用于炸土豆片的调味依然可行,然而,将此法运用于肉制品的可行性值得进一步研究。在 Leatherhead Food International 公司<sup>[22]</sup>的一份报告也支持了这一观点:由于人对盐的感知度取决于盐晶体在口中的溶解速度,因此增加表面积可以加快此过程,实现这一点,可以通过优化食盐组分的颗粒大小、形状达到这一研究目的,例如,生产微米级或者纳米级食盐颗粒,或将惰性材料覆盖在盐层中。

### 2.2 风味增强剂

通常加入某种风味的调料及相关成分,可以增强或抑制另一种风味。Tunieva 等<sup>[18]</sup>发现使用几种风味增强剂,如谷氨酸钠、肌苷钠、酵母抽提物、水解植物蛋白,可提高产品的咸味,降低成品的钠含量。McCough 等<sup>[23]</sup>在法兰克福香肠低钠工艺研究中加入风味增强剂可以减少 20% 的氯化钠,而不会对质量或感官特性产生不利影响。有研究<sup>[24]</sup>以猪肉、牛肉为原料,通过氯化钾代替 50% 和 75% 的氯化钠,加入风味增强剂谷氨酸钠、肌酸二钠、鸟苷酸二钠、赖氨酸和牛磺酸制成发酵熟香肠,结果显示谷氨酸钠、肌酸二钠等风味增强剂之间具有协同作用,提高了香肠的风味和强度,同时也抑制氯化钾带来的负面风味,具有良好的感官品质。

### 2.3 食盐替代品

2.3.1 乳酸盐 乳酸钾具有咸味,有很强的水结合性,并

具有抗菌性<sup>[25]</sup>。Fellendorf 等<sup>[26]</sup>在腌制牛肉中使用 7 种食盐替代品来改善风味,其中添加 0.4 g/100 g 氯化钠的乳酸钾和甘氨酸混合物的牛肉,盐使用量减少,延长了保质期,低钠腌制的牛肉风味接受性更高。Fulladosa 等<sup>[27]</sup>在火腿片减盐研究中将乳酸钾替代氯化钠,降低了氯化钠用量,火腿片颜色、质地没有负面影响,咸味有增加的趋势。由此来看,乳酸盐作为氯化钠的替代品具有一定的前景。

**2.3.2 氯化钾与氯化钙** 氯化钾与氯化钙在食品工业中的应用相对于其他替代品更为广泛。市面上可买到一种由氯化钠、氯化钾和葡萄糖酸钠制成的混合物,将其使用在火腿和乳化香肠中可以减少 30% 的钠,而咸味没有显著差异<sup>[28]</sup>。在用猪肉和牛肉制成的腌制香肠中,当含有 50% 氯化钠和 50% 氯化钾时,咸味与对照组有显著差异,会降低感官品质,如果用氯化钾代替 50% 的氯化钠,并加入不同含量的谷氨酸钠、赖氨酸等则改善了感官上的缺陷<sup>[24]</sup>。然而,钾盐会给肉制品带来一定的苦味,对 1 型糖尿病、慢性肾功能不全人群健康也可能存在负面影响,而其他替代品或者风味增味剂混合使用则可以减弱这种不利影响。

氯化钙在应用方面也较多,也是钠盐替代品重要选择之一<sup>[29]</sup>。研究<sup>[30]</sup>表明,氯化钙等在肉制品替代中显著增加了肉的硬度和咀嚼力,用 55% 氯化钠、25% 氯化钾、15% 氯化钙和 5% 氯化镁处理的肉,与传统腌制的腰肉(100% 氯化钠)没有显著差异。在一项类似的研究<sup>[31]</sup>中使用氯化镁、氯化钙或氯化钾部分替代氯化钠研发一种腊肠,通过调整氯化钠含量的 4 种配方的腊肠对比显示,该方法对意大利香肠的部分理化参数没有影响。

**2.3.3 其他食盐替代品** 市面上还有其他的食盐替代品,如硫酸镁、L-赖氨酸盐、乳酸钙、乳酸钾、咸味肽、磷酸钙、抗坏血酸钙等。Choi 等<sup>[32]</sup>发现,用乳酸钾和抗坏血酸钙混合物替代氯化钠,在感官评定时,评价员无法区分 2% 氯化钠的香肠与含 40% 氯化钠的香肠之间的差异,含乳酸钾和抗坏血酸钙的法兰克福香肠的质地和感官品质与对照组没有太大差别。另外,有文献<sup>[33]</sup>报道,在恒定的脂肪水平下,加入磷酸盐后,钠含量越低,硬度越高,磷酸盐对感知的咸味没有明显的影响。部分替代品中还可抑制微生物的滋生,对延长产品的货架期是非常有益的。例如,乳酸钾和二乙酸钠组合处理的包装熟肉具有较高的感官评分,延长了保质期,同时将氯化钠含量降低 40%<sup>[28,34]</sup>。酸味能增强咸味的感知,特定酸可能会增加额外的盐分。据报道<sup>[35-36]</sup>,将乳酸盐作为钾盐加入肉中能显著提高咸味。Liem 等<sup>[37]</sup>也证明了这一点。

**2.3.4 风味物质** 一些风味物质如酵母提取物、肽、氨基酸等可以改善肉制品风味,在弥补食盐替代品带来的感官品质缺陷起着重要作用。Wen 等<sup>[38]</sup>研究发现,采用氯

化钾、氯化钠与赖氨酸、丙氨酸、柠檬酸、乳酸钙和麦芽糊精的组合处理肉样具有更高的感官评分,有效地抑制了金属味、苦味,同时提供了咸味。与此类似,在一项博洛尼亚香肠研究<sup>[39]</sup>中,用氯化钾代替 50% 的氯化钠,添加赖氨酸后,金属味得到了抑制,弥补了感官上的缺陷。O' Neill 等<sup>[40]</sup>采用市售食盐替代品,添加了乙酸钠、苹果酸及酵母提取物,结合高压技术,制得的低盐法兰克福香肠咸味增强,苦味得到抑制,且货架期延长。在食盐替代品中添加风味物质有助于提高肉制品咸味,减少了苦味。

**2.3.5 改良剂** 目前,应用于肉类的改良剂有壳聚糖、纤维素、果胶、糊精、海藻酸钠、转谷氨酰胺酶等。改良剂与食盐替代品的联合运用,对改善低盐肉制品品质具有一定的效果。Jung 等<sup>[41]</sup>通过生物高聚物如壳聚糖、果胶等包埋食盐及其替代品,苦味减弱,小鼠对钠的吸收率显著降低,但总体可接受性略低,干腌时间延长。添加海藻类物质,增加了氨基酸,提高了钾、钙、镁的含量,如紫菜,裙带菜的使用不仅可以达到上述的效果,还可以减少低盐肉饼的烹饪损失,但是目前将藻类应用于发酵制品少有研究<sup>[42]</sup>。改良剂木糖醇、山梨醇等糖醇类及转谷氨酰胺酶均可提高肉的持水性,改善肉的品质和风味<sup>[43]</sup>,尽管转谷氨酰胺酶的使用对肉的品质产生了积极的影响,但也有文献<sup>[44]</sup>报道转谷氨酰胺酶的使用也可能会增加肠道通透性,存在潜在的危害,至于结果如何有待进一步研究。

相对国外而言,中国在这方面研究还处于初步阶段,其中像钾盐、镁盐带来的苦味或金属味<sup>[29]</sup>需要进一步解决,通过多种食盐替代品按照合适的比例混合或者加以与风味增味剂如酵母抽提物等联合使用,可能会给研究带来积极的影响。

## 3 减盐工艺

### 3.1 超声波技术

超声波技术是一种非热食品加工技术<sup>[45]</sup>,由于方向性好,穿透能力强,故在辅助肉组织的固化、浸泡、干燥等过程起着重要作用。例如超声波可以使腌制肉中的盐分布更加均匀<sup>[28,46]</sup>。在一项研究<sup>[47]</sup>中,不同腌制时间和不同盐含量(1.0%, 1.5%, 2.0%)的加工条件下,对鸡胸肉糊进行了超声波处理,结果显示,采用超声波处理鸡肉糊可以改善肌肉组织,随着食盐水平由 1% 提高到 2% 时,肌肉组织形成较小的蜂窝状,蛋白质束呈开放的空间结构,改善了肌肉的凝胶特性,促进降低鸡肉凝胶中的盐含量。超声波技术由于其良好的传质效果,加速了食盐在肉的腌制过程中的扩散,减少了腌制时间<sup>[48]</sup>。Ingugla 等<sup>[49]</sup>处理猪肉时也得到类似的结果。超声波在肉品质中的深度可达 2 cm,其强度较低而发射面积较广,有利于食盐快速渗入,分布更加均匀,这样就可以减少盐的使用和浪费。

### 3.2 超高压技术

高压加工是一项已被提议用于生产肉类产品的新技术<sup>[50-52]</sup>,该技术在肉制品减盐的研发上起着重要作用。Duranton 等<sup>[53]</sup>以猪肉为原料,研究了食盐与高压的相互作用,当食盐为 1.5% 时,可抵消高压对肌肉细胞、组织的负面影响,通过添加少量的食盐,可以提高感官品质。高压加工作为一种温和的处理方法,有助于获得感官、质量更加优良的产品。Rodrigues 等<sup>[52]</sup>证实了这点,用不同浓度的氯化钠和柠檬酸浸泡 18 h,并辅以高压处理牛肉,当使用压力为 450 MPa 时,食盐含量从 2% 降低到 1%。有研究<sup>[54-55]</sup>显示,高压处理可以增加肌纤维蛋白的溶解性,从而有助于降低肉制品所需的食盐使用量。Yang 等<sup>[56]</sup>采用两个高压水平和 7 个脂肪水平制作了一种低盐低脂的香肠,高压处理过的香肠形成了更小的脂肪球,改善了肌肉网状结构,增强了嫩度。高压处理具有卫生、营养损失少,能够提高嫩度和色泽等特点,具有良好的发展前景。

### 3.3 打浆技术

打浆技术在肉制品方面的应用研究较少。打浆技术主要是用打浆机对碎肉结合食盐、冰、香料及其他物料进行搅打。采用打浆工艺改变了二级结构,相比切碎工艺具有较高的保水性能,可使法兰克福猪肉的含盐量从 2% 降低到 1%,利于生产低盐产品<sup>[57]</sup>。Kang 等<sup>[58-59]</sup>用 1% 或 2% 的食盐打浆生产的肉丸提高了乳液稳定性,相比对照组含盐量降低。有研究<sup>[60]</sup>显示,在相同含盐量(2%)条件下,切碎与打浆过程中生肉糊的颜色有显著差异( $P < 0.05$ ),打浆工艺生产的肉糊具有更大的  $L^*$  值、 $b^*$  值和  $a^*$  值,烹饪损失降低,蛋白质间交联的空腔微观结构更加均匀、紧凑,通过该技术有助于生产低盐肉糜。目前,打浆技术是一项新型加工技术,相关技术研究还不够成熟,尚需进一步探索。

### 3.4 传统腌制技术的改良

常见的传统腌制方法有湿腌法、干腌法、混合腌制方法。传统腌制方法都是通过简单的腌制方式以高浓度的食盐对肉进行加工,增加渗透压,降低水分活度,抑制腐败菌生长,促进肉的发酵<sup>[61]</sup>。随着传统腌制工艺诸多缺陷,对传统腌制技术的改良逐渐成为热点。目前除了超声波技术、超高压技术外,还有真空腌制技术、脉冲电场技术。如付浩华<sup>[62]</sup>采用真空滚揉工艺,结合迷迭香提取物、D-抗坏血酸钠研制的低盐腊肉腌制速度加快,感官品质得分最高为 93 分。脉冲电场技术是一项腌制新技术,目前研究较少。有研究<sup>[63]</sup>表明,通过脉冲电场技术可以提高猪肉腌制速度,电穿孔的增大促进盐分的迁移,盐分的分布更加均匀,有助于研发低盐肉制品。传统腌制技术的改良,促进了肉类工业现代化,有助于提高肉制品品质。

## 4 存在的问题与建议

在肉制品中降低食盐含量一直是食品行业研究的热点,在研究过程中存在的问题日益突显,亟待解决:① 由于食盐是防腐剂系统的一部分,不合理的减盐方式或者食盐替代品比例不适宜都有可能对产品保质期缩短<sup>[28]</sup>。② 超声波技术可以杀死微生物,但不同微生物物种对超声波的抗性差异很大,如孢子和真菌对超声波灭活的抗性更高,如何在不影响食品品质的条件下杀死微生物这一课题尚需进一步研究<sup>[64]</sup>。③ 食盐替代品和风味增强剂需要慎重应用。用风味增强剂和食盐替代品来补偿减少食盐后的肉制品品质上的不足的方法,也可能给肉制品感官和贮藏性带来不利影响<sup>[65]</sup>。此外,磷酸盐与钙、铁和其他金属离子容易形成不溶性盐,降低矿物质吸收率<sup>[66]</sup>。再者,磷酸盐摄入过高可能会增加慢性肾脏疾病的潜在风险<sup>[67]</sup>。④ 通过优化食盐形状(片状)大小( $< 20 \mu\text{m}$ )的方法对肉制品进行减盐,商业应用有限,技术还不成熟<sup>[66]</sup>。⑤ 随着食盐含量的降低,在高压处理的条件下也可能导致肉制品颜色变为棕色<sup>[68-69]</sup>,另外,高压处理具有很强的针对性,根据产品差异而分开进行处理,因此给高压技术投入生产线带来一定的困难;打浆技术在肉制品方面的应用缺乏技术支持,降低盐含量的机理尚未清楚。

对于以上存在的问题笔者有一些建议:① 寻找绿色的安全无毒的食盐替代品,进一步研究盐与替代品配合比例;② 对需要进行高强度、短时间的超声波处理的产品,可将超声波与热、低静压、紫外线或化学抗菌剂联合处理<sup>[70]</sup>;③ 高压加工可以作为降低磷酸盐水平的替代策略<sup>[71]</sup>;④ 研发专用设备,增加硬件设施,提高技术水平;⑤ 继续开展食盐替代品和减盐工艺研究,多技术混合使用,弥补技术之间的不足。

## 5 展望

减盐是世界肉制品工业发展的一大趋势,通过合理的减盐手段,可以有效地提高肉制品的品质。当前减盐技术还不够成熟,设备还不齐全,但随着科学技术发展,肉制品的研究也将更加完善。一方面,推进研究机构与食品企业加深合作,推动产学研一体化加速发展,开拓肉制品新市场;另一方面,通过食盐替代技术、减盐工艺改良,肉制品在感官、营养等各方面品质都会有所改善;再者,相关部门加快对减盐机制的基础理论研究,有助于突破瓶颈。有理由相信,在未来低盐肉制品发展将迎来新的契机,以安全、健康、美味、营养的理念为消费者所喜爱。

### 参考文献

- [1] 张露. 低钠干腌猪肉制品加工技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.

- [2] HE Feng-jun, MACGREGOR G A. A comprehensive review on salt and health and current experience of worldwide salt reduction programmes[J]. *J Hum Hypertens*, 2009, 23(6): 363-384.
- [3] ABURTO N J, ZIOLKOVSKA A, HOOPER L, et al. Effect of lower sodium intake on health: Systematic review and meta-analyses[J]. *The BMJ*, 2013, 346(14): 1-20.
- [4] COOK N R, CUTLER J A, OBARZANEK E, et al. Long term effects of dietary sodium reduction on cardiovascular disease outcomes: Observational follow-up of the trials of hypertension prevention (TOHP) [J]. *British Medical Journal*, 2007, 334: 885-888.
- [5] 中国营养学会.《中国食品工业减盐指南》研讨会召开[EB/OL]. (2018-04-18) [2019-04-17]. <https://www.cnsoc.org/acadconfn/841810200.html>.
- [6] 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.
- [7] 李宝升, 王修俊, 邱树毅, 等. 磷酸盐及其在食品中的应用[J]. *中国调味品*, 2009, 34(7): 38-41.
- [8] 杨园媛, 赵谋明, 孙为正, 等. 卡拉胶/魔芋胶和钾盐对猪肉脯及猪肉糜质构特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(20): 303-305.
- [9] PAUL E, IAN B. Sodium intakes around the world[R]. Geneva: World Health Organization, 2007.
- [10] HE Feng-jun, BRINDEN H C, MACGREGOR G A. Salt reduction in the United Kingdom: A successful experiment in public health[J]. *Journal of Human Hypertension*, 2014, 28(6): 345-352.
- [11] SANTOS J A, MCKENZIE B, TRIEU K, et al. Contribution of fat, sugar and salt to diets in the Pacific Islands: A systematic review[J]. *Public Health Nutrition*, 2019, 22(10): 1 858-1 871.
- [12] MENTE A, O'DONNELL M, RANGARAJAN S, et al. Urinary sodium excretion, blood pressure cardiovascular disease, and mortality: A community level prospective epidemiological cohort study [J]. *The Lancet*, 2018, 392(10 146): 496-506.
- [13] WHO. Effect of reduced sodium intake on blood pressure, renal function, blood lipids and other potential adverse effects[R]. Geneva: World Health Organization, 2012.
- [14] WHO. Guideline: Sodium intake for adults and children[R]. Geneva: World Health Organization, 2012.
- [15] YANG Guo-hong, ZHOU Xin, JI Wen-jie, et al. VEGF-C-mediated cardiac lymph angiogenesis in high salt intake accel-rated progression of left ventricular remodeling in spontaneously hypertensive rats[J]. *Clinical and Experimental Hypertension*, 2017, 39(8): 740-747.
- [16] D'ELIA L, ROSSI G, IPPOLITO R, et al. Habitual salt intake and risk of gastric cancer: A meta-analysis of prospective studies[J]. *Clinical Nutrition*, 2012(31): 489-498.
- [17] ZHONG Cheng, LI Kai-nan, BI Jing-wang, et al. Sodium intake, salt taste and gastric cancer risk according to helicobacter pylori infection, smoking, histological type and tumor site in China[J]. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 2012, 13(6): 2 481-2 484.
- [18] TUNIEVA E K, CORBUNOVA N A. Alternative methods of technological processing to reduce salt in meat products [J]. *Theory and Practice of Meat Processing*, 2017, 2(1): 47-56.
- [19] DESMOND E. Reducing salt: A challenge for the meat industry[J]. *Meat Science*, 2006, 74(1): 188-196.
- [20] RAMA R, CHIU N, CARVALHO DA SILVA M, 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.
- [21] BUCK V E, BARRINGER S A. Factors dominating adhesion of NaCl onto potato chips[J]. *Journal of Food Science*, 2007, 72(8): E435-E441.
- [22] ADELHEID V. Reformulating to reduce salt fat and sugar how blueprinting can help [R]. Cambridge: Leatherhead Food Research, 2018.
- [23] MCGOUGH M M, SATO T, RANKIN S A, et al. Reducing sodium levels in frankfurters using a natural flavor enhancer[J]. *Meat Science*, 2012, 91(2): 185-194.
- [24] DOS SANTOS B A, 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.
- [25] CONROY P M., O'SULLIVAN M G, HAMILL R. M, et al. Sensory optimisation of salt-reduced corned beef for different consumer segments[J]. *Meat Science*, 2019, 154: 1-10.
- [26] FELLENDORF S, KERRY J P, HAMILL M, et al. Impact on the physicochemical and sensory properties of salt reduced corned beef formulated with and without the use of salt replacers [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 92: 584-592.
- [27] FULLADOSA E, SERRA X, GOU P, et al. Effects of potassium lactate and high pressure on transglutaminase restructured dry-cured hams with reduced salt content [J]. *Meat Science*, 2009, 82(2): 213-218.
- [28] INGUGLIA E S, ZHANG Zhi-hang, TIWARI B K, et al. Salt reduction strategies in processed meat products: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, 59: 70-78.
- [29] HORITA C N, MESSIAS V C, MORGANO M A, et al. Textural, microstructural and sensory properties of reduced sodium frankfurter sausages containing mechanically deboned poultry meat and blends of chloride salts[J]. *Food Research International*, 2014, 66: 29-35.
- [30] ALIÑO M, GRAU R, TOLDRÁ 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.
- [31] FIEIRA C, MARCHI J F, MARAFÃO D, et al. The impact of the partial replacement of sodium chloride in the development of starter cultures during Italian salami production[J]. *Brazilian Journal of Food Technology*, 2018, 21: 1-8.
- [32] CHOI Y M, JUNG K C, JO H M, et al. Combined effects of potassium lactate and calcium ascorbate as sodium chloride substitutes on the physicochemical and sensory characteristics of low-sodium frankfurter sausage[J]. *Meat Science*, 2014, 96(1): 21-25.
- [33] RUUSUNEN M, VAINIONPÄÄ J, LYLÄ M, et al. Reducing the sodium content in meat products: The effect of the formulation in low-sodium ground meat patties [J]. *Meat Science*, 2005, 69(1): 53-60.
- [34] 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*, 2009, 44(2): 337-341.
- [35] KEAST R S, BRESLIN P A. An overview of binary taste-taste interactions[J]. *Food Quality Preference*, 2003, 14(2): 111-124.
- [36] DÖTSCH M, BUSCH J, BATENBURG M, et al. Strategies to reduce sodium consumption: A food industry perspective[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2009, 49(10): 841-851.
- [37] LIEM D G, MIREMADI F, KEAST R. Reducing sodium in foods: The effect on flavor [J]. *Nutrients*, 2011, 3(6): 694-711.
- [38] WEN Rong-xin, HU Ying-ying, ZHANG Lang, et al. Effect of NaCl substitutes on lipid and protein oxidation and flavor development of Harbin dry sausage [J]. *Meat Science*, 2019, 156: 33-43.
- [39] DOS SANTO ALVES L A A, LORENZO J M, GONCALVES C A A, et al. Impact of lysine and liquid smoke as flavor enhancers on the quality of low-fat Bologna-type sausages with 50% replacement of NaCl by KCl[J]. *Meat Science*, 2017, 123: 50-56.
- [40] O'NEILL C M, CRUZ-ROMERO M C, DUFFY G., et al. The application of response surface methodology for development of sensory acceptable, low-salt, shelf-stable frankfurters using high-pressure processing and a mix of organic acids[J]. *European Food Research and Technology*, 2019, doi:10.1007/s00217-019-03243-x.
- [41] JUNG E Y, HUR S J. Development of sausage with inhibition of 60% sodium intake, using biopolymer encapsulation technology and sodium replacers[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2017, 11(2): 407-416.
- [42] SCIESZKA S, KLEWICKA E. Algae in food: A general review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2018, DOI: 10.1080/10408398.2018.1496319.
- [43] 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.
- [44] LERNER A, MATTHIAS T. Microbial transglutaminase is beneficial to food industries but a caveat to public health[J]. *Med One*, 2019, DOI: 10.20900/mo.20190001.
- [45] SMITH D P. Effect of ultrasonic marination on broiler breast meat quality and Salmonella contamination [J]. *International Journal of Poultry Science*, 2011, 10(10): 757-759.
- [46] ALARCON-ROJO A D, JANACUA H, RODRIGUEZ J C, et al. Power ultrasound in meat processing[J]. *Meat Science*, 2015, 107: 86-93.
- [47] LI Ke, KANG Zhuang-li, ZOU Yu-feng, et al. Effect of ultrasound treatment on functional properties of reduced salt chicken breast meat batter [J]. *Journal of Food Science Technol*, 2015, 52(5): 2622-2633.
- [48] KANG Da-cheng, WANG An-ran, ZHOU Guang-hong, et al. Power ultrasonic on mass transport of beef: Effects of ultrasound intensity and NaCl concentration[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2016, 35: 36-44.
- [49] INGUGLIA E S, ZHANG Zhi-hang, BURGESS C, et al. Influence of extrinsic operational parameters on salt diffusion during ultrasound assisted meat curing [J]. *Ultrasonics*, 2018, 83: 164-170.
- [50] OMANA D A, PLASTOW G, BETT M. Effect of different ingredients on color and oxidative characteristics of high pressure processed chicken breast meat with special emphasis on use of  $\beta$ -glucan as a partial salt replacer[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2011, 12(3): 244-254.
- [51] MYERS K, MONTOYA D, CANNON J, et al. The effect of high hydrostatic pressure, sodium nitrite and salt concentration on the growth of *Listeria monocytogenes* on RTE ham and turkey[J]. *Meat Science*, 2013, 93(2): 263-268.
- [52] 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: 328-333.
- [53] DURANTON F, SIMONIN H, CHÉRET R, et al. Effect of high pressure and salt on pork meat quality and microstructure[J]. *Journal of Food Science*, 2012, 77(8): 188-194.
- [54] GROSSI A, SOLTOFT-JENSEN J, KNUDSEN J C, et al. Reduction of salt in pork sausages by the addition of carrot fibre or potato starch and high pressure treatment[J]. *Meat Science*, 2012, 92(4): 481-489.

- [55] 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.
- [56] YANG Hui-juan, HAN Min-yi, 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.
- [57] KANG Zhuang-li, WANG Peng, XU Xing-lian, et al. Effect of beating processing, as a means of reducing salt content in frankfurters: A physico-chemical and Raman spectroscopic study [J]. Meat Science, 2014, 96 (2): 171-177.
- [58] KANG Zhuang-li, WANG Peng, XU Xing-lian, 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.
- [59] KANG Zhuang-li, ZOU Yu-feng, XU Xing-lian, et al. Effect of a beating process, as a means of reducing salt content in Chinese-style meatballs (kung-wan): A physico-chemical and textural study[J]. Meat Science, 2014, 96 (1): 147-152.
- [60] KANG Zhuang-li, LI Bin, MA Han-jun, et al. Effect of different processing methods and salt content on the physicochemical and rheological properties of meat batters[J]. International Journal of Food Properties, 2016, 19(7): 1 604-1 615.
- [61] 陈星, 沈清武, 王燕. 新型腌制技术在肉制品中的研究进展[J/OL]. 食品工业科技. [2019-09-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20190801.1012.006.html>.
- [62] 付浩华. 低盐腊肉加工工艺优化[J]. 肉类工业, 2019(7): 14-18, 22.
- [63] MCDONNELL C K, ALLEN P, CHARDONNEREAU F S. The use of pulsed electric fields for accelerating the salting of pork[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 59(2): 1 054-1 060.
- [64] BAUMANN A R, MARTIN S E, FENG Hao. Power ultrasound treatment of *Listeria monocytogenes* in apple cider[J]. Journal of Food Protection, 2005, 68(11): 2 333-2 340.
- [65] INUGLIA E S, ZHANG Zhi-hang, TIWARI B K, et al. Salt reduction strategies in processed meat products: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 59: 70-78.
- [66] FEDERICA B, MASSIMILIANO P. Sustainable meat production and processing [M]. United States: Academic Press, 2019.
- [67] GUTIÉRREZ O M, KALANTAR ZADEH K, MEHROTRA R. Clinical aspects of natural and added phosphorus in foods[M]. New York: Springer-Verlag, 2017: 187-199.
- [68] HA M, DUNSHEA F R, WARNER R D. A meta-analysis of the effects of shockwave and high pressure processing on color and cook loss of fresh meat[J]. Meat Science, 2017, 132: 107-111.
- [69] ORLIEN V. High pressure-induced changes in meat color[M]// RACHEL G. Reference Module in Food Sciences. [S.l.]: Elsevier, 2017: 1-7.
- [70] KENTISH S, FENG Hao. Applications of power ultrasound in food processing[J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2014, 5: 263-284.
- [71] O'FLYNN C C, CRUZ ROMERO M C, TROY D J, et al. The application of high-pressure treatment in the reduction of phosphate levels in breakfast sausages[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 633-639.

(上接第 207 页)

- [52] 张涛, 陈凡, 盖青青, 等. 离子液与蛋白质和核酸相互作用的研究[J]. 化学进展, 2011, 23(10): 2 132-2 139.
- [53] 孟秀梅, 李明华. 响应面法优化虾壳蛋白脱除工艺研究[J]. 食品工业, 2017(10): 5-9.
- [54] HAMDY M, HAMMAMI A, HAJJIS, et al. Chitin extraction from blue crab (*Portunus segnis*) and shrimp (*Penaeus kerathurus*) shells using digestive alkaline proteases from *P. segnis*, viscera[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 101: 455-463.
- [55] CARDENAS G, CABRERA G, TABOADA E, et al. Chitin characterization by SEM, FTIR, XRD, and C-13 cross polarization/mass angle spinning NMR[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2004, 93(4): 1 876-1 885.
- [56] JAWORSKA MM, GORAK A. Modification of chitin particles with chloride ionic liquids[J]. Materials Letters, 2016, 164: 341-343.
- [57] GBENEBOR O P, ADEOSUN S O, LAWAL G I, et al. Acetylation, crystalline and morphological properties of structural polysaccharide from shrimp exoskeleton[J]. Engineering Science and Technology, an International Journal, 2017, 20(3): 1 155-1 165.
- [58] LI Jing, HUANG Wen-can, GAO Li, et al. Efficient enzymatic hydrolysis of ionic liquid pretreated chitin and its dissolution mechanism [J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 211: 329-335.
- [59] WANG Yan-chao, CHANG Yao-guang, YU Long, et al. Crystalline structure and thermal property characterization of chitin from Antarctic krill (*Euphausia superba*) [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 92(1): 90-97.
- [60] KAYA M, MEHMET G H, DUMAN F, et al. Characterisation of  $\alpha$ -chitin extracted from a lichenised fungus species *Xanthoria parietina* [J]. Natural Product Research, 2015, 29(13): 1 280-1 284.