

低盐肉制品降盐与品质改良加工技术研究进展

李大宇, 张苏苏, 董学文, 庞国强, 李欣欣, 周亚军*

(吉林大学食品科学与工程学院, 长春 130062)

摘 要: 肉制品是人类重要的营养物质来源, 在肉制品加工过程中食盐是常见且必需的调味料。传统加工肉制品普遍含盐量过高, 过量的摄入食盐也已经被证实能引发一系列的心脑血管疾病, 因此开发低盐肉制品势在必行。但是, 直接减少食盐添加量会对产品风味、口感、质构和保质期产生不利影响。因此, 需要通过添加风味提升物、品质改良剂等物质并辅助以品质改良加工技术来优化产品品质。本文论述了国内外低盐肉制品的研究现状, 阐述了降盐技术(食盐替代物、改变食盐形态等)和品质改良加工技术(腌制技术、超声波技术、超高压技术等)在肉制品中应用研究进展, 指出其研发中存在的主要问题, 并对其未来的发展前景进行展望, 为低盐肉制品研发提供理论借鉴和参考。

关键词: 低盐肉制品; 降盐技术; 品质改良; 加工技术

Research progress of salt reduction techniques and quality improvement processing techniques during meat processing

LI Da-Yu, ZHANG Su-Su, DONG Xue-Wen, PANG Guo-Qiang, LI Xin-Xin, ZHOU Ya-Jun*

(College of Food Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130062, China)

ABSTRACT: Meat products are important sources of nutrient for humans, and salt is very important for meat processing as a common and essential seasoning. However, these traditional meat products are generally high in salts, and it will trigger a series of diseases such as cardiovascular and cerebrovascular if salts are taken too much, so the development of low-salt products is imperative. However, the reduction of salts in meat products will cause adverse effects on flavor, taste, texture and shelf life. Therefore, it is necessary to optimize the quality of meat products by adding flavor enhancers, quality improvers and other substances. This paper discussed the research status of low-salt meat products at home and abroad, and elaborated the research progress about application of salt reduction technology (salt substitutes, changing the form of salt, etc.) and quality improvement processing technology (pickling technology, ultrasonic technology, ultrahigh pressure technology, etc.) in meat products. The paper also pointed out some issues in current research, and discussed future development prospects. It provided a theoretical reference for the development of low-salt meat products.

KEY WORDS: low-salt meat product; salt reduction technology; quality improvement; processing technology

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFD0401501)

Fund: Supported by National Key Research and Development Project (2016YFD0401501)

*通讯作者: 周亚军, 博士, 教授, 主要研究方向为肉品科学与加工新技术。E-mail: zhouruyilang@163.com

*Corresponding author: ZHOU Ya-Jun, Ph.D, Professor, School of Food Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130026, China. E-mail: zhouruyilang@163.com

1 引言

《书·说命下》中有云：“若作和羹，而惟盐梅”。盐是最常用的咸味剂，在肉制品的生产加工中有着不可或缺的作用。食盐在肉制品中的作用主要体现在抑制微生物增殖、形成特征性风味、提高肉制品的粘结性及持水性、促进蛋白质的溶解、助色作用等方面^[1,2]。适量食盐摄入也是维持人体生命活动所必需。食盐中 99% 的化学成分是氯化钠，其进入人体后，氯离子参与合成胃酸、修饰咸味，使肌原纤维蛋白发挥其加工功能特性，钠离子起到维持人体细胞渗透压、调节酸碱平衡等作用。

如今，人们的食盐摄入量普遍超标，过多摄入食盐会诱发多种疾病，严重影响人体健康^[3]。改变高盐饮食习惯已经成为全世界人们关注的话题，2009 年第 5 个世界高血压日的主题即“盐与高血压”，旨在全世界范围内提倡低盐饮食。《中国居民膳食指南(2007)》^[4]中明确指出成人日均摄盐量为 6 g，孩子日均摄盐量在 2~6 g 之间。国内外肉制品行业也在积极采取降盐措施，但贸然减少食盐用量或使用盐替代物，会使产品风味、品质变差。

本文综述了几种降盐方法并利用协同作用、风味提升物质和品质改良剂补偿降低盐含量所带来的负面影响。辅用品质改良加工工艺，使产品的风味、质构得以改善，为研发出满足人类健康需求的低盐肉制品提供理论指导。

2 降盐技术研究进展

降低肉制品中食盐含量，最直接的方法就是减少食盐的添加量。本段综述了氯化钠替代物、优化食盐物理形态的方法来减少食盐的添加量。但所得产品口感粗糙、有异味、风味下降等问题也日渐凸显出来，利用风味增强剂和品质改良剂，则可以弥补制品品质上的变化，能掩饰异味，增强咸味感觉。

2.1 氯化钠替代物

2.1.1 氯化钾及其混合盐

氯化钾与氯化钠具有相似的理化特性，许多人特别是高血压患者经常处于钾低钠高的状态，因此给人体补充钾而减少钠显然是防治高血压的一种有益方法^[5]。氯化钾还有抑制微生物生长的作用，但是单独使用氯化钾会使肉制品呈现苦味和涩味，从而限制了氯化钾的使用。因此，利用氯化钾及其混合盐来替代氯化钠的研究一直备受国内外学者关注^[5]。

Horita 等^[6]用 KCl、MgCl₂、CaCl₂ 以不同比例部分替代意大利生熏香肠中 NaCl，发现用 25%CaCl₂ 和 25%KCl 替代 50%NaCl 的产品表现出很好的感官特性，但香肠的质构特性都有一定程度下降；用 25%MgCl₂ 和 25%KCl 替代 50%NaCl 的产品表现出最好的乳化稳定性，但风味最差。

也有研究发现 25%~40% 的盐替代对产品的风味影响不大^[7]。马飞^[8]研究发现 CaCl₂ 对蛋白凝胶的保水性、硬度以及弹性有显著的影响。

利用钾盐及其混合盐来降低肉制品中盐含量，首先一定要了解其最适配比，这样才能保证低盐肉制品的感官、质构等品质特性^[9]。并且钾盐、镁盐和钙盐等都有其各自的不足之处，会对产品特性产生负面的影响，需要进一步研究。

2.1.2 磷酸盐

磷酸盐不仅可以作为食品配料还可以作为钠盐替代物广泛应用于肉制品加工过程中。Ruusunen 等^[10]研究发现磷酸盐能提高香肠的保水性、嫩度等蛋白凝胶特性，降低蒸煮损失。研究发现磷酸盐的使用能降低肉制品中 NaCl 含量，虽然有些磷酸盐也含有钠，但钠含量相对于食盐低很多^[11]。Ruusunen 等^[12]还指出加入磷酸盐能使火腿中食盐的使用量降低为 1.0%~1.4%，而用磷酸钾盐替换磷酸钠盐将使钠含量进一步降低。值得注意的是，磷酸盐虽能降低钠含量并提高肉的持水性，保证肉的嫩度和风味，但有学者发现过量使用磷酸盐不仅会产生不愉快的金属气味^[13]，导致组织结构粗糙，过多的摄入磷酸盐对人体也有一定的危害性，因此需要按国家标准来控制磷酸盐添加量。

2.1.3 乳酸盐

乳酸是自然界分布最广泛的有机酸，也是食品工业中最早使用的天然有机酸之一。如今乳酸及其盐类在食品工业中的应用日益增多。乳酸盐不仅可以作为天然防腐剂来抑制微生物的生长^[14]，延长肉制品保质期，而且可用于替代 NaCl 来降低肉制品食盐含量。

Choi 等^[15]研究发现，法兰克福香肠采用 30% 的乳酸钾和 10% 的抗坏血酸钙替代食盐后，品质与传统配方香肠没有明显差异；Fulladosa 等^[16]将乳酸钾添加于干腌火腿中，发现钠含量降低的同时火腿中风味、质构特性以及微生物水平并没有明显改变。Guàrdia 等^[17]用 KCl 与乳酸钾混合物替代了发酵香肠中 50% 的 NaCl，研究发现乳酸钙也能作为钠盐替代物，并能改善肉制品的品质。詹昌玲等^[18]用乳酸钙部分替代 NaCl 用于鸭肉干中，发现产品的硬度和咀嚼性得到显著提高；Kim 等^[19]研究发现乳酸钙能够提高新鲜牛肉的抗氧化能力，从而改善了新鲜牛肉颜色的稳定性，同时通过提升烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(nicotinamide adenine dinucleotide, NADH)浓度增加了肌红蛋白的活性。现今乳酸盐已被广泛应用于低盐肉制品生产中作为食盐替代物，同时它还能保证肉制品的质量和色泽，具有很大的开发潜能。

2.2 改变食盐形态

改变食盐形态旨在减少食盐用量且消费者察觉不出产品的咸味有变化。研究发现不同的晶体结构导致同样添加量的盐产生不同强度的咸味，通过改变晶体形态(片状

或颗粒状)可增强食盐咸味,以达到减少肉制品中食盐的添加量的效果^[9]。有研究表明在肉制品中,相较于片状食盐,颗粒状的食盐咸度更高,并且使用片状食盐后能提高产品的出品率,有利于制品的感官和质构特性^[20]。食盐的晶粒大小、形状、密度及表面积对食盐的咸度均有影响,溶解速度越快,越容易被味觉器官感知。新型食盐的前景十分广阔,也越来越受到国内外研究学者的重视^[21]。

2.3 协同作用减少食盐使用

在肉制品加工过程中白酒和中药材是必不可少的调味料,这些物质与食盐协同作用既能减少食盐使用量还可以掩盖食盐替代物产生的苦味,对肉制品的风味和品质有着决定性作用。

2.3.1 乙醇与食盐协同作用

在我国,白酒常被添加在食品中来提味,而且一定浓度的乙醇含量可以抑制微生物的生长。研究表明,10%的食盐和5%~7%的乙醇协同作用可以生产出品质风味俱佳的低盐酱油;添加25%的乙醇能使腐乳中的含盐量降低到3.25%^[22,23]。Chiou等^[24]研究了乙醇在日本豆酱中的作用,认为5%的食盐与7.5%的乙醇协同作用,发酵8周后可以得到与商业产品一样的风味和品质。因此,适量浓度的乙醇溶液能防腐抑菌并降低含盐量,改善肉制品的风味和品质。

2.3.2 中药材与食盐协同作用

生姜是常用天然的食品调味品,也是中药,具有解毒和保护胃黏膜细胞的作用,所以在某些食品的保存和维护人类健康方面具有一定意义和实用价值。关洪全等^[25]在盐腌黄瓜中发现5%食盐与10%生姜协同作用的防腐效果约为单纯食盐的2倍。结果表明,生姜能与食盐协同起到防腐的作用,来降低食盐的用量。另外,食盐与紫苏叶、八重樱花叶等也具有协同抗菌的作用^[25]。

2.4 风味提升物质

风味提升物质与钠盐一起使用可以强化人体味觉感受。其主要机制是通过风味物质来激活口腔和舌上的味觉受体,从而弥补钠盐添加量减少引起咸味下降的缺点或者起到掩蔽作用^[26]。

目前已经发现的风味物质有肽、核苷酸分解物、酵母提取物、以及氨基酸等^[7]。Bastianello等^[27]采用氯化钾替代50%食盐制作发酵香肠,研究发现发酵香肠中有明显苦味,但添加赖氨酸、肌苷酸二钠、鸟苷酸二钠等风味增强剂后,氯化钾的苦味消失。由此,添加核苷酸类物质可以改善氯化钾浓度过高时给产品风味带来的负面影响。Campagnol等^[28]也得出了类似的结论。日本Kohjin有限公司的Aromild酵母提取液含有氨基酸、核苷酸等成分,其可以部分代替食盐并能抑制异味,对食品加工起到很大的作用^[7]。近年来,还有研究表明赖氨酸和精氨酸等氨基酸

在新型低钠、低磷肉制品的开发中具有潜在的应用价值。Dos-Santos等^[29]研究用肌苷酸二钠、牛磺酸、赖氨酸和谷氨酸钠混合物与KCl协同作用能够使香肠的感官品质得以提高;Zhang等^[30]研究表明用赖氨酸和组氨酸混合物部分替代钠盐添加于腌制猪肉中,发现其具有抑制脂肪氧化的作用。王仕钰等^[31]研究发现L-苹果酸、琥珀酸、柠檬酸、富马酸等有机酸味剂具有增咸和掩盖苦味的作用,其中添加有1.6%L-苹果酸效果显著,综合口感较优。

另外,还有研究指出挥发性的气味物质也会影响人对咸味的感知,这是由于气味和味觉存在交互效应(odour-taste interaction)^[32]。如沙丁鱼气味成分能增强咸味感觉,而胡萝卜气味成分能降低咸味感觉^[33],在食盐溶液中加入少量食醋能够降低低盐的咸味。Batenburg等^[34]研究发现咸味气味物质提高咸味感的同时还能掩饰异味,有利于削弱盐替代物所带来的负面风味。风味提升物质种类复杂多样,而且相互之间有较强的协同增效作用,但部分风味物质提取过程成本过高,不能应用于大型肉制品生产过程中,具有局限性。

2.5 品质改良剂

品质改良剂是指能够改良产品品质及性能的物质。在肉制品加工过程中,品质改良剂既能补偿由于食盐使用量减少而导致产品品质的下降,又能降低产品蒸煮损失,因此被广泛应用于肉制品中。目前,应用于肉制品中的品质改良剂有胶体类物质、糖醇类物质、海藻类物质和酶。

2.5.1 胶体类物质

在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,从而提高产品的保水性。杨园媛等^[35]研究发现,当魔芋胶、卡拉胶、氯化钾3者按一定比例进行复配时,可以降低猪肉脯的失水率,提高产品的持水性并改善产品质构。Pappa等^[36]发现果胶能改善含盐量1.3%低盐低脂法兰克福香肠的质构。Totosa等^[37]研究发现MgCl₂和结冷胶的联合使用能改善肉糜的保水性和凝胶特性的同时有效补偿低盐低脂引起的品质变劣。Jimenez等^[38]研究低盐低脂法兰克福香肠,加入魔芋胶以降低脂肪含量,魔芋胶与海藻胶混合使用能降低香肠中的食盐含量,蒸煮损失、乳化稳定性和感官特性也会发生变化。胶体类物质应用很广泛,肉制品中经常使用的盐类物质,如氯化钠、碳酸氢钠等都能与胶体类物质联合使用,用于改善提高肉制品的品质。

2.5.2 糖醇类物质

一些糖醇物质,例如山梨糖醇、甘露醇、丙二醇、丙三醇等具有大量的羟基结构,这些羟基可以通过氢键与肉中水分相结合,来提高产品的持水性并降低体系的水分活度。王秀芝等^[39]在罗非鱼干燥前使用3%丙二醇、5%丙三醇、1%氯化钠及3%乙醇混合添加剂对其浸泡,结果发现罗非鱼的感官品质没有发生改变,产品的水分活度降低。

史春娟^[40]在发酵香肠添加山梨糖醇,发现山梨糖醇与蔗糖、木糖醇、葡萄糖相比,降低水分活度的能力更强,并且添加山梨糖醇后,蛋白降解程度降低且未对发酵香肠的风味产生不利影响。因此,糖醇类物质可以减小降低食盐对肉制品品质所带来的负面影响,满足消费者的需求,提高生产者的效益,具有一定的实用价值。

2.5.3 海藻类物质

海藻是在肉制品工业中应用相对成熟的一类钠盐替代物。海藻盐渐渐被人们所熟知,添加海藻除了可以提高肉制品的营养价值外,还可以解决低盐肉制品持水力降低等问题^[41]。在肉制品加工中,研究者已经添加鼠尾藻或石花菜到汉堡的牛肉饼中^[42],或将海藻、裙带菜和紫菜添加到猪肉凝胶系统中^[43],用于提高产品的持水力。研究发现,许多海藻中含有海藻酸,海藻酸在体内可以大量地与钠离子结合,将其牢牢包裹直到排出体外,海藻类物质除了可以补充钾和清除多余的钠外,对人体还有很多好处。

2.5.4 酶

谷氨酰胺转氨酶(glutamine transaminase, TG 酶)在肉制品加工过程中能增强蛋白质的性能、凝胶能力以及持水性,使产品特有的质地和口感得以提高。因此国内外学者鉴于谷氨酰胺转氨酶能够对蛋白质进行改良并能作为食盐替代物来弥补氯化钠减少给产品品质带来的缺陷,而将其应用到肉制品加工过程中,以期待提高肉制品的质量、产率和风味。Tseng 等^[44]研究发现在鸡肉丸中添加 1%TG 酶后,食盐含量降低到 1%,鸡肉丸的保水性提高。Hong 等^[45]在猪肉肌纤维蛋白中添加 TG 酶后,所得结果与 Tseng 等^[44]的研究基本一致。TG 酶还可以完全替代磷酸盐,如火腿中不添加磷酸盐的情况下,添加 0.24%TG 酶,其品质还能有所提升^[46]。Cofrades 等^[47]在低盐重组禽肉制品中加入 TG 酶,水的结合性能不受影响,结果表明,使用 TG 酶能够增加产品的硬度、弹性和咀嚼性;使水和脂肪能够更好地结合,从而增强乳化稳定性,减少蒸煮损失。还有研究发现将 TG 酶与超高压技术结合,品质改善的效果则更加明显^[48]。TG 酶已经被广泛应用在肉制品行业中,用于改善产品质构,提升风味。

3 品质改良加工技术

采用现代高新技术实现生产的现代化,不断地提升工艺技术水平,是继承、发扬传统食品的主要发展方向。在生产肉制品过程中也同样需要一定的品质改良加工技术如改进腌制技术、超声波技术、超高压处理技术等来减少腌制用盐量并降低食盐用量减少所带来的负面影响。

3.1 改进腌制技术

传统腌制技术一般通过大量使用食盐使产品在高渗透压作用下失水来达到延长贮藏期的目的,这严重影响产品的口感而且对消费者健康极其不利。竺尚武等^[49]采用有

机酸涂膜的方法,使产品的盐含量控制在 5%~7%左右,发酵 20 d 不腐败并且具有干腌火腿的风味。杜艳等^[50]采取注射腌制、添加抑菌剂和控温控湿腌制相结合的方法,使低盐块状火腿盐含量降到 5%~6%,但因成熟期短,与传统火腿相比风味有一定差距。孙元宾等^[51]采用真空动态腌制法来开发低盐腌菜,腌制温度 20℃、真空度 85 kPa、动态真空腌制机搅拌转速为 1 r/min、食盐水溶液浓度为 2%。结果表明,真空动态腌制产品的可食性、感官品质、食用营养性及安全性均优于传统腌制法且加工周期短适合工业化生产。陈松等^[52]通过对腌制过程中各工序温度湿度的控制,减少了腌制用盐量,使成品盐含量降低了 50%,但该火腿在风味、贮藏性方面,优于传统火腿。以上研究表明不同的腌制技术,能缩短腌制时间并降低食盐用量,且肉制品的感官和质构特性不受影响。

3.2 超高压处理技术

近年来研究人员十分重视非热加工技术在肉品工业中的应用。超高压处理技术克服了热加工技术的缺点,根据 Sikes 等^[53]研究它可以显著改变肉的分子组成,增强肉凝胶的稳定性,修改蛋白质、多糖等生物大分子的质构,因此可以达到用少量的盐来保持肉品持水力和改善质地的目的。杨志强等^[54]在研发低盐腌菜发现,2 次超高压处理,降低了食盐的使用量和亚硝酸盐的含量,避免维生素损失,延长保质期。王元等^[55]发现 200 MPa 处理条件下,重组复合肉干质构、感官品质得到改善,挥发性风味化合物也有所提升。虽然,高压处理技术会对产品的色泽、嫩度和保质期有影响^[48],需要严格控制超高压的强度,但超高压食品具有营养成分损失少、安全卫生的特点,在肉制品加工储藏过程中具有很好应用前景。

3.3 超声波技术

超声波在肉制品中的应用还在探索阶段,技术不是很成熟但具有很好的应用价值。李斌^[56]研究发现超声波各参数条件如声功率强度、处理时间、处理温度对鲢鱼糜凝胶性能均有不同程度的影响。超声波技术具有破坏肌肉组织原有结构的作用,从而可以改变肉制品的渗透压,让腌制剂更充分快速的进入肌肉组织当中。蔡华珍等^[57]研究利用超声波技术加工低盐咸肉,能够缩短腌制时间降低盐用量并且成品感官品质没有变化。此外,还有学者^[58]提出将超声波腌制和注射腌制,超声波嫩化和化学嫩化、超声波杀菌和热杀菌等相结合,将会达到很好的作用效果,但仍有待于研究,具有挑战性。目前,应用超声波技术帮助减少肉制品中盐分的相关研究较少,但超声波降盐技术前景广阔,有望成为国内外学者研究的热点^[59]。

3.4 搅打技术

搅打技术采用转速较低(200 r/min)的带保温套筒的打浆机,持续同向搅打肉糜,由于转速低且外筒中有冰块降

温,因此蛋白不会因温度过高而发生变性,这种技术生产的贡丸含盐量可以减少到1%,且品质优于传统2%食盐含量的贡丸^[60]。目前相关研究较少,有待于进一步探索。

4 存在问题与展望

在肉制品加工过程中降低食盐含量一直是国内外学者的研究热点,而降盐技术和品质改良加工技术在食品中应用存在的问题也日益凸显,存在的主要问题包括:(1)仅用单一食盐替代物,会使产品出现苦味、涩味、组织疏松等品质问题;(2)用混合盐替代物时需知道各组分的比例,才能达到理想的替代盐的效果;(3)在改变食盐形态方面,开发难度大,成本高且需要先进的技术支撑^[9];(4)添加品质改良剂、风味提升物来补偿肉制品品质上的缺陷,但同时也应考虑二者对产品味道、颜色、香气等不利影响,并且要对人体无害,成本不宜过高^[59];(5)腌制技术、超高压技术等对肉类各种成分的影响还有待于进一步深入研究和探索。

随着科学技术的提高,对肉制品研究不断在完善,许多国家都正在采取措施来减少钠的摄入量,但仅用单一技术其功能片面有局限性,应采用协同的方式将多种技术结合起来。有望通过降盐技术辅以品质改良加工技术,对低盐肉制品色泽、风味、质构、保质期等因素的研究进一步深入和完善。人们的生活水平提高,对高蛋白、低盐、低脂功能性食品需求量日益增大,低盐肉制品以安全健康为出发点凭借其特有的风味和均衡的营养一直深受消费者的喜欢,具有广阔的市场前景。

参考文献

- [1] 李燕利. 腊肉和香肠贮藏期间品质变化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.
- [2] 徐雯雅. 西式盐水火腿低钠腌制剂的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [3] 杜晓甫, 方乐, 王良友, 等. 农村社区高血压人群钠盐摄入水平及限盐行为的影响因素[J]. 浙江预防医学, 2017, 29(1): 5-10.
- [4] 中国营养学会. 中国居民膳食指南[M]. 拉萨: 西藏人民出版社, 2008.
- [5] Ripolles S, Campagnol PCB, Armenteros M, *et al.* Influence of partial replacement of NaCl with KCl, CaCl₂ and MgCl₂ on lipolysis and lipid oxidation in dry-cured ham [J]. Meat Sci, 2011, 89(1): 58-64.
- [6] Horita CN, Morgano MA, Celeghoini RMS, *et al.* Physico-chemical and sensory properties of reduced-fat mortadella prepared with blends of

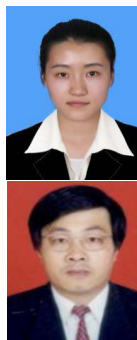
- calcium, magnesium and potassium chloride as partial substitutes for sodium chloride [J]. Meat Sci, 2011, 89(4): 426-433.
- [7] 赵希荣, 汤芸. 低钠肉制品的开发研究进展[J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2016, 31(3): 29-36.
- [8] 马飞. 多糖、CaCl₂和超高压对肌肉盐溶蛋白凝胶特性的影响[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2011.
- [9] 郑海波, 徐幸莲, 周光宏. 肉制品低钠盐加工技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(4): 370-375.
- [10] Ruusunen M, Vainionpa J, Lyly M, *et al.* Reducing the sodium content in meat products: the effect of the formulation in low-sodium ground meat patties [J]. Meat Sci, 2005, 69(1): 53-60.
- [11] 谢文, 王飞, 彭增起, 等. 磷酸盐混合物和加水量对低脂牛肉灌肠硬度和保水性的影响[J]. 食品工业科技, 2003, 24(3): 38-43.
- [12] Ruusunen M, Niemisto M, Puolanne E. Sodium reduction in cooked meat products by using commercial potassium phosphate mixtures [J]. Agric Food Sci Finland, 2002, 11(3): 199-207.
- [13] 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, (7): 38-41.
- [14] Campêlo MCDS, Medeiros JMSD, Abrantes R, *et al.* Use of natural preservatives in low sodium carne-de-sol beef [J]. J Food Saf, 2017.
- [15] Choi YM, Jung KC, Jo HM, *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 Sci, 2014, 96(1): 21-25.
- [16] 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 Sci, 2009, 82(2): 213-218.
- [17] Guardia MD, Guerrero L, Gelabert J, *et al.* Sensory characterization and consumer acceptability of small calibre fermented sausages with 50% substitution of NaCl by mixtures of KCl and potassium lactate [J]. Meat Sci, 2008, 80(4): 1225-1230.
- [18] 詹昌玲, 陈从贵, 翟颖丝, 等. 乳酸钙部分替代氯化钠对鸭肉干品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 70-74.
- [19] Kim Y, Keeton J, Smith S, *et al.* Evaluation of antioxidant capacity and colour stability of calcium lactate enhancement on fresh beef under highly oxidizing conditions [J]. Food Chem, 2009, 115(1): 272-278.
- [20] 魏朝贵, 吴菊清, 邵俊花, 等. 降低乳化型肉制品中食盐含量研究进展

- [J]. 肉类研究, 2012, (4): 28–31.
- Wei CG, Wu JQ, Shao JH, *et al.* Research progress on reducing salt content in emulsified meat products [J]. Meat Res, 2012, (4): 28–31.
- [21] Pasin G, Omahony M, York G, *et al.* Replacement of sodium chloride by modified potassium chloride (cocrystallized disodium-5'-inosinate and disodium-5'-guanylate with potassium chloride) in fresh pork sausages: acceptability testing using signal detection measures [J]. J Food Sci, 2008, 54(3): 553–555.
- [22] 宋小焱, 陈丰. 液体发酵中以乙醇代盐生产低盐酱油的研究[J]. 中国酿造, 2007, (10): 36–38.
- Song XY, Chen F. Research on partly replacement of salt with ethanol in liquid state fermentation for low-salt soy sauce [J]. China Brew, 2007, (10): 36–38.
- [23] 李娟. 乙醇对低盐腐乳品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2009.
- Li J. Effect of ethanol contents on sufu quality [D]. Beijing: China Agricultural University, 2009.
- [24] Chiou RY, Ferng S, Beuchat LR. Fermentation of low-salt miso as affected by supplementation with ethanol [J]. Int J Food Microbiol, 1999, 48(1): 11–20.
- [25] 关洪全, 栗田启幸, 大荒田素子, 等. 生姜与食盐协同对食品防腐作用的基础研究[J]. 中国微生态学杂志, 2000, (3): 139–141.
- Guan HQ, Nobuyuki K, Motoko O, *et al.* The basic research of ginger synergy with sodium chloride antisepticizing to foods [J]. Chin J Microecol, 2000, (3): 139–141.
- [26] Disod PG, Omahony M, York G, *et al.* Replacement of sodium chloride by modified potassium chloride (cocrystallized disodium-5'-inosinate and disodium-5'-guanylate with potassium chloride) in fresh pork sausages: acceptability testing using signal detection measures [J]. J Food Sci, 2008, 54(3): 553–555.
- [27] Bastianello CPC, Dos Santos BA, Terra NN, *et al.* Lysine, disodium guanylate and disodium inosinate as flavor enhancers in low-sodium fermented sausages [J]. Meat Sci, 2012, 91(3): 334–338.
- [28] Campagnol PCB, Dos Santos BA, Morgano MA, *et al.* Application of lysine, taurine, disodium inosinate and disodium guanylate in fermented cooked sausages with 50% replacement of NaCl by KCl [J]. Meat Sci, 2011, 87(3): 239–243.
- [29] Dos-santos BA, Campagnol PC, Morgano MA, *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 Sci, 2014, 96(1): 509–513.
- [30] Zhang YW, Zhang L, Hui T, *et al.* Influence of partial replacement of NaCl by KCl, L-histidine and L-lysine on the lipase activity and lipid oxidation in dry-cured loin process [J]. LWT-Food Sci Technol, 2015, 64(2): 966–973.
- [31] 王仕钰, 张立彦. 有机酸味剂对低钠盐增咸作用的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(6): 370–373.
- Wang SY, Zhang LY. Enhancing effects of organic acids on saltiness of low-sodium salt [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(6): 370–373.
- [32] Seo HS, Iannilli E, Hummel C, *et al.* A salty-congruent odor enhances saltiness: Functional magnetic resonance imaging study [J]. Hum Brain Mapp, 2013, 34(1): 62–76.
- [33] Nasri N, Beno N, Septier C, *et al.* Cross-modal interactions between taste and smell: Odour-induced saltiness enhancement depends on salt level [J]. Food Qual Prefer, 2011, 22(7): 678–682.
- [34] Batenburg M, Van-Der VR. Saltiness enhancement by savory aroma compounds [J]. J Food Sci, 2011, 76(5): S280–S288.
- [35] 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.
- Yang YY, Zhao MM, Sun WZ, *et al.* Effect of carrageenan konjac gum and potassium on the properties of pork jerky [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(20): 303–305.
- [36] Pappa IC, Bloukas JG, Arvanitoyannis IS. Optimization of salt, olive oil and pectin level for low-fat frankfurters produced by replacing porkbackfat with olive oil [J]. Meat Sci, 2000, 56(1): 81–88.
- [37] Tototaus A, Perez-chabela ML. Textural properties and microstructure of low-fat and sodium-reduced meat batters formulated with gellan gum and dicationic salts [J]. LWT-Food Sci Technol, 2009, 42(2): 563–569.
- [38] Jimenez CF, Cofrades S, Lopez-lopez I, *et al.* Technological and sensory characteristics of reduced/low-fat, low-salt frankfurters as affected by the addition of konjac and seaweed [J]. Meat Sci, 2010, 84(3): 356–363.
- [39] 王秀芝, 关志强, 李敏. 水分活度降低剂在罗非鱼片干燥加工中的应用[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(9): 197–201.
- Wang XZ, Guan ZQ, Li M. Study on the application of water activity lowering additives in the drying process of tilapia fillets [J]. Food Res Dev, 2011, 32(9): 197–201.
- [40] 史春娟. 山梨糖醇对发酵香肠蛋白降解特性及品质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
- Shi CJ. Effect of sorbitol on proteolysis characteristics and quality of fermented sausage [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [41] López -López I, Cofrades S, Yakan A, *et al.* Frozen storage characteristics of low-salt and low-fat beef patties as affected by Wakame addition and replacing pork backfat with olive oil-in-water emulsion in cooked ground beef patties [J]. Food Res Int, 2010, 43: 1244–1254.
- [42] Chun SS, Park JR, Park JC, *et al.* Quality characteristics of hamburger patties added with seaweed powder [J]. J Korean Soc Food Sci Nutr, 1999, 28(1): 140–144.
- [43] Cofrades S, López-López I, Solas MT. Influence of different types and proportions of added edible seaweeds on characteristics of low-salt gel/emulsion meat systems [J]. Meat Sci, 2008, 79: 767–776.
- [44] Tseng TF, Liu DC, Chen MT. Evaluation of transglutaminase on the quality of low-salt chicken meat-balls [J]. Meat Sci, 2000, 55(4): 427–431.
- [45] Hong GP, Chin KB. Effects of microbial transglutaminase and sodium alginate on cold-set gelation of porcine myofibrillar protein with various salt levels [J]. Food Hydrocolloid, 2010, 24(4): 444–451.
- [46] 黄梅香. 低钠盐火腿肠的研制及其贮藏特性研究[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2011.
- Huang MX. Development and storage characteristic research of low-sodium ham sausages [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2011.
- [47] Cofrades S, López-López I, Ruiz-Capillas C, *et al.* Quality characteristics of low-salt restructured poultry with microbial transglutaminase and seaweed [J]. Meat Sci, 2011, 87(4): 373–380.
- [48] 张东芳, 郑凌君, 吴芳彤. 超高压技术在肉制品加工中的应用[J]. 肉类工业, 2013, (7): 50–53.
- Zhang DF, Zheng LJ, Wu FT. Application of UHP technology in meat product technology [J]. Meat Ind, 2013, (7): 50–53.

- [49] 竺尚武. 涂膜制作低盐干腌火腿的研究[J]. 食品与机械, 2003, (5): 15-16.
Zhu SW. Study on low salt content dry-cured ham made by coating [J]. Food Mach, 2003, (5): 15-16.
- [50] 杜艳, 李兴民, 霍晓娜, 等. 低盐去骨块状火腿的研究[J]. 食品工业科技, 2005, 26(8): 132-134.
Du Y, Li XM, Huo XN, *et al.* Preparation of low salinity, boneless and massive ham [J]. Sci Technol Food Ind, 2005, 26(8): 132-134.
- [51] 孙元宾, 田海娟. 使用真空动态腌制法开发低盐甜葫芦腌菜[J]. 食品科学, 2009, 30(6): 285-287.
Sun YB, Tian HJ. Development of low-salt sweet calabash pickle by dynamic vacuum pickling method [J]. Food Sci, 2009, 30(6): 285-287.
- [52] 陈松, 张春晖, 冯月荣. 低盐金华火腿控温控湿新工艺的研究[J]. 肉类工业, 2006, (3): 28-30.
Chen S, Zhang CH, Feng YR. Research on new craft of temperature and humidity control in low salinity King Hwa ham [J]. Meat Ind, 2006, (3): 28-30.
- [53] Sikes AL, Tobin AB, Tume RK. Use of high pressure to reduce cook loss and improve texture of low -salt beef sausage batters [J]. Innov Food Sci Emerg Technol, 2009, 10(4): 405-412.
- [54] 杨志强, 何颖娜. 一种超高压加工健康风味腌菜的方法: 中国, 105455072A [P]. 2016.
Yang ZQ, He YN. A method for processing high-pressure processing of healthy pickles: CN, 105455072 A [P]. 2016.
- [55] 王元, 张伟艺, 刘雨杨, 等. 超高压处理对重组复合肉干感官及风味的影响[J]. 中国调味品, 2017, 42(2): 63-68.
Wang Y, Zhang WY, Liu YY, *et al.* Effect of HPP on sensory quality and flavor of recombinant composite jerky [J]. China Condiment, 2017, 42(2): 63-68.
- [56] 李斌. 超声波场强的干预因素及对鱼糜凝胶特性的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
Li B, Factors acting on the acoustic field and the effects of ultrasound on the gel properties of surimi [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015.
- [57] 蔡华珍, 王银传. 超声波技术加工低盐咸肉的工艺研究[J]. 食品科学, 2008, 29(2): 192-195.
Cai HZ, Wang YC. Processing technology research of ultrasonic treatment on low salt preserved pork [J]. Food Sci, 2008, 29 (2): 192-195.
- [58] 管俊峰, 李瑞成. 超声波技术在肉品加工中的研究进展[J]. 肉类研究, 2010, (7): 82-85.
Guan JF, Li RC. Advances of research of the ultrasound technique applied in meat processing [J]. Meat Res, 2010, (7): 82-85.
- [59] Inguglia ES, Zhang Z, Tiwari BK, *et al.* Salt reduction strategies in processed meat products-A review [J]. Trend Food Sci Technol, 2017, 59: 70-78.
- [60] Kang ZL, Wang P, Xu XL, *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 Sci, 2014, 96(2): 669-674.

(责任编辑: 姜姗)

作者简介



李大宇, 硕士研究生, 研究方向为肉制品加工理论与技术。
E-mail: 382738348@qq.com

周亚军, 教授, 主要研究方向为肉品科学与加工新技术。
E-mail: zhouruyilang@163.com