

于小斐, 魏文松, 艾鑫, 等. 有机酸处理对肉类品质影响的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(14): 387–393. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070226

YU Xiaofei, WEI Wensong, AI Xin, et al. Research Progress on the Effect of Organic Acid Treatment on Meat Quality[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(14): 387–393. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070226

· 专题综述 ·

有机酸处理对肉类品质影响的研究进展

于小斐, 魏文松, 艾鑫, 孟明佳, 张春江*

(中国农业科学院农产品加工研究所农业部农产品加工重点实验室, 北京 100193)

摘要: 有机酸是一种重要的酸味剂, 在肉类保鲜、抑菌、风味改善等方面发挥积极作用, 有机酸的适当添加有助于稳定及提升肉类品质。在肉类加工过程中加入有机酸, 具有改善肉类颜色, 嫩化肉类, 降低蒸煮损失, 改善肉类营养成分, 抑制病原微生物生长繁殖, 降低脂质氧化水平, 延长肉类产品货架期等优点。但是有机酸浓度过高则会降低肉类品质。本文介绍了肉制品加工中几种常见有机酸及有机酸处理对肉类食用品质、加工品质、营养品质、卫生品质、饲养品质的影响, 并对其功能、存在问题进行总结, 提出解决措施, 以期为肉品工业的发展提供理论参考依据。

关键词: 有机酸处理, 肉, 食用品质, 加工品质, 营养品质, 饲养品质

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)14-0387-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070226

Research Progress on the Effect of Organic Acid Treatment on Meat Quality

YU Xiaofei, WEI Wensong, AI Xin, MENG Mingjia, ZHANG Chunjiang*

(Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Comprehensive Key Laboratory of Agro-products Processing, Ministry of Agricultural, Beijing 100193, China)

Abstract: Organic acid is an important sour agent, which plays an active role in meat preservation, bacteriostasis, flavor improvement, etc. Appropriate addition of organic acid helps to stabilize and improve meat quality. Adding organic acids in the meat processing process has the advantages of improving the color of meat, tenderizing meat, reducing cooking losses, improving the nutritional composition of meat, inhibiting the growth and reproduction of pathogenic microorganisms, reducing the level of lipid oxidation, and prolonging the shelf life of meat products. However, high concentrations of organic acids can reduce the quality of meat. This review introduces several common organic acids in meat processing and the effects of organic acid treatments on meat edible quality, processing quality, nutritional quality, hygienic quality and feeding quality; summarizes its function and existing problems and propose measures to solve them, in order to provide a theoretical reference basis for the development of the meat industry.

Key words: organic acids treatment; meat; edible quality; processing quality; nutritional quality; feeding quality

有机酸是一种重要的酸味剂, 我国目前允许使用的酸味剂可分为有机酸(乳酸、柠檬酸、苹果酸等)和无机酸(磷酸等)两大类, 具有增进食欲、促进人体消化吸收的作用, 其中有机酸类酸味剂的应用最为广泛。有机酸类酸味剂能控制食品 pH(果酱、酿酒等)、增强或改变风味(饮料等)、防止褐变(水果、蛋黄酱等)、螯合金属(虾罐头等)、缓冲食品(甜点等)、

胶凝(果酱等)和/或凝结(奶酪、牛奶等)、延缓微生物生长和孢子萌发等^[1]。由于它们是食品中的正常成分或参与人体的正常代谢, 安全性较高, 因此只要按照标准及适合的方法使用, 对人体不会产生危害, 也不会影响食品风味。

影响肉类品质的因素有很多, 饲养管理^[2-3]、品种差异^[4-5]、宰前处理^[6-7]、宰后贮藏^[8-9]及加工方式^[10-11]

收稿日期: 2020-07-21

基金项目: 国家重点研发计划资助(2018YFD0400505); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(S2020JBKY-19)。

作者简介: 于小斐(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: yxxfei@163.com。

* 通信作者: 张春江(1976-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 传统食品加工与装备, E-mail: chjiang1976@126.com。

等都会对其产生影响,而在肉类宰前及宰后加工过程中的有机酸处理也会影响肉类品质。目前关于有机酸处理肉类的研究主要体现在改善颜色、提升嫩度、降低脂质氧化水平、抑制微生物生长等方面。有机酸的处理浓度、处理时间不同,对肉类产生的影响也有所不同,当有机酸的处理浓度过高时,反而会引起肉类品质的下降。本文主要针对有机酸处理对肉类食用品质、加工品质、营养品质、卫生品质、饲养品质的影响进行论述,并就未来有机酸在肉类产品的应用方向提出展望。

1 肉制品加工中常用有机酸

有机酸及其盐类在肉类加工业中已有广泛应用,目前主要集中于肉类加工前的减菌,例如在北美的肉类工业中,有机酸类的抗菌处理作为减少细菌量的宰后措施已广泛使用多年。在我国,常见的应用于肉制品中的有机酸有乳酸、柠檬酸、醋酸等,食品添加剂标准 GB 2760-2014 对肉类加工中可应用的有机酸及其盐类的使用范围和使用量也作出相应规定,如表 1 所示。

表 1 肉及肉制品中允许使用的有机酸及其盐类
Table 1 Organic acids and their salts permitted for use in meat and meat products

有机酸及其盐类	CNS号	INS号	最大使用量 (g/kg)	备注
富马酸一钠	01.311	365		生、鲜肉类除外
乳酸	01.102	270		
乳酸钠	15.012	325		
DL-苹果酸钠	01.309	—		
L-苹果酸	01.104	—		
DL-苹果酸	01.309	—	按生产需要 适量使用	
冰乙酸(又名冰醋酸)	01.107	260		
冰乙酸(低压羰基化法)	01.112	—		
柠檬酸	01.101	330		
柠檬酸钾	01.303	332ii		
柠檬酸钠	01.304	331iii		
柠檬酸一钠	01.306	331i		

1.1 乳酸

乳酸,又名 2-羟基丙酸,分子式为 $C_3H_6O_3$,分子量为 90.08,最初是 1780 年发现于变质牛奶中^[12],是最早应用的食物添加剂之一,同时也是酸奶、泡菜等食品的特征酸。在食品行业可以应用于酸菜^[13]、酿酒^[14-15]中。在肉制品加工业中,最常见的是作为减菌剂,通常采用喷淋法、注射法、浸泡法对冷鲜肉进行处理,以抑制微生物的生长繁殖^[16-17]。欧盟允许通过喷洒浓度为 2%~5% 的乳酸和最高温度 55 ℃ 的溶液对牛肉进行去污处理^[18]。另一方面,乳酸浓度、乳酸注射量和静置时间对肉类的剪切力、组织状态评分和嫩度等品质指标均会产生不同程度的影响^[19]。

1.2 乙酸

乙酸,又名醋酸,分子式为 CH_3COOH ,分子量

为 60.05,是食醋的主要香气成分。在食品行业,乙酸用于提升贮藏品质^[20-22]、灭活病原菌^[23]等,经稀释也可用作调味料。在肉制品加工过程中,通常使用醋酸腌制肉以制备肉干等产品,不仅能延长肉类贮藏期,还能改善肉类质地,例如南非咸肉干^[24]、酸辣猪肉干^[25]、风干牦牛肉^[26]等。此外,添加乙酸能降低肉类微生物污染情况,但是有研究人员发现,使用浓度超过 3% 的乙酸会导致熟肉的风味发生变化^[27]。

1.3 柠檬酸

柠檬酸,又名枸橼酸,分子式为 $C_6H_8O_7$,分子量为 192.13。柠檬酸是天然存在的,是柑橘等水果的特征酸,既存在动物骨骼、肌肉中,也可以人工合成。柠檬酸是食品行业使用最广泛的有机酸,其中超过一半的柠檬酸应用于饮料行业。在肉类行业,一方面柠檬酸可以在宰前饲养环节添加于饲料中,用以改善动物生长性能,促进营养物质消化吸收,而对肉类自身品质及后续加工不产生影响^[28]。另一方面,适当的柠檬酸浸泡还可以作为肉类加工前的预处理措施,有助于延长新鲜海鲜肉类的保存期限以及控制干燥肉类产品中发生的美拉德反应,降低生产成本^[29-30]。但是有学者对柠檬酸作为食品添加剂的无害性提出了一些质疑,特别是在氧化应激和/或铁超载的条件下,柠檬酸可能会产生一定程度的危害^[31]。

2 有机酸处理对肉类食用品质的影响

肉类食用品质是影响肉类消费、加工及生产销售最重要的品质之一,随着肉类消费量的逐年增加,食用品质的变化变得尤为重要,主要体现在肉色、嫩度、风味、质量损失、水分含量等方面。

2.1 有机酸处理对肉色的影响

颜色是肉类重要的表现品质特征,是消费者判断生肉和加工肉类产品新鲜与否的重要指标之一,也是影响消费者购买的主要因素之一。肉的颜色主要取决于肌红蛋白和血红蛋白的含量和化学状态,通常呈现深浅程度不同的红色^[32-36]。有机酸及其盐类的应用会对肉制品颜色产生不同程度的影响,随着添加酸浓度的升高,肉类普遍会颜色变浅、红度降低,可能是添加的有机酸降低了肉中的氧气含量,促进肌红蛋白向高铁肌红蛋白转变,使其红度降低。此外,有机酸的添加影响肉类的光反射,也会影响肉类的颜色变化^[37-38]。

对于处于非正常 pH 的肉类,研究人员发现,添加 0.25% 的乳酸能有效降低死后暗切(dark-cutting)鲜牛肉的肌肉 pH,从而改善色泽,使暗切牛肉鲜色变亮,防止鲜红熟色的产生,与正常牛肉的色泽相近,而且在零售陈列期间,颜色的稳定性非常接近正常 pH 的牛肉^[39]。对于腌肉制品,有机酸能促进显色,改善天然亚硝酸盐显色效率低的缺点,促进以天然亚硝酸盐为来源的腌肉制品的红度值的升高,因此,将天然亚硝酸盐与有机酸结合,有助于提高腌肉制品的品质^[40]。

2.2 有机酸处理对嫩度的影响

嫩度反映了肉类口感的老嫩,是肉质最重要的组成部分之一,也是消费者最注重的食用品质之一^[41-42]。国内外均有通过食醋、乳酸、葡萄酒、柠檬酸或果汁的酸性溶液来改善肉嫩度的研究^[43-45],酸性腌制影响肉嫩度的潜在原因可能是:a. pH 导致肌肉纤维和/或结缔组织肿胀;b. 增加了烹饪时胶原蛋白的溶解度;c. 加速或额外的蛋白水解削弱肌肉结构^[46]。

常用的有机酸嫩化方法有浸渍法和注射法两种,主要是通过降低肉的机械抵抗力来达到嫩化的目的^[47-48]。浸渍法腌制肉类时间较长,渗入缓慢,对于含有大量结缔组织的肌肉嫩化效果较好,但是为了达到更好的嫩化效果,通常需要浸泡较长时间以使酸性溶液充分渗透到肌肉组织中^[49]。而注射法渗入迅速,所需时间也较短。Berge 等^[50]研究发现,将乳酸注射到肉中有效地降低了富含胶原蛋白的牛肌肉的韧性,增加了肉的嫩度。

为了达到更好的嫩化效果,通常还会将有机酸腌制与滚揉处理等其他加工操作环节相结合,既能缩短提高肉类产品嫩度所需要的腌制时间,还能提升产品品质^[51]。此外,有机酸的浓度、处理时间、处理温度等也是在嫩化肉类的同时需要考虑的因素,在不改变肉类自身品质特性的前提下,选取各因素间的最佳工艺条件尤为重要^[52]。

2.3 有机酸处理对肉类风味的影响

肉类加工过程中添加适当的有机酸能改善肉类风味,提升肉类品质,但是浓度过高的有机酸处理对肉类风味保持会有不利影响。Meltem 等^[53]研究发现用 0.2 mol/L 的柠檬酸溶液浸泡火鸡胸肉会导致产品味道变酸,不具备食用价值。Desmond 等^[54]研究发现添加高浓度的乳酸增加了法兰克福香肠嫩度,但损害了风味和可接受性。此外,酸性腌料带来的味道可能令人反感,在保持所需的嫩化效果的同时,可能需要使用调味剂来克服这一问题^[55]。

3 有机酸处理对肉类加工品质的影响

3.1 有机酸处理对肉类持水力的影响

有机酸的添加会使正常肉类的持水力略有上升,但是当其添加浓度升高,肌肉的 pH 低于正常肌肉时则会导致较高的失水率,可能是因为有机酸在结缔组织和细胞膜的降解中的作用降低了水分的保持能力,此外,较低的 pH 会引起蛋白质变性,改变蛋白质-蛋白质和蛋白质-水之间的化学平衡,从而增加了水分的释放^[56]。有研究人员发现,添加仅包含氯化钠或仅包含乳酸的固化盐水会增加肉的持水力和结合能力,但是添加含有各种浓度的盐和酸的混合物的固化盐水会降低持水力和结合能力,对肌肉组织的持水性能有负面影响^[57]。对于非正常品质的肉类,例如暗切牛肉,有机酸的添加则会增加肌肉的持水力^[39]。

有机酸的种类对于肉类持水力的影响也不相同,对于乙酸、柠檬酸、乳酸三种有机酸而言,用乙酸

腌制的样品的失水率与柠檬酸和乳酸相比较低,这可能是乙酸具有较高的 pKa 值,对蛋白质变性影响较小^[56]。

3.2 有机酸处理对肉类蒸煮损失的影响

蒸煮损失主要是由水分流失引起,有机酸的添加会影响肉类自身 pH,而 pH 是影响肉类蒸煮损失的原因之一,此外,有机酸的种类及添加浓度也均会影响肉类的蒸煮损失。Aktas 等^[58]将牛肉在 0.5%、1.0%、1.5% 乳酸和柠檬酸溶液中浸泡 72 h 后发现,用 1.5% 乳酸和柠檬酸浸泡的牛肉样品中观察到的蒸煮损失最低;与柠檬酸腌制的牛肉样品相比,乳酸腌制样品的蒸煮损失较低。Gault^[48]在研究中也发现用醋酸腌制的肉类中的烹调损失大幅度降低,这可能是由于在较低的 pH 下,肌肉蛋白质的净正电荷增加,添加的乙酸施加的渗透压使肌肉蛋白质的水合作用更强,从而抑制了与热变性相关的特性变化。

3.3 有机酸处理对肉类微观结构的影响

采用乳酸、乙酸、柠檬酸等酸性溶液进行腌渍处理,从一方面来说能够软化和对肉类进行调味,赋予肉类更佳的品质,另一方面,这些处理降低了肉类(包括高结缔组织含量的肉类)的机械阻力,对其微观结构产生影响。与单独在弱有机酸溶液中浸泡相比,当弱有机酸和 NaCl 结合浸泡时,肉类结缔组织的胶原蛋白特性和肉质特性均会发生改变,这些变化导致了过滤残留物含量的增加^[59]。

有机酸浸泡后肌纤维直径变小,肌内膜和肌周网被破坏,厚度降低,细胞外间隙出现蛋白质聚集体颗粒,胶原纤维排列紊乱^[59]。Ke 等^[60]研究发现,采用柠檬酸腌制后的牛肉微观结构发生显著变化,浸泡至 pH 为 3.52 后,除了 Z 线和微弱的 M 线痕迹外,其余显微结构基本消失,但在重新调整到生肉正常死后 pH 时,大部分肌原纤维结构恢复到其原始状态,但性质略有不同,主要体现为肌节长度增加了 5.6%,I 带长度增加了 22.4%。

4 有机酸处理对肉类营养品质的影响

肉类中含有丰富的蛋白质、维生素、矿物质等营养成分,提供给人体必要的营养素条件,有机酸对肉类进行处理后,其本身含有的营养物质也会发生不同程度的改变。有机酸腌制会使牛肉中的铁、镁、锌含量明显降低,钠含量升高,其中锌和镁的降低幅度最大,因此若要使用酸腌制而不损失微量元素,则应使用可与肉类一起食用或用于其他菜肴(如酱汁、肉汁或汤)的可接受的腌料^[61]。对于烤制肉类产品,添加有机酸成分在降低腌料 pH 的同时,还能减少加工过程中杂环胺的形成,降低对人体的危害^[62]。

有机酸处理能在一定程度上抑制脂质氧化,尤其是氧化应激因素(如酸度、碾磨、滚揉和加热等)引起的脂质氧化。其中柠檬酸可作为抗氧化剂应用于肉类食品中,当添加柠檬酸的肉类的 pH 回升至正常时,脂质的氧化速率仍然比不添加柠檬酸的肉类低,但是其抗氧化效果可能取决于它的浓度,低浓度的柠

柠檬酸不能抑制脂质氧化或抑制效果不理想^[60,63]。Hrynets 等^[64]在对机械分离禽肉蛋白的提取过程中发现,添加柠檬酸可大幅度去除机械分离火鸡肉中的脂质和色素,其中柠檬酸的最佳浓度为 6 mmol/L,而 2 mmol/L 的柠檬酸对磷脂的去除效果最好,同时还能提高回收蛋白的抗脂氧化稳定性,并可显著提高蛋白质回收率,从而延长机械分离禽肉生制品和熟制品的货架期。

5 有机酸处理对肉类卫生品质的影响

在肉类加工和运输过程中,即使严格遵守卫生操作规范,也不能完全排除被细菌污染的风险。添加适当浓度的有机酸不仅可以在一定程度上抑制微生物的生长繁殖,降低肉类被微生物污染的风险^[65],而且对于肉类货架期也有一定程度的延长效果。

5.1 有机酸处理对肉中微生物的影响

含有有机酸的腌料配方能够对肉类的腐烂和病原微生物的生长、抑制甚至灭活产生重大影响,有助于生产理想的最终产品。

乳酸是最广泛应用于肉类减菌处理的有机酸,添加乳酸不仅能减少大肠杆菌和沙门氏菌的数量,还能防止有毒生物胺在生香肠、发酵香肠、干香肠中的积累^[66],但其浓度对于减菌效果的影响较大。有研究人员指出,喷洒 2%~5% 的乳酸溶液可以在不影响新鲜肉感官特性的情况下,作为提高安全性的一种措施来改善肉类的微生物品质,有效地减少微生物数量^[67-69],这也与欧盟规定的乳酸处理浓度标准一致。此外,柠檬酸和乙酸在肉类减菌方面也有相关应用,在给定的浓度和肉类 pH 下,乙酸的抑菌效果优于柠檬酸,主要因为乙酸的总酸浓度高,未解离酸量较高^[70]。值得关注的是,有机酸的组合使用可能会产生比单独使用某一种有机酸更好的效果,在不影响食用品质的前提下减少总活菌数。

5.2 有机酸处理对肉类货架期的影响

有机酸的适当添加能抑制肉类中腐败细菌的生长,降低脂质氧化水平,对于货架期的延长有积极作用。对于海鲜类的产品,由于其自身货架期较短,即使处于低温冷藏环境,也难以避免嗜冷菌的影响,进行有机酸处理后能降低嗜中温菌和嗜冷菌的生长,使其内源酶失活,从而使货架期延长^[71]。研究人员发现,有机酸与维生素 C、丁香等的组合效果优于单独使用有机酸^[72]。对于真空包装的肉类产品,在包装前对其进行有机酸浸泡处理,可以减少细菌的污染,有效弥补冷藏链的不足,尤其对高 pH 的肉制品的货架期延长有一定程度的促进作用^[73]。对于家禽类产品,有机酸处理对其胴体上的细菌负荷有明显的降低作用。Okolocha 等^[74]研究发现,在 4 ℃ 的贮藏温度下,1% 乳酸、处理的家禽胴体至少可以保存 6 d,而且处理后的胴体仍然被消费者接受。因此,用可接受浓度的有机酸处理能保证即使在相对较高的储存温度下也可以较好地保存,并且不会对消费者的接受程

度产生影响。

6 有机酸处理对肉类饲养品质的影响

饲料配料是生产中沙门氏菌等菌种污染最有可能的潜在来源之一,因此在饲料中加入有机酸不仅能减少饲料中的大肠杆菌、弯曲杆菌和沙门氏菌等细菌的病原体,降低菌种污染风险,还能预防肠道疾病,提升免疫力和营养物质的消化率,影响生长性能等^[75]。

以肉鸡饲养为例,在饲料中添加有机酸可显著提高肉鸡的饲料转化率,降低肉鸡的鼠伤寒沙门氏菌,改善肉鸡的生长性能。有机酸在饲料中的这一作用与抗生素有相似的作用效果,尤其是饲料中存在微生物时,因此,在未来禽业养殖中可以用有机酸适当代替部分抗生素,进一步提升饲养品质^[76]。Adhikari 等^[77]研究发现 0.9% 的有机酸混合物是维持饲料卫生和沙门氏菌污染的最佳处理水平。Durek 等^[78]采用有机酸和热处理相结合,对肉鸡饲料进行卫生处理,发现高温处理导致营养损失和消化率降低的效果在有机酸的添加下得到补偿,使肉鸡体重增加,且不会对肉类成分或与肉类质量有关的参数产生负面影响。此外,在停止饲料投喂后,将有机酸添加到肉鸡饮水中,也能使肉质得到提升(烹饪损失降低等)^[79]。

7 总结与展望

在肉类中加入有机酸,具有改善肉类颜色,嫩化肉类,降低蒸煮损失,改善肉类营养成分,抑制病原微生物生长繁殖,降低脂质氧化水平,延长肉类产品货架期等优点。但有机酸在肉类中的应用也会带来一些问题,有机酸浓度过高会破坏肉类品质,使肉类变酸而不具备食用价值,浓度低则抑菌效果不明显;酸性腌料的味道可能不能被全部消费者接受,一定程度上降低产品的可接受性等。此外,有机酸种类选择不恰当会使肉类的色泽不稳定,导致肉类产品变色(变淡、变白),影响感官品质。

因此,在使用有机酸处理肉类的同时,要注意有机酸类的使用种类、添加浓度、处理时间以及有机酸类的成本、可用性以及对食品的物理形态的影响等,在保证具有正常感官品质和食用品质的同时,达到嫩化、抑菌、护色的效果。可以考虑寻找合适的色泽稳定剂、调味剂等改善有机酸带来的不利影响。此外,生物保鲜技术是最近备受关注的技术之一,通过利用有益的微生物如乳酸菌及其产品(通常是酸)来确保食品安全和保质期,可以将其与有机酸类联合应用来进一步提升肉类品质,以期肉类加工业提供新的发展方向。

参考文献

- [1] Joye I J. Acids and bases in food[J]. Encyclopedia of Food Chemistry, 2019: 1-9.
- [2] Santos-Silva J, Alves S P, Francisco A, et al. Effects of a high-fibre and low-starch diet in growth performance, carcass and meat quality of young Alentejana breed bulls[J]. Meat Science, 2020, 168: 108191.

- [3] 李艺,霍路曼,丁宁,等. 谷草与玉米秸秆黄贮不同配比饲料对西门塔尔牛屠宰性能及肉品质的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2020(15): 112-117.
- [4] Huang Y, Zhou L, Zhang J, et al. A large-scale comparison of meat quality and intramuscular fatty acid composition among three Chinese indigenous pig breeds[J]. *Meat Science*, 2020, 168: 108182.
- [5] 周倩,惠腾,刘毅,等. 品种和部位对鸡肉原料特性及其加工性能影响的研究进展[J]. 肉类研究, 2017, 31(7): 57-61.
- [6] Acevedo-Giraldo J D, Sánchez J A, Romero M H. Effects of feed withdrawal times prior to slaughter on some animal welfare indicators and meat quality traits in commercial pigs[J]. *Meat Science*, 2020, 167: 107993.
- [7] Needham T, Lambrechts H, Hoffman L. Influence of extending the pre-slaughter interval after second vaccination on the carcass cutting yield and the quality of meat from immunocastrated lambs[J]. *Meat Science*, 2019, 148: 13-18.
- [8] Stanisławczyk R, Rudy M, Gil M. The influence of frozen storage and selected substances on the quality of horse meat[J]. *Meat Science*, 2019, 155: 74-78.
- [9] 孟婷婷,田建文,王振宇. 冰温气调贮藏对牛羊肉品质影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(7): 395-399.
- [10] Rasinska E, Rutkowska J, Czarniecka-Skubina E, et al. Effects of cooking methods on changes in fatty acids contents, lipid oxidation and volatile compounds of rabbit meat[J]. *LWT*, 2019, 110: 64-70.
- [11] 章杰,何航,熊子标. 烹饪方式对猪肉品质及营养成分的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 21-25.
- [12] 吴军华. 生物质制备乳酸研究进展[J]. 中国酿造, 2011(10): 9-12.
- [13] 杨俊晖. 乳酸制备及其应用新进展[J]. 云南化工, 2019, 46(9): 50-52.
- [14] 张方,张宿义,苏占元,等. 有机酸对浓香型白酒品质及其酿造过程影响的研究进展[J]. 酿酒科技, 2016(1): 94-97.
- [15] 韩经,肖冬光. 白酒生产用 L-乳酸的发酵工艺[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(24): 134-139.
- [16] 杨红,胡振阳,胡庆国,等. 乳酸对肉鸡屠宰加工过程减菌的影响研究[J]. 黄山学院学报, 2019, 21(5): 50-54.
- [17] 牛淑慧,王艺伦,徐晔,等. 乳酸和醋酸对冷却牛肉喷雾减菌效果的研究[J]. 食品科技, 2020, 45(1): 167-173.
- [18] Rodríguez-Melcón C, Alonso-Calleja C, Capita R. Lactic acid concentrations that reduce microbial load yet minimally impact colour and sensory characteristics of beef[J]. *Meat Science*, 2017, 129: 169-175.
- [19] 王可,祝超智,赵改名,等. 乳酸嫩化牦牛肉的工艺优化[J]. 肉类研究, 2019, 33(4): 13-18.
- [20] Liu G, Liu Y, Yan S, et al. Acetic acid reducing the softening of lotus rhizome during heating by regulating the chelate-soluble polysaccharides[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2020, 240: 116209.
- [21] Huang S, Lin S, Wang T, et al. Combining acetic acid and ethanol as an anti-browning treatment for lettuce butt discoloration through repression of the activity and expression of phenylalanine ammonia lyase[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2020, 164: 111151.
- [22] 朱妮,陈奕业,吴汉葵,等. 不同类型添加剂对甘蔗梢青贮品质的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2019(23): 99-102.
- [23] Jeong Y, Ha J. Combined treatment of UV-A radiation and acetic acid to control foodborne pathogens on spinach and characterization of their synergistic bactericidal mechanisms[J]. *Food Control*, 2019, 106: 106698.
- [24] Mirade P S, Portanguen S, Sicard J, et al. Impact of tumbling operating parameters on salt, water and acetic acid transfers during biltong-type meat processing[J]. *Journal of Food Engineering*, 2020, 265: 109686.
- [25] 陈星. 酸辣猪肉干加工工艺及产品特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [26] 郑娇,唐善虎,李思宁,等. 有机酸前处理对风干牦牛肉理化性质及挥发性风味物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(7): 97-104.
- [27] Dickens J A, Lyon B G, Whittemore A D, et al. The effect of an acetic acid dip on carcass appearance, microbiological quality, and cooked breast meat texture and flavor[J]. *Poult Science*, 1994, 73(4): 576-581.
- [28] 郑建婷,冯国亮,曹亮,等. 柠檬酸对生长肉兔生长性能、养分表现消化率、血清抗氧化指标及肉品质的影响[J]. 动物营养学报, 2020, 32(5): 2282-2289.
- [29] Marquez-Rios E, Ocaño-Higuera V M, Maeda-Martínez A N, et al. Citric acid as pretreatment in drying of Pacific Lion's Paw Scallop (*Nodipecten subnodosus*) meats[J]. *Food Chemistry*, 2009, 112(3): 599-603.
- [30] Schirmer B C, Heiberg R, Eie T, et al. A novel packaging method with a dissolving CO₂ headspace combined with organic acids prolongs the shelf life of fresh salmon[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2009, 133(1-2): 154-160.
- [31] Gautier-luneau I, Bertet P, Jeunet A, et al. Iron-citrate complexes and free radicals generation: Is citric acid an innocent additive in foods and drinks? [J]. *Biometals*, 2007, 20(5): 793-796.
- [32] Font-i-Furnols M, Guerrero L. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview[J]. *Meat Science*, 2014, 98(3): 361-371.
- [33] Mancini R A, Hunt M C. Current research in meat color[J]. *Meat Science*, 2005, 71(1): 100-121.
- [34] Mitsumoto M, O'Grady M N, Kerry J P, et al. Addition of tea catechins and vitamin C on sensory evaluation, colour and lipid stability during chilled storage in cooked or raw beef and chicken patties[J]. *Meat Science*, 2005, 69(4): 773-779.
- [35] Qiao M, Fletcher D L, Smith D P, et al. The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity[J]. *Poultry Science*, 2001, 80(5): 676-680.
- [36] Troy D J, Kerry J P. Consumer perception and the role of science in the meat industry[J]. *Meat Science*, 2010, 86(1): 214-226.
- [37] Seyfert M, Hunt M C, Lundesjo A M, et al. Efficacy of lactic acid salts and sodium acetate on ground beef colour stability and metmyoglobin-reducing activity[J]. *Meat Science*, 2007, 75(1): 134-142.

- [38] Onenc A, Serdaroglu M, Abdraimov K. Effect of various additives to marinating baths on some properties of cattle meat[J]. *European Food Research and Technology*, 2004, 218(2): 114–117.
- [39] Sawyer J T, Apple J K, Johnson Z B, et al. Fresh and cooked color of dark-cutting beef can be altered by post-rigor enhancement with lactic acid[J]. *Meat Science*, 2009, 83(2): 263–270.
- [40] Kim T, Hwang K, Lee M, et al. Quality characteristics of pork loin cured with green nitrite source and some organic acids[J]. *Meat Science*, 2019, 152: 141–145.
- [41] Marino R, Albenzio M, Malva A D, et al. Proteolytic pattern of myofibrillar protein and meat tenderness as affected by breed and aging time[J]. *Meat Science*, 2013, 95(2): 281–287.
- [42] McCormick R J. The flexibility of the collagen compartment of muscle[J]. *Meat Science*, 1994, 36(1-2): 79–91.
- [43] 郝婉名, 祝超智, 赵改名, 等. 肌肉嫩度的影响因素及 pH 调节牛肉嫩化技术研究进展[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(24): 349–354.
- [44] Stanton C, Light N. The effects of conditioning on meat collagen: Part 4-The use of pre-rigor lactic acid injection to accelerate conditioning in bovine meat[J]. *Meat science*, 1990, 27(2): 141–159.
- [45] Lin Y C, Chen W T, Chou R G R. Postmortem changes in mule duck muscle marinated in red wine[J]. *Journal of Food Science*, 2000, 65(5): 906–908.
- [46] Erthjerg P, Mielche M M, Larsen L M, et al. Relationship between proteolytic changes and tenderness in prerigor lactic acid marinated beef[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1999, 79(7): 970–978.
- [47] 赵立艳, 彭增起. 盐和有机酸对肉品嫩度的影响[J]. *肉类工业*, 2002(10): 13–15.
- [48] Gault N F S. The relationship between water-holding capacity and cooked meat tenderness in some beef muscles as influenced by acidic conditions below the ultimate pH[J]. *Meat Science*, 1985, 15(1): 15–30.
- [49] Aktaş N, Kaya M. The influence of marinating with weak organic acids and salts on the intramuscular connective tissue and sensory properties of beef[J]. *European Food Research and Technology*, 2001, 213(2): 88–94.
- [50] Berge P, Erthjerg P, Larsen L M, et al. Tenderization of beef by lactic acid injected at different times post mortem[J]. *Meat Science*, 2001, 57: 347–357.
- [51] Kijowski J, Mast M G. Tenderization of spent fowl drumsticks by marination in weak organic solutions[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 1993, 28(4): 337–342.
- [52] 徐静, 宋健, 武杰, 等. 响应面法优化柠檬酸嫩化鸭肉效果的研究[J]. *安徽科技学院学报*, 2019, 33(3): 60–65.
- [53] Meltem S, Kyialbek A, Alper O. The effects of marinating with citric acid solutions and grapefruit juice on cooking and eating quality of turkey breast[J]. *Journal of Muscle Foods*, 2007, 18(2): 162–172.
- [54] Desmond E M, Troy D J. Effect of lactic and citric acid on low-value beef used for emulsion-type meat products[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2001, 34(6): 374–379.
- [55] Burke R M, Monahan F J. The tenderisation of shin beef using a citrus juice marinade[J]. *Meat Science*, 2003, 63(2): 161–168.
- [56] 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.
- [57] Medynski A, Pospiech E, Kniat R. Effect of various concentrations of lactic acid and sodium chloride on selected physico-chemical meat traits[J]. *Meat Science*, 2000, 55(3): 285–290.
- [58] Aktas N, Aksu M I, Kaya M. The effect of organic acid marination on tenderness, cooking loss and bound water content of beef[J]. *Journal of Muscle Foods*, 2003, 14(3): 181–194.
- [59] Chang H, Wang Q, Zhou G, et al. Influence of weak organic acids and sodium chloride margination on characteristics of connective tissue collagen and textural properties of beef semitendinosus muscle[J]. *Journal of Texture Studies*, 2010, 41(3): 279–301.
- [60] Ke S, Huang Y, Decker E A, et al. Impact of citric acid on the tenderness, microstructure and oxidative stability of beef muscle[J]. *Meat Science*, 2009, 82(1): 113–118.
- [61] Howat P M, Siever T L M, Myers P J, et al. Effect of marination upon mineral content and tenderness of beef[J]. *Journal of Food Science*, 1983, 48(2): 662–663.
- [62] Jinap S, Hasnol N D S, Sanny M, et al. Effect of organic acid ingredients in marinades containing different types of sugar on the formation of heterocyclic amines in grilled chicken[J]. *Food Control*, 2018, 84: 478–484.
- [63] Ana B A, Marcondes V S, Suzana C S L. Lipid oxidation in meat: Mechanisms and protective factors—A review[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 38(1): 1–15.
- [64] Hrynets Y, Omana D A, Xu Y, et al. Impact of citric acid and calcium ions on acid solubilization of mechanically separated turkey meat: effect on lipid and pigment content[J]. *Poultry Science*, 2011, 90(2): 458–466.
- [65] Drosinos E H, Mataragas M, Kampani A, et al. Inhibitory effect of organic acid salts on spoilage flora in culture medium and cured cooked meat products under commercial manufacturing conditions[J]. *Meat Science*, 2006, 73(1): 75–81.
- [66] Blagojevic B, Antic D, Adzic B, et al. Decontamination of incoming beef trimmings with hot lactic acid solution to improve microbial safety of resulting dry fermented sausages—A pilot study[J]. *Food Control*, 2015, 54: 144–149.
- [67] Dubal Z B, Paturkar A M, Waskar V S, et al. Effect of food grade organic acids on inoculated *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *E. coli* and *S. Typhimurium* in sheep/goat meat stored at refrigeration temperature[J]. *Meat Science*, 2004, 66(4): 817–821.
- [68] Han J, Luo X, Zhang Y, et al. Effects of spraying lactic acid and peroxyacetic acid on the bacterial decontamination and bacterial composition of beef carcasses[J]. *Meat Science*, 2020, 164: 108104.
- [69] Pipek P, Houška M, Hoke K, et al. Decontamination of pork

carcasses by steam and lactic acid[J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 74(2): 224–231.

[70] Lytou A E, Tzortzinis K, Skandamis P N, et al. Investigating the influence of organic acid marinades, storage temperature and time on the survival/inactivation interface of *Salmonella* on chicken breast fillets[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2019, 299: 47–57.

[71] McDermott A, Whyte P, Brunton N, et al. The effect of organic acid and sodium chloride dips on the shelf-life of refrigerated Irish brown crab (*Cancer pagurus*) meat[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 98: 141–147.

[72] Naveena B M, Muthukumar M, Sen A R, et al. Improvement of shelf-life of buffalo meat using lactic acid, clove oil and vitamin C during retail display[J]. *Meat Science*, 2006, 74(2): 409–415.

[73] Pfeifer A, Smulders F J M, Paulsen P. Shelf-life extension of vacuum-packaged meat from pheasant (*Phasianus colchicus*) by lactic acid treatment[J]. *Poultry Science*, 2014, 93(7): 1818–1824.

[74] Okolocha E C, Ellerbroek L. The influence of acid and alkaline treatments on pathogens and the shelf life of poultry meat[J]. *Food Control*, 2005, 16(3): 217–225.

[75] Yadav S, Jha R. Strategies to modulate the intestinal

microbiota and their effects on nutrient utilization, performance, and health of poultry[J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2019, 10(1): 2–13.

[76] Polycarpo G V, Andretta I, Kipper M, et al. Meta-analytic study of organic acids as an alternative performance-enhancing feed additive to antibiotics for broiler chickens[J]. *Poultry Science*, 2017, 96(10): 3645–3653.

[77] Adhikari P, Yadav S, Cosby D E, et al. Research note: Effect of organic acid mixture on growth performance and *Salmonella typhimurium* colonization in broiler chickens[J]. *Poultry Science*, 2020, 99(5): 2645–2649.

[78] Durek J, Ghadiri K A, Fröhling A, et al. Effects of thermally treated broiler feed with different organic acid levels on resulting meat composition and parameters related to meat quality[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2014, 26: 397–405.

[79] Menconi A, Kuttappan V A, Hernandez-Velasco X, et al. Evaluation of a commercially available organic acid product on body weight loss, carcass yield, and meat quality during preslaughter feed withdrawal in broiler chickens: A poultry welfare and economic perspective[J]. *Poultry Science*, 2014, 93(2): 448–455.