

杨晓东, 张 扬, 李婉君, 等. 钙盐调控牛肉品质因素及其应用的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(23): 387–393. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110041

YANG Xiaodong, ZHANG Yang, LI Wanjuan, et al. Research Progress of Calcium Salt Regulating Beef Quality Factors and Its Application[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(23): 387–393. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110041

· 专题综述 ·

钙盐调控牛肉品质因素及其应用的研究进展

杨晓东¹, 张 扬², 李婉君³, 白跃宇⁴, 阎向民², 李洪波², 谢 鹏¹, 雷元华¹, 王 煦²,
胡常红², 孙宝忠¹, 张松山^{1,*}

(1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100089;

2. 新疆畜牧科学院畜牧研究所, 新疆乌鲁木齐 830000;

3. 北京食品科学研究院, 北京 100050;

4. 河南省动物卫生监督所, 河南郑州 450000)

摘 要: 嫩度和肉色是影响消费者购买牛肉的两个最重要因素, 也直接影响着牛肉品质。为了改善嫩度和肉色等肉品质出现了很多方法, 钙盐嫩化法被认为是一种经济实惠而又高效的方法, 在适宜的添加量范围内它既可以显著提高肉嫩度, 也可以明显改善肉色。然而, 现在关于不同钙盐调控牛肉品质改善的机理因素及其应用情况的研究还相对较少, 这阻碍了钙盐嫩化法的进一步发展。因此, 本文从钙盐添加方式、钙盐调控牛肉品质改善因素和钙盐在牛肉上的应用研究情况三方面进行综述, 以期对钙盐在肉制品领域中进一步发展提供借鉴意义。

关键词: 钙盐, 嫩度, 肉色, 脂质氧化, 蛋白氧化, 高铁肌红蛋白还原力

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)23-0387-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110041

本文网刊:



Research Progress of Calcium Salt Regulating Beef Quality Factors and Its Application

YANG Xiaodong¹, ZHANG Yang², LI Wanjuan³, BAI Yueyu⁴, YAN Xiangmin², LI Hongbo², XIE Peng¹,
LEI Yuanhua¹, WANG Xu², HU Changhong², SUN Baozhong¹, ZHANG Songshan^{1,*}

(1. Beijing Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Chinese Academy of Agricultural Sciences,
Beijing 100089, China;

2. Institute of Animal Husbandry, Xinjiang Academy of Animal Sciences, Urumqi 830000, China;

3. Beijing Institute of Food Science, Beijing 100050, China;

4. Animal Health Supervision, Henan Province, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Tenderness and meat color are the two most important factors affecting consumers to buy beef, but also directly affect the quality of beef. In order to improve the quality of meat tenderness and meat color, many methods have been developed. Calcium salt rejuvenation method is regarded as an economical and efficient method, in the appropriate amount of addition, it can significantly improve the meat color. However, there is still relatively little research on the mechanism and application of different calcium salts in regulating beef quality improvement, which hinders the further development of calcium salt tenderization method. Therefore, this paper reviews the way of calcium salt addition, the improvement factors of beef quality regulation and the application of calcium salt in beef, in order to provide reference significance for the further development of calcium salt in the field of meat products.

收稿日期: 2021-11-05

基金项目: 新疆自治区重大科技专项“牛羊肉屠宰加工关键技术集成与产业化示范”(2021A02003-3); 河南省重大公益专项“河南省地方肉牛种质创新”(201300111200); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助”(CARS-37); 河北省现代农业(肉牛)产业技术体系创新团队建设项目(HBCT2018130204)。

作者简介: 杨晓东(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 2317066570@qq.com。

*** 通信作者:** 张松山(1981-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 畜产品加工, E-mail: 474002029@qq.com。

Key words: calcium salt; tenderness; meat color; lipid oxidation; protein oxidation; metmyoglobin reducing force

我国是牛肉生产和消费大国,但牛肉嫩度和肉色并不能满足消费者对高端牛肉制品的需求,而肉的食品品质中嫩度对消费者购买欲影响最大,肉色次之。现在常用的牛肉嫩化技术按性质可分为:物理(吊挂、电刺激、机械、高压、超声波嫩化)、化学(盐嫩化(聚磷酸盐和食盐嫩化)、酸嫩化、碱嫩化)、生物(外源酶、内源酶嫩化)三大类^[1],新兴的技术有:基因工程嫩化法、光谱技术法、脉冲电场法、重组嫩化法等^[2]。这些嫩化方法虽然在改善牛肉品质方面都有一定成效,但这些方法存在需要依托大型设备、先进技术测量方法、耗费时间长、对牛肉自身有损伤、微生物污染严重、操作复杂、不利于企业降低成本等缺点。因此,需要寻求一种高效、快速、简便和成本低廉的嫩化方法。

于肉中添加钙盐常被认为是一种化学嫩化方法,且部分钙盐具有良好的护色效果,有巨大的研发潜力。目前,添加于肉制品中的钙盐主要有食品级氯化钙、硫酸钙、磷酸二氢钙、丙酸钙、乳酸钙和抗坏血酸钙 6 种。磷酸二氢钙一般作为保水剂和酸度调节剂被用于预制肉制品和熟肉制品中;硫酸钙一般作为凝固剂和酸度调节剂被用于腌腊肉制品和肉灌肠类食品中,本文不深入讨论这两种钙盐。氯化钙被添加于豆制品、饮料、甜汁甜酱和果酱中用作稳定剂、凝固剂、增稠剂和营养强化剂及用于肉制品中作为食品工业加工助剂,氯化钙具有良好的改善肉嫩度效果,但添加浓度过高或用量过大,会使肉呈现苦味和金属味,肉的颜色变差^[1];丙酸钙主要用作防腐剂添加于调理肉制品中;乳酸钙被用作酸度调节剂、抗氧化剂、乳化剂和稳定剂添加于食品行业中;抗坏血酸钙有抗氧化和稳定肉色的作用,然而添加过量会导致肉制品产生酸味并使其硬度降低。乳酸钙和抗坏血酸钙目前主要用于肉制品品质改善实验阶段,尚未投入肉品商业化生产。虽然目前在钙盐改善牛肉品质方面已有研究,但具体的钙盐调控牛肉品质因素和应用研究情况等还鲜有报道,所以本文围绕钙盐添加方式、钙盐调控牛肉品质改善因素和钙盐在牛肉上的研究应用情况进行综述,以期对钙盐在肉制品领域中进一步发展提供借鉴意义。

1 钙盐添加方式

1.1 宰前饲喂

尽管牛肉品质主要取决于品种、屠宰和储存方式,但营养和饲养环境可以很大程度上增强牛的抗应激能力,改善肉品质^[3]。现有研究表明,宰前饲喂含有钙的饲料可以明显改善牛肉嫩度。无机钙源主要使用碳酸钙和磷酸钙,部分使用氯化钙^[4]。有机钙源如甲酸钙、丙酸钙、乳酸钙、柠檬酸钙、苹果酸钙等,因其溶解度高、生物利用率高,作为新型饲料添加剂在反刍动物饲料中的使用越来越常见^[5]。有研究表

明,甲酸钙对肌肉和血液中钙含量的提升优于氯化钙,补充钙对肌肉嫩度有一定的影响,添加 1% 的甲酸钙,肌肉的嫩度最好^[6]。丙酸钙被动物吸收后降解为丙酸和钙离子,钙离子作为一种矿物质参与机体各项代谢,丙酸是反刍动物生糖的主要原料,也作为体内脂肪主要合成的前体物质。叶秋杨^[7]发现将丙酸钙用于饲料添加剂饲喂的反刍动物宰杀后,肌肉中肌内脂肪增加,而肌内脂肪与肉嫩度和肉风味有重要联系,肉品质明显提高。柠檬酸钙作为新型的有机饲料添加剂,其在机体可释放出柠檬酸,柠檬酸可直接进入三羧酸循环通路被分解利用,最终为机体提供能量和钙源。有研究表明,柠檬酸钙饲喂过的牛,其肉剪切力降低,嫩度下降^[8]。

1.2 腌制

钙盐常以腌制(喷淋、涂抹、注射、浸泡)的方式添加于牛肉中,按加工工艺不同分为干腌制、湿腌制和注射腌制,其中湿腌制和注射腌制最为常用,钙盐腌制与传统腌制作用效果相似^[9]。腌制的目的有以下几个方面:a.抑制肉腐化酸败,延长保存时间;b.保护肉色,提高肉光泽;c.提高肉的保水和结合力;d.促使滋味物质的产生并提高其含量,增强牛肉风味。

钙湿腌法是将牛肉块或牛肉糜直接浸泡在预先配制好的一定钙盐浓度的溶液容器内,通过水分的扩散和转移携带钙离子,渗透入牛肉的内部,促进牛肉品质改善的方法^[10]。不同钙盐由于溶解度的不同,需要采取适当的方式(加热、搅拌)促进其全部溶解。由于腌制液不能快速均匀的进入肉块,所以钙湿腌法对肉糜品质改善效果优于肉块。

注射腌制法是一种将预先配制好的钙盐溶液,通过注射机/注射器对肉多点注射,静置或滚揉之后放入真空包装袋的腌制方法。注射腌制法具有钙盐分散快,分布均匀,腌制耗时短,腌制效果好,效率高等优点,在肉制品加工中得到了广泛应用^[11]。注射腌制法通常与滚揉工艺、超声波工艺方法相结合。

2 钙盐调控肉品质因素

2.1 改变 pH

活体正常的 pH 在 7.1~7.2 左右,也就是中性略微偏弱碱性,动物被宰杀以后机体仍然进行着新陈代谢,在无氧或少氧条件下,糖原被降解生成乳酸,这也是动物宰杀后机体 pH 下降的最主要原因^[12]。自然肉的 pH 下降经过两个阶段:尸僵阶段(pH6.1~6.2),僵直阶段(pH5.0~5.2)。钙盐的添加加速了 pH 变化速率,加快了 pH 调控肉品质改善因素的变化,具体为以下四点:a.增加了蛋白质分子表面静电荷数量,改变表面静电荷空间分布,使蛋白质分子之间的静电斥力增加,同时也形成更多结合氢键位点,这都会引起肌丝的相互排斥,肌原纤维膨胀变粗,肌纤维之间的间隙增大,持水力随之增强,肉质变嫩^[13];b.加快了

pH 偏离等电点的速率^[14]; c.加剧了对钙激活酶活性影响^[15]; d.加剧了细胞器溶酶体膜的破坏,加速了蛋白水解酶的释放,促进相关骨架蛋白的降解^[16]。

2.2 激活钙激酶

钙激酶是一种中性蛋白酶,被认为是动物死后 24 h 降解肌肉的主要物质,它存在于肌纤维 Z 盘附件及肌质网膜上。钙激酶由三种蛋白酶组成,即 μ -钙蛋白酶、m-钙蛋白酶和钙蛋白酶 3^[17]。 μ -钙蛋白酶、m-钙蛋白酶是调控嫩度的关键酶,而钙蛋白酶 3 无明显改善肉嫩度作用^[18]。钙激活酶的激活需要一定的钙离子浓度, μ -钙蛋白酶一般需要 5~65 $\mu\text{mol/L}$ 钙离子激活,而 m-钙蛋白酶一般需要 300~1000 $\mu\text{mol/L}$ 钙离子激活^[19]。在动物被屠宰以后,随着 ATP 的消耗,肌浆网体失去钙泵作用而破裂,钙离子释放,细胞内游离钙离子浓度增加,但这个浓度不足以使钙激酶全部表现活性^[20]。所以,向肌肉添加钙盐等同于向肌肉提供更多的钙离子,可以激活更多钙激酶,能最大限度地发挥其嫩化作用,产生最大的肉的钙嫩化反应。钙离子与钙激酶相结合,钙激酶会在不同浓度的钙离子浓度下表现出四个特性: a.与细胞结构质膜结合^[21]; b.与钙激酶抑制蛋白结合; c.与骨架蛋白结合,表现蛋白水解酶活性; d.自身发生溶解,表现自溶活性^[22]。钙离子与钙激酶的结合会导致钙激活酶构象变化,暴露出酶活性中心,使其具有酶活性,对底物起水解作用。

2.3 影响脂质和蛋白质氧化

肉中抗氧化剂和促氧化剂间的动态平衡影响脂质氧化和蛋白质氧化平衡^[23]。钙盐的添加等同于添加了抗氧化剂或者促氧化剂,会改变脂质氧化和蛋白质氧化进程,影响肉色。促进脂质氧化的研究主要集中于氯化钙,现在文献普遍认为氯化钙促脂质氧化的原因有以下两点: a.损害抗氧化酶的抗氧化能力,例如降低过氧化氢酶和谷胱甘肽氧化酶的活性,而脂质氧化与过氧化氢酶活性呈负相关^[24]; b.破坏细胞膜和线粒体膜的完整性,促进了氧化剂与脂质底物的结合。在钙盐促进脂质氧化的同时,会产生丙二醛、4-羟基壬烯醛和其他反应性醛等次级产物,这些次级产物促进肌红蛋白氧化,进而导致肉色劣变^[25]。此外,蛋白质氧化还会降低 μ -钙激活蛋白酶半胱氨酸的活性,从而抑制肉中肌纤维的降解,使牛肉嫩度增加。

抑制脂质氧化的研究主要集中于抗坏血酸钙和乳酸钙,抗坏血酸钙主要是因为它能淬灭肉中的自由基、单线态氧,生成半脱氢抗坏血酸,使肉体系中的氧气浓度降低,而发挥抗氧化作用的。乳酸钙能够抑制脂质氧化的原因有四点: a.提高氧合肌红蛋白的含量,增强高铁肌红蛋白还原酶活性^[26]; b.减少线粒体损伤,保护线粒体内部结构,减少氧化物与脂质接触,提高了肉颜色稳定性^[27]; c.增加乳酸脱氢酶的含量,使烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(NADH)浓度增加(NADH 可以通过加强乳酸脱氢酶转化来再生,再生

的 NADH 会把电子转移到血红素铁,维持肌红蛋白的还原性),增加了 NADH 向三价铁离子供电子的能力,提高了氧合肌红蛋白含量,促进肉色稳定性^[28]; d.在高氧/有氧化剂存在条件下,减少了氧合肌红蛋白的氧化,比如说乳酸钙和磷酸盐相结合抑制了脂质氧化,使肌红蛋白免受羟基自由基的氧化,从而提高了颜色稳定性。不同的钙盐对肉色的影响机制不尽相同,其产生的结果可能也不完全一致。因此,为了明确其内在机制并实现钙盐的合理利用,需对这些机理进一步研究论证^[29]。

2.4 影响高铁肌红蛋白还原活性

高铁肌红蛋白还原活性需要高铁肌红蛋白还原酶(主要存在于肌肉线粒体中)催化。线粒体是影响高铁肌红蛋白还原酶活性的关键细胞器。现在研究也发现钙盐可以影响线粒体通透性和功能^[30]。氯化钙可以提高线粒体的通透性,抑制电子传递链介导的高铁肌红蛋白还原和 NADH 的产生,削弱高铁肌红蛋白的还原力,加速肉色的劣变^[31]。乳酸钙对线粒体的影响存在争议,大部分认为乳酸钙可以减少线粒体损伤和保护线粒体内部结构,促进肉色;少部分认为乳酸钙可以使线粒体内膜通透性提高,膜电位下降,使内膜氢离子梯度出现异常,影响线粒体功能,继而影响高铁肌红蛋白还原力促肉色劣变。高铁肌红蛋白的相对含量直接决定着肉色特征和稳定性,研究认为高铁肌红蛋白的非酶促反应发生在含有乳酸、乳酸脱氢酶和异柠檬酸脱氢酶的体系中。外源乳酸钙借助乳酸脱氢酶转化为丙酮酸的同时也能够产生烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(NADH),在 NADH 存在的条件下,高铁肌红蛋白还原酶能将肌红蛋白中 Fe^{3+} 转化为 Fe^{2+} ,提高高铁肌红蛋白的还原力,进而促进肉色的改善^[32]。抗坏血酸钙则本身具有抗氧化作用,它能抑制脂质氧化,也可以作为自由电子的螯合剂,减少高铁肌红蛋白的形成,减少脱氧肌红蛋白的氧化发生,所以促进肉色改变。不同的钙盐由于负离子的不同,影响高铁肌红蛋白还原活性的程度也不一样,作用机理也有可能不一样,具体机理还有待进一步研究确定。

3 钙盐在改善牛肉品质上的应用

3.1 氯化钙

目前众多研究表明,氯化钙对肉嫩化效果明显,一般被应用于牛肉嫩度改善,且其工艺参数一般都是注射浓度为 200 mmol/L,添加量为肉中的 5%~10%,0~4 $^{\circ}\text{C}$ 储存。丛玉艳等^[33]对宰后 8 h 的牛肉注射 200、250、300 mmol/L 的 CaCl_2 溶液(占肉重 5%),4 $^{\circ}\text{C}$ 下腌制 48 h,发现 200 mmol/L CaCl_2 溶液处理组牛肉嫩化效果最好;马秀利^[34]对牦牛和黄牛背最长肌注射肉重 10% 的 200 mmol/L CaCl_2 溶液,4 $^{\circ}\text{C}$ 下腌制 12、48、72、120、168 h,发现 CaCl_2 组在 6、12 h 时加压损失、蒸煮损失显著低于对照组, CaCl_2 组在 72、168 h 的剪切力值、硬度、咀嚼性和内聚性显著低于对照组。氯化钙腌制牛肉时,通常与超声

波、高压和酶复合剂等技术相结合。万云飞^[35]在探究超声与氯化钙联合处理对牛肉超微结构与嫩度的影响时,发现在 900 W/m² 超声强度和 0.3 mol/L CaCl₂ 浓度处理下,肌纤维骨架蛋白的降解最为明显,嫩化效果也最好。邓绍林等^[36]在探究高压和氯化钙结合处理对牛肉嫩度的影响时,发现在 241 MPa 高压强度,浓度 0.24 mol/L CaCl₂ 浓度(占肉重 5%),保压时间 14 min 处理下,相比对照组牛背最长肌剪切力值下降了 52.98%,嫩度得到明显改善。陈一萌等^[37]在探究不同嫩化方法对牦牛肉嫩度影响时,发现超声波辅助木瓜蛋白酶组牦牛肉骨架蛋白降解最为彻底,即嫩度改善效果最好。牛不同肉部位,氯化钙对其嫩化效果不一样,一般来说结缔组织越多的肉,其嫩化效果也越为明显。表 1 是国外将氯化钙溶液添加于牛肉不同部位,对牛肉品质的影响情况。

氯化钙处理对牛肉肉色也有影响,研究普遍认为:当氯化钙浓度达到 300 mmol/L,添加量为 5% 时,处理过的牛肉肉色会变浅变差,劣变程度增加,原因是氯化钙处理会促进肉品的脂质氧化和蛋白质氧化进程,影响肌红蛋白的氧化状况和肉的 pH,进而导致肉色劣变^[38-39]。所以,氯化钙应用时需要注意添加量,选取适合的加工工艺方式。

3.2 抗坏血酸钙

美国在 1946 年将抗坏血酸钙研制成功,在体内具有维生素 C(抗坏血酸)的全部功能,而且由于钙的引入,也增强了它的营养强化作用,所以它兼具抗坏血酸和钙离子双重功效^[48]。抗坏血酸钙在肉制品中常被用作抗氧化剂、护色剂和保鲜剂,除此之外,它也可以被用来作为一种高盐产品的替代剂。抗坏血酸钙也可以促进肉嫩度改善,但同浓度效果一般弱于氯化钙。

赵子瑞^[49]在研究低钠酱牛肉制备配方优化与品质改良时,发现用氯化钾 25.16%,乳酸钾 5.00%,抗坏血酸钙 2.70% 替代氯化钠,剪切力值最低,感官评分无显著性差异,且随着抗坏血酸钙替代比的增大,酱牛肉的色泽得分先增大后降低,嫩度先降低后增加。马晓丽等^[50]在探究复合替代盐对调理牛肉品质的影响时,发现在 20% 乳酸钾,10% 抗坏血酸钙和

10% 氯化镁替代 40% 氯化钠腌制后的牛肉硬度,咀嚼性和剪切力显著降低。赵岑等^[51]以 5%、10%、15%、20% 的抗坏血酸钙替代腌制液中的氯化钠,发现不同替代比的抗坏血酸钙对里脊肉的蒸煮损失、产品得率、持水性、肉色黄度值和亮度值无显著影响,但能显著提高红度值。Streiter 等^[52]研究了剔骨方式以及加入抗坏血酸钙对淘汰奶牛肉食用品质的影响,结果表明这些宰后处理方式可以提高淘汰奶牛肉的保水性和嫩度。但抗坏血酸钙在应用的时候也存在一些问题。Lawrence 等^[29]对牛腰肌注射不同浓度(100、200、300 mmol/L)添加量为 11% 的氯化钙和抗坏血酸钙时发现:抗坏血酸钙注射组的肉色比氯化钙处理组的劣变速度快,且随着浓度提高,肉色劣变速率加快。赵岑等^[51]研究发现用抗坏血酸钙腌制的牛肉表面呈现暗绿色,可能是由于形成了胆肌红蛋白(过氧化氢结合血红素),推测抗坏血酸可能在加热过程中形成了过氧化氢的官能团,暗绿色将会影响消费者的购买欲望。

3.3 乳酸钙

目前关于乳酸钙在食品行业的研究还是相当多的,但是在牛肉品质改善方面的研究相对较少。最初在牛肉上应用乳酸钙的目的一是为了解决氯化钙在牛肉嫩化过程中对肉色产生的不良影响;二是替代产品中高比例的氯化钠,做出低盐产品。现在主要应用于牛肉肉色改善,其主要被应用的制品有牛肉干、牛肉饼、酱牛肉和牛肉糜。刘才子^[53]在探究保水技术与食盐替代技术在牛肉干中的应用时,发现用乳酸钙部分替代氯化钠后(30% 以内),随着乳酸钙替代比的增加,牛肉干水分活度降低,肉色中亮度值显著增加,红度值和白度值无显著差异,说明肉色提高。张玉斌等^[27]向牦牛肉糜中添加 3 种不同的乳酸盐(乳酸钙、乳酸钾、乳酸钠),发现 3 组处理样品的高铁肌红蛋白含量的上升都受到了抑制,其中 0.3% 乳酸钙效果最好,能够明显地稳定和保持肉色。Irshad 等^[54]用乳酸钙开发高钙水牛肉肉饼,发现添加质量分数 1.25% 的乳酸钙可以达到钙强化的最佳水平,而且该处理还可改善产品嫩度,提高肉色,感官评分无显著性差异。乳酸钙应用时,也通常与适当的包装技术和

表 1 添加氯化钙溶液对牛不同部位肉的处理效果

Table 1 Treatment effect of adding calcium chloride solution on meat in different parts of cattle

添加时间(宰后/h)	添加部位	浓度 (mmol/L)	添加量 (占肉重)	对牛肉品质影响情况	参考文献
0.5	牛大腿肌肉	200	5%	剪切力值、蒸煮损失更低,对肉色无显著影响	[40]
0.5	牛大腿肌肉	200	5%	剪切力值降低、出品率增加、感官评分提高、对肉色无显著影响	[41]
30	牛背最长肌和半膜肌	200	5%	剪切力值都降低,且背最长肌降低更多,感官评分增加,对肉色无显著影响	[42]
48	牛腰肉	200	5%	嫩度明显改善,肉色无显著变化	[43]
48	牛腰肉	200	5%	剪切力值降低,出品率增加	[44]
72	牛腰肉	200	5%	嫩度、多汁性、鲜味等感官整体评分增加	[45]
24	牛背最长肌	200	5%	剪切力值低于对照组	[46]
24	奶牛背最长肌	250	10%	剪切力值降低、肌原纤维碎裂加快、滴水损失无显著变化、感官评分无显著差异	[47]

超高压技术相结合,既可以达到抑菌保鲜,也可以达到稳定肉色的目的。姚远等^[55]研究了乳酸钠和乳酸钙对真空包装酱牛肉中蜡样芽孢杆菌和产气荚膜梭菌孢子生长的抑制作用,结果发现乳酸钠和乳酸钙具有良好的抑制微生物作用,保质期延长。刘金鑫^[56]在研究将乳酸钙注射到牛肉上并结合聚对苯二甲酸乙二酯、聚酰胺氧气阻隔包装材料时,发现肉色比单一使用乳酸盐更好,保质期更长。张璐^[57]以冷冻牛肉为研究对象,在探讨了超高压协同温度护色复鲜条件时发现:乳酸钙护色最优工艺为乳酸钙浓度 0.06 mg/L,浸渍时间 6 s,溶液温度 40 ℃。美国学者研究了在高氧气调环境中屠宰牛并且注射 200 mmol/L 乳酸钙,腌制 24 h,真空包装贮存 9 d,然后在真空包装或者高氧环境保存 7 d。发现真空包装比高氧环境中脂质氧化程度低,肉色更好^[58]。

3.4 其他钙盐的应用

现在关于丙酸钙用于宰后肉中改善肉品质的研究尚无报道,一方面是国外不侧重于研究调理肉品;另一方面是国内国标才开始允许其作为调理肉制品添加剂。已有关于改善肉品质的文献是把丙酸钙作为一种矿物质饲料添加剂添加于饲料中喂养牛,从而达到改善肉品质的目的。Duckett 等^[59]于宰前 3~6 h 给牛灌服丙酸钙溶液,发现提高了宰后 48 h 背最长肌中钙含量,提高了肉的嫩度。

柠檬酸是食品风味酸络合剂,能促进脂肪分解,保持身体酸碱平衡。也可以提高嫩度、改善肉色。Caceres 等^[60]研究了柠檬酸钙添加对熟肉肠感官特性的影响,进行了颜色和纹理的仪器测量,产品总体始终保持良好的肉色,其他理化性质变化也可被感官评价者接受。

4 结语

中国肉类市场上大部分仍然是热鲜肉,以热鲜肉为食材结合中式烹饪(红烧、煎炸、炖煮)做出的菜品,虽然味道鲜美可口,但是为了达到适宜的嫩度,需要耗费更多能源和时间,既不符合绿色消费、恒温消费、可持续消费的理念,长时间的烹饪对人体健康也存在威胁(杂环胺化合物容易致癌)。而将其做成牛排之类的西式餐品,需要做成冷鲜肉和冷冻肉,这需要复杂完整的冷链设施,从而加大了投入成本。

使用钙盐有以下 8 方面优势: a. Ca^{2+} 通过激活钙激活酶,降解肌原纤维,明显改善肉嫩度; b. 通过改变 pH、影响脂质氧化、蛋白质氧化和高铁肌红蛋白活性来影响肉色及其他肉品质; c. 可以作为人体额外的优良钙来源(成人每天需要 1.0~1.3 g 钙); d. 可以作为氯化钠的替代品,减少高盐产品对人体的危害; e. 钙盐属于盐,且不同阴离子会有一定的抑微生物、抑脂肪氧化、护色和保鲜效果; f. 延长产品保质期和稳定性; g. 钙盐来源广泛、价格便宜,多以注射腌制方式进行嫩化,操作方便简单,适应企业化生产; h. 牛肉中加入钙盐丰富了调理肉产品种类,适应了当今快节奏

的生活。

值得注意的是,由于钙盐种类、添加剂量、原料肉状态和肉制品的加工方式等的不同,钙盐对肉品肉色的影响可能也不同。因此,在使用过程中应注意以上因素的影响,优化钙盐使用方法,避免钙盐给肉色带来的负面影响。所以深入探究钙盐对肉制品肉品质的影响机制,开发适宜管控调理手段,这对未来钙盐在肉类中的正常使用和高钙调理肉制品的开发将具有重要意义。

参考文献

- [1] 张坤,邹烨,王道营,等. 肉品嫩化方法及超声波技术应用于肉品嫩化的研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(2): 33-37. [ZHANG Kun, ZOU Ye, WANG Daoying, et al. Application of meat rejuvenation method and ultrasonic technology to meat rejuvenation[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2019, 47(2): 33-37.]
- [2] 季现秋,罗欣,朱立贤,等. 新型牛肉嫩化技术研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(1): 327-333. [JI Xianqiu, LUO Xin, ZHU Lixian, et al. Research progress in new beef tenization technology[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2021, 47(1): 327-333.]
- [3] 罗培,赵伟杰,王丽娜,等. 肌红蛋白和线粒体互作的研究进展[J]. *中国畜牧杂志*, 2020, 56(5): 6-11. [LUO Pei, ZHAO Weijie, WANG Lina, et al. Progress in the studies of myoglobin and mitochondrial interactions[J]. *Chinese Animal Husbandry Journal*, 2020, 56(5): 6-11.]
- [4] 王子宁. 微生物诱导碳酸钙矿化过程的多因素调控研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2019. [WANG Zining. Multifactorial regulation of calcium carbonate by microorganisms[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2019.]
- [5] 叶剑,徐仰丽,张井,等. 海洋生物钙的开发利用研究进展[J]. *中国海洋药物*, 2021, 40(5): 71-78. [YE Jian, XU Yangli, ZHANG Jing, et al. Progress in the development and utilization of calcium in marine organisms[J]. *Chinese Marine Medicine*, 2021, 40(5): 71-78.]
- [6] 陈金永,胡艳平,董敏,等. 营养调控对猪肉品质的影响[J]. *当代畜牧*, 2016(9): 3-6. [CHEN Jinyong, HU Yanping, DONG Min, et al. Effects of nutritional regulation on pork quality[J]. *Contemporary Livestock*, 2016(9): 3-6.]
- [7] 叶秋杨. 丙酸钙和丙酸铬对奶牛热应激的缓解作用及比较分析[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2021. [YE Qiuyan. Relief effect and comparative analysis of calcium acid and chromium propionate on heat stress in dairy cows[D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural Reclamation University, 2021.]
- [8] 孙玉丽,潘喜春,陶俊,等. 柠檬酸钙制备及在动物生产中的应用进展[J]. *粮食与饲料工业*, 2019(3): 40-44. [SUN Yuli, PAN Xichun, TAO Jun, et al. Progress in calcium citrate preparation and application in animal production[J]. *Food and Feed Industry*, 2019(3): 40-44.]
- [9] 李斌. 浅谈肉类加工的腌制工艺[J]. *肉类工业*, 2016(3): 8-10, 13. [LI Bin. The curing technology of meat processing[J]. *Meat Industry*, 2016(3): 8-10, 13.]
- [10] 高子武,吴丹璇,王恒鹏,等. 腌制方式对牛肉肌原纤维蛋白特性及水分分布的影响[J/OL]. *食品与发酵工业*: 1-11 [2021-11-04]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.027285>. [GAO Zi-wu, WU Danxuan, WANG Hengpeng, et al. Effect of curing method

- on myofibrillin properties and water distribution of beef [J/OL]. Food and Fermentation Industry: 1-11 [2021-11-04]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.027285>.]
- [11] 李清光, 林少伟, 李佳贺. 卤牛肉品质控制技术研究进展 [J]. 现代食品, 2021(12): 16-20. [LI Qingguang, LIN Shaowei, LI Jiahe. Research progress in quality control technology of marinated beef[J]. Modern Food Products, 2021(12): 16-20.]
- [12] LOMIWES D, FAROUK M M, WU G, et al. The development of meat tenderness is likely to be compartmentalised by ultimate pH[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 646-651.
- [13] 黄海波, 刘海英, 易璐. 新生儿窒息 HIE 患儿 SISF 水平的变化 [J]. 基层医学论坛, 2011, 15(31): 986-987. [HUANG Hai-bo, LIU Haiying, YI Lu. Changes in SISF levels in newborns with asphyxiated HIE[J]. Forum for Grassroots Medicine, 2011, 15(31): 986-987.]
- [14] 刘文轩, 梁荣蓉, 罗欣, 等. 不同品种牛和部位肌肉在成熟过程中品质差异比较研究 [J]. 肉类研究, 2021, 35(9): 7-12. [LIU Wenxuan, LIANG Rongrong, LUO Xin, et al. Comparative study of quality differences in maturation of different cattle and site muscles [J]. Meat Research, 2021, 35(9): 7-12.]
- [15] 张亚芬, 张晓辉. 肉品检验中 pH 值测定的意义 [J]. 吉林农业, 2014(3): 47. [ZHANG Yafen, ZHANG Xiaohui. Significance of pH value determination in meat tests[J]. Jilin Agriculture, 2014 (3): 47.]
- [16] SHI H, SHAHIDI F, WANG J, et al. Techniques for post-mortem tenderisation in meat processing: Effectiveness, application and possible mechanisms[J/OL]. Food Prod Process and Nutr, 2021, <https://doi.org/10.1186/s43014-021-00062-0>.
- [17] BHAT Z F, MORTON J D, MASON S L, et al. Role of calpain system in meat tenderness: A review[J]. Food Science and Human Wellness, 2018, 18(10): 286-294.
- [18] GEESINK G H, KOOHMARAIE M. Postmortem proteolysis and calpain/calpastatin activity in callipyge and normal lamb biceps femoris during extended postmortem storage[J]. Journal of Animal Science, 1999, 77(6): 1490-501.
- [19] 李睿. 牛胴体盆骨吊挂和三段式冷却对牛背最长肌中钙激活酶活性的影响研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2015. [LI Rui. Effect of cattle carcass pelvic suspension and three-stage cooling on calcium-activating enzyme activity in the longest cattle dorsal muscle[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2015.]
- [20] 黄峰, 魏超起, 李侠, 等. 细胞凋亡对宰后肌肉嫩化作用机理的研究进展 [J]. 中国农业科学, 2021, 54(10): 2192-2202. [HUANG Feng, WEI Qichao, LI Xia, et al. Progress in the mechanism of apoptosis on muscle rejuvenation[J]. Chinese Agricultural Science, 2021, 54(10): 2192-2202.]
- [21] 孔保华, 刁新平. 钙激活酶与肌肉嫩化的研究 [J]. 食品科技, 2002(9): 12-15. [KONG Baohua, DIAO Xinping. Study of calcium-activating enzymes and muscle rejuvenation[J]. Food Technology, 2002(9): 12-15.]
- [22] 张美枝, 赵雪平, 李正英. 钙激酶基本特性与羊肉嫩化效果研究 [J]. 农产品加工, 2015(8): 10-12, 16. [ZHANG Meizhi, ZHAO Xueping, LI Zhengying. Study on the basic properties of calcium kinase and mutton rejuvenation effect[J]. Agricultural Products Processing, 2015(8): 10-12, 16.]
- [23] 张攀高, 师希雄, 田铸, 等. 冰温贮藏调控藏羊肉脂质氧化对肉色稳定性的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2021, 56(4): 136-143, 153. [ZHANG Pangao, SHI Xixiong, TIAN Zhu, et al. Effect of ice temperature storage on meat color stability[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2021, 56(4): 136-143, 153.]
- [24] 刘文轩, 罗欣, 杨啸吟, 等. 脂质氧化对肉色影响的研究进展 [J]. 食品科学, 2020, 41(21): 238-247. [LIU Wenxuan, LUO Xin, YANG Xiaoyin, et al. Advances in investigating the effects of lipid oxidation on meat color[J]. Food Science, 2020, 41(21): 238-247.]
- [25] 张蒙蒙, 罗欣, 张一敏, 等. 钙盐对肉与肉制品肉色的影响及其机理研究进展 [J]. 食品科学, 2019, 40(23): 327-333. [ZHANG Mengmeng, LUO Xin, ZHANG Yimin, et al. Effect of calcium salt on meat and meat color and its mechanism research progress[J]. Food Science, 2019, 40(23): 327-333.]
- [26] 吴仕达, 张玉斌, 邵晶晶, 等. 不同包装材料结合乳酸钙处理对冷却藏羊肉色泽稳定性的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(10): 152-158. [WU Shida, ZHANG Yubin, TAI Jingjing, et al. Effect of different packaging materials combined with calcium lactate treatment on the color stability of cooled Tibetan mutton[J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(10): 152-158.]
- [27] 张玉斌, 李丙子, 雷芸, 等. 基于乳酸-LDH 的牦牛肉 NADH 线粒体介导再生研究 [J]. 农业机械学报, 2020, 51(6): 353-359. [ZHANG Yubin, LI Bingzi, LEI Yun, et al. Study on mitochondria-mediated regeneration of yak meat based on lactate-LDH[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2020, 51(6): 353-359.]
- [28] RODRIGUEZ G, YUAN H, FAGET S, et al. Lactate-mediated enzymatic reduction of metmyoglobin *in vitro* [J]. Food Chemistry, 2010, 125(2): 732-735.
- [29] LAWRENCE T E, DIKEMAN M E, HUNT M C, et al. Effects of calcium salts on beef longissimus quality [J]. Meat Science, 2003, 64(3): 299-308.
- [30] 郗娜, 葛玲, 薛洋洋, 等. 线粒体介导高铁肌红蛋白还原活性与肉色变化关联性研究进展 [J]. 肉类研究, 2021, 35(3): 60-65. [GAO Na, GE Ling, XUE Yangyang, et al. Progress in the association of mitochondria-mediated myoglobin reduction activity and flesh color changes[J]. Meat Research, 2021, 35(3): 60-65.]
- [31] 陈琳. Caspase-3 在鸡肉成熟过程中的作用以及与 calpain 的交互关系研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2011. [CHEN Lin. The role of Caspase-3 in chicken maturation and the interaction with calpain[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011.]
- [32] 王文雅, 郗娜, 康浩迪, 等. L-抗坏血酸改善受压冻融猪肉色泽的机制分析 [J]. 中国食品学报, 2021, 21(8): 175-181. [WANG Wenya, GAO Na, KANG Haodi, et al. Mechanistic analysis of L-ascorbic acid in improving the color of pressed-frozen-melted pork [J]. Chinese Journal of Food, 2021, 21(8): 175-181.]
- [33] 丛玉艳, 薛可, 张建勋. 氯化钙处理对牛肉嫩度影响的研究 [J]. 食品工业科技, 2005(3): 80-82. [CONG Yuyan, XUE Ke, ZHANG Jianxun. Effect of calcium chloride treatment on beef tenderness[J]. Food Industry Technology, 2005(3): 80-82.]
- [34] 马秀利. CaCl₂ 处理对不同品种牛肉成熟过程中品质及能量代谢的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018. [MA Xiuli. Effects of CaCl₂ treatment on quality and energy metabolism during the maturation of different varieties of beef[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018.]
- [35] 万云飞. 超声与氯化钙联合处理影响牛肉超微结构与嫩度的机理研究 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2019. [WAN Yunfei.

- Ultrasound and calcium chloride combined treatment to influence beef ultrastructure and tenderness[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2019.]
- [36] 邓绍林, 黄明, 周光宏. 高压和氯化钙结合处理对牛肉嫩度的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(S1): 294–299. [DENG Shaolin, HUANG Ming, ZHOU Guanghong. Effect of high-pressure and calcium chloride combination treatment on beef tenderness[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2012, 28(S1): 294–299.]
- [37] 陈一萌, 唐善虎, 李思宁, 等. 超声波辅助木瓜蛋白酶及发酵处理对牦牛肉的理化和质构特性[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(23): 183–188. [CHEN Yimeng, TANG Shanhu, LI Sining, et al. Physical, chemical and qualitative and structural properties of yak meat caused by ultrasound-assisted papain and fermentation treatment[J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(23): 183–188.]
- [38] 卢智, 柳青山, 朱俊玲. 几种蛋白酶与氯化钙对鸡肉系水力的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(5): 24–27. [LU Zhi, LIU Qingshan, ZHU Junling. Effect of several proteases associated with calcium chloride on chicken line hydration[J]. Food Research and Development, 2018, 39(5): 24–27.]
- [39] 李明奇, 贺雅非, 李少博, 等. 氯化钙-无花果蛋白酶-猕猴桃蛋白酶复合嫩化剂体系改善兔肉嫩度和保水性的工艺优化[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(18): 120–129. [LI Mingqi, HE Zhifei, LI Shaobo, et al. Process optimization of improving rabbit tenderness and water-retention[J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(18): 120–129.]
- [40] MILLIGAN S D, MILLER M F, OATS C N, et al. Calcium chloride injection and degree of doneness effects on the sensory characteristics of beef inside round roasts[J]. Journal of Animal Science, 1997, 75(3): 656–666.
- [41] DILES J J, MILLER M F, OWEN B L. Calcium chloride concentration, injection time, and aging period effects on tenderness, sensory, and retail color attributes of loin steaks from mature cows[J]. Anim Sci, 1994, 72(8): 2017–2021.
- [42] LANSDELL J L, MILLER M F, WHEELER T L, et al. Post-mortem injection of calcium chloride effects on beef quality traits[J]. Anim Sci, 1995, 73(6): 1735–1740.
- [43] KERTH C R, MILLER M F, RAMSEY C B. Improvement of beef tenderness and quality traits with calcium chloride injection in beef loins 48 hours postmortem[J]. Journal of Animal Science, 1995, 73(3): 750–756.
- [44] HOOVER L C et al. Restaurant consumer acceptance of beef loin strip steaks tenderized with calcium chloride[J]. Journal of Animal Science, 1995, 73(12): 3633–3641.
- [45] CARR M A, CROCKETT K L, RAMSEY C B, et al. Consumer acceptance of calcium chloride-marinated top loin steaks[J]. Anim Sci, 2004, 82(5): 1471–1474.
- [46] WHEELER T L, KOOHMARAIE M, SHACKELFORD S D. Effect of postmortem injection time and postinjection aging time on the calcium-activated tenderization process in beef[J]. Journal of Animal Science, 1997, 75(10): 2652–2660.
- [47] BUNMEE T, JATURASITHA S, KREUZER M, et al. Can calcium chloride injection facilitate the ageing-derived improvement in the quality of meat from culled dairy cows?[J]. Meat Science, 2014, 96(4): 1440–1445.
- [48] 美国研究成果革命性维生素 C[J]. 现代营销 (创富信息版), 2017(11): 63. [American research results in revolutionary vitamin C[J]. Modern marketing (Wealth Creation Information Edition), 2017(11): 63.]
- [49] 赵子瑞. 低钠酱牛肉制备配方优化与品质改良及贮藏特性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019. [ZHAO Zirui. Study on preparation formula optimization and quality improvement and storage characteristics of beef with low sodium sauce[D]. Changchun: Jilin University, 2019.]
- [50] 马晓丽, 杨书捷, 张龙涛, 等. 复合替代盐对调理牛肉品质的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(12): 30–36. [MA Xiaoli, YANG Shujie, ZHANG Longtao, et al. Effect of compound replacement salt on the quality of conditioned beef[J]. Meat Research, 2020, 34(12): 30–36.]
- [51] 赵芬, 张立彦. 抗坏血酸钙部分替代氯化钠对猪肉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(3): 281–284. [ZHAO Qin, ZHANG Liyan. Effect of calcium ascorbate partial substitution of sodium chloride on pork quality[J]. Food Industry Technology, 2015, 36(3): 281–284.]
- [52] STREITER P J, CAMPBELL C P, MANDELL I B. The effects of skeletal separation and moisture enhancement for improving the eating quality of cull cow beef[J]. Meat Science, 2012, 92(4): 400–408.
- [53] 刘才子. 保水技术与食盐替代技术在牛肉干中的应用[D]. 长春: 吉林农业大学, 2017. [LIU Caizi. Application of water preservation technology and salt substitution technology in beef jerky[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2017.]
- [54] IRSHAD A, SHARMA B D, AHMED S R, et al. Effect of incorporation of calcium lactate on physico-chemical, textural, and sensory properties of restructured buffalo meat loaves[J]. Veterinary World, 2016, 9(2): 151–159.
- [55] 姚远, 董庆利. 乳酸钠对肉及肉类食品中腐败菌和致病菌的抑制作用研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(7): 378–383. [YAO Yuan, DONG Qingli. Progress in the inhibition of sodium lactate on corrupt bacteria and pathogenic bacteria in meat and meat foods[J]. Food Industry Technology, 2014, 35(7): 378–383.]
- [56] 刘金鑫. 不同包装体系中乳酸钙对冷却牛肉肉色稳定性的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018. [LIU Jinxin. Effects of calcium lactate on the stability of cooled beef meat color in different packaging systems[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018.]
- [57] 张璐. 冷冻牛肉热水协同超高压复鲜技术研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018. [ZHANG Lu. Study on collaborative ultra-high pressure rehydration technology of frozen beef hot water[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2018.]
- [58] 美国研究不同包装体系中乳酸钙、磷酸盐对牛肉早期后熟过程中品质的影响[J]. 肉类研究, 2014, 28(10): 10. [The effect of calcium lactate and phosphate on quality in early beef in different packaging systems[J]. Meat Research, 2014, 28(10): 10.]
- [59] DUCKETT S K, KLEIN T A, ANDRAE J G, et al. Pre-harvest tenderization through oral calcium gel administration[J]. Anim Sci, 1998, 76: 156.
- [60] CÁCERES E, GARCÍA M L, SELGAS M D. Design of a new cooked meat sausage enriched with calcium[J]. Meat Science, 2006, 73(2): 368–377.