

精氨酸低钠盐对猪肉品质的影响

赵立¹, 邱慧敏¹, 廉嘉欣¹, 李苗云², 陈军¹, 卢河东¹

¹淮阴工学院 生命科学与食品工程学院 江苏淮安 223003

²河南农业大学食品科学技术学院 郑州 450002

摘要 研究精氨酸低钠盐对猪肉品质的影响,分析添加不同精氨酸低钠盐(精氨酸替代 30%的 NaCl)对猪肉的质构特性、色差、持水力、蒸煮损失、pH 值、水分含量、肌原纤维小片化指数、蛋白质的降解和超微结构的影响。结果显示,与使用 3%精制 NaCl 腌制的猪肉相比,使用 4%精氨酸低钠盐能显著提高猪肉的弹性(提高了 60.0%)和咀嚼性(提高了 48.3%),改善猪肉的色泽(a^* 由 2.9 上升至 6.3)($P<0.05$),蒸煮损失由 32.12 g/(100 g)下降至 23.98 g/(100 g),而持水力没有显著变化($P>0.05$)。4%添加量的精氨酸低钠盐使猪肉肌原纤维小片化指数由 44.73 增加到 71.40($P<0.05$)。超微结构结果显示,肌原纤维 I 带、A 带和 M 线发生不同程度的降解。SDS-PAGE 电泳图谱显示,当精氨酸低钠盐添加量 2.5%~3.5%时,肌动蛋白明显降解为小分子成分。结论:精氨酸低钠盐具有改善猪肉的质构、色泽和嫩度,提高猪肉品质的作用。

关键词 精氨酸低钠盐;猪肉;品质;蛋白质降解;超微结构

文章编号 1009-7848(2023)11-0137-10 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2023.11.014

据统计,人体中 75%的钠摄入量来自于在食物加工过程中添加的 NaCl,而通过食用火腿、香肠、培根和腊肠等加工肉制品摄入的 NaCl 可达钠总摄入量的 20%左右^[1]。过量摄入 NaCl 容易引发高血压,并增加脑卒中、胃癌、心脏病、骨质疏松等疾病的风险^[2-3]。全球疾病负担(GBD)已将与高钠饮食相关的风险确定为导致疾病的两大饮食风险因素之一^[4]。《中国居民膳食指南(2016)》推荐每日摄入食盐少于 6 g,随着研究的深入,《中国居民膳食指南》推荐每日摄入食盐量逐渐降低,2022 年已降为每天摄入食盐不超过 5 g。根据 2015 年中国居民营养与慢性病状况报告,中国成年人的平均膳食盐摄入量为每天 10.5 g^[5],减盐行动已在世界各地开展。然而,直接减盐对肉和鱼产品来说并不容易,因为 NaCl 是几乎所有肉制品,尤其是加工肉制品中的重要成分,具有提供风味,改善质地和控制微生物生长等多种功能^[6]。直接减少食品中的盐会导致感官及理化性质发生改变,从而影响

其商业价值。为达到在不影响商业价值的条件下减少钠的目的,这对肉类行业来说仍是一个巨大的挑战。

近年来,在肉制品的减盐策略上,研究学者做了大量的尝试,如:用其它氯化物(如钙、镁、钾)完全或部分代替氯化钠,然而其对产品的质地、风味、外观、水分和保质期等产生不利影响^[7];利用复配盐替代剂、风味增强剂和添加天然咸味产品,如酵母提取物和海藻^[8];改变食盐的物理结构和晶型^[9];通过物理手段(高压和超声波技术)提高盐的渗入效率等^[10-11]。近 10 年,在风味增强剂研究方面,赖氨酸(L-Lys)、L-组氨酸(L-His)和 L-精氨酸(L-Arg)等碱性氨基酸的应用引起广泛关注^[12-13]。这些氨基酸在 pH=7 时带正电荷,这是因为它们含有一个额外的氨基,而它们的侧链可与带电荷相反的基团相互作用,形成离子键或盐桥,有利于改变肌球蛋白结构来提高肌球蛋白在低 NaCl 溶液(1~200 mmol/L NaCl/KCl 溶液)中的溶解度,从而提高低 NaCl 肉制品的质量^[14]。L-Arg、L-Lys、L-His 能修饰蛋白结构^[15],增强鸡肉香肠、低盐腊肠和大豆蛋白乳状液稳定性^[1]。研究发现,L-Arg 能破坏有序的肌凝蛋白二级结构,从而抑制热诱导肌球蛋白聚集,并能显著提高鸡肉香肠的硬度、弹性、黏着性、咀嚼性,改善质构特性^[16-17]。Zhou 等^[18]

收稿日期:2022-11-29

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0401203);河南省重点研发与推广专项(科技攻关项目)(202102110141)

第一作者:赵立,女,博士,副教授

E-mail: twin-li@163.com

和 Ning 等^[19]发现,Arg 能将褐色的高铁肌红蛋白还原成鲜红色的氧合肌红蛋白,提高猪肉香肠红度值(a^*)、降低亮度值(L^*)和黄度值(b^*),改善香肠色泽。一定含量的 *L*-Arg 能提高蛋白质与水的结合能力,从而提高持水力,减少乳化香肠蒸煮损失,提高保水性^[9]。*L*-Arg 加速了肌钙蛋白 T 降解,提高鸡胸肉嫩度^[20]。此外,精氨酸可以通过螯合金属离子和清除 OH 自由基抑制脂肪和蛋白质的氧化^[21]。Gelabert 等^[22]发现 KCl、乳酸钾和 Gly 部分替代 NaCl 对发酵香肠微生物稳定性影响较小,然而,当 KCl、乳酸钾、Gly 替代量分别为 40%、30%、20%时,出现感官、风味以及质地缺陷。Dos Santos 等^[23]研究发现,味精、肌苷酸二钠、鸟苷酸二钠、赖氨酸和牛磺酸可以掩盖由 KCl 代替 50%和 75% NaCl 产生的不良感官特性,并使香肠中的钠含量减少约 68%。综上,*L*-Arg 在肉制品加工过程中发挥重要作用,具有广泛的应用前景。

课题组前期研究确定了精氨酸能协同食盐增强咸味感知(未发表),并开发了一种精氨酸低钠盐(精氨酸替代 30%氯化钠)。本研究将精氨酸低钠盐应用于猪肉的腌制过程,探究不同添加量的精氨酸低钠盐对猪肉品质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

猪后腿肉,华润万家超市;食盐,江苏省盐业集团有限责任公司;*L*-精氨酸,浙江一诺生物科技有限公司。

SDS-PAGE 变性丙烯酰胺凝胶快速制备试剂盒,生工生物工程(上海)股份有限公司;KCl、 K_2HPO_4 、 KH_2PO_4 、EGTA、 $MgCl_2$ 、 NaN_3 , 国药集团有限公司。

1.2 主要仪器与设备

CR-10 色差计,日本柯尼卡公司;TAXT PLUS 物性分析仪,英国 Stable Micro System 公司;ETS-2 大量高速匀浆机,江苏金坛市亿通电子有限公司。

1.3 试验方法

将新鲜的后腿肉剔除可见脂肪和筋膜,切成 3 cm×2.5 cm×2.5 cm 的均匀块形,分成 6 组样品进行腌制,S0 为对照组,即 3%精制 NaCl 食用盐(g/

100 g 猪肉),S1~S5 为处理组,分别添加 2%, 2.5%, 3%, 3.5%, 4%精氨酸低钠盐(g/100 g 猪肉)。于冰浴中用手搓的方法将盐和猪肉充分混匀,直到食盐完全融化,停止揉搓。用保鲜膜覆盖,在 4 °C 下腌制 24 h,取样,进行以下指标的测定。

1.3.1 质构特性的测定 TPA 测定参考田星等^[24]的方法并稍作修改,将腌制好的肉切割成长×宽×高=10 mm×10 mm×10 mm 的正方体,放在质构仪上测定硬度、弹性、咀嚼性、内聚性等物性指标。仪器参数设定为:压缩试验,测试高度 6 mm,形变量 50%,样品中测试速度 60 mm/min,起始力 5 N,触发类型自动,探头类型 P30,循环次数 2 次。每个试验重复 5 次。

1.3.2 色差的测定 使用色差仪测定腌制猪肉的色泽,用白色校准板矫正。样品表面要求平整,将色差计的镜头垂直于样品表面,镜口紧贴样品表面,测定样品的 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值(L^* 值表示亮度; a^* 值表示样品红度, b^* 值表示黄度)。每个试验重复 5 次。

1.3.3 持水力的测定 结合 Chen 等^[25]的方法并稍作修改。将肉样切成 1 mm×1 mm×1 mm 的小块,取 5 g 用滤纸包裹,放入底部装有脱脂棉的离心管中,在 4 °C,5 000 r/min 离心 10 min。离心后样品质量占最初样品质量的比例为持水力。每个试验重复 3 次。

1.3.4 蒸煮损失的测定 参照 Naveena 等^[26]的方法,将肉样切成 4 cm×4 cm×2 cm 的小块并称重,记做 m_2 。置于蒸煮袋中,于 100 °C 的水浴锅中加热至中心温度为 80 °C。随后取出,于流动水下冷却至室温。用滤纸吸干肉样表面的水分,再次称重,记作 m_3 。每个试验重复 3 次。

$$\text{蒸煮损失}(\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100 \quad (1)$$

1.3.5 水分含量测定 参照 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》中的直接干燥法测定水分含量。

1.3.6 pH 值测定 参照马志方等^[27]的方法,精确称取 5 g 肉样于 50 mL 离心管中,加入 15 mL 蒸馏水,用高速匀浆机匀浆 1 min。用 pH 计测定匀浆液的 pH 值。每个试验重复 3 次。

1.3.7 肌原纤维小片化指数(MFI)的测定 参考赵立等^[28]的方法制备肌原纤维悬液。称取 4 g 肉

样,加 40 mL 预冷(2 ℃)的 MFI 缓冲液(100 mmol/L KCl,11.2 mmol/L K_2HPO_4 ,8.8 mmol/L KH_2PO_4 ,1 mmol/L 乙二醇二乙醚二胺四乙酸(EGTA),1 mmol/L $MgCl_2$,1 mmol/L NaN_3),放入匀浆机中高速匀浆 3 次,每次 20 s(中间间隔 1 min)。匀浆后用 50 mL 离心管冷冻离心(离心力 1 000×g,15 min,2 ℃),弃上清,将沉淀用 40 mL 预冷后的 MFI 缓冲液悬浮,再离心(离心力 1 000×g,15 min,2 ℃),弃上清,用 10 mL 预冷后的 MFI 缓冲液将沉淀充分悬浮,悬浮液用 150 目滤布过滤除去结缔组织,再用 10 mL MFI 缓冲液洗离心管,并过滤。将过滤的悬浮液用双缩脲法测蛋白浓度,然后用 MFI 缓冲液调整悬浮液蛋白质量浓度为 0.5 mg/mL,在 540 nm 处测吸光度,将所得结果乘 200 后得到 MFI 值。每个试验重复 3 次。

1.3.8 十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(Sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE) 参考 Villaverde 等^[29]的方法提取盐溶性蛋白,称取 5 g 绞碎的肉样于 50 mL 离心管中,加入 25 mL 50 mmol/L, pH=7.0 的磷酸盐缓冲液(A 液:7.8 g $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ 定容 250 mL; B 液:17.925 g $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ 定容 250 mL。取 A 液 97.5 mL 和 B 液 152.5 mL 定容 1 L),均质 1 min,然后离心 15 min,弃上清,向沉淀中加 25 mL 50 mmol/L,含 0.6 mol/L NaCl, pH=7.0 的磷酸盐缓冲液,均质 1 min,离心 15 min,上清液即盐溶性蛋白。将提取的盐溶性蛋白用双缩脲法测蛋白质含量,将蛋白质质量浓度调整至 2 g/L。SDS-PAGE 电泳试验参考赵立等^[28]的方法并略有修改,取 0.8 mL 蛋白质溶液,加入 0.2 mL 含 1% β -巯基

乙醇的样品缓冲液,沸水加热 3 min,冷却至室温,上样,上样量 20 μ L。初始电压为 100 V,进入分离胶后电压增至 200 V。染色、脱色至背景清晰。

1.3.9 微观结构观察 用取样刀顺肌纤维方向将肉样切成 1 mm×1 mm×2 mm 的小块,立即用预冷的 2.5%戊二醛溶液固定,送至南京农业大学生命科学学院电镜室,通过透射电镜(Transmission electron microscope, TEM)对肉样进行微观结构分析。

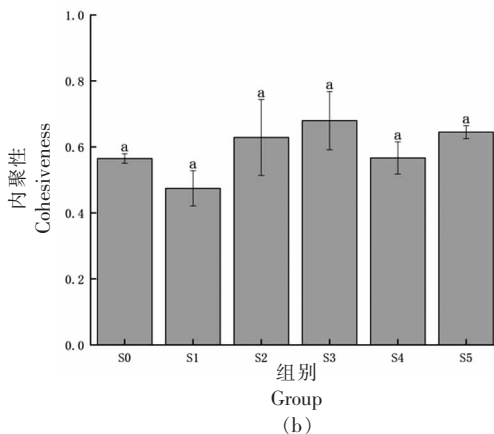
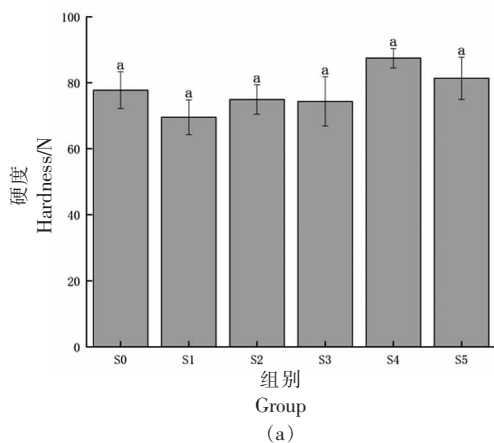
1.4 数据处理

试验数据用($\bar{x} \pm s$)表示,采用 SPSS 23 进行数据处理与分析。通过单因素方差分析(ANOVA)、LSD 极差检验分析各数值间的标准误差和差异显著性。5%的显著水平被用来评判样品间的差异性,字母不同者为差异显著($P < 0.05$)。采用 Origin 2019b 进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 精氨酸低钠盐对猪肉质构特性的影响

图 1a、1b 显示,与 S0 相比,S1~S5 猪肉硬度和内聚性差异均不显著($P > 0.05$)。精氨酸对猪肉的硬度和内聚性影响较小。图 1c 显示,与 S0 相比,S5 的弹性显著较高,由 0.55 增加到 0.88,提高了 60.0%($P < 0.05$)。随着精氨酸含量的增加,猪肉弹性呈升高趋势。图 1d 显示,随着精氨酸含量的增加,猪肉咀嚼性呈逐步升高的趋势,与 S0 相比,S5 咀嚼性显著升高($P < 0.05$)(由 24.25 增加到 35.96,提高了 48.3%),说明精氨酸可以增强猪肉咀嚼性。这是因为在低浓度 NaCl 中添加碱性氨基酸,可增强蛋白质溶解度,从而提高肉制品咀嚼



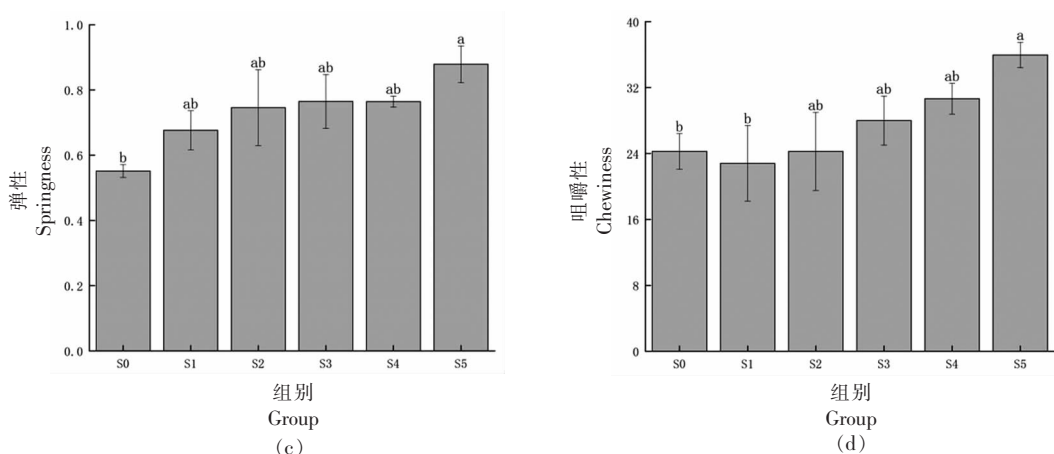


图1 精氨酸低钠盐对猪肉质地的影响

Fig.1 Effects of arginine low-sodium salt on the texture of pork

性^[6]。总体而言,本试验结果表明,一定替代比例的精氨酸低钠盐,能显著增强猪肉的弹性和咀嚼性,改善猪肉质地特性。

2.2 精氨酸低钠盐对猪肉色泽的影响

肉类和肉制品的色泽是给消费者的第1印象,也是影响消费者购买决定的最直观的因素^[30]。在Lab体系中, L^* 值越高肉色越有光泽; a^* 值越高肉色越红; b^* 值越高肉色越黄。表1所示,S0和S1的 L^* 值显著大于S5的 L^* 值($P < 0.05$)。随着精氨酸低钠盐含量的增加, L^* 值呈下降趋势;S0的 a^* 值最低,随着精氨酸低钠盐的含量增加, a^* 值呈上升趋势,由2.9上升到6.3($P < 0.05$),S5的 a^* 值显著大于其它组; b^* 值的增加虽具有精氨酸低钠盐

的剂量效应;但各组间差异均不显著($P > 0.05$)。由此可知,精氨酸可提高猪肉的红度,降低亮度。此结论与Zhu等^[17]、Zheng等^[31]的研究结果一致。

原料肉中与色泽有关的蛋白质主要是肌红蛋白与血红蛋白。肌红蛋白呈现暗紫色的还原状态,很不稳定,容易被空气中的氧气氧化成为褐色的高铁肌红蛋白。Ning等^[32]研究香肠和火腿腌制过程中精氨酸/赖氨酸/半胱氨酸对肉品质的影响,结果表明,精氨酸/赖氨酸/半胱氨酸可抑制肌红蛋白氧化,将褐色的高铁肌红蛋白还原成鲜红色的氧合肌红蛋白,促进亚硝基肌红蛋白的形成,有助于改善腌制肉的颜色。汪慧^[33]也发现,精氨酸能够稳定血红蛋白色泽,使肉保持红色。

表1 精氨酸低钠盐对猪肉色差的影响

Table 1 Effects of arginine low-sodium salt on the color difference of pork

组别	L^* 值	a^* 值	b^* 值
S0	53.4 ± 0.41^a	2.9 ± 0.72^c	2.9 ± 0.35^a
S1	53.2 ± 0.40^a	4.3 ± 0.38^{bc}	4.0 ± 0.49^a
S2	52.0 ± 0.59^{ab}	5.3 ± 0.55^b	3.8 ± 0.15^a
S3	52.4 ± 0.23^{ab}	5.1 ± 0.55^b	3.7 ± 0.23^a
S4	51.7 ± 0.76^{ab}	5.5 ± 0.66^b	3.4 ± 0.67^a
S5	51.0 ± 1.14^b	6.3 ± 0.73^a	4.1 ± 0.39^a

注:同列字母不同者代表各组间差异显著($P < 0.05$)。

2.3 精氨酸低钠盐对猪肉持水力、蒸煮损失和水分含量的影响

持水力(WHC)是肉制品重要的品质属性之一,影响产品的烹饪产量和多汁性。表2所示,各

组间持水力差异均不显著($P > 0.05$)。Warner^[34]发现,氯化钠的氯离子与肌肉蛋白质带正电荷的侧基结合,筛选带正电荷的侧基,打破盐桥,使蛋白质纤维分离,从而使肉制品获得更大的持水能力。

减少肉制品中 NaCl 含量,其持水力会降低。本试验中 S1~S5 中的 NaCl 含量均低于 S0 (3%食盐),在 NaCl 含量降低的情况下持水力没有显著降低,说明精氨酸对猪肉具有保水性。与 S0 相比,S3、S4、S5 的蒸煮损失显著降低($P<0.05$)。随着精氨酸

低钠盐含量的增加,与 S0 相比,S3、S4、S5 组的水分含量均显著增高($P<0.05$),这与蒸煮损失的结果一致。水分含量影响猪肉的多汁性,添加 3%、3.5%、4%的精氨酸低钠盐提高了猪肉嫩度。

表 2 精氨酸低钠盐对猪肉持水力和蒸煮损失的影响

组别	持水力/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	蒸煮损失/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	水分含量/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$
S0	84.62 ± 2.06^a	32.12 ± 3.27^a	77.57 ± 0.12^d
S1	82.96 ± 1.43^a	26.65 ± 1.42^a	77.21 ± 0.15^e
S2	81.85 ± 1.96^a	29.06 ± 3.68^a	76.30 ± 0.20^f
S3	85.47 ± 0.52^a	25.07 ± 3.57^b	77.98 ± 0.20^e
S4	83.55 ± 0.24^a	25.14 ± 4.97^b	79.52 ± 0.12^a
S5	84.04 ± 0.24^a	23.98 ± 2.72^b	78.66 ± 0.23^b

注:同列字母不同者代表各组间差异显著($P<0.05$)。

2.4 精氨酸低钠盐对猪肉 pH 值的影响

精氨酸为一种碱性氨基酸,pH 值在 10.5~12.0(25 °C,0.5 mol/L)。图 2 所示,S1~S5 pH 值均显著高于 S0($P<0.05$)。随着精氨酸低钠盐含量的增加,pH 值显著上升($P<0.05$)由 S0 的 5.71 提高到 S5 的 6.11。根据 Zhang 等^[35]的结论,精氨酸调节 pH 值使肌肉组织中盐溶蛋白偏离等电点,由于蛋白质之间的静电斥力增大,肌丝之间产生更大的间隙,从而加强了肌球蛋白与水的相互作用,从而提高猪肉的保水性。相关研究表明,精氨酸、赖氨酸、组氨酸等碱性氨基酸引起的 pH 值增加,有助于抑制肌球蛋白增加,从而改善肌球蛋白溶解度^[36-37]。

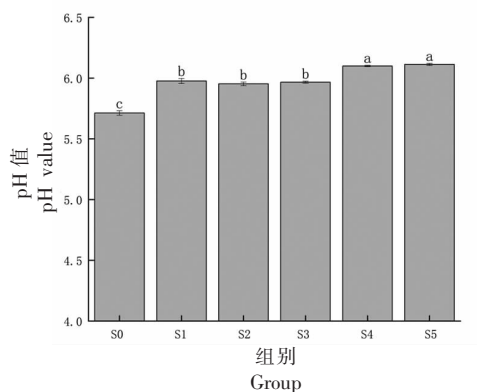


图 2 精氨酸低钠盐对猪肉 pH 值的影响
Fig.2 Effects of arginine low-sodium salt on pH value of pork

2.5 精氨酸低钠盐对猪肉肌原纤维小片化指数 (MFI) 的影响

MFI 是指肌原纤维碎片化程度,是肉类嫩化的标志^[17]。MFI 值越大,表明肌原纤维内部结构完整性受到破坏的程度越大,肉制品越嫩^[38]。图 4 所示,添加精氨酸低钠盐各组猪肉的 MFI 值均显著高于对照组 S0(44.73, $P<0.05$),S5 组 MFI 值达到了 71.40,较 S0 提高了 59.6%。这表明,精氨酸低钠盐腌制的猪肉肌原纤维碎片化程度较高,肉质较嫩,这与 2.3 节结果一致。相关研究表明,当 L-Arg 添加量为 5 mmol/L 时,巯基显著增加,蒸煮损失及凝胶强度显著降低,对肉蛋白的氧化稳定性、肉制品的嫩度和持水性有一定的改善作用^[39]。

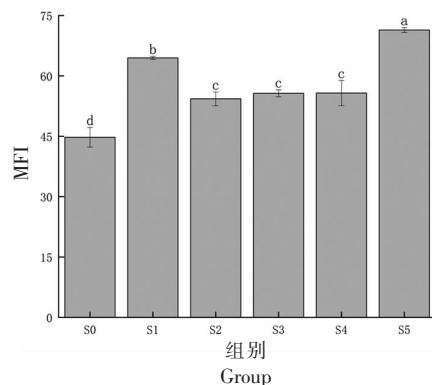
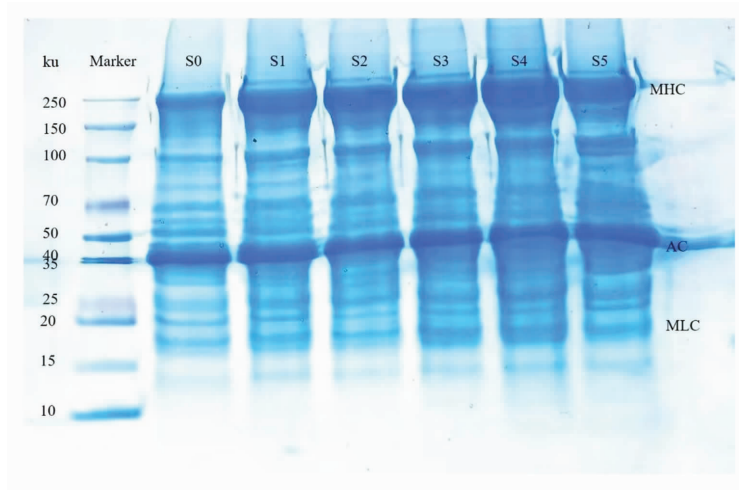


图 3 精氨酸低钠盐对猪肉肌原纤维小片化指数的影响
Fig.3 Effects of arginine low-sodium salt on the MFI of pork

2.6 精氨酸低钠盐对猪肉肌原纤维蛋白的影响

通过 SDS-PAGE 观察不同组别猪肉中精氨酸低钠盐对肌原纤维蛋白的影响,如图 4 所示。肌球蛋白重链(MHC)和肌动蛋白(AC)在猪肉蛋白中含量最高,是主要的蛋白成分。与 S0 相比,S2、S3、S4 的 AC 有所减少,相对应地,S3 和 S4 的肌球蛋白轻链(MLC)明显增加。这是由于在精氨酸低钠

盐的干预下,S3 和 S4 中的 AC 降解为分子质量更小的肌球蛋白轻链,有利于提高肉嫩度。Zhang 等^[20]研究发现,精氨酸可以提高鸡胸肉中的钙蛋白酶活性,降解肌动蛋白(37 ku),从而提高肉嫩度;此外,精氨酸能够促进肌动球蛋白解离,同样有利于提高肉嫩度,这与本试验结果一致。



注:MHC. 肌球蛋白重链;AC. 肌动蛋白;MLC. 肌球蛋白轻链。

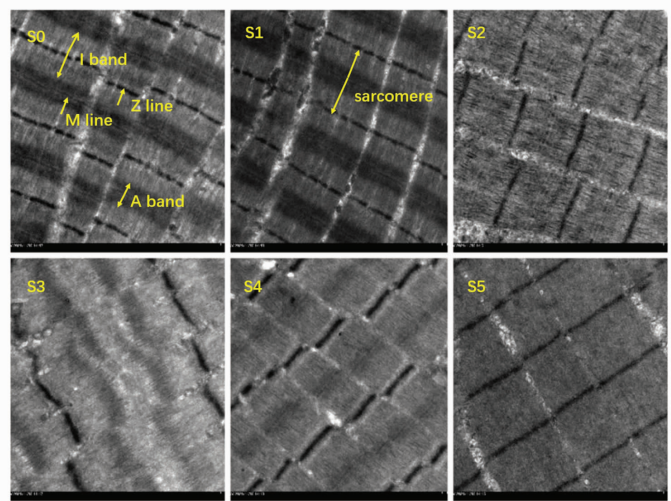
图 4 猪肉肌原纤维蛋白的 SDS 电泳图谱

Fig.4 SDS-PAGE profile of pork myofibril protein

2.7 精氨酸低钠盐对猪肉肌原纤维微观结构的影响

肌肉蛋白水解可导致肌原纤维超微结构改

变,包括与肉嫩度有关的 I 带和 Z 线^[40]。由图 5 可见,S0 的肌节完整,Z 线和 M 线清晰平滑,I 带和 A 带清晰可见。S1 与 S0 差别不大。S2 A 带开始降



注:I band. I 带;A band. A 带;Z line. Z 线;M line. M 线;sarcomere. 肌节。

图 5 猪肉肌原纤维透射电镜微观组织结构图(×10 000)

Fig.5 Transmission electron microscopic microstructure of pork myogenic fibers (×10 000)

解,A带与I带之间界限模糊。S3肌节松弛变形,M线消失,A带发生降解。S4 I带和A带降解,两者之间界限模糊。S5两条Z线之间完全融为一体,肌原纤维发生严重降解。从本试验的透射电镜结果看,不同含量精氨酸低钠盐腌制的猪肉肌原纤维发生不同程度的降解,导致肉嫩度发生变化。Zhang等^[20]对精氨酸腌制鸡胸肉的扫描电镜结果表明,精氨酸可以抑制肌纤维的横向收缩,从而降低蒸煮损失,提高嫩度,与本试验2.3节结果一致。

3 结论

碱性氨基酸,精氨酸、赖氨酸、组氨酸等特殊结构,导致近年来在减盐替代品研究方面受到广泛关注。精氨酸作为一种碱性氨基酸,具有协同食盐增强咸味感知的作用,本试验探究了不同添加量的精氨酸低钠盐(精氨酸替代30%的NaCl)腌制对猪肉品质的影响。与3%精制NaCl腌制的猪肉相比,精氨酸低钠盐可以改善肉的质构特性和色泽。添加4%的精氨酸低钠盐可提高猪肉的嫩度。通过测定猪肉的MFI,SDS-PAGE电泳和显微结构的观察,精氨酸低钠盐使猪肉MFI值增加,I带、A带和M线发生不同程度的降解,肌动蛋白明显降解为小分子成分,表明精氨酸协同食盐对猪肉具有嫩化作用。本研究明确了精氨酸低钠盐能提高猪肉的质构特性,改善色泽,增强保水性以及促进嫩化,研究结果为减盐替代品的开发和在肉制品生产加工中的应用提供了参考。

参 考 文 献

- [1] AASLYNG M D, VESTERGAARD C, KOCH A G. The effect of salt reduction on sensory quality and microbial growth in hotdog sausages, bacon, ham and salami[J]. *Meat Science*, 2014, 96(1): 47-55.
- [2] RANILOVIĆ J, GAJARI D, TOMIĆ-OBDRALJ H, et al. Salt reduction: Translation of consumer expectations into wishful taste product attribute[J]. *International Journal of Food Engineering*, 2019, 5(1): 43-49.
- [3] ABURTO N J, ZIOLKOVSKA A, HOOPER L, et al. Effect of lower sodium intake on health: Systematic review and meta-analyses[J]. *BMJ*, 2013, 346: f1326.
- [4] LIM S S, VOS T, FLAXMAN A D, et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010[J]. *The Lancet*, 2012, 380(9859): 2224-2260.
- [5] 顾景范. 《中国居民营养与慢性病状况报告(2015)》解读[J]. *营养学报*, 2016, 38(6): 525-529.
- GU J F. Interpretation of *The Report on Nutrition and Chronic Disease Status of Chinese Residents (2015)* [J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2016, 38(6): 525-529.
- [6] BHAT Z F, MORTON J D, MASON S L, et al. The application of pulsed electric field as a sodium reducing strategy for meat products[J]. *Food Chemistry*, 2020, 306: 125622.
- [7] SEMAN D L, OLSON D G, MANDIGO R W. Effect of reduction and partial replacement of sodium on bologna characteristics and acceptability[J]. *Journal of Food Science*, 1980, 45(5): 1116-1121.
- [8] INGUGLIA E S, ZHANG Z, TIWARI B K, et al. Salt reduction strategies in processed meat products - A review [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, 59: 70-78.
- [9] EMORINE M, SEPTIER C, THOMAS - DANGUIN T, et al. Ham particle size influences saltiness perception in flans[J]. *Journal of Food Science*, 2014, 79(4): S693-S696.
- [10] OJHA K S, KEENAN D F, BRIGHT A, et al. Ultrasound assisted diffusion of sodium salt replacer and effect on physicochemical properties of pork meat[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2016, 51(1): 37-45.
- [11] O'FLYNN C C, CRUZ-ROMERO M C, TROY D, et al. The application of high-pressure treatment in the reduction of salt levels in reduced-phosphate breakfast sausages[J]. *Meat science*, 2014, 96(3): 1266-1274.
- [12] ZHANG Y W, GUO X Y, PENG Z Q, et al. A review of recent progress in reducing NaCl content in meat and fish products using basic amino acids [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2022, 119: 215-226.

- [13] 王耀松, 马天怡, 张唯唯, 等. *L*-精氨酸/*L*-赖氨酸对乳清蛋白凝胶质构和持水性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(17): 46-53.
WANG Y S, MA T Y, ZHANG W W, et al. *L*-Arginine/*L*-Lysine improved textural properties and water holding capacity of whey protein gels formed at various pH values[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(17): 46-53.
- [14] GUO X Y, PENG Z Q, ZHANG Y W, et al. The solubility and conformational characteristics of porcine myosin as affected by the presence of *L*-lysine and *L*-histidine [J]. Food Chemistry, 2015, 170: 212-217.
- [15] 王耀松, 马天怡, 胡荣蓉, 等. *L*-组氨酸修饰乳清蛋白结构及其热诱导凝胶特性[J]. 食品科学, 2021, 42(6): 16-23.
WANG Y S, MA T Y, HU R R, et al. *L*-Histidine modifies the structure and heat-induced gel properties of whey protein[J]. Food Science, 2021, 42(6): 16-23.
- [16] SHI T, XIONG Z Y, LIU H J, et al. Ameliorative effects of *L*-arginine? On heat-induced phase separation of *Aristichthys nobilis* myosin are associated with the absence of ordered secondary structures of myosin[J]. Food Research International, 2021, 141(10): 110154.
- [17] ZHU X X, NING C, LI S Y, et al. Effects of *L*-lysine/*L*-arginine on the emulsion stability, textural, rheological and microstructural characteristics of chicken sausages [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2017, 53(1): 88-96.
- [18] ZHOU C L, LI J, TAN S J, et al. Effects of *L*-arginine on physicochemical and sensory characteristics of pork sausage [J]. Advance Journal of Food Science and Technology, 2014, 6(5): 660-667.
- [19] NING C, BAO P Q, ZHANG D J, et al. Reduction and coordination properties of *L*-lysine/*L*-arginine/*L*-cysteine for the improvement of the color of cured sausage [J]. Food Chemistry, 2020, 312: 126122.
- [20] ZHANG Y Y, ZHANG D Y, HUANG Y J, et al. *L*-arginine and *L*-lysine degrade troponin-T, and *L*-arginine dissociates actomyosin: Their roles in improving the tenderness of chicken breast[J]. Food Chemistry, 2020, 318: 126516.
- [21] 许鹏. 赖氨酸/精氨酸对乳化香肠脂肪和蛋白质氧化及品质影响的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
XU P. The study of the effects of lysine/arginine on lipid and protein oxidation and quality properties of emulsion sausages[D]. Hefei: Hefei Polytechnic University, 2017.
- [22] GELABERT J, GOU P, GUERRERO L, et al. Effect of sodium chloride replacement on some characteristics of fermented sausages [J]. Meat Science, 2003, 65(2): 833-839.
- [23] DOS SANTOS B A, CAMPAGNOL P C, 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.
- [24] 田星, 任佳鑫, 穆馨怡, 等. 食盐含量对于中式香肠的品质特性的影响[J]. 肉类工业, 2018, 448(8): 23-28.
TIAN X, REN J X, MU X Y, et al. Effect of salt content on quality characteristics of Chinese-style sausage [J]. Meat Industry, 2018, 448(8): 23-28.
- [25] CHEN C G, WANG R, SUN G J, et al. Effects of high pressure level and holding time on properties of duck muscle gels containing 1% curdlan [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(4): 538-542.
- [26] NAVEENA B M, KIRAN M, REDDY K S, et al. Effect of ammonium hydroxide on ultrastructure and tenderness of buffalo meat [J]. Meat Science, 2011, 88(4): 727-732.
- [27] 马志方, 张雅玮, 惠腾, 等. 低钠传统金华火腿加工过程中理化特性的变化 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(14): 118-127.
MA Z F, ZHANG Y W, HUI T, et al. Effect of low sodium salt on physico-chemical properties of traditional Jinhua ham during processing [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(14): 118-127.
- [28] 赵立, 周振, 贺倩倩, 等. 超声波与菠萝蛋白酶协同作用对鸭肉嫩化的影响 [J]. 食品科学, 2018, 39(12): 93-100.
ZHAO L, ZHOU Z, HE Q Q, et al. Effects of ultrasonic-assisted bromelain hydrolysis on tenderization of duck meat [J]. Food Science, 2018, 39(12): 93-100.

- [29] VILLAVERDE A, VENTANAS J, ESTEVEZ M. Nitrite promotes protein carbonylation and strecker aldehyde formation in experimental fermented sausages: Are both events connected?[J]. *Meat Science*, 2014, 98(4): 665–672.
- [30] LI M, LI Z, LI X, et al. Comparative profiling of sarcoplasmic phosphoproteins in ovine muscle with different color stability[J]. *Food Chemistry*, 2018, 240: 104–111.
- [31] ZHENG Y D, XU P, LI S Y, et al. Effects of *L*-lysine/*L*-arginine on the physicochemical properties and quality of sodium-reduced and phosphate-free pork sausage[J]. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2017, 6(1): 12–18.
- [32] NING C, LI L X, FANG H M, et al. *L*-Lysine/*L*-arginine/*L*-cysteine synergistically improves the color of cured sausage with NaNO₂ by hindering myoglobin oxidation and promoting nitrosylmyoglobin formation[J]. *Food Chemistry*, 2019, 284: 219–226.
- [33] 汪慧. 血源性肉类色素的制备、稳定性及其应用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
WANG H. Research on dynthesis, dtability and application of cooked-cured meat pigment derived from porcine blood[D]. Hefei: Hefei Polytechnic University, 2012.
- [34] WARNER R D. Chapter 14–The eating quality of meat—IV water-holding capacity and juiciness[M]// TOLDRA F. *Lawrie's meat science* (Eighth Edition). Sawston: Woodhead Publishing, 2017: 419–459.
- [35] ZHANG Y Y, ZHANG D J, HUANG Y J, et al. Effects of basic amino acid on the tenderness, water binding capacity and texture of cooked marinated chicken breast[J]. *LWT*, 2020, 129: 109524.
- [36] SHI T, XIONG Z Y, JIN W G, et al. Suppression mechanism of *L*-arginine in the heat-induced aggregation of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) myosin: The significance of ionic linkage effects and hydrogen bond effects[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 102: 105596.
- [37] ZHOU Y G, YANG H S. Effects of calcium ion on gel properties and gelation of tilapia (*Oreochromis niloticus*) protein isolates processed with pH shift method[J]. *Food Chemistry*, 2019, 277: 327–335.
- [38] 黄明, 周光宏, 徐幸莲, 等. 不同注射处理对牛肉剪切力和肌原纤维小片化指数的影响[J]. *食品科学*, 2005, 26(2): 68–70.
HUANG M, ZHOU G H, XU X L, et al. Effects of injection treatments on beef Warner-Bratzler shear force and myofibrillar fragmentation index[J]. *Food Science*, 2005, 26(2): 68–70.
- [39] 马文慧, 邝吉卫, 李保玲, 等. 氧化条件下精氨酸对肌原纤维蛋白结构及凝胶性能的调控[J]. *食品科学*, 2021, 42(24): 24–31.
MA W H, KUANG J W, LI B L, et al. Effect of *L*-Arg concentration on structural and gelling properties of myofibrillar protein under oxidative conditions[J]. *Food Science*, 2021, 42(24): 24–31.
- [40] KOOHMARAIE M, GEESINK G H. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system[J]. *Meat Science*, 2006, 74(1): 34–43.

Effects of Arginine Low-sodium Salt on Pork Quality

Zhao Li¹, Qiu Huimin¹, Lian Jiaxin¹, Li Miaoyun², Chen Jun¹, Lu Hedong¹

¹*School of Life Science and Food Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huaian 223003, Jiangsu*

²*College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002*

Abstract The effects of arginine low-sodium salt on pork quality were investigated by analyzing the effects of different arginine low-sodium salt additions (arginine replacing 30% NaCl) on the textural characteristics, colour difference, water holding capacity, cooking loss, pH, moisture content, myofibril fragmentation index (MFI), protein degradation and ultrastructure of pork. The results showed that the use of 4% arginine low-sodium salt significantly improved the elasticity (increased by 60.0%) and chewiness (increased by 48.3%) of pork ($P<0.05$), and improved the colour of pork (a^* increased from 2.9 to 6.3) ($P<0.05$) compared to pork cured with 3% pure NaCl. It increased the pH from 5.71 to 6.11, decreased the cooking loss of pork from 32.12 g/(100 g) to 23.98 g/(100 g), but there was no significant change in wa-

ter holding capacity ($P<0.05$). The addition of 4% low sodium arginine increased the pork myogenic fibre fragmentation index from 44.73 to 71.40 ($P<0.05$). Ultrastructural results showed that the I-band, A-band and M-line of myogenic fibres underwent different degrees of degradation. SDS-PAGE electrophoresis profiles showed that actin was significantly degraded to small-molecule components when arginine low sodium salt was added at 2.5%–3.5%. Conclusion: arginine low-sodium salt had the effect of improving the texture, color and tenderness of the pork, which was helpful for improving the quality of pork.

Keywords arginine low-sodium salt; pork; quality; protein degradation; ultrastructure