

KCl和CaCl₂部分替代NaCl对哈尔滨红肠品质特性的影响

张 欢, 齐鹏辉, 陈 倩, 孔保华*

(东北农业大学食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要: 为降低哈尔滨红肠中的钠盐含量, 采用不同比例的KCl和CaCl₂部分替代NaCl, 考察不同替代比例对红肠pH值、水分活度、色差、质构特性、水分分布及感官品质的影响。结果表明: 添加1.8% NaCl和1.2% KCl(均为在原料肉中的质量分数)红肠样品的各项测定指标与对照组相比均无显著差异($P>0.05$), 且其感官总体可接受性显著高于其他替代组($P<0.05$), 但与对照组相比无显著差异($P>0.05$); 不同比例CaCl₂的添加均会显著降低红肠的质构特性和总体可接受性($P<0.05$)。将1.8%的NaCl和1.2%的KCl复合盐应用到红肠加工中能够在保证品质的基础上降低红肠中的钠含量。

关键词: 哈尔滨红肠; 低钠盐; KCl; CaCl₂; 品质

Influence of KCl and CaCl₂ as Partial Substitute for Sodium Chloride on Quality Characteristics of Harbin Red Sausage

ZHANG Huan, QI Penghui, CHEN Qian, KONG Baohua*

(College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to reduce the sodium content in Harbin red sausage, KCl and CaCl₂ alone and in combination in two different proportions were used to partially substitute NaCl. The effect of the four substitution treatments versus normal and low sodium sausages without any substitute on the pH value, color, texture properties water activity, water distribution and sensory quality of red sausages was evaluated. The results showed that addition of 1.8% NaCl + 1.2% KCl in red sausage did not significantly affect its quality ($P > 0.05$) compared with the control group and resulted in a significantly higher overall consumer acceptance than the other substitution groups ($P < 0.05$). Addition of CaCl₂ significantly decreased texture characteristics and overall consumer acceptance ($P < 0.05$). Use of 1.8% NaCl + 1.2% KCl in red sausage could not only reduce the sodium content but also maintain its quality.

Key words: Harbin red sausage; low sodium salt; KCl; CaCl₂; quality

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201709001

中图分类号: TS201.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2017) 09-0001-06

引文格式:

张欢, 齐鹏辉, 陈倩, 等. KCl和CaCl₂部分替代NaCl对哈尔滨红肠品质特性的影响[J]. 肉类研究, 2017, 31(9): 1-6.DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201709001. <http://www.rlyj.pub>ZHANG Huan, QI Penghui, CHEN Qian, et al. Influence of KCl and CaCl₂ as partial substitute for sodium chloride on quality characteristics of harbin red sausage[J]. Meat Research, 2017, 31(9): 1-6. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201709001. <http://www.rlyj.pub>

哈尔滨红肠是北方消费者较为青睐的一类灌肠制品, 因其独特的风味而深受消费者喜爱。目前在红肠的生产工艺中, 为了提高其感官品质、延长货架期, 食盐的添加量比较高, 一般红肠中食盐的质量分数为3.0%~3.5% (以原料肉质量计)。在肉制品加工中, 食盐不仅可以赋予食品咸味, 还可以促进肌原纤维蛋白的

溶解和蛋白质凝胶的形成, 改善产品质地, 降低产品水分活度 (water activity, a_w), 抑制病原微生物的生长, 此外还对产品的风味有一定影响^[1]。然而过量摄入食盐会引起很多疾病, 如高血压、动脉粥样硬化等, 同时使肾脏的负担加重^[2], 过量摄入的食盐也是致残和致命的出血性脑卒中的主要危害因子。高盐饮食已经严重威胁到了

收稿日期: 2017-07-11

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2016YFD0401504);

黑龙江省应用技术与开发重点计划项目 (GA15B302)

作者简介: 张欢 (1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为畜产品加工。E-mail: zh1757616231@163.com

*通信作者: 孔保华 (1963—), 女, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工。E-mail: kongbh@163.com



人类的健康,因此低盐食品受到了消费者和国内外学者的高度重视。

目前低盐技术研究主要集中在两方面。一方面是使用食盐替代物,主要有氯化物(KCl 、 CaCl_2 、 MgCl_2)^[3]、乳酸钾^[4]和咸味肽^[5]等;另一方面是在低盐肉制品中加入卡拉胶等多糖,以改善由低盐引起的产品品质劣变^[6-7]。由于钾盐、钙盐等与 NaCl 的物理化学性质相似,利用非钠盐类物质替代部分 NaCl 可以降低肉制品中食盐的含量,将氯化物作为食盐替代物是目前低盐肉制品研究中采用最多的方法。

在低盐香肠中,用非钠盐氯化物部分替代 NaCl 的研究已经有过报道。Horita等^[8]在法兰克福香肠中用质量分数均为12.5%的 KCl 和 CaCl_2 (以 NaCl 质量计)部分替代 NaCl ,制作低盐香肠,其感官品质与单独添加质量分数为1.5%的 NaCl (以原料肉质量计)制得的产品相似。Corral等^[9]发现在发酵香肠中用质量分数为16%的 KCl (以 NaCl 质量计)部分替代 NaCl (NaCl 在原料肉中的质量分数为2.7%)不会影响产品的风味。Gou等^[10]在发酵香肠中以质量分数为30%~40%的 KCl (以 NaCl 质量计)替代 NaCl (NaCl 在原料肉中的质量分数为2.6%),当替代比例达30%以上时产品会有轻微的苦涩味,但整体风味仍可接受。Santos等^[11]以质量分数为50%的 CaCl_2 (以 NaCl 质量计)替代 NaCl (NaCl 在原料肉中的质量分数为2.5%)制作香肠,结果表明, CaCl_2 在贮藏过程中可以增加香肠的硬度和总游离氨基酸的释放、减少肌浆蛋白的降解,同时与只添加 NaCl 的香肠表现出相似的黏弹性和稳定性。本研究用 KCl 和 CaCl_2 部分替代猪肉红肠中的 NaCl ,研究不同替代比例对红肠品质的影响,确定最佳替代比例,以期在降低红肠中 NaCl 含量的同时不改变其原有风味,为低盐在哈尔滨红肠中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

猪瘦肉和猪肉背部脂肪 黑龙江省哈尔滨市大润发超市; KCl 、 CaCl_2 、葡萄糖、异抗坏血酸钠、碱性磷酸盐和亚硝酸盐(均为分析纯) 哈尔滨亿人食品添加剂公司。

1.2 仪器与设备

721型可见分光光度计 上海元析仪器有限公司;
ZE-6000型色差计 日本色电工业株式会社;TA-XT plus型质构分析仪 英国Stable Micro System公司;
Mq-20型低场核磁共振分析仪 德国布鲁克公司;
Aqualab 4TE Duo型智能水分活度仪 美国Decagon Devices公司;DELTA 320型pH计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;真空灌肠机 临沂大浩机械厂。

1.3 方法

1.3.1 红肠的制作

参照孔保华等^[12]的方法。工艺流程:原料肉修整→腌制→拌馅→灌制→烘烤→煮制→熏制。在猪瘦肉中加入亚硝酸盐和相应比例的 NaCl 、 KCl 和 CaCl_2 ,充分混匀后,4℃条件下放置12 h;将腌制好的猪瘦肉与猪脂肪丁置于绞肉机中绞碎,加入淀粉及辅料,拌匀后进行灌肠;灌制后的红肠放入烘烤炉中75℃左右烘烤25~30 min,然后在85℃温水中煮制35 min;将煮制后的红肠进行熏制,即获得成品。

1.3.2 实验设计

共设置6组实验,每组红肠样品中分别添加不同比例的 NaCl 、 KCl 和 CaCl_2 。A:对照组(3.0% NaCl);B:低钠盐组(1.8% NaCl);C:钾盐替代组(1.8% NaCl +1.2% KCl);D:钙盐替代组(1.8% NaCl +1.2% CaCl_2);E:钾、钙盐替代组 I (1.8% NaCl +0.9% KCl +0.3% CaCl_2);F:钾、钙盐替代组 II (1.8% NaCl +0.6% KCl +0.6% CaCl_2)。其中 NaCl 、 KCl 和 CaCl_2 的添加比例均为其在原料肉中的质量分数。

1.3.3 指标测定

pH值测定:按照GB/T 9695.5—2008《肉与肉制品pH测定》^[13],取10 g红肠样品剪碎,加入装有90 mL蒸馏水的三角瓶中,置于摇床振荡20 min,用pH计测定其pH值。

a_w 测定:水分活度仪开机预热20 min左右,将2.0 g左右红肠样品剪碎,平铺于专用的测量皿内(至少铺满皿的底层),使样品完全覆盖盒底;将样品盒开盖放入样品池,拧紧样品池盖,打开电源,当读数稳定时即可从显示屏上直接读出样品的 a_w 。

色差值测定:参照Zhang Xue等^[14]的方法,并略作改动。将红肠肠衣去除,切成约10 mm厚的圆柱体,放入样品盒中,将测试头放在样品盒上进行测定。亮度值(L^*)、红度值(a^*)和黄度值(b^*)均重复测定3次,每次测定将样品旋转120°,结果取平均值。

质构测定:采用质构剖面分析(texture profile analysis, TPA)方法,在TA-XT plus型质构分析仪上进行测定,并用Stable Micro System软件进行分析。TPA测试参数参考Liu Huaiwei等^[15]的方法,并略作改动:测试前速率5 mm/s、测试速率和测试后速率2 mm/s,采用P/50探头,探头直径5 cm。测定结果主要取硬度、弹性、黏聚性和咀嚼性。

水分分布情况测定:参照Zhang Mingcheng等^[16]的方法,并略作改动。将样品切碎,置于专用的核磁试管(直径1.8 cm,高度18 cm)中,LF-NMR分析仪的磁场强度为0.47 T,质子共振频率为20 MHz。使用Carr-Purcell-Meiboom-Gill程序测定红肠样品的低场核磁弛豫时间(T_2),测定时自动扫描16次,每次扫描的间

隔时间为2 s。每个样品测得的 T_2 通过Contin软件进行反演,得到相应的弛豫时间及峰面积。

1.3.4 样品的感官评价

参考Gök等^[17]的方法,并做适当改动。由本实验室的研究生组成10人感官评定小组,将待检测红肠样品切成0.7 cm厚的圆柱体进行感官评价。评价指标包括色泽、组织状态、口感、咸度和总体可接受性,每项指标的最高得分为10分,最低为1分。评价标准如表1所示。

表1 样品的感官评价标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of red sausages

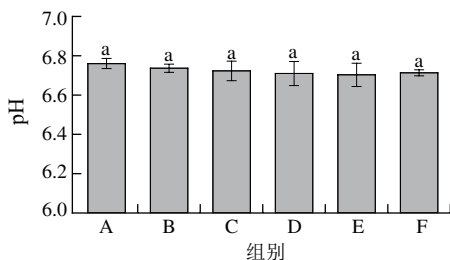
评价指标	评分标准	感官评分
色泽	枣红色,有光泽且均匀	7~10
	暗红色,有光泽但不均匀	4~6
	棕红色,光泽度不均匀或无光泽	1~3
组织状态	松软度良好,按压后能够快速复原	7~10
	松软度一般,按压后能够缓慢复原	4~6
	松软度极差,按压后不能复原	1~3
口感	细腻、均匀,咀嚼性、硬度良好	7~10
	细腻、不均匀,咀嚼性、硬度一般	4~6
	粗糙,咀嚼性、硬度极差	1~3
咸度	适中	7~10
	较淡	4~6
	极淡	1~3
总体可接受性	高(喜欢)	7~10
	适中	4~6
	低(不接受)	1~3

1.4 数据处理

样品均重复测定3次,结果表示为平均值±标准差。数据统计分析采用Statistix 8.1软件包中的Linear Models程序进行,使用Tukey HSD程序进行差异显著性($P<0.05$)分析,采用Sigma Plot 12.5软件作图。

2 结果与分析

2.1 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠pH值、 a_w 和色差值的影响



小写字母不同,表示差异显著($P<0.05$)。下同。

图1 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠pH值的影响

Fig. 1 Effect of partial substitution of NaCl with KCl and CaCl₂ on the pH value of red sausage

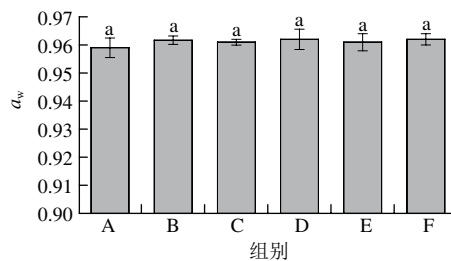


图2 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠 a_w 的影响

Fig. 2 Effect of partial substitution of NaCl with KCl and CaCl₂ on the a_w of red sausage

a_w 是指食品中水的蒸汽压与同温度下纯水的饱和蒸汽压的比值,它是反映食品保藏性能的常用指标。肉制品的颜色也是其重要的感官品质之一,良好的色泽可以激发人的食欲^[18]。由图1~2可知,用KCl和CaCl₂部分替代NaCl的各处理组样品的pH值和 a_w 与对照组相比无显著差异($P>0.05$)。Gelabert等^[19]在腌制香肠中使用KCl部分替代NaCl,发现KCl的添加对产品的pH值无显著影响;Ibanez等^[20]在干腌香肠中使用KCl部分替代NaCl也得到了类似结果。

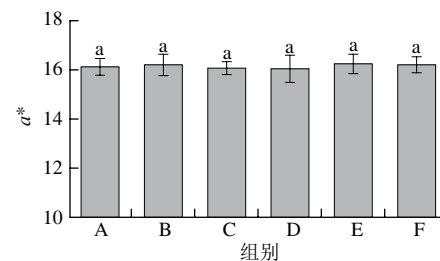


图3 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠 a^* 的影响

Fig. 3 Effect of partial substitution of NaCl with KCl and CaCl₂ on the a^* of red sausage

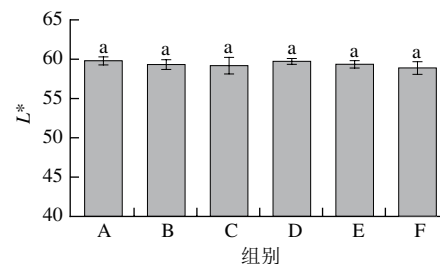


图4 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠 L^* 的影响

Fig. 4 Effect of partial substitution of NaCl with KCl and CaCl₂ on the L^* of red sausage

由图3~4可知,各替代组样品的 L^* 和 a^* 与对照组相比均无显著差异($P>0.05$)。王路等^[21]发现用质量分数为30%~40%的CaCl₂(以NaCl质量计)替代NaCl时(NaCl在原料肉中的质量分数为1.5%),肉制品的 a^* 变化不显著($P>0.05$);Horita等^[22]发现添加CaCl₂对香肠

的 a^* 和 b^* 无显著影响 ($P>0.05$)，与本研究的结果一致。以上结果表明，KCl和CaCl₂部分替代NaCl并不会对红肠的pH值、 a_w 和色泽产生不良影响。

2.2 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠质构特性的影响

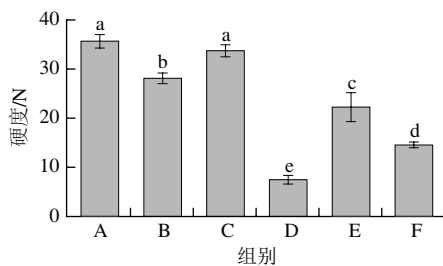


图5 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠硬度的影响

Fig. 5 Effect of partial substitution of NaCl with KCl and CaCl₂ on the hardness of red sausage

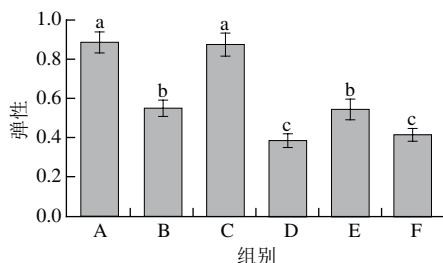


图6 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠弹性的影响

Fig. 6 Effect of partial substitution of NaCl with KCl and CaCl₂ on the elasticity of red sausage

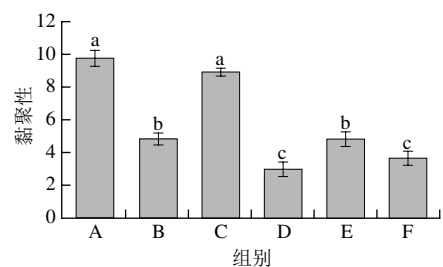


图7 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠黏聚性的影响

Fig. 7 Effect of partial substitution of NaCl with KCl and CaCl₂ on the cohesiveness of red sausage

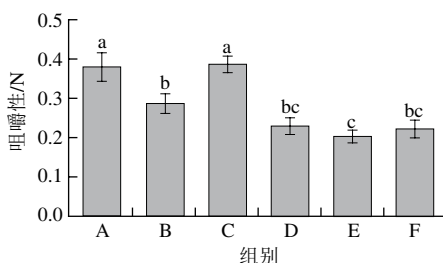


图8 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠咀嚼性的影响

Fig. 8 Effect of partial substitution of NaCl with KCl and CaCl₂ on the chewiness of red sausage

哈尔滨红肠的质构特性决定了其组织结构和食用时的口感。TPA测试可以模拟人的牙齿咀嚼肉块时的质构特征。由图5~8可知，对于只添加NaCl的红肠样品来说，当NaCl添加量降低到1.8%时会显著影响其质构特性，表现为样品硬度、弹性、黏聚性和咀嚼性的显著降低 ($P<0.05$)；用1.2%的KCl部分替代NaCl对红肠的质构特性无不良影响，样品的硬度、弹性、黏聚性和咀嚼性与对照组相比均无显著性差异 ($P>0.05$)；D、E、F处理组的实验结果表明，CaCl₂的添加会显著降低样品的硬度、弹性、黏聚性和咀嚼性 ($P<0.05$)。

综上所述，C组样品，即在红肠中添加1.8%的NaCl和1.2%的KCl，可以获得较好的产品质构特性，这与Whiting等^[23]用KCl部分替代法兰克福香肠中的NaCl时得到的结果一致。刘媛^[24]也发现KCl替代对灌肠的质构特性没有显著影响 ($P>0.05$)。

2.3 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠水分分布的影响

表2 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠低场核磁弛豫时间的影响

Table 2 The effect of partial substitution of NaCl with KCl and CaCl₂ on the NMR relaxation time of red sausage

组别	T_{2b}/ms	T_{21}/ms	T_{22}/ms
A	8.49 ± 0.27^a	39.07 ± 3.40^d	238.69 ± 9.91^a
B	8.68 ± 0.18^a	49.30 ± 0.72^c	209.56 ± 2.66^b
C	8.91 ± 0.31^a	41.03 ± 2.61^d	242.87 ± 6.74^a
D	8.80 ± 0.29^a	74.08 ± 3.25^a	176.27 ± 1.98^d
E	8.57 ± 0.30^a	61.56 ± 1.77^b	199.36 ± 4.31^{bc}
F	8.66 ± 0.21^a	65.53 ± 2.04^b	193.29 ± 4.65^c

注：同列小写字母不同，表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

T_2 可以反映红肠中水分的分布和迁移情况^[25]。水分分布图谱中3个特征峰对应的弛豫时间分别为 T_{2b} 、 T_{21} 和 T_{22} ，其中弛豫时间在0~10 ms之间的表示结合水 (T_{2b})，10~100 ms之间的表示不易流动水 (T_{21})，100~1 000 ms之间的表示自由水 (T_{22})^[26]。由表2可知，对照组样品的 T_{2b} 弛豫时间与其他5个处理组没有显著差异 ($P>0.05$)，表明KCl和CaCl₂的替代比例对样品结合水的影响不大。结合水是与蛋白质紧密结合的水分，在加工过程中比较稳定，不容易流失^[27-28]。C组样品的 T_{21} 与对照组相比没有显著差异 ($P>0.05$)，B、D、E、F组样品的 T_{21} 均显著高于对照组 ($P<0.05$)。姜晓文等^[29]认为， T_{21} 弛豫时间表示肉中的不易流动水，占肉中总水分的80%左右，这部分水对肉的质量和保水性有很大影响， T_{21} 越短表明水与底物的结合越紧密， T_{21} 越长表明水分越容易流失。 T_{22} 代表的自由水占肉中总水分的15%左右，对照组样品的 T_{22} 与C组相比无显著差异 ($P>0.05$)，且均显著高于B、D、E、F组样品 ($P<0.05$)，这可能是由于一部分自由水转变成了不易流动水。



表3 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠低场核磁峰面积的影响
Table 3 Effect of partial substitution of NaCl with KCl and CaCl₂ on the NMR peak area of red sausage

组别	$A_{21}/\%$	$A_{22}/\%$	$A_{23}/\%$
A	1.29±0.23 ^a	78.30±1.55 ^a	15.54±0.87 ^d
B	1.24±0.15 ^a	70.20±2.14 ^b	18.43±0.67 ^c
C	1.17±0.25 ^a	76.80±1.65 ^a	16.15±0.86 ^{cd}
D	1.41±0.37 ^a	56.50±0.85 ^d	27.91±1.65 ^a
E	1.45±0.14 ^a	65.83±1.33 ^c	21.65±1.24 ^b
F	1.36±0.30 ^a	62.07±1.74 ^c	23.57±0.56 ^b

低场核磁峰面积 A_2 的大小可以反映样品中水分含量的高低,峰面积越大,相对应的水分含量越高。由表3可知,不同比例CaCl₂替代样品的 A_{21} 与对照组相比均显著降低($P<0.05$),对照组和C组样品的 A_{21} 峰面积最大,且它们之间没有显著差异($P>0.05$),表明这2组样品对不易流动水的保持能力相似;CaCl₂的添加会显著提高样品的 A_{22} 峰面积,即提高自由水含量,这可能是由于部分不易流动水转变成了自由水。

2.4 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠感官品质的影响

表4 KCl和CaCl₂部分替代NaCl对红肠感官品质的影响
Table 4 Effect of partial substitution of NaCl with KCl and CaCl₂ on the sensory quality of red sausage

组别	色泽	组织状态	口感	咸度	总体可接受性
A	9.14±0.09 ^a	8.95±0.14 ^a	9.07±0.12 ^a	9.08±0.26 ^a	9.04±0.11 ^a
B	8.96±0.14 ^a	7.24±0.12 ^b	7.45±0.26 ^b	7.86±0.11 ^b	7.43±0.21 ^b
C	9.09±0.05 ^a	9.01±0.04 ^a	8.99±0.34 ^a	9.08±0.15 ^a	9.09±0.14 ^a
D	8.96±0.17 ^a	6.01±0.17 ^d	6.84±0.27 ^c	7.52±0.21 ^c	6.54±0.14 ^d
E	9.05±0.10 ^a	6.41±0.15 ^c	7.41±0.36 ^b	7.88±0.12 ^b	7.14±0.06 ^c
F	8.98±0.11 ^a	6.62±0.16 ^c	7.48±0.11 ^b	7.70±0.21 ^{bc}	6.94±0.28 ^c

由表4可知,C组样品的各项感官指标评分及总体可接受性与对照组相比均没有显著差异($P<0.05$),而D组样品的组织状态、口感和总体可接受性评分均最低,且与其他实验组相比差异显著($P<0.05$)。曹峰等^[30]的研究表明,替代比例为0%~45%时,KCl对莱芜香肠感官品质的影响并不显著($P>0.05$),但当替代比例达到50%时,KCl会显著降低莱芜香肠的感官品质($P<0.05$)。

3 结论

在哈尔滨红肠加工过程中,用1.8%的NaCl和1.2%的KCl复合盐替代NaCl加入到肉糜中对红肠的理化特性及感官品质均无显著影响,但是添加CaCl₂会降低红肠的质构特性和感官品质。因此相比于CaCl₂,KCl是更好的钠盐替代物。将1.8%的NaCl和1.2%的KCl复合盐应用到红肠加工中,能够在保证产品品质的基础上切实降低红肠制品的钠含量,这为低钠红肠产品的生产提供了理论借鉴。

参考文献:

- [1] RUUSUNEN M, PUOLANNE E. Reducing sodium intake from meat products[J]. Meat Science, 2005, 70(3): 531-541. DOI:10.1016/j.meatsci.2004.07.016.
- [2] 郭秀云, 张雅玮, 彭增起. 食盐减控研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(21): 374-378.
- [3] ALINO M, GRAU R, TOLDRA F, et al. Physicochemical changes in dry-cured hams salted with potassium, calcium and magnesium chloride as a partial replacement for sodium chloride[J]. Meat Science, 2010, 86(2): 331-336. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.05.003.
- [4] 朱辉, 于荟. 低盐火腿中食盐替代品的研究进展[J]. 科技资讯, 2013(14): 226. DOI:10.3969/j.issn.1672-3791.2013.14.157.
- [5] 武彦文, 欧阳杰. 氨基酸和肽在食品中的呈味作用[J]. 中国调味品, 2001(1): 21-24. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2001.01.007.
- [6] MATULIS R J, MCKEITH F K, SUTHERLAND J W, et al. Sensory characteristics of Frankfurters as affected by salt, fat, soy protein, and carrageenan[J]. Journal of Food Science, 2010, 60(1): 48-54. DOI:10.1111/j.1365-2621.1995.tb05604.x.
- [7] TRIUS A, SEBRANEK J G, RUST R E, et al. Low-fat Bologna and Beaker sausage: effects of carrageenans and chloride salts[J]. Journal of Food Science, 2010, 59(5): 941-945. DOI:10.1111/j.1365-2621.1994.tb08163.x.
- [8] 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. DOI:10.1016/j.foodres.2014.09.002.
- [9] CORRAL S, SALVADOR A, FLORES M. Salt reduction in slow fermented sausages affects the generation of aroma active compounds[J]. Meat Science, 2013, 93(3): 776-785. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.11.040.
- [10] GOU P, GUERRERO L, GELABERT J, et al. Potassium chloride, potassium lactate and glycine as sodium chloride substitutes in fermented sausages and in dry-cured pork loin[J]. Meat Science, 1996, 42(1): 37-48. DOI:10.1016/0309-1740(95)00017-8.
- [11] SANTOS B A D, CAMPAGNOL P C B, CAVALCANTI R N, et al. Impact of sodium chloride replacement by salt substitutes on the proteolysis and rheological properties of dry fermented sausages[J]. Journal of Food Engineering, 2015, 151: 16-24. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2014.11.015.
- [12] 孔保华, 马丽珍. 肉品科学与技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003: 247-249.
- [13] 中国商业联合会商业标准中心, 国家加工食品质量监督检验中心(广州), 广州市产品质量监督检验所. GB/T 9695.5—2008 肉与肉制品 pH测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] ZHANG Xue, KONG Baohua, XIONG YoulingL. Production of cured meat color in nitrite-free Harbin red sausage by *Lactobacillus fermentum* fermentation[J]. Meat Science, 2007, 77(4): 593-598. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.05.010.
- [15] LIU Huaiwei, XIONG YoulingL, JIANG Lianzhou, et al. Fat reduction in emulsion sausage using an enzyme-modified potato starch[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008, 88(9): 1632-1637. DOI:10.1002/jsfa.3260.
- [16] ZHANG Mingcheng, LI Fangfei, DIAO Xingping, et al. Moisture migration, microstructure damage and protein structure changes in porcine *longissimus* muscle as influenced by multiple freeze-thaw cycles[J]. Meat Science, 2017, 133(4): 10-18. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.05.019.

- [17] GÖK V, OBUZ E, AKKAYA L. Effects of packaging method and storage time on the chemical, microbiological, and sensory properties of Turkish pastirma: a dry cured beef product[J]. *Meat Science*, 2008, 80(2): 335-344. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.12.017.
- [18] 刘骞. 肉制品中蛋白质的功能特性[J]. *肉类研究*, 2009, 23(12): 58-65.
- [19] 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. DOI:10.1016/S0309-1740(02)00288-7.
- [20] IBANEZ C, QUINTANILLA L, IRIGOYEN A, et al. Partial replacement of sodium chloride with potassium chloride in dry fermented sausages: influence on carbohydrate fermentation and the nitrosation process[J]. *Meat Science*, 1995, 40(1): 45-53. DOI:10.1016/0309-1740(94)00026-4.
- [21] 王路, 徐作政, 周燕子, 等. 氯化钙对艾草猪肉脯品质特性的影响[J]. *肉类研究*, 2013, 27(4): 32-35.
- [22] HORITA C N, MORGANO M A, CELEGHINI R M, 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 Science*, 2011, 89(4): 426-433. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.05.010.
- [23] WHITING R C, JENKINS R K. Partial substitution of sodium chloride by potassium chloride in frankfurter formulations[J]. *Journal of Food Quality*, 1981, 4(4): 259-269. DOI:10.1111/j.1745-4557.1981.tb00733.x.
- [24] 刘媛. 低钠盐对灌肠品质的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2015: 25-26.
- [25] LI Cunbao, LIU Dengyong, ZHOU Guanghong, et al. Meat quality and cooking attributes of thawed pork with different low field NMR T_{21} [J]. *Meat Science*, 2012, 92(2): 79-83. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.11.015.
- [26] TOMBERG E, WAHLGREN M, BRONDUM J, et al. Pre-rigor conditions in beef under varying temperature- and pH-falls studied with rigometer, NMR and NIR[J]. *Food Chemistry*, 2000, 69(4): 407-418. DOI:10.1016/S0308-8146(00)00053-4.
- [27] PEARCE K L, ROSENVOLD K, ANDERSEN H J, et al. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes: a review[J]. *Meat Science*, 2011, 89(2): 111-124. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.04.007.
- [28] MCDONNELL C K, MORIN C, LYG J G. The effect of ultrasonic salting on protein and water-protein interactions in meat[J]. *Food Chemistry*, 2014, 147(6): 245-251. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.09.125.
- [29] 姜晓文, 韩剑众. 生鲜猪肉持水性的核磁共振研究[J]. *食品工业科技*, 2009(7): 128-130.
- [30] 曹峰, 孟昭春, 关志炜, 等. 氯化钾部分替代氯化钠在莱芜香肠中的应用研究[J]. *食品工业*, 2014(9): 12-15.