



钠盐内注-外涂添加对减钠盐传统培根滋味的影响

杨冠华¹, 王 赛¹, 郜 娜¹, 任晶晶¹, 熊嘉皓¹, 马 飞^{1,2}, 陈从贵^{1,2,*}

(1.合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽 合肥 230601;

2.合肥工业大学农产品生物化工教育部工程研究中心, 安徽 合肥 230601)

摘 要: 基于培根的减盐化加工工艺, 在钠盐使用量1.5%水平下, 研究内注-外涂钠盐添加方式对减钠盐培根钠离子释放量、游离氨基酸含量、5'-呈味核苷酸含量、等效鲜味浓度及滋味感知的影响。结果表明: 内注-外涂添加方式可减少减钠盐培根烤制期间5'-呈味核苷酸的损失, 增加游离氨基酸的释放, 提高其等效鲜味浓度, 显著加快培根咀嚼过程早期钠离子的释放量 ($P < 0.05$), 显著增强咸味感 ($P < 0.05$); 且注射0.6%+表面涂盐0.9%组与注射2.5%钠盐组相比, 咸味和鲜味得分均无显著差异。由此可见, 钠盐内注-外涂的复合添加方法能够在保持培根咸味的情况下具有减少约40%钠盐含量的应用潜力。

关键词: 钠盐; 培根; 减钠盐; 滋味; 注射-外涂

Effect of Combined Injection and Coating of Sodium Salt on Taste of Reduced-Sodium Bacon

YANG Guanhua¹, WANG Sai¹, GAO Na¹, REN Jingjing¹, XIONG Jiahao¹, MA Fei^{1,2}, CHEN Conggui^{1,2,*}

(1.School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China;

2.Engineering Research Center of Bioprocess, Ministry of Education, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China)

Abstract: In order to reduce the sodium content of bacon products, the effects of combined sodium salt injection and coating on sodium release during chewing, free amino acid content, 5'-nucleotide content, equivalent umami concentration (EUC) and sensory attributes in reduced-sodium bacon were investigated at salt addition level of 1.5% in this study. The results showed that the combined method could reduce the degradation of 5'-nucleotides, increase the release of free amino acids and impart a high EUC to roasted bacon. The combination could also speed up the release of sodium ions from bacon in the early stage of chewing ($P < 0.05$), significantly enhancing the salty taste ($P < 0.05$). Moreover, there were no significantly difference in sensory scores for salty and umami taste between the 0.6% salt injection combined with 0.9% salt coating group and the 2.5% salt injection group. Consequently, the combined injection and coating of sodium salt has a potential application to reduce the sodium salt content by about 40% with maintaining the salty taste of low-salt bacon.

Keywords: sodium salt; bacon; reduced-sodium; taste; combination injection and coating

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210219-039

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2021) 05-0017-06

引文格式:

杨冠华, 王赛, 郜娜, 等. 钠盐内注-外涂添加对减钠盐传统培根滋味的影响[J]. 肉类研究, 2021, 35(5): 17-22.

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210219-039. <http://www.rlyj.net.cn>

YANG Guanhua, WANG Sai, GAO Na, et al. Effect of combined injection and coating of sodium salt on taste of reduced-sodium bacon[J]. Meat Research, 2021, 35(5): 17-22. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210219-039. <http://www.rlyj.net.cn>

培根是深受消费者青睐的一种西式传统肉制品, 但其钠盐含量普遍较高, 生培根的钠含量一般为715~1 570 mg/100 g (对应的氯化钠含量为

1.8%~4.0%)^[1], 烤制后钠含量会进一步增加^[2]。人类摄入过量的钠盐会增加患高血压、心血管等慢性疾病的风险^[3-6]。“健康中国2030”规划纲要中明确提出, 至2030

收稿日期: 2021-02-19

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2018YFD0401205)

第一作者简介: 杨冠华 (1996—) (ORCID: 0000-0002-0546-0589), 男, 硕士研究生, 研究方向为肉制品现代加工理论与方法。

E-mail: yanggh96@163.com

*通信作者简介: 陈从贵 (1963—) (ORCID: 0000-0001-7011-0406), 男, 教授, 硕士, 研究方向为肉制品加工及副产物综合利用。E-mail: chencgl629@hfut.edu.cn

年我国人均钠盐摄入量降低20%^[7]；培根的减盐已列入科技部“十三五”国家重点研发计划，开发减钠盐培根受到肉制品行业的重点关注。

目前的减盐策略主要有化学减盐、物理减盐、生理减盐3种^[8]。在食盐分布均匀的食品中，70%~95%的钠离子、氯离子不释放至唾液中，被食团包裹进入消化道，不能直接产生咸味^[9]。优化食品中的钠盐分布，将钠盐分布于食品表面，利于促进钠离子和氯离子在口腔中更多释放，可获得更强的咸味感^[8]；这种物理减盐策略已成功应用于面包^[10]、匹萨饼^[11]、香肠^[12]、薯条^[13]、干酪^[14]等产品。在肉制品的物理减盐研究方面，Xiong Yun等^[12]的研究表明，采用钠盐表面涂布策略，法兰克福香肠的钠含量可降低60%~81%，且其咸味并未出现显著降低；在Rios-Mera等^[15]的研究中，改变钠盐添加方式可以降低33%钠盐添加量，并保持牛肉饼咸味。在传统培根生产中，常用盐水注射作为钠盐添加方法，并结合真空滚揉腌制技术，以促进钠盐在肉组织中的均匀分布，这会对减钠盐培根的滋味产生不利影响^[16-17]。可见，如何发挥物理减盐和注射腌制在传统培根减钠盐加工中的技术优势值得探索。但是，将盐水注射和表面涂布有机融合的方法应用于培根的减钠盐加工，相关文献报道还很少。

本研究以传统培根为对象，在氯化钠添加总量1.5%的低盐水平下，探究钠盐内注-外涂添加方式对减钠盐培根咸味和鲜味品质的影响，并通过与钠盐添加总量2.5%培根的滋味比较评估内注-外涂钠盐添加方式对培根的减盐效果，为物理减盐策略在肉制品中的应用提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

猪五花肉 安徽合肥合家福超市；食盐（钠盐）中盐上海盐业有限公司；味精 河南莲花味精有限公司；白砂糖 南京甘汁园有限公司；烟熏液 济南华鲁食品公司；亚硝酸钠（食品级） 四川金山制药公司。

5'-腺苷二磷酸（5'-adenosine diphosphate, 5'-ADP）、5'-腺苷一磷酸（5'-adenosine monophosphate, 5'-AMP）、5'-肌酐一磷酸（5'-inosine monophosphate, 5'-IMP）、5'-鸟苷一磷酸（5'-guanosine monophosphate, 5'-GMP）、次黄嘌呤（hypoxanthine, Hx）、肌苷（inosine, I）标准品、三乙胺（色谱纯）、磷酸（色谱纯） 上海阿拉丁试剂公司；5'-黄苷一磷酸（5'-xanthosine monophosphate, 5'-XMP）标准品 上海源叶生物科技有限公司；17种氨基酸标准品 德国Sykam GmbH公司；其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

HBS-250L切片机 安徽华菱西厨装备有限公司；

TM-20真空滚揉机 美国Jarvis机械制造有限公司；LHS-250HC-I恒温恒湿箱 上海一恒科学仪器有限公司；SCIENTZ09均质机 宁波新芝生物科技股份有限公司；L-8900氨基酸全自动分析仪 日本日立公司；S6000高效液相色谱系统 华谱科技（香港）有限公司；LIS-146NACM钠电极 美国Lazar研究实验室公司；LD-T350高速粉碎机 上海顶帅电器有限公司；T1-108B电烤箱 广东美的厨房电器制造有限公司；FD-1A-50冷冻干燥机 北京博医康实验仪器有限公司。

1.3 方法

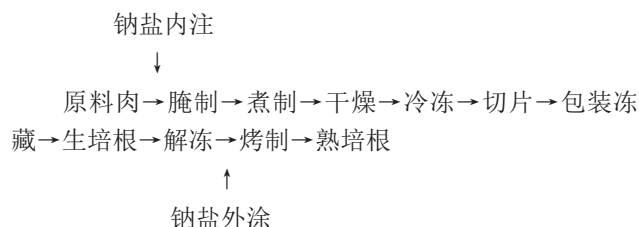
1.3.1 培根的制作

生培根制作：参考王琼等^[18]的方法，将五花肉去皮后，分割成块状（约150 mm×100 mm×30 mm，（250±50）g），按照肉质量的20%向肉块注射腌制液；放置在7℃低温操作间里间歇真空滚揉腌制8 h（每隔30 min滚揉30 min）后，4℃静腌24 h；接着75℃煮制1 h后，置于70℃、相对湿度50%条件下预干燥1 h；待冷却至室温后，转移至-18℃条件下冷冻12 h后，用切片机切片（每片长×宽×厚约为10 cm×5 cm×0.25 cm，（5.0±0.5）g），再包装、冷冻，得到片状生培根。腌制液中除氯化钠外，还添加1.0%白砂糖、0.1%谷氨酸钠、0.01%亚硝酸钠和0.6%烟熏液，均以肉质量计。

熟培根制作：参考周宇^[19]的方法，将制备的冷冻生培根片经低温（约4℃）解冻4~6 h后平摊于锡箔纸上，表面涂布剩余的钠盐，置于烤箱中（180±10）℃烤制6 min，随机取出一部分直接用于钠含量、钠离子释放率测定和感官评价，余下部分趁热装入真空包装袋，真空包装贮藏，用于呈味核苷酸和游离氨基酸含量测定。

1.3.2 钠盐内注与外涂的添加工艺流程

按照1.3.1节培根的制作方法，设计如下钠盐内注与外涂的添加工艺流程：



培根中钠盐添加方式设计为4组，如表1所示，钠盐通过注射方式在腌制期间进入培根内部，在培根切片后通过表面涂布方式富集在培根表面。在钠盐总添加量1.5%水平下，对注射钠盐1.5%（C1.5组）、注射钠盐0.9%+表面涂抹钠盐0.6%（H0.9+0.6组）、注射钠盐0.6%+表面涂抹钠盐0.9%（H0.6+0.9组）3组进行钠盐内注-外涂添加方式的比较研究；并通过与注射钠盐2.5%（C2.5组）的比较，探究减少40%钠盐添加量后，钠盐内注-外涂添加方式的减盐潜力。



为保证食盐涂抹的均匀性,对市售食盐进行干燥、研磨和筛分,取100目筛下、150目筛上的干燥食盐粉,用于生培根烤制前的表面涂抹。

表1 氯化钠添加方式

Table 1 Addition methods of sodium salt

添加量/%	C2.5组	C1.5组	H0.9+0.6组	H0.6+0.9组
注射	2.5	1.5	0.9	0.6
表面涂布			0.6	0.9
总量	2.5	1.5	1.5	1.5

1.3.3 钠含量测定

参考AOAC 976.25^[20]、Pan Qiong^[21]等方法,精确称取10.00 g生(熟)培根,装入25 cm×15 cm的聚乙烯均质袋(膜厚约0.2 mm)中,加入90 mL去离子水,用拍打均质机(每秒拍打12次)均质2 min,匀浆使用8层纱布过滤,用LIS-146NACM电极测定滤液,使用ArrowION 1.72软件(Lazar Research Laboratories, Inc.)直接得到钠含量。

1.3.4 钠离子释放量测定

称取10.00 g熟培根,切成5 cm×5 cm×0.2 cm的块状,装入15 cm×25 cm的均质袋(膜厚约0.2 mm)中,加入10 mL去离子水,按Konitzer等^[22]的方法建立模拟咀嚼体系,均质6、30、60 s(每秒拍打5次),模拟咀嚼过程中入口时、咀嚼中和吞咽前3个阶段钠离子的释放情况。均质结束后立即使用8层纱布过滤袋中内容物,滤液3 750×g离心10 min后,移取5 mL上清液,按照1.3.3节钠含量测定方法测定上清液钠含量,并以此钠含量表示相应咀嚼时间内培根的钠离子释放量。

1.3.5 5'-呈味核苷酸含量测定

参考杨波^[23]、Phat^[24]等方法测定生(熟)培根中5'-呈味核苷酸含量。

标准溶液的配制:精确称取Hx、I、5'-XMP、5'-IMP、5'-GMP、5'-AMP和5'-ADP标准品各10.0 mg,置于10 mL容量瓶中,用去离子水溶解并定容,制成1 mg/mL混合标准溶液。经梯度稀释成1、2、5、10、20、50 μg/mL标准溶液,备用。

样品前处理:取切碎后的生(熟)培根瘦肉部分,置于-18℃下冷冻,真空冷冻干燥去除培根样品中的水分;称取冷冻干燥后的培根样品1.00 g,加入体积分数5%高氯酸溶液20 mL,均质机10 000 r/min均质2次(每次20 s),接着10 000 r/min离心10 min,吸取上清液,并用2 mol/L NaOH溶液调节pH值至5.0,用去离子水定容至50 mL;移取1 mL用0.22 μm滤膜过滤,装入样品瓶中,待进样测定。

色谱条件: Hypersil GOLD AQ C₁₈色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm),柱温25℃,紫外检测波长254 nm,流动相A为pH 5.0的0.05 mol/L磷酸-三乙胺水溶

液,流动相B为无水甲醇,流动相A、B体积比98:2,流速0.8 mL/min,运行时间45 min。流动相用0.45 μm滤膜过滤,超声脱气30 min后使用。

以5'-呈味核苷酸标准溶液质量浓度为横坐标(x),峰面积为纵坐标(y)进行线性回归,回归方程为 $y=kx$,式中, k 为斜率,ADP、AMP、IMP、XMP、GMP、I和Hx回归方程的 k 分别为31.479 6、35.849 1、23.899 2、23.097 7、36.315 4、46.244 1和86.406 9,各回归方程的相关系数 R^2 均大于0.999 8。

1.3.6 游离氨基酸含量测定

参照Zhou Yu等^[25]方法,取生培根、熟培根的瘦肉部分,切碎后置于-18℃冷冻,真空冷冻干燥去除培根瘦肉样品中的水分;精确称取冷冻干燥后培根瘦肉样品0.10 g,加入5 mL 4 g/100 mL磺基水杨酸溶液,超声浸提30 min,静置10 min后,12 000 r/min离心40 min,移取1 mL上清液,用0.22 μm滤膜过滤,取滤液装入样品瓶,使用氨基酸全自动分析仪测定17种氨基酸含量。

1.3.7 等效鲜味浓度(equivalent umami concentration, EUC)的计算

EUC是评价鲜味氨基酸和核苷酸协同增鲜效果的指标。按照Yamaguchi等^[26]方法,EUC按下式计算。

$$EUC/(g/100g) = \sum a_i b_i + 1.218 \times (\sum a_i b_i) \times (\sum a_i b_i)$$

式中: a_i 为鲜味氨基酸含量/(g/100 g), b_i 为鲜味氨基酸相对于谷氨酸钠的相对鲜味系数,其中天冬氨酸为0.077,谷氨酸为1.000; a_j 为呈味核苷酸含量/(g/100 g), b_j 为呈味核苷酸相对于5'-IMP的相对鲜味系数,其中5'-AMP为0.18,5'-IMP为1.00,5'-XMP为0.61,5'-GMP为2.30。

1.3.8 感官评价

参考Saint-Denis^[27]、Radovčić^[28]等方法进行感官评价。从食品专业研究生中筛选出10名具有肉制品感官评价经验的评价者,成立感官评价小组。评价者口腔健康,味觉、嗅觉灵敏,年龄22~35岁。为缩小不同评价者之间的个体差异,对评价者进行4次培训。

表2 感官评价表

Table 2 Criteria for sensory evaluation of reduced-salt bacon

评分	颜色	气味	咸味	鲜味
7~9	培根瘦肉颜色呈深红色(颜色与市售培根相当,可得8分)	有浓郁烟熏香味和培根香味(气味与市售培根相当,可得8分)	有强咸味感(咸味相当于1.1 g/100 mL氯化钠溶液可得8分)	有强鲜味感(鲜味相当于0.6 g/100 mL味精溶液可得8分)
4~6	培根瘦肉颜色呈浅红色	有较浓郁烟熏香味和培根香味	有较强咸味感(咸味相当于0.9 g/100 mL氯化钠溶液可得5分)	有较强鲜味感(鲜味相当于0.3 g/100 mL味精溶液可得5分)
1~3	培根瘦肉颜色呈棕色	有淡烟熏香味和培根香味	有较弱咸味感(咸味相当于0.6 g/100 mL氯化钠溶液可得2分)	有较弱鲜味感(鲜味相当于0.1 g/100 mL味精溶液可得2分)

感官评分满分为9分,评价过程实行双盲,在室温(26±2)℃下进行,熟培根随机摆放在数字编码的样

品盘中,置于50℃电热板上保温。评价者评价过程无交流,在2个样品评价间隔中要求用清水漱口,并休息不少于1 min,每次感官评价总时间不超过30 min。评价标准如表2所示。

1.4 数据处理

每个样品至少平行测定3次。数据分析采用SPSS 25.0软件(IBM公司),结果表示为平均值±标准差,组间显著性检验采用Duncan's多重比较法, $P<0.05$ 为差异显著。采用Origin 2016软件(Origin Lab公司)对数据进行绘图分析。

2 结果与分析

2.1 钠盐内注-外涂对培根烤制前后钠含量的影响

表3 培根烤制前后的钠含量
Table 3 Sodium content of bacon before and after roasting

组别	mg/100 g			
	C2.5组	C1.5组	H0.9+0.6组	H0.6+0.9组
生培根(烤制前)	693.0±48.4 ^a	495.5±34.0 ^b	522.6±15.8 ^b	496.7±13.3 ^b
熟培根(烤制后)	1 135.6±132.5 ^a	730.0±14.9 ^b	859.5±29.7 ^b	722.6±38.2 ^b

注:同行小写字母不同,表示差异显著($P<0.05$)。表4~7同。

由表3可知,在钠盐添加量1.5%条件下,C1.5、H0.9+0.6和H0.6+0.9组生培根中的钠含量为495.5~522.6 mg/100 g,而烤制后,熟培根中钠含量升至722.6~859.5 mg/100 g,但烤制前或烤制后,C1.5、H0.9+0.6和H0.6+0.9组培根之间的钠含量均无显著差异。可见,与传统的注射添加方式相比,钠盐内注-外涂添加方法对生培根或熟培根中的钠含量均无显著影响。

2.2 钠盐内注-外涂对培根中钠离子释放量的影响

表4 模拟咀嚼条件下培根中钠离子的释放量
Table 4 Release of sodium ions from bacon during simulated chewing

咀嚼时间/s	C2.5组	C1.5组	H0.9+0.6组	H0.6+0.9组
6(咀嚼初期)	349±31 ^a	196±17 ^c	232±8 ^c	290±36 ^b
30(咀嚼中期)	719±31 ^a	339±4 ^d	425±34 ^c	493±52 ^b
60(咀嚼末期)	766±53 ^a	450±34 ^b	603±127 ^b	585±78 ^b

咸味的强弱与口腔中Na⁺的释放速率有关,Na⁺释放速率越高,人体感知的咸味越强^[9]。由表4可知:在钠盐添加量1.5%条件下,模拟咀嚼6 s时,与C1.5组相比,H0.9+0.6和H0.6+0.9组均表现出较高的钠离子释放量,且H0.6+0.9组的钠离子释放量显著增高($P<0.05$);模拟咀嚼30 s时,不仅H0.9+0.6组和H0.6+0.9组的钠离子释放量均显著高于C1.5组($P<0.05$),而且H0.6+0.9组显著高于H0.9+0.6组($P<0.05$);模拟咀嚼60 s时,3种钠盐添加方式的培根中钠离子释放量无显著差异。这一现象的原因可能在于:涂布于培根表面上的钠盐含量

与咀嚼过程中的钠离子释放量呈相关性;而注射于培根内部的钠盐受蛋白质及内部分子作用力的束缚,其释放受到抑制^[29]。内注-外涂添加方式可在培根表面形成钠盐富集,显著提高了培根在咀嚼早期和中期的钠离子释放速率,有利于改善减钠盐培根的咸味感。

2.3 钠盐内注-外涂对培根烤制前后5'-核苷酸含量的影响

表5 培根烤制前后5'-核苷酸含量变化(以干质量计)
Table 5 5'-Nucleotide content of bacon before and after roasting (based on dry mass)

核苷酸	mg/100 g			
	烤制前		烤制后	
	C2.5组	C1.5组	H0.9+0.6组	H0.6+0.9组
5'-ADP	6.0±0.1 ^a	4.6±0.3 ^c	5.1±0.3 ^{bc}	5.3±0.7 ^b
5'-AMP	32.5±3.9 ^b	36.6±0.3 ^a	35.6±1.1 ^a	31.0±2.4 ^b
5'-IMP	264.2±0.9 ^a	262.3±3.1 ^a	257.9±1.2 ^b	182.4±1.5 ^c
5'-XMP	6.0±1.0 ^f	5.0±0.5 ^d	6.9±0.2 ^d	9.1±1.0 ^f
5'-GMP	3.7±0.2 ^{ab}	3.1±0.2 ^b	4.4±0.1 ^a	3.3±1.1 ^b
I	124.8±1.2 ^{bc}	120.8±2.0 ^f	128.9±4.1 ^b	160.6±8.9 ^a
Hx	24.6±1.5 ^c	22.2±0.3 ^d	33.9±0.8 ^a	29.1±0.6 ^b
呈味核苷酸	306.5±4.1 ^a	307.0±3.1 ^a	304.7±2.1 ^a	225.8±3.5 ^b
核苷酸降解物	149.4±1.5 ^c	142.9±1.8 ^d	162.8±4.2 ^b	189.7±9.5 ^a
总计	461.8±4.8 ^a	454.5±3.6 ^a	472.6±4.0 ^a	420.8±6.5 ^b

注:呈味核苷酸包括5'-AMP、5'-IMP、5'-XMP和5'-GMP;核苷酸降解物包括I和Hx。

5'-AMP、5'-IMP、5'-XMP和5'-GMP是肉制品中主要的呈味核苷酸^[30],其中的5'-IMP呈鲜味。由表5可知,烤制前的H0.9+0.6和H0.6+0.9组,其5'-IMP生成量均低于C1.5组,其原因可能在于:减少钠盐的注射量会促进5'-IMP氧化降解成5'-XMP、5'-GMP等,并进一步生成呈苦味的I和Hx,从而减少了5'-IMP含量。鲜味核苷酸5'-IMP既可以降解成Hx和I,也会在酶系的作用下转化为5'-XMP、5'-GMP^[31];而且,烤制过程会促进5'-IMP的进一步降解和氧化^[32]。本研究结果也反映出烤制后各组培根5'-IMP含量的降低,但H0.9+0.6和H0.6+0.9组5'-IMP下降量分别为39.0、10.2 mg/100 g,远低于C1.5组的77.0 mg/100 g,且H0.9+0.6组培根的5'-IMP含量显著高于其他实验组,甚至高于C2.5组。可见,内注-外涂添加方式会降低培根烤制过程中5'-IMP的降解程度,有利于保留鲜味核苷酸,并减少苦味降解产物I和Hx的生成。考虑到钠盐添加方式对生培根5'-核苷酸的影响以及烤制过程的降解氧化变化,选择合适的注射-外涂水平可以提高减钠盐培根的鲜味核苷酸含量。

2.4 钠盐内注-外涂对培根烤制前后游离氨基酸含量的影响

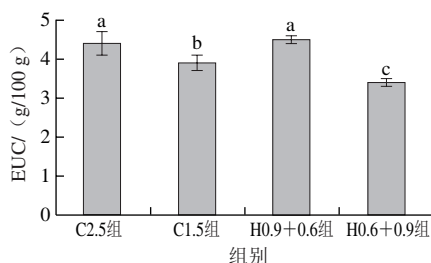
游离氨基酸是肉制品重要的滋味来源之一,根据其呈味特性,将检测的17种氨基酸分成鲜味氨基酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸和无味氨基酸4类^[33]。热加工会促进生培根蛋白质水解,促进游离氨基酸的生成^[34]。

表 6 培根烤制前后游离氨基酸含量变化 (以干质量计)
Table 6 Free amino acid contents of bacon before and after roasting
(based on dry mass)

游离氨基酸	烤制前				烤制后			
	C2.5组	C1.5组	H0.9+0.6组	H0.6+0.9组	C2.5组	C1.5组	H0.9+0.6组	H0.6+0.9组
鲜味氨基酸								
天冬氨酸	0.3±0.0 ^a	0.2±0.0 ^b	0.2±0.0 ^b	0.2±0.0 ^b	0.4±0.0 ^a	0.2±0.0 ^b	0.3±0.0 ^b	0.4±0.0 ^a
谷氨酸	45.9±0.4 ^a	42.7±2.2 ^b	40.0±0.7 ^c	43.3±0.7 ^b	62.0±4.8 ^a	58.5±1.6 ^b	58.9±2.0 ^b	57.4±1.6 ^b
小计	46.2±0.4 ^a	42.9±2.3 ^b	40.2±0.7 ^c	43.6±0.7 ^b	62.4±4.8 ^a	58.8±1.6 ^b	59.2±2.1 ^b	57.8±1.6 ^b
甜味氨基酸								
丙氨酸	7.3±0.1 ^b	7.8±0.4 ^a	7.5±0.1 ^b	6.0±0.1 ^c	11.4±0.4 ^a	9.7±0.2 ^b	11.0±0.2 ^a	8.6±0.6 ^c
甘氨酸	3.0±0.0 ^b	3.2±0.2 ^a	3.0±0.0 ^b	2.4±0.1 ^c	4.7±0.2 ^a	3.9±0.1 ^b	4.4±0.1 ^a	3.4±0.2 ^c
脯氨酸	3.3±0.3 ^b	2.8±0.2 ^a	3.3±0.2 ^b	3.5±0.3 ^a	4.9±0.8 ^a	4.5±1.0 ^a	4.9±0.2 ^a	4.8±0.2 ^a
丝氨酸	1.3±0.0 ^a	1.3±0.1 ^a	1.3±0.0 ^a	1.3±0.0 ^a	1.9±0.1 ^a	1.5±0.0 ^b	1.9±0.0 ^b	1.8±0.1 ^b
苏氨酸	1.2±0.0 ^b	4.3±0.3 ^a	4.2±0.1 ^a	1.3±0.0 ^b	1.9±0.1 ^b	1.6±0.0 ^b	1.8±0.0 ^b	2.2±0.5 ^a
小计	16.1±0.4 ^b	19.4±0.9 ^a	19.2±0.2 ^a	14.5±0.2 ^b	24.9±0.7 ^a	21.2±0.7 ^b	24.0±0.3 ^a	20.8±1.4 ^b
苦味氨基酸								
精氨酸	1.4±0.0 ^a	1.5±0.1 ^a	1.3±0.0 ^b	1.4±0.0 ^b	2.3±0.1 ^a	1.7±0.0 ^b	2.0±0.0 ^b	1.9±0.2 ^b
组氨酸	1.0±0.2 ^a	1.1±0.0 ^a	1.0±0.1 ^a	0.9±0.1 ^a	1.7±0.2 ^a	1.4±0.0 ^b	1.8±0.1 ^a	1.3±0.0 ^b
亮氨酸	1.5±0.0 ^a	1.3±0.1 ^b	1.3±0.0 ^b	1.3±0.0 ^b	2.2±0.1 ^b	1.9±0.1 ^b	2.3±0.6 ^a	1.7±0.1 ^b
异亮氨酸	2.7±0.0 ^a	2.4±0.1 ^b	2.4±0.0 ^b	2.5±0.0 ^b	4.0±0.2 ^a	3.4±0.1 ^b	3.6±0.1 ^b	3.4±0.2 ^b
甲硫氨酸	1.1±0.0 ^b	1.0±0.0 ^b	1.0±0.0 ^b	1.1±0.0 ^a	1.4±0.0 ^a	1.4±0.0 ^a	1.7±0.4 ^a	1.4±0.1 ^a
苯丙氨酸	2.9±0.4 ^a	2.4±0.3 ^a	2.4±0.4 ^a	2.9±0.4 ^a	4.2±0.8 ^b	3.4±0.1 ^b	4.5±0.2 ^a	3.5±0.5 ^b
缬氨酸	2.5±0.0 ^a	2.1±0.1 ^c	2.3±0.0 ^b	2.2±0.0 ^b	3.7±0.1 ^a	3.4±0.1 ^b	3.6±0.1 ^b	2.9±0.2 ^c
小计	13.1±0.6 ^a	11.8±0.1 ^b	11.8±0.7 ^b	12.3±0.3 ^b	19.6±1.5 ^a	16.4±0.3 ^b	19.5±1.2 ^a	16.1±0.4 ^b
无味氨基酸								
半胱氨酸	0.8±0.0 ^a	0.8±0.0 ^a	0.8±0.0 ^a	0.8±0.0 ^a	1.2±0.1 ^a	1.1±0.0 ^b	1.2±0.1 ^a	1.1±0.0 ^b
赖氨酸	1.8±0.4 ^a	1.9±0.2 ^a	1.9±0.3 ^a	1.7±0.4 ^a	3.2±0.6 ^a	2.0±0.0 ^b	3.3±0.1 ^a	2.4±0.3 ^b
酪氨酸	2.3±0.1 ^a	1.9±0.0 ^b	2.0±0.1 ^b	2.2±0.1 ^a	3.3±0.2 ^a	2.9±0.1 ^b	3.3±0.1 ^a	2.9±0.1 ^b
小计	4.9±0.4 ^a	4.6±0.2 ^a	4.6±0.4 ^a	4.8±0.4 ^a	7.6±0.8 ^a	6.0±0.1 ^b	7.8±0.2 ^a	6.3±0.2 ^b
总游离氨基酸	80.3±1.0 ^a	78.7±3.0 ^b	75.9±1.7 ^b	75.1±0.8 ^b	114.6±7.5 ^a	102.5±1.7 ^b	110.5±1.8 ^a	101.1±2.9 ^b

由表6可知:烤制前,在钠盐添加水平1.5%下,内注-外涂添加方式抑制甜味氨基酸的生成,同时促进苦味氨基酸、无味氨基酸的生成,对鲜味氨基酸天冬氨酸无显著影响;而烤制后,H0.9+0.6组和H0.6+0.9组的总游离氨基酸含量较烤制前分别增加34.6、26.0 mg/100 g,均高于相同钠盐添加水平的C1.5组(23.8 mg/100 g),说明内注-外涂添加方式较单一注射方式更利于促进培根烤制过程中游离氨基酸的生成。此外,对于烤制后培根的鲜味氨基酸来说,4个处理组之间无显著差异,而H0.9+0.6组烤制后的甜味氨基酸、苦味氨基酸和无味氨基酸含量均显著高于C1.5组和H0.6+0.9组($P<0.05$),且与C2.5组无显著差异。

2.5 钠盐内注-外涂对培根烤制后EUC的影响



小写字母不同,表示差异显著($P<0.05$)。

图 1 培根烤制后EUC

Fig. 1 EUC of bacon after roasting

EUC反映了熟培根中鲜味核苷酸和氨基酸之间的协同增鲜效果,其数值大小与熟培根中鲜味氨基酸和鲜味核苷酸的含量有关。由图1可知,内注-外涂添加方式中表面涂盐添加量对培根的鲜味有显著影响,H0.9+0.6组熟培根的EUC显著高于C1.5组和H0.6+0.9组($P<0.05$)。尽管内注-外涂添加对熟培根中鲜味氨基酸含量无显著影响(表6),但不同内注-外涂添加水平对熟培根中5'-IMP的含量产生了显著影响(表5)。可见,选择合适的注射-涂盐水平可实现更好的鲜味强度。

2.6 钠盐内注-外涂对培根感官品质的影响

表 7 培根感官评价结果
Table 7 Results of sensory evaluation of bacon

感官评分	C2.5组	C1.5组	H0.9+0.6组	H0.6+0.9组
颜色	8.1±0.4 ^a	5.1±0.6 ^b	5.9±1.0 ^b	5.6±0.7 ^b
气味	7.6±0.5 ^a	7.1±1.4 ^{ab}	6.6±0.7 ^{ab}	6.4±1.2 ^b
咸味	8.8±0.5 ^a	5.9±1.1 ^c	7.9±0.4 ^b	8.0±0.8 ^{ab}
鲜味	7.1±1.0 ^a	7.0±1.3 ^a	6.6±1.2 ^a	6.5±1.3 ^a

由表7可知,在1.5%钠盐添加水平下,与C1.5组相比,内注-外涂的H0.9+0.6组和H0.6+0.9组培根颜色、气味和鲜味评分均无显著变化,咸味评分均显著高于C1.5组($P<0.05$),且H0.6+0.9组与C2.5组咸味相当,这与咀嚼早期的钠离子快速释放结果(表4)一致。Xiong Yun等^[12]的研究表明,在法兰克福香肠中,合适的钠盐涂布量可在较低盐含量下获得较高的咸味。而选择合适的钠盐内注-外涂添加水平(H0.6+0.9组),可以显著增强减钠盐培根的咸味感知。

3 结论

在1.5%的低钠盐添加水平下,采用内注-外涂的钠盐添加方式,可通过降低培根烤制过程中5'-IMP的降解程度、减少苦味降解产物I和Hx的生成、促进培根中游离氨基酸的生成以及钠离子的早期快速释放,改善减钠盐培根的鲜味感和咸味感;而且减钠盐培根在钠盐注射量0.9%和表面涂盐量0.6%时(H0.9+0.6组)显示出较高的鲜味物质生成量,在钠盐注射量0.6%和表面涂盐量0.9%时(H0.6+0.9组)显示出与2.5%钠盐添加量产品近似的咸味感,具有减少约40%钠盐含量的应用潜力。

参考文献:

- [1] PRETORIUS B, SCHONFELDT H C. The contribution of processed pork meat products to total salt intake in the diet[J]. Food Chemistry, 2016, 238: 139-145. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.11.078.
- [2] RUUSUNEN M, PUOLANNE E. Reducing sodium intake from meat products[J]. Meat Science, 2004, 70(3): 531-541. DOI:10.1016/j.meatsci.2004.07.016.
- [3] SHARIF K, AMITAL H, SHOENFELD Y. The role of dietary sodium in autoimmune diseases: the salty truth[J]. Autoimmunity Reviews, 2018, 17(11): 1069-1073. DOI:10.1016/j.autrev.2018.05.007.

- [4] BROWN I J, TZOULAKI I, CANDEIAS V, et al. Salt intakes around the world: implications for public health[J]. *International Journal of Epidemiology*, 2009, 38(3): 791-813. DOI:10.1093/ije/dyp139.
- [5] TRIEU K, NEAL B, HAWKES C, et al. Salt reduction initiatives around the world: a systematic review of progress towards the global target[J]. *PLoS One*, 2015, 10(7): e0130247. DOI:10.1371/journal.pone.0130247.
- [6] WEBSTER J L, DUNFORD E K, HAWKES C, et al. Salt reduction initiatives around the world[J]. *Journal of Hypertension*, 2011, 29(6): 1043-1050. DOI:10.1097/HJH.0b013e328345ed83.
- [7] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 对十三届全国人大二次会议第6133号建议的答复[EB/OL]. (2020-07-13) [2020-12-30]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/jianyi/202007/e5b57efa76da460da25c18c1ec29155c.shtml>.
- [8] BUSCH J L H C, YONG F Y S, GOH S M. Sodium reduction: optimizing product composition and structure towards increasing saltiness perception[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2013, 29(1): 21-34. DOI:10.1016/j.tifs.2012.08.005.
- [9] QUILAQUEO M, DUISER L, AGUILERA J M. The morphology of salt crystals affects the perception of saltiness[J]. *Food Research International*, 2015, 76: 675-681. DOI:10.1016/j.foodres.2015.07.004.
- [10] NOORT M W J, BULT J H F, STIEGER M, et al. Saltiness enhancement in bread by inhomogeneous spatial distribution of sodium chloride[J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 52(3): 378-386. DOI:10.1016/j.jcs.2010.06.018.
- [11] MUELLER E, KOEHLER P, SCHERF K A. Applicability of salt reduction strategies in pizza crust[J]. *Food Chemistry*, 2016, 192: 1116-1123. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.07.066.
- [12] XIONG Yun, DENG Borui, WARNER R D, et al. Reducing salt content in beef frankfurter by edible coating to achieve inhomogeneous salt distribution[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2020, 55(8): 2911-2919. DOI:10.1111/ijfs.14552.
- [13] RODRIGUES D M, DE SOUZA V R, MENDES J F, et al. Microparticulated salts mix: an alternative to reducing sodium in shoestring potatoes[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 69: 390-399. DOI:10.1016/j.lwt.2016.01.056.
- [14] YUCEL U, PETERSON D G. Effect of protein-lipid-salt interactions on sodium availability in the mouth and consequent perception of saltiness: in solutions[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(34): 7487-7493. DOI:10.1021/acs.jafc.5b02312.
- [15] RIOS-MERA J D, SALDAÑA E, CRUZADO-BRAVO M L M, et al. Reducing the sodium content without modifying the quality of beef burgers by adding micronized salt[J]. *Food Research International*, 2019, 121: 288-295. DOI:10.1016/j.foodres.2019.03.044.
- [16] INGUGLIA E S, ZHANG Z, TIWARI B K, et al. Salt reduction strategies in processed meat products: a review[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2017, 59: 70-78. DOI:10.1016/j.tifs.2016.10.016.
- [17] LEE H C, CHIN K B. Evaluation of various salt levels and different dairy proteins in combination with microbial transglutaminase on the quality characteristics of restructured pork ham[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2011, 46(7): 1522-1528. DOI:10.1111/j.1365-2621.2011.02654.x.
- [18] 王琼, 李聪, 高磊峰, 等. 不同类型烟熏香精对西式培根风味的影响[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(7): 220-230. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.032.
- [19] 周宇. 钾钙复配盐与超声波对低钠盐培根风味的影响研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2020: 26-67. DOI:10.27101/d.cnki.ghfgu.2020.000245.
- [20] Association of Official Analytical Chemists. AOAC official method 976.25: sodium in foods for special dietary use ion selective electrode method first action 1976 revised 1977[S]. America: Association of Official Analytical Chemists, 2006.
- [21] PAN Qiong, YANG Guanhua, WANG Yu, et al. Application of ultrasound-assisted and tumbling dry-curing techniques for reduced-sodium bacon[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, 44(8): e14607. DOI:10.1111/jfpp.14607.
- [22] KONITZER K, PFLAUM T, OLIVEIRA P, et al. Kinetics of sodium release from wheat bread crumb as affected by sodium distribution[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(45): 10659-10669. DOI:10.1021/jf404458v.
- [23] 杨波. 鲜辣休闲禽肉制品加工工艺及工艺条件下三磷酸腺苷降解规律研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010: 17-22.
- [24] PHAT C, MOON B K, LEE C. Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system[J]. *Food Chemistry*, 2016, 192: 1068-1077. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.07.113.
- [25] ZHOU Yu, WANG Yu, PAN Qiong, et al. Effect of salt mixture on flavor of reduced-sodium restructured bacon with ultrasound treatment[J]. *Food Science and Nutrition*, 2020, 8(7): 3857-3871. DOI:10.1002/fsn3.1679.
- [26] YAMAGUCHI S, YOSHIKAWA T, IKEDA S, et al. Measurement of the relative taste intensity of some *L*- α -amino acids and 5'-nucleotides[J]. *Journal of Food Science*, 1971, 36: 846-849. DOI:10.1111/j.1365-2621.1971.tb15541.x.
- [27] SAINT-DENIS C Y. Consumer and sensory evaluation techniques: how to sense successful products[M]. New York: John Wiley & Sons Ltd., 2018: 33-61. DOI:10.1002/9781119405559.ch2.
- [28] RADOVČIĆ N M, VIDAČEK S, JANČI T, et al. Characterization of volatile compounds, physico-chemical and sensory characteristics of smoked dry-cured ham[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 53(11): 4093-4105. DOI:10.1007/s13197-016-2418-2.
- [29] MOSCA A C, ANDRIOT I, GUICHARD E, et al. Binding of Na⁺ ions to proteins: effect on taste perception[J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 51: 33-40. DOI:10.1016/j.foodhyd.2015.05.003.
- [30] NGAPO T M, VACHON L. Umami and related components in "chilled" pork for the Japanese market[J]. *Meat Science*, 2016, 121: 365-374. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.05.005.
- [31] HUANG Zengwen, ZHANG Juan, GU Yaling, et al. Research progress on inosine monophosphate deposition mechanism in chicken muscle[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020: 1-17. DOI:10.1080/10408398.2020.1833832.
- [32] ZHAO Yonggan, ZHANG Min, DEVAHASTIN S, et al. Progresses on processing methods of umami substances: a review[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2019, 93: 125-135. DOI:10.1016/j.tifs.2019.09.012.
- [33] LIU Dengyong, LI Shengjie, WANG Nan, et al. Evolution of taste compounds of Dezhou-braised chicken during cooking evaluated by chemical analysis and an electronic tongue system[J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(5): 1076-1082. DOI:10.1111/1750-3841.13693.
- [34] GHIRRI A, BIGNETTI E. Occurrence and role of umami molecules in foods[J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2012, 63(7): 871-881. DOI:10.3109/09637486.2012.676028.