

KCl部分替代NaCl对干腌火腿工艺过程中蛋白质水解的影响

黎良浩,王永丽,唐静,王健,吴海舟,杨蓉蓉,章建浩*

(国家肉品质量与安全控制工程技术研究中心,农业部畜产品加工与质量控制重点开放实验室,江苏省食品安全与营养协同创新中心,南京农业大学食品科技学院,江苏南京 210095)

摘要:为了降低干腌火腿钠含量,应用40% KCl替代NaCl对火腿原料进行腌制,采用强化高温成熟现代工艺制备干腌火腿,分析加工过程中火腿股二头肌盐分含量、水分含量、pH、蛋白水解指数、肽氮和氨态氮含量,研究KCl替代对火腿加工过程中组织蛋白酶B和L潜在酶活力变化的影响。结果表明:40% KCl替代NaCl对火腿中组织蛋白酶B和L潜在酶活力变化无显著影响($p>0.05$),风干成熟产品理化指标、蛋白水解指数、肽氮和氨态氮含量等无显著差异($p>0.05$),说明采用40% KCl替代NaCl对干腌火腿的蛋白质降解过程无显著影响($p>0.05$)。

关键词:火腿,KCl替代,蛋白质水解,组织蛋白酶

Influence of partial replacement of NaCl with KCl on proteolysis during processing of dry-cured hams

LI Liang-hao, WANG Yong-li, TANG Jing, WANG Jian, WU Hai-zhou, YANG Rong-rong, ZHANG Jian-hao*

(National Central of Meat Quality and Safety Control, Key Laboratory of Agricultural and Animal Products Processing and Quality Control, Ministry of Agriculture, Synergetic Innovation Center of Food Safety and Nutrition, College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In order to reduce the sodium-content of dry-cured hams, all hams were produced with modified high temperature mature processing technology and NaCl was replaced by 40% KCl when they were salted. A comparative study was carried out to study the effect of the two salts on salt content, moisture content, pH value, proteolysis index, peptide nitrogen (PeN) and ammonia nitrogen (AN) content, cathepsin (B and L) potential activities of *biceps femoris* during processing. The results showed that there was no significant difference ($p>0.05$) with cathepsin (B and L) potential activities of *biceps femoris* when 40% NaCl was replaced by KCl. So did physical and chemical indicators, proteolysis index, PeN and AN content of the two final products at the end of the processing ($p>0.05$). Results also showed that it had no significant impact ($p>0.05$) on proteolysis of dry-cured ham when 40% NaCl was replaced by KCl.

Key words: ham; KCl replacement; proteolysis; cathepsin

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)18-0103-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.18.012

以金华火腿为代表的中国传统火腿因其色泽鲜亮,滋味丰富、风味美好而广受国内外消费者喜爱。但传统火腿因其加工周期长(8~10个月),产品质量不稳定、盐分含量高(8%~12%)的缺点限制了其消费规模。国内章建浩等^[1-2]利用人工气候调节系统成功地将干腌火腿的加工周期缩短到了80 d,获得了质量稳定、感官品质达到传统火腿标准的现代工艺产品。

火腿因其独特的加工特点及保藏需要,食盐的

使用量很高,然而,有医学研究表明饮食高钠与心血管疾病的发生呈正相关性^[3]。国内外学者为降低肉制品中氯化钠含量已开展较多研究,主要是通过降低加工肉制品中氯化钠添加量和用其他盐(KCl、MgCl₂、CaCl₂)部分替代氯化钠来实现。Alino等^[4]用KCl、CaCl₂和MgCl₂部分代替NaCl,Guardia等^[5]用KCl与乳酸钾混合物替代发酵香肠中50%的NaCl,发现可显著降低产品钠离子含量且产品品质无显著影响。吴海舟等^[6]

收稿日期:2015-02-05

作者简介:黎良浩(1989-),男,硕士研究生,研究方向:畜产品加工与质量控制,E-mail: lilh2014@126.com。

* 通讯作者:章建浩(1961-),男,博士,教授,研究方向:畜产品加工与质量控制,E-mail: nau_zjh@njau.edu.cn。

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD28B01);国家公益性行业(农业)科研专项(201303082-2);江苏省苏北科技发展计划项目(BC2013415)。

以猪后腿肉为原料制作培根,添加20%~60%的KCl部分替代NaCl研究其对蛋白质降解及产品感官品质的影响,得出最佳替代比例为40%。以上研究表明用KCl来部分替代NaCl降低干腌肉制品中钠离子含量是一种最可行的方法^[7-10]。

由于NaCl与火腿中蛋白质的降解变化紧密相关^[11],因此KCl的使用可能会对蛋白质的降解过程产生影响。目前,国内对使用KCl来部分替代NaCl进行火腿腌制加工的研究尚待完善,KCl的使用对蛋白质降解过程的影响还有待明确。本文采用40%的KCl替代NaCl对火腿进行腌制,采用强化高温风干成熟新工艺来加工火腿,研究了食盐替代对火腿加工过程中的蛋白质降解规律的影响,为开发低钠新工艺火腿提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

猪后腿(肥膘适中、重量在(15±0.5) kg,经火腿师傅修割成型) 江苏省长寿集团提供;氯化钾(食品级) 连云港树人科创食品添加剂有限公司;食盐 南京市售;Z-Arg-Arg-AMC、Z-Phe-Arg-AMC(≥98%)、AMC、EDTA、Triton X-100、DTT 美国Sigma公司;Brij 35 北京拜尔迪公司;硝酸银、硫氰酸钾、磺基水杨酸、茚三酮、亮氨酸氯化钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠等试剂 均为国产分析纯。

IKA-ULTEA-TURRAX18型Basic分散机 德国IKA公司;Beckman Allegra 64R型高速冷冻离心机 美国Beckman Coulter公司;JA2203N型电子天平 上海民桥精密科学仪器有限公司;UV-2600型紫外分光光度计 日本岛津公司;M2e型多功能酶标仪 美国MD公司;96孔酶标板 Costar公司;2300型KjeltecTM自动凯氏定氮仪 丹麦Foss公司;101-O-S型电热恒温鼓风干燥箱 上海跃进医疗器械厂;JYL-C020九阳料理机 九阳股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程及取样方法 火腿制作工艺流程及参数参照章建浩^[12]的方法:原料腿选择→修胚→摊凉→上盐堆叠→腌制(4℃,60 d)→发酵成熟(10~15℃,75% RH,10 d;16~20℃,65% RH,15 d;21~30℃,55% RH,15 d;31~35℃,60% RH,15 d;35~37℃,70% RH,45 d)→贮藏后熟。实验设计两个处理组分别为KCl替代组:腌制用盐量为6.5%,配比为60% NaCl+40% KCl;食盐对照组:腌制用盐量为6.5%,配比为100% NaCl。

取火腿工艺过程中原料(工艺点1)、腌制结束(工艺点2)、成熟30 d(工艺点3)、成熟60 d(工艺点4)、成熟100 d(工艺点5)5个工艺点的股二头肌中间样品为实验材料,每个工艺点各取3条腿,剔除脂肪及可见筋膜后切碎,真空包装,于-40℃冻藏。

1.2.2 水分含量测定 按照GB/T 5009.3-2010《食品中水分的测定》中的直接干燥法^[13]测定水分含量。

1.2.3 盐分含量测定 参照GB/T 9695.8-2008《肉与肉制品中氯化物含量测定》中的佛尔哈德法^[13],盐分含量以NaCl含量计。

1.2.4 pH测定 参照GB/T 9695.5-2008《肉与肉制

品中pH测定》^[14]。

1.2.5 蛋白质水解指数(P.I.%)测定 参照江慧等^[15]的方法。

1.2.6 氨态氮和肽氮提取 根据Ketelaere等^[16]方法稍作修改,样品解冻后剔除可见脂肪、结缔组织并绞碎,准确称取5.000 g与50 mL 0.6 mol/L HClO₄混合,高速分散器匀浆三次(5000 r/min,20 s)。匀浆液以5000 r/min离心10 min,上清液用中速定性滤纸过滤并收集滤液,滤渣与10 mL 0.6 mol/L HClO₄混合后再以5000 r/min离心10 min,上清液用中速定性滤纸过滤并收集滤液,该滤液与前面所得滤液合并。然后用NaOH溶液调pH至6.0,4℃放置2 h后用蒸馏水定容至100 mL。

1.2.7 氨态氮含量(AN)测定 采用Palacios等^[17]方法稍作修改,取1.2.6中的提取液10 mL与10 mL 10%磺基水杨酸混合,在0~1℃放置17 h。然后用NaOH溶液调pH至6,中速滤纸过滤后蒸馏水定容至50 mL。取样液1 mL进行茚三酮比色反应,利用亮氨酸绘制标准曲线。

1.2.8 肽氮含量(PeN)测定 参照Palacios等^[17]方法稍作修改,取1.2.6中的提取液3 mL加入到10 mL 6 mol/L HCl溶液,混匀后于120℃沙浴24 h,然后用NaOH溶液调pH至6,过滤后蒸馏水定容至50 mL。取样液1 mL进行茚三酮比色反应,标准曲线与氨基氮标准曲线一致。肽氮含量为此次得到氮含量与1.2.7中氨基氮含量之差。

1.2.9 组织蛋白酶B活力测定 参照赵改名^[18]的方法。

1.3 数据处理与统计分析

实验重复数为3,所有实验数据用Microsoft Excel 2010进行整理并用SAS 8.2统计软件进行方差分析(analysis of variance,ANOVA),取标准差,平均值之间利用Fisher's最小显著差异法(the least significant difference method, LSD)进行差异显著性检验。

2 结果与讨论

2.1 KCl替代NaCl对干腌火腿加工过程中理化指标的影响

由表1可知,盐分含量随着火腿加工过程的进行呈显著上升的趋势($p<0.05$),成熟结束处理组间盐分含量无显著差异($p>0.05$)。腌制结束时,火腿盐分含量由0.11%迅速增至4.4%以上,这主要是腌制期火腿肌肉外部渗透压高,盐离子迅速进入肌肉组织,同时肌肉大量失水所致。进入风干成熟阶段肌肉内部渗透压差变小,火腿盐分含量上升变得缓慢。

由表1可知,在火腿加工过程中水分含量呈显著($p<0.05$)下降趋势,40% KCl替代组和100%食盐对照组各工艺点之间差异不显著($p>0.05$),这说明采用40% KCl替代NaCl腌制对火腿加工过程中水分的散失无显著影响($p>0.05$)。成熟中后期产品水分含量偏差较大,原因可能是样品在库房内位置的差异造成表面失水速率有差异。

由表1可知,加工过程中火腿的pH总体略有上升。40% KCl替代组和100%食盐对照组的pH分别从原料的5.63上升到6.02和6.09,各工艺点之间无显著性差

表1 干腌火腿加工过程中理化指标的变化

Table 1 Change of the physical and chemical indicators in dry-cured ham during processing

	盐分(%)		水分(%)		pH	
	KCl替代组	食盐对照组	KCl替代组	食盐对照组	KCl替代组	食盐对照组
原料	0.11±0.04 ^{cA}	0.11±0.04 ^{dA}	76.09±1.36 ^{aA}	76.09±1.36 ^{aA}	5.63±0.02 ^{bA}	5.63±0.02 ^{bA}
腌制结束	5.09±0.33 ^{bA}	4.44±0.25 ^{cA}	63.91±1.28 ^{bA}	62.76±2.37 ^{bA}	6.14±0.08 ^{aA}	6.03±0.21 ^{aA}
成熟30 d	5.41±0.38 ^{bB}	6.22±0.13 ^{bA}	61.89±0.70 ^{bA}	61.33±2.26 ^{bA}	5.96±0.18 ^{aA}	5.94±0.09 ^{aA}
成熟60 d	6.57±0.51 ^{aA}	6.58±0.38 ^{abA}	60.49±1.05 ^{cA}	57.53±2.47 ^{cA}	6.00±0.14 ^{aA}	6.06±0.14 ^{aA}
成熟100 d	6.82±0.15 ^{aA}	6.72±0.17 ^{aA}	57.41±2.41 ^{dA}	54.60±1.87 ^{cA}	6.02±0.08 ^{aA}	6.09±0.19 ^{aA}

注:结果以平均值±标准差表示,同列不同小写字母表示不同成熟期存在显著差异($p<0.05$);同行不同大写字母表示不同组别存在显著差异($p<0.05$);表2~表3同。

表2 干腌火腿加工过程中多肽氮与氨态氮含量的变化

Table 2 Change of PeN and AN in dry-cured ham during processing

	PeN含量(μg/g)		AN含量(μg/g)	
	KCl替代组	食盐对照组	KCl替代组	食盐对照组
原料	1987.33±222.78 ^{cA}	1987.33±222.78 ^{cA}	2676.43±193.34 ^{dA}	2676.43±193.34 ^{cA}
腌制结束	1776.48±184.22 ^{cA}	1864.98±116.58 ^{cA}	3002.81±234.55 ^{dA}	3093.96±113.98 ^{cA}
成熟30 d	2117.19±308.45 ^{cA}	1974.18±65.99 ^{aA}	5771.39±179.94 ^{cA}	5956.36±275.45 ^{bA}
成熟60 d	3076.91±102.38 ^{bA}	3182.96±228.26 ^{bA}	6736.34±339.22 ^{bA}	6880.29±360.10 ^{aA}
成熟100 d	4451.89±78.20 ^{aA}	4650.05±382.77 ^{aA}	7299.98±489.79 ^{aA}	7235.24±313.12 ^{aA}

异($p>0.05$),成熟结束时二者差异也不显著($p>0.05$)。Ibanez等^[19]在干腌香肠中使用KCl替代NaCl时发现,盐替代对干腌香肠pH影响不显著($p>0.05$)。各工艺点的pH偏差较大,这可能是由于原料之间差异引起的。

2.2 KCl替代NaCl对干腌火腿加工过程中蛋白水解指数的影响

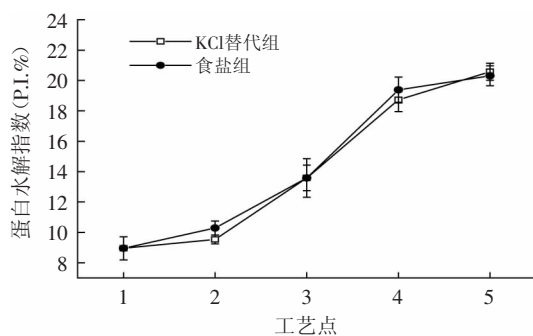


图1 干腌火腿加工过程中蛋白水解指数的变化

Fig.1 Change of P.I.% in dry-cured ham during processing

蛋白水解指数(P.I.%)表示为非蛋白氮占总氮的比重,被广泛用于评价加工肉制品蛋白质降解程度^[20],是评价火腿质量的重要指标,经过后熟的金华火腿P.I.%在14~20之间^[18]。由图1可以看出,随着工艺时间的延长,40% KCl替代组和100%食盐对照组的蛋白质降解程度都显著增加($p<0.05$),且二者之间的差异不显著($p>0.05$)。蛋白质的降解是一个酶促反应过程,蛋白酶的作用环境及潜在酶活力,尤其依赖于时间的积累。腌制期环境温度低(4℃)限制了蛋白酶活力,蛋白质水解不显著;进入成熟期,环境温度升高促进蛋白酶活作用,火腿肌肉中蛋白质发生降解造成多肽、短肽及游离氨基酸的积累,蛋白水解指数

迅速($p<0.05$)增长至成熟100 d时的20%左右。成熟后期,蛋白水解指数增加缓慢,可能是由于肌肉中内环境的变化造成蛋白水解酶活性下降,同时积累的肽类可能对蛋白水解过程有反向抑制作用。

2.3 KCl替代NaCl对干腌火腿加工过程中蛋白降解产物的影响

蛋白质水解会产生大量各种类型的多肽、小肽和氨基酸,它们是火腿产品中主要滋味物质及风味物质的前体物,决定了火腿的感官品质质量。由表2可知,PeN含量在火腿加工过程中总体呈上升趋势,风干成熟30 d之后显著上升($p<0.05$)。100%食盐对照组与40% KCl替代组趋势一致,且无显著差异($p>0.05$)。PeN的生成主要发生在风干成熟期,主要是因为肌原纤维蛋白大分子量蛋白片段(>170 ku)、M-蛋白(160 ku)从风干成熟初期才开始降解,肌球蛋白(43 ku)在风干成熟末期才发生降解^[21-22]。PeN在成熟中后期积累量显著升高($p<0.05$),这可能与肽酶活性升高有关。火腿蛋白质降解后产生的肽类中以小肽为主,而小肽中的二肽为主要降解产物^[23]。许多的二肽酶在火腿成熟中后期仍有活性,Zhao等^[24]研究金华火腿中的二肽酶(DPP)时发现,成熟结束时DPP I的活性达到并超过加工前的水平。由表2可以看出AN在加工过程中也是逐步积累的,KCl替代组和食盐对照组变化趋势一致且无显著差异($p>0.05$)。成熟初期AN含量显著升高($p<0.05$),这可能与氨肽酶仍保持较高活力有关^[18],AN在成熟中后期积累速度变慢,这一方面是因为氨肽酶活力降低,另一方面是因为氨基酸类物质向其他风味物质转化^[18]。

2.4 KCl替代NaCl对干腌火腿加工过程中蛋白酶活性的影响

蛋白质的降解过程是一个酶促反应过程,组织

蛋白酶B和L对肌原纤维蛋白具有广泛的水解活性,并且它们在干腌火腿加工过程中都有活性^[25-26],被认为是引起干腌火腿中蛋白质降解和风味物质形成的主要蛋白酶类^[27],并对干腌火腿的质构品质有显著影响^[28]。由表3可以看出,组织蛋白酶B和L潜在酶活力在KCl替代组和食盐组间变化趋势相近,且无显著差异($p>0.05$)。随着加工时间的延长,组织蛋白酶B和L的潜在酶活力都呈下降趋势,这主要是因为随着加工时间的延长,火腿肌肉水分含量和水分活度下降,盐分升高,pH升高,内部的环境条件不适宜组织蛋白酶的作用。有研究表明,当 $a_w<0.95$ 时,组织蛋白酶B、L的活力下降明显^[29-30]。

2.5 干腌火腿加工过程中各指标相关性分析

由表4和表5可以看出,40% KCl替代组和100%食盐对照组干腌火腿加工过程中,随着温度升高,火腿水分散失,盐分进一步渗透并且含量上升,水分与盐分都呈极显著负相关($p<0.01$)。随着蛋白质降解的累积效应,P.I.%逐步升高,AN、PeN含量逐步增加,

这三者之间都呈极显著正相关($p<0.01$)。同时,由于肌肉内部环境越来越不适宜,组织蛋白酶B和L活性下降,表现为蛋白酶与水分含量的极显著正相关($p<0.01$),与盐分含量的极显著负相关($p<0.01$)。组织蛋白酶B和L最适宜pH为3.0~6.0^[18],因此当蛋白质降解造成pH上升后,组织蛋白酶B和L活性下降,表现为与pH呈显著负相关($p<0.01$)。

由以上实验结果可知,采用40% KCl替代NaCl对原料腿进行腌制,对产品的水分、盐分和pH均无显著影响($p<0.05$)。由于摩尔质量的不同,采用KCl部分替代NaCl是可以降低盐含量的,但因为 K^+ 相对于 Na^+ 更易于在肌肉中扩散^[4],且KCl部分替代NaCl能够加快NaCl的渗透^[11],当火腿进入高温成熟期盐分随水分的扩散变慢后,股二头肌的盐含量并不表现出显著性差异($p>0.05$)。 K^+ 有阻碍脱水的作用^[32],但水分含量受温度时间的影响更大,因此处理组间水分含量并未表现出显著性差异($p>0.05$)。蛋白质的降解是一个酶促反应过程,处理组间理化条件的无差异

表3 干腌火腿加工过程中蛋白酶B和L潜在活力的变化

Table 3 Change of potential activity of cathepsin B and L in dry-cured ham during processing

	组织蛋白酶B潜在活力(U/g)		组织蛋白酶L潜在活力(U/g)	
	KCl替代组	食盐对照组	KCl替代组	食盐对照组
原料	11109.86±1087.13 ^{aA}	11109.86±1087.13 ^{aA}	10117.82±780.56 ^{aA}	10117.82±780.56 ^{aA}
腌制结束	6735.51±467.55 ^{bA}	6111.46±395.91 ^{bA}	6615.46±386.75 ^{bA}	6392.47±354.84 ^{bA}
成熟30 d	6179.29±379.45 ^{bcA}	6116.60±341.50 ^{bA}	6002.23±259.33 ^{bcA}	5551.59±403.59 ^{bcA}
成熟60 d	5349.47±219.06 ^{cA}	5040.78±209.16 ^{bA}	5306.89±265.00 ^{cA}	5151.08±167.19 ^{cA}
成熟100 d	3384.46±330.51 ^{dA}	3224.18±535.81 ^{cA}	6264.97±407.53 ^{dA}	3018.51±415.69 ^{dA}

表4 40% KCl替代组干腌火腿加工过程中各指标Pearson相关系数

Table 4 Pearson correlations of all parameters of dry-curing ham with 40% KCl replacement during processing

指标	水分	盐分	pH	P.I.%	AN	PeN	蛋白酶B	蛋白酶L
水分	1							
盐分	-0.97 ^{**}	1						
pH	-0.71 ^{**}	0.76 [*]	1					
P.I.%	-0.76 ^{**}	0.75 ^{**}	0.31	1				
AN	-0.82 ^{**}	0.78 ^{**}	0.30	0.95 ^{**}	1			
PeN	-0.63 [*]	0.56 [*]	0.13	0.90 ^{**}	0.81 ^{**}	1		
蛋白酶B	0.97 ^{**}	-0.95 ^{**}	-0.66 ^{**}	-0.81 ^{**}	-0.82 ^{**}	-0.72 ^{**}	1	
蛋白酶L	0.97 ^{**}	-0.93 [*]	-0.63 [*]	-0.84 ^{**}	-0.85 ^{**}	-0.75 ^{**}	0.96 ^{**}	1

注:*表示有显著相关性($p<0.05$),**表示有极显著相关性($p<0.01$);表5同。

表5 100%食盐组干腌火腿加工过程中各指标Pearson相关系数

Table 5 Pearson correlations of all parameters of dry-curing ham with 100% NaCl replacement during processing

指标	水分	盐分	pH	P.I.%	AN	PeN	蛋白酶B	蛋白酶L
水分	1							
盐分	-0.95 ^{**}	1						
pH	-0.77 ^{**}	0.72 ^{**}	1					
P.I.%	-0.82 ^{**}	0.80 ^{**}	0.56 [*]	1				
AN	-0.83 ^{**}	0.86 ^{**}	0.58 [*]	0.93 ^{**}	1			
PeN	-0.63 [*]	0.53 [*]	0.43	0.86 ^{**}	0.73 ^{**}	1		
蛋白酶B	0.94 ^{**}	-0.93 ^{**}	-0.73 ^{**}	-0.80 ^{**}	-0.78 ^{**}	-0.69 ^{**}	1	
蛋白酶L	0.94 ^{**}	-0.93 ^{**}	-0.77 ^{**}	-0.83 ^{**}	-0.84 ^{**}	-0.72 ^{**}	0.96 ^{**}	1

性造成组织蛋白酶活性的无差异性 ($p>0.05$), 继而蛋白质的水解程度及过程也无显著性差异 ($p>0.05$)。pH主要受蛋白水解状况的影响, 因此也不受KCl替代的影响。同时, 由于40%的NaCl被KCl所替代, 火腿中钠的含量可以降低40%, 新工艺产品更利于健康。但采用KCl替代NaCl后对于钾离子会产生苦味以及火腿产品中滋味物质如游离氨基酸种类及含量的变化需要进一步的研究。

3 结论

在干腌火腿的现代工艺加工过程中, 采用40% KCl替代NaCl对原料腿进行腌制, 对产品的理化特性、蛋白质降解程度及产物水平、组织蛋白酶B和L的潜在酶活力无显著影响, 即对产品品质如产品得率、盐分含量、滋味物质的总含量没有显著影响。考虑到盐替代后Na⁺含量降低更有利于身体健康, 采用40% KCl替代NaCl腌制在火腿的加工中是可行的。这一结论为KCl在肉制品中的应用提供了理论依据。

参考文献

- [1] 章建浩, 唐志勇, 曾强, 等. 金华火腿发酵成熟现代工艺及装备研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 230-234.
- [2] 章建浩, 靳国锋, 王永丽, 等. 强化高温成熟缩短工艺时间对干腌火腿蛋白质水解的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 97-101.
- [3] 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[J]. Meat Science, 1996, 42(1): 37-48.
- [4] Aliño M, Grau R, Fuentes A, et al. Influence of low-sodium mixtures of salts on the post-salting stage of dry-cured ham progress[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 99(2): 198-205.
- [5] Guardia M D, Guerrero L, Gelabert J, et al. Sensory characterisation and consumer acceptability of small calibre fermented sausages with 50% substitution of NaCl by mixtures of KCl and potassium lactate[J]. Meat Science, 2008, 80(4): 1225-1230.
- [6] 吴海舟, 张迎阳, 黎良浩, 等. KCl部分替代NaCl腌制对干腌肉制品蛋白水解和感官品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 35-43.
- [7] Güven M, Karaca OB. Proteolysis levels of white cheeses salted and ripened in brines prepared from various salts [J]. International Journal of Dairy Technology, 2001, 54(1): 29-33.
- [8] Aliño M, Grau R, Toldrá 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.
- [9] Barat JM, Baigts D, Aliño M, et al. Kinetics studies during NaCl and KCl pork meat brining[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106(1): 102-110.
- [10] Aliño M, Grau R, Toldrá F, et al. Influence of sodium replacement on physicochemical properties of dry-cured loin[J]. Meat Science, 2009, 83(3): 423-430.
- [11] 章建浩, 周光宏, 朱建辉, 等. 金华火腿传统加工过程中游离氨基酸和风味物质的变化及其相关性[J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(4): 96-100.
- [12] 中国商业联合会商业标准中心. GB 5009.3—2010食品中水分的测定[S]. 北京: 中国中华人民共和国卫生部, 2010.
- [13] 中国商业联合会商业标准中心. GB/T 9695.8—2008肉与肉制品氯化物含量测定[S]. 北京: 中国国家标准化管理委员会, 2008.
- [14] 中国商业联合会商业标准中心. GB/T 9695.5—2008肉与肉制品pH测定[S]. 北京: 中国国家标准化管理委员会, 2008.
- [15] 江慧, 何立超, 常辰曦, 等. 风干成熟工艺对木瓜蛋白酶嫩化淘汰蛋鸡胸肉效果的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(4): 31-36.
- [16] Ketelaere A, Demeyer D, Vandekerckhove P, et al. Stoichiometry of carbohydrate fermentation during dry sausage ripening[J]. Journal of Food Science, 2006, 39(2): 297-300.
- [17] Pérez-Palacios T, Ruiz J, Barat JM, et al. Influence of procure freezing of Iberian ham on proteolytic changes throughout the ripening process[J]. Meat Science, 2010, 85(1): 121-126.
- [18] 赵改名. 肌肉蛋白水解酶在金华火腿加工过程中作用的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2004.
- [19] Ibañez L, Quintanilla A, Irigoyen I, 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): 45-53.
- [20] Harkouss R, Mirade PS, Gatellier P, et al. Development of a rapid, specific and efficient procedure for the determination of proteolytic activity in dry-cured ham: Definition of a new proteolysis index[J]. Meat Science, 2012, 92(2): 84-88.
- [21] Cava R, Ferrer JM, Estévez M, et al. Composition and proteolytic and lipolytic enzyme activities in muscle Longissimus dorsi from Iberian pigs and industrial genotype pigs[J]. Food Chemistry, 2004, 88(1): 25-33.
- [22] Mora L, Fraser PD, Toldra F. Proteolysis follow-up in dry-cured meat products through proteomic approaches[J]. Food Research International, 2013, 54(1): 1292-1297.
- [23] Sforza S, Pigazzani A, Motti M, et al. Oligopeptides and free amino acids in Parma hams of known cathepsin B activity[J]. Food Chemistry, 2001, 75(3): 267-273.
- [24] Zhao G M, Zhou G H, Xu X L, et al. Studies on time-related changes of dipeptidyl peptidase during processing of Jinhua ham using response surface methodology[J]. Meat Science, 2005, 69(1): 165-174.
- [25] Sárraga C, Gil M, Garcia JA. Comparison of calpain and cathepsin(B, L and D) activities during dry-cured ham processing from heavy and light large white pigs[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1993, 62(1): 71-75.
- [26] Toldra F, Rico E, Flores J. Cathepsin B, D, H and L activities in the processing of dry-cured ham[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1993, 62(2): 157-161.
- [27] Zhou G H, Zhao G M. Biochemical changes during processing of traditional Jinhua ham[J]. Meat Science, 2007, 77(1): 114-120.
- [28] Lametsch R, Karlsson A, Rosenvold K, et al. Postmortem proteome changes of porcine muscle related to tenderness [J].

(下转第112页)

表3 3-(甲硫基)丙醛对四种致病菌的最低抑菌浓度
Table 3 The minimal inhibitory concentration
3-(Methylthio) propionaldehyde

抑菌浓度	金黄色葡萄球菌	单增李斯特菌	大肠杆菌	副溶血性弧菌
625 mmol/L	-	-	-	-
312.50 mmol/L	-	+	+	-
156.25 mmol/L	+	+	+	-
78.13 mmol/L	+	+	+	-
39.06 mmol/L	+	+	+	-
19.53 mmol/L	+	+	+	-
9.77 mmol/L	+	+	+	-
4.88 mmol/L	+	+	+	-
2.44 mmol/L	+	+	+	-
1.22 mmol/L	+	+	+	+
610.35 μ mol/L	+	+	+	+

注：“+”表示有细菌生长；“-”表示没有细菌生长。

3.1 3-(甲硫基)丙醛(MTPD)、2-甲基-3-甲硫基呋喃(MMTF)、糠基异丙基硫醚(FIPS)和甲基糠基二硫醚(MFDS)对四种致病菌均有抑制作用,且抑菌能力为MTPD>MFDS>或 \approx FIPS>或 \approx MMTF。

3.2 3-(甲硫基)丙醛中醛基的存在可能极大地加强了含氧硫醚类香料的抑菌活性,且其对副溶血性弧菌的抑菌效果最好,最低抑菌浓度为2.44 mmol/L。

参考文献

- [1] 刘玉平,孙宝国.含硫食用香料的合成及应用[J].中国食品添加剂,2003(6):82-69.
[2] Petra M B, Monique F M. Actinobacillus pleuropneumoniae is impaired by the garlic volatile allyl methyl sulfide(AMS) *in vitro* and in-feed garlic alleviates pleuropneumonia in a pig model[J]. Veterinary Microbiology, 2012, 154: 316-324.
[3] Sergio C, Michele L, Bernardo M, et al. The role of diallyl

sulfides and dipropyl sulfides in the *in vitro* antimicrobial activity of the Essential Oil of garlic, *Allium sativum* L., and leek, *Allium porrum* L.[J]. Phytotherapy Research, 2013, 27: 380-383.

- [4] Rattanachaiakunsopon P, Phumkhaichorn P. Shallot (*Allium ascalonicum* L.) oil: Diallyl sulfide content and antimicrobial activity against food-borne pathogenic bacteria[J]. African Journal of Microbiology Research, 2009, 3(11): 747-750.
[5] Zhang Gong-liang, Wu Hai-tao, Zhu Bei-wei, et al. Effect of dimethyl sulfides on the induction of apoptosis in human leukemia Jurkat cells and HL-60 cells[J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2008, 72(11): 2966-2972.
[6] Zhang Gong-liang, Wu Hai-tao, Zhu Bei-wei, et al. Structuredependent photodegradation of carotenoids accelerated by dimethyl tetrasulfide under UVA irradiation[J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2008, 72(8): 2176-2183.
[7] Zhang Gong-liang, Wu Hai-tao, Zhu Bei-wei, et al. Induction of apoptosis by β -carotene and dimethyl tetrasulfide assisted by UVA irradiation in HL-60 cells[J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2009, 73(5): 1014-1020.
[8] 何祖光,柳枝,袁晓兵,等.大蒜提取液临床体外抗鲍曼不动杆菌的实验研究[J].实验与检验医学,2009,27(5):503-504.
[9] Kyu H K. Antimicrobial properties of allium species[J]. Current Opinion in Biotechnology, 2012, 23(2): 142-147.
[10] Benkeblia N. Antimicrobial activity of essential oil extracts of various onions (*Allium cepa*) and garlic (*Allium sativum*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2004, 37: 263-268.
[11] 张公亮,丁佳琪,董伟峰,等.几种硫醚类香料抑菌活性的研究[J].食品工业科技,2012,33(9):127-130.
[12] 朱俊雅,张公亮,贾琼,等.几种硫醚类香料诱导HL-60细胞毒性的研究[J].现代食品科技,2014,30(2):42-47.
[13] 江洁芳.花椒中抑菌活性成分提取工艺的研究[J].中国调味品,2011,36(3):30-32.
[14] 常丽新,贾长红,高曼,等.丁香叶黄酮的抑菌作用研究[J].食品工业科技,2010,31(10):126-128.

(上接第102页)

- [21] Jane J. Current understanding on starch granule structures [J]. Journal of Applied Glycoscience, 2006, 53(3): 205-213.
[22] Xie L H, Chen N, Duan B W, et al. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice[J]. Journal of Cereal Science, 2008, 47(2): 372-379.
[23] Lii C Y, Shao Y Y, Tseng K H. Gelation mechanism

- and rheological properties of rice starch[J]. Cereal Chemistry, 1995, 72: 393-400.
[24] Jaisut D, Prachayawarakorn S, Varanyanon W. Accelerated aging of jasmine brown rice by high-temperature fluidization technique[J]. Food Research International, 2009, 42: 674-681.
[25] 大坪研一.米粉[M].日本:日本食粮新闻社,2012.

(上接第107页)

- Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(2): 6992-6997.
[29] Rico E, Toldra F, Flores M. Effect of dry-curing process parameters on pork muscle cathepsin B, H and L[J]. European Food Research & Technology, 1991, 193(6): 541-541.
[30] Zhou G H, Zhao G M, Wang Y L, et al. Time-related changes in cathepsin B and L activities during processing of Jinhua ham as a function of pH, salt and temperature[J]. Meat Science,

- 2005, 70(2): 381-388.
[31] Armenteros M, Aristoy MC, Toldra F. Evolution of nitrate and nitrite during the processing of dry-cured ham with partial replacement of NaCl by other chloride salts[J]. Meat Science, 2012, 91(3): 378-381.
[32] Aliño M, Grau R, Baigts D, et al. Influence of sodium replacement on the salting kinetics of pork loin[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 95(4): 551-557.